

中国工程技术论坛

# 果园土壤管理与果树营养

Guoyuan Turang Guanli Yu Guoshu Yingyang



高等教育出版社·北京  
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

## 内容提要

本论坛的主题为果园土壤管理与果树营养,论坛内容涵盖了果树营养的分子生物学、营养生理、果园土壤管理与施肥技术领域。本书精选了论坛大会报告中10多位知名专家的稿件,围绕“果园土壤养分现状”、“果园土壤管理和施肥对策”、“果园节水灌溉”和“果树耐受养分胁迫逆境”等热点问题,分析了果树产业的技术难题、本领域研究动态和发展方向;并从宏观上对我国土壤施肥、土壤管理及生产上出现的问题进行了全面的剖析和评价;也从生态学角度和果园生物多样性方面探讨了今后果园的可持续发展方向。

本书系中国工程院“中国工程科技论坛”系列丛书之一,书中所展示的前沿学术动态和科技成果,将为引领并推动产业的发展提供有益的参考,可供相关领域的科技工作者及工程技术人员与管理人员参阅,也可供大专院校相关专业的师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

果园土壤管理与果树营养 / 中国工程院编著.

-- 北京: 高等教育出版社, 2013.7

(工程科技论坛)

ISBN 978 - 7 - 04 - 037358 - 5

I. ①果… II. ①中… III. ①果园 - 土壤管理 - 研究  
②果树 - 植物营养 - 研究 IV. ①S660.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 107444 号

### 总 策 划 樊代明

策划编辑 王国祥 黄慧靖 责任编辑 朱丽虹 沈晓晶

封面设计 顾 斌 责任印制 韩 刚

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街4号

邮政编码 100120

印 刷

开 本 850mm × 1168mm 1/16

印 张

字 数 千字

插 页

购书热线 010 - 58581118

咨询电话 400 - 810 - 0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

网上订购 <http://www.landaco.com>

<http://www.landaco.com.cn>

版 次 2013年7月第1版

印 次 2013年7月第1次印刷

定 价 60.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 37358 - 00

# 编辑委员会

主任：束怀瑞

副主任：尹伟伦 方智远 张福锁 韩振海

委员：关军峰 姜远茂 程来亮

张林森 胡承孝 吕德国

姜中武 陈青 孔瑾





# 目 录

## 第一部分 综述

综述 .....	3
----------	---

## 第二部分 参会院士简介

参会院士简介 .....	17
--------------	----

## 第三部分 专题报告

海藻有机肥对苹果园土壤微生物生态的影响 .....	陈 伟	23
钙与果实生理病害和耐贮藏性 .....	关军锋	38
苹果矮化砧木的选育及矮化、铁高效机理研究 .....	韩振海	52
我国苹果园土壤养分现状与高效施肥建议 .....	姜远茂	65
光调控苹果果实色泽品质形成的分子机理 .....	李媛媛	73
果园生草的生理生态效应研究与应用 .....	吕德国	95
桃园土肥水管理技术进展 .....	彭福田	107
Apple Gene Function and Gene Family DataBase: An Integrated Bioinformatics Database for Apple Research .....	Shizhong Zhang	115
果树根系对地上部的调控及其与水分利用效率的关系 .....	杨洪强	130
苹果变产树芽矿质营养和内源激素变化规律研究 .....	王金政	140
Impact of Fertilization on Some Apple Fruit Quality Characteristics .....	Atanas Blagov	154
不同氯离子浓度对苹果生长发育和土壤性质的影响 .....	姜中武	162
Effect of Foliar Fertilization on Yield, Fruit Quality and Macroelements content in the Leaves of Granny Smith Apple Cultivar .....	Dimitar Sotirov	169
我国柑橘园土壤肥力状况与土壤管理对策 .....	胡承孝	179
苹果锌营养生理及其调控研究进展 .....	王衍安	194
有机肥改良水平对苹果土壤养分和树体生长发育的影响 .....	魏钦平	210
山东主要果园土壤的肥力状况及肥力因子相互关系 .....	张 民	218
高产高效现代农业道路探索与实践 .....	张福锁	236

附录 参会人员名单 .....	247
-----------------	-----

后记 .....	253
----------	-----

# 第一部分

## 综 述



# 综 述

## 一、论坛背景

2012年9月2—4日,“中国工程科技论坛144场暨第四届国际苹果学术研讨会——果园土壤管理及果树营养”专题在山东烟台召开。此次研讨会由中国工程院主办,中国园艺学会苹果分会、中国农业大学、山东农业大学和烟台市农业科学研究院共同承办。参会人员有:中国工程院农业学部主任尹伟伦院士;中国工程院农业学部副主任方智远院士;中国工程院院士、国家苹果工程技术研究中心主任、山东农业大学束怀瑞教授;中国工程院二局副局长高中琪同志;烟台市人民政府副市长徐少宁同志;山东农业大学副校长董树亭教授、高东升教授;中国农业大学张福锁教授;美国康奈尔大学 Terence Robinson 教授;美国康奈尔大学、美国加州大学、美国密歇根州立大学、保加利亚农科院、土耳其萨班哲大学、德国霍恩海姆大学等相关领域的知名学者7人,以及中国工程院、烟台市政府、各农业高校、科研院所、相关企业的领导和专家等160余人。

此次论坛的主题为果园土壤管理与果树营养,会议工作内容涵盖营养的分子生物学、果树矿质营养生理、果树栽培、推荐施肥、果园土壤管理领域。会议代表就果园土壤管理、果树营养、节水灌溉和果树根系生物学等问题展开了热烈的讨论,分析了果树营养元素功能、影响营养代谢过程的分子机制,并从宏观上对我国土壤施肥、土壤管理及生产上出现的问题进行了全面的剖析和评价,最后从生态学角度和果园生物多样性方面探讨了今后果园的可持续发展方向。论坛为期两天,取得圆满成功。

## 二、整体情况

果园土壤管理与果树营养是果树学、土壤学、植物营养学、生理生态学等多个学科的交叉领域,对于果树育种、栽培和土壤、植物营养领域的研究和生产发展起到了重要作用。当前中国果品安全生产在很大程度上依赖于土壤和肥料养分的合理供应,论坛对高产优质果园的生理基础、果园土壤营养基本情况、果树养分供应及诊断以及此领域的研究技术、对策方法和创新等方面做了大量有价值的讨论,体现了基础积累、技术创新和示范推广的科技进程,并在很大程度上促进了生产。

论坛于2012年9月3日在烟台东山宾馆开幕,开幕式上中国工程院农业学部主任尹伟伦院士、山东农业大学副校长董树亭教授和烟台市人民政府副市长徐少宁同志先后致辞,中国农业大学张福锁教授宣布会议开幕,与会代表合影留念。随后,正式进入报告议程。

此次会议报告先后由山东农业大学副校长高东升教授、中国农业大学张福锁教授、美国康奈尔大学 Terence Robinson 教授等主持,首先中国农业大学张福锁教授做了“高产高效土壤-作物系统综合管理技术与应用”的报告。随后美国康奈尔大学 Terence Robinson 教授介绍了高密度果园水肥一体化和灌溉管理技术。此后,德国霍恩海姆大学的 Volker Römheld 教授从植物营养原理到田间管理,综述了果树矿质营养。两天来 38 位专家学者先后进行了发言和讨论,论坛进行得紧张有序,气氛热烈。9月4日下午6点30分,束怀瑞院士对此次会议进行了总结和对未来研究进行了展望,中国工程科技论坛第四届国际苹果学术研讨会圆满结束。

研讨会精彩的报告,既体现了重视学科交叉,稳定研究方向,又反映了当代科技前沿。此次会议目标明确,与时俱进,主要指导思想是科技创新、服务生产。今后应考虑从生态环境的适应性、生物多样性、成本效益、可持续发展等方面,探讨新的切合实际的和长远的战略新模型。因此加强对平衡施肥的技术体系应着眼两个前提(土壤质量、稳定),针对两个极端(养分投入过量和亏缺)进行树体分析、测土配方,限定产量的研究,对各种环境,以 C、N 发育时期比较植株类型为对象制定技术规程。重视根系生物学的系统研究、叶功能的研究、果实品质的研究,特别是分子生物学、信息科学的进步。要十分重视方法的突破,无损动态、探测技术的研究和应用。

### 三、主要观点

#### (一) 张福锁教授

张福锁教授主要从现代农业实行高产高效管理的必要性、高产高效的途径和技术以及高产高效现代农业在中国的实践等三个方面进行了论述。

张教授首先指出,经过 50 多年的艰苦努力,我国解决了人民的温饱问题,但是粮食生产是靠大量消耗资源来支撑的。20 世纪 90 年代以来,化肥用量持续大幅增加,粮食增产缓慢,我国农业发展走过了一条高投入、高资源环境代价的道路,资源投入持续增加、产量徘徊、效率下降、环境问题等逐渐凸现,如富营养化、土壤酸化等,尤其是过去 20 年来氮肥的过量使用使中国土壤 pH 值下降 0.5 个单位,由此导致线虫成灾、果树粗皮病等。因此,集约化现代农业的唯一出路

是:同时实现作物高产和资源高效。

进一步实现高产高效的途径与技术包括三个层面:协调气候因子,构建理想群体、协调花后物质生产与分配,实现作物高产;同步根层水肥供应与高产作物需求,实现资源高效;提高土壤基础生产力,增强抗逆能力和缓冲性,稳定实现作物高产高效。张教授提出,增产也能增效、高产需要高效,而这需要技术的综合集成,如高密度、水肥调控(保证后期供应)、土壤质量改善等。但是,目前我国的肥料利用率很低,施肥不合理成为限制作物高产和养分高效的主要原因,在前期抑制作物生长、后期使作物出现早衰。大量肥料投入不增产和低效的原因为:播种量大,施肥多,前期群体过大,水肥消耗多,易感病、倒伏、后期脱肥。并且,我国土壤质量差,72%的耕地面积为中低产田。中国土壤对作物产量的贡献为52%,比美国低20%,土壤培肥也是关键,通过秸秆还田和有机肥施用实现持续高产。

最后,张教授总结了高产高效现代农业在中国的实践,提出研究与技术示范推广的结合意义深远,并且在生产中开展理论创新,成果直接推动技术进步及政策调整,为国家农业进步和发展做出贡献。

## (二) Terence Robinson 教授

Terence Robinson 教授介绍了高密度果园水肥一体化和灌溉管理。他首先介绍了现代高密度果园具有树体小、早期高产、根系小的特点,并且通过图片展示了多个树型。指出高密植果园的4个关键:① 砧木;② 灌溉;③ 树体质量;④ 水肥一体化。在砧木方面重点阐述了 Geneva<sup>®</sup> 苹果砧木的创新性,对比分析了不同砧木对再植病害的抗性、嫁接苹果的性能、吸收养分的能力以及根系构型的不同特征,并指出细根根系特性与其忍耐再植病害能力有关,干旱影响根系系统特性,并利用 QTLs 图分析了根系特征、根体积、细根、大根的数据量性状。在树体质量方面,指出树体质量影响早期产量,对于侧枝过多的树,应去掉过多旺长的侧枝,不要剪掉侧枝的主要营养枝,种植后捆绑标准线以下的侧枝以控制生长促进结果;不同分枝角度也影响产量。在灌溉方面,针对幼树水分胁迫的原因,易发生时期,提出必须及时灌水,以减少新移栽树的水分胁迫。运用滴灌需在种植前两周安装好,对于灌溉量的确定运用修订的 Penman-Monteith (P - M) 方程模型效果很好。在水肥一体化方面,详细阐述了湿润气候下的水肥一体化技术,包括水肥一体化的优势、肥料选择,以及应用策略。

最后根据以上,提出了5点结论:① 灌溉系统对幼树影响很大,因此应该在种植第一年尽早安装;② 干旱年份,应该在5月中旬开始灌水,其他年份应该推迟到6月初;③ 水肥一体化是供应苹果氮钾肥的一个有效方式;④ 水肥一体化

提高了早期果树生长和早期结果;⑤ 有些情况下,水肥一体化可以增大果个、提高成年树的产量。

### (三) Gregory Lang 教授

Gregory Lang 教授论述了樱桃砧木和修剪制度需要新的水分和养分管理策略。他首先介绍了 NC-140 研究,其目的是筛选敏感性、抗性好,或抗 Ilar 病毒的砧木。甜樱桃修剪模式包括灌丛型、高纺锤型、超细长型和直立分支型。健壮砧木需要与之相配套的修剪策略。之后他介绍了 Gisela 根系系统研究,结果表明,无杂草和与杂草竞争情况下 Gisela.12 的根系占整体干重的比例分别为 25% 和 19%。

对樱桃氮肥施用策略应考虑三个方面:① 樱桃树生长周期氮素需求关键期;② 樱桃吸收氮素的来源(土壤还是组织组织储藏);③ 施肥方式。在落叶前 1 个月叶片氮减少 50%;果苔枝 N 同时增加 50%;果苔和新梢叶形成的时期,N 从土壤溶液中转移到植株中;直到新叶片形成、蒸腾作用对养分需求开始,从春季肥料中吸收极少量的 N。果苔叶面积大小对于结果短枝和非结果短枝是关键,可以决定果实的大小、硬度、甜度。

对酸樱桃的耐寒性和喷氮时间的研究表明,叶面喷施尿素能够增加黏壤土矮化砧木甜樱桃和砂壤酸樱桃的休眠花氮素水平;春季每个果枝的果苔叶大小和叶面积每个樱桃增加 20%;在 9 月初喷施尿素增强了甜樱桃和酸樱桃秋季冷驯化过程。以 1998—2007 在北美樱桃砧木试验为例,他阐述了不同区域不同砧木对大量和微量元素的吸收不同,进而影响相应的施肥策略。

最后他提出了早熟、矮化砧木的管理,其水肥管理策略为:① 应该少量多次灌溉;② 少量多次施氮肥;③ 秋季叶面施氮并构建良好的存储能力,使叶片在秋季末保持良好的能力。

### (四) Volker Römheld 教授

Volker Römheld 教授指出,果园中广泛存在的 Fe、Zn、Mn、B 矿质营养缺乏问题,不仅影响果树生产、果实产量和品质,而且影响人类健康(水果中含有的保障人类健康的必需矿质营养)。因此在果园管理中应考虑到果实中应含有适量的矿质营养。

以 2009 年对意大利猕猴桃和葡萄中矿质元素肥料施肥状况的研究为例,通过土壤和植物分析,证明了 K 和 Mg 肥施用不当导致的钾镁拮抗是诱导猕猴桃中 Mg、K 缺乏的因素。在此基础上,他提出果园矿质元素肥料施用原则。果树对营养的需求主要取决于:① 发育时期(营养生长/生殖生长),果树早期营养生

长时期需要更多的氮肥,而在生殖生长期果实生长对钾肥有更高的需求;② 增加植株密度可使坐果提前,但同时氮肥的需求提高;③ 道路杂草/除草剂的使用,选择可释放活化 Fe(Zn) 的根系分泌物的草本植物,可以缓解石灰性土壤中 Fe(Zn) 的缺乏症状。

因此,① 确定适量施肥的主要措施是土壤和植物分析;② 成龄果树修剪而带走的养分有 60 kg K、20 kg N、6 kg P、2 kg Mg。

最后,Volker Römheld 教授针对目前果园中普遍存在的矿质营养失衡,实际管理中无法正确区别营养生长和生殖生长阶段的肥料使用,提出果园中进行播种和覆盖,以避免除草剂的利用;不定期进行土壤和植物的分析来确定肥料是否充足;使用氨态氮以促进花芽形成和均匀坐果。

### (五) 韩振海教授

韩振海教授在阐述植物吸收 Fe 的三种机制、苹果矮化集约化栽培的基础上,重点介绍了苹果矮化砧木选育、Fe 吸收分子机制的最新研究进展。

研究发现,‘中砧 1 号’是铁高效基因型,在缺铁条件下,其土壤根际酸化,根系还原力、叶片光合速率明显高,叶片仍然保持绿色。通过对铁高效、低效的 F1 杂交组合的研究认为,苹果铁高效性状的遗传是多基因控制的数量遗传性状。最后韩教授指出了苹果根系活化、吸收及转运铁素的分子机制:根际中的  $\text{Fe}^{3+}$  - chelate 通过 Mx $\text{FRO1}$  转变为 chelate,同时细胞内的 NAFPH 变为  $\text{NADP}^+$ 。同时,由  $\text{Fe}^{3+}$  - chelate 变成的  $\text{Fe}^{2+}$  通过 Mx $\text{ITR1}$  进入细胞,伴随着细胞内 ATP 通过 Mx $\text{HA7}$  和 Mx $\text{HA2}$  放出能量,释放的  $\text{H}^+$  减少了根际的  $\text{Fe}^{3+}$ 。苹果幼叶内,赤霉素会促进铁素进入叶片中,完成一系列转化,而在老叶中,缺铁会增加脱落酸的含量,促进铁素向外转移。

针对我国苹果生产实际,韩振海教授提出,应用矮化砧木尤其是矮化自根砧,实行集约化栽培,同时结合其具有的诸如铁高效等营养高效和抗病性状,是我国苹果生产发展的方向。

### (六) Ismail Cakmak 教授

Ismail Cakmak 教授讲解了 Mg 的生理功能、植物缺镁的表现、原因和镁肥调控等内容。Mg 是叶绿素分子中唯一的矿质元素,含量占 2.7% 左右,其中植物体内大约 35% 的 Mg 结合在叶绿体中。除了是叶绿素的重要组分外,它对光合膜的垛叠、激发能在两个光系统之间的分配、光合电子传递速率、叶绿素荧光、光系统 II 活性和原初光能转化效率,以及光合碳代谢等一系列重要生理过程都有明显的影响。缺镁甜菜中的蔗糖含量在 8 d 之后明显增加,叶绿素含量、PSII 的最



大量子速率及电子转移速率在 10 ~ 15 d 后降低,在地上部生长发生变化之前,缺镁会导致光合产物在叶片中积累,因此糖在刚成熟叶片中的积累可作为植物缺镁的早期诊断标准。Mg 缺乏损害糖从韧皮部到库器官的运输,这可能会影响库器官的大小和数量进而影响产量。同时,缺镁会显著影响作物的根系生长,由于缺镁对根生长造成的早期损伤和根表活力的衰弱,可能会严重影响根对矿质营养和水的吸收,在水分限制和营养缺乏的土壤条件下影响更严重,导致植物出现缺镁症状,主要是叶绿体高效利用光能固定  $\text{CO}_2$ ,尤其在高温强光下,对 Mg 的需求特别高。当 Mg 供应低时,植物不利用过多的光能(通过形成活性氧消耗掉),因而植物很快受到伤害(叶片会脱色变白)。

最后, Ismail Cakmak 教授提出了植物缺镁的诊断和防治措施。对于许多作物来说, Mg 在土壤中的施用量为  $20 \sim 0 \text{ kg/hm}^2$ 。通常来说,砂性土壤和酸性土壤需要更多的 Mg(因为其会渗漏和与铝相互作用),马铃薯、玉米、甘蔗和甜菜都对 Mg 含量有较高的需求。

### (七) Cheng Lailiang 教授

Cheng Lailiang 教授就“山梨醇/蔗糖及氮素供应对苹果果实初生代谢的影响”进行了报告。

首先,他通过大量的试验数据表明了果实初生代谢对山梨醇降低/蔗糖增加的响应。山梨醇和蔗糖作为苹果、梨、桃、樱桃、李和杏等许多蔷薇科植物光合作用的主要光合产物和运输形式以及一种可溶性储藏碳水化合物,其代谢与光合作用、源库及光合产物的分配有着密切的关系。研究其代谢的调节对于调节库源强度和光合产物的分配,并用以指导果树栽培是有重要意义的。当山梨醇供应降低、蔗糖供应增加时,果实中山梨醇代谢下调而蔗糖代谢上调,导致山梨醇浓度降低、葡萄糖和半乳糖浓度升高而果糖和蔗糖浓度不变。果实呼吸上调主要是由于果实中葡萄糖积累,导致氨基酸浓度增加。

其次,他提出果实初生代谢对氮素供应的响应。选择 7 年生嘎啦苹果,利用氮肥梯度试验研究果实初生代谢对氮素供应的响应。氮素供应分别为每棵树 105.4 g、52.7 g、26.4 g、8.8 g,在开花后 18 天内每周供肥。当氮素供应增加时,氨基酸合成上调,使得更多的 N 进入糖酵解和三羧酸循环而大部分有机酸维持不变。氮素供应增加加快淀粉降解,有利于可溶性固形物的积累,但果实氨基酸浓度高、着色差。

### (八) 吕德国教授

吕德国教授对果园生草的生理生态效应研究与应用做了报告。他认为:

(1) 生草栽培对果园小气候及生物多样性有一定的影响:近地表草域光照度、日最高温度下降;降低了地表的风速,减少了土壤的蒸发量;草域根系的呼吸和凋落物的分解作用,提高了园内  $\text{CO}_2$  浓度,有利于果树光合作用。生草可使果园温湿环境相对稳定,有利于减轻枝干和果实的日烧,特别是在套袋栽培体系中对于改善果实外观品质具有重要作用。生草丰富了果园生物多样性,尤其是近地表的生物多样性;生草显著增加了主要害虫及天敌的生态位宽度,且天敌的生态位宽度明显大于害虫生态位宽度,同时增加了主要天敌与害虫的生态位重叠指数,呈现出对害虫明显的跟随效应和控制作用。

(2) 生草提高了土壤饱和储水量、吸持储水量及滞留储水量;在降雨较多的季节,生草可以较快地排出土壤中较多的水分,有利于维持根系功能。生草降低了地表的光照度,减缓了热量向深层土壤的传递,改善了土壤的热量状况,从而起到平稳地温的作用;生草使果园土壤有机质含量增加,有机质组分发生变化,表层土土壤重组,有机碳含量提高;生草能提高果园 N、P、K 等矿质营养水平且可显著提高土壤微生物数量与活性,土壤碱性磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶的活性。

(3) 生草为果树根系提供稳定的环境和持续的养分,缩小表层土根系的分布范围,提高细根的相对量;果园生草能显著提高果树光合色素的含量,特别是叶绿素 b 的含量,可以减少树体的营养生长,中、短枝比例明显提高,利于生殖生长;生草可减少果实病害的发生,改善果实品质,促进土壤丛枝菌根菌生长,改善在水分逆境下植株对土壤水分和磷素的吸收,进而提高果实品质。

### (九) 张民教授

张民教授针对山东主要果园土壤的肥力状况及肥力因子相互关系进行了分析。试验结果表明:① 山东果园土壤分布的土壤类型以棕壤为主,其次是潮土、褐土和砂姜黑土。分布在丘陵坡地上的果园土壤质地为砂质壤土或壤质砂土,分布在平原区的果园土壤以粉砂壤土和壤土为主。② 果园土壤的有机质及各养分含量差异较大,一般以表层含量较高,向下逐渐降低。由于大多数果园土壤有机质含量较低,土壤阳离子交换量主要来自黏土矿物的贡献,取决于黏粒的含量和黏土矿物的类型。③ 山东果园土壤的黏土矿物以水化云母为主,含有较多的高岭石和 1.4 nm 过渡矿物、少量石英和蒙脱石。酸度较大的棕壤含较多的高岭石,砂姜黑土含较多的蒙脱石。④ 果园土壤的腐殖质总量较低,活性腐殖质一般占全碳量的 30% ~ 50%,胡敏酸与富里酸的比值的差异较大,土壤 pH 值较高的 H/F 比值也较高,剖面上的分布以表层较高,向下降低。⑤ 土壤中酶的活性深受土壤有机质含量及人为生产活动的影响,土壤中的磷酸酶又与土壤的 pH

值密切相关,而过氧化氢酶活性主要与土壤质地的砂黏性有关。⑥ 相关分析及主因子分析表明,果园土壤各肥力因子之间的关系可以用影响土壤肥力的几个重要过程或作用来加以描述,主要是土壤有机质积累和矿化过程、土壤水稳性结构体形成过程和土壤 N、P 等养分的供应过程。各肥力因子在不同的作用或过程中起着不同的作用。

### (十) 高东升教授

高东升教授探讨了紫外线 B(UV - B)对设施桃碳氮营养分配和果实品质的影响。提出紫外光中的 UV - A:320 ~ 400 nm,长波紫外辐射,占 UV 总量的 95% 以上,对生物体影响较小;UV - B:280 ~ 320 nm,中波紫外辐射,占比很小,但对生物体代谢影响很大,为生物有效辐射。通过选取对植物生长和果实品质形成的最基本的两种元素 C 和 N,研究 UV - B 对设施桃树 C、N 营养分配,枝条生长及果实品质的影响,探讨通过 UV - B 实现设施果树品质提高及旺长控制的途径。

最后高教授指出,UV - B 能够有效控制新梢旺长,并对 C、N 在分配的影响与剂量和使用时期有关。不同时期,特别是果实品质形成的关键时期,可通过控制 UV - B 调节 C、N 在各部位的分配。另外,补充适量的 UV - B 能够提高单果重、可溶性糖及可溶性固形物含量。高强度的 UV - B 引起果实酸含量升高,造成糖酸比降低。UV - B 对促进果实着色有良好的效果。

### (十一) 姜远茂教授

姜远茂教授介绍了山东苹果近年的产量面积情况,并以基本覆盖山东栖霞市的土样跟踪数据介绍了土壤养分状况。通过对 1984 年、1998 年、2012 年同一地点的土壤养分有机质、全氮、C/N、有效磷、速效钾以及 pH 值的变化情况进行分析,指出高投入导致土壤 pH 值和 C/N 降幅过快、P 和 K 增幅过快、果园土壤富营养化。重点阐述了苹果 N 素管理技术,介绍了苹果园 N 素损失途径及在土壤中的维持时间。根据前期的实验结果,利用示意图形象地展示了果园系统中 N 素的损失途径及相应损失率,并利用不同肥料在土壤中  $N_{min}$  的动态变化阐述了 N 素在土壤中维持时间短这一特点,并从以下 5 个方面介绍了 N 素管理技术要点:总量控制、以果定量、重视基肥、追肥后移和分层调控。

### (十二) Elizabeth Beth Mitcham 教授

Elizabeth Beth Mitcham 教授首先以苹果苦痘病、番茄脐腐病为例分别介绍了这两类症状的发生情况,指出其都与缺钙有关,但是相关性水平不高,因此缺

钙不是主要原因。此外,水分胁迫会导致脐腐病的发生,生物因素也可以影响缺钙症的发生。其后,他主要从钙转运蛋白、赤霉素、脱落酸、果胶甲酯酶等方面进行了论述。

(1) 钙转运蛋白:一方面细胞壁转运蛋白的活性通过影响细胞膜的稳定性进而控制了苦痘病的发生,另一方面增加液泡转运蛋白的活性提高了果实 Ca 含量却增加了苦痘病的发生。

(2) 赤霉素:通过控制  $H^+ - ATP$  酶来调控细胞中 Ca 的含量,并利用生产现象进一步解释,如增加赤霉素的措施、树体生长过旺、喷施赤霉素、修剪过重加重苦痘病的发生。相反,抑制苦痘病发生率的措施如施生长前期施用生长抑制剂、采前施用乙烯利抑制 GA,都可以减少苦痘病的发生。

(3) 脱落酸(ABA):脱落酸可以抑制脐腐病发生,并用水和脱落酸在盆栽番茄上的对比试验进行了证明。降低叶片汁液流量、增加果实液流量,最终的效果是降低苦痘病的发生。

(4) 果胶甲酯酶:其高度表达和较高的酯化果胶数量提高了 Ca 和细胞壁的结合程度,也提高了果实在低钙条件下对番茄脐腐病的抗性。对于苦痘病,利用细胞作用示意图、苦痘病果实和正常果实中果胶甲酯酶的表达水平、果实干重、脱脂作用等图表进行分析。对于脐腐病,利用果胶酯酶活性不同的两种品种,分析了其表达水平,对脐腐病发生率、果胶化程度以及果实中的含钙量影响的图表进行说明。

最后,Elizabeth Beth Mitcham 教授希望通过了解生物过程找到最佳的解决方法,或通过筛抗性品种来进行解决。

### (十三) 关军锋研究员

关军锋研究员针对 Ca 与果实生理和储藏病害的关系做了报告。首先他介绍了 Ca 与果实形成、发育的关系,主要从 Ca 与花芽分化、授粉授精、果实发育的关系及影响 Ca 吸收的因素进行报告,明确了影响 Ca 吸收的因素是果个和砧木。其次从生理病害如以苦痘病、褐斑病和顶腐病为例,分析其与 Ca 的关系。由果实中苦痘病的发生部位得出,44% 的病斑分布在胴部。通过对比正常果和病果在各部位各个元素的含量,发现正常果表皮含钙量高,但是 Mg、K 含量低。对于褐斑病,Ca 的含量及 Ca/K 比值越高,病情越轻,单果重越大,发病越重。最后,他介绍了果实品质和储藏性能,钙肥可以在不同程度上减轻褐斑病的发生情况。报告中还指出套袋前喷施钙、硼肥可以不同程度地增加果皮、果肉中的 Ca 含量,能显著减轻储藏期间褐斑病的发生率,同时增加硬度,降低 PG 活性。

#### (十四) 王衍安教授

王衍安教授就不同 Zn 水平果园苹果树 Zn 含量周年变化动态及其调控做了报告。他首先分析了苹果树缺锌的现状背景,指出缺锌最主要的原因即是盲目施肥导致的果园养分失调,如大量元素过剩、中微量元素不足和部分重金属元素超标等,尤其苹果树的环剥过重导致根系饥饿加剧、有机营养亏缺。

土壤有效锌垂直分布不平衡,根系集中分布层(20~40 cm)有效锌浓度低,正常根系一年中有三次生根高峰期,而莲座丛树根系仅有一次或两次高峰,并且苹果树芽具有隔年发生的特点。苹果根系 Zn 的横向分布特点表现为,根系从土壤中吸收大量的 Zn 在粗根皮层中累积,病树根系皮层和木质部的累积量均大于正常树。王教授总结提出,根系集中分布层 Zn 含量低是导致缺锌的重要原因,缺锌苹果小叶病的发生改变了苹果树体内 Zn 的周年运转分配规律和 Zn 营养源-库动态关系,花芽分化期根系 Zn 累积导致地上部分分化器官有效态锌含量低是导致苹果小叶病发生的关键因素。

随后,王教授通过分析不同物候期大田苹果根有机酸的浓度及根内源有机酸浓度与锌浓度相关性,提出小叶病树根系有机酸可能调控了根系锌浓度。因此,调控缺锌小叶病植株的锌营养主要包括两种措施:地下根际调控和根外补锌。地下根际调控局部促根,可以在地下施用海藻肥(1 kg)、锌肥(150 g)和尿素(240 g)等;根外补锌包括根外喷锌技术和枝干绑缚补锌技术,但要遵循落叶前根外喷锌和小叶病防治要从幼树抓起的原则。

#### (十五) 张新忠教授

张新忠教授对不同砧木苹果树根系发育的差异进行了详细的讲解。首先他对根系生长高峰、细根寿命、细根直径、根量、垂直分布做了介绍。接着采用微根管法探讨了矮化砧木、矮化自根砧和矮化中间砧的根系发育差异。通过 WinRHIZO TRON 图像分析了软件对根系生长的渐变过程、整体总根长密度动态变化和根系的空间分布进行分析,结论如下:乔砧树总根量大,矮化中间砧树总根量较小;矮化砧自根砧树总根量最小。红富士/八棱海棠根系分布深广,红富士/M9 根系分布浅窄,红富士/SH40 根系分布深窄。M9 或 SH40 做中间砧降低总根量但不改变根系构型

此外,他也对不同砧穗组合苹果树细根发育做了研究,明确了矮化自根砧细根直径更小,细根寿命更短;中间砧对细根直径分布和细根寿命无显著影响。另外,他也对细根发生的季节变化规律进行了研究,明确了不同砧木苹果树细根发生的季节变化规律不同:富士/SH40 细根发生高峰在春夏季;富士/M9 细根发生

高峰在秋季;其他砧穗组合细根发生高峰在夏秋季。不同季节发生的细根寿命不同,夏、秋季发生的细根寿命较长,冬、春季发生的细根寿命较短。

### (十六) 姚丽贤研究员

姚丽贤研究员对“荔枝不同比例钾氮肥施用效应”做了详细的讲解。目前荔枝的种植存在几种现状:①荔枝园土壤 K 养分含量低;②荔枝叶片 K 含量低、果实钾累积少;③荔枝成花坐果较难,产量低且不稳。通过调查 423 个点发现,我国荔枝主产区荔枝园土壤速效钾含量平均为 63.3 mg/kg,荔枝园土壤 K 含量整体为中下水平。

同时,姚丽贤研究员也对我国荔枝叶片养分含量状况做了评价。N 含量在 1.56% ~ 1.92%,K 含量在 0.87% ~ 1.26%。每吨荔枝果实养分带走比例不同地区不同品种都有所差异。中国地区的桂味的 N:P:K:Ca:Mg 之比为 1:0.18:1.79:0.22:0.12,而南非荔枝的 N、P、K、Ca、Mg 之比为 1:0.2:1.8:1.1:0.2。钾、氮肥施用比例为 1.0 ~ 1.2 时,妃子笑较适宜生长。钾、氮肥比例过高或过低均不利于荔枝生长发育,降低果实品质、风味及产量和种植效益。在生产上通过施肥调控荔枝果实大小、品质形成及加工特性是可行的。其调控机制尚需深入研究。果实膨大期过量施钾加剧裂果。

### (十七) 束怀瑞院士

会议结束时,束怀瑞院士做了总结发言:

(1) 多学科解决一个共同的重大问题意义重大。在目前大量使用化肥土壤肥力退化,单一作物栽培模式集约生产,病虫害严重,用药多,污染重,成本高,对生产者和消费者造成伤害的情况下,要研究建立以生态优化可持续发展为目标,利用生物多样性、生态互补适应性,提高土壤肥力,增加有机质,降低成本,高效的新栽培制度。这个制度应从中国国情出发,做到现实有效和从未来战略着眼。

(2) 从水肥资源节约高效考虑,应重视两个基础(土壤肥力缓冲性基础和树体储藏营养基础),以碳氮营养结合为重点,在重视根系生物学、土壤微生物体系研究和根微域营养富积和亏缺两个特点的前提下,制定营养诊断限量平衡施肥技术,推行水肥一体化要重视田间基本建设。

(3) 目前果树发展状况要克服盲目性,从苗木质量抓起,重视市场机制完善。按生态适应区、市场需求、资源多样性科学布局。加强生产者质量安全意识,经营者诚信品牌意识和技术经营工作的信息化建设。

(4) 高端人才培养重视科学基础的提高,对生产实际的系统掌握,以及积极参加国际学术交流。研究者要稳定方向,明确目标,增强实践操作现代训练,持

之以恒地扎实工作是必要的条件。

#### 四、小 结

果园土壤管理与果树营养是果树学、土壤学、植物营养学、生理生态学等多个学科的交叉领域,对于优质高效果树生产和果品安全研究具有重要的价值和推广意义。此次论坛的深入广泛研讨,凝聚了各领域专家学者对果园土壤管理与果树营养学科的发展共识,提出了可行的研究发展思路,形成了更加有利于果园土壤管理与果树营养的研究系统和发展共识,将有力地推动该领域在我国果树产业可持续发展中的贡献。

## 第二部分

### 参会院士简介

---





## 参会院士简介



**尹伟伦** 中国工程院院士。原北京林业大学校长，现任中国工程院农业学部主任，北京市科学技术协会副主席，教育部科技委农林学部常务副主任，中国林学会副理事长、法人，国际杨树委员会执委，中国杨树委员会主席，第十一届全国政协委员等。

多年在林学和生物学交叉领域开展树木光合性能，生长发育调控，抗旱、抗盐机制，精准节水灌溉等方面的科学研究。获国家发明奖和科技进步奖5项，国家级教学成果奖2项，省部级科技进步奖16项。为国家级有突出贡献专家，享受国务院政府特殊津贴，曾获得全国优秀科技工作者、全国优秀教师、全国模范教师、首都劳动奖章、全国优秀林业科技工作者、宝钢优秀教师特等奖、北京市优秀教育工作者、北京市有突出贡献的科学技术管理人才、北京市教育创新标兵等荣誉称号。



**方智远** 中国工程院院士,蔬菜遗传育种专家。1939年生,1964年8月在武汉大学毕业后到中国农业科学院工作至今,曾先后任院蔬菜花卉研究所副所长、所长兼党委书记(1987—2000),现为该所研究员、博士生导师。兼任中国园艺学会理事长、中国农学会副会长、国务院学位委员会学科评议组召集人、国家农业转基因安全委员会委员、北京市科学技术协会副主席、北京市学位委员会副主任、《中国园艺学报》主编,武汉大学、中国农业大学、湖南农业大学等高校

兼职教授等。1995年当选为中国工程院院士,现任农业学部副主任。第九届、第十届全国政协委员。

作为主持人或主持人之一获国家发明奖一等奖1项(1985),国家科技进步奖二等奖2项(1991、1998),省、部级成果奖5项,发明专利3项,并先后荣获何梁何利科技进步奖(1996)、全国五一劳动奖章(1988、2001)、全国劳动模范(2000)、人事部杰出专业人才一等功(1999)等奖励,发表学术论文80余篇,主编或参编《蔬菜学》、《甘蓝栽培技术》等科技著作10余部。



**束怀瑞** 中国工程院院士。1929年生,山东省淄博人。1950年毕业于山东农学院园艺系并留校任教,现为教授、博士生导师,2001年12月当选为中国工程院院士。现兼任中国园艺学会常务理事,山东省人民政府农业专家顾问团副团长,国家苹果工程技术研究中心主任。

自1950年以来,束怀瑞教授一直从事果树教学、科研和生产工作。他在果树碳氮营养、根系生物学和丰优技术原理方面取得了丰硕成果,获国家科技进步奖二等奖1项,省部级科技进步奖一等奖2项、二等奖4项。发明的“地膜覆盖穴贮肥水早栽技术”被国家科委列为重点推广项目,在17省市推广470万亩;“山东省百万亩苹果幼树丰产优质技术开发研究”开发应用面积108万亩,成果应用创造了巨大的经济效益。



# 第三部分

## 专题报告

---



# 海藻有机肥对苹果园土壤微生物生态的影响

陈伟 等

山东农业大学食品科学与工程学院

**摘要:**利用山东青岛海边丰富的海带及浒苔资源,经过高温发酵制作海藻生物有机肥。同时以山东烟台的10年树龄苹果园进行海藻有机肥施肥实验,2008年秋季施肥,两种肥料的施肥量一致,分别以7.5 kg/株、15 kg/株、22.5 kg/株三种不同的量施入果园中,次年的5月和10月采集土样,探讨施用海藻生物有机肥对果园土壤微生物生物量、种群结构及酶活性的影响。5月份的采样检测结果表明:施用海藻生物有机肥可显著增加土壤中可培养细菌及放线菌的数量,细菌数量为对照土壤的2.81~9.30倍,放线菌数量为对照土壤的1.95~18.62倍。施肥可显著提高土壤荧光素二乙酸酯酶及脲酶活性,可显著提高微生物生物量,脂肪酸甲酯总量为对照土壤的1.60~2.64倍。施用海带肥和浒苔肥可增加土壤微生物中单不饱和脂肪酸的含量比例。海带肥及22.5 kg/株浒苔肥处理对土壤微生物种群结构的影响较大,而7.5 kg/株和15 kg/株浒苔肥对微生物种群结构的影响较小。在10月份的采样检测中,海带肥及浒苔肥对土壤微生物的影响已减弱。

**关键词:**海藻有机肥;苹果园;土壤微生物

## 一、引言

生物有机肥是确保发展高效农业的关键措施之一,有机肥肥料应用于农业生产中,不仅能使作物获得特定的肥料效应,而且通过补充足量的有机物质给功能微生物提供足够的能源物质,使这些功能微生物在土壤中易于定殖和繁殖,充分发挥其促进作物养分吸收、刺激植物生长、拮抗某些土传病原微生物等作用(杨兴明等,2008)。

大量的研究证实,化学肥料的过量投入引起土壤有机质含量的降低,导致了土壤质量的恶化,因此,依靠丰富的农业生物资源变得越来越重要(Liu et al., 2009)。在国内的果树生产中,果农为追求产量,大量施用化肥,有机肥用量不足,造成土壤沙化,土壤病害加重,影响果树的产量、质量、效益(束怀瑞,2003)。



海藻作为土壤肥料的利用在4世纪已有记载,当时的Palladius人用海藻代替部分土壤肥料,以便改善土壤性质(李书琴,王孝举,1995)。用海藻作为肥料不但可以改善土壤的理化性状,还可以提高土壤微生物的量和活性(Haslam, Hopkins, 1996)。

土壤微生物是土壤生态系统的重要组分,是土壤生态系统肥力的重要生物学指标,微生物群落结构和功能多样性可很好地描述土壤质量(李娟等,2008)。近年来对海藻有机肥效果的研究多集中在海藻有机肥对作物生长的促进及品质的改善方面(吴永沛等,2006),施用海藻有机肥对果园土壤微生物多样性的影响未见报道。

本试验利用山东青岛海边丰富的海带及浒苔资源,经过高温发酵制作海带和浒苔生物有机肥,以烟台的苹果园为试验果园,研究了施用海藻有机肥对果园土壤微生物的量和土壤酶活、微生物群落结构的影响,旨在探索在果园生态系统中施用海藻生物有机肥对土壤肥力及土壤质量的影响,为海藻生物有机肥的合理开发及科学施用提供理论依据。

## 二、材料与方法

### (一) 样地概况

山东省烟台市地处山东半岛中部,位于东经 $119^{\circ}34'$ ~ $121^{\circ}57'$ ,北纬 $36^{\circ}16'$ ~ $38^{\circ}23'$ ,属温带季风气候,年平均降水量为651.9 mm,年平均气温 $11.8^{\circ}\text{C}$ ,年平均相对湿度为68%,年平均日照时数2698.4 h。

### (二) 海藻有机肥的制作

#### 1. 海藻有机肥生产工艺

海藻有机肥生产工艺流程为:海藻+粪肥+辅料→预处理→高温好氧发酵→干燥→粉碎→筛分→包装→粉状生物有机肥→入库海藻有机肥(包括海带有有机肥和浒苔有机肥,下同)的制作原料选用山东青岛海岸的新鲜海带及浒苔,新鲜海带或浒苔6 t分别进行堆沤腐烂,随后打碎,均匀添加20 t鸡粪、秸秆、花生壳,混合均匀后添加专用发酵菌剂,搅拌,好氧发酵40 d,筛分,计量包装。

#### 2. 海藻有机肥的营养成分

对海带有有机肥及浒苔有机肥进行成分测定如表1所示。

表 1 海藻有机肥的营养成分

	全氮	全碳	P	Ca	Mg	Zn	Fe	Mn	K	Na
海带有机肥	2.003% a	39.79% b	69.968c	25.342a	8.202b	0.122a	19.262b	0.414a	74.830a	32.120a
浒苔有机肥	1.143% b	37.39% c	76.209b	12.470b	12.440a	0.127a	24.092a	0.423a	33.450b	17.470b

注: P ~ Na 单位为 g/kg。每列内相同字母表示在 5% 水平上差异不显著。

### (三) 试验设计

选用烟台市福山区 10 年树龄的苹果园进行施肥试验, 土壤为棕壤土。2008 年 11 月进行施肥处理, 以两种海藻有机肥进行不同施肥量处理(表 2), 条状施肥, 每个处理 6 棵树, 6 次重复。2009 年 5 月和 10 月分别采集土样, 采样部位为树冠投影内缘, 离树干 1 m 左右, 避开施肥区, 离地表 5 ~ 20 cm 处取土放入无菌袋中, 过 2 mm 筛, 一部分放入 4℃ 冰箱进行微生物指标的测定, 一部分自然风干后测定理化指标。

表 2 不同种类及数量海藻有机肥处理

单位: kg/株

施肥处理	施用海藻有机肥种类及数量
T1	海带有机肥 22.5
T2	海带有机肥 15
T3	海带有机肥 7.5
T4	浒苔有机肥 22.5
T5	浒苔有机肥 15
T6	浒苔有机肥 7.5
T7	无有机肥处理

### (四) 测定方法

#### 1. 土壤化学成分的测定

土壤 pH 值采用 1:5 土水比用 pH 计测定; 有机质用重铬酸钾容量法; 全氮用凯氏消煮 - 半微量蒸馏法; 速效磷用钼蓝比色法; 速效钾用火焰光度法(刘光崧等, 1996)。

#### 2. 土壤微生物群落区系测定

土壤微生物群落区系测定采用平板培养法。细菌采用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基; 真菌采用马丁孟加拉红琼脂培养基; 放线菌采用改良‘高氏 1 号’培养基(中国科学院南京土壤研究所微生物室, 1985)。

### 3. 土壤酶活测定

过氧化氢酶测定用高锰酸钾滴定法;脲酶测定用比色法(关松荫,1986)。

FDA 酶活性测定采用 Schnürer 和 Rosswall 的方法(Schnürer, Rosswall, 1982)。将 FDA 溶于丙酮,配制成浓度为 2 mg/mL 的母液, -20℃ 储存。将 0.5 g 土壤加入 20 mL 磷酸缓冲液(0.1 mol/L, pH 7.8, 灭菌),加入 FDA 母液至终浓度为 10 μg/mL, 30℃ 200 r/min 摇床显色 3 h, 加入等体积丙酮终止反应, 6000 r/min 离心 5 min, 取上清液在 490 nm 处测定吸光度。

### 4. 土壤微生物 FAME 的测定

脂肪酸的提取和甲酯化处理采用 Simmons 和 Coleman 的方法(Simmons, Coleman, 2008)。将 3 g 新鲜土样加入 30 mL 玻璃离心管,每管加入 15 mL 的 0.2 mol/L KOH 甲醇溶液,加盖。37℃ 水浴 1 h, 每 10 min 涡旋 20 s(脂肪酸释放,并且甲酯化),加入 3 mL 的 1 mol/L 醋酸溶液中和 pH 值。每管加入 10 mL 正己烷混匀(涡旋 30 s), 480 g 离心 20 min, 将 7 mL 正己烷相转移到干净试管中,在 N<sub>2</sub> 气流下挥发掉溶剂,将提取的 FAME 溶解于 1.0 mL 的 1:1(V/V) 正己烷:甲基叔丁基醚。加入 1.0 mL 的 10 μg/mL 十九烷酸甲酯做内标(AccuStandard Inc.),进行 GC-MS 分析。

标准样品采用 37 种 FAME 的混合物(Supelco Inc.)。结合质谱分析和保留时间来进行脂肪酸的定性,利用相对校正因子来定量。二羧酸和碳链长度超过 20 个碳的脂肪酸在后续分析中被排除,以消除来自植物和动物的脂肪酸的影响(Zelles et al., 1995)。

脂肪酸甲酯采用脂类标记物的系统命名法:A:B $\omega$ C。A 表示碳原子数,B 表示双键的数目, $\omega$ C 表示从脂肪族的一端开始第一个不饱和键所在的碳原子数。同分异构体用后缀 c 或 t 来表示;甲基支链的位置用前缀 i 和 a 来描述,甲基用符号 Me 来表示(Simmons, Coleman, 2008)。

表征革兰氏阳性菌的有 a14:0、15:0、i16:0、a16:0、i17:0;表征革兰氏阴性菌的有 14:0、15:0、16:1 $\omega$ 7c、16:1 $\omega$ 9c、18:1 $\omega$ 5c、18:1 $\omega$ 7c;10Me17:0 用来指示放线菌;16:1 $\omega$ 5c 既指示丛枝菌根真菌又指示革兰氏阴性菌;18:1 $\omega$ 9c 指示革兰氏阳性菌和真菌;18:2 $\omega$ 6c 指示真菌(Zhang et al., 2007);16:0 不指示特定的微生物类群,但是为含量最高的 FAME,与总生物量有很好的相关性(Bradley et al., 2006)。

## (五) 数据处理

数据处理和分析采用 SAS v9.0 软件。土壤理化性质、微生物群落区系及酶活测定的数值处理采用方差分析(ANOVA);脂肪酸甲酯数据采用主成分分析(PCA)。

### 三、结果与分析

#### (一) 施用海藻有机肥对果园土壤理化性质的影响

将 5 月份和 10 月份采集的土样混合后进行土壤理化性质的测定,施用海带有机肥及浒苔有机肥可显著提高果园有机质、全氮、速效钾和速效磷的含量(表 3),T6 处理的土壤 pH 值与对照土壤无显著差异,但其他处理,特别是海带有机肥处理可以显著增加土壤的 pH 值,对酸性土壤有很好的改良作用。相对来说,海带有机肥的肥效要优于浒苔有机肥。

表 3 施用海藻有机肥对果园土壤理化性质的影响

施肥处理	pH	有机质/(g/kg)	全氮/(g/kg)	速效钾/(mg/kg)	速效磷/(mg/kg)
T1	6.69a	7.73a	0.796a	296.33a	136.66a
T2	6.32b	7.57a	0.703b	286.70a	136.27a
T3	5.18c	6.51b	0.620c	245.90b	134.29a
T4	4.83d	6.82b	0.633c	212.23bc	122.45b
T5	4.80d	6.56b	0.564d	224.20bc	111.59c
T6	4.35e	5.57c	0.537e	195.40c	58.11d
T7	4.49e	5.09d	0.473f	106.50d	49.91e

注:每列内相同字母表示在 5% 水平上差异不显著。

#### (二) 施用海藻有机肥对果园土壤可培养微生物的影响

在 5 月份采集的果园土壤中,施用海藻有机肥的土壤中可培养细菌、放线菌的数量显著大于未施海藻有机肥的对照土壤(表 4),细菌数量为对照土壤的 2.81~9.30 倍,放线菌数量为对照土壤的 1.95~18.62 倍,海带有机肥的效果优于浒苔有机肥。但在施用同一种肥料的情况下,增加肥料的施用量并不能使细菌和放线菌的数量成比例地增长。施用海藻有机肥对可培养真菌数量的影响不显著,但可显著提高细菌/真菌的比例。

表 4 施用海藻有机肥对果园土壤可培养微生物的影响

施肥处理	细菌/( $10^6$ CFU/g dry soil)	放线菌/( $10^5$ CFU/g dry soil)	真菌/( $10^4$ CFU/g dry soil)	细菌/真菌
T1	10.23a	72.44a	15.14a	67.57
T2	5.89b	13.18b	7.08d	83.19
T3	4.68bc	13.80b	12.02b	38.94
2009 年 5 月份土样				
T4	5.01bc	9.33c	8.91cd	56.23
T5	4.37c	8.51cd	8.71cd	50.17
T6	3.09d	7.59d	4.27e	72.37
T7	1.10e	3.89e	9.55bc	11.52
T1	22.91a	38.02a	4.68cd	489.53
T2	15.85b	28.84b	2.82e	562.06
T3	13.18bc	20.42c	6.17b	213.61
2009 年 10 月份土样				
T4	10.72c	18.62c	10.23a	104.79
T5	4.79d	15.14d	2.51e	190.84
T6	3.98d	11.75e	3.98d	100.00
T7	2.88e	12.02e	5.50bc	52.36

注: 每列内相同字母表示在 5% 水平上差异不显著。

在 10 月份采集的土样中, 施用海带有有机肥和浒苔有机肥的土壤中细菌和放线菌数量仍显著高于对照土壤, 但其数量差异要小于 5 月份土样。10 月份土样中的可培养细菌和放线菌数量总体来讲要高于 5 月份土样, 与细菌和放线菌不同, 可培养真菌的数量在 5 月份土样中高。

### (三) 施用海藻有机肥对果园土壤酶活性的影响

施用海藻有机肥可提高土壤中 FDA 酶及脲酶活性, FDA 酶活性为对照土壤的 1.25 ~ 1.88 倍, 脲酶活性为对照土壤的 1.71 ~ 2.79 倍(表 5)。但在 10 月份土样中, 这种影响已不显著。施用海藻有机肥对过氧化氢酶活性无显著影响。

表 5 施用海藻有机肥对果园土壤酶活性的影响

施肥处理	FDA 酶活性 $A_{490}$ /[units/(g soil · h)]	过氧化氢酶活性 /[mL KMnO <sub>4</sub> /(g soil · 20 min)]	脲酶活性 /[mg NH <sub>3</sub> - N/(g soil · 24 h)]
T1	0.30a	13.46b	0.039a
T2	0.26ab	13.51ab	0.032b
T3	0.23bc	13.21b	0.030b
2009 年 5 月份土样			
T4	0.20bc	13.41b	0.024c
T5	0.23bc	13.76a	0.027c
T6	0.23bc	13.82a	0.026c
T7	0.16d	13.81a	0.014d
T1	0.227a	10.36a	0.033bc
T2	0.202bc	10.46a	0.028c
T3	0.220a	10.35a	0.065a
2009 年 10 月份土样			
T4	0.205bc	10.22a	0.044b
T5	0.197c	8.76b	0.026c
T6	0.198c	9.87a	0.033bc
T7	0.215ab	10.37a	0.023c

注:每列内相同字母表示在 5% 水平上差异不显著。

#### (四) 施用海藻有机肥对果园土壤微生物 FAME 的影响

在 5 月份采集的土样中,各种施肥处理的土壤中微生物 FAME 总量显著高于对照土壤,为对照土壤的 1.60 ~ 2.64 倍(表 6)。在 10 月份采集的土样中,海带有有机肥处理及 22.5 kg 浒苔有机肥处理的土壤中 FAME 总量仍显著高于对照土壤,但 15 kg 浒苔有机肥及 7.5 kg 浒苔有机肥处理的土壤中 FAME 总量已与对照土壤无显著差异。

表 6 施用海藻有机肥对果园土壤微生物脂肪酸甲酯的影响

施肥处理	FAME 总量 (nmol/g dry soil)	饱和直链脂肪酸	支链脂肪酸甲酯	单不饱和脂肪酸甲酯	多不饱和脂肪酸甲酯
T1	51.84a	24.34% d	5.51% b	47.45% a	22.71% b
T2	42.56b	31.88% bc	13.34% a	43.61a% b	11.16% d
T3	45.04b	30.14% c	6.16% b	32.91% d	30.79% a
5 月份土样					
T4	40.65b	31.12% bc	5.43% b	35.66% cd	27.78% a
T5	32.70c	35.93% b	13.41% a	39.72% bc	10.94% d
T6	31.43c	32.65% bc	6.54% b	43.08% ab	17.74% c
T7	19.61d	48.30% a	7.26% b	28.86% e	15.58% cd
T1	74.01a	38.56% c	22.01% a	33.75% a	4.60% a
T2	68.19a	38.89% c	19.88% a	34.79% a	4.61% a
T3	53.27c	40.99% c	25.50% a	28.03% ab	4.97% a
10 月份土样					
T4	62.54b	38.77% c	23.42% a	32.04% ab	3.96% a
T5	40.09d	50.89% b	27.72% a	20.52% b	0.88% b
T6	24.66e	59.65% a	17.66% a	21.32% b	1.37% b
T7	33.80de	39.77% c	26.39% a	28.99% ab	4.86% a

注:每列内相同字母表示在 5% 水平上差异不显著。

对各种脂肪酸甲酯百分比结构的分析表明,在 5 月份采集的土壤中,施肥处理的土壤中单不饱和脂肪酸含量显著高于对照土壤,为对照土壤的 1.14 ~ 1.64 倍,但施肥处理的土壤中饱和脂肪酸含量显著低于对照土壤。在 10 月采集的土样中,施肥对饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸含量的影响已不显著。施用海藻有机肥对支链脂肪酸及多不饱和脂肪酸的百分比含量没有显著影响。

为进一步分析施肥对微生物种群结构的影响,对几种主要的含量较高的脂肪酸甲酯进行主成分分析。点的位置相距越远,表明样本的微生物种群结构相差越大。在 5 月采集的土样中,T1 和 T2 处理的土样与其他样本相距较远,表明 T1 和 T2 处理的土样微生物种群结构与其他土样相差较大(图 1),T5、T6 处理的土样微生物种群结构与对照土样的微生物种群结构较相近。这可能表明施用 15 kg 浒苔有机肥及 7.5 kg 浒苔肥不能显著改变土壤微生物种群结构,而海带有有机肥相较于浒苔有机肥,特别是 22.5 kg 海带有有机肥和 15 kg 海带有有机肥处理对

土壤微生物种群结构的改变较大。18:1 $\omega$ 7c、16:1 $\omega$ 7c、i16:0、16:1 $\omega$ 9c 与 PC2 显著正相关(图 2),表明这些脂肪酸在 T1 和 T2 处理的土样中含量丰富,即革兰氏阴性菌及 i16:0 表征的革兰氏阳性菌含量丰富;T3 和 T4 处理在第四象限,表明 18:1 $\omega$ 9c 和 18:2 $\omega$ 6c 的含量丰富;T5、T6、T7 处理与 PC1 和 PC2 均为负相关,但在脂肪酸甲酯位置图中,没有脂肪酸与 PC1 和 PC2 均为负相关,表明 T5、T6、T7 处理的土样中所有脂肪酸的含量均较低。

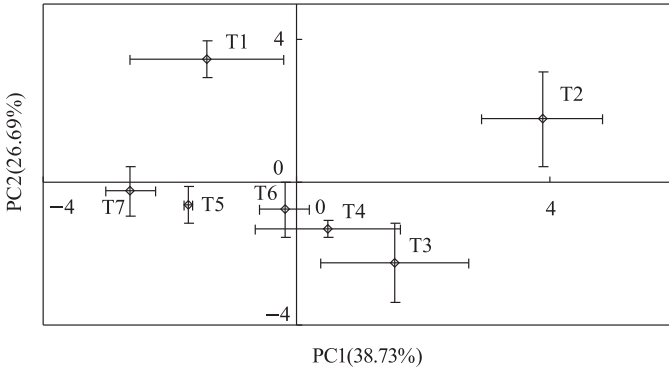


图 1 果园土壤微生物脂肪酸甲酯主成分分析(5 月份土样)

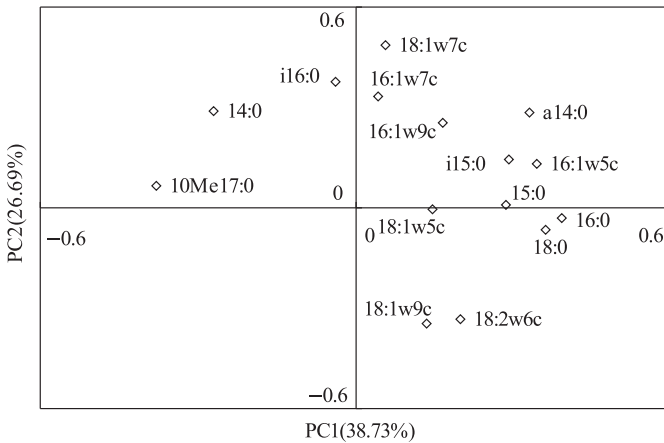


图 2 5 月份土样主成分分析中脂肪酸甲酯位置图

10 月份土样与 5 月份土样的微生物种群结构有所不同(图 3),T1、T3、T4 处理的土样微生物种群结构与对照土样差异较大,而 T2、T5、T6 处理的土样微生物种群结构与对照土样的微生物种群结构差异较小。除了 18:0 和 10 Me17:0 与 PC1 负相关外,其他脂肪酸均与 PC1 显著正相关(图 4),表明除了 18:0 和 10Me17:0,其他脂肪酸均在 T1、T3、T4 土样中含量丰富,在 T2、T5、T6、T7 处理的



土样中含量较少。

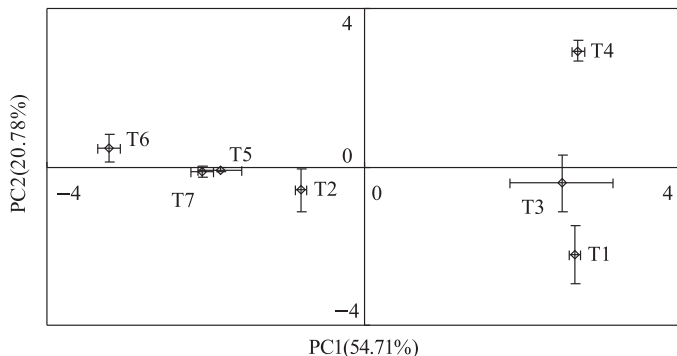


图3 果园土壤微生物脂肪酸甲酯主成分分析(10月份土样)

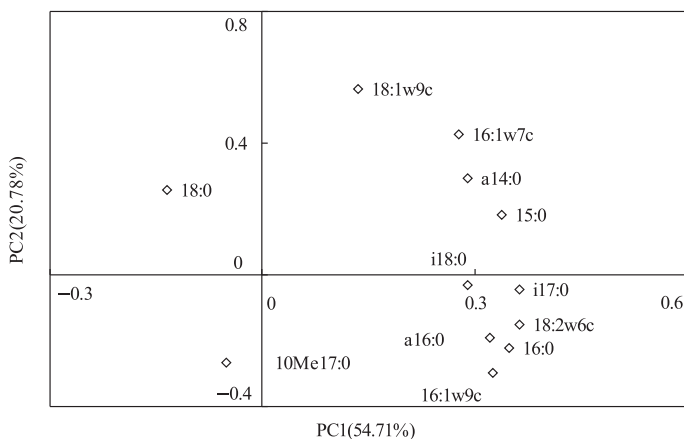


图4 10月份土样主成分分析中脂肪酸甲酯位置图

将10月份土样与5月份的土样微生物种群结构进行比较发现,变化较大的为T1、T2、T3、T4处理的土样,而T5、T6及对照处理土样的微生物种群结构相对变化较小,这可能表明季节的影响相对较小,而海带有有机肥处理及22.5 kg 浒苔有机肥处理在较大程度上改变了微生物的种群结构,但其影响在10月份已减弱。

#### 四、讨 论

有研究表明,施用有机肥可以提高土壤有机质含量,增加土壤肥力(杨兴明等,2008)。在本实验中,施用海带有有机肥及浒苔有机肥可显著提高果园土壤中有机质、全氮、速效钾和速效磷的含量。烟台苹果产区土壤有机质含量普遍偏低,超过60%的果园土壤有机质含量在1%以下,严重影响苹果的品质和苹果种

植的可持续发展(束怀瑞,2003)。通过施用有机肥提高有机质含量是增加苹果品质和促进苹果种植可持续发展的关键。Shisanya 等的研究也表明,合理施用绿肥和厩肥不仅可以提高土壤中 C、N 的含量,而且与不施肥的土壤对照相比,其可以在一定程度上提高土壤 pH 值,改良酸性土壤(Shisanya et al.,2010)。

土壤微生物量可以作为指示肥力的重要指标,是土壤生物指标的基本测试项目(Peacock et al.,2001)。在 Haslam 等的研究中,添加海藻有机肥的土壤要比对照土壤的微生物生物量大,但微生物生物量的增长与海藻的添加量并不成比例(Haslam, Hopkins,1996)。大量的研究表明,施加有机肥对土壤微生物生物量和活性都有所提高,也可以提高作物对营养成分的利用率(Peacock et al.,2001)。本研究中施用海带有有机肥和浒苔有机肥可以显著提高土壤中可培养细菌及放线菌的数量,对可培养真菌数量无显著影响,在施用同一种肥料的情况下,增加肥料的施用量并不能使细菌和放线菌的数量成比例地增长。

本研究中施用海藻有机肥可提高土壤中 FDA 酶及脲酶活性,但在 10 月份土样中,这种影响已不显著。在以往的研究中,一般认为施肥可提高微生物的活性,且有机肥的影响大于无机肥的影响(张奇春等,2010)。施用海藻有机肥对过氧化氢酶活性无显著影响,这与李娟等的研究一致(李娟等,2008)。在李娟等的研究中,长期有机无机肥配施可显著提高土壤的脲酶活性,但对过氧化氢酶活性无显著影响,

胞内酶会在细胞死亡后的几分钟或几小时内分解并释放磷脂脂肪酸的磷酸基团,因此总的 FAME 含量是活的微生物生物量的指标(Peacock et al.,2001)。施用海藻肥可显著提高土壤中总的微生物 FAME 含量,这可能表明施用海带有有机肥和浒苔有机肥可以显著提高土壤微生物生物量。施用海藻有机肥可显著提高果园土壤微生物单不饱和脂肪酸的百分比含量,降低饱和脂肪酸的比例,这与张奇春等的研究一致(张奇春等,2010)。由于单不饱和脂肪酸主要与革兰氏阴性菌相关,与有机质含量及丰富的可利用底物有关(Peacock et al.,2001),这可能表明海藻有机肥可以增加土壤中革兰氏阴性菌的含量,提高土壤中有机质含量。施肥对饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸含量的影响持续时间较短,在 10 月采集的土样中已无显著影响。

施用海藻有机肥并不能显著增加多不饱和脂肪酸 18:2 $\omega$ 6c 的含量比例,由于 18:2 $\omega$ 6c 是真菌的指示脂肪酸(Bååth, Anderson,2003),因此这可能表明施用海藻有机肥不能增加土壤中真菌的数量,这与平板培养的结果一致。Bossio 等发现土壤中施入大量有机肥可增加多不饱和脂肪酸的量(Bossio, Scow,1998)。然而在本实验中未发现海藻有机肥对真菌生长的促进作用,这可能是由于各种有机物质的化学组成不同,因而对微生物种群结构的影响也就不同。不同类型

的肥料可能在有机物质组成上不同(如 C/N 比例),这会影晌微生物的分解速度,改变微生物的种群结构,比如,易分解的植物绿肥促使在富营养环境中快速生长的微生物的繁殖,适合于贫营养环境的微生物则不占优势,施用稻草会促使分解纤维素的微生物的生长(Marschner et al., 2003)。毕明丽等认为,目前关于施肥和土壤管理对土壤微生物多样性的影响报道存在矛盾之处,可能与施肥方式和施用时间、土壤类型和利用方式等因素有关(毕明丽等, 2010)。

施用海藻有机肥可改变土壤微生物种群结构。海带有有机肥处理和 22.5 kg 浒苔有机肥处理对土壤微生物种群结构影响较大,相对来说,15 kg 浒苔有机肥和 7.5 kg 浒苔肥处理对土壤微生物种群结构的影响较小。在 10 月份土样中,海藻有机肥对土壤微生物种群结构的影响已减弱,这可能表明短期施肥对微生物的影响是暂时性的。Stark 等在实验室条件下进行施用羽扇豆绿肥及尿素对土壤微生物影响的研究,施肥 10 天后,对照土壤中的微生物群落与尿素及羽扇豆绿肥处理的土壤中的差异最大,施肥的作用持续时间很短,91 天后,所有土壤中的微生物种群结构很相似,施肥的作用消失(Stark et al., 2007)。而 Crecchio 等在短期研究中发现施加城市垃圾后细菌群落结构并没有发生改变(Crecchio et al., 2001)。Stark 等认为长时间种植模式的不同对土壤微生物种群的组成结构有持续的作用效果(Stark et al., 2008)。长期施用海藻有机肥对土壤微生物生物量、活性及群落结构的影响还需进一步研究。

## 参考文献

- 毕明丽,宇万太,姜子绍,等. 2010. 施肥和土壤管理对土壤微生物生物量碳、氮和群落结构的影响. 生态学报, 30(1): 32 - 42.
- 关松荫. 1986. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 7 - 60.
- 李娟,赵秉强,李秀英,等. 2008. 长期不同施肥制度下几种土壤微生物学特征变化. 植物生态学报, 32(4): 891 - 899.
- 李书琴,王孝举. 1995. 海藻液体肥的研究. 海洋科学, (3): 4 - 6.
- 刘光崧,蒋能慧,张连弟,等. 1996. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 123 - 125, 166 - 167.
- 束怀瑞. 2003. 我国果树业生产现状和待研究的问题. 中国工程科学, 5(2): 45 - 48.
- 吴永沛,吴光斌,李少波,等. 2006. 海藻液体肥对蔬菜产量及品质的影响. 北方园艺, 5(5): 16 - 18.

杨兴明,徐阳春,黄启为,等. 2008. 有机(类)肥料与农业可持续发展和生态环境保护. *土壤学报*, 45(5):925 - 932.

张奇春,王雪芹,时亚南,等. 2010. 不同施肥处理对长期不施肥区稻田土壤微生物生态特性的影响. *植物营养与肥料学报*, 16(1):118 - 123.

中国科学院南京土壤研究所微生物室. 1985. *土壤微生物研究法*. 北京:科学出版社, 40 - 57.

Bossio D A, Scow K M. 1998. Impacts of carbon and flooding on soil microbial communities: phospholipids fatty acid profiles and substrate utilization patterns. *Microbial Ecology*, (35):265 - 278.

Bradley K, Drijber R A, Knops J. 2006. Increased N availability in grassland soils modifies their microbial communities and decreases the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology & Biochemistry*, (38):1583 - 1595.

Bååth E, Anderson T H. 2003. Comparison of soil fungal/bacterial ratios in a pH gradient using physiological and PLFA-based techniques. *Soil Biology & Biochemistry*, (35):955 - 963.

Crecchio C, Curci M, Mininni R, et al. 2001. Short-term effects of municipal solid waste compost amendments on soil carbon and nitrogen content, some enzyme activities and genetic diversity. *Biology and Fertility of Soils*, (34):311 - 318.

Haslam S F I, Hopkins D W. 1996. Physical and biological effects of kelp (seaweed) added to soil. *Applied Soil Ecology*, (3):257 - 261.

Liu M, Hu F, Chen X, et al. 2009. Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: The influence of quantity, type and application time of organic amendments. *Applied Soil Ecology*, (42):166 - 175.

Marschner P, Kandeler E, Marschner B. 2003. Structure and function of the soil microbial community in a long-term fertilizer experiment. *Soil Biology & Biochemistry*, (35):453 - 461.

Peacock A D, Mullen M D, Ringelberg D B, et al. 2001. Soil microbial community responses to dairy manure or ammonium nitrate applications. *Soil Biology & Biochemistry*, (33):1011 - 1019.

Schnürer J, Rosswall T. 1982. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. *Applied and Environmental Microbiology*, (43):1256 - 1261.

Shisanya C A, Mucheru M W, Mugendi D N, et al. 2009. Effect of organic and

inorganic nutrient sources on soil mineral nitrogen and maize yields in central highlands of Kenya. *Soil & Tillage Research*, (103) :239 – 246.

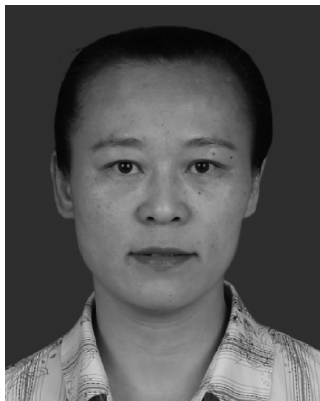
Simmons B L, Coleman D C. 2008. Microbial community response to transition from conventional to conservation tillage in cotton fields. *Applied Soil Ecology*, (40) : 518 – 528.

Stark C H, Condon L M, O' Callaghan M, et al. 2008. Differences in soil enzyme activities, microbial community structure and short-term nitrogen mineralization resulting from farm management history and organic matter amendments. *Soil Biology & Biochemistry*, (40) :1352 – 1363.

Stark C, Condon L M, Stewart A, et al. 2007. Influence of organic and mineral amendments on microbial soil properties and processes. *Applied Soil Ecology*, (35) : 79 – 93.

Zelles L, Bai Q Y, Rackwitz R, et al. 1995. Determination of phospholipid-and lipopolysaccharide-derived fatty acids as an estimate of microbial biomass and community structures in soils. *Biology and Fertility of Soils*, (19) :115 – 123.

Zhang Q C, Wang G H, Yao H Y. 2007. Phospholipid fatty acid patterns of microbial communities in paddy soil under different fertilizer treatments. *Journal of Environmental Sciences*, (19) :55 – 59.



