

土壤肥力质量与苹果生长、产量及品质关系的研究进展

孙琛梅¹, 程冬冬², 杨越超², 李丁一², 任师可², 段崇鑫², 刘 艳^{2*}, 姜远茂^{1*}

(1. 山东农业大学园艺科学与工程学院, 作物生物学国家重点实验室, 山东 泰安 271018;

2. 山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安 271018)

摘 要: 土壤肥力质量代表土壤生产力的综合能力, 是保障苹果优质丰产的重要基础。综述了各土壤肥力因子与果树生长发育、果实产量、品质之间的相互关系, 探讨了制约我国当前苹果产量和品质提升的关键土壤肥力因子, 以期为果园土壤管理和合理科学施肥等提供理论依据, 对促进苹果产业健康可持续发展具有重要意义。

关键词: 土壤质量; 土壤养分; 果实品质; 产量

我国苹果栽培面积和产量均居世界首位, 苹果作为我国第一大水果, 已成为果区经济发展和农民增收的支柱产业。我国多数苹果园立地条件差, 主要分布在土壤养分相对贫瘠、土壤有机质偏低的山坡地、丘陵地和河滩地等。在目前苹果园生产中, 果农为追求产量增加, 不断加大化肥施用量, 普遍存在超量施用化肥、有机肥施用量不足、化肥与有机肥配施模式不合理等不当现象, 导致苹果园土壤有机质减少、土壤板结、土壤酸化等问题^[1], 使得土壤肥力质量进一步下降, 影响苹果产量和品质, 严重威胁苹果产业的可持续发展。

土壤肥力质量是土壤物理、化学和生物学性质的综合反映, 代表土壤生产力的综合能力。土壤肥力质量下降已成为限制苹果产业可持续健康发展的重要限制因素。目前研究表明, 土壤容重、含水量、有机质含量以及土壤养分含量等都会直接影响苹果生长发育、果实产量和品质以及果树病虫害的发生^[2-3]。因此, 全面了解各土壤肥力因子与苹果生长、产量和品质之间的相互关系, 明确限制我国苹果产量和品质提升的关键土壤肥力因子, 对指导土壤管理、合理施肥、提高苹果产量与品质具有重要的理论和实践意义。本文从土壤物理、化学、生

物学性质方面出发, 对近年来的主要研究进展进行回顾, 综述了土壤肥力因子对苹果生长、果实产量和品质的影响, 以期为果园土壤的管理、合理科学的施肥以及苹果产区的合理区域规划等提供理论依据。

1 土壤肥力质量对苹果生长、产量及品质的影响

1.1 土壤物理性质对苹果生长、产量及品质的影响

1.1.1 土壤容重对苹果生长、产量及品质的影响

土壤容重反映土壤的松紧状况, 直接影响土壤通气性和植物根系的生长和功能发挥。土壤容重过小使植物根系不容易扎稳, 土壤保水能力差, 土壤养分也易随降雨或灌水流失; 土壤容重过大会导致土壤机械阻力增加, 土壤通气透水性差, 容易产生地面积水或地表径流, 还影响微生物活动和养分转化^[4]。土壤容重可通过直接影响苹果根系的生长及其对养分的吸收, 进而影响苹果的产量和品质。适宜的土壤容重有助于果树根系的延伸和扩展活动范围, 增加根系吸收功能, 有利于维持果树的健康树势, 延缓果树衰老等。卢蕾^[5]研究发现, 适宜的土壤容重 (1.40 g/cm^3) 有利于平邑甜茶幼苗根系的生长和保持较好的根系形态, 土壤容重过高 (1.55 g/cm^3) 会抑制平邑甜茶幼苗根系的正常生长。

目前我国苹果园土壤容重普遍偏高, 已成为我国当前果树生产中普遍存在的逆境胁迫因子之一^[6], 尤其对于旱地果树来说, 底层土壤容重偏高、紧实化严重制约了果树的抗旱性。张强等^[7]研究北京苹果主产区土壤时发现, 果园 $0 \sim 40 \text{ cm}$ 土层平均土壤容重为 $1.46 \sim 1.52 \text{ g/cm}^3$ 。魏彬萌^[8]研究

收稿日期: 2020-11-09; 录用日期: 2021-01-01

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFD0201105, 2016YFD0201100); 国家自然科学基金 (41907004)。

作者简介: 孙琛梅 (1996-), 硕士研究生, 研究方向为土壤肥力。
E-mail: 15684779925@163.com。

通讯作者: 姜远茂, E-mail: ymjiang@sdaa.edu.cn; 刘艳, E-mail: nyly1988@163.com。

渭北果园土壤时发现, 0 ~ 20 cm 表层土壤容重为 1.22 ~ 1.35 g/cm³ 时能基本满足果树正常生长需求, 20 ~ 60 cm 土壤容重达到 1.45 ~ 1.61 g/cm³, 严重超出果树健康生长的土壤容重阈值, 制约果树根系的延伸和发育、根区土壤水分入渗和气体交换与更新等。

1.1.2 土壤质地对苹果生长、产量及品质的影响

土壤质地是土壤重要的物理特性之一, 很大程度上决定土壤的各种耕作性能、施肥反应以及土壤持水、通气等特性。土壤质地是影响根系生长发育的重要因子, 能明显影响苹果根系构型和根系生长发育^[9]。土壤处于轻壤偏重、中壤偏轻的质地条件有利于苹果活跃根的生长发育^[10]。邹养军等^[11]研究发现壤土适宜苹果幼树生长, 砂土次之。土壤质地可通过影响土壤的总孔隙度, 来影响土壤的通气性和透光率, 从而影响苹果根系的呼吸速率^[12]。土壤质地还是苹果限根栽培的重要影响因子, 在进行苹果限根栽培时发现壤土比黏土更有利于树体发育^[13]。另外, 土壤质地类型还影响微生物群落多样性, 且苹果根际微生物群落更易受土壤质地影响^[14]。土壤质地类型还会影响苹果园连作障碍程度, 不同土壤质地发生连作障碍程度不同, 黏壤土连作障碍发生更严重, 其次是砂壤土、壤土^[12]。

