

Advances in Research on Effects of Combined Application of Organic Fertilizers and Chemical Fertilizers on Soil and Fruit Trees

Rongfei Li¹, Mingming Wang¹, Yaodong Chang¹, Kangping Zhang¹, Guolu Liang¹, Zhiming Lu¹, Tao Hu², Yi Yang², Youwen Yi³, Lirong Su³, Qigao Guo^{1*}

¹Key Laboratory of Horticulture Science for Southern Mountainous Regions, Ministry of Education/College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing

²Guang'an District Agricultural Bureau, Guang'an Sichuan

³Guang'an Science and Technology Development and Training Center, Guang'an Sichuan

Email: *qgguo@126.com

Received: Nov. 30th, 2018; accepted: Dec. 12th, 2018; published: Dec. 19th, 2018

Abstract

Fertilization is an important measure to supplement nutrients in agricultural production. However, the excessive application of chemical fertilizers in production will lead to problems such as low fertilizer utilization rate, decreased soil fertility, and serious damage to the ecological environment. Although organic fertilizer is rich in organic matter and mineral nutrients, long-term application of organic fertilizer will increase the soil heavy metal content and increase the risk of plant absorption and accumulation of heavy metals. As a result, the reduction of the amount of chemical fertilizer and the increase of the application of organic fertilizer have gradually become a widely accepted and advocated way of fertilization, but there is still a lack of comprehensive understanding and unreasonable utilization of organic and inorganic fertilizer. Therefore, this paper reviews the characteristics of mixed application of organic fertilizer and chemical fertilizer, summarizes the research progress on the physical and chemical properties of soil, soil microbes, soil environment, and the effects on growth, development, resistance and fruit quality of fruit trees, and also the use of organic fertilizer-fertilizer mix prospect, in order to provide reference for fertilization management in production.

Keywords

Organic and Inorganic Fertilization, Physical and Chemical Properties of Soil, Soil Microorganisms, Fruit Tree Growth and Development, Fruit Quality

*通讯作者。

有机肥与化肥配施对果园土壤及果树影响的研究进展

李荣飞¹, 王明明¹, 常耀栋¹, 张抗萍¹, 梁国鲁¹, 陆智明¹, 胡涛², 杨艺², 易佑文³, 苏理荣³, 郭启高^{1*}

¹南方山地园艺学教育部重点实验室/西南大学园艺园林学院, 重庆

²广安区农业局, 四川 广安

³广安市科技开发培训中心, 四川 广安

Email: qgguo@126.com

收稿日期: 2018年11月30日; 录用日期: 2018年12月12日; 发布日期: 2018年12月19日

摘要

施肥是农业生产中补充养分的重要措施, 但生产中过量施用化肥, 会导致肥料利用率低、土壤肥力下降, 生态环境破坏严重等问题。有机肥虽含有丰富的有机质和矿质养分, 但长期单施有机肥, 会增加土壤重金属含量, 加大植物吸收和积累重金属的风险。从而, 化肥减量和增施有机肥逐渐成为被人们普遍接受和提倡的施肥方式, 但仍然存在对有机无机肥混施的认识不全面, 利用不合理的现象。因此, 本文综述了有机肥和化肥混施的特点, 对土壤理化性质、土壤微生物、土壤环境的影响, 以及对果树生长发育、抗性、果实品质的影响等研究进展进行归纳总结, 并展望有机肥化肥混施的利用前景, 以期对生产中的施肥管理提供参考。

关键词

有机无机配施, 土壤理化性质, 土壤微生物, 果树生长发育, 果实品质

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

施肥是影响果园环境和土壤质量, 及其可持续利用最深刻的农业措施之一, 也是改善果园土壤环境的有效措施之一。目前, 随着化肥的大量施入, 导致肥料利用率低, 引起土壤肥力下降, 破坏生态环境[1]。从而, 许多研究者呼吁使用有机肥, 但长期单施有机肥, 会增加土壤重金属含量, 加大植物吸收、积累重金属的风险[2], 还可能促进土壤温室气体(如 CO₂, CH₄ 等)的排放, 加重温室效应[3]。因此, 有机肥 + 化肥的施肥模式逐渐被人提倡和接受, 其结合了有机肥的缓效性、长效性和化肥的速效性、短效性, 更有效解决了生产上所面临的问题。正如农业部副部长张桃林所说: 我们要遵循“以有机肥为主, 化肥为辅”的施肥原则, 只有“有机搭配无机”, 才能实现农业的长治久安。目前, 有机肥 + 化肥的施肥模式已在小麦(*Triticum aestivum* L.) [4]、水稻(*Oryza sativa* L.) [5]、玉米(*Zea mays* L.) [6]、棉花(*Gossypium*

hirsutum) [7]等作物, 以及在椰枣(*Phoenix dactylifera* L.) [8]、苹果(*Malus domestica* Borkh.) [9]、桃(*Prunus persica* L.) [10]、梨(*Pyrus pyrifolia* L.) [11]等果树上均有研究报道。近年来, 有机肥和化肥混施被认为是施肥的主流方向和发展趋势, 有越来越多的研究者参与对其进行研究。为此, 笔者就混合施肥的特点, 以及混施对土壤理化性质、土壤环境、果树生长发育、抗性、果实产量品质等方面的影响进行归纳和总结, 以期对果树生产栽培中的施肥管理提供参考依据。

2. 有机肥和化肥混施

施肥是世界人民在长期生产实践中积累而来的用肥经验, 且直到 19 世纪中叶, 有机肥一直都是唯一的选择。但自 19 世纪 40 年代欧洲开始施用化肥以来, 化肥开始逐步在全世界得以推广应用。我国自 1906 年开始引进化肥后, 有机肥和化肥均有发展, 但化肥施用量增加更快, 直到上世纪 80 年代, 化肥施用量占第一位, 有机肥则退居次要地位[12]。直到 21 世纪初, 又开始重视有机肥的应用, 并逐步提倡有机肥化肥配施。

