

况胜剑,廖恒,姚单君,等.我国夏季绿肥的种植及利用现状研究进展[J].江苏农业科学,2022,50(20):62-68.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.20.009

# 我国夏季绿肥的种植及利用现状研究进展

况胜剑,廖恒,姚单君,张钦,秦松,张爱华

(贵州省农业科学院土壤肥料研究所/贵州省农业科学院农业资源与环境研究所/

农业农村部贵州耕地保育与农业环境科学观测试验站,贵州贵阳 550006)

**摘要:**绿肥是一种清洁的有机肥源,具有改良土壤、改善生态环境、促进作物生长、防控病虫草害等作用。利用大量夏休闲期土地和果茶园林下空间发展绿肥种植,对实现农业用地养地、提质增效、绿色发展具有重要意义。因此,夏季绿肥生产利用潜力巨大。然而当前我国夏季绿肥优良种质资源匮乏、栽培利用模式不成熟、综合效益不明显等问题已严重制约了夏季绿肥的推广利用及整个绿肥产业的复苏发展。通过查阅近年来我国有关夏季绿肥的相关文献,发现不同区域由于环境气候差异,主栽的夏季绿肥品种存在一定差异,但也有一些适应性较强的品种分布较广,指出应加强对地方优良品种的保护和开发利用;总结出夏季绿肥主要栽培模式为轮作和间套作,利用方式主要有翻压还田和地表覆盖;并重点分析夏季绿肥在改良土壤、促进作物及果茶树生长、生态控草、水土保持等方面的应用现状。进而对夏季绿肥种质资源开发利用、种植利用模式优化、综合效益评价提升等急需解决的问题进行展望,以期对夏季绿肥的研究利用和产业发展提供科学指导和理论参考。

**关键词:**夏季绿肥;种质资源;栽培利用模式;绿肥综合效益;农业绿色发展

**中图分类号:**S142 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)20-0062-07

近年来,我国提出加快农业全面绿色转型、耕地质量保护和提升等系列政策,人们对农产品的安全和品质要求也不断提高,农业生产除了提升产量,也应注重向高品质、多样化、安全性转变。长期偏施化肥、过度依赖农药会导致耕地质量退化,影响农产品质量安全<sup>[1-2]</sup>。作为我国传统农业精华的绿肥,是一种清洁的有机肥源<sup>[3-4]</sup>,不仅能提高土壤肥力<sup>[5-6]</sup>、改善土壤环境质量<sup>[7-8]</sup>、防止水土流

失<sup>[9-10]</sup>、改善生态环境<sup>[11-12]</sup>,还能提高作物产量<sup>[13]</sup>和品质<sup>[14]</sup>,是化肥减施<sup>[15]</sup>、病虫草害绿色防控<sup>[16]</sup>、加强耕地质量建设的重要措施。夏季绿肥主要指春夏播种,夏秋收割还田的绿肥。我国北方地区有大量夏休闲期土地可用于夏季绿肥生产利用。此外,随着我国经果林面积,尤其是南方果茶园面积快速增加,对土壤质量改善、环境保护、杂草防控、农旅一体发展的需求越来越大,夏季绿肥是解决这些问题的重要手段。然而国内有关夏季绿肥的相关研究相对滞后,已无法满足生产需求。本研究主要从品种资源、栽培模式、效应分析3个方面对夏季绿肥种植利用现状进行阐述,并提出存在的问题,对今后研究和发展进行展望,以期对夏季绿肥的研究和利用提供参考。

## 1 夏季绿肥主要种质资源

我国地域辽阔,各区域环境气候、土壤类型差

收稿日期:2022-04-26

基金项目:贵州省农业科学院青年基金[编号:黔农科院青年基金项目(2019)21];国家绿肥产业技术体系建设专项(编号:CARS-22);贵州省科技支撑计划[编号:黔科合支撑(2020)1Y026;黔科合支撑(2020)1Y085]。

作者简介:况胜剑(1989—),女,贵州贵阳人,硕士,助理研究员,主要从事农业生态、绿肥研究。E-mail:1093539213@qq.com。

通信作者:张钦,硕士,助理研究员,主要从事土壤学与环境生态、绿肥研究。E-mail:1687947879@qq.com。

[J]. 太原师范学院学报(自然科学版),2013,12(4):1-3,35.

[17]刘天舒. BP 神经网络的改进研究及应用[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2011.

[18]卢志宏. 基于 BP 神经网络的荒漠啮齿动物群落对气候变化滞后响应[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2016.

[19]张国翊,胡铮. 改进 BP 神经网络模型及其稳定性分析[J].

中南大学学报(自然科学版),2011,42(1):115-124.

[20]程嘉蔚,徐佳,王艺玲,等. 基于 BP 神经网络的仓内稻谷温度预测模型[J]. 现代电子技术,2021,44(19):178-182.

[21]刘润,张绍良,侯湖平,等. 基于思维进化优化 BP 神经网络的大豆叶片叶绿素含量高光谱反演[J]. 江苏农业科学,2018,46(13):212-216.