我国苹果生产区域分布广泛, 其中环渤海、西南冷凉高地、黄河故道和西北黄土高原为四大主要生产区域, 土壤质地类型多样。烟台地区适宜种植苹果的土壤质地为砂质壤土, 土壤质地疏松, 持水保肥性好, 而黏性过重或大量粗砂砾壤土则不适宜苹果种植^[15]。渭北地区土壤属于壤质土壤, 是一种结构“稳定性”相对较差的土壤, 由于土壤的“淀积黏化”作用, 在剖面内部形成紧实土层, 直接影响根系伸长, 减小了根系的觅水觅肥空间, 严重影响果树的健康生长^[8]。

1.1.3 土壤水分对苹果生长、产量及品质的影响

土壤水分在果树生长发育过程中起着重要作用, 影响苹果树生长代谢的各个方面。苹果树最适宜的土壤含水量是土壤田间持水量保持在 60% ~ 80% 之间^[16], 只有当果园土壤含水量处于田间持水量的 60% 以上时, 才能满足果树的正常生长需求。同时土壤含水量丰缺程度是影响苹果园产量高低的主要因素, 尤其是 5 ~ 7 月的土壤含水量丰缺程度, 因为该期间苹果生长旺期, 生理需水

量大^[17]。土壤含水量可影响果实中可溶性糖积累、苹果的咀嚼性和硬度以及可溶性固形物、维生素 C 的含量等。土壤过干或过湿都会降低苹果果实品质。当土壤水分缺乏或不足时, 果树根、枝、叶生长缓慢, 停止生长早, 叶面积小, 光合作用差, 导致果实生长减弱或脱落, 降低果实产量和品质。土壤水分过多会使苹果新梢持续生长, 不利于花芽分化, 还会造成土壤通气不良, 抑制根系呼吸作用, 在缺氧的条件下易形成有毒还原物质, 影响根系的吸收能力, 甚至发生烂根或整株死亡。然而, 适度的水分胁迫可促进苹果花芽分化^[18]; 提高果实的可溶性固形物含量, 使果实的硬度增大; 影响果实着色, 水分胁迫处理的越早, 果实颜色沉积越深; 促进苹果维生素 C、总酚、总糖等的积累; 使苹果生长变快, 提早成熟; 提高苹果水分利用率, 节约用水; 降低成本, 提升效益等。

我国苹果主产区多是干旱缺水的地区, 果园类型多是旱地雨养果园, 尤其是在黄土高原地区, 土壤干层现象严重, 盛果期苹果根系垂直吸收水分主要区域集中在 30 ~ 80 cm 之间, 其中 40 ~ 60 cm 土层是最活跃区域^[17], 土壤水分已成为制约该区苹果产业可持续发展的最主要限制因子。王绍飞等^[19]研究黄土丘陵区盛果期苹果树土壤水分时发现, 随着树龄增加, 土层中果树水分的来源逐渐变浅, 用水策略趋于保守。为解决果园土壤缺水对果树生产与生长的影响, 果农通过多种措施提高土壤水分利用率, 如: 通过覆盖减少果园土壤蒸发; 进行节水灌溉; 增加土壤有机质含量, 提高土壤吸水和持水能力; 改良苹果品种, 提高果树对水分的吸收能力等。

1.2 土壤化学性质对苹果生长、产量及品质的影响

1.2.1 土壤有机质对苹果生长、产量及品质的影响

土壤有机质是衡量土壤肥力的重要指标, 也是实现苹果优质高产的关键。土壤有机质的主要成分是碳和氮的有机化合物, 是土壤的主要组成部分^[20]。土壤有机质不仅为果树生长提供营养、增加养分的有效性, 还可以改善土壤结构、增加土壤团聚体含量, 增加土壤孔隙度和通气性, 提升土壤保水保肥能力和土壤缓冲性等^[21]。果园土壤有机质的含量与果树生长发育有密切关系, 增加土壤有机质含量, 不仅能促进果树根系生长、增加根系在深层土壤中的分布、延缓衰老^[22], 还能提高果树根系活力, 增强根系对养分的吸收和向果实中转移

的能力;能显著增加植株株高、茎粗和鲜重,明显增加植株的生物量;还能提高苹果树光合作用,促进光合产物的积累,提高苹果内果糖、葡萄糖、山梨醇和蔗糖的含量,提升果实的大小、色泽、风味和内含物的含量^[23]。此外,有机质转化过程中产生的激素能影响根系吸收营养和树体的内源激素组成,从而能调节果树生长发育,改善果实品质。果实中的矿质元素钙、镁、铁、锰、锌、铜等含量也与土壤有机质含量成正比。在果园肥力管理中,有机质含量甚至直接决定了果树的产量、发病率及果实品质等^[24]。当果园有机质含量在2%以上时,果实品质好、优果率高、产量高,而且苦痘病发病率减少,且产量与有机质含量呈正相关;土壤有机质含量在2%以下的果园果树生长缓慢、化肥利用率低,苹果产量低、果实品质差,苦痘病发生严重^[25]。