**陈伟** 副教授,硕士生导师。1994年毕业于山东大学微生物系,进入山东农业大学食品学院工作。2001年硕士毕业,2007年博士毕业于山东农业大学,获园艺学博士学位,2008—2012年在中国农业大学植保学院从事博士后研究工作。

主要从事微生物学、发酵工程的研究,科研领域为发酵产品的开发与安全性评价、发酵产品发酵菌种的鉴定、有益微生物选育、微生物类群多样性分析、微生物应用与控制等。主持泰安市科技计划项目

及省博士后基金,主要参与农业部公益性行业科研专项、国家“十二五”课题、国家科技基础条件平台建设等多项课题,发表论文多篇,曾参编全国通编教材。

# 钙与果实生理病害和耐贮藏性

关军锋

河北省农林科学院遗传生理研究所

**摘要:**Ca 是植物生长发育必需的大量营养元素。果树缺钙时,果实常表现出生理代谢失调,如苹果苦痘病、梨木栓病,严重影响果实的商品品质,耐储藏性能下降。这种缺钙现象往往与过多的 N、K 元素吸收有关。外源补钙,能减少果实生理失调现象,提高果实品质,延长果实的储藏寿命。

**关键词:**Ca;果实;生理病害;储藏性

## 一、引言

Ca 是植物体内一种重要的大量营养元素,在决定和影响果实品质方面具有独特的作用。研究表明,缺钙不仅导致果实生理病害的发生,而且加速果实衰老,不利于果实采后储藏;适当补钙可有效延缓果实衰老,改善果实储藏性能。因此,Ca 在果实品质形成中的作用备受重视。近些年来,就 Ca 改善果实品质和延长果实储藏寿命方面的研究工作取得了长足的进展。

## 二、果实内钙形态、分布及需求

### (一) Ca 形态

总体看来,果实中 Ca 以可溶性  $\text{Ca}^{2+}$  和不溶性(束缚态)  $\text{Ca}^{2+}$  形态存在,这是因为果实吸收  $\text{Ca}^{2+}$  后,  $\text{Ca}^{2+}$  与细胞中的碳酸根、磷酸根、草酸根及果胶酸等结合形成碳酸盐、磷酸盐、草酸盐和果胶等物质,形成不同形态的钙组分。

果实成熟衰老过程中  $\text{Ca}^{2+}$  形态发生明显的变化。普通番茄果实成熟之前可溶性钙含量增加,不溶性钙含量减少,而不正常成熟的 rin 型番茄不溶性钙含量增加(Suwwan, Poovaiah, 1978),因此,这种钙形态的变化可能是番茄果实成熟之前的启动因素(Rigney, Wills, 1981)。但苹果果实软化期间的钙形态变化不同。其中,软化快的‘金冠’、‘新红星’苹果的水溶性钙含量下降较为明显,其他

溶性的钙含量无明显变化,而软化慢的‘富士’、‘碣石红’苹果的钙形态变化无明显规律(关军锋,高辉远,2000)。同时,冷藏期间,苹果中水溶性和果胶酸钙含量下降,而磷酸钙、草酸钙和硅酸钙含量上升;采前喷钙可增加各形态钙含量(陈见晖,周卫,2004b;周卫等,2000)。

果实某些形态钙的含量与生理病害的发生有密切关系,如储藏期间患苦痘病的苹果中水溶性  $\text{Ca}^{2+}$  含量和酸溶性  $\text{Ca}^{2+}$  含量低于正常者(Lamiani et al., 1983),有人甚至认为,水溶性  $\text{Ca}^{2+}$  含量的不足是导致苹果苦痘病发生的重要原因(Pavicic et al., 2004)。此外,可溶性  $\text{Ca}^{2+}$  含量低时苹果容易衰老腐烂(Saks et al., 1990)。尽管在储藏期间,鸭梨果肉中不同形态钙的组成百分率变化不大,但鸭梨果心和雪花梨果肉中的盐酸溶性钙含量增加,水溶性钙含量降低(龚云池等,1992)。这些说明,在细胞水平上  $\text{Ca}^{2+}$  运输机制的改变很可能是导致果实生理病害和衰老的重要原因。

## (二) Ca 分布

在组织水平上,果实不同部位的 Ca 含量不同。在苹果、梨的果实中,果皮 Ca 含量最高,果心和种子的含量居中,外层果肉的含量最低。在果实纵向分布中,自果梗至萼洼方向果肉内 Ca 含量逐渐降低。草莓的瘦果中 Ca 含量较高,内部花托部位的果肉 Ca 含量较低。这种 Ca 的不均匀分布是由遗传和果实结构决定的。如苹果的外果皮细胞小,结构致密;果肉细胞大,液泡占有空间大,细胞之间紧密性差。

果实储藏过程中不同部位的  $\text{Ca}^{2+}$  发生再分配现象。在苹果上,  $\text{Ca}^{2+}$  由果心区移向外层果肉(Perring et al., 1986a, 1986b, 1987a; Ferguson et al., 1983; Bramlage et al., 1979),如向苹果心中注入  $\text{CaCl}_2$ ,可有效抑制苦痘病的发生(Perring et al., 1987b)。因此,有人推测这种钙再分配导致的果心缺钙是导致苦痘病发生的重要原因,但钙再分配机制不太清楚。钙再分配的可能原因是果实后熟时不同部位对水分和钙的需求发生变化,导致维管束附近果肉  $\text{Ca}^{2+}$  的转移(Perring et al., 1986)。

不同条件下,果实内部 Ca 再分配情况不同。① 采收期和储藏条件:采收早比采收晚、气调储藏比普通空气储藏的苹果,在储藏过程中各部位  $\text{Ca}^{2+}$  含量变化较小,不易得苦痘病(Perring et al., 1987a)。② 激素:Lamiani 等(1983)证明,采后浸泡  $\text{GA}_3$  使储藏时苹果果皮和果心部的 Ca 含量增多。外用乙烯可加速  $\text{Ca}^{2+}$  向子房腔移动,而抑制乙烯生成的 NBD 却使各部位的  $\text{Ca}^{2+}$  与对照相近。这暗示着乙烯催熟时,加速了果实内  $\text{Ca}^{2+}$  的再分配。③ 品种特性:关军锋和马智宏(1999)证明,在果实储藏过程中,与晚熟的耐储苹果品种比,早熟的不耐储品



种果皮与果肉中的  $\text{Ca}^{2+}$  含量变化较大。这说明,采后果实内部的  $\text{Ca}^{2+}$  再分配与储藏性密切相关。

在细胞水平上,不同细胞区域内的 Ca 含量也不同。苹果果实中,果肉中 40% 的  $\text{Ca}^{2+}$  存在于液泡,其余大部分位于细胞壁上。液泡内游离  $\text{Ca}^{2+}$  浓度约 0.6 mmol/L,胞外  $\text{Ca}^{2+}$  浓度为 0.02 ~ 1.3 mmol/L (Harker et al., 1991)。在正常情况下,Ca 均匀分布在苹果果实细胞壁、细胞膜、液泡膜、核膜和核质,并在液泡内堆积;缺钙时,核膜模糊或断裂,且钙离子分布不均匀,细胞质中钙离子明显增多(陈见晖,周卫,2004b),这是细胞膜系统结构和功能受损的结果。吴有梅等(1990)以番茄果实为试材,发现成熟衰老时果皮原生质膜和液胞膜中的  $\text{Ca}^{2+}$  都随衰老而下降,其中液胞膜、原生质膜中  $\text{Ca}^{2+}$  含量分别下降至原来的 1/45、1/17。

### 三、钙营养与果实品质及生理失调

#### (一) 常见果实的缺钙症

低钙往往会引起果实的生理失调,又称生理病害,表现为褐斑、凹陷、组织坏死、裂果等症状。

常见的果实生理病害有苹果苦痘病、水心病和腐烂(Perring, 1984, 1985),梨黑心病(龚云池等,1986)、褐斑病(关军锋,2008),荔枝(李建国等,1999)、樱桃裂果(Callan, 1986),柑橘皱皮(陈杰忠等,2002),以及导致与衰老有关的桃顶腐烂(石伟勇,申惠民,1994;李瑶等,1993)、缝合线软化(林葆等,1996)、裂陷(Evert et al., 1988),柑橘浮皮(李彩屏等,1996;陈秀伟,张百超,1988)等。

同一果实特定部位的 Ca 含量与生理失调的发生有密切的关系。在苹果中,果心钙含量低时易发生水心病和腐烂(Perring, 1984, 1985);而果皮和果肉的 Ca 含量低时,则易发生苦痘病(Perring, 1986a)。发生苦痘病的苹果病果萼洼部附近果肉与梗洼部果肉 Ca 含量的比例,远低于健果(福元将志,1990)。

总结果实钙营养生理失调的发病原因,可归纳为以下三方面。

(1) 果肉组织呈水浸状。这一方面是由于细胞膜结构破坏,透性增大,细胞内含物渗出;另一方面,叶片合成的山梨糖醇通过韧皮部进入果实,在细胞间隙积累,致使果肉组织出现程度不同的水浸状。严重时,水浸状组织坏死。缺钙情况下,膜结构破坏,透性增大,内部液体进入细胞间隙。此类生理失调如苹果、梨的水心病。

(2) 果肉组织坏死,失水后呈海绵状,果面局部凹陷,或内部出现空腔。坏死组织大多变棕褐色,这是由于液胞内酚类物质外漏,在多酚氧化酶作用下发生

氧化。含钙充足时, Ca 与酚类化合物螯合, 抑制了这种氧化作用。此类生理失调如苹果苦痘病、组织褐变与木栓样斑。

(3) 裂果。在果实膨大期, 多在雨后, 由于内部果肉膨胀快于果皮, 使果皮出现裂口, 形成程度不同的裂果。由于缺钙, 细胞膜破坏, 细胞内含物渗出, 这就为真菌、细菌繁殖提供了有机物和糖分, 故果实缺钙时多易感染真菌、细菌病害而腐烂。此类生理失调如樱桃、苹果、葡萄、荔枝和李果实的裂果(陈策, 2006; Simon, 1978)。

因此, 通常情况下, 钙营养失调症均可以通过外源补充钙(采前喷钙或采后浸钙)的方法得到控制, 但缺钙并不是上述失调发生的唯一原因。其他, 诸如果实高 N、K、Mg 均可加剧生理失调发生, 还有天气因素、采收成熟度和储藏条件都会影响果实缺钙症的发生程度。

## (二) 钙含量与果实品质

### 1. 钙含量与果实采收品质的关系

果实 Ca 含量与采收品质的关系尚不明确, 目前还没有 Ca 影响果实采收品质的直接证据。胡桂娟等(1986)证明, 不同苹果品种间果实的 Ca 含量之间存在明显差异, Ca 含量高的品种, 可滴定酸及维生素 C 含量亦高。李宝江等(1995)证明, 优质苹果品种中的 Ca 含量高, Ca 含量高的品种, 果实硬脆度高, 比重大, 果肉致密, 细胞间隙率低, 风味品质佳, 肉质好, 耐储藏。Fallahi 等(1996)证明, 元帅苹果果实 Ca 含量与色泽、果重、可溶性固形物含量(SSC)呈负相关。Fallahi 等(1985)分析表明, 金矮生苹果果实中的 Ca 含量与果实 SSC 呈负相关, K/Ca 比值与可滴定酸呈正相关。

### 2. Ca 含量与果实储藏性的关系

一般情况下, 果实 Ca 含量高时, 耐储藏。因此, 利用果实 Ca 含量预测果实储藏性具有可行性。

Ferguson 等(1979)指出, 当苹果果实的 Ca 含量大于 3 mg/100 g 时, 无苦痘病发生; 当苹果果实的 Ca 含量小于 1.5 mg/100 g 时, 苦痘病发生概率大约为 15%。Bramlage 等(1985)研究表明, 可利用旭苹果采前 1 周时果实外皮层果肉的 Ca 含量来预测储存期的果实腐烂率。福元将志(1990)认为‘王林’苹果从盛花后 58 ~ 72 d(40 ~ 80 g/果)到采收期果实单果重为 300 g 时, 果实中的钙含量可增加 1.6 ~ 2.7 倍。因此, 根据幼果期 Ca 的含量即可推测苦痘病的发生情况, 当单果 Ca 含量不足 3.5 mg 时, 就必须采取各种防治对策。例外的是, Fallahi 等(1985)研究认为, 利用 8 月份对斯塔克矮生、‘金冠’苹果矿质元素的分析结果, 并未能很好地利用 Ca 含量来预测果实苦痘病的发生, 其原因是果实中的 Ca 含

量大于临界浓度 5 mg/100 g FW。尽管如此,利用果实钙含量进行储藏性的预测模式还不够完善,尚有更多的工作要做。

## 四、果实内 Ca 含量调节技术

### (一) 影响果实钙素吸收的因子

#### 1. 品种和砧木

李宝江等(1995)对 22 个苹果品种的研究表明,不同品种之间的 Ca 含量存在极显著差异,其中含量最低的品种(红玉)同最高的品种(富士)之间相差 10.4 倍,品种之间的变异系数高达 74.5%。Koban 等(1984)进一步证明,与不易患苦痘病的苹果品种相比,易患苦痘病的品种,从果梗部到萼洼处钙含量下降幅度大,从而造成果实顶部细胞溃败和苦痘病斑的形成。

砧木是影响矿质元素吸收、分配的重要因素,但目前就砧木影响果实 Ca 含量看来,研究结果之间尚不一致。通常认为,在不同砧木上的苹果苦痘病发生率表现出的差别与 Ca 吸收能力不同有关。

#### 2. 树体因子

与中庸树势生产的苹果相比,旺树的树体生长过旺,枝叶与果实竞争 Ca 的吸收,致使果实 Ca 含量低下,储藏时发生苦痘病,烂果多,健全果少(Link, 1993)。

在不同树龄上,苹果幼树的果个大,Ca 含量低,N 含量高,易患生理病害(Bramlage, 1993)。与高负载树相比,低负载树中的果实 Ca 含量较低,K 含量较高,Mg 含量的差异不显著,果实患苦痘病率较高(Ferguson, Watkins, 1992)。

#### 3. 农业技术

(1) 修剪。冬季重剪,促进树体旺长,虽然能增加苹果单果 Ca 含量,但降低了 Ca 浓度,使 Ca 缺乏症增多(Bramlage, 1993),这种效果甚至持续到下一年(Plisek, 1995);相反,适当的夏剪可提高苹果果实的 Ca 水平,降低果实 K 和 Mg 的水平,减少苦痘病的发生(Tomala, Dilley 1990; Saure, 1987; Preston, Perring, 1974)。苹果树体主干环剥,减少果实 Ca 含量(Tomala, Dilley, 1990)。休眠期根系修剪可增加苹果果肉的 Ca 含量(Schupp, Ferree, 1987),也有认为根系修剪并未显著改变苹果果肉的 Ca 含量(Ferree, Knee, 1997)。

(2) 套袋。套袋虽然能大大改善果实的外观品质,如色泽美观,果点变小,但往往会抑制蒸腾流,造成果实 Ca 吸收能力降低,致使果实缺钙现象时常发生。套袋减少了果实 Ca 含量,诱发了生理病害的发生。套袋还明显降低苹果 Ca/(Mg + K) 比值,增加储藏期间果实的苦痘病发生率(Witney, Kushad, 1990)。

(3) 灌水。过分灌水造成树体旺长,使果个增大,Ca 含量低,果实品质下降。但适当的土壤干旱和空气干旱并不降低 Ca 含量(Cline, Hanson, 1992; Failla, 1992), 不过,可增加叶片 Ca 含量,减少储藏期间苦痘病发生率(Failla et al., 1990)。

(4) 施肥。使用不同形态的氮肥对果实 Ca 含量影响不同, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  不利于果树对 Ca 的吸收与运转。与施用  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  相比,施用  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  使富士苹果苦痘病发生率增多,近萼洼端果肉的线粒体吸收  $\text{Ca}^{2+}$  的能力较强(Fukumoto, Nagai, 1983)。大量使用  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  时,苹果果实 Ca 含量也会降低(Yoshioka, 1989)。

大量施用 K 肥虽能提高某些苹果品种的果实品质,如改善着色,增加硬度和含糖量,但会降低 Ca 含量(Yoshioka, 1989; Vang-Petersen, 1980),苦痘病、木栓斑点病、腐烂、低温腐烂及褐心等生理失调的发生率也相应增多(Bramlage, 1993)。

与 K 的情况类似,果实中高 Mg 会对 Ca 产生拮抗作用,并诱导缺 Ca 生理失调症发生(Bramlage, 1993)。田间喷  $\text{MgCl}_2$ ,特别是对套袋苹果果实来说,果实 Ca 含量降低,苦痘病明显增多(Witney et al., 1991)。因此,正如 Hopfinger 和 Poovaiah (1979) 指出,苹果苦痘病的发生与其说是缺 Ca 倒不如说是 Mg 中毒所致。不过,这种 Mg 中毒可能源于果实外层果肉的 Mg 含量较高,而且患苹果苦痘病的苹果果实果肉外部和内部果肉以及种子的 Mg/Ca 值明显高于正常果,尤以外部果肉和种子的差别大(汪良驹,姜卫兵,2001)。Mg/Ca 值过高会提高多酚氧化酶的活性(Hopfinger, Poovaiah, 1984),是组织产生褐斑的部分机制。

除此之外,上述元素之间的比例关系与梨的木栓斑点病、鳄梨的果肉褐斑、锦橙裂果和草莓的白化等现象发生有密切的关系。普遍的规律是,患病果 K/Ca、Mg/Ca、N/Ca 的比值高于正常果实。这些表明,Ca、Mg、K 元素之间的比例关系至关重要,因此,强调平衡施肥意义重大。

微量元素亏缺对果实发育有不良影响。微量元素 B、Zn、Cu 等有时会影响果实中 Ca 的状况。但这些微量元素是如何影响 Ca 吸收与功能的,还了解较少。研究表明,施 B 不仅促进果树对 Ca 的吸收与运输,提高 Ca 含量,而且减少果实生理病害和储藏期间的腐烂(梁和等,2002)。

(5) 生长调节剂与除草剂。生长调节剂的使用浓度和时间会影响 Ca 的吸收和分配。喷布萘乙酸(NAA)和甲苯威可提高苹果的 Ca 含量(Guzeski, 1993)。喷布  $\text{GA}_3$  可降低桃果实的 Ca 含量(缪颖等,1992)。喷布普洛马林(BA +  $\text{GA}_{4+7}$ )虽能增大苹果的果个,但减少果实含 Ca 量,增加腐烂发生率(Greene, Murray, 1982)。喷布油菜素内酯(BR)可提高荔枝果实的 Ca 含量,减少裂果率(Peng et al., 2004)。

喷布生长延缓剂  $\text{PP}_{333}$ (多效唑)可延缓苹果树体生长,提高果实含钙量,抑制果实软化(Luo et al., 1989),并减少苹果储藏中生理失调症的发生(Bramlage,

1993; Hopfinger, Poovaiah, 1984); 相反, 喷布生长素拮抗剂 TIBA 会降低苹果果实的 Ca 含量 (Tomala, Dilley, 1990, Stably et al., 1982)。

除草剂能抑制叶片光合作用, 由此降低 Ca 的吸收与运转, 并使果实品质下降 (Bramlage, 1993)。

#### 4. 生态因子

不同生态条件下, 果实发育状况不同。在苹果生长季节处于温暖的地区, 木栓斑点病容易发生, 而生长在较冷的地区, 往往因缺钙导致的腐烂最为严重 (Bramlage et al., 1980)。

### (二) 采前补钙技术

目前, 在果树生产上多采用田间喷施钙化合物的方法, 此外对葡萄果穗进行浸泡钙溶液的方法 (刘松忠等, 2003), 对梨果实的果柄进行涂抹钙化合物膏, Ca-EDTA 的效果较好 (Tanaka et al., 1992), 均可以明显提高果实 Ca 含量。

高压强力注射法和输液法是树干注射钙化合物的主要方法。关于果树注射钙化合物的时期, 研究表明, 早期生理落果期注射钙化合物, 可以增加单果重, 对果实 Ca 含量的影响较小; 在果实快速膨大期注射钙化合物, 可以明显增加果实 Ca 含量, 实现延长果实储藏期和减少裂果的效果 (童凤, 李翠兰, 2000)。

### (三) 采后补钙技术

虽然采前喷钙是增加果实 Ca 含量的一种常用方法, 但往往喷钙不足以防止果肉软化或病菌侵袭导致的腐烂, 此时果肉 Ca 含量应为  $800 \sim 1000 \mu\text{g/g DW}$ , 而果肉 Ca 仅需  $250 \mu\text{g/g DW}$  便能有效抑制苦痘病。就增加果实 Ca 含量而言, 采后渗钙的方法明显优于采后浸钙的方法。因此, 可采取采后渗钙的方法, 并尽可能使果肉 Ca 水平低于  $1000 \mu\text{g/g}$ , 以减少表皮伤害, 这无疑是一种高效的处理方法 (Fallahi et al., 1997)。

渗入的 Ca 是通过果实表皮蜡脂层的缝隙渗入果实的, 采后钙处理之后再结合其他如气调、热处理可更为有效地保持果实的硬度 (Sams, Conway, 1993; Klein et al., 1990), 减少虎皮病的发生 (Klein, 1994)。但是对热处理后果实的颜色衰退和酸度的降低无明显的抑制效果 (Klein et al., 1990)。并且, 对某些水果或品种来说, 采后渗入高浓度的钙化合物有时会产生果面褐斑。

不同的渗钙法效果不同。在采后浸钙处理中采用温度差可明显增加果实 Ca 含量, 加压比减压渗钙, 增钙效果好。不过, 渗钙处理可以明显降低苹果储藏过程中香气的释放量, 但不影响香气的成分 (Song, Bangerth, 1993)。当果皮下  $2 \text{ mm}$  深处果肉的含钙量从  $200 \mu\text{g/g DW}$  增加到  $800 \mu\text{g/g DW}$  时, 不会影响果

实的品质,但超过  $800 \mu\text{g/g DW}$  时,就会引起果皮损伤,加工品质下降,从而影响果品的商品价值(Sams, Conway, 1993)。

## 参考文献

- 陈策. 2006. 苹果苦痘病和其他几种果实钙营养失调症. 落叶果树, (3): 10 - 14.
- 陈见晖, 周卫. 2004a. 钙对苹果果实过氧化物酶、 $\beta - 1, 3 -$  葡聚糖合成酶和  $\beta - 1, 3 -$  葡聚糖分解酶活性的影响. 中国农业科学, 37(3): 400 - 405.
- 陈见晖, 周卫. 2004b. 苹果缺钙对果实钙组分、亚细胞分布与超微结构的影响. 中国农业科学, 37(4): 572 - 576.
- 陈杰忠, 吕雪娟, 叶自行, 等. 2002. 柑橘皱果皮与果皮及其细胞壁矿质元素关系的研究. 植物营养与肥料学报, 8(3): 367 - 371.
- 陈秀伟, 张百超. 1988. 红桔果实浮皮的研究. 园艺学报, 15(1): 13 - 17.
- 福元将志. 1990. 苹果苦痘病的发生机制及其防治对策. 王焕玉译. 国外农学·果树, (3): 40 - 43.
- 龚云池, 徐季娥, 吕瑞江. 1992. 梨果实中不同形态钙的含量及其变化的研究. 园艺学报, (19): 129 - 134.
- 龚云池, 徐季娥, 张淑珍, 等. 1986. 鸭梨黑心病与钙素营养的关系. 园艺学报, 13(2): 145 - 148.
- 关军锋, 高辉远. 2000.  $\text{Ca}^{2+}$  及其拮抗剂对富士苹果组织呼吸速率的影响. 河北农业科学, (4): 1 - 4.
- 关军锋, 马智宏. 2001. 苹果果实软化与果胶含量、质膜透性和钙溶性的关系. 果树学报, 18(1): 11 - 14.
- 关军锋, 马智宏. 1999. 采后苹果果实 Ca, Mg, K 元素的再分配. 华北农学报, (增刊): 79 - 82.
- 关军锋. 1999.  $\text{Ca}^{2+}$  对苹果果实细胞膜透性、保护酶活性和保护物质含量的影响. 植物学通报, 16(1): 72 - 74.
- 关军锋. 2008. 影响套袋黄冠梨果面褐斑发生的因素及发生机制研究. 落叶果树, (5): 15 - 18.
- 胡桂娟, 金锡凤, 张玉英, 等. 1986. 山东主要果品营养成分的测定与研讨. 山东农业科学, (5): 36 - 41.
- 黄国存, 张继澍, 孙大业. 1993. 乙烯利、 $\text{GA}_3$  对采后番茄果实中乙烯、CaM

含量的影响. 植物生理学通讯, (29):267 - 269.

李瑶,马成泽,承河元. 1993. 桃果顶坏死病因及其防治方法研究. 安徽农业大学学报, (20):208 - 212.

李宝江,林桂荣,刘凤君. 1995. 矿质元素含量与苹果风味品质及耐贮性的关系. 果树科学, (2):141 - 145.

李彩屏,彭俊彩,黄秋林,等. 1996. 钙处理对增进宽皮柑橘贮藏效果的研究. 湖南农业科学, (6):41 - 43.

李建国,高飞飞,黄辉白,等. 1999. 钙与荔枝裂果关系初探. 华南农业大学学报, 20(3):4 - 549.

梁和,石伟勇,马国瑞,等. 2002. 硼钙营养对不同品种柑橘糖代谢的影响. 土壤学通报, 33(5):337 - 380.

林葆,周卫,张文才. 1996. 桃果实缝合线部位软化及防治研究. 土壤肥料, (6):19 - 21.

刘松忠,姜远茂,周晓燕,等. 2003. 红地球葡萄果实中的钙素积累动态及补钙效果. 落叶果树, (6):1 - 3.

缪颖,毛节锜,沈淦卿,等. 1992. 采前石灰水加 IAA 和 GA 处理对“玉露”水蜜桃贮藏性的影响. 浙江农业大学学报, (3):65 - 69.

石伟勇,申惠民. 1994. 桃树缺钙和果实顶腐病的研究. 土壤通报, 25(2):91 - 93.

童风,李翠兰. 2000. 果树树干补钙技术与效果. 资源开发与市场, 16(3):136 - 138.

汪良驹,姜卫兵. 2001. 苹果苦痘病的发生与钙、镁离子及抗氧化酶活性的关系. 园艺学报, 28(3):200 - 205.

周卫,张新生,何萍,等. 2000. 钙延缓苹果果实后熟衰老作用的机理. 中国农业科学, 33(6):73 - 79.

Bramlage W J, Drake M, Baker J H. 1979. Changes in calcium level in apple cortex tissue shortly before harvest and during postharvest storage. Commun Soil Sci Plant Anal, (10):417 - 426.

Bramlage W J, Weis S A, Drake M. 1990. Observations on the relationships among seed number, fruit calcium, and senescent breakdown in apples. Hortscience, (25):351 - 353.

Bramlage W J, Weis S A, Drake M. 1985. Predicting the occurrence of poststorage disorders of ‘McIntosh’ apples from preharvest mineral analyses. J Amer Soc Hort Sci, 110(4):493 - 498.

Bramlage W J. 1993. Interactions of orchard factors and mineral nutrition on quality of pome fruit. *Acta Hort*, (326) :15 – 28.

Callan N W. 1986. Calcium hydroxide reduces splitting of ‘Lambert’ sweet cherry. *J Amer Soc Hort Sci*, 111(2) :173 – 175.

Cline J A, Hanson E J. 1992. Relative humidity around apple fruit influences its accumulation of calcium. *J Amer Soc Hort Sci*, 117(4) :542 – 546.

Evert D R, Gaines T P, Mullinix Jr B G. 1988. Effects of split-pit on elemental concentrations of peach fruit during pit hardening. *Sci Hort*, 34(1 – 2) :55 – 65.

Failla O, Treccani C P, Mignani I. 1990. Water status, growth and calcium nutrition of apple trees in relation to bitter pit. *Sci Hort*, 42(1 – 2) :55 – 64.

Failla O. 1992. Growth, development and mineral content of apple fruit in different water status conditions. *J Amer Soc Hort Sci*, 67(2) :265 – 271.

Fallahi E, Simons B R. 1996. Interrelations among leaf and fruit mineral nutrients and fruit quality in ‘Delicious’ apples. *J Tree Fruit Productions*, (1) :15 – 25.

Fallahi E, Conway W S, Hickey K D, et al. 1997. The role of calcium and nitrogen in postharvest quality and disease resistance of apples. *J Amer Soc Hort Sci*, (32) :831 – 835.

Fallahi E, Richardson D G, Westwood M N. 1985. Quality of apple fruit from a high density orchard as influenced by rootstocks, fertilizers, maturity, and storage. *J Amer Soc Hort Sci*, 110:71 – 74.

Fallahi E, Righetti T L, Richardson D G. 1985. Predictions of quality by preharvest fruit and leaf mineral analyses in ‘Starkspur Golden Delicious’ apple. *J Amer Soc Hort Sci*, (110) :524 – 527.

Ferguson I B, Watkins C B. 1983. Cation distribution and balance in apple fruit in relation to calcium treatments for bitter pit. *Sci Hort*, (19) :301 – 310.

Ferguson I B, Watkins C B. 1992. Crop load affects mineral concentrations and incidence of bitter pit in ‘Cox’s Orange Pippin’ apple fruit. *J Amer Soc Hort Sci*, 117(3) :373 – 376.

Ferguson I B, Reid M S, Prasad M. 1979. Calcium analysis and the prediction of bitter pit in apple fruit. *N Z J Agr Res*, (22) :485 – 490.

Ferree D C, Knee M. 1997. Influence of root pruning and rootstock on growth and performance of ‘Golden Delicious’ apple. *Hort Sci*, 32:645 – 648.

Fukumoto M, Nagai K. 1983. Possible roles of calcium and ammonium in the



development of bitter pit in apple. *Physiol Plant*,159:171 – 176.

Greene D W, Murray J. 1982. Effects of gibberellins  $A_{4+7}$  and 6 – benzylamino purine on fruit set, fruit characteristics, seed content, and storage quality of ‘McIntosh’ apples. *Hortscience*, (17):653 – 654.

Guzewski W. 1993. Mineral content and storage ability of apples from trees treated with chemicals thinning and retardants. *Acta Hort*,326:254.

Harker F R, Venis M A. 1991. Measurement of intracellular and extracellular free calcium in apple fruits cell using calcium-selective micro electrodes. *Plant Cell Envir*, (14):525 – 530.

Hopfinger J A, Poovaiah B W. 1979. Calcium and magnesium gradients in apples with bitter pit. *Commun Soil Sci Plant Anal*, (10):57 – 65.

Hopfinger J A, Poovaiah B W. 1984. Calcium and magnesium interactions in browning of ‘Golden Delicions’ apples with bitter pit. *Sci Hort*, (23):345 – 351.

Klein J D. 1994 Time, temperature, and calcium interact in scald reduction and firmness retention in heated apples. *Hort Sci*,29(3):194 – 195.

Klein J D, Luire S, Ben-Arie R. 1990. Quality and cell components of ‘Anna’ and ‘Granny Smith’ apples treated with heat, calcium, and ethylene. *J Amer Soc Hort Sci*,115(6):954 – 958.

Koban S S, Swiader J M. 1984. Genetic and nutritional status in bitter pit-resistant and-susceptible apple seedlings. *J Amer Soc Hort Sci*,109:428 – 432.

Lamiani Migni I, Poma Treccani C, Cocucci S. 1983. Bitter-pit incidence and changes in  $Ca^{2+}$  content in apple after postharvest dip in  $CaCl_2$  or  $GA_3$ . *Sci Hort*, (19):295 – 299.

Link M. 1993. Influence of pruning on fruit quality and storage potentials of apples. *Acta Hort*,326:29 – 38.

Luo Y, Wainwright H, Moore K G. 1989. Effects of orchard applications of paclobutrazol on the composition and firmness of apple fruits. *Sci Hort*,39(4):301 – 309.

Pavicic N, Jemric T, Kurtanjek Z, et al. 2004. Relationship between water-soluble Ca and other elements and bitter pit occurrence in ‘Idared’ apples : a multivariate approach. *Ann Appl Biol*,145:193 – 196.

Peng J, Tang X, Feng H. 2004. Effects of brassinolide on the physiological properties of litchi pericarp (Litchi chinensis cv. nuomoci). *Sci Hort*,101(4):407 – 416.

Perring M A, Pearson K. 1986a. Redistribution of minerals in apple fruit during storage: effects of storage temperature, varietal differences and orchard management. *J Sci Food Agric*, (37): 607 – 617.

Perring M A, Pearson K. 1986b. Incidence of bitter pit in relation to the calcium content of apples: calcium distribution in the fruit. *J Sci Food Agri*, (37): 709 – 718.

Perring M A, Pearson K. 1987a. Redistribution of minerals in apple fruit during storage: the effect of storage atmosphere on calcium concentration. *J Sci Food Agri*, (40): 37 – 42.

Perring M A, Pearson K. 1987b. Suppression of bitter pit by calcium injected into the core cavities of harvested apples. *J Hort Sci*, 62(3): 303 – 304.

Perring M A. 1984. Redistribution of minerals in apple fruit during storage: preliminary investigations with the variety Spartan. *J Sci Food Agri*, (35): 182 – 190.

Perring M A. 1985. Redistribution of minerals in apple fruit during storage: effects of late pruning, calcium sprays and low temperature breakdown. *J Sci Food Agri*, (36): 333 – 342.

Plisek B. 1995. Development and prediction of calcium content in apples. *Acta Hort*, 383: 463 – 474.

Preston A P, Perring M A. 1974. The effect of summer pruning and nitrogen on growth, cropping and storage quality of Cox's Orange Pippin apple. *J Hort Sci*, (49): 77 – 83.

Rigney C J, Wills R B H. 1981. Calcium movement, a regulating factor in the initiation of tomato fruit ripening. *Hort Sci*, (16): 550 – 552.

Saks Y, Sonogo L, Ben-Arie R S. 1990. Senescent breakdown of 'Jonathan' apples in relation to the water soluble calcium contents of the fruit pulp before and after storage. *J Amer Soc Hort Sci*, 115: 615 – 618.

Sams C E, Conway W S. 1993. Postharvest calcium infiltration improves fresh and processing quality of apples. *Acta Hort*, 326: 123 – 129.

Saure M C. 1987. Summer pruning effects in apple—a review. *Sci Hort*, (30): 253 – 282.

Schupp J R, Ferree D C. 1987. Effect of root pruning at different growth stages on growth and fruiting of apple trees. *Hort Sci*, 22(3): 387 – 390.

Simon E W. 1978. The symptoms of calcium deficiency in plants. *New Phytol*, 80: 1 – 15.

Song J, Bangerth F. 1993. The effect of calcium-infiltration on respiration,

ethylene and arom production of 'Golden Delicious' apple fruits. *Acta Hort*,326:131 - 137.

Stably E A, Benson N R. 1982. Seasonal accumulation of calcium and potassium in the cortex of 'Golden Delicious' apple fruit sprayed with 2, 3, 5-triodobenzoic acid. *Hortscience*, (17):781 - 783.

Suwwan M A, Poovaiah B W. 1978. Association between elemental content and fruit ripening in rin and normal tomatoes. *Plant Physiol*, (9):4540 - 4542.

Tanaka K, Inomatu Y, Kawase S, et al. 1992. The phisiological mechanism of watercore in Japanese pear(*Pyrus pyrifolia* Nakai var. culta Nakai) and its prevention by calcium EDTA. *J Japan Soc Hort Sci*,61:183 - 190.

Tomala K, Dilley D R. 1990. Some factors influencing the calcium level in apple fruits. *Acta Hort*,274:481 - 487.

Vang-Petersen O. 1980. Calcium, potassium and magnesium nutrition and their interactions in 'Cox's Orange' apple trees. *Sci Hort*,12(2):153 - 161.

Witney G W, Kushad M M. 1990. Correlation of pyruvate kinase activity with bitter pit development in apple fruit. *Sci Hort*,43(3 - 4):247 - 253.

Yoshioka H. 1989. Effect of Nitrate and potassium nutrition on the storability of apple fruit. *J Japan Soc Hort Sci*, (58):475 - 481.



**关军锋** 博士,研究员。1989年硕士毕业于山东农业大学,1996年博士毕业于浙江农业大学(现为浙江大学),2005-2006年在韩国食品研究院从事果品保鲜技术合作研究(博士后)。现任河北省农林科学院遗传生理研究所所长,国家农业(梨)产业技术体系岗位专家,河北省农林科学院学术委员会委员、学术带头人。目前主要从事果实品质生理与储藏保鲜加工技术研究,承担国家梨产业技术体系采后商品化处理与加工岗位建设任务。

先后主持参加国家科技支撑计划、中韩国际合作研究、国家自然科学基金、河北省自然科学基金等重点研究项目。主编出版学术专著《果实品质生理》、《果品品质研究》、《果树钙素营养与生理》等,在《中国农业科学》、《园艺学报》、

《果树学报》等核心期刊发表论文 150 余篇。主持完成获奖成果 4 项,2009 年主持完成的“冬枣和赞皇大枣采后生理和贮藏保鲜技术”获河北省科技进步奖二等奖。

# 苹果矮化砧木的选育及矮化、铁高效机理研究

韩振海 等

中国农业大学园艺植物研究所

**摘要:**苹果矮化密植已是世界性趋势,我国的苹果栽培耕作制度正处于从乔化栽植向矮化密植的转型时期。在此背景下,本文全面叙述了国内外苹果矮化砧木的选育成就,特别是对我国选育的苹果矮化砧的特点、应用情况进行了详细阐述,并据此提出了以 SH 系、GM 系和中砧 1 号为代表的我国苹果产区矮化砧适用性配置方案。在总结前人研究的基础上,作者根据其团队的最新进展,分别提出了苹果矮化中间砧、矮化自根砧致矮的激素信号调控模型。同时,系统总结了 25 年来在苹果铁素吸收利用机理方面的生物学、根系根际学、生理生化学、组织解剖学及分子生物学等的研究成果,首次提出了苹果吸收利用铁素的分子机制。

**关键词:**苹果;矮化;砧木适用性;激素致矮调控;铁素吸收利用;分子机制

## 一、引言

我国已是“世界第一果园”,果树栽培面积和果品总产量名列世界第一。截至 2011 年,我国苹果栽培面积 2056.2 hm<sup>2</sup>,产量 3326.5 万 t,均居世界第一,但从单产而言,我国尚未达到世界平均水平,更比苹果业发达国家平均水平低 50% 以上。究其原因,这虽与果园土壤地力、水肥条件、果园管理及机械化程度等有关系,但栽培耕作制度的不同无疑占了很大因素。目前,发达国家广泛采用无性系矮化砧木进行密植栽培生产,而我国主要采用乔砧稀植或乔砧密植,易导致营养生长旺盛、果园郁闭,果品单产较低、果品品质整体较差。

20 世纪 70 年代开始,我国果树科技工作者开始关注矮化密植栽培。一方面,从国外引进大量矮化砧木进行区试和栽培试验,这虽在一定区域取得了小规模的成功范例,但实践证明国外引进的砧木大多不适应我国的风土自然条件;另一方面,我国也从那时起针对矮化这一目标性状,兼顾抗寒、抗旱、抗病及营养高

效等综合或区域性状,开始选育风土适应性强的自主矮化砧木,并对矮化及主要性状形成的机制进行研究。至今,已取得阶段性的显著成果。本文以我国在这方面的研究成果为主,结合国际上这方面的研究进展,对苹果矮化砧木的选育情况及苹果矮化、铁高效机制研究予以综述。

## 二、苹果矮化机制研究

### (一) 苹果矮化机制

对于苹果致矮机制的研究,文献众多,观点不一,但 70 多年的相关研究取得了很大进展,也形成了一定共识。主要表现在:

#### 1. 解剖结构与矮化

乔化砧与矮化砧根部解剖结构不同,可用根皮率预测砧木的生长势(Beak, Thompon, 1939)。但由于根系采集难度、根系及其皮部生长受土壤等因素影响较大等,关注点多转向了对枝条解剖结构的研究。王中英等(1983)、Jaumin 等(1984)等研究表明,一年生枝的皮部与木质部的比例(材皮比)与树体矮化程度有关。Beak 和 Rogers(1956)提出、王中英等(1988)研究发现,导管密度和导管面积的百分比与树体的矮化性状有关。

通过对苹果砧木叶片解剖结构的系统研究认为,叶片厚度、叶片上下表皮的厚度与生长势无相关性;栅栏组织及海绵组织的厚度和栅栏组织/海绵组织与生长势呈显著正相关。矮化砧栅栏组织的厚度大于乔化砧,栅栏组织与海绵组织比大于 1;乔化砧的海绵组织较栅栏组织发达,栅栏组织与海绵组织比小于 1(王中英等,1983)。

矮化砧嫁接口比乔化砧嫁接口内死组织及木质漩涡较多,是造成树体矮化的重要原因(Ussahatanonta, 1988; 张新忠等, 1995)。

#### 2. 物质运输与矮化

试验报道认为,砧木对苹果树体矿质元素的影响较大,但大量关于不同砧木苹果树叶片营养元素的分析结果明显不一,甚至相反(Rom et al., 1991; Jones, 1986; Faust, 1989),还需大量、进一步的研究去揭示。

嫁接在矮化砧上的苹果树短枝比例较高(70%左右),而嫁接在乔化砧上的树体短枝比例较低(40%左右);矮化砧树营养生长较少、消耗较少,使树体有机营养物质积累,这是形成较多的花芽、进而丰产的基础。Fisher(1970)报道,矮化砧树体的同化物质大量输送到果实,是乔化砧树的 5 倍以上;而对乔化砧树而言,其同化物质输送到果实中和枝干中的几乎各半。顾曼如等(1979)研究发现,不同砧木的苹果树体内多种氨基酸含量及其年变化都不相同;在年生长季的晚

秋时,矮化砧苹果树体内氨态氮、糖、淀粉的含量均高于乔化砧树。

### 3. 光合特性与矮化

Ferree 和 Barden(1971)等研究认为,矮化砧苹果树叶片光合速率高。张建光等(2004)的研究发现,在首红、嘎啦、乔纳金与 M26、B9、M7 的 9 个砧穗组合中,嫁接在 3 个砧木上的‘首红’表现出较高光合性能,M26 做砧木对接穗光合性能影响的正效应大于 B9;砧木遗传上的差别能够影响特定嫁接组合叶片的光合特性,说明生产上选择适宜砧穗组合的重要性。

### 4. 激素与矮化

果树的树体大小受到激素的明显控制,矮化砧可能并不直接影响 IAA 的发生源,而是通过影响 IAA 向基运输中的代谢或降低经韧皮部的 IAA 及其代谢物质的量使树体矮化;GA 被认为是控制树体大小的最重要激素(Faust et al., 1994),GA 的作用以 IAA 的变化为前提,GA 还可以提高 IAA 的活性。不同矮化能力的苹果砧木枝条木质部汁液及根压分泌物中的细胞分裂素类物质的形式不同,玉米素是半矮化砧木 MM106 木质部汁液细胞分裂素类物质的主要形式,而玉米素核苷则是矮化砧木 M27、M9 木质部汁液细胞分裂素类物质的主要形式(Kamboj,1999)。ABA 的生理功能与 GA 相反,苹果矮化砧嫁接树 ABA 含量比乔化砧嫁接树的 ABA 含量高(Yabava, Dayton, 1972; Tubbs, 1973);ABA 含量与树体矮化程度呈显著正相关,与幼树树高、新梢长度呈显著负相关(邵开基等, 1987)。

### 5. 生化物质与矮化

与矮化性状密切相关的酶是过氧化物酶,苹果不同矮化程度砧木之间 POD 酶活性差异很大,且酶活性大小与砧木的矮化程度密切相关(聂华堂等,1991;徐继忠等,2002;Schertz,1971)。

对苹果根系的研究表明,根皮苷可作为苹果砧木的生长抑制剂;根皮苷含量占根总重的 10% ~ 25%,根皮苷在根与茎的过渡区含量最高且最稳定(Palftov, 2003)。

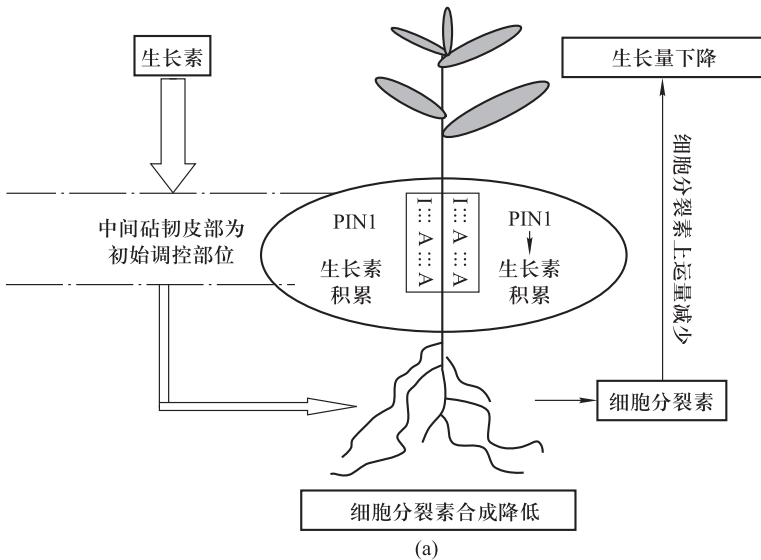
### 6. 苹果砧木致矮的分子机制

控制苹果生长发育或矮生性状的基因很多,目前所研究的致矮基因主要集中于三类:第一类研究来源于‘扎矮 76’的抗寒矮化基因。推测其矮生性状由显性矮生主基因 Dw 控制(张开春等,1999)。毕晓颖等(2002)的研究获得了与 Dw 基因连锁的 RAPD 标记 OPE15 - 1001,其连锁距离为 0.69 cm。第二类研究集中在控制树体柱型的 Co 基因。树体柱型生长习性受显性单基因 Co 控制,同时受相关修饰基因的影响。王彩虹等在 Hemmat 等确定了与 Co 连锁的 RAPD 的 AS 引物的基础上,筛选出 Co 基因的一个 AFLP 标记,并将其转化为 SCAR 标记;

Southern 杂交结果表明,此标记在苹果基因组中为单拷贝(王彩虹,束怀瑞,2001;王彩虹等,2002)。Maliepaard 等(1998)利用 SSR 标记,将柱型基因 Co 定位到苹果的 L10 染色体上。第三类研究以‘舞美’x 平邑甜茶的 F1 代分离群体,遗传分析发现,树体矮化这一性状是受显性单基因 Md 控制。通过 SSR 标记分析,发现了与矮化基因 Md 连锁的 CH01f02、CH01912 和 CH04904 等多个标记;Md 基因被定位在苹果 L12 染色体上(石丽雪等,2006)。

## (二) 矮化自根砧、矮化中间砧的矮化机制

以国外选育的苹果矮化砧木 M9 为参比,我国自育的‘SH40’、‘中砧 1 号’苹果矮化砧木为重点,对矮化自根砧(‘中砧 1 号’、M9)、矮化中间砧(SH 系、M9)致矮机制的研究表明,砧木之所以影响树体大小,主要是细胞分裂素和生长素起“阀门”作用;矮化中间砧、自根砧的致矮机制存在差异。矮化自根砧根中细胞分裂素合成能力差,造成地上部器官获得的细胞分裂素量减少,导致生长素含量下降而使树体矮化。而韧皮部在矮化中间砧致矮中起重要作用;矮化中间砧砧段韧皮部生长素运输能力较弱,使根获得的生长素含量减少,导致细胞分裂素合成量降低,从而使树体矮化的。苹果矮化自根砧、矮化中间砧致矮的激素信号调控模型如图 1 所示。





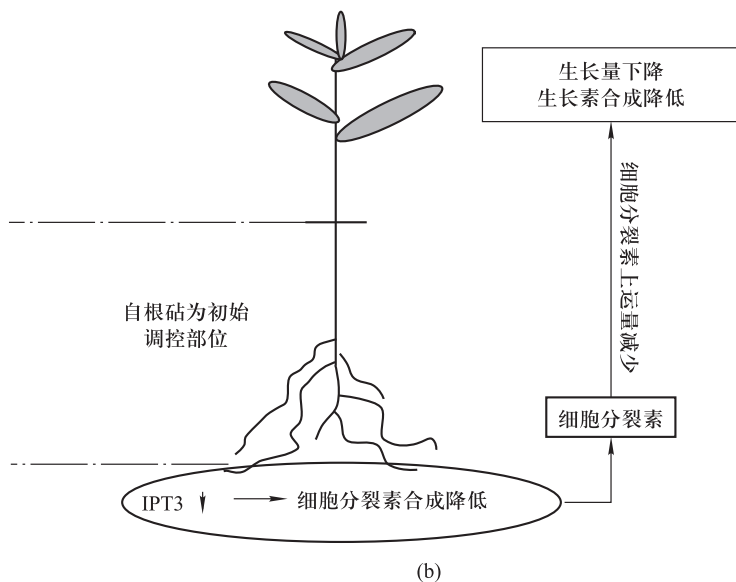


图1 苹果矮化砧致矮的激素信号调控模型

(a) 中间砧;(b) 自根砧

### 三、苹果铁高效机制研究

#### (一) 苹果铁高效生理机制

通过生物学、生理生化学、根际学、组织解剖学等方面的系统观测,发现铁高效苹果基因型形成根毛多而密、 $Fe^{3+}$  还原能力强、根表皮细胞中存在“转移细胞”、根细胞液泡中具有“铁库”及叶片光合速率高,据此提出了“高效苹果基因型铁素的生物活化机制及吸收利用铁素的协调系统”(图2)和“低效苹果基因型铁素的非

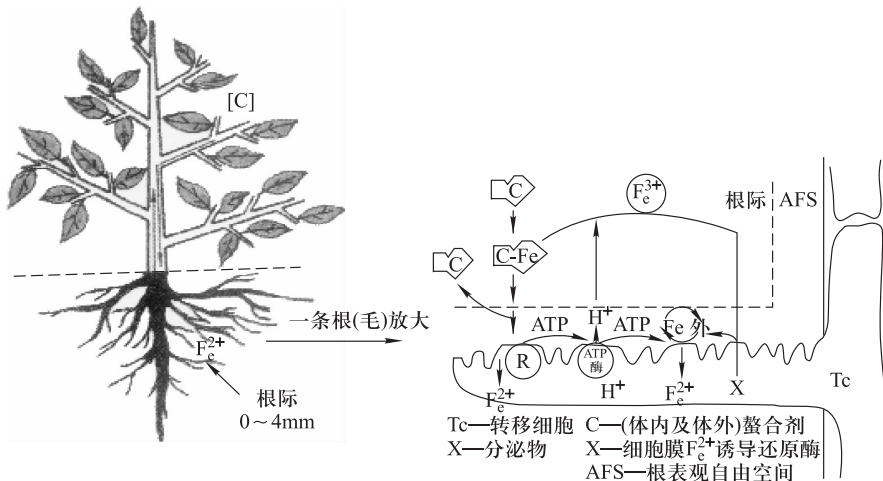


图2 高效苹果基因型铁素的生物活化机制及吸收利用铁素的协调系统

生物活化机制及吸收利用铁素的非协调系统”(图3)等苹果吸收利用铁素的机制。

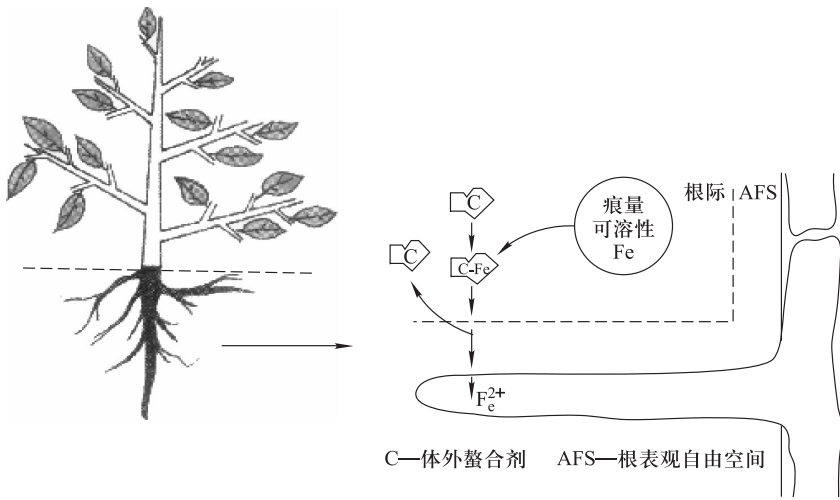


图3 低效苹果基因型铁素的非生物活化机制及吸收利用铁素的非协调系统

## (二) 苹果铁高效分子机制

在对苹果铁高效生理机制研究的基础上,对苹果吸收利用铁素的分子机制进行了深入研究。至今,已克隆、鉴定苹果吸收、转运、利用铁素的相关基因13个(表1),基本明确了这些基因的功能及其在苹果铁素吸收利用中的作用(表2),并因此提出了“苹果吸收利用铁素的分子机制”(图4)。

表1 苹果吸收利用铁素相关基因简况

基因	全长/bp	GenBank 登录号
MxHA2	2865	专利
MxFRO2	2417	EF577061
MxFRO1	1500	专利
MxIRT1	1398	AY193886
MxMYB1	1134	AY196776
MxBHLH01	1308	HQ889726
MxHA7	2901	专利
MxSAMS	1479	专利
MxNAS1	1305	DQ403256
MxVHA - c	498	专利
MxCS1	1882	专利
MxYSL1	2100	专利
MbNramp1	2090	AY724413

表 2 苹果吸收利用铁素相关基因的主要表达部位及可能功能

基因	主要表达部位				可能功能	方法
	根	维管束	幼叶	老叶		
MxHA2	★				释放 H <sup>+</sup>	RT - PCR, qRT - PCR
MxFRO2	★			★	还原	RT - PCR
MxFRO1	★				还原	Northern blot
MxIRT1	★				转运	Northern blot
MxMYB1	★				调控	Northern blot, RT - PCR
MxBHLH01	★				调控	RT - PCR
MxHA7	★				释放 H <sup>+</sup> , 根毛产生	RT - PCR
MxSAMS	★		★		腺苷甲硫氨酸合成	Northern blot
MxNAS1	★		★		尼克烟酰胺合成	Northern blot
MxVHA - c	★		★	★	转运	qRT - PCR
MxCS1		★			运输	RT - PCR
MxYSL1			★		转运	Northern blot, RT - PCR
MxNramp1				★	吞噬	Northern blot

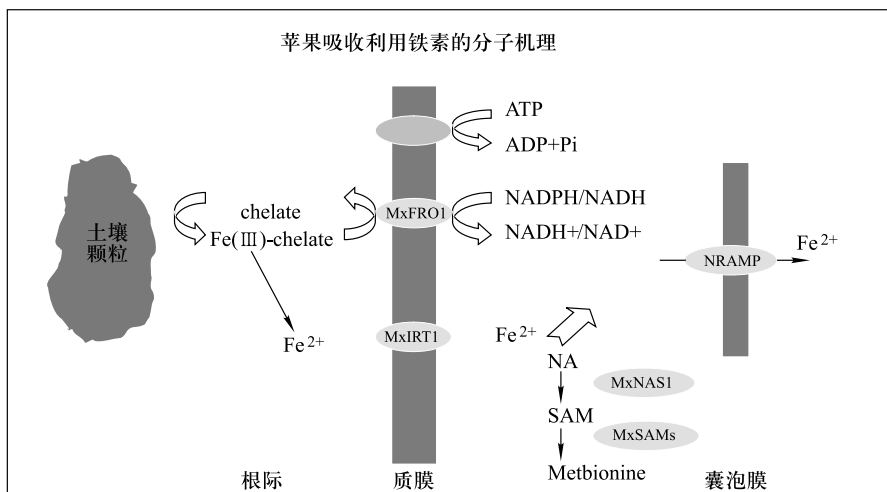


图 4 苹果吸收利用铁素的分子机制

## 四、苹果矮化砧木选育进展

### (一) 国外苹果矮化砧木

(1) 茂林(M)砧木系列:英国东茂林试验站从 1912 年开始收集英国和欧洲其他国家的所有的苹果砧木及亚洲野生苹果砧木资源,根据形态和解剖学特征,以丰产性及控制树体大小为目标对 71 个砧木材料进行筛选和分类。1917 年公

布了 M 系 1~9 号,后又公布了 10~16 号。20 世纪 50 年代以后,开始在 M 系砧木之间进行杂交,选育出 M26 和 M27。M 系苹果矮化砧木在世界各地得到了广泛应用,引发了苹果栽培的一场革命,其中表现较好的苹果矮化砧木有 M2、M4、M7、M8、M9、M26、M27 等。

(2) 茂林-默顿(MM)砧木系列:20 世纪 20 年代,东茂林试验站与约翰英斯园艺研究所合作,用 M 系和抗绵蚜苹果品种君袖(Spy)杂交,获得 15 个抗绵蚜无性系。为了防止这些砧木与茂林系列砧木发生混乱,把它们命名为 MM(Malling-Merton)系,编号 101~115。各系性状表现各异,生长势从半矮化到乔化都有。目前我国应用的主要有 MM106 和 MM111。

(3) 康奈尔-吉内瓦(CG)砧木系列:美国纽约州康奈尔大学与吉内瓦农业试验站合作,于 1953 年从 M8 的自然授粉实生苗中选出的营养系矮化砧,父本可能是 M1~M16、旭和君袖,共 158 个品系,这些品系中 10、26、47、80 近似 M9,23、24、57 近似 M26,5、55、62 近似 M7,18、32 近似 MM106,其中 CG24、CG80 做中间砧进行矮化栽培的效果很好。

(4) 波兰(P)砧木系列:波兰斯凯尔涅维采果树研究所于 1954 年以安东诺夫卡×M9 杂交,选育出抗寒及抗颈腐病的 P 系。其中,1 号、2 号、16 号、22 号早果、丰产,矮化性介于 M9、M26 之间;2 号、22 号抗寒性强;1 号矮化性似 M7;5 号为极矮化砧。P 系的缺点是根孽多,易感火疫病。表现较好的有 P22、P60 号。

(5) 密执安(MAC)砧木系列:1956 年,美国密执安州立大学的 D. F. 卡尔博士播种了 M1~M16 及阿尔纳普 2 号、西伯利亚海棠 5 号、美国酸苹果自由授粉种子。此后,对实生苗进行了田间抗绵蚜和优良性状的筛选,初选 56 个砧木类型,定名为 MAC 系,其中表现较好的有 MAC1、MAC9、MAC24、MAC39 和 MAC46。

(6) 布达戈夫斯基(B)砧木系列:前苏联米丘林大学布达戈夫斯基教授用 M9×Red Standard 杂交育成的抗寒矮化砧木,适应苏联中部严寒气候。表现较好的有 B9、B118。

(7) 盛岗(JM)砧木系列:1972 年,日本农林水产省果树试验场苹果支场(原盛岗支场)用圆叶海棠×M9 进行杂交,选育出盛岗 1~10 号共 10 个优良品系。1985 年起进行试栽鉴定,结果表明,1 号、4 号、7 号、8 号、9 号和 10 号属于矮化砧类型,2 号、3 号和 6 号属于矮化和半矮化砧中间类型;1 号、3 号、4 号、6 号、7 号、8 号、9 号和 10 号属于高抗颈腐病类型,2 号和 5 号属于抗颈腐病类型。1996 年 8 月,农林水产省将盛岗 1 号、7 号、8 号命名为 JM1、JM7、JM8;1997 年 8 月,将盛岗 2 号、5 号命名为 JM2、JM5。

(8) 渥太华(O)砧木系列:1967 年,加拿大渥太华农业试验场以抗寒为目

标,选出了一系列无性系砧木,即 O 系(O1 ~ O14)。其中 O2 与 M9 相似,抗寒、丰产,固地性好,萌孽少,但繁殖较 M9 要困难。

(9) 瑞典(A)砧木系列:瑞典阿尔纳波国家园艺研究部选育了 A 系矮化砧木,其中主要推广应用 A2。该砧木属半乔化型,宜做中间砧,嫁接亲和性好,易繁殖。自根树生长直立,生长势中庸,分枝角度小,枝条较细,抗寒力强。

(10) 德国(J)砧木系列:德国杰克研究所从 M9 自然授粉的实生后代中选育。其中 J9 易繁殖,固地性好,抗寒性优于 M9,但有嫁接口处膨大、易感火疫病的缺点。在德国的试验表明,其矮化性和丰产性同 M9 相近,适于当地栽培。

(11) T337:荷兰木本植物苗圃检测服务中心(NAKTUINBOUW)从 M9 选出来的脱毒 M9 矮化砧木优系,又称 NAKB T337。目前 T-337 是世界各国应用最成功最广泛的脱毒矮化砧木,其优点是结果早、适应性广,表现干性强,易成花,结果大小均匀,丰产性好等特点,特别适宜发展高密度的高纺锤形树形。

## (二) 国内苹果矮化砧木

(1) SH 砧木系列:由山西省农业科学院果树研究所用国光 × 河南海棠杂交选育而成,1994 年通过省级鉴定,1997 年获山西省科技进步三等奖。SH 系砧木在我国的抗性超过了英国的 M7、M9、M26 等矮化砧,具有较强的耐寒、耐旱、抗抽条和抗倒伏能力,可在我国大部分苹果主产区栽植,尤其适宜在华北和西北黄土高原地区栽培发展。表现良好的系号有 SH1、SH6、SH38、SH40 等。

(2) S 砧木系列:山西省农业科学院果树研究所从武乡海棠实生苗中选育的苹果矮化砧木,主要优系有 S5、S10、S18、S19、S20、S21、S63 等,其中 S19(矮化)、S20(极矮化)、S63(半矮化)与金冠、红星等苹果品种嫁接亲和性好,综合性状表现良好。

(3) 辽宁砧木系列:辽宁省农业科学院果树研究所在 1977 年用 M9 × 小南海棠杂交育成。该砧木系列具有明显的矮化、早果、丰产、抗寒、亲和性好等特点,1995 年通过辽宁省农作物品种审定委员会审定。生产中表现较好的有 77-33、77-34。此外,辽宁省农业科学院果树研究所用助列涅特 × M9 杂交选育成‘辽砧 2 号’,2003 年通过辽宁省农作物品种审定委员会审定。‘辽砧 2 号’为矮化砧,具有较强的抗寒性。

(4) GM256:1973 年,吉林省农业科学院果树研究所利用西伯利亚酸苹果、美国酸苹果与 M 系进行杂交培育而成。GM256 作矮化砧,具有亲和力好、早实、丰产等特点。该砧木抗寒力强,抗腐烂病、黑星病及早期落叶病,适宜在我国北部寒地苹果栽培区应用。

(5) CX 砧木系列:中国农业科学院果树研究所选育的苹果砧木系列,其中,

CX3 是用 M9 × 山定子杂交育成,1989 年发表,属矮化砧,抗寒、越冬性优于 M26;CX4 是用金红 × 山定子杂交选育,1989 年发表,为矮化砧,抗寒性强;CX5 是用吉林 193 × M9 选育而成,为矮化砧,抗寒性强,越冬性优于 M26。

(6) MD001:黑龙江省农业科学院牡丹江农业科学研究所用大秋果 × M8 杂交育成。MD001 为半矮化砧,抗寒力极强。

(7) KM:新疆生产建设兵团农七师农业科学研究所用花红 × M9 杂交育成,2000 年 1 月通过新疆维吾尔自治区农作物品种审定委员会审定。KM 属极矮化砧,在 pH 值为 7.9 ~ 8.2 的土壤上能正常生长,抗寒性强。

(8) 扎矮山定子:内蒙古自治区呼伦贝尔盟农科所从该所原始材料圃 200 株 3 ~ 4 年生的山定子中发现的一株矮化山定子,抗寒力极强,编号为‘扎矮 76’,1995 年 2 月通过内蒙古自治区农作物品种审定委员会审定,被命名为‘扎矮山定子’。

(9) 中砧 1 号:中国(原北京)农业大学园艺植物研究所 1987 年从小金海棠中初选出优系后,经复选、田间试验验证,于 2009 年通过北京市林木品种审定委员会审定,被命名为‘中砧 1 号’。这是我国第一个选育的苹果矮化自根砧,成龄树体表现固地性好,半矮化,矮化程度、提早结果作用及丰产能力均与 M7 相近。‘中砧 1 号’耐旱性强,抗寒力与‘毛山定子’一样,能耐 -45℃ 的低温而不发生冻害,其突出的特点是在现有苹果砧木常出现缺铁黄化现象的土壤中正常生长,不表现缺铁黄叶病。

(10) U8:中国农业科学院郑州果树研究所 1974 年采用 M8 与八棱海棠杂交培育而成,1989 年发表,为矮化砧。

(11) 无融合生殖苹果砧木:青岛农业科学研究院育成的‘青砧’系列苹果砧木。其中,‘青砧 1 号’以平邑甜茶 × 柱形苹果株系 CO 杂交选育而成;‘青砧 2 号’为平邑甜茶辐射诱变的矮生突变体,属于半矮化砧。

(12) SX 系:西北农林科技大学园艺学院果树研究所用富平秋子分别与 M26、M9、M7 矮化砧杂交,育成 SX 系,致矮作用相当或高于 M26,其中 SX13、SX126、SX138 和 SX140 综合性状优良。

综上所述,我国开展苹果砧木育种的单位较多,且皆取得了一定的进展。但需要强调的是,一方面,上述我国大多数单位选育的砧木尚未在生产上大规模应用,还得继续试验观察、区试、示范;另一方面,这些砧木绝大多数都是矮化中间砧,增加了嫁接次数、繁殖较烦琐,在无适宜自根砧时可以选择应用。从当前生产上推广应用效果及砧木自身所具有的特性看,本文提出‘中砧 1 号’、SH 系、GM 系在我国苹果产区的应用方案。具体内容为:‘中砧 1 号’矮化自根砧,适用于东起山东、西至四川、南及江苏、北临内蒙古等我国大多数苹果产区;矮化中间

砧 SH 系可用于华北、黄河故道、西北等苹果产区;GM 系主要适用于辽宁、吉林、内蒙古、黑龙江等苹果寒地产区。

## 参考文献

- 毕晓颖,吴禄平,安利佳. 2002. 一个苹果属显性矮生主基因 DW 连锁的 RAPD 标记. 园艺学报,29(1):1-4.
- 顾曼如,张若杼,黎文文,等. 1979. 苹果植株中的无机氮与游离氨基酸. 落叶果树,(3):8-14.
- 聂华堂,钟广炎,陈竹生. 1991. 叶片过氧化物酶活性作为柑橘短枝型品系预选指标初探. 果树学报,(1):56-60.
- 邵开基,牛自勉,张忠仁,等. 1987. 苹果砧木矮化程度与 ABA 含量关系的研究. 园艺学报,14(1):7-11.
- 石丽雪,沙广利,王斌,等. 2006. 可用于标记苹果性状的 AFLP 技术的建立和优化. 山东农业科学,(2):15-20.
- 王彩虹,束怀瑞. 2001. 利用分子标记研究苹果资源与基因组的进展. 果树学报,18(2):104-109.
- 王彩虹,王倩,戴洪义,等. 2002. 苹果柱型基因 Co 的一个 AFLP 标记的 SCAR 转换. 园艺学报,29(2):100-104.
- 王中英,解思敏,杨佩芳,等. 1983. 苹果砧木矮化性状的综合解剖学结构. 园艺学报,(2):20-24.
- 王中英,解思敏,杨佩芳,等. 1988. 苹果矮砧解剖结构研究. 果树科学,5(1):8-10.
- 徐继忠,史宝胜,马宝炮,等. 2002. 苹果不同矮砧与其对应中间砧植株 POD、IOD 酶活性的研究. 中国农业科学,(4):35-37.
- 张开春,毕晓颖,李荣旗,等. 1999. 苹果属(Malus)显性矮化主基因 Dw 的 RAPD 分子标记. 农业生物技术学报,7(2):184-186.
- 张建光,刘玉芳,施瑞德. 2004. 不同砧木上苹果品种光合特性比较研究. 河北农业大学学报,27(5):31-33.
- 张新忠,章德明,张建阁,等. 1995. 矮砧及乔砧苹果树嫁接口的解剖观察. 园艺学报,(2):34-36.
- Beakbane A B, Thompon E C. 1939. Anatomical studies of stems and roots of hardy fruit trees. Pomol Hort Sci,(17):141-149.

Beak Bane A B, Rogers W S. 1956. The relative importance of strains and root in determining rootstock influence in apples. Hort Sci, (31) :91 - 110.

Faust M. 1989. Physiology of temperate zone fruit trees. New York :Wiley, 267 - 271.

Ferree D C, Barden J A. 1971. The influence of strains and rootstock on photosynthesis, respiration and morphology of 'Delicious' apple tree. J Amer Soc Hort Sci, 96(4) :453 - 457.

Fisher D V. 1970. Spur strains of 'McIntosh' discovered in British Columbia. Can Fruit Var Hort Digest, (24) :27 - 32.

Kamboj J S. 1999. Polar transport of IAA in apical shoot segment of different apple rootstock. Journal of Horticultural Science, 72(5) :773 - 780.

Jaumien F, Faust M. 1984. Stem anatomical structure of delicious and golden delicious apple hybrids with various growth dynamics. Acta Hort, 146 :69 - 79.

Jones O P. 1986. Endogenous growth regulators and rootstock/scion interactions in apple and cherry trees. Acta Hort, 179 :177 - 184.

Maliepaard C, Alston F H, van Arkel G. 1998. Aligning male and female linkage maps of apple (*Malus pumila* Mill.) using multi-allelic markers. Theor Appl Genet, 97 :60 - 73.

Rom C R, Autio W R, Elfving D C, et al. 1991. Foliar nutrient content of starkspur supreme delicious on 9 clonal apple rootstocks. Fruit Varieties Journal, 45 : 252 - 263.

Schertz K P. 1971. Peroxidase regulation by the 3-dwarf height locus in sorghum. Journal of Heredity, 62 :235 - 238.

Palfitov V F. 2003. Methods for determination of growth vigour of apple rootstocks. Sadovodstvo I Vinogradarstvo (Russian), (3) :12 - 13.

Tubbs R F. 1973. Research field in the interaction of rootstocks and scions in woody etennials part 2. Hort Abstract, 43(6) :325 - 336.

Ussahatanonta S, Simons R K. 1988. Graft union development of the Golden Delicious apple when combined with varied dwarfing rootstock. Fruit Varieties, 42 : 152 - 159.

Wang S Y, Faust M, Line M J. 1994. The possible role of indole-3-acetic acid. J Amer Soc Hort Sci, 119(6) :1215 - 1221.

Yabava U L, Dayton D F. 1972. The relation of endogenous abscisic acid to the dwarfing capability of East Malling apple rootstocks. J Amer Soc Hort Sci, 97 :701 - 706.





**韩振海** 1963年生,现为中国农业大学教授、博士生导师,国际园艺学会理事,北京果树学会副理事长。

1984年起,韩振海教授一直从事果树种质创新、生理及分子生物学方面的研究工作。研究成果主要包括:①在全球范围内筛选出第一个抗缺铁黄叶病的苹果矮化自根砧——‘中砧1号’;②分别提出了“苹果吸收利用铁素的生理机制”和“苹果吸收利用铁素的分子机制”;③在铁高效基因的克隆及功能研究方面,已克隆13个铁高效基因,并分别进行了

功能验证;④创新性地研发了扦插快繁苹果砧木苗的高效技术;⑤研发研究果实营养的多层次微环割方法。

已出版《中国博士专著·农业领域·落叶果树种质资源学》、《苹果矮化密植栽培——理论与实践》等著作9部,发表论文130余篇;获得“跨世纪人才”、全国优秀教师等7项个人荣誉和称号,获国家科技进步奖二等奖1项、全国优秀图书教材奖1项、省部级科研奖励5项、北京市教学成果奖一等奖1项。

# 我国苹果园土壤养分现状与高效施肥建议

姜远茂

山东农业大学园艺科学与工程学院

## 一、我国苹果园土壤养分现状

### (一) 我国苹果主要生态区养分状况

我国苹果园土壤有机质含量情况见表 1, 环渤海湾苹果产区含量平均为 14.9 g/kg, 含量低样本数占 71%; 黄土高原苹果产区含量平均为 13.6 g/kg, 含量低样本数占 61.4%。总体来看, 有机质含量不高, 与优质丰产要求相差很远, 提高果园有机质是管理重点。

表 1 我国苹果主产区果园有机质状况

区域	样本/个	含量/(g/kg)	丰缺程度/%		
			丰富	中等	低
环渤海湾	河北	1030	13.3	9.5	77.2
	山东	2320	10.0	12.0	78.0
	北京	480	11.0	31.1	57.9
	平均	3830	11.4	17.5	71
黄土高原	陕西	1030	3.6	19.8	76.6
	山西	3528	6.0	47.9	46.1
	平均	4558	4.8	33.9	61.4

我国苹果园土壤全氮含量情况见表 2, 环渤海湾苹果产区含量平均为 0.86 g/kg, 含量低样本数占 98.5%; 黄土高原苹果产区含量平均为 0.86 g/kg, 含量低样本数占 79.7%。总体来看, 全氮含量不高。

表2 我国苹果主产区果园全氮状况

区域	样本/个	含量/(g/kg)	丰缺程度/%			
			丰富	中等	低	
环渤海湾	河北	1030	0.78	0.7	1.6	97.7
	山东	2320	0.82	0	0	100
	北京	480	0.98	0	2.2	97.8
	平均	3830	0.86	0.2	1.3	98.5
黄土高原	陕西	1030	0.86	0	0	100
	山西	3528	0.85	7.3	33.3	59.4
	平均	4558	0.86	3.7	16.6	79.7

我国苹果园土壤速效磷含量情况见表3,环渤海湾苹果产区含量平均为55.4 g/kg,含量丰富样本数占36%;黄土高原苹果产区含量平均为29.2 g/kg,含量低样本数占47.6%。总体来看,速效磷含量环渤海湾产区较高,而黄土高原产区较低。

表3 我国苹果主产区果园速效磷状况

区域	样本/个	含量/(g/kg)	丰缺程度/%			
			丰富	中等	低	
环渤海湾	河北	1030	58.1	40.5	17.1	42.4
	山东	2320	75.1	37.6	27	35.4
	北京	480	33	46.5	18.4	35.1
	平均	3830	55.4	41.5	20.8	37.6
黄土高原	陕西	1030	40	36	32.4	31.6
	山西	3528	18.4	6.5	29.8	63.7
	平均	4558	29.2	21.3	31.1	47.6

我国苹果园土壤速效钾含量情况见表4,渤海湾苹果产区含量平均为175.8 g/kg,含量低样本数占46.7%;黄土高原苹果产区含量平均为152.5 g/kg,含量低样本数占23.3%。总体来看,速效钾含量环渤海湾产区较低比例较多,而黄土高原产区较少。

表 4 我国苹果主产区果园速效钾状况

区域	样本/个	含量/(g/kg)	丰缺程度/%			
			丰富	中等	低	
环渤海湾	河北	1030	204.9	32.2	31.4	36.4
	山东	2320	188.3	19.2	18.6	62.2
	北京	480	134.2	21.9	36.8	41.3
	平均	3830	175.8	24.4	28.9	46.7
黄土高原	陕西	1030	123.5	27	46.8	26.2
	山西	3528	181.4	23.2	56.3	20.5
	平均	4558	152.5	25.1	51.6	23.3

## (二) 长期高量施肥对果园土壤质量的影响

对栖霞市多年(1984—2012年)定点测定数据表明,2012年N肥施用量增加了21.58%, $P_2O_5$ 增加了72.07%, $K_2O$ 增加了486%(图1、表5),磷钾肥增加显著。

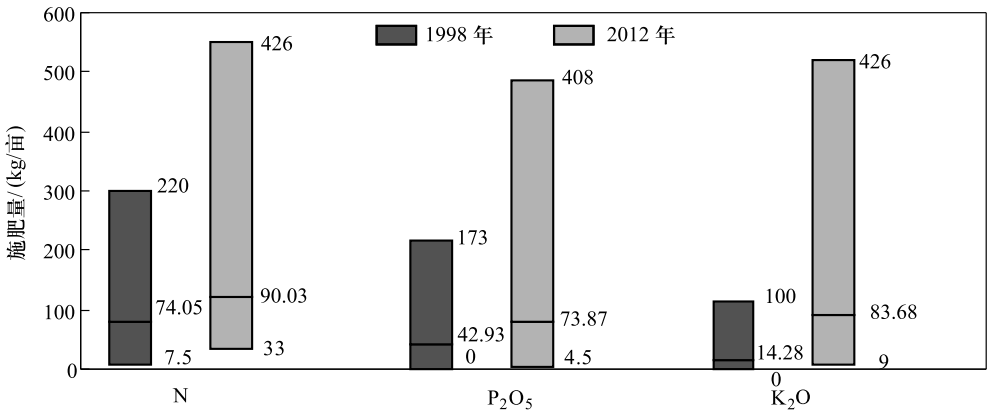


图 1 栖霞市苹果园 1998 年和 2012 年施肥情况

表 5 栖霞市苹果园施肥情况

	N/(kg/亩)	$P_2O_5$ /(kg/亩)	$K_2O$ /(kg/亩)	N: $P_2O_5$ : $K_2O$ 之比
1998 年(马文奇)	74.05	42.93	14.28	1:0.58:0.19
2012 年	90.03	73.87	83.68	1:0.82:0.93
增幅	21.58%	72.07%	486%	

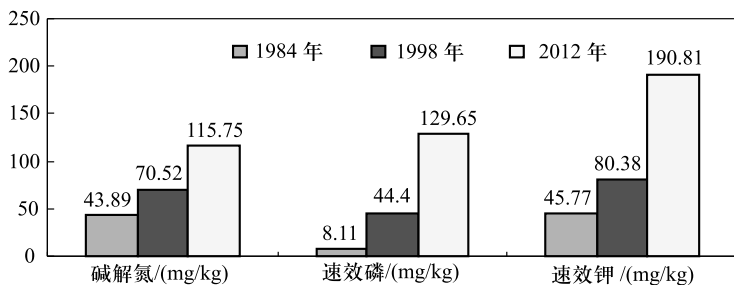


图2 栖霞市苹果园1984—2012年土壤有效养分变化情况

由图2可见,长期高量施肥使苹果园土壤有效养分增加显著,碱解氮由1984年的43.89 mg/kg,增加到2012年的115.75 mg/kg,增加了2.64倍;速效磷由1984年的8.11 mg/kg,增加到2012年的129.65 mg/kg,增加了15.99倍;速效钾由1984年的45.77 mg/kg,增加到2012年的190.81 mg/kg,增加了4.17倍。

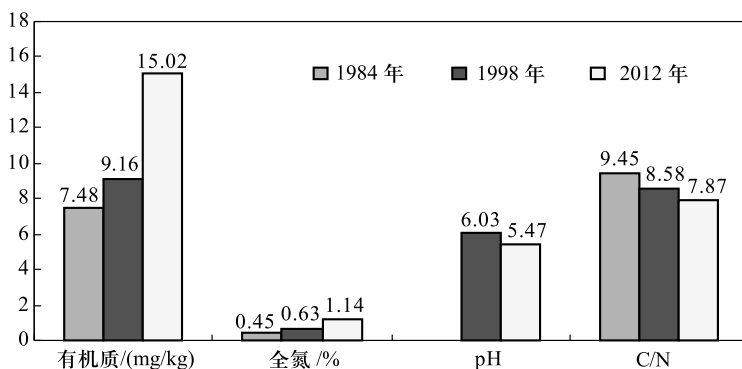


图3 栖霞市苹果园1984—2012年土壤质量变化情况

由图3可见,长期高量施肥虽然使苹果园土壤有效养分增加显著,但也带来了土壤质量不利的影 响。土壤pH值由1998年的6.03下降到2012年的5.47,下降了约0.5个单位,这在自然界需要1000年,而我们的果园仅用了14年;C/N由1984年的9.45,下降到2012年7.87。pH和C/N的显著下降是许多生理性病害产生的根源,也显著影响了果园的可持续生产。因此必须改变这种不合理的施肥方式。

## 二、苹果园高效施肥建议

### (一) 苹果施肥研制与各产区施肥建议

#### 1. 国内外N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O三要素比例

综合有关资料,美国N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O为4:4:3,俄罗斯N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O为1:1:1,日

本  $N:P_2O_5:K_2O$  为 2:1:2, 我国推荐比例, 幼树为 2:2:1 或 1:2:1, 结果树为 2:1:2。

综合日本果树试验场 1981 年推荐各产区肥料用量(表 6)可见, 其  $P_2O_5/K_2O \approx 1:2$ , 只是 N 有差异。

表 6 日本果树试验场推荐肥料用量(1981 年)

单位: kg/10a

区域	N/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /K <sub>2</sub> O			区域	N/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /K <sub>2</sub> O		
青森(通用)	15	5	10	秋田(富士)	8~12	4~6	6~12
岩手(通用)	15	5~7	10~12	山形(富士)	10	4	8
岩手(无袋富士)	10	5	10	山形(无袋富士)	10	2	4

## 2. 苹果专用肥配方设计

(1) 生态区划分。按照苹果主产区的自然地理和经济社会发展情况, 参照农业部苹果优势生态区区划, 我国苹果生产可分为黄土高原区、环渤海湾区、黄河故道区、西南高原区和北部寒冷区五个区域。

(2) 不同生态区配方设计。

主要依据: 苹果对养分需求、不同生态区土壤养分差异、各种养分利用效率。

苹果养分需求: N 为 0.25 ~ 0.30 kg/100 kg,  $P_2O_5$  为 0.03 ~ 0.05 kg/100 kg,  $K_2O$  为 0.30 ~ 0.35 kg/100 kg。

肥料利用率: 根据文献调研资料, N、 $P_2O_5$ 、 $K_2O$  的利用率分别为 10% ~ 20%、5% ~ 10% 和 30% ~ 40%。

环渤海湾产区:

产量水平: 3000 kg/亩; N 为 26.0 kg/亩、 $P_2O_5$  为 14.3 kg/亩、 $K_2O$  为 26.6 kg/亩;  $N:P_2O_5:K_2O$  为 1:0.55:1.02。

黄土高原产区:

产量水平: 2000 kg/亩; N 为 15.3 kg/亩、 $P_2O_5$  为 9.5 kg/亩、 $K_2O$  为 16 kg/亩;  $N:P_2O_5:K_2O$  为 1:0.62:1.05。

两个产区平均  $N:P_2O_5:K_2O$  为 1:0.59:1.04(17:10:18)(表 7)。

## (二) 氮肥高效施用建议

氮肥具有损失途径多、土壤持续时间短、对品质影响大等特点。国家苹果产业技术体系土壤营养与施肥岗位近几年研究表明, 苹果园土壤氮肥  $N_2O$  排放损失 0.02% ~ 3.04%、氨挥发损失 2.29% ~ 9.19%、地表径流损失 20.38% ~ 44.29%、渗漏损失 2.50% ~ 6.15%、其他损失 6.0% ~ 10%, 利用率仅 10% ~ 25%。试验表明(图 4), 一次性施氮肥在土壤中 15 ~ 20 d 便损失 60% 以上。因

此,对于氮肥,需要进行精细管理。

表 7 各产区配方施肥建议

区域	配方类型	施肥时期	配方	用量/(kg/亩)
环渤海湾	通用配方	基肥	17:10:18	60
		第一次追肥	17:10:18	60
		第二次追肥	17:10:18	30
	基追分开	基肥	15:15:15	70
		第一次追肥	20:5:20	50
		第二次追肥	20:0:20	30
黄土高原	通用配方	基肥	17:10:18	35
		第一次追肥	17:10:18	35
		第二次追肥	17:10:18	20
	基追分开	基肥	15:15:15	40
		第一次追肥	17:10:18	35
		第二次追肥	20:0:20	15