异显著,因此绿肥种质资源的地域性差异较大<sup>[17-18]</sup>。当前,各区域种植的夏季绿肥仍以豆科、十字花科、禾本科绿肥品种为主(表1)。

箭筈豌豆、油菜等南方冬季普遍种植的绿肥也是华北、西北地区夏季种植的主要品种<sup>[19,20,25]</sup>,草木樨多见于华北、西北种植<sup>[21,26]</sup>,怪麻、籽粒苋、高丹草在华北、东北均有种植<sup>[21-22,35-36]</sup>,而毛叶苕子在整个北方地区种植较广泛<sup>[20,27,35]</sup>。百喜草、柱花草等喜温绿肥主要分布在华南、华东等热带和亚热

带地区<sup>[37,55,56]</sup>。白三叶草、黑麦草、紫花苜蓿、大豆、绿豆等绿肥品种由于适应性较强,品种较多,夏季在南北方均有种植<sup>[23,28,38,40,47,52,57-58]</sup>。此外,在西北、西南等地区,通过研究及实践,也发现了一些区域适应性较好的地方品种,如陕西长武怀豆<sup>[29,59]</sup>、贵州本地饭豆<sup>[41]</sup>等。针对这些地方的优良品种,应加强种质资源的保护和开发利用,以支撑区域夏季绿肥产业的发展。

表 1 我国夏季绿肥主要栽培品种

区域	分布省份	品种	文献
华北	河北、山西	箭筈豌豆 ( <i>Vicia sativa</i> )、油菜 ( <i>Brassica campestris</i> )、大豆 ( <i>Glycine max</i> )、绿豆 ( <i>Vigna radiata</i> )、毛叶苕子 ( <i>Vicia villosa</i> )、白三叶草 ( <i>Trifolium repens</i> )、黑麦草 ( <i>Lolium perenne</i> )、紫花苜蓿 ( <i>Medicago sativa</i> )、草木樨 ( <i>Melilotus officinalis</i> )、田菁 ( <i>Sesbania cannabina</i> )、怪麻 ( <i>Crotalaria juncea</i> )、印度豇豆 ( <i>Vigna sesquipedalis</i> )、高丹草 ( <i>Sorghum sudanense</i> )、籽粒苋 ( <i>Amaranthus hybridus</i> ) 等	[19-24]
西北	甘肃、新疆、陕西	箭筈豌豆 ( <i>Vicia sativa</i> )、油菜 ( <i>Brassica campestris</i> )、大豆 ( <i>Glycine max</i> )、绿豆 ( <i>Vigna radiata</i> )、白三叶草 ( <i>Trifolium repens</i> )、黑麦草 ( <i>Lolium perenne</i> )、毛叶苕子 ( <i>Vicia villosa</i> )、紫花苜蓿 ( <i>Medicago sativa</i> )、草木樨 ( <i>Melilotus officinalis</i> )、花生 ( <i>Arachis hypogaea</i> )、鹰嘴豆 ( <i>Cicer arietinum</i> )、鸭茅 ( <i>Dactylis glomerata</i> )、紫云英 ( <i>Astragalus sinicus</i> )、沙打旺 ( <i>Astragalus adsurgens</i> )、红豆草 ( <i>Onobrychis cyri</i> )、肥田萝卜 ( <i>Raphanus sativus</i> ) 等	[25-34]
东北	辽宁、黑龙江	紫花苜蓿 ( <i>Medicago sativa</i> )、毛叶苕子 ( <i>Vicia villosa</i> )、田菁 ( <i>Sesbania cannabina</i> )、籽粒苋 ( <i>Amaranthus hybridus</i> )、苦荬菜 ( <i>Ixeris polycephala</i> )、高丹草 ( <i>Sorghum sudanense</i> )、怪麻 ( <i>Crotalaria juncea</i> )、乌豇豆 ( <i>Vigna cylindrica</i> )、山黧豆 ( <i>Lathyrus quinquenervius</i> ) 等	[35-36]
华南	广西、广东	大豆 ( <i>Glycine max</i> )、绿豆 ( <i>Vigna radiata</i> )、紫花苜蓿 ( <i>Medicago sativa</i> )、柱花草 ( <i>Stylosanthes spp.</i> )、百喜草 ( <i>Paspalum notatum</i> )、田菁 ( <i>Sesbania cannabina</i> )、花生 ( <i>Arachis hypogaea</i> )、雀稗 ( <i>Paspalum thunbergii</i> )、白花藿香蓟 ( <i>Ageratum conyzoides</i> )、猫豆 ( <i>Mucuna pruriens</i> )、赤小豆 ( <i>Vigna umbellata</i> ) 等	[10,37-39]
西南	云南、贵州、重庆	大豆 ( <i>Glycine max</i> )、绿豆 ( <i>Vigna radiata</i> )、白三叶草 ( <i>Trifolium repens</i> )、田菁 ( <i>Sesbania cannabina</i> )、豇豆 ( <i>Vigna unguiculata</i> )、硬皮豆 ( <i>Macrotyloma uniflorum</i> )、小葵子 ( <i>Guizotia abyssinica</i> )、百日草 ( <i>Zinnia elegans</i> )、怪麻 ( <i>Crotalaria juncea</i> )、矮生菜豆 ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )、红三叶草 ( <i>Trifolium pratense</i> ) 等	[9,13,40-46]
华东	山东、江西、浙江、上海、福建、浙江	白三叶草 ( <i>Trifolium repens</i> )、黑麦草 ( <i>Lolium perenne</i> )、大豆 ( <i>Glycine max</i> )、紫花苜蓿 ( <i>Medicago sativa</i> )、鼠茅草 ( <i>Vulpia myuros</i> )、菊苣 ( <i>Cichorium intybus</i> )、百喜草 ( <i>Paspalum notatum</i> )、高羊茅 ( <i>Festuca elata</i> )、圆叶决明 ( <i>Chameaerista rotundifolia</i> )、猪屎豆 ( <i>Crotalaria pallida</i> ) 等	[11-12,14,47-51]
华中	湖北	黑麦草 ( <i>Lolium perenne</i> )、白三叶草 ( <i>Trifolium repens</i> )、早熟禾 ( <i>Poa annua</i> )、红三叶草 ( <i>Trifolium pratense</i> )、紫羊茅 ( <i>Festuca rubra</i> )、毛叶苕子 ( <i>Vicia villosa</i> )、波斯菊 ( <i>Cosmos bipinnatus</i> )、百日草 ( <i>Zinnia elegans</i> ) 等	[52-54]
港澳台	暂缺		

