

绿肥油菜研究进展

张树杰, 陈灿, 张红升, 于荣 (宁夏职业技术学院, 宁夏广播电视大学, 宁夏银川 750002)

摘要 种植绿肥既能改善土壤结构, 提高土壤肥力和后茬作物产量, 又能减少化肥投入、防止水土流失, 是建立良好农业生态环境、实现可持续发展的关键措施。通过总结近年来有关绿肥油菜对后茬作物生长、土壤肥力、土壤微生物、土壤线虫、土传病害和杂草影响的研究成果, 提出今后绿肥油菜产业的发展方向, 以期绿肥油菜产业和可持续农业发展提供一定的理论依据。

关键词 油菜; 绿肥; 作物生长; 土壤肥力; 土传病害

中图分类号 S55 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)15-0024-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.15.007

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research Progress of Green Manure Oilseed Rape

ZHANG Shu-jie, CHEN Can, ZHANG Hong-sheng et al (Ningxia Polytechnic, Ningxia Television University, Yinchuan, Ningxia 750002)

Abstract Planting green manure can not only improve the soil structure, increase soil fertility and the yield of subsequent crops, but also reduce chemical fertilizer input and prevent soil erosion. It is a key measure to establish a good agricultural ecological environment and achieve sustainable development. This paper reviewed the research advances in the influences of green manure oilseed rape on the following crops growth, soil fertility, soil microorganisms, soil nematodes, soil borne disease, soil-borne diseases and weeds, and pointed out the developmental direction of green manure oilseed rape in the future, in order to provide a theoretical basis for the green manure rape industry and sustainable agricultural development.

Key words Oilseed rape; Green manure; Crop growth; Soil fertility; Soil-borne diseases

种植绿肥是我国传统农业的精华, 它既是提高土壤肥力、促进作物增产的重要措施, 又是建立良好农业生态系统的途径^[1-4]。油菜(*Brassica napus*)是世界范围内种植面积最广、产量最大的十字花科芸薹属油料作物^[5-8]。油菜籽不仅是食用植物油的最重要原料, 也是生物柴油的主要原料, 它的副产品还是一种富含蛋白质的优质饲料^[7-9]。油菜株体高大, 光合和生长效率相对较高, 不仅鲜草产量高, 而且其体内富含的含硫化合物在降解过程中能对土壤起到明显的熏蒸作用, 可以作为绿色杀虫剂和除草剂替代有害的合成农药^[5-6, 8, 10-11]。因此, 以油菜为绿肥的研究逐渐成为近年来的一个热点。与传统的豆科绿肥植物紫云英、禾本科绿肥植物黑麦草等相比, 绿肥油菜的研究和应用相对较少。笔者就近年来有关油菜对后茬作物生长、土壤营养环境、土传病害影响的研究成果进行总结阐述, 以期绿肥油菜产业和可持续农业发展提供一定的理论依据。

1 种植油菜对后茬作物的影响

轮作油菜或休闲期种植绿肥油菜对后茬作物的影响主要表现在两方面, 一方面是促进后茬作物的代谢、加快后茬作物的生长。研究显示, 种植和翻压绿肥油菜显著提高后作水稻的叶面积指数、剑叶叶长、叶宽、叶绿素含量、光合速率, 进而增加后作水稻单位面积有效穗数、每穗粒数和千粒重^[10, 12-14]; 显著增加后茬作物冬小麦单株分蘖数和单位面积穗数^[15]; 显著增加后作玉米有效穗数^[11]; 显著增加烤烟的株高和最大叶面积, 提高叶片中叶绿素的含量, 增强叶片的光

