

油菜用地养地的作物优势及其在冬闲田开发中的应用潜力

赵曼利¹, 戴志刚², 顾焱明¹, 胡文诗¹, 李银水¹, 秦璐^{1*}, 鲁明星³, 廖星¹

(1. 中国农业科学院油料作物研究所, 湖北 武汉, 430062;

2. 湖北省耕地质量与肥料工作总站, 湖北 武汉, 430070;

3. 湖北省油菜办公室, 湖北 武汉, 430060)

摘要: 油菜是我国种植面积最大的油料作物, 是国产食用植物油的重要来源。油菜生长过程可以优化土壤结构、增加土壤养分、培肥土壤地力, 具有用地养地的特征优势。同时, 因其具有较强的环境适应能力, 可作为先锋作物改良障碍土壤。然而, 近年来由于劳动力不足、种植效益低、农民种植积极性不高等因素, 导致冬闲田面积逐年增加, 冬季光温水土自然资源未能得到有效利用。而油菜作为冬季种植的油料作物, 不与粮争地, 是开发利用冬闲田最有潜力的作物。利用冬闲田发展油菜生产, 不仅可以提升油料产量, 还可以充分发挥其养地优势提高后茬作物产量品质、增加种植收益, 对维护我国食用油供给安全、助力粮油兼丰及农业绿色可持续发展具有重要意义。本文结合我国油菜生产现状, 针对南方稻区冬闲田油菜轮作的生产发展需要, 综述了油菜用地养地(油用或肥用)的作物优势, 旨在为因地制宜利用南方冬闲田发展油菜生产助力油料产能提升提供科学依据。

关键词: 油菜; 用地养地; 冬闲田; 稻油轮作; 绿肥作物; 先锋作物

中图分类号: S565.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-9084(2022)06-1139-09

Advantage of oilseed rape (*Brassica napus* L.) in land use and conservation and its application for winter fallow field

ZHAO Man-li¹, DAI Zhi-gang², GU Chi-ming¹, HU Wen-shi¹, LI Yin-shui¹, QIN Lu^{1*}, LU Ming-xing³, LIAO Xing¹

(1. Oil Crops Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430062, China; 2. Hubei Provincial Cultivated Land Quality and Fertilizer Station, Wuhan 430070, China; 3. Hubei Province Oilseed Rape Office, Wuhan 430060, China)

Abstract: Oilseed rape (*Brassica napus* L.) is an important oil crop which has the largest planting area in China. In recent years however, several factors, such as labour shortage, low planting benefit and motivation of farmers, lead to expansion of winter fallow field year by year. This present paper studied its greater advantages of rapeseed on land use and conservation, mainly including its ability of optimizing soil structure, increasing soil nutrients (as green manure), and improving soil fertility. Meanwhile, due to its superior adaptability to environment, oilseed rape could apply as pioneer crop to amending the obstacle soil, and thus the natural resources (light, heat, water, and soil) in winter could be efficiently utilized. Winter oilseed rape does not compete with grain for land use and has the greatest potential to exploit winter fallow field for both benefiting the subsequent crops and taking full of its advantage in land conservation. It is of great significance to promote high yield of grain and oil, in order to ensure both security of edible oil supply and sustainable agricultural development in China.

Key words: oilseed rape; land use and land conservation; winter fallow field; rice-rapeseed rotation; green manure crop; pioneer crop

收稿日期: 2022-08-19

基金项目: 国家绿肥产业技术体系(CARS-22); 中国农业科学院科技创新工程(CAASASTIP-2013-OCRI/CAAS-OCRI-ZDRW-202102)

作者简介: 赵曼利(1997-), 女, 硕士研究生, 主要从事油料作物营养生理研究, E-mail: zml1230608@163.com

* 通讯作者: 秦璐(1984-), 女, 副研究员, 从事油料作物施肥与土壤培肥研究, E-mail: qinlu@oilcrops.cn

油菜是我国种植的第一大油料作物,产油量约占国产植物食用油的55%^[1],发展油菜生产对维护国家食用油供给安全具有重要意义。我国油菜种植面积90%为冬油菜^[2],主要分布在雨热资源较丰沛的长江流域。油菜作为冬季种植作物,一般在9月下旬至11月播种,翌年4月底至5月中旬收获,不与水稻、玉米等主要夏粮作物争地。因此,在我国南方将油菜纳入轮作制度,可实现一年两熟,甚至三熟。农谚中有“油肥田,麦吃谷”的说法^[3],充分体现油菜养地优势;油菜根系发达,抗低温、干旱等逆境胁迫能力较强^[4],种植油菜可以改善土壤的理化性状以及土壤微生态环境^[5],提高后茬作物产量和品质^[6-8]。然而,近年来劳动力成本增加、农村青壮劳动力缺失,农民种植效益偏低等问题日渐突出,出现大量农田冬季撂荒、弃耕,南方冬闲田面积呈现增加趋势,冬季光温水土自然资源没有得到充分利用^[9]。当前,我国食用油自给率仅30%,在对外依存度居高不下、国际贸易环境不确定性增加的背景下,充分发挥油菜用地养地优势、扩大油菜生产对提升耕地质量、实现粮油兼丰、落实“藏粮于地,藏粮于技”战略具有重要意义^[10]。