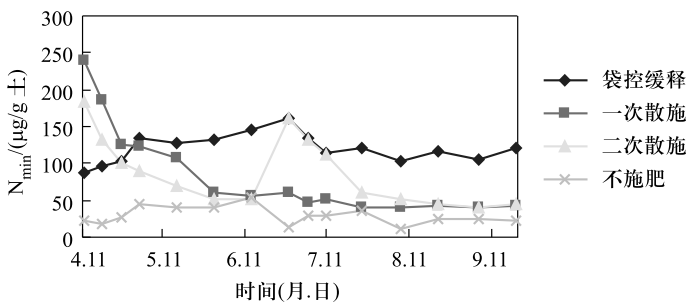


图 4 不同施氮肥方式土壤  $N_{\min}$  变化情况

### 1. 以果定量,总量控制

由图 5 可见,果实干物质占总量的 72.2%,因此在氮肥施用量上要以果实数量为主要指标来确定。由于过量施氮肥对品质带来不利影响,确定总量后要严格控制。

### 2. 重视基肥

由图 6 可见,年周期中需 N 最多的时期是早春器官发育期,进一步<sup>15</sup>N 试验结果表明,在这个时期 60%~90%的 N 来源于储藏,而秋季是氮素储藏关键时期,因此,一定要重视基肥。基肥施用量应占全年总量的 60%~70%(图 8)。

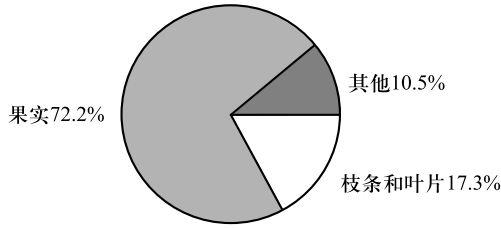


图5 各器官干物质占总量比例

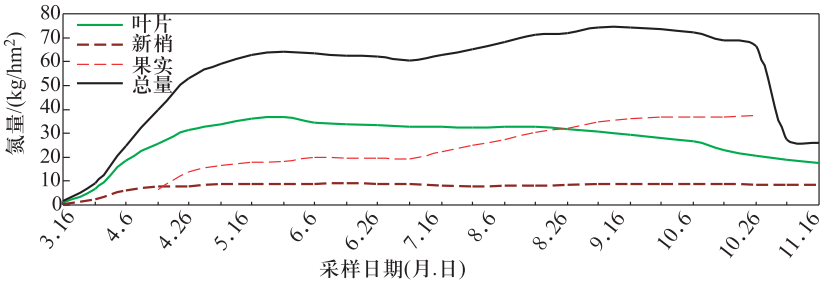


图6 年周期新生器官需N规律

### 3. 追肥后移

由图7可见,在年周期中,前期(果实膨大期前)丰产树与变产树叶片N变化趋势以变产树较高,而后期(果实膨大期后)丰产树与变产树叶片N变化趋势以丰产树显著高,因此为了保证丰产稳产,追肥应适当后移。但是由于接近果实成熟,后移的氮肥必须控制施用量,否则对品质产生不良影响。因此,后移是适当后移,并且是适宜的数量(图8)。

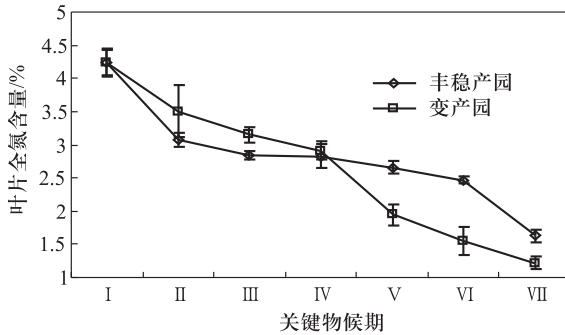


图7 丰产树与变产树叶片N年周期变化趋势



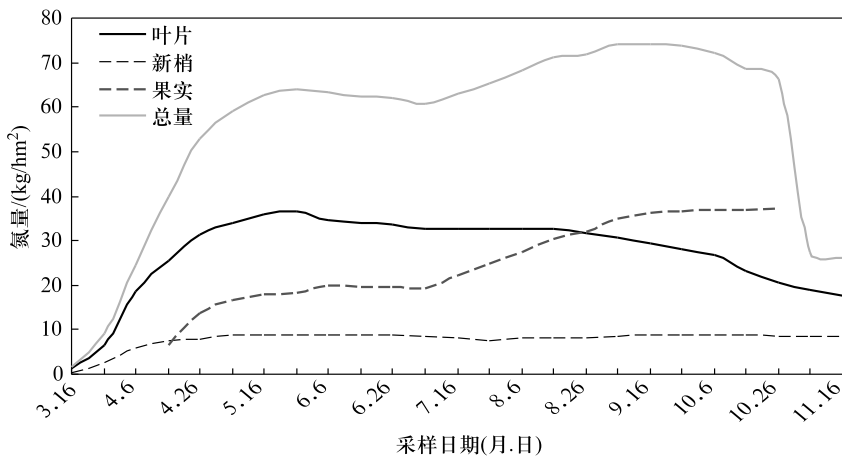


图8 年周期氮肥施用比例示意图



**姜远茂** 1964年生,博士,山东农业大学教授,博士生导师。国家现代苹果产业技术体系岗位科学家,国家苹果产业体系营养与施肥研究室负责人,全国果树营养与施肥协作网负责人,全国测土配方施肥专家组顾问,中国和美国园艺学会会员,中国园艺学会苹果分会常务理事。

主要从事果树学、园艺学专业的教学与科研工作。科研方向为“果树矿质营养生理研究”。主持国家现代苹果产业技术体系专项、农业部公益性行业

科技专项、科技部农业成果转化基金、农业部“948”重大项目、山东省农业重大科研专项等课题。

在 *Acta Horticulturae*、*International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*、*Agricultural Science in China*、《园艺学报》等发表论文 120 余篇。主编《落叶果树施肥新技术》、《北方落叶果树养分资源综合管理理论与实践》等著作。获得或申请“果树肥料控释袋”、“一种果树钙肥”等多项发明专利。2009年、2011年获山东省科技进步奖二等奖。

# 光调控苹果果实色泽品质形成的分子机理

李媛媛 等

山东农业大学园艺科学与工程学院

**摘要:**果实的色泽是果树重要的农艺性状。花青素是决定果实颜色的主要色素,必须在光诱导下才能进行生物合成。MYB 转录因子能够参与调控花青素合成,在苹果中,MdMYB1 是光诱导的花青素生物合成和果实着色的重要调控因子。本研究发现,MdMYB1 蛋白在光下积累,而黑暗下通过 26S 蛋白酶体途径降解;随后在苹果中克隆得到了光信号途径的重要基因 *MdCOP1-1* 和 *MdCOP1-2*,将其转入拟南芥 *cop1-4* 突变体中发现它可以互补 *AtCOP1* 的功能;通过酵母双杂交、双分子荧光互补和免疫共沉淀技术证实了 MdMYB1 能够与 MdCOP1 蛋白相互作用;通过离体和活体实验发现,MdCOP1s 对于黑暗下 MdMYB1 蛋白的泛素化降解作用是至关重要的,即 MdCOP1s 参与了光调控的 MdMYB1 蛋白的稳定性;最后应用病毒载体介导的遗传转化技术证实了 MdCOP1s 负调控苹果果皮的色泽形成是通过调节 MdMYB1 蛋白的稳定性起作用的,从而揭示了苹果,甚至其他作物的光调控花青素积累和红色果实色泽形成的分子机制。

**关键词:**光;MdCOP1s;MdMYB1;苹果;色泽

## 一、引言

苹果果实的颜色是重要的外观品质,是果树重要的育种目标之一。花青素及其衍生物是决定果实颜色的主要色素,是通过类黄酮途径合成的(Mol et al., 1998;Allan et al.,2008)。苹果果实花青素必须在光诱导下才能合成,主要是通过转录因子激活花青素生物合成基因的表达起作用的。光能够调控植物生长发育很多进程,包括果树花青素的生物合成和器官着色(Mol et al.,1996;Allan et al.,2008)。

在高等植物的光形态建成过程中具有极其精细的光接收和信号转导系统。不同波长的光主要是通过三种光受体感知的,这三种光受体分别是吸收红光(600~700 nm)/远红光(700~750 nm)的光敏色素、吸收蓝光(320~500 nm)的隐花色素和向光蛋白,以及一种最近发现的响应 UV-B 光(290~320 nm)的受

体 UVR8。

在光受体的下游,COPI 是光诱导植物生长发育的分子开关。COPI 的细胞定位受光调控,黑暗下定位在细胞核内,与促进植物光形态建成的转录因子结合,如 HY5、LAF1、HFR1、BIT1 和 CO 等,促使其发生 26S 蛋白酶体介导的泛素化降解(Osterlund et al., 2000; Seo et al., 2003; Yang et al., 2005; Hong et al., 2008; Jang et al., 2008)。光下细胞核内的 COPI 水平显著降低,使得细胞核内的转录因子积累,进而激活下游光形态建成基因的转录(Henriques et al., 2009)。

MYB 类转录因子是植物转录因子中最大的家族之一。在数目众多的 MYB 基因中,有些参与调控花青素合成,如 *AtPAP1* 和 *AtPAP2* 调控拟南芥种皮中的花青素合成,其转基因烟草植株和花都变成紫色(Borevitz et al., 2000)。果树中,葡萄(*Vitis vinifera*)果实是研究转录因子调控花青素合成的最多的作物,*VvMYBA1* 和 *VvMYBA2* 两个转录因子可以通过调节 *VvUFGT* 的表达影响果实着色(Walker et al., 2004; Deluc et al., 2008); MYB 转录因子还参与调控柑橘和某些蔷薇科果树的花青素积累和色泽形成,如梨、樱桃、桃、李、树莓、草莓和蓝莓等(Aharoni et al., 2001; Lin-Wang et al., 2010; Butelli et al., 2012; Zifkin et al., 2012)。苹果中,目前已经克隆的与着色相关 MYB 类转录因子有 *MdMYB1*、*MdMYB10* 和 *MdMYBA*(Takos et al., 2006),这些转录因子在光诱导的苹果果实着色中起着重要的调控作用。

光诱导的一些光形态建成相关的转录因子的表达不仅在转录水平起作用,转录后水平也有影响(Hong et al., 2008)。但苹果和其他作物中花青素相关的 MYB 转录因子是否存在转录后调控,以及其如何调控的机制尚不清楚。本研究分别检测了黑暗和光照条件下 *MdMYB1* 蛋白的稳定性,克隆了光信号途径的重要基因 *MdCOPI1*,发现其能够在黑暗下通过 26S 蛋白酶体途径将 *MdMYB1* 泛素化降解,从而调控苹果果实的色泽形成,并探讨了 *MdCOPI1* 对苹果果实色泽遗传改良的潜在利用价值。本研究阐明了光介导的苹果果实色泽形成的分子机制,为通过改善光照条件改良苹果果实着色提供了分子依据。

## 二、材料与方法

### (一) 植物材料

苹果材料为‘红星’果实、‘王林’愈伤、‘Gala’组培苗;拟南芥材料为 Columbia(*Arabidopsis thaliana*)。以上材料均为果树分子生物学实验室保存。

## (二) *MdCOP1* 和 *MdMYB1* 基因的克隆

根据 NCBI 上查到的苹果 *COP1 - 1* 和 *COP1 - 2* EST 序列设计引物, RACE 法扩增全长序列。根据 GenBank 中登录的苹果 *MdMYB1* (DQ886414) 序列设计特异引物 *MdMYB1F* 和 *MdMYB1R*, 以反转录产物为模板进行 PCR 扩增序列全长。

## (三) 载体的构建

### 1. *MdMYB1* - GFP 融合蛋白表达载体的构建

将 *MdMYB1* 蛋白的 C 端与绿色荧光蛋白(GFP)融合, 电转农杆菌 GV3101。

### 2. 原核表达载体的构建

将 *MdCOP1 - 2* 和 *MdMYB1* 连接载体 pGEX, 转化大肠杆菌 BL21。

### 3. 双分子荧光互补载体的构建

应用 pSPYNE、pSPYCE 载体, 使 *MdCOP1 - 1*、*MdCOP1 - 2* 和 *MdMYB1* 分别与 YFP 蛋白的 N 端或 C 端融合, 转化农杆菌 GV3101。

### 4. 正反义病毒载体的构建

参照 Peretz 等(2007)的方法, 将 *MdCOP1 - 1* 和 *MdCOP1 - 2* 插入 IL - 60 - BS, 形成过量表达载体, 提取质粒备用。TRV - *MdCOP1* 反义瞬时沉默载体构建, 将 200 bp 的特异序列以反向重复序列插入到 TRV, 形成 TRV - *MdCOP1* 瞬时沉默载体, 转化农杆菌 GV3101 备用。

## (四) 植物转化方法

拟南芥转化应用蘸花法, 苹果愈伤的转化应用农杆菌侵染法, 苹果果实的转化应用 VIGS 载体注射的方法。

## (五) 蛋白诱导、纯化、沉淀及抗体制备

0.2 mmol/L IPTG, 37°C, 6 h 诱导 *MdMYB1* 和 *MdCOP1* 蛋白表达, 分别应用 Pierce GST Spin Purification Kit (Thermo, USA) 和 Pierce Classic IP Kit (Thermo, USA) 纯化和沉淀蛋白, 具体操作参照试剂盒说明书。抗体制备由南京金斯瑞公司协助完成。

## (六) 酵母双杂交

酵母双杂交应用 Matchmaker™ Gold Yeast Two-Hybrid System (Clontech, Japan), 具体操作参照试剂盒说明书。

### (七) 双分子荧光互补

双分子互补实验以洋葱表皮为试材,取洋葱的内表皮切成小块放在 MS 固体培养基上,28℃ 暗培养 12 ~ 24 h,侵染 30 min,转入 MS 固体培养基 28℃ 暗培养 1 d,应用激光扫描共聚焦显微镜观察目的蛋白的荧光发光情况。

### (八) 离体泛素化

反应体系中加入 rabbit E1 ( Boston Biochem )、human E2 UbcH5b ( Boston Biochem )、His6-ubiquitin ( Sigma )、E3 ( MdCOP1 - GST ) 和 MdMYB1 - GST,30℃ 反应 4 h,以 anti-Ubiquitin 抗体进行 Western-blot 检测。

### (九) 花青素含量测定

应用乙醇 - 盐酸提取法,称取 1 g 左右的待测样品,剪碎,加 10 mL 提取液 (95% 乙醇:1.5 mol/L HCl = 85:15),黑暗 4℃ 提取 24 h;12 000 r/min 离心 5 min,取上清比色,分光光度计测定 530 nm、620 nm、650 nm 下的吸光值。

## 二、结果与分析

### (一) 光照能够促进苹果花青素的积累和果实着色

光是苹果果实花青素积累和色泽形成的关键调控因子,套袋的苹果不能积累花青素,去除果袋后,随着光照时间的增长,果实逐渐变红 [图 1(a)],相应的花青素的积累也逐渐升高 [图 1(b)];MYB 转录因子在调控花青素积累过程中有重要的作用,对不同光照时间下 MdMYB1 的转录水平检测发现其基因表达与苹果果实的颜色及花青素积累变化正相关,在光照 0 h 仅有很低的表达,到 48 h 达到最高,随后表达维持在比较稳定的水平 [图 1(c)]。

### (二) 黑暗和光照下苹果果皮中 MdMYB1 蛋白表达的变化

Western-blot 检测套袋‘红星’苹果去除果袋后放置光下 0 h、1 h、3 h、6 h、12 h、24 h 和 48 h 后 MdMYB1 蛋白表达水平,结果可见,随着光照时间增长 MdMYB1 蛋白表达呈现出上升的趋势 [图 2(a)]。

为了验证光照和黑暗下 MdMYB1 蛋白表达的变化,以‘Gala’组培苗为试材,先将其放置黑暗下处理 3 d 后转至光下生长 1 h、6 h、24 h,再放置黑暗条件下生长 1 d、2 d,提取总蛋白进行 western-blot,检测 MdMYB1 蛋白表达的变化,发现在暗处 MdMYB1 的表达水平很低,移到光下 MdMYB1 积累逐渐增多,在转移

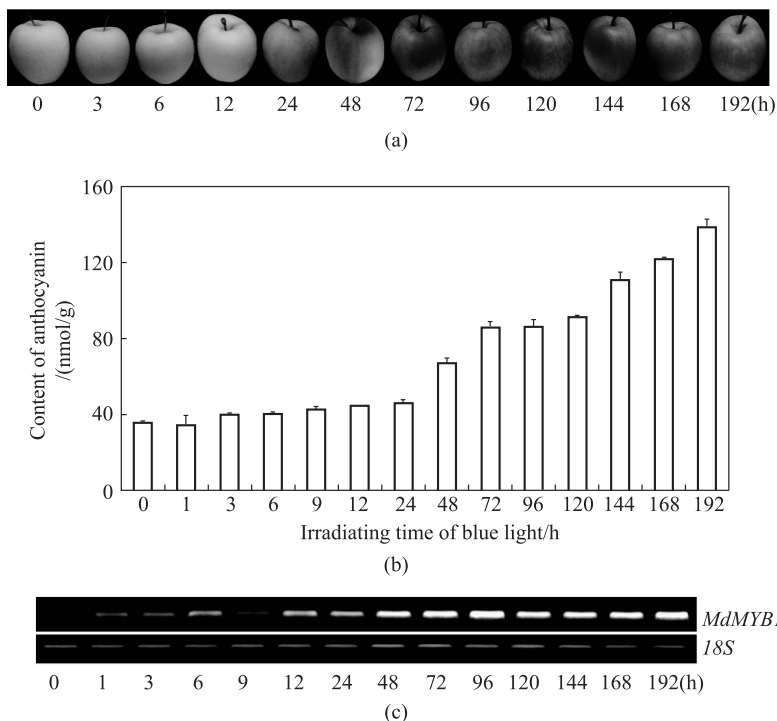


图1 不同光照时间下苹果果实着色、花青素积累及 *MdMYB1* 基因的表达水平的变化

到暗处后又明显降低,到黑暗 2 d 时 *MdMYB1* 仅有很低的表达[图 2(b)],这表明苹果中 *MdMYB1* 蛋白在光下积累,黑暗下降解。

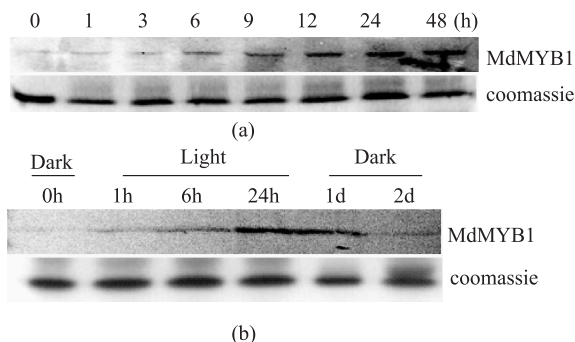


图2 *MdMYB1* 蛋白表达水平

(a) 不同光照时间下 *MdMYB1* 蛋白表达水平;(b) 黑暗光照 - 黑暗处理下 *MdMYB1* 蛋白表达水平

### (三) 黑暗下 *MdMYB1* 的降解是通过 26S 蛋白酶体途径发生的

黑暗生长 6 d 的 ‘Gala’ 组培苗,转到光下生长 24 h 后分别用 50  $\mu\text{m}$  MG132

(蛋白酶抑制剂)和 DMSO(对照)黑暗下处理 1 d、2 d、3 d,western-blot 检测 MdMYB1 蛋白表达水平,发现 MG132 处理后 MdMYB1 的降解与 DMSO 处理相比显著变缓,到黑暗 2 d 时仍有较高的表达水平(图 3),这表明黑暗下 MdMYB1 的降解是通过 26S 蛋白酶体途径发生的。

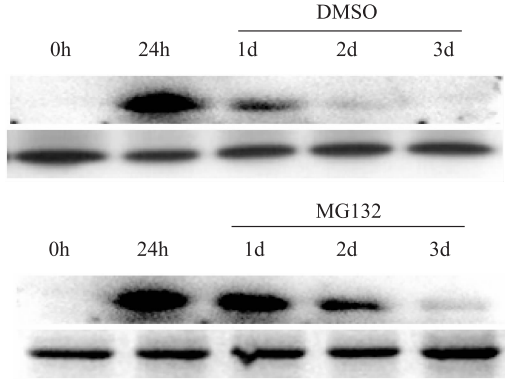


图 3 DMSO 和 MG132 处理后 MdMYB1 蛋白表达水平

#### (四) MdMYB1 - GFP 转基因苹果愈伤中 MdMYB1 蛋白发生了泛素化降解

构建  $35S::MdMYB1 - GFP$  表达载体,应用农杆菌介导法侵染苹果‘王林’愈伤,半定量 RT - PCR 和 western-blot 分别检测野生型和  $35S::MdMYB1 - GFP$  转基因愈伤的 MdMYB1 的基因和蛋白表达水平,结果表明成功获得了转基因苹果愈伤[图 4(a)]。以野生型愈伤和  $35S::MdMYB1 - GFP$  转基因愈伤为试材,分别在光照和黑暗条件下用 anti - GFP 抗体沉淀 MdMYB1 - GFP 蛋白,沉淀下的蛋白分别用 anti - GFP、anti - MdMYB1 和 anti-Ubiquitin 三种抗体进行 western-blot,检测 MdMYB1 - GFP 蛋白的变化情况,结果可见,野生型愈伤无论在光照或黑暗下以 anti - GFP 抗体都不能沉淀下 MdMYB1 - GFP 蛋白,而  $35S::MdMYB1 - GFP$  转基因愈伤中在黑暗条件下沉淀下来的 MdMYB1 - GFP 蛋白,以 anti - GFP、anti - MdMYB1 及 anti-Ubiquitin 三种抗体进行 western-blot 均可以检测到被泛素化降解的 MdMYB1 - GFP 谱带,光照下沉淀下来的 MdMYB1 - GFP 蛋白未检测到泛素化降解的谱带,anti - GFP 和 anti - MdMYB1 两种抗体均能检测到明显的 MdMYB1 - GFP 的谱带[图 4(b)],这表明在活体愈伤组织中,MdMYB1 蛋白在黑暗条件下的降解是通过泛素介导的 26S 蛋白酶体途径发生的。

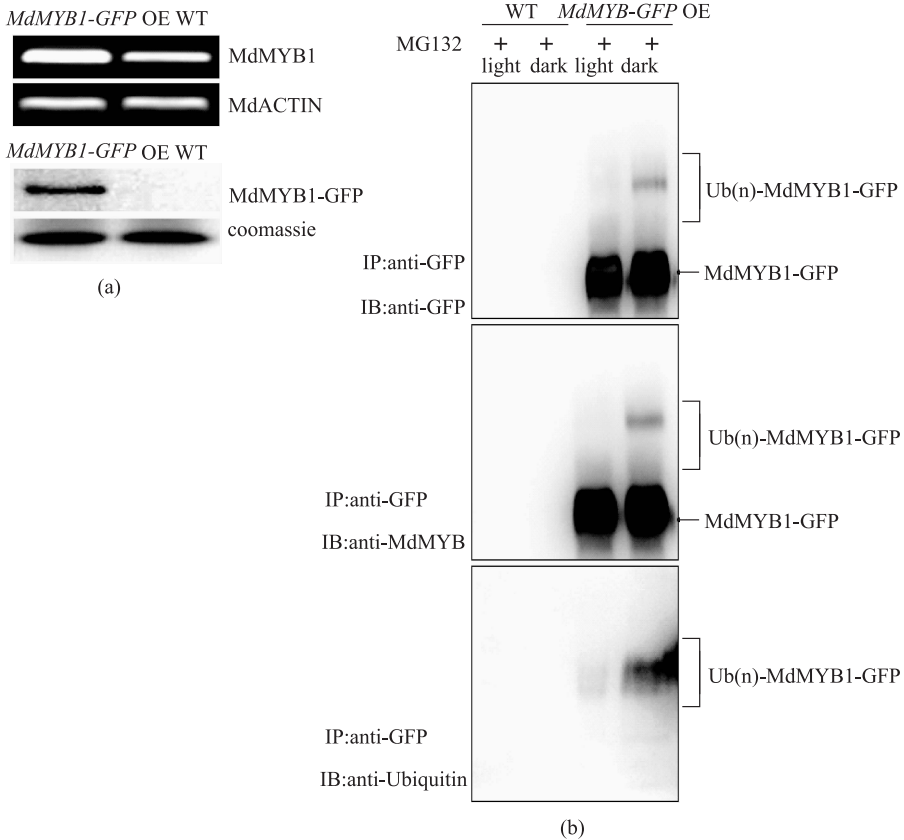


图 4 黑暗中 *MdMYB1* 发生 26S 蛋白酶体途径降解

### (五) *MdCOP1* 基因的克隆、亲缘关系比对和功能互补研究

拟南芥中 *AtCOP1* 是一个 E3 泛素连接酶,黑暗下能够将下游很多转录因子泛素化降解,我们推测苹果中也存在一个类似于 *AtCOP1* 的 E3 泛素连接酶,黑暗下促使了 *MdMYB1* 的泛素化降解。为了验证这一假想,以‘红星’苹果为试材,克隆了 *MdCOP1* 基因,得到了两条同源性的序列,分别命名为 *MdCOP1-1* 和 *MdCOP1-2*; *MdCOP1-1* cDNA 全长 2087 bp,编码一条含 665 个氨基酸残基的蛋白,分子质量约为 74.7 kDa,预测等电点 (pI) 为 6.4。 *MdCOP1-2* cDNA 全长 2213 bp,编码一条含 659 个氨基酸残基的蛋白,分子质量大小约 74.2 kDa,预测等电点 (pI) 为 6.2。序列分析发现二者都含有与其他植物中 *COP1* 保守的 RING FINGER DOMAIN 和 WD40 基序[图 5(a)]。应用 Mega 4.1 将 *MdCOP1-1*、*MdCOP1-2* 与其他 11 种作物进行亲缘关系比对,12 种作物的氨基酸序列查自 NCBI 数据库,简写如下: At 拟南芥 (AEC08766.1), Bn 油菜 (ADL59932.1), Br 大白菜 (AAN86553.1), In 牵牛花 (AAG31173.1), Le 番茄



(AAC98912.1), Md 苹果 (MDP0000245133, MDP0000259614), Os 水稻 (AAK49415.1, BAA94422.1), Ps 豌豆 (CAB94800.1), Pt 杨树 (PT14G15550), Rc 蓖麻 (XP\_002534127.1), Rosa 杂交种 (AAK81856.1), Zm 玉米 (ACG47820.1)。结果发现, *MdCOP1-1* 与 *MdCOP1-2* 同源性高达 92.05%; 两个苹果的 COP1 蛋白与 ROSA hybrid cultivar 亲缘关系最近, 聚为一类; 有图中还可以发现, 同为单子叶植物的玉米和水稻的 COP1 蛋白聚为一类, 而其他的双子叶植物另聚为两类[图 5(b)]。

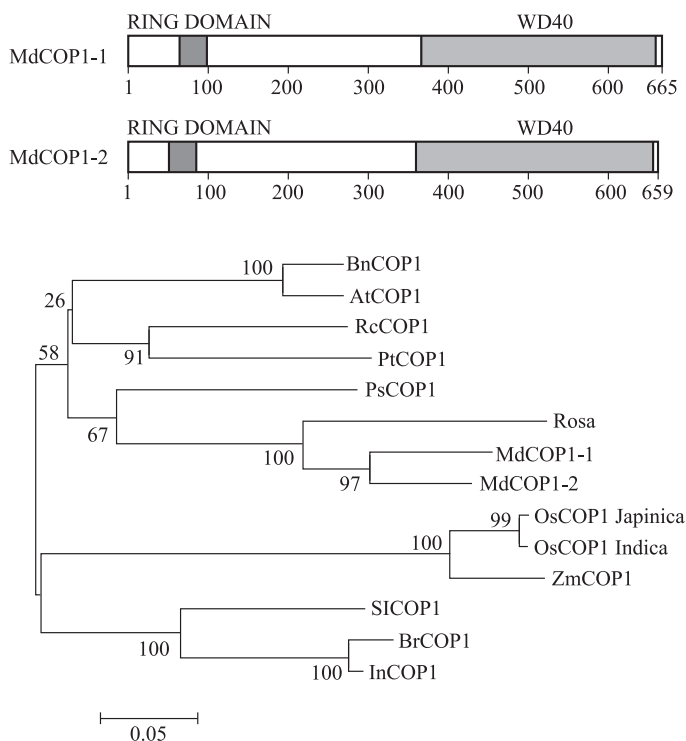


图 5 *MdCOP1-1* 和 *MdCOP1-2* 序列分析和亲缘关系比对

为了验证克隆的 *MdCOP1-1* 和 *MdCOP1-2* 的功能, 以野生型拟南芥和 *cop1-4* 突变体拟南芥 (Columbia) 为试材, 将  $35S::MdCOP1-1$  和  $35S::MdCOP1-2$  用蘸花法分别转入拟南芥野生型和 *cop1-4* 突变体, RT-PCR 检测结果表明, 成功获得了转基因的拟南芥株系[图 6(a)]。将野生型、突变体和四种不同的转基因株系放置黑暗生长 6 d 后统计下胚轴的长度, 结果可见 *cop1-4* 突变体的下胚轴最短,  $35S::MdCOP1-1$  和  $35S::MdCOP1-2$  在野生型中过表达的两个转基因株系下胚轴最长,  $35S::MdCOP1-1$  和  $35S::MdCOP1-2$  转突变体的株系下胚轴长度在 *cop1-4* 和野生型之间, 在一定程度上恢复了突变体的表型[图 6(b)、(c)]。这表明两个苹果 COP1 在一定程度上可以互补拟南芥 AtCOP1 的功能。

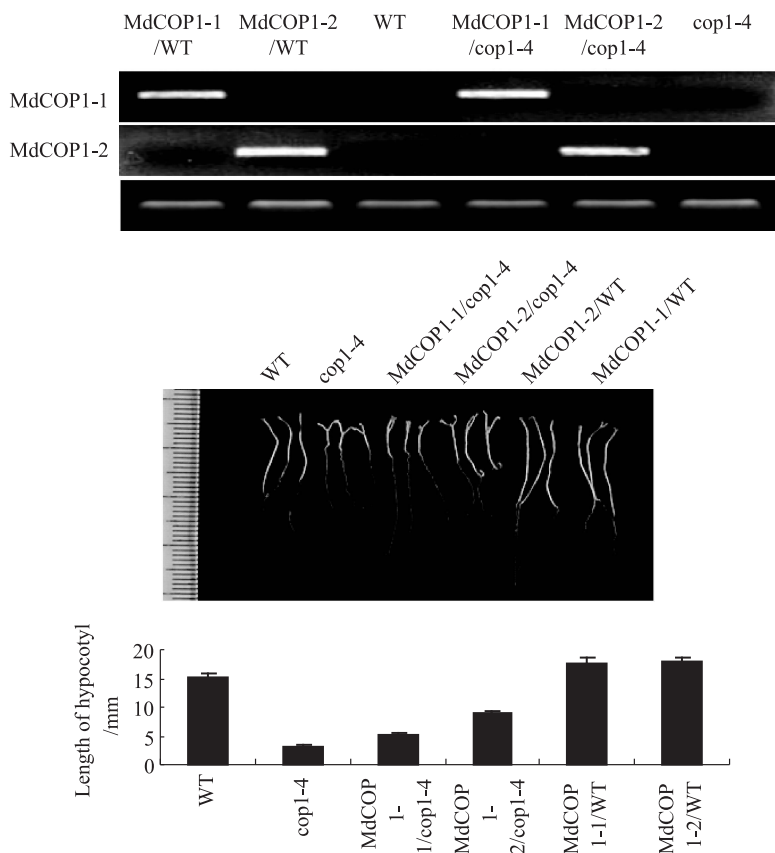


图6 MdCOP1-1和MdCOP1-2能够恢复拟南芥 *cop1-4* 突变体的表型

#### (六) MdCOP1 蛋白与 MdMYB1 蛋白互作

构建 MdCOP1-1、MdCOP1-2 和 MdMYB1 BD 和 AD 酵母双杂交载体,转化酵母菌株 AH109,应用酵母双杂交技术检测 MdCOP1-1 和 MdCOP1-2 与 MdMYB1 的相互作用,以携带任一基因的载体质粒和空载体,以及两个空载体混合作为对照,结果可见加 x-gal 的四缺板上 MdCOP1-1、MdCOP1-2 与 MdMYB1 的酵母变蓝,而三种对照酵母仅在二缺板上生长[图 7(a)],在四缺板上都未长出菌落,表明两种苹果的 COP1 蛋白均与 MdMYB1 互作。

为了进一步验证苹果 COP1 与 MYB1 的互作,应用双分子荧光互补技术将 MdCOP1-1、MdCOP1-2 和 MdMYB1 分别连接 pSPYNE、pSPYCE 载体,然后转化洋葱表皮细胞,激光共聚焦显微镜观察结果可见,MdCOP1-1、MdCOP1-2 与 MdMYB1 在洋葱细胞核内都可形成黄色的荧光亮斑,而三种对照都检测不到荧光信号[图 7(b)],这表明在洋葱表皮细胞中,MdCOP1-1、MdCOP1-2 和 MdMYB1 蛋白之间相互作用。

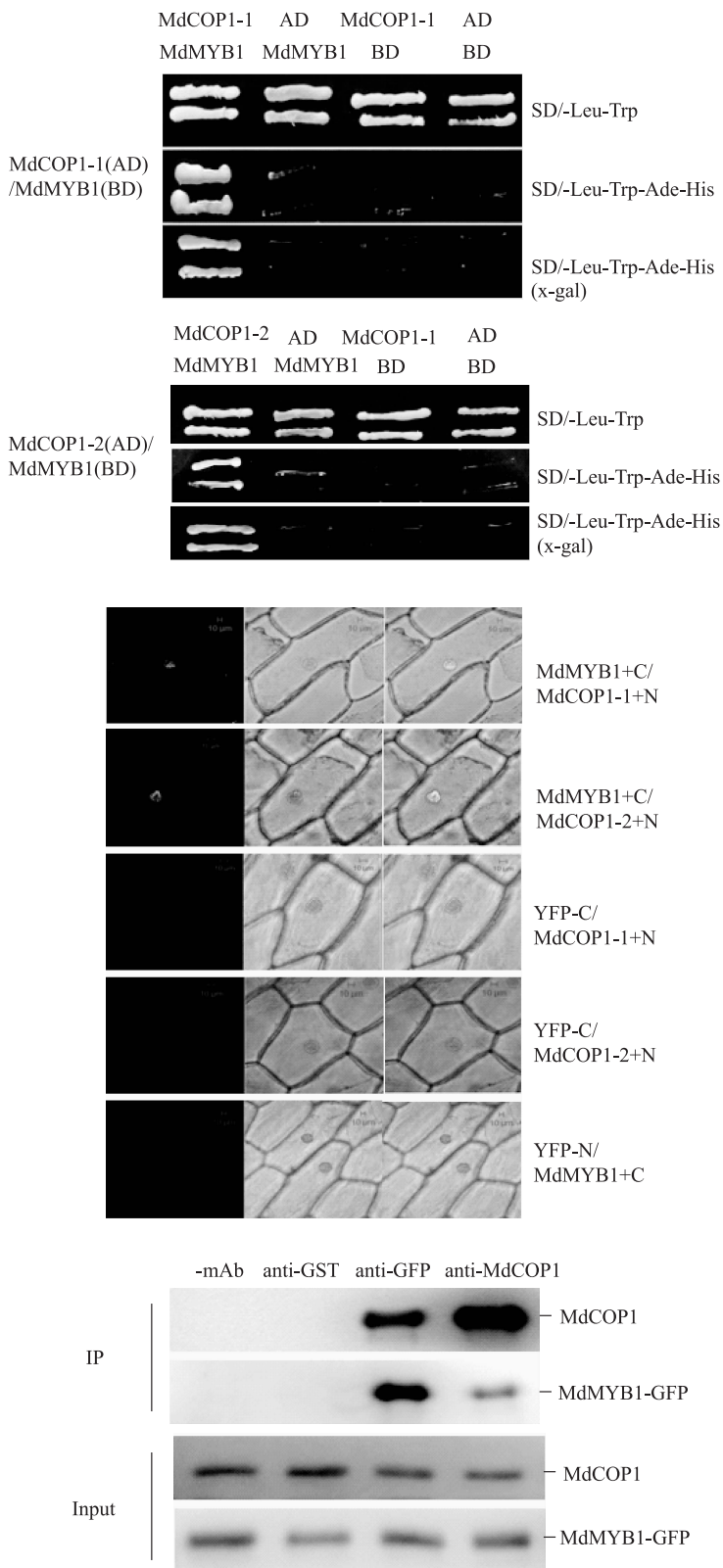


图7 MdCOP1-1、MdCOP1-2与MdMYB1蛋白相互作用

应用免疫共沉淀技术,以 *MdMYB1 - GFP* 转基因愈伤为试材,应用蛋白沉淀试剂盒以 anti - GFP 和 anti - MdCOP1 抗体分别沉淀转基因愈伤中的 MdMYB1 蛋白和 MdCOP1 蛋白,再将沉淀下的 MdMYB1 蛋白和 MdCOP1 蛋白分别以 anti - MdCOP1 和 anti - GFP 抗体做 western-blot,结果可见,沉淀下的 MdMYB1 蛋白中能检测到 MdCOP1 蛋白的存在,沉淀下的 MdCOP1 蛋白中同样也能检测到 MdMYB1 蛋白的存在,而不加抗体( - mAb)和加 anti - GST 抗体沉淀下的蛋白中 MdCOP1 和 MdMYB1 蛋白都检测不到[图 7(c)],表明在苹果愈伤组织中 MdCOP1 与 MdMYB1 蛋白相互作用。

### (七) MdCOP1s 的 E3 泛素连接酶活性和对 MdMYB1 的降解作用

#### 1. 离体泛素化检测

为了检测离体条件下 MdCOP1,可将 MdMYB1 泛素化降解,构建 GST - MdMYB1 和 GST - MdCOP1 - 2 融合蛋白,并诱导其表达,将表达的蛋白应用试剂盒纯化下来;分别加入 E1、E2、Ubiquitin、诱导纯化的 GST - MdCOP1 - 2 和 GST - MdMYB1 及 Ubiquitin,置于 30℃ 反应 4 h,进行 western-blot 检测,结果发现,在缺乏 E1、E2、MdCOP1 - GST 的反应中 anti - MdMYB1 和 anti-Ubiquitin 抗体都检测不到泛素化的谱带,而所有组分都加入的反应中两种抗体仍未检测到泛素化的谱带,仅能检测到 MdMYB1 蛋白和泛素的谱带[图 8(a)]。

为了验证离体条件的泛素化,将验证互作时在 *MdMYB1 - GFP* 转基因愈伤中 anti - GFP 抗体免疫沉淀下 MdMYB1 - GFP 蛋白代替诱导纯化出的 MdMYB1 蛋白再次进行泛素化反应,分别加入以上其他组分,置于 30℃ 反应 4 h,进行 western-blot 检测,结果发现,无论加 E1、E2 或 MdCOP1 与否,anti - MdMYB1 和 anti-Ubiquitin 两种抗体均能检测到明显的泛素化谱带,加入所有组分后泛素化的谱带显著增强[图 8(b)],这表明离体条件下 MdCOP1 能够将 MdMYB1 泛素化降解。然而只有沉淀的 MdMYB1 蛋白作为组分加入时才可检测到泛素化谱带,而诱导纯化的两个蛋白作为组分加入时检测不到[图 8(a)],这可能是由于 MdCOP1 对 MdMYB1 的泛素化依赖于某一特殊的活体构象,或者 MdMYB1 的泛素化是由 COP1 复合体共同完成的。

#### 2. 活体泛素化检测

为了检测活体组织内的 MdMYB1 蛋白的泛素化,构建 35S::MdCOP1 - 1、35S::MdCOP1 - 2 和 35S::asMdCOP1 表达载体,将它们分别转入‘王林’愈伤,RT - PCR 检测结果表明,成功获得了三种转基因愈伤类型,同时检测了三种转基因愈伤中 MdMYB1 的转录水平,未发现明显变化[图 9(a)]。

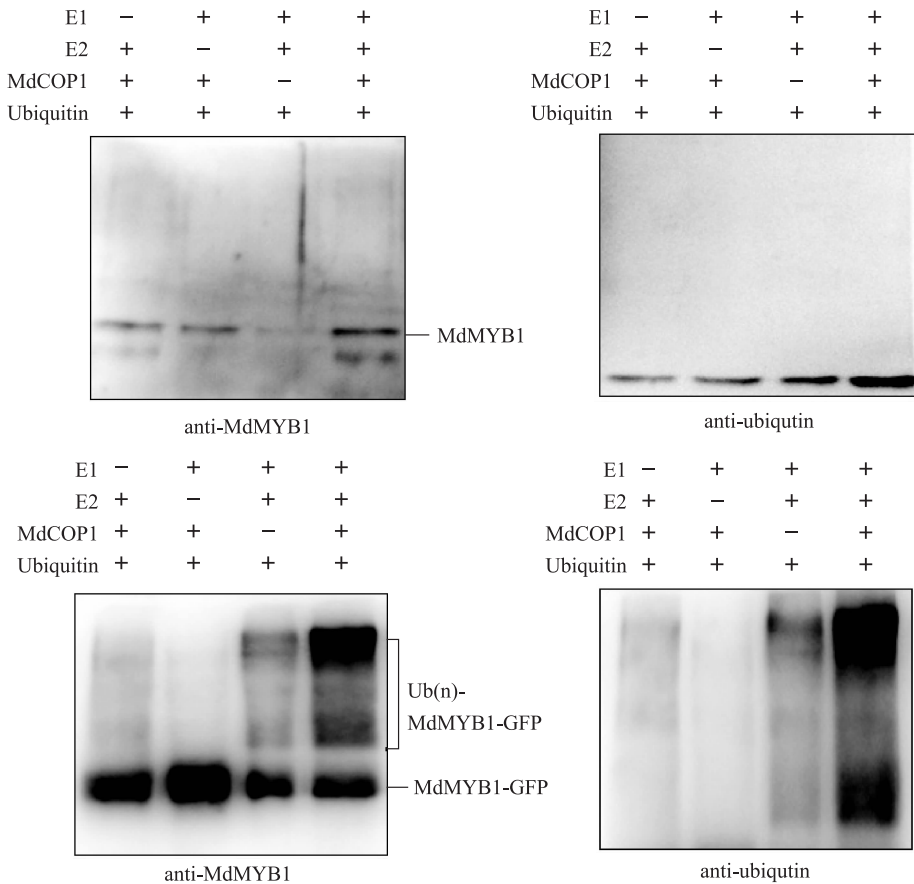


图 8 MdCOP1 可将 MdMYB1 离体泛素化

以  $35S::MdCOP1-1$ 、 $35S::MdCOP1-2$ 、 $35S::asMdCOP1$  转基因和野生型苹果为试材,应用 anti-MdMYB1 抗体分别免疫沉淀野生型和三种转基因类型愈伤中的 MdMYB1 蛋白,再以 anti-Ubiquitin 抗体进行 western-blot 检测,结果发现  $35S::MdCOP1-1$  和  $35S::MdCOP1-2$  转基因愈伤中沉淀下来的 MdMYB1 蛋白发生泛素化程度最高,而  $35S::asMdCOP1$  转基因愈伤中沉淀下来的 MdMYB1 蛋白检测不到泛素化谱带[图 9(b)],这表明活体愈伤组织中 MdCOP1 可将 MdMYB1 泛素化降解。

为了进一步验证活体内 MdMYB1 蛋白的降解,黑暗和光照处理三种转基因和野生型愈伤,以 anti-MdMYB1 抗体 western-blot 检测 MdMYB1 蛋白的表达水平,结果发现  $MdCOP1s$  过表达的两种转基因愈伤中 MdMYB1 表达很低,黑暗下更低,而  $35S::asMdCOP1$  转基因愈伤中 MdMYB1 蛋白表达水平最高,光照下高于黑暗处理[图 9(c)],这表明 MdCOP1s 对 MdMYB1 有降解的作用,这种作用

在黑暗条件下更明显。加入蛋白酶抑制剂 MG132 后,黑暗和光照下 MdMYB1 蛋白表达差异显著减小[图 9(c)],这表明 MdCOP1 对 MdMYB1 的降解作用是通过泛素介导的 26S 蛋白酶体途径产生的,进一步证实了愈伤组织中 MdCOP1 可将 MdMYB1 泛素化降解。

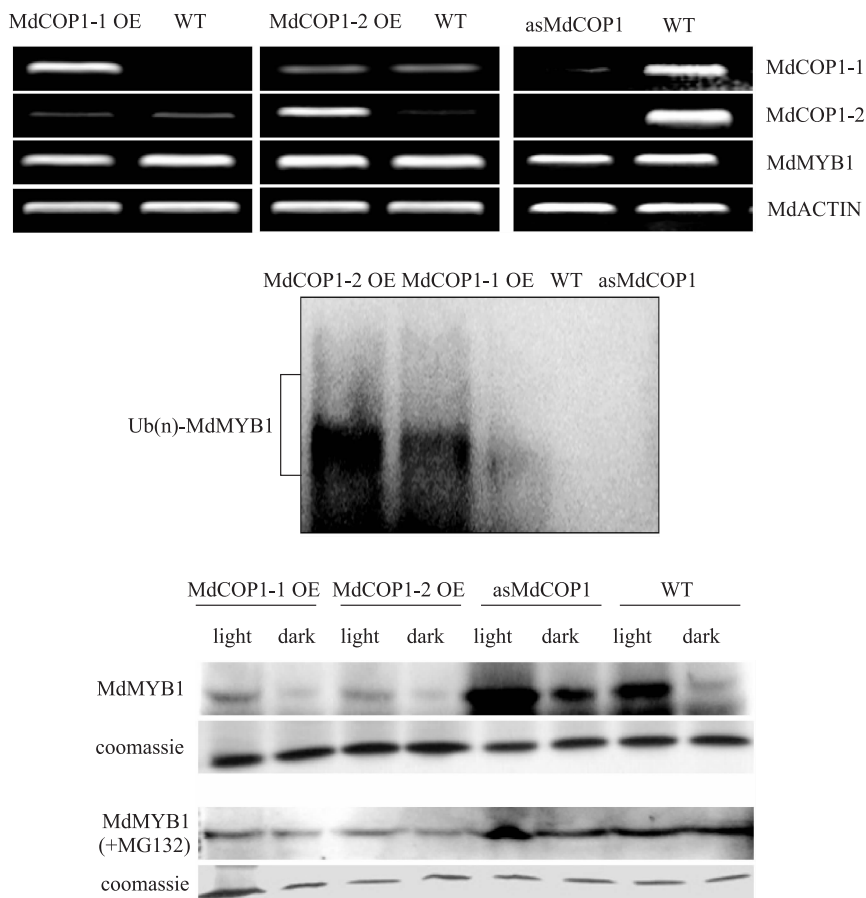


图 9 愈伤组织中 MdCOP1 可将 MdMYB1 泛素化

#### (八) *MdCOP1s* 转基因对苹果果实颜色的影响(病毒载体注射)

构建 IL-60 和 TRV 载体,利用 VIGS 法注射套袋未着色的‘红星’苹果果实(Peretz et al., 2007),RT-PCR 结果表明成功获得 *MdCOP1s* 过量表达和抑制表达的果实[图 10(c)],观察注射点周围果皮颜色的变化,发现 *MdCOP1-1* 和 *MdCOP1-2* 注射点周围与对照相比着色明显变差,而 *AsMdCOP1* 注射点周围显著变红[图 10(a)、(b)],这表明 *MdCOP1s* 对果皮色泽形成具有抑制作用。

应用半定量 RT-PCR 和 western-blot 分别检测注射部分果皮 MdMYB1 的基因和蛋白表达水平,发现 *MdCOP1s* 和 *AsMdCOP1* 注射部分的 *MdMYB1* 基因与对照相比无明显变化,而 *MdCOP1-1* 和 *MdCOP1-2* 过量表达的果实注射部分 MdMYB1 蛋白表达显著降低,反义表达的果实注射部分 MdMYB1 蛋白表达显著增高[图 10(d)],这表明 MdCOP1 能够抑制果实着色,是通过调控 MdMYB1 的翻译水平起作用的。

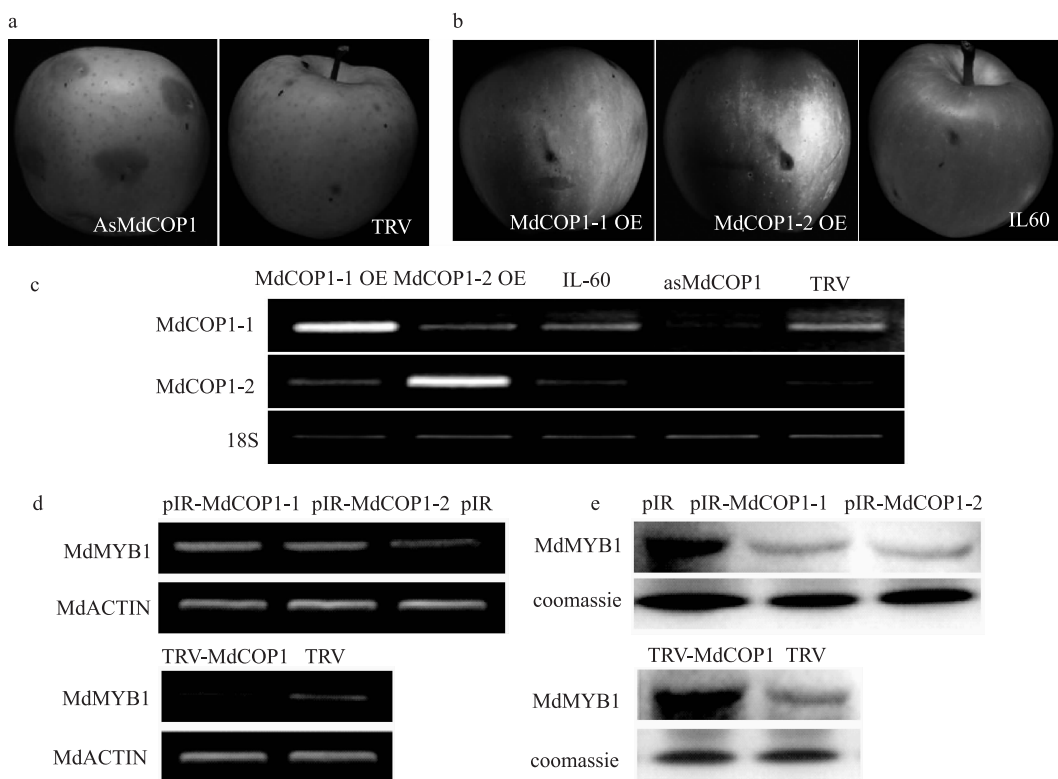


图 10 苹果中 MdCOP1 负调控果实的色泽形成

### (九) *MdCOP1s* 转基因对拟南芥植株颜色的影响

为了进一步证实 *MdCOP1s* 对色泽形成的影响,以 *cop1-4* 功能互补实验中的转基因拟南芥为试材,观察各株系和野生型拟南芥颜色的变化,并测定花青素的含量,结果发现 *cop1-4* 突变体的颜色最红,相应的花青素含量最高,而 *MdCOP1-1* 和 *MdCOP1-2* 过表达的转基因株系颜色最浅,花青素的含量最低(图 11)。这表明 MdCOP1 对花青素积累的抑制作用在苹果和拟南芥中是保守的。



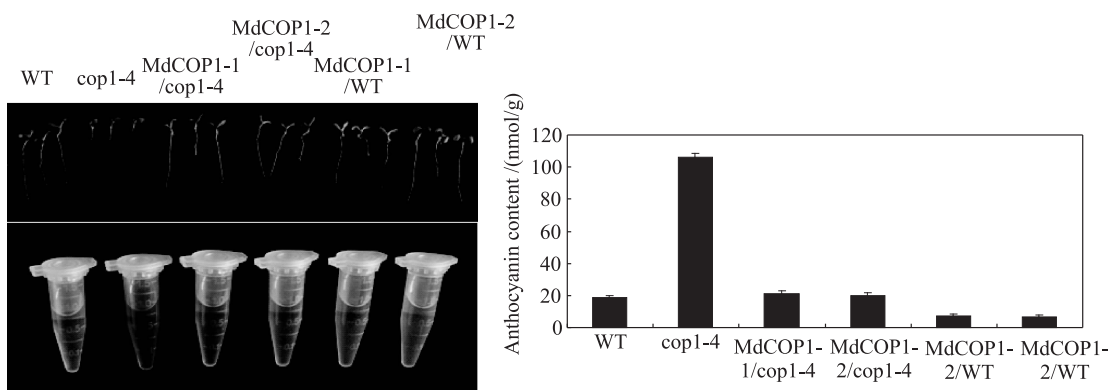


图 11 拟南芥中 *MdCOP1* 负调控花青素的积累

### 三、讨 论

拟南芥中, *COP1* 作为光信号转导途径中的中心开关能够与上游的光受体互动, 同时与下游的靶蛋白相互作用 (Ma et al., 2002)。研究表明, 植物中主要存在三种光受体: 吸收蓝光和 UVA 的隐花色素和向光蛋白、吸收红光和远红光的光敏素和最近发现的响应 UV - B 光的受体 UVR8。这些光受体都能通过 *COP1* 蛋白 N 端的 WD40 重复序列与其相互作用 (Liu et al., 2011; Jang et al., 2010; Wu et al., 2012; Christie et al., 2012)。除 N 端的 WD40 基序外, *COP1* 蛋白还包含一个在泛素蛋白连接酶中保守存在的 RING-finger domain, 这一 RING-finger domain 能够使其自身和下游很多转录因子泛素化降解, 从而调控植物生长发育的进程 (Osterlund et al., 2000; Holm et al., 2002; Seo et al., 2003; Hong et al., 2008; Yu et al., 2008; Jang et al., 2008; Kang et al., 2009)。

本研究中, 克隆了苹果中的 *COP1*, 找到两个高度同源的基因 *MdCOP1-1* 和 *MdCOP1-2* (92.05%), 它们都含有其他物种 *COP1* 蛋白中保守的 C 端的 RING-finger domain 和 N 端的 WD40 重复序列 [图 5(a)], 这表明它们可能也具有 E3 泛素连接酶的活性, 且能够与上游光受体相互作用。异源表达 35S::*MdCOP1-1* 和 35S::*MdCOP1-2* 能够互补拟南芥 *cop1-4* 突变体的光形态建成缺失的表型, 这表明苹果中的 *MdCOP1s* 是拟南芥 *AtCOP1* 的同源基因。因此, 我们有理由推测在苹果中 *MdCOP1* 通过与红光、蓝光和 UV - B 光受体互作响应光信号, 进而调控下游的蛋白表达。

光信号能够调控 *COP1* 蛋白的泛素连接酶活性是通过改变它与光受体相互作用, 从而影响其从细胞质到细胞核的定位起作用的。黑暗下, 核内的 *COP1* 与下游很多转录激活因子相互作用, 包括 bHLH 转录因子 HFR1 (Yang et al.,



2005)、b-ZIP 转录因子 HY5 和 HYH(Osterlund et al., 2000; Holm et al., 2002), 以及 B-box-type zinc finger 转录激活子 CO、LZF/STH 和 STO/BBX24(Jang et al., 2008; Datta et al., 2008; Yan et al., 2011), 促使它们发生蛋白酶体介导的泛素化降解, 抑制光形态建成。这些转录因子中 HY5 的积累水平直接影响到光形态建成发育、UV-B 抗性和花青素的生物合成(Streacke et al., 2010)。相反, 当光调控的 COP1 蛋白从核内排出后, 使得这些转录因子积累, 从而激活下游基因的表达。

MYB 蛋白是另一类受 COP1 蛋白调控的转录因子。MYB 转录因子 BIT1 在调控蓝光响应中起到十分重要的作用。黑暗下 COP1 可与 BIT1 相互作用, 调控它的降解; 而蓝光下 CRY1 能够稳定 BIT1 的积累, 因此 BIT1 作为特异响应蓝光的正调控因子起作用(Hong et al., 2008)。还有一种 MYB 转录激活因子——LAF1 参与 PHYA 信号转导, 它作为 COP1 降解的一个亚基, 调控下游的光响应(Seo et al., 2003)。

在一些模式植物和果树中研究发现, MYB 转录因子能够调控花青素的生物合成(Aharoni et al., 2001; Allan et al., 2008; Lin-Wang et al., 2010)。在拟南芥、矮牵牛、玉米、金鱼草和果树中, MYB 转录因子和 bHLH 转录因子以及 WD40 蛋白形成复合体(MYB-bHLH-WD40), 调控花青素的生物合成, 因而导致了红色的叶片、花和果实等器官的色泽形成(Mol et al., 1998; Allan et al., 2008)。通常是光诱导花青素合成相关 MYB 基因的表达, 从而有利于花青苷在植物器官内的积累(Mol et al., 1998; Allan et al., 2008; Gonzalez, 2009; Rowan et al., 2009)。未见光的苹果果实不能积累花青素, 接受光照后可极其快速地着色, 这一过程中 *MdMYB1* 和它的等位基因起到至关重要的作用(Takos et al., 2006; Ban et al., 2007; Allan et al., 2008)。

在苹果和其他作物中, 与花青素积累相关的 MYB 转录因子是如何受到转录后调控的机制尚未明确。本研究首先发现了苹果中 *MdCOP1s* 与 *MdMYB1* 相互作用, 进而发现了 *MdCOP1* 可将 *MdMYB1* 泛素化降解(图 8、图 9)。在离体泛素化实验中, 仅由 anti-GFP 抗体沉淀下来的 *MdMYB1*-GFP 蛋白能够被泛素化, 而诱导纯化的 *MdMYB1*-GST 不能够被泛素化(图 8A), 这可能是由于带 GST 标签的重组蛋白是没有功能的, 或者是需要转录后修饰, 或者是泛素化作用需要其他互作复合体的参与。Imamura 等在单细胞的红藻中发现, 纯化重组的 *CmMYB1* 蛋白做 EMSA 时仅在红藻的粗细胞提取物中才能结合到氮同化基因的启动子上(Imamura et al., 2009)。我们的研究结果发现, 黑暗下 *MdCOP1* 在翻译后水平对 *MdMYB1* 的泛素化调控是通过 26S 蛋白酶体途径产生的。结合其他 MYB 转录因子 LAF1 和 BIT1 的研究结果可以发现, COP1 对光介导的 MYB 转录

因子的稳定性的调控机制在高等植物中可能都是保守的。

由于 MdMYB1 蛋白是花青素生物合成和果实着色中正调控因子 (Takos et al., 2006), 而 *MdCOP1s* 能够负调节 *MdMYB1* 蛋白的积累, *MdCOP1s* 的转录水平随果实着色程度的增加而降低 [图 10(a)、(b)], 这表明 *MdCOP1s* 是苹果果实着色的负调控因子。拟南芥中, *cop1-4* 突变体中可积累较多的花青素, 颜色比野生型的红, 在突变体和野生型拟南芥中异源表达 *MdCOP1s* 能够抑制花青素的合成和红色器官的着色 (图 11), 表明 *COP1* 蛋白的功能是不受物种界限限制的。因此, 我们推测 *COP1* 蛋白对花青素积累和色泽形成的抑制机制在木本和草本植物中是高度保守的。

本研究中我们对光调控的苹果花青素的生物合成和果实着色的机制提出了新的见解。苹果中的 *MdCOP1s* 是拟南芥 *AtCOP1* 的同源基因, 因此有理由推测 *MdCOP1s* 应该与拟南芥的 *AtCOP1* 一样, 通过与光受体 (MdPHYs、MdCRYs 和 MdUVR8) 相互作用响应光信号。黑暗下, MdCOP1 蛋白与 MdMYB1 相互作用, 调控其泛素化, 并发生 26S 蛋白酶体途径的降解; 光下, 核内的 MdCOP1 排出, 从而阻止了 MdMYB1 蛋白的泛素化降解, 积累的 MdMYB1 蛋白能够直接结合到下游结构基因的启动子上, 如 UFGT、DFR 等, 激活花青素合成相关基因的表达 (Takos et al., 2006; Han et al., 2010), 促使花青素的积累从而导致了苹果果实着色 (图 12)。

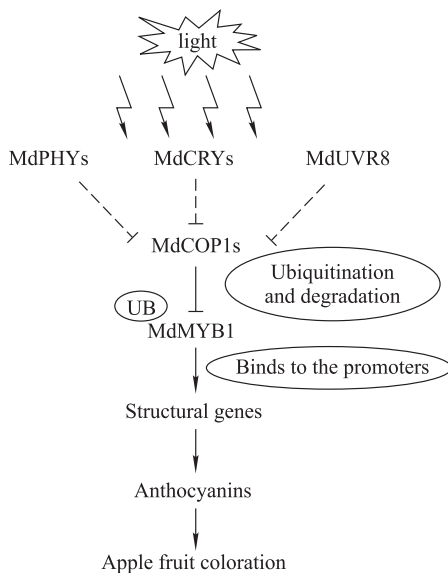


图 12 光诱导苹果果实色泽形成模式

果实的颜色是果树重要的农艺性状之一, 也是重要的果树育种目标。与果

实大小和形状一样,整个果实的外观品质直接决定其市场价值(King, Cliff, 2002)。花青素对人类的健康具有十分重要的作用(Butelli et al., 2008),花青素合成的调控途径越来越多地受到科学家的关注。本研究发现了光依赖的MdCOP1s对MdMYB1蛋白降解的调控机制,以及对苹果果实色泽形成具有抑制作用,这为将来的育种计划提供了新的生物技术战略,有助于培育出新的着色良好的苹果栽培品种,创新苹果种质资源。

## 参考文献

- Aharoni A, De Vos C H, Wein M, et al. 2001. The strawberry *FaMYB1* transcription factor suppresses anthocyanin and flavonol accumulation in transgenic tobacco. *The Plant Journal*, (28):319 – 332.
- Allan A C, Hellens R P, Laing W A. 2008. MYB transcription factors that colour our fruit. *Trends Plant Sci*, (13):99 – 102.
- Ban Y, Honda C, Hatsuyama Y, et al. 2007. Isolation and functional analysis of a MYB transcription factor gene that is a key regulator for the development of red coloration in apple skin. *Plant Cell Physiol*, (48):958 – 970.
- Borevitz J O, Xia Y, Blount J, et al. 2000. Activation tagging identifies a conserved MYB regulator of phenylpropanoid biosynthesis. *Plant Cell*, (12):2383 – 2393.
- Briggs W R, Christie J M. 2002. Phototropins 1 and 2: versatile plant blue-light receptors. *Trends Plant Sci*, (7):204 – 210.
- Butelli E, Titta L, Giorgio M, et al. 2008. Enrichment of tomato fruit with health-promoting anthocyanins by expression of select transcription factors. *Nat Biotech*, (26):1301 – 1308.
- Butelli E, Licciardello C, Zhang Y, et al. 2012. Retrotransposons control fruit-specific, cold-dependent accumulation of anthocyanins in blood oranges. *The Plant Cell*, 24(3):1242 – 1255.
- Christie J M, Arvai A S, Baxter K J, et al. 2012. Plant UVR8 photoreceptor senses UV – B by tryptophan-mediated disruption of cross-dimer salt bridges. *Science*, (335):1451 – 1452.
- Clough S J, Bent A F. 1998. Floral dip: a simplified method for *Agrobacterium*-mediated transformation of *Arabidopsis thaliana*. *Plant J*, (16):735 – 743.

Cone K C, Cocciolone S M, Burr F A, et al. 1993. Maize anthocyanin regulatory gene *pl* is a duplicate of *c1* that functions in the plant. *Plant Cell*, (5):1795 – 1805.

Datta S, Johansson H, Hettiarachchi C, et al. 2008. LZF1/SALT TOLERANCE HOMOLOG3, an *Arabidopsis* B-box protein involved in light-dependent development and gene expression, undergoes COP1 – mediated ubiquitination. *Plant Cell*, (20):2324 – 2338.

Deluc L, Bogs J, Walker A R, et al. 2008. The transcription factor VvMYB5b contributes to the regulation of anthocyanin and proanthocyanidin biosynthesis in developing grape berries. *Plant Physiol*, (147):2041 – 2053.

Espley R V, Hellens R P, Putterill J, et al. 2007. Red colouration in apple fruit is due to the activity of the MYB transcription factor, MdMYB10. *Plant J*, (49):414 – 427.

Espley R V, Brendolise C, Chagné D, et al. 2009. Multiple repeats of a promoter segment causes transcription factor autoregulation in red apples. *Plant Cell*, (21):168 – 183.

Franklin K A, Larner V S, Whitelam G C. 2005. The signal transducing photoreceptors of plants. *Int J Dev Biol*, (49):653 – 664.

Gonzalez A. 2009. Pigment loss in response to the environment, a new role for the WD/bHLH/MYB anthocyanin regulatory complex. *New Phytol*, (182):1 – 3.

Han Y P, Vimolmangkang S, Soria-Guerra R E, et al. 2010. Ectopic expression of apple *F3' H* genes contributes to anthocyanin accumulation in the *Arabidopsis tt7* mutant grown under nitrogen stress. *Plant Physiol*, (153):806 – 820.

Henriques R, Jang I C, Chua N H. 2009. Regulated proteolysis in light-related signaling pathways. *Curr Opin Plant Biol*, (12):49 – 56.

Holm M, Ma L G, Qu L J, et al. 2002. Two interacting bZIP proteins are direct targets of COP1 – mediated control of light-dependent gene expression in *Arabidopsis*. *Genes*, 16:1247 – 1259.

Hong S H, Kim H J, Ryu J S, et al. 2008. CRY1 inhibits COP1 – mediated degradation of BIT1, a MYB transcription factor, to activate blue light-dependent gene expression in *Arabidopsis*. *Plant J*, 55(3):361 – 371.

Imamura S, Kanesaki Y, Ohnuma M, et al. 2009. R2R3 – type MYB transcription factor, CmMYB1, is a central nitrogen assimilation regulator in *Cyanidioschyzon merolae*. *Proc Natl Acad Sci USA*, 106(30):12548 – 12553.

Jang S, Marchal V, Panigrahi K C, et al. 2008. *Arabidopsis* COP1 shapes the

temporal pattern of CO accumulation conferring a photoperiodic flowering response. *The EMBO Journal*, (27) :1277 – 1288.

Jang I C, Henriques R, Seo H S, et al. 2010. *Arabidopsis* PHYTOCHROME INTERACTING FACTOR proteins promote phytochrome B polyubiquitination by COP1 E3 ligase in the nucleus. *Plant Cell*, (22) :2370 – 2383.

Kang C Y, Lian H L, Wang F F, et al. 2009. Cryptochromes, phytochromes, and COP1 regulate light-controlled stomatal development in *Arabidopsis*. *Plant Cell*, (21) :2624 – 2641.

King M C, Cliff M A. 2002. Development of a model for prediction of consumer liking from visual attributes of new and established apple cultivars. *J Am Pom Soc*, (56) :223 – 229.

Lee H S, Wicker L. 1991. Anthocyanin pigments in the skin of lychee fruit. *J Food Sci*, (56) :466 – 468.

Lee J, He K, Stolt V, et al. 2007. Analysis of transcription factor HY5 genomic binding sites revealed its hierarchical role in light regulation of development. *Plant Cell*, (19) :731 – 749.

Li D D, Shi W, Deng X X. 2002. *Agrobacterium*-mediated transformation of embryogenic calluses of Ponkan mandarin and the regeneration of plants containing the *chimeric ribonuclease* gene. *Plant Cell Rep*, (21) :153 – 156.

Lin – Wang K, Bolitho K, Grafton K, et al. 2010. An R2R3 MYB transcription factor associated with regulation of the anthocyanin biosynthetic pathway in Rosaceae. *BMC Plant Biol*, (10) :50.

Lin – Wang K, Micheletti D, Palmer J, et al. 2011. High temperature reduces apple fruit colour via modulation of the anthocyanin regulatory complex. *Plant Cell Environ*, (34) :1176 – 1190.

Liu H, Liu B, Zhao C, et al. 2011. The action mechanisms of plant cryptochromes. *Trends in Plant Sci*, 16(12) :684 – 691.

Ma L, Gao Y, Qu L, et al. 2002. Genomic evidence for COP1 as repressor of light regulated gene expression and development in *Arabidopsis*. *Plant Cell*, (14) :2383 – 2398.

Mellway R D, Tran L T, Prouse M B, et al. 2009. The wound – , pathogen – , and ultraviolet B – responsive MYB134 Gene Encodes an R2R3 MYB transcription factor that regulates proanthocyanidin synthesis in poplar. *Plant Physiol*, (150) :924 – 941.

Mol J J, Schafer E, Weiss D. 1996. Signal perception, transduction, and gene

expression involved in anthocyanin biosynthesis. *Crit Rev Plant Sci*, (15) :525 – 557.

Mol J, Grotewold E, Koes R. 1998. How genes paint flowers and seeds. *Trends Plant Sci*, (3) :212 – 217.

Osterlund M T, Hardtke C S, Wei N, et al. 2000. Targeted destabilization of HY5 during light-regulated development of *Arabidopsis*. *Nature*, (405) :462 – 466.

Peretz Y, Mozes – Koch R, Akad F, et al. 2007. A universal expression/silencing vector in plants. *Plant Physiol*, (145) :1251 – 1263.

Quattrocchio F, Wing J, van der Woude K, et al. 1999. Molecular analysis of the *anthocyanin2* gene of *Petunia* and its role in the evolution of flower color. *Plant Cell*, (11) :1433 – 1444.

Ratcliff F, Martin-Hernandez A M, Baulcombe D C. 2002. Tobacco rattle virus as a vector for analysis of gene function by silencing. *Plant J*, 25(2) :237 – 245.

Ramsay N A, Glover B J. 2005. MYB – bHLH – WD40 protein complex and the evolution of cellular diversity. *Trends Plant Sci*, (10) :63 – 70.

Rizzini L, Favory J J, Cloix C, et al. 2011. Perception of UV – B by the *Arabidopsis* UVR8 protein. *Science*, (332) :103 – 106.

Rowan D D, Cao M, Lin – Wang K, et al. 2009. Environmental regulation of leaf colour in red 35S:*PAP1 Arabidopsis thaliana*. *New Phytol*, (182) :102 – 115.

Schwinn K, Venail J, Shang Y, et al. 2006. A small family of MYB – regulatory genes controls floral pigmentation intensity and patterning in the genus *Antirrhinum*. *Plant Cell*, (18) :831 – 851.

Seo H S, Yang J Y, Ishikawa M, et al. 2003. LAF1 ubiquitination by COP1 controls photomorphogenesis and is stimulated by SPA1. *Nature*, (423) :995 – 999.

Stracke R, Favory JJ, Gruber H, et al. 2010. The *Arabidopsis* bZIP transcription factor HY5 regulates expression of the *PFG1/MYB12* gene in response to light and ultraviolet – B radiation. *Plant Cell Environ*, (33) :88 – 103.

Takos A M, Jaffe F W, Jacob S R, et al. 2006. Light-induced expression of a *MYB* gene regulates anthocyanin biosynthesis in red apples. *Plant Physiol*, (142) :1216 – 1232.

Walter M, Chaban C, Schütze K, et al. 2004. Visualization of protein interactions in living plant cells using bimolecular fluorescence complementation. *Plant J*, (40) :428 – 438.

Wu D, Hu Q, Yan Z, et al. 2012. Structural basis of ultraviolet – B perception by UVR8. *Nature*, doi:10. 1038/nature10931.

Yan H, Marquardt K, Indorf M, et al. 2011. Nuclear localization and interaction with COP1 are required for STO/BBX24 function during photomorphogenesis. *Plant Physiol*, (156):1772 – 1782.

Yang J, Lin R, Sullivan J, et al. 2005. Light regulates COP1 – mediated degradation of HFR1, a transcription factor essential for light signaling in *Arabidopsis*. *Plant Cell*, (17):804 – 821.

Yu J W, Rubio V, Lee N Y, et al. 2008. COP1 and ELF3 control circadian function and photoperiodic flowering by regulating GI stability. *Mol Cell*, (32):617 – 630.

Zifkin M, Jin A, Ozga J A, et al. 2012. Gene expression and metabolite profiling of developing highbush blueberry fruit indicates transcriptional regulation of flavonoid metabolism and activation of abscisic acid metabolism. *Plant Physiol*, (158):200 – 224.