合速率和蒸腾速率^[6]。同时, 轮作油菜或种植绿肥油菜还能促进后茬作物对矿质营养元素氮、磷、钾的吸收和利用^[16-17]。魏静^[16]研究发现, 冬季种植和翻压油菜, 后作玉米地上部氮、磷、钾和地下部磷吸收量较冬闲对照分别显著增加30.7%、74.7%、57.6%和171.4%; 高菊生等^[17]通过长期定位试验研究发现, 冬种油菜绿肥, 促进了后作水稻对磷素、钾素的吸收和利用。另一方面, 无论是轮作油菜还是种植绿肥油菜, 均可显著提高后茬作物产量, 如水稻^[10, 13, 16, 18-20]、小麦^[15, 21]、玉米^[11, 22]、烤烟^[6, 23]等。王丹英等^[10]通过连续5年的田间试验发现, 盛花期翻压绿肥油菜使供试水稻产量较冬闲对照显著增加5.70%~14.55%, 而油菜收获后秸秆焚烧还田也使供试水稻产量较冬闲对照显著提高, 且盛花期翻压的增产效果显著高于收获后秸秆焚烧还田。赵慧娟^[19]研究发现, 种植和翻压绿肥油菜, 不仅显著提高早稻产量, 对晚稻增产效果也十分显著, 且增产率随着压青量的增加而增加。赵刚等^[21]在陇东黄土旱原地区通过连续4年试验发现, 夏休闲期播种和翻压油菜, 后作小麦干旱年份增产16.1%, 平水年份增产6.8%。魏静^[16]研究发现, 冬季种植和翻压油菜, 玉米籽粒产量较冬闲对照显著提高25.8%。刘领等^[6]研究发现, 翻压油菜显著提高了烤烟烟叶的产量、均价和产值。

同时, 许多研究还发现, 在减少化肥投入条件下, 种植和翻压油菜仍可以显著提高后茬作物产量^[22-25]。惠荣奎等^[22]研究发现, 在减少化肥投入5%条件下, 翻压油菜可使玉米产量较正常施肥量冬闲对照显著增产8.07%; 而在减少化肥投入10%~15%条件下, 翻压油菜仍使玉米产量保持与对照相当。李淑春等^[24]通过田间试验发现, 在前作为油菜条件下, 不施化肥仍使后作水稻较前作空闲施肥处理显著增加6.02%。王育军等^[23]研究表明, 即便是在降低氮肥投入20%~40%条件下, 油菜秸秆还田不仅可以提高烤烟烟叶产

基金项目 宁夏自然科学基金项目(NZ15205); 宁夏高等学校科学研究项目(NGY2015214)。

作者简介 张树杰(1972—), 男, 宁夏银川人, 副研究员, 博士, 从事植物营养与土壤营养环境研究。

收稿日期 2019-03-30

量,还可以改善烟叶感官评吸质量。陈灿等^[25]研究发现,与常规单施化肥处理相比,在化肥施用量减半条件下,套种和翻压油菜可以使宁杞5号枸杞干果年产量显著增加19.1%。这些研究结果说明轮作油菜或种植绿肥油菜可大量减少化肥的施用量,实现耕地的种养兼顾、良性循环^[2,7,9-10,18]。

2 种植油菜对土壤肥力的影响

土壤有机质含量在一定范围内与土壤肥力水平呈正相关关系,因此是评价土壤肥力的重要指标^[9-10,20,26]。多数研究认为,种植和翻压绿肥油菜能够显著提高土壤有机质含量^[10,16-17,19,22,27-28]。如王丹英等^[10]研究发现,油菜秸秆焚烧还田和盛花期翻压还田分别使土壤有机质含量较对照显著增加1.99%和8.03%;惠荣奎等^[22]研究发现,压青绿肥油菜“油肥1号”使土壤有机质含量显著提高9.78%;邓力超等^[20]通过2年连续试验研究发现,种植和翻压“油肥1号”使土壤有机质含量显著提高了25.45%。但也有研究发现,翻压油菜对土壤有机质含量并没有显著影响^[5,18]。这些差异可能与试验地土壤条件、气候因素、油菜品种、翻压量、翻压时间及试验周期等因素有关。刘晓霞等^[29]研究发现,油菜等绿肥连续还田2年对土壤有机质含量的影响不大,但连续还田3~4年,土壤有机质含量显著升高。

与豆科紫云英、禾本科黑麦草等绿肥作物一样,绿肥油菜也会对土壤矿质养分含量及形态产生显著影响。这些研究主要集中在土壤氮、磷、钾含量方面,主要表现为无论是翻压绿肥油菜还是油菜秸秆还田均可显著提高土壤全氮和碱解氮^[10,17,19,28]、速效磷和速效钾的含量^[11,19-20,22,28,30],也有研究发现种植和翻压绿肥油菜使土壤全磷和全钾含量显著升高^[5,10]。一方面是油菜根系从土壤中吸收养分贮藏在体内,翻压后在土壤表层形成矿质养分的富集层^[4,9,19,30]。Thorup-Kristensen等^[31]在对豆科、禾本科及十字花科油菜等绿肥吸收土壤氮素进行系列研究后发现,油菜等十字花科植物对土壤氮素具有更强的捕获能力;同时油菜也是少数可以吸收利用矿物态磷素的作物^[2,9,11,32]。另一方面是油菜在生长过程中,根系释放的大量有机物质在对根际矿物直接活化的同时,还提高了根际微生物的繁殖和活性,从而促进矿质养分的释放和有效化^[4,9,19,30]。

