

# 果树营养与肥料高效利用技术研究进展

王贵芳, 姚元涛, 魏树伟\*, 张勇 (山东省果树研究所, 山东泰安 271000)

**摘要** 肥料是果树生长和生产的基础, 决定果树的产量和果实品质。但施肥不平衡、过量施用化肥导致肥料利用率不高, 土壤中肥料损失严重, 并造成严重的环境污染问题, 威胁到农业可持续性发展。从果树对营养元素的吸收利用、果树施肥中存在的问题、果树肥料减施技术的利用等方面进行归纳总结, 并对提高果树肥料利用率的途径进行展望, 以期对果树营养及肥料的科学施用提供参考。

**关键词** 果树; 营养元素; 肥料高效利用技术

**中图分类号** S66 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2020)05-0014-04

**doi**: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.05.004



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Research Progress on Fruit Tree Nutrition and Fertilizer Efficient Utilization Technology

WANG Gui-fang, YAO Yuan-tao, WEI Shu-wei et al (Shandong Institute of Pomology, Tai'an, Shandong 271000)

**Abstract** Fertilizer is the basis of growth and production of fruit trees and it determines the yield of fruit trees and fruit quality. However, unbalanced fertilization and excessive application of chemical fertilizers lead to lower utilization rate of fertilizers. Fertilizer is heavy losses in soil, and which has made serious environmental pollution problems. These are threatening the sustainable development of agriculture. This article summarized the absorption and utilization of nutrient elements by fruit trees, the problems existing in fertilization of fruit trees, and the utilization of fruit tree fertilizer reduction technology, and prospected the way to improve the fertilizer utilization rate of fruit trees, in order to provide the references for the scientific application of fruit tree nutrition and fertilizers.

**Key words** Fruit tree; Nutrient element; Efficient utilization technology of fertilizer

果树是我国重要的经济树种。肥料是植物的粮食, 是绿色植物进行光合作用的重要原料。施肥与果树的产量及果实品质息息相关<sup>[1]</sup>。在果树年生命周期中, 树体的生长发育、果实的成熟与采摘都会带走大量养分, 因此每年都要向果园投入大量肥料。但是, 随着农业开发强度的提高, 过量施用化肥导致肥料利用率不高, 土壤中肥料损失严重, 并造成严重的环境污染问题, 威胁到农业可持续性发展。因此, 满足果树树体的营养需求、保护生态环境、提高肥料利用率成了果树营养与肥料研究的主题。笔者从果树对营养元素的吸收利用、果树施肥中存在的问题、果树肥料减施技术的利用等方面进行归纳总结, 并对提高果树肥料利用率的途径进行展望, 以期对果树营养及肥料的科学施用提供参考。

### 1 果树对营养元素的吸收与利用

果树生长所需的营养元素主要有碳、氢、氧、氮、磷、钾、钙、镁、硫、铁、锰、锌、铜、硼、钼和氯等。其中碳、氢、氧来自二氧化碳和水, 其他主要来自土壤, 称为矿质营养。

根系是果树吸收营养元素的主要器官, 它不仅将植株固定在土壤中, 而且具有吸收、合成、贮藏、分泌等重要功能<sup>[2]</sup>。根尖是果树吸收矿质营养和水分的主要部位, 其中根毛区是根尖吸收离子最活跃的区域; 此外, 次生的甚至多年生的木质根也具有吸收功能<sup>[3]</sup>。根系表面的离子通过与土壤中矿质元素离子进行交换将其吸附在根系细胞的表面, 然后根系表面的离子通过质外体和共质体 2 条途径进入根导管, 导管中的矿质元素离子依靠水的集流运送到地上器官<sup>[3]</sup>。

除根系外, 果树的茎、叶片、幼果等器官也可以吸收矿质

元素, 这称为根外营养。叶片是果树地上部吸收矿质营养的主要器官, 生产中将一些速效性肥料直接喷施于地上部, 供植物吸收, 这种施肥方法称为根外施肥或叶面施肥<sup>[3]</sup>。矿质元素主要通过叶片的气孔、茎表面的皮孔、蜡质层裂隙和角质层上的孔道, 到达表皮细胞的细胞壁后, 进一步经过细胞壁中的外质连丝到达表皮细胞的质膜, 最后通过质膜进入细胞内, 参与植物的生理活动<sup>[4-5]</sup>。叶片对矿质养分的吸收和运转速率比根快, 果树能迅速和及时地得到所需的矿质养分。

