

吴田乡,盛婧,朱普平,等. 果园生草覆盖的生态效应研究进展及展望[J]. 江苏农业科学,2023,51(3):28-34.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.03.005

# 果园生草覆盖的生态效应研究进展及展望

吴田乡<sup>1</sup>,盛婧<sup>2</sup>,朱普平<sup>2</sup>,郭智<sup>2</sup>

(1. 江苏省耕地质量与农业环境保护站,江苏南京 210036;

2. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所/江苏省农业生物多样性培育与利用研究中心,江苏南京 210014)

**摘要:**果园生草是解决当前我国果园生产普遍面临的集约化单一种植、生物群落结构及物种单纯化等现实问题的有效途径之一。同时,果园生草具有显著的水土保持与养分减排(地表径流损失、温室气体排放、土壤贮水等)、土壤改良(物理性状、化学性状、生物性状等)、近地层微域环境改善(温度、湿度及动态调控功能等)、果树生育调控(根系生长、树木生长及养分利用等)、果品调优、生态调控(杂草控制、天敌种群重建等)等诸多生态效应优势。本文综述了国内外果园生草覆盖技术模式生态效应研究的最新进展,也对我国果园生草技术模式进一步推广应用进行了展望。

**关键词:**果园生草;水土保持;养分减排;土壤改良;果品调优;生态防控

**中图分类号:**S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)03-0028-07

我国是世界最主要的水果生产大国。据报道,2018 年我国果树种植面积约 1 190 万  $\text{hm}^2$ ,水果产量约 2.57 亿  $\text{t}^{[1]}$ ,果业已成为我国主要高效农业产业之一。然而,由于果园集约化单一种植,生物群落结构及物种单纯化,诱发病虫猖獗,导致农药用量加大,果品质量安全隐患凸显,缺乏市场竞争力,生产经营效益低<sup>[2-3]</sup>。随着社会经济发展和水果消费水平的提高,果品质量已成为市场竞争的焦点。

果园生草是通过在果园行间或全园种植一年生或多年生草本植物进行地表覆盖的一种可持续土壤管理技术模式,已在欧美等发达国家广泛应用<sup>[4]</sup>,我国也在 20 世纪末将其作为优质绿色果品生产技术措施之一进行了大面积推广<sup>[5]</sup>。经过多年实践与发展,我国果园生草形成了多种模式。从草种角度来看,形成了人工种草和自然生草模式;从果园内布局角度来看,形成了全园生草和行间生草模式;从系统组成角度来看,可分为不同种养结合果园生草模式<sup>[6]</sup>。从技术模式综合效应角度分析,较多研究表明,果园生草具有水土保持与养分减排<sup>[7-10]</sup>、土壤改良<sup>[11-14]</sup>、近地层微域环境改

善<sup>[15-16]</sup>、果树生育调控<sup>[12,17-19]</sup>、果品调优<sup>[13,20]</sup>、生态防控<sup>[21-23]</sup>等诸多优势。基于此,本研究对国内外果园生草覆盖技术模式生态效应研究的最新进展进行了综述,以期为我国果园生草技术模式的进一步推广和果树生产体系的可持续发展提供一定的理论支撑。

## 1 果园生草的水土保持与养分减排效应

### 1.1 水土保持与养分减排

果园生草可显著改善果园地表覆盖度,进而影响农田地表径流量和养分径流损失量<sup>[24-25]</sup>。毕明浩等研究表明,种植鼠茅草可显著降低苹果园地表径流量,达到 88.3%~98.7%,氮素径流损失降低 90%<sup>[8]</sup>。俞巧钢等也研究发现,套种黑麦草等绿肥植物可显著降低山地桃园径流水量和侵蚀泥沙量,分别达 5.3%~36.4%和 8.8%~56.4%,还能显著降低果园土壤氮、磷径流损失,分别达到 18.7%~55.2%和 30.1%~58.5%<sup>[26]</sup>。李太魁等的最新研究也表明,茶园间作三叶草地表径流量和泥沙侵蚀量分别显著降低 38.55%和 32.94%;同时,显著减少了茶园土壤氮、磷径流损失量,分别达到 59.28%和 51.82%<sup>[16]</sup>。笔者所在课题组前期通过对太湖流域水蜜桃园不同管理模式养分径流损失的定位监测也发现,桃园生草可显著降低土壤氮素、磷素径流损失量,分别达到 7.41%、23.95%<sup>[7,27]</sup>。

果园生草不仅可以降低地表径流流失,而且可以调节土壤贮水能力与特征<sup>[28]</sup>。田间定位试验表

收稿日期:2022-06-12

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(19)3098];江苏省农业科学院基本科研业务专项(编号:0270756100ZX)。

作者简介:吴田乡(1983—),女,江苏苏州人,硕士,农艺师,主要从事农业生态与资源利用研究。E-mail:504572972@qq.com。

通信作者:郭智,博士,副研究员,主要从事农田生态与资源利用研究。E-mail:Guozhi703@163.com。

明,生草可提高黄土高原旱地苹果园 0~60 cm 土层土壤贮水能力,扩大土壤贮水库容,且其影响主要发生在春季与秋季<sup>[28]</sup>。同时,不同降水年型生草对果园土壤贮水量影响较大,丰水年种植白三叶可提高土壤贮水量,欠水年生草则加剧干旱对果树的影响。刘伟等也研究发现,紫云英生草刈割覆盖能显著提高芒果园土壤持水量及贮水量,0~60 cm 土层土壤田间持水量和吸持贮水量分别显著提高 10.38% 和 9.98%<sup>[10]</sup>。白岗栓等则研究发现,果园生草(白三叶和鸭茅)降低了表层土壤水分,增加了 30.20~48.65 mm 土壤水分蒸散量,且显著降低了果园土壤水分利用效率,达到 20.56%~28.99%<sup>[29]</sup>。