我国苹果园多数种植在土壤较瘠薄的丘陵山地、河滩地或西北旱塬区,果园立地条件较差,土壤有机质含量普遍都较低,平均在1%以下,远低于国外2%~4%,土壤有机质缺乏成为限制我国苹果高产、稳产、优质的重要因素。丰产稳产果园的土壤有机质含量应在2%以上,国家无公害苹果技术规程要求,果园土壤有机质含量应在1.5%以上,最好达到5%~8%。要想增加土壤有机质含量,改善土壤理化性质,提升我国果品的整体现状和产量,就必须在合理范围内加大有机肥的施用量。大量研究表明^[22, 26],施用有机肥可以改良土壤的理化性质,提升果树对氮肥的利用率,促进苹果果实发育,提高果实优果率和产量。有机肥还能提高果实内钙、镁、锌、铁的含量,增加果树的百叶重、叶面积和新梢生长量,能显著提高苹果果实硬度、维生素C含量、可溶性固形物含量和糖酸比,从而有效地改善果实风味,提高果实品质。

1.2.2 土壤 pH 对苹果生长、产量及品质的影响

土壤 pH 是衡量果园生产力的重要参数之一,适宜的土壤 pH 是果树正常生长发育的必要条件,过酸或过碱的土壤均对果树生长不利。大量研究表明,土壤 pH 不仅直接影响土壤微生物群落分布和多样性、土壤有机质分解和转化以及各种矿质营养元素的含量和有效性等^[27],而且还间接影响植株的生长、发育及果实品质产量^[28]。李庆军等^[29]研究表明,苹果果实单果重、可溶性固形物、可溶性糖、果皮色泽和果实风味 5 项指标与土壤 pH 显著

相关。苹果适宜的土壤 pH 为 6.5 ~ 7.5, pH 小于 6.0 时,许多必需的大量元素(氮、磷、钾、钙、镁)被果树根系吸收利用较低, pH 大于 7.5 时,许多微量元素(铁、锌、硼)不能被果树根系吸收利用^[30]。相关研究表明^[31],苹果植株根系、地上部、植株总干质量、根冠比、叶片净光合速率和氮利用率均随土壤 pH 的降低而降低,且土壤 pH 越低,降低幅度越大。同样,果园土壤 pH 偏高对土壤性质、养分活性、果树长势以及果树对土壤养分的吸收利用均有一定的影响,土壤 pH 在 8.0 以上会降低肥料利用率^[32]。

土壤酸化是土壤质量退化的一个重要方面,土壤酸化能显著抑制苹果幼苗根系的正常生长发育,降低根系活力和根系吸收功能;显著降低叶片叶绿素相对含量和光合速率,影响苹果对各种元素的累积量等^[33]。土壤酸化还会导致钙、镁、钾等盐基离子的加速淋失,明显减少果实中钙素的含量,进而导致果实苦痘病、痘斑病和水心病等果实生理病害的发生^[34];土壤酸化还可增加锰离子溶解度,造成锰中毒而引发果树粗皮病等^[35]。可见,土壤酸化会导致果树生理病害越来越严重,严重影响果品优质、高效、安全生产及其可持续发展。近年来,中国果园土壤酸化的加剧,尤其以环渤海湾产区最为突出^[36],其中烟台市苹果园土壤 pH 平均为 5.33,以栖霞市最低,为 4.86;牟平区最高,为 5.75^[37],土壤酸化已成为制约烟台地区苹果产量和品质的重要限制因素之一。

1.2.3 土壤氮对苹果生长、产量及品质的影响

氮是苹果生长发育所必需的矿质营养元素,是苹果生长的重要物质基础。氮素在植物器官形成、物质代谢、生理生化过程、果实产量和品质形成等方面起着不可替代的作用^[38]。土壤氮含量直接影响苹果营养生长与生殖生长,合理的土壤氮含量可促进新梢生长、花芽形成、提高坐果率和果实膨大,从而提高果实产量和品质^[39];若土壤中氮含量不足,则树体生长弱、新梢短、树势弱,抗病力差^[40]。

目前,我国苹果园土壤全氮含量为 0.8 ~ 1.3 g/kg^[31],一般情况每产 100 kg 鲜果需施纯氮 0.6 ~ 1.0 kg。土壤中的氮素根本无法满足果树稳产高产需求,需通过外源氮素施入来补充和调节。因此,合理地施用氮肥成为关键,适宜地施用氮肥可以生产高品质的果品。但受“施肥越多,产量越高”“要高产就必须多施肥”等传统观念的影

响,目前果园生产中普遍存在施化肥过量的问题。过多施氮肥导致树体旺长、营养生长和生殖生长不平衡、成花难、结果晚、抗冻力低等问题^[41]。土壤中氮含量过高可降低果实中钙的含量,导致果实硬度降低,从而增加生理失调症的发生,苹果的烂果率、烂果量和带苦痘病的果实随氮肥施用量增多而增加。金冠苹果长期大量施用氮肥后,尽管获得了较高的产量,但果实硬度和可溶性固形物含量均降低。氮肥的施用也会影响果树对其他营养元素的吸收,如叶片中的氮含量高时,钙和镁的含量也会增加,而钾含量会明显降低,磷含量也有下降趋势^[42]。Birka等^[43]研究不同氮水平对苹果产量和品质的影响时发现,氮肥不足时产量低、果实小、营养生长差,但果实着色好;过多氮肥不能获得高产和大的果实,反而促进营养生长,导致果实着色差;而且氮肥水平高时,会延迟苹果的采收时期、增加青果的比例。