油菜是直根系作物,其根系在土壤中的生长和穿插,可以疏松土壤、增加孔隙度,从而降低土壤紧实度和土壤容重;而根系的腐烂和分解,又会留下原根系生长的空间,进一步增加土壤孔隙度^[1,4,9,33]。因此,种植和翻压绿肥油菜使土壤容重分别显著降低22.55%^[20]和16.8%^[16]。另外,翻压绿肥油菜或油菜秸秆还田,其有机质可以与土壤颗粒胶结形成较大的水稳性团聚体,从而改善土壤结构,增强土壤通气性和透水性^[1,4,7,9,33]。

3 种植油菜对土壤微生物的影响

土壤微生物在土壤物质转化和能量转移中发挥着极其重要的作用,种植绿肥能成倍或成十几倍地增加土壤微生物的总量^[34-35]。而种植绿肥油菜或轮作油菜不仅能增加土壤微生物总量,还能改变真菌、细菌、放线菌三大类群微生物所

占比例^[11,34-35]。刘哲辉^[11]研究发现,在油菜-玉米轮作体系中,土壤细菌群落数量显著增加,真菌数量显著减少,而放线菌数量无显著变化。细菌型土壤是土壤肥力提高的一个生物学指标,而真菌型土壤则是地力衰竭的标志,真菌群落数量的增加,意味着土传病害的加重,因为多种土传病害的发生都是由真菌型微生物引起的^[11,34-35]。

农业生态系统的养分有效性和生产力很大程度上依赖于微生物量及其活性,因此土壤微生物量常被用作指示农业系统土壤理化性状的早期指标;土壤微生物熵是指土壤微生物呼吸速率与土壤微生物量碳的比值,能有效反映土壤有机质转化效率、土壤碳素损失状况^[16,36-38]。高嵩涓等^[38]以进行了31年定位试验的红壤性水稻土为对象,研究了长期冬种绿肥条件下土壤微生物生物量的季节变化,结果发现,冬种绿肥油菜提高了土壤微生物量碳、微生物量氮和微生物熵,无论是在土壤性质相对稳定的晚稻收获后还是全年平均值均显著高于冬闲对照处理。魏静^[16]也得出类似的结果,冬季种植和翻压油菜,土壤微生物量碳、氮分别较冬闲对照显著增加30.5%和32.2%。虽然土壤微生物量碳仅占土壤总碳的1%~4%,土壤微生物量氮仅占土壤全氮的2%~7%,但土壤微生物量碳、氮却是土壤中最活跃的碳库和氮库之一,是土壤肥力的指示性指标^[16,36,38]。种植和翻压绿肥油菜显著提高了土壤微生物量碳含量及微生物熵,说明绿肥油菜促进了土壤有机碳向更容易被微生物和作物利用的形态转化,从而提高了土壤养分的有效性^[11,27]。

土壤酶是一类具有催化能力的生物活性物质^[10,16-17]。一方面,土壤的一切生物化学过程都是在土壤酶的参与下进行的,它是土壤代谢的基础。土壤中的蔗糖酶是一种水解酶,直接参与有机质碳的代谢,磷酸酶能将有机磷水解为可被植物利用的有效态,土壤中氮的转化与脲酶活性密切相关。另一方面,土壤酶活性与土壤的物理特性、水热状况、土壤组分的化学组成及吸收性复合体的特征密切相关,能敏感地响应作物轮作、残留物管理和土壤压实、耕翻等不同土壤管理措施^[10,16-17]。因此,土壤酶活性可以作为土壤肥力和养分有效性的敏感指标^[10,16-17]。魏静^[16]研究发现,冬季种植和翻压油菜,土壤碱性磷酸酶、蔗糖酶和脲酶活性分别较冬闲对照显著提高11.4%、17.7%和21.7%。平亚琴^[28]研究了在马铃薯生育后期填闲种植不同密度油菜对土壤酶活性的影响,结果发现土壤脲酶、过氧化氢酶及碱性磷酸酶活性显著提高。