果树根系吸收的矿质元素除少部分留在根部利用外, 大部分运输到地上部分。叶片吸收的矿质元素也运输到果树的其它部分。此外, 果树在生长发育过程中或某种元素缺乏时, 矿质元素也会在果树不同部位之间进行再分配<sup>[3]</sup>。

### 2 果树施肥中存在的问题

科学施肥是满足果树生长发育、提高果品产量和改善品质的重要手段。然而, 随着我国肥料用量的逐年增加, 肥料的利用率则逐渐下降, 同时过量施肥也给土壤带来严重的环境污染。目前, 果树生产中普遍存在重施氮肥且用量过大, 施肥时间及方法不当、施肥不平衡、肥料利用率低等问题。

**2.1 施肥不平衡, 重施氮肥影响果实品质** 我国大多数果园土质条件和土壤肥力较差, 化肥在增加果园产量方面发挥了重要的作用<sup>[6]</sup>; 但近年来, 果农为追求高产量逐渐增加化肥的投入量, 使得果园肥料施用量逐年增加。施肥不合理及过量施肥影响果实的品质。王兆燕等<sup>[7]</sup>对中华寿桃研究表明, 在果实膨大期适量追施氮磷钾(16:8:20)复合肥 0.75、1.50 kg/株能够提高果实产量, 果实产量与施肥量呈正相关, 施肥量超过此范围(0~1.50 kg/株)则增产效果不明显, 且对果实品质产生负面影响。Jia 等<sup>[8]</sup>研究表明, 适量施用氮肥桃果实的风味较佳, 高氮处理桃果实芳香物质含量下降, 风味变劣。曾伟男<sup>[9]</sup>通过对温州蜜柑研究也发现, 施氮量不足

**基金项目** 国家“十三五”重点研发计划项目(2018YFD0201407)。  
**作者简介** 王贵芳(1980—), 女, 山东单县人, 助理研究员, 博士, 从事果树营养生理与栽培技术研究。\*通信作者, 副研究员, 从事果树栽培技术研究。  
**收稿日期** 2019-09-06

与过量都会显著降低植株对氮肥的利用率、果实的品质和产量也显著降低,适量施用氮肥才能生产出优质、高产的果实。在草莓生产中也存在果农盲目施肥的现象,特别是偏施氮肥,造成我国草莓内在品质下降,口感差<sup>[10]</sup>。

**2.2 肥料利用率低、损失严重** 目前,我国化肥使用量占农业生产用肥料总量的 71.6%,平均化肥使用量达 750 kg/hm<sup>2</sup> 以上<sup>[11]</sup>。虽然我国化肥使用量很高,但肥料的利用率极低,其中氮肥通过挥发、淋溶和径流等途径损失数量巨大。我国每年施用纯氮约 2 100 万 t,每年损失的氮素高达 945 万 t,相当于 2 050 多万 t 尿素<sup>[12]</sup>。氮肥的施用主要有根外追施与土施 2 种方式。田间试验证实,土施氮素肥料利用率不高,虽然可以通过施肥量、施肥时间、施肥深度及位置等方法改善肥料利用率低的问题,但效果不明显,氮素肥料利用率整体偏低,为 25.0%~31.4%<sup>[13-14]</sup>;同时,随着氮肥投入量的增加,果树对氮肥的利用率降低,氮素的残留率日益增大,进而导致果园氮肥损失严重<sup>[15]</sup>。