1.2.4 土壤磷对苹果生长、产量及品质的影响

磷是苹果生长发育、产量和品质形成的物质基础,也是评价土壤质量的重要指标之一。磷是植物核酸、核蛋白、磷脂和植物抗毒素的组成部分,能促进光合能量转化、糖转化以及淀粉、蛋白质和脂肪的形成,有利于细胞分裂,在根系的生长及树体的生长发育方面起着重要作用,提高果树抗旱、抗寒、抗盐碱、抗病虫能力。磷主要分布在植物的根尖、生长点、新芽等植物生长旺盛的部位。磷有助于果树的花芽发育和开花坐果,在改善果实品质方面有着十分重要的作用^[44]。研究表明,土壤磷含量影响苹果果实的大小、着色和种子发育^[45],磷充足时,能加速细胞的分裂与繁殖,促进果树的生长发育,但磷含量过高,会抑制果树对锌、铜、铁的吸收,引起叶片发黄,甚至出现小叶病^[46]。苹果缺磷后会导致花芽分化停滞,新梢生长减弱,叶片萎缩变小,苹果树生长缓慢,积累的糖分会变成花青素,致使叶片出现紫红色斑块,叶柄发紫,叶缘出现半月形坏死,还会导致果实色泽不鲜艳。长期缺磷导致地上部新梢顶芽死亡、果面粗糙、含酸量增加、果实成熟期推迟等。

适宜的土壤磷含量是苹果优质高产的基础,但磷在土壤中容易被固定,迁移速率低,导致土壤磷有效性低,无法满足一般作物的生长需要。而土壤磷肥投入量是决定土壤磷含量变化趋势的关键因素,为满足苹果生长发育对磷的需求,我国苹果生

产上常采取“高磷投入、低磷效率”的方式,长期的高磷投入造成了我国大部分产区苹果园土壤磷累积严重,土壤磷含量已超过树体需求量,当土壤有效磷含量超过磷素淋失临界值时,土壤磷淋失风险较大,存在潜在环境风险^[47]。因此,如何提高植物对土壤磷素的吸收利用效率,减少磷肥施用量成为了苹果生产中亟须解决的问题。研究表明^[48],局部施磷肥能优化苹果幼苗根系分布和根系参数,提高土壤磷酸酶活性,改善磷肥的生物有效性,提高苹果对磷的吸收能力,提高磷肥利用率。

1.2.5 土壤钾对苹果生长、产量及品质的影响

钾是苹果必需的大量元素之一,尤其在改善苹果品质和质量方面起着重要作用,被称为“品质元素”。Fallahi等^[49]研究表明,钾肥可以有效地提高苹果的果实单果质量、产量、果实含酸量和色泽。钾作为多种酶的活性剂,与果树体内多数代谢过程密切相关;钾能促进蛋白质的合成,促进果树的光合作用和光合产物的运输等。因此,土壤钾充足时能显著提高苹果果实的含糖量、果面着色度、香气、果实风味及果实耐贮性,提高果实品质,还能提高果树抗旱、抗寒性能和抗病能力。苹果园土壤交换性钾小于80 mg/kg则表明土壤钾缺乏^[50],苹果叶片边缘枯焦,光合能力降低,光合产物积累减少,苹果树的抗旱、抗寒力减弱,果实变小,含酸量降低,着色不好,采前落果严重等^[44]。苹果树对钾的吸收高峰期一般在7~8月,在该期间施加适量的钾肥,对改善和提高果树产量和品质有明显作用。

1.2.6 土壤钙、镁对苹果生长、产量及品质的影响

钙作为果树营养不可缺少的元素之一,对果树健康和果实品质有着重要的影响。研究表明^[51-52],优质苹果园土壤中钙饱和度需要达到60%~80%、交换性钙含量为0.5~2 g/kg、根系表面钙浓度为0.005~0.04 g/kg时,才能满足根系对钙的需求。当土壤有效钙充足时,不仅能促进果实着色,还能抑制呼吸作用和乙烯的生成,从而延缓果实衰老腐烂,降低烂果率,延长贮藏期;但当钙含量过剩时则使土壤呈碱性,影响锰、铁、锌、硼元素的吸收,增加果实患病概率,影响果实的品质和贮藏性^[53]。而土壤缺钙则易引起果树腐烂病、早期落叶病的发生和果实苦痘病、水心病等病害的出现,影响苹果的产量和品质。果树缺钙一般发生在酸性土中,而碱性土因含有较多的碳酸钙不易使果树出

现缺钙的情况,但李鹏^[54]研究发现,渭北地区长期种植苹果,会加速该区黄土母质发育土壤的钙素退化过程,显著降低苹果园碳酸钙含量,打破了渭北地区石灰性土壤永不缺钙的传统观念,认为不合理的长期过量施用氮磷肥是导致土壤和苹果树缺钙的重要诱因之一。

镁是构成叶绿素、植素、花青素的主要成分之一,在光能的吸收、传输、转换过程中起关键性作用,同时镁还是多种酶的活化剂,能促进作物对碳氮的吸收,提高作物产量和品质。当土壤中有效镁不足时,极易引起作物缺镁。由于苹果长期过量施用化肥,氮肥中的铵态氮降低了镁的有效性,再加上钾与镁之间存在吸收拮抗作用,过量的钾肥施用进一步降低了苹果对镁的吸收,使苹果出现缺镁现象。成年苹果缺镁症一般发生在7~8月,缺镁后,病叶不易脱落且叶片上出现坏死斑点,果树枝条较细弱易弯,严重时发生枯梢现象^[55]。因此,增施镁肥成了增加土壤有效镁含量和提升果实产量、品质的必要措施。李秉毓^[56]研究发现,镁素供应过低或过高均抑制幼苗各器官的干物质积累和根系生长,不利于植株对碳氮的吸收利用;大田试验中镁肥最适宜施用量为2250 kg/hm²,可显著促进苹果叶片生长、提高叶绿素含量等,有利于苹果树树体生长,并且能提高果实产量和改善果实品质。

