

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.23275

三种绿肥对烤烟产质量及土壤养分和酶活性的影响

宁诗琪¹, 蒋 如¹, 李治模², 刘 京², 袁 玲¹, 黄建国^{1*}

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400715;

2. 贵州省烟草公司遵义市公司, 贵州 遵义 563000)

摘 要: 绿肥是一种优质的有机肥源, 但不同种属的绿肥植物生态适应性迥异, 且其对后茬作物的增产和土壤培肥效果受气候、土壤等环境条件影响, 亟需因地制宜地筛选适宜绿肥种类。该试验在贵州省植烟黄壤上设置种植翻压光叶紫花苕(CV)、黑麦草(CL)、油菜(CB)和常规施肥(CK)处理, 研究3种绿肥对烤烟产质量及土壤肥力的影响。结果表明, 与CK相比, CV、CL和CB处理分别减施复合基肥150、75和75 kg/hm², 并替代了1800 kg/hm²商品有机肥, 3种绿肥翻压后增加了烤烟产量、产值和产出投入比, 表现为CV>CB>CL, 烤烟产量分别增加了28.79%(CV)、16.10%(CB)和0.95%(CL)。绿肥翻压处理的烤烟总氮、磷、钾、氯和烟碱含量及上等烟比例高于常规施肥, 其增幅分别为10.0%~17.78%(总氮)、8.33%~25.0%(总磷)、16.56%~24.84%(总钾)和34.20%~61.47%(烟碱), 其中以CV处理的烟叶品质提升效果最好。此外, 绿肥种植翻压增加了土壤有机质、有效态氮磷钾的含量, 提升了蔗糖酶、脲酶和蛋白酶的活性。相较油菜和黑麦草, 光叶紫花苕在贵州遵义烟区的生长最好, 且翻压后对后茬烤烟产量、品质和经济效益的提升及对土壤速效养分及酶活性改善效果更优。因此, 光叶紫花苕是一种较适宜黔北烟区种植的绿肥品种。

关键词: 绿肥; 烤烟; 产量; 品质; 土壤肥力

烟草(*Nicotiana tabacum* L., 茄科烟属植物)是一种重要的经济作物。西南地区是我国烟叶主产地, 占全国烤烟种植面积63.41%^[1], 其烤烟生产是当地部分丘陵山区的支柱产业。为了追求效益, 烟农大量施用化肥是一种普遍现象, 但长期过量施用化肥引起土壤板结、酸化、地力衰退、微生物活性降低、有机质含量减少等危害。而烟草是典型的忌连作植物, 即使是短期连作, 其产量和质量也会严重受损(产量下降20%以上)^[2]。连作障碍和不合理施肥已成为当前烤烟优质高效的最大限制因子。

绿肥属于优质的有机肥源, 是将豆科、十字花科、禾本科、菊科等新鲜植物体就地翻压入土, 用于后茬作物的基肥^[3]。绿肥除含有作物生长所需的氮、磷、钾等大量元素外, 还包括有机质、氨基酸、多肽和各种微量元素, 营养全面。其小分子的

磷脂、氨基酸、蛋白质等可在短期内快速腐解释放养分, 供后茬经济作物生长, 而纤维素和半纤维素等分解期长的物质可使其肥效时间长。且绿肥翻压后分解产生的腐殖质、有机酸等能活化难溶养分、改善土壤结构和土壤微生物群落, 消除连作障碍, 进而提升烤烟产质量^[4-7]。研究表明, 在烟区种植翻压光叶紫花苕后减施化肥15%, 可提高烟叶产量和产值^[8]; 油菜与烟草轮作可以减少黑胫病^[9]。西南地区冬季光热资源丰富, 在冬季植烟土壤闲置期种植绿肥, 既充分利用气候资源, 覆盖地面保持水土, 将其翻压后又可为后茬烤烟生长提供养分, 减少化肥的施用是解决植烟连作障碍、缓解化肥过量施用带来负面影响的有效途径。

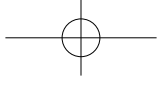
然而, 不同绿肥类型具有不同的生态适应性, 即在不同生态气候条件和区域土壤差异等情况下, 绿肥翻压后对后茬作物的生长与品质影响不同。目前, 在贵州烟区植烟黄壤上, 不同绿肥对烤烟产质量影响的研究较少, 亟需针对当地生态气候条件等因素筛选出较适宜的绿肥作物。因此, 本研究分别选择光叶紫花苕、油菜、黑麦草3种不同科的常用绿肥植物, 在贵州黄壤植烟区进行绿肥种植-翻压-烤烟种植试验, 旨在研究不同绿肥种植和翻压