**2.3 过量施肥造成环境污染** 目前,果树生产中为了追求产量,重施偏施单一性化肥、轻施有机肥、复合肥及果树专用肥等配方肥料,重基肥而轻追肥等现象普遍存在<sup>[16]</sup>。长期过量不合理的施肥不仅造成了资源浪费,也严重威胁到了果园土壤环境的安全,进而限制了果业的可持续发展<sup>[17]</sup>。长期过量施用化肥,会促使土壤酸化、破坏土壤养分平衡和土壤结构、降低土壤有机质、加速土壤中一些营养元素的流失,抑制或毒害土壤微生物的正常活动<sup>[18]</sup>。盲目施肥,氮、磷、钾比例失调,使大量盐离子不能被作物有效吸收而残留在土壤中,导致土壤次生盐渍化;此外,大量施用化肥会引起地下水、饮用水硝酸盐污染<sup>[19]</sup>,增加作物病虫害发生率。因此,在保证水果充分供应、满足果树营养需求的前提下,提高肥料利用率、减少肥料过量使用带来的土壤退化和环境污染已成为果树营养与肥料研究的主体。

### 3 果树肥料高效利用技术

果树是多年生作物,生物产量较高,需肥量大,土壤施肥已成为改善果园土壤养分供应和获得优质高产果品的重要技术措施<sup>[20]</sup>。科学合理施肥不仅能满足果树对养分的需求<sup>[21]</sup>,促进果树的生长、提高果品的产量,改善果实品质<sup>[22]</sup>;而且能够减少养分的浪费和损失,降低环境污染,提高养分利用率<sup>[23]</sup>。因此,为了提高肥料利用率进行科学合理的施肥,国内外科研工作者对果树的生理特性、需肥规律以及施肥技术进行了大量深入而全面的研究<sup>[24-25]</sup>。有关果树的施肥技术如测土配方施肥<sup>[26]</sup>、平衡施肥<sup>[27]</sup>、水肥一体化技术<sup>[28]</sup>等研究也在不断深化和创新,并取得了显著成效。

#### 3.1 果树根部肥料减施增效技术

**3.1.1 测土配方施肥。**以土壤测试和肥料田间试验为基础,根据果树需肥规律、结合土壤供肥性能和肥料效应,在合理施用有机肥料的基础上,提出氮、磷、钾及中、微量元素等肥料的施用数量、施肥时期和施用方法。其核心是调节和解决果树需肥与土壤供肥之间的矛盾。同时有针对性地补充果树所需的营养元素,实现养分平衡供应,满足果树生长的

需要;达到提高肥料利用率,提高果树产量,改善果品品质的目的。丁邦新等<sup>[29]</sup>对不同树龄段的“库尔勒香梨”果园土壤养分进行测定分析,并根据养分平衡法和地力差减法制定了不同树龄“库尔勒香梨”园的推荐施肥方案。叶国军<sup>[30]</sup>对广东连州水晶梨产区进行田间调研,结果表明,应用测土配方施肥能有效提高水晶梨的单果重、含糖量,增强树势,延长落叶时期。

**3.1.2 平衡施肥。**变过去的偏施单一化肥为全营养平衡施肥。平衡施用氮、磷、钾肥和中、微量元素,保证果树生长期间所需的各种营养成分,避免因缺乏某种养分而限制其他养分作用的发挥。平衡施肥以有机肥料为主,注意化学肥料按一定比例配合施用,使养分供应平衡,充分发挥各种营养元素的增产作用,提高肥料利用率,提升土壤有机质含量,培肥地力,增强树势和果实产量,改善果实品质。姜远茂等<sup>[27]</sup>为实现国家化肥零增长和苹果产业节肥提质增效的目的,提出苹果高效平衡施肥技术应遵循的原则,从肥料类型、肥料用料、施肥方法和施肥时间等方面提出了指导性意见。冯锁牢等<sup>[31]</sup>针对陕西富平尖柿生产中施肥方面存在的施肥种类单一、营养成分不全、施肥时间混乱的问题,通过调查并制定了全营养平衡施肥方案,有效减少了病虫害的发生,提高了富平尖柿的品质。