2 夏季绿肥主要栽培利用模式

目前,我国夏季绿肥主要栽培模式有轮作模式和间套作模式(表2)。

轮作模式主要应用在西北高原、华北、东北平原地区,这些区域夏休闲期雨热资源丰富但利用率不高,农作物通常一年一熟,利用绿肥作为填闲作物,与冬小麦<sup>[21,27]</sup>、春玉米<sup>[60]</sup>、棉花<sup>[7]</sup>等进行轮作。姚致远等认为,与传统夏休闲一冬小麦种植模式相比,豆类绿肥—春玉米—冬小麦轮作能很好地平衡

成本与收益的关系,是一种提高农民收入的合理种植制度<sup>[63]</sup>。李红燕等认为,麦后轮作绿肥的生物量、养分还田量显著高于套种,土壤养分含量及土壤酶活性也较高<sup>[64]</sup>。

间套作模式应用范围较广,主要是在果、茶等经济林下进行种植。如北方地区苹果园间作白三叶<sup>[23,30]</sup>、油菜<sup>[62,65]</sup>、箭筈豌豆<sup>[57]</sup>等;西南地区咖啡间作田菁、硬皮豆<sup>[42]</sup>,猕猴桃间作爬山豆、绿豆<sup>[41]</sup>;华中地区茶园间作黑麦草、白三叶、早熟禾<sup>[53-54]</sup>;华南地区金橘园间作雀稗、白花藿香蓟<sup>[10]</sup>;华东地区

表 2 我国夏季绿肥主要栽培利用模式

地区	主栽作物	绿肥作物	栽培模式	利用方式	参考文献
山西省临汾市	冬小麦	大豆、黑豆、绿豆、乌豇豆、怪麻、草木樨	轮作	粉碎后翻压还田	[21]
甘肃省武威市	春玉米、春小麦	箭筈豌豆	轮作	地表覆盖免耕	[60]
新疆生产建设兵团	棉花	油菜	轮作	秸秆粉碎翻耕还田	[7]
山西省运城市	小麦	油菜	轮作	翻压还田	[19]
陕西省长武县	小麦	绿豆、大豆、长武怀豆	轮作	翻压还田	[31]
甘肃省武威市	玉米	箭筈豌豆、油菜	间作	盛花期刈割覆盖地表	[25]
江西省南丰县	蜜橘	黑麦草、白三叶草	间作	刈割就地覆盖	[14]
贵州省从江县	椪柑	饭豆、豇豆、大豆、绿豆	间作	盛花期就地压青	[40]
福建省尤溪县	油桃	平托花生	套作	地表带状生草覆盖	[61]
福建省漳州市	蜜柚	百喜草	套作	地表全园/带状生草覆盖	[11]
陕西省延安市	苹果	油菜	套作	旋耕机浅耕翻压还田	[62]

茶园间作圆叶决明<sup>[51]</sup>,柑橘间作黑麦草<sup>[6]</sup>,蜜柚间作百喜草<sup>[12]</sup>。此外,也有关于玉米间作箭筈豌豆<sup>[25]</sup>、大豆<sup>[24]</sup>、竹豆<sup>[13]</sup>、矮生菜豆<sup>[9]</sup>等相关研究报道。

夏季绿肥主要利用方式有翻压还田和地表覆盖(表 2),不同还田利用方式对土壤结构、养分及作物生长均会产生不同的影响。吕奕彤等认为,在干旱绿洲灌区,相对于绿肥全量翻压、根茬覆盖免耕或翻压以及传统翻耕不复种绿肥,麦后复种绿肥地表覆盖免耕对促进 0~30 cm 土层土壤大团聚体形成及稳定、降低土壤容重的效果更好<sup>[60]</sup>。而麦后复种绿肥全量翻压或地表覆盖免耕均可以提高土壤氮素含量,并促进玉米氮素的高效利用<sup>[66]</sup>。在豆类绿肥—春玉米—冬小麦轮作体系中,豆类收获籽粒后秸秆地表覆盖的利用方式对提高小麦播前土壤储水量、稳定产量、培肥土壤和降低土壤硝态氮残留量表现较好<sup>[67]</sup>。在夏绿肥—冬小麦轮作体系中,小麦播前翻压绿肥能显著提高土壤有机质、全氮和速效钾含量<sup>[68]</sup>,而绿肥提前半月翻压则可以促进冬小麦生长及提升产量<sup>[69]</sup>。在渭北苹果园,绿肥 10、25 cm 轮翻模式对促进植株腐解、养分释放及果树根系生长作用最好<sup>[23]</sup>。与免耕覆盖还田相比,夏季绿肥猫豆和赤小豆翻压还田后养分累积释放率和释放速率均较高<sup>[39]</sup>。此外,绿肥不同种植方式对果树生长也有影响。林桂志等认为,全园覆盖种植百喜草显著影响幼龄荔枝的生长,而带状种植百喜草可有效调控土壤环境又不与幼龄荔枝争水夺肥<sup>[56]</sup>。

3 夏季绿肥应用效应分析

3.1 改善土壤质量,提升土壤肥力

农业生产过程中长期种植模式单一<sup>[60]</sup>、过量施

用化肥<sup>[70-71]</sup>、农业机械耕作<sup>[72-73]</sup>等均会造成土壤质量退化。种植绿肥作物可以改善土壤理化性状<sup>[60]</sup>和生物性能<sup>[52-53]</sup>,提高化学肥料的利用效率<sup>[74-75]</sup>,是提升土壤质量的重要措施。