2.1. 有机肥和化肥混施特点

混合施肥现成为施肥管理中重要的方式, 研究者普遍认为, 混合施肥制度优于单施化肥、单施有机肥, 其主要特点有: 1) 提供较为全面的养分。由于有机肥所含养分较全, 肥效稳而长, 不仅可以供给植物本身, 还可给土壤微生物等提供养分, 且有机肥施入后, 土壤中的酶活性增强, 有利于养分转化[13]。2) 提高肥效。如过磷酸钙和微量元素肥料在土壤中的施用容易被固定, 降低养分的有效性, 通过有机肥和化肥混合施用, 可以减少化肥与土壤的接触面, 减少养分的固定, 从而提高养分的有效性[14]; 化肥与有机肥料掺合还可以促进有机肥腐熟分解, 提高肥效。3) 改善土壤结构。化肥的长期单一施用会破坏土壤的团粒结构, 导致土壤黏重板结, 降低耕作性能和供肥性能。有机肥含有丰富的有机质, 可活化疏松土壤, 降低容量, 可改善水、肥、气、热等土壤的理化性质, 调节 pH 值。二者混施, 不仅有利促进农业的可持续发展, 而且会提高产量品质[15]。4) 减少副作用。在单独施用较多化肥或化肥施用不均时, 土壤溶液浓度通常很高, 会影响作物吸收[16]。有机肥养分含量低、肥效慢, 施入土壤后需经土壤微生物分解后才能释放出各种养分, 如果单独施用有机肥, 不仅需要施用量大, 会造成污染[17], 而且见效慢。5) 互补作用。化肥的养分单一, 含量高, 肥效快, 但作用时间短; 有机肥具有丰富的养分, 持久的肥效, 可改良土壤, 培肥地力。二者混用, 可取长补短。如在秸秆还田和施有未腐熟有机肥时, 加入氮肥, 可以避免因早期缺氧而导致植物生长缓慢, 并且有机肥可补充谷类作物成熟阶段所需的硝态氮和氨态氮[14]。即表明, 有机肥和化肥的混合施用可形成协同或互补作用, 从而达到提高作物产量和土壤功能的双重目标[18]。

但有人发现有机肥和化肥混施没有促进作用, 反而有其副作用, 其主要是有机肥和化肥的搭配不当, 或者比例不适宜造成施肥无效[19]。因此, 生产者在进行有机肥和化肥混合施用的过程, 需要了解适宜搭配的种类、适当的比例, 这也正是当下研究者们需要解决的问题。

2.2. 有机肥和化肥混施种类

有机肥无机肥混施不断的被应用于生产实践中, 但有生产者随意混用, 导致施肥效果不显著, 甚至出现副作用的现象。鉴于此, 研究者通过试验或者生产者根据经验, 提出、总结了一些适宜的配施方案(见表 1)。

此外, 有些不适合混施的方案, 生产栽培中应注意避免, 否则混施不仅不能达到效果, 反而产生副作用(表 2)。

Table 1. Organic fertilizers and fertilizers suitable for mixed application**表 1.** 适合混合配施的有机肥和化肥

有机肥种类 Organic fertilizer type	化肥种类 Fertilizer type	混施特点 Mixed application features	施肥效果 Effect of fertilization
厩肥、堆肥 (包括:羊粪、猪粪、橄 榄固体废物等)	过磷酸钙或钙镁磷	可减少磷酸盐与土壤的接触面,防止磷酸盐离子被土壤固定,有机肥分解产生的有机酸可以促进磷从土壤中释放出来供作物吸收,肥料效率可增加 1/3 [15]。	A. 赵佐平等[20]发现,猪粪和尿素、过磷酸钙、氯化钾混施,提高了苹果的可溶性固形物、糖酸比、维生素 C 含量及果实硬度。 B. Moharam 等[10]发现,橄榄固体废物与硫酸铵、过磷酸钙、硫酸钾混施,提高了桃的总糖和可溶性固形物含量,并提高其产量。
	碳铵和尿素	在厩肥或堆肥中加入 0.5%~1%的碳酸氢铵有利于微生物的繁殖和活动,促进有机肥的分解和各种养分的释放,为作物提供丰富的营养[15]。	
人粪尿	过磷酸钙或钙镁磷	腐熟的人粪尿中碳酸铵含量过多,单施容易挥发损失,与过磷酸钙或钙镁磷混施,经过化学反应,可形成性质稳定的磷酸二氢铵,从而减少人粪尿素中氮素损失,并增加磷素营养[21]。	李立仁等[22]发现,施用人粪尿和花生麸,再与碳铵、过磷酸钙、尿素、硫酸钾混施,发现沙田柚果肉有浓郁的芳香蜜味,且高产稳产。
	硫酸亚铁	将 0.5%硫酸亚铁添加到人粪尿中,可使人粪尿中挥发性高的碳酸铵转化为稳定的硫酸铵,作为营养剂和除臭剂,防止氮素挥发损失[15]。	

Table 2. Organic fertilizers and chemical fertilizers that are not suitable for mixing**表 2.** 不宜混合配施的有机肥和化肥

有机肥种类 Organic fertilizer type	化肥(有机肥)种类 (Organic) fertilizer type	混施特点 Mixed application features	施肥效果 Effect of fertilization
草木灰	氮素化肥	草木灰是碱性肥料,如果与氨态氮、硝态氮等酸性氮素化肥混施,会发生中和分解反应,释放出氨气挥发,造成氮素损失,从而降低肥效[23]。	Pradhan 等[24]发现,草木灰与人粪尿混施,降低了番茄中可溶性固形物含量。 陈茂春[26]提出,在秋季,施入未经腐熟的有机肥,此时土壤温度低,腐熟需要较长时间。以至于春季营养供应跟不上,夏季营养过多,导致树木生长加快,营养生长过剩,花芽分化能力差,果实着色不良等。
	过磷酸钙	草木灰含有较多的钙,如果与过磷酸钙混施,会产生不溶性的磷酸钙,使磷素被固定,植物不能直接吸收与利用[23]。	
	厩肥、堆肥、人粪尿	草木灰呈碱性,常被当作钾肥施用,如果与厩肥、堆肥、人粪尿混施,会加速氮素以氨气形式挥发、损失[25]。	
未腐熟的农家肥	硝态氮肥	农家肥中的反硝化细菌,能使硝态氮肥发生反硝化作用,从而生成亚硝酸盐,并导致氮素损失[23]。	

3. 有机肥化肥配施对果园土壤的影响

3.1. 对土壤物理性质的影响

土壤是果树生产的基础,土壤物理性质水平的高低,直接影响树体的生长、果实品质和果园的可持续发展。有机肥 + 化肥的施肥方式能改善土壤物理性质,其中有机肥占主要作用,由于施用有机肥可有效地增加土壤含水量、提高土壤团聚体的稳定性[27] [28],增加土壤孔隙度、减小土壤容重[29],促进土壤团粒结构的形成[30],调节土壤通气性[31],为果树提供良好的生长环境。有机肥和化肥混施与单施有机肥、单施化肥改善土壤物理性状的效果,不同研究结果有所差异。Xin 等[32]、魏猛等[33]研究提出,