1 油菜用地养地的作物优势

1.1 土壤培肥

油菜作为直根系作物,其根系生长过程可优化土壤物理性状。在黏质土壤种植时其根尖角度和细根占比会随土壤容重增加而增大,对土壤有穿刺效应,增加总孔隙度和通气孔隙度,生长期结束后,留下许多微孔隙,增强土壤通透性,提高土壤中微生物的有氧呼吸效率和酶活性^[11]。油菜根系可改善土壤孔隙度和土壤机械组成,并通过改善非饱和导水率,提高土壤导水能力,降低土壤机械阻力^[12],根系分泌物可增加黏粒含量,减少砂粒含量,具有一定的固土能力^[13]。在我国长江中游油麦交错区,相比水稻-小麦轮作模式,水稻-油菜轮作模式中土壤孔隙结构得到改善,土壤团聚体的稳定性增加^[14]。此外,在我国风蚀性灾害频发的西部种植油菜,可以增加农田地表覆盖度,减少土壤水分散失,降低贴地层风速,减小风蚀模数,从而减少水土流失,减缓土壤沙漠化过程的发展^[15, 16]。

虽然油菜在生育期内会从土壤中吸收大量养分,但大部分营养最终直接以茎、叶、花和根茬形式归还土壤,氮和磷的归还率接近从土壤中吸收的氮、磷总量的50%^[17],0~20 cm土层有机质增幅达

161.5%~167.7%^[18]。对油菜全生育期落叶研究分析发现,养分转移效率偏低的品种其落叶中累积的N、P₂O₅、K₂O达27.1、8.6、73.6 kg/hm²^[19]。另一方面,油菜在生长过程中,可以提高土壤中微生物和动植物的生物活性,其根系分泌物也可以增加土壤有机质含量,收获后20~40 cm耕层有机质含量甚至会高于播种前^[13]。30年的长期定位试验中,利用冬种油菜替代冬闲田,水稻收获前0~5 cm、10~15 cm耕层的全磷和碱解氮含量分别比冬闲田土壤高出52%、16.7%^[20]。油菜根系阳离子交换量大并能分泌大量柠檬酸、苹果酸等有机酸,造成了酸性磷酸酶活性上升和根际土壤pH下降,能够活化土壤难溶性磷素^[21, 22],减少闭蓄态磷的占比,增加土壤中磷酸铁、磷酸铝等有效磷含量,促进吸收利用矿物态磷素^[23]。根际的有机酸类物质同时能直接活化矿质钾,加上油菜对水溶性钾的吸收,可以加速各种形态钾之间的转换,增加土壤中速效钾的含量^[24]。低钾胁迫时,油菜根系释放更多有机酸类物质,增强了对包括钾素在内的土壤养分的活化能力,起到改善土壤化学性状的作用^[25]。

虽然油菜本身没有固氮能力,但其根系分泌物如硫苷,其水解产物的主要成分2-羟基-3-丁烯基硫苷能明显提高土壤中含有NO合成酶的链霉菌和自养硝化菌的数量,从而提高土壤中NO的含量,增加对空气中氮素的固定^[26]。油菜收获后,根际自生固氮菌、亚硝酸细菌和氨化细菌数量也显著增加,有利于土壤中有机氮转化为氨和氨转化为硝态氮,增加速效氮含量^[27]。

1.2 生物熏蒸

作物土传病害传染性强,当环境条件适宜时会迅速蔓延,成为制约作物产量和连续生产的重要障碍因子。芸薹属植物中含有丰富的硫苷,可以作为杀虫剂、杀菌剂、抗微生物制剂和天然的生物熏蒸消毒剂。Angus等^[28]发现将芸薹属植物组织深翻到小麦田可减少小麦全蚀病菌数量,由此提出了生物熏蒸概念,即利用植物有机质在分解过程中产生的挥发性杀生气体抑制或杀死土壤中的有害生物的方法,可以抑制土传病害的发生、传播。属于芸薹属一年生或越年生作物,其油菜植株广泛存在的硫苷使其具有优良的生防效果^[29]。油菜叶片中硫苷含量与其对病虫害的敏感性有关,当植株发生病害或虫害时,组织中硫苷的含量会急剧上升,同时,硫甙降解产生的异硫氰酸酯(ITCs)等氰类化合物可明显改变土壤微生物的结构^[30],对土壤线虫、细菌、真菌

和昆虫的生长繁殖都具很强抑制作用^[31]。油菜轮作能有效降低小麦根系丝核菌的数量,减少小麦根腐病的发生^[32];有效防治马铃薯粉状痂病,对立枯丝核菌和腐霉菌的生长均有很好的抑制效果^[33]。而油菜作绿肥可抑制部分土传病害的传播,例如抑制草莓灰霉病发生^[27],降低番茄青枯病发病率,提高番茄产量^[34]。油菜凋落物和植株残体还田带入土壤的养分和其生长过程中根际产生的分泌物可为土壤微生物生长繁殖提供营养,增加土壤中酶活性,提高土壤中真菌、细菌、放线菌的数量^[35],促进与碳、氮代谢相关的有益细菌丰度增加,降低放线菌门及具有致病性的厚壁菌门的相对丰度^[36]。

1.3 化感作用

化感作用是指一种植物通过释放化学物质到环境中对另一种植物产生直接或间接的促进或抑制作用,其释放的化学物质称为化感物质,可以抑制或推迟部分杂草萌发、生根,提高作物对杂草的竞争优势。油菜具有很强的化感活性,主要有效物质是有机酸^[37]。油菜根系对烟草疫霉菌游动孢子有很强的吸引作用,可以使其在根系周围休止或萌发,减缓传播扩散;油菜组织浸提液和根系分泌物对该菌菌丝生长抑制作用很强,利用这种化感作用,油菜-烟草轮作可以通过根系分泌巴豆酸、正戊酸等物质减少烟草黑胥病的发生和危害^[38]。除了油菜生长本身产生和释放的化感物质外,油菜秸秆浸出液与油菜翻压腐解液也会产生化感物质,影响后茬作物生长发育。比较油菜和小麦秸秆浸出液发现,油菜秸秆浸出液对水稻幼苗生长的促进作用显著强于小麦,且在养分供应不足时二者间的差异更大^[39]。具有化感效应的油菜茎水浸提液可以使旱稗、𧄸肠、马唐、反枝苋和马齿苋五种杂草的发芽率分别降低 8.7%、32%、14%、22.4% 和 13.3%,推迟发芽时间,有利于油菜幼苗获得生长优势;250.0 g/L 油菜叶、茎水浸提液和 125.0 g/L 根水浸提液均能抑制以上 5 种杂草的根系生长,对𧄸肠根系抑制效果最为显著,可减少 75%~79% 的根长^[40]。上述研究进展说明油菜的生防效果包含了对病虫害和杂草竞争的防治效果,是其可以提高后茬作物产量品质的原因之一。