收稿日期: 2023-05-05; 录用日期: 2023-06-01

基金项目: 贵州省烟草公司遵义市公司科技项目(2020XM03)。

作者简介: 宁诗琪(1998-), 硕士研究生, 研究方向为植物营养学。E-mail: ningsqn@163.com。

通讯作者: 黄建国, E-mail: huang99@swu.edu.cn。



对植烟黄壤肥力及烤烟产质量的影响,为贵州乃至西南烟区绿肥品种的选择提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于贵州省遵义市凤冈县进化镇大堰村(27°47'59" N, 107°43'12" E), 年均气温 14.9 ℃, 年平均降水量 1160 mm, 无霜期年平均 270 d。供试土壤为黄壤, 土壤 pH 5.33, 有机质 28.26 g/kg, 全氮 1.93 g/kg, 全磷 0.87 g/kg, 全钾 17.48 g/kg, 碱解氮 117.4 mg/kg, 有效磷 51.82 mg/kg, 速效钾 346.0 mg/kg。

1.2 供试材料

(1) 供试作物: 光叶紫花苕 (*Vicia villosa* Roth var)、黑麦草 (*Lolium perenne* L.) 和油菜 (*Brassica napus* L.), 购于重庆市北碚区农资公司。烤烟品种为 K326, 穴盘育苗, 由遵义市凤冈县烟草公司提供。

(2) 供试肥料: 烤烟专用复合基肥 (10-10-24) 和复合追肥 (15-0-30) 均由贵州科泰金福农业发展有限公司生产, 商品有机肥 (有机质 ≥ 45%, 总养分 ≥ 5%) 由贵州凤冈农合丰有机肥有限公司生产。

1.3 试验设计

试验于 2021 年 10 月—2022 年 9 月进行, 共设置 4 个处理, 依次为 (1) 闲置—烤烟 (常规施肥, CK)、(2) 光叶紫花苕—烤烟 (光叶紫花苕作基肥, CV)、(3) 黑麦草—烤烟 (黑麦草作基肥, CL) 和 (4) 油菜—烤烟 (油菜作基肥, CB), 每个处理 3 次重复, 小区面积 48 m² (4 m × 12 m), 随机区组排列。

绿肥采用撒播, 光叶紫花苕、黑麦草和油菜的播种量分别为 75、60 和 60 kg/hm², 于 2021 年 10 月底播种, 不施肥, 自然生长; 2022 年 3 月 20 日收获, 测产后按表 1 翻压量进行就地翻压。其翻压量取决于绿肥产量及常规绿肥翻压推荐量 (22500 ~ 30000 kg/hm²)。绿肥翻压时, 将复合基肥、有机肥一并施入, 起垄覆膜。3 ~ 4 周后, 将烤烟移栽至上述试验处理小区。烤烟株行株距为 1.1 m × 0.6 m, 种植密度为 15000 株/hm²。各处理的追肥施用量一致, 分别于烟苗移栽后第 12 d (90 kg/hm²) 和第 30 d (135 kg/hm²) 施用 (表 1)。烤烟管理参照当地优质烤烟技术规程进行。

表 1 试验处理及烤烟施肥方案 (kg/hm²)

处理	基肥			复合追肥
	绿肥翻压量	复合基肥	有机肥	
CK	0	900	1800	225
CV	30000	750	0	225
CL	22500	825	0	225
CB	22500	825	0	225

注: 基肥: 与 CK 相比, CV、CL 和 CB 处理分别减施复合基肥 150、75 和 75 kg/hm², 并替代全部商品有机肥。

1.4 样品采集、测定指标与方法

(1) 植株取样与测定: 收获期, 统计绿肥产量, 并在翻压前各小区随机取样 1 kg, 杀青后, 烘干制样备用。剩余新鲜绿肥当地烟农用作牲畜饲料。烤烟在成熟期, 各处理单烤单收, 参照《烤烟》(GB 2635—1992) 对烟叶进行评级, 分别计产。参照当地当年烟叶收购价格和有机肥、化肥、绿肥种子等价格 (人工成本忽略不计), 按下式计算投入成本、产值和投入产出比:

产值 (万元/hm²) = 产量 (kg/hm²) × 当季平均价格 (万元/kg);

投入成本 (万元/hm²) = 绿肥种子 + 有机肥 + 化肥;

产出投入比 = 产值 / 投入成本;

从各小区上等烟 (C3F) 样品中随机取 1 kg, 烘干磨碎, 过 1 mm 筛备用。绿肥及烤烟植株干样经 H₂SO₄-H₂O₂ 消化后, 采用凯氏定氮法、钼蓝比色法和火焰光度法分别测定植株的氮、磷、钾含量。此外, 取同一份样品送至贵州省遵义市烟草公司分析测试中心用近红外光谱法分析烟叶品质。测试仪器为 NIR256-2.5 近红外光谱分析仪 (Ocean Optics 公司), 数据分析采用仪器配套光谱数据处理软件 ASD View Spec Pro, Unscramble V9, 与“贵州烟草公司烟叶品质指标模型”比对, 计算总糖、还原糖、烟碱、氮、钾、氯、pH、蛋白质和淀粉含量等。

