

适宜茶园套种的绿肥型油菜资源筛选及初步应用

梁丽妮¹, 郭晓光¹, 廖星², 秦璐^{2*}, 廖红^{1*}

(1. 福建农林大学/根系生物学研究中心, 福建 福州, 350002;

2. 中国农业科学院油料作物研究所/农业农村部油料作物生物学与遗传育种重点实验室, 湖北 武汉, 430062)

摘要: 为推广生态茶园油菜绿肥套种模式, 于2017–2018年在茶园系统评价筛选适宜套种的油菜资源。比较23个不同油菜品种(品系)盛花期植株的生长与养分还田量, 结果发现: 茶园套种油菜的生物量、株高、养分还田量等指标表现存在差异; 种植后根际土pH、有机质、碱解氮含量发生改变。综合比较发现, 品种阳光131、圣光86和中双11表现相对较好: 单株生物量达0.81~1.00 kg; 植株养分还田量高, 三者的氮磷钾养分还田量分别为49.21~72.48 kg/hm²、12.64~17.40 kg/hm²和33.64~56.29 kg/hm², 可基本满足茶青的生长需求, 且三个品种种植后土壤有效养分和有机质的改善较为明显。大地69和油肥1号株高相对较矮, 适宜在低龄或矮枞茶园中套种。于2018–2019年探索油菜品种阳光131作为绿肥在不同树龄茶园套种的应用, 发现土壤的有机质含量明显改善, pH值有所提升。综上, 冬季茶/油菜(绿肥)套种模式中绿肥型油菜品种的优选及应用将有利于优质高效生态茶园建设, 并将助力我国茶产业转型升级和可持续发展。

关键词: 甘蓝型油菜; 茶园; 套种; 绿肥; 土壤肥力

中图分类号: S565.4; S142+.3

文献标识码: A

文章编号: 1007-9084(2019)06-0825-10

Screening and preliminary application of rapeseed materials as green manure intercropped in tea plantations

LIANG Li-ni¹, GUO Xiao-guang¹, LIAO Xing², QIN Lu^{2*}, LIAO Hong^{1*}

(1. Fujian Agriculture and Forestry University/ Root Biology Center, Fuzhou 350002, China; 2. Oil Crops Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences /Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Oil Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430062, China)

Abstract: For better construction and promotion of tea-rapeseed intercropping mode in China, 23 rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars and lines were evaluated and screened for their adaptation to tea plantations as green manure in 2017–2018. Results showed differences among the blooming rapeseeds in plant biomass, plant height and nutrients return to field. After returning, soil pH, organic matter and alkaline N content were improved by most of the rapeseed as green manures. Among the 23 rapeseed materials, cultivar Yangguang 131, Shengguang 86 and Zhongshuang 11 had optimal value. They had the highest plant biomass (0.81–1.00 kg), returned the highest N (49.21–72.48 kg/hm²), P (12.64–17.40 kg/hm²) and K (33.64–56.29 kg/hm²), which could meet the demand for tea leaves. Furthermore, soil organics were improved obviously. Two other cultivars Dadi 69 and Youfei 1 had the potential to intercrop with young or dwarf tea because of their short plant heights. By application of Yangguang 131 in 2 tea plantations with different ages of tea plants during 2018–2019, soil organic and pH were obviously improved after green manure application. In summary, rapeseed cultivars were optimal as green manure in tea plantation. It could be expected for continual winter tea/rapeseed plantation and tea production in China.

Key words: *Brassica napus* L.; tea plantation; intercropping; green manure; soil fertility

收稿日期: 2019-09-17

基金项目: 国家绿肥产业技术体系专项(CARS-22)

作者简介: 梁丽妮(1994–), 女, 湖北安陆人, 硕士研究生, 主要从事植物营养研究, E-mail: 18559180932@163.com

* 通讯作者: 廖红(1969–), 女, 四川资中人, 教授, 从事植物营养生理与遗传研究, E-mail: hliao@fafu.edu.cn; 秦璐(1984–), 女, 贵州凯里人, 副研究员, 从事油料作物营养生理研究, E-mail: qinlu-123@126.com

茶(*Camellia sinensis* L.)是我国的国饮,是我国重要的经济作物之一。截至2018年世界茶叶产量已达到585.64万吨,中国茶叶产量达到261万吨,位居世界第一^[1]。然而,近年来随着茶叶产量的不断提高,茶园土壤却普遍存在地力下降、有机质与微量元素偏低、酸化加剧、生态环境对外界抵抗力弱等问题^[2,3]。在国家大力倡导绿色农业发展理念的背景下,推进优质高效生态茶园建设,是保障我国茶产业健康可持续发展的重要途径^[4]。

绿肥是最清洁的有机肥源,具有改良土壤理化性质、培肥土壤地力的作用,同时是土壤微生物多样性的重要来源,绿肥翻压还田可显著增加土壤微生物群落组成、活性及种群丰度;且绿肥翻压还田可部分替代无机化肥,以减少化肥施用,实现绿色农业可持续发展^[5,6]。茶园套种绿肥可改善土壤状况、提升土壤肥力、营造良好的微生态环境,促使茶树生长、提升茶叶产量,从而提高茶园的经济效益和生态效益,并且通过改善茶园的生物多样性,实现茶树可持续性栽培^[7,8]。因此,茶园间套种绿肥是生态茶园建设的重要措施之一。

油菜是我国南方主要的越冬作物,具有抗寒、耐旱、地域适应性较广等特点。同时,油菜种植成本较低、生物量大、肥效好、功能多、应用范围广^[9],可作为冬季绿肥作物开发利用。与豆科绿肥相比,油菜作为绿肥具有一些独特的应用优势。一方面,油菜根系能够分泌多种有机酸和酶类物质,活化释放土壤中难溶性营养元素,特别是难溶态磷,从而提高土壤中养分的生物有效性^[10,11];另一方面,油菜植株体内富含重要次生代谢物硫甙葡萄糖苷,其在内源芥子酶的作用下水解产生的一系列降解产物,如异硫氰酸酯^[12],能够有效杀死和抑制土壤中的病原菌和虫卵等,起到生物防治病虫害的作用^[13,14]。此外,油菜作为绿肥可形成菜用、观赏、绿肥、养蜂的多功能利用模式,具有显著的生态效益和经济效益^[15]。