**李媛媛** 1982年生,辽宁朝阳人,山东农业大学园艺科学与工程学院讲师。2009年6月博士毕业于沈阳农业大学果树学专业,2009—2012年于山东农业大学园艺学流动站进行博士后研究,现已期满出站,留校任教。

研究方向为果树生物技术,重点集中在光调控苹果果实品质形成分子机制研究方面。参加了农业部“948”重点项目(2011-G21)、科技部“973”课题(2011CB100601)、科技部“863”项目(2011AA100601)和国家自然科学基金(31171946)等科研项目。在 *Plant Physiology* 等国内外学术期刊发表论文7篇。

# 果园生草的生理生态效应研究与应用

吕德国 等

沈阳农业大学园艺学院

**摘要:**果园生草作为维持果园土壤肥力和改善土壤环境的有效技术,在欧美、日本等地得到广泛的应用。我国20世纪80年代初引进生草制,并率先在福建、广东、山东等地果园中应用。但因我国果产区气候、立地条件差别较大,在草种选择与利用上缺乏相应的规范化技术,加之受传统大田耕作“除草务尽”、“与果争肥水”等思想的影响,果园生草制一直未得到很好的推广应用,目前实施清耕的果园面积仍占总面积的80%以上。本文结合现阶段我国果树产业技术发展现状及课题组在果园生草方面的研究工作,从果园小气候环境、土壤理化性质及植株生长和发育方面综述了果园生草的生理生态效应,提出了果园生草的管理策略,为适地推进果园生草栽培提供思路和参考依据。

**关键词:**果园;生草制;清耕;生理生态

## 一、引言

果园生草是对全园或行间生草,不使土壤暴露,每年刈割或常年不刈割的一项土壤管理方法,对于维持土壤基础肥力、改善土壤生态环境、推动果树产业可持续发展具有重要意义。生草制在欧美、日本等地果园得到广泛的应用。我国20世纪80年代初引进生草制,并率先在福建、广东、山东等地果园中应用,但因各果产区气候、立地条件差别较大,在草种选择与利用上缺乏相应的规范化技术,加之受传统大田耕作“除草务尽”、“与果争肥水”等思想的影响,一直未得到很好的推广应用。目前我国实施清耕的果园面积仍占总面积的80%以上。

高产、优质、可持续生产是果树生产者追求的目标。进入21世纪以来,果树单产逐渐提高,但果园土壤投入有机肥数量较少的情况没有得到明显改善,大多果园实施清耕制管理加速了有机质的矿化分解,微生物群落多样性和土壤酶活性下降,土壤养分严重失衡,土壤结构逐步被破坏,土壤质量持续恶化(Korte, Porembski, 2010; Wang et al., 2009),由此诱发的早期落叶病、缺素症等生理性病害频繁发生。为适时适地推进果园生草栽培,实现果园可持续发展,本文结合我



国果树产业技术发展现状及笔者在果园生草方面的研究工作,从果园小气候、土壤理化性质及植株生长和发育方面综述了果园生草的生理生态效应,提出了果园生草的管理策略。

## 二、生草栽培对果园小气候及生物多样性的影响

### (一) 对果园小气候的影响

果园生草改变了传统清耕果园“土壤-果树-大气”系统水热传递的模式,形成了“土壤-果树+草-大气”系统,引起了果园环境水热传递规律的变化(王兵等,2002)。由于草对光的截取,近地表草域光照度、日最高温度较清耕区明显下降,尤其是盛夏炎热天气降温效果明显;生草同时降低了地表的风速,从而减少了土壤的蒸发量。另外,由于草域根系的呼吸和凋落物的分解作用,引起地表CO<sub>2</sub>浓度上升,增强了果树的光合作用(李芳东,2008)。因此,生草可使果园温湿环境相对稳定,有利于根系的生长和发育,有利于减轻枝干和果实的日烧,特别是在套袋栽培体系中对于改善果实外观品质具有重要作用,但不同草种之间有明显差异(李会科等,2009)。

### (二) 对果园生物多样性的影响

生草丰富了果园生物多样性,尤其是丰富了近地表的生物多样性,生草区植绥螨(phytoseiid mites)一般具较高的多样性,其密度随季节变化呈单峰曲线;种植爪哇大豆(*Neonotonia wightii*)可以作为植绥螨的库,维持全年丰富多样的群体;土牛膝(*Achyranthes aspera*)、红苋(*Amaranthus dubius*)和离药金腰箭(*Eleutheranthera ruderalis*)等一些自然草种也可以作为植绥螨的寄主植物(Mailloux et al., 2010)。梨园间作芳香植物后害虫数量减少,天敌数量增加;间作区显著增加主要害虫(梨木虱、康氏粉蚧、蚜虫、金龟子和梨网蝽)及天敌(瓢虫、食蚜蝇、草蛉、蜘蛛和寄生蜂)的生态位宽度,且天敌的生态位宽度明显大于害虫生态位宽度,同时增加主要天敌如瓢虫、食蚜蝇与害虫的生态位重叠指数,呈现出对害虫明显的跟随效应和控制作用(Wardle et al., 2001)。另外,生草后猕猴桃园有机物料输入增加引起了土壤线虫群落较高的多样性,羊茅草处理0~5 cm土层多样性指数为2.80,较清耕提高了0.48(宋备舟等,2010)。可见,果园生草为天敌繁衍、栖息提供了必要的场所,增加了天敌的数量,利于生物防治,减少虫害的发生(Wardle et al., 2001; 宋备舟等, 2010; Monteiro et al., 2002; 冯存良等, 2007),从而减少了农药使用量和经济投入。

### 三、生草栽培对土壤理化性质的影响

#### (一) 对土壤含水量的影响

研究认为,生草果园草与果树存在水分竞争(邓丰产等,2003;赵政阳,李会科,2006;惠竹梅等,2004;高茂盛等,2010;Monteiro, Lopes,2007;侯启昌,2009),生草对水分的竞争主要发生在0~40 cm土层,在不同的降水年型水分竞争差异很大,随生草年限的增加,水分竞争延伸到较深土层;赵政阳和李会科研究表明,无论是丰水年还是欠水年,黄土高原旱地苹果园生草对40~80 cm土层均具有调蓄作用(赵政阳,李会科,2006)。生草处理较清耕处理提高了土壤饱和储水量、吸持储水量及滞留储水量(高茂盛等,2010)。惠竹梅等研究表明,葡萄园行间生草降低了土壤含水量,种植白三叶对0~60 cm土层含水量影响较大,而紫花苜蓿影响较小;在降雨较多的季节,生草可以较快地排出土壤中较多的水分,促进葡萄根系的生长和养分的吸收(惠竹梅等,2004)。但Hernandez等研究表明,正常年份(年降雨量为440 mm)和丰雨年份(降雨量为615 mm)三叶草与橄榄树几乎没有竞争,这可能与西班牙地区属地中海海洋气候,时常出现不规律的暴雨天气有关(Hernandez et al.,2005)。

#### (二) 对土壤温度的影响

果园生草降低了地表的光照度,减缓了热量向深层土壤的传递,改善了土壤的热量状况,起到了平稳地温的作用。葡萄园行间生草可使地面最高温度降低5.7~7.3℃,地面温度日较差降低6.7~7.6℃,不同土层温度均有所降低(惠竹梅等,2004)。生草后进行适时刈割,然后覆盖是改变果园生态系统热量传递的主要原因,具有夏季降温和冬季增温的双重作用(Ferrero et al.,2004;徐雄等,2005;孟林等,2009)。但李芳东(2008)研究表明,冷凉气候区幼龄苹果园生草刈割、覆盖对深冬土壤保温效果不明显。说明生草对土壤温度的影响除了与草种类型和覆盖厚度有关,还可能与不同地区的低温程度、低温持续时间、土壤质地等影响热量传递的因素有关。

#### (三) 对土壤容重和孔隙度的影响

良好的土壤结构、适宜的土壤孔隙度是果树优质高产的基础,同时孔隙状况的大小可以较好地反映土壤水分蓄存状况。生草后土壤容重降低、孔隙度增加、水稳性团聚体含量升高,其影响主要集中在0~40 cm土层,且随着生草年限的增加,土壤物理性状改善越显著,土壤的入渗性能和持水能力得到较大幅度的提

高(李会科等,2008)。也有研究认为,由于刈割机械的应用,生草果园土壤容重增加,孔隙度减少(Oliveira,Merwin,2001)。

#### (四) 对土壤养分性状的影响

生草果园土壤有机质含量均有不同程度增加。邓丰产等研究表明,渭北旱塬苹果园种植小冠花(*Coronilla varia*)明显增加了土壤有机质含量,第3年时较对照增加5.6%,第6年时较对照增加41.4%(邓丰产等,2003)。罗旭辉等(2010)研究表明,长期种草对不同土层有机质组分影响不同,生草处理0~15 cm土壤重组有机碳含量比清耕平均提高2.23 g/kg,15~30 cm重组有机碳含量的变化弱于表层。而侯启昌(2009)研究认为,生草降低了20~80 cm土层土壤有机质含量。生草改变了果园N、P、K等矿质营养水平,Shui等(2008)研究表明,柑橘园生草较清耕区N、P、K总量高了14.4%。徐雄等(2005)研究表明,生草处理土壤中各养分含量均高于清耕处理,全钾极显著增加,速效钾显著增加;随年限的延长,刈割覆盖的多数养分含量逐年递增。生草前期苹果与牧草在0~40 cm土层存在养分竞争,土壤养分消耗大于积累,在第5年全氮、全磷、全钾呈现恢复性增长,提高了0~40 cm土层水解氮、速效磷及速效钾含量,生草栽培具有活化土壤中有机态N、P、K的功能,利于果树对N、P、K营养元素的吸收利用(李会科等,2007)。可见,生草对果园养分的影响受土壤营养状况、树种与草种根系吸收特性等复杂因素的影响,研究结果具有多样性。因此,应综合多种因素评价生草对土壤养分的贡献作用。

#### (五) 对土壤微生物的影响

土壤微生物群落决定了养分循环、有机物分解和能量流动,对土壤生态功能的作用至关重要,是土壤质量优劣非常敏感的指标(Sofa et al.,2008)。葡萄园生草可显著提高土壤微生物数量,较清耕处理固氮菌与纤维素分解菌数量升高幅度较大,放线菌数量升高的幅度最小(惠竹梅等,2010)。岳泰新等(2009)报道白三叶和紫花苜蓿处理均提高了土壤微生物生物量碳和生物量氮含量,与Mátéová等(2001)研究结果一致。潘学军等研究表明,柑橘生育期内,土壤中微生物以细菌最多,占90%以上,其次是放线菌,真菌最少。可见果园生草整体上提高了果园微生物数量与活性,并且微生物种群的变化与草的种类及生长状况关系密切(Yao et al.,2005;潘学军等,2010)。

#### (六) 对土壤酶活性的影响

土壤中各种生化反应除受微生物本身活动的影响外,实际上是在各种相应

的酶的参与下完成的,酶活性与土壤中动、植物残体和微生物密集的区域密切相关,酶活性的高低直接影响氮、磷、钾以及一些有机物质的循环和转化。生草栽培提高了梨园土壤碱性磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶的活性,分别较清耕提高了22.94%、4.75%和21.1%(徐凌飞等,2010);且随着生草年限的增加土壤酶活性均呈升高趋势,而草种的种类也影响着酶的活性,多年生黑麦草(*Lolium perenne*)处理0~40 cm土层过氧化氢酶、脲酶及碱性磷酸酶活性较清耕分别提高了3.0%、45.1%和9.4%,白三叶(*Trifolium repens*)分别提高了16.4%、71.5%和16.1%(李会科等,2007)。此外,生草刈割覆盖使土壤中几丁质酶、纤维素酶、葡萄糖苷酶和氨基葡萄糖苷酶的活性分别提高了16.0%、21.0%、4.0%和12.0%(Yao et al.,2009)。

#### 四、生草栽培对树体生长和发育的影响

##### (一) 根系生物学效应

果园生草为果树根系的生长提供了稳定的环境和持续的养分,缩小了0~20 cm土层根系的分布范围,0~40 cm土层根系生物量为清耕的62.4%，“细根生物量/粗根生物量”增加了10.1%(李芳东,2008)。在非灌溉条件的果园,生草处理花期土壤上层水分几乎完全耗尽,可能引起了上层葡萄根系的死亡和深层根系的生长(Monteiro, Lopes, 2007),这与Morlat和Jacquet的研究一致(Morlat, Jacquet, 2003)。

##### (二) 对树体生理特性及生长和发育的影响

果园生草能显著地提高光合色素的含量(徐雄等,2005;潘学军等,2010),特别是叶绿素b的含量,高含量的光合色素有利于叶片光合作用的进行,从而提高了幼苗利用光照的能力(潘学军等,2010)。鸭茅(*Dactylis glomerata*)、无芒雀麦(*Bromus inermis*)和红三叶(*Trifolium Pratense*)处理苹果叶片的光合速率均高于清耕,且差异显著(牛俊玲,解思敏,2000)。但在半干旱或干旱地区,行间生草降低了葡萄园土壤含水量和葡萄叶片相对含水量,使葡萄叶片光合速率、气孔导度及蒸腾速率降低,并使气孔导度、光合速率最高峰有所提前(惠竹梅等,2005)。利用丛枝菌根真菌介导<sup>15</sup>N转移的研究表明,从毛雀草(*Bromus hordeaceus* ssp. *molliformis* cv. Blando)向葡萄树转移<sup>15</sup>N的量显著高于南苜蓿(*Medicago polymorpha* cv. Santiago);可能是由于南苜蓿(*Medicago polymorpha* cv. Santiago)根系<sup>15</sup>N含量较低,而毛雀草的根系富集了较高的<sup>15</sup>N,或者是由丛枝菌根真菌群落组成的差异引起的(Cheng, Baumgartner, 2004)。

果园生草可以明显减少树体的营养生长,这在许多研究中已得到证实(李芳东,2008;邓丰产等,2003;赵政阳,李会科,2006;Monteiro, Lopes, 2007;徐雄等,2005;TerAvest et al., 2010;Hoagland et al., 2008)。树体的营养生长的减少主要是由于草对土壤水分的竞争,导致果树轻度的水分胁迫,从而抑制了营养生长(Monteiro, Lopes, 2007)。生草第6年,白三叶和高羊茅(*Festuca arundinacea*)处理苹果树干周分别为清耕的92.6%和83.5%,除白三叶处理新梢比对照长外,紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、高羊茅、多年生黑麦草(*Lolium perenne*)和小冠花(*Coronilla varia*)处理新梢均比清耕短;生草果园中、短枝比例明显高于清耕,利于生殖生长,生草的第3年中,短枝比例平均增加33.4%,第6年短枝比例平均增加34.9%(邓丰产等,2003)。Linares等研究表明,生草对柑橘树的生长影响不明显。生草对树体生长量的影响与该地区的降水量有关,干旱地区水分竞争明显,生长量减少;降雨量大的地区,水分竞争不明显,对生长量的影响也不明显。

### (三) 对果实和品质的影响

研究认为,生草可减少果实病害的发生,改善果实品质,从而提高其加工品的质量(曾明,2004;李国怀,伊华林,2005;惠竹梅等,2004)。随着种草时间延长,果实品质改善更为明显;生草第6年单果重增加10.2%,硬度增加9.2%,可溶性固形物含量增加35.5%(邓丰产等,2003)。曾明等(2004)分析认为,百喜草(*Paspalum notatum*)促进了土壤丛枝菌根菌生长,显著地提高了柑橘根系丛枝菌根侵染率及土壤丛枝菌根菌孢子数,有效地促进了柑桔根系丛枝菌根的形成,改善了在水分逆境下植株对土壤水分和磷素的吸收,进而提高了果实品质。生草处理葡萄果皮总酚和花青素含量升高,果实氨基酸总量和还原糖含量升高,果实总氮、可溶性蛋白质和可滴定酸含量下降(Monteiro, Lopes, 2007;惠竹梅等,2004;惠竹梅,2010)。

## 五、生草栽培的应用与管理

### (一) 草种的选择与生草方式

目前,尚缺乏针对不同气候区域、不同草种在果园生境中功能的深入评价研究。因此草种的选择成为果园生草的首要问题,甚至成为果园生草成功的关键(寇建村等,2010)。除西北等干旱地区外,我国大部分果园适宜生草栽培,特别在雨水充足的地区应适当生草(孟昭军,秦嗣军,2008)。生草的形式有全园生草(树盘除外)和行间生草。一般在肥水供应较充足的成龄树果园,采用全园生

草;肥水供应条件差或幼龄果园,采用行间生草,以避免草果争肥争水。生草的方式主要有自然生草和人工生草。一般在当地乡土草种能够形成自然群落时适用自然生草。自然生草时要彻底清除果园田间恶性杂草,在树盘外自然蓄留稗(*Echinochloa crusgalli*)、马唐(*Digitaria sanguinalis*)、霍香蓟(*Ageratum conyzoides*)、蒲公英(*Herba taraxaci*)、狗尾草(*Setaira viridis*)、结缕草(*Zoysia japonica*)、猫尾草(*Phieum pratense*)、草木樨(*Melilotus suaveolen*)、紫花苜蓿等良性杂草。自然生草具有更丰富的植物群落,在水分利用、果树产量与品质等方面更有利于生产,且省工、省力,因此是最好的选择(Monteiro, Lopes, 2007)。当乡土草种形不成群落时,可结合播种商业草种,也可彻底除尽田间杂草后树盘外全部人工生草。人工种草应选择一些易人工种植、适应性强、鲜草量大、矮秆、浅根性、有利于害虫天敌滋生繁殖的草种,如黑麦草(*Lolium perenne*)、红三叶、白三叶、紫云英(*Astragalus sinicus*)、酢浆草(*Oxalis corniculata*)等。可种植单一草种,也可两种或多种草混种。豆科与禾本科混种,对改良土壤有良好的作用。通常情况下,果园人工生草多选择豆科的白三叶草与禾本科的早熟禾草混种。白三叶具有良好的固氮能力、能培肥地力,早熟禾耐旱节水、适应性强,混种可发挥双方的优势。

## (二) 生草后的管理

生草后及时刈割可控制草的高度,同时促进草的分蘖和分枝,并且通过多次刈割可调节草种演替,促进以禾本科草为主要建群种的草被发育。刈割时间掌握在拟选留草种(如马唐、稗等)抽生花序之前,拟淘汰草种[如藜(*Chenopodium album*)、苋菜(*Amaranthus mangostanus*)、苘麻(*Abutilon theophrasti*)等]产生种子之前。具体刈割的时间、次数由草的高度及生长量来定。刈割留茬高度应根据草的最低更新高度确定,与草的种类有关。一般禾本科草要保住生长点(心叶以下),而豆科草要保住茎的1~2节。以环渤海地区苹果园为例,夏季雨量充沛,高温潮湿,草生长旺盛,一般草长到40 cm即可刈割,全年需刈割4~6次,刈割留茬高度15~20 cm为宜。刈割下来的草可覆在行内垄上,也可就地放置。秋播的当年不进行刈割,自然生长越冬后进入常规刈割管理。而辽西北果园草生长量少,刈割次数少,甚至不刈割。另外,新建果园进行人工种草出苗后,还应根据各地区的墒情及时灌水,随水施些氮肥,及时去除杂草等管理。结合果树病虫害防控施药,给地面草被喷药,防治病虫害。自然生草的草被病虫害较轻,一般不会造成毁灭性灾害;种群结构较为单一的商业草种形成的草被病虫害,尤其锈病、白粉病、二斑叶螨等较严重,应注意防控。

## 六、展 望

果园生草是保护和维持土壤肥力的有效管理措施之一,在改善土壤理化特性和生物学特性、维持土壤养分平衡(碳平衡)和养分循环、增加生物多样性、降低病虫害发生概率等方面具有重要的作用。目前,国内关于果园生草的研究涵盖了大多数常见树种,相关的研究大多是单因素处理并且生草年限较短,主要侧重于生草后对环境效应和果实品质的影响,而对其影响产生的生理机制和调控措施仍未做深入研究。因此,应进一步针对各果产区气候、立地条件加强适宜乡土草种的选择与评价工作,加强生草对果园养分物质循环综合效应机制研究,为更好地改善果园土壤环境、调节树体的生长发育提供理论支撑。我国大多果园有机质含量不高,小气候环境不稳定,造成果园生产性能不稳。虽然提倡通过大量增施有机肥的方式改善地力,提高果园生产力,但大多果产区因连片种植果树面临堆肥等有机肥源不足的问题,而商品有机肥受价格等因素影响一段时间内也难以大面积推广应用。因此,适时适地大力推进果园生草栽培,必将成为我国现阶段果树栽培管理制度变革过程中的重要技术成果之一。

## 参考文献

- 邓丰产,安贵阳,郁俊谊,等. 2003. 渭北旱塬苹果园的生草效应. 果树学报, 20(6):506-508.
- 冯存良,陈建平,张林森. 2007. 生草栽培对富士苹果园生态环境的影响. 西北农业学报,16(4):134-137.
- 高茂盛,廖允成,李侠,等. 2010. 不同覆盖方式对渭北旱作苹果园土壤贮水的影响. 中国农业科学,43(10):2080-2087.
- 侯启昌. 2009. 黄河故道地区梨园生草栽培的生态效应. 果树学报,26(5):739-743.
- 惠竹梅,李华,刘延琳,等. 2004. 葡萄园行间生草对‘赤霞珠’干红葡萄酒质的影响. 中国农业科学,37(10):1527-1531.
- 惠竹梅,李华,龙妍,等. 2010. 葡萄园行间生草体系中土壤微生物数量的变化及其与土壤养分的关系. 园艺学报,37(9):1395-1402.
- 惠竹梅,李华,王美丽,等. 2005. 行间生草对葡萄叶片光和特性的影响. 西北农业学报,14(5):83-86,91.
- 惠竹梅,李华,张振文,等. 2004. 西北半干旱地区葡萄园生草对土壤水分的

影响. 干旱地区农业研究, 22(4): 123 - 126.

惠竹梅, 李华, 张振文, 等. 2004. 行间生草对葡萄园微气候和葡萄酒品质的影响. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 32(10): 33 - 37.

惠竹梅, 张振文, 马新丽, 等. 2010. 行间生草对赤霞珠葡萄与葡萄酒含氮化合物的影响. 中国农业科学, 43(19): 4045 - 4052.

寇建村, 杨文权, 韩明玉, 等. 2010. 我国果园生草研究进展. 草业科学, 27(7): 154 - 159.

李芳东. 2008. 幼龄‘寒富’苹果园生草制生态效应研究. 沈阳: 沈阳农业大学

李国怀, 伊华林. 2005. 生草栽培对柑橘园土壤水分与有效养分及果实产量、品质的影响. 中国生态农业学报, 13(2): 161 - 163.

李会科, 梅立新, 高华. 2009. 黄土高原旱地苹果园生草对果园小气候的影响. 草地学报, 17(5): 615 - 620.

李会科, 张广军, 赵政阳, 等. 2007. 生草对黄土高原旱地苹果园土壤性状的影响. 草业学报, 16(2): 32 - 39.

李会科, 张广军, 赵政阳, 等. 2008. 渭北黄土高原旱地果园生草对土壤物理性质的影响. 中国农业科学, 41(7): 2070 - 2076.

罗旭辉, 阮伏水, 陈俊杰, 等. 2010. 长期植草对山地果园土壤腐殖质的影响. 草业科学, 27(4): 122 - 126.

孟林, 俞立恒, 毛培春, 等. 2009. 苹果园间种鸭茅和白三叶对园区小环境的影响. 草业科学, 26(8): 132 - 136.

孟昭军, 秦嗣军. 2008. 果园生草技术及其在辽宁果产区的应用. 北方果树, (4): 33 - 34.

牛俊玲, 解思敏. 2000. 果园生草对苹果树光合特性影响的研究. 山西农业大学学报, 20(4): 353 - 355.

潘学军, 张文娥, 樊卫国, 等. 2010. 自然生草和间种绿肥对盆栽柑橘土壤养分、酶活性和微生物的影响. 园艺学报, 37(8): 1235 - 1240.

宋备舟, 王美超, 孔云, 等. 2010. 梨园芳香植物间作区主要害虫及其天敌的相互关系. 中国农业科学, 43(17): 2590 - 3601.

王兵, 刘世荣, 崔向慧, 等. 2002. 全球陆地生态系统水热平衡规律研究进展. 世界林业研究, 15(1): 19 - 27.

徐凌飞, 韩清芳, 吴中营, 等. 2010. 清耕和生草梨园土壤酶活性的空间变化. 中国农业科学, 43(23): 4977 - 4982.

徐雄, 张健, 廖尔华, 等. 2005. 李园生草的不同利用方式对土壤理化性质及



李树生长的影响. 四川农业大学学报, 23(4):420 - 423.

岳泰新, 惠竹梅, 孙莹, 等. 2009. 行间生草对葡萄园土壤微生物特性的影响. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 37(9):100 - 104.

曾明, 李道高, 熊丙全, 等. 2004. 桔园生草对丛枝菌根形成及果实品质的影响. 西南农业大学学报:自然科学版, 26(2):105 - 107.

赵政阳, 李会科. 2006. 黄土高原旱地苹果园生草对土壤水分的影响. 园艺学报, 33(3):481 - 484.

Cheng X M, Baumgartner K. 2004. Arbuscular mycorrhizal fungi-mediated nitrogen transfer from vineyard cover crops to grapevines. *Biol Fertil Soils*, 40:406 - 412.

Ferrero A, Sudiro L, Nosalewicz A, et al. 2004. Effects of grass cover and tillage on temperature of soil in sloping vineyard. *Int Agrophysics*, (18):121 - 126.

Hernandez A J, Lacasta C, Pastor J. 2005. Effects of different management practices on soil conservation and soil water in a rainfed olive orchard. *Agricultural Water Management*, (77):232 - 248.

Hoagland L, Carpenter-Boggs L, Granatstein D, et al. 2008. Orchard floor management effects on nitrogen fertility and soil biological activity in a newly established organic apple orchard. *Biol Fertil Soils*, (45):11 - 18.

Korte N, Porembski S. 2010. Suitability of different cover crop mixtures and seedlings for a new tree row management in an organic orchard. *Gesunde Pflanzen*, 62(2):45 - 52.

Linares J, Scholberg J, Graetz D, et al. 2010. Effects of perennial peanut and common bermudagrass on nitrogen and water uptake of young citrus trees. *Journal of Plant Nutrition*, 33(2):200 - 218.

Mailloux J, Bellec F L, Kreiter S, et al. 2010. Influence of ground cover management on diversity and density of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) in Guadeloupean citrus orchards. *Exp Appl Acarol*, (52):275 - 290.

Monteiro A, Lopes C M. Influence of cover crop on water use and performance of vineyard in Mediterranean Portugal. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2007, 121:336 - 342.

Monteiro L B, Belli L, Souza A, et al. 2002. Effect of weed management on *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) in apple orchard. *Rev Bras Frutic*, Jaboticabal - SP, 24(3):680 - 682.

Morlat R, Jacqueta A. 2003. Grapevine root system and soil characteristics in a

vineyard maintained long-term with or without interrow sward. *Am J Enol Vitic*, (54) : 1 – 7.

Mátéová I, Števlíková T, Vjatráková J, et al. 2001. Influence of grassing on chosen soil biological properties in orchard. *Central European Agriculture*, (2) :49 – 55.

Oliveira M T, Merwin I A. 2001. Soil physical conditions in a New York orchard after eight years under different groundcover management systems. *Plant and Soil*, 234 (2) :233 – 237.

Shui J G, Wang Q Z, Liao G Q, et al. 2008. Ecological and economic benefits of vegetation management measures in citrus orchards on Red Soils. *Pedosphere*, 18(2) : 214 – 221.

Sofa A, Celano G, Dichio B, et al. 2008. Functional and genetic fingerprinting of microbial soil community in a kiwifruit orchard under different management practices. *Geophysical Research Abstracts*, (10) :00986.

TerAvest D, Smith J L, Carpenter-Boggs L, et al. 2010. Influence of orchard floor management and compost application timing on nitrogen partitioning in apple trees. *Hort Science*, 45(4) :637 – 642.

Wang Q Y, Zhou D M, Cang L. 2009. Microbial and enzyme properties of apple orchard soil as affected by long-term application of copper fungicide. *Soil Biology & Biochemistry*, (41) :1504 – 1509.

Wardle D A, Yeates G W, Bonner K I, et al. 2001. Impacts of ground vegetation management strategies in a kiwifruit orchard on the composition and functioning of the soil biota. *Soil Biology & Biochemistry*, (33) :893 – 905.

Yao H Y, Bowman D, Rufty T, et al. 2009. Interactions between N fertilization, grass clipping addition and pH in turf ecosystems: Implications for soil enzyme activities and organic matter decomposition. *Soil Biology & Biochemistry*, (41) :1425 – 1432.

Yao S R, Merwin I A, Bird G W, et al. 2005. Orchard floor management practices that maintain vegetative or biomass groundcover stimulate soil microbial activity and alter soil microbial community composition. *Plant and Soil*, 271 :377 – 389.



**吕德国** 1967年生,山东省莱芜市人。1986年9月考入沈阳农业大学,1993年山东农业大学硕士毕业,到沈阳农业大学任教至今。1998年山东农业大学博士毕业,获得博士学位,2000年晋升副教授,2004年破格晋升教授,同年被遴选为博士研究生导师。2008年被遴选为国家现代苹果产业技术体系岗位科学家。目前已培养硕士研究生40余名、博士研究生16名、博士后4名,发表论文160余篇,出版专著16部。

现为《北方果树》副主编,《园艺学报》、《中国果树》、《落叶果树》编委;中国园艺学会理事,中国园艺学会苹果分会、樱桃分会、李杏分会常务理事,辽宁省园艺学会常务理事。沈阳山楂国家野外科学观测研究站站长,国家果树种质沈阳山楂圃主任,国家苹果工程技术研究中心工程技术委员会委员,沈阳农业大学北方果树育种与生理生态研究所所长,沈阳市北方果树栽培与生理生态重点实验室主任。

# 桃园土肥水管理技术进展

彭福田

山东农业大学园艺科学与工程学院

**摘要:**科学的土肥水管理是桃丰产优质的基础,世界上大多数发达国家都根据各自的生态条件,建立了科学完善的土壤、养分与水管理技术体系,在土壤管理制度方面,大多数国家的桃园都采用生草制与覆盖制,很少清耕。桃园行间自然生草和人工种草相结合,欧洲一些国家行间生草多选用三叶草和黑麦草等,日本的许多果园普遍种植红三叶、苜蓿,此外还有白三叶、草木樨等,近年来鼠茅草的应用受到重视,该草种春夏生长旺盛,夏末秋初枯萎,能起到自然覆盖、防止其他杂草生长的效果,国内采用毛叶苕子的试验园也取得了良好的效果。养分管理的理念主要采用养分综合管理(IPNM)的技术思路,近年来提出的最佳养分管理策略,逐渐在桃园应用。国外大多采用灌溉施肥技术,根据每3~5年1次的土壤分析和每1~2年1次的叶分析来确定施肥方案。化学肥料限量施用,多数桃园氮肥用量控制在 $100 \sim 150 \text{ N/hm}^2$ 。在桃需水非关键期(果实第一速长期及之后的硬核期)进行调亏灌溉,并结合“部分根区干旱理论”(PRD)进行分区灌溉或交替灌溉实,节水技术体系日趋完善。

## 一、引言

近两年来,桃产业技术体系相关专家对我国桃主产区土壤肥力与管理现状进行了调查,结果表明,我国95%以上的桃园仍采用清耕制,土壤有机质不足与肥料利用率低仍是存在的重要问题。田间 $^{15}\text{N}$ 示踪试验结果表明,氮肥当季吸收利用率仅为20%左右,当季损失率高达40%。不同农户之间的施肥量和施肥时期存在很大差异,施肥过量与不足并存,北方桃主产区山东、河北、北京等地土壤有效磷约30%的桃园超过 $60 \mu\text{g/g}$ 土,属于应该控制磷肥使用的果园。在土壤管理与土壤培肥方面,进行了生草与有机物料覆盖的试验,示范园已初步建立并取得了初步效果。针对我国桃园立地条件复杂,产量变异幅度大,根据叶分析诊断指导施肥难度大的问题,根据土壤养分测试结果与目标产量进行推荐施肥,开始在生产中推广应用。袋控缓释肥在桃树上的示范试验效果良好,可节省成本

20% ~ 30%, 每 666.7 m<sup>2</sup> 节本增效 400 ~ 600 元。在部分桃园推广了以下节水技术: 在树行间挖蓄水沟截留降水; 树盘覆沙(石)技术; 穴储肥水 + 玉米秸秆覆盖; 旱区垄膜保水技术等, 取得了节水提高果实品质的效果。但现有技术需要根据各地土壤气候条件进一步完善, 土壤培肥与省力化施肥技术模式的示范推广工作已逐步展开。

采用科学的土肥水管理技术是桃丰产优质的基础, 土肥水管理的目的是为桃正常生长发育提供一个适宜的土壤环境, 包括物理环境、化学环境与生物环境等, 同时满足生长与结果对养分与水分的需求。近年来, 随着人们产品质量意识、食品安全意识与环境保护意识的日益增强, 研究开发生态可持续型、资源高效利用型及省工型等土肥水管理技术新模式成为国内外专家的工作重点。

## 二、国际桃园土、肥、水管理技术进展

### (一) 土壤管理

在土壤管理制度方面, 大多数国家的桃园都采用生草制, 很少清耕。桃园行间自然生草和人工种草相结合, 欧洲行间生草多选用三叶草和黑麦草等。日本的许多果园普遍种植红三叶、苜蓿, 此外还有白三叶、草木樨、禾本科绿草等。当草生长到 30 cm 左右时留 2 ~ 5 cm 刈割。割草时, 先保留周边 1 m 不割, 给昆虫(天敌)保留一定的生活空间, 等内部草长出后, 再将周边杂草割除, 将割下的草直接覆盖在树盘周围的地面上。果园生草不但可以减少对土壤结构和微生物环境的破坏, 减少水土流失和减少施肥量, 培肥地力, 而且可以促进果实着色, 改善果实品质, 同时可以招引有益昆虫和鸟类, 有利于有机生产。近年来, 采用覆盖制的果园呈现增加的趋势, 行内采用稻草或树皮等有机物料覆盖, 可起到保温、调温、保水、增肥和提高果实品质的作用, 既利用了有机废弃物, 又防止了因焚烧而造成的环境污染。在美国有机果树种植中采用机织的农用纺织品覆盖, 其透气、透水, 能抑制杂草生长, 正在替代非可透塑料覆盖, 并被用于多年生果树栽培中。

在土壤培肥方面, 许多果园, 尤其是进行有机生产的果园, 充分利用发酵肥料和腐熟的农家肥培肥土壤, 满足桃树对养分的需求。常用的有机肥料如堆肥、厩肥、棉籽粉、羽毛、血粉等含有大量的不溶成分, 肥效迟。为确保其足量降解, 使果树适时获得营养, 一般应在早春提前施用。当果树营养不足时, 应用可溶性的有机肥料如鱼乳状液、可溶性的鱼粉或水溶性的血粉等进行叶面喷施。日本琉球大学的比嘉照夫教授经过多年的研究, 从土壤中发现并分离了大量的有益微生物, 开发研制出了系列 EM 产品, 在日本及世界许多国家推广应用。EM 实

际上是一群来源于自然的微生物,包括乳酸菌、酵母菌、光合细菌、放线菌等 10 属 80 种以上的微生物。在日本,常采用 EM 发酵有机肥料,也利用 EM 发酵农家肥和秸秆及所有的生活垃圾等。

## (二) 养分管理

### 1. 桃对养分的需求特性

目前在桃树 N 素营养方面的研究较多,主要包括 N 素的需肥特性,施氮对桃树生长、产量和品质的影响等,而 P、K 及微量元素营养的相关研究很少。Munoz 等施用<sup>15</sup>N 标记的 KNO<sub>3</sub> 肥料研究结果表明,从开花至果实发育阶段,生长所需 N 的 7% 来自肥料,其余来自老器官中储藏的 N。一年内的 N 吸收最大值在营养生长高峰期和果实成熟期。落叶前,50% 的叶片 N 可被转移并储藏在树体的木质部分,在下一个生长季节使用,树体的多年生部位对树体吸收的 N 具有储藏能力(大约 30 kg/hm<sup>2</sup>)。Rufat 等研究表明,在桃树生长的前 30 d 内,所利用的 N 来源于储藏器官,当季树体从储藏器官中释放的 N 能持续到开花后约 75 d。当年树体累积的干物质与氮肥施用量正相关,施氮肥树体的总 N 含量是不施肥的 2 倍。施肥桃园的 N 日利用量大约是 1 kg/hm<sup>2</sup>,而不施肥的桃园仅为 0.5 kg/hm<sup>2</sup>。

有研究认为,通过增加氮肥滴灌施用次数能改善生长,提高桃果产量。N 素施用频率与产量的关系依不同施用方法、品种或者不同的试验地区有不同的结果。研究表明,在中等施氮水平时果实总可溶性固形物、蔗糖、7-癸内酯含量最高,高氮处理的最低;其果实中可滴定酸、柠檬酸和苹果酸含量最高,但果皮颜色最差。果胶成分的分析表明,高量施氮阻碍了果肉中多糖醛酸苷的早期降解,导致了低相对分子质量多糖醛酸苷的累积,这可能引起果肉质变差,影响桃的商品价值。氮肥通过增加根内维管系统的数量来提高桃树根系吸收能力,吸收根的数量和寿命增加,可以延续到生长季节结束。此外,过度施用化肥和真菌杀剂对共生菌根有抑制,影响根系活动。

叶面喷施和土壤施肥混用的方法能在既维持桃树正常生产,又能抑制过度营养生长和降低土壤污染风险三者之间有效地找到平衡。研究表明,叶面施肥能为包括根、茎和果芽等不同器官提供足够数量的 N,但平均果重小于土壤施肥处理。如果 50% 的 N 采用叶面喷施(秋季初),另外 50% 的 N 采用土壤施用(夏季末),则可获得与单纯土壤施肥相同的产量和果重。土壤和叶面施 K 能增加果实酚类物质含量(Hernandez-Fuentes, 2002)。Wooldridge 研究结果表明,在头 4 个挂果季节,桃树的营养生长和产量对土壤 K 和 N 都很敏感,如果产量维持在 35.5 t/hm<sup>2</sup>,则每树每季需钾肥 300 g、氮肥 267 g,超过上述施肥量以后果实产量

和品质不再增加。此外,在桃园中种植有机绿肥能提供桃树在最大 N 需求期的 N 素供应,也是减少土壤污染的有效途径。

桃对 N、P、K 三要素的吸收比例大体为 100:(30~40):(60~160),只有按照树体所需将各种养分供应均衡,树体才能健壮生长,并生产出质量较高的果实。

## 2. 土壤诊断施肥

由于 N 素在土壤空间分布上的差异、桃根系分布的不同以及对土壤 N 素的矿化过程研究不透彻,要想准确得到某一特定土壤的供氮能力非常困难,桃当年的生长结果状况并不完全取决于土壤氮的有效性,树体储藏氮的水平比土壤供氮能力对新生器官的生长更为重要,因此, Jones 指出对多年生的园艺作物来讲进行植株分析诊断比土壤分析诊断更有效。但近年来欧洲部分桃园根据土壤无机氮(硝态氮+铵态氮)的含量进行推荐施肥,取得了一定的成效。生长季末期如果土壤中无机氮的浓度很高,从降低投入保护生态环境等角度考虑,完全有必要降低氮肥施用量。

## 3. 树相诊断

生长季新梢基部叶片呈浅绿色,是树体明显缺氮的征兆,但当树体轻度缺氮时,仅靠辨别叶色很难做出判断,况且许多因素都影响叶绿素的合成。叶绿素直读仪为大田诊断提供了方便, Singha 等对直读仪测定值与叶片叶绿素含量的相关性进行了研究,认为叶绿素直读仪进行叶色诊断时,每株树至少应测定 10 片叶,以降低测定误差。他还指出,在不同果园或同一果园不同年份读数与叶绿素真实含量的相关系数并不相同,但由于该仪器使用非常方便,因此可以指导具体某一果园的 N 素管理。

## 4. 叶分析

叶分析是作为诊断植株是否缺氮的常用手段,各国对桃的叶分析标准值都有研究报道。而在实际应用中,叶分析的最大贡献是提供降低施肥量的依据。叶片的标准值分为五级,即缺乏、低量、适宜、高量、过量。如果叶分析值处在高量或过量范围,就应降低施氮或不施用氮肥。但具体应用过程要复杂得多,首先叶分析标准值在不同地区可能是不同的,其次来自不同果园相同的叶分析结果并不意味着这些果园应采用同一施肥方案。桃树的结果数量、生长势、修剪措施及土壤管理制度都会影响叶分析的结果。在解释叶分析的结果时一定要考虑生长势等因素, Sanchez 认为如果植株生长势强,即使叶分析值低于适宜范围,也不一定要增加施氮量。

## 5. 化肥限量施用

从果实品质与环境保护两个方面考虑,许多国家开始对桃园化学肥料的施用量进行控制,以日本为例,桃园施肥以有机肥为主,大多采用农协生产的有机

堆肥(颗粒肥),施用少量速效性化肥作追肥。每 $0.1\text{ hm}^2$ 桃园分别施氮、磷、钾肥 $10\sim 12\text{ kg}$ 、 $6\sim 7\text{ kg}$ 和 $8\sim 9\text{ kg}$ 。每株树的用量因树龄而异,第1年、第3年、第5年纯氮用量分别为 $0.1\text{ kg}$ 、 $0.2\text{ kg}$ 和 $0.3\text{ kg}$ 。

## 6. 灌溉施肥

按照桃生长各个阶段对养分的需求和土壤、气候等条件,准确地将溶解在灌溉水中的肥料养分施用在根系附近,被根系直接吸收利用。近年来灌溉施肥技术在国际上应用更加广泛,技术在不断升级完善:一是利用多学科综合技术确认时间和空间因素对产量品质的影响;二是利用遥感技术、土壤测量技术,与工业领域进行合作开发新的方法,来评估土壤、水和植株参数;三是改进或创新土壤、水和作物的取样方法和数据分析过程,包括时间、地点的明显变化,以提高灌溉土地上定位管理技术的经济可行性;四是与工业领域合作,创造和生产新的技术和设备,并将这些技术和设备投入生产实践中,实现植株生产全过程的定位管理,最终通过推行精确灌溉技术,改善灌溉作物产品并提高环境质量。

### (三) 水分管理

具有双S生长曲线的桃果实体积大部分是在果实发育的最后 $20\sim 30\text{ d}$ 获得的,果实第一速长期及之后的硬核期,对水分胁迫有较强的忍耐能力,国外部分桃园在桃需水非关键期进行调亏灌溉,取得了节水、不减产甚至增产与提高果实品质的效果。在此基础上,有的桃园还结合“部分根区干旱理论”(PRD)进行分区灌溉或交替灌溉实践,使节水技术体系更加完善。

## 三、国内桃园土、肥、水管理技术进展

### (一) 桃园土壤肥力与管理现状调查

近两年来,通过对我国北方桃主产区土壤肥力与管理现状进行调查发现,我国95%以上的桃园仍采用清耕制,土壤有机质不足与肥料利用率低仍是存在的重要问题。田间 $^{15}\text{N}$ 示踪试验结果表明,氮肥当季吸收利用率仅为20%左右,当季损失率高达40%。不同农户之间的施肥量和施肥时期存在很大差异,施肥过量与不足并存,北方桃主产区山东、河北、北京等地土壤有效磷约30%的桃园超过 $60\text{ }\mu\text{g/g}$ 土,属于应该控制磷肥使用的果园。虽然桃园肥料投入量大,但是通过土壤养分分析测得的N、P、K含量并不是太高,而且含量不足的也占相当一部分:0~20 cm土层中,低于 $20\text{ }\mu\text{g/g}$ 的硝态氮占11.11%,低于 $10\text{ }\mu\text{g/g}$ 的有效磷占55.56%,低于 $100\text{ }\mu\text{g/g}$ 的速效钾占33.33%。20~40 cm土层中,低于 $20\text{ }\mu\text{g/g}$ 的硝态氮占33.33%,低于 $10\text{ }\mu\text{g/g}$ 的有效磷占66.67%,低于 $100\text{ }\mu\text{g/g}$



的速效钾占44.44%。这可能与果园普遍采取清耕制、土壤缓冲、保肥能力低、肥料损失严重有关。

## (二) 桃园土壤培肥技术

自现代桃产业技术体系启动以来,我们总结了国内外果园土壤管理的先进经验,开始进行桃园土壤培肥技术的试验与示范工作,提出了土壤培肥的技术措施:① 幼龄果园采用宽行密植,成龄果园通过修剪、间伐等措施打开行间。② 行间进行自然生草或人工种草。自然生草春季可选留伏地菜、益母草等,夏季可选留牛筋草、虎尾草等,人工种草可选用毛叶苕子、苜蓿等,注意生草前两年每亩增施氮肥12 kg,每年夏季割草2~3次,覆盖到树盘下。③ 行间有机物料覆盖。收集秸秆、锯末、树皮、菇渣等有机废弃物,采用微生物菌种腐解处理15~20 d,于夏季或秋季覆盖到树盘下,覆盖厚度10 cm左右。④ 施用微生物发酵有机肥。收集禽畜粪便与秸秆,按7:3的比例(干重)混匀,接种复合微生物发酵菌种,达到完全腐熟,秋季条沟法施用每亩3方左右。经济条件较好的果园也可直接施用商品生物有机肥。⑤ 矫正土壤障碍因子。如果桃园土壤pH值低于5.0,可使用白云石灰(含镁的石灰),与20~40 cm土壤充分混匀。一般每亩第1年使用150 kg,第2年使用100 kg,第3年使用50 kg,然后间隔一年再进行重复即可。如果果园土壤pH值5.0以上,可以使用硅钙镁土壤调理剂,一般每亩施用100~200 kg。

近两年来,我们采用锯末、锯末颗粒、泥炭颗粒、腐熟树皮、半腐熟树皮和未腐熟树皮等为覆盖材料,研究不同覆盖处理对桃园土壤理化性质和桃幼树生长的影响。结果表明:覆盖处理显著降低了0~25 cm土层的温度,春季较对照低0.08~2.1℃,夏季对照低0.94~2.94℃,各处理土壤温度从高到低依次为:对照>泥炭颗粒>3 cm树皮>锯末颗粒>未腐熟树皮>9 cm树皮>6 cm腐熟树皮>锯末>半腐熟树皮;覆盖增加了0~100 cm土层土壤储水量,增加量为5.3~61.3 mm。各处理土壤储水量从高到低依次为:锯末>6 cm腐熟树皮>3 cm树皮>半腐熟树皮>锯末颗粒>9 cm树皮>泥炭颗粒=未腐熟树皮>对照;各覆盖处理0~20 cm土层中有机质含量略有增加;覆盖处理促进了桃树干径的生长和叶面积的增大,各覆盖处理干茎增加1.0~2.8 cm,其中以半腐熟树皮处理增加幅度最大。平均叶面积增加68.3 cm<sup>2</sup>,其中树皮处理叶面积最大。综合考虑,半腐熟的树皮是几种材料中最适合的覆盖材料,6 cm是合适的覆盖厚度,颗粒状材料优于粉末状材料。

### (三) 桃园高效施肥技术

由于我国桃园立地条件复杂,产量变异幅度大,根据叶分析诊断指导施肥难度大,近年来,国内开始根据土壤养分测试结果与目标产量进行推荐施肥,取得了初步成效。如果土壤碱解氮高于  $90 \mu\text{g/g}$  土,化肥施用量按每  $100 \text{ kg}$  果实施纯氮  $0.6 \text{ kg}$ ,土壤碱解氮为  $70 \sim 90 \mu\text{g/g}$  土,每  $100 \text{ kg}$  果实施纯氮  $0.7 \text{ kg}$ ,土壤碱解氮为  $50 \sim 70 \mu\text{g/g}$  土,每  $100 \text{ kg}$  果实施纯氮  $0.8 \text{ kg}$ ,磷肥与钾肥的施用量一般按  $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O} = 2:1:2$  的比例,当土壤速效磷超过  $60 \mu\text{g/g}$ 、有效钾超过  $300 \mu\text{g/g}$  时应适当降低磷肥与钾肥的比例。在总量控制的基础上,进行分期调控,秋季与春季以施用氮肥、磷肥为主,夏季(果实迅速膨大前)以施用钾肥为主。

在我国,大面积推广灌溉施肥技术需要较长的过程,但近两年我们采用施肥枪等简易水肥一体化技术可以使氮肥利用率提高 5 个百分点,并能显著提高产量与品质。

近年来控释掺混肥、袋控缓释肥开始在桃园应用,实践表明,在现有果园土壤条件下利用控/缓释肥,在产量不降低的情况下可降低 30% 的化肥施用量,节约施肥用工成本 25%,每  $666.7 \text{ m}^2$  节本增效  $400 \sim 600$  元。

### (四) 节水栽培技术

甘肃、陕西等桃产区,因降水少、地表蒸发量大,采用黑色地膜覆盖保水,避免杂草生长,同时通过在树行间挖蓄水沟的方式做到了最大限度地截留降水,起到了蓄水保墒的作用;应用覆沙(石)技术或穴储肥水+玉米秸秆覆盖的土壤管理制度也起到了节水保水的效果。在北京平谷采用小沟交替灌溉技术取得了节水提高果实品质的效果。



**彭福田** 1969年8月生,教授,博士生导师,园艺科学与工程学院副院长,国家现代桃产业技术体系土壤肥料与水分岗位科学家,中国园艺学会桃分会常务理事,山东省农作物品种审定委员会果树专业组副主任。

研究方向为果树栽培生理生态与技术,重点集中在果树营养生理与施肥技术方面。近年来主持的科研项目主要有:国家自然科学基金项目“细胞分裂素对苹果根际硝态氮信号的转导研究”;国家“十一

五”科技支撑重点项目课题“果树、蔬菜高效施肥技术模式研究”;山东省优秀中青年科学家奖励基金“袋控缓释肥养分释放规律与应用技术研究”;山东省自然科学基金“离子型谷氨酸受体对苹果钙素吸收分配的影响”等。带领的果树栽培生理生态与技术研究团队获山东省高校优秀科研创新团队计划支持。先后编写著作与教材12部,获山东省科技进步奖3项,获发明专利1项、实用新型专利1项,在国内外学术期刊发表论文100多篇。

# Apple Gene Function and Gene Family DataBase: An Integrated Bioinformatics Database for Apple Research

**Shizhong Zhang et al.**

National Research Center for Apple Engineering and Technology,  
College of Horticulture Science and Technology,  
Shandong Agricultural University, China

**Abstract:** The apple (*Malus domestica*) is one of the most economically important fruit crops in the world, due its importance to human nutrition and health. To analyze the function and evolution of different apple genes, we developed AppleGFDB (apple gene function and gene family database) for collecting, storing, arranging, and integrating functional genomics information of the apple. The AppleGFDB provides several layers of information about the apple genes, including nucleotide and protein sequences, chromosomal locations, gene structures, and any publications related to these annotations. To further analyze the functional genomics data of apple genes, the AppleGFDB was designed to enable users to easily retrieve information through a suite of interfaces, including gene ontology (GO), protein domain and InterPro. In addition, the database provides tools for analyzing the expression profiles and microRNAs of the apple. Moreover, all of the analyzed and collected data can be downloaded from the database. The database can also be accessed using a convenient web server that supports a full-text search, a BLAST (basic local alignment search tool) sequence search, and database browsing. Furthermore, to facilitate cooperation among apple researchers, AppleGFDB is presented in a user-interactive platform, which provides users with the opportunity to modify apple gene annotations and submit publication information for related genes. AppleGFDB is available at <http://www.applegene.org> or <http://gfdb.sdau.edu.cn/>.

**Key words:** *Malus domestica* genome; AppleGFDB; database

## 1 Introduction

The apple (*Malus domestica*) is one of the major cultivated woody plant species and is cultivated by people around the world for its fruit and ornamental value. This species is also a model plant in the Rosaceae family, which contains many important fruit tree crops, such as the pear (*Pyrus communis*), the peach (*Prunus persica*) and the cherry (*Prunus avium* and *Prunus cerasus*). Because of its high value in the agricultural and food industry, the apple has received lots of research attention, both for improving fruit yields and as a fruit tree model for basic biological studies. With the recent completion of the domesticated apple (*Malus x domestica* Borkh) genome sequence (Velasco et al., 2010), the need for an integrated and comprehensive database of apple genomic information has become critical.

Databases for tree research has been built in recent years (Wegrzyn et al., 2012; Lippert et al., 2009). Several databases for apple genome analysis have been established and made publicly available, such as the Genome Database for Rosaceae (GDR) and Plaza (Jung et al., 2008; Proost et al., 2009). These databases contain a variety of information, including nucleotide or protein sequences and expressed sequence tags (ESTs), and certain tools, such as basic local alignment search tool (BLAST) searching and genome browsers. However, while these databases provide a small amount of annotation information for the apple genes, they lack the comprehensive knowledge of the gene family, gene expression data, and information about small RNAs for the apple genome. For example, none of these databases organized the small RNA genes into a single gene family or indicated the putative function of these genes. Furthermore, these databases lack user-friendly interfaces that can provide the user with the ability to improve and correct their own information. Most importantly, none of the databases was designed specifically for functional genomics of the apple, and therefore they did not further analyze the collected information for the apple genes and provide users with data processed by bioinformatics tools.

To fill the database gap, we developed AppleGFDB, which not only provides sequence information but also gives access to other important apple genetic and functional information by classifying and annotating the apple genes. In addition, we used homology-based gene prediction and annotation tools and gene information from well-annotated species to annotate the putative apple genes, and based on these

annotations, we were able to classify and annotate the apple genes and use many bioinformatics tools to analyze them. The annotations in AppleGFDB contain the basic information, such as nucleotide and protein sequences and the chromosome location of each gene; furthermore, the database also includes gene structure information, orthologous genes from *Arabidopsis*, protein domains, the expression profile of each gene, and provides information on the small RNAs found in the apple. By comparing the apple homologous genes to those of other species, the AppleGFDB database also contains data processed by many tools, such as the conserved domain database (CDD) (Marchler-Bauer et al., 2011), InterPro (Jones et al., 2011; McDowall and Hunter, 2011) and gene ontology (GO) (Barrell et al., 2009). Moreover, our database provides a user-friendly platform that includes search tools based on BLAST and key words, as well as a batch sequence download tool. Because the research being reported for apple genes is rapidly accumulating more information (Botton et al., 2011; Foster et al., 2006; Janssen et al., 2008; Kanehira et al., 2010; Lee et al., 2007; Newcomb et al., 2006; Schaffer et al., 2007), we developed a user interactive platform to allow the user to modify the apple gene information in our database. This fully open approach can be used to create a comprehensive and integrated functional genomics database of apple genes.

## 2 Construction and content

### 2.1 Data source

The apple genome sequences and peptides sequences were downloaded from the GDR Apple Genome V. 1. 0 ([http://www.rosaceae.org/projects/apple\\_genome](http://www.rosaceae.org/projects/apple_genome)). To acquire the apple genomic information comprehensively, the apple assembly data was obtained from IASMA (Istituto agrario di san michele all' adige, <http://genomics.research.iasma.it>). Apple microarray and microRNA data were generated from the National Center for Biotechnology Information (NCBI) Gene Expression Omnibus (GEO) (Barrett et al., 2011) and via European Bioinformatics Institute (EBI) ArrayExpress (Parkinson et al., 2009). Furthermore, we employed various databases to analyze the protein domains of apple genes, including simple modular architecture research tool (SMART) (Letunic et al., 2009), PFAM (Finn et al., 2010) and CDD (Marchler-Bauer et al., 2011).

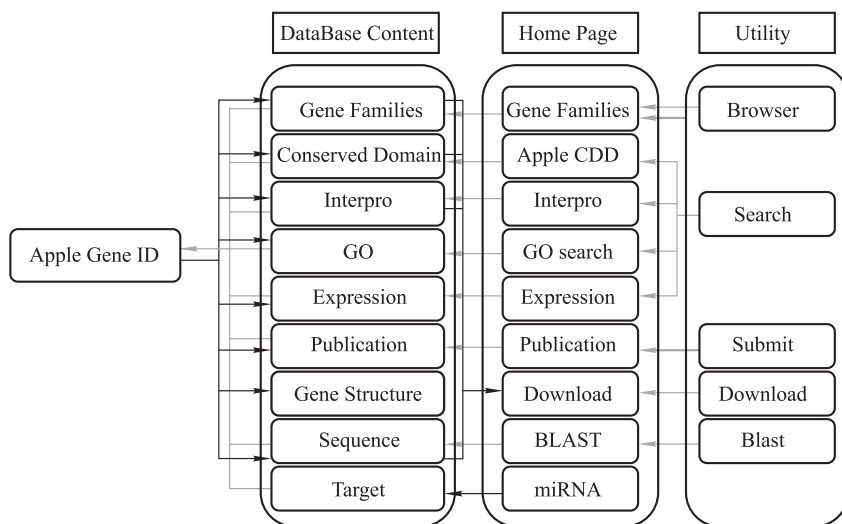
Due to the shortage of experimental evidence pertaining to the function of apple

genes, the functions of genes from extensively studied plants were used as a reference for annotating putative apple genes. Therefore, we compared the apple genes with those of *Arabidopsis*, and we also occasionally consulted the gene annotation information from *populus* because this plant is also a woody plant species. Our classification of apple genes was conducted based on homologous comparisons to *Arabidopsis* and *populus* genes. GO terms and InterPro results were acquired from the best orthologous *Arabidopsis* genes and given equal weight. The information from *Arabidopsis*, such as sequence information, GO terms, and gene family classification, were derived from the Arabidopsis Information Resource (TAIR) (Rhee et al., 2003) 10 and the Plant Transcription Factor database (PlnTFDB) (Perez-Rodriguez et al., 2010). The sequences of *populus* genes acquired from the Protein Data Bank (PDB) were also attached to their apple homologs in our database.

## 2.2 Database overview

Data mining of the genome-wide sequence of the apple indicated that a total of 15326 genes were identified from the apple genome, and these genes were classified into 159 gene families. Among these genes, 3039 transcription factor genes were identified and were classified into 57 families. Family predictions were based on homology analysis with the genes of two plants, namely, *Arabidopsis* and *populus*. To enable the user to access the information for these genes in a more convenient and comprehensive manner, the database was designed to provide several interfaces to analyze these data, including protein domain, gene structure, expression, microRNA, InterPro, and GO. The user can access these main components by BLAST, browser or by following links to these interfaces. The architecture of the AppleGFDB is illustrated in Fig. 1.

The screen displays the menu and toolbar which provide access to all functions of AppleGFDB. The user interface is divided into three main parts: the DataBase Content, the Home Page and the Utility. The main part is further divided into different tracks, which allows users to quickly browse through AppleGFDB. The Utility part contains Browser, Search, Submit, Download and Blast, allowing users quickly browse the gene families and change information with AppleGFDB.



**Fig. 1 The architecture of the AppleGFDB**

### 2.3 The description of apple genes and proteins

The apple genes that have been the subject of many research studies have already been well-annotated. For the majority of apple genes that have not been studied yet, the annotation of the most similar *Arabidopsis* genes in TAIR (Rhee et al., 2003), and *populus* genes in PDB were used as references for annotation.

#### 1) Gene family

A gene family is a group of genes that share important characteristics. Classifying individual genes into families helps researchers describe how genes are related to each other. Researchers can use gene families to predict the function of newly identified genes based on their similarity to known genes. Similarities among genes in a family can also be used to predict where and when a specific gene is active (expressed). This part collected the gene families based on alignment to *Arabidopsis* genome. The *Arabidopsis* classification collection criterion was considered. Most genes in the same gene family have the similar protein structure and same functional domains. For these genes, we used MUSCLE (Edgar, 2004) to generate a multiple sequence alignment for each *Arabidopsis* gene family. The multiple sequence alignment was then input into SAM 3.5 to build a hidden Markov model (HMM) for each family. Every gene sequence was aligned with each of these HMMs, and output an e-value. The lower the e-value is, the better fitness between the gene family sequence and a hidden Markov



model. Thus, the gene was assigned into the family whose HMM produces the lowest e-value.

## 2) Apple protein domain

The protein domain structures with functional motifs are greatly helpful for the users to rapidly determine the function of a protein. As CDD is a collection of many important protein databases, including PFAM, SMART, COG, TIGRFAM, and the NCBI Protein Clusters, the information on protein domains from CDD would be comprehensive. Therefore, we selected the NCBI CDD (Marchler-Bauer et al., 2011) tool and its batch-CD search tool to analyze the domains of each protein encoded by an apple gene and subsequently examined the validity of the output data by PFAM and SMART. In the end, the analyzed data were organized to generate an apple protein domain database. By entering the given protein domain name into the search interface, the user can gain access to all of the apple genes with that domain. As a convenience for the user, the protein structure with its domains is visualized as a concise and illustrative map showing the information page for each apple gene. Furthermore, apple CDD can be further used to examine gene family classification. We checked whether the genes classified into each family had the typical domain of the gene family. Consequently, an apple gene had the domains that are typical of the family it was classified in. The results also demonstrated that our gene family classification was reasonable.

## 3) Gene ontology

Because of the lack of studies on the functions of apple genes, it was necessary to consult known genes based on sequence similarities. Thus, we drew support from a tool that could provide detailed annotation information about these genes in a model plant. Gene Ontology has been used to provide structured, functional annotation and classifications of several plants, and we selected this tool to predict the unknown function of the apple genes. Each apple gene was matched to its best homologous gene in *Arabidopsis*, and the GO terms from the *Arabidopsis* gene was subsequently used for the annotation of the apple gene. The apple GO terms were attached in the information page of each apple gene. Moreover, by entering the GO name or code into the gene ontology interface, the user can obtain all of the genes with the same ontology.

## 4) InterPro

Information on the well-studied plants, such as *Arabidopsis*, provided us with an opportunity to investigate apple proteins using many databases. Among these

databases, InterPro is useful database of protein families, domains and functional sites in which identifiable features found in a known protein can be applied to novel protein sequences in order to functionally characterize them. For the apple proteins, most were uncharacterized at the functional level, and InterPro was useful for predicting the role of these apple proteins. The InterPro classification system also provided another criterion for the analysis of gene function and annotation. The InterPro annotation, downloaded from Computational Biology Web Resources (<http://genomics.research.iasma.it/>), was also included in the AppleGFDB. The InterPro data for each is shown in the annotation of each gene, and the user can reach each gene from the InterPro interface.

### 5) Expression profiles

Recently, molecular biological experiments on the apple that use high-throughput hybridization arrays and sequencing-based techniques have become popular. In order to provide the user with a convenient way for examining information about the expression of apple genes, we collected all of the available microarray information from public repositories, including NCBI GEO (Barrett et al., 2011) and EBI ArrayExpress (Parkinson et al., 2009). The user can examine the expression profiles of the genes in each experiment, which guarantees that the user can gain access to data generated from experiments they are interested in without interruption of other experiments. To ensure a clear presentation of the data, the expression of each gene in this process is visualized as a bar graph for each experiment. To date, we have updated 24 microarrays conducted during apple ripening and another for raw apples. In addition, the analyzed array data will be updated in the future to include a variety of experimental conditions, including determining expression during fruit abscission, determining the expression of ethylene-related genes in apples by querying the expression profile of apple genes in apples subjected to treatment with ABA (abscisic acid) and determining the expression differences in ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid) oxidase antisense fruit. In addition, the expression profile of apple flower infection by fungi, and the scion response to various rootstocks will provide the user with an opportunity to investigate the immune system of the apple tree.

In addition to the query interfaces and tools directly related to the access of expression data, the user could also determine the expression profile of each gene in the annotation for each gene. To ensure uniformity of the analyzed results for cross-experimental comparisons and comprehensive analysis, we determined the unique

expression pattern of each gene in all processes. Most biological processes mentioned above were investigated by one independent experiment and one type of microarray. However, of the processes researched by these microarrays archived in our database, the maturation of apple fruit was investigated repeatedly by several independent experiments using various arrays, including oligonucleotide arrays and cDNA microarrays. To provide the user with a more convenient way to view apple maturation data comprehensively, we compared these experiments and chose one experiment as the standard gene expression profile for each apple gene.

Our databases will offer a flexible and open design that facilitates submission, storage and retrieval of data sets from genomic hybridization and expression experiments. User can submit their raw data in the form of an apple expression profile in our database, and we would subsequently process these data in the standardized format.

## 2.4 The description of apple microRNAs

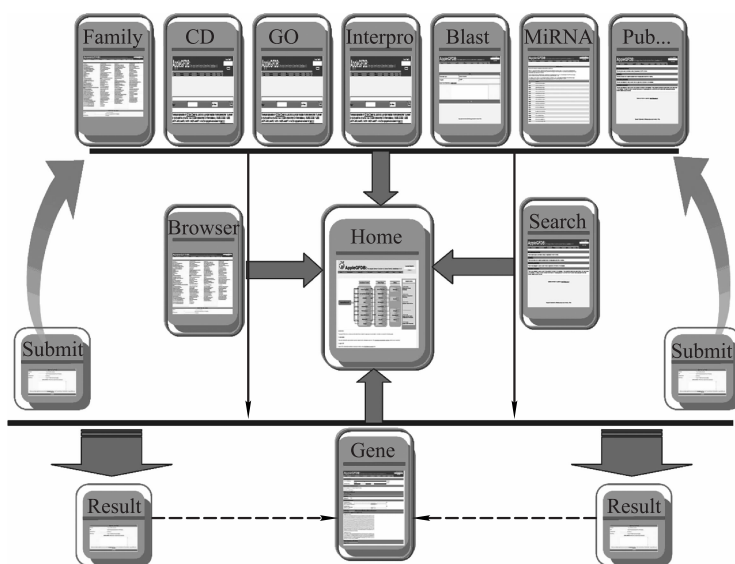
MicroRNAs ( miRNA ) are important regulators of post-transcriptional and translational gene expression. A total of 165 apple miRNAs were collected from the publication and the miRNA database and divided into 56 families in AppleGADB. This database provides information on genomic location, target gene, sequence of pre-miRNA and mature miRNA, the structure of the Pre-miRNA and so on.

The prediction of conserved miRNAs was conducted by miRPI software( Vignesh et al. ,2011) . It identifies the highly conserved mature miRNA sequences without any mismatches against the apple genomic sequences and, in addition, the pre-miRNA sequences was extracted for calculating of GC contents, MFE and MFEI, in order to evaluate the hairpin sequences. Sequence alignment was performed by clustalw software( <http://www.ebi.ac.uk/Tools/msa/clustalw2/> ), and the second structural alignment was conducted by R-coffee software( Moretti et al. ,2008) . miRNAs were clustered using Blastclust software with-S setting as 0.95. Targets were predicted by psRNATarget web server using predicted consensus gene set CDS sequences of apple genome v1.0 as target datasets ( <http://plantgrn.noble.org/psRNATarget/> ). Sequences of targets were retrieved from apple CDS database, then send to mapping in GO, KOG and KEGG databases using blast2go software( Conesa et al. ,2005) . KEGG pathway enrichment analysis was conducted by KAAS server( <http://www.genome.jp/tools/kaas/> ). miRNA-target network constructed by Cytoscape 2.7.0( Shannon et

al., 2003).

## 2.5 Utility and discussion

As shown in Fig. 2, the flowchart shows that the user can reach the interfaces (such as Gene Families, CD, GO, Interpro, Blast, MiRNA, and Publication) from the homepage (Fig. 1). These interfaces provide access to browser and search and the user can find the desired results or genes. All of these interfaces can easily alternate. Furthermore, the user can modify apple gene annotations and submit publication information for related genes.



**Fig. 2 Relational framework of interfaces of AppleGFDB**

The user can reach the interfaces (such as Gene Families, CD, GO, Interpro, Blast, MiRNA, and Publication) from the homepage. These interfaces provide access to browser and search and users can find the desired results or genes. All of these interfaces can easily alternate. Furthermore, the user can modify apple gene annotations and submit publication information for related genes.

## 2.6 Nucleotide and protein information

This component contains the complete annotations for each gene, including their gene locus, gene name, protein ID, protein name, family name and description, nucleotide sequence, amino-acid sequence, homology-domain prediction, and

homologous templates from *Arabidopsis* and *populus*. This component can be reached by inputting a sequence ID in the locus search field. We noticed the trend of unifying annotations of apple genes. Therefore, the sequence name is the standard gene name used by NCBI, and the annotation of different ESTs, indicating the same genes were put together. In addition, we also displayed the gene annotations analyzed from many databases, including InterPro, Gene Ontology, and CCD. The expression profile of the gene in the fruit maturing process, and the gene structures are visualized in the annotation. Fig. 3 shows the web page about the gene information (MDP0000144307). This component is directly available by entering the locus of the apple gene.

AppleGFDB supports gene view about chromosomal location, gene structure, description about gene family, best ontology in *Arabidopsis*, conserved domains, sequence and expressional information. For example, user can view the gene (MDP0000144307) and find its best ontology in *Arabidopsis* (AT3G18010.1). Then user can get the information about the gene family, gene function and its expressional information in apple tree. For improving AppleGFDB, user can submit publications to edit the database.

## 2.7 Family information

This component contains the complete annotations for each gene family, including family name and description, the sequence in the family, consensus sequence from *Arabidopsis*, conserved domains, the signature profile, and a multiple sequence alignment of the protein sequences in the family. This component can be directly reached from the browsing web page of the “Family”. A user can browse AppleGFDB from this perspective. The 159 gene families are listed in the database. After entering in each family, users can view all apple genes in a given family. By clicking the gene name, users can view the complete annotations for a gene, including nucleotide or protein sequence, gene structure, orthologues in *Arabidopsis*, gene ontology, InterPro, expression profile, and related publications.

## 2.8 The tools search for apple information

This component is applied in these tools, including CCD, InterPro, GO, and expression. The search link allows users to search the entire apple database by a specific ID or key words. For analyzing CCD, the user can search by entering a



genes can be queried by their ID from the GDR apple genome database. Users can also search AppleGFDB by the gene IDs used in the GDR apple genome database to get all of the information analyzed by these tools.

## **2.9 BLAST sequence search**

This tool provides users with a sequence search tool to research a query nucleotide or protein sequence against all sequences stored in AppleGFDB. The user can submit a query sequence and change the BLAST parameters. After performing the BLAST search, the significant matches are ranked based on the e-value generated from each gene. In this tool, the user can also provide a text query (FASTA format) to search information in the database. After submitting the query text, the hit genes would appear ranked by sequence alignment.

## **2.10 Download**

All of the information in the AppleGFDB is available for users to download. Users can download all of the nucleotide or protein sequences in the FASTA format. This availability makes it possible for users to get the sequences of target genes or proteins when they get information from the database.

## **2.11 The interactive platform in AppleGFDB**

With the rapid increase in apple research, it is difficult for one group to collect all of the apple data. In order to make our data more user-friendly, we developed a user interactive platform to enable everyone to edit the database, which will lead to its improvement. Our publication submission tool was designed for a user to submit their publication information to this database. We will check the submitted publications, and only if these are related to apple research, will the paper be attached to the corresponding section of the database. For gene annotation, our gene family submission tool can help the user to submit their gene information to this database. The reasonable annotation will become a part of this database. The tools will facilitate the annotation of apple genes and strengthen the relationship among apple research labs.

## **2.12 Conclusions and perspectives**

To our knowledge, no other work similar to the work described in this paper has been carried out on the construction of an apple gene analysis database offering a

broad annotation of the apple genome, as well as a user-friendly and interactive platform. The comprehensive annotation of the apple gene and genome provides powerful prediction information for functional genomics, and the classification of the apple gene families could help in studying the evolution of the apple and plant gene families. More importantly, this database provides user interactive utilities that can optimize the usefulness of this database and strengthen the ability to update the database and provide accurate information. In later versions, we will try to integrate more publications and microarray data to the gene annotations and will make it more user-friendly. We advise the apple research community to submit their annotation or publication information to our database to accelerate the functional annotation of the apple genome.

**Availability and requirements:** The AppleGFDB database is freely available for academic use and is available at the following URL: <http://gfdb.sdau.edu.cn/>. Based on our initially testing of the database, AppleGFDB is completely functional with three web browsers: Internet Explorer, Mozilla Firefox, and Safari.

**Acknowledgments:** This work was funded by the National Research Center for Apple Engineering and Technology of China and the “Five-second” National Science and Technology Support Program(2011BAD11B01).

## References

- Barrell D, Dimmer E, Huntley R P, et al. 2009. The GOA database in 2009—an integrated gene ontology annotation resource. *Nucleic Acids Res*, (37): D396 – 403.
- Barrett T, Troup D B, Wilhite S E, et al. 2011. NCBI GEO: archive for functional genomics data sets—10 years on. *Nucleic Acids Res*, (39): D1005 – 1010.
- Botton A, Eccher G, Forcato C, et al. 2011. Signaling pathways mediating the induction of apple fruitlet abscission. *Plant Physiol*, 155: 185 – 208.
- Edgar R C. 2004. MUSCLE: a multiple sequence alignment method with reduced time and space complexity. *BMC Bioinformatics*, (5): 113
- Finn R D, Mistry J, Tate J, et al. 2010. The PFAM protein families database. *Nucleic Acids Res*, (38): D211 – 222.
- Foster T, Kirk C, Jones W T, et al. 2006. Characterisation of the DELLA subfamily in apple (*Malus x domestica* Borkh.). *Tree Genetics & Genomes*, (3): 187



- 197.

Janssen B J, Thodey K, Schaffer R J, et al. 2008. Global gene expression analysis of apple fruit development from the floral bud to ripe fruit. *BMC Plant Biol*, (8) :16.

Jones P, Binns D, McMenamin C, et al. 2011. The InterPro BioMart: federated query and web service access to the InterPro Resource. *Database (Oxford)* :bar033.

Jung S, Staton M, Lee T, et al. 2008. GDR ( Genome Database for Rosaceae ) : integrated web-database for Rosaceae genomics and genetics data. *Nucleic Acids Res*, (36) :D1034 - 1040.

Kanehira A, Yamada K, Iwaya T, et al. 2010. Apple phloem cells contain some mRNAs transported over long distances. *Tree Genetics & Genomes*, (5) :635 - 642.

Wegrzyn J L, Main D, Figueroa B, et al. 2012. Uniform standards for genome databases in forest and fruit trees. *Tree Genetics & Genomes*, (8) :549 - 557.

Lee Y P, Yu G H, Seo Y S, et al. 2007. Microarray analysis of apple gene expression engaged in early fruit development. *Plant Cell Rep*, (26) :917 - 926.

Letunic I, Doerks T, Bork P. 2009. SMART 6: recent updates and new developments. *Nucleic Acids Res*, (37) :D229 - 232.

Lippert D, Yuen M, Bohlmann J. 2009. Spruce proteome DB: a resource for conifer proteomics research. *Tree Genetics & Genomes*, (5) :723 - 727.

Marchler-Bauer A, Lu S, Anderson J B, et al. 2011. CDD: a Conserved Domain Database for the functional annotation of proteins. *Nucleic Acids Res*, (39) :D225 - 229.

McDowall J, Hunter S. 2011. InterPro protein classification. *Methods Mol Biol*, 694 :37 - 47.

Moretti S, Wilm A, Higgins D G, et al. 2008. R - Coffee: a web server for accurately aligning noncoding RNA sequences. *Nucleic Acids Res*, (36) :W10 - 13.

Newcomb R D, Crowhurst R N, Gleave A P, et al. 2006. Analyses of expressed sequence tags from apple. *Plant Physiol*, 141 :147 - 166.

Parkinson H, Kapushesky M, Kolesnikov N, et al. 2009. ArrayExpress update-from an archive of functional genomics experiments to the atlas of gene expression. *Nucleic Acids Res*, (37) :D868 - 872.

Perez-Rodriguez P, Riano-Pachon D M, Correa L G, et al. 2010. PlnTFDB: updated content and new features of the plant transcription factor database. *Nucleic Acids Res*, (38) :D822 - 827.

Proost S, Van Bel M, Sterck L, et al. 2009. PLAZA: a comparative genomics

resource to study gene and genome evolution in plants. *Plant Cell*, (21): 3718 – 3731.

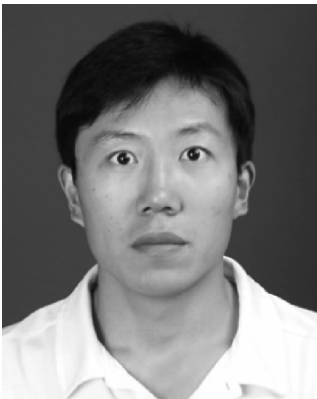
Rhee S Y, Beavis W, Berardini T Z, et al. 2003. The Arabidopsis Information Resource (TAIR): a model organism database providing a centralized, curated gateway to Arabidopsis biology, research materials and community. *Nucleic Acids Res*, (31): 224 – 228.

Schaffer R J, Friel E N, Souleyre E J, et al. 2007. A genomics approach reveals that aroma production in apple is controlled by ethylene predominantly at the final step in each biosynthetic pathway. *Plant Physiol*, 144: 1899 – 1912.

Shannon P, Markiel A, Ozier O, et al. 2003. Cytoscape: a software environment for integrated models of biomolecular interaction networks. *Genome Res*, (13): 2498 – 2504.

Velasco R, Zharkikh A, Affourtit J, et al. 2010. The genome of the domesticated apple (*Malus x domestica* Borkh. ). *Nat Genet*, (42): 833 – 839.

Vignesh D, Parameswari P, Im S, et al. 2011. MiRPI: Portable software to identify conserved miRNAs, targets and to calculate precursor statistics. *Genomics & Informatics*, (9): 39 – 43.