## 1.2 温室气体减排

众所周知,农业活动对农田土壤温室气体(CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O)排放贡献较大。王义祥等利用 LI-8100 开路式土壤碳通量测量系统研究了套种豆科牧草圆叶决明对柑橘果园土壤呼吸的影响,结果表明,套种豆科牧草虽然使土壤呼吸速率提高了 26.24%<sup>[30]</sup>,但由于该试验测定的土壤呼吸中包括根系呼吸,而生草处理下根系呼吸增加导致试验体系土壤呼吸明显提高,这并不代表生草处理导致系统 CO<sub>2</sub> 净排放量的增加,相反,果园生草处理使系统有机碳库增加了 3 400 kg/hm<sup>2</sup>。我国果园年平均化学氮肥投入量高达 550 kg/hm<sup>2</sup>,远高于稻麦等大宗作物和蔬菜<sup>[31]</sup>,导致果园土壤 N<sub>2</sub>O 单位面积排放量和排放系数可能更高。但国内外有关果园土壤 N<sub>2</sub>O 排放的研究报道极少,极大限制了研究人员对果园土壤 N<sub>2</sub>O 排放特征、控制因子及减排技术的认识<sup>[9]</sup>。苏子轩采用静态箱采气和气相色谱仪法研究了生草覆盖对苹果园土壤温室气体排放的影响,结果表明,生草覆盖下 CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O 和 CH<sub>4</sub> 排放量较清耕处理分别提高 9.0%、10.6% 和 14.0%,但 CH<sub>4</sub> 排放并非旱地果园温室气体的主要排放源<sup>[32]</sup>。Gu 等也研究发现,生草措施并不能显著降低果园土壤 N<sub>2</sub>O 排放<sup>[9]</sup>。然而,由于果园类型及生草管理方式多样,尚需进一步定位试验评估其对土壤温室气体(CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O)排放的影响,以期为果园农田温室气体减排和土壤碳固定提高提供参考。

## 2 果园生草的土壤改良效应

### 2.1 生草对果园土壤物理性状的影响

生草管理模式会显著影响果园土壤结构和孔隙性等物理性状。苹果园种植白三叶和黑麦草能

显著降低 0~60 cm 土层土壤平均容重 10.45%~11.19%,提高土壤总空隙度 12.02%~12.90%<sup>[11]</sup>。杨露等研究表明,苹果幼树行间套种弯叶画眉草提高土壤孔隙度 6.76%~9.09%<sup>[12]</sup>;刘伟等也研究发现,紫云英生草刈割覆盖降低了芒果园 0~60 cm 土层土壤平均容重,达到 15.87%<sup>[10]</sup>。同时,0~20 cm 土层土壤非毛管孔隙度、0~60 cm 土层土壤平均毛管孔隙度和 0~60 cm 土层土壤平均通气度分别提高了 8.80%、9.97% 和 22.38%,且 0~60 cm 土层土壤初渗速率、平均渗透速率、稳渗速率和渗透系数也提高了 18.87%~36.86%。

土壤团聚体是土壤结构构成的基础单元,与土壤质量和土壤肥力密切相关。闫涛宇的研究表明,随着苹果园生草年限的延长,土壤中 <0.25 mm 的水稳定性团聚体含量减少,而 >0.25 mm 粒径的团聚体含量则增加,且团聚体稳定性也逐渐增加<sup>[33]</sup>。付学琴等研究发现,<0.25 mm 粒级团聚体是蜜橘园土壤水稳性团聚体的优势粒级(含量 57.76%~73.27%),种植白三叶和黑麦草显著降低了土壤中 <0.25 mm 的水稳定性团聚体含量,分别达 16.64% 和 21.17%,而显著提高了 0.25~0.50 mm 粒径的水稳定性团聚体含量,分别达 39.54% 和 11.65%<sup>[13]</sup>。研究结果与陈曦等的研究<sup>[34]</sup>一致,表明生草管理模式显著改善了果园土壤结构的稳定性。

### 2.2 生草对果园土壤化学性状的影响

生草管理模式也直接导致果园土壤酸碱度、有机质组分和养分有效性等化学性状的改变。杨露等的研究表明,苹果幼树行间套种小须芒草降低了土壤 pH 值,降幅达到 6.83%~7.19%<sup>[12]</sup>。刘伟等也研究发现,紫云英生草刈割覆盖降低了芒果园 0~40 cm 土层土壤 pH 值,降幅达 0.69~0.79<sup>[10]</sup>。土壤 pH 值变化直接影响土壤养分有效性。紫云英生草刈割覆盖显著提高了芒果园土壤碱解氮、有效磷、速效钾的含量,分别达到 56.60%、84.20%、21.59%<sup>[10]</sup>。秦秦等也研究发现,猕猴桃园行间种植黑麦草可显著提高 0~20 cm 土层土壤速效钾含量,提高幅度达到 22%,种植白三叶草可显著提高 0~20 cm 土层土壤碱解氮含量,提高幅度达到 68.03%<sup>[35]</sup>。同时,果园生草显著提高了土壤微量元素有效态含量<sup>[12]</sup>。猕猴桃园行间种植黑麦草可显著提高 0~20 cm 土层土壤有效铁含量,提高幅度达到 35.52%,种植白三叶草可显著提高 0~20 cm 土