1.2.7 土壤微量元素对苹果生长、产量及品质的影响

土壤微量元素是土壤肥力的重要组成部分,同时也是表征土壤质量的重要因子。土壤微量元素在提高苹果产量和品质方面起着重要作用,如硼可促进叶绿素的形成,在碳水化合物代谢、运输上起重要作用;锰是叶绿素的组成物质,参与光合作用;锰、铜具有降低果实硬度和果肉密度、促进果实贮期软化的作用^[57]。土壤中若缺少某一微量元素,苹果容易出现缺素症,苹果缺锌会导致小叶病,苹果缺硼会出现缩果病,苹果缺铁会导致黄叶病。由于我国苹果主产区土壤有效锌普遍偏低,锌营养已成为限制苹果产量和质量的重要因素^[58],其中山东1/3以上的苹果园有效锌含量偏低,46.2%的苹果园发生小叶病^[59],因此需增施相应的微量元素肥料进行防治。研究发现,在果园中增施适量的微量元素肥,可以改善苹果的树体营养,提高果实产量和品质^[60]。

1.2.8 土壤有机质、养分与苹果生长、产量及品质关系的多元分析

土壤养分是果树生长和产量形成的重要物质基础。土壤养分含量、有效性及各养分间的合理比例成为影响苹果园高质高产的重要因素^[49, 61]。张强等^[7]研究了富士苹果土壤养分与果实品质的关系,结果表明,果实品质受土壤有机质和碱解氮、有效磷、速效钾、铁、锌、硼等养分的共同影响。王海云^[33]研究胶东苹果园土壤养分状况与产量关系时发现,高产园的土壤有效养分含量均高于中、低产园,他认为这种差异是导致产量差别的重要原因之一,而磷、钾是产量是中、低产园产量上升的主要限制因子。但也有研究者认为,苹果的生长和结果状况与土壤养分含量的相关性较差^[62],果树当年的生长及产量结果并不完全取决于当季的土壤营养供应状况^[21]。此外,果实不同的品质属性受土壤养分的影响程度不同,张强等^[63]研究表明,影响富士苹果单果质量、果实硬度、果实可溶性固形物含量等品质的主要土壤养分类型不同。苹果树健康生长状况也与土壤养分情况密切相关,杨文渊等^[64]研究表明,苹果腐烂病的发生程度与土壤钾含量呈极显著负相关,与氮/钾和磷/钾均呈显著正相关。另外,各营养元素间的配比也是影响苹果高产优产的关键因素之一。土壤碳/氮作为土壤质量的敏感指标,碳/氮是影响植株的生长发育和氮素吸收的重要因素。由于我国苹果园本身立地条件差,土壤有机质偏低,再加上施氮肥过量,导致土壤碳/氮失调。土壤碳/氮失调是我国果园土壤质量退化、土壤微生物多样性下降、土传病害严重、果品产量品质下降的重要原因^[65]。葛顺峰等^[31]在平邑甜茶上的研究表明,土壤碳/氮控制在21~23范围内适宜苹果植株生长发育,可达到高产、优质、高效的目的。

由于我国苹果属种质资源类型多样,分布广泛,各地区的苹果园土壤条件、施肥管理等方式的不同,使得各地果园土壤养分状况及限制因子存在较大差异。张义等^[66]对陕西王东沟流域苹果园调查时发现,苹果品质的限制因子主要为土壤全氮和有机质。郑朝霞等^[61]研究发现,陕西省苹果主产区土壤养分含量总体较低,有机质、碱解氮、有效磷和速效钾平均含量分别为11.5 g/kg、57.1 mg/kg、13.0 mg/kg和160.4 mg/kg,已成为制约当地苹果产业发展的因素。彭福田等^[21]研究认为增加土壤养

分供应能力对提高苹果产量水平具有重要作用,科学合理施肥成为苹果产业健康发展的关键。大量研究表明^[67],氮磷钾化肥配合施用对苹果产量和经济效益的提高及品质的改善有重要作用。而苹果园土壤养分状况是制定果园土壤管理和施肥方案

的重要依据之一,研究人员根据各苹果主产区气候条件和土壤条件,制定了适宜当地苹果生产的土壤养分等级,如山东省苹果园土壤有效养分分级标准、陕西省果园土壤速效氮磷钾丰缺诊断标准(表1),为合理科学施肥提高了科学依据。

表1 不同苹果主产区苹果园土壤有机质和有效养分分级标准

地区	等级	有机质 (%)	氮		有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
			碱解氮 (mg/kg)	0 ~ 60 cm 硝态氮 (mg/kg)		
山东省 ^[68]	高	>2	>100	—	>50	>200
	适宜	1.5 ~ 2.0	85 ~ 100	—	40 ~ 50	150 ~ 200
	中等	1.0 ~ 1.5	70 ~ 85	—	20 ~ 40	100 ~ 150
	低	0.6 ~ 1.0	50 ~ 70	—	10 ~ 20	50 ~ 100
	极低	<0.6	<50	—	<10	<50
陕西省 ^[69]	高	>2.5	—	>60	>30	>200
	较高	1.8 ~ 2.5	—	30 ~ 60	20 ~ 30	150 ~ 200
	中	1.2 ~ 1.8	—	10 ~ 30	10 ~ 20	100 ~ 150
	较低	0.6 ~ 1.2	—	5 ~ 10	5 ~ 10	50 ~ 100
	低	<0.6	—	<5	<5	<50

注:“—”表示没有此项数据。

1.3 土壤微生物对苹果生长、产量及品质的影响

土壤微生物包括细菌、放线菌、真菌、病毒等,是土壤的重要组成部分,与土壤肥力密切相关,其在土壤矿质养分转化、物质代谢和能量流动中起着重要作用,是评价土壤质量的重要指标之一。土壤微生物对环境变化十分敏感,因此土壤微生物组成的群落结构及多样性可作为土壤质量变化的敏感指标。赵国栋等^[70]研究渭北旱塬地区的苹果园根区土壤时发现,土壤微生物主要集中在0 ~ 40 cm土层,并随土壤深度增加而减少;从树基处到果树行间水平方向上,细菌数量呈增加趋势,而真菌数量呈逐渐减少趋势,放线菌数量则呈先减少后增加趋势。陈伟^[71]研究发现苹果园的产量与土壤微生物的数量息息相关,高产园土壤微生物数量大。土壤中微生物通过其多样的代谢和功能调节土壤质量,从而提高苹果的产量和品质。王洋娟^[72]研究发现,增施微生物菌肥可明显改善“红富士”果实的外观和品质,降低苹果花脸病发病率。