**张世忠** 1984年生,山东济南人,博士。2006年6月,本科毕业于山东农业大学生命科学学院;2006年9月至2009年6月,山东农业大学生命科学学院攻读硕士研究生;2010年9月至今,在山东农业大学园艺科学与工程学院攻读博士。主要研究方向是苹果根系发生调控的生产应用;苹果两类新生根功能差异及发生机理;苹果功能基因组学数据库构建及基因功能注释;苹果 ARF 转录因子功能研究。

# 果树根系对地上部的调控及其与水分利用效率的关系

杨洪强 等

山东农业大学园艺系

**摘要:**本文就果树根系对地上部的调控、根源信使的确认及其对水分利用效率(WUE)的调节等方面进行了评述,并在此基础上提出了调整根系在上下层土壤中的分配比例、改善根冠平衡、实施隔行交替灌溉等提高果树 WUE 的技术设想。

**关键词:**根信号;水分利用效率;果树;根系

## 一、引言

有关植物水分利用效率(WUE)的研究多数集中在地上部。但近年来根冠信息传递研究表明,根系不仅是重要的吸收器官,也是重要的感受器官,可以感知土壤干旱,通过某些信号物质调节地上部的生长发育,在水分供应有限的情况下优化光合与蒸腾的关系,合理分配光合产物,从而提高植物本身的 WUE (Davies, Zhang, 1991; 梁建生, 张建华, 1998)。WUE 的基本含义是指植物消耗单位水量生产出的同化物质的量,包括区域水平衡、农田水再分配和植物本身用水等方面。随着灌溉水利用系数接近 0.9,人们发现从改善区域水平衡和农田水再分配角度进一步提高 WUE 的潜力似乎很有限,目前已把注意力转向研究植物本身的 WUE 特性及改善途径。这方面未知数很多,潜力也很大(接玉玲,束怀瑞,1999;上官周平,邵明安,1999)。植物本身的 WUE 主要指植物个体和单叶或细胞水平上的 WUE。单叶水平上的 WUE 与节水农业的生物学基础关系最直接,反映了植物叶片气体代谢功能及植物生长与水分利用之间的数量关系,以净光合速率与蒸腾速率之比( $P_n/Tr$ )表示(上官周平,邵明安,1999;张正斌,山仑,1997)。本文主要根据近年来的研究成果,从根冠信息传递角度对果树 WUE 做评述。

## 二、根系对地上部的调控

据报道,柑橘长期处于水分胁迫的环境中,即使叶片受到干旱伤害也不会脱落,而一旦复水解除干旱,叶片即纷纷落下(Gomez-Cadena et al., 1996)。我们在大田和盆栽苹果树上也观察到,长期受干旱的果树很少落叶,但久旱遇雨或灌水后,第二天就会发现大量落叶。近来研究表明,根系控制了久旱遇雨或灌水后的叶片脱落。Gomez-Cadena 等(1996)报道,水分胁迫下柑橘根系合成了大量 ABA,其诱导乙烯前体 ACC 的大量积累,遇雨或灌水后,ACC 沿木质部随蒸腾流运到叶片,在叶片中氧化成乙烯,使橘叶落下。

气孔开放和叶片生长需要一定的叶水势来维持,如果叶水势下降,气孔开度就会减小,但是在在大田或土壤缓慢干旱条件下,常常发现地上部叶水势还未下降,气孔已逐渐关闭,叶片生长速率也逐渐下降。土壤干旱时通过根系加压可维持叶片原来的水势,气孔导度和叶片生长仍然受到抑制。对苹果和樱桃进行分根干旱处理(同一株树一部分根系施以干旱,另一部分充分供水)以维持地上部叶片水势不变,依然得到了类似结果。如果将受干旱的根系切除,则叶片生长恢复正常(梁建生,张建华,1998)。这意味着根系受到干旱胁迫时能够合成某些物质,并通过木质部蒸腾流将其输送到地上部,从而调节叶片的生理变化。

研究证明,根系利用这些信号物质(根源信使)调控地上部的变化。根据胁迫下信号物质含量的增加或减少,可分为正的信号物质和负的信号物质。ABA 和乙烯为正的信号物质,胁迫条件下根系 ABA 大量增加并能运到地上部促进气孔关闭。乙酰胆碱为负的信号物质,它是动物的神经递质,在植物中也广泛存在,同样能够以“神经递质”的身份出现在丝瓜卷须受刺激而发出的电化学波中,近日证实,它参与调节气孔的运动。气孔开放需要根系输送的生理活性物质,断根后气孔导度减小,蒸腾下降,但如果去根后加入乙酰胆碱,则气孔孔径增大并恢复到断根前的水平。有测定表明,蚕豆叶片下表皮(气孔密布处)乙酰胆碱含量变化和蒸腾作用密切相关。进一步研究证实,蚕豆根能够合成乙酰胆碱,半根渗透胁迫时(可保持叶片水势不变),经木质部运输的乙酰胆碱减少,叶片下表皮乙酰胆碱含量也明显下降,气孔导度减小,这足以证明乙酰胆碱可以作为根源负信号物质调控气孔运动(张正斌,山仑,1997;Gomez-Cadena et al., 1996)。细胞分裂素(CTK)也被认为是一种根源负信号物质,它能够在根系合成,并且能够通过木质部运到叶片诱导气孔开放,但在胁迫条件下根系 CTK 合成受到抑制,含量下降,运到地上部的量减少,气孔导度也下降。也有人逆境下 CTK 的作用提出质疑,认为胁迫下其含量的下降对气孔的运动影响并不明确(娄成后,化宝光,2000;张蜀秋,娄成后,2000)。

电化学波、伤素和水力信号等在根源逆境信号传输中也起作用。对植株局部灼伤,可检测到伤口处会释放出伤素并出现变异电波,该电波能以较快的速度沿主脉传递到叶片,随后依靠变异电波释放的伤素以较慢的速度跨叶肉组织送达表皮,促使气孔关闭。将插枝成活的柳条小株导管切断,管内液线从伤口急剧流出,以导管为中心的连续水系统,由近及远依次受到牵动,这样形成所谓的水力信号,其迅速传递甚至使叶片失水变薄,气孔被动拉开后随即关闭(娄成后,化宝光,2000;张蜀秋,娄成后,2000)。木质部汁液 pH 值的升高也能够像 ABA 一样作为一种信号形式,从根部输送到叶片调节气孔开度。据报道,土壤干旱过程中向日葵木质部汁液 pH 值升高,并相继引起叶片质外体 pH 值升高,而质外体 pH 值的升高会快速诱导 ABA 向保卫细胞分布使气孔关闭<sup>[2]</sup>。在番茄和鸭跖草上也发现增大木质部汁液 pH 值能够降低叶片的失水率(Thompson et al.,1997;Wilkinson,Davies,1998)。根源信号物质对地上部有明显的调节作用,胁迫下叶片气孔关闭只是根系灵敏地调控地上部生理变化之一。除此之外,叶片的光合作用、叶片的生长、叶片细胞壁弹性调节和细胞渗透调节能力等,均会受到根源信号的调控(张蜀秋,娄成后,2000;Lyer,Caplan,1998)。

### 三、根源信使的确认

从根部输送到叶片而调节地上部生理变化的物质,是否都是根源信使呢?一般认为,根源信使需要满足下列条件:① 信使强度(浓度)的变化能对根系周围土壤环境变化做出即时响应,并且能定量反应土壤环境的变化;② 信使浓度的变化能在数量和时间上解释由其所引发的地上部生理过程的变化;③ 地上部生理过程的改变只对信使的浓度而不是通量(浓度与蒸腾流速的乘积)响应;④ 地上部叶片具有快速代谢该物质的能力,从而可避免由于信使的积累而影响响应的灵敏度;⑤ 向根或其他器官饲喂外源该信使所引起的生理变化,与根系所受逆境胁迫时引起的生理变化相类似(梁建生,张建华,1998)。

大量研究表明 ABA 符合上述条件。首先,根系受到胁迫时能迅速合成 ABA,其含量几倍甚至几十倍地增加。通过环割切断地上部 ABA 的供应,或者通过分根处理使叶片保持完全膨压状态,胁迫处理照样使根系大量积累 ABA,其浓度仍随着土壤含水量的降低而升高(Davies,Zhang,1991;Liang et al.,1997)。土壤干旱条件下,根系 ABA 合成能力升高的同时,叶片气孔导度和生长速度也下降,而用外源 ABA 处理呈同样效果(梁建生,张建华,1998)。Zhang 等(1989)将玉米种植在 1 m 长的 PVC 管内,缓慢干旱 3 周,土壤纵向层次间形成了水势梯度,这时测定根系 ABA 含量,结果表明,随着水分亏缺向土壤深层发展,根系 ABA 含量逐渐升高,而且受干旱的土壤复水后,ABA 含量迅速恢复至对照水平,

这些均表明根系 ABA 含量能够测量根系周围土壤的水分状况。Ali 等(1989)在大田小麦上亦看到,木质部 ABA 浓度随着土壤水势的下降而升高。根系合成的 ABA 能够通过木质部运到地上部。Liang 等(1997)观察到,木质部 ABA 浓度与根系 ABA 含量间存在近线性关系,表明木质部 ABA 浓度可以定量反应根源 ABA 的变化。木质部 ABA 浓度决定于根系 ABA 的合成能力和木质部蒸腾流速,浓度与蒸腾流速的乘积构成了 ABA 的通量。Gowing 等(1993)给樱桃离体叶柄饲喂 ABA 的研究表明,ABA 浓度和通量对气孔导度都有显著的抑制作用,但气孔导度主要取决于饲喂期间进入叶片的 ABA 绝对量。而 Jackson 等(1995)报道,针叶树气孔导度与木质部 ABA 浓度成指数相关关系,与 ABA 通量或细胞膨压无关。Jia 等(1996)在玉米上的试验也表明,气孔导度受 ABA 浓度调节,而与 ABA 通量无关。叶片具有很强的降解 ABA 的能力,Gowing 等(1993)将  $^3\text{H}$ -ABA 饲喂樱桃叶片,发现代谢喂入量的 50% 所需时间仅为 36.2 min。如此高的代谢活性足以防止 ABA 在作用部位积累,从而维持气孔对木质部 ABA 浓度的灵敏度。Jia 等(1996)在玉米和鸭跖草叶片上的研究结果也证明了这一点。大量研究表明,多种逆境,包括干旱、寒冷、酷热、盐渍、水涝、缺氧、缺素、氨中毒、病原物侵染和寄生植物的寄生等均不同程度地刺激 ABA 的合成,尤其干旱最为显著(Davies, Zhang, 1991; 杨洪强, 1999),因此,尽管调控地上部的根源信号物质很多,但最普遍、研究最多也最令人信服的仍然是 ABA,它完全符合作为信使的条件。

#### 四、根源信使对水分利用效率的调节

WUE 取决于净光合速率( $P_n$ )与蒸腾速率( $T_r$ )的比值,气孔是  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  进出叶片的共同通道,蒸腾和光合作用均受气孔的调节,因此,气孔是控制 WUE 的重要因素。但是当气孔开度增大时, $P_n$  提高, $T_r$  也随着升高,而  $P_n/T_r$  很少有明显变化;反之亦然,WUE 曾被认为是一个难以通过气孔调节来改善的保守指标。但植物光合作用的生理生态机制研究表明,气孔阻力在光合  $\text{CO}_2$  传输中所起的作用不在蒸腾水汽传输中所占的份额那样大,事实上  $\text{CO}_2$  扩散阻力只是水蒸气的 0.64 倍,气孔导度下降对光合的影响小于对蒸腾的影响, $T_r$  对气孔有较强的依赖性,部分气孔关闭有利于叶片 WUE 的提高(黄占斌,山仑,1998),这为 ABA 等气孔型抗蒸腾剂的应用提供了依据。以前人们普遍认为叶片气孔阻力增加是环境胁迫,特别是干旱条件下光合作用的主要限制因素。20 世纪 80 年代后期,随着测试技术的发展及对非气孔因素的研究,人们发现光合的气孔限制是轻微的,光合作用的下降主要归因于非气孔限制。然而,近年来发现多种植物叶片存在气孔不均匀关闭现象,高估了干旱条件下非气孔因素的重要性。曾认为

ABA 会对光合机构的非气孔因素造成损伤,现在发现这也是气孔不均匀关闭导致的假象。因为,ABA 处理叶片的确存在气孔不均匀关闭现象;用气体交换法计算的细胞间隙  $\text{CO}_2$  浓度确实比荧光图像方法测定的值高;去表皮的叶片无论是光合  $\text{CO}_2$  反应还是光合能力都不受 ABA 影响,所以,ABA 并未对光合机构的非气孔因素造成影响,这为 ABA 通过调控气孔行为调节 WUE 提供了进一步的依据(梁建生,张建华,1998;上官周平,邵明安,1999)。增加光合产物向果实的分配比例能够提高生产水平上的 WUE(黄占斌,山仑,1998)。蔗糖是大多数植物光合同化物的运输形式,山梨醇是蔷薇科果树光合同化物的主要运输形式,而 ABA 可促进蔗糖由韧皮部向种皮质外体卸出,增进草莓果实对可溶性糖的吸收,促进山梨醇向苹果果肉积累(杨洪强等,1999)。ABA 还能够抑制新梢生长,促进花芽分化;而且经济系数高的短枝型苹果 ABA 含量高于乔化树(杨洪强,1999),这说明 ABA 能够提高生产水平上的 WUE。CTK 不像 ABA 那样被普遍认可为根源信使,但毕竟根系是合成 CTK 的主要器官,而且根中的 CTK 能够沿木质部运到地上部,并能够促进气孔开放,阻止叶绿素降解,加速光能转换,提高光合酶活性和羧化效率(杨洪强,1999),因此,根源 CTK 有可能通过调节光合速率而调节叶片 WUE。

## 五、根冠信息传递理论对节水实践的指导

### (一) 上下层根系比例与水分利用效率

根系是土壤干旱的最早感知者,干旱信号越强,根系形成的信号物质(如 ABA)越多,气孔阻力就越大。据报道(上官周平,邵明安,1999),具有深根特性且上层根量较少的植物,胁迫下形成的化学信号强度(根源 ABA 浓度)比较小,并且具有深根特性的植物可以吸收较多的水分,使生产潜力得到较好发挥;而具有浅根特性的植物,其分布于上层土壤中的根量比较多,经常处于干旱状态,化学信号的作用比较强(积累的 ABA 过多),气孔导度明显降低,影响了光合作用,限制了植物的生产能力,所以浅根植物过强的化学信号作用不利于高产和 WUE 的提高,增加扎根深度可有效调节根源信使的强度而实现水分不足时的高产高效。

利用实生苗通过嫁接繁殖的果树根系分布比较深,往往上层根系受到了水分胁迫,而下层根还处于良好的水分环境中。受旱的上层根会产生大量 ABA 等化学信号,这些信号沿蒸腾流运抵叶片能诱导气孔关闭(Davies, Zhang, 1991),如果 ABA 浓度高,则绝大部分气孔关闭,不仅蒸腾速率下降,光合速率也大幅度下降,枝叶生长受到抑制,不利于 WUE 的提高。如果受干旱胁迫的上层根系少,根系合成并运输到叶片的 ABA 就少;或者处于良好水分状态的下层根相对多,

吸收的水分稀释上层根产生的 ABA;或者下层根产生的 CTK 多,对 ABA 起拮抗作用,均会使部分气孔关闭,蒸腾受到限制而光合没有大的变化,那么 WUE 就会明显提高。达到上述要求的最好途径就是降低上层根与下层根的比例。

在果树生产中如果采用断根技术,切除部分上层根,降低上层根与下层根的比例,不仅在正常供水条件下,即使在干旱的情况下也会提高 WUE,这对节水栽培有重大意义。

## (二) 根冠平衡与水分利用效率

在干旱半干旱地区农业生产实践中,任何促根方法均被视为抗旱增产措施,但植物光合产物用于根系较多时,分配到冠部的必然减少,WUE 也必然降低,所以植物体内最佳的资源分配对于高产高效非常重要。果树地上部与地下部始终保持着一种动态平衡,并形成特定的根/冠比,而在根冠平衡处于最佳状态,根/冠比最优时,WUE 最高(上官周平,邵明安,1999)。断根和剪枝能有效地改变地上地下的平衡。断根后根系总量减少,合成的 CTK 总量也减少,由于叶片 CTK 主要源于根系,这会使叶片 CTK 浓度下降(杨洪强,1999)。CTK 对气孔开放有诱导作用,CTK 与浓度降低后,这种诱导作用必然下降。加之断根等切伤会促进 ABA 合成(杨洪强等,1999),ABA 是诱导气孔关闭的因素,因此断根后气孔导度下降,蒸腾失水减少。另外,根系是光合产物重要的“库”,断根后虽然“库容”减少,并使  $P_n$  有所下降,但随后由于根系再生需要大量同化物,“库强”增大, $P_n$  很快恢复,并随新根的出现和生长,“库容、库强”不断增大,在“库”的拉动下, $P_n$  进一步提高;再则,新根出现后 CTK 合成能力恢复,叶片 CTK 浓度升高,对  $P_n$  有一定促进作用(杨洪强,1999)。因此,适度断根能够增强光合,降低蒸腾,使 WUE 提高。适度剪枝能够降低蒸腾面积,虽然光合面积也有所下降,但是,由于“库”器官(根系)减少不多,剩余叶片(“源”器官)受“库”的拉力相对增强,会刺激“源”的活性,使  $P_n$  升高;同时,剪枝后新梢再生,而新梢建造需消耗大量光合产物,对“源”的拉力也会加强,使  $P_n$  进一步升高,最终表现为 WUE 升高。另外,新梢能合成大量 IAA,IAA 运抵根系促进根系生长,一方面提高根系“库强”,另一方面 CTK 合成能力加强,叶片 CTK 浓度升高(杨洪强,1999),这两方面都会增强  $P_n$ 、提高 WUE。

## (三) 部分根系与水分利用效率

在一定条件下促进根系生长可抗旱增产,但并非根系越多越好,同样,也不是所有根系都要处于最佳条件下才能生长良好。事实上,只要部分根系处于最优化的环境中,植物就能正常发育,就能获得优质高产。果树生产中应用的“穴



“储肥水”技术,就是通过优化部分根系的生存环境而达到抗旱增产目的的(杨洪强等,1994)。自然条件下并不是所有根系都在高效运转。从水分吸收的角度看,在土壤水分状态优越,部分根系吸收的水已能满足正常需要时,如果全部根系都在大量吸水,势必增大对地上部的供水强度和供水量,提高叶片蒸腾强度,使水分大量散失。生产中人们早就发现,轻度干旱不会影响植物正常生长发育,因为尽管处于上层的根系受到了干旱胁迫,但下层根的水分吸收并未受到影响。上官周平和邵明安(1999)认为,不论根系的生长习性如何,只要少量有活力的根伸到湿土层就可以满足作物的水分需求。这说明只要部分根系处于最适环境就足以维持植物正常生长发育,在水分充足的条件下,剪去部分根系能够减少吸水器官,降低蒸腾,有利于 WUE 的提高。

#### (四) 隔行交替灌溉与水分利用效率

传统灌水方法追求田间作物根系层充分并均匀湿润。梁宗锁等(1998)根据根冠信息传递理论设计了一种根系分区交替灌溉技术。该技术强调从根系生长空间上改变土壤湿润方式,人为保持根区土壤某个区域干燥,交替使根系始终有一部分生长在干燥或较干燥的土壤中,限制该部分根系吸水,让其产生水分胁迫信号物质 ABA,通过 ABA 控制气孔开度;而另一部分生长在湿润区域的根系吸水,使光合作用维持在正常水平,但减少了过多的蒸腾失水。分区交替灌溉还可减少株间全部湿润时的无效蒸腾与蒸发以及总的灌溉用水,也可通过对不同区域根系进行交替干旱锻炼或利用其存在的补偿生长功能刺激根系生长,提高水分和养分的利用效率,最终达到不牺牲光合产物积累而大量节水的目的。

对于果树可采取隔行交替灌溉的方式,即第一次施行隔行灌水,第二次灌水则在第一次基础上顺移隔一行,第三次灌水与第一次灌水行相同。这样就会使根系始终有一部分处于水分胁迫状态,另一部分生长在湿润区域,结果是果植株既不缺水,又有适当浓度的根源信使 ABA 诱导气孔部分关闭,这能够在不牺牲光合产物积累的前提下,减少过多的蒸腾失水,同时也会减少全园充分灌溉时的无效蒸腾和蒸发。另外,干旱复水能刺激根系补偿生长,会有大量新根再生,新生根可以合成大量  $\text{CO}_2$  并能够输送到地上部,这对于促进花芽分化有重要意义。

## 参考文献

黄占斌,山仑. 1998. 水分利用效率及其生理生态机制研究进展. 生态农业研究,6(4)19-23.

- 接玉玲,束怀瑞. 1999. 苹果水分代谢及节水灌溉//束怀瑞. 苹果学. 北京: 中国农业出版社, 385 - 389.
- 梁建生,张建华. 1998. 根系逆境信号 ABA 的产生和运输及其生理作用. 植物生理学通讯, 34(5): 329 - 338.
- 梁宗锁,康绍忠,高俊风. 1998. 控制性分根交替供水对玉米生长和 WUE 的影响. 中国农业科学, 31(5): 88 - 90.
- 娄成后,化宝光. 2000. 植物信号系统——它在功能整合与适应环境中的作用. 生命科学, 12(2): 49 - 51.
- 上官周平,邵明安. 1999. 改善旱区作物水分利用效率的生理调控机制. 水利学报, 10(4): 33 - 37.
- 杨洪强,束怀瑞,接玉玲,等. 1994. 山地杏园地膜覆盖穴贮肥水增产效应研究. 河北农业大学学报, 17(增刊): 708 - 710.
- 杨洪强,夏国海,接玉玲. 1999. 园艺植物果实碳素同化物代谢研究进展. 山东农业大学学报, 33(3): 307 ~ 311.
- 杨洪强. 1999. 苹果植株内源激素发生规律与生长发育调节//束怀瑞. 苹果学. 北京: 中国农业出版社, 390 - 413.
- 张蜀秋,娄成后. 2000. 气孔蒸腾中保卫细胞原生质的调控作用. 生命科学, 12(3): 97 - 99.
- 张正斌,山仑. 1997. 小麦旗叶水分利用效率比较研究. 科学通报, 42(17): 1876 - 1881.
- Ali M, Jensen C R, Mogensen V O. 1989. Early signal in field growth wheat in response to shallow soil drying. Aust J Plant Physiol, (25): 871 - 882.
- Bulm A, Johnson J W. 1993. Wheat cultural respond differently to drying topsoil and a possible non-hydraulic root signal. J Exp Bot, 44(7): 1149 - 1153.
- Davies W J, Zhang J H. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol, (42): 55 - 76.
- Gomez-Cadenas A, Tadeo F R, Talon M, et al. 1996. Leaf abscission induced by ethylene in water stressed intact seedling of *Cleopatra Mandarin* requires abscisic acid accumulation in root. Plant Physiol, 112: 401 - 408.
- Gowing D J G, Jones H C, Davies W J. 1993. Xylem-transported abscisic acid. the regulation importance of its concentration in the control of stomatal aperture. Plant Cell Environ, (16): 453 - 459.
- Jackson G E, Irvine J, Grace J, et al. 1995. Abscisic acid concentrations and

fluxes in droughted conifer samplings. *Plant Cell Environ*, (18):103 - 117.

Jia W, Zhang J, Zhang D P. 1996. Metabonsm of xylem-delivered ABA in relation to ABA flux and concentration in leaves of maize and *Commelina communis*. *Journal of Experimental Botany*, (47):1085 - 1091.

Liang J, Zhang J, Wong M H. 1997. How do roots control xylem sap ABA concentration in responses to soil drying? *Plant cell Physiol*, (38):10 - 16.

Lyer S, Caplan A. 1998. Products of proline catabolism can induce osmotically regulated genes in rice. *Plant Phyaiol*, 116:203 - 211.

Thompson D S, Wilkinson S, Baccon M A, et al. 1997. Multiple signal and mechanisms that regulate leaf growth and stomatel behaviour during water deficit. *Physiol Plant*, (100):303 - 313.

Wilkinson S, Davies W J. 1998. Xylem sap pH increase: a drought signal received at the apoplastic face of the guard cell that involves the suppression of saturable abscisic acid uptake by the epidermal symplast. *Plant Physiol*, 113:559 - 573.

Zhang J H. 1994. Accumulation of ABA in maize roots in response to root severing. *New Phytol*, 127:309 - 314

Zhang J, Davies W J. 1989. Abscisic acid produced in dehydrating roots may enable the plant to measure the water status of the soil. *Plant Cell Environ*, (12):10 - 16.



**杨洪强** 博士,教授,兼山东省高校果树生物学重点实验室主任、中国林学会树木生理生化专业委员会常委、《园艺学报》编委、中国绿色农业服务联盟副主席等。

主要从事苹果根系和果品安全研究,先后主持国家自然科学基金5项、省部级课题10余项,参加国家转基因重大专项等;主持的《果树多孔营养砖》、《多砧多抗果树苗木的培育方法》等8项技术获国家专利;获山东省科技进步奖二等奖2项。独立编著

《有机园艺》、《生态果园必读》,主编《苹果根系研究》、《绿色无公害果品生产全编》及《无公害农业》等专著和国家规划教材7部,在《科学通报》等刊物上发表论文150余篇。获山东省青年科技奖、山东省优秀青年知识分子标兵、山东省优秀研究生指导教师等荣誉,记二等功一次。

# 苹果变产树芽矿质营养和 内源激素变化规律研究

王金政 等

山东省果树研究所

**摘要:**本研究以 23 年生富士苹果为试材,研究了变产结果树(以稳产树为对照)生长季短枝顶芽以及休眠期花芽、叶芽矿质营养和内源激素的变化特征。结果表明:休眠期和生长季,顶芽、花芽和叶芽中 N、P、K、IAA、ZR、GA 和 ABA 的含量均为大年树 > 稳产树 > 小年树。三类结果树花芽和叶芽中 N、P、K 含量在休眠期较为稳定,进入萌芽期后含量均降低,且不同类型结果树相同元素含量的降幅基本一致,其中,叶芽中的 N、花芽中的 P 和 K 下降较明显,降幅分别为 39.1% ~ 40.4%、34.6% ~ 36.4% 和 26.2% ~ 28.2%;花芽和叶芽中 IAA、ZR、GA、ABA 含量在休眠期较为稳定,进入萌芽期后除 ABA 外均有所增加,且均以叶芽中各激素含量增加较明显,增幅分别为 3.0% ~ 7.6%、4.3% ~ 22.3%、8.6% ~ 10.3%,而叶芽中 ABA 含量明显降低,降幅为 30.8% ~ 41.2%。

**关键词:**苹果;变产结果;芽;矿质营养;内源激素

## 一、引言

变产结果是盛果期苹果园的一种普遍现象。据不完全统计,山东苹果产区 50% ~ 60% 的盛果期果园程度不同地存在变产结果现象。年际间产量的大幅波动,容易使树势衰弱,从而加重病虫害的发生,降低果实品质,缩短丰产年限,降低经济效益。多年来,国内在克服苹果变产结果方面做了大量研究(程家胜,1980;梁立峰,1982;马焕普,1987;李天红,1993),总结提出了一系列克服变产结果的技术措施,但生产中变产结果的问题仍然没有得到有效解决。大年树和小年树花芽分化的不均衡直接导致了果树变产结果现象的产生。近代的研究表明,同其他生理过程一样,果树的花芽分化过程既受营养供应水平的影响,亦受内源激素平衡关系的调节控制。正因为此,研究植物营养和激素与花芽分化的关系,已成为当前果树变产结果研究中一个比较活跃的领域。本试验以富士苹

果为试材,研究了变产结果树休眠期和生长季芽中矿质营养和内源激素的动态变化,旨在揭示苹果变产结果形成的机制,为克服变产结果提供理论依据。

## 二、材料与方法

### (一) 试验设计

试验于2011年8月至2012年7月在山东省新泰市龙廷镇土门村苹果园进行。该园主栽品种为‘长富2’(1988年栽植),砧木为平邑甜茶,授粉品种为红星,树形为小冠疏层形,株行距3 m × 4 m,山地果园,变产结果,变产幅度为62.8%。树体基本情况见表1。选择长势和变产幅度基本一致的大、小年结果树以及稳产树(对照)各5株作为样本树,单株小区,5次重复。每小区在树冠的不同方位和层次随机采集生长季短枝顶芽60个、休眠期花芽和叶芽各60个(剥去鳞片,混合后作为一个样)。采样时间为2011年8月25日(秋梢生长末期)、9月5日、9月15日、9月25日(秋梢停长期)、10月5日、10月15日(果实成熟期)、10月25日(果实采收后10d),2012年1月17日(休眠期)、2月17日、3月17日(萌芽期)、6月17日(春梢停长期)、7月17日(秋梢生长初期)。

表1 试验园树体基本情况(2011年)

处理	栽植年份	株行距 /(m × m)	树高/m	干高/cm	干周/cm	冠径/cm		主枝数/个	主枝 角度/(°)	树形
						东西	南北			
大年树			3.50	38	88	616	638			小冠
小年树	1988年	3 × 4	3.68	38	85	639	657	7	60 ~ 80	疏层
稳产树			3.52	38	84	621	640			形

### (二) 样品的采后处理

样品采集后,待测矿质元素的样品先用去离子水洗净,置烘箱中于105℃杀青30 min,再于70℃下烘至恒重,磨细过筛,置玻璃瓶中保存待测;将待测激素的样品迅速放入液氮罐中,带回实验室后转入-20℃冰箱中保存待测。

### (三) 测定项目与方法

#### 1. 矿质元素测定

样品消煮采用浓 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 联合消煮法;氮素测定采用凯氏定氮法,磷素测定采用钒钼黄比色法,钾素测定采用火焰光度法。

## 2. 激素测定

用 1/1000 天平准确称取 2.00 g 苹果芽样品,加 80% 冷甲醇 40 mL,冰浴研磨至匀浆,4℃ 过夜,抽滤,滤液转入旋转蒸发器( $<40^{\circ}\text{C}$ )蒸发甲醇,用 pH 8.0 缓冲液洗出,用氯仿按 1:1(V/V)分配 3 次,弃氯仿相。水相用甲酸调 pH 2.5 后,用氯仿萃取 3 次,合并氯仿相,减压浓缩至干。水相再用乙酸乙酯萃取 3 次,合并乙酸乙酯相,减压浓缩至干。两者皆用 pH 8.0 磷酸缓冲液洗出,加聚乙烯吡咯烷酮振荡 0.5 h,抽滤,滤液用甲酸调 pH 3.0,过  $\text{C}_{18}$  预柱,80% 甲醇洗脱,收集洗脱液,40℃ 浓缩至干,1 mL 优质甲醇定容。采用高效液相色谱法,测定吲哚乙酸(IAA)、玉米素核苷(ZR)、赤霉素(GA)、脱落酸(ABA)。

## 三、结果与分析

### (一) 矿质元素变化规律

#### 1. N

休眠期,大年树花芽中 N 含量为 15.89 g/kg,为小年树的 1.31 倍、稳产树的 1.02 倍(图 1)。萌芽期,大年树花芽中 N 含量为 12.06 g/kg,为小年树的 1.29 倍、稳产树的 1.08 倍。

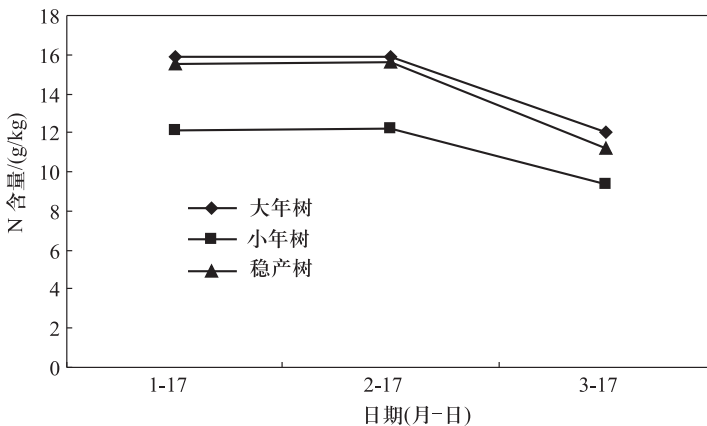


图 1 休眠期花芽中 N 含量

休眠期,大年树叶芽中 N 含量为 25.23 g/kg,为小年树的 1.36 倍、稳产树的 1.24 倍(图 2)。萌芽期,大年树叶芽中 N 含量为 15.35 g/kg,为小年树的 1.37 倍、稳产树的 1.23 倍。

春梢停长期,大年树顶芽中 N 含量为 16.92 g/kg,为小年树的 1.15 倍、稳产树的 1.04 倍(图 3)。秋梢停长期,大年树顶芽中 N 含量为 21.53 g/kg,为小年

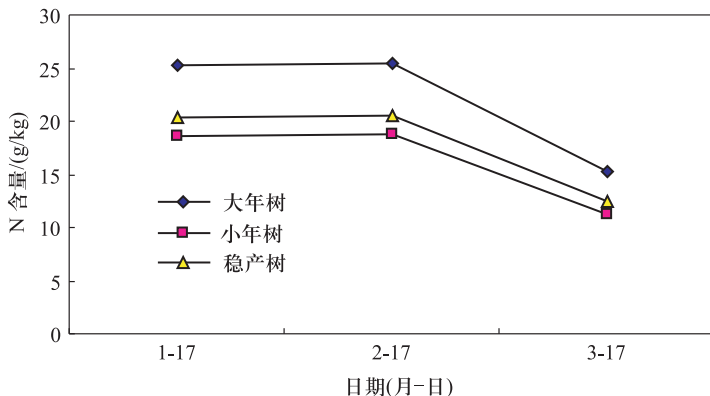


图2 休眠期叶芽中N含量

树的1.28倍、稳产树的1.12倍。果实成熟期,大年树顶芽中N含量为18.73 g/kg,为小年树的1.16倍、稳产树的1.09倍。果实采收后10 d,大年树顶芽中N含量为18.29 g/kg,为小年树的1.13倍、稳产树的1.07倍。

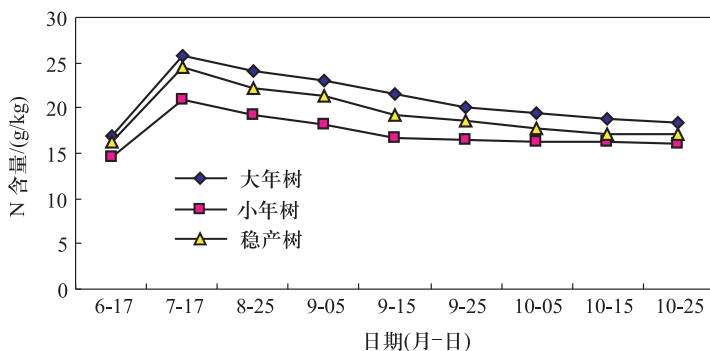


图3 生长季顶芽中N含量

三类结果树花芽和叶芽中N含量在休眠期较为稳定,进入萌芽期后均降低,且不同类型结果树的降幅基本一致,其中,叶芽中的N下降较明显,降幅为39.1%~40.4%。生长季顶芽中N含量先迅速升高,至秋梢生长初期达到最高值,之后逐渐降低。

## 2. P

休眠期,大年树花芽中P含量为4.60 g/kg,为小年树的1.52、稳产树的1.22倍(图4)。萌芽期,大年树花芽中P含量为2.95 g/kg,为小年树的1.45倍、稳产树的1.21倍。

休眠期,大年树叶芽中P含量为3.15 g/kg,为小年树的1.49倍、稳产树的1.41倍(图5)。萌芽期,大年树叶芽中P含量为2.31 g/kg,为小年树的1.67倍、稳产树的1.51倍。



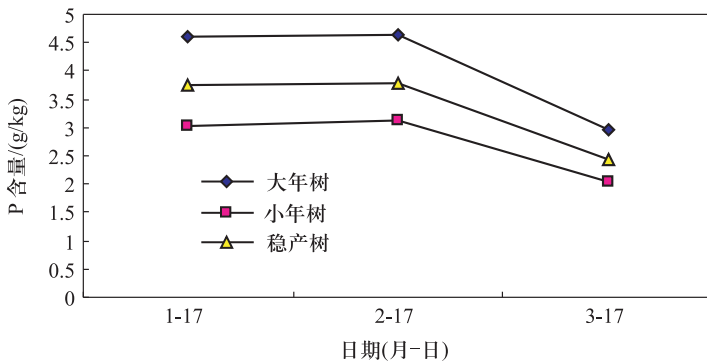


图4 休眠期花芽中P含量

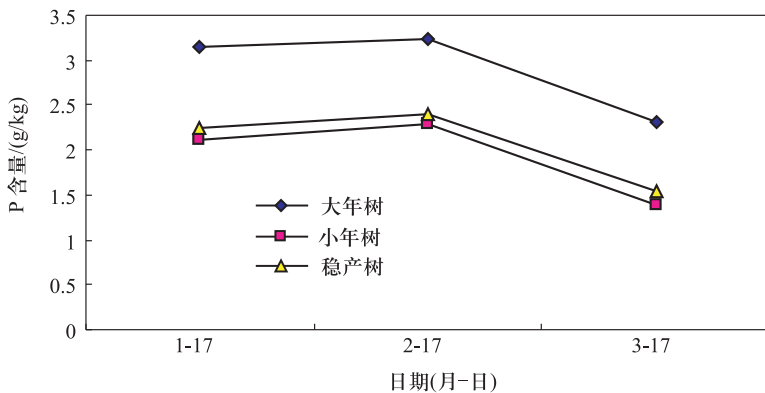


图5 休眠期叶芽中P含量

春梢停长期,大年树顶芽中P含量为1.76 g/kg,为小年树的1.28倍、稳产树的1.14倍(图6)。秋梢停长期,大年树顶芽中P含量为2.29 g/kg,为小年树的1.51倍、稳产树的1.19倍。果实成熟期,大年树顶芽中P含量为1.90 g/kg,为小年树的1.53倍、稳产树的1.19倍。果实采收后10 d,大年树顶芽中P含量为1.84 g/kg,为小年树的1.53倍、稳产树的1.21倍。

三类结果树花芽和叶芽中P含量在休眠期较为稳定,进入萌芽期后均降低,且不同类型结果树的降幅基本一致,其中,花芽中的P下降较明显,降幅为34.6%~36.4%。生长季顶芽中P含量先降低,至秋梢生长初期达到最低值,之后迅速升高,至秋梢生长末期达到最高值,之后逐渐降低。

### 3. K

休眠期,大年树花芽中K含量为12.59 g/kg,为小年树的1.35倍、稳产树的1.24倍(图7)。萌芽期,大年树花芽中K含量为9.14 g/kg,为小年树的1.30倍、稳产树的1.22倍。

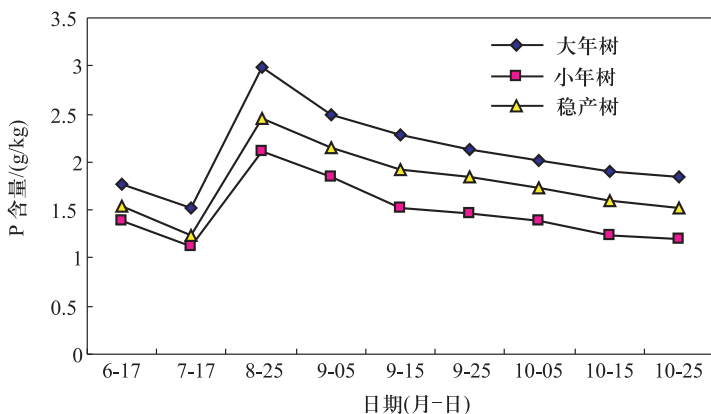


图 6 生长季顶芽中 P 含量

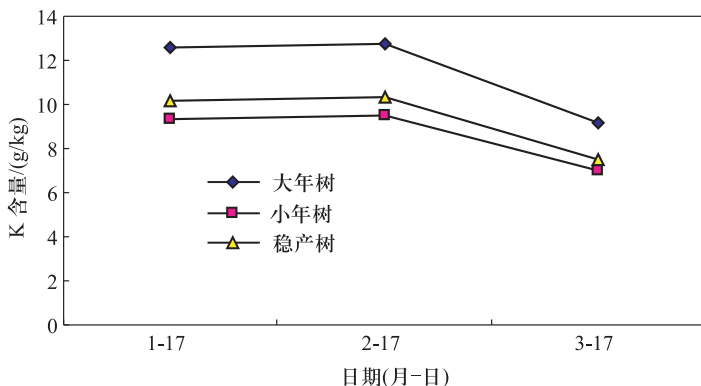


图 7 休眠期花芽中 K 含量

休眠期,大年树叶芽中 K 含量为 7.84 g/kg,为小年树的 1.20 倍、稳产树的 1.07 倍(图 8)。萌芽期,大年树叶芽中 K 含量为 7.10 g/kg,为小年树的 1.25 倍、稳产树的 1.04 倍。

春梢停长期,大年树顶芽中 K 含量为 10.23 g/kg,为小年树的 1.23 倍、稳产树的 1.12 倍(图 9)。秋梢停长期,大年树顶芽中 K 含量为 5.45 g/kg,为小年树的 1.29 倍、稳产树的 1.11 倍。果实成熟期,大年树顶芽中 K 含量为 4.98 g/kg,为小年树的 1.21 倍、稳产树的 1.07 倍。果实采收后 10 d,大年树顶芽中 K 含量为 4.87 g/kg,为小年树的 1.21 倍、稳产树的 1.07 倍。

三类结果树花芽和叶芽中 K 含量在休眠期较为稳定,进入萌芽期后均降低,且不同类型结果树的降幅基本一致,其中,花芽中的 K 下降较明显,降幅为 26.2% ~ 28.2%。生长季顶芽中 K 含量先迅速降低,至秋梢生长末期开始缓慢升高,至秋梢停长后(9 月 25 日)开始缓慢降低。

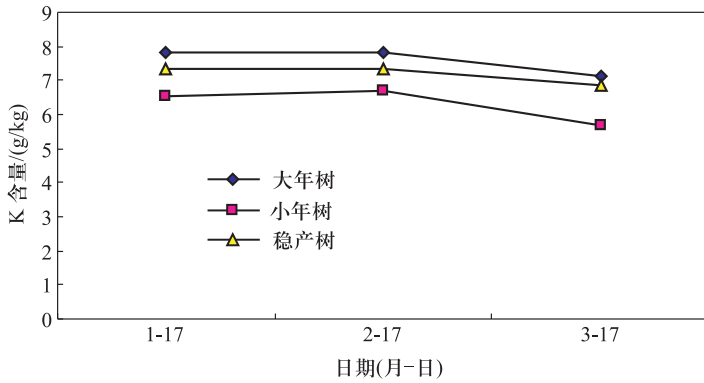


图8 休眠期叶芽中 K 含量

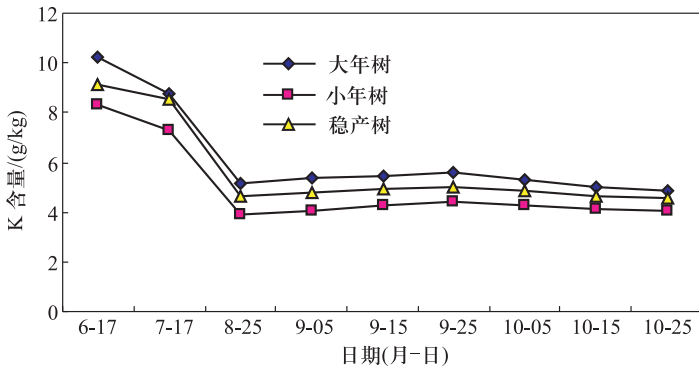


图9 生长季顶芽中 K 含量

## (二) 内源激素变化规律

### 1. IAA

休眠期,大年树花芽中 IAA 含量为 54 ng/g FW,为小年树的 1.38 倍、稳产树的 1.08 倍(图 10)。萌芽期,大年树花芽中 IAA 含量为 58 ng/g FW,为小年树的 1.26 倍、稳产树的 1.07 倍。

休眠期,大年树叶芽中 IAA 含量为 267 ng/g FW,为小年树的 1.31 倍、稳产树的 1.19 倍(图 11)。萌芽期,大年树叶芽中 IAA 含量为 291 ng/g FW,为小年树的 1.28 倍、稳产树的 1.22 倍。

春梢停长期,大年树顶芽中 IAA 含量为 79 ng/g FW,为小年树的 1.52 倍、稳产树的 1.30 倍(图 12)。秋梢停长期,大年树顶芽中 IAA 含量为 96 ng/g FW,为小年树的 1.52 倍、稳产树的 1.37 倍。果实成熟期,大年树顶芽中 IAA 含量为 60 ng/g FW,为小年树的 1.25 倍、稳产树的 1.20 倍。果实采收后 10 d,大年树

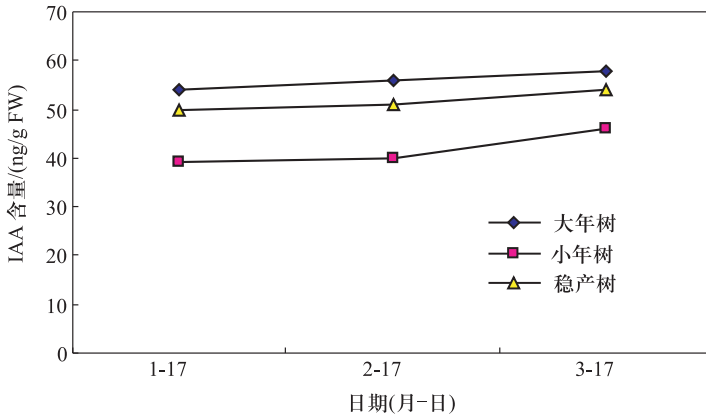


图 10 休眠期花芽中 IAA 含量

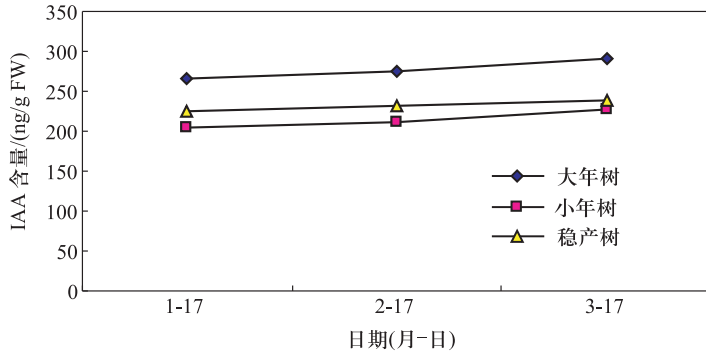


图 11 休眠期叶芽中 IAA 含量

顶芽中 IAA 含量为 57 ng/g FW, 为小年树的 1.24 倍、稳产树的 1.21 倍。

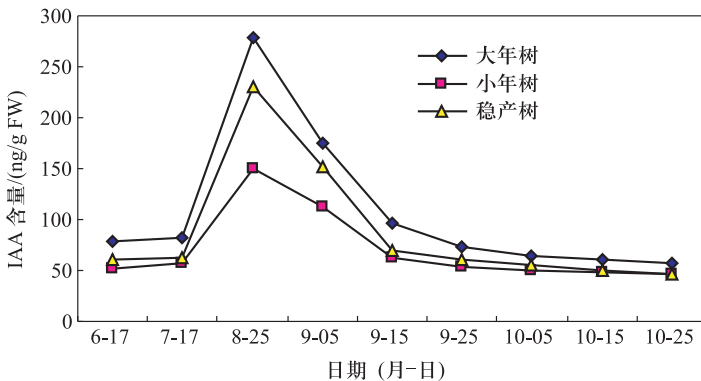


图 12 生长季顶芽中 IAA 含量

三类结果树花芽和叶芽中 IAA 含量在休眠期较为稳定, 进入萌芽期后均有所增加, 且以叶芽中 IAA 含量增加较明显, 增幅为 3.0% ~ 7.6%。生长季顶芽中 IAA 含量在春梢停长期至秋梢生长初期基本保持稳定, 之后迅速升高, 至秋梢生长末期达到最高值, 之后呈降低趋势。

## 2. ZR

休眠期, 大年树花芽中 ZR 含量为 397 ng/g FW, 为小年树的 1.23 倍、稳产树的 1.04 倍(图 13)。萌芽期, 大年树花芽中 ZR 含量为 424 ng/g FW, 为小年树的 1.24 倍、稳产树的 1.05 倍。

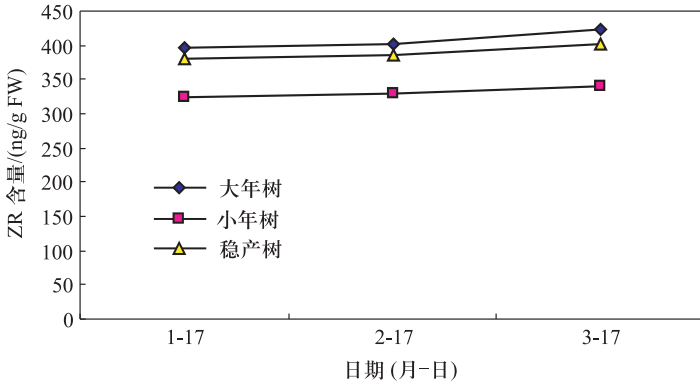


图 13 休眠期花芽中 ZR 含量

休眠期, 大年树叶芽中 ZR 含量为 109 ng/g FW, 为小年树的 1.65 倍、稳产树的 1.21 倍(图 14)。萌芽期, 大年树叶芽中 ZR 含量为 137 ng/g FW, 为小年树的 1.73 倍、稳产树的 1.43 倍。

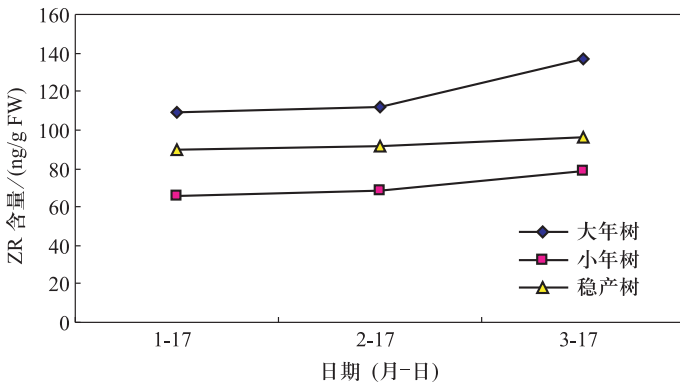


图 14 休眠期叶芽中 ZR 含量

春梢停长期, 大年树顶芽中 ZR 含量为 29 ng/g FW, 为小年树的 2.42 倍、稳

产树的 1.93 倍(图 15)。秋梢停长期,大年树顶芽中 ZR 含量为 374 ng/g FW,为小年树的 1.13 倍、稳产树的 1.08 倍。果实成熟期,大年树顶芽中 ZR 含量为 410 ng/g FW,为小年树的 1.09 倍、稳产树的 1.05 倍。果实采收后 10 d,大年树顶芽中 ZR 含量为 398 ng/g FW,为小年树的 1.07 倍、稳产树的 1.04 倍。

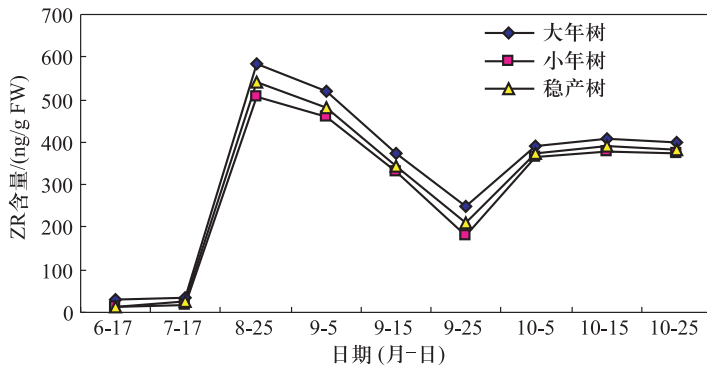


图 15 生长季顶芽中 ZR 含量

三类结果树花芽和叶芽中 ZR 含量在休眠期较为稳定,进入萌芽期后均有所增加,且以叶芽中 ZR 含量增加较明显,增幅为 4.3% ~ 22.3%。生长季顶芽中 ZR 含量在春梢停长期至秋梢生长初期基本保持稳定,之后迅速升高,至秋梢生长末期达到最高值,之后逐渐降低,至秋梢停长后(9 月 25 日)开始升高,后期基本保持稳定。

### 3. GA

休眠期,大年树花芽中 GA 含量为 47 ng/g FW,为小年树的 3.13 倍、稳产树的 2.35 倍(图 16)。萌芽期,大年树花芽中 GA 含量为 63 ng/g FW,为小年树的 3.50 倍、稳产树的 2.74 倍。

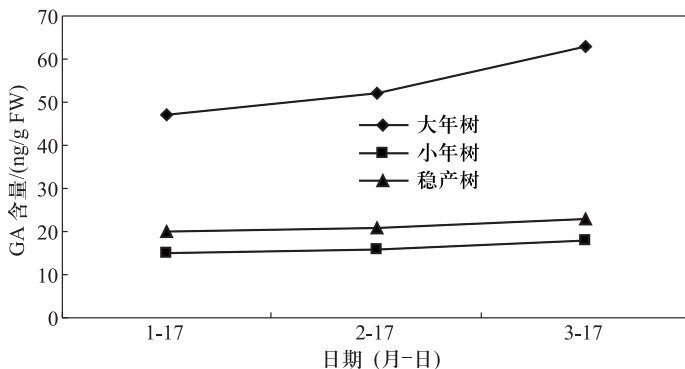


图 16 休眠期花芽中 GA 含量

休眠期,大年树叶芽中 GA 含量为 289 ng/g FW,为小年树的 1.55 倍、稳产树的 1.38 倍(图 17)。萌芽期,大年树叶芽中 GA 含量为 322 ng/g FW,为小年树的 1.50 倍、稳产树的 1.36 倍。

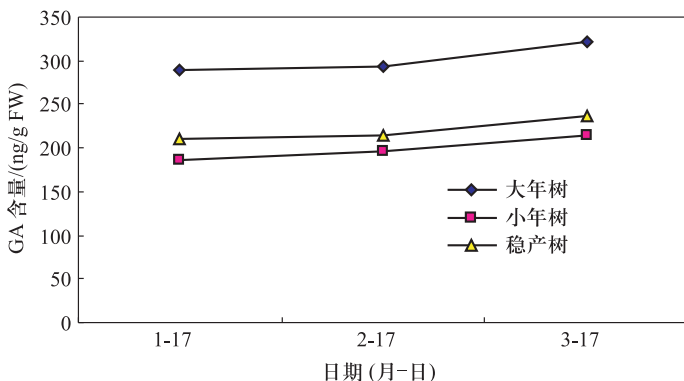


图 17 休眠期叶芽中 GA 含量

春梢停长期,大年树顶芽中 GA 含量为 24 ng/g FW,为小年树的 1.41 倍、稳产树的 1.26 倍(图 18)。秋梢停长期,大年树顶芽中 GA 含量为 158 ng/g FW,为小年树的 1.28 倍、稳产树的 1.20 倍。果实成熟期,大年树顶芽中 GA 含量为 43 ng/g FW,为小年树的 1.30 倍、稳产树的 1.13 倍。果实采收后 10 d,大年树顶芽中 GA 含量为 27 ng/g FW,为小年树的 1.42 倍、稳产树的 1.23 倍。

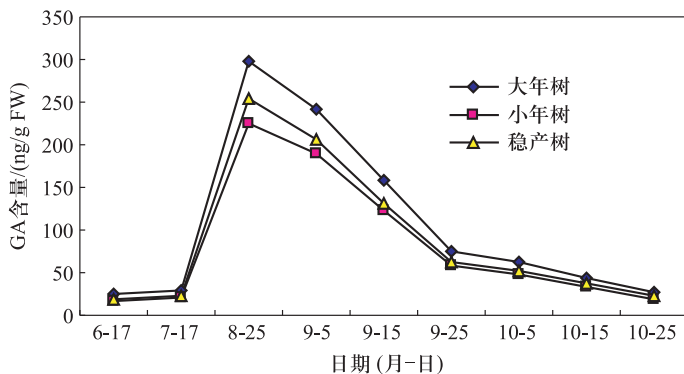


图 18 生长季顶芽中 GA 含量

三类结果树花芽和叶芽中 GA 含量在休眠期较为稳定,进入萌芽期后均有所增加,且以叶芽中 GA 含量增加较明显,增幅为 8.6% ~ 10.3%。生长季顶芽中 GA 含量在春梢停长期至秋梢生长初期基本保持稳定,之后迅速升高,至秋梢生长末期达到最高值,之后逐渐降低。

#### 4. ABA

休眠期,大年树花芽中 ABA 含量为 92 ng/g FW,为小年树的 1.19 倍、稳产树的 1.05 倍(图 19)。萌芽期,大年树花芽中 ABA 含量为 86 ng/g FW,为小年树的 1.28 倍、稳产树的 1.19 倍。

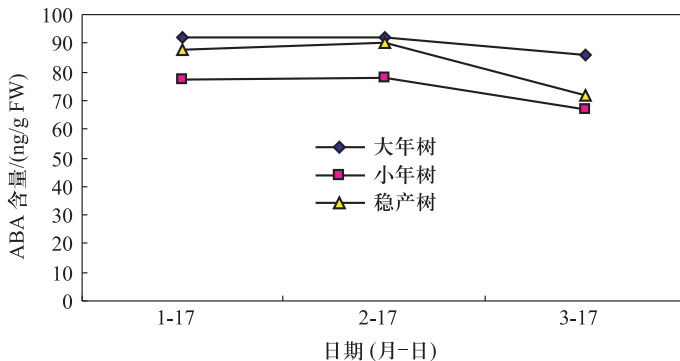


图 19 休眠期花芽中 ABA 含量

休眠期,大年树叶芽中 ABA 含量为 38 ng/g FW,为小年树的 1.23 倍、稳产树的 1.09 倍(图 20)。萌芽期,大年树叶芽中 ABA 含量为 27 ng/g FW,为小年树的 1.35 倍、稳产树的 1.17 倍。

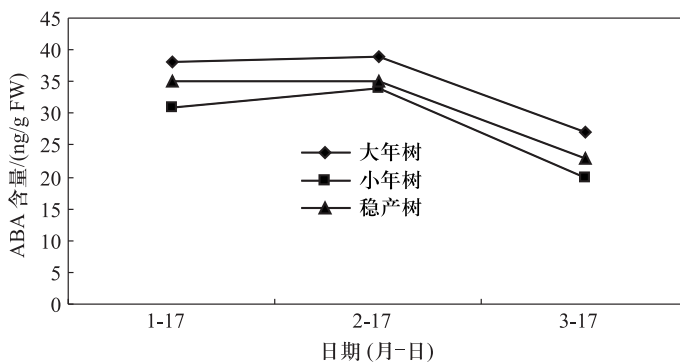


图 20 休眠期叶芽中 ABA 含量

春梢停长期,大年树顶芽中 ABA 含量为 72 ng/g FW,为小年树的 1.31 倍、稳产树的 1.26 倍(图 21)。秋梢停长期,大年树顶芽中 ABA 含量为 87 ng/g FW,为小年树的 2.42 倍、稳产树的 1.93 倍。果实成熟期,大年树顶芽中 ABA 含量为 128 ng/g FW,为小年树的 1.83 倍、稳产树的 1.52 倍。果实采收后 10 d,大年树顶芽中 ABA 含量为 136 ng/g FW,为小年树的 1.81 倍、稳产树的 1.55 倍。



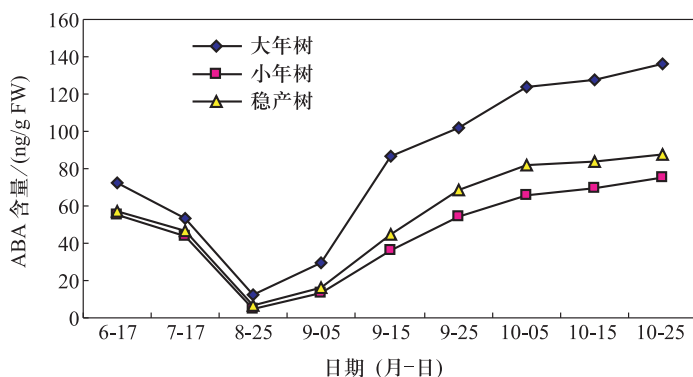


图 21 生长季顶芽中 ABA 含量

三类结果树花芽和叶芽中 ABA 含量在休眠期较为稳定,进入萌芽期后均有所降低,且以叶芽中 ABA 含量降低较明显,降幅为 30.8% ~ 41.2%。生长季顶芽中 ABA 含量在春梢停长期至秋梢生长末期逐渐降低,之后呈逐渐升高的趋势。

#### 四、讨 论

一般认为,苹果结果过多,消耗掉大量养分,导致树体营养失调,抑制了花芽分化是造成变产结果的重要原因。但值得注意的是,有些成龄果树产量较低也出现了变产结果现象,而有些相同树龄的果树却能连续多年维持较高产量水平。这说明,在分析确定造成苹果变产结果的产量阈值时,必须充分考虑果园的综合管理水平,特别是肥水管理水平,将产量控制在果树可承受范围内,既不过量负载,造成变产结果,也不使产量过低,使果树的生产能力得不到充分发挥,从而影响经济效益。

树体 N、P、K 的营养状况对果树的生理活动、器官建造、产量和品质的形成具有重大影响。本试验结果表明,在休眠期和生长季,大年树芽中的 N、P、K 含量明显高于小年树,说明大年树营养水平较高,但在养分分配上却较少用于花芽分化。前人研究发现,多种内源激素在果树花芽分化中发挥重要作用(牛自勉等,1997;孙文全,1989;冉辛拓,1991;曾骧,1983)。CTK 促进花芽分化,GA<sub>3</sub> 抑制花芽分化,对 IAA 和 ABA 的研究中,既有促进花芽分化的报道,也有抑制花芽分化的报道。若要明确各种内源激素在花芽分化中的作用,还需考虑各种激素间的平衡关系,这也是本试验下一步需要完善之处。

## 参考文献

- 程家胜. 1980. 果树花芽分化机理研究概述. 中国果树, (增刊):34 - 41.
- 李天红. 1993. 红富士苹果花芽形成及其调控机理研究[博士论文]. 北京: 北京农业大学.
- 梁立峰. 1982. 植物激素与果树的花芽分化. 植物生理学通讯, (4):1 - 6.
- 马焕普. 1987. 果树花芽分化与激素关系. 植物生理学通讯, (1):1 - 6.
- 牛自勉, 王贤萍, 李全. 1997. 富士系苹果内源激素含量与生长结果的关系. 河北林果研究, 12(4):347 - 350.
- 冉辛拓. 1991. 内源激素对苹果树大小年影响. 北方园艺, (1):21 - 24.
- 孙文全. 1989. 植物激素分布、相互作用及平衡关系对果树花芽分化影响. 北方园艺, (11):43 - 47.
- 曾骧. 1983. 试论植物激素在调节果树生长发育中的关系. 园艺, (2):1 - 6.



**王金政** 山东省果树研究所研究员、副所长, 现为山东省农业科学院一级学术专家, 中青年科研学科带头人, 山东农业大学研究生导师, 山东省有突出贡献的中青年专家, 享受国务院政府特殊津贴专家, 兼职中国园艺学会理事, 中国园艺学会苹果、桃分会常务理事, 山东省果品流通协会会长, 山东省果品开发协会副会长, 山东园艺学会副理事长, 山东园艺学会果树专业委员会主任。

1982 年以来, 一直从事果树育种、栽培研究与开发工作。先后主持和参加主持国家、省、部级课题 20 多项, 主持完成国家级和省部级重点课题 16 项, 其中获山东省科技进步奖一等奖 1 项、二等奖 4 项、三等奖 2 项。获地(厅)级科技进步奖一等奖 6 项; 选育推广果树优良新品种 36 个, 其中 22 个通过山东省农业(林木)品种委员会审定。获得国家专利 4 项, 发表学术论文、报告 160 余篇, 编著出版著作 16 部。

# Impact of Fertilization on Some Apple Fruit Quality Characteristics

**Atanas Blagov et al.**

Fruit Tree Institute of Yantai Agricultural Academy, Yantai  
Institute of Agriculture, Kyustendil, Bulgaria

**Abstract:** The apple fruits are characterized with size, colour, shape, but their texture with firmness, taste, aroma. The factors determining apple fruits quality are numerous—genetic factors, environmental conditions (air temperature and humidity), light intensity, growing system, used rootstocks, irrigation, fertilization, pruning etc. The nutritional regime of apple orchard is one of the major factors for the fruit production. Apply of nitrogen, phosphorus, potassium and calcium containing fertilizers on certain qualitative characteristics of apple fruits. The nitrogen fertilization is main factor to growth of the apple trees and at the same time it has great impact on fruit size, increase fruit skin colour. Mineral fertilization levels with phosphorus, calcium, potassium show the ratio between the separate aromatic compounds in the apple fruits. The application of complex fertilization of the soil and foliar fertilization improves apple fruit quality, changed the total acidity, pH and the colour of the fruits. The fruits content more glucose, sorbitol, dry matter, fruit acids

**Key words:** apple fruits; quality; mineral nutrition; soil fertilization; foliar fertilization; dry matter

## 1 Introduction

The term “quality” describes the dignity, the degree of excellence of a product or its suitability for a concrete specific use and reflects the human idea, encompassing combinations of a number of sensory characteristics. With a commodity such as fruits these properties are appearance-size, colour, shape, brightness, absence of defects, texture-firmness, juiciness, taste, aroma, nutritional value, and chemical

composition among many others (Abbott, 1999; Kader, 1990, 2001). There are also different types of quality—market quality, consumer and nutritional quality etc. Broadly speaking, however, there exist two main views for quality—product-oriented and market-oriented quality (Shewfelt, 1999).

The factors determining apple fruits quality are numerous—genetic factors, environmental conditions—air temperature and humidity, the duration of the hay, light intensity, precipitation, and others; characteristics of the growing system—species and rootstock used, irrigation, fertilization, plant protection treatments, pruning, floor management etc. The nutritional regime of the apple trees is one of the major management factors, influencing the quality parameters of fruit production. In the scientific literature there are data mainly about the effect of fertilization with nitrogen, phosphorous, potassium and calcium-containing fertilizers on certain qualitative characteristics of apple fruits (Sams, 1999).

The studies of the independent effect of organic fertilizers on apple fruit quality reported in the available literature are insufficient, but there are data revealing differences in fruit quality due to impact of the whole growing technology, one of the essential of which is fertilization (Radomirska et al., 2004; Radomirska et al., 2005).

Comparing various quality attributes of apple fruits, produced under the conditions of different technologies, it was found that the fruits obtained in the organic technology, where only organic fertilizers had been applied, were with better quality indices (firmness; sugars/acids ratios; higher vitamin C, phosphorous, magnesium and iron content) in comparison with the same parameters of fruits obtained from the other technologies (Reganold et al., 2001; Worthington, 2001).

## **2 Impact of nitrogen fertilization on apple fruits quality**

In the scientific literature there is evidence of the effect of nitrogen fertilization on the biological and gustatory characteristics of apple fruits. As a whole it has been confirmed that regardless of the nitrogen form in the fertilizers, it influences the content of ascorbic acid (vitamin C), as well as the quantity and quality of the produced by the plant proteins. With increasing the nitrogen supply of the plant, the protein synthesis rate is also increased, whereas the carbohydrates production is decreased. Vitamin C content is also reduced due to the fact that it is synthesized by carbohydrates (Worthington, 2001).

In a field trial with increasing levels of nitrogen fertilizers (60, 120, 240, 480 kg N/hm<sup>2</sup>) it was found that during the first four years from the beginning of full fruit bearing the value of nitrogen fertilizer norm did not have a significant effect on fruit weight, the diameter, firmness and dry matter content of fruits, although a slight trend for a reduction in dry matter content with the increase of nitrogen fertilizer norm was observed.

Nitrogen fertilization imposed a greater impact on the external appearance of fruits-with nitrogen fertilizer rate increase (up to 480 kg N/hm<sup>2</sup>) a considerable change in fruit colour occurred and the fruits of the cultivar Golden Delicious remained green at consumer maturity, which worsened significantly fruit quality. The negative effect of the unbalanced nitrogen fertilization in norms higher than tree requirements was even more pronounced, especially with the use of dwarf rootstocks.

At higher nitrogen fertilization rates apple fruits become larger, with a reduced firmness, and higher content of dry matter, nitrogen, magnesium, malic acid, whereas the calcium and phenols concentration, as well as the seed number, are lower (Bloksma et al. , 2004).

At a nitrogen rate of 480 kg N/hm<sup>2</sup> other changes in appearance were also observed-fruit rust and cracking were greatly increased. After the chemical analysis of fruit, leaf, and soil samples, a drastic drop of pH and high manganese concentration were registered.

In a field experiment with the application of different irrigation regimes and nitrogen fertilizer rates it was found that during the period of initial and rapidly increasing fruit bearing the use of nitrogen fertilization at a rate of 120 и 180 kg N/hm<sup>2</sup> had a milder influence on fruit colour than that of the various irrigation regimes variants. Nitrogen fertilization contributed to fruit size increase, but with fertilizer rate rise the fruit skin colour intensity and firmness were diminished, which influenced negatively fruit storage capability (Racsó et al. , 2005).

### **3 Impact of the combined (N, P, K) fertilization**

When apple trees were grown under the conditions of mollic fluvisols, fruits with the highest quality, as well as high and regular yields were obtained after the application of manure at a rate of 2 t/hm<sup>2</sup> (every second year), and mineral fertilization with N120 P90 K90 kg/hm<sup>2</sup>. In the same ecological region a significant effect is reported of the preplanting phosphorous fertilization. After the yearly

application of 90 kg  $P_2O_5/hm^2$  the fraction of fruits “Extra” quality (Bulgarian State Standard) was 27.8% , in comparison with 34.1% obtained after the fertilization with 270 kg  $P_2O_5/hm^2$  , performed every third year, and 41.9% after the use of 540 kg  $P_2O_5/hm^2$  every sixth year.

Apart from its effect on fruit colour, mineral fertilization affects other apple fruits characteristics, related to their biological value and their storage capability. Due to the fertilization with N, NP, NPK, the quantity of protopectine at harvesting maturity is increased, but after six-month cold storage pectin content is reduced significantly in the fruits from the trees, fertilized with higher mineral fertilizers rates.

There is evidence in the literature that the content of aromatic compounds at harvesting maturity and during the storage of fruits depends also on the provision of the trees with nutrients. It is ascertained that the application of moderate mineral fertilizers rates (N180 P90 K90 kg/ $hm^2$ ) the quantity of aromatic substances can be increased to 1.7 times compared to the unfertilized trees. With the extreme rise of fertilizers rates to N540 P270 K270 kg/ $hm^2$  their total content is reduced by 10% in comparison with the moderately fertilized trees.

Mineral fertilization level affects also the ratios between the separate aromatic compounds in the fruit. In the fruits of the unfertilized trees methanol is predominated (25.5% ), followed by hexyl acetate (23.8% ), ethanol and (16.7% altogether). At the moderate rate (N180 P90 K90 kg/ $hm^2$ ) the ethyl acetate is present in highest quantity, followed by the ethanol, whereas at the higher fertilizers rates the concentrations of ethyl acetate, ethanol, and isobutyl acetate is reduced, but those of butanol and hexyl acetate are higher.

The changes in the composition of aromatic compounds of fruits during their cold storage is also related to the quantities of the applied mineral fertilizers. At the beginning of apple fruit storage the content of aromatic substances in the fruits of the unfertilized and the moderately fertilized trees increases intensively, after which their total content decreases to 38% – 53% of the initial values. In the fruits of apple trees fertilized with high rates (N540 P270 K270 kg/ $hm^2$ ) such a trend is not observed and at the end of the storage period the concentration of those compounds drops to 18% of their initial content.

The unbalanced single nitrogen fertilization increases fruit weight and wax content per unit skin surface, whereas the application of high rates NP and NK reduces the quantity of the latter. The high level potassium fertilization increases fruit

acidity, which contributes to the improvement of their gustatory characteristics, but at the same time the risk of bitter pit during the storage period, is increased.

#### 4 Influence of foliar supplementation

Foliar applications of fertilizers also affect the quality properties of apple fruits. The supplementations with nutrients through the leaves provides apple plants with mineral and organic compounds much faster than their soil application, but the effect is with short duration. Spraying apple trees, grown on soils with low boron content, with 0.3 – 0.5 borax solutions leads to an increase in fruit size and a reduction of 50% of the number of cracked fruits.

When the concentration of soil nitrogen is insufficient, its foliar application is of crucial importance for overcoming of the temporary deficiency. Foliarly applied urea reduces the untimely drop of leaves, colour intensity, and the sugars/acids ratio of apple fruits, but increases fruit size and intensifies vigour ( Bertschinger et al. , 1997).

Fruit concentrations of calcium, potassium and nitrogen, as well as the ratios  $K/Ca$  and  $N/Ca$ , are an important factor affecting fruit quality. Calcium is one of the essential nutrient elements influencing apple fruit quality and the supply of the fruit with sufficient amounts of calcium is a key element for the provision of its optimal content at fruit harvesting and storage ( Casero et al. , 2002; Ciavatta et al. , 2002; Porro et al. , 2002) .

The apple fruits sprayed with calcium-containing compounds are characterized by higher quality, better storage capability and less physiological disorders ( Mayr et al. , 2002; Weinbaum et al. , 2002; Tojnko et al. , 2002), as well as reduced pesticide residues in the fruits ( Malakouti et al. , 2001). The ratios  $N/Ca$  and  $(K + Mg)/Ca$  in the treated fruits are more balanced than those in the untreated ones ( Casero et al. , 2002).

After several sprays with calcium compounds yield increase and better control of bitter pits is reported in the literature ( Wojcik et al. , 2002; Ernani et al. , 2002; Schmitz-Eiberger et al. , 2002).

Porro et al. ( 2002 ) examined three fertilization treatments in an apple orchard—without fertilization; soil fertilization. The authors found out that in the treatment soil + foliar fertilization the incidence of bitter pit and rot was reduced and the leaf concentration of Ca, Fe, Mn and Zn was the highest. The content of these

nutrients was also higher in the fruits of this treatment, whereas that of B was lower than that of the unfertilized standard.

The application of complex foliar fertilizers improves apple fruit quality, changes the total acidity, pH and the colour of the fruits (Platon et al. , 2002; Stampar et al. , 2002 ). After treatments with such fertilizers the fruit content of glucose, sorbitol, dry matter, malic and citric acid, and potassium, is increased (Hudina et al. , 2002).

## References

Abbott J. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, (15):207 – 225.

Bertschinger L, Henauer U, Lemmenmeier L, et al. 1997. Effects of foliar fertilizers on abscission, fruit quality and tree growth in an integrated apple orchard. *Acta Hort. (ISHS)* ,448:43 – 50.

Bloksma J, Northolt M, Huber M, et al. 2004. Parameters for apple quality-2 and the development of The ‘Inner Quality Concept’ 2001 – 2003, Louis Bolk Instituut. <http://library.wur.nl/biola/bestanden/1722503.pdf>.

Casero T, Benavides A, Recasens I, et al. 2002. Preharvest calcium sprays and fruit calcium absorption in golden “apples”. *Acta Hort. (ISHS)* ,594:467 – 473.

Ciavatta C, Benedetti A. 2002. Foliar fertilizers: legislative aspects in Europe. *Acta Hort. (ISHS)* , 594:269 – 276.

Delcheva S, Makriev Z, Nusterov A. 1978. Some failures in fruit growing in the agrarian and industrial complex “Pirin” in Razlog. *Fruit Growing*, (10):12 – 14 (In Bulgarian).

Ernani P R, Amarante C V T, Bessegato A A. 2002. Preharvest calcium sprays improve fruit quality of “Gala” apples in Southern Brazil. *Acta Hort. (ISHS)* ,594: 481 – 486.

Hudina M, Stampar F. 2002. Effect of phosphorus and potassium foliar fertilization on fruit quality of pears. *Acta Hort. (ISHS)* ,594:487 – 493 .

Kader A. 1990. The effect of storage methods on the quality of fresh horticultural crops//Baronio P, Pratella G, Balhaassari N. *Qualita dei prodtti ortofrutticoli postraccolta*. 11 – 26.



Kader A. 2001. Quality assurance of harvested horticultural perishables//Ben-Arie R, Philosoph-Hahas S. Proc. 4th. Int. Conf. on Postharvest. Acta Hort, 553. <http://ucce.uchavis.edu/files/hatastore/234-169.pdf>.

Malakouti M J, Afkhami M. 2001. Foliar application of calcium chloride for improving apple quality and reducing residual pesticides. Acta Hort. (ISHS), 564: 349-353.

Mayr U, Schröder M. 2002. Influence of calcium sprays with different concentrations; spray timing and combinations with prohexadione-ca on the mineral content in “Boskoop” and “Elstar” apples. Acta Hort. (ISHS), 594:553-556.

Neilsen G H, Neilsen D. 2002. Effect of foliar Zn, form and timing of ca sprays on fruit ca concentration in new apple cultivars. Acta Hort. (ISHS), 594:435-443.

Platon I V, Soare M. 2002. The effect of foliar fertilization with folifag and polimet on certain apple cultivars. Acta Hort. (ISHS), 594:653-658.

Porro D, Dorigatti C, Ramponi M. 2002. Can foliar application modify nutritional status and improve fruit quality results on apple in northeastern Italy. Acta Hort. (ISHS), 594:521-526.

Racsó J, Szabó Z, Nyéki J. 2005. Effect of nutrient supply on fruit quality of apple (*Malus domestica* Borkh.). Journal Central European Agriculture, 6(1):35-42.

Radomirska I, Domozetov D, Borovinova M, et al. 2004. Economic efficiency of apple production depending on the growing technology. Agricultural Economics and Management, 49(6):51-54.

Radomirska I, Sredkov I, Borovinova M, et al. 2005. Comparative economic evaluation of an apple plantation grown under integrated and organic technology. Scientific Works of the National Center for Agrarian Sciences, 3:188-191.

Reganold J, Glover J, Andrews K, et al. 2001. Sustainability of three apple production systems. Nature, 410:926-930.

Sams C. 1999. Preharvest factors affecting postharvest texture. Postharvest Biology and Technology, 15:249-254.

Schmitz-Eiberger M, Haefs R, Noga G. 2002. Reduction of calcium deficiency symptoms by exogenous application of calcium chloride solutions. Acta Hort. (ISHS), 594:535-540.

Shewfelt R L. 1999. What is quality? Postharvest Biol Technol, (15):197-

200.

Stampar F, Hudina M, Usenik V, et al. 2002. Experience with foliar nutrition in apple orchard. *Acta Hort. (ISHS)*, 594:547 – 552.

Tojnko S, Ternar T, Cmelik Z. 2002. Effect of foliar application and fertigation with some nutrients on fruit mineral content of young “golden delicious” apple trees. *Acta Hort. (ISHS)*, 594:185 – 189.

Weinbaum S A, Brown P H, Johnson R S. 2002. Application of selected macronutrients (n, k) in deciduous orchards: physiological and agrotechnical perspectives. *Acta Hort. (ISHS)*, 594:59 – 64.

Wojcik P, Szwonek E. 2002. The efficiency of different foliar-applied calcium materials in improving apple quality. *Acta Hort. (ISHS)*, 594:563 – 567.

Worthington V. 2001. Nutritional quality of organic versus conventional fruits, vegetables, and grains. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 7 (2):161 – 173.