目前,油菜作为绿肥翻压还田对培肥土壤和提升后茬作物产量方面的研究较为普遍,冯慧敏、邓力超等^[15,16]研究发现,油菜绿肥可提高土壤碱解氮、速效磷、速效钾及有机质含量,同时能促进后茬水稻增产。杨旭燕等^[17]在油菜(绿肥)-玉米轮作方面的研究也同样说明了油菜作为绿肥的培肥效应。油菜作为绿肥在果园也有一定探索应用,陈灿^[18]研究结果显示,在化肥施用量减半条件下,翻压油菜绿肥可提高枸杞地土壤养分含

量,增加枸杞干果产量。近年来,果园套种油菜绿肥也成为果农易于接受的土壤培肥方法,2019年新疆库尔勒市大力推广香梨园春播套种油菜绿肥^[19],延安市在苹果园树行间轮作种植豆科和十字花科油菜等绿肥的果园豆菜轮茬增肥技术被农业农村部列为2019年全国农业主推技术之一,果园油菜绿肥适时翻压,可有效提高果园土壤有机质、减少化肥施用量、促进果实授粉,对果实品质的改善具有重要作用^[20,21]。

然而,油菜作为冬季绿肥作物在茶园套种应用研究报道相对较少。生产中,油菜在茶园套种的应用已经展现出良好的势头,不仅可充分利用茶园行间空地,丰富茶园的生态多样性,提供清洁有效的有机肥源,同时菜花的观赏价值还有利于开发观光茶园,带来经济收入^[22]。但是,以往研究表明不同油菜品种的环境适应性、养分利用效率和还田效率均存在一定差异^[23]。不同品种油菜的高产、稳产性受到其基因型与环境之间互作效应的影响,不同品种对环境的适应性也有所不同^[24],例如不同基因型油菜的株高在环境适应性上存在差异^[25]。因此,有必要筛选适宜茶园的油菜品种,从茶园的实际情况和特点,综合筛选环境适应性、生长势、生物量、养分还田量以及对土壤培肥效果较好的油菜资源,为建设冬季茶/油菜(绿肥)套种模式,推广茶园间套种技术,从而建设优质高效生态茶园提供材料和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

筛选试验的供试茶园中茶树为两年生铁观音。供试23个油菜资源为常规油菜品种(品系)及杂交油菜品种,由中国农业科学院油料作物研究所植物营养与施肥课题组收集提供。品种(品系)编号及名称分别为:1. 大地69;2. 大地78;3. 大地95;4. 大地199;5. 希望759;6. 希望122;7. 希望129;8. 希望152;9. 0955(品系);10. 0958(品系);11. 中油607;12. 中油701;13. 中油712;14. 中双11;15. 阳光131;16. 阳光2009;17. 华油杂62;18. 华油杂8号;19. 圣光86;20. 圣光77;21. 油肥1号;22. 泮油730;23. 新洲芥菜(品系)。

1.2 试验设计

1.2.1 绿肥型油菜资源筛选试验 于2017-2018年在福建省安溪县安溪茶叶合作社茶叶生产基地进行(E117.80°, N24.95°),基地属亚热带季风气

候。供试土壤为南方酸性红壤,基本理化性质:pH 4.54;有机质,6.92 g/kg;碱解氮,29.35 mg/kg;速效磷,42.45 mg/kg;速效钾,39.21 mg/kg。茶园中茶树株高为40 cm,茶树株距为40 cm,茶行宽度为1 m,油菜播种于茶行之间。

油菜采用直播方式,播种密度约为27 000株/hm²,播期为2017年11月17日,于盛花期(2018年3月24日)进行收获。试验共设24个小区,每个品种(品系)为1个小区,小区面积为36 m²,在每个小区内采收4株具有代表性的植株样品作为生物学重复,以不种植油菜的小区作为对照处理。播种前沟施茶树专用有机肥(养分含量为10%,N-P-K为6-2-3,N、P₂O₅、K₂O施用量分别为72 kg/hm²、36 kg/hm²、24 kg/hm²)作基肥,覆土后均匀将油菜种子撒播于茶行中。茶园田间管理措施同常规管理措施一致。

1.2.2 茶园套种应用试验 于2018-2019年在福建省武夷山市燕子窠基地(E117.93°,N27.66°)两个肉桂茶园内进行,1号茶园(TG1)树龄为20年,2号茶园(TG2)树龄为6年。油菜品种为阳光131。茶树株高为100 cm,株距为70 cm,土壤为南方酸性红壤,基本理化性质:pH 4.47;有机质17.74 g/kg;碱解氮81.67 mg/kg;速效磷98.17 mg/kg;速效钾170.43 mg/kg。油菜播种方式和播种量同上,播期为2018年11月15日,于盛花期(2019年3月25日)进行翻压还田。

1.3 样品的采集与处理

植株样品的采集与处理:每个品种(品系)收获具有代表性的油菜4株,测定油菜样品株高和鲜重,收获后杀青(105℃,15 min),65℃烘干至恒重后用于植株干重测定。

土壤样品的采集与处理:油菜植株连根挖起,采用抖落法采集油菜根部附着的土壤即为根际土^[26],根围土则在距离油菜约20 cm处,没有根系的区域采集0~20 cm土层的混合土壤^[27]。优选油菜品种阳光131茶园套种应用试验每个茶园内设6个采样点,分别于2019年3月12日(绿肥翻压前)和2019年6月11日(绿肥翻压后)采收茶树滴水线垂直投影处0~20 cm土层土壤样品。所有土样在通风阴凉处进行风干,研磨后过2 mm筛分装备用,均测定pH值,有机质、碱解氮、速效磷及速效钾含量等5项指标。

1.4 项目测定与方法

植株养分的测定与计算:采用H₂SO₄-H₂O₂消

煮-流动分析仪方法测定植株氮、磷养分含量,并采用H₂SO₄-H₂O₂消煮-火焰光度法测定植株钾养分含量。考虑到油菜实际养分还田量与植物养分累积量之间的差值,本研究中油菜植株的氮、磷、钾养分还田量根据文献分别按照植株氮、磷、钾养分累积量的55.62%、55.62%、100%进行计算得到^[28];茶青带走的养分根据Sun等^[29,30]试验数据的平均值:春、秋两季收获,按3000 kg/hm²、干鲜比0.3、茶叶的氮、磷、钾分别为21 mg/g、3 mg/g和15 mg/g计算得到每季茶青的养分需求量。

土壤理化性质测定方法参考《土壤农化分析》^[31]的方法,pH值采用电位法测定(土:水=1:2.5,质量比),有机质(soil organic matter, SOM):采用高温外热重铬酸钾氧化-容量法测定,碱解氮(alkaline nitrogen, AN):采用1 mmol/L NaOH碱解扩散法;有效磷(available phosphorus, AP):采用Bray I提取~钼蓝比色法;速效钾(available potassium, AK):乙酸铵浸提-火焰光度法。