4 种植油菜对土壤线虫的影响

线虫在各类土壤中普遍存在,其群落数量大、生物多样性高,占据了土壤食物链的中心位置,被看作是评价土壤质量变化最重要的指示生物之一^[39-41]。土壤线虫的分布和丰富度取决于土壤类型、土壤肥力、植物种类和生长时间、凋落物数量以及土壤管理等因素^[39-41]。牟文雅等^[39]研究发现,玉米秸秆还田可显著降低土壤中植食性线虫和食真菌线虫的相对丰度,而使食细菌线虫和捕食性线虫相对丰度显著增加。而油菜秸秆还田和冬季种植油菜等覆盖作物也能显著

降低土壤植食线虫数量,而显著增加土壤食细菌线虫和捕食性线虫数量^[41-42]。这可能与油菜秸秆还田引起土壤微生物群落结构发生改变、细菌数量显著增加有关^[11,35]。此外,油菜等秸秆还田可以显著提高紫色土中线虫、蚯蚓和甲螨等土壤动物的个体数量,而土壤线虫、蚯蚓和甲螨个体数量与土壤有机质、微生物量碳、微生物量氮、速效钾等存在显著正相关关系^[39-41,43]。

5 种植油菜对土传病害和杂草的影响

许多原位试验结果显示,来源于芸薹属植物的异硫氰酸酯即便是很低的浓度(10 μmol/L)也可以显著抑制 *Meloidogyne incognita* 和 *Tylenchulus semipenetrans* 这2种线虫幼虫的繁殖与生长。因此多数研究者认为,在农业生态系统中引入油菜,可有效抑制根结线虫等危害^[40,44-46]。曹素芳等^[44]在室内条件下测试了芸薹属植物材料对南方根结线虫的生物熏蒸效果,结果发现,油菜、芥菜等7种植物材料对南方根结线虫均有一定的防效,防治效果与其体内硫苷葡萄糖苷含量有关。Ngala等^[47]研究也发现,使用芸薹属植物作为绿肥,可以显著降低马铃薯囊肿线虫数量,并且降低的比例与绿肥使用量相关。Soheili等^[45]研究发现,芸薹属绿肥,特别是油菜可以显著抑制线虫 *M. javanica* 的活性。此外,翻压绿肥油菜可以显著降低凤仙花和矮牵牛土传病害,进而促进其生长^[48],显著降低烟草根结线虫病(56.4%)和黑胥病(56.4%)的发病率^[6],显著抑制玉米纹枯病和丝黑穗病等土传病害^[11],显著降低早稻田纹枯病的发生程度^[12]。尽管油菜等芸薹属植物对土壤根结线虫和土传病害均匀一定的防治效果,但Oka^[46]认为,芸薹属植物特别是油菜和印度芥菜,对线虫的熏蒸作用较对土传真菌更为突出。

虽然在1989年就有人提出,以春油菜作为绿肥,可以有效减少田间杂草数量^[49],但近年来有关绿肥油菜对后作田间杂草抑制作用的研究结果却很少。李昌新等^[50]研究表明,冬季油菜秸秆覆盖还田和夏季旋耕还田均可显著降低稻田杂草密度和生物量,但秸秆覆盖还田的抑制效果显著高于夏季旋耕还田。陈洪俊等^[51]和谭景艾等^[12]研究也发现,种植和翻压绿肥油菜后,早稻田主要杂草鸭舌草和稗草的发生程度被显著抑制。

6 油菜作绿肥的优势

与传统的绿肥作物如紫云英、黑麦草等相比,油菜作为绿肥具有许多优势。一是油菜具有广泛的生产适应性,可在不同气候带实行春播和秋播,与各种作物轮作换茬、间作套种,在一年一熟制或一年多熟制地区均可种植^[7,9,15,32]。二是油菜植株高大,鲜草、干有机物产量高^[9,32]。油菜鲜草产量可达30 000~45 000 kg/hm²,按82%含水量计算,干有机物产量5 400~8 100 kg/hm²,相当于紫云英绿肥的3倍,而后作产量与鲜草翻压量之间存在显著正相关关系^[19,27,52]。三是油菜生长期短,播期宽松,春播秋播均可,且发芽出苗率高(当年种子可达95%以上)^[7,9,15,32]。四是油菜绿肥养分比较丰富^[9-10,19,32]。盛花期油菜鲜草含氮0.43%、五氧化二磷0.26%、氯化钾0.44%;甘草含氮2.52%、五氧化二磷1.53%、