1.4 绿肥作物

油菜因其生物量大、适应性广、活化养分能力强等优势,可作为绿肥应用于南方三熟制等茬口紧张的轮作模式中。与传统绿肥紫云英相比,油菜生物量大,干物质产量可达 5400~8100 kg/hm²,约为紫

云英的 3 倍^[41],作为绿肥种植在解决茬口矛盾和提供养分方面更有优势。油菜作为绿肥还田同样可以通过改善土壤物理性状和养分结构提升土壤肥力,崔顺吉等在白浆土上的试验发现油菜绿肥翻压后,0~10 cm 耕层土壤容重降低,土壤毛管孔隙减少、非毛管孔隙增加、总孔隙量增加;与无翻压对照区相比,翻压区 0.25~5 mm 的水稳性团粒结构增加 5.2%,每百克土 CO₂ 释放量增加 21.29%,水解氮含量、速效磷含量和速效钾含量分别提高 20.5%、193.3% 和 45.5%^[6]。在黄土高原,麦后油菜绿肥还田两年,与冬闲田相比,土壤中有有机质、有效磷和速效钾含量分别增加 12.4%、39.7% 和 13.7%,表征土壤中微生物活性的微生物量碳和水溶性有机碳含量分别增加 36.6% 和 138.3%,磷酸酶、蔗糖酶、脲酶和过氧化氢酶的总活性提高了 48.4%,显著提升了土壤生物活性^[42]。

油菜作为绿肥还田易腐熟,增加土壤中有有机质含量的同时抑制土壤春季返盐,土壤脱盐率比无翻压的土壤提高了 17.1%~20.0%^[43]。油菜翻压后由于花、叶先分解,茎秆随后,根茎最迟,可以持续提供后茬作物养分,每亩翻压 1000~1250 kg 油菜,相当于 20~25 kg 硫酸铵和 5.5~6 kg 过磷酸钙的养分含量^[43],油菜绿肥还田在带入土壤有机质等养分的同时,活化了原有的营养物质,改土增产效果可持续三年^[6]。

1.5 先锋作物

先锋植物指群落演替中最先出现的植物,能够在严重缺乏土壤和水分的石漠化地区生长的植物,由于具有极其顽强的生命力,被科学家称为“先锋植物”^[44]。先锋作物是 1993 年公布的农学名词,先锋作物往往具有耐盐碱、抗旱涝等特性,可以在逆境耕地种植,优化耕层环境,增加可利用耕地面积。我国盐碱地资源近 15 亿亩,占国土面积的 10.3%^[45],盐害会打破作物体内离子平衡,影响种子萌发和幼苗生长,降低作物产量和品质^[46]。油菜有一定的抗盐碱能力,属于中度耐盐作物,在具有较高经济效益的同时,其耐盐碱品种可以用养结合地改良耕地质量,增加土壤有机质、碱解氮和速效磷含量,降低土壤含盐量和 pH 值^[47]。连续种植饲料油菜三年,与未种植对照土壤相比,0~100 cm 土层的电导率降低 61.9、钠离子含量降低 72.8%、交换性钠占比降低 71%,可以明显优化盐碱土壤理化性状^[48]。

我国已有研究证实了油菜在改良盐碱地方面作为先锋作物的可行性。例如对甘蓝型油菜苗期

耐盐能力鉴定结果表明,华油杂62在盆栽条件下,能在盐(NaCl)含量为1.2%,甚至1.5%条件下生长^[45]。田间试验示范也表明,在内蒙古土壤含盐量0.3%~0.6%的地区,复种华油杂2号,饮料油菜产量可达45 000~75 000 kg/hm²。华油杂62在盐浓度0.4%~0.5%,pH高达10.2~11.2的新疆石河子盐碱地种植两个月后,产量达48 000~67 500 kg/hm²^[47];在以NaCl为主,含盐量为0.6%~0.7%的沿海盐碱地,该品种仍能较正常生长^[49]。

除盐渍化问题外,农田土壤重金属污染问题也日趋严重。据统计,2014年我国粮食主产区耕地土壤重金属点位超标率达19.4%,且有增加趋势^[50]。油菜对土壤中重金属有显著的富集作用,可以在一些重金属污染的土壤里生长,能利用部分适宜种植其他农作物的土地。油菜茎叶、根对铅和镉的富集能力均大于籽粒,对土壤铅、镉污染均具有一定的耐性,在铅浓度153 mg/kg、镉浓度0.83 mg/kg以下不影响油菜生长和产量^[51],南帅帅的研究中,土壤铅浓度0~200 mg/kg、镉浓度0~5 mg/kg范围内,甚至可以促进油菜生长^[52]。镉污染降低了土壤中微生物的丰富度和多样性,而种植油菜则增加了土壤的丰富性和多样性^[53]。黎红亮等研究结果表明,由于油菜叶对锌、铜、镉的较强积累能力,在重金属污染土壤种植收获的菜籽所制毛油中重金属含量符合《食用油卫生标准》GB2716-2005中限量规定(限0.1 mg/kg)^[54]。因此,在重金属污染的耕地上种植油菜,既能使土地继续生产,又能保证产品的安全性,利用油菜作为先锋作物富集土壤中的重金属对土壤进行生物修复,是解决土壤重金属污染的有效途径之一。