**3.1.3 水肥一体化技术。**又称“灌溉施肥”或“肥水灌溉”技术,主要是使用喷灌、滴灌、微灌方法将溶解于水中的肥料施入土壤。水肥一体化技术不仅在干旱缺水的农作物生产上被应用<sup>[32]</sup>,而且在果树生产中也发挥了较大的作用,如在柑橘<sup>[33]</sup>、龙眼<sup>[34]</sup>、苹果<sup>[35]</sup>、草莓<sup>[36]</sup>、葡萄<sup>[37]</sup>等果树上也得到广泛的应用。黄丽<sup>[38]</sup>对陕北延安苹果产区水肥一体化管理模式进行研究,通过大田试验与室内模拟试验相结合的手段,制定出适合当地苹果产区的施肥方案。林鸾芳<sup>[39]</sup>对福建山地水蜜桃研究表明,膜下滴灌水肥一体化技术显著提高了水蜜桃产量、质量及经济效益。杨素苗等<sup>[40]</sup>研究也发现,微灌施肥不仅能维持苹果树体的根系活力,而且提高了果树的产量和果实的品质。

**3.2 果树叶面施肥** 叶面肥的使用具有悠久的历史,叶面施肥与根部施肥相比,具有养分吸收快、肥效好、针对性强、环境污染风险小和使用方式简便、经济的特点,现已成为现代农业生产中一项不可或缺的施肥技术。近年来,叶面施肥已成为一项重要的施肥方法,研究表明,喷施叶面肥能显著提高苹果叶片的光合性能<sup>[41]</sup>。唐岩等<sup>[42]</sup>研究发现,叶面喷施硅酸钾能显著增加苹果果实可溶性固形物含量和挥发性物质的种类和含量,降低可滴定酸含量,提高果实的品质;喷施磷酸二氢钾可增加“红将军”苹果叶片的质量,提高光合速率及蒸腾速率,同时提高果实的单果重、可溶性固形物含量<sup>[43]</sup>。王玉霞等<sup>[44-45]</sup>研究晚熟桃“福秀”和“福美”叶面喷施腐殖酸肥、海藻肥、氨基酸钙肥表明,腐殖酸肥和海藻肥显著提高叶片的光合速率和果实的品质。

**3.3 缓控释肥、微生物肥等新型肥料的开发** 为提高肥料利用率,减少肥料浪费,减轻肥料对环境造成的巨大压力,人

们对肥料技术进行不断的创新,开发出缓/控施肥、袋控缓释肥、微生物肥、气体肥料、液体肥料等新型肥料。

**3.3.1 缓/控释肥。**又称长效肥料,主要指施入土壤后转变为植物有效养分的速度比普通肥料缓慢的肥料。赵林等<sup>[46]</sup>研究表明,控释肥能够显著提高“红将军”和“嘎啦”苹果叶片叶绿素含量,并显著增加了“红将军”苹果单果重,减少大小年的产量的差距,春季一次性施肥基本可以满足苹果整年生长发育的需求,减少年周期中氮磷钾的投入量,特别是氮肥的用量,有效节省了果品生产成本。宋立芬等<sup>[47]</sup>研究认为,控释肥能够提高苹果幼树株高和茎粗。俞巧钢等<sup>[48]</sup>和吴凌云等<sup>[49]</sup>分别在柑桔和蜜柚上研究表明,与普通肥料相比,施用控释肥均提高了果实单果重,且柑橘和蜜柚的增产分别达 12%~26%和 12.35%;陈宝成等<sup>[50]</sup>研究表明,控释复合肥的养分释放基本符合草莓生长的需肥特点,施用控释肥比同等量普通施肥草莓产量提高,植株中氮磷钾含量显著提高,草莓产量和果实品质均得到显著提高和改善。缓/控释肥根据植株的需求,通过各种调控机制控制养分的释放量和释放速度,使养分的释放与植株的需求相一致,从而有效提高肥料的利用率<sup>[51-52]</sup>。

**3.3.2 袋控缓释肥。**根据果树个体较大的特点,改变一般控释肥颗粒包膜为微孔控释袋包装,达到控制肥料释放目的的新型肥料。一般根据果树需肥特性与土壤养分状况配制多种元素掺混肥,再用特制控释袋包裹。在桃<sup>[53-54]</sup>、草莓<sup>[55]</sup>、冬枣<sup>[56]</sup>等果树上的试验结果表明,采用肥料袋控缓释技术可以保持土壤速效养分浓度稳定,而肥料散施土壤养分浓度波动大,氮素利用率提高 10 个百分点。由于养分供应稳定,果树植株生长健壮,能有效克服肥料散施导致短期内土壤有效氮水平过高,刺激新梢旺长造成营养竞争和花芽形成难等问题,同一施肥水平比较,采用肥料袋控缓释技术比传统施肥产量增加 15%以上,果实品质显著提高,是我国果树施肥的发展方向。