氯化钾2.57%^[9]。五是油菜碳氮比适中,易于被微生物分解发酵^[9-10,19,32]。碳氮比是指植株有机物中碳的总含量与氮的总含量之比,一般碳氮比25:1有助于微生物发酵分解,紫云英碳氮比(13~16):1,盛花期油菜碳氮比(20~25):1,更利于微生物的发酵分解^[7,10]。研究显示,油菜秸秆还田15 d后腐解率达37.2%,还田120 d后腐解率可达到60.9%^[13]。六是油菜种植省时省工,投资少,成本不及紫云英的10%^[7,9-10,15,32]。七是油菜组织中含有硫苷葡萄糖苷具有生物熏蒸的特性,能抑制土壤中病原真菌的生长和繁殖,最终减少土传病害的发生^[8,11,44-47]。

7 问题与展望

综上所述,已有的研究和实践证明,合理轮作和种植绿肥油菜不仅能够改良土壤结构,提高土壤肥力和后茬作物产量,还可以减少化肥投入、防止水土流失,进而降低环境污染风险,因此大力推广绿肥油菜对发展绿色农业具有重要的意义^[1-3,9,32]。为了更好地发挥绿肥油菜的应用前景,在今后的研究中应注意以下问题:

(1)整理资源,选育适应性强、丰产性好的绿肥品种。尽管我国油菜种质资源十分丰富,但专用型绿肥品种(如油肥1号)却很少,限制了绿肥油菜的应用和推广。目前市场上的油菜种子基本上都是以油用双低油菜品种为主,而双低品种降低了油菜体内芥酸和含硫化合物的含量,可能会影响油菜的生物熏蒸效果。

(2)优化绿肥油菜种植技术,特别是轻简化高效生产技术。如播期显著影响油菜生物量及养分积累量,进而影响还田绿肥的生物量,胡敏等^[52]认为在不影响前茬作物的前提下应适当早播,以保证油菜鲜草产量。

(3)构建绿肥油菜与主作物一体化的利用模式,集成出适合于不同气候、不同土壤或作物条件的轮作模式及栽培技术,特别是适用于北方旱田的绿肥油菜品种和栽培技术。

(4)探索绿肥油菜产业化途径,充分挖掘油菜油用、菜用、花用、蜜用、饲用功能,增值增效。

参考文献

- [1] 李子双,晓璇娟,王薇,等.我国绿肥的研究进展[J].草业科学,2013,30(7):1135-1140.
- [2] 杨滨娟,黄国勤.稻田冬种绿肥生态环境效应的研究进展[J].生态科学,2016,35(5):214-219.
- [3] 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.
- [4] 宋莉,廖万有,王辉军,等.旱地作物间作绿肥研究进展[J].作物杂志,2017(6):7-11.
- [5] 何亮珍,郭嘉,付爱斌,等.双季稻冬闲田种植绿肥对土壤理化性质的影响[J].作物研究,2017,31(4):405-407,414.
- [6] 刘颖,李继伟,任鹏,等.不同芸薹属绿肥对烤烟生长及产量的影响[J].河南农业科学,2017,46(8):52-56,76.
- [7] 张哲,殷艳,刘芳,等.我国油菜多功能开发利用现状及发展对策[J].中国油料作物学报,2018,40(5):618-623.
- [8] CARD S D, HUME D E, ROODI D, et al. Beneficial endophytic microorganisms of Brassica: A review [J]. Biological control, 2015, 90: 102-112.
- [9] 傅廷栋,梁华东,周广生.油菜绿肥在现代农业中的优势及发展建议[J].中国农技推广,2012,28(8):37-39.
- [10] 王丹英,彭建,徐春梅,等.油菜作绿肥还田的培肥效应及对水稻生长的影响[J].中国水稻科学,2012,26(1):85-91.
- [11] 刘哲辉.油菜根茬对后作玉米的增产作用研究[D].北京:中国农业科学院,2017.