有机肥化肥混施能够降低土壤容重,提高土壤总孔隙度,其明显改善土壤物理性质。孙建等[6]的研究还发现有有机肥与无机肥混施能够改善土壤容重、储水量和紧实度。而范业宏[34]等研究者提出,单施有机肥显著降低 0~20 cm 和 20~40 cm 土层的土壤容重,提高了土壤的总孔隙度($P < 0.05$),有机无机混合施用对土壤物理性质的影响不如单施有机肥,但高于单施化肥。单施有机肥、有机肥化肥混施都有利于提高土壤物理性质,这是由于长期施用有机肥可以增加土壤有机胶体,改善土壤结构性能,提高土壤保肥性。但是有人提出化肥较前两者好,如马俊永等[35]认为,施用秸秆只能改善耕层范围的土壤肥力,而施用化肥不仅会使耕层以下的土壤容重降低和有机碳增加,还影响耕层肥力性状,更有利促进土壤肥力的提高。施肥可以改善土壤物理性质,但由于土壤基础地力、肥料的种类和施用量等不同,施肥对改善土壤物理性质的程度有所差异,因此,不同研究者间的研究结论尚有分歧。

3.2. 对土壤化学性质的影响

有机肥 + 化肥的施肥方式可改善土壤化学性质,提高肥料利用率,从而提高土壤养分的含量。而土壤养分是提供植物生长所必需的矿质元素,是评价土壤自然肥力的重要指标;同时土壤养分也与土壤酶活性大小有一定的相关性,且土壤养分(尤其是有机质)是土壤微生物的碳源和氮源。许多研究表明,有机肥与化肥混施对土壤养分的提高效果明显,并明显高于单施化肥和不施肥。聂佳如[36]研究发现,有机肥 + 化肥提高土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾的含量,并提出混施比例为 7:3 是最优方案。木合塔尔·扎热等[37]在对枣(*Zizyphus jujube* Mill.)的研究中发现,随着有机肥和无机肥混施量的增加,土壤中碱解氮、速效磷、速效钾含量均逐渐增加。Goyal 等[38]研究发现有机肥与无机肥配合施用可提高土壤有机质含量,对营养物质周转和土壤维持长期生产力都是至关重要的。魏猛等[33]研究发现,与单施有机肥的相比,施用有机无机肥配施的处理提高了土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、有效磷、速效钾。Raina 等[9]在苹果园进行不同施肥处理发现,有机肥化肥混合施用不影响土壤 pH 值和 EC,但提高了土壤有机碳、N、P、K、Zn 和 Fe 含量。而有研究者发现,有机肥与化肥配施能够降低土壤 pH 值[36]。综合而言,对于有机肥和化肥混施能提高土壤养分含量是研究者们共同认可的,尤其是有机质、碱解氮、速效磷和速效钾等含量提升效果显著,从而提高土壤肥力,有利于促进果树生长发育。但有机肥 + 化肥对 pH 值的影响,会因为试验土壤、施用的肥料种类、配比等不同而有所差异。

3.3. 对土壤微生物的影响

土壤生物是土壤具有生命力的主要组成部分,在土壤形成和发育过程中起主导作用,其中,土壤微生物和土壤酶活性均是评价土壤质量的重要指标之一[39]。土壤中微生物分布广、数量大、种类多[40],是土壤生物中最活跃的部分,其参与腐殖质合成,土壤有机质、养分的分解和转化,还有利于促进土壤的发育和形成[41][42]。土壤酶反应了土壤中养分的转化能力和生物活性的大小,参与土壤中各种代谢过程和能量转化,同时也是土壤质量改变的预测指标和土壤肥力高低的评价指标[43]。而土壤酶主要来源之一是活的和死的微生物,即土壤微生物的种类和数量影响并决定土壤酶的来源[44]。

施肥制度影响土壤微生物群落,从而影响土壤酶活性,但是不同施肥方式对两者的影响不同,现多数研究者认为有机肥 + 化肥配施有利于提高土壤中酶活性和土壤微生物数量。Niewiadomska 等[45]提出有机物质有刺激土壤中蛋白酶活性的作用,说明随着土壤中有机质的增多,蛋白酶活性增强。焦晓光等[46]研究发现,长期施肥,特别是有机肥与化肥混施对提高土壤酶活性效果显著。由于有机肥本身含有大量酶[47],其中有机质刺激微生物活性,并为产酶微生物提供丰富的营养源和能源[48];另外,随营养元素的施入,促进作物生长,增加根系分泌物,提高土壤酶类[49]。因此,有机肥配施无机肥处理提高了土壤脲酶、蛋白酶、蔗糖酶、磷酸酶活性[49]。

土壤微生物量的大小通常直接用微生物生物量碳或氮的含量来表示[50]。施肥有利于提高土壤微生物量碳、氮的含量[51]，其中有机肥化肥混施明显提高了土壤微生物量碳、氮的含量、微生物量碳/氮比、微生物商[52] [53]，可能是土壤中有有机物质可以增强微生物的生物量[54]。

目前，国际上普遍使用 Biolog ECO 分析技术来评价土壤微生物的活性，其分析的平均颜色变化率(AWCD)反映土壤微生物代谢活性，同时用来表征微生物对碳源的利用率[55]。AWCD 值越大，表明细菌密度越大，活性就越高，反之也成立[56]。施用有机肥、秸秆还田和无机肥的处理，其土壤微生物代谢活性高于单施化肥处理，不施肥土壤微生物的代谢活性是最低[57]。与单施化肥的相比，有机无机混施的土壤微生物功能多样性显著较高，但有机无机混施量不同的处理间无明显差异[58]。罗希茜等[59]也提出有机肥化肥配合施用使微生物对碳源利用率明显提高。而微生物对碳源的利用高低，影响群体内微生物之间的生存竞争及生长繁殖[50]，说明混合施肥促进微生物的生长繁殖。此外，土壤呼吸往往也作为土壤生物活性的指标，臧逸飞等[60]研究表明，施用有机肥能提高土壤呼吸，其中有机肥与无机肥配施最高，为 $37.66 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ，单施有机肥次之，单施无机肥对于土壤呼吸无促进作用或起抑制作用。表明有机肥和化肥混施的土壤中微生物处于良好状态，有利于储存和循环更多养分。