在北方旱地,绿肥作为夏休闲期的填闲作物与冬小麦轮作,对改良、培肥土壤有很好的作用<sup>[64,76]</sup>。种植并翻压豆科绿肥长武怀豆、大豆、绿豆是夏休闲期旱地培肥的有效途径<sup>[77-79]</sup>。冬小麦与光叶苕子、毛叶苕子、紫云英、草木樨轮作虽然会消耗麦田较多的水分,使土壤贮水量降低,但水分利用效率提高,土壤养分也有不同程度的提高<sup>[80]</sup>。王峥等对绿肥翻压利用方式进行研究,发现冬小麦播前翻压绿肥怀豆土壤培肥效果最好,但是在干旱年份,应该提前翻压绿肥<sup>[68]</sup>。此外,绿肥与棉花<sup>[7,29]</sup>、玉米<sup>[20,26]</sup>等作物轮作、间作也能起到改土培肥的作用。

果园间套作绿肥是土壤改良和培肥的有效措施<sup>[62,81]</sup>。通过豆科绿肥与苹果套种可增加土壤碳氮含量,对于旱山地新建果园培肥有较好的作用<sup>[57]</sup>,若新建果园肥力低下,可采用种植绿肥和施用有机肥相结合的方式快速培肥土壤<sup>[6]</sup>。此外,关于茶园间作绿肥的相关研究结果表明,茶园间作圆叶决明可改善土壤质量<sup>[51]</sup>,黑麦草和白三叶混播有利于抵抗土壤酸化<sup>[52]</sup>,而黑麦草、白三叶、早熟禾、红三叶等 4 种绿肥混播可提升土壤微生物群落功能多样性<sup>[53]</sup>。

3.2 促进作物、果茶树生长,提升产量和品质

种植绿肥可以改善、优化作物及果茶树的生长环境,包括改善土壤含水状况,提高水分利用效率<sup>[25,82]</sup>,调节土壤、空气温湿度<sup>[58,65,83]</sup>,提高光合利

用率<sup>[24,51]</sup>等,从而促进作物、果树、茶树生长<sup>[58,83-85]</sup>,达到稳产<sup>[25]</sup>、增产<sup>[32,86]</sup>及提升品质<sup>[40,51]</sup>的目的。

赵刚等认为,休闲期复种油菜是西北旱地小麦抗旱增产的有益途径,休闲中期播种油菜土壤蓄水效率为 58.5%,复种油菜后小麦干旱年份增产 16.1%,平水年份增产 6.8%<sup>[82]</sup>。杨露等认为,苹果幼树间作禾本科绿肥可不同程度提高叶片磷、钾、铁、铜、锌元素的含量,促进果树生长发育<sup>[5]</sup>。间作白三叶和黑麦草能明显提高南丰蜜橘果实可溶性糖、可溶性固形物和维生素 C 含量,降低可滴定酸含量,改善果实鲜食品质<sup>[14]</sup>。香梨行间种植白三叶,净光合速率日均值较清耕增加 11.8%,同时,还可显著增加其维生素 C 的含量,降低可滴定酸的含量,提升果实品质<sup>[58]</sup>。茶园间作白三叶草茶树根系生物量、总根长分别是单作的 2.4、2.1 倍,可有效促进茶树生长<sup>[83]</sup>。茶园间作圆叶决明能提高茶树光合利用率,与清耕相比,夏茶茶叶产量显著提高了 17%,春夏茶氨基酸含量和夏茶茶水浸出物含量也显著提高<sup>[51]</sup>。此外,也有关于绿肥与果树争水的报道,白岗栓等认为,种植白三叶和鸭茅存在与苹果争水的问题,并指出陇东旱塬苹果园不宜生草,而应覆草<sup>[87]</sup>。

### 3.3 抑制杂草生长,起到生态控草的作用

杂草往往会危害农业生产,导致作物减产<sup>[88-89]</sup>,与果树竞争阳光、水分、养分,造成病虫害传播<sup>[90-91]</sup>。但是,杂草在防止水土流失、吸引益虫、提高生物多样性等方面也发挥了一定的作用<sup>[90]</sup>,因此,完全清除杂草也不利于果园长效发展。与其他除草方式相比,果园种植绿肥不仅能有效控制杂草生长,还能改善果园生态环境,维持生态平衡,促进果园可持续发展<sup>[90-92]</sup>,是一种“以草抑草”的绿色控草方法<sup>[93]</sup>。

付兴飞等认为,咖啡园种植绿肥田菁、硬皮豆后,通过与杂草竞争环境资源,导致杂草群落生产力下降,从而改变杂草群落的生态位、群落结构及功能群,降低杂草群落的多样性<sup>[42]</sup>。匡石滋等认为,火龙果园种植绿肥紫花苜蓿、百喜草和柱花草可抑制果园杂草的孳生,尤其是柱花草抑制效果最好<sup>[37]</sup>。柚子园种植白三叶可稳定杂草群落,控制优势种发生,有效降低杂草危害程度<sup>[45]</sup>。罗旭辉等在茶园的研究结果显示,套种圆叶决明 1~2 年,使喜阳的优势杂草数量明显减少,而耐阴杂草有所增

加,总体上可使杂草干质量较人工除草分别下降 55.8%~61.6%,显著降低了杂草生物量,尤其是对马唐等恶性杂草防治效果突出,是茶园控草的有效手段<sup>[94]</sup>。通过在玉米行间种植豆科作物,与杂草竞争光照等资源,可起到抑制杂草生长的作用,同时还可以促进增产增收<sup>[95]</sup>。可见,种植绿肥是农业生产中一种高效、安全、绿色的防草控草措施。