- [12] 谭景艾,李保同,潘晓华,等. 冬种绿肥对早稻病虫害发生及产量的影响[J]. 中国农学通报,2015,31(4):179-184.
- [13] 周永进,吴文革,许有尊,等. 油菜秸秆还田培肥土壤的效应及对后作水稻产量的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版),2015,36(1):53-58.
- [14] 许晖,陈文辉,吴芸紫,等. 油菜还田对机插中稻植株生物量及产量的影响[J]. 湖北农业科学,2018,57(16):27-29.
- [15] 王焯. 旱地不同绿肥和施磷量对土壤肥力、冬小麦生长及磷肥减量效应研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2018.
- [16] 魏静. 不同冬季覆盖作物对土壤养分及雨养玉米生长特征的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2018.
- [17] 高菊生,徐明岗,董春华,等. 长期稻-稻-绿肥轮作对水稻产量及土壤肥力的影响[J]. 作物学报,2013,39(2):343-349.
- [18] 杨滨娟,黄国勤,王超,等. 稻田冬种绿肥对水稻产量和土壤肥力的影响[J]. 中国生态农业学报,2013,21(10):1209-1216.
- [19] 赵慧娟. 油菜作为绿肥的栽培技术与田间肥效试验研究[D]. 武汉:华中农业大学,2014.
- [20] 邓力超,李莓,范连益,等. 绿肥油菜翻压还田对土壤肥力及水稻产量的影响[J]. 湖南农业科学,2018(2):18-20.
- [21] 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.
- [22] 惠荣奎,邓力超,李莓. 绿肥油菜油肥1号对土壤养分和鲜食玉米产量的影响[J]. 湖南农业科学,2018(3):36-38.
- [23] 王育军,江子勤,李强,等. 油菜秸秆还田减氮对烤烟经济性状及烟叶品质的影响[J]. 湖南文理学院学报(自然科学版),2018,30(4):78-83.
- [24] 李淑春,张惠琴,朱贵平,等. 前作油菜对水稻产量及性状的影响[J]. 现代农业科技,2010(5):34.
- [25] 陈灿,张树杰,于荣,等. 翻压油菜对枸杞果实产量和品质的影响[J]. 北方园艺,2018(14):131-135.
- [26] 朱娜,王富华,王琳,等. 绿肥对土壤的改良作用研究进展[J]. 农村经济与科技,2014,25(7):13-14,63.
- [27] 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.
- [28] 平亚琴. 填闲种植油菜对马铃薯田土壤特性及马铃薯产量的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2017.
- [29] 刘晓霞,陶云彬,章日亮. 不同绿肥连续还田对水稻产量和土壤肥力的影响[J]. 浙江农业科学,2016,57(9):1379-1382.
- [30] 谢文娟. 油菜对酸性土壤不同形态无机磷的活化利用及其生理变化研究[D]. 南宁:广西大学,2005.
- [31] THORUP-KRISTENSEN K, MAGID J, JENSEN L S. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones [J]. *Advances in agronomy*,2003,79(2):227-302.
- [32] 王鑫志,李巧云,关欣. 油菜作绿肥和蔬菜利用研究进展[J]. 作物研究,2015,29(5):555-557.
- [33] 刘威,黄丽,鲁剑巍,等. 两种保护性耕作对土壤养分、结构和产量的影响[J]. 土壤通报,2015,46(2):420-427.
- [34] 刘国顺,李正,敬海霞,等. 连年翻压绿肥对植烟土壤微生物量及酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(6):1472-1478.
- [35] 赵秋,高贤彪,宁晓光,等. 华北地区春玉米-冬绿肥轮作对碳、氮蓄积和土壤养分以及微生物的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(4):1005-1011.
- [36] 张帆,黄凤球,肖小平,等. 冬季作物对稻田土壤微生物量碳、氮和微生物酶的短期影响[J]. 生态学报,2009,29(2):734-739.
- [37] 肖小平,唐海明,聂泽民,等. 冬季覆盖作物残茬还田对双季稻田土壤有机碳和碳库管理指数的影响[J]. 中国生态农业学报,2013,21(10):1202-1208.
- [38] 高嵩涓,曹卫东,白金顺,等. 长期冬种绿肥改变红壤稻田土壤微生物生物量特性[J]. 土壤学报,2015,52(4):902-910.
- [39] 牟文雅,贾艺凡,陈小云,等. 玉米秸秆还田对土壤线虫数量动态与群落结构的影响[J]. 生态学报,2017,37(3):877-886.
- [40] FOURIE H, AHUJA P, LAMMERS J, et al. Brassicacea-based management strategies as an alternative to combat nematode pests: A synopsis [J]. *Crop protection*,2016,80:21-41.
- [41] LESLIE A W, WANG K H, MEYER S L F, et al. Influence of cover crops on arthropods, free-living nematodes, and yield in a succeeding no-till soybean crop [J]. *Applied soil ecology*,2017,117/118:21-23.
- [42] TABARANT P, VILLENAVE C, RISEDE J M, et al. Effects of four organic amendments on banana parasitic nematodes and soil nematode communities [J]. *Applied soil ecology*,2011,49:59-67.
- [43] 朱新玉,朱波. 不同施肥方式对紫色土农田土壤动物主要类群的影响[J]. 中国农业科学,2015,48(5):911-920.
- [44] 曹素芳,邹雅新,马娟,等. 生物熏蒸对南方根结线虫存活的室内测定[J]. 华北农学报,2009,24(S1):270-274.
- [45] SOHEILI A, SAEEDIZADEH A. Suppression of *Brassicaceous* tissue on *Meloidogyne javanica* in a rhizosphere [J]. *International journal of agriculture and biology*,2017,19(5):1012-1018.
- [46] OKA Y. Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments - A review [J]. *Applied soil ecology*,2010,44:101-115.
- [47] NGALA B M, HAYDOCK P P J, WOODS S, et al. Biofumigation with *Brassica juncea*, *Raphanus sativus* and *Eruca sativa* for the management of field populations of the potato cyst nematode *Globodera pallida* [J]. *Pest management science*,2015,71(5):759-769.
- [48] COCHRAN K A, ROTHROCK C S. Brassica green manure amendments for management of *Rhizoctonia solani* in two annual ornamental crops in the field [J]. *HortScience*,2015,50(4):555-558.
- [49] 李纯. 春油菜作绿肥的研究[J]. 作物研究,1989(1):21-22.
- [50] 李昌新,赵锋,芮雯雯,等. 长期秸秆还田和有机肥施用对双季稻田冬春季杂草群落的影响[J]. 草业学报,2009,18(3):142-147.
- [51] 陈洪俊,黄国勤,杨滨娟,等. 冬种绿肥对早稻产量及稻田杂草群落的影响[J]. 中国农业科学,2014,47(10):1976-1984.
- [52] 胡敏,李小坤,王振,等. 播期对油菜绿肥生物量及养分积累的影响[J]. 湖北农业科学,2017,56(4):657-660.