2 油菜在开发冬闲田中的应用潜力

2.1 利用冬闲田种植油菜提升油料产能

油菜是我国种植面积最大的油料作物^[55],占世界油菜种植面积总量的三分之一,但我国作为食用油消费第一大国,自给率仅为30.8%左右^[56],每年需进口食用植物油670万吨左右,进口总额从2015年到2020年增长了1.5倍^[55],根据国际应用系统分析所建立的经济模型预测,为满足国内需求,到2030年我国将进口超过1500万吨食用油^[57-59]。作为我国食用油主要来源的油菜籽,除1996年外,每年均为净进口状态,近年来进口量均达数百万吨,而出口量仅在百吨左右,2020年净进口量为311.4万吨^[60]。进口植物油的价格优势和国内成本的上涨进一步

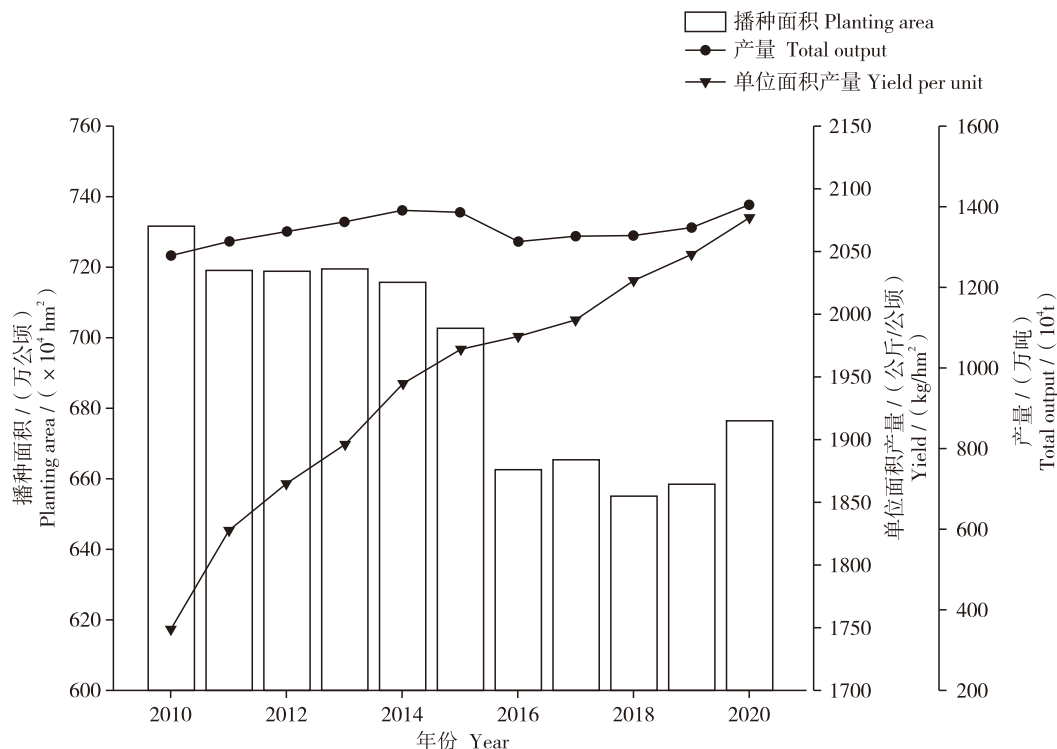
制约国内油菜产业发展^[61],逐渐加深了食用油进口依赖程度,严重威胁着我国油料安全。2022年中央一号文件提出,今年我国将大力实施大豆和油料产能提升工程,在长江流域开发冬闲田扩种油菜。油菜作为冬季作物,不与粮食争地,是扩种油料潜力最大的作物,发展油菜生产势在必行。

以科技发展和品种变革为依托,我国油菜产业经历了三次历史性跨越:1964-1979年甘蓝型油菜替代白菜型油菜实现了低产向中产的首次跨越;1979-2000年以秦油2号和中油821为代表的抗病型油菜品种育成和普及推动了中产向高产的又一次跨越;2000-2010年以中双9号和中油杂2号为代表的双低高产品种的培育和推广进一步推动了油菜产业向高产优质的第三次跨越^[62]。油菜生产技术的科学化发展,使得油菜单产一直呈稳定上升趋势,2020年创2077 kg/hm²的新高^[55]。然而我国油菜年总产量一直徘徊在1300万吨左右,并没有随着单产增加而大幅度提高,其主要原因是近十年来我国油菜播种面积呈下降趋势,2010播种面积为731.6万公顷,2011-2015年一直在702万~720万公顷之间。2016年因寒潮和连阴雨的天气因素导致播种困难,加上国家取消执行了七年的油菜籽托市政策,油菜籽零售价下跌,农民种植积极性不高,使得2016年后油菜播种面积大幅度降低,相对2015年播种面积降低了5.76%~6.78%,2020年相比2019年有小幅提升(图1)^[55]。

扩大油菜种植面积是提升我国油菜总产的重要途径。在我国冬油菜主产区-长江流域适宜种植油菜的冬闲田占油菜总种植面积的41%^[55],且有逐年增加的趋势^[63],参照长江流域各省油菜的平均单产1.98 t/hm²计算,若有效利用该地区冬闲田种植油菜,年生产油菜可增加533.6万吨,约为我国目前油菜产量的39.2%^[55],因此,大力利用南方冬闲田发展油菜生产是提高我国油料产能的有效策略。

2.2 利用冬闲田种植油菜促进粮油兼丰

2.2.1 水稻-油菜(油用)轮作对水稻生产的影响
冬油菜主产区前茬作物主要为水稻,种植面积占同时期夏季作物总面积的59.6%^[10],水稻-油菜轮作是我国秦岭淮河以南主要的耕作制度,在长江流域各省有大面积的分布^[64]。水稻是我国第二大粮食作物,占粮食总产量的32%,我国超过50%的人口以大米为主食^[10],其产量和品质对我国粮食安全起着至关重要的作用,水稻-油菜轮作在减少水稻病虫害发生、提高稻米产量品质方面具有积极的促进