### 3.4 水土保持,降低农业面源污染风险

水土流失往往造成土地质量下降及面源污染,尤其是在雨量充沛的夏季,坡耕地<sup>[9]</sup>、坡地果园<sup>[10]</sup>这一现象更加突出。大量研究表明,种植绿肥能增加雨水渗漏量<sup>[48]</sup>和地表植被覆盖度<sup>[9]</sup>,明显减少地表径流<sup>[47-48]</sup>,进而有效降低水土流失量,控制面源污染<sup>[11-12]</sup>。与清耕相比,苹果园间作鼠茅草地表径流量显著降低 88.3%~98.7%,渗漏量增加 42.1%~97.6%<sup>[48]</sup>;桃园种植菊苣、紫花苜蓿、白三叶径流量分别降低 41.6%、35.0%、58.4%<sup>[47]</sup>;蜜柚园间作百喜草土壤流失量只有清耕处理的 2.44%~2.96%<sup>[12]</sup>。可见,种植绿肥对于减少坡地果园的水土和养分流失效果显著。在坡耕地,与冬闲—玉米模式相比,苕子—玉米+夏季绿肥模式在雨季减少地表径流 62.6%,减少土壤侵蚀量 78.4%,提高旱坡地覆盖度 52.1%~66.7%<sup>[9]</sup>。此外,李婷婷等认为,果园生草还能一定程度上削弱坡度对坡面氮磷流失的增加作用<sup>[10]</sup>。李发林等认为,与带状生草相比,全园生草控制果园面源污染效果更好<sup>[11]</sup>。

### 3.5 其他应用效应分析

近年来,绿肥作物在现代观光农业中的景观利用价值逐渐凸显<sup>[96]</sup>。姚单君等认为,梨园种植菊科绿肥小葵子、高秆波斯菊和百日草,可以兼顾美观和生态的作用<sup>[43]</sup>。部分绿肥作物还有驱避害虫的作用,如蓝莓园种植白车轴草、芹菜和薄荷对果蝇均有较强的驱避效果,其中薄荷在蓝莓盛果期和盛果末期驱避效果可达到 79.73%<sup>[44]</sup>。此外,很多绿肥作物饲用效应也较显著,如麦后复种夏季绿肥箭筈豌豆、油菜、绿豆、长武怀豆等饲用价值均较高<sup>[76,97]</sup>。探究拓宽绿肥多种应用途径,可提高绿肥作物的经济效益,增加农户对绿肥的接受度和认可度。

## 4 问题及展望

我国发展夏季绿肥生产的潜力巨大,一方面,北方地区大量夏休闲期土地可用于绿肥与经济作

物轮作,实现用地养地;另一方面,我国果园、茶园面积较广,园内套作绿肥对土壤、环境及果茶提质增效均有益处。但夏季绿肥的推广面积及研究深度远远不如冬季绿肥,这与夏季绿肥优良品种缺乏,对种植利用模式、综合效益研究不够深入有关。

#### 4.1 种质资源开发利用

近年来,随着全国绿肥生产工作的逐步恢复,关于绿肥种质资源的筛选、评价、扩繁等工作也越来越受到重视,并选育出许多优良的冬季绿肥资源<sup>[4]</sup>。但针对夏季绿肥种质资源的相关研究却非常滞后,很多品种的应用仍停留在试验研究和小规模示范阶段,种子无法进行量产,已严重制约了夏季绿肥的推广和应用。尤其是现在南方果茶等经济园对夏季绿肥需求较大,亟须选育高度适宜、有一定耐践踏性、耐高温、不缠绕或攀缘、便于果茶园日常栽培管理的绿肥品种<sup>[98]</sup>。一些适应性较好的地方优良品种应用前景较好,但存在品种混杂、退化,生物性状、种源市场不稳定等问题,急需开展资源调查、筛选评价、提存复壮、培育改良和扩繁生产等工作。此外,引进、驯化外来绿肥品种也是一种丰富种质资源利用的有效途径。

#### 4.2 种植利用模式优化

夏季绿肥的生长与果茶树等生长、结果季节相重合,需明确是否存在与果茶树争水争肥的问题,北方地区则可能存在与下茬作物争水等问题。目前,已有研究关注夏休闲期轮作绿肥对下茬作物生长的影响<sup>[85]</sup>,而针对绿肥及果茶树根系生长分布规律,水分、养分竞争问题,互作关系等研究较少<sup>[98]</sup>。同时,夏季也是病虫害的高发季节,还需要明确绿肥与主栽作物是否存在共生的病虫害,以降低损失。因此,必须明确种植夏季绿肥对主栽作物生长的影响,针对不同的功能需求优化夏季绿肥的种植利用模式,包括品种选择、播种时间、播种方式、种植密度、生长前期管护、生长后期管理、植株利用方式等,还应建立绿肥与主作物一体化病虫害防控与基于绿肥的病虫害阻断技术。在兼顾绿肥生产效益与成本的基础上做好建植栽培工作,从而降低绿肥生产带来的负面影响。

#### 4.3 综合效益评价提升

绿肥作为一种天然有机的肥料,目前,针对绿肥替代粮油作物化肥施用的相关研究及应用已趋于成熟,但果茶园中绿肥的化肥替代效应还有待进一步深入研究,解决该问题也可以为夏季绿肥的应

用提供很好的技术支撑。此外,针对绿肥利用方式单一、直接经济效益不高等问题,亟须开展绿肥增值增效研究,一是功能性绿肥产品开发,二是开展绿肥控草、观光、饲用、菜用、养蜂等潜力分析及研究,进而提升夏季绿肥的综合利用价值。