3.4. 对土壤生态环境的影响

化肥的长期大量施用会降低土壤有机质含量，引起土壤理化性状恶化[51]，加速土壤酸化[61]，污染农田的生态环境[62]。有机肥能为作物提供生长必须的大量和微量元素，但同时也含有不同程度的重金属元素，特别是以畜禽粪便为原料的有机肥，施用后增加土壤中重金属含量，并增加作物吸收积累重金属的风险[63] [64]。Maqueda 等[65]研究表明，与无机施肥处理的土壤相比，使用有机肥可以提高土壤中 Fe, Cu, Mn 和 Zn 的有效含量。李本银等[66]研究发现，长期施用有机肥造成了土壤全铜、全锌、全镉明显提高，且土壤中三者的有效态含量增加也均以施用猪粪最为显著，分别比 NPK 处理增长了 335.9%、320.8%、421.4%，导致了糙米中镉含量超过国家卫生标准。刘赫等[2]研究发现，随着饲料添加剂的大量使用使得畜禽粪便中重金属含量显著提高，长期施用有机肥导致土壤中 Cu、Zn、Pb 和 Cd 的含量均呈增加趋势，对土壤产生污染。有研究指出，低浓度的重金属污染能够促进微生物的生长，提高细胞活性和增加生物量[67] [68]。但大量的研究表明，高浓度的重金属能够对土壤微生物产生胁迫，降低其生物量[67] [69]，对微生物固有的群落结构和活性也会造成不利影响[70]。即土壤中重金属污染，不仅有损土壤质量、土壤环境，更会导致植物大量积累重金属，影响粮食安全。因此，生产上对于施用化肥和有机肥都应适量，并通过两者混合施用可以减少副作用。如孔文杰[71]研究发现，适量有机肥与化肥配合施用可在一定程度上防止由于单施化肥引起铜和锌等微量营养元素的亏缺，也可有效地降低单施有机肥引起重金属铅、镉的污染。适量畜禽有机肥配施化肥可取得与单施化肥相当的产量，保持微量元素 Zn 的平衡，同时也不会造成番茄果实 Cd 和 Pb 超标[72]。

4. 有机肥化肥配施对果树的影响

4.1. 对果树生长发育的影响

果树干物质的 90%以上来源于叶片的光合作用，通过光合作用形成碳水化合物是产量形成的主要物质基础[73]。优质叶是叶片高光合功能的基础，而优质叶的建造过程中需要满足光强和供给稳定的营养。叶片中养分含量在一定程度上反映树体的营养状况，又能表征果园土壤的供肥能力，即不同施肥方式对叶片养分也具有一定影响，且矿质营养是果树生长发育、产量形成和果实品质提高的物质基础，则叶片养分与果实产量、品质密切相关[74] [75]。因此，建造优质叶，提高叶片中养分含量，提高叶片光合速率，不仅对果树的生长发育具有重要促进作用，对提高果实产量、品质也有重要作用。李鸣等[76]研究发现，

与单施化肥处理相比,不同有机肥的配合施入均在一定程度提高了核桃树的生长量、叶片养分含量,其中有机肥与生物有机肥配施处理效果最显著。研究表明,施用有机肥提高了叶片的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素(a+b)及类胡萝卜素含量,提高了肥城桃叶片的 Pn [77]。杜研等[78]对核桃、Athani 等[79]对番石榴进行不同施肥处理发现,有机肥化肥混施的处理叶绿素含量以及光合特性均高于其他处理。此外,施肥不仅影响叶片中叶绿素含量和光合作用,也影响叶片的质量。研究发现,有机无机配施显著提高了叶片厚度、叶面积、比叶质量和叶片干物质含量[80] [81],促进春梢生长、果树增粗[80]。李卫东等[82]在柑桔研究也发现,有机无机肥混施处理的柑桔叶片颜色更深,增加了新梢的长度、新叶的叶面积和叶片厚度,增强了柑桔叶片光合作用,及对柑桔树势生长等均有显著效果。说明施肥对树体生长发育和叶片光合作用有显著的影响,随着施肥量的不断增加,树体的叶片光合效率也不断增强,在适当范围内加大施肥量对提高树体的生长发育和产量品质均有重要意义[83]。综上,由于施肥提高了土壤、叶片中养分含量,利于优质叶的建造,叶片中叶绿素含量提高,光合效率提高,进而利于树体的生长发育。

4.2. 对抗性的影响

采用合理的施肥措施和平衡施肥,对增强果树的抗逆性、提高产量、改善品质等都具有重要作用[84]。徐福慧等[85]研究发现,不同施肥处理对苗木体内保护酶的影响显著,施肥处理的紫叶李叶内 SOD、PPO 酶活性普遍高于对照(不施肥),说明施肥能够增强紫叶李体内的酶活性,可提高紫叶李的抗性。王春枝等[86]对南果梨施肥研究发现,过氧化物酶活性随着施氮量的增加和磷肥用量的减少而增高,随着施钾量的增加先增高后降低;丙二醛含量随着氮、钾肥用量的增加呈降低趋势,随着磷肥用量的增加呈现先降低后升高趋势。即适宜施肥有助于提高梨树叶片的抗氧化能力和抗逆境性能。陆少萍等[87]提出,采用一次性施用基肥(鸡粪)+长效缓释肥,提高香蕉抗枯萎病能力,降低发病率,并提高香蕉品质,增加香蕉种植收益。张承林[88]在芒果上研究发现,氮镁偏多,钾硼钙偏少容易导致芒果内部果肉溃烂病发生,而果园土壤平衡施肥后可显著降低果实的发病率。合理施肥能够提高植株的抗性,主要是由于肥料中的矿质元素,而不同的元素其作用不同,有研究表明钙与抗逆能力、抗病性均有关[89]。如 Giraldez-Ruiz 等[90]研究发现,酸性条件下 Ca 的存在,利于维持细胞膜的正常结构,增强细胞的抗酸能力,则说明提高 Ca 含量有利于缓解酸化对植物的不利影响。Murphy 等[91]研究发现,施用钙肥能增强香蕉的抗病力,且不影响土壤 pH。磷肥也能提高植物的抗病性,Reuveni 等[92]提出增施磷肥提高抗病能力可能与植物体含 Ca 量提高有关。说明提高植物体内 Ca 含量,有利于提高植物的抗病能力。由于矿质元素对植物抗逆和抗病能力均有重要调节作用,因此,生产栽培上应该重视肥料的合理施用,以期增强土壤的稳产能力,为保证农业的持续发展具有重要意义。