(2) 土壤测定: 分别于绿肥翻压前 (T1)、烤烟旺长期 (T2)、烤烟采后期 (T3) 3 个时期对各小区的耕层土壤进行取样, 随机采集 5 点土样, 深度 0 ~ 20 cm, 混匀后保留 1 kg, 带回实验室风干, 备测相关项目。土壤 pH 值用电位测定法 [蒸馏水浸提, 水土比 (V/m) 为 2.5 : 1]; 土壤有机质采用重铬酸钾容量法; 全氮、全磷、全钾分别采用凯氏定

氮法、NaOH 熔融 – 钼锑抗比色法、NaOH 熔融 – 火焰光度法测定；碱解氮采用碱解扩散法，有效磷采用碳酸氢钠 – 钼锑抗比色法，速效钾采用醋酸铵浸提 – 火焰分光光度法^[10]。土壤酶活性指标的测定^[11]：磷酸酶采用磷酸苯二钠法、蛋白酶采用 Folin 显色法、过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法、脲酶采用靛酚蓝比色法、蔗糖酶采用 3,5- 二硝基水杨酸比色法测定。土壤微生物生物量^[12]：土壤经氯仿熏蒸后，采用重铬酸钾氧化法测微生物量碳（MBC），靛酚比色法测微生物量氮（MBN）。

1.5 数据处理

分别采用 Excel 2021、SPSS 22.0、Origin 2022 对数据进行整理、分析及作图。多组数据比较采用单因素方差分析，组内多重比较方差齐性时采用 Duncan 法检验，方差不齐时采用 Dunnett’s T3 法检验，显著性水平为 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 绿肥产量及养分吸收量

3 种绿肥的产量差异显著（表 2），表现为光叶紫花苕 > 油菜 > 黑麦草。其中，光叶紫花苕产量比油菜和黑麦草分别高 23.18% 和 124.82%。除钾

吸收量外，黑麦草和油菜的养分吸收量无显著差异（ $P>0.05$ ），但两者的氮、磷、钾养分吸收量均显著低于光叶紫花苕。

表 2 绿肥产量及养分吸收量（kg/hm²）

绿肥种类	产量	氮 吸收量	磷 吸收量	钾 吸收量
光叶紫花苕	59960a	330.73a	52.95a	303.79a
黑麦草	26670c	47.90b	10.21b	84.17c
油菜	48675b	84.67b	17.06b	163.85b

注：同列数据后不同小写字母者表示处理之间差异显著（ $P<0.05$ ）。下同。

2.2 绿肥翻压对烤烟产量与品质的影响

如表 3 所示，绿肥翻压后能显著提升烟叶的产量、产值，表现为 $CV>CB>CL>CK$ （CL 和 CB 处理的产量和产值较 CK 差异不显著）。相较 CK，各绿肥翻压后产量的增幅分别为 28.79%（CV）、0.95%（CL）和 16.10%（CB）。不同处理的烟叶均价差异不显著，但 CL 处理的上等烟比例显著低于其他处理，而 CV 和 CB 处理上等烟比例较 CK 处理高。不同施肥方案的成本迥异，表现为绿肥翻压低于常规施肥处理（CK），且绿肥翻压后显著提高烟叶的产出投入比，CV 处理最高。综合评价，CV 处理的烤烟产量及经济效益最好。

表 3 不同绿肥处理的烤烟产量和经济性状

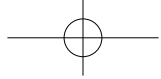
处理	产量 (kg/hm ²)	产值 (万元/hm ²)	上等烟比例 (%)	均价 (元/kg)	成本 (元/hm ²)	产出 投入比
CK	2640b	8.45b	71.00a	32.01a	4140a	20.40c
CV	3400a	11.18a	75.67a	32.87a	2306d	48.48a
CL	2665b	8.50b	65.33b	31.84a	2515c	33.80b
CB	3065ab	9.87ab	72.33a	32.19a	2539b	38.87b

不同处理的各项烟叶成分存在差异（表 4）。CK 处理的烟叶总糖、还原糖、糖碱比和氮碱比均高于绿肥翻压处理（CL 处理的总糖与 CK 无显著差异）。相反，相较 CK，绿肥翻压能显著增加烟叶总氮、磷、钾、氯养分含量和烟碱含量（CV、CB 处理与 CK 间

总磷无显著差异，CL、CB 处理与 CK 间的总氯无显著差异），其增幅分别为 10.0% ~ 17.78%（总氮）、8.33% ~ 25.0%（总磷）、16.56% ~ 24.84%（总钾）和 34.20% ~ 61.47%（烟碱）。整体上绿肥翻压处理提高了烟叶品质，其中 CV 处理的烟叶品质提升效果最好。