层土壤有效锌含量,提高幅度达到 31.61%<sup>[35]</sup>。

土壤有机质含量是反映果园土壤肥力的关键指标之一。刘伟等的研究均表明,生草可显著提高果园土壤有机质含量<sup>[10,12,35-36]</sup>。柿子园种植白三叶、猕猴桃园行间种植黑麦草、苹果幼树行间套种弯叶画眉草、芒果园套种紫云英等生草模式显著提高了土壤有机质含量,提高幅度分别达到 41.6%<sup>[36]</sup>、11.73%<sup>[35]</sup>、23.53%<sup>[12]</sup> 和 74.48%<sup>[10]</sup>。生草管理模式还会显著影响果园土壤有机碳组分及含量。土壤有机碳含量随生草年限延长而逐渐提高,且不同粒径的土壤团聚体有机碳含量也相应提高,其中,以 0.25 ~ 0.50 mm 粒径的团聚体为主<sup>[33]</sup>。王耀锋等的研究表明,桃园套种黑麦草后,土壤总有机碳含量、微生物量碳含量和水溶性有机碳含量分别显著提高 5.13%、76.4% 和 18.1%,套种毛苕子提高土壤轻组有机碳含量 11.3%,降低重组有机碳含量 13.2%,但未显著影响总有机碳、微生物量碳和水溶性有机碳的含量<sup>[37]</sup>。李萍等研究发现,苹果园间作黑麦草显著提高了 0 ~ 20 cm 土层土壤总有机碳、轻质有机碳、可溶性有机碳和微生物生物量碳的含量,分别提高 30.3%、29.8%、17.1% 和 34.5%,间作毛苕子提高幅度更大,分别达到 38.9%、42.5%、27.6% 和 74.9%<sup>[38]</sup>。同时,陈苏等研究发现,蜜橘园种植白三叶显著提高了 0 ~ 40 cm 土层土壤总有机碳、微生物量碳、水溶性有机碳、易氧化有机碳、轻组有机碳、重组有机碳的含量,分别提高 11.74%、52.69%、80.20%、67.95%、92.45% 和 18.08%,种植黑麦草后则提高 3.72%、19.38%、23.35%、32.69%、56.60%、7.51%<sup>[39]</sup>。以上结果稍有差异,可能与生草年限、果园肥水管理模式及土壤类型等有关,但总体而言,果园生草有利于土壤有机质含量提高和有机碳质量改善。

### 2.3 生草对果园土壤生物性状的影响

生草可提高果园土壤微生物群体数量<sup>[40-41]</sup>。惠竹梅等的研究表明,葡萄园种植白三叶草、紫花苜蓿和高羊茅等后,土壤固氮菌、纤维素分解菌和细菌的平均数量分别提高 223.4%、83.4% 和 68.1%<sup>[42]</sup>。苹果幼树行间套种禾草后,土壤细菌操作分类单元(OTU)数量提高 7.93%<sup>[12]</sup>;苹果园套种鸭茅、白三叶和紫花苜蓿也显著提高了 0 ~ 10 cm 土层土壤真菌 Alpha 多样性,分别提高 17.4%、18.6% 和 27.0%<sup>[43]</sup>。李青梅等研究发现,

混种黑麦草和白三叶显著增加了猕猴桃园 0 ~ 20 cm 土层土壤微生物磷脂脂肪酸总量,提高幅度达到 13.63%<sup>[44]</sup>。同时,多种植物混种显著增加了猕猴桃园 0 ~ 20 cm 土层土壤微生物功能多样性指数和丰富度指数,分别提高 7.75% ~ 11.63% 和 24.96% ~ 33.90%<sup>[45]</sup>。张玲玲等采用分子技术的研究表明,猕猴桃种植白三叶显著提高了 0 ~ 20 cm 土层土壤中氨氧化古菌和氨氧化细菌基因丰度,分别提高 2.85% 和 4.95%,白三叶与黑麦草混种显著提高了土壤氨氧化细菌基因丰度,幅度达到 6.42%<sup>[14]</sup>。然而,猕猴桃单种白三叶或多种植物混种对土壤氨氧化古菌和氨氧化细菌群落结构影响不显著。