**Atanas Blagov** 阿塔纳斯·布拉高夫 (Atanas Stoyanov Blagov), 1947年生, 国籍为保加利亚, 博士、教授。从事苹果新品种选育及高效栽培技术研究, 主持保加利亚农业和食品部研究项目6项, 保加利亚政府科技合作项目2项, 有8个苹果品种进入保加利亚国家品种数据库, 选育出 Besapara、Gorana、Elegia、Martina、Martinika、Siana 等6个具有保加利亚自主知识产权的优良苹果品种, 通过保加利亚国家审定。在保加利亚《植物科学》、《农业科学》和《山地农业科学》等国家级期刊发表专业论文130余篇; 主编出版《苹果新果园创建》著作1部。

自2001年开始, 在烟台进行长期科技合作, 2004年9月, 获山东省人民政府颁发的“友谊奖”。2008年9月, 获国务院颁发的“国家友谊奖”。2012年3月, 成为第一批国家“外专千人计划”特聘专家。

自2001年开始, 在烟台进行长期科技合作, 2004年9月, 获山东省人民政府颁发的“友谊奖”。2008年9月, 获国务院颁发的“国家友谊奖”。2012年3月, 成为第一批国家“外专千人计划”特聘专家。

# 不同氯离子浓度对苹果生长发育和土壤性质的影响

姜中武 等

山东省烟台市农业科学研究院

**摘要:**以苹果为材料,研究了不同氯离子浓度(0、4.8%、6.0%、9.6%)对苹果枝叶生长、果实产量和品质、果园土壤养分,以及连续施用含氯化肥土壤中氯元素的积累和 pH 值的影响。结果表明,Cl<sup>-</sup>浓度为 6% 时,植株春梢生长量、新梢生长总量和秋梢比例以及果实的单果重量、果实着色面积、可溶性固形物的含量等指标均为最高;随着外施 Cl<sup>-</sup>浓度的升高,土壤的速效氮含量逐渐降低,速效磷和速效钾的含量逐渐升高;土壤中 Cl<sup>-</sup>总浓度土壤 pH 值也呈现逐渐升高趋势。

**关键词:**苹果;氯离子;生长发育;土壤性质

## 一、引言

氯是多数植物生长的必需生长元素(Broyer, 1954),在植物体内,氯离子主要参与了植物的光合作用、某些酶类的激活等生理过程。此外,氯离子还是某些激素的组成成分,参与维持细胞渗透压和膨压等生理过程(马国瑞等,1993;马国瑞,1994;程明芳等,2010)。植物在生长发育过程中对氯的需要量很少,一般植物体内含氯 0.1% 即可满足需要。土壤含氯量低于 2 mg/kg 和植株含氯量低于 100 mg/kg 时,易发生缺氯症(王德清等,1990)。氯元素常伴随肥料进入土壤(李祖章等,1991)。国内外研究表明,施用常量含氯化肥(施氯肥为 100 ~ 200 mg/kg)对作物和果树生长无不良影响,往往还有一定促进作用,其产量接近甚至高于对照,对产品品质亦无损害(程明芳等,2010;马国瑞,1994;黄玉溢等,1997;毛知耘等,2000;李廷轩等,2002;苏壮等,1997)。但施氯过多,则对作物生长有抑制作用,严重时发生毒害,导致产量和品质下降(钟航,1993)。苹果、柑橘、桃、葡萄等多种果树,被划为忌氯作物。当施用含氯肥料过多或过于集中,吸收和积累氯离子超过一定浓度会使果树受到伤害(司鹏等,2011)。研究表明,在

苹果园中土壤的氯含量安全浓度为 200 mg/kg。目前胶东地区果园施肥主要以氯化铵、氯化钾等氯化物为代表的单质肥料和以此肥料配成的复合或复混肥料为主,这类肥料在果树生产中用量主要根据肥料中 N、P、K 的含量水平确定,而忽视了肥料中氯元素对果树生长发育的影响。本研究通过分析不同浓度的氯离子对苹果植株生长发育、土壤养分和 pH 值的影响以及氯离子在土壤中的积累情况,以期胶东地区的果园含氯肥料的合理施用提供理论和实践经验。

## 二、材料与方 法

试验所用肥料由山东金正大生态工程股份有限公司提供。试验在山东省烟台市观水镇大石疃村进行,果园面积 5 亩。树龄为 10 年,苹果品种为红富士,株行距为 3.0 m × 4.0 m,每 667 m<sup>2</sup> 栽植 56 株,树体长势均匀,肥水充足,管理水平良好一致。5 株为一个小区,设 4 个处理,每处理重复 5 次,共计用 100 株。试验处理如下:

T1 处理:控释 BB 肥配方 1(34%,16-6-12,含氯 0.0%)

T2 处理:控释 BB 肥配方 2(34%,16-6-12,含氯 4.8%)

T3 处理:控释肥 B1(40%,18-8-14,含氯 6.0%)

T4 处理:控释肥配方 3(34%,16-6-12,含氯 9.6%)

春季施肥时间在每年的 3 月 10—15 日果树萌芽之前施入,秋季施肥时间为每年的 11 月 5—10 日。红富士苹果每株施肥用量为 4.5 kg。施肥方法为:在树冠下开放射状沟 6~8 条,沟长到树冠垂直投影边缘向外 20 cm,顺着水平根的方向避开骨干枝挖沟,沟宽 30 cm、深 20~30 cm。施肥沟挖好后即可施肥,沟底填入挖出的少量熟土,然后再将肥料撒入施肥沟,上覆适量挖出的熟土用锄头拌匀,肥土充分混合后再覆上剩余的土。施肥后进行浇水,以利于肥料分解和发挥肥效。

新梢粗度和长度测量:每一处理植株从不同方位外围随意选取 10 个强壮新梢,用游标卡尺测量新梢粗度,用米尺测量新梢长度。果实品质测定均采用鲜样,用手持糖量计测定可溶性固形物,用 GY-1 型硬度计测定果实硬度。

2009—2011 年每年的 10 月中旬,分别取处理的土壤样品进行测定分析,土样为 0~30 cm 深、距离施肥沟 10~15 cm 的土层,每株树取不同方位 3 个土样混合,进行测定分析。土壤样品带回实验室后,平摊风干,分成两份,一份研磨过 18 目土壤筛,用于测定土壤 N、P、K 含量;土壤碱解氮含量用扩散皿法;土壤速效磷用碳酸氢钠浸提,钒钼蓝比色法测定;土壤缓效钾含量用冷稀硝酸浸提,火焰光度计法测定(鲍士旦等,2000);氯离子含量用水浸提,土壤 pH 值用电位测定法测定。

### 三、结果与分析

#### (一) 不同氯离子浓度对苹果新梢、叶片生长的影响

不同浓度  $\text{Cl}^-$  处理的植株新梢生长量和叶片情况的调查结果表明,  $\text{Cl}^-$  浓度为 6.0% 时, 植株春梢生长量、新梢生长总量和秋梢比例均最高, 分别为 32.6 cm、38.2 cm 和 28.3%; 秋梢生长量和叶片厚度以  $\text{Cl}^-$  浓度为 0 时最大, 分别为 6.6 cm 和 0.35 mm; 当  $\text{Cl}^-$  浓度为 4.8% 时, 春梢粗度最大, 为 0.43 cm; 当  $\text{Cl}^-$  浓度为 9.6% 时, 秋梢生长量、新梢生长总量、春梢粗度、秋梢比例及叶片厚度等指标均为最小, 分别为 3.5 cm、35.0 cm、0.38 cm、22.7% 和 0.30 mm, 而以  $\text{Cl}^-$  浓度为 0 时, 春梢生长量最小, 为 28.9 cm(表 1)。

表 1 不同浓度氯离子对苹果新梢和叶片生长的影响

$\text{Cl}^-$ 含量/%	春梢生长量	秋梢生长量	新梢生长总量	春梢粗度	秋梢比例	叶片厚度
	/cm	/cm	/cm	/cm	/%	/mm
0	28.9	6.6	35.5	0.40	25.5	0.35
4.8	30.6	5.7	36.3	0.43	24.3	0.32
6.0	32.6	5.6	38.2	0.41	28.3	0.31
9.6	31.5	3.5	35.0	0.38	22.7	0.30

#### (二) 不同氯离子浓度对苹果果实产量和品质的影响

氯离子施入浓度不同, 苹果的产量和品质均有较大差异。与  $\text{Cl}^-$  浓度为 0 时相比,  $\text{Cl}^-$  浓度为 4.8% 时, 果实横径和单株产量最高, 分别为 84.9 mm 和 146.6 kg; 当  $\text{Cl}^-$  浓度为 9.6% 时, 横径大于或等于 80 mm 的果实的比例最高, 达到 80.33%; 当  $\text{Cl}^-$  浓度为 6.0% 时, 单果重量、果实着色面积、可溶性固形物含量等指标均最高, 分别为 244.73 g、75.4% 和 15.6%。

表 2 不同浓度氯离子对苹果果实产量和品质的影响

$\text{Cl}^-$ 含量	果实横径	横径 $\geq 80$ mm	单果重量	单株产量	果实着色面积	可溶性固形物含量	硬度
/%	/mm	比例/%	/g	/kg	/%	/%	/( $\text{kg}/\text{m}^2$ )
0	78.2	77.50	234.70	135.5	74.3	15.3	8.8
4.8	84.9	70.11	216.87	146.6	75.2	15.2	8.7
6.0	81.8	78.73	244.73	138.6	75.4	15.6	8.5
9.6	82.6	80.33	238.40	125.5	74.5	15.4	7.9

### (三) 不同氯离子浓度对土壤养分的影响

研究表明,土壤施氯能影响植物对 N、P、K 等化学元素的吸收(马国瑞,1993)。本研究结果表明,不同浓度的  $\text{Cl}^-$  处理后,土壤中 N、P、K 水平和土壤 pH 值存在较大差异。随着  $\text{Cl}^-$  浓度的升高,土壤的速效氮含量逐渐降低,速效磷和速效钾的含量逐渐升高。当  $\text{Cl}^-$  浓度为 9.6% 时,土壤中速效氮含量最低为 89 mg/kg,比  $\text{Cl}^-$  为 0 时降低了 6.74%,而土壤的速效磷和速效钾含量最高,分别为 106.5 mg/kg 和 190 mg/kg,比  $\text{Cl}^-$  为 0 时分别增加了 19.26% 和 26.67%。 $\text{Cl}^-$  浓度逐年增加,速效氮含量逐渐降低,可能是由于  $\text{Cl}^-$  的施入抑制了肥料中  $\text{NO}_3^-$  的生成,从而提高氮的利用率(陈铭,1993)。

表 3 不同氯离子浓度对果园土壤养分的影响

$\text{Cl}^-$ 含量/%	速效氮/(mg/kg)	速效磷/(mg/kg)	速效钾/(mg/kg)
0	95	89.3	150
4.8	93	96.9	163
6.0	96	102.6	188
9.6	89	106.5	190

### (四) 连续施氯处理对土壤氯离子的积累和 pH 值的影响

对 2009—2011 年施用含氯肥料的土壤氯离子含量和 pH 值进行了测定,结果表明,随时间的增加,各处理的土壤中  $\text{Cl}^-$  含量均较 2009 年有所降低。但施入含氯肥料的土壤中  $\text{Cl}^-$  含量均显著高于不施氯肥的处理,表明外施  $\text{Cl}^-$  能增加土壤中  $\text{Cl}^-$  积累。同时,除了  $\text{Cl}^-$  为 9.6% 的处理外,不同处理的土壤 pH 值随着施氯年份的增加,土壤 pH 值都逐渐升高。当  $\text{Cl}^-$  浓度为 4.8% 时,土壤 pH 值从 5.9 升高到 6.2,而当  $\text{Cl}^-$  浓度为 9.6% 时,土壤 pH 值先升高至 2010 年的 6.8,随后降低至 2011 年的 6.4。

表 4 不同处理对果园土壤氯离子和 pH 值的影响

$\text{Cl}^-$ 含量/%	$\text{Cl}^-$ 浓度/(mg/kg)			pH 值		
	2009 年	2010 年	2011 年	2009 年	2010 年	2011 年
0	32.6	22.5	20.6	5.2	6.3	6.2
4.8	56.8	24.9	21.3	5.9	6.0	6.2
6.0	35.5	28.4	24.6	6.2	6.3	6.3
9.6	31.9	25.6	22.6	6.6	6.8	6.4

## 四、讨 论

研究表明,施用常量含氯化肥(施氯肥为 100 ~ 200 mg/kg)对花生、甘蓝、马铃薯、大豆和草莓生长无不良影响,往往还有一定促进作用,其产量接近甚至高于对照,对产品品质亦无损害(程明芳等,2010)。含氯化肥对芦笋的肥效高于无氯化肥,在总养分相同的情况下,施用含氯化肥单产可提高 10.70% ~ 16.93%,1、2 级笋比例提高 6.65% ~ 9.86%,且能推迟茎枯病的发生(张来振等,1995)。在浙江小粉土上,适量施氯可增产桑叶 9.0% 左右(沈国新等,1997)。本研究在苹果上的研究也表明,肥料中含有氯离子能显著增加苹果的单株产量,比对照增产 2.29% ~ 8.2%。

关于含氯肥料对土壤的影响,有研究认为  $\text{Cl}^-$  随肥料进入土壤后,由于土壤胶体带负电荷, $\text{Cl}^-$  易淋失,而不会在土壤中积累。而沈浦等(2010)研究表明,长期施用含硫、氯肥料,在一定程度上会引起土壤中  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  的累积,且  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  的累积量会随着施肥量的增加而增加。本研究结果表明,施用含氯肥料会引起苹果园土壤中  $\text{Cl}^-$  的积累。同时,施用含氯肥料能引起土壤中  $\text{Hg}^{2+}$ 、 $\text{Cd}^{2+}$  等重金属离子的积累和土壤 pH 值的下降(沈浦等,2010;崔玉珍等,1991)。研究表明,氯化铵用量越高,土壤 pH 值下降越快,当每公顷施氯化铵 480 kg 和 240 kg 时,耕层土壤 pH 值平均每年分别下降 0.25 个和 0.19 个单位。其原因可能是由于  $\text{Cl}^-$  为致酸离子,在土壤中累积后,造成土壤 pH 值下降,而对水稻生长发育及产量造成一定的影响(邹邦基,1984;李书田等,1996)。本研究结果表明,随着施氯年份的增加,不同处理的土壤 pH 值多呈现逐渐升高趋势。苹果园土壤中氯离子浓度过高会影响果树生长和果园效益,甚至直接毁掉整个果园(司鹏等,2011)。本研究结果表明,当土壤中氯离子浓度超过 6.0% 时,对苹果枝条生长、果实产量和品质有一定的抑制作用,因此认为苹果园土壤中氯离子浓度不应超过 6.0%。

## 参考文献

- 鲍士旦. 2000. 土壤农化分析. 第三版. 北京:中国农业出版社.
- 陈铭,孙富臣,刘更另. 1993. 含硫及含氯化肥对湘南水田土壤酸度和养分有效性的影响. 热带亚热带土壤科学,2(4):189 - 194.
- 程明芳,金继运,李春花,等. 2010. 氯离子对作物生长和土壤性质影响的研究进展. 浙江农业科学,(1):12 - 14

崔玉珍,金安世,董甲珠. 1991. 氯化铵的增产效果及其对土壤性质影响的研究. 土壤通报,22(1):38-40.

黄玉溢,江泽普,黄卓忠. 1997. 酸性水稻土长期施用氯化铵的效应研究. 广西农业科学,(2):78-80.

李廷轩,王昌全,马国瑞,等. 2002. 含氯化肥的研究进展. 西南农业学报,15(2):86-91.

李书田,林葆,李家康,等. 1996. 氯对冬小麦和水稻毒害敏感期的研究. 土壤肥料,(4):5-9,17.

李祖章,陶其骧,范业成,等. 1991. 氯浓度容量对红壤性稻田水稻影响的研究. 江西农业学报,3(2):160-163.

马国瑞. 1994. 含氯化肥使用新技术. 杭州:浙江科学技术出版社,2-59.

马国瑞,王寿祥,钟杭. 1993. 氯对马铃薯同化  $\text{CO}_2$  及吸收  $^{32}\text{P}$ 、 $^{15}\text{NO}_3^-$  的影响. 浙江农业大学学报,19(3):303-306.

毛知耘,周则芳,石孝均,等. 2000. 植物氯素营养与含氯化肥科学施用. 中国工程科学,2(6):64-66.

沈国新,柴晓玲,吴海平. 1997. 桑树的氯营养及氯对桑叶产量和质量的影响. 浙江农业大学学报,23(3):313-316.

沈浦,李冬初,高菊生,等. 2010. 长期施用含硫与含氯肥料对水稻产量及其构成要素的影响. 中国农业科学,43(2):322-328

司鹏,乔宪生,崔国才. 2011. 含氯肥料施用不当对果园造成的危害及对策. 果农之友,(11):22.

苏壮,董翔云,韩晓日,等. 1997. 含氯肥料长期施用对土壤理化性质的影响. 沈阳农业大学学报,28(2):116-119.

王德清,郭鹏程,董翔云. 1990. 氯对作物毒害作用的研究. 土壤通报,21(6):258-261.

张来振,马玉萍,刘炳慧,等. 1995. 含氯化肥对提高芦笋产量和品质的作用. 江苏农业科学,(3):49-51.

钟航,马国瑞. 1993. 氯对马铃薯生理效应的影响. 浙江农业学报,5(2):83-88.

邹邦基. 1984. 土壤与植物中的卤族元素——氯. 土壤学进展,12(6):2-6.

Broyer T C, Carlton A B, Johnson C M, et al. 1954. Chlorine a micronutrient element for higher plants. Plant Physiol,(29):526-532.





**姜中武** 1960年生,山东牟平人,博士。现任烟台市农科院副院长,果树所所长,研究员。担任国家苹果产业体系烟台试验站站长、中国园艺学会樱桃分会副理事长、《烟台果树》杂志主编等职务。

先后主持承担农业部“山东烟台苹果育种中心”、国家苹果产业技术体系山东烟台苹果试验站、“948”项目2项、科技部中保政府科技合作项目2项。完成的“苹果病毒脱除、检测与无毒矮化丰产技术研究”课题,获国家科技进步奖三等奖;主持完成的

红露苹果新品种选育及试栽利用研究、高抗苹果轮纹病砧木‘烟砧一号’选育与开发等3项课题获烟台市科技进步奖二等奖;主持选育出的‘烟砧一号’、甘红、太平洋玫瑰、皮诺娃、华美和早红和等苹果品种通过山东省果树新品种审定;执笔编写的我国第一个红富士品种的分级标准“红富士苹果”(NY/T1075—2006)由农业部颁布实施。在《中国农业科学》、《园艺学报》等杂志发表研究论文80余篇。

# Effect of Foliar Fertilization on Yield, Fruit Quality and Macroelements Content in the Leaves of Granny Smith Apple Cultivar

**Dimitar Sotirov**

Institute of Agriculture, Kyustendil, Bulgaria

**Abstract:** The impact of two mineral and two organic foliar fertilizers applied in the following variants: V0 ++ control; V1 ++ Kristalon white ++0,3% ; V2 ++ Kristalon special ++0,3% ; V3 ++ Humustim ++0,1% and V4 ++ Biohumax ++0,1% , on the yield, average fruit weight, chemical composition of the fruits (dry matter, total sugars and titratable acids) and macroelements content in the leaves of Granny Smith apple cultivar, grafted on MM 106 and planted in the spring of 1986, on leached cinnamonic forest soil, was studied. The research was carried out during the 2004 – 2006. It was found that the treatment by Kristalon white, Biohumax and Humustim led to yields increase by 9.67% , 4.52% and 2.12% , respectively, compared to the control. Kristalon special has no positive effect on the volume of production. There was no significant difference between the variants of foliar fertilizers in the average fruit mass. The greatest percentage of extra quality fruits was obtained in the treatment with Humustim, followed by Biohumax and Kristalon special. The content of dry matter, total sugars and titratable acids was not influenced significantly by foliar fertilizer. A tendency for slightly higher content of dry matter and sugars was observed when Biohumax was used. The concentration of nitrogen, phosphorus, calcium and magnesium in the leaves was within, and for phosphorus and above the optimal levels, established for apple cultivars. Minor differences in the values of nutrients in the leaves between different variants of fertilization indicate that the type of foliar fertilizer did not have significant effect on their accumulation in the leaves.

**Key words:** apple; yield; foliar fertilizers; biochemical composition; quality

## 1 Introduction

In Bulgaria, apple (*Malus domestica* L.) ranks first in production among fruit crops—40 413 t and fourth in area—4890 hm<sup>2</sup> (2011). Golden Delicious and its mutations, Granny Smith, Red Delicious, Idared, Jonagold, Florina and Mutsu cultivars take the biggest share in the production. Annually from the soil are exported significant quantities of mineral nutrients with high yields and isolated in pruning wood. The main way of their recovery is fertilization, which directly affects the quantity and quality of fruits. In optimizing this factor is possible to obtain high production and economic results (Krinkov et al., 1990). Soil conditions, farming practices and climatic conditions during the growth of fruits can have a major impact on the preservation of their quality after harvest (Bramlage, 1993). Most studies have focused on the terms and rates of soil applied fertilizers. The application of foliar fertilizers as a promising direction for managing growth, development and yield in fruit plants has recently become very topical. Reported in the scientific literature data on the influence of foliar nutrition and its effects on fruit quality, however, are insufficient (Ciavatta, Benedetti, 2002, Nachtigall, Dechen, 2006). Developing efficient combinations of foliar fertilizers with advanced additives and establish specific requirements for nutrients in different stages of development of fruit trees will increase the efficiency of leaf fertilization (Porro et al., 2002). Foliar fertilization is irreplaceable in unfavorable weather conditions, soil nutrient fixation, as well as for recovery after different mechanical injuries and other stress factors, but it has a more short-term effect than soil-applied fertilizers (Andrews, 2002; Mengel, 2002). An important condition for the foliar fertilizers effect is their application in the optimal term for specific fruit species, cultivar and region (Swietlik, 2002; Naseri et al., 2002), as well as the achievement of optimal concentration of the solution (Tomala, 1997; Toselli et al., 2002).

Scientific researches in some cases find positive effect of the foliar fertilizers application on the vegetative and productive activities of the apple trees, as well as the quality and storage capability of their fruits (Casero et al., 2002; Ciavatta, Benedetti, 2002; Mayr, Schröder, 2002), changes in total acidity and color of the fruit (Policarpo et al., 2002; Stampar et al., 2002), increasing the content of glucose, sorbitol, solids, malic and citric acid and potassium in fruits (Hudina, Stampar, 2002). In other cases, opinions are of no or negative effect on some biometric

indicators (Perya, 2002). The objective of the study was to evaluate the effect of mineral and organic foliar fertilizers application on the reproductive manifestations, fruit quality and macro elements content in the leaves of Granny Smith apple cultivar.

## 2 Material and methods

This research was carried out during the 2004 – 2006 at Institute of Agriculture-Kyustendil (Bulgaria) in Granny Smith apple cultivar orchard, grafted on MM 106 rootstock. The orchard was established in 1986 on leached cinnamonic forest soil (Chromic Luvisols) with a slightly acid reaction, poorly stocked with alkali-hydrolyzable nitrogen and well stocked with assimilable phosphorus. The planting distances were 4.5 m × 2.5 m (planting density ++ 890 trees per hectare). The soil surface in the orchard was maintained under clean cultivation in alleyways and herbicides along tree rows. Irrigation was done by drip system. Crop management practices for pest control (fungicide and insecticide applications) and tree formation were the usual ones for apples, plus soil and foliar fertilization monitored by means of leaf analysis.

The effect of two mineral and two organic foliar fertilizers applied in the following variants was tested: V0 ++ the control (without application of leaf fertilizers); V1 ++ Kristalon white ++ 0,3%; V2 ++ Kristalon special ++ 0,3%; V3 ++ Humustim ++ 0,1% and V4 ++ Biohumax ++ 0,1%, on a background 180 kg/hm<sup>2</sup> nitrogen (a. i.) introduced into the soil 2 times ++ 2/3 in the spring and 1/3 in the autumn.

Leaf fertilization was applied three times over 10—12 days in these doses annually during May—June. The experiment was set up in randomized design, in 4 replications with 3 trees per plot.

In generally accepted methods for the country were reported and analyzed the following indicators: yield (kg/tree and kg/hm<sup>2</sup>), average fruit weight (g), chemical composition of the fruits-content of dry matter (% , refractrometrically), total sugars (% , by Shoorl) and titratable acids (as malic acid – % , titrimetrically with 0.1 N NaOH). Qualification of fruit-extra, first and second quality, was made according to Ordinance No 108/12.09.2006 of MAF.

To determine the content of macroelements in the leaves were compiled medium-sized samples, which have been analyzed by the methods described by Stanchev et al. (1988). From each tree were taken 10 – 12 healthy, normally developed leaves from the middle part of the yearly shoots between 10 and 15 August in repetitions. The following elements were determined: nitrogen (N) ++ after Keldhal's method,

phosphorus ( $P_2O_5$ ) ++ by colorimetric method with reductor hydrazine sulphate, calcium (Ca) and magnesium (Mg) ++ complex metrically. For interpretation of the data were used limit values for the concentration of chemical elements in the leaves of apple trees, established by Bergmann (1988).

The results were statistically evaluated by analysis of variance (ANOVA) and LSD test was used for the identification of the significance of differences.

### 3 Results and discussion

The tested types and doses of foliar fertilizers had no unidirectional effect on yield in different years. The highest yields of the trees in all variants were obtained during the first year of the study and the lowest in the second year (Table 1). In the first and third year of treatment by foliar fertilization variants were obtained higher yields, compared with the control, but statistically proven (at  $P = 5\%$ ) is the only difference between V1 (Kristalon white) and V0 (control) in the third year. Relatively low yields in 2005 were as a result of damages caused on the reproductive organs of the trees by late spring frosts and possibly atypical weather conditions during summer months (prolonged drought, combined with high temperatures in the range of  $38 - 40^\circ\text{C}$  and low relative humidity) that may have violated the normal absorption of nutrients by plants. In this year the results were contradictory ++ leaf fertilization has not given positive results and yields from fertilization options were lower than the control trees.

**Table 1 The influence of foliar fertilizers on yield and average fruit mass of Granny Smith apple trees (2004 – 2006)**

Variants	Year			Total /(kg/tree)	% of the control	Average fruit mass/g
	2004 /(kg/tree)	2005 /(kg/tree)	2006 /(kg/tree)			
V0 (control)	88.24a	33.63a	70.68a	192.55	100	139a
V1	93.71a	30.05a	87.40 b	211.16	109.67	140a
V2	92.62a	20.97a	76.68a	190.27	98.82	139a
V3	88.88a	30.43a	77.33a	196.64	102.12	142a
V4	101.83a	19.37a	80.05a	201.25	104.52	142
LSD 0.05	33.51	17.54	13.51			18.03
0.01	46.99	24.60	18.94			24.73
0.001	66.41	34.76	26.77			33.66

Note: Means in the columns followed by the same letter are not significantly different at  $P \leq 0.05\%$  (Duncan's test).

Totally for the period the highest fertility had the trees treated with Kristalon

white (V1), where the yield was increased by 9.67%, compared to the control (V0). In other variants the cumulative yields were increased by 4.52% for V4 (Biohumax) and 2.12% for V3 (Humustim), respectively and only in the use of Kristalon special (V2) the yield was reduced by 1.18%, compared to V0. The differences between the different variants and the control, however, were small and not statistically proven.

From an economic point of view the yield per unit area of the plantation is of greater importance. The data showed that the yield calculated per hectare ranged from 17 239.3 kg/hm<sup>2</sup> (V4, 2005) to 90 628.7 kg/hm<sup>2</sup> (V4, 2004). Average for the period the highest yield was achieved by the trees treated with Kristalon white ++ 62 644.13 kg/hm<sup>2</sup>, followed by Biohumax ++ 59 704.17 kg/hm<sup>2</sup> and Humustim ++ 58 336.53 kg/hm<sup>2</sup>. For the variant V2 (Kristalon special) the yield was lower by 676.4 kg/hm<sup>2</sup>, compared to the control (Table 2).

**Table 2 Yield per unit of the plantation**

**kg/hm<sup>2</sup>**

Variants	2004	2005	2006	Average
V0 (control)	78 533.6	29 930.7	62 905.2	57 123.17
V1	83 401.9	26 744.5	77 786.0	62 644.13
V2	82 431.8	18 663.3	68 245.2	56 446.77
V3	79 103.2	27 082.7	68 823.7	58 336.53
V4	90 628.7	17 239.3	71 244.5	59 704.17

The results of the biometric measurements of the fruit showed that the examined doses of foliar fertilizers applied during the period May—June do not have a significant influence on the average fruit mass. Most of the nutrients from the foliar fertilizer applied during this period probably be spent on actively growing shoots and increasing the leaf mass and to a lesser degree for the increase of young fruit set.

The production qualification, according to Bulgarian State Standard, average for the period of investigation, showed that the fruits of extra quality represented the highest percentage in all variants, followed by the first quality fruits and the least by the second quality fruits (Table 2). The greatest quantity of extra quality fruits were produced by the treatment with Humustim (V3) – 86.75%, followed by Biohumax (V4) – 84.79% and Kristalon special (V2) – 84.57%. This percentage was lower in Kristalon white (V1) – 81.18%, compared to the control V0 – 82.83%, but its

quantity of first quality fruits increased by 2.27% .

The dry matter in fresh fruits of Granny Smith apple cultivar has the highest values in variant V4 (12.73%), followed by V3 (12.37%) and V1 (12.33%), and the lowest in V2 (12.0%), compared to the control (12.03%), average for the period (Table 3). The total sugars, in % to the fresh fruit mass, varied slightly between the different variants. The concentration of total sugars was also the highest in V4 (8.47%), and the lowest in V2 (8.30%). The other variants occupied an intermediate position. The content of titratable acidity in the fruits was the lowest in the control trees (0.50%) and the highest in V2 ++ treated with Kristalon special (0.59%).

**Table 3 Chemical composition of Granny Smith apple fruits by different variants of foliar fertilization, average for the 3-year testing period**

Variants	Dry matter/%	Total sugars/%	Titratable acids/%	Sugar-acid coefficient
V0 (control)	12.03a	8.42a	0.50a	17.07a
V1	12.33a	8.34a	0.52a	17.27a
V2	12.00a	8.30a	0.59a	14.24a
V3	12.37a	8.33a	0.54a	16.07a
V4	12.73a	8.47a	0.53a	16.68a
LSD 0.05	1.01	0.48	0.09	3.08
0.01	1.46	0.71	0.13	4.49
0.001	2.19	1.06	0.19	6.73

Note: Means in the columns followed by the same letter are not significantly different at  $P \leq 0.05\%$  (Duncan's test).

Based on the results obtained from chemical analysis of the fruits was calculated their sugar-acid ratio, which is an indicator for determining their taste. This ratio has higher values in V1 and the control (V0) ++ 17.27 and 17.07 respectively, suggesting good organoleptic qualities of the fruits. In V2 this value was the lowest (14.24), which gives the fruit a little sour taste. The established differences between the tested variants of fertilization, both in this and in other chemical parameters (dry matter, sugars and acids) varied in a very narrow range and were statistically unproven. This indicates that foliar fertilizer doses applied practically did not affect significantly the biochemical composition of the apple fruits.

The leaf nitrogen content in the examined variants varied slightly of dry matter content depending on applied foliar fertilization (Table 4). Average for the period it

was from 2.07% in treatment with Humustim (V3) to 2.37% with Kristalon white (V1). The differences between the variants in the most cases were statistically unproven. An exception occurs only for variant V1, as compared to control ( $p = 0.001$ ) and for other variants. The nitrogen concentration of V1 was in the optimal level, and in the other treatments around the lower optimal limit for this element established for the apple (Bergmann, 1988).

The phosphorous concentration in the leaves of the trees was not seriously influenced by the fertilizer. The differences between the variants were within 0.08%, without statistically significant difference in comparison with control and between each other. The lowest concentration was at the V2 (treatment Kristalon special) + + 0.30%, which was the upper optimal limit of the phosphorus (Bergmann, 1988). In other variants the values were slightly above the optimum, probably due to the good phosphorus stuff reserves in the soil.

**Table 4** Nutrient content in the leaves of Granny Smith apple cultivar, % of absolute dry weight (2004 – 2006)

Variants	N	P	Ca	Mg
V0 ( control)	2.12a	0.36a	1.83 b	0.41 a
V1	2.37 b	0.33a	1.95 b	0.35a
V2	2.16a	0.30a	1.86 b	0.42a
V3	2.07a	0.36a	1.78 b	0.39a
V4	2.11a	0.38a	1.46a	0.30a
LSD 0.05	0.11	0.37	0.21	0.42
0.01	0.15	0.52	0.30	0.59
0.001	0.22	0.74	0.43	0.82

The variation in the leaf calcium content was from 1.46% to 1.95%. In the treatment with Biohumax (V4) the calcium concentration was the lowest and the differences with other variants were well defined. In all variants the amount of calcium in the leaves was in the optimal range.

The differences in the magnesium content were insignificant among treatment variants. The highest leaf magnesium concentration was found in V2 ( Kristalon special) + + 0.42%, almost the same quantity was recorded in the control + + 0.41%. The lowest concentration had the leaves from the trees sprayed with Biohumax



(V4) ++0.30% . Magnesium was within and slightly above the optimal limit of this element, independently of foliar fertilizer used.

## 4 Conclusion

The treatment of the apple trees by foliar fertilizers Kristalon white, Biohumax and Humustim led to yields increase by 9.67% , 4.52% and 2.12% , respectively, compared to untreated trees. Kristalon special has no positive effect on the volume of production. We found no significant differences between the applied kind and doses of foliar fertilizers in the average fruit weight. The greatest percentage of extra quality fruits was obtained in the treatment with Humustim, followed by Biohumax and Kristalon special. The content of dry matter, total sugars and titratable acids was not influenced significantly by foliar fertilizer. A tendency for slightly higher content of dry matter and sugars was observed when BIOHUMAX was used, but the differences with the other options are statistically unproven. The concentration of nitrogen, phosphorus, calcium and magnesium in the leaves was within, and for phosphorus and above the optimal levels, established for apple cultivars. Minor differences in the values of nutrients in the leaves between different variants of fertilization indicate that the type of foliar fertilizer did not have significant effect on their accumulation in the leaves.

## References

- Andrews P K. 2002. How foliar-applied nutrients affect stresses in perennial fruit plants. *Acta Hort.* ( ISHS ) ,594:49 – 55.
- Bramlage W J. 1993. Interactions of orchard factors and mineral nutrition on quality of pome fruit. *Acta Hort.* ( ISHS ) ,326:15 – 28.
- Casero T, Benavides A, Recasens I, et al. 2002. Preharvest calcium sprays and fruit calcium absorption in golden “ apples ”. *Acta Hort.* ( ISHS ) ,594:467 – 473.
- Ciavatta C, Benedetti A. 2002. Foliar fertilizers: Legislative aspects in Europe. *Acta Hort.* ( ISHS ) ,594:269 – 276.
- Hudina M, Stampar F. 2002. Effect of phosphorus and potassium foliar fertilization on fruit quality of pears. *Acta Hort.* ( ISHS ) ,594:487 – 493.

Krinkov H, Yovchev I, Karageorgiev D. 1990. Efficiency resulting from foliar dressing with complex mineral fertilizer in horticulture. *Rural Economics and Management*, (1):83 – 87.

Mayr U, Schröder M. 2002. Influence of calcium sprays with different concentrations; spray timing and combinations with prohexadione-ca on the mineral content in “boskoop” and “elstar” apples. *Acta Hort. (ISHS)*, 594:553 – 556.

Mengel K. 2002. Alternative or complementary role of foliar supply in mineral nutrition. *Acta Hort. (ISHS)*, 594:33 – 47.

Nachtigall G R, Dechen A R. 2006. Seasonality of nutrients in leaves and fruits of apple trees. *Sci Agric (Piracicaba, Braz.)*, 63(5):493 – 501.

Naseri L, Arzani K, Babalar M. 2002. Foliar boron, copper and manganese uptakes and concentrations of apple leaves cv. golden delicious on m9 and b9 rootstocks. *Acta Hort. (ISHS)*, 594:229 – 235.

Perya F J. 2002. Properties and performance of boron spray products for apple. *Acta Hort. (ISHS)*, 594:211 – 215.

Polcarpo M, Di Marco L, Farina V, et al. 2002. Effect of foliar nutrition on peach (*Prunus persica L. Batsch*) yield and fruit quality as related to different crop loads. *Acta Hort. (ISHS)*, 594:659 – 666.

Porro D, Comai M, Dorigoni A, et al. 2002. Manganese foliar application to prevent leaf drop. *Acta Hort. (ISHS)*, 594:229 – 235.

Stampar F, Hudina M, Usenik V, et al. 2002. Experience with foliar nutrition in apple orchard. *Acta Hort. (ISHS)*, 594:547 – 552.

Stanchev L, Gurov G, Mashev M. 1988. Guide for chemical analysis of plants, soils and fertilizers, Plovdiv.

Swietlik D. 2002. Zinc nutrition of fruit trees by foliar sprays. *Acta Hort. (ISHS)*, 594:123 – 129.

Tomala K. 1997. Effects of calcium sprays on storage quality of ‘Sampion’ apples. *Acta Hort. (ISHS)*, 448:59 – 66.

Toselli M, Tagliavini M, Le Bris K, et al. 2002. Leaf uptake and tree partitioning of urea-n as affected by concentration and volume of sprayed solution and leaf age of apple trees. *Acta Hort. (ISHS)*, 594:591 – 594.

xxx. Ordinance No 108/12.09.2006g. MAF quality control and compliance of fresh fruits and vegetables. SG. No 84/17.10.2006.



**Dimitar Sotirov** 迪米特里·索特洛夫 (Dimitar Sotirov), 1965 年生, 国籍为保加利亚, 博士、副教授。主要从事苹果、樱桃砧木和砧穗组合研究, 主持保加利亚农业和食品部研究项目 2 项, 参加中保政府科技合作项目 2 项, 选育出 IK-8、IK-9 等 2 个具有保加利亚自主知识产权的樱桃砧木; 参加选育的 Besapara、Gorana、Martina、Superstar 等 4 个苹果和樱桃品种通过国家审定, 目前在保加利亚进行推广应用。在保加利亚《农业科学》、《山地农业科学》等国家

级期刊发表专业论文 60 余篇。2009 年和 2011 年两次来中国进行科技合作交流。现担任保加利亚农业研究所育种研究室主任、保加利亚研究所科技协会成员、保加利亚国家农科院科技成员和保加利亚科技联盟丘斯坦地尔分会成员等职务。

# 我国柑橘园土壤肥力状况与土壤管理对策

胡承孝 等

华中农业大学资源与环境学院

**摘要:**本文通过文献分析和调查研究,明确了我国柑橘园土壤肥力中问题,即养分缺乏与养分过量同时成为柑橘营养障碍;土壤酸化和土壤 Mg、Ca 缺乏而 P、K 富集将不断加剧土壤养分的不平衡,并成为土壤肥力中新问题;而土壤中速效硼、速效氮和有机质缺乏是绝大多数柑橘园土壤肥力中突出问题。分析指出我国柑橘园土壤管理面临的一些特殊性,结合柑橘根系生长对土壤环境的要求,提出“培肥、培土、培园”的柑橘园土壤管理策略。

**关键词:**柑橘园;土壤肥力;土壤管理

## 一、引言

张玉等(2007)调查表明,我国 2005 年柑橘每公顷平均产量为 9.31 t,低于世界的平均产量 14.15 t/hm<sup>2</sup>。在九大产区中,单产有高有低,最高为广西省,达到 13.21 t/hm<sup>2</sup>,是全国平均单产的 1.5 倍;最低为四川省,仅 2.8 t/hm<sup>2</sup>,仅为全国平均单产的 32%。面对我国柑橘产业规模发展快、覆盖区域广、产量水平低的现状,深入分析柑橘园土壤肥力状况及存在问题,提出加强土壤管理、培肥土壤地力的对策、措施,对推动柑橘产业高产、高效、优质、生态、安全生产,实现柑橘产业可持续发展具有重要意义。

## 二、我国柑橘园土壤肥力状况和问题

我国主产区柑橘园大都处于不与粮棉争地的山地,其地理和土壤条件差,加上成土母质本身和雨水淋失等原因,使得土层浅薄、理化性质差,养分缺乏。柑橘长期固定在同一位置上,而且果农长期单一施肥习惯和果实长期按比例带走大量养分,必然导致柑橘园尤其是老化柑橘园土壤供肥能力下降或养分比例不协调,不断诱发营养障碍。近年来,我国柑橘主产区柑橘园缺素症表现为多发、易发、并发的态势。柑橘园土壤养分缺乏必然使柑橘树体养分失调,导致柑橘树势早衰及产量、品质下降,尤其是片面追求柑橘产量的不断增加使得这一问题日

益突出。

按照农业部编制的《中国柑橘优势区域布局规划 2008—2015》,我国今后柑橘发展重点在“四带一基地”:长江中上游柑橘带,浙-闽-粤柑橘带、赣南-湘南-桂北柑橘带和鄂西-湘西柑橘带;特色柑橘生产基地包括岭南晚熟宽皮橘、南丰蜜橘、云南特早熟柑橘、丹江口库区柑橘、柠檬 5 个。其中湖南、福建、广东、四川、广西、湖北、浙江、江西、重庆等为 9 个主产区。

### (一) 广西柑橘园土壤及其肥力状况

柑橘主要分布在低丘陵红壤、砖红壤、冲积土上,土壤呈酸性和微碱性;土壤较贫瘠,高肥力只占 19%;土壤主要母质为花岗岩、石灰岩、砂页岩,一般以花岗岩、浅海沉积物及部分地区砂页岩发育的土壤缺镁。桂北是柑橘主产区,该主产区主要分布在桂林地区和柳州 8 县,土壤类型主要是丘陵红壤和砖红壤,土壤母质为砂页岩和第四纪红土母质;桂中南地区主要种植沙田柚、甜橙和宽皮柑橘,包括柳州南部地区、玉林地区及南宁地区,土壤以丘陵红壤和砖红壤为主,呈酸性或微碱性,黏重,有机质较为缺乏。黄玉溢等(2006)通过对主产区 56 个果园土壤分析表明,广西柑橘园有机质含量丰富而果园土壤普遍酸化,有 66.1% 的土壤 pH 小于 5.5,柑橘园土壤速效氮、速效磷、速效钾缺乏分别占 30.4%、32.1% 和 28.6%,土壤有效钙、有效镁、有效硼缺乏严重而有效铁、有效铜含量过高,尤其低产柑橘园土壤和柑橘叶片 Ca、Mg、Zn、B 都严重缺乏。其中,桂西北柑橘园土壤中,多数土壤 pH 值酸性过强,土壤速效钾缺乏而有效态钙、有效镁、有效铜严重缺乏(何铁光等,2005;余红兵等,2007)。因此,柑橘园土壤酸化,有效态中微量元素(Ga、Mg、Zn、B)缺乏是当前的突出问题。

### (二) 四川柑橘园土壤及其肥力状况

四川柑橘栽培历史悠久,是柑橘的原产区之一。其柑橘最适宜区主要指盆东丘陵、盆西平坝丘陵、盆周山地、川西南河谷等地。四川柑橘园土壤类型主要由侏罗系与第四系沉积物母质形成,尤以侏罗系紫色母质为主,广泛分布于盆地柑橘产区,其形成的紫色土分布最广,占该省耕地总面积的 68.7%。紫色土一般以物理风化为主,风化浅、结构好,富含 K、Ca,土壤肥力水平高于黄壤,但有机质含量较低;紫色土全锌量较高,而有效锌含量低。

### (三) 重庆柑橘园土壤及其肥力状况

重庆柑橘园成土母质多为紫色砂泥岩和石灰岩,土壤类型主要有紫色土、水稻土、石灰(岩)土、黄壤、红壤、黄棕壤、棕壤、粗骨土、黄褐土等,其中紫色土面

积最大,占总面积的 33%。受成土母质的影响,三峡库区柑橘园 4 种不同类型土壤肥力由高到低依次为:水稻土 > 酸性紫色土 > 黄壤土 > 碱性紫色土。重庆库区有柑橘园土壤,60% 的有机质偏低,72% 的速效氮缺乏,41% 的速效磷缺乏,缺乏有效硼、有效锌、有效铁、有效锰的比例分别为 86.3%、37.9%、27.0%、20.3%,即多数柑橘园土壤大量元素的有效含量缺乏,碱性紫色土有效铁和有效锌含量较低(淳长品等,2009)。王秀英(2011)对重庆 10 个有代表性的柑橘产区 351 个柑橘园成熟期随机采样分析表明:由东北向西南土壤 pH 值呈逐渐降低趋势,83.5% 的柑橘园土壤 pH 值适宜;53% 的样本有机质含量偏低,土壤速效养分缺乏比例由高到低依次为 B(98.6%)、N(89.7%)、K(55.6%)、P(51.6%)、S(46.4%)、Zn(42.7%)、Fe(36.2%)、Mn(24.8%)、Mg(9.1%)、Ca(8.6%)、Cu(5.7%)。因此,提高土壤有机质和增施硼肥,是不容忽视的增产增收措施(周鑫斌等,2010)。

#### (四) 湖北柑橘园土壤及其肥力状况

湖北适宜柑橘生长的面积相当广,集中分布在鄂西南、鄂西北和鄂东南 3 片。鄂西南是湖北柑橘生产重要基地,包括夷陵、秭归、宜都、兴山、松滋、恩施、巴东等地,其中兴山、秭归、巴东及夷陵等县市构成三峡河谷甜橙亚区,是湖北省甜橙集中产区,成土母质有红砂岩、黄色泥质页岩、紫色页岩、千枚岩及近代河流冲积物,紫色土和山地黄壤是主要土壤类型;橘园土壤类型主要为黄壤、紫色土、石渣子土,土壤肥力一般较差,有机质含量偏低,而紫色土含 P、K 丰富且物理性状较好。整个区域柑橘园土壤养分变异较大,土壤有机质、碱解氮偏低,土壤速效钾和有效硼、有效锌也出现地域性缺乏。鄂西北主要包括丹江口库区柑橘生产基地以及谷城、郧县等县市,是温州蜜柑的适宜区和次适宜区,土壤类型主要是黄棕壤、棕色石灰土、石渣子土,一般土层较厚但肥力较低。黄棕壤由泥质岩类的沉积物和残积物发育而成,质地黏重;郧县、丹江口属于土壤有机质贫瘠区,土壤碱解氮、速效钾、有效锌偏低,有效硼、有效钼也一定程度缺乏。鄂东南柑橘种植区较小,以阳新、通山、广济为主,主要发展温州蜜柑;成土母质主要是砂页岩、花岗岩和石灰岩,还有第四纪红色黏土和近代河流湖泊的淤积物,主要土壤类型为黄壤、红壤、石渣子土及部分暗紫色土,土层较深厚,淋溶较严重,有机质含量低,养分稍丰富,但有效硼缺乏。王富华等(2001)通过对 118 个代表性果园土壤分析,结果表明:鄂西北到鄂东南 pH 值由碱性经中性到酸性渐变,鄂西、秭归、宜昌、宜都都为微酸性;有机质、速效氮、速效磷、速效钾以及有效铁、有效锰、有效铜、有效锌,从鄂西北到鄂东、鄂东南(除速效钾外),均呈增加趋势,但普遍偏低;有效钙、有效镁含量以鄂中较高,鄂东、鄂东南不足。湖北省 143 个柑橘园

土壤分析结果表明(鲁剑魏等,2002),89.5%的柑橘园土壤 pH 值适宜,59.4%的有机质含量偏低,主要养分速效含量缺乏比例由高到低依次为 N 78.3%、K 77.6%、B 77.4%、Zn 63.6%、P 44.1%、Ca 39.1%、Mg 37.1%、Mo 35.5%、Fe 34.3%,其中鄂南柑橘园土壤偏酸,有效钙、有效镁缺乏,有效铁、有效锰和有效锌含量较高,而鄂北情况与其相反。

### (五) 湖南柑橘园土壤及其肥力状况

湖南山地柑橘园主要分布在海拔 400 m 以下的红壤和红黄壤地带。调查发现,旱地红壤缺 Ca 比例为 49.3%,黄壤缺钙比例为 81.2%;红壤、黄壤缺镁比例分别为 51%、68%。全省柑橘种植分 6 个区:一是湘西柑、橙区,包括湘西自治州,怀化地区沅陵、溆浦等 7 县市以及安化县的西部,多为红黄壤;二是衡零柑、橙区,包括衡阳地区,零陵地区东安等 3 县及郴州地区的莱阳县,土壤类型除衡阳盆地主要为紫色土外,多为红壤,植被条件差,水土流失严重,地力下降;三是湘南甜橙区,包括零陵、郴州两地的道县、江华、宜章等 9 县,是温州蜜柑最适宜区和甜橙适宜区,土质多为红壤,地力中等;四是怀南甜橙区,包括怀化地区 5 个县,地形复杂,多为红黄壤,植被条件好,地力较高;五是长潭温州蜜柑区,包括长沙、株洲及浏阳、平江、宁乡、湘乡、湘潭等 5 县,丘陵台地分布广,多为红壤,植被条件较差,土壤浅薄;六是娄邵温州蜜柑区,包括娄底市和邵阳地区,位于雪峰山脉东南侧的弯曲处,以红黄壤为主。

### (六) 江西柑橘园土壤及其肥力状况

江西柑橘园土壤类型以红壤为主,分布在岗地、低丘,红壤可分为红黏土红壤、红砂岩红壤、变质岩红壤、花岗岩红壤和石灰岩红壤 5 种。红壤普遍的问题是酸、瘦、板、黏,但石灰岩和花岗岩红壤为中性和微碱性且自然肥力最高,红砂岩和花岗岩红壤通透性好。赣南橙柚产区,柑橘种植区主要土壤类型为红壤和紫色土,紫色土 pH 值为 7~8.5,有机质 1% 左右,主要以紫色为主;红壤可分为麻沙土、粉沙土、红砂泥土及黄泥土,黄泥土分布最广,有机质为 1% 左右,而红砂泥土有机质可高达 3% 左右。调查表明,赣南 8 县 54.8% 的柑橘园有机质偏低,87.1% 的柑橘园碱解氮缺乏,但 P、K 过量与缺乏(42%、39%)并存(刘桂东等,2010)。南丰蜜橘生产区,以南丰和南城两县为重点,土壤类型主要有红壤、红砂泥土、黄砂泥土、鳝泥土。李祖章等(2005)报道,南丰蜜橘橘园所有土壤酸度均低,特别是 20~40 cm 土壤 pH 值均小于 5,有机质含量除个别橘园外都小于 1%,南丰蜜橘 N 素养分适宜而 P、K 养分偏低或缺乏,红壤旱地有效钙含量较低,土壤有效镁含量普遍偏低,有效锌含量在适宜范围边缘,早在 1982—1984 年

诊断南丰橘园土壤有效硼含量平均为 0.13 mg/kg,且低于 0.5 mg/kg 的占 99%。

### (七) 浙江柑橘园土壤及其肥力状况

浙江省柑橘种植主要区域为衢州、台州、宁波、丽水、金华等地。酸性红壤柑橘园土壤养分限制因子依次为 P、pH、N、K、B、Mo、Mg;在 pH 值较高的滨海盐土,一般以缺 Fe 为主。衢州土壤类型多样,分布于海拔 100 ~ 400 m 的中低丘陵红壤是柑橘主要种植区,其土层较厚、代换性能差、保肥力弱,P 素多被固定而低效;土壤有机质及营养元素缺乏,有机质含量仅在 1.0% 以下,土壤有效硼偏低。台州柑橘园土壤类型主要是红壤、黄壤以及部分盐碱土,调查发现,其土壤有机质含量不足而速效磷超标,其他元素过量或不足问题并存(温明霞等,2007)。丽水市土壤类型多样,主要以红壤为主,还包括岩性土(紫砂土、红紫砂土、棕黏壤)和少量潮土;红壤一般土层较厚,肥力中等,腐殖质含量占土壤有机质的 22% 左右,土壤有机质在 3% 左右;岩性土以紫色土为主,土层薄,有机质含量较低,潮土肥力不足,养分缺乏(程文亮等,2003)。台州市是浙江省温州蜜柑最适产地,徐春燕等(2011)于 2009 年对台州近 30% 柑橘园土壤取样分析表明:强酸性与极强酸性土壤样品占 52%,碱性与强碱性土壤占 34%,土壤酸化和碱化严重;24% 的柑橘园土壤有机质不足,30% 的柑橘园水解氮不足,速效磷、速效钾达到适宜及丰足水平的比例分别为 88% 和 78%。总体上,浙江柑橘园土壤酸化趋势明显;有 40.0% 土壤有机质属偏低范围;土壤速效氮、速效钾缺乏分别占 30.0% 和 45.0%;一些柑橘园存在磷过量现象;有效钙、有效镁缺乏的柑橘园都达到 60.0%;土壤有效铜、有效铁、有效锌含量存在过量现象;分别有 70.0%、40.0% 的柑橘园缺乏有效硼、有效锰(王涛等,2009)。

### (八) 福建柑橘园土壤及其肥力状况

福建省是全国柑橘主要产地之一,栽培历史悠久,南部椪柑栽培面积最大,产量最高。柑橘产区多为赤红壤和红壤,赤红壤主要分布在海拔 400 m 以下的丘陵、台地,是柑橘的主要种植区;红壤分布在 400 ~ 1000 m 的丘陵、山地(朱鹤键等,1991)。全省农地土壤有机质含量普遍较低,通过对永春等 10 县市柑橘示范园调查显示,84% 的示范园土壤显著酸化,土壤速效钾和交换性 Ca、Mg 偏低,土壤有效硼、有效铜过量现象尤为普遍,并伴随 Zn 缺乏(李健等,1998)。杨军华(2005,2007)报道,福建沿海地区土壤 Mo、Se、S 丰富,而 Ca、Mg、Cu、B、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Mn 等元素普遍缺乏,且 pH 值偏低;芦柑果园土壤 pH 值偏酸和 Ca 等元素缺乏更为严重。福建尤溪金柑主产区土壤有机质、有效磷和有效锌含量比较丰富,碱解氮、速效钾含量中等,Ca、Mg、B 含量比较缺乏(傅长珠,2008)。



### (九) 广东柑橘园土壤及其肥力状况

广东种植柑橘的丘陵山地土壤类型主要有红壤、砾质壤土、黄壤土、紫色土等,红壤是广东分布最广的土壤类型,成土母质多数是花岗岩及部分石灰岩、玄武岩等,其土壤缺点包括普遍酸性强、有机质少和有效氮、有效磷、有效钙、有效镁较少等多方面;黄壤土的成土母质是花岗岩和砂岩,其土壤土质贫瘠、土色较浅、结构紧密;紫色壤土的成土母质是页岩和砂岩,土壤矿质营养丰富,含 Ca 较多,易形成团粒结构,土壤疏松肥沃,普遍呈碱性,P、Mn、Zn、Fe 等元素不易溶解。调查发现,柑橘园土壤有机质、碱解氮含量为中下水平,有效磷、有效铁、有效锌较高,速效钾、速效锰为中上水平,有效钙中等,有效镁和有效硼较缺乏。柑桔园土壤主要障碍因素是低 Mg、缺 B 及 K、Ca、Mg 养分不平衡(姚丽贤等,2006)。

### (十) 我国部分产区柑橘园土壤肥力状况的比较分析

2009 年,我们通过现代柑橘产业技术体系综合试验站组织开展主要柑橘产区柑橘园土壤肥力定点调查,即每个试验站定点 5~15 个柑橘园,于柑橘采果前后,按规程采取柑橘园土壤和柑橘叶片、果实样品,所采样品应及时寄送华中农业大学进行处理和分析测定。表 1 统计分析了 7 省市 10 个试验站定点柑橘园土壤 13 个肥力常规指标数据。

为有利于比较和说明问题,首先参考国内外柑橘园土壤肥力评价指标值中适宜范围的下限为标准(表 1)。其次,对各指标测定值进行标准化处理,即平均标准化值为各试验站柑橘园土壤肥力指标测定平均值与标准值的比值,标准化值为常数,不赋单位。再次,为便于比较,定义标准值和、整体富裕度和综合平衡值,标准值和是指各土壤肥力指标标准化值之和,表示这个肥力指标的整体富裕度,该值与地点数的比值,低于 1 越远表示整体缺乏越严重,高于 1 越远表示整体富裕越严重;综合平衡值是指同一柑橘园或区域柑橘园土壤各肥力指标标准化值减去 1 后的绝对值之和,表示土壤肥力的总体平衡状况,值越大,表示越远离平衡。

由表 1 数据计算得到 7 省市 10 个试验站定点柑橘园土壤 13 个肥力指标整体富裕度由低到高依次为:速效氮 0.70、速效硼 0.77、有机质 0.82、速效镁 0.84、pH 0.89、速效钙 1.0;速效钾、钼分别为 1.7 和 1.9,处在 2.0 以内;速效磷、铁、锰分别为 2.7、4.4 和 4.4,处在 2~5 之间;而速效铜、锌分别达 6.4 和 8.4,养分肥力指标的富裕度超过 2 甚至 5 后必能带来负面效应。因此,总体地讲,调查的柑橘园土壤最缺乏速效氮、速效硼,然后是有机质和速效镁;有效铜、有效锌、有效铁、有效锰过于富裕,其负面效应值得关注。

表 1 2009 年我国部分产区柑橘园土壤肥力状况比较

产区	样点	pH	有机质含量 /(g/kg)	土壤有效、速效养分含量标准化值(A. V.)及分布/%										
				N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
	标准/(mg/kg)	6.0	15	100	15	100	1000	150	10	5	0.5	1.0	0.5	0.1
	标准值和	8.9	8.2	7.0	27	17	10	8.4	44	44	64	84	7.7	19
	≤0.5	0	88	100	25	0	0	12	12	12	0	38	0	0
陕南 8	≥1.5	0	12	0	50	62	12	38	38	75	62	0	0	100
	A. V.	1.0	0.4	0.4	2.0	1.6	1.3	1.2	1.6	2.4	1.8	0.7	0.9	2.7
	≤0.5	0	6	19	12	0	25	25	12	12	6	0	62	0
重庆 16	≥1.5	0	0	0	62	19	31	6	81	69	62	75	0	56
	A. V.	0.9	0.9	0.7	2.3	1.2	1.4	1.0	5.4	3.1	11	6.0	0.4	1.8
	≤0.5	0	12	12	0	12	0	0	75	50	0	0	0	0
丹江 8	≥1.5	0	0	0	25	75	75	62	12	25	50	12	38	100
	A. V.	1.1	0.7	0.7	1.2	1.6	1.7	2.0	0.6	0.9	1.7	1.2	1.4	2.4
	≤0.5	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	20	20
秭归 5	≥1.5	0	0	0	40	100	100	20	80	100	60	100	0	40
	A. V.	1.2	0.8	0.9	2.1	2.3	3.0	1.7	7.3	12	3.4	2.7	0.8	1.6
	≤0.5	0	14	14	14	0	43	86	0	28	28	0	43	0
赣南 7	≥1.5	0	0	0	86	57	0	0	71	43	43	100	0	57
	A. V. 47	0.8	0.7	0.6	3.8	1.7	0.6	0.3	2.5	2.9	2.0	37	0.6	1.9
	≤0.5	0	57	100	71	57	71	86	28	0	57	0	71	28
南丰 7	≥1.5	0	0	0	0	0	0	0	43	86	43	57	0	43
	A. V.	0.7	0.5	0.2	0.3	0.7	0.3	0.3	4.2	6.0	1.7	7.2	0.3	1.5
	≤0.5	0	0	11	11	0	44	67	0	0	33	0	56	0
湘西 9	≥1.5	0	0	0	89	11	11	0	100	89	11	78	11	33
	A. V.	0.8	0.8	0.8	3.2	1.0	0.7	0.5	7.6	9.2	0.9	6.6	0.7	1.5
	≤0.5	0	0	12	0	12	88	50	0	38	12	12	38	0
湘南 8	≥1.5	0	12	0	62	38	0	0	38	38	50	50	0	62
	A. V.	0.8	1.0	0.7	3.6	1.6	0.3	0.5	1.3	1.4	3.9	8.3	0.7	2.7
	≤0.5	0	0	0	0	0	100	100	0	40	0	0	0	0
永春 5	≥1.5	0	20	0	100	100	0	0	100	0	100	100	0	20
	A. V.	0.7	1.2	1.0	4.5	1.9	0.2	0.2	6.2	0.6	22	2.7	0.8	1.5
	≤0.5	0	0	0	0	0	20	40	0	0	0	0	40	20
梅州 5	≥1.5	0	40	20	100	80	20	0	100	40	100	100	40	40
	A. V.	0.9	1.2	1.0	4.3	3.5	1.1	0.7	7.6	5.1	16	12	1.8	1.7

7省市10个试验站柑橘园土壤13个肥力指标的综合平衡值,由低到高依次为:湖北丹江口柑橘北缘综合试验站6、陕西城固柑橘综合试验站8、湖南郴州湘南脐橙综合试验站18、江西南丰蜜橘综合试验站20、重庆三峡库区甜橙综合试验站和湖南吉首湘西椪柑综合试验站均为25、湖北秭归三峡库区脐橙试验站28、福建永春芦柑综合试验站36、广东梅州沙田柚综合试验站45、江西赣南脐橙综合试验站47。由北或西北向南或东南柑橘园土壤肥力综合平衡值越大。

综合文献分析和调查可知,我国柑橘园土壤肥力变化的基本趋势是,由北或西北向南或东南,土壤肥力综合平衡值越来越大,即土壤养分供应越来越不平衡,养分缺乏与养分过量同时成为柑橘营养障碍,如Cu、Zn可能成为污染元素。存在的问题表现为,速效硼、速效氮和有机质缺乏是绝大多数柑橘园土壤肥力中突出问题,随着由北或西北向南或东南发展,土壤酸化,土壤Mg、Ca缺乏而P、K富集将不断加剧土壤养分的不平衡,并成为土壤肥力中的新问题。

### 三、我国柑橘园土壤管理的特殊性

#### (一) 柑橘园土壤有机质含量下降与山地橘园有机质来源缺乏的矛盾

由于柑橘园本身立地条件差,加上重视化学肥料施用而有机肥料的施用不足,柑橘园土壤有机质含量低是土壤管理面临的首要问题。冯洋等(2010)选取重庆市新建的50个有代表性的规模柑橘园中,土壤有机质含量缺乏的占54.41%,而有机质含量丰富的仅占4.41%;周鑫斌等(2010)对三峡重庆库区459个柑橘园调查表明,柑橘园土壤有机质含量偏低的占60.3%;林媚等(2007)对浙江省台州市20个有代表性的规模柑橘园进行调查,土壤有机质缺乏的也占35%。土壤有机质缺乏,不仅影响土壤保水、保肥性能,同时也会加剧土壤酸化,不利于柑橘园可持续生产。

然而我国柑橘园大多为丘陵山地,如果有机肥充足,即使在山地果园也能保持果实品质优良,但调查发现,一方面我国绝大多数山地果园土壤有机质含量极低;另一方面限于有机质来源、农村劳动力和生产成本等诸多的问题,目前柑橘产区采用多施有机肥来克服品质退化显得力不从心。

#### (二) 柑橘园土壤必需营养元素的缺乏与某些元素过量的矛盾不断加剧着柑橘体内的营养失调

果树正常生长不仅需要大量N、P、K元素,同时还需要其他中微量元素,如Ca、Mg、Fe、Zn、B、Mo等。而在常规的柑橘施肥中,营养元素种类比较单一,并没有加入中微量元素,各地立地条件也不尽相同,从而造成土壤必需营养元素缺乏

与某些元素过量的矛盾而引发树体营养严重失衡。表现为:第一,柑橘生长发育所必需的微量营养元素明显缺乏;第二,在各地不同种类的土壤中,由于长期单一的施肥习惯,一些土壤中的一种或几种营养元素(如 P、Zn、Cu)超出了树体生长发育的需要,反而产生负面的影响。这些状况直接影响了柑橘的产量和品质。冯洋等(2010)的调查还发现,92.59%的柑橘园有效硼含量严重缺乏,其中极缺的占31.85%,而造成这种现象的根本原因就是农户只注重大量元素的使用,很少单独使用微量元素肥料。黄玉溢等(2006)在广西的调查表明,柑橘园土壤有效钙、有效镁、有效硼缺乏较严重,而有效铁、有效铜含量却超出了树体正常生长所需范围,分析其原因:第一,土壤酸化导致土壤中有效钙、有效镁缺失而使铁的有效性得到极大的提高,造成有效铁过量;第二,尽管当地土壤本身缺硼,但常年没有施用硼肥,连续喷施含铜杀菌剂导致柑橘园土壤硼含量严重缺乏、有效铜含量过高。

### (三) 柑橘园土壤营养与树体营养存在着明显的不一致性

柑橘为多年生常绿果树,与大田作物比,其吸收利用土壤养分具有特殊性。

一是土壤营养水平并不能代表树体营养水平。柑橘为多年生常绿果树,根系不但深且常年扎于一地,施肥也是点施和沟施难以混匀。加上柑橘大多栽植于山坡地,受其土壤理化性质的影响,许多营养元素的可供性很差。故养分的土壤分析结果与叶片常常会存在较大的差异,因此,柑橘的平衡施肥必须是以叶片营养诊断为主、以土壤诊断为辅的矫正施肥。

二是砧木对柑橘树体营养具有特殊重要性。柑橘为嫁接繁殖,水分和养分绝大部分靠砧木根系吸收,而不同种类的砧木对酸碱、瘠薄、干旱、低温、病虫害等的抗性,以及对不同养分的吸收能力差异较大,进而影响柑橘根系活力和吸肥能力。

三是柑橘不同种类、品种及生命周期、年周期严重影响树体对土壤养分的吸收和利用。一方面,柑橘含柑、橘、橙、柚、金柑、柠檬等不同种类,同一种类又有许多的品种,柑橘不同的种类和品种对养分需求的差异较大。如温州蜜柑、脐橙等的缺素症状差异明显易识别,椪柑缺素症状差异不明显且不易识别;纽荷尔脐橙缺硼、缺镁症状明显,而同一土壤条件下的华盛顿脐橙却没有症状表现,等等。另一方面,柑橘生命周期较长,其生长、结果、盛果、衰老和更新等不同年龄时期有其特殊的生理特点和营养需求,不同养分在不同器官中的分布比例也有明显差异,故在不同树龄和产量条件下,其营养需求可能完全不同。再则,柑橘越冬叶片所含营养对当年植株的生长与结果至关重要,柑橘当年抽枝展叶、萌芽开花、幼果发育所需要的营养大部分来自于就近的越冬叶片,柑橘40%以上的储

藏营养为越冬的老叶,其营养水平很大程度上代表了树体的水平。

#### (四) 柑橘园土壤养管理对控制农业面源污染、保障生态安全至关重要

坡地果园是南方山地丘陵区常见的土地利用方式之一,但由于南方降雨充沛,植被破坏严重,土壤养分元素在降雨条件下随地表径流、侵蚀泥沙、地下径流进入到湖泊、河流,土壤养分流失既导致土壤生产力下降,又由于进入到湖泊、河流中的径流及泥沙富含 N、P 等营养元素而引起水体富营养化,形成污染。我国主要柑橘产区多与重要水系相连,如长江上中游柑橘产区,陕南、丹江柑橘产区所属的南水北调中线工程的汉水水系,赣州产区的香江水系,桂北柑橘产区的漓江等,如果长期缺乏有效管理,偏施氮、磷肥或盲目施肥,一方面是整体上不会改善果园和树体营养水平及养分平衡状况而导致施肥效益下降;另一方面则引发大量养分流失,致使果园周边水域 N、P 富集,水体富营养化而诱发生态危机。

### 四、我国柑橘园土壤管理对策

柑橘根系的伸长与分布受品种、砧木、树龄、土层深度、地下水位及农业措施的影响,其中土层深度影响最大。柑橘根系分垂直根和水平根,它们的生长有互相制约的关系。如柑橘定植后,3~5 年垂直根首先发育长粗而抑制水平根的生长,并导致地上部徒长,延迟开花结果期,因此,必须在柑橘幼年期有效地抑制垂直根伸长,促使水平根网优先形成,以利于幼树转向生殖生长而提早结果。根据柑橘根系生长对土壤环境的要求,我们提出“培肥、培土、培园”的柑橘园土壤管理策略。

#### (一) 培肥地力,改善营养环境,解决树体的养分需求与营养平衡问题

首先是推广柑橘矫正施肥技术,平衡土壤养分含量。连续三年 N、P、K 配合施用后,随着施磷水平的提高,即 N0P0K0、N2P0K2、N2P1K2、N2P2K2、N2P3K2 处理,纽荷尔园土壤速效磷依次为 26 mg/kg、34 mg/kg、56 mg/kg、68 mg/kg、68 mg/kg,红肉脐橙园则依次为 34 mg/kg、47 mg/kg、79 mg/kg、90 mg/kg、103 mg/kg,均逐步提高。随着施 K 水平的提高,即 N0P0K0、N2P2K0、N2P2K1、N2P2K2、N2P2K3 处理,纽荷尔园土壤速效钾依次为 84 mg/kg、98 mg/kg、151 mg/kg、181 mg/kg、218 mg/kg,红肉脐橙园则依次为 87 mg/kg、183 mg/kg、205 mg/kg、241 mg/kg、329 mg/kg,均逐步显著提高。尤其是与绝对对照 N0P0K0 比,配施 N、K 即 N2P0K2 或 N、P 即 N2P2K0 均能显著提高土壤速效磷或钾含量,即能够活化土壤养分。总结多年试验,我们提出了“以果定肥、因土补肥、因树调肥”的柑橘矫正施肥技术体系,“以果定肥”即根据柑橘果实产量、单位果实产量养分带走

量推算果实目标产量 N、P、K 基本用量;“因土补肥”即根据柑橘园土壤养分测定值和土壤养分含量分级标准,按照“缺什么补什么”的原则,提出需要补充的养分和补充量;“因树调肥”即根据柑橘叶片养分测定值、柑橘叶片养分含量分级标准以及柑橘品种、树龄、树势调高或调低肥料用量,调节肥料养分比例。

其次增施有机肥,提高土壤有机质含量。增施有机肥既是提高果园土壤缓冲性的重要措施,也是保证柑橘优质丰产的重要手段。基肥主要是将化肥与各种有机肥,如鸡粪、猪粪、羊粪、牛粪等混和,有机肥施用,要提前进行腐熟,避免直接施用鲜物。每亩施用农家腐熟肥 2~3 t,混加化学肥料,最好结合冬耕深翻,沿树冠下环状沟施或穴施。施肥沟要每年变换位置,还可结合秋刨园撒施,但幼树应避免全园撒施。

## (二) 培育土壤,改善土壤环境,解决柑橘根系生长与养分吸收的问题

第一,制定和执行柑橘施肥成套技术。

要使柑橘园土壤平衡和全年持续有效地供应各营养元素,就必须长期保持土壤肥力,必须执行柑橘园施肥成套技术,具体要求:① 有机肥与无机肥相结合。② 大量元素与微量元素相结合。施用适量的微量元素肥料可以解决因缺素造成的柑橘减产和品质下降问题,并可以提高 N、P、K 肥料利用效率。③ 基肥与追肥相结合。杜利民(1998)研究表明,陕西柑橘园秋季施用基肥平均增产 16.8%。在春、夏季追肥,可以保证土壤养分的供应,起到稳果、壮果的作用。根据实际情况,因地制宜,科学制定和实施柑橘施肥成套技术,才能提高土壤肥力水平和保肥供肥能力,以协调养分比例、持续养分供应。

第二,防治土壤酸化控制土壤污染。

李忠国(2000)研究表明,在酸性土壤施用碱性肥料,增加了土壤中的钾离子、钠离子和氢氧根离子的浓度,有利于提高土壤 pH 值,能有效地防治因施肥和柑橘园土壤管理不当而造成的土壤酸化现象。另外,还有一些碱性土壤改良剂也被应用于土壤酸化的改良。其中,石灰和工业废渣(主要有钢渣、煤灰等)是比较常见的碱性土壤改良剂。施用工业废渣,能中和土壤酸度,提高土壤 pH 值,还可提供 Ca、Mg、Fe 等营养元素。另外,在黏质土壤中施用废渣还可以改良土壤质地,疏松土壤耕层,有利于柑橘园的长期发展。事实上,土壤酸化能够提高土壤重金属元素生物有效性,而提高土壤 pH 值则能够降低土壤重金属元素的有效性而控制其污染。

第三,采用果园生草、套种绿肥改善土壤环境。

果园生草是指在果园行间或树下种植一年生或多年生豆科或禾本科草本植物,是坡地果园控制水土以及养分流失常用的措施之一。李德荣等(2004)研究

认为,修建梯田必须在梯壁植草以及结合全园植草可以更好地防止水土、P 素等的流失。张成梁等(2006)发现,红壤坡地果园植草后显著减小地表径流系数,且随着时间的推移植被覆盖率随之增大,地表径流系数呈减小趋势,植草后土壤理化性质均有不同程度的提高。丁光敏等(2006)研究表明,果园水土流失主要出现在幼龄期,措施不当的果园在3年内处于轻度或强度水土流失状态;梯田工程和生物措施对坡度果园泥沙和径流都有显著的调控作用,生物措施的调控作用前期尤其明显。郝淑英等(2003)认为,果园生草栽培后土壤有机质增加,土壤结构得到改善,土壤有机质含量较清耕对照增加 0.19% ~ 0.57%、土壤容重降低 4.2% ~ 10.0%、土壤孔隙度增加 2.5% ~ 5.5%。

第四,推广果园覆盖和免耕法改善土壤环境。

地膜覆盖是利用厚度为 0.002 ~ 0.02 mm 的聚乙烯塑料薄膜覆盖在地表的一种增温保墒措施。马庆斌和巴荣(2004)在山地板栗产区实行地膜覆盖发现,覆膜处理的土壤含水量最高,土层储水量平均提高 31.7%。

秸秆覆盖是利用秸秆等作物性物质覆盖土壤表面的一种增温保墒措施。丘陵山地杏园连续5年秸秆覆盖较对照园平均每亩增产 202.5 kg,树冠半径和树高分别大 9 cm 和 30 cm(刘建军,柳小红,2004)。但秸秆覆盖需考虑覆盖量和覆盖时间及覆盖可能引起的病虫害滋生,如较湿季节或较湿土壤带,覆盖量过多造成土壤过冷或过湿,植株生长不利;干旱季节和地区,加大覆盖量,有利于覆盖保墒(丁三姐等,2006)。

免耕法是一种省时、省力、节约成本的果园土壤管理方法,但在长期进行免耕的柑橘园中,土壤中有机质和矿质养分不能得到及时补充,不利于果园的长期发展。因此,免耕法只是用于土层深厚、土质较好、土壤肥力高且降雨量充沛地区的柑橘园,可以维持土壤自然结构,使土壤拥有较强的水分渗透性和保水性能。

我们采用径流小区试验,设置不施肥、平衡施肥(BF)、增量施肥(125% BF)、植草覆盖(125% BF + PG)、四次施肥(125% BF + FT)等土壤与养分管理措施,连续2~3年结果说明,采用 125% BF + PG + FT 可以兼顾经济效应和环境效应。

### (三) 培植果园,防治水土流失,解决柑橘园建设与区域生态环境建设问题

第一,果园水土保持措施。包括修建平台梯田、等高梯田、单株平台、环山沟等。

第二,坡地果园生物及农艺水土保持措施。一是台壁植草。在各类梯田的外壁种植适宜的草本植物,不仅可以有效地保护台壁,防止水土冲刷,而且可以

避免果园杂草丛生,还可就地生产果园地面敷盖的材料。试验表明,台壁种植百喜草最为适宜。二是种植草沟。在坡地果园排水沟内种植适当的草本植物,用以防止土壤冲蚀。三是植草覆盖。比较试验表明百喜草是最适宜的草种。四是等高耕作。五是集约栽培,如在果树株间和行间适当间作,不仅可以增加收益,更重要的是有利于水土保持;在坡面外侧种植宿根草本植物,对土壤侵蚀也有明显的抑制作用。

## 五、结 论

综合文献分析和调查研究,由北或西北向南或东南,我国柑橘园土壤养分供应越来越不平衡,养分缺乏与养分过量同时成为柑橘营养障碍,如 Cu、Zn 可能成为污染元素;土壤酸化,土壤 Mg、Ca 缺乏而 P、K 富集将不断加剧土壤养分的不平衡,并成为土壤肥力中新问题。而土壤速效硼、速效氮和有机质缺乏是绝大多数柑橘园土壤肥力中突出问题。

我国柑橘园土壤管理面临一些特殊问题,具体表现为:柑橘园土壤有机质含量下降与山地橘园有机质来源缺乏的矛盾,柑橘园土壤必需营养元素的缺乏与某些元素过量的矛盾不断加剧着柑橘体内营养失调,柑橘园土壤营养与树体营养存在着明显的不一致性,柑橘园土壤养分管理对控制农业面源污染、保障生态安全至关重要。针对这些特殊性,根据柑橘根系生长对土壤环境的要求,提出“培肥、培土、培园”的柑橘园土壤管理策略,具体包括:培肥地力,改善营养环境,解决树体的养分需求与营养平衡问题;培育土壤,改善土壤环境,解决柑橘根系生长与养分吸收的问题;培植果园,防治水土流失,解决柑橘园建设与区域生态环境建设问题。

## 参考文献

- 张玉,赵玉,祁春节. 2007. 中国柑橘产业可持续发展制约因素与对策. 中国热带农业, (5):10 - 11.
- 黄玉溢,刘斌,陈桂芬. 2006. 广西柑桔园土壤有效养分含量研究. 西南农业学报,19(5):863 - 866.
- 何铁光,肖润林,石雪晖. 2005. 桂西北环境移民示范区柑橘园土壤营养探析. 中国生态农业学报,13(1):139 - 142.
- 余红兵,肖润林,王仁才,等. 2007. 桂西北环境移民示范区柑桔园土壤中微量元素含量研究. 农业现代化研究,28(4):504 - 506.



王秀英. 2011. 重庆地区柑橘园土壤养分现状及优化施肥研究. 重庆:西南大学硕士学位论文.

周鑫斌,石孝均,孙彭寿,等. 2010. 三峡重庆库区柑橘园土壤养分丰缺状况研究,植物营养与肥料学报,16(4):817-823.

王富华,胡芳林,陈防,等. 2001. 湖北省柑桔园土壤养分植物营养与平衡施肥技术研究. 湖北农业科学,1(1):34-38.

鲁剑巍,陈防,王富华,等. 2002. 湖北省柑橘园土壤养分分级研究. 植物营养与肥料学报,8(4):390-394.

刘桂东,姜存仓,王运华,等. 2010. 赣南脐橙园土壤基本养分含量分析与评价. 中国南方果树,(1):1-3.

李祖章,刘光荣,袁福生,等. 2005. 南丰蜜桔生产环境状况调查研究. 江西农业学报,(1):1-6.

温明霞,林媚,冯先桔,等. 2007. 台州市柑桔园土壤肥力现状调查与分析. 现代园艺,(4):6-8.

程文亮,陈健亚. 2003. 丽水山区脐橙优质丰产的适栽立地条件及技术措施. 浙江农业科学,(2):61-64.

徐春燕,何风杰,高洪勤,等. 2011. 台州柑橘园土壤养分现状分析与施肥对策. 浙江柑橘,28(1):18-21.

王涛,冯先桔,张仙平,等. 2009. 温州蜜柑园土壤养分状况及对果实品质的影响. 浙江农业科学,(2):401-403.

朱鹤健,严平,谭炳华. 1991. 福建山地土壤分类的研究. 土壤通报,22(1):1-4.

李健,施清,曾文献,等. 1998. 福建柑桔园营养施肥状况及其施肥改进建议. 果树科学,15(2):145-149.

杨军华. 2005. 福建沿海地区农业土壤全量养分丰缺评价. 第四纪研究,25(3):340-346.

杨军华. 2007. 福建沿海地区芦柑的地质环境适宜性评价. 岩矿测试,26(4):269-274.

傅长珠. 2008. 尤溪金柑园土壤肥力与施肥对策. 中国果树,(6):28-31.

姚丽贤,周修冲,彭智平,等. 2006. 广东省柑桔园土壤养分肥力研究. 土壤通报,37(1):41-44.

冯洋,李伟,武伟. 2010. 重庆市新建柑橘园土壤养分现状研究. 现代农业科技,(24):292-293,296.

周鑫斌,石孝均,孙彭寿,等. 2010. 三峡重庆库区柑橘园土壤养分丰缺状况

研究. 植物营养与肥料学报, 16(4): 817 - 823.

林媚, 冯先桔, 温明霞, 等. 2007. 浙江台州柑橘主产区土壤养分现状分析. 现代农业科技, (9): 11 - 12.

李德荣, 董闻达, 王锋尖, 等. 2004. 红壤坡地果园不同水土保持措施对磷素流失的影响. 水土保持学报, 18(4): 81 - 84.

张成梁, 程冬兵, 刘士余. 2006. 红壤坡地果园植草的水土保持效应. 草地学报, 14(4): 365 - 369.

郝淑英, 刘蝴蝶, 牛俊玲, 等. 2003. 黄土高原区果园生草覆盖对土壤物理性状、水分及产量的影响. 土壤肥料, (1): 25 - 27.

马庆斌, 巴荣. 2004. 板栗节水丰产综合配套技术研究. 节水灌溉, (1): 38 - 39, 41.

刘建军, 柳小红. 2004. 丘陵山地杏园覆草的效益. 落叶果树, (1): 49 - 50.

丁三姐, 魏钦平, 徐凯. 2006. 果树节水灌溉研究进展. 北方园艺, (4): 69 - 71.