1.5 数据统计

采用Microsoft Office 2016和SPSS 22.0统计分析软件对试验数据进行处理分析,采用LSD法检验 $P<0.05$ 水平显著性差异,并使用GraphPad Prism 6制图。

2 结果与分析

2.1 不同油菜品种(品系)茶园套种作绿肥的适应性比较

翻压还田时鲜草产量是绿肥应用的重要指标之一,不同油菜品种(品系)作为绿肥应用对茶园的适应性可以根据其盛花期翻压时植株的鲜重、株高进行评价,同时油菜的干重能够反映其作为绿肥翻压还田的有机物总量。从表1可以看出,油菜盛花期鲜重在不同品种(品系)之间表现出极显著差异($P<0.001$),单株鲜重最高可达1.00 kg,最低为0.36 kg,最高值为最低值的2.78倍,变异系数为25.61%。单株鲜重较高的材料分别是中双11、大地199、圣光86、阳光131和华油杂62,鲜重均在0.8 kg以上,其中中双11单株鲜重最高,均值1.00 kg。单株鲜重居中的品种包括大地69、泮油730、大地78、油肥1号 and 0955(品系),植株鲜重在0.61~0.70 kg之间。植株的干重与鲜重的表现趋势基本一致,不同材料之间干重也表现出显著差异($P<0.01$),单株的干重在95.60~219.48 g之间,平均为156.91 g,其中干重最高的品种为圣光86,其次为

中双11。

株高测定结果发现,盛花期株高介于1.05~1.56 m,材料之间有显著性差异($P<0.001$),品种间变异系数为10.27%。株高较高的品种主要有:阳光2009、中油701、大地78、0958(品系)以及中油607,它们的株高均在1.50 m以上,其中最高的为阳光2009,高度为1.56 m。株高居中的包括:大地95、华油杂62、圣光86、阳光131和希望759,株高介于1.30~1.40 m之间;而较低的品种主要有新洲芥菜(品系)、沔油730、大地69和油肥1号,它们的株高均低于1.20 m,最矮的是油肥1号,仅1.05 m(表1)。23个材料中,株高的最大高差达到0.51 m。

2.2 茶园套种的油菜养分还田量与茶青养分需求量比较

通过对比23个供试油菜品种(品系)的氮、磷、钾还田量可知(表2),茶园套种不同油菜品种(品系)之间的氮含量差异极显著($P<0.001$),植株最高氮含量的品种是最低的3.18倍,品种间变异系数为31.42%。其中,氮还田量最高的品种为中双11,可达72.48 kg/hm²;另一方面,不同油菜品种(品系)间磷含量的差异也极显著($P<0.001$),植株的磷还田量介于5.94~17.40 kg/hm²之间,最高值是最低值的2.93倍,品种间变异系数达到27.09%。此外,从植株钾含量结果可看出,不同油菜品种(品系)之间的钾还田量也表现出显著性差异($P<0.01$),钾还田量

表1 茶园套种不同油菜品种(品系)鲜重、干重及株高对比

Table 1 Fresh weight, dry weight and plant height among rapeseed varieties (lines) intercropped with tea plantations

油菜品种(品系) Rapeseed variety (line)	鲜重 Fresh weight /(kg/plant)	干重 Dry weight /(g/plant)	株高 Plant height /cm
大地69 Dadi 69	0.70±0.11 cd	145.31±25.25 bcdef	115.75±6.70 fg
大地78 Dadi 78	0.69±0.07 cd	152.43±19.57 abcdef	152.75±1.38 ab
大地95 Dadi 95	0.49±0.06 def	121.98±16.40 def	138.75±4.39 bcdef
大地199 Dadi 199	0.96±0.07 ab	195.47±12.95 abcd	129.25±6.26 ef
希望759 Xiwang 759	0.75±0.05 bcd	178.83±2.99 abcde	135.00±10.98 ef
希望122 Xiwang 122	0.71±0.06 bcd	172.87±11.13 abcde	143.75±3.20 abcde
希望129 Xiwang 129	0.53±0.03 def	148.47±14.91 abcdef	140.50±3.33 bcdef
希望152 Xiwang 152	0.58±0.06 cdef	142.69±20.33 bcdef	148.00±5.58 abcde
0955	0.61±0.05 cdef	145.09±8.97 bcdef	145.50±1.85 abcde
0958	0.50±0.05 def	135.34±11.37 cdef	151.50±0.87 abc
中油607 Zhongyou 607	0.59±0.09 cdef	137.07±25.28 cdef	150.25±2.46 abcd
中油701 Zhongyou 701	0.43±0.05 ef	109.23±11.85 ef	155.75±2.17 a
中油712 Zhongyou 712	0.71±0.04 bcd	205.34±17.10 abc	148.00±4.26 abcd
中双11 Zhongshuang 11	1.00±0.07 a	214.51±27.96 ab	129.00±4.02 ef
阳光131 Yangguang 131	0.81±0.18 abc	187.43±48.03 abcd	135.50±2.72 ef
阳光2009 Yangguang 2009	0.79±0.08 abc	182.66±32.44 abcde	156.00±2.80 a
华油杂62 Huayouza 62	0.80±0.05 abc	175.59±23.29 abcde	137.50±2.87 cdef
华油杂8号 Huayouza 8	0.43±0.03 ef	113.35±15.87 ef	144.00±2.04 abcde
圣光86 Shengguang 86	0.83±0.07 abc	219.48±18.76 a	136.25±1.6 def
圣光77 Shengguang 77	0.36±0.06 f	95.60±13.66 f	121.25±5.33 f
油肥1号 Youfei 1	0.64±0.05 cde	154.91±20.71 abcdef	104.75±5.48 g
沔油730 Fengyou 730	0.70±0.12 cd	149.96±29.53 abcdef	117.25±2.56 fg
新洲芥菜 Xinzhou jiecai	0.51±0.11 def	125.33±17.12 def	118.75±3.68 f
最大值 Max	1.00	219.48	156.00
最小值 Min	0.36	95.60	104.75
变异系数 CV	25.61%	21.64%	10.27%
F值 F value	4.695***	2.508**	10.452***

注:表中的数据为4个生物学重复的平均值及其标准误差;*表示不同油菜品种(品系)之间的单因素ANOVA分析结果;**表示 $0.001<P\leq 0.01$,***表示 $P\leq 0.001$;不同的字母表示不同油菜品种(品系)之间的单因素ANOVA分析显著性差异结果($P\leq 0.05$)