在苹果根区土壤中,变形菌门、拟杆菌门和酸杆菌门等是主要细菌类群,担子菌门、子囊菌门、接合菌门等是主要真菌类群^[73]。长期种植苹果后土壤中的细菌多样性会下降,真菌多样性会上

升^[74],土壤类型逐渐由“细菌型”向“真菌型”转变,并伴有有害真菌的大量繁殖,而苹果园病害以真菌病害居多。因此,弄清楚果园土壤中真菌微生物的种类以及它们之间的相互作用,对控制苹果根部病害的发生和流行、促进苹果健康生长、提升苹果品质具有重要意义。目前有关土壤微生物对苹果生长发育的研究主要集中在土壤微生物对苹果连作障碍的影响上,苹果连作障碍在果园整个生命周期中造成的经济损失可高达50%^[75],已逐渐成为制约全球特别是中国苹果产业发展的共性问题。从世界范围来看,造成苹果连作障碍的有害真菌主要有柱孢菌属、镰孢菌属、丝核菌属、疫霉属和腐霉属等^[76-77],而导致我国苹果主产区连作障碍的主要病原菌是镰孢菌^[78]。

2 展望

目前,国内学者针对土壤肥力质量与苹果生长发育、产量和品质之间的关系开展了大量研究,促进了我国苹果产量和品质的大幅度提升。但目前的相关研究大多数仅限于研究一种或两种土壤肥力因子对苹果质量和品质的影响,然而各土壤肥力因子间是相互作用、相互影响的,因此,在今后的研究

中应明确各土壤肥力因子间的协同作用,加强土壤肥力因子对苹果品质影响的系统性和综合性研究。另外,我国苹果种植分布广泛,各主产区气候、地形、土壤类型以及施肥管理措施等都不同,各主产区土壤肥力状况差异较大,使得限制其苹果产量和果实品质提升的关键土壤肥力因子也不同,因此需要建立不同苹果种植产区的土壤肥力因子适宜水平和标准,但目前已建立的土壤养分分级标准还存在一些问题,如各苹果主产区土壤养分分级标准所选取的指标不统一,不能相互对照和比较;另外,目前所制定的土壤养分分级标准值的确定所依据的土壤样本调查范围偏小,或是直接参考全国第二次土壤普查技术规程的分级指标,而第二次土壤普查样本不仅包含苹果园土壤,还包含农田、森林等土壤,其养分分级标准与苹果园土壤实际情况差异较大。因此,在今后的研究中应在苹果土壤养分等级制定的标准、统一、规范化等方面加强研究,以期科学合理施肥、提高肥料利用率以及建立优质高产苹果栽培基地等提供理论依据。

参考文献:

- [1] 葛顺峰,姜远茂. 苹果化肥农药减施增效技术途径与研究展望[J]. 植物生理学报, 2016, 52 (12): 1768-1770.
- [2] 王红叶,鲁兴凯,赵伟丽,等. 西南冷凉高地苹果园土壤养分状况分析[J]. 西南林业大学学报(自然科学版), 2018, 38 (3): 209-213.
- [3] 韩建,霍增起,尹兴,等. 太行山南部苹果园土壤养分特征及其与果实品质关系的多元分析[J]. 河北农业大学学报, 2018, 41 (5): 69-74.
- [4] 林成谷. 土壤学[M]. 北京: 农业出版社, 1998.
- [5] 卢蕾. 土壤容重和根区增氧对苹果根区土壤环境及平邑甜茶幼苗根系的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2019.
- [6] 吴亚维. 土壤紧实胁迫对苹果生长的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [7] 张强,魏钦平,蒋瑞山,等. 北京苹果主产区果园土壤理化性状和果实品质评价分析[J]. 园艺学报, 2011, 38 (11): 2180-2186.
- [8] 魏彬萌. 渭北果园土壤质量退化及其机理研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [9] 杨洪强,束怀瑞. 苹果根系研究[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [10] 王东升,束怀瑞,顾曼如. 土壤理化因子对苹果树根系生长发育的影响[J]. 果树科学, 1997, 14 (2): 110-112.
- [11] 邹养军,李嘉瑞,魏钦平,等. 不同土壤质地对苹果幼树生长及光合特性的影响[C]//中国园艺学会第六届青年学术讨论会论文集. 西安: 陕西科学技术出版社, 2004. 83-86.
- [12] 盛月凡,王海燕,乔鉉元,等. 不同土壤质地对平邑甜茶幼苗连作障碍程度的影响[J]. 中国农业科学, 2019, 52 (4): 715-724.
- [13] 胡艳丽,毛志泉,沈向,等. 限根栽培中根系垂直深度和土壤质地对苹果树体发育的影响[J]. 山东农业科学, 2009 (8): 37-40.
- [14] 徐龙晓,荀咪,宋建飞,等. 土壤质地和砧木对苹果根际微生物功能多样性及其碳源利用的影响[J]. 园艺学报, 2020, 47 (8): 1530-1540.
- [15] 葛文. 山东烟台地区土壤地球化学环境与优质苹果生产的适应性评价[D]. 武汉: 中国地质大学, 2013.
- [16] 朱德兰,吴发启. 黄土高原旱地果园土壤水分管理研究[J]. 水土保持研究, 2004, 11 (1): 40-42, 115.
- [17] 黄茂林,尚金霞,张东照,等. 甘肃庆阳董志塬面旱地苹果园土壤水分研究[J]. 中国果树, 2013 (5): 15-18.
- [18] 何学涛. 不同施肥水平对陇东旱塬苹果园土壤水分及苹果产质量的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009.
- [19] 王绍飞,赵西宁,高晓东,等. 黄土丘陵区盛果期苹果园土壤水分利用策略[J]. 林业科学, 2018, 54 (10): 31-38.
- [20] Duxbury J M, Smith M S, Doran J W. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients [M] // Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Honolulu: University of Hawaii Press, 1989. 1005-1024.
- [21] 彭福田,姜远茂. 不同产量水平苹果园氮磷钾营养特点研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39 (2): 361-367.
- [22] 刘松忠,张强,赵昌杰. 果园土壤有机质对土壤特性与果实品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38 (36): 21104-21106.
- [23] 赵景景. 不同土壤有机质水平对苹果叶片光合、果实糖酸代谢及品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [24] 孙瑶,王一鸣. 有机肥对苹果产质量及烟台果园酸化土壤化学性质的影响[J]. 安徽农业科学, 2015, 43 (36): 194-196.
- [25] 焦蕊,于丽辰,贺丽敏,等. 土壤有机质对“红富士”苹果产量和品质的影响[J]. 北方园艺, 2011 (14): 25-26.
- [26] Amiri M E, Fallahi E. Impact of animal manure on soil chemistry, mineral nutrients, yield, and fruit quality in 'Golden Delicious' Apple [J]. Journal of Plant Nutrition, 2009, 32 (4): 610-617.
- [27] 徐治国,何岩,闫百兴,等. 植物 N/P 与土壤 pH 值对湿地植物物种丰富度的影响[J]. 中国环境科学, 2006, 26 (3): 346-349.
- [28] 丁芳,曾路生. 不同栽植年限苹果园土壤 pH 值与养分离子的变化研究[J]. 中国果树, 2014 (5): 13-17.
- [29] 李庆军,林英,李俊良,等. 土壤 pH 和不同酸化土壤改良剂对苹果果实品质的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26 (14): 209-213.
- [30] Neilsen D, Neilsen G. Nutritional effects on fruit quality for apple trees [J]. New York Fruit Quarterly, 2009, 17 (3): 21-24.
- [31] 葛顺峰,季萌萌,许海港,等. 土壤 pH 对富士苹果生长