生草显著提高了果园土壤物质转化过程相关酶活性<sup>[46-47]</sup>。葡萄园种植白三叶草和紫花苜蓿可显著提高土壤脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶和纤维素酶的活性,幅度分别为 43.49% ~ 47.97%、51.28% ~ 58.38%、42.69% ~ 46.31% 和 29.84% ~ 54.32%<sup>[46]</sup>。猕猴桃园种植鸭茅、三叶草、黑麦草可显著提高土壤过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶和磷酸酶的活性,且草种间差异显著<sup>[47]</sup>。左玉环等的研究也表明,种植白三叶草显著提高了柿子园 0 ~ 20 cm 土层土壤脲酶活性,提高幅度为 11.08% ~ 12.48%,而 0 ~ 40 cm 土层土壤过氧化氢酶活性、蔗糖酶活性的增幅分别达到 7.62% ~ 11.76%、8.84% ~ 13.04%<sup>[36]</sup>。土壤酶活性的几何平均数能够综合反映土壤酶活性状况,可作为评价土壤质量变化的早期敏感性指标<sup>[36]</sup>。研究发现,生草可显著提高果园土壤酶活性的几何平均值,增幅达到 6.76% ~ 8.90%,可显著改善果园土壤肥力<sup>[36]</sup>。同时,王元基研究发现,种植黑麦草还可显著提高苹果园土壤  $\beta$ -1,4-葡糖苷酶、纤维二糖水解酶和  $\beta$ -木糖苷酶等碳循环相关酶的活性,这与生草输入果园更多有机物质密切相关<sup>[48]</sup>。

土壤线虫是农田生态系统重要的生物组分之一<sup>[49]</sup>。生草对果园土壤线虫群落结构特征影响显著<sup>[50]</sup>。研究表明,自然生草能提高梨园根际土壤真头叶属、丽突属和拟丽突属等食细菌线虫比例,降低茎属、垫刀属、针属和盘旋属等植物寄生线虫比例。同时,显著提高土壤线虫营养类群指数和瓦斯乐斯卡指数,分别提高 47.20% 和 215.29%,说明自然生草可提升梨园土壤健康程度<sup>[50]</sup>。Eo 等研究发现,套种紫云英显著提高了苹果园表层土壤杂食性

线虫种群密度<sup>[51]</sup>。

### 3 果园生草的近地层小气候环境改善效应

生草也可调节果园近地层小气候环境,增强果园逆境缓冲能力。李国怀等研究发现,桔园生草栽培在高温干旱期可以降低土壤温度和树冠层空气温度,提高土壤含水率和树冠层空气相对湿度<sup>[52]</sup>。吴红敏的研究也表明,生草间作可调节柑橘园气温和地温,夏秋季气温和地温分别可降低 1.0~1.1℃和 0.6~2.0℃,冬春季气温可提高 1.5~1.9℃,冬季地温提高 1.1℃<sup>[15]</sup>。同时,生草也可增加 4.3%~8.7% 的空气相对湿度,并提高土壤含水率。李太魁等也报道了茶园间作三叶草模式具有升温时降温 and 降温时升温保温的动态调控作用<sup>[16]</sup>。同时,生草也可减小枣园土壤温度日变化幅度,缩小枣园土壤年温差<sup>[53]</sup>,并有效降低果园地表土层温差<sup>[54-55]</sup>。

### 4 果园生草的生育调控效应

#### 4.1 生草对果树根系生长的影响

果园生草可显著影响果树根系生长发育与土层分布。兰彦平等研究发现,套种无芒雀麦和鸭茅增加了石灰岩山区果园果树总根量 29.7~42.9 条/m<sup>2</sup>,且直径 < 2 mm 的须根占比为 56.57%~81.35%<sup>[56]</sup>。李会科等的根箱试验研究表明,种植白三叶对苹果根系生长发育具有正效应,苹果根系总生物量密度、根长密度、根表面积分别增加了 10.31%、21.21% 和 23.08%,其中细根(直径 < 1 mm)增幅更高,分别达 20.00%、23.81% 和 26.33%<sup>[17]</sup>。同时,种植白三叶条件下,苹果细根下移趋势更明显。彭玲等还研究发现,苹果园种植白三叶条件下,苹果植株总鲜质量、新梢粗度、新梢长度及根冠比显著增加 9.60%、6.18%、8.47% 和 26.32%<sup>[18]</sup>。

#### 4.2 生草对果树叶片色素与光合能力的影响

果园生草对果树叶片生长和色素含量具有显著影响。王孝娣等研究发现,套种紫花苜蓿可显著增加桃树叶面积、叶片厚度、比叶重及叶绿素含量,分别达到 7.41%、30.47%、29.17% 和 21.30%<sup>[57]</sup>。陈俊等的研究表明,与清耕相比,自然生草显著增加了干旱荒漠区苹果叶片鲜质量、干质量、比叶重、叶绿素含量,增幅分别达到 17.59%、10.41%、15.51% 和 12.06%<sup>[19]</sup>。刘伟等的最新研究也表明,套种紫云英可显著提高芒果叶片叶绿素含量和比叶重,分别提高 17.59% 和 10.04%<sup>[10]</sup>。

叶片光合能力与果树产量和品质形成密切相关。较多研究表明,果园生草可提高叶片光合能力<sup>[19,57-58]</sup>。牛俊玲等研究发现,生草果园叶片光合速率日均值显著提高 22.28%~50.12%<sup>[59]</sup>。王孝娣等的研究表明,套种紫花苜蓿可显著提高桃叶净光合速率,达到 45.44%<sup>[57]</sup>。陈俊等的研究也表明,自然生草提高了干旱荒漠区苹果叶片的净光合速率、气孔导度、水分利用率和光能利用率,降低了叶片胞间 CO<sub>2</sub> 浓度和蒸腾速率<sup>[19]</sup>。通过对生草条件下果树叶片荧光特性的分析,谭博等研究认为,生草模式可提高葡萄成熟期叶片光系统 II (PS II) 潜在活性( $F_v/F_m$ )和原初光能转化效率( $F_v/F_m$ ),延缓葡萄叶片衰老,并提高葡萄叶片光合量子效率和电子传递率<sup>[20]</sup>。同时,生草还可以提高葡萄叶片光化学猝灭系数,使 PS II 电子传递能力进一步提高,增强葡萄叶片光合能力。李芳东等的研究也表明,自然生草可显著提高高温强光下苹果叶片 PS II 最大光化学效率,并通过调控光系统间能量分配,使光合电子传递更为流畅,进一步维持较高的光合效率<sup>[58]</sup>。