Note: Data are in mean ± standard error (n=4). * indicates result of one-way ANOVA analysis between different rapeseed varieties; **, $0.001 < P \leq 0.01$, ***, $P \leq 0.001$. Different lowercase letters are significantly different ($P \leq 0.05$)

最高的品种大地 199,其钾还田量是最低品种圣光 77 的 3.38 倍,品种间变异系数为 30.74%。综合不同油菜品种(品系)的氮、磷、钾养分还田量来看,养分还田量较高的品种包括:中双 11、大地 199、圣光 86、希望 759;养分还田量中等的品种:油肥 1 号、沔油 730、阳光 131、大地 78、希望 122 等;较低的品种为:大地 95、中油 701、0958(品系)、华油杂 8 号、圣光 77 等。

从图 1 可以看出,茶园套种的大部分油菜品种(品系)作绿肥还田的氮磷钾养分均高于茶青带走的养分,说明种植油菜翻压用作绿肥提供的氮磷钾养分可基本满足茶青生长对氮、磷、钾等养分的需求,可部分替代化肥的施用。油菜植株氮养分还田

量最高可达 72.48 kg/hm²,最低则为 22.78 kg/hm²,在供试的 23 个品种中有 12 个品种氮的还田含量高于茶青带走的养分 37.80 kg/hm²,其中还田量较高的品种有中双 11、大地 199、油肥 1 号、沔油 730 和圣光 86,它们的氮还田量均在 48.00 kg/hm² 以上。而所有供试油菜品种磷的还田量均高于茶青带走的养分 5.4 kg/hm²,其中磷还田量相对较高的是中双 11、圣光 86 和阳光 131,分别为 17.40、12.96、12.63 kg/hm²。此外,在供试的 23 个油菜品种(品系)中,20 个品种(品系)钾还田量均高于茶青带走的养分,其中钾还田量最高的为大地 199,其次为圣光 86 和希望 759,三个品种的钾还田量分别为 61.87、56.29 和 55.46 kg/hm²。

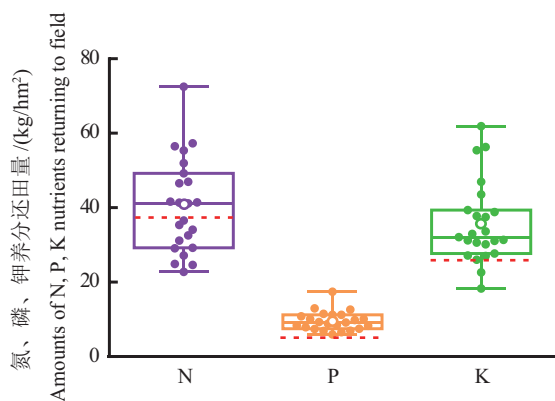
表 2 茶园套种不同油菜品种(品系)氮、磷、钾养分还田量对比

Table 2 N, P, K amounts returning to field by different rapeseed green manure for tea /(kg/hm²)

油菜 Rapeseed	氮 Nitrogen	磷 Phosphorus	钾 Potassium
大地 69 Dadi 69	46.97±4.53 bcde	7.89±0.87 cde	43.57±8.05 abcde
大地 78 Dadi 78	41.20±7.88 bcdef	8.52±2.14 bcde	37.51±6.67 bcdef
大地 95 Dadi 95	27.19±3.53 f	6.88±1.03 cde	27.72±2.85 def
大地 199 Dadi 199	57.30±7.49 ab	11.23±0.86 bcd	61.87±5.91 a
希望 759 Xiwang 759	41.43±1.40 bcdef	11.52±1.13 bc	55.46±3.55 abc
希望 122 Xiwang 122	34.12±2.59 cdef	8.81±0.63 bcde	37.75±3.25 bcdef
希望 129 Xiwang 129	31.19±3.79 def	7.47±0.99 cde	31.07±1.37 def
希望 152 Xiwang 152	29.10±4.53 ef	9.17±1.40 bcde	32.95±4.52 cdef
0955	35.34±6.09 cdef	9.27±0.90 bcde	30.16±2.79 def
0958	24.90±4.52 f	6.95±0.89 cde	27.04±3.99 def
中油 607 Zhongyou 607	32.54±3.61 def	8.29±1.07 bcde	31.38±3.24 def
中油 701 Zhongyou 701	24.60±0.85 f	8.38±0.97 bcde	27.16±3.17 def
中油 712 Zhongyou 712	36.59±3.83 cdef	10.85±1.44 bcd	38.84±6.38 bcdef
中双 11 Zhongshuang 11	72.48±10.39 a	17.40±3.00 a	46.97±12.68 abcd
阳光 131 Yangguang 131	49.21±10.38 bcd	12.64±2.29 b	33.64±10.92 bcdef
阳光 2009 Yangguang 2009	46.59±4.62 bcde	11.21±1.33 bcd	30.62±1.96 def
华油杂 62 Huayouza 62	41.39±4.00 bcdef	10.07±0.99 bcde	39.38±7.83 bcdef
华油杂 8 号 Huayouza 8	22.78±1.51 f	6.56±0.74 de	26.02±9.54 def
圣光 86 Shengguang 86	51.99±2.75 bc	12.96±0.87 b	56.29±14.86 ab
圣光 77 Shengguang 77	29.26±3.23 ef	5.94±0.66 e	18.30±2.80 f
油肥 1 号 Youfei 1	56.49±7.73 ab	10.11±1.30 bcde	32.07±6.33 def
沔油 730 Fengyou 730	55.37±7.40 b	9.83±2.05 bcde	31.22±9.65 def
新洲芥菜 Xinzhou jiecai	41.63±6.85 bcdef	7.41±1.25 cde	22.62±2.37 ef
最大值 Max	72.48	17.40	61.87
最小值 Min	22.78	5.94	18.30
变异系数 CV	31.42%	27.09%	30.74%
F 值 F value	5.185***	3.514***	2.54**

注:表中的数据为 4 个生物学重复的平均值及其标准误差;*表示不同油菜品种(品系)之间的单因素 ANOVA 分析结果;**表示 0.001<P≤0.01;***表示 P≤0.001;不同的字母表示不同油菜品种(品系)之间的单因素 ANOVA 分析显著性差异结果(P≤0.05)

Note: Data are in mean ± standard error (n=4); * indicates result of one-way ANOVA analysis between different rapeseed varieties (lines); ** indicate 0.001 < P ≤ 0.01; *** indicate P ≤ 0.001