**3.3.3 微生物肥料。**又称生物肥料、接种剂或菌肥等,是指以微生物的生命活动为核心,使作物获得特定的肥料效应的一类肥料制品。近年,微生物肥料在提高水果品质方面的研究取得一些进展。邓伯勋等<sup>[57]</sup>在柑橘上施用生物有机复合肥,发现与对照相比,果实的固酸比、产量、可溶性固形物含量均显著提高。周光萍<sup>[58]</sup>在猕猴桃叶片上喷施微生物复合菌肥料,发现植株叶片颜色更加翠绿,植株根的数量增多,并且改善了果实的品质。陈德芬等<sup>[59]</sup>在桃树上施用益生菌菌肥,发现果实的口感和品质都得到了改善,果实可溶性固形物含量显著增加。周游等<sup>[60]</sup>在草莓上施用乳酸菌,结果发现,果实的糖酸比和可溶性固形物分别较对照提高 13.29%和 27.74%,施用乳酸菌制剂对草莓的生长和品质均有良好的促进作用。此外,微生物肥料对土壤改良有很好的效果,并且可以使化肥的用量减少,减弱肥料对环境的污染,提高果园的净利润,促进果园的可持续发展<sup>[61]</sup>。

## 4 展望

肥料在保证人类的水果供应方面起到了重要的支撑作

用,但是肥料也给果园环境造成了巨大的压力,施肥不平衡、过量施肥、肥料的养分利用率低已成为世界范围内的问题,这其中有许多理论问题,也有很多技术问题,同时还有政策问题,都需要在今后的果树营养与肥料研究加以解决。为此,建议加强以下几方面工作:①加强果树养分高效利用的机理研究,研发果树高效施肥新技术,提升果品品质和产量;②加快果树新型肥料的研制,研制低成本、高性能果树专用肥料,提高肥料利用率;③研究高浓度养分情况下果树养分高效利用基因,开发与利用果树基因型营养元素效率差异的生理和遗传机制,应用生物技术改良果树营养遗传性状,筛选和培育养分高效利用基因型果树优良新品种,实现植物营养性状改良,从而提高果树养分利用率。