**胡承孝** 1964年生, 博士、教授、博士生导师。现任华中农业大学研究生院常务副院长、新型肥料湖北省工程实验室主任、湖北省土壤肥料学会常务理事、湖北省肥料应用协会常务理事。分别于1988年、1991年、1999年在华中农业大学获农学学士、硕士和博士学位。1999年、2000年曾先后赴新西兰林肯大学、环境科学研究所开展土壤微量元素营养的合作研究。1998年, 被评为湖北省跨世纪学术骨干; 2001年, 被评为湖北省有突出贡献的中青年专家;

2003年, 入选湖北省“百千万人才工程”第二层次; 2004年, 入选教育部“新世纪优秀人才支持计划”; 2006年, 被国家外国专家局和教育部评为全国“十五”引智工作先进个人; 2007年起, 被聘为现代柑橘产业技术研发中心柑橘营养诊断与施肥岗位科学家。

获国家授权发明专利2项; 在 *Environment International*、*Journal of Soils and Sediments*、*Annals of Botany*、*Plant & Soil* 等国内外期刊上共发表论文155篇, SCI收录32篇, EI收录10篇, 主编、参编或著书3部。

# 苹果锌营养生理及其调控研究进展

王衍安 等

山东农业大学生命科学学院/作物生物学国家重点实验室

**摘要:** Zn 是植物必需的矿质元素。苹果树对 Zn 缺乏敏感。本文综述了 Zn 在植物体内的存在和运输形式、根系吸收特点和运转分配特征,探讨了 Zn 营养胁迫下苹果根系有机酸对植物体内 Zn 稳定性的响应机制和苹果根系元素失调的根际调控途径。

**关键词:** 苹果;Zn;运转分配;有机酸

## 一、引言

Zn 是所有生物必需的微量元素之一,是唯一同时存在于六大酶类(氧化还原酶、转移酶、水解酶、裂解酶、异构酶和连接酶)的金属元素(Auld,2001),参与植物蛋白质合成、膜的稳定性及细胞生长等代谢过程(Broadley et al.,2007;Widodo et al.,2010)。苹果是世界四大水果(柑橘、香蕉、苹果和葡萄)之一,且对缺 Zn 敏感(Alloway et al.,2008),苹果树缺 Zn 主要引起小叶病,表现为局部枝条叶小簇生、节间缩短、萌芽率高、成枝力低等症状;一般树冠上部枝条发病严重,病枝结果少或无,且品质差。全国苹果园总面积的 46.2% 发生缺锌小叶病,果园土壤 Zn 元素缺乏是主要诱因;同时大量元素的过量投入,在一定程度上进一步限制了微量元素的有效利用。随着果树产量的增加,对微量元素的需求也进一步增大,因此营养病害的发病率不断提高,而且已经成为各苹果产区产量和品质提高的重要限制因素之一。同时,过量供 Zn 可能会对植物产生毒害(Simon et al.,2010),植株出现发育迟缓、萎黄,并可引起缺铁、叶片折叠、茎劈裂等现象(Davis,Parker,1993)。

本文就苹果 Zn 的存在形态、缺 Zn 条件下 Zn 的吸收、运转、分配特点及根系 Zn 的活化利用等问题进行综述。

## 二、Zn 在植物体中的存在和运输形式

### (一) Zn 在土壤和植物中的存在形态

土壤中的 Zn,按其形态可分为无机态锌和有机态锌。无机态锌主要有:① 水溶性库,即存在于土壤溶液中的锌;② 交换性库,即与土粒静电结合的锌;③ 与次生黏土矿物和不溶性金属氧化物结合的锌库;④ 与原生矿物结合的锌库(Tessler, 1979; Yasrebi, 1990; 邵孝侯等, 1994; 谢正苗, 1996)。有机态锌主要有:吸附、螯合或络合库,即与有机配位体结合的 Zn。各种形态的 Zn 之间可以相互转化。

Zn 在植物中存在的形式常为自由态离子、低分子量有机物配合态复合物、储存金属蛋白以及与细胞壁吸附结合的非溶形式,其自由态锌离子( $Zn^{2+}$ )的浓度一般较低,具有较强的生理活性,占总 Zn 含量的 58% ~ 91%,是植物中起生理作用的主要 Zn 形态(汪洪等, 2009)。另外,高含量的水溶性锌和低分子化合物锌也是 Zn 活动的重要形态。植物中起作用的 Zn 蛋白中的 Zn 占全 Zn 比例较低,可溶性锌是反映植物体内 Zn 盈缺的指标。

Zn 在植物体内没有化合价的变化,主要以  $Zn^{2+}$  的状态被植物所吸收转运,在植物木质部中,锌与有机酸结合形成有机态锌或以  $Zn^{2+}$  的形式存在(White et al., 1981; Mullins et al., 1986);韧皮部中主要是以含 Zn 的有机小分子的形式存在,在叶片中的 Zn 大多以低分子化合物、金属蛋白和自由离子的形式存在,也有少部分和细胞壁结合形成不溶的形态;在液泡中锌主要与有机酸(苹果酸、柠檬酸、草酸)、植物蛋白或多肽以复合物的形式存在(Wang et al., 1991, 1992)。在种子和谷粒中锌通常与肌醇六磷酸(肌糖、二六磷酸)紧密结合,形成难溶的蛋白结构的球状晶体(Pearson et al., 1995)。此外,Zn 还可以与其他如氯离子、硝酸根等形成络合物(Kochian, 1991)。

### (二) Zn 元素在植物体内的运输方式

Zn 在果树韧皮部的流动性比较高,尤其是在叶片韧皮部(Hacisalihoglu, 2001)。叶片 Zn 的运输也被作为 Zn 在植物中运输的调节器。叶片吸收 Zn 后,通过韧皮部向下运输,也能横向运输;根吸收 Zn 后,通过茎(木质部导管)向上运输,然后分配到叶片(Haslett, 2001)。

## 三、果树根系对 Zn 的吸收

### (一) 吸收动力学

Zn 主要以二价阳离子的形态被植物吸收,在 pH 较高时,也以一价的阳离子

( $\text{ZnOH}^+$ )被植物吸收。根际土壤中溶解的重金属可通过质外体或共质体途径进入根系。大部分金属离子通过专一或通用的离子载体或通道蛋白进入根细胞,该过程为一个依赖能量的,具有饱和特征的过程(Marschner,1995)。因此,植物根系对锌吸收的时间动力学过程呈现二相特征,即开始为快速的线性吸收,后期呈较缓慢的饱和吸收。第一个过程可能与根细胞壁吸附 Zn 有关,可以被其他二价阳离子交换,对生理代谢活动不敏感;而第二个过程可能与 Zn 跨根细胞膜运输有关,可以利用 Michaelis-Menten 方程分析锌吸收的浓度动力学过程。

## (二) 品种和砧木影响 Zn 的吸收和利用

品种间的缺 Zn 情况有较大差异,如苹果品种红玉、新红玉等缺 Zn 症状较重,倭锦、青香蕉居中,而紫云、黑玉等则不易缺 Zn。王衍安等研究认为,晚熟品种比中早熟品种更易发生小叶病,同一品系的短枝型比普通型品种发病重。砧木不同也影响苹果等地上部分 Zn 的吸收。王中英等(1992)研究表明,矮砧(M9、M7 砧)苹果树根系吸收 Zn 的能力较强,树体内 Zn 的总量高于乔砧(山定子砧)树,故不易发生小叶病。王衍安等则发现,以 M26 为中间砧的新红星和富士苹果树小叶病均较海棠砧的同一品种严重。

不同苹果砧木对缺 Zn 及高 Zn 胁迫的耐性不同。比较常用苹果砧木分别在缺 Zn( $0 \mu\text{mol/L}$ )、低 Zn( $1 \mu\text{mol/L}$ )、适量供 Zn( $4 \mu\text{mol/L}$ )、过量 Zn( $10 \mu\text{mol/L}$ )和高 Zn( $100 \mu\text{mol/L}$ )等不同 Zn 浓度营养液中的幼苗株高、干物质量、根系构型、根系活力和锌积累、利用效率等指标表明,八棱海棠)、平邑甜茶和山定子)3 种砧木表现植株矮小、新生叶小且簇生、节间缩短等缺 Zn 症状,而小金海棠缺 Zn 症状不明显。高 Zn 胁迫下,4 种苹果砧木均表现出植株矮小、叶片黄化、生长受到严重抑制等 Zn 毒害症状。小金海棠耐低 Zn 胁迫能力较强,山定子对缺 Zn 及低 Zn 胁迫敏感;八棱海棠对高 Zn 胁迫的耐性较强;山定子在低 Zn 胁迫下受到伤害最大、耐高 Zn 能力最差(刘飞,2012)。

许多研究表明,Zn 高效植物的根系吸收表面积大,吸收能力强,能够增加土壤 Zn 的有效性,与植物体内 Zn 浓度关系不大。不同的基因型作物根细胞对 Zn 的亲合力可以相差 2 倍,而叶片吸收 Zn 的能力则没有基因型差异。Zn 高效基因型一般对 Zn 有较高的吸收速率和较低的亲合力。Zn 高效品种铁载体分泌率高,而 Zn 低效品种铁载体分泌率低,低效基因型品种的 P、Ca、Mg、Mn、Fe 和 Cu 含量都比较高,作物营养液中养分浓度发生变化时,低效基因型植物营养平衡失调较严重,而高效基因型品种的营养成分较稳定,并且 Zn 高效基因型体内的需 Zn 量比低效基因型植物低。作物在缺 Zn 环境中 Zn 浓度要比在供 Zn 充分时低。幼叶中 Zn 的转移程度比老叶大,低效杂交种比高效杂交种中 Zn 的移动性

好。Hacisalihoglu 等研究表明,Zn 高效的作物体内 Cu/Zn - SOD 酶活性都较高。在缺 Zn 胁迫下,小金海棠根系较平邑甜茶发达,促进其根系中 Zn 向地上部分转运,提高 Zn 利用效率,对缺 Zn 胁迫有较强的抵御和耐受能力;而平邑甜茶对缺 Zn 胁迫响应较早,通过早期根尖膨大和根系活力增强提高吸收能力,对缺 Zn 胁迫较敏感。同时,平邑甜茶缺 Zn 植株膜脂过氧化水平高,对缺 Zn 胁迫较敏感;而小金海棠在缺 Zn 胁迫下抗氧化能力强,IAA、GA<sub>3</sub>、ZR 等生长促进型激素含量高,对缺 Zn 胁迫有较强的抵御和耐受能力(王金花等,2012)。

## 四、Zn 在果树体内的运转分配

### (一) 缺 Zn 改变了苹果树体对 Zn 运转分配的节奏

Santa-María(1998)认为根系是树体 Zn 的一个调节库,器官间元素含量的差异及其转运系数反映了该元素在植物体内的转运能力。根系的吸收能力决定其向地上部供应矿质营养的能力,矿质元素胁迫导致果树根系生长不良,反过来又影响了根系对矿质离子的吸收和运输。

苹果树缺 Zn 小叶病的发生改变了树体内 Zn 的周年运转分配规律和源 - 库动态关系(图 1)。正常树根系 Zn 吸收能力强、多年生枝 Zn 含量周年稳定且保持与器官发生节奏相一致的较高 Zn 营养水平;而小叶病苹果树根系的次生长根和骨干根大都保持高 Zn 浓度状态,而枝梢等地上部器官锌浓度相对较低,早春根系 Zn 吸收能力弱,生长发育后期,病树树体内储藏态 Zn 主要累积在根部,Zn 上运受阻、地上部与根系间 Zn 的运转效率低;与正常树相比,病树根、枝的皮层与木质部总 Zn 浓度分配比例差异较小,皮层元素含量较高、中柱内含量较低,细胞壁中含量高、原生质体含量低,Zn 元素向地上部分运输的能力相对较低,病树地上部的供锌能力显著低于正常树(Wójcik et al., 2010),致使根系中 Zn 大量积累,从而形成了春夏季树体根系供能力低、生长发育后期 Zn 在树体根系低位储藏、上运困难,树体器官分化大量需锌期供锌能力弱的特有锌运转分配规律,这表明缺 Zn 小叶病树根系对锌元素累积而限制了其在植物体内的有效运转利用。

Lasat 等(1996)研究发现,即使根部共质体大量积累 Zn,也不能完全说明 Zn 增强了向地上部的运输。果树生长后期,病树的根系具有较高的 Zn 浓度,而地上部器官 Zn 含量明显低于正常树体,花期和生理落果期地上部新生器官积累量也表明了树体供锌的不足,这可能与小叶病树代谢节奏的改变有关。许多研究证明,缺 Zn 能降低苹果叶片的光合速率。缺 Zn 导致小叶病的表现为:光合面积减少,整个树体的光合总产物减少;植物体生长素含量下降,运输能力减弱。正常生长的大田苹果树根系春、夏、秋各有一次生长高峰,春、夏季树体地上部营养

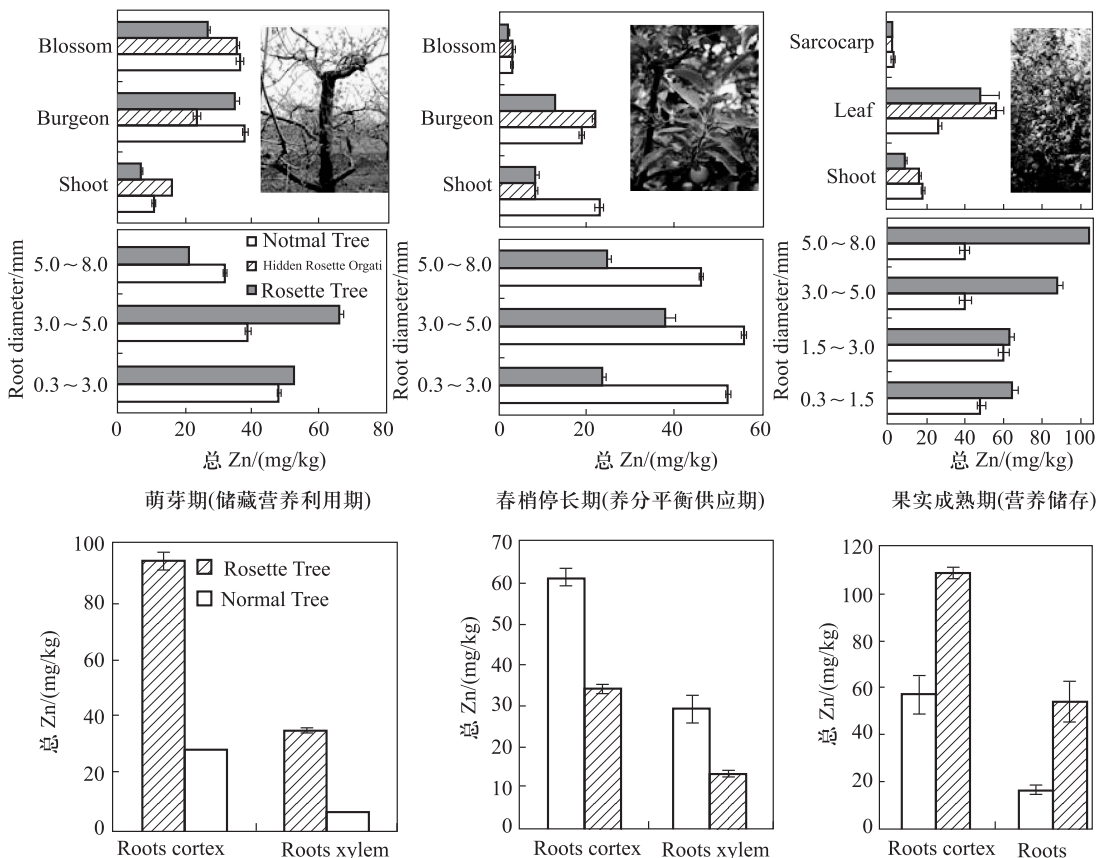


图1 缺锌小叶病苹果树锌元素纵向(上图)与根系皮层和木质部(下图)锌分布特征(王衍安,2007)

和生殖生长均十分旺盛,病树运输到地下的光合产物和生长素减少,将会影响根系的活动,根系春夏生长高峰会减弱,吸收能力下降。Jeschke 等(1982)认为,能量供应的增加,即光合产物经韧皮部向下运输的增加以及激素水平的变化是调节根系离子吸收的关键因子。因此,病树根系在春夏季具有较低的 Zn 吸收能力,粗根中储存的 Zn 成为主要的利用形式,但这并不能满足地上部的 Zn 需求。春梢停长期是小叶病树根系中的储存态锌基本消耗殆尽的时期。秋季病树具有明显的 Zn 吸收高峰,各级根的 Zn 浓度比秋梢生长初期增加了 3~5 倍,树体的营养状况发生了很大改变,秋梢停止生长,果实基本定形,地上部所需营养物质和调节物质减少;而此时叶片光合能力并未下降,产生大量营养物质运往根系,增强了吸收能力。此期,病树根系正处在 Zn 饥饿状态,急剧吸收 Zn,储存在根系中作为下一年的储备,这表明根系起到了 Zn 的调节库的作用。

总之,缺 Zn 小叶病苹果树具有特有的 Zn 运转规律,春、夏季地上部各器官生长迅速,对 Zn 的需求量大,病树根系供 Zn 能力低,主要利用储存在根系中的 Zn;春梢

停长期以后,生长逐渐减缓,对 Zn 的需求减小。秋季地上部所需营养及调节物质减少,此期病树根系具有很高的 Zn 吸收能力,将大量的 Zn 储存在根系中;相对于正常树稳定的供锌水平来说,小叶病树是在 Zn 需求量大的时期供锌能力低,而在 Zn 需求量小的时期表现出较高的供锌水平,这可能也是导致小叶病的重要原因之一。

### (二) Zn 锌胁迫小叶病苹果树根系 Zn 的亚细胞分布周年变化的影响

细根的亚细胞分布的周年变化范围较大(图 2),中等粗度根的亚细胞分布的周年变化比较稳定。无论病树还是正常树,周年大部分物候期内 Zn 在细胞壁和液泡的绝对浓度和相对比例均为最高,说明细胞壁和液泡是 Zn 在根系的主要储存位点。细根中的 Zn 浓度表现为病树显著高于正常树,而中等粗度根则表现正常树显著高于病树。生长发育前期,病树细根中的 Zn 主要分布在液泡,其次积累在细胞壁中。随生长发育的进行,Zn 在液泡的绝对浓度和相对比例显著下降,而细胞壁中 Zn 的浓度呈现先下降后上升的趋势,到后期细胞壁中 Zn 的浓度显著高于液泡。正常树细根中,生长发育前期 Zn 主要在细胞壁中分布,后期主要在液泡中分布,周年均表现先下降后上升的趋势。中等粗度根细胞壁中 Zn 的浓度显著高于细根,且在病树根系细胞壁中尤为突出,周年内各时期总是表现为

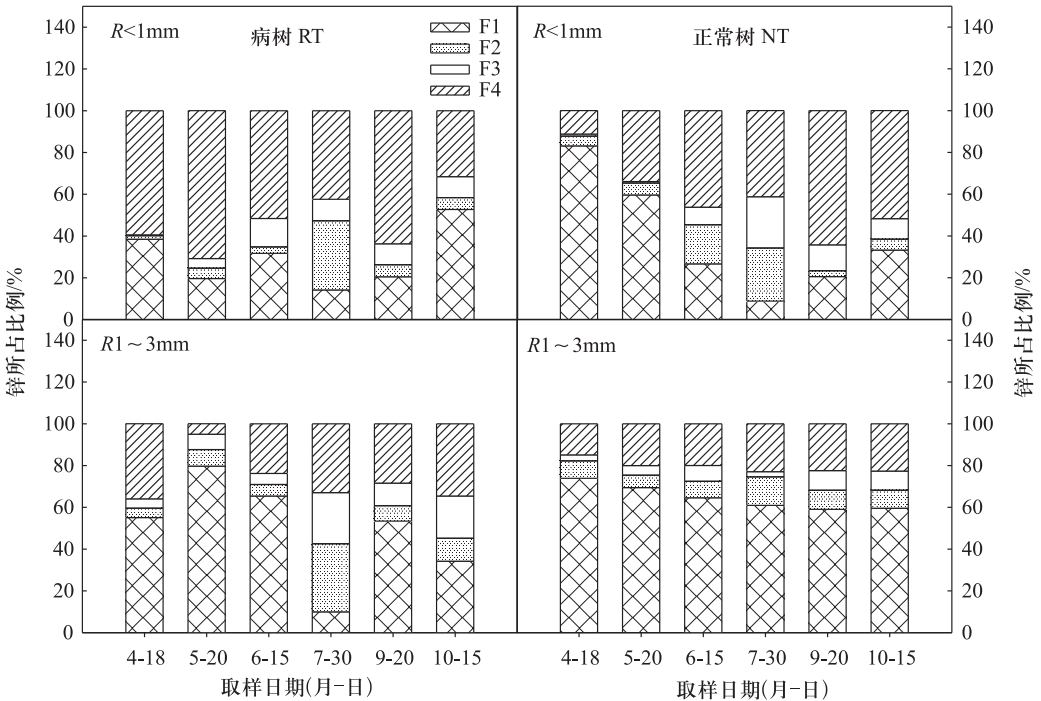


图 2 苹果树根系各亚细胞组分锌所占比例的周年变化(刘爱红,2012)

注:细胞在 4℃ 条件下通过离心技术分离为不同的组分:细胞壁(F1)、细胞核(F2)、线粒体(F3)和液泡(F4)。

图中,R 为根径。



细胞壁高于液泡,说明在中等粗度根中细胞壁优于液泡成为 Zn 的主要储存部位。中等粗度根中细胞壁和液泡中 Zn 的浓度周年内变动不大,基本保持稳定。各细胞器中 Zn 的浓度很低。

## 五、Zn 胁迫条件下苹果根系有机酸对 Zn 的内稳性的响应

### (一) 大田小叶病苹果根有机酸的变化及其与 Zn 含量的关系

有机酸作为碳代谢的中间产物,在锌离子的吸收储运方面具有重要的作用(Hofflan et al., 2006; Sarret et al., 2009)。研究发现,大田红富士苹果根系  $R_{0-1.5}$ 、 $R_{1.5-3}$ 、 $R_{3-5}$  和  $R_{5-15}$  中主要含有酒石酸、草酸、苹果酸和柠檬酸等 4 种有机酸,正常树和缺 Zn 小叶病苹果树有机酸种类没有差异,但含量不同(图 3),说明小叶病树不同物候期根中有机酸的浓度发生了改变,根中 Zn 浓度与有机酸的种类无关。萌芽期大田苹果树不同粗度根 4 种有机酸的浓度表现为病树高于正常树[图 3(a)],盛花期有机酸浓度则呈现正常树高于病树的趋势[图 3(b)];生理落果期正常树细根( $R_{0-1.5}$  和  $R_{1.5-3}$ )中 4 种有机酸的浓度均显著高于病树,是病树的 1.22 ~ 2.58 倍,而中根( $R_{3-5}$  和  $R_{5-15}$ )中则表现为病树高于正常树,是正常树的 1.01 ~ 1.79 倍[图 3(c)]。说明不同物候期小叶病树根系有机酸的代谢节奏发生了改变。

大田苹果树不同粗度根的 Zn 与有机酸含量的相关性分析表明(表 1),萌芽期小叶病树根中锌浓度与根中苹果酸和柠檬酸浓度呈显著正相关,正常树根中 Zn 浓度与苹果酸呈显著正相关,而与柠檬酸呈极显著负相关。盛花期病树根中锌浓度与苹果酸浓度呈极显著负相关。生理落果期病树根中 Zn 浓度与草酸、柠檬酸浓度均呈显著正相关,与苹果酸浓度呈极显著正相关。而正常树根中 Zn 浓度与苹果酸和柠檬酸浓度呈显著负相关。说明不同锌营养类型树体苹果根系 Zn 水平与苹果酸、草酸或柠檬酸的水平有关,有机酸可能参与调控了苹果树根中的 Zn 浓度。

表 1 大田苹果根内源有机酸浓度与锌浓度相关性分析

根系 Zn 浓度/(mg/kg)DW	酒石酸	苹果酸	草酸	柠檬酸
萌芽期正常树	0.523	0.699*	0.281	-0.723**
萌芽期病树	0.252	0.600*	0.523	0.623*
盛花期正常树	-0.40	0.42	0.40	-0.80
盛花期病树	-0.76	-0.91**	0.20	0.60
生理落果期正常树	0.39	-0.90*	-0.18	-0.88*
生理落果期病树	0.69	0.97**	0.78*	0.81*

\* 表示相关关系达 5% 显著水平; \*\* 表示相关关系达 1% 显著水平。下同。

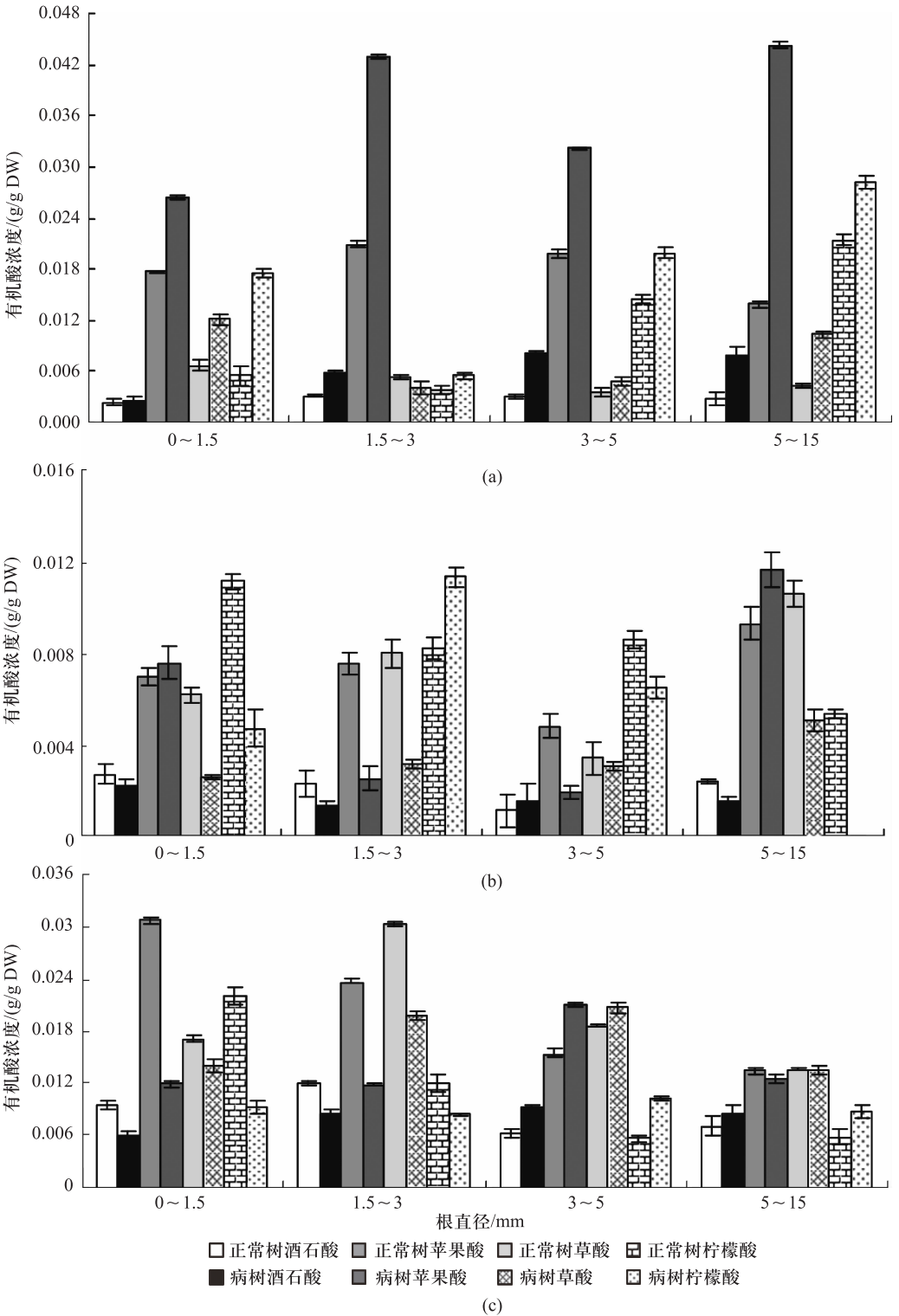


图3 不同物候期大田苹果根有机酸的浓度(刘娣,2010)

(a) 萌芽期;(b) 盛花期;(c) 生理落果期

## (二) 根系中有机酸耐受缺 Zn 的途径

为阐明苹果根系对缺 Zn 和高 Zn 胁迫的耐性机制,选取苹果砧木平邑甜茶幼苗为试材进行缺 Zn( $0 \mu\text{mol/L}$ )、对照( $4 \mu\text{mol/L}$ )和高 Zn( $100 \mu\text{mol/L}$ )三个浓度处理,研究有机酸对根系 Zn 的内稳性的响应(刘娣等,2012)。结果表明,当苹果幼苗在缺 Zn 和高 Zn 胁迫下处理 1 d,与茎叶中锌的浓度和积累量相比,根系中 Zn 的浓度和积累量达到最高,表明存在一种排斥机制,阻止 Zn 转运到较敏感的根细胞和叶中来响应最初的缺 Zn 和高 Zn 胁迫。缺 Zn 和高 Zn 胁迫下根系中草酸和苹果酸的浓度和积累量与对照相比增加了 20% ~ 60%;根系中总 Zn 浓度与草酸和苹果酸浓度之间呈显著负相关,而高 Zn 胁迫下呈显著正相关,这可能与有机酸代谢相关的几种酶的活性的改变有关(Sagardoy et al., 2011)。Santa-María 和 Cogliatti(1998)提出根系是苹果树中调控 Zn 代谢的一个锌库。而且缺 Zn 和高 Zn 胁迫引起根系碳代谢的改变,更进一步影响短时间 Zn 胁迫下根系 Zn 的内稳性。与此同时,在缺 Zn 和高 Zn 胁迫下, $\text{Zn}^{2+}$ 的最大流入速率与对照相比分别增加 30% 和 20%。短时间缺 Zn 和高 Zn 胁迫处理增加了平邑甜茶根系中有机酸的浓度,有机酸通过平衡锌的内稳性来抵抗 Zn 胁迫。

早期研究表明,缺 Zn 下有机酸参与根系 Zn 吸收的生物有效性(Hoffland et al., 2006)。以苹果砧木平邑甜茶(幼苗为试材分析其在缺 Zn 胁迫条件下的时间响应变化,结果显示,草酸和苹果酸的浓度与溶液(分别为  $r = -0.660^{**}$  和  $r = -0.877^{**}$ )和根系(分别为  $r = -0.772^{**}$  和  $r = -0.951^{**}$ )中的 Zn 浓度之间呈显著负相关,表明缺 Zn 下草酸和苹果酸可能调控平邑甜茶幼苗根系 Zn 的浓度。随着处理时间的延长,根长和根表面积均增加,草酸、酒石酸和苹果酸的积累量相应增加,作为植物碳骨架的一种物质,有机酸可能通过促进根系生长来获得更多的 Zn,从而抵抗长时间的缺 Zn 胁迫(Genc et al., 2007)。

其次,缺 Zn 胁迫 1 d 根系分泌的草酸和苹果酸浓度增加。一方面,根中有机酸能够释放到根际保持电中性(Jones, 1998; Ragothama, 2000),根际 pH 的降低有利于提高 Zn 的移动性(Cieslinski et al., 1998);另一方面,有机酸可能螯合 Zn 来增加 Zn 的生物有效性(Hoffland et al., 2006)。草酸和苹果酸浓度的增加可能调节了根系和根际锌的内稳性,从而防止平邑甜茶缺 Zn。

缺 Zn 胁迫 1 d 平邑甜茶幼苗根系锌的最大吸收速率  $V_{\text{max}}$  是对照的 1.3 倍,表明缺 Zn 下幼苗根细胞质膜上有高密度的 Zn 转运体,缺 Zn 下锌-有机酸复合体和一些锌转运体能够被特定的 Zn 转运体从植物的一个区域转移到另一区域(Ramesh et al., 2003; Haydon, Cobbett, 2007)。另外,不同有机酸与 Zn 形成不同相对分子质量的复合物(Zhang et al., 2009),这种稳定的高相对分子质量锌-有

机酸复合物能被固定在特定细胞中(Ernst,1975;Mathys,1977)。缺 Zn 胁迫 1 d 原生质体中 Zn 浓度保持不变,表明  $Zn^{2+}$  或锌-有机酸复合物可能通过特定的 Zn 转运体被转运到原生质体,而且 Zn 与有机酸可能形成稳定的高相对分子质量复合物固定在原生质体中,这有利于保持原生质体中较多的 Zn 和提高平邑甜茶根系 Zn 的有效性。然而,苹果根系中有机酸、Zn 吸收和 Zn 转运体之间的关系及作用机制需要进一步研究。

### (三) 根系中有机酸耐受高 Zn 胁迫的途径

高 Zn 胁迫 5~13 d,苹果砧木平邑甜茶的根系长度和根表面积显著增加,草酸和苹果酸的浓度与营养液(分别为  $r=0.708^{**}$  和  $r=0.695^{*}$ )和根(分别为  $r=0.930^{**}$  和  $r=0.970^{**}$ )中 Zn 的浓度之间具有正相关性,表明一方面高 Zn 下草酸和苹果酸作为植物碳骨架的一种物质促进根系生长,并稀释平邑甜茶根系过量的 Zn 来抵抗高 Zn 胁迫,另一方面,高 Zn 下  $Zn^{2+}$  在根系大量积累,根系或根际环境中有机酸的积累,并与 Zn 可能形成锌-有机酸复合物,以保持离子平衡来减轻高 Zn 胁迫(Kamh et al.,2001;Dong et al.,2008)。

当 Zn 从根系转移到地上部,有机酸络合物促进 Zn 的长距离运输(White et al.,1981)。锌-柠檬酸和锌-苹果酸等锌的复合物参与木质部运输和 Zn 在地上部的储存(Salt et al.,1999;Monsant et al.,2011)。高 Zn 胁迫 1 d,Zn 的转运系数降低,影响根系 Zn 向地上部的转运能力。高 Zn 胁迫 40~100  $\mu\text{mol/L}$  下根系草酸浓度和 Zn 转运系数之间具有较高负相关性( $r=-0.943^{**}$ ),而苹果酸中无显著相关性。这表明高 Zn 胁迫下有机酸可能调控平邑甜茶幼苗中 Zn 的转运,草酸可能螯合过多  $Zn^{2+}$  形成一种高相对分子质量锌-草酸复合物。这种复合物抑制 Zn 从根系向地上部的转运。

高 Zn 处理(20~100  $\mu\text{mol/L}$ )1 d 进行了平邑甜茶幼苗 Zn 吸收的浓度动力学研究。结果表明,Zn 的  $V_{\max}$  是对照的 1.2 倍,这表明高 Zn 下幼苗根细胞的质膜上具有较高密度的 Zn 转运蛋白。同时与对照相比,高 Zn 明显增加原生质体和液泡中 Zn 的浓度。据报道,Arabidopsis thaliana 中的一种金属耐受性蛋白 MTP3 在 Zn 的耐受性和 Zn 的区室化中具有重要的作用。高 Zn 胁迫下 MTP3 能将根中 Zn 转运到共质体(Arrivault et al.,2006)。还有报道指出,在大部分叶组织中 AtuDT 中的 T-DNA 突变体中苹果酸含量低,与野生型相比,这些突变体降低苹果酸跨液泡膜的转运,并在分离出的完整液泡中积累较少的苹果酸(Emmerlich et al.,2003;Hurth et al.,2005)。可能有机酸形成了锌-有机酸复合物,通过特定 Zn 的转运体,这些复合物能够与 Zn 一起被转运到非生理活性区域来抵御过量 Zn,并保持平邑甜茶根系中 Zn 的内稳性。要了解苹果树对高胁迫更深入的

耐性机制需要进一步的研究。

## 六、果树中微量元素营养失调的根际调控

根系对矿质元素的吸收利用是个主动耗能的过程,与根系的生理代谢活性直接相关,依靠根系代谢提供 Zn 运转分配的配体和能量,而根系代谢水平又受根际环境和内部营养条件的影响(Sagardoy et al., 2011)。土壤有机质是 Zn 吸收的重要影响因子之一,有机质中含有多种羰基、羟基等富电子成分,其中土壤腐植酸对 Zn 有较强的螯合作用(华珞等,2001),Zn 的有效性随土壤有机质含量的增加而增加。此外,有机质在 Zn 污染的土壤中具有重要的作用(丁疆华等,2001)。倪吾钟(2000)发现土壤中有效锌含量与总有机碳或易氧化有机碳含量呈显著正相关,且有机质与 Zn 可形成弱结合态的复合物(Minkina et al., 2006),且这种复合物的形成和解聚处于动态平衡,在 Zn 缺乏及过量时保证 Zn 的吸收运转能够正常进行。

以有机质作为外源碳素营养调控供体,与 Zn 进行苹果幼树正交试验。试验结果显示,C、Zn 配合使用,改善了苹果幼树根系的发育,增加了主根的长度及粗度,一级侧根的数量、长度及表面积等指标显著增加,使植株有利于吸收更多的养分;外源碳素显著提高了植株体内 Zn 的吸收和运转能力,促进矿质营养在树体各器官间的平衡,对于维持树体正常的生理代谢具有重要的作用(张元珍等,2006)。

覆盖栽培是改善根际环境、活化根系和根际被固定的 Zn 元素、提高养分利用效率的重要途径。通过盛果期‘红富士/平邑甜茶’和‘嘎啦/平邑甜茶’苹果覆盖调控研究表明:果园覆草或覆基质,可提高土壤有机质含量、各元素含量,苹果根系根尖数、根长及总面积均显著增加,根系中有机酸含量与 Zn 元素含量也明显上升,均有效缓解苹果树的缺 Zn 症状,表明树体 Zn 的利用与根系的碳营养水平有关,碳素代谢通过影响根系的功能影响了树体的矿质营养水平。

## 七、展 望

目前全国近 50% 的耕地和苹果园面积均不同程度地发生缺 Zn 小叶病,苹果缺 Zn 已成为许多苹果产区苹果产量和品质提高的重要限制因子之一,不同砧穗组合对苹果缺 Zn 的发病程度有较大影响,立足当今主栽苹果砧木资源,比较不同苹果砧木对 Zn 胁迫的耐性,筛选适应不同 Zn 胁迫环境下的砧木类型和 Zn 高效利用的砧穗组合,是解决苹果树 Zn 营养胁迫问题重要基础和根本途径。

缺 Zn 小叶病改变了苹果树体内 Zn 的周年运转分配规律和锌营养源-库动态关系,器官分化期根系 Zn 累积导致地上部分分化器官有效态锌含量低是苹果小

叶病发生的关键因素,但是 Zn 在根组织中的积累形态、规律和特性尚不清楚,累积态锌被活化的生理机制也不明确,基于苹果根系 Zn 积累和活化的生物学机制研究,探究缺 Zn 小叶病苹果树植株自身的 Zn 营养活化调控技术,是预防和矫治苹果小叶病发生的重要措施。

## 参考文献

- 丁疆华,温琰茂,舒强. 2001, 土壤环境中镉、锌形态转化的探讨. 城市环境与城市生态, 14(2): 47 - 49.
- 华璐,陈世宝,白玲玉,等. 2001. 土壤腐殖酸与<sup>109</sup>Cd、<sup>65</sup>Zn 及其复合存在的络合物稳定性研究. 中国农业科学, 34(2): 187 - 191.
- 李娟,陈杰忠,黄永敬,等. 2011. Zn 营养在果树生理代谢中的作用研究进展. 果树学报, 28(4): 668 - 673.
- 刘爱红. 2012. 锌胁迫下苹果树锌的分配特性及有机酸对锌分配的影响. 泰安: 山东农业大学硕士论文.
- 刘娣,刘爱红,王金花,等. 2010. 缺锌苹果树有机酸与锌吸收分配的关系. 中国农业科学, 43(16): 3381 - 3391.
- 刘飞,王金花,张洪毅,等. 2012. 四种苹果砧木幼苗对锌胁迫的耐性差异. 中国农业科学, 45(18): 3801 - 3811.
- 倪吾钟,龙新宪,孙琴,等. 2000. 菜园土壤锌营养状况及其与土壤有机碳的关系. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 26(6): 640 - 642.
- 邵孝侯,侯文华,邢光熹. 1994. 土壤固相不同组分对镉、锌吸持的研究. 环境化学, 13(4): 340 - 345.
- 束怀瑞. 1999. 苹果学. 北京: 中国农业出版社
- 汪洪,金继运. 2009. 植物对锌吸收运输及积累的生理与分子机制. 植物营养与肥料学报, 15(1): 225 - 235.
- 王金花,刘飞,付春霞,等. 2012. 缺锌胁迫对不同苹果砧木幼苗形态参数及其锌积累的影响. 园艺学报, 39(4): 613 - 620.
- 王金花,谭秀山,刘飞,等. 2012. 缺锌胁迫对苹果砧木幼苗抗氧化能力和激素含量的影响. 园艺学报, 39(8): 1429 - 1436
- 王衍安,闫志刚,张元珍,等. 2010. 不同锌水平果园苹果树锌含量的年周期变化动态. 中国农业科学, 43(10): 2098 - 2104.
- 王衍安,张方爱,李玲,等. 2000. 苹果小叶病发生规律调查报告. 山东林业

科技,(5):20-26.

王衍安. 2002. 苹果树的锌营养与小叶病矫治研究综述. 落叶果树,(5):11-14

王衍安. 2007. 苹果树锌运转分配及缺锌对其生理特性影响的研究. 泰安: 山东农业大学博士学位论文.

王中英,古润泽,杨佩芳,等. 1992. 不同砧木苹果树体内锌含量变化的研究. 落叶果树,(3):9-12.

谢正苗. 1996. 土壤中锌的化学平衡. 土壤中锌的化学平衡,4(5):13-30.

徐晓燕,杨肖娥,杨玉爱. 1999. 锌在植物中的形态及生理作用机理研究进展. 广东微量元素科学,6(11):1-6.

闫志刚,张元珍,张玉红,等. 2010. 不同供锌水平对苹果幼树干物质和锌积累及分配的影响. 植物营养与肥料学报,16(6):1402-1409.

张元珍. 2011. 供锌水平对苹果树叶片光合特性、碳水化合物及其代谢酶活性的影响. 泰安: 山东农业大学硕士学位论文.

Alloway B J. 2004. Zinc in Soil and Crop Nutrition. International Zinc Association, Brussels, Belgium.

Arrivault S, Senger T, Kramer U. 2006. The Arabidopsis metal tolerance protein AtMTP3 maintains metal homeostasis by mediating Zn exclusion from the shoot under Fe deficiency and Zn oversupply. Plant J,(46):861-879.

Auld D S. 2001. Zinc coordination sphere in biochemical zinc sites. Biometals,(14):271-313.

Broadley M R, White P J, Hammond J P, et al. 2007. Zinc in plants. New Phytologist,173:677-702.

Broadley M R, White P J, Hammond J P, et al. 2007. Tansley review zinc in plants. New Phytologist,173:677-702.

Cieslinski G, Van Rees K C J, Szmigielska A M, et al. 1998. Low-molecular-weight organic acids in rhizosphere soils of durum wheat and their effect on cadmium bioaccumulation. Plant Soil,203:109-117.

Dong X Y, Shen R F, Chen R F, et al. 2008. Secretion of malate and citrate from roots is related to high Al-resistance in Lespedeza bicolor. Plant Soil,306:139-147.

Emmerlich V, Linka N, Reinhold T, et al. 2003. The plant homolog to the human sodium/dicarboxylic cotransporter is the vacuolar malate carrier. Proc Natl Acad Sci USA,(100):11122-11126.

Ernst W. 1975. Physiology of heavy metal resistance in plants. In: Hutchinson T

C, Epstein S, Page A L, et al. Proceedings of An international Conference on Heavy Metals in the Environment. Vol. 2. Toronto. Edinburgh: CEP Consultants, 121 – 136.

Genc Y, Huang C Y, Langridge P. 2007. A study of the role of root morphological traits in growth of barley in zinc-deficient soil. *J Exp Bot*, (58): 2775 – 2784.

Hacisalihoglu G, Hart J J, Kochian L V. 2001. High- and low-affinity zinc transport systems and their possible role in zinc efficiency in bread wheat. *Plant Physiology*, 125: 456 – 463.

Haslett B S, Reid R J, Rengel Z. 2001. Zinc mobility in wheat: uptake and distribution of zinc applied to leaves or roots. *Annals of Botany*, 87: 379 – 386.

Haydon M J, Cobbett C S. 2007. Transporters of ligands for essential metal ions in plants. *New Phytol*, 174: 499 – 506.

Hofflan E, Wei C Z, Wissuwa M. 2006. Organic anion exudation by lowland rice (*Oryza sativa* L.) at zinc and phosphorus deficiency. *Plant and Soil*, 283: 155 – 162.

Hurth M A, Suh S J, Kretschmar T, et al. 2005. Impaired pH homeostasis in *Arabidopsis* lacking the vacuolar dicarboxylate transporter and analysis of carboxylic acid transport across the tonoplast. *Plant Physiol*, 137: 901 – 910.

Jeschke W D. 1982. Shoot dependent regulation of sodium and potassium fluxes in roots of whole barley seedling. *J Exp Bot*, 135: 601 – 618

Jones D L. 1998. Organic acids in the rhizosphere—a critical review. *Plant Soil*, 205: 25 – 44.

Kamh M, Roppel P, Horst W J. 2001. Exudation of organic acid anions by different maize cultivars as affected by phosphorus deficiency and aluminium toxicity. In: Horst W J, Schenk M K, et al. *Plant Nutrition: Food Security and Sustainability of Agro Ecosystems Through Basic and Applied Research. Fourteenth International Plant Nutrition Colloquium*. Jul. 27 – Aug. 3, 2001. Hannover, Germany, 490 – 491.

Lasat M M, Baker A J M, Kochian L V. 1996. Physiological characterization of root  $Zn^{2+}$  absorption and translocation to shoots in Zn hyperaccumulator and nonaccumulator species of *Thlaspi*. *Plant Physiology*, 112: 1715 – 1722.

Liu D, Liu A H, He C, et al. 2012. Response of organic acids to zinc homeostasis in zinc-deficient and zinc-toxic apple rootstock roots. *Pedosphere*, 22(6): 803 – 814.

Mathys W. 1977. The role of malate, oxalate, and mustard oil glucosides in the evolution of zinc resistance in herbage plants. *Physiol Plantarum*, (40): 130 – 136.

Monsant A C, Kappen P, Wang Y, et al. 2011. In vivo speciation of zinc in



*Noccaea caerulescens* in response to nitrogen form and zinc exposure. *Plant Soil*, 348: 167 – 183.

Raghothama K G. 2000. Phosphorus acquisition; plant in the driver's seat! *Trends Plant Sci*, (5): 412 – 413.

Ramesh S A, Shin R, Eide D J, et al. 2003. Differential metal selectivity and gene expression of two zinc transporters from rice. *Plant Physiol*, 133: 126 – 134.

Riesen O, Feller U. 2005. Redistribution of nickel, cobalt, manganese, zinc, and cadmium via the phloem in young and maturing wheat. *Plant Nutr*, (28): 421 – 430.

Sagardoy R, Morales F, Rellan-Alvarez R, et al. 2011. Carboxylate metabolism in sugar beet plants grown with excess Zn. *J Plant Physiol*, 168: 730 – 733.

Salt D E, Prince R, Baker A J M, et al. 1999. Zinc ligands in the metal hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* as determined using X-ray absorption spectroscopy. *Environ Sci Technol*, (33): 713 – 717.

Santa-María G E, Cogliatti D H. 1998. The regulation of zinc uptake in wheat plants. *Plant Science*, 137: 1 – 12.

Sarret G, Willems G, Isaure M P, et al. 2009. Zinc distribution and speciation in *Arabidopsis halleri* × *Arabidopsis lyrata* progenies presenting various zinc accumulation capacities. *New Phytologist*, 184(3): 581 – 595.

White C W, Baker F D, Chaney R L, et al. 1981. Metal complexation in xylem fluid. II. Theoretical equilibrium model and computational computer program. *Plant Physiol*, (67): 301 – 310.

Zhang R H, Hong Q M, Yang J M, et al. 2009. Syntheses, spectroscopies and structures of zinc complexes with malate. *Inorg Chim Acta*, 362: 2643 – 2649.



**王衍安** 果树学专业博士、植物营养生物学专业博士后,副教授,硕士生导师,国家现代苹果产业技术体系岗位科学家团队成员。

主要研究方向为果树营养生理生态,主要研究苹果等果树 Zn、Fe 等中微量矿质元素的高效利用机制及调控技术。先后主持和参加国家“863”计划项目、国家科技支撑计划重大项目、农业部行业科技计划项目等科研课题 10 余项,提出了苹果半落叶期根外喷锌和春季枝干高位绑缚补锌防治缺锌小叶病技术,

成功探索了苹果中微量元素分类调控与定向运转分配技术,对苹果缺锌小叶病的养分分配规律和调控机制进行了系统研究。发表学术论文 40 余篇,主持获得国家版权局注册软件 7 项。

# 有机肥改良水平对苹果土壤养分和 树体生长发育的影响

魏钦平 等

北京市农林科学院林业果树研究所

**摘要:**采用分根盆栽法,在2007—2011年连续5年研究了苹果1/4根域不同有机肥改良水平(10%、20%、30%)对苹果根域土壤矿质养分含量及树体生长和叶片生理特性的影响。研究表明:施用10%、20%和30%有机肥显著提高了部分根域有机质含量,改善了土壤理化性状;施用30%有机肥处理土壤有机质矿化率较大。10%有机肥处理苹果秋梢基本停长,根系生长量小,叶片光合、蒸腾能力低;30%有机肥处理秋梢和根系生长量大;20%有机肥处理春秋梢生长比例适中。综合分析,一次性在苹果1/4根域施用20%有机肥,不仅保证了树体正常生长,还可节约有机肥用量。

**关键词:**苹果;根域;有机肥;生长;生理特性

## 一、引言

中国是世界第一苹果生产大国,据FAO统计,2010年栽培面积和产量分别为205.6万 $\text{hm}^2$ 和3326.5万t,各占世界的43.8%和47.9%。京冀、环渤海湾和西北黄土高地是我国苹果的主要生产区域。长期以来,我国的苹果生产遵守“上山下滩,不与粮棉争田”的原则,苹果种植多以土壤有机质含量低、保水保肥能力差的砂性土壤为主。苹果生产中,由于种植相对集中,有机肥源短缺,苹果树的施肥以化学肥料为主,有机肥施用仍以传统表面撒施或轮换沟施的方法等,导致了苹果园土壤板结坚硬、质量退化、保肥保水能力差、肥水利用率低、土壤营养供应不平衡、树体营养缺乏、产量不稳、品质下降等问题。探讨砂性土壤有机肥局部施用和改良方法,对改善土壤理化性状、提高肥料利用效率、确保苹果持续优质丰产等具有重要的意义。国内外果树科研工作者关于有机肥对土壤改良、苹果树生长发育和果实产量品质等方面研究做了大量工作(刘长虹等,2008;路克国等,2003),束怀瑞(1999)认为苹果树25%的根系就可以满足树体的正常生长

需要;秦岭等(2005)在葡萄上的研究认为,盆栽葡萄根系局部改良可有效促进葡萄地上部和根系的平衡生长;潘增光等(1996)研究认为,穴储肥水技术可明显调控苹果春、秋梢生长模式,使春梢生长量大、秋梢生长量小,春梢叶面积增大,果树形成一个良好的物质循环过程。但是,关于应用分根方法研究砂性土壤局部施用不同量的有机肥对苹果枝(梢)和根系生长的影响尚缺乏详细的报道。本研究应用盆栽分根的方法,研究 1/4 根系空间施用不同比例的有机肥对土壤理化性状、有机质消长动态和树体生长的影响,探讨苹果改良部分根域条件下有机肥最佳改良水平,为提高壤土栽培苹果肥水利用率提供理论支撑和指导方案

## 二、材料与方 法

试验于 2007 - 2011 年在北京市林业果树研究所(北纬 39°56', 东经 116°56')进行。苹果品种为‘宫藤富士’,砧木为怀来海棠。2007 年春季,把长、宽、高分别为 40 cm、40 cm、40 cm 的有机玻璃箱用有机玻璃平均分割成 4 个独立的小箱,每个小箱的长、宽、高分别为 20 cm、20 cm、40 cm;3 个小箱内装入砂土,剩余 1 个小箱内装入腐熟有机肥与壤土体积比例为 10%、20% 和 30% 的混合土,不同比例混合土的主要养分含量和理化性质见表 1。然后,把大小相对一致的两年生根、一年干的苹果苗根系主根剪除,将侧根平分 4 部分栽入 4 个小箱内,并按 1 m × 1.5 m 的株行距将有机玻璃箱埋入土中,每个处理 6 株;全年不施用任何肥料,常规灌水和其他管理。2008 年春季把有机玻璃箱从土壤中挖出,每个处理选择树体大小、长势、主干粗度、新梢数量和长度基本一致的苹果树 6 株为试验材料,有机玻璃箱外围用 10 cm 厚泡沫板包紧,防止外界光照、温度等对根系生长的影响,放在避雨棚内,下雨时拉上防雨膜;当土壤相对含水量达到 60% ~ 80% 时灌水,每个小箱每次灌水 750 mL,其他按正常管理。

表 1 壤土苹果根域改良对土壤理化性状和营养水平的影响

有机肥比例	有机质 /(g/kg)	全氮 /(g/kg)	有效磷 /(mg/kg)	有效钾 /(mg/kg)	阳离子交换量 /(mmol/kg)	土壤比重 /(kg/m <sup>3</sup> )	土壤孔隙度
0%	25.70	1.43	138	286	234	2.35	49.1%
10%	45.50	2.53	422	998	241	2.39	50.6%
20%	63.90	3.05	612	1480	250	2.40	51.9%
30%	88.10	4.44	926	3040	272	2.52	53.2%

2008—2011 年,连续 5 年采集土壤样品,分析土壤养分和有机质变化。每年

在各处理每株树上选择 5 个新梢,每 10 天用卷尺测量新梢长度;10 月下旬统计每株新梢的数量及春、秋梢长度,每个处理选择代表性的 10 个新梢,用叶面积仪测量不同节位的叶面积,105℃ 杀青后、80℃ 烘干至恒重后计算叶比重。分别在 4 月、6 月、8 月、10 月的下旬用 Canon Power-shot G2 相机根系拍照(F/2,1/13 s)、Photoshop 8.0 描根、Sigma-Scan pro 5.0 软件计算根系长度。所有数据用 Excell 整理和绘图,SAS10.0 进行 Duncan's SSR 法方差分析。

### 三、结果与分析

#### (一) 不同有机肥改良水平对土壤理化性状和有机质含量的影响

不同有机肥水平显著提高了土壤营养水平,改善了土壤物理状况(表 1)。由表 1 可见,不施用有机肥时,土壤有机质含量为 25.7 g/kg,用 10%、20% 和 30% 有机肥改良后,有机质含量提高到 45.5 g/kg、63.9 g/kg 和 88.1 g/kg。与此同时,土壤中 N、P、K 含量提高,阳离子交换量增加,土壤孔隙度增大。这表明壤土施用有机肥改良后,苹果根域矿质养分增加,改善了土壤通气状况。随着有机肥改良水平增加,矿质养分含量逐渐提高,并且根系通气状况得到显著改善,从而有利于根系生长及对矿质养分的吸收。

不同水平有机肥改良后,5 年间土壤有机质含量变化动态和矿化率如图 1 和图 2 所示。试验期间,不同有机肥水平处理土壤有机质含量逐渐降低,到 2011 年,10%、20%、30% 有机肥改良土壤有机质含量分别为 26.3 g/kg、28.7 g/kg 和 30.5 g/kg,年均矿化率分别为 13.3%、16.3% 和 24.6%,其中各个处理第一年矿化率最大,分别达 28.6%、29.6% 和 41.0%,自第二年开始矿化率逐渐降低,到第四年各处理间矿化率差异不显著。这表明,部分根域有机质含量越高,矿化越快,尤其是施用后前两年矿化最快,因此,一次施肥量不超过土壤比例的 20%。

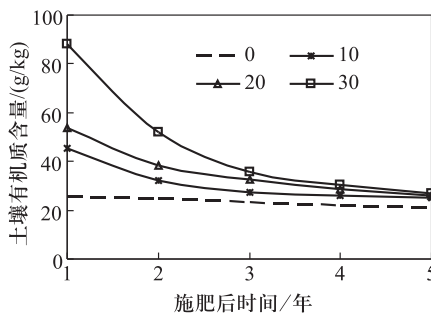


图 1 壤土不同有机质水平的年间变化动态

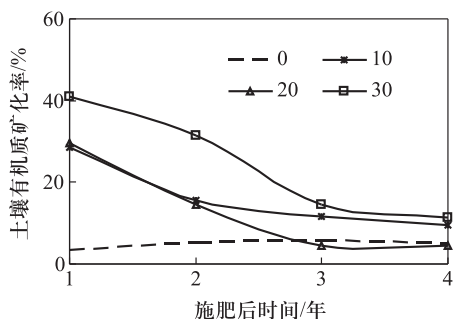


图2 壤土有机质同含量与矿化速率的关系化

## (二) 不同有机肥改良水平对树体生长的影响

### 1. 不同有机肥改良水平对根系生长的影响

不同有机肥改良水平对苹果根系生长的影响结果见图3。6-10月份,根系生长呈现一定的规律性,表现为6-7月根系生长迅速,7-8月份生长缓慢,8-9月份呈现第二个生长高峰。就不同有机肥水平而言,6月份,20%有机肥处理根系生长量显著高于10%和30%有机肥处理,但在7月份,表现为10%有机肥处理显著低于20%和30%有机肥处理。随后至10月份,30%有机肥处理根系生长量最大,且与10%、20%有机肥处理相比差异显著,20%有机肥处理根系生长量也显著高于10%有机肥处理。这说明部分根域改良条件下,随着有机肥施用水平增加,根系生长量增大。

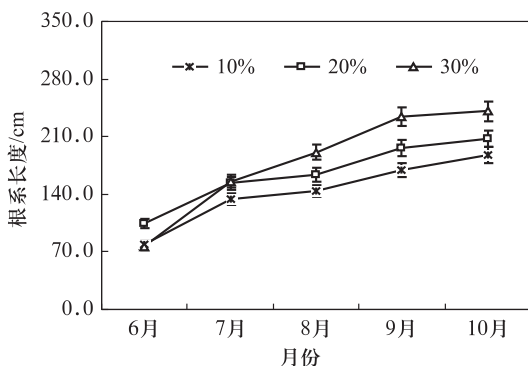


图3 不同有机肥水平苹果根系生长动态

### 2. 不同有机肥改良水平对新梢生长的影响

不同有机肥水平对苹果新梢生长动态的影响如图4所示。10%有机肥处理春梢在6月23日停长,20%、30%处理则在7月1日左右开始停长。同时,30%

有机肥处理春梢生长量最大,20%处理次之,10%处理则显著低于20%和30%处理。进入秋梢生长期后,10%有机肥处理秋梢基本停长,20%有机肥处理有一定生长,而30%有机肥处理秋梢生长量大。

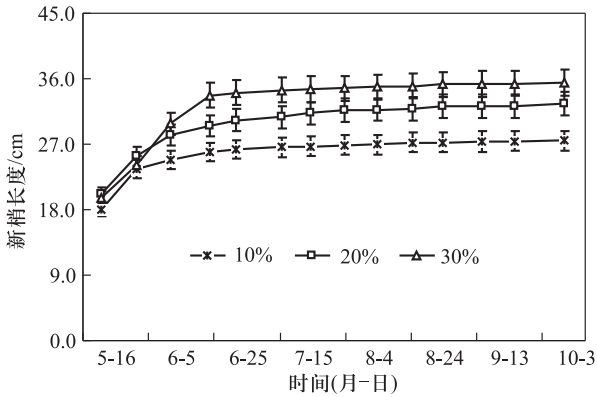


图4 不同有机肥水平苹果新梢生长动态

### (三) 不同有机肥改良水平对叶片生理特性的影响

叶片光合速率日变化呈现为典型的“双峰”曲线[图5(a)],叶片净光合速率显著增加。从叶片净光合速率季节变化来看[图5(a)],整个生长季中,不同有机肥处理叶片净光合速率呈现相同的变化趋势。30%有机肥处理叶片净光合速率显著高于10%有机肥处理,20%有机肥处理在8月3日前也显著低于30%有机肥处理。

由蒸腾日变化曲线可见[图5(a)],随着光照强度增加,蒸腾逐渐增加,最高峰出现在下午13点,随后蒸腾速率逐渐下降。随着有机肥水平增加,叶片蒸腾速率逐渐增大,且30%有机肥处理显著高于10%和20%有机肥处理,而20%有机肥处理在下午13点和15点也显著高于10%有机肥处理。就蒸腾速率季节变化而言[图5(a)],30%有机肥处理在整个生长季中叶片蒸腾速率最大,10%和20%有机肥处理间则没有差异。

苹果部分根域有机肥改良条件下,叶片气孔导度日变化与气孔导度的变化类似[图5(c)]。随有机肥水平增加,叶片气孔导度逐渐增大,且30%有机肥处理显著高于10%有机肥处理,同时,除上午11点和下午13点外显著高于20%处理,而20%有机肥处理也显著高于10%有机肥处理。就季节变化而言[图5(c)],30%有机肥处理在整个生长季中叶片气孔导度最大,10%和20%有机肥处理间则没有差异。

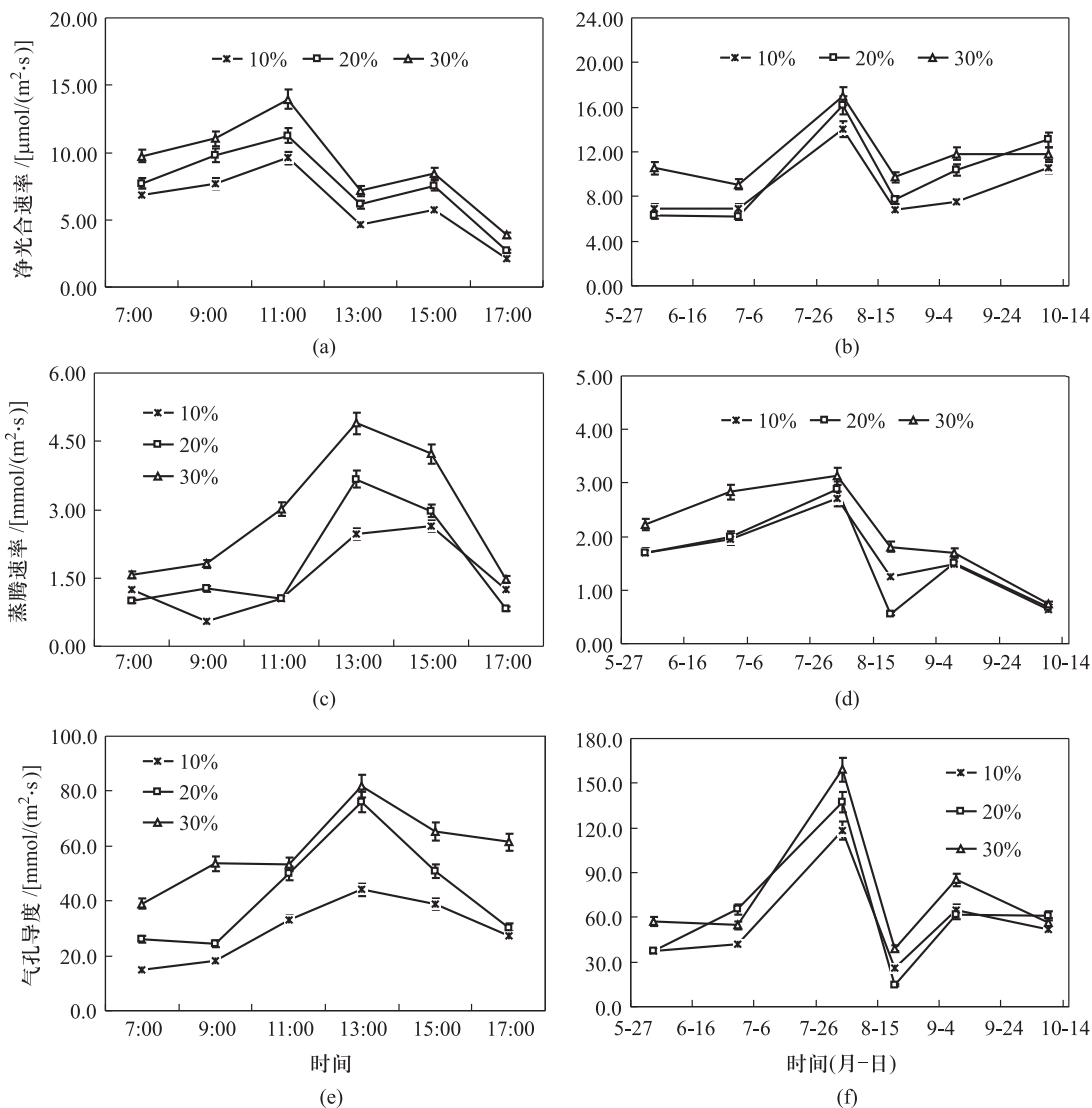


图5 不同有机肥水平苹果叶片生理特性变化动态

#### 四、讨论与结论

有机肥料养分全面,肥效长,果园施用可以改良土壤的通气、保水和增温能力,增加土壤中微生物种群数量和酶性,提高肥料利用效率,从而达到提高产量和增加品质的功效得到人们的共识(Martin,2002;张良英,2008)。但是,传统的果树有机肥施用方法以表面撒施、环状或条状沟施较多(周天华,樊庆忠,2008),不同的土壤类型和营养基础与有机肥的最佳比例国内尚缺乏详细的报导。本研究1/4根域施用有机肥探讨果园土壤改良对新梢和根系生长的影响,获得了苹



果 1/4 根域改良,也能确保树体正常生长,为果园有机肥合理施用方法提供了理论依据。

不同有机肥改良水平的研究表明,施用有机肥可一次性提高部分根域有机质含量,但有机肥施用量越大,矿化率越高,有机质消耗越快。同时,苹果的新梢和根系生长量随着部分根域有机肥施用量的增加呈显著提高,这与刘长虹等(2008)、秦岭等(2005)在苹果,李晓华(2000)在玉米,Dave(2005)在草坪上的研究结果基本一致。本试验中,10%有机肥处理苹果秋梢基本停长,根系生长量小,叶片光合、蒸腾能力低,这不利于根系吸收养分、树体构建和来年成花结果(束怀瑞,1993),而30%有机肥处理虽然根系生长量大,但秋梢生长量较大,产生生长冗余。20%有机肥处理春秋梢生长比例适中,叶片光合特性也较强。结合我国果树主产区有机肥源短缺的实际情况,我们认为应用土壤局部改良的方法,一次性在苹果 1/4 根域施用 20% 有机肥,不仅保证了树体正常生长,还可节约有机肥用量。

## 参考文献

- 刘长虹,韩明玉,张立新. 2008. 初夏施肥对渭北旱塬红富士苹果生长、产量及品质的影响. 干旱地区农业研究,26(1):62-66.
- 路克国,朱树华,张连忠. 2003. 有机肥对土壤理化性质和红富士苹果果实品质的影响. 石河子大学学报(自然科学版),(3):205-208
- 束怀瑞. 苹果学. 1999. 北京:中国农业出版社,378-380,483,485.
- 秦玲,魏钦平,李嘉瑞,等. 2005. 根区不同改土模式对葡萄根系生长的影响. 中国农学通报,21(7):270-272.
- 潘增光,束怀瑞. 1996. 苹果秋梢类型及其与树体营养状况的关系. 果树科学,13(2):75-78.
- 张良英,王永熙,王小伟,等. 2008. 草炭对桃园土壤理化性状及桃树生物效应的影响. 西北农林科技大学学报自然科学版,36(3):145-149.
- 周天华,樊庆忠. 2008. 有机肥对红富士苹果生长及品质的影响. 中国土壤与肥料,2(14):56-59.
- 秦岭. 2005. 草炭保水保肥特性与葡萄根区不同施用模式效应的研究. 杨凌:西北农林科技大学.
- 李晓华. 2000. 梯田玉米有机肥最佳施用量的研究. 生态农业研究,8(3):44-46.

束怀瑞. 1993. 果树栽培生理学. 北京: 中国农业出版社, 155 - 157.

Dave S. 2005. Excess organic matter is no laughing matter at the straits. USGA Green Section Record, 43(1): 14 - 17.

Martin R C. 2002. Soil quality for sustainable land management organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. Agronomy Journal, 94: 38 - 47.