综上,当前我国绿肥生产正处在复苏发展的好时期,要提升全国绿肥种植面积,夏季绿肥的生产瓶颈必须突破。在农业绿色发展、乡村振兴、耕地质量保护提升等政策背景下,深入挖掘优良绿肥作物品种及应用模式,可以为提升绿肥应用潜力提供科学依据,使绿肥生产在提升土壤质量、改善生态环境、提高经济效益、助力绿色发展中发挥更好的作用。

#### 参考文献:

- [1] 张北赢,陈天林,王 兵. 长期施用化肥对土壤质量的影响[J]. 中国农学通报,2010,26(11):182-187.
- [2] 陈晓明,王程龙,薄 瑞. 中国农药使用现状及对策建议[J]. 农药科学与管理,2016,37(2):4-8.
- [3] 曹卫东,黄鸿翔. 关于我国恢复和发展绿肥若干问题的思考[J]. 中国土壤与肥料,2009(4):1-3.
- [4] 曹卫东,包兴国,徐昌旭,等. 中国绿肥科研 60 年回顾与未来展望[J]. 植物营养与肥料学报,2017,23(6):1450-1461.
- [5] 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.
- [6] 吕晓茵,章明奎,严建立. 绿肥配施有机肥改良新建红壤橘园的效果研究[J]. 土壤通报,2020,51(1):164-170.
- [7] 刘 慧,李子玉,白志贵,等. 油菜绿肥翻压还田对新疆盐碱土壤的改良效果研究[J]. 农业资源与环境学报,2020,37(6):914-923.
- [8] 姚致远. 旱地豆科绿肥提升土壤碳氮储量及降低环境代价的潜力与机制[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2019:78-79.
- [9] 朱 青,崔宏浩,张 钦,等. 绿肥阻控贵州山区坡耕地水土流失的应用[J]. 水土保持研究,2016,23(2):101-105.
- [10] 李婷婷,韦彩会,董文斌,等. 生草栽培与坡度对桂东北坡地果园地表径流氮磷流失的影响[J]. 水土保持研究,2021,28(3):59-64,73.
- [11] 李发林,郑域茹,郑 涛,等. 果园带状生草对果园面源污染的控制效果[J]. 水土保持学报,2013,27(3):82-89.
- [12] 李发林,谢南松,郑域茹,等. 生草栽培方式对坡地果园氮磷流失的控制效果[J]. 福建农林大学学报(自然科学版),2014,43(3):304-311.
- [13] 杜青峰,王党军,于翔宇,等. 玉米间作夏季绿肥对当季植物养分吸收和土壤养分有效性的影响[J]. 草业学报,2016,25(3):225-233.
- [14] 付学琴,刘璐珥,黄文新. 南丰蜜橘园自然生草对土壤微生物和养分及果实品质的影响[J]. 园艺学报,2015,42(8):1551-1558.