注:数据来源于国家统计年鉴

Note: Data are from the National Statistics Yearbook

图1 2010–2020年全国油菜总产量、播种面积和单产变化

Fig. 1 Total output, total planting area and yield per unit area of oilseed rape in China from 2010 to 2020

作用。

油菜特殊的生防作用不仅可以自我保护,还可以通过改善影响土壤中的生物结构,对后茬作物起保护作用。稻区施行轮作,水稻害虫因找不到合适寄主,减少了越冬场所,增加了稻作的抗病虫能力,能有效地减轻水稻的病虫害^[65]。同时,油菜根系产生的挥发性水解产物和可溶性水解产物均有抑菌效应,轮作可抑制水稻等后茬作物病虫害的发生^[36]。研究表明,水稻–油菜轮作可降低水稻枯心率和白叶率,减少田间杂草种类,降低杂草覆盖度;降低水稻病株率和病情指数,效果比蚕豆、黑麦草、紫云英轮作都更显著^[8],通过水稻–油菜轮作能提高水稻抗病能力,抑制杂草生长,减少农药用量。

与水稻–小麦和水稻–休闲轮作模式相比,水稻–油菜轮作模式的积温利用率、磷钾利用率更高,具有较小的环境风险^[42],对水稻产量、品质均有所提升。孙博研究表明,在相同施肥方式下,水稻–油菜轮作模式中的水稻产量最高,较其他模式(水稻–小麦、水稻蔬菜、水稻–冬闲)高出6.7%~10.7%,且在优化施肥方式下可提高水稻的磷素累积量和磷素利用率^[66]。马鹏等研究发现,水稻–油菜轮作模式下水稻产量、地上部生物量和氮肥偏生产力均显著高

于相同条件下的水稻–小麦轮作模式,水稻–油菜轮作具有明显的养地效果,在减量施氮时仍能维持水稻的高产稳产,减少化肥的用量^[67],说明该模式具有较好的节肥效果,这在朱芸的研究中也有相似的结果^[68]。张顺涛等通过多点试验也发现,水稻–油菜轮作较水稻–小麦轮作模式中的水稻生物量平均增加18.25%,每穗粒数平均增加18.68%,氮素累积量平均提升23.07%;四个试验点的结果显示,水稻–油菜轮作通过显著增加有效穗数、每穗粒数使稻谷产量较水稻–小麦轮作分别增加4.6%、6.6%、17.3%和6.0%^[69]。

此外,长期连作水稻会出现土壤养分失衡、水稻抗病虫害能力下降等问题^[70],采用合适的轮作制度是克服水稻连作障碍的有效措施,因此,将油菜纳入水稻轮作生产模式中可在提升油菜种植面积及产量的同时通过肥田养地提高水稻质量和产量,同时减少农药化肥的用量,促进粮油绿色高效生产。

2.2.2 水稻–油菜(肥用)轮作对水稻生产的影响除了水稻–油菜轮作模式外,稻–稻–油轮作也是长江流域典型种植模式,多应用于湖南、江西等长江中下游双季稻区^[71]。双季稻一般三月上旬种植早

稻,晚稻十一月上旬收获,冬季轮作作物生长期仅为110天左右,存在茬口紧的问题^[72]。而在不与油争地,不与地争油的前提下,充分利用茬口紧的冬闲田发展绿肥油菜,有助于耕地质量提升,为优质稻米生产提供重要的绿色支撑。

油菜生物量大、易腐解,种植成本低,利用油菜作绿肥可实现“以小肥换大肥”,促进水稻生产。油菜盛花期碳氮比为20~25:1,比传统绿肥紫云英的13~16:1作绿肥还田更利于水稻对养分的吸收,连年绿肥种植通过提高土壤微生物的活性,激活土壤中养分吸收利用相关的酶活性,可持续促进水稻产量提升^[73],在邓力超的研究中连续两年油菜绿肥还田水稻产量分别提升了5.87%和7.34%^[74]。在水稻生产中油菜绿肥种植对水稻产量的影响主要表现在显著增加叶面积指数、剑叶叶长及叶宽、叶绿素含量、光合速率和干物质的积累量,有效穗数可增加10%左右^[75]。此外,前茬油菜可以稳定并提高土壤中蛋白酶活性,能有效延缓水稻叶片的衰老,提高水稻产量^[76]。谭景艾等研究则发现冬种绿肥油菜可显著提高水稻千粒重,从而提高水稻产量;同时,稻田中鸭舌草、稗草和总草密度均显著下降,纹枯病发病率降低^[77]。油菜作绿肥对早稻和晚稻产量影响存在一定差异,在湘南红壤稻田,油菜作绿肥使得早稻增产19.2%、晚稻增产高达24.0%^[78]。油菜生长迅速,产草量高,翻压后不误下茬作物插秧农时,可以通过改善土壤地力提高水稻产量、品质,减少病虫害,一定程度上减施化肥农药,促进水稻生长。

3 结语

不论是作为菜籽生产还是绿肥应用,油菜均表现出优异的养地效果,其生长过程可优化土壤物理性状、提高微生物活性、增加养分含量,适应并改善存在逆境胁迫的耕地;油菜种植或作为绿肥翻压均可以活化并增加土壤养分,为后茬作物提供持续肥源,提高其产量品质,并因油菜特殊的生防作用,可以减少化学农药的使用。然而由于机械化程度不足、单产水平和经济效益偏低、农民种植积极性不高导致了油菜种植面积下降、油菜总产徘徊不前。2020~2021年度我国居民食用植物油消费量达到3794.1万吨,且呈现增长趋势,其中仅有30%左右由国内油料作物提供^[79]。在国内耕地资源紧张,国际局势动荡双重压力下,食用油供给安全形势严峻,油菜作为我国植物食用油重要来源,其生产对