注:每个箱中的实线和圆圈分别表示23个油菜品种(品系)还田养分的中值和均值,箱图误差棒的上下方分别表示最大值和最小值,实心点表示每个油菜品种(品系)的养分还田量,三条虚线分别表示茶叶带走的氮、磷、钾养分

Note: Solid lines and circle in each box respectively represent the median and mean value of the returning nutrients of 23 rapeseed varieties (lines), the upper and lower parts of the error bars represent the maximum and minimum values respectively, the solid point indicates the amount of nutrients returned to field of each rapeseed variety (line), and the three dotted lines respectively indicate the nitrogen, phosphorus and potassium taken by the tea leaves

图1 茶园套种不同油菜品种(品系)氮、磷、钾养分还田量

Fig. 1 Amounts of N, P and K nutrients returned to field by different rapeseed varieties (lines) intercropped with tea plantations

2.3 茶园套种油菜根际和根围土壤理化性质比较

从图2可以看出,大部分油菜品种(品系)根际土和根围土的pH值、有机质、碱解氮含量相比对照均有所提升,说明种植油菜有利于改善土壤肥力。不同油菜品种(品系)根际土的pH值介于4.34~5.62之间,除阳光2009外均高于对照。在供试材料中,希望152根际土的有机质含量最高,达19.49 g/kg,大地78则最低,为11.51 g/kg,两者之间相差1.69倍(文后OSID码附件)。对根围土而言,与对照相比,pH、有机质、碱解氮和速效钾含量均有所提升,而有效磷有所降低;其中根围土的pH介于4.78~5.97之间,有机质的含量介于10.15~14.76 g/kg之间,所有品种(品系)根围土的pH和有机质含量均高于对照。此外,根围土速效钾含量变化较大,其中中油712根围土速效钾的含量最高,达78.79 mg/kg,圣光77根围土速效钾则最低为26.73 mg/kg,两者相差2.94倍,分别较对照提升了100.95%和降低了31.83%(文后OSID码附件)。

对比根际土和根围土的理化性质发现,根际与根围土在pH、有机质、有效磷含量上差异不大,根际土的碱解氮含量多数高于根围土,而速效钾含量则

表现出相反的趋势(图2)。不同油菜品种根际与根围土壤速效磷含量表现出一定的品种(品系)间差异,其中希望129、希望152和0955(品系)这三个品种(品系)根际土的速效磷含量显著高于根围土(图2D及文后OSID码附件)。大多数油菜品种(品系)根围土的速效钾含量高于根际土,其中希望759、0955(品系)、0958(品系)、中油701、中油712、中双11、阳光131、阳光2009、华油杂8号均达到显著水平(图2E及文后OSID码附件)。