#### 4.3 生草对果树叶片生长与养分吸收的影响

果树叶片可有效反映树体营养水平。早期研究认为,果园地表杂草生长与桃树竞争土壤养分,使桃树叶氮含量呈下降趋势<sup>[60]</sup>。杨露等的研究表明,生草显著降低了苹果叶片氮含量,但显著提高了叶片磷含量<sup>[12]</sup>。陈俊等研究认为,自然生草对干旱荒漠区苹果叶片氮、磷含量影响不显著,但可提高叶片钾含量<sup>[19]</sup>。李会科研究表明,生草可提高苹果叶片 N、P、K 等元素含量<sup>[61]</sup>。JiBhat 等也研究认为,果园生草可提高杏树叶氮、磷、钾等大量元素含量<sup>[62]</sup>。这些研究结果有所差异,可能与果园土壤肥力、果树类型与品种、树龄、生草种类与方式、区域气候条件差异等有关。生草不仅影响果树叶片大量元素水平,也可显著影响叶片微量元素吸收。杨露等的研究均表明,生草可提高果树叶片铁、锰、铜、锌等微量元素的含量<sup>[12,62]</sup>。

#### 4.4 生草对果树产量与品质的影响

生草不仅可以提高果品产量<sup>[7,63]</sup>,还能提高果树植株养分利用率<sup>[18]</sup>。柑橘园种植柠檬罗勒等植物可显著提高果品产量,提高幅度达到 6.00%~12.06%<sup>[15]</sup>,苹果园种植白三叶显著提高果树植株氮素利用率 52.44%<sup>[18]</sup>。较多研究表明,生草还可以改善果品品质。谭博等的研究表明,葡萄园种植

豆科植物可提高果实可溶性固形物含量、总糖含量及糖酸比,提高幅度分别达到 3.89%~19.29%、14.17%~34.65% 和 48.52%~88.56%,并降低总酸含量,降幅达到 21.55%~31.26%,显著提高葡萄内在品质<sup>[20]</sup>。付学琴等研究发现,蜜橘园行间种植黑麦草、白三叶草可显著提高果实可溶性糖含量、可溶性固形物含量和维生素 C 含量,分别达到 6.91%~11.60%、5.04%~8.85% 和 6.16%~6.55%,降低可滴定酸含量达 20.21%~21.28%,进一步调优了蜜橘鲜食品质<sup>[13]</sup>。笔者所在课题组前期研究也发现,桃园种植三叶草不仅可以小幅提高桃果产量(提高幅度为 2.04%),而且显著提高桃果固酸比 7.31%,改善桃果品质<sup>[7]</sup>。

## 5 果园生草的生态调控效应

果园生草作为一种重要的植物多样化配植手段,能够增加天敌类群种类和数量而提高农业生态系统的多样性<sup>[64-71]</sup>、降低害虫种群密度<sup>[71-73]</sup>、增强节肢动物群落多样性和稳定性<sup>[22,71,74-76]</sup>。万年峰等研究认为,桃园生草后,天敌与害虫在时间上的同步性和空间上的同域性总体优于对照区<sup>[21]</sup>。桃园生草有利于天敌种群的重建与恢复,在一定程度上抵制了广谱性农药对天敌的弱化作用。蒋杰贤等调查发现,生草显著提高了桃树天敌、中性类群数量,分别达非生草桃园的 1.48、1.84 倍,且桃树节肢动物群落丰富度、多样性和均匀性指数均显著升高<sup>[22]</sup>。同时,Wan 等研究发现,桃园生草后节肢动物与蚜虫、梨小丰度比值显著增加 260.0%、384.2% (上海市)和 213.3%、253.1% (江苏省),表明桃园生草具有显著的生防功能<sup>[71]</sup>。另外,目前果园杂草防控主要采用耕作除草、化学除草、地膜覆盖等方法。然而,采用生草覆盖进行以草控草可能是促进果园可持续发展的更有效途径<sup>[77]</sup>。张雯娟等通过比较黑麦草、白三叶和箭舌野豌豆 3 种常见草种对武汉桔园杂草的控制能力,发现箭舌野豌豆仅在后期有较强的控杂草能力,从全年控杂草效果来看,全园种植白三叶效果较为理想<sup>[23]</sup>。苹果园种植白三叶能有效抑制蓼、藜、苋、豚草等多种恶性阔叶杂草生长,抑制率达 55%~70%<sup>[78]</sup>。李晓刚等通过调查也发现,梨园生草白三叶可有效抑制马唐、狗尾草、波斯婆婆纳、马齿苋、藜、繁缕、看麦娘、野燕麦、芥菜等常见杂草生长,可减少狗牙根、水花生等竞争性强的杂草约 40% 的发生率<sup>[79]</sup>。