保障国家粮油安全具有重要意义,因此,充分挖掘利用油菜用地养地优势,因地制宜,加强南方稻田不同模式下适宜油菜品种配置及油菜轻简高效生产技术产品研发,以扩大南方冬闲田油菜种植面积提升油菜产量为主要措施,是实现我国粮油兼丰的重要途径。

参考文献:

- [1] 王汉中. 以新需求为导向的油菜产业发展战略[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(5): 613-617. DOI: 10.7505/j.issn.1007-9084.2018.05.001.
- [2] 官春云. 改变冬油菜栽培方式, 提高和发展油菜生产[J]. 中国油料作物学报, 2006, 28(1): 83-85.
- [3] 蔡常被. 水田油菜用地养地初步调查研究[J]. 湖北农业科学, 1978, 17(8): 12-13.
- [4] 鲜孟筑, 杨萍, 胡立勇, 等. 油菜种子萌发成苗期耐低温性评价[J]. 作物杂志, 2015(5): 116-122. DOI: 10.16035/j.issn.1001-7283.2015.05.022.
- [5] 杨敬林, 李琳, 胡德勇. 长期稻-稻-油菜轮作对土壤理化性质及微生物群落结构的影响[J]. 河南农业科学, 2017, 46(9): 45-49, 61. DOI: 10.15933/j.cnki.1004-3268.2017.09.008.
- [6] 崔顺吉, 陈传顺, 邱洪亮, 等. 白浆土上油菜绿肥改土肥田效应的研究[J]. 土壤通报, 1979, 10(1): 25-27. DOI: 10.19336/j.cnki.trtb.1979.01.008.
- [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. DOI: 10.13254/j.jare.2019.0566.
- [8] 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. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2019.15.010.
- [9] 鲍文杰, 刘易科, 黄宇富, 等. 利用长江中下游地区冬闲田发展小麦和大麦生产的关键技术[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(12): 2729-2733. DOI: 10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2014.12.036.
- [10] 王汉中, 殷艳. 我国油料产业形势分析与发展对策建议[J]. 中国油料作物学报, 2014, 36(3): 414-421. DOI: 10.7505/j.issn.1007-9084.2014.03.020.
- [11] 吴章丽. 几种植物根系在黏质红壤中的钻孔性能及改土作用[D]. 武汉: 华中农业大学, 2020. DOI: 10.27158/d.cnki.ghznu.2020.000651.
- [12] 王玲莉, 许桂玲, 冯跃华, 等. 不同冬种模式对土壤物理性质和后茬杂交水稻产量的影响[J]. 山地农业生物学报, 2020, 39(5): 9-14. DOI: 10.15958/j.cnki.sdnyswxb.2020.05.002.
- [13] 方慧, 颜秋晓, 柳小兰, 等. 油菜全生长期中土壤理