(上接第 23 页)

- [51] SUGIO A, KINGDOM H N, MACLEAN A M, et al. Phytoplasma protein effector SAP11 enhances insect vector reproduction by manipulating plant development and defense hormone biosynthesis [J]. *PNAS*,2011,108(48):19111-19112.
- [52] ROBINSON F R, FUCHS A F. The role of the cerebellum in voluntary eye movements [J]. *Annual review of neuroscience*,2001,24(1):981-1004.
- [53] MARTÍN-TRILLO M, CUBAS P. TCP genes: A family snapshot ten years later [J]. *Trends in plant science*,2010,15(1):31-39.
- [54] HAO J, TU L L, HU H Y, et al. GbTCP, a cotton TCP transcription factor, confers fibre elongation and root hair development by a complex regulating system [J]. *Journal of experimental botany*,2012,63(17):6267-6281.
- [55] KOYAMA T, MITSUDA N, SEKI M, et al. TCP transcription factors regu-
- late the activities of ASYMMETRIC LEAVES1 and miR164, as well as the auxin response, during differentiation of leaves in *Arabidopsis* [J]. *The plant cell*,2010,22(11):3574-3588.
- [56] UBERTI-MANASSERO N G, LUCERO L E, VIOLA I L, et al. The class I protein AtTCP15 modulates plant development through a pathway that overlaps with the one affected by CIN-like TCP proteins [J]. *Journal of experimental botany*,2012,63(2):809-823.
- [57] KROUK G, LACOMBE B, BIELACH A, et al. Nitrate-regulated auxin transport by NRT1.1 defines a mechanism for nutrient sensing in plants [J]. *Development cell*,2010,18(6):927-937.
- [58] LI S T, ZACHGO S. TCP3 interacts with R2R3-MYB proteins, promotes flavonoid biosynthesis and negatively regulates the auxin response in *Arabidopsis thaliana* [J]. *The plant journal*,2013,76(6):901-913.