## 6 果园生草研究展望

果园生物多样性重建和生境显著改善是当前生态果业可持续发展和果业高质量发展的关键。果园生草是通过人为引入适应于当地气候特征和果园立地条件的草本植物进行果园生物多样性重建的一种有效方式,可以初步实现前述果园生境改善、水土保持、果品调优及病虫生态防控等技术需求。然而,从产业链发展的角度看,缺乏从生产成本核算(包括草种等生产资料投入、人力、能耗等投入)、经济收益分析(节本增效)、潜在品牌效应提升等综合评估,以及生产全周期果园养分循环、物质能量流动系统分析等。

我国果树种类和品种繁多、立地条件复杂、管理模式多样、土壤及气候类型各异等客观条件,导致果园生草技术难以形成统一模式进行大面积推广。广大科技工作者应继续根据当地果园实际情况筛选适宜的草种,尤其是兼具经济效益和生态防控效应的耐寒、耐热、耐旱、耐渍草本植物,以期进行生态果园周年布局,并进一步加强不同布局模式下的效应评估与机制研究。

果园生草播种、刈割、翻压还田、耕整机械化仍是当前果业高质量发展亟待解决的关键问题之一。首先,适宜我国果园特色和立地条件的专用小型机械选型或研发需进一步加强;其次,新建果园时应统筹考虑适宜中小型智能机械应用的果树栽种规格、修剪管理模式及配套基础设施,进一步实现果园生产农机农艺融合发展。

### 参考文献:

- [1] 同晓蕾, 豆攀, 张伯虎, 等. 旱地果园生草栽培技术研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2021(2): 127-131.
- [2] 陈汉杰, 张金勇, 陈冬亚, 等. 果园间作不同绿肥春季增殖害虫天敌的调查[J]. 果树学报, 2005, 22(4): 419-421.
- [3] 叶延琼, 章家恩, 赵本良, 等. 广东果园生物多样性利用与生态农业模式概述[J]. 广东农业科学, 2014, 41(5): 26-31.
- [4] Greenham D W P. The environment of the fruit tree - managing fruit soils [J]. HortScience, 1995, 12: 25-31.
- [5] 何庆. 推广绿色果品生产的果园生草技术[J]. 中国食物与营养, 1998, 6: 40
- [6] 杨梅, 王亚亚, 陆皎云, 等. 典型果园生草模式及果草系统资源调控研究进展[J]. 草业学报, 2017, 26(9): 189-199.
- [7] Guo Z, Liu H J, Zhou W, et al. Characteristics of phosphorus losses due to surface runoff in a peach orchard and the effects of inter-planting white clover (*Trifolium repens* L.) on fruit yield and quality [J]. Fresenius Environmental Bulletin, 2016, 25(12): 5516-