- 化性质的变化及重金属污染评价[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(23): 344–348. DOI: 10.15889/j.issn.1002-1302.2018.23.085.
- [14] 张顺涛, 任涛, 周橡棋, 等. 油/麦-稻轮作和施肥对土壤养分及团聚体碳氮分布的影响[J]. 土壤学报, 2022, 59(1): 194–205. DOI: 10.11766/trxb202004090091.
- [15] 王学芳, 孙万仓, 李孝泽, 等. 河西走廊种植冬油菜的环境效应[J]. 作物学报, 2008, 34(12): 2210–2217. DOI: 10.3721/SP.j.1006.2008.02210.
- [16] 王学芳, 孙万仓, 李芳, 等. 中国西部冬油菜种植的生态效应评价[J]. 应用生态学报, 2009, 20(3): 647–652. DOI: 10.13287/j.1001-9332.2009.0096.
- [17] 庄顺琪, 阎秀玲, 王武平, 等. 油菜在轮作中培肥效果的研究[J]. 中国油料, 1985, 7(4): 36–40.
- [18] 刘慧. 油菜绿肥还田对盐碱土壤有机碳及酶活性的影响[D]. 石河子: 石河子大学, 2020.
- [19] 刘晓伟, 鲁剑巍, 李小坤, 等. 冬油菜叶片的物质及养分积累与转移特性研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 956–963. DOI: 10.11674/zwf.2011.0481.
- [20] 卢胜, 张振华. 长期稻油轮作改良土壤结构提高水稻产量[J]. 土壤通报, 2018, 49(2): 409–414. DOI: 10.19336/j.cnki.trtb.2018.02.21.
- [21] Hedley M J, White R E, Nye P H. Plant-induced changes in the rhizosphere of rape (*Brassica napus* var. emerald) seedlings. iii. changes in L value, soil phosphate fractions and phosphatase activity [J]. New Phytol, 1982, 91(1): 45–56. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1982.tb03291.x.
- [22] Bolan N S, Naidu R, Mahimairaja S, et al. Influence of low-molecular-weight organic acids on the solubilization of phosphates [J]. Biol Fert Soils, 1994, 18(4): 311–319. DOI: 10.1007/BF00570634.
- [23] Sharpley A N, Smith S J. Fractionation of inorganic and organic Phosphorus in virgin and cultivated soils [J]. Soil Sci Soc Am J, 1985, 49(1): 127–130. DOI: 10.2136/sssaj1985.03615995004900010025x.
- [24] 崔建宇, 王敬国, 张福锁. 肥田萝卜、油菜对金云母中矿物钾的活化与利用[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(4): 328–334. DOI: 10.3321/j.issn: 1008-505X.1999.04.006.
- [25] Zhang F S, Ma J, Cao Y P. Phosphorus deficiency enhances root exudation of low-molecular weight organic acids and utilization of sparingly soluble inorganic phosphates by radish (*Raphanus sativus* L.) and rape (*Brassica napus* L.) plants [M]//Plant Nutrition for Sustainable Food Production and Environment. Dordrecht: Springer Netherlands, 1997: 301–304. DOI: 10.1007/978-94-009-0047-9_88.
- [26] Papavizas G. Suppression of *Aphanomyces* root rot of peas by cruciferous soil amendments [J]. Phytopathology, 1966, 56: 1071–1075. Corpus ID: 83427114
- [27] 高明珠, 孙振亚, 吕良鸿. 油菜绿肥的肥田作用[J]. 新疆农垦科技, 1985, 8(1): 18–20.
- [28] Angus J F, Gardner P A, Kirkegaard J A, et al. Biofumigation: Isothiocyanates released from *Brassica* roots inhibit growth of the take-all fungus [J]. Plant Soil, 1994, 162(1): 107–112. DOI: 10.1007/BF01416095.
- [29] 顾焱明, 李银水, 谢立华, 等. 浅析油菜作为绿肥的应用优势[J]. 中国土壤与肥料, 2019(1): 180–183. DOI: 10.11838/sfsc.1673-6257.18041.
- [30] Racke K D, Coats J R. Enhanced biodegradation of insecticides in Midwestern corn soils [M]//ACS Symposium Series. Washington, DC: American Chemical Society, 1990: 68–81. DOI: 10.1021/bk-1990-0426.ch006.
- [31] Brown P D, Morra M J, McCaffrey J P, et al. Allelochemicals produced during glucosinolate degradation in soil [J]. J Chem Ecol, 1991, 17(10): 2021–2034. DOI: 10.1007/BF00992585.
- [32] Handiseni M, Brown J, Zemetra R, et al. Effect of Brassicaceae seed meals with different glucosinolate profiles on *Rhizoctonia* root rot in wheat [J]. Crop Prot, 2013, 48: 1–5. DOI: 10.1016/j.cropro.2013.01.006.
- [33] Mazzoncini M, Barberi P, Cerrai D, et al. Effects of green manure on soil nitrogen availability and crop productivity in a Mediterranean organic farming system [M]. Scheurer N W. a. M. (Ed.), Eurosoil. Freiburg, Germany, 2004.
- [34] 董晓霞, 刘兆辉, 王梅, 等. 绿肥对番茄发病率和土壤微生物种群数量的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(S1): 309–312.
- [35] 李锋, 张春雷, 李光明. 油菜硫苷组分含量及抑菌活性研究[J]. 武汉植物学研究, 2006, 24(4): 351–356. DOI: 10.3969/j.issn.2095-0837.2006.04.015.
- [36] 刘国顺, 罗贞宝, 王岩, 等. 绿肥翻压对烟田土壤理化性状及土壤微生物量的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(1): 95–98. DOI: 10.13870/j.cnki.stb-cxb.2006.01.023.
- [37] 刘苏闽, 王奎萍, 董立尧. 油菜对千金子的化感作用及其化感物质分离鉴定[J]. 杂草科学, 2010, 28(3): 5–8. DOI: 10.19588/j.issn.1003-935x.2010.03.002.
- [38] 方玉婷, 江冰冰, 杨敏, 等. 油菜与烟草疫霉菌化感互作研究 [C]//中国植物病理学会 2015 年学术年会论文集. 海口, 2015: 532.
- [39] 朱芸, 闫金垚, 丛日环, 等. 油菜与小麦秸秆浸出液对水稻种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国油料作物学报, 2021, 43(2): 241–250. DOI: 10.19802/j.issn.1007-9084.2019232.
- [40] 李淑英, 路献勇, 程福如, 等. 油菜秸秆对 5 种杂草种