表 4 不同绿肥处理的烤烟化学成分

处理	总氮 (%)	总磷 (%)	总钾 (%)	总氯 (%)	烟碱 (%)	总糖 (%)	还原糖 (%)	糖碱比	氮碱比	钾氯比
CK	1.80c	0.12b	1.57d	0.42b	2.31d	20.16a	15.67a	6.76a	0.80a	3.75b
CV	1.98b	0.13ab	1.83c	0.47a	3.73a	16.90b	12.19b	3.27c	0.53d	3.90b
CL	2.07a	0.15a	1.96a	0.45ab	3.10c	18.45a	12.54b	4.05b	0.67b	4.41a
CB	2.12a	0.13ab	1.87b	0.43b	3.67b	16.17b	11.54c	3.15c	0.58c	4.33a



2.3 绿肥翻压对植烟土壤 pH 和养分含量的影响

如图 1 所示, 仅烤烟采后期 (T3) 各处理土壤 pH 存在差异, 绿肥翻压处理的 pH 较 CK 显著降低了 0.18 ~ 0.43。各时期间的土壤有机质存在显著差异。相较 CK, 仅 T1 和 T3 时期的绿肥翻压处理显著增加土壤有机质, 其增幅分别为 5.46% ~ 7.67% (CV)、6.63% ~ 10.66% (CL) 和 6.23% ~ 13.72% (CB), 即种植绿肥和翻压绿肥均增加了土壤有机质含量。

不同时期的土壤速效养分存在差异, 且均表现为在烤烟旺长期 (T2) 最高 (图 2)。不同处理的速效钾在各个时期均差异显著, 但碱解氮和有效磷仅在 T2 和 T3 时期差异显著。相较 CK, 绿肥翻压处理增加土壤速效养分含量 (T2 时期 CV 和 CL 处理的有效磷及 T2 时期 CB 处理的速效钾除外)。烤烟采后期, 绿肥翻压处理的土壤速效养分较 CK 的增幅范围分别为 9.58% ~ 50.85% (CV)、5.61% ~ 32.73% (CL) 和 10.55% ~ 36.76% (CB)。

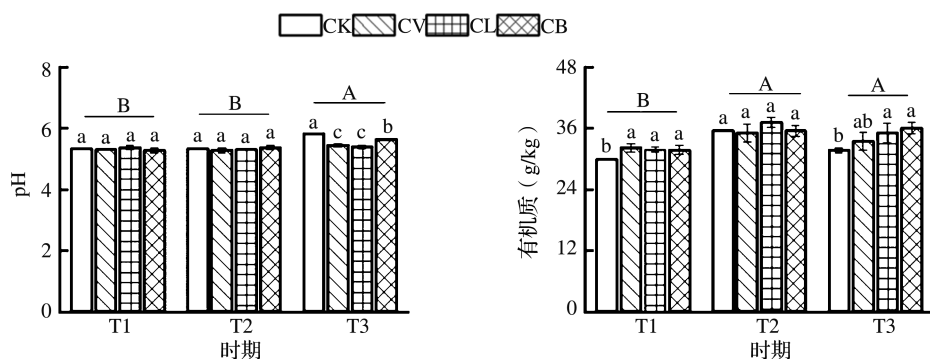


图 1 不同时期的土壤 pH 及有机质含量

注: T1- 绿肥翻压前, T2- 旺长期, T3- 采后期; 柱上不同大写字母表示不同时期之间差异显著, 不同小写字母表示处理之间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

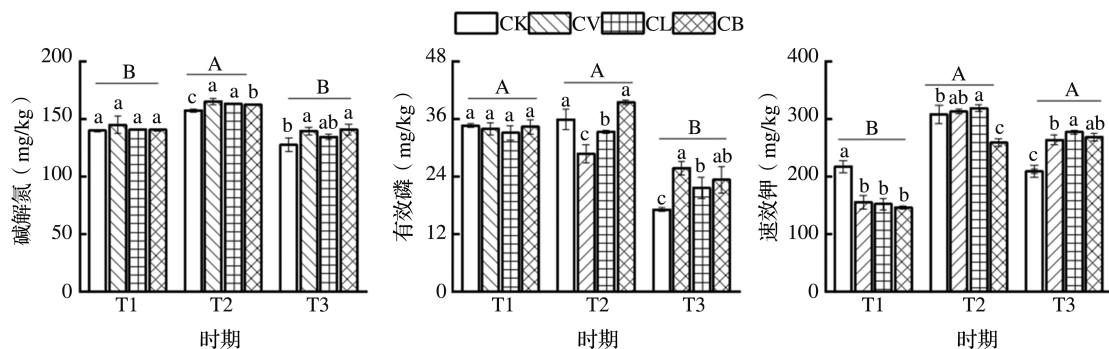


图 2 不同时期的土壤速效养分含量

2.4 不同时期的土壤微生物量碳氮和酶活性的变化

由图 3 所见, 绿肥翻压前 (T1) 与烤烟旺长期 (T2) 的土壤 MBC 无显著差异, 但 T1 时绿肥种植处理显著增加 MBC 含量 (CB 处理除外), 较 CK 的增幅分别为 49.07% (CV) 和 20.97% (CL)。