- [15] 谢树果, 韩文斌, 冯文强, 等. 豆科绿肥对四川丘陵旱地作物的产量及经济效益初探[J]. 中国土壤与肥料, 2010(5): 82–85.
- [16] 杨 梅, 王亚亚, 陆姣云, 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.
- [17] 李子双, 廉晓娟, 王 薇, 等. 我国绿肥的研究进展[J]. 草业科学, 2013, 30(7): 1135–1140.
- [18] 樊志龙, 柴 强, 曹卫东, 等. 绿肥在我国旱地农业生态系统中的服务功能及其应用[J]. 应用生态学报, 2020, 31(4): 1389–1402.
- [19] 李文广, 杨晓晓, 黄春国, 等. 饲料油菜作绿肥对后茬麦田土壤肥力及细菌群落的影响[J]. 中国农业科学, 2019, 52(15): 2664–2677.
- [20] 郭耀东, 程 曼, 赵秀峰, 等. 轮作绿肥对盐碱地土壤性质、后作青贮玉米产量及品质的影响[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(6): 856–864.
- [21] 吕卓星, 李廷亮, 谢英荷, 等. 夏闲期种植翻压绿肥作物对麦田土壤细菌多样性的影响[J]. 山西农业科学, 2021, 49(3): 305–310.
- [22] 胡晓珊, 唐树梅, 曹卫东, 等. 温室夏闲季种植翻压绿肥对土壤可溶性有机碳氮及无机氮的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2015(3): 21–28.
- [23] 吕丽霞, 王 维, 王秀荣, 等. 渭北苹果园绿肥不同深度翻压腐解及养分释放规律[J]. 果树学报, 2018, 35(5): 586–595.
- [24] 董红芬, 李 洪, 霍成斌, 等. 覆盖作物在玉米/大豆间作模式中的效应分析[J]. 玉米科学, 2019, 27(3): 95–101.
- [25] 李含婷, 柴 强, 王琦明, 等. 绿洲灌区不同施氮水平下玉米绿肥间作模式的水分利用特征[J]. 中国农业科学, 2021, 54(12): 2608–2618.
- [26] 朱亚琼, 简大为, 郑 伟, 等. 不同种植模式下豆科绿肥对土壤改良效果的影响[J]. 草业科学, 2020, 37(5): 889–900.
- [27] 苟志文, 殷 文, 徐龙龙, 等. 绿洲灌区复种豆科绿肥条件下小麦稳产的减氮潜力[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(12): 2195–2203.
- [28] 井赵斌, 杨 勇, 阮小凤. 行间生草对甜柿果园土壤微生物和酶活性的影响[J]. 北方园艺, 2019(9): 105–110.
- [29] 李银平, 徐文修, 陈 冰, 等. 绿肥种植模式对连作棉田土壤肥力及棉花产量的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(9): 149–153.
- [30] 钱雅丽, 梁志婷, 曹 铨, 等. 陇东旱作果园生草对土壤细菌群落组成的影响[J]. 生态学杂志, 2018, 37(10): 3010–3017.
- [31] 杜 威, 王紫泉, 和文祥, 等. 豆科绿肥对渭北旱塬土壤养分及生态化学计量学特征影响[J]. 土壤学报, 2017, 54(4): 999–1008.
- [32] 张 春, 杨万忠, 韩清芳, 等. 夏闲期种植不同绿肥作物对土壤养分及冬小麦产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(2): 66–72, 84.
- [33] 王林娜, 张朝阳, 王 栋, 等. 南疆苹果园间作绿肥品种筛选[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(7): 1303–1305, 1369.
- [34] 秦景逸. 伊犁河谷苹果园间作不同绿肥的综合效应研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2017.
- [35] 苏盛发. 辽宁中部地区麦茬复种绿肥的品种筛选[J]. 辽宁农业科学, 1980(3): 18–22.
- [36] 于凤芝, 曹卫东, 高同彬, 等. 黑龙江主要绿肥品种肥料价值和饲料价值的比较[J]. 中国土壤与肥料, 2010(4): 69–72.
- [37] 匡石滋, 田世尧, 段冬洋, 等. 生草栽培对火龙果果园土壤特性及微生态环境的影响[J]. 热带农业科学, 2015, 35(5): 1–4, 12.
- [38] 覃正兴, 李红妹, 李秋原, 等. 田东县不同夏季绿肥品种对比试验[J]. 农业科技通讯, 2017(7): 157–159.
- [39] 李忠义, 韦彩会, 何铁光, 等. 不同还田方式下 2 种夏季绿肥的腐解特性[J]. 西南农业学报, 2020, 33(7): 1554–1560.
- [40] 温明霞, 石孝均, 聂振朋, 等. 椪柑果园种植夏季绿肥的效应[J]. 果树学报, 2011, 28(6): 1077–1081.
- [41] 陈秀德, 吴明波, 姚伦俊, 等. 山地猕猴桃园间作夏季绿肥品种的筛选[J]. 贵州农业科学, 2018, 46(9): 34–37.
- [42] 付兴飞, 胡发广, 李贵平, 等. 绿肥对咖啡园杂草多样性及功能群的影响[J]. 热带作物学报, 2021, 42(4): 1166–1174.
- [43] 姚单君, 张爱华, 吴兴洪, 等. 夏季梨园菊花科花卉绿肥化利用潜力评价[J]. 热带作物学报, 2020, 41(4): 837–844.
- [44] 钟礼坤, 陈 哲, 谢莉华, 等. 三种生草方式对蓝莓果蝇的驱避效果研究[J]. 中国南方果树, 2017, 46(1): 118–119, 122.
- [45] 张 慧, 廖敦秀, 马连杰, 等. 果园种植三叶草对杂草群落及物种多样性的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(32): 130–134.
- [46] 邵通桥, 杭朝平, 杨胜俊. 果园套种绿肥对果园土壤改良的效果[J]. 贵州农业科学, 1999, 27(1): 35–37.
- [47] 高小叶, 张兴兴, 朱建国, 等. 生草栽培对果园面源污染的控制: 三种牧草的比较研究[J]. 草业学报, 2015, 24(2): 49–54.
- [48] 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.
- [49] 崔志强, 李宪利, 崔天舒. 果园绿肥腐解及养分释放动态研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(22): 121–127.
- [50] 胡正月, 聂纯清. 果园绿肥及其栽培利用[J]. 江西园艺, 1999(5): 33–35.
- [51] 詹 杰, 李振武, 邓素芳, 等. 茶草互作模式下茶园环境及茶树生长的初步变化[J]. 草业科学, 2018, 35(11): 2694–2703.
- [52] 汪 洋, 杨殿林, 王丽丽, 等. 茶园多植物覆盖种植对土壤酶活性和有机碳矿化特征的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(3): 371–380.
- [53] 王明亮, 刘惠芬, 王丽丽, 等. 不同覆盖作物模式对茶园土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(3): 332–339.
- [54] 王明亮, 刘惠芬, 王丽丽, 等. 不同覆盖作物模式对茶园土壤剖面物理性质的影响[J]. 天津师范大学学报(自然科学版), 2020, 40(2): 56–62.
- [55] 刘义平. 新垦幼龄茶园套种经济绿肥的生态效应研究与应用[J]. 江西农业学报, 2011, 23(8): 17–18, 21.
- [56] 林桂志, 丁光敏, 许木土, 等. 幼龄荔枝园种植百喜草改良土壤效果的研究[J]. 亚热带水土保持, 2006, 18(4): 4–8.
- [57] 陈利云, 汪之波, 呼丽萍. 6 种豆科绿肥植物与苹果树套种对果园土壤碳氮特征的影响[J]. 草地学报, 2021, 29(4): 671–676.
- [58] 陈久红, 马建江, 李永丰, 等. 行间生草对‘库尔勒香梨’果园小