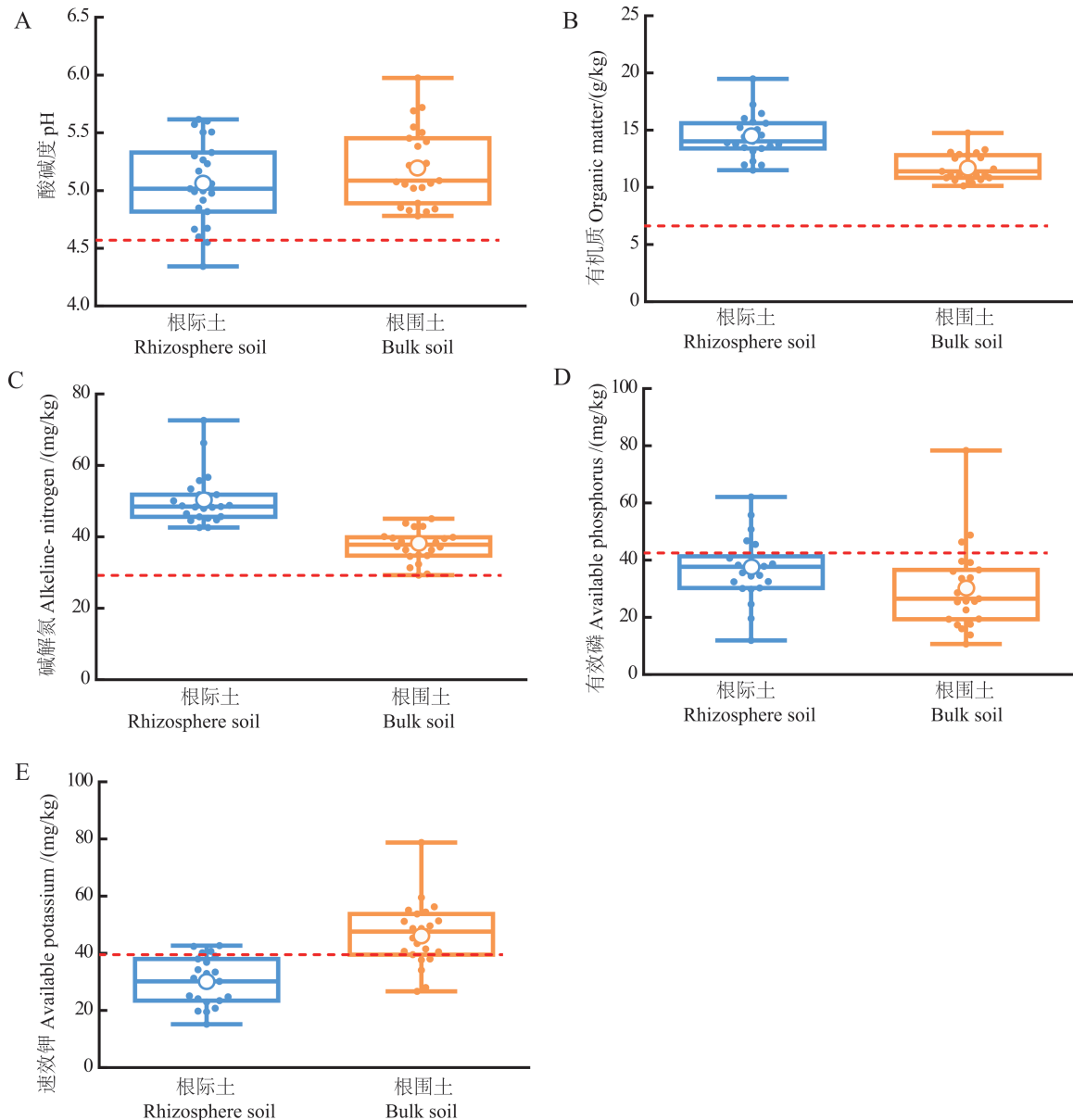
2.4 油菜品种阳光131作茶园绿肥套种应用

为进一步探讨油菜品种作为茶园套种绿肥的应用效果,本研究结合茶园春节前后观花的实际需求,选择生育期相对较短的油菜品种阳光131^[32]开展试验。结果发现,阳光131作为绿肥套种,在盛花期翻压还田后,能够有效改善茶园土壤的肥力状况(图3)。TG1和TG2两个茶园的试验结果均显示,油菜盛花期翻压还田后对土壤肥力指标提升的总体趋势表现一致,茶园土壤pH值、有机质、碱解氮、速效磷均有提升,但提升的程度有所不同,土壤中的速效钾的含量在翻压后均出现亏缺。翻压还田后两个茶园土壤的pH值分别提升了7.03%和0.81%,尤其是TG1茶园土壤pH显著提升($P < 0.001$)(图3A)。同时,两个茶园土壤的有机质含量分别提升3.82%和83.63%(图3B),其中,TG2的变化达到显著水平($P < 0.01$)。此外,油菜作绿肥翻压还田对TG2土壤碱解氮含量有显著的提升($P < 0.01$)(图3C),而土壤速效磷和速效钾的含量在油菜翻压前后变化不显著(图3D、E)。

3 讨论和结论

3.1 茶园冬季套种油菜作绿肥具有可行性

油菜是优质的冬季绿肥作物^[9],茶园套种绿肥作物主要以翻压还田方式循环养分,所以筛选适宜的茶园冬季套种绿肥油菜,其植株养分还田量是判断其肥用效果的重要依据之一^[33]。与茶青带走的氮、磷、钾养分相比,本研究中12个油菜品种的养分还田量可满足茶青带走的氮养分,更多的品种(品系)能够补充茶青带走的磷、钾养分,这与前人研究中油菜绿肥氮少磷钾多的营养特征相符^[34]。表明优选氮磷钾还田量高的油菜品种是可行的,能够同时满足茶青带走养分,达到有机施肥的应用效果,即盛花期油菜翻压还田可作为最清洁的肥料部分替代化肥施用。以品种阳光131为材料的应用试验还表明,盛花期翻压后显著提高茶园土壤的有机质



注:图中每个箱中的实线和圆圈分别表示23个油菜品种(品系)对应土壤理化性质的中值和均值,箱图误差棒的上下方分别表示最大值和最小值,实心点表示每个油菜品种(品系)的对应的土壤理化性质,虚线表示空白对照对应的土壤理化性质

Note: Solid lines and circle in each box respectively indicate mean and median values of soil physical and chemical properties of 23 rapeseed materials; the upper and lower parts of the error bars represent the maximum and minimum values respectively; solid point indicates soil physical and chemical properties of each rapeseed variety (line); the dotted lines indicate physical and chemical properties of soil corresponding to blank controls

图2 不同油菜品种(品系)茶园套种对土壤理化性质的影响

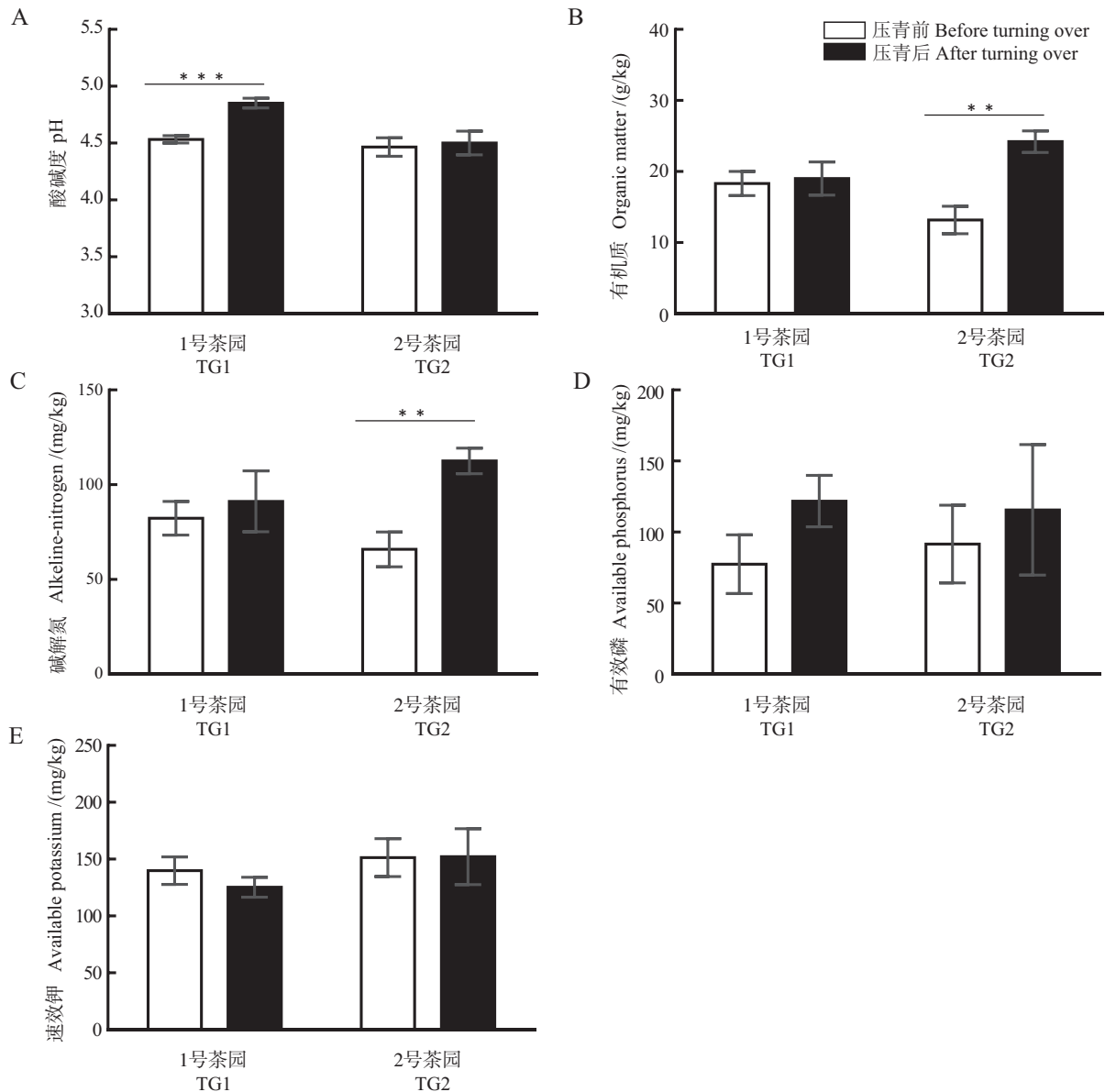
Fig. 2 Effects of different rapeseed on soil physical and chemical properties intercropped with tea plantations