4.3. 对果实品质的影响

果实产量和品质是果树生产的重要指标,合理施肥对提高产量和品质具有重要作用。有机肥具有改善果实品质的作用,其原因可能是有机质和矿质营养可改善土壤理化性状,可以为果实生长发育提供更全面养分。罗华等[77]研究发现,施用有机肥能明显改善土壤肥力状况,有利于果树高产,并提高了肥城桃果实的可溶性固形物、固酸比和维生素 C 含量,以及桃果实的香气品质。邓秀新等[93]提出,有机肥含有柑橘所需且比例平衡的养分,所含的腐殖酸具有改良土壤结构的作用,增加土壤有益微生物的数量,故有机肥是对柑橘生长结果最好的肥料。但卢梦玲[94]等研究发现,以有机肥作为基肥可以有效提高土壤肥力,对柑橘品质并没有显著的影响,即有机肥对蜜柑品质的影响还需要进一步研究。

施用有机肥对果实产量、品质虽有重要作用,但由于有机肥、化肥各有其优缺点,因此研究者采取有机肥和化肥混施,以期能取长补短,实现更好的肥效。如卢精林[95]等在梨园进行研究发现,有机肥与

化肥配合施用效果大于单施有机肥、单施化肥,其中有机肥与 N、P、K 化肥混施的果实中总糖、还原糖、蔗糖、总酸和 Vc 含量比其它施肥方式均有提高。与施用化肥相比较,用有机肥的梨园,其果实品质较高,果实内多酚化合物含量高,有利提高梨果实的抗氧化性水平[11]。赵佐平等[20]研究得出,有机肥配施氮、磷、钾肥处理 5 年平均产量高达 $36.88 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,与单施化肥、单施有机肥比较,其果实硬度、糖酸比、维生素 C 及可溶性固形物含量均最高。李涛涛等[80]在苹果上研究也得出,施肥能促进单株产量、单果重的提高,且以有机无机配施的效果最好。这在范美蓉[96]等对柑橘、Li [97]等对龙安柚的研究中也有类似发现。此外,Marathe 等[98]提出,应用有机肥 + 50%无机肥是维持甜橙更高的果实产量和质量的最佳选择。

综上,有机肥和化肥配施更有利于增加果实产量、提高果实品质。究其原因在于:一是有机肥养分的缓慢释放、土壤养分库的逐渐提高和植物抗逆能力的提高;二是有机肥腐解产生的有机酸增加了土壤中有有机养分的矿化过程,从而促进难溶性养分的释放,增加土壤中全效和速效养分的含量[77]。即有机肥化肥混施增产提质的主要原因是矿质养分含量的提高,说明叶片、土壤中养分含量与果实产量、品质密切相关[74] [75],但土壤、叶片养分含量与果实产量品质间关系是错综复杂的。Khan 等[99]研究发现,果园中叶片和土壤养分含量降低,产生的果实品质差,并发现叶片中 N、有机质含量与单果重、果皮厚呈正相关,而 P 含量与单果重、果皮厚呈负相关。张林等[100]研究发现,土壤养分速效磷对果实品质的影响最大,叶片养分中 P 可显著提高 Vc 的含量,并有增糖减酸的作用。但 Benavides [101]、徐海燕等[102]在苹果、柑橘上研究发现,叶片磷含量与果实可滴定酸呈正相关,即有增酸的作用,而可滴定酸与镁、氮、铁呈负相关。关于施肥对果实产量品质的研究,以及矿质养分与果实之间关系的研究较多,但是施肥后各因素对果实产量、品质的调节机制尚无一致的结论,需要进一步研究,为精准施肥提供参考。

5. 结论与展望

施肥对果树具有不可缺少的作用,近年来多提倡有机肥和化肥配施,有利提高土壤养分含量,尤其是有机质、碱解氮、速效磷和速效钾等含量提升效果显著,从而提高土壤肥力,有利于促进果树生长发育。同时,有机肥和化肥混施的土壤中微生物处于良好状态,有利储存和循环更多养分。此外,生产上应用有机肥化肥配施,可适当减少化肥对环境的污染,也可减少植物吸收和积累重金属的风险。但是有机肥化肥混施对土壤物理性质、pH 的影响,会因为试验土壤、施用的肥料种类、配比等不同而有所差异,因此,现有研究结论尚无定论,有待后续进行研究。

有机肥化肥配施有利达到改善果实品质、提高果实产量等目的,而其实由于合理的施肥有利于提高土壤、叶片中的矿质养分含量,有利树体生长发育,以及提高叶片的光合作用。但是有机肥化肥混施对果实产量品质的具体调节机制,以及每类矿质养分对果实品质的影响机理尚无统一的定论,是后续需要进一步研究的方向。并对于不同果树种类、不同品种,其适宜的具体肥料、施肥量、混合施用比例等问题,仍是目前国内外研究者有待解决的一系列关键问题。解决这些问题,将对果树优质高效生产和改善生态环境均具有较好的推动作用。

基金项目

“十二五”国家科技支撑计划项目(2014BAD16B0102-I)。

参考文献

- [1] 宁川川, 王建武, 蔡昆争. 有机肥对土壤肥力和土壤环境质量的影响研究进展[J]. 生态环境学报. 2016, 25(1): 175-181.