- 及碳氮利用特性的影响[J]. 园艺学报, 2013, 40 (10): 1969-1975.
- [32] 李丙智, 张林森, 张立新, 等. 陕西渭北苹果园提高土壤有机质含量和降 pH 值试验初报[J]. 西北园艺 (果树), 2012 (2): 49-51.
- [33] 王海云. 土壤 pH 值对苹果生长发育影响及其酸害机理研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2008.
- [34] Roesse T. Soil pH and bitter pit in apples [J]. Good Fruit Grower, 1999, 1: 15-16.
- [35] 叶优良, 张福锁. 苹果粗皮病与锰含量的关系[J]. 果树学报, 2002, 19 (4): 219-222.
- [36] 卢树昌. 我国集约化果园养分投入特征及其对土壤质量的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2009.
- [37] 陈昕楠, 王丽霞, 庞力豪, 等. 山东烟台苹果产区土壤 pH 值、有机质含量和速效养分含量调查[J]. 中国果树, 2019 (5): 25-28, 40.
- [38] 李洪娜, 许海港, 姜远茂, 等. 不同施氮水平对矮化富士苹果幼树生长、氮素利用及内源激素含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21 (5): 1304-1311.
- [39] 张立新, 张林森, 李丙智, 等. 旱地苹果矿质营养及其在生长发育中的作用[J]. 西北林学院学报, 2007, 22 (3): 111-115.
- [40] Torres-Olivar V, Villegas-Torres O G, Domínguez-Patiño M L, et al. Role of nitrogen and nutrients in crop nutrition [J]. Journal of Agricultural Science and Technology B, 2014, 4 (1): 29-37.
- [41] Drake S R, Raese J T, Smith T J. Time of nitrogen application and its influence on 'golden delicious', apple yield and fruit quality [J]. Journal of Plant Nutrition, 2002, 25 (1): 143-157.
- [42] Achituv M, Bar-Akiva A. Nitrogen accumulation induced by phosphorus deficiency in citrus plants [J]. Scientia Horticulturae, 1973, 1 (3): 251-262.
- [43] Birka F K, Marianne B, Lis S. Optimising quality-parameters of apple cv. 'Pigeon' by adjustment of nitrogen [J]. Scientia Horticulturae, 2011, 129 (3): 369-375.
- [44] Halvankar G B, Taware S P, Raut V M. Response of some soybean (*Glycine max*) varieties to different fertility levels [J]. Indian Journal of Agronomy, 1999, 44 (3): 605-608.
- [45] Siddique M, Ali S, Javed A S. Macronutrient assessment in apple growing region of Punjab [J]. Soil & Environment, 2009, 28 (2): 184-192.
- [46] 姜远茂, 张宏彦, 张福锁. 北方落叶果树养分资源综合管理理论与实践[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2007.
- [47] 刘晶晶. 苹果主产区土壤磷素状况、淋失阈值及阻遏技术研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2018.
- [48] 车美美, 袁依馨, 赵一童, 等. 局部供磷条件下苹果幼苗根系形态的适应性变化及其对磷素的吸收[J]. 中国果树, 2019 (5): 16-19.
- [49] Fallahi E, Fallahi B, Neilsen G H. Effects of mineral nutrition on fruit quality and nutritional disorders in apple [J]. Acta Horticulturae, 2010, 868: 49-59.
- [50] 李亚锋. 苹果树缺钾症诊断与防治[J]. 山西果树, 2013 (6): 51.
- [51] Loneragan J F, Snowball K, Simmons W J. Response of plants to calcium concentration in solution culture [J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1968, 19: 845-857.
- [52] Scheffer F, Ziechmann W, Pawelke G. Schonende gewinnung natuerlicher huminstoffen mit hilfe milder organischen losungsmittel [J]. Zeitsch Pflanzen Bodenk, 1960, 90: 58-67.
- [53] 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.
- [54] 李鹏. 渭北苹果园土壤钙素演化趋势及其对苹果品质的影响研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [55] 田红, 高九思. 镁肥在苹果生产中的作用及应用技术研究[J]. 园艺与种苗, 2016 (8): 25-27.
- [56] 李秉毓. 施镁对苹果 C、N 吸收利用及产量品质的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2020.
- [57] 李宝江, 林桂荣, 刘凤君. 矿质元素与苹果风味品质及耐贮藏性的关系[J]. 果树科学, 1995, 12 (3): 141-145.
- [58] 贾永华, 牛锐敏, 李晓龙, 等. 我国苹果锌营养研究进展[J]. 安徽农业科学, 2013, 41 (28): 11261-11263, 11268.
- [59] 姜远茂, 顾曼如, 束怀瑞. 山东省苹果园土壤营养成分分析[J]. 果树科学, 1997, 14 (S1): 35-37.
- [60] 曾艳娟. 施肥对陕西红富士苹果产量和品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [61] 郑朝霞, 王颖, 石磊, 等. 陕西省苹果主产区土壤有机质、氮磷钾养分含量与分布特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23 (5): 1191-1198.
- [62] Millard P. Ecophysiology of the internal cycling of nitrogen for tree growth [J]. Journal of Plant Nutrition & Soil Science, 1996, 159: 1-10.
- [63] 张强, 魏钦平, 刘惠平, 等. 苹果园土壤养分与果实品质关系的多元分析及优化方案[J]. 中国农业科学, 2011, 44 (8): 1654-1661.
- [64] 杨文渊, 谢红江, 陶炼, 等. 苹果树腐烂病发生与土壤养分关系的研究[J]. 安徽农业科学, 2015, 43 (33): 51-53.
- [65] 束怀瑞. 我国果树业生产现状和待研究的问题[J]. 中国工程科学, 2003, 5 (2): 45-48.
- [66] 张义, 谢永生, 郝明德. 黄土沟壑区王东沟流域苹果品质限制性生态因子探析[J]. 中国农业科学, 2011, 44 (6): 1184-1190.
- [67] 高义民, 同延安, 路永莉, 等. 长期施用氮磷钾肥对黄土高原地区苹果产量及土壤养分累积与分布的影响[J]. 果树学报, 2012, 29 (3): 322-327.
- [68] 王海云, 姜远茂, 彭福田, 等. 山东苹果园土壤有效养分状况及与产量关系研究[J]. 山东农业大学学报 (自然科学版), 2008 (1): 31-38.
- [69] 王留好. 陕西省渭北苹果主产区苹果园土壤养分现状评价