含量和pH值(图3A,B),有利于土壤地力的提升。

3.2 茶园套种油菜作绿肥对茶园土壤具有改良作用

茶树由于长期单一种植,很少进行翻耕,加上施肥不合理容易导致茶园土壤出现板结、土壤肥力下降等问题,严重制约茶树的生长发育及产量品质^[35]。而油菜绿肥的套种恰好能解决板结和培肥土壤^[36]的问题,种植油菜后根际土和根围土的有机质和碱解氮含量均有不同程度的增加(图2)。一方

面可能是因为茶园套种油菜的大量落花、落叶及衰老根系可被分解利用,据统计,油菜全生育期仅落叶干物累积量就有2163~3127 kg/hm²,由落叶归还土壤的N、P₂O₅、K₂O累积量分别为18.8~27.1、5.7~13.0、45.5~73.6 kg/hm²^[37]。同时,油菜根系分泌有机物也能增加土壤有机质和碱解氮^[38]。此外,油菜的主根扎入土层较深,侧根发达,能够改变土壤的物理结构,增加土壤孔隙度和改善土壤板结^[39],有助于土壤结构改良。



注:图中TG1,TG2分别表示燕子窠基地1号茶园和2号茶园,图中的数据为6个生物学重复的平均值及其标准误差。*表示不同油菜品种(品系)之间的 T -text分析结果。**表示 $0.001 < P \leq 0.01$,***, $P \leq 0.001$

Note: TG1 and TG2 in figure 3 represent the No. 1 tea plantations and No. 2 tea plantations in Yanziyu Base respectively. The data in figure 3 are the average of 6 biological replicates and their standard errors. * indicates T -text analysis results between different rapeseed varieties (lines). **, $0.001 < P \leq 0.01$, ***, $P \leq 0.001$

图3 油菜品种阳光131作绿肥翻压前后茶园土壤的理化性质

Fig. 3 Soil fertility, physical and chemical properties in tea plantations before and after return of rapeseed cultivar Yangguang 131 as green manure

本研究结果中,供试茶园土壤速效钾的变化较为明显(图2),根围土的速效钾含量高于对照,表明套种油菜后对茶园土壤的钾具有活化作用,这与李明锐^[40]等的研究结果相似,种植油菜后土壤速效钾含量显著提升。值得注意的是,根际土速效钾含量低于根围土,主要原因可能是油菜自身生长需要更大而导致土壤钾亏缺^[41]。不过品种之间存在一定的差异,暗示筛选适宜的品种将有利于解决钾素的平

衡与分配。

此外,前人研究表明种植油菜可以活化土壤磷源,减少磷肥的施用^[42],本研究也有相似的结果,23个材料中少数品种(品系)根围土或根际土的速效磷含量高于空白对照,尤其是阳光131根际土和根围土的速效磷含量均显著高于空白对照(图2D)。该结果进一步说明,筛选适宜茶园套种的油菜绿肥有利于对茶园土壤难溶性磷的活化利用。

3.3 适宜茶园套种绿肥油菜的评价标准

从20世纪50年代开始的茶园绿肥筛选主要以豆科为主^[43],也有禾本科绿肥^[44],十字花科肥田萝卜也有少量报道^[45]。筛选的目标性状主要包括耐酸、耐瘠、耐旱,生长能力和抗病性强,鲜草产量和养分高^[46]。尽管前人在茶园套种油菜应用效果方面已有一些探讨^[47],但是对茶园适应油菜品种的筛选还未有报道。本研究在筛选茶园套种适宜绿肥油菜时,对植株生长状况、植株鲜重、干物质积累量及植株养分还田量等肥用性状指标进行了全面综合评价。通过对比种植的23个油菜材料发现,不同材料对茶园环境的适应性有很大差异,其中植株鲜重这一评价指标最为突出。推测主要原因是油菜对茶园酸性土壤环境的生长状况和适应性有所不同。土壤养分供应能力低、有机质缺乏、酸化日趋严重、铝毒等是茶园酸性土壤的主要障碍因子^[48]。本研究的基础土样初始pH为4.54,接近极强酸性土壤。因此,不同油菜品种对土壤酸性的适应性可通过植株鲜重、干物质积累量等指标反映。油菜植株对酸性土壤酸害或铝毒的抗逆性^[49]也可作为今后茶园酸性土壤适应性评价的一个衡量指标。

本研究通过综合分析不同油菜品种(品系)在茶园套种的生长状况和适应性,优选了适应性较强、综合肥用性状表现相对较好的品种:中双11、大地199、阳光131和圣光86等,这些品种植株鲜重和干重相对较高、氮磷钾养分积累能力相对较强,且种植后有利于茶园土壤有效养分的提升,因此可作为茶园绿肥进行套种。同时,可结合不同类型茶园的实际需求,选择不同株高的油菜品种进行套种应用,例如油菜品种中双11、大地199、阳光131及圣光86株高居中,适宜套种在小乔木型茶树如水仙、单丛等茶园中,而油肥1号和大地69等株高相对较矮,但鲜草产量适中,适宜套种在灌木型茶园如白芽奇兰、铁观音等茶园中。

此外,油菜花朵鲜黄艳丽、观赏性强,种植成本相对较低,在茶园套种绿肥油菜的应用中,可充分考虑茶园景观打造的实际需求,利用不同生育期的适宜油菜品种打造油菜花观光旅游,为进一步提升茶园经济效益、开发观光茶园提供可行途径。

综上,在今后的研究中,应持续监测油菜作绿肥套种对茶园生态环境、茶园土壤肥力等方面的长期影响;同时,将进一步针对茶园的生态特征、土壤特点和经济效益提升的实际需求,有针对性地选育适宜不同类型茶园套种的绿肥专用型油菜新品种

(品系),为优质高效生态茶园建设中冬季茶/油菜(绿肥)套种模式的建立提供基础支撑。

参考文献:

- [1] 梅宇,梁晓.2018年中国茶叶产销形势分析报告[J].茶世界,2019(2):10-15.
- [2] 颜明娟,林琼,吴一群,等.不同施氮措施对茶叶品质及茶园土壤环境的影响[J].生态环境学报,2014,23(3):452-456.
- [3] 张倩,宗良纲,曹丹,等.江苏省典型茶园土壤酸化趋势及其制约因素研究[J].土壤,2011,43(5):751-757.
- [4] 廖琼满,林雅娟.浅谈安溪县茶产业发展特点与生态茶园建设成效[J].茶叶科学技术,2011,52(2):35-37.
- [5] 王文明.化肥减量增效的有效途径:绿肥压青[J].四川农业科技,2017(12):29-31.
- [6] 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.
- [7] 黎健龙,涂攀峰,陈娜,等.茶树与大豆间作效应分析[J].中国农业科学,2008,41(7):2040-2047.
- [8] 林乃铨.建立生态茶园,实现茶树害虫的持续控制[J].福建茶叶,1998,20(4):14-15.
- [9] 顾焯明,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.
- [10] 张海伟.甘蓝型油菜磷高效的生理机制研究[D].武汉:华中农业大学,2009.
- [11] 王文华,周鑫斌,周永祥,等.不同磷效率油菜根际土壤磷活化机理研究[J].植物营养与肥料学报,2011,17(6):1379-1387.
- [12] 杨瑛洁,李淑燕,胡国伟,等.硫代葡萄糖苷的降解途径及其产物的研究进展[J].西北植物学报,2011,31(7):1490-1496.
- [13] Mojtahedi H, Santo G S, Hang A N, et al. Suppression of root-knot nematode populations with selected rapeseed cultivars as green manure[J]. J Nematol, 1991, 23(2): 170-174.
- [14] Bernard E, Larkin R P, Tavantzis S, et al. Compost, rapeseed rotation, and biocontrol agents significantly impact soil microbial communities in organic and conventional potato production systems [J]. Appl Soil Ecol, 2012, 52: 29-41.
- [15] 冯慧敏,李海渤,林昌华.华南地区油菜绿肥改良土壤可行性技术规程[J].长江蔬菜,2019(1):69-72.
- [16] 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].Agri Sci Technol, 2018, 19(6): 5-9.
- [17] 杨旭燕,何玲,何文寿.绿肥油菜翻压还田对土壤肥力及玉米产量的影响试验[J].吉林农业,2019(3):

- 56-57.
- [18] 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.
- [19] 李萍, 陈小梅, 乔金玲, 等. 香梨园套种油菜绿肥栽培技术[J]. 种子科技, 2019, 37(6): 82.
- [20] 叶新华. 林下套种绿肥油菜栽培技术[J]. 农村科技, 2017(1): 14-15.
- [21] 路树国, 刘光东, 贺春祥, 等. 果园豆菜轮茬增肥保墒促授粉[J]. 西北园艺:果树, 2015(6): 30-31.
- [22] 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.
- [23] 刘强, 宋海星, 荣湘民, 等. 不同品种油菜子粒产量及氮效率差异研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(4): 898-903.
- [24] 张毅. 我国冬油菜区域试验品种的高产稳产和适应性分析[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(3): 359-366.
- [25] 侯献飞, 周子馨, 顾元国, 等. 长江中下游冬油菜在新疆春油菜区适应性分析[J]. 新疆农业科学, 2018, 55(8): 1373-1383.
- [26] 叶功富, 侯杰, 张立华, 等. 不同年龄木麻黄林地根际土壤养分含量和酶活性动态[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4): 86-89.
- [27] 山宝琴, 贺学礼, 白春明, 等. 荒漠油蒿(*Artemisia ordosica*)根围AM真菌分布与土壤酶活性[J]. 生态学报, 2009, 29(6): 3044-3051.
- [28] 李逢雨, 孙锡发, 冯文强, 等. 麦秆、油菜秆还田腐解速率及养分释放规律研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 374-380.
- [29] Sun L L, Liu Y, Wu L Q, et al. Comprehensive analysis revealed the close relationship between N/P/K status and secondary metabolites in tea leaves [J]. Acs Omega, 2019, 4(1): 176-184.
- [30] 杨海滨, 李中林, 徐泽, 等. 施肥对富硒茶园茶叶硒含量、养分和品质的影响[J]. 中国农业科技导报, 2018, 20(5): 124-131.
- [31] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [32] 陈明, 叶川, 吕伟生, 等. 稻稻油三熟制下油菜早熟高产品种的筛选[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(17): 61-64.
- [33] 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.
- [34] 王治国, 陈冰, 饶晓娟, 等. 绿肥养分吸收规律研究[J]. 新疆农业大学学报, 2008, 31(2): 47-50.
- [35] 管恩江, 杨怀亮, 牟敦宝. 微生物有机肥对茶园土壤肥力、产量和质量的影响[J]. 中国果菜, 2005, 25(2): 24.
- [36] 吴福通. 正负气压组合式油菜籽精量直播排种器的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2007.
- [37] 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.
- [38] 李纯. 春油菜作绿肥的研究[J]. 作物研究, 1989, 3(1): 21-22.
- [39] 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.
- [40] 李明锐, 钟伟, 杨志新, 等. 矿区周边农田冬种蚕豆、油菜对土壤性质的影响及其镉铅累积特征[J]. 应用与环境生物学, 2017(5): 77-82.
- [41] 肖荣英, 王富华, 张冲. 江汉平原区水稻-油菜轮作制中氮钾肥效应及氮钾养分平衡研究[J]. 广东农业科学, 2011, 38(19): 9-12.
- [42] 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.
- [43] 李慧玲, 林乃铨, 郭剑雄, 等. 不同绿肥品种在茶园的生态适应性[J]. 茶叶科学技术, 2011, 52(4): 24-27.
- [44] 宋莉, 廖万有, 王烨军, 等. 套种绿肥对茶园土壤理化性状的影响[J]. 土壤, 2016, 48(4): 675-679.
- [45] 张优, 吴洵. 有机茶园绿肥品种比较试验[J]. 现代农业科技, 2007(2): 7-8, 10.
- [46] 马卫萍, 苏宝新, 李志杰, 等. 黄淮海地区绿肥种质资源的筛选与评价[J]. 华北农学报, 2010, 25(S1): 75-79.
- [47] 林竹根, 李剑锋. 有机茶园套种油菜效果初探[J]. 福建茶叶, 2015, 3: 16-17.
- [48] 韩文炎, 阮建云, 林智, 等. 茶园土壤主要营养障碍因子及系列茶树专用肥的研制[J]. 茶叶科学, 2002, 22(1): 70-74, 65.
- [49] 刘强, 闫小红, 刘雪梅, 等. 不同油菜品种对铝毒抗逆性的研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(4): 1353-1354.



(责任编辑:郭学兰)