T2 时期的 MBN 显著高于其他两个时期。相较 CK, 绿肥种植翻压显著增加 T1 和 T2 时期的 MBN 含量 (T1 时的 CK 和 CL 和 CV 处理差异不显著), 其增幅范围分别为 2.47% ~ 72.43% (T1) 和 47.36% ~ 103.45% (T2)。

如图 4 可知, 各时期土壤酶存在差异, 整体表现为 T2 时期最高 (T1 和 T2 时期的过氧化氢酶, 及 T1 和 T3 时期的蔗糖酶和脲酶差异不显著)。不同处理的土壤酶变化趋势根据时期和酶的种类而迥异。除 T2 时期蔗糖酶和 T1 时期的蛋白酶外, 相较 CK, 绿肥种植翻压显著增加土壤蔗糖酶、脲酶 (T1 和 T2 时期)、磷酸酶 (T1 时期 CL 处理除外) 和蛋白酶活性, T3 时期土壤酶的最大增幅分别为蔗糖酶 22.97%、脲酶 22.28% 和蛋白酶 16.08%。

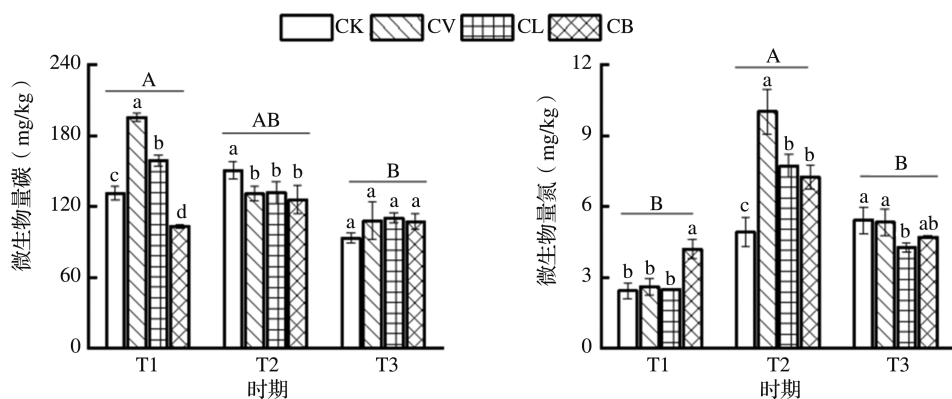


图3 不同时期土壤的微生物量碳氮含量

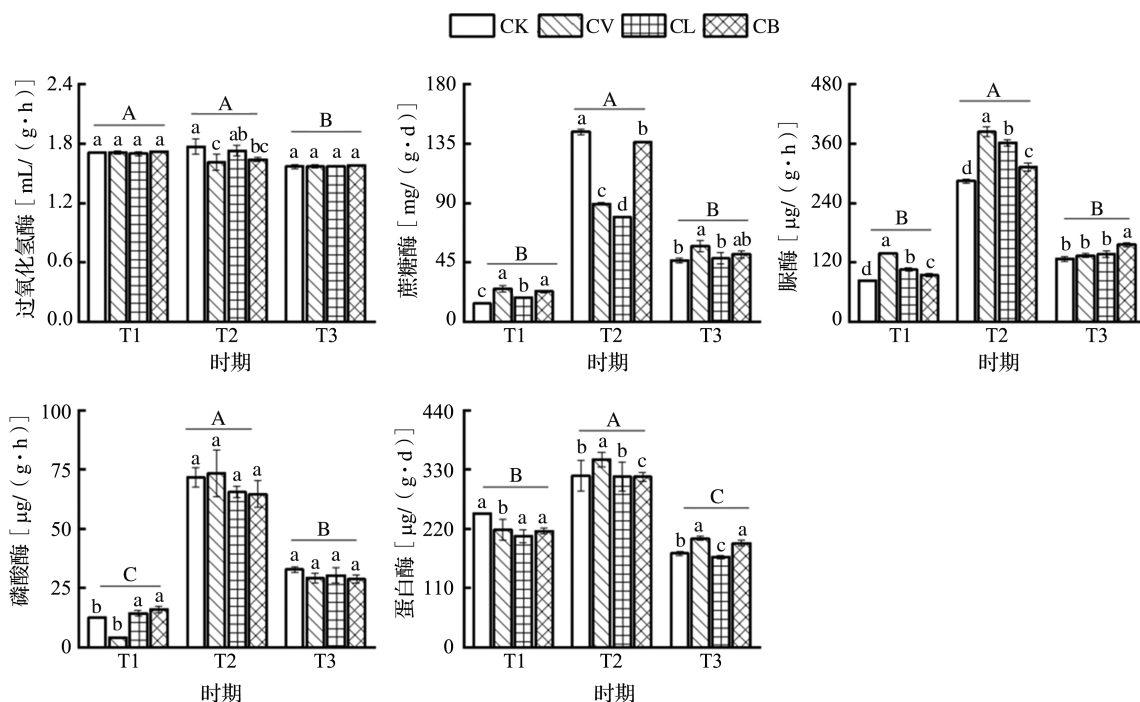
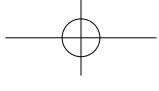