**魏钦平** 博士, 研究员, 北京农林科学院林业果树研究所副所长。主要从事果树优质高光效树体结构改造、农艺节水保肥和苹果矮砧集约高效栽培技术的科研和技术推广工作。先后研究、建立了苹果郁闭园高光效树体结构改造技术体系和果园土壤局部有机肥改良、起垄覆盖黑色地膜和小沟适时灌溉的农艺节水保肥技术体系, 并在全国推广应用 450 万亩。在国内率先建立了苹果矮砧优质高效架式防灾轻简化栽培技术模式和示范园。

现任国家苹果产业体系岗位专家, 先后主持和完成了国家科技支撑、农业部行业科技专项、农业部“948”、北京重大科研项目和北京市自然科学基金等 20 余项。获省部级科研成果 8 项, 主编或参编《无公害苹果标准化生产》等 4 部著作; 申请国家发明和实用新型专利 8 项; 在美国园艺学会会刊、国际园艺学报等刊物以第一作者或通讯作者发表论文 120 篇。

担任政协北京市第十一届委员会委员, 政协海淀区第七、八届委员会委员; 兼任《中国农业科学》、《园艺学报》编委, 中国苹果、梨分会常务理事, 北京市林木品种审定委员, 北京果树学会常务理事等。先后被评为全国科技文化卫生三下乡先进个人、京郊农村经济发展“十佳”科技工作者等。

# 山东主要果园土壤的肥力状况及 肥力因子相互关系

张民 等

山东农业大学资源与环境学院土肥资源高效利用国家工程实验室

**摘要:**本文在调查山东主要果园土壤的基础上研究了果园土壤的主要类型、基本理化性状、土壤黏土矿物组成、腐殖质组成、土壤酶活性及其特点、各肥力因子之间的相关性、主要因子贡献率及其影响过程。研究表明,山东果园分布的土壤类型以棕壤、褐土为主,潮土和砂姜黑土也有分布。土壤质地为砂质壤土和粉砂壤土。果园土壤的 pH 值大多为 4.5 ~ 7.5,但潮土和砂姜黑土在 7.5 之上。土壤有机质含量的变化幅度较大,质地偏黏的大多在 10 g/kg 以上,但质地偏砂的多在 10 g/kg 以下。土壤中黏粒矿物以水化云母为主,含有较多的高岭石和 1.4 nm 过渡矿物,少量石英和蒙脱石,酸度较大的棕壤含较多高岭石,砂姜黑土含较多蒙脱石。土壤的腐殖质总量较低,其胡敏酸和富里酸一般占全碳含量的 30% ~ 50%,胡敏酸与富里酸的比值在不同土类之间有较大的差异,酸性土壤较低,中性至微碱性土壤较高。土壤中的磷酸酶与土壤 pH 值密切相关,而过氧化氢酶活性主要与土壤质地的砂黏性有关。运用主因子分析选取土壤肥力变异因子,通过因子分析,由 19 个性状简化为 5 个主因子,其累积贡献率达到 89.9%。分析结果表明,果园土壤各肥力因子之间的关系可以用影响土壤肥力的几个重要过程或作用来描述,主要是土壤有机质积累作用、土壤水稳性结构体形成过程和土壤氮磷等养分的供应过程。各肥力因子在不同的作用或过程中起着不同的作用。

**关键词:**土壤肥力;土壤类型;黏土矿物;土壤酶活性;主因子分析

## 一、引言

土壤肥力是指在植物生长发育的全过程中,土壤能够供应和协调植物所需要的水、肥、气、热等生理必需物质和能量的能力。实质上是土壤的养分状况以及土壤在供应植物生理所需物质时所处的环境条件这两者的有机结合。土壤养

分状况包括土壤有机质、大量营养元素以及必需的微量元素等;而环境条件又分为物理、化学和生物环境等条件。其中物理环境包括土壤质地、表层土壤厚度、土体构型、土壤孔隙、容重等;化学环境包括酸碱度、阳离子交换量、土壤缓冲性等;生物环境包括微生物的数量、组成以及土壤酶活性等(Huang et al., 2011)。在土壤肥力的研究中,以往常采用土壤养分含量、土壤结构状况、土壤生化过程或土壤某些理化性质等作为指标,从不同角度来反映土壤肥力的某一侧面(孙波等, 1995)。土壤作为果树生长的基质,即物质基础,肥力的高低要看各因子或指标之间的相互关系和协调状况是否适应果树的生长,有些土壤在种植某一其他作物时,可能肥力较高,但对果树来说并不一定肥力就高,因此土壤肥力的高低还要以植物本身的需要来衡量(姜远茂等, 2001;路超,王金政, 2008)。通过对影响土壤肥力的各个因素进行综合分析来研究果园土壤的肥力状况,从而阐明各肥力因子之间的相互关系,找出影响土壤肥力的主要过程和作用,对于果园土壤的综合管理,指导区域平衡施肥,提高土壤肥力水平,增加果树产量和改善果实品质具有重要意义。

## 二、材料与方 法

### (一) 供试土壤

本文所研究的土壤剖面包括山东省主要果园分布区的棕壤、褐土、潮土和砂姜黑土 4 个主要土壤类型,分别采自胶东区栖霞南台、莱阳城关、文登林村、莱西星河的果园,鲁中南区蒙阴田庄、蒙阴三山、营南玉皇沟的果园,土壤类型为棕壤(中国土壤系统分类中的筒育湿润淋溶土, Hapli-Udic Argosols);泰安红庙、泰安王庄果园的土壤类型为褐土(筒育干润淋溶土, Hapli-Ustic Argosols);齐河胡官屯、寿光北徐、德州陈大庄果园的土壤类型为潮土(淡色潮湿雏形土, Ochri-Aquic Cambosols);东平大羊、枣庄峰城果园的土壤类型为砂姜黑土(钙积潮湿变性土, Calci-Aquic Vertosols)。

剖面样品采集的深度和层次按照土壤厚度的不同而异。多数剖面采集 0 ~ 20 cm, 20 ~ 40 cm 和 40 ~ 60 cm, 土层深厚的采至 80 cm 或 100 cm。

### (二) 测定分析方法

土壤理化性质按照土壤农业化学标准分析方法测定(鲁如坤, 1999; Zhang et al., 2005);土壤颗粒组成用微吸管法测定(Miller W P, Miller D M, 1987);土壤 pH 值采用 1:1 水土比, 电位法测定;土壤有机质用重铬酸钾-硫酸加热氧化法;土壤全氮用凯氏蒸馏法;土壤碱解氮用扩散吸收法;土壤速效磷用 0.5 mol/L  $\text{Na}_2\text{HCO}_3$  浸提, 硫酸钼锑抗比色法;土壤速效钾用 1 mol/L 乙酸铵浸提, 火焰光

度法测定;阳离子交换量(CEC)用 EDTA - 铵盐快速法测定。腐殖质组成及含量用焦磷酸钠提取,重铬酸钾氧化法测定(肖伟伟等,2009;邱凤琼等,1981;李春越,2011)。土壤中的脲酶活性用康维皿扩散法测定;蛋白酶活性用比色法测定;过氧化氢酶用 Johnson 法(1964)测定,磷酸酶活性用 Hoffman(1967)法测定(关松荫,1986;周礼恺,1986)。

土壤中黏粒的提取方法是以司笃克斯定律为基础,利用土粒在静水中沉降规律,将  $<0.002\text{ mm}$  的黏粒部分分离收集起来。黏粒的组成和比例用 X 射线衍射光谱分析测定,将黏粒用镁饱和的甘油水溶液制成定向薄膜,在 X 射线衍射仪上用  $\text{CuK}\alpha$  辐射得到 X 射线衍射图谱,同时用 K 饱和制成定向薄膜,并在常温  $25^\circ\text{C}$  下测定,加热至  $300^\circ\text{C}$  后再测定,如含较多过渡性矿物,需加热至  $550^\circ\text{C}$  后,再一次进行 X 射线衍射测定,以确定所含黏土矿物的类型(孙治军等,2007)。

### 三、结果与分析

#### (一) 土壤的颗粒组成及质地类别

供试果园土壤的颗粒组成用微吸管法测定,颗粒分级和质地分类按照美国农业部标准列于表 1 中,可以看出,山东大多数果园的土壤质地为砂质壤土和粉砂质壤土,处在丘陵平原及平原区的果园,土壤粉砂粒含量高,以粉砂质壤土为主,土层深厚。处在丘陵坡地上的果园黏粒含量较低,多为砂质壤土,壤土或壤质砂土,砾石含量较高,土层较薄,蓄水能力较差。从土体构型来看,果园上下层土壤质地较为均一,大多数土壤的土体中无明显黏化层或质地突变层,土壤质地能够较好地适应果树生长的要求。

表 1 山东主要果园土壤的颗粒组成及质地类别

采样地点	土壤类型	采样深度/cm	砂粒/%	粉粒/%	黏粒/%	砂黏比	粉黏比	质地类别(USDA)
		0~20	47.0	38.0	15.0	3.13	2.53	壤土
栖霞南台	棕壤	20~40	50.5	38.5	11.0	4.59	3.50	壤土
		60~80	26.0	45.7	28.3	0.92	1.61	粉砂壤土
莱阳城关	棕壤	0~20	41.0	39.5	19.5	2.10	2.03	壤土
		20~40	42.0	40.0	18.0	2.33	2.22	壤土
		40~60	50.5	30.3	19.2	2.63	1.58	壤土
文登林村	棕壤	0~20	50.0	39.0	11.0	4.55	3.55	壤土
		40~60	44.5	46.3	9.2	4.84	5.03	壤土

续表

采样地点	土壤类型	采样深度/cm	砂粒/%	粉粒/%	黏粒/%	砂黏比	粉黏比	质地类别(USDA)
莱西星河	棕壤	80~100	28.0	52.6	19.4	1.44	27.1	粉砂壤土
		0~20	12.0	68.5	19.5	0.57	3.51	粉砂壤土
		40~60	7.0	72.7	20.3	0.34	3.58	粉砂壤土
蒙阴田庄	棕壤	80~100	19.0	51.8	29.2	0.65	1.77	粉砂壤土
		0~20	52.5	41.3	6.2	8.47	6.66	砂质壤土
		20~40	53.5	41.5	5.0	10.70	8.30	砂质壤土
泰安红庙	褐土	40~60	51.5	44.9	3.6	14.31	12.47	砂质壤土
		0~20	37.5	50.3	12.2	3.07	4.12	粉砂壤土
		20~40	39.5	49.5	11.0	3.59	4.50	粉砂壤土
齐河胡官屯	潮土	60~80	12.5	72.3	15.2	0.82	4.76	粉砂壤土
		0~20	1.5	82.8	15.7	0.10	5.27	粉砂壤土
		40~60	4.0	89.8	6.2	0.65	14.5	粉砂土
蒙阴三山	棕壤	80~100	1.0	94.7	4.3	0.23	22.02	粉砂土
		0~20	61.0	28.0	11.0	5.55	2.55	砂质壤土
		20~40	61.5	33.5	5.0	12.30	6.70	砂质壤土
莒南玉皇沟	棕壤	40~60	69.0	20.8	10.2	6.76	2.04	砂质壤土
		0~20	37.0	51.4	11.6	3.19	4.43	粉砂壤土
		20~40	39.0	51.1	9.9	3.94	5.16	粉砂壤土
		40~60	40.0	47.7	12.3	3.25	3.88	粉砂壤土

## (二) 土壤的一般化学性质及养分状况

从果园土壤的 pH 值来看(表 2),除齐河胡官屯果园潮土的剖面样品超过 pH 8,呈微碱性反应外,其余土壤 pH 值为 4.5~7.5,呈微酸性至中性反应。其中栖霞南台及文登林村两剖面上部土体的 pH 值小于 5.5,呈强酸性反应,土体淋溶作用强,有较强的脱盐基作用,同时也与施用过多的生理酸性肥料有关。土壤有机质含量的变化幅度较大,土壤的表层有机质含量大多在 10 g/kg 以上,但分布在质地偏砂性的蒙阴田庄、三山、文登林村的剖面,有机质含量均在 10 g/kg 以下。各土壤剖面层次间有机质含量自表层向下递减,但莱西星河剖面土壤有机质含量在 100 cm 深度仍达 10 g/kg 以上,这与土壤剖面所处的低洼地形有关。土壤的全氮含量与有机质含量存在着极显著的正相关关系,大多数土层的碳氮比小于 10,由于有机质含量较低,有机质中可提供的氮素相对较少,果树氮的供应

主要依赖于氮肥的施用。土壤的有效氮素含量与有机质含量无显著相互关系,主要与氮肥的施用和有机质的分解速率有关。土壤速效磷一般表层含量较高,下部层次较低,由于多年来长期施用磷肥,表层速效磷含量大多数都超过 10 mg/kg。

表 2 山东主要果园土壤的化学性质及肥力状况

采样地点	土壤类型	采样深度 /cm	pH	有机质 /(g/kg)	全氮 /(g/kg)	C/N	碱解氮 /(mg/kg)	速效磷 /(mg/kg)	CEC /(cmol/kg)
		0~20	4.94	11.3	0.96	6.8	156.2	31.6	15.06
栖霞南台	棕壤	20~40	4.86	5.1	0.54	5.5	79.9	5.7	10.92
		60~80	6.55	6.9	0.57	7.0	83.4	0.6	22.96
莱阳城关	棕壤	0~20	7.03	12.7	0.97	7.6	85.5	5.3	30.08
		20~40	7.80	10.9	0.59	10.7	87.0	3.1	29.55
		40~60	7.43	7.4	0.43	10.0	66.5	0.6	3.41
		0~20	5.27	8.3	0.65	7.4	70.0	24.2	10.66
文登林村	棕壤	40~60	5.81	8.3	0.42	11.5	21.2	4.8	11.99
		80~100	6.45	6.1	0.47	7.5	48.2	10.9	11.88
莱西星河	棕壤	0~20	7.14	11.7	0.77	8.8	77.1	18.0	20.89
		40~60	6.58	10.7	0.75	8.2	91.2	3.7	24.93
		80~100	7.39	10.4	0.65	9.3	62.9	0.7	24.59
		0~20	6.65	8.6	0.52	9.6	41.7	72.5	18.70
蒙阴田庄	棕壤	20~40	6.93	6.3	0.34	10.7	27.9	11.9	20.55
		40~60	7.08	3.6	0.28	7.5	12.7	5.6	20.16
泰安红庙	褐土	0~20	6.05	15.3	0.91	9.8	84.8	70.4	13.38
		20~40	7.16	7.4	0.66	6.5	48.0	21.9	10.46
		60~80	7.55	4.6	0.41	6.5	38.9	2.8	17.55
		0~20	8.08	13.7	1.21	6.6	3.82	13.1	15.17
齐河胡官屯	潮土	40~60	8.18	6.7	0.42	9.3	41.7	2.6	7.26
		80~100	8.28	3.0	0.28	6.2	41.0	1.8	5.38
		0~20	6.03	8.6	1.16	4.3	147.1	6.8	14.00
		20~40	4.91	7.6	0.46	9.6	94.0	22.8	13.50
蒙阴三山	棕壤	40~60	5.04	4.9	0.59	4.8	85.6	17.4	13.01
		0~20	6.59	22.5	1.10	11.9	106.1	17.2	11.65
莒南玉皇沟	棕壤	20~40	6.22	5.1	0.43	6.9	43.8	8.4	8.88
		40~60	6.11	3.3	0.38	5.0	46.7	8.2	9.19

供试果园土壤的阳离子交换量多变化于  $10 \sim 30 \text{ cmol/kg}$ , 其中蒙阴、文登等剖面的质地较粗、阳离子交换量较低, 大多数土层在  $10 \text{ cmol/kg}$  以下, 其他层次阳离子交换量较高。对山东果园土壤四个土类多个剖面的统计结果表明, CEC 与黏粒含量之间有着极显著的正相关关系 ( $r=0.5340^{**}$ ,  $n=27$ ); 线性回归方程  $\text{CEC}(\text{cmol/kg}) = 8.593 + 0.610 \text{ Clay}\%$ 。而 CEC 与有机质则无相关性。由于山东果园土壤有机质含量较低, 阳离子交换量主要是来自于黏粒矿物的贡献, CEC 差异不仅与黏粒含量有关, 而且还因不同土类的黏土矿物类型不同而有较大的差异。

### (三) 土壤的黏土矿物组成及特性

根据土壤黏粒的 X 射线衍射分析结果 [图 1(a) ~ (d); 图 2(e) ~ (h)], 进行定性和半定量分析, 得出了果园土壤黏土矿物定性和半定量的组成及其相对含量列于表 3 中。

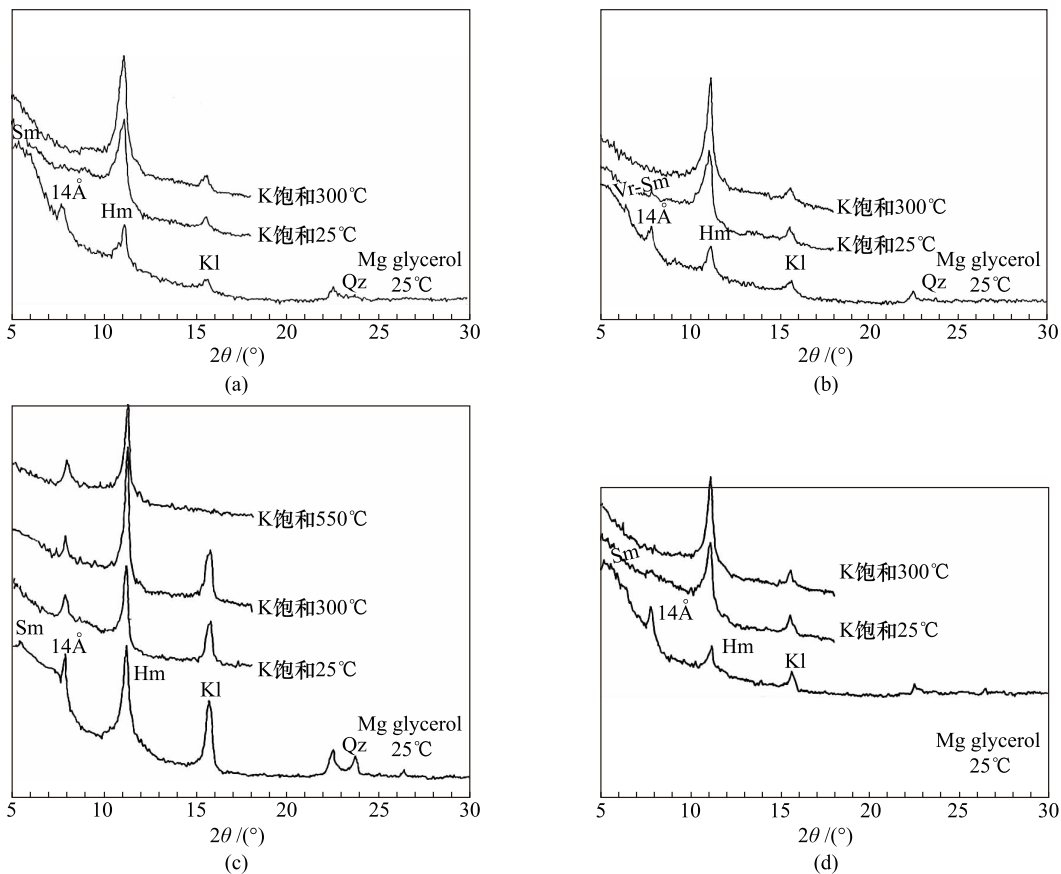


图 1 土壤黏粒部分 ( $<2 \mu\text{m}$ ) 的 X 射线衍射图谱

(a) 棕壤(栖霞南台); (b) 褐土(泰安红庙); (c) 潮土(齐河胡官屯); (d) 砂姜黑土(东平大羊)



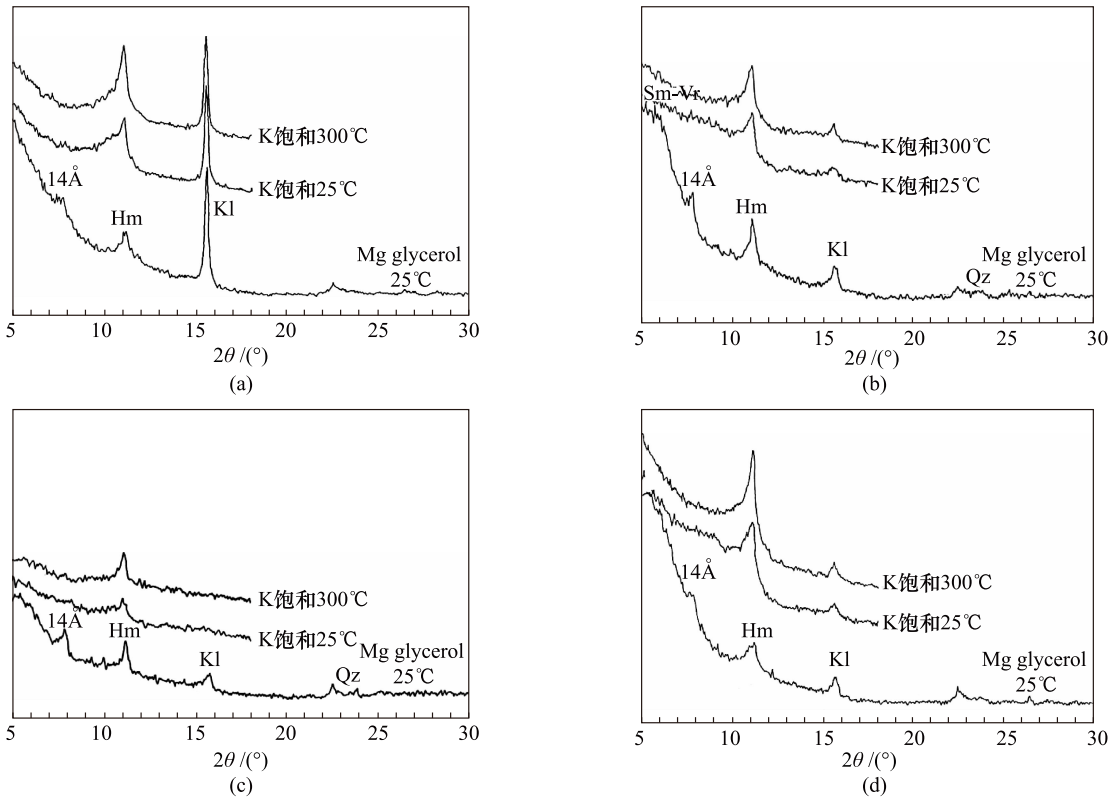


图2 土壤黏粒部分( $<2\ \mu\text{m}$ )的X射线衍射图谱

(a) 棕壤(泰安满庄);(b) 褐土(泰安王庄);(c) 潮土(寿光北徐);(d) 砂姜黑土(枣庄峰城)

从图1、图2和表3可以看出,供试果园土壤的黏土矿物组成有以下特点:

表3 供试土壤的黏土矿物组成及其相对含量

单位:%

样品	采样地点	土壤类型	蒙脱石	过渡矿物	水化云母	高岭石	石英
编1号	栖霞南台	棕壤	0	15	30	55	0
2	泰安红庙	褐土	4	28	42	24	2
3	齐河胡官屯	潮土	2	11	51	30	6
4	东平大羊	砂姜黑土	15	29	36	20	0
5	泰安满庄	棕壤	4	20	54	20	2
6	泰安王庄	褐土	0	31	28	33	8
7	寿光北徐	潮土	10	17	44	26	3
8	枣庄峰城	砂姜黑土	6	20	52	22	0

(1) 山东果园土壤中黏粒矿物,以水化云母为主,含有较多的高岭石和1.4 nm 过渡矿物,少量石英和蒙脱石;

(2) 不同类型土壤中各种黏土矿物含量有较大差异,棕壤土中基本上不含蒙脱石,除栖霞土样外,其他三个棕壤土样中均含较多的 1.4 nm 过渡矿物,而东平大羊的砂姜黑土和寿光北徐的潮土中则含有 10% ~ 15% 的蒙脱石;

(3) 相同土壤类型的土壤中各黏土矿物的含量因土壤 pH 值的不同也有较大差异,土壤 pH 值较低的栖霞南台土样中,高岭石占绝对优势,含量达 55%。而泰安满庄棕壤剖面高岭石含量为 20%,甚至少于其他三个土壤类型中高岭石的含量。

#### (四) 土壤腐殖质组成及特性

供试果园土壤的腐殖质组成和特性列于表 4 中,可以看出,山东主要果园土壤的腐殖质含量较低,其胡敏酸和富里酸一般占全碳含量的 30% ~ 50%,胡敏酸含量与富里酸含量的比值(H/F)在不同土类之间有较大的差异,土壤 pH 值较低的文登林村、栖霞南台、营南玉皇沟等棕壤剖面,其胡富比值也较低,其他 pH 值较高的莱阳城关、莱西星河、泰安红庙、齐河胡官屯等土壤剖面,土壤表层的胡富比值较高,表层以下各层胡富比值较低。土壤的酸碱度直接影响到表层土壤的腐殖质组成,在果园表层土壤有机质含量较高,且 pH 值较高的条件下,胡敏酸含量常高于富里酸的含量,有利于水稳性团聚体的形成。

表 4 山东主要果园土壤的腐殖质组成及特性

采样地点	土壤类型	采样深度 /cm	全 C /%	胡敏酸 C /%	富里酸 C /%	胡敏素 C /%	活性腐殖质 C /%	活性腐殖质 C 占全 C/%	H/F
栖霞南台	棕壤	0 ~ 20	0.66	0.10	0.16	0.40	0.26	39.4	0.61
		60 ~ 80	0.40	0.05	0.08	0.27	0.13	32.5	0.63
莱阳城关	棕壤	0 ~ 20	0.74	0.15	0.09	0.50	0.24	32.4	1.67
		40 ~ 60	0.43	0.07	0.13	0.23	0.20	46.5	0.52
文登林村	棕壤	0 ~ 20	0.48	0.07	0.18	0.23	0.25	52.1	0.39
		80 ~ 100	0.35	0.04	0.10	0.31	0.04	11.4	0.40
莱西星河	棕壤	0 ~ 20	0.68	0.13	0.12	0.43	0.25	36.8	1.11
		80 ~ 100	0.60	0.03	0.16	0.41	0.19	31.7	0.20
蒙阴田庄	棕壤	0 ~ 20	0.50	0.07	0.07	0.36	0.14	28.0	1.00
		40 ~ 60	0.06	0.01	0.02	0.04	0.03	50.0	0.50
泰安红庙	褐土	0 ~ 20	0.89	0.19	0.18	0.52	0.37	41.6	1.06
		60 ~ 80	0.27	0.04	0.06	0.17	0.10	37.0	0.07
齐河胡官屯	潮土	0 ~ 20	0.79	0.16	0.13	0.50	0.29	36.7	1.26
		80 ~ 100	0.17	0.02	0.03	0.12	0.05	52.9	0.67

续表

采样地点	土壤类型	采样深度 /cm	全 C	胡敏酸 C	富里酸 C	胡敏素 C	活性腐殖质 C	活性腐殖质 C	H/F
			/%	/%	/%	/%	/%	占全 C/%	
蒙阴三山	棕壤	0~20	0.50	0.07	0.12	0.31	0.19	38.0	0.56
		40~60	0.28	0.06	0.07	0.15	0.13	46.4	0.86
莒南玉皇沟	棕壤	0~20	1.30	0.25	0.51	0.54	0.76	58.5	0.49
		40~60	0.19	0.03	0.06	0.10	0.09	47.4	0.50

### (五) 土壤酶活性及其分布特征

土壤酶是土壤的组成成分之一,它们数量虽少,但作用颇大,如脲酶能促进土壤中含氮有机物及尿素分子、酰胺态 N 键水解,提供植物所需的 N 素,蛋白酶能促进土壤含 N 有机化合物的分解,如蛋白质水解成肽 - 氨基酸 - 氨。磷酸酶能促进各种磷化合物的分解,为植物提供有效磷素(岳中辉等,2011)。

本文对供试土壤几种酶活性的测定结果列于表 5 中。果园土壤的蛋白酶与脲酶的活性均以表层最高,在 0~60 cm 的剖面深度中随深度增加而递减,在 40 cm 深度以下,两种酶的活性就趋于稳定。蛋白酶和脲酶的活性与有机质以及人为生产活动及外界条件的影响有关。

表 5 山东主要果园土壤的几种酶活性

地点	深度 /cm	pH	蛋白酶	酸性磷酸酶	中性磷酸酶	碱性磷酸酶	脲酶/ [NH <sub>4</sub> H + · N	过氧 化氢酶
			/[mg 甘氨酸 /(24 h · g 土 · 30℃)]	/[mg 酚 /(100 g 土 · 24 h · 37℃)]	/[mg 酚 /(100 g 土 · 24 h · 37℃)]	/[mg 酚 /(100 g 土 · 24 h · 37℃)]	mg/(100 g 土 · 24 h · 30℃)]	(0.1 mol/L 高锰酸钾)
莱阳城关	0~20	7.03	0.131	155.80	123.21	113.18	27.57	4.13
	20~40	7.80	0.089				12.22	2.55
	40~60	7.43	0.018				10.53	4.26
泰安红庙	0~20	6.05	0.127	170.84	145.76	78.08	19.02	1.92
	20~40	7.16	0.065				8.15	1.87
	40~60	7.20	0.041				5.43	1.66
	60~80	7.55	0.041				5.43	1.58
齐河胡官屯	0~20	8.08	0.207	70.57	40.48	103.15	28.29	5.18
	20~40	8.07	0.112				16.50	4.85

续表

地点	深度 /cm	pH	蛋白酶	酸性磷酸酶	中性磷酸酶	碱性磷酸酶	脲酶/ [NH <sub>4</sub> H + · N	过氧 化氢酶
			/[mg 甘氨酸 /(24 h · g 土 · 30℃)]	/[mg 酚 /(100 g 土 · 24 h · 37℃)]	/[mg 酚 /(100 g 土 · 24 h · 37℃)]	/[mg 酚 /(100 g 土 · 24 h · 37℃)]	mg/(100 g 土 · 24 h · 30℃)]	(0.1 mol/L 高锰酸钾)
	40 ~ 60	8.18	0.065				11.40	3.72
	60 ~ 80	8.14	0.018				5.43	2.70
	80 ~ 100	8.28	0.018				9.85	2.04
枣庄峰城	0 ~ 20	6.23	0.098	175.85	193.4	133.23	14.94	4.49

研究表明,磷酸酶的活性与土壤的酸碱度有着直接的关系,在土壤中可以分为酸性磷酸酶、中性磷酸酶和碱性磷酸酶三种。统计结果表明,磷酸酶活性与土壤 pH 值之间有着明显的相关性,碱性磷酸酶与 pH 值呈显著正相关,而中性和酸性磷酸酶则与 pH 值呈显著的负相关关系。

土壤中的过氧化氢酶能破坏土壤中生化反应生成的过氧化氢,减轻其对生物的危害,统计数据表明,表层土壤的过氧化氢酶活性一般高于其下各层,与土壤的 pH 值、有机质含量有显著的正相关关系,与黏粒含量呈极显著的正相关,而与砂粒含量呈极显著的负相关关系。这也说明,过氧化氢酶于土壤中的各种生物化学有着密切的联系(关松荫,1984)。

#### 四、讨 论

在土壤肥力的研究中,肥力因子及指标繁多,由于土壤肥力受多种因素的控制,靠某些单个因子难以进行综合评价。因此,本文将所测定的果园土壤剖面的 19 个肥力因子进行相关分析和主因子分析。用因子分析的方法,得出较少有代表性的因子,以便为土壤肥力的控制因素和综合评价提供主要信息。

根据 R 型因子分析方法的原理,对供试土壤的 19 个肥力因子进行相关分析,计算出相关系数矩阵(表 6),再用雅可比法特征值与特征向量,得出 R 型因子载荷矩阵,选取前 5 个主因子,其累积方差贡献率达 89.86%(表 7),因此,可以认为已经提取了足够分析的信息量。

从表 7 的主因子载荷向量可以看出,第一主因子 F1 是以有机质为代表性的肥力因子;其次是过氧化氢酶、脲酶、蛋白酶、全氮含量、pH 值、胡敏酸与富里酸含量等,是果园土壤中生物化学反应强度的量度,因为山东主要果园土壤分布在丘陵区,质地较粗,有机质和黏粒含量的增加,对土壤中各种酶的活性以及胡敏酸和富里酸的增加都起着至关重要的作用。

表 6 土壤各肥力因子之间的相关系数矩阵 ( $n = 10$ )

项目	pH	有机质	胡敏酸	富里酸	H/F	胡敏素	过氧 化氢酶	蛋白酶	脲酶	酸性 磷酸酶	中性 磷酸酶	碱性 磷酸酶	全氮	水解氮	速效磷	CEC	砂粒	黏粒
有机质	0.465	1.000																
胡敏酸	0.345	0.758	1.000															
富里酸	0.276	0.855*	0.781*	1.000														
H/F	-0.066	-0.487	-0.082	-0.651	1.000													
胡敏素	0.359	0.041	-0.428	-0.218	-0.183	1.000												
过氧 化氢酶	0.827*	0.587*	0.326	0.349	-0.202	0.580	1.000											
蛋白酶	0.096	0.836*	0.828*	0.783*	-0.247	-0.246	0.247	1.000										
脲酶	0.873*	0.225	-0.014	0.053	-0.213	0.526	0.753	-0.235	1.000									
酸性磷酸酶	-0.514	-0.341	0.137	-0.108	0.269	-0.630	-0.689	-0.009	-0.488	1.000								
中性磷酸酶	-0.664*	-0.448	-0.077	-0.322	0.415	-0.311	-0.686	-0.093	-0.677*	0.810*	1.000							
碱性磷酸酶	0.596*	0.519	0.776*	0.464	0.116	-0.404	0.429	0.406	0.349	0.078	-0.232	1.000						
全氮	0.224	0.459	0.383	0.429	-0.278	0.401	0.586*	0.308	0.155	-0.291	-0.059	0.154	1.000					
水解氮	-0.471	-0.038	-0.018	-0.029	-0.025	0.134	-0.080	0.009	-0.349	0.239	0.512	-0.224	0.636*	1.000				
速效磷	-0.164	-0.454	-0.150	-0.263	0.329	-0.292	-0.576*	-0.307	-0.312	0.330	0.500	-0.167	-0.371	-0.282	1.000			
CEC	0.424	-0.040	-0.089	-0.206	0.254	0.487	0.420	-0.269	0.458	-0.016	0.135	0.182	0.293	0.248	-0.089	1.000		
砂粒	-0.676*	-0.634*	-0.534	-0.546	0.181	-0.397	-0.827*	-0.488	-0.426	0.588*	0.531	-0.329	-0.653*	0.079	0.289	-0.180	1.000	
黏粒	0.417	0.519	0.445	0.419	-0.143	0.425	0.707*	0.381	0.345	-0.187	-0.132	0.271	0.787*	0.463	-0.543	0.555	-0.719*	1.000
C/N	0.261	0.368	0.211	0.485	-0.510	-0.284	0.104	0.189	0.334	-0.029	-0.537	0.290	-0.331	-0.426	-0.309	-0.194	-0.010	-0.012

\* 显著水平 5%,  $r = 0.576$ ; \*\* 报显著水平 1%,  $r = 0.708$ 。

第二主因子 F2 中起主要作用的正向载荷因子是脲酶活性、CEC 等,是果园土壤中土壤结构性、结构水稳性及孔性的量度,果园土壤中使用秸秆、堆肥等有机质,有机质含量的增加使活性腐殖质的量增加,但在砂质土壤中有机物料分解快,所形成的稳定腐殖质量少,较难形成水稳性团粒结构。第二主因子与胡敏素相对的是胡敏素和富里酸的含量,负向载荷大,而在第一主因子中胡敏素、胡敏酸及富里酸的含量,负向载荷最大,随有机质含量的增加而增加,因此,第二主因子所代表的与第一主因子在土壤肥力上起着不同的作用,在第二主因子中,除胡敏素外,正向载荷最大的是脲酶活性,说明土壤结构性好,可以提高脲酶的活性,但蛋白酶却具有最大的负向载荷。蛋白酶活性的降低也意味着土壤有机氧化物的分解速率的降低,而有利于提高腐殖化和水稳结构的形成。在此主因子中,胡敏酸、富里酸的含量均有较大的负向载荷,说明在这过程中,活性腐殖质起着相反的作用。

表 7 土壤各肥力因子的 R 型载荷特征向量

	F1	F2	F3	F4	F5
pH	0.7689	0.3011	-0.3192	0.4362	0.0420
有机质	0.8328	-0.4305	0.0261	-0.1151	0.0532
胡敏酸	0.5872	-0.7105	0.1473	0.3343	0.0982
富里酸	0.6845	-0.6384	-0.0020	-0.1947	-0.0215
H/F	-0.4199	0.1680	0.1649	0.7050	0.2519
胡敏素	0.3508	0.8148	0.2041	-0.2659	0.0916
过氧化氢酶	0.9150	0.3572	0.0356	0.0958	0.0384
蛋白酶	0.5303	-0.7143	0.1704	-0.0796	0.2200
脲酶	0.6212	0.5488	-0.3570	0.2174	-0.2677
酸性磷酸酶	-0.5735	-0.4978	0.2448	0.3336	-0.3993
中性磷酸酶	-0.6816	-0.2371	0.6019	0.2306	-0.0704
碱性磷酸酶	0.5313	-0.3910	-0.1309	0.6469	-0.1501
全氮	0.6009	0.0716	0.7053	-0.1364	0.0930
碱解氮	-0.0873	0.0007	0.8924	-0.2410	-0.2573
速效磷	-0.5654	-0.0664	-0.1416	0.3487	0.4213
CEC	0.2300	0.5343	0.3781	0.4904	-0.3552
砂粒	-0.8595	-0.0738	-0.1414	-0.0592	-0.3809
黏粒	0.7219	0.1024	0.5836	0.0778	-0.1952

续表

	F1	F2	F3	F4	F5
C/N	0.3261	-0.3164	-0.6371	-0.1625	-0.5328
特征值	7.0852	3.6875	3.0181	2.0418	1.2406
信息百分比/%	37.29	19.41	15.88	10.75	6.53
累计贡献率/%	37.29	56.70	72.58	83.33	89.86

第三主因子以碱解氮含量为代表性因子, 是对于土壤氮供应强度及供应容量的量度。土壤中的 C/N 比具有最大的负向载荷, 说明土壤有机质的 C/N 比, 直接影响到土壤中的氮素转化及供应。

第四主因子中, 以胡/富比值为最大正向载荷的代表, 其次是 CEC 和 pH 值, 说明在阳离子交换量较高或中性或偏碱性的环境中有利于胡敏酸的形成, 而在较酸性环境中, 富里酸的含量相对较高, 在 pH 值较高的环境中, 碱性磷酸酶活性较高, 速效磷含量在此作用中也具有较大的正向载荷。

第五主因子中, 以速效磷为代表性肥力因子, 具有最大的正向载荷, 从各剖面层次速效磷分析结果来看, 土壤表层速效磷含量均较高, 这与果园中多年长期施用磷肥有关, 而在此因子中具有最大负向载荷的是土壤有机质的 C/N 比, 如果将此主因子的特征向量乘以  $-1$ , 即改变各分量的符号, 它们仍是该主因子的特征向量。改变正负量后, F5 则表示表示了果园土壤有机物料施入的过程。由于新加入的有机物料 C/N 比较高, 使土壤有机质的 C/N 比值升高, 会直接影响到土壤中速效磷和速效氮的供应, 因此在果园土壤施用有机物料。例如, 秸秆、有机堆肥等的同时, 应补充速效化学氮肥和化学磷肥。

将第一主因子载荷为纵轴, 第二主因子载荷为横轴作图, 可以更明显地看出果园土壤中多个肥力因子间的相互关系及在土壤肥力所起的作用(图 3)。有机质、胡敏酸、富里酸、蛋白酶等聚集在横轴的右下方, 胡敏素、脲酶、过氧化氢酶、全氮含量等则聚集在横轴的右上方。在 F1 上具有较大的正值, 说明在土壤有机质提高的过程中, 与此相关的这些指标也在提高。较高黏粒含量和较高 pH 值条件下, 更有利于有机质含量的提高。相反, 速效磷含量, 中性和酸性磷酸酶的含量则聚集在横轴的左下方, 在 F1 上具有较大的负值, 说明加入有机物料或土壤有机质 C/N 比较高时, 影响的速效磷和有效氮的供应。胡敏素、CEC 分布在右上方, 在 F2 上具有较大的正值, 说明在果园土壤结构形成及孔隙方面起着重要的作用, 而胡敏酸、富里酸、有机质则在 F2 上具有较大的负值, 说明果园土壤有机质含量较低, 且在土壤结构形成中新加入的有机质必须转化成腐殖质后才能形成稳定的水稳性结构, 结构性好或透气性强时, 脲酶活性较强, 而在有机物

料加入较多时,蛋白酶活性较强。

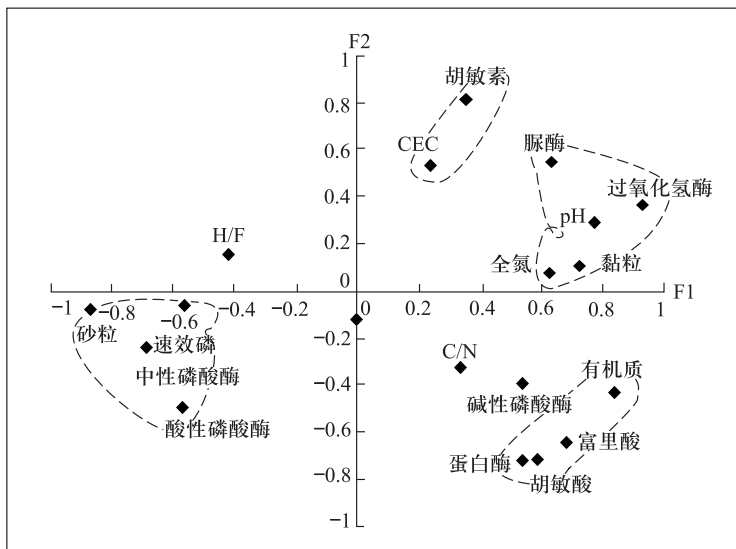


图3 果园土壤肥力因子与土壤结构形成过程的关系

将第一主因子载荷和第三主因子载荷作图(图4),可以看出氮素供应与其他因子之间的关系,碱解氮和全氮含量分布在正上方,在F3上具有较大的正向载荷,代表了果园土壤的氮素供应过程的强度和容量,而C/N比分布在右下方,在F3上具有较大的负向载荷,说明土壤C/N比过高,则会影响氮素供应时间和强度。

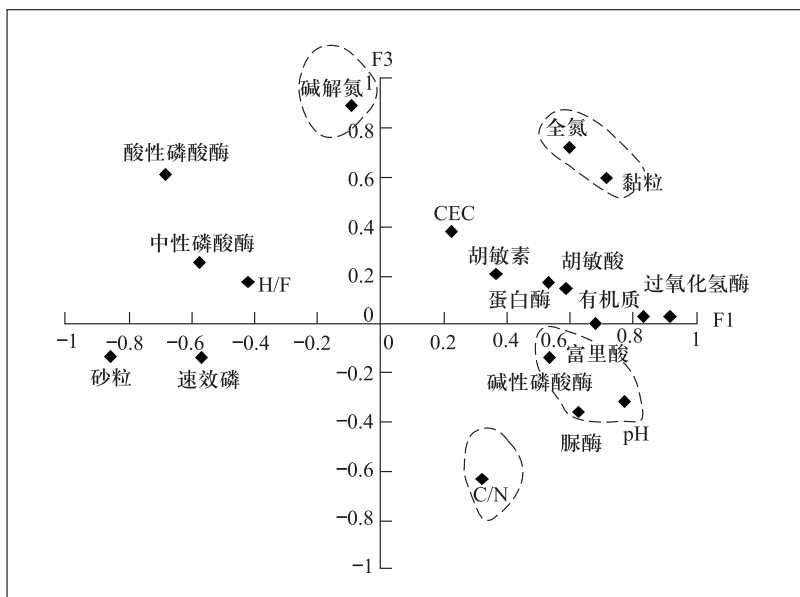


图4 果园土壤肥力因子与氮素供应过程的关系



将第一主因子载荷与第四主因子载荷作图(图5),可以看出土壤有机质矿化和活化与其他肥力因子之间的关系。胡敏酸/富里酸比值分布在左上方,与此相对应的是胡敏素和富里酸,分布在右下方在 F5 上具有较大负值,说明 H/F 比会影响到有机质的矿化和活化。

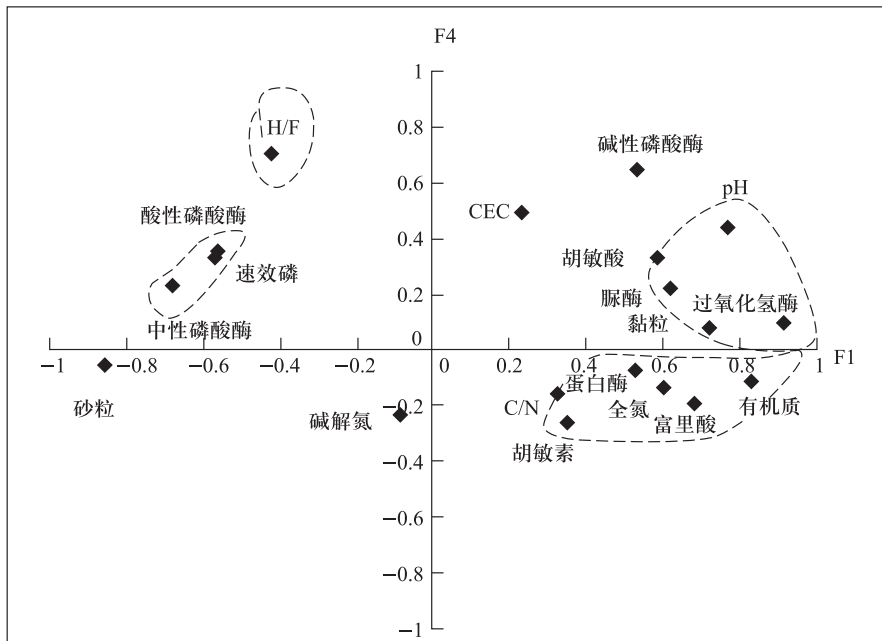


图5 果园土壤肥力因子与有机质矿化过程的关系

将第一主因子载荷与第五主因子载荷作图(图6),可以看出土壤速效磷供应与其他肥力因子之间的关系。速效磷分布在左上方,与此相对应的是 C/N 比和 CEC,分布在右下方,在 F5 上具有较大负值,说明土壤有机质的 C/N 比过大时会影响到速效磷的供应。

以上讨论可以看出土壤肥力的主因子分析更明确地指示了影响果园土壤肥力的几个重要过程和作用,即①土壤有机质累积的腐殖化与矿质化过程,②土壤水稳性结构体的形成过程,③土壤速效氮、速效磷的供应过程。

## 五、结 语

(1) 山东果园土壤分布的土壤类型以棕壤为主,其次是潮土、褐土和砂姜黑土。分布在丘陵坡地上的果园土壤质地为砂质壤土或壤质砂土,分布在平原区的果园土壤以粉砂壤土和壤土为主。

(2) 果园土壤的有机质及各养分含量差异较大,一般以表层含量较高,向下逐渐降低,由于大多数果园土壤有机质含量较低,土壤阳离子交换量主要来自黏

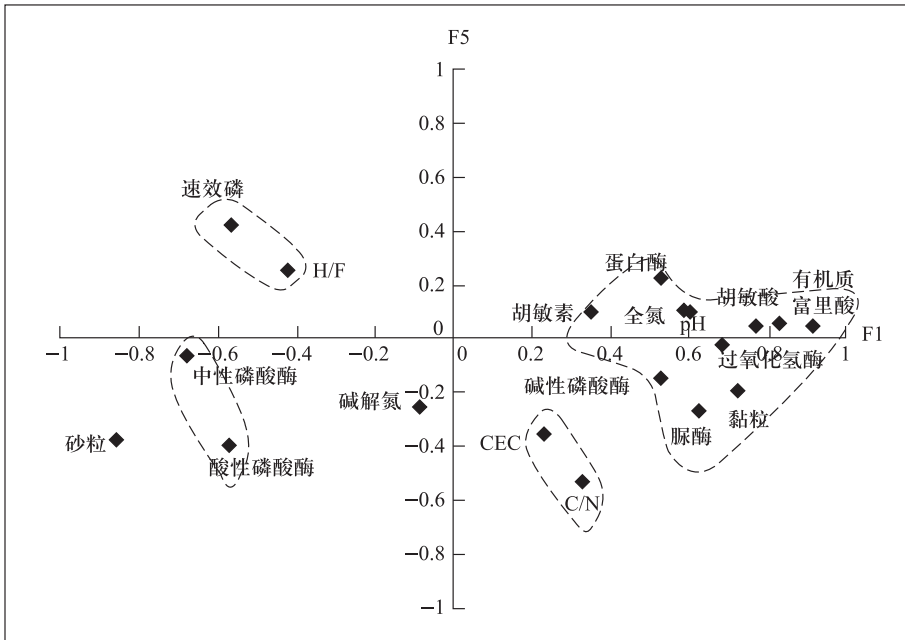


图6 果园土壤肥力因子与磷素供应过程的关系

土矿物的贡献, 取决于黏粒的含量和黏土矿物的类型。

(3) 山东果园土壤的黏土矿物以水化云母为主, 含有较多的高岭石和 1.4 nm 过渡矿物, 少量石英和蒙脱石。酸度较大的棕壤含较多高岭石, 砂姜黑土含较多蒙脱石。

(4) 果园土壤的腐殖质总量较低, 活性腐殖质一般占全氮量的 30% ~ 50%, 胡敏酸与富里酸的比值的差异较大, 土壤 pH 值较高的 H/F 比也较高, 剖面上的分布以表层较高, 向下降低。土壤中酶的活性深受土壤有机质含量以及人为生产活动, 土壤中的磷酸酶又与土壤的 pH 值密切相关, 而过氧化氢酶活性主要与土壤质地的砂黏性有关。

(5) 相关分析及主因子分析表明, 果园土壤各肥力因子之间的关系可以用影响土壤肥力的几个重要过程或作用来加以描述, 主要是土壤有机质累积的腐殖化与矿质化过程; 土壤水稳性结构体形成过程; 和土壤氮磷等养分的供应过程。各肥力因子在不同的作用或过程中起着不同的作用。

## 参考文献

关松荫, 沈桂琴, 孟昭鹏, 等. 1984. 我国主要土壤剖面酶活性状况. 土壤学

报,21(4):368-381.

关松荫. 1986. 土壤酶及其研究法. 北京:中国农业出版社.

姜远茂,彭福田,张宏彦,等. 2001. 山东省苹果园土壤有机质及养分状况研究. 土壤通报,32(4):167-169.

李春越,党廷辉,王万忠,等. 2011. 腐殖酸对农田土壤磷素吸附行为的影响研究. 水土保持学报,25(3):77-82.

鲁如坤. 1999. 土壤农业化学分析方法. 北京:中国农业科技出版社,638.

路超,王金政. 2008. 山东省苹果园梨园土壤肥力状况及改良技术措施. 落叶果树,(2):24-27.

邱凤琼,周礼恺,陈恩凤,等. 1981. 东北黑土有机质和酶活性与土壤肥力的关系. 土壤学报,18(3):243-253.

孙波,张桃林,赵其国. 1995. 我国东南丘陵山区土壤肥力的综合评价. 土壤学报,32(4):326-332.

孙治军,马丽,张民,等. 2007. 山东主要果园土壤的黏土矿物组成及其吸附特性. 水土保持学报,21(3):57-60.

肖伟伟,范晓晖,杨林章,等. 2009. 长期定位施肥对潮土有机氮组分和有机碳的影响. 土壤学报,46(2):274-280.

严升. 1986. 土壤肥力研究方法. 北京:中国农业出版社.

岳中辉,张兴义,隋跃宇,等. 2011. 黑土酶活性的剖面分布及其对养分的评价. 水土保持学报,25(4):154-159.

周礼恺. 1986. 土壤酶学. 北京:科学出版社.

Huang P M, Li Y C, Sumner M E. 2011. Handbook of Soil Sciences: Properties and Processes. 2nd edition. Boca Raton, Florida: CRC Press.

Miller W P, Miller D M. 1987. A micro-pipette method for soil mechanical analysis. Communof Soil Sci Plant Anal, 18(1): 1-15.

Whalen J K. 2012. Soil fertility improvement and integrated nutrient management-A global perspective. In Tech Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia, 306.

Zhang M, Li Y C, Stoffella P J. 2005. Comparison of analytical methods for organic carbon in composts and organic mulches. Commun Soil Sci Plant Anal, (36): 2587-2599.



**张民** 1958年生,现任山东农业大学资环学院教授委员会主任,农业资源与环境国家级特色专业负责人,土肥资源高效利用国家工程实验室常务副主任,国家缓控释肥工程技术研究中心副主任,国家缓控释肥产业技术创新战略联盟理事长,中国土壤学会常务理事,山东省土肥学会副理事长。2000年入选国家“百千万人才工程”第一、二层次,被山东省政府授予山东省优秀博士后、山东省有突出贡献的中青年专家、中国专利山东优秀发明家、山东省先进工作者,

2009年被评为全国模范教师。

曾先后在美国肯塔基大学、佛罗里达大学做博士、博士后研究。在 *Soil Sci. Soc. Am. J.*、*Geoderma* 等期刊发表论文 182 篇,SCI 收录 25 篇。已获国家发明专利 32 项、实用新型专利 15 项。主持完成了国家科技支撑计划、国家自然科学基金、农业部跨越计划、科技成果转化、国家“948”计划重点项目等。获国家科技进步奖二等奖 1 项(首位),省科技进步奖一等奖 2 项(首位 1 项)、二等奖 2 项(首位 1 项)、三等奖 1 项(首位),山东省专利一等奖 1 项(首位),中国专利奖优秀奖 2 项(首位 2 项)。

# 高产高效现代农业道路探索与实践

张福锁

中国农业大学资环学院

## 一、高产高效现代农业的重要意义

绿色革命以来,我国农业生产成功的利用世界 9% 的耕地养活了世界 22% 的人口,有效解决了温饱问题(Zhang et al., 2011)。然而,新世纪以来,我国农业生产面临一系列严峻挑战。主要表现为农业生产的肥料等物质投入持续增加,但主要粮食作物单产增长缓慢,优良品种的高产潜力未能得到充分发挥,资源利用效率持续快速下降,引起了一系列的生态环境问题。然而,我国社会经济发展对农产品的刚性需求要求未来几十年必须持续提高农业生产水平。因此,依赖肥、水等资源大量投入的增产模式在未来是否可持续?如何协调持续提高农业生产水平与养分高效利用及环境保护之间的矛盾?这已成为集约化现代农业亟待解决的重大问题,也是学术界仍在争论的重大科学命题。

回顾世界农业发展的历程,60 年代开始的绿色革命大幅度提高了主要粮食作物的单产水平,为全球粮食安全做出了巨大贡献。绿色革命以来的几十年间,世界粮食生产增加了 1 倍。然而,20 世纪 90 年代以来,与我国粮食生产问题类似,全球粮食生产出现了新的问题,粮食安全面临重大挑战,具体体现在:① 粮食产量增长趋缓,并出现徘徊局面(Cassman et al., 2010)。比如,90 年代以来以法国和德国为代表的大部分欧洲国家和地区小麦产量几乎没有增长(Brisson et al., 2010)。90 年代以来亚洲地区的水稻单产几乎没有增长(Ladha et al., 2003)。然而,为了养活日益增长的人口,2050 年世界粮食产量需在现有基础上增加 1 倍(Tilman et al., 2002)。粮食安全形势日益严峻。② 资源耗竭和环境恶化。粮食生产的发展越来越受到资源和环境的制约,第一次绿色革命走的是“高投入、高产出和高资源环境代价”的道路,农田养分流失造成的面源污染、生物多样性下降、温室气体排放增加等生态环境问题对集约化农业提出了新的挑战(Matson et al., 1997; Tilman, 1999; Foley et al., 2011)。

同时实现作物的高产与资源的高效利用,减少粮食生产带来的环境污染已成为国际农业科学界研究的新动向,是农业科学前沿,是未来农业发展之路

(Foley et al. , 2011; Grassini , Cassman, 2011; Tilman et al. , 2002, 2011)。一直以来,国际上的一些科学家做了一系列解决农业生产问题的尝试。美国科学院院士 Pamela Matson 等(1997)在 *Science* 上撰文提出“集约化可持续农业”概念;David Tilman 等(1999, 2001, 2002)指出必须更有效地利用农田养分以降低农业对环境的负效应;Kenneth Cassman 则提出了农业的“生态集约化”,主张通过土壤质量的改善、水肥资源调控以及综合管理途径来挖掘作物的产量潜力,同时达到保护生态环境的目标(Cassman et al. , 1999, 2003)。Drinkwater 和 Snapp (2007)提出通过生态的、综合的途径挖掘作物潜力,提高土壤内在养分的循环利用以减少作物对外部化肥依赖。然而,这些研究重点关注理论假设和学术观点,如何在实际生产中同时实现作物产量和资源效率的同步增长,国际上一直缺乏很好的模式和案例。

在粮食生产问题上,与欧美等发达国家往往采用资源环境优先的原则不同,我国人多地少、人口不断增长、资源紧缺,持续提高作物单产,同时高效利用有限的资源,是农业可持续发展的必由之路。为实现这些目标,“十五”以来,我国加强了作物高产、超高产的栽培技术研究,取得了显著进展,近年来三大作物的高产记录不断刷新。然而,存在的主要问题一是小面积上获得的高产纪录难以重演,更难在生产中大面积实现,二是水肥投入普遍过大,资源利用效率不高。“十五”期间,国家自然科学基金重大项目“主要农田生态系统氮素行为与氮肥高效利用的基础研究”和农业部“948”项目“养分资源综合管理技术的引进和建立”在农田养分管理的理论与实践方面取得了可喜的进展,提出了氮肥总量控制与分期调控相结合的管理策略等,在集约化生产中可显著减少化肥投入,提高养分利用效率。“十一五”和“十二五”期间,我们进一步通过国家科技部“973”项目和农业部行业专项充分加强了农田养分管理与高产栽培和环境保护的结合,取得了显著进展。我们认为,通过对作物高产群体结构与物质生产分配规律、水肥高效利用的根-土互作机制、高产高效的土壤条件及其定向调控等理论与方法的突破,是实现作物高产与资源高效利用相协调的关键。这不仅是农业科学研究领域的理论前沿,也是当代资源环境领域亟待解决的重大基础科学问题。

## 二、创建土壤-作物系统综合管理技术体系,同时实现作物高产与资源高效

针对当前农业生产与科学研究中作物高产与资源高效难于协调的现状,在充分分析我国在高产栽培、优化水分管理、病虫害防治等相关研究现状和发展趋势的基础上,张福锁等(2011)提出了土壤-作物系统综合管理同时提高作物产量与资源利用效率的设想(Chen et al. , 2011)。通过土肥、栽培、灌溉等多学科

结合,进一步挖掘作物产量潜力,以土壤、根系和作物栽培调控构建健康群体,同时实现作物高产与资源高效;进一步提高土壤生产力,简化栽培技术、提高水肥资源利用效率。同时指出在当前农业生产中同时实现作物高产与资源高效的两步战略目标:第一步,在现有产量和资源效率的基础上,实现产量增加 15% ~ 20%,资源利用效率提高 20% 以上;第二步,产量增加 30% ~ 50%,资源利用效率增加 30% 以上。第一步的目标主要通过现有栽培、水肥管理、病虫害等技术组合与优化,重点突破高产群体与高效养分水分根层调控相匹配的最佳养分水分管理等共性关键技术。第二步目标应在更高的产量和效率目标下,围绕作物高产高效的栽培调控和资源配置的三个关键过程,即作物高产群体结构与功能的调控过程、高产作物水肥高效利用的根-土互作过程、作物高产高效的土壤条件与关键过程,深入开展高产高效的基础理论研究,为进一步大幅度提高产量和资源利用效率提供理论依据。

## (一) 协调生态因子,构建理想群体、协调花后物质生产与分配,实现作物高产

### 1. 作物理想群体的构建

对国内外提高玉米产量的措施进行综合分析,提高作物单产的主要技术措施可以分为两大类:① 提高玉米的产量潜力;② 提高玉米产量潜力的实现能力。已有的研究表明,当作物可实现产量达到产量潜力的 90% 左右,通过管理措施提高作物产量的潜力变小,增产变得十分困难(Cassman et al., 1999, 2003)。因此,提高作物的产量潜力是实现作物高产的关键。提高农田单位面积作物产量,关键在于充分利用当地生态条件,建立合理的群体结构,协调个体与群体以及源与库之间的矛盾,使群体光合物质生产发挥最大效能。陈新平等(2011)通过 Hybrid-Maize 生产模型分析北京市多年生态条件,发现改变春玉米播期、密度和品种,使玉米的生长发育规律与当地生态因子匹配,能够大幅度的提高玉米产量潜力。比如,对北京地区春玉米的种植分析表明:① 在相同品种和密度条件下,仅改变春玉米的播期,可最高提高玉米产量 34%;② 在相同品种和播期条件下,将玉米播种密度从每公顷 60 000 株提高到 100 000 株,可提高玉米产量 16%;③ 在相同密度和播期条件下,更换长生育期品种,可提高玉米产量 121%。

依据农户调查结果,北京地区农民春玉米的播期一般为 4 月 20 日,密度为 60 000 株/hm<sup>2</sup>,品种为郑单 958(GDD,1612),模型模拟产量潜力为 8.9 t/hm<sup>2</sup>。若将农民管理措施优化为播期 4 月 28 日,密度为 100 000 株/hm<sup>2</sup>,品种为超试 1 号(GDD,1952),模型模拟产量为 14.0 t/hm<sup>2</sup>,较农民习惯增加 57%。

## 2. 协调花后物质生产与分配

在作物的生长发育过程中,高产粮食作物籽粒灌浆物质的 80% ~ 90% 来自抽穗后的光合生产,经济产量与抽穗后的干物质生产呈极显著的线性相关。因此,在光温条件允许的前提下,延长绿叶面积持续时间以增加结实期的光合生产、提高光合速率和物质运转与分配效率,是提高作物产量的关键途径(Thomas, Howarth, 2000; Lee, Tollenaar, 2007)。作物冠层结构是作物个体、群体数量与质量的综合体现。作物理想冠层的本质特征是群体叶面积指数适中、株型合理、总库容量(群体总粒数)大。国际水稻研究所(IRRI)在 1990—2000 年的研究战略中提出了突破产量限制的新思路和超高产的作物理想构型,对进一步提高作物产量具有指导意义。美国在 20 世纪后期一直把“持续提高作物生产力的途径”作为国家级重点研究领域,通过提高密度、综合调控资源投入,在挖掘作物的产量潜力方面取得了重大突破,创造出单季玉米产量高达  $27.8 \text{ t/hm}^2$  的世界纪录(孙世贤,2003)。

### (二) 同步根层水肥供应与高产作物需求,实现资源高效利用

以往的研究和生产多以水肥的大量投入、提高土壤水分含量和养分浓度的方式保证作物生产。不合理施肥造成的环境问题在我国一些高产、高投入的集约化生产体系中日益突出,协调作物高产与环境保护的矛盾成为亟待解决的重要科学问题。以往施肥研究以“(肥料)投入 - (作物)产出”的数量关系为主要依据,忽视了土壤 - 作物 - 环境过程的精确调控,这对保证当季作物产量是有效的,但造成了当前农田水分、养分的大量残留,增加了水分浪费、养分损失的危险性,因而难以从理论与技术途径上根本解决作物高产与环境保护相协调的问题。在研究我们发现,近 20 多年来集约化农田土壤积累的养分和环境来源的养分数量越来越大。华北平原每年来自大气干湿沉降的氮素已经超过  $80 \text{ kg/hm}^2$ ,部分集约化菜地来自灌溉水的氮素养分超过  $100 \text{ kg/hm}^2$ ,接近蔬菜吸收量的  $1/3$ (He et al., 2007);与此同时,由于连年过量施肥,土壤养分累积数量越来越大,如华北平原 0 ~ 100 cm 土壤无机氮小麦 - 玉米轮作体系播前高达  $221 \sim 275 \text{ kg/hm}^2$ ,果园达  $613 \text{ kg/hm}^2$ ,大棚蔬菜更高达  $1173 \text{ kg/hm}^2$ (Ju et al., 2006)。土壤和环境养分是一柄“双刃剑”,有效利用,则减少化学养分投入,增加养分效率;如不很好加以利用,不仅造成资源浪费,也会对环境产生严重威胁。因此,农田养分管理必须改变以往只重视肥料养分的做法,将来自土壤、肥料和环境的养分资源统筹考虑。

在不同肥料的管理策略上,以往的施肥技术对氮磷钾和中微量元素采用同一种管理方式,即使是国际上的精准农业也常常沿用这一技术思路,对土壤磷钾



进行实时实地精确测定和管理。我们长期系统的研究发现,氮素具有来源广、转化快、时空变异大、损失途径多、环境影响显著等特征,必须进行精细的实时监控。而磷钾则相对稳定、易在根层土壤中累积;过去常常认为,磷钾在土壤中的固定会失去肥效,但我们及国内外的大量研究却表明,磷肥具有长期的、远远高出我们以前预期的累积利用率(40% ~ 50%),钾也如此,这是因为作物根系可以通过其生理作用及根际过程使化学方法难以提取的难溶性磷转化为作物可以吸收利用的生物有效性磷,从而增加磷的后效、显著提高磷肥的累积利用率(Shen et al., 2011)。

通过以上分析可知,在同步根层水肥供应与高产作物需求上,养分综合管理技术的重点应该集中在以下4点(Zhang et al., 2011):① 将以往对整个土体土壤养分的管理调整为对作物根层养分供应的定向调控;② 各种养分由于具有不同的生物有效性和时空变异特征,应采取不同的管理策略;③ 根层养分适宜供应范围的确定,既要考虑高产作物根系生长发育的特点、不同生育期养分需求和利用特征,还要充分挖掘、利用作物对根层养分的活化和竞争吸收能力,提高养分利用率并降低养分在转化和迁移过程中损失的强度;④ 实时定量根层来自土壤和环境的养分供应,明确高产作物关键时期适宜的根层养分供应范围,针对不同土壤和气候条件下养分的主要损失途径,确定肥料养分投入的数量、时期和方法。

在长期的研究过程中,我们认识到土壤根层养分供应强度既是保障高产作物养分需求的关键,又是影响养分向环境迁移的决定因素,因此是协调作物高产与环境保护的核心。据此,以协调作物高产和环境保护为目标,我们形成了以“根层养分调控”为核心的养分资源管理理论思路。即将根层养分实时调控在既能充分发挥作物生物学潜力、满足高产作物的养分需求,又不至于造成养分过量累积而向环境中迁移的范围内;使来自土壤、肥料和环境的根层养分供应与高产作物养分需求在数量上匹配、在时间上同步、在空间上耦合。

在根层水分调控方面,灌溉制度已经从充分灌溉向节水型灌溉转变,水分胁迫对作物的影响及其提高水分生产效率机理已成为当前研究的热点,作物高効用水生理调控与非充分灌溉理论研究不断深入,利用作物生理特性改进植物水分利用效率的研究更加引起重视。近年来,国内外提出了许多新的概念和方法,如限水灌溉(limited irrigation)、非充分灌溉(no-full irrigation)与调亏灌溉(regulated deficit irrigation)等(Kang, Zhang, 2004; Li et al., 2007),对由传统的丰水高产型灌溉转向节水优产型灌溉,提高水的利用效率起到了积极作用。在灌溉方式上,从均匀灌溉发展到调节植物体机能、提高水分利用效率的局部灌溉。强调交替控制部分根系区域干燥、部分根系区域湿润,以调节气孔保持最适

宜开度,达到以不牺牲作物光合产物积累而提高作物水分利用效率的目的(Yang, Zhang, 2010)。

作物生产中,水、肥两因素直接影响着作物的产量、品质和效益,同时两因素之间也存在着密切的相互关联、相互制约关系,改善作物营养即科学施肥是提高农田水分利用效率的重要途径之一。国内外大量研究试验表明,作物的气孔调节、作物的保水能力和膜透性、作物的光合作用等都与氮、磷、钾营养有紧密关系。在水分胁迫下,施用氮、磷、钾肥,增加氮、磷、钾素营养,能够补偿水分胁迫下作物表现出的生长缓慢、叶面积减小、叶片伸展缓慢和产量下降等不良效应,表现为增大叶面积、促进干物质生产。在旱地条件下,适量施用氮、磷肥,可增加单株次生根条数,并能提高根系活力,以及改善叶片的光合能力,增加同化物含量,而最终提高了作物的水分利用效率。通过建立以肥、水、作物产量为核心的耦合模型和技术,实现合理施肥、培肥地力,以肥调水、以水促肥,充分发挥水肥协同效应和激励机制,提高作物抗旱能力和水分利用效率。

### (三) 提高土壤基础生产力,增强抗逆能力和缓冲性,稳定实现作物高产高效

土壤是作物生产的基础,作物产量潜力和水肥调控作用的持续稳定发挥依赖于良好的土壤条件,因为一个好的土壤至少具备以下两条特征:① 具有良好缓冲能力和系统稳定性;② 有利于根系生长和水分养分及时供应和高效利用(张福锁等,2006)。研究结果表明,土壤不施肥小区作物的产量(基础地力)与施肥条件下的产量有密切的关系,即随着不施肥小区作物的产量的提高,施肥后相应也能获得更高的产量。然而,我国土壤的基础地力仍然较低,2/3的土壤属于中低产田,因此提高土壤的基础地力是实现我国种植业高产高效的基本保障条件。从世界范围来看,未来全球主要禾谷类作物实现增产潜力的主要途径之一是提高土壤质量(Cassman, 1999; Tilman et al., 2002; Richter et al., 2007)。

通过改善土壤有机碳库实现作物高产高效和环境友好已进行了一系列的探索和实践(Tiessen et al., 1994; Lal, 2004; Lehmann, 2007)。Drinkwater 和 Snapp(2007)指出,在全球范围内,作物系统对 N 和 P 利用效率不高的原因之一在于土壤 C 与 N、P 的循环过程没有有效耦合。高有机质的土壤可以通过矿化等途径释放活性养分,减少作物对化学养分的依赖;同时增加系统稳定性增加作物丰产、稳产性,提高养分的利用效率(Cassman et al., 2003)。在集约种植条件下,秸秆还田、有机无机配合、轮作、保护性耕作和增加生物多样性等措施已被证明是实现作物持续高产、增强农田生态系统稳定性的有效技术。

在国内,针对粮食主产区面临的土壤耕层变浅、水肥保持和供应能力不能满

足作物生长需要以及土壤污染加重等问题,近年来开展了一系列土壤质量、农田物质循环、土壤污染与修复研究工作。国家重点基础研究项目“土壤质量演变规律及土壤资源可持续利用”通过对土壤质量演变规律的研究,初步建立了土壤质量综合评价指标和模型,开展了土壤质量预测和预警的探索工作。近来启动的重点基础研究项目“我国农田生态系统重要过程与调控对策研究”旨在通过对我国主要农田生态系统的重要过程进行定点长时间序列和联网研究,阐明农田生态系统物质循环规律,揭示系统稳定性的关键生态过程及相互作用机制,发展多目标协调的农田生态系统调控理论。

### 三、高产高效农业的实践与验证

高产高效农业的理论和体系需要及时在农民地块进行示范验证,以尽快形成生产力,发挥科学技术在增产增效方面的重要作用。我们对土壤-作物系统综合管理的调控途径进行了大范围的试验验证。覆盖全国玉米主产区 66 个点的试验结果表明,土壤-作物系统综合管理在不增加氮肥用量的同时,玉米单产从大样本调查的农民习惯产量( $6.8 \text{ t/hm}^2, n = 4548$ )增加到  $13.0 \text{ t/hm}^2$ ,增产 91%,相应的氮肥生产效率从每千克氮肥生产 26 kg 玉米增加到 57 kg 玉米,同时实现了作物高产与氮素高效的目标(Chen et al., 2011)。这一研究不仅使当前养分管理研究工作在大幅度提高作物产量方面更进一步,也为未来集约化农业能否实现作物持续高产与环境保护的双赢提供了一个范例。土壤-作物系统综合管理的技术核心是通过对品种、播期、密度等技术要素的再设计来建立优化冠层,最大限度利用光温资源以获得高产,通过对高产作物养分需求的再认识来设计根层养分供应模式,以根层养分调控为技术手段保障高产作物的养分需求同时最大限度地减少养分的损失,从而协同实现高产和高效的目标。

然而,在我国现有的农户地块狭小、分散经营的条件下,如何将土壤-作物系统综合管理技术传达给农民,在更大范围内实现高产与高效的协同仍然面临严峻挑战。实现科研与生产、科技人员与农民、科研院所与农村的无缝链接,是促进农业科技转化、打通农业科技“最后一公里”瓶颈的重要途径。近年来,中国农业大学资源环境与粮食安全研究中心成功地通过建立“科技小院”等形式,及时地将以土壤-作物系统综合管理为核心的高产高效技术推广到生产中,在实践中检验理论知识的可行性,不仅实现了高产高效的目标,而且在提高农民科技水平、探索农业经营方式乃至乡村文化建设等方面发挥了重要作用。

综上所述,我国科学家在作物育种、高产栽培和土壤水肥管理等研究领域取得了不少的进展,为国家粮食生产的发展做出了重要的贡献。然而,目前面临的关键问题是,我国作物育种、高产栽培、资源高效利用和环境保护的研究相互脱

节,在同时实现作物高产、资源高效、环境优化相协调的理论与技术研究相对薄弱。高产高效农业的发展要求多学科的融合,仅仅是靠一门或者几门学科的知识已经难以满足高产高效农业发展道路的要求。现有多学科知识的融合,是实现高产高效农业发展道路的核心。要实现粮食产量和资源利用效率的协同提高,需要综合育种、栽培、营养、土壤、气候、生态、植保、环境、经济等多学科已有的知识,相互融合,共同组建高产高效现代农业生产体系的研究团队。必须从理论和技术上继续实现以下突破:①大幅度提高土壤生产力,藏粮于地;②不断提升作物品种潜力,充分挖掘作物产量潜力和资源利用潜力;③节能、低耗、低碳、高效、资源节约型的土壤-作物系统综合管理措施。

## 参考文献

- 孙世贤. 2003. 2002年美国玉米高产竞赛简况. 玉米科学, (11):102.
- 张福锁, 马文奇, 陈新平. 2006. 养分资源综合管理理论与技术概论. 北京: 中国农业大学出版社, 24-148.
- Brisson N, Gate P, Gouache D, et al. 2010. Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. *Field Crops Res*, 119:201-212.
- Cassman K G. 1999. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proc Natl Acad Sci USA*, 96:5952-5959.
- Cassman K G, Dobermann A, Walters D T, et al. 2003. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. *Annu Rev Environ Resour*, 28:315-358.
- Cassman K G, Grassini P, van Wart J. 2010. Global food security in a changing climate: crop yield trends and yield potential//Hillel D, Rosenzweig C. *Handbook of Climate Change and Agroecosystems: Impacts, Adaptation, and Mitigation*. London:Imperial College Press, 37-51.
- Chen X P, Cui Z L, Vitousek P M, et al. 2011. Integrated soil-crop system management for food security. *Proc Natl Acad Sci USA*, 108:6399-6404.
- Drinkwater L E, Snapp S S. 2007. Nutrients in agroecosystems: rethinking the management paradigm. *Adv Agron*, 92:163-186.
- Foley J A, Ramankutty N, Brauman KA, et al. 2011. Solutions for a cultivated

planet. *Nature*, 478:337 – 342.

Grassini P, Cassman K G. 2011. High-yield maize with large net energy yield and small global warming intensity. *Proc Natl Acad Sci USA*, 109:1074 – 1079.

He F F, Chen Q, Jiang R F, et al. 2007. Yield and nitrogen balance of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) with conventional and site-specific management practice in Northern China. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 77:1 – 14.

Ju X T, Kou C L, Zhang F S, et al. 2006. Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: Comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain. *Environ Pollut*, 143:117 – 125.

Kang S Z, Zhang J H. 2004. Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. *J Exp Bot*, 55:2437 – 2446.

Ladha J K, Dawe D, Pathak H, et al. 2003. How extensive are yield declines in long-term rice-wheat experiments in Asia? *Field Crops Res*, 81:159 – 180.

Lal R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304:1623 – 1627.

Lee E A, Tollenaar M. 2007. Physiological basis of successful breeding strategies for maize grain yield. *Crop Sci*, 47:202 – 215.

Lehman J. 2007. A handful of carbon. *Nature*, 447:43 – 144.

Li F S, Liang J H, Kang S Z, et al. 2007. Benefits of alternate partial root-zone irrigation on growth, water and nitrogen use efficiencies modified by fertilization and soil water status in maize. *Plant Soil*, 295:279 – 291.

Matson P A, Parton W J, Power A G, et al. 1997. Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science*, 277:504 – 509.

Richter D, Hfmockel M, Callahan M A, et al. 2007. Long-term soil experiments: Keys to managing earth's rapidly changing ecosystems. *Soil Sci Soc Am J*, 71:266 – 279.

Shen J, Yuan L, Zhang J, et al. 2011. Phosphorus dynamics: From soil to plant. *Plant Physiol*, 156:997 – 1005.

Thomas H, Howarth C J. 2000. Five ways to stay green. *J Exp Bot*, 51:329 – 337.

Tiessen H, Cuevas E, Chacon P. 1994. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. *Nature*, 371:783 – 785.

Tilman D. 1999. Global environmental impacts of agricultural expansion: The

need for sustainable and efficient practices. *Proc Natl Acad Sci USA*, 96:5995 – 6000.

Tilman D, Balzer C, Hill J, et al. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proc Natl Acad Sci USA*, 108:20260 – 20264.

Tilman D, Cassman K G, Matson P A, et al. 2002. Agriculture sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418:671 – 677.

Tilman D, Fargione J, Wolff B, et al. 2001. Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science*, 292:281 – 284.

Yang J C, Zhang J H. 2010. Crop management techniques to enhance harvest index in rice. *J Exp Bot*, 61:3177 – 3189.

Zhang F S, Cui Z L, Fan M S, et al. 2011. Integrated soil-crop system management: reducing environmental risk while increasing crop productivity and improving nutrient use efficiency in China. *J Environ Qual*, 40:1051 – 1057.



**张福锁** 1989年毕业于德国 Hohenheim 大学,获博士学位。中国农业大学教授、教育部长江学者特聘教授、国家自然科学基金创新群体和国家科技部 973 项目首席科学家。长期从事植物营养学研究。先后主持国家基金重大项目、973 项目和重大国际合作项目等 30 余项。获首届教育部跨世纪人才基金(1993)和国家杰出青年科学基金(1994),入选国家有突出贡献的中青年专家(1994)和人事部百千万人才工程第一、二层次(1996)。1993 年至今连续四届任国际植物

营养委员会委员;2001 年当选第 15 届国际植物营养委员会主席;2005 年获德国 Hohenheim 大学杰出成就奖;2006 年、2010 年和 2013 年被农业部连续三届聘为全国测土配方施肥技术专家组组长;2007 年获国际肥料工业协会国际作物营养奖。

20 多年来,在植物根际营养和农田养分高效利用理论与实践方面取得了系统的研究成果。2005 年获国家自然科学基金二等奖、2008 年获国家科技进步奖二等奖(均为第一完成人);在 *Nature*、*Science*、*PNAS* 等国际著名刊物上发表论文 100 余篇,出版著作 30 余部。



## 附录

## 参会人员名单

姓名	职务/职称	工作单位
尹伟伦	院士	中国工程院农业学部主任
方智远	院士	中国工程院农业学部副主任
高中琪	副局长	中国工程院二局
束怀瑞	院士	山东农业大学
徐进	副巡视员	中国工程院二局
刘静	主任	中国工程院三局学术与出版办公室
罗莎莎	主任	中国工程院二局农业学部办公室
郑召霞		中国工程院二局农业学部办公室
祝恩元	处长	山东省科技厅
董树亭	副校长	山东农业大学
高东升	副校长	山东农业大学
米庆华	处长	山东农业大学
程来亮	教授	美国康奈尔大学
Elizabeth Jeanne Mitcham		美国加利福尼亚大学
Gregory A. Lang		美国密歇根州立大学
Terence Lee Robinson		美国康奈尔大学
Atanas Blagov		Institute of Agriculture – Kyustendil, Bulgaria
Dimitar Sotirov		Institute of Agriculture – Kyustendil, Bulgaria
Simeon Krumov		Institute of Agriculture – Kyustendil, Bulgaria
沙广利	研究员	青岛市农科院
张林森	副教授	西北农林科技大学
张福锁	教授	中国农业大学
申建波	教授	中国农业大学
江荣凤	副院长/教授	中国农业大学
张宏彦	副站长/副教授	中国农业大学
陈延军	硕士研究生	中国农业大学



续表

姓名	职务/职称	工作单位
李雪丽	硕士研究生	中国农业大学
赵 娜	硕士研究生	中国农业大学
刘秀春	硕士研究生	中国农业大学
王春良	所长	宁夏农林科学院资源研究所
程存刚	副所长/研究员	中国农业科学院果树研究所
赵德英	副研究员	中国农业科学院果树研究所
李 壮	副研究员	中国农业科学院果树研究所
王华田	教授	山东农业大学
耿 兵	博士	山东农业大学
戴洪义	副校长/教授	青岛农业大学
杨 锋	副研	辽宁省果树科学研究所
吕德国	教授	沈阳农业大学园艺学院
秦嗣军	副教授	沈阳农业大学园艺学院
马怀宇	讲师	沈阳农业大学园艺学院
杜国栋	副教授	沈阳农业大学园艺学院
刘国成	研究员	沈阳农业大学园艺学院
李芳东		沈阳农业大学
刘灵芝		沈阳农业大学
徐田伟		沈阳农业大学
苏 宏		沈阳农业大学
周文杰		沈阳农业大学
姚丽贤		广东省农科院土壤肥料研究所
杨苞梅		广东省农科院土壤肥料研究所
李国良		广东省农科院土壤肥料研究所
彭福田	教授	山东农业大学园艺科学与工程学院
陈 伟	副教授	山东农业大学
王衍安	副教授	山东农业大学

续表

姓名	职务/职称	工作单位
张 勇	研究生	山东农业大学
张洪毅	研究生	山东农业大学
刘 飞	研究生	山东农业大学
付春霞	研究生	山东农业大学
胡承孝	副院长、教授	华中农业大学
张玉星	主任/教授	河北农大学科学学位管理办公室
张江红	副教授	河北农大园艺学院
王国英	系副主任/教授	河北农大园艺学院
张 民	教授	山东农业大学
时连辉	副教授	山东农业大学
陈 清	教授	中国农业大学
姜远茂	教授	山东农业大学
李媛媛	博士	山东农业大学
张 军	记者	泰安电视台
杨 宇	记者	山东农业大学宣传部
韩振海	教授	中国农业大学
孔 谨	副教授	中国农业大学
杨 杰	高级农艺师	国家苹果工程技术研究中心
王金政	研究员	山东省果树研究所
范伟国	副教授	山东农业大学
由春香	副教授	山东农业大学
陈晓流	副教授	山东农业大学
高华君	副研究员	山东省果树研究所
朱树华	副教授	山东农业大学
路 超	助研	山东果树研究所
李 玲	讲师	山东农业大学
陆文利	讲师	山东农业大学

续表

姓名	职务/职称	工作单位
陈修德	助教	山东农业大学
谭 钺	博士	山东农业大学
毛志泉	教授	山东农业大学
沈 向	教授	山东农业大学
耿 兵	博士	山东农业大学
宿红艳	教授	鲁东大学
张 娟	讲师	鲁东大学
王 晶	助研	北京市农林科学院
李慧峰	博士	山东省果树所
刘世昌	硕士	中国农业大学
彭雪松	博士	中国农业大学
徐庆苯	老师	中国农业大学
王宝杰	老师	中国农业大学
蔡巧玉	编辑	科学中国人
乔昌卫	编辑	科学中国人
孙绳军	总经理	福特森农业科技公司
高文胜	博士	山东省果茶技术指导站
董彩霞	副教授	南京农业大学
韦 中	博士	南京农业大学
姜海波	博士	南京农业大学
申长卫	硕士	南京农业大学
潘凤荣	研究员	大连农科院
李俞涛	助理研究员	大连农科院
夏国芳	助理研究员	大连农科院
李 明	副研究员	郑州果树所
魏钦平	副所长、研究员	北京林果所
刘松忠	副研究员	北京林果所

续表

姓名	职务/职称	工作单位
张 强	助理研究员	北京林果所
孙 健	助理研究员	北京林果所
胡承孝	常务副院长/教授	华中农业大学
关军锋	所长	河北省农科院遗传所
曹 慧	教授	潍坊学院
姜倩倩	讲师	潍坊学院
贺志清		中国农业出版社
陈学森	教授	山东农业大学
王金龙	总经理	青岛根源生物科技
张曙东	经理	青岛根源生物科技
潘海发		中国农业大学
朱 斌		中国农业大学
罗飞雄		中国农业大学
孙玉刚		山东省果树研究所
焦其庆		山东省果树研究所
张新忠	教授	中国农业大学
刘庆忠	研究员	山东省果树研究所
崔 金		山东省果树研究所
蔡宇良		西北农林科技大学
陈丽楠		辽宁省果树科学研究所
姜中武	副院长/所长	烟台市农业科学研究院
李元军	副所长/研究员	烟台市农业科学研究院
翟广印	果树所党总支副书记	烟台市农业科学研究院
张福兴	副所长/研究员	烟台市农业科学研究院
孙庆田	主任/研究员	烟台市农业科学研究院
于 青	主任/副研究员	烟台市农业科学研究院
刘美英	副研究员	烟台市农业科学研究院

续表

姓名	职务/职称	工作单位
宋来庆	主任	烟台市农业科学研究院
赵玲玲	副主任/博士	烟台市农业科学研究院
唐 岩	苹果科室	烟台市农业科学研究院
唐美玲	葡萄体系 站长	烟台市农业科学研究院
苏佳明	主任	烟台市农业科学研究院
李庆余	大樱桃科室	烟台市农业科学研究院
田长平	大樱桃科室	烟台市农业科学研究院
张 序	大樱桃科室	烟台市农业科学研究院

# 后 记

科学技术是第一生产力。纵观历史,人类文明的每一次进步都是由重大科学发现和技术革命所引领和支撑的。进入 21 世纪,科学技术日益成为经济社会发展的主要驱动力。我们国家的发展必须以科学发展为主题,以加快转变经济发展方式为主线。而实现科学发展、加快转变经济发展方式,最根本的是要依靠科技的力量,最关键的是要大幅提高自主创新能力。党的十八大报告特别强调,科技创新是提高社会生产力和综合国力的重要支撑,必须摆在国家发展全局的核心位置,提出了实施“创新驱动发展战略”。

面对未来发展之重任,中国工程院将进一步加强国家工程科技思想库的建设,充分发挥院士和优秀专家的集体智慧,以前瞻性、战略性、宏观性思维开展学术交流与研讨,为国家战略决策提供科学思想和系统方案,以科学咨询支持科学决策,以科学决策引领科学发展。

工程院历来重视对前沿热点问题的研究及其与工程实践应用的结合。自 2000 年元月,中国工程院创办了中国工程科技论坛,旨在搭建学术性交流平台,组织院士专家就工程科技领域的热点、难点、重点问题聚而论道。十年来,中国工程科技论坛以灵活多样的组织形式、和谐宽松的学术氛围,打造了一个百花齐放、百家争鸣的学术交流平台,在活跃学术思想、引领学科发展、服务科学决策等方面发挥着积极作用。

至 2011 年,中国工程科技论坛经过百余场的淬炼,已成为中国工程院乃至中国工程科技界的品牌学术活动。中国工程院学术与出版委员会今后将论坛有关报告汇编成书陆续出版,愿以此为实现美丽中国的永续发展贡献出自己的力量。

中国工程院

## 郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010) 58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010) 82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120