- 5527.
- [8] 毕明浩, 梁斌, 董静, 等. 果园生草对氮素表层累积及径流损失的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(3): 102-105.
- [9] Gu J X, Nie H H, Guo H J, et al. Nitrous oxide emissions from fruit orchards: a review[J]. Atmospheric Environment, 2019, 201: 166-172.
- [10] 刘伟, 罗玲, 钟奇, 等. 生草和地布覆盖对攀枝花地区芒果园土壤性质及果实品质的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2021, 27(2): 261-270.
- [11] 李会科, 张广军, 赵政阳, 等. 生草对黄土高原旱地苹果园土壤性状的影响[J]. 草业学报, 2007, 16(2): 32-39.
- [12] 杨露, 毛云飞, 胡艳丽, 等. 生草改善果园土壤肥力和苹果树体营养的效果[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(2): 325-337.
- [13] 付学琴, 陈登云, 杨星鹏, 等. ‘南丰蜜橘’园生草对土壤团聚体养分和微生物特性及果实品质的影响[J]. 果树学报, 2020, 37(11): 1655-1666.
- [14] 张玲珍, 李青梅, 贾梦圆, 等. 覆盖作物对猕猴桃园土壤氨氧化微生物丰度和群落结构的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(3): 417-428.
- [15] 吴红敏. 柑橘园套种生草的气象生态效应研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2015.
- [16] 李太魁, 张香凝, 郭战玲, 等. 覆盖与间作对丹江口库区坡地茶园氮磷流失和土壤环境的影响[J]. 生态环境学报, 2020, 29(3): 543-549.
- [17] 李会科, 李金玲, 王雷存, 等. 种间互作对苹果/白三叶复合系统根系生长及分布的影响[J]. 草地学报, 2011, 19(6): 960-968.
- [18] 彭玲, 文昭, 安欣, 等. 果园生草对<sup>15</sup>N 利用及土壤累积的影响[J]. 土壤学报, 2015, 52(4): 950-956.
- [19] 陈俊, 张琦, 杨梦宇, 等. 生草对干旱荒漠区苹果光合特性与叶片质量的影响[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(5): 160-167.
- [20] 谭博, 曹晓艳, 刘怀锋, 等. 果园生草对葡萄叶片荧光特性及果实品质的影响[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2011, 29(6): 683-688.
- [21] 万年峰, 季香云, 蒋杰贤, 等. 桃园生草对桃树上主要害虫及天敌生态位的影响[J]. 生态学杂志, 2011, 30(1): 30-39.
- [22] 蒋杰贤, 万年峰, 季香云, 等. 桃园生草对桃树节肢动物群落多样性与稳定性的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(9): 2303-2308.
- [23] 张雯娟, 张正桂, 刘永忠, 等. 3 种常见草种对橘园杂草控制能力及对柑橘根系分布的影响[J]. 中国南方果树, 2018, 47(1): 22-24, 29.
- [24] Nyssen J, Poesen J, Moeyersons J, et al. Dynamics of soil erosion rates and controlling factors in the Northern Ethiopian Highlands - towards a sediment budget [J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2008, 33(5): 695-711.
- [25] Liu Y, Tao Y, Wan K Y, et al. Runoff and nutrient losses in Citrus orchards on sloping land subjected to different surface mulching practices in the Danjiangkou Reservoir area of China [J]. Agricultural Water Management, 2012, 110: 34-40.
- [26] 俞巧钢, 叶静, 马军伟, 等. 山地果园套种绿肥对氮磷径流流失的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(2): 6-10, 20.
- [27] 郭智, 刘红江, 陈留根, 等. 太湖流域典型桃园土壤氮素径流流失特征[J]. 水土保持学报, 2017, 31(4): 1-5.
- [28] 李会科, 张广军, 赵政阳, 等. 黄土高原旱地苹果园生草对土壤贮水的影响[J]. 草地学报, 2007, 15(1): 76-81.
- [29] 白岗松, 郑锁林, 邹超煜, 等. 陇东旱塬果园生草对土壤水分及苹果树生长的影响[J]. 草地学报, 2018, 26(1): 173-183.
- [30] 王义祥, 吴志丹, 翁伯琦, 等. 翻耕和生草对果园土壤碳排放的影响[J]. 中国农业气象, 2010, 31(增刊1): 20-22, 26.
- [31] Zhang W F, Dou Z X, He P, et al. New technologies reduce greenhouse gas emissions from nitrogenous fertilizer in China [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2013, 110(21): 8375-8380.
- [32] 苏子轩. 生草覆盖下有机无机配施对苹果园温室气体排放的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [33] 闫涛宇. 果园生草覆盖土壤团聚体和团聚体碳的变化特征[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [34] 陈曦, 王改玲, 刘焕焕, 等. 生草覆盖对枣园土壤水稳性团聚体中两种有机碳组成的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2021, 27(2): 424-431.
- [35] 秦秦, 宋科, 孙丽娟, 等. 猕猴桃园行间生草对土壤养分的影响及有效性评价[J]. 果树学报, 2020, 37(1): 68-76.
- [36] 左玉环, 刘高远, 杨莉莉, 等. 陕西渭北柿子园种植白三叶草对土壤养分和生物学性质的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30(2): 518-524.
- [37] 王耀锋, 邵玲玲, 刘玉学, 等. 桃园生草对土壤有机碳及活性碳库组分的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(20): 6002-6010.
- [38] 李萍, 苟咪, 岳青松, 等. 果园土壤有机碳及呼吸速率对豆科和禾本科草类的差异反应[J]. 水土保持学报, 2018, 32(6): 327-332.
- [39] 陈苏, 谢建坤, 黄文新, 等. ‘南丰蜜橘’园生草对土壤有机碳及其组分的影响[J]. 果树学报, 2018, 35(3): 285-292.
- [40] Ingels C A, Scow K M, Whisson D A, et al. Effect of cover on grape vines, yield, juice composition, soil microbial ecology, and gopher activity [J]. American Journal of Enology and Viticulture, 2005, 561: 19-29.
- [41] Whitelaw - Weckert M A, Rahman L, Hutton R J, et al. Permanent swards increase soil microbial counts in two Australian vineyards [J]. Applied Soil Ecology, 2007, 36(2/3): 224-232.
- [42] 惠竹梅, 李华, 龙妍, 等. 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[J]. 园艺学报, 2010, 37(9): 1395-1402.
- [43] 钱雅丽, 王先之, 来兴发, 等. 多年生牧草种植对苹果园土壤真菌群落特征的影响[J]. 草业学报, 2019, 28(11): 124-132.
- [44] 李青梅, 张玲玲, 赵建宁, 等. 覆盖作物不同利用方式对猕猴桃园土壤微生物群落结构的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(3): 319-325.
- [45] 李青梅, 张玲玲, 刘红梅, 等. 覆盖作物多样性对猕猴桃园土壤微生物群落功能的影响[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(2):