- 气候、光合特性及果实品质的影响[J]. 北方园艺, 2019(22): 49–59.
- [59] 王 峥. 旱地不同种植制度中绿肥的效应研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [60] 吕奕彤, 于爱忠, 吕汉强, 等. 绿洲灌区玉米农田土壤团聚体组成及其稳定性对绿肥还田方式的响应[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(7): 1194–1204.
- [61] 翁伯琦, 王义祥, 黄毅斌, 等. 生草栽培下果园土壤固碳潜力研究[J]. 生态环境学报, 2013, 22(6): 931–934.
- [62] 王春丽, 杨建利, 王周礼, 等. 黄土高原沟壑区果园绿肥油菜翻压对土壤水肥的影响[J]. 西北农业学报, 2021, 30(2): 287–294.
- [63] 姚致远, 王 峥, 李 婧, 等. 旱地基于豆类绿肥不同轮作方式的经济效益分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(1): 76–84.
- [64] 李红燕, 胡铁成, 曹群虎, 等. 旱地不同绿肥品种和种植方式提高土壤肥力的效果[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(5): 1310–1318.
- [65] 赵伟亮, 宋璐瑶, 席琳乔, 等. 间作绿肥对苹果园空气温湿度和土壤养分的影响[J]. 塔里木大学学报, 2021, 33(3): 71–77.
- [66] 吕汉强, 于爱忠, 王玉珑, 等. 干旱绿洲灌区玉米氮素吸收利用对绿肥还田利用方式的响应[J]. 草业学报, 2020, 29(8): 93–103.
- [67] 姚致远, 王 峥, 李 婧, 等. 轮作及绿肥不同利用方式对作物产量和土壤肥力的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(8): 2329–2336.
- [68] 王 峥, 梁 颖, 姚鹏伟, 等. 绿肥播前施肥和翻压方式对旱地麦田土壤水肥性状的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(3): 119–126.
- [69] 李 婧, 张达斌, 王 峥, 等. 施肥和绿肥翻压方式对旱地冬小麦生长及土壤水分利用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(3): 136–142.
- [70] 刘 哲, 孙增慧, 吕盼忠. 长期不同施肥方式对华北地区温室和农田土壤团聚体形成特征的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(8): 1119–1128.
- [71] 周晓阳, 徐明岗, 周世伟, 等. 长期施肥下我国南方典型农田土壤的酸化特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(6): 1615–1621.
- [72] 林振江, 崔立勇, 王 闯, 等. 农田土壤机械压实的发生、影响及改良[J]. 农机化研究, 2011, 33(11): 249–252.
- [73] 杨晓娟, 李春俭. 机械压实对土壤质量、作物生长、土壤生物及环境的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(7): 2008–2015.
- [74] 赵 娜, 赵护兵, 鱼昌为, 等. 夏闲期种植翻压绿肥和施氮量对冬小麦生长的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(12): 41–47.
- [75] 李富翠. 旱地夏闲期覆盖秸秆和种植绿肥协调土壤水肥供应的效应与机制[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [76] 胡铁成, 李红燕, 曹群虎, 等. 旱地不同绿肥品种及种植密度的肥饲效应研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(4): 44–52.
- [77] 张达斌, 姚鹏伟, 李 婧, 等. 豆科绿肥及施氮量对旱地麦田土壤主要肥力性状的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(7): 2272–2281.
- [78] 赵 娜, 赵护兵, 曹群虎, 等. 渭北旱区夏闲期豆科绿肥对土壤肥力性状的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(2): 124–128, 146.
- [79] 赵 娜. 夏闲期种植豆科绿肥对旱地土壤性质和冬小麦生长的影响及其机制[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
- [80] 张 春. 夏闲期种植不同绿肥作物对土壤性状及冬小麦生长的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [81] 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.
- [82] 赵 刚, 樊廷录, 李尚中, 等. 夏休闲期复种油菜对旱地土壤水分和小麦产量的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(10): 2807–2813.
- [83] 严 芳, 姜艳华, 陈建兴, 等. 间作白三叶草对茶园温湿度和茶树根系生长的影响[J]. 热带作物学报, 2017, 38(12): 2243–2247.
- [84] 张达斌. 黄土高原地区种植豆科绿肥协调土壤水分和氮素供应的效应及机理[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [85] 张达斌, 李 婧, 姚鹏伟, 等. 夏闲期连续两年种植并翻压豆科绿肥对旱地冬小麦生长和养分吸收的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(1): 59–65.
- [86] 李可懿, 王朝辉, 赵护兵, 等. 黄土高原旱地小麦与豆科绿肥轮作及施氮对小麦产量和籽粒养分的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(2): 110–116, 123.
- [87] 白岗桢, 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.
- [88] 李 美, 高兴祥, 刘士国, 等. 山东盐碱地棉田不同杂草群落对棉花产量影响研究[J]. 草业学报, 2013, 22(6): 328–334.
- [89] 张自常, 李永丰, 张 彬, 等. 稗属杂草对水稻生长发育和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(11): 3177–3184.
- [90] 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.
- [91] 肖 婷, 褚姝频, 郭 建, 等. 秋后桃园主要害虫及防治策略[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(12): 80–84.
- [92] 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.
- [93] 张苗苗, 窦孟兰, 敖 苏, 等. 果园多种处理模式对杂草的影响[J]. 热带生物学报, 2019, 10(3): 288–297.
- [94] 罗旭辉, 刘明香, 罗石海, 等. 茶园套种圆叶决明对杂草物种多样性的影响[J]. 热带作物学报, 2013, 34(12): 2503–2507.
- [95] 党晶晶, 张 越, 霍静倩, 等. 间作豆类作物对玉米田中杂草防控作用的研究[J]. 玉米科学, 2017, 25(5): 136–140.
- [96] 张泽煌, 林旗华, 钟秋珍, 等. 观赏绿肥在观光农业中的研究与应用[J]. 中国农学通报, 2018, 34(29): 55–58.
- [97] 邓建强, 梁志婷, 刘渊博, 等. 陇东旱塬冬小麦复种饲草轮作系统产量和水分利用特征[J]. 草业学报, 2017, 26(2): 161–170.
- [98] 龚家建, 王锋堂, 马亚龙, 等. 南方果茶园生草栽培草种研究进展[J]. 农学报, 2021, 11(6): 52–58.