## 参考文献

- [1] 闫湘,金继运,何萍,等.提高肥料利用率技术研究进展[J].中国农学科学,2008,41(2):450-459.
- [2] 刘振岩,李振三.山东果树[M].上海:上海科学技术出版社,2000:59-60.
- [3] 孟庆伟,高辉远.植物生理学[M].北京:中国农业出版社,2017:62-66.
- [4] 于广武.叶面肥及其发展趋势[J].中国农资,2006(2):60-62.
- [5] 孙瑶,张民,陈海宁,等.铜基叶面肥及控释肥对辣椒生长发育和叶片保护酶等生理特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(5):1221-1233.
- [6] 王忠和,李早东,王义华,等.山东烟台和威海地区果园土壤有机质含量普查分析[J].中国果树,2010(5):15-17.
- [7] 王兆燕,彭福田,张玉红,等.果实迅速膨大期不同施肥量对中华寿桃产量与品质的影响[J].山东农业科学,2011(9):61-64.
- [8] JIA H J, MIZUGUCHI K, HIRANO K, et al. Effect of fertilizer application level on pectin composition of Hakuho peach (*Prunus persica* Batsch) during maturation [J]. HortScience, 2006, 41(7):1571-1575.
- [9] 曾伟男.施氮量对温州蜜柑果实产量、品质和氮利用效率的影响[D].武汉:华中农业大学,2014:47.
- [10] 郭英燕,姜远茂,彭福田.不同氮素水平对草莓氨基酸和蛋白质的影响[J].果树学报,2003,20(6):475-478.
- [11] 鲁如坤,时正元,熊礼明.我国磷矿磷肥中镉的含量及其对生态环境影响的评价[J].土壤学报,1992,29(2):150-157.
- [12] 李庆逵,朱兆良,于天仁.中国农业持续发展中的肥料问题[M].南昌:江西科学技术出版社,1998:3-5.
- [13] 赵林,姜远茂,彭福田,等.嘎啦苹果对春施<sup>15</sup>N-尿素的吸收、利用与分配特性[J].植物营养与肥料学报,2009,15(6):1439-1443.
- [14] 葛顺峰,姜远茂,魏绍冲,等.不同供氮水平下幼龄苹果园氮素去向初探[J].植物营养与肥料学报,2011,17(4):949-955.
- [15] 王芬,田歌,刘晶晶,等.富士苹果萌芽至新梢旺长期肥料氮去向和土壤氮库盈亏[J].应用生态学报,2018,29(3):931-937.
- [16] 杜鹏.山东省苹果市场肥料调查及苹果专用配方肥应用效果研究[D].泰安:山东农业大学,2014:16-24.
- [17] 葛顺峰,周乐,门永阁,等.添加不同碳源对苹果园土壤氮磷淋溶损失的影响[J].水土保持学报,2013,27(2):31-35.
- [18] 李安云,严世孝.浅谈科学施用化肥问题[J].云南热作科技,1998,21(1):30-32.
- [19] 胡社祝.浅谈农业化肥污染与环境保护[J].广东农业科学,2008(9):138-139.
- [20] 赵佐平,同延安,高义民,等.不同肥料配比对富士苹果产量及品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(5):1130-1135.
- [21] 李红波,葛顺峰,姜远茂,等.嘎啦苹果不同施肥深度对<sup>15</sup>N-尿素的吸收、分配与利用特性[J].中国农业科学,2011,44(7):1408-1414.
- [22] 赵佐平,同延安,刘芬,等.长期不同施肥处理对苹果产量、品质及土壤肥力的影响[J].应用生态学报,2013,24(11):3091-3098.
- [23] 陈闻,吴家森,姜培坤,等.不同施肥对雷竹林土壤肥力及肥料利用率的影响[J].土壤学报,2011,48(5):1021-1028.
- [24] 戴平安,郑圣先,罗成秀,等.连续施用磷钾镁肥对红壤温州蜜柑的效应[J].中国柑桔,1993,22(1):11-13.
- [25] 史继东,张立功.苹果树需肥规律及科学施肥[J].烟台果树,2011(3):8-10.
- [26] 李早东,吴德敏,范美玲.苹果园的测土配方施肥技术[J].磷肥与复肥,2009,24(1):78-79.