- [2] 刘赫, 李双异, 汪景宽. 长期施用有机肥对棕壤中主要重金属积累的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(6): 2177-2182.
- [3] Spann, C., Spiegel, H. and Kitzler, B. (2016) Soil-Atmosphere Fluxes of the Greenhouse Gases N₂O, CO₂ and CH₄ from a Long Term Compost Experiment in Austria. *EGU General Assembly 2016*, Vienna, 17-22 April 2016, ID: EPSC2016-12989.
- [4] Kaur, T., Brar, B.S. and Dhillon, N.S. (2008) Soil Organic Matter Dynamics as Affected by Long-Term Use of Organic and Inorganic Fertilizers under Maize-Wheat Cropping System. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **18**, 59-69. <https://doi.org/10.1007/s10705-007-9152-0>
- [5] 刘守龙, 童成立, 吴金水, 等. 等氮条件下有机无机肥配比对水稻产量的影响探讨[J]. 土壤学报, 2007, 44(1): 106-112.
- [6] 孙建, 刘苗, 李立军, 等. 不同施肥处理对土壤理化性质的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(4): 221-225.
- [7] 陶磊, 褚贵新, 刘涛, 等. 有机肥替代部分化肥对长期连作棉田产量、土壤微生物数量及酶活性的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(21): 6137-6146.
- [8] Alkharusi, L.M., Elmardi, M.O., Ali, A., et al. (2009) Effect of Mineral and Organic Fertilizers on the Chemical Characteristics and Quality of Date Fruit. *International Journal of Agriculture and Biology*, **11**, 290-296.
- [9] Raina, J.N., Kumar, A. and Suman, S. (2011) Effect of Conjoint Applications of Organic Manures and Chemical Fertilizers on Soil Nutrient Status and Productivity of Apple (*Malus domestica* Borkh). *Silva Fennica*, **41**, 489-505.
- [10] Moharam, F.A. and Eldeen, E.M.A.Z. (2011) Effect of Partial Substitution of Mineral Fertilizers with Organic Fertilizers on Peach Production under Supplemental Irrigation in North Sinai. *Research Journal of Agriculture & Biological Sciences*, **7**, 434-442.
- [11] Lee, X., Kim, W. and Choi, H. (2009) Effect of Different Organic Fertilizers on Fruit Quality in a Pear Orchard. *Korean Journal of Food Preservation*, **3**, 305-310.
- [12] 章楷. 百年来我国种植业施肥的演进和发展[J]. 中国农史, 2000, 19(3): 107-112.
- [13] 赵汉明. 化肥与有机肥搭配施用技术[J]. 汉中科技, 2011(6): 20.
- [14] 牟长明, 孙爱华, 唐宇红. 浅谈化肥与有机肥混用的好处[J]. 中国农村小康科技, 2005(6): 48.
- [15] 温林江. 有机肥和化肥科学混合使用[J]. 河南农业, 2012(21): 16.
- [16] 李善祥. 化肥与有机肥混合施用好处多[J]. 农业科技与信息, 2016(19): 139.
- [17] 董敬超. 浅析有机肥与化肥配合施用技术的发展应用[J]. 河北农业科技, 2007(9): 42.
- [18] Liu, M.Q., Hu, F., Chen, X.Y., 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. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.03.006>
- [19] 贾士龙. 施肥的“宜”与“忌” [J]. 乡村科技, 2014(9): 24.
- [20] 赵佐平, 高义民, 刘芬, 等. 化肥有机肥配施对苹果叶片养分、品质及产量的影响[J]. 园艺学报, 2013, 40(11): 2229-2236.
- [21] 王敏. 农家肥与化肥混合的“三宜四忌”[J]. 农村经济与科技, 1997(2): 33.
- [22] 李立仁. 施肥种类和用量对沙田柚果实产量及品质的影响[J]. 中国果业信息, 1999(2): 24.
- [23] 苏丽娜, 邱文东, 李洪伟. 有机肥和化肥怎样合理混施[J]. 农家参谋(种业大观), 2010(3): 46.
- [24] Pradhan, S.K., Holopainen, J.K. and Heinonen-Tanski, H. (2009) Stored Human Urine Supplemented with Wood Ash as Fertilizer in Tomato (*Solanum lycopersicum*) Cultivation and Its Impacts on Fruit Yield and Quality. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, **57**, 7612-7617. <https://doi.org/10.1021/jf9018917>
- [25] 田有海. 如何提高苹果园土壤肥力[J]. 新农业, 2008(8): 27.
- [26] 陈茂春. 果树施用未腐熟有机肥害处多[J]. 新农业, 2012(9): 27.
- [27] Mandal, B. (2005) Assessing Soil Quality Under Long-Term Rice-Based Cropping System. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, **36**, 1141-1161. <https://doi.org/10.1081/CSS-200056885>
- [28] 赵红, 袁培民, 吕怡忠, 等. 施用有机肥对土壤团聚体稳定性的影响[J]. 土壤, 2011(2): 306-311.
- [29] 蔺浩然. 有机肥对苹果园土壤及果实品质的影响[D]: [硕士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [30] 陈修斌, 邹志荣. 河西走廊旱塬长期定位施肥对土壤理化性质及春小麦增产效果的研究[J]. 土壤通报, 2005(6): 74-76.