图4 不同时期土壤的酶活性变化

3 讨论

绿肥本身作为优质的有机肥源,在替代化肥和改善土壤环境上具有重要作用。因生态适应性不同,不同种属的绿肥在产量和养分上具有差异,且对后茬作物的增产效果迥异。此外,同种绿肥在不同地区种植,其生物量差异较大。因而,绿肥品种的筛选需因地制宜,从而更好地培肥烟区土壤,提高经济效益。本研究结果表明,黑麦草、油菜、光叶紫花苕3种绿肥植物的生物量依次递增,表明相较油菜和黑麦草,光叶紫花苕的生长更加适应贵州

遵义烟区的气候条件。3种绿肥翻压显著增加后茬烤烟产量和产值,且相较常规有机肥化肥配施,用绿肥翻压代替商品有机肥显著降低成本。尽管绿肥翻压对烤烟均价影响不大,但产量的增加和成本的降低有利于获取高的产出投入比,从而提升经济效益。这与其他关于氮肥减施下翻压绿肥显著增加后茬烤烟产量和产值的研究一致^[13-14]。研究表明,于云南红壤烟区不同翻压量下,光叶紫花苕增加了烤烟的农艺性状^[14]。本研究中光叶紫花苕翻压对烤烟的增产和经济性状改善效果最优,黑麦草则最差。低碳氮比的绿肥或有机肥更易腐解^[15]。黑麦



草的初始碳氮比为 41.61, 远高于光叶紫花苕(碳氮比=16.39)和油菜(碳氮比=23.71)^[16], 导致其在土壤中的腐解速度较慢, 易造成后期供氮过多, 落黄推迟, 这可能是其对烤烟增幅不明显的原因。

烟碱是满足吸烟者生理需求的重要化合物, 与烟叶品质有首要联系; 同时, 烟叶评吸质量、燃烧性与总氮、钾和氯含量呈显著正相关, 与总糖和还原糖呈负相关^[17]。3 种绿肥处理的总氮、磷、钾、氯和烟碱含量均显著增加, 总糖和还原糖显著降低, 且上等烟比例呈上升趋势。这些结果表明绿肥翻压能提升烟叶的品质, 与前人在烤烟种植中翻压绿肥的研究结果一致^[18-19]。优质烟叶还原糖、总糖范围为 16% ~ 18% 和 18% ~ 22%^[20], 本研究中烟叶总糖、还原糖含量偏低, 这可能是由于 2022 年上半年贵州地区降水较常年偏多 14.2%, 降低了植物光合作用, 从而减少烟叶碳累积。

烟草对环境非常敏感, 其产量和质量受遗传、气候和营养的影响, 当其在特定气候条件下生长时, 养分供应对于提高烟叶产量和改善品质至关重要^[21]。绿肥翻压后增加了土壤有机质, 且烤烟采后期时绿肥处理的土壤速效养分含量显著高于对照, 表明绿肥翻压有利于提升土壤肥力并促进根际养分循环。作物收获时测得的有效养分可被视为整个植物生长期土壤有效养分供应和植物吸收之间的平衡。在本试验中, 黑麦草处理的土壤有机质增幅最大, 类似其他研究发现禾本科绿肥还田对土壤有机质增幅较高, 其原因可能是黑麦草的高碳氮比。但与产量和品质结果一致, 光叶紫花苕对土壤速效养分的增幅表现最优。贵州山区喀斯特地貌的典型黄壤养分贫瘠, 尤以有效氮含量较低^[22]。而豆科绿肥在种植期间能与根瘤菌共生固氮, 持续地为土壤输入了有机氮; 且增加的氮会影响土壤碳氮比, 从而影响微生物繁殖和活性, 加速绿肥腐解和氮的释放。研究表明, 光叶紫花苕在翻压后 2 周内腐解最快^[23]; 且光叶紫花苕翻压后其养分释放特点与烤烟前期快、后期慢的养分吸收规律相符合, 这有利于植物充分吸收营养。因此, 光叶紫花苕翻压对培肥地力、烤烟产量和品质提升效果最佳。