- [27] 姜远茂,葛顺峰,毛志泉,等. 我国苹果产业节本增效关键技术IV: 苹果高效平衡施肥技术[J]. 中国果树,2017(4): 1-4,13.
- [28] 刘思汝,石伟琦,马海洋,等. 果树水肥一体化高效利用技术研究进展[J]. 果树学报,2019,36(3): 366-384.
- [29] 丁邦新,刘雪艳,何雪菲,等. ‘库勒香梨’园测土配方推荐施肥研究[J]. 果树学报,2019,36(8): 1020-1028.
- [30] 叶国军. 广东连州水晶梨测土配方施肥的田间调研与应用[J]. 农业工程技术,2017,37(14): 28-30.
- [31] 冯锁牢,宋宽平,雷亚青,等. 富平尖柿全营养平衡施肥技术初步研究[J]. 陕西农业科学,2018,64(10): 53-55.
- [32] PATEL N, RAJPUT T B S. Effect of drip tape placement depth and irrigation level on yield of potato [J]. *Agricultural water management*, 2007, 88(1/2/3): 209-223.
- [33] 李加念,洪添胜,冯瑞珏,等. 柑橘园水肥一体化滴灌自动控制装置的研制[J]. 农业工程学报,2012,28(10): 91-97.
- [34] 侯延杰,薛进军,张鹤华,等. 灌溉施肥模式对龙眼生长、果实形成过程及产量的影响[J]. 灌溉排水学报,2016,35(3): 100-104.
- [35] 路永莉,白凤华,杨宪龙,等. 水肥一体化技术对不同生态区果园苹果生产的影响[J]. 中国生态农业学报,2014,22(11): 1281-1288.
- [36] 许乃霞,杨益花,单建明,等. 水肥一体化施肥对草莓产量的影响[J]. 安徽农业科学,2015,43(3): 62-63,69.
- [37] 何小卫,李贤胜,杨平,等. 葡萄水肥一体化技术试验研究[J]. 中国农技推广,2011(5): 42-44.
- [38] 黄丽. 陕北山地苹果水肥一体化灌溉制度与施肥技术研究[D]. 杨凌: 中国科学院大学(中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心),2018: 65-67.
- [39] 林鸾芳. 膜下滴灌水肥一体化技术对水蜜桃产量及经济效益的影响[J]. 农业科技通讯,2018(11): 152-154.
- [40] 杨素苗,李保国,齐国辉,等. 灌溉方式对红富士苹果根系活力和新梢生长及果实产量质量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(5): 181-184.
- [41] 潘越,王明,马合木提·阿不来提,等. 不同配方叶面肥对苹果光合特性日变化规律的影响[J]. 经济林研究,2019,37(1): 87-93,116.
- [42] 唐岩,宋来庆,孙燕霞,等. 叶面喷施硅酸钾对富士苹果品质的影响[J]. 落叶果树,2014,46(4): 11-13.
- [43] 唐岩,宋来庆,孙燕霞,等. 叶面喷施磷酸二氢钾对红将军苹果叶片性状、果实品质和香气成分的影响[J]. 山东农业科学,2017,49(5): 82-85.
- [44] 王玉霞,李芳东,李延菊,等. 三种叶面肥对晚熟油桃‘福秀’果实品质的影响[J]. 东北农业科学,2018,43(4): 41-43.
- [45] 王玉霞,李芳东,李延菊,等. 不同类型叶面肥对晚熟油桃‘福美’果实品质的影响[J]. 山东农业科学,2018,50(9): 48-50.
- [46] 赵林,姜远茂,彭福田,等. 控释肥对红将军和嘎拉苹果品质及产量的影响[J]. 落叶果树,2010(3): 1-4.
- [47] 宋立芬,孙治军,丁强. 控释氮肥对苹果幼树生长的影响[J]. 山东农业科学,2009(1): 78-81.
- [48] 俞巧钢,朱本岳,叶雪珠. 控释肥在柑桔上的应用研究[J]. 浙江农业学报,2001,13(4): 210-213.
- [49] 吴凌云,李志忠,丁文. 缓控释肥在蜜柚上的施用效果研究[J]. 福建农业科技,2011(4): 77-78,82.
- [50] 陈宝成,马丽,张民,等. 控释肥对草莓生长及土壤养分的影响[J]. 北方园艺,2010(1): 7-10.
- [51] 张民,史衍玺,杨守祥,等. 控释和缓释肥的研究现状与进展[J]. 化肥工业,2001,28(5): 27-30,63.
- [52] 张民,杨越超,宋付朋,等. 包膜控释肥料研究与产业化开发[J]. 化肥工业,2005,32(2): 7-13.
- [53] 张守仕,彭福田,姜远茂,等. 肥料袋控缓释对桃氮素利用率及生长和结果的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14(2): 379-386.
- [54] 张亚飞,罗静静,彭福田,等. 肥料袋控缓释对桃树根系生长、氮素吸收利用及产量品质的影响[J]. 中国农业科学,2017,50(24): 4769-4778.
- [55] 张青,彭福田,卢革新,等. 肥料袋控缓释对草莓 N 素利用率及其产量的影响[J]. 果树学报,2005,22(4): 409-411.
- [56] 彭福田,彭勇,周鹏,等. 肥料袋控缓释肥对沾化冬枣氮素利用率与生长结果的影响[J]. 园艺学报,2006,33(2): 223-228.
- [57] 邓伯勋,张建成,周功林. 生物有机复合肥在柑桔上的应用效果[J]. 湖北农业科学,1993(8): 16-19.
- [58] 周光萍. EM 微生物菌剂在猕猴桃上的应用试验[J]. 落叶果树,1999(3): 43.
- [59] 陈德芬,赵国防,杨焕婷,等. 苹果增产菌对桃果实的影响[J]. 落叶果树,1996(4): 4-6.
- [60] 周游,李海梅,赵金山,等. 乳酸菌对草莓生长和品质性状的影响[J]. 江苏农业学报,2017,33(5): 1124-1128.
- [61] 张杰,马亚君,贺志斌,等. 微生物肥料替代化肥在苹果种植中的应用效果研究[J]. 中国农业科技导报,2019,21(7): 128-135.