- [31] Sharma, K.L., Mandal, U.K., Srinivas, K., *et al.* (2005) Long-Term Soil Management Effects on Crop Yields and Soil Quality in a Dryland Alfisol. *Soil & Tillage Research*, **83**, 246-259. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.002>
- [32] Xin, X., Zhang, J., Zhu, A., *et al.* (2016) Effects of Long-Term (23 Years) Mineral Fertilizer and Compost Application on Physical Properties of Fluvo-Aquic Soil in the North China Plain. *Soil & Tillage Research*, **156**, 166-172. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.10.012>
- [33] 魏猛, 张爱君, 诸葛玉平, 等. 长期不同施肥方式对黄潮土肥力特征的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(3): 838-846.
- [34] 范业宏, 陈丽楠, 于向华, 等. 有机无机配比施肥对“南果梨”园土壤理化性状的影响[J]. 北方果树, 2017(5): 3-5.
- [35] 马俊永, 曹彩云, 郑春莲, 等. 长期施用化肥和有机肥对土壤有机碳和容重的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2010(6): 38-42.
- [36] 聂佳如. 有机肥与化肥配施对土壤养分的影响研究[J]. 环境科学与管理, 2016, 41(9): 52-55.
- [37] 木合塔尔·扎热, 吴正保, 故丽米热·卡克什, 等. 有机肥与化肥不同配施对土壤养分及骏枣光合特性和叶果比的影响[J]. 土壤通报, 2015, 46(2): 405-411.
- [38] Goyal, S., Chander, K., Mundra, M.C., *et al.* (1999) Influence of Inorganic Fertilizers and Organic Amendments on Soil Organic Matter and Soil Microbial Properties under Tropical Conditions. *Biology and Fertility of Soils*, **29**, 196-200. <https://doi.org/10.1007/s003740050544>
- [39] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [40] Pace, N.R. (1997) A Molecular View of Microbial Diversity and the Biosphere. *Science*, **276**, 734. <https://doi.org/10.1126/science.276.5313.734>
- [41] 曹宏杰, 倪红伟. 土壤微生物多样性及其影响因素研究进展[J]. 国土与自然资源研究, 2015(3): 85-88.
- [42] Donnell, A.G.O., Seasman, M., Macrae, A., *et al.* (2001) Plants and Fertilisers as Drivers of Change in Microbial Community Structure and Function in Soils. Springer, Berlin, 135-145.
- [43] 孙艳艳, 蒋桂英, 刘建国, 等. 加工番茄连作对农田土壤酶活性及微生物区系的影响[J]. 生态学报, 2010(13): 3599-3607.
- [44] Nagaraju, M., Golla, N. and Venkatampalli, R. (2016) Soil Enzymes-Influence of Sugar Industry Effluents on Soil Enzyme Activities.
- [45] Niewiadomska, A., Sulewska, H., Wolna-Maruwka, A., *et al.* (2010) Effect of Organic Fertilization on Development of Proteolytic Bacteria and Activity of Proteases in the Soil for Cultivation of Maize (*Zea Mays* L.). *Archives of Environmental Protection*, No. 2, 47-56.
- [46] 焦晓光, 隋跃宇, 魏丹. 长期施肥对薄层黑土酶活性及土壤肥力的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2011(1): 6-9.
- [47] 史吉平, 张夫道, 林葆. 长期施肥对土壤有机质及生物学特性的影响[J]. 土壤肥料, 1998(3): 7-11.
- [48] Martens, D.A., Johanson, J.B. and Frankenberger, W.T.J. (1992) Production and Persistence of Soil Enzymes with Repeated Addition of Organic Residues. *Soil Science*, **153**, 53-61. <https://doi.org/10.1097/00010694-199201000-00008>
- [49] 秦韧, 杨团结, 刘树堂, 等. 长期定位施肥对无石灰性潮土酶活性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(1): 33-36.
- [50] 郝晓晖, 胡荣桂, 吴金水, 等. 长期施肥对稻田土壤有机氮、微生物生物量及功能多样性的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(6): 1477-1484.
- [51] Dinesh, R., Srinivasan, V., Hamza, S., *et al.* (2010) Short-Term Incorporation of Organic Manures and Biofertilizers Influences Biochemical and Microbial Characteristics of Soils under an Annual Crop [Turmeric (*Curcuma longa* L.)]. *Bioresource Technology*, **101**, 4697-4702. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.108>
- [52] 刘恩科, 赵秉强, 李秀英, 等. 长期施肥对土壤微生物量及土壤酶活性的影响[J]. 植物生态学报, 2008, 32(1): 176-182.
- [53] 李娟, 赵秉强, 李秀英, 等. 长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(1): 144-152.
- [54] Bohme, L., Langer, U. and Bohme, F. (2005) Microbial Biomass, Enzyme Activities and Microbial Community Structure in Two European Long-Term Field Experiments. *Agriculture Ecosystems & Environment*, **109**, 141-152. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.01.017>
- [55] 孙瑞, 孙本华, 高明霞, 等. 长期不同土地利用方式下(土娄)土土壤微生物特性的变化[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(3): 655-663.
- [56] Haack, S.K., Garchow, H., Klug, M.J., *et al.* (1995) Analysis of Factors Affecting the Accuracy, Reproducibility, and

- Interpretation of Microbial Community Carbon Source Utilization Patterns. *Applied & Environmental Microbiology*, **61**, 1458-1468.
- [57] 武晓森, 杜广红, 穆春雷, 等. 不同施肥处理对农田土壤微生物区系和功能的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(1): 99-109.
- [58] 徐秋芳, 姜培坤, 陆贻通. 不同施肥对雷竹林土壤微生物功能多样性影响初报[J]. 浙江林学院学报, 2008, 25(5): 548-552.
- [59] 罗希茜, 郝晓晖, 陈涛, 等. 长期不同施肥对稻田土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(2): 740-748.
- [60] 臧逸飞, 郝明德, 张丽琼, 等. 26 年长期施肥对土壤微生物量碳、氮及土壤呼吸的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(5): 1445-1451.
- [61] Guo, J.H., Liu, X.J., Zhang, Y., *et al.* (2010) Significant Acidification in Major Chinese Croplands. *Science*, **327**, 1008-1010. <https://doi.org/10.1126/science.1182570>
- [62] Roelcke, M., Han, Y., Schleef, K.H., *et al.* (2004) Recent Trends and Recommendations for Nitrogen Fertilization in Intensive Agriculture in Eastern China. *Pedosphere*, **14**, 449-460.
- [63] Ociepa, A., Pruszek, K., Lach, J., *et al.* (2008) Influence of Long-Term Cultivation of Soils by Means of Manure and Sludge on the Increase of Heavy Metals Content in Soils. *Ecological Chemistry and Engineering S*, **15**, 103-109.
- [64] Goss, M.J., Tubeileh, A. and Goorahoo, D. (2013) Chapter Five—A Review of the Use of Organic Amendments and the Risk to Human Health. *Advances in Agronomy*, **120**, 275-379.
- [65] Maqueda, C., Herencia, J.F., Ruiz, J.C., *et al.* (2011) Organic and Inorganic Fertilization Effects on DTPA-Extractable Fe, Cu, Mn and Zn, and Their Concentration in the Edible Portion of Crops. *Journal of Agricultural Science*, **149**, 461-472. <https://doi.org/10.1017/S0021859610001085>
- [66] 李本银, 黄绍敏, 张玉亭, 等. 长期施用有机肥对土壤和糙米铜、锌、铁、锰和镉积累的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(1): 129-135.
- [67] 刁展. 外源重金属对不同类型土壤养分及微生物活性的影响[D]: [硕士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [68] 郑涵, 田昕竹, 王学东, 等. 锌胁迫对土壤中微生物群落变化的影响[J]. 中国环境科学, 2017, 37(4): 1458-1465.
- [69] Zhang, C., Nie, S., Liang, J., *et al.* (2016) Effects of Heavy Metals and Soil Physicochemical Properties on Wetland Soil Microbial Biomass and Bacterial Community Structure. *Science of the Total Environment*, **s557-s558**, 785-790. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.170>
- [70] Zhang, J., Wang, L.H., Yang, J.C., *et al.* (2015) Health Risk to Residents and Stimulation to Inherent Bacteria of Various Heavy Metals in Soil. *Science of the Total Environment*, **508**, 29-36. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.11.064>
- [71] 孔文杰. 有机无机肥配施对蔬菜轮作系统重金属污染和产品质量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 977-984.
- [72] 鲁洪娟, 李江遐, 陈海燕, 等. 畜禽有机肥对土壤 - 番茄体系作物产量和重金属平衡的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(4): 237-242.
- [73] 束怀瑞. 果树栽培生理学[M]. 北京: 农业出版社, 1993: 304.
- [74] Thamrin, M., Susanto, S., Susila, A.D., *et al.* (2014) Correlation between Nitrogen, Phosphorus and Potassium Leaf Nutrient with Fruit Production of Pummelo Citrus (*Citrus maxima*). *Asian Journal of Applied Sciences*, No. 3, 129-139. <https://doi.org/10.3923/ajaps.2014.129.139>
- [75] 凌丽俐, 彭良志, 淳长品, 等. 赣南脐橙叶片营养状况对果实品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012(4): 947-954.
- [76] 李鸣, 王力, 胡刁, 等. 核桃生长、产量及叶片养分对配施有机肥的响应[J]. 果树学报, 2015(5): 923-928.
- [77] 罗华, 李敏, 胡大刚, 等. 不同有机肥对肥城桃果实产量及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(4): 955-964.
- [78] 杜研, 杨文忠, 孙林琦, 等. 不同施肥处理对核桃叶片光合作用和叶绿素荧光特性的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2015, 50(4): 97-102.
- [79] Athani, S.I., Prabhuraj, H.S., Ustad, A.I., *et al.* (2007) Effect of Organic and Inorganic Fertilizers on Growth, Leaf, Major Nutrient and Chlorophyll Content and Yield of Guava cv. Sardar. *Acta Horticulturae*, **735**, 351-356. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.735.50>
- [80] 李涛涛, 翟丙年, 李永刚, 等. 有机无机肥配施对渭北旱塬红富士苹果树生长发育及产量的影响[J]. 果树学报, 2015, 32(4): 655-662.