本研究中, 土壤微生物和酶活性整体表现为旺长期的水平较高、采后期最低, 这与烤烟生长养分需求节律一致, 从而改变根系分泌物并驱动微

生物对绿肥腐解和其他养分的活化。值得注意的是, 土壤酶活性和微生物数量受气候条件、植物生长状况和土壤养分有效性等多方面因素影响。因而, 本研究中不同处理的 MBC、MBN 和土壤酶变化趋势根据时期和酶的种类而迥异; 但整体上绿肥翻压处理较 CK 显著增加土壤 MBN、蔗糖酶、脲酶、磷酸酶和蛋白酶活性。MBC、MBN 是土壤有机质和氮养分转化和循环的主要驱动力, 土壤酶参与土壤有机质的分解和多种养分转化, 二者是土壤肥力和微生物活性的基本指标^[24-25]。绿肥翻压处理对土壤微生物和酶活性的积极影响有利于土壤养分有效性和植物养分吸收, 从而促进植物生长。

大量研究证实单施化肥会引起烟区土壤酸化, 而有机肥化肥配施能显著增加土壤 pH^[2, 26]。绿肥种类不同, 对土壤 pH 影响不同, 研究表明紫云英、冬牧 70 可以提高土壤 pH^[3], 而本研究显示烤烟采后期, 绿肥翻压处理的土壤 pH 略低于对照, 与前人研究中报道光叶紫花苕、黑麦草翻压使烟田土壤 pH 微弱降低结果一致^[27-28]。考虑到绿肥翻压对 pH 的影响仅表现在采后期土壤中, 降幅不明显, 且参照对象为有机肥配施化肥处理, 因此绿肥翻压造成土壤酸化的可能性较小。

4 结论

3 种绿肥植物的产量和养分含量表现为光叶紫花苕 > 油菜 > 黑麦草。在替代了商品有机肥、减施了化学基肥情况下绿肥的翻压较常规施肥显著增加了土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量, 提升了蔗糖酶、脲酶和蛋白酶的活性, 促进了烤烟生长, 并增加了烤烟部分化学成分含量、上等烟比例和经济效益, 达到了减肥增效的作用。其中, 光叶紫花苕翻压对烤烟产量和经济效益提升、品质改善效果及土壤的培肥效应最优。因此, 相较其他两种绿肥植物, 在贵州烟区提倡以光叶紫花苕为主要培肥绿肥品种。

参考文献:

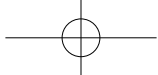
- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.
- [2] Su Y, Zi H Y, Wei X M, et al. Application of manure rather than plant-origin organic fertilizers alters the fungal community in continuous cropping tobacco soil[J]. *Frontiers of Microbiology*, 2022, 13: 818956.