- 子萌发和生长的化感效应[J]. 杂草学报, 2020, 38(2): 33-42. DOI: 10.19588/j.issn.1003-935X.2020.02.005.
- [41] 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. DOI: 10.3969/j.issn.1002-381X.2012.08.020.
- [42] 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. DOI: 10.11674/zwyf.15423.
- [43] 李国林, 李星国, 岳景范, 金艳春. 绿肥油菜对盐碱地水田的改土增产效果[J]. 土壤通报, 1979, 10(1): 17-20. DOI: 10.19336/j.cnki.trtb.1979.01.006.
- [44] 李建华. 环境科学与工程辞典 修订版 下[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005.
- [45] Yamaguchi T, Blumwald E. Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities [J]. Trends Plant Sci, 2005, 10(12): 615-620. DOI: 10.1016/j.tplants.2005.10.002.
- [46] 左青松, 蒯捷, 刘浩, 等. 土壤盐分对油菜氮素积累、运转及利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(3): 827-833. DOI: 10.11674/zwyf.16279.
- [47] 汪波, 文静, 张风华, 等. 耐盐碱油菜品种选育及修复利用盐碱地研究进展[J]. 科技导报, 2021, 39(23): 59-64. DOI: 10.3981/j.issn.1000-7857.2021.23.009.
- [48] 梅勇. 利用耐盐植物欧洲油菜修复盐碱荒地[C]//Environmental Systems Science and Engineering (ICESSE 2011 V1. 大连, 2011: 360-367.
- [49] 汪波, 张哲, 杨华, 等. 油菜多功能利用优势解析[J]. 长江蔬菜, 2019(4): 29-32. DOI: 10.3865/j.issn.1001-3547.2019.04.011.
- [50] 周韬韞. 我国农田土壤重金属污染及其防治策略研究进展[J]. 南方农机, 2021, 52(10): 33-35. DOI: 10.3969/j.issn.1672-3872.2021.10.011.
- [51] Cao X R, Wang X Z, Tong W B, et al. Distribution, availability and translocation of heavy metals in soil-oilseed rape (*Brassica napus* L.) system related to soil properties [J]. Environ Pollut, 2019, 252: 733-741. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.05.147.
- [52] 南帅帅, 王亚, 刘强, 等. 油菜对铅镉污染土壤的修复效果研究[J]. 环境研究与监测, 2018, 31(1): 5-8.
- [53] Wang X, Bai J Y, Wei T, et al. Oilseed rape cultivation increases the microbial richness and diversity in soils contaminated with cadmium [J]. J Soils Sediments, 2018, 18(7): 2451-2462. DOI: 10.1007/s11368-018-1938-y.
- [54] 黎红亮, 杨洋, 陈志鹏, 等. 花生和油菜对重金属的积累及其成品油的安全性[J]. 环境工程学报, 2015, 9(5): 2488-2494.
- [55] 国家统计局. 国家统计年鉴[R]. 北京: 中国统计出版社, 2004-2021.
- [56] 刘成, 冯中朝, 肖唐华, 等. 我国油菜产业发展现状、潜力及对策[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(4): 485-489. DOI: 10.7505/j.issn.1007-9084.2019.04.001.
- [57] Fischer G, Huang J, Keyzer, et al. China's agricultural prospects and challenges: report on scenario simulations until 2030 with the Chinagro welfare model covering national, regional and County level[R]. 2007.
- [58] Keyzer M, Veen V W C M. China's food demand, supply and trade in 2030: simulations using the Chinagro II model[R]. CATSEI Synthesis Report, 2011.
- [59] Tian Z, Ji Y H, Sun L X, et al. Changes in production potentials of rapeseed in the Yangtze River Basin of China under climate change: a multi-model ensemble approach [J]. J Geogr Sci, 2018, 28(11): 1700-1714. DOI: 10.1007/s11442-018-1538-1.
- [60] 张冉, 曹娟娟, 濮超, 等. 中国油菜籽、菜籽油供需分析及发展建议[J/OL]. 中国油脂: 1-12[2022-08-19]. DOI: 10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.210729.
- [61] 谢慧, 谭太龙, 罗晴, 等. 油菜产业发展现状及面临的机遇[J]. 作物研究, 2018, 32(5): 431-436. DOI: 10.16848/j.cnki.issn.1001-5280.2018.05.17.
- [62] 王汉中. 中国油菜品种改良的中长期发展战略[J]. 中国油料作物学报, 2004, 26(2): 98-101. DOI: 10.3321/j.issn:1007-9084.2004.02.025.
- [63] 李文梅, 覃志豪, 李文娟, 等. 基于MODIS-NDVI时序数据的南方冬闲田信息提取[J]. 中国农学通报, 2010, 26(7): 324-329. DOI: cnki:sun:zntb.0.2010-07-073.
- [64] 黄华磊, 石有明, 谷名禹, 等. 稻油轮作制中栽培方式对油菜产量和经济效益的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(12): 229-233. DOI: 10.11924/j.issn.1000-6850.2013-2122.
- [65] 吕严凤, 李长欣, 蒋容, 等. 油枯对镉污染土壤的钝化研究[J]. 核农学报, 2017, 31(6): 1166-1172. DOI: 10.11869/j.issn.100-8551.2017.06.1166.
- [66] 孙博. 不同轮作模式对作物产量以及磷肥利用率的影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2019.
- [67] 马鹏, 杨志远, 李郁, 等. 轮作体系下麦/油减量施氮与水稻氮肥运筹对作物产量和氮素吸收的影响[J]. 浙江农业学报, 2019, 31(11): 1769-1778. DOI: 10.3969/j.issn.1004-1524.2019.11.01.
- [68] 朱芸. 油—稻与麦—稻轮作体系水稻产量差异及其养分机制初探[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019. DOI: 10.7666/d.Y3586074.
- [69] 张顺涛, 鲁剑巍, 丛日环, 等. 油菜轮作对后茬作物产量的影响[J]. 中国农业科学, 2020, 53(14): 2852-2858. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2020.14.009.

- [70] 刘益珍, 姜振辉. 稻田水旱轮作生态效应研究进展及发展建议[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(20): 19-23. DOI: 10.15889/j.issn.1002-1302.2019.20.005.
- [71] 张智. 长江流域冬油菜产量差与养分效率差特征解析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2018.
- [72] 李士文. 廉江市冬闲水稻田甜玉米栽培技术[J]. 广东农业科学, 2011, 38(6): 30-31. DOI: 10.16768/j.issn.1004-874x.2011.06.054.
- [73] 章秀福, 王丹英, 彭建, 等. 油菜做绿肥还田的培肥效应及对水稻生长的影响[A]. 全国第十四届水稻优质高产理论与技术研讨会论文集[C]. 武汉: 中国作物学会, 2011.
- [74] Deng L, Li M, Fang L, et al. Green manure rape returned to field on rice yield and soil fertility[J]. Agricultural Science & Technology, 2018, 19(6): 5-9. DOI: 10.16175/j.cnki.1009-4229.2018.06.002.
- [75] 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. DOI: 10.3969/j.issn.1001-7216.2012.01.014.
- [76] 符冠富, 王丹英, 徐春梅, 等. 稻田冬季保护性耕作条件下的土壤酶活性与水稻成熟期叶片衰老和籽粒产量之间的关系[J]. 中国水稻科学, 2009, 23(1): 43-50. DOI: 10.3969/j.issn.1001-7216.2009.01.007.
- [77] 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.
- [78] 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. DOI: 10.3724/SP.J.1006.2013.00343.
- [79] 张婧妤, 许本波, 郑家喜. 我国食用植物油消费变化分析及改革对策[J]. 中国油脂, 2022, 47(3): 5-10. DOI: 10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.210640.

(责任编辑: 王丽芳)