# (上接第 13 页)

- [44] 罗光强,耿元波,袁国富. 碳同位素在草地生态系统碳循环中的应用与展望[J]. 地理科学进展,2009,28(3): 441-448.
- [45] 宋文琛,同小娟,张劲松,等. 用自然<sup>13</sup>C 丰度法区分人工林根呼吸的原理与应用[J]. 中国水土保持科学,2015,13(4): 37-43.
- [46] ROCHETTE P, FLANAGAN L B, GREGORICH E G. Separating soil respiration into plant and soil components using analyses of the natural abundance of carbon-13[J]. *Soil science society of America journal*, 1999, 63(5): 1207-1213.
- [47] ROBINSON D, SCRIMGEOUR C M. The contribution of plant C to soil CO<sub>2</sub> measured using δ<sup>13</sup>C[J]. *Soil biology and biochemistry*, 1995, 27(12): 1653-1656.
- [48] 刘启明,王世杰,朴河春,等. 生态转换系统中土壤有机质变化的稳定碳同位素示踪研究进展[J]. 生态学报,2002,21(2): 58-60.
- [49] HANSON P J, EDWARDS N T, GARTEN C T, et al. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations[J]. *Biogeochemistry*, 2000, 48(1): 115-146.
- [50] 马志良,赵文强,刘美,等. 土壤呼吸组分对气候变暖的响应研究进展[J]. 应用生态学报,2018,29(10): 3477-3486.
- [51] WERTH M, KUZYAKOV Y. Root-derived carbon in soil respiration and microbial biomass determined by <sup>14</sup>C and <sup>13</sup>C[J]. *Soil biology and biochemistry*, 2008, 40(3): 625-637.
- [52] WERTH M, KUZYAKOV Y. Three-source partitioning of CO<sub>2</sub> efflux from maize field soil by <sup>13</sup>C natural abundance[J]. *Journal of plant nutrition and soil science*, 2009, 172(4): 487-499.
- [53] 魏书精,罗碧珍,魏书威,等. 森林生态系统土壤呼吸测定方法研究进展[J]. 生态环境学报,2014,23(3): 504-514.
- [54] SAPRONOV D V, KUZYAKOV Y V. Separation of root and microbial respiration: Comparison of three methods[J]. *Eurasian soil science*, 2007, 40: 775-784.
- [55] OSANAI Y, JONES J K, NEWTON P C D, et al. Warming and elevated CO<sub>2</sub> combine to increase microbial mineralisation of soil organic matter[J]. *Soil biology and biochemistry*, 2015, 85: 110-118.
- [56] PENG F, XU M H, YOU Q G, et al. Different responses of soil respiration and its components to experimental warming with contrasting soil water content[J]. *Arctic, antarctic and alpine research*, 2015, 47(2): 359-368.
- [57] DALIAS P, ANDERSON J M, BOTTNER P, et al. Temperature responses of carbon mineralization in conifer forest soils from different regional climates incubated under standard laboratory conditions[J]. *Global change biology*, 2001, 7(2): 181-192.
- [58] 周非飞,林波,刘庆. 青藏高原东缘亚高山针叶林人工恢复过程中的土壤呼吸特征[J]. 应用生态学报,2009,20(8): 1783-1790.
- [59] STREIT K, HAGEDORN F, HILTBRUNNER D, et al. Soil warming alters microbial substrate use in alpine soils[J]. *Global change biology*, 2014, 20(4): 1327-1338.
- [60] 孙伟,DAVID WILLIAMS. 利用稳定性同位素区分河岸 C<sub>4</sub> 草地生态系统夜晚碳通量[J]. 湿地科学,2008,6(2): 271-277.