- 2013(4): 591-596.
- [81] 李荣飞, 江学友, 常耀栋, 等. 龙安柚不同施肥处理对叶片结构和光合特性的影响[J]. 土壤科学, 2018, 6(2): 35-47.
- [82] 李卫东, 贺建华, 黄国林, 等. 不同施肥方式对柑桔树生长及生理特性的影响[J]. 湖南农业科学, 2005(6): 36-38.
- [83] 牛兴良. 不同施肥量对榛子生长发育的影响[J]. 中国林副特产, 2016(2): 28-29.
- [84] 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]. 植物营养与肥科学报, 2009(5): 1130-1135.
- [85] 徐福慧, 李恒飞, 韩飞, 等. 不同施肥处理对紫叶李生长效应的影响[J]. 天津农业科学, 2014(9): 102-106.
- [86] 王春枝, 陶姝宇, 齐宝利, 等. 施肥对南果梨树叶片叶绿素含量、抗氧化酶活性及膜脂过氧化程度的影响[J]. 土壤通报, 2011(6): 1399-1403.
- [87] 陆少萍, 林少飞, 黄家庆, 等. 不同施肥方法对香蕉枯萎病抗性、产量及品质的影响[J]. 中国南方果树, 2016(3): 149-150.
- [88] 张承林. 芒果(*Mangifera indica* L.)果实的生理病害及其病因的研究[D]: [博士学位论文]. 广州: 华南农业大学, 1997.
- [89] 蒋廷惠, 占新华, 徐阳春, 等. 钙对植物抗逆能力的影响及其生态学意义[J]. 应用生态学报, 2005(5): 971-976.
- [90] Giraldez-Ruiz, N., Bonilla, I. and Fernandez-Piñas, F. (2010) Role of External Calcium in Homeostasis of Intracellular pH in the Cyanobacterium *Anabaena* sp. Strain PCC7120 Exposed to Low pH. *New Phytologist*, **141**, 225-230. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1999.00347.x>
- [91] Peng, H.X., Sivasithamparam, K. and Turner, D.W. (1999) Chlamydo-spore Germination and Fusarium Wilt of Banana Plantlets in Suppressive and Conducive Soils Are Affected by Physical and Chemical Factors. *Soil Biology & Biochemistry*, **31**, 1363-1374. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00045-0](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00045-0)
- [92] Reuveni, R., Dor, G., Raviv, M., et al. (2000) Systemic Resistance against *Sphaerotheca fuliginea* in Cucumber Plants Exposed to Phosphate in Hydroponics System, and Its Control by Foliar Spray of Mono-Potassium Phosphate. *Crop Protection*, **19**, 355-361. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00029-6](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00029-6)
- [93] 邓秀新, 彭抒昂. 柑橘学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [94] 卢梦玲, 贵会平, 鄢华捷, 等. 不同基肥处理对柑橘园土壤肥力和柑橘品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2016(17): 4441-4443.
- [95] 卢精林, 张红菊, 赵怀勇, 等. 有机肥与 N、P、K 化肥配施对苹果梨品质的影响[J]. 土壤通报, 2013, 44(4): 931-933.
- [96] 范美蓉, 汤海涛, 廖育林, 等. 有机无机复混肥对柑橘产量和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2009(4): 71-73.
- [97] Li, R.F., Chang, Y.D., Hu, T., et al. (2017) Effects of Different Fertilization Treatments on Soil, Leaf Nutrient and Fruit Quality of *Citrus grandis* var. *longanyou*. *World Journal of Engineering & Technology*, **5**, 1-14. <https://doi.org/10.4236/wjet.2017.52B001>
- [98] Marathe, R.A. and Barambe, P.R. (2007) Growth, Yield and Quality of Sweet Orange cv. Mosambi in Response to INM in Vertisols of Central India. *Indian Journal of Horticulture*, **64**, 274-277.
- [99] Khan, A.S., Naseer, M., Malik, A.U., et al. (2011) Location, Soil and Tree Nutrient Status Influence the Quality of “Kinnow” Mandarin. *International Journal of Agriculture & Biology*, **13**, 498-504.
- [100] 张林, 石学根, 凡改恩, 等. 土壤和叶片养分与温州蜜柑果实品质的关系[J]. 浙江农业科学, 2010(5): 961-963.
- [101] Benavides, A. (2005) Relationships between Leaf and Fruit Nutrients and Fruit Quality Attributes in Golden Smoothie Apples Using Multivariate Regression Techniques. *Journal of Plant Nutrition*, **27**, 313-324.
- [102] 徐海燕, 熊伟, 杨灿芳, 等. 开县柑橘叶片营养状况与果实品质的相关性研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2012, 34(4): 27-32.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2164-5507，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：hjas@hanspub.org