- [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2009.
- [70] 赵国栋, 赵政阳, 樊红科. 苹果根区土壤微生物分布及土壤酶活性研究[J]. 西北农业学报, 2008, 17(3): 205–209, 214.
- [71] 陈伟. 苹果园土壤微生物类群与栽培环境关系[D]. 泰安: 山东农业大学, 2007.
- [72] 王洋娟. 微生物菌肥处理对苹果树体生长及病害防控的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [73] 曹辉, 李燕歌, 周春然, 等. 炭化苹果枝对苹果根区土壤细菌和真菌多样性的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(17): 3413–3424.
- [74] Sun J, Zhang Q, Zhou J, et al. Illumina amplicon sequencing of 16S rRNA tag reveals bacterial community development in the rhizosphere of apple nurseries at a replant disease site and a new planting site[J]. Plos One, 2004, 9: e111744.
- [75] Van Schoor L, Denman S, Cook N. Characterisation of apple replant disease under South African conditions and potential biological management strategies[J]. Scientia Horticulturae, 2009, 119: 153–162.
- [76] Sewell G W F. Effect of *Pythium* species on the growth of apple and their possible causal role in apple replant disease[J]. Annals of Applied Biology, 2008, 97(1): 31–42.
- [77] Mazzola M, Manici L M. Apple replant disease: role of microbial ecology in cause and control[J]. Annual Review of Phytopathology, 2012, 50: 45–65.
- [78] 王晓琪, 姜伟涛, 姚媛媛, 等. 苹果连作障碍土壤微生物的研究进展[J]. 园艺学报, 2020, 47(11): 2223–2237.

Research progress of the relationship between soil fertility quality and the growth, yield and quality of apple

SUN Chen-mei¹, CHENG Dong-dong², Yang Yue-chao², LI Ding-yi², REN Shi-ke², DUAN Chong-xin², LIU Yan^{2*}, JIANG Yuan-mao^{1*} (1. College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agriculture University, State Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an Shandong 271018; 2. College of Resources and Environment, Shandong Agriculture University, Tai'an Shandong 271018)

Abstract: The quality of soil fertility represents the comprehensive ability of soil productivity, which is an important basis for ensuring high quality and high yield of apple. The relationship between various soil fertility factors and fruit trees growth and development, fruit yield and quality was reviewed, and discussed the key soil fertility factors restricting the current apple yield and quality improvement in China, in order to provide theoretical basis for orchard soil management and reasonable and scientific fertilization. It is of great significance to promote the healthy and sustainable development of the apple industry.

Key words: soil quality; soil nutrient; fruit quality; yield