- [3] 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.
- [4] 赵炯平, 邓小华, 江智敏, 等. 不同绿肥翻压还土后植烟土壤主要养分动态变化[J]. 作物研究, 2015, 29 (2): 161-165.
- [5] 廖恒, 况胜剑, 王文华, 等. 烤烟绿肥的研究进展[J]. 农技服务, 2021, 38 (10): 62-66.
- [6] 蔡兴宏. 烟草良繁田绿肥种植技术[J]. 北京农业, 2015 (14): 71.
- [7] Ma D, Yin L, Ju W, et al. Meta-analysis of green manure effects on soil properties and crop yield in northern China[J]. Field Crops Research, 2021, 266: 108146.
- [8] 郭云周, 尹小怀, 雷素芬, 等. 等氮条件下烟草化肥绿肥合理配施初探[J]. 西南农业学报, 2010, 23 (6): 1930-1934.
- [9] Fang Y T, Zhang L M, Jiao Y G, et al. Tobacco rotated with rapeseed for soil-borne *Phytophthora* pathogen biocontrol: mediated by rapeseed root exudates[J]. Frontiers in Microbiology, 2016, 7: 894.
- [10] 杨剑虹. 土壤农化分析与环境监测[M]. 北京: 中国大地出版社, 2008.
- [11] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986.
- [12] Frostegard A, Tunlid A, Baath E S. Phospholipid fatty-acid composition, biomass, and activity of microbial communities form 2 soil types experimentally exposed to different heavy-metals[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1993, 59 (11): 3605-3617.
- [13] 赵文军, 薛开政, 杨继周, 等. 氮肥减施下光叶紫花苕不同翻压量对烟草产量和品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50 (16): 73-78.
- [14] 刘建香, 曹卫东, 郭云周, 等. 红壤翻压绿肥对烟草农艺性状及线虫危害的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2015 (4): 123-127.
- [15] 董浩, 于淑慧, 史桂芳, 等. 春季翻压3种果园绿肥腐解及养分释放特征研究[J]. 中国农学通报, 2021, 37 (6): 75-81.
- [16] 王琳, 管永祥, 陈震, 等. 不同种类绿肥养分积累比较及其对水稻产量的影响[J]. 江苏农业学报, 2020, 36 (5): 1139-1143.
- [17] 王世沛, 温圣贤. 烟叶主要化学成分与品质关系概述[J]. 作物研究, 2012, 26 (S1): 139-141.
- [18] 邵守哲, 李觅, 朱山, 等. 绿肥不同施用量对烤烟产质量的影响[J]. 现代农业科技, 2012 (21): 9-10.
- [19] 罗华元, 程昌新, 王绍坤, 等. 绿肥翻压量对烤烟大田期烟叶酶活性及烤后烟叶品质的影响[J]. 山地农业生物学报, 2010, 29 (6): 495-501.
- [20] Wang M, Zhang L, He Y, et al. Soil fungal communities affect the chemical quality of flue-cured tobacco leaves in Bijie, Southwest China[J]. Scientific Reports, 2022, 12 (1): 2815.
- [21] Tang Z, Chen L, Chen Z, et al. Climatic factors determine the yield and quality of Honghe flue-cured tobacco[J]. Scientific Reports, 2020, 10 (1): 19868.
- [22] 魏全全, 高英, 苟久兰, 等. 播种量和播种方式对冬油菜养分吸收利用及产量的影响[J]. 中国农业科技导报, 2022, 24 (8): 182-191.
- [23] 邓小华, 罗伟, 周米良, 等. 绿肥在湘西烟田中的腐解和养分释放动态[J]. 烟草科技, 2015, 48 (6): 13-18.
- [24] Duan Y, Ren W, Zhao J, et al. Planting *Cyperus esculentus* augments soil microbial biomass and diversity, but not enzymatic activities[J]. Peer J, 2022, 10: e14199.
- [25] 陈晓波, 官会林, 郭云周, 等. 绿肥翻压对烟地红壤微生物及土壤养分的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2011 (4): 74-78.
- [26] 李玉辉, 李源环, 邓小华, 等. 石灰和绿肥对不同种植制度植烟酸性土壤改良效果[J]. 水土保持学报, 2018, 32 (6): 365-370.
- [27] 李集勤, 黄振瑞, 杨少海, 等. 八种绿肥对土壤营养和烤烟产质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2020, 41 (6): 24-29.
- [28] 嵯其翠, 宋文静, 董建新, 等. 不同前作对烟田土壤养分、酶活性及烤烟生长的影响[J]. 中国烟草科学, 2018, 39 (1): 64-71.

Effects of three kinds of green manure on the yield and quality of flue-cured tobacco, soil nutrients and enzyme activities

NING Shi-qi¹, JIANG Ru¹, LI Zhi-mo², LIU Jing², YUAN Ling¹, HUANG Jian-guo^{1*} (1. School of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715; 2. Guizhou Tobacco Company Zunyi City Company, Zunyi Guizhou 563000)

Abstract: Green manure is a high-quality organic fertilizer source, while the ecological adaptability of different species of green manure plants is distinct, and their positive effects on the yield of subsequent crops and soil fertility are highly influenced by environmental climate and soil conditions. Therefore, it is essential to screen suitable green manure plants according to local conditions. In this study, the yield and quality performance of flue-cured tobacco and soil fertility were analyzed in four fertilization treatments, including commercial organic fertilizer (CK), returning *Vicia villosa* Roth var (CV), returning *Lolium perenne* L. (CL) and returning *Brassica napus* L. (CB). The results showed that compared with CK, the CV, CL, and CB treatments reduced the application of composite base fertilizers by 150, 75 and



75 kg/hm², respectively, and replaced 1800 kg/hm² of commercial organic fertilizer. The three types of green fertilizers increased the yield, output value, and output-input ratio of flue-cured tobacco after rolling, ranking as CV>CB>CL. The yield of flue-cured tobacco increased by 28.79% (CV), 16.10% (CB), and 0.95% (CL), respectively. The contents of total N, P, K, Cl and nicotine and the proportion of high-quality tobacco in flue-cured tobacco treated with green manure were higher than those of conventional fertilization, and the increases were 10.0%–17.78% (total N), 8.33%–25.0% (total P), 16.56%–24.84% (total K) and 34.20%–61.47% (nicotine), respectively. Among them, the CV treatment had the best effect on improving the quality of tobacco leaves. In addition, planting green manure increased the content of soil organic matter, available nitrogen, phosphorus, and potassium, and increased the activities of sucrase, urease, and protease. Compared to *Brassica napus* L. and *Lolium perenne* L., *Vicia villosa* Roth var was the best in the Zunyi tobacco growing area of Guizhou, and its effects on the improvement of yield, quality, and economic benefits of subsequent flue-cured tobacco, as well as the improvement of soil available nutrients and enzyme activity were better after rolling. Therefore, *Vicia villosa* Roth var is a more suitable green fertilizer variety for planting in the northern Guizhou tobacco region.

Key words: green manure; flue-cured tobacco; yield; quality; soil fertility