- 351-359.
- [46] 惠竹梅, 岳泰新, 张瑾, 等. 西北半干旱区葡萄园生草体系中土壤生物学特性与土壤养分的关系[J]. 中国农业科学, 2011, 44(11): 2310-2317.
- [47] 井赵斌, 李腾飞, 龙明秀, 等. 生草对猕猴桃果园土壤酶活性和土壤微生物的影响[J]. 草业科学, 2020, 37(9): 1710-1718.
- [48] 王元基. 覆盖模式下黄土高原苹果园土壤质量提升效应的微生物学机制[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020.
- [49] 李玉娟, 吴纪华, 陈慧丽, 等. 线虫作为土壤健康指示生物的方法及应用[J]. 应用生态学报, 2005, 16(8): 1541-1546.
- [50] 张晓飞, 刘奇志, 舒群, 等. 云南红梨园自然生草对土壤线虫群落的影响[J]. 果树学报, 2020, 37(1): 98-105.
- [51] Eo J U, Kang S B, Park K C, et al. Effects of cover plants on soil biota: a study in an apple orchard [J]. Korean Journal of Environmental Agriculture, 2010, 29(3): 287-292.
- [52] 李国怀, 章文才. 柑橘园生草栽培高温干旱期的生态生理效应研究[J]. 中国南方果树, 1996, 25(2): 7-9.
- [53] 党娜娜. 行间生草对灵武长枣园区土壤特性与果实品质的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2017.
- [54] 陈欣, 唐建军, 方治国, 等. 高温干旱季节红壤丘陵果园杂草保持的生态作用[J]. 生态学杂志, 2003, 22(6): 38-42.
- [55] 孟林, 俞立恒, 毛培春, 等. 苹果园间种鸭茅和白三叶对园区小环境的影响[J]. 草业科学, 2009, 26(8): 132-136.
- [56] 兰彦平, 牛俊玲. 石灰岩山区果园生草对果树根系生态系统的效应[J]. 山西农业大学学报, 2000, 20(3): 259-261.
- [57] 王孝娣, 刘凤之, 史祥宾, 等. 绿肥对‘春雪’桃叶片质量及果实品质的影响[J]. 中国果树, 2016(4): 26-29.
- [58] 李芳东, 吕德国, 杜国栋, 等. 生草覆盖对高温强光下苹果叶片光合特性的影响[J]. 经济林研究, 2013, 31(4): 67-72.
- [59] 牛俊玲, 解思敏. 果园生草对苹果树光合特性影响的研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2000, 20(4): 353-355.
- [60] Tworowski T J, Glenn D M. Yield, shoot and root growth, and physiological responses of mature peach trees to grass competition [J]. HortScience, 2001, 36(7): 1214-1218.
- [61] 李会科. 渭北旱地苹果园生草的生态环境效应及综合技术体系构建[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [62] Ji Bhat D, Sharma C L, Wali V K, et al. Studies on the effect of orchard floor management practices on quality parameters and leaf nutrient status in apricot (*Prunus armeniaca* L.) cv. New Castle [J]. Progressive Horticulture, 2015, 47(1): 70.
- [63] 吴红敏, 杨清培, 曾娇, 等. 不同生草间作处理对柑橘园温度及产量的影响[J]. 江西农业大学学报, 2015, 37(2): 239-248.
- [64] Russell E P. Enemies hypothesis: a review of the effect of vegetational diversity on predatory insects and parasitoids [J]. Environmental Entomology, 1989, 18(4): 590-599.
- [65] Altieri M, Schmidt L. Cover crops affect insect and spider populations in apple orchards [J]. California Agriculture, 1986, 40(1): 15-17.
- [66] Bugg R L, Waddington C. Using cover crops to manage arthropod pests of orchards: a review [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 1994, 50(1): 11-28.
- [67] Wyss E, Niggli U, Nentwig W. The impact of spiders on aphid populations in a strip-managed apple orchard [J]. Journal of Applied Entomology, 1995, 119(1/2/3/4/5): 473-478.
- [68] Landis D, Wratten S D, Gurr G M. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture [J]. Annual Review of Entomology, 2000, 45(1): 175-201.
- [69] 师光禄, 王有年, 苗振旺, 等. 间种牧草枣林捕食性节肢动物群落结构的动态[J]. 应用生态学报, 2006, 17(11): 2088-2092.
- [70] 吴全聪, 郑仕华, 叶旺发. 生态护理对山地橘园节肢动物群落结构及多样性的影响[J]. 生态学杂志, 2010, 29(8): 1559-1565.
- [71] Wan N F, Ji X Y, Gu X J, et al. Ecological engineering of ground cover vegetation promotes biocontrol services in peach orchards [J]. Ecological Engineering, 2014, 64: 62-65.
- [72] 杜相革, 严毓骅. 苹果园混合覆盖植物对害螨和东亚小花蝽的影响[J]. 生物防治通报, 1994, 10(3): 114-117.
- [73] 侯茂林, 盛承发. 农田生态系统植物多样性对害虫种群数量的影响[J]. 应用生态学报, 1999, 10(2): 245-250.
- [74] 刘德广, 熊锦君, 谭炳林, 等. 荔枝-牧草复合系统节肢动物群落多样性与稳定性分析[J]. 生态学报, 2001, 21(10): 1596-1601.
- [75] 郑效虎, 周采文, 李照会, 等. 白三叶草对桃园害虫控制作用的初步研究[J]. 山东农业科学, 2009, 41(3): 97-98.
- [76] 管冠, 郭等等, 李倩磊, 等. 生草栽培对纽荷兰脐橙根系生长土壤微生物群落的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(17): 220-225.
- [77] 付小猛, 毛加梅, 刘红明, 等. 国内外有机果园杂草管理技术研究综述[J]. 杂草学报, 2016, 34(4): 7-11.
- [78] 杜丽清, 吴浩, 郑良永. 果园生草栽培的生态环境效应研究进展[J]. 中国农学通报, 2015, 31(11): 217-221.
- [79] 李晓刚, 邵明灿, 杨青松, 等. 梨园生草白三叶栽培对梨园杂草的抑制作用及其土壤理化性状的影响研究[J]. 上海农业科学, 2017(2): 106-107, 142.