

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.24521

光叶紫花苕压青还田量对毕节烟区植烟土壤有机碳及烟叶产量与品质的影响

黄树鹏¹, 郭沛新¹, 李彩斌², 翟振³, 梁太波³, 杨海水¹, 曹廷茂^{2*}, 戴华鑫^{3*}

(1. 南京农业大学农学院, 江苏 南京 210095; 2. 贵州省烟草公司毕节市公司, 贵州 毕节 551700; 3. 中国烟草总公司郑州烟草研究院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 探究贵州省毕节地区光叶紫花苕压青还田量对植烟土壤碳组分、烤烟生长以及烟叶品质的影响, 为科学合理使用绿肥提供理论依据。试验采用裂区试验设计, 设置绿肥 100% 还田 (全量还田)、50% 还田 (半量还田) 和 0% 还田 (不还田), 研究不同有机肥施入水平下绿肥压青还田量对植烟土壤有机碳组分、烤烟农艺性状、不同部位烟叶品质和经济性状的影响。研究表明, 在土壤有机碳及组分方面, 添加有机肥显著增加土壤有机碳 4.71%; 绿肥全量还田相较半量还田和不还田, 有机碳含量分别增加 5.04% 和 12.03%, 活性有机碳含量分别增加 20.03% 和 10.89%, 惰性有机碳含量分别增加 6.94% 和 11.70%, 可溶性有机碳含量分别增加 4.51% 和 15.93%, 微生物量碳含量分别增加 1.41% 和 24.86%。在农艺性状方面, 团棵期, 有机肥施用相较于不施用, 最大叶宽显著提高 8.40%; 绿肥全量还田相较半量还田和不还田改善了各时期农艺性状, 在团棵期株高显著提高 8.05% 和 10.49%, 茎围显著提高 3.99% 和 7.68%, 有效叶数显著提高 5.48% 和 4.32%, 最大叶长显著提高 2.57% 和 4.99%; 在打顶期, 茎围分别显著提高 1.13% 和 1.66%, 最大叶宽分别显著提高 5.03% 和 8.10%; 在圆顶期, 顶二叶宽分别增加 4.67% 和 9.32%、顶三叶长分别提高 3.32% 和 7.61%。烤后烟叶化学成分综合协调性及感官质量表现出绿肥全量还田 > 绿肥半量还田 > 绿肥不还田的趋势, 即在绿肥全量还田处理下烟叶化学成分较协调且感官质量较高。在经济性状方面, 相较于不施用有机肥, 有机肥施用处理烟叶产量显著增加 17.22%, 产值显著增加 20.18%, 中上等烟比例显著增加 3.44%; 绿肥全量还田相较半量还田和不还田产量显著增加 6.08% 和 11.55%, 产值显著增加 7.13% 和 19.88%, 中上等烟比例显著增加 1.75% 和 2.54%。相较于当地常规施肥方式添加有机肥且绿肥不还田 (+O-GF0), 添加有机肥且绿肥全量还田显著提高土壤有机碳 16.32%, 活性有机碳 16.32%, 惰性有机碳 11.15%, 可溶性有机碳 11.31%, 微生物生物量碳 141.15%, 显著提高产量 4.57%, 产值 23.36%。因此, 在现有施肥制度基础上种植绿肥, 进行全量压青还田有利于扩充土壤碳库进而改善毕节地区烤烟的生长状况、提高烟叶产量与化学协调性, 是实现毕节地区烟叶可持续发展的有效途径。

关键词: 绿肥压青还田; 土壤有机碳; 有机肥; 烟叶产量; 烟叶品质

烤烟是重要的叶用经济作物, 对我国农村经济发展, 尤其对促进偏远山区的乡村振兴具有重要作用。然而, 近年来, 随着烟草种植规模不断扩大, 长年连作和奢侈施用化肥等不当农艺措施严重破坏了烟田土壤环境^[1], 导致土壤肥力下降, 土壤矿

质营养供应不均衡, 难以与烟株养分需求相协调, 导致烟叶化学成分比例失调, 进而影响烟草产量与品质。

烤烟产量与品质不仅受到品种遗传特征的影响, 也与合适的肥料施用、田间管理等农艺措施密切相关^[2-4]。在众多因素中, 施肥措施对烤烟田间生长及烤后烟叶品质有明显的调控作用^[5-7]。有研究表明, 有机无机配施下烤烟平均产量增幅为 4.68%, 并且可以显著提高上等烟比例^[8]; 在品质方面, 有机无机配施可以显著提高烟叶还原糖、总糖和钾含量, 使烟叶化学成分更趋协调^[9]; 相反, 不合理施肥、过量施肥可能导致烟叶化学成分

收稿日期: 2024-09-19; 录用日期: 2024-10-09
基金项目: 贵州省烟草公司毕节市公司重点研发项目 (2023520500 240161)。
作者简介: 黄树鹏 (1999-), 硕士研究生, 研究方向为烟草栽培与土壤生态。E-mail: 1428107239@qq.com。
通讯作者: 曹廷茂, E-mail: caotingmao@sina.com; 戴华鑫, E-mail: huaxindai@foxmail.com。



失调,影响烟叶品质^[10]。因此,在保证烤烟产量与协调的化学品质的基础上,合理施用肥料对烤烟生产具有重要意义。研究表明,绿肥富含多种养分和有机质,含水率较高、碳氮比较低,还田后易被微生物分解,有助于改善土壤肥力^[11-12],增加后茬作物产量^[13],并且可作为优质的有机肥源在农业生产中替代部分化学肥料^[14-16]。绿肥还田能改良土壤结构、增加土壤有机质以及增加后茬作物产量^[17]。同时,绿肥与化肥配施,有利于烟株早期缓苗,对烟草干物质积累总量、烟叶产量均有显著提高。相比单施化肥,等氮条件下绿肥与化肥配施对烤烟株高、叶片大小、产量均有显著增加^[18]。在烟叶化学成分方面,植烟土壤中翻压绿肥可增加烟叶中还原糖和总糖含量、降低烟碱含量,显著提升烟叶品质^[19];且在烟苗移栽前翻压绿肥可显著提高烟叶中磷、钾和微量元素含量^[20]。

毕节烟区位于贵州省西北部,西接云南、北邻四川,是我国重要的烤烟主产区之一。威宁彝族回族苗族自治县位于毕节市西部,属西部温凉春旱多日照烤烟种植区,因烤烟移栽后干旱、倒春寒现象严重导致烟株前期生长发育缓慢,氮素吸收期延后;由于缺乏对化肥、有机肥和绿肥施用量精确估量,致使部分烟田土壤营养残留过多,上部烟叶贪青晚熟进而影响其烤后品质。此外,因其特殊的气候环境,绿肥植株较小、产量不高,当地绿肥还田量对土壤的培肥能力尚不明确,当地绿肥还田量是否能改善烟叶品质尚有疑问。因此,本研究通过调整绿肥压青还田量这一烤烟生长前期可控因素,探究其对烟株长势、经济性状及产量和质量的影响,旨在探明适合本区域烟叶生产的合理绿肥种植模式,为毕节烤烟生产方案的制定及烟叶品质提升提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地与供试材料

试验于2023年在贵州省毕节市威宁彝族回族苗族自治县黑石头镇烟草科技园(26° 75' N, 103° 99' E)进行,试验烟田地势平坦,排灌状况良好,上一季无病虫害发生。土壤类型为黄壤,pH值为7.55,耕层有机质含量为15.63 g/kg,硝态氮含量为17.63 mg/kg,铵态氮含量为7.31 mg/kg,速

效钾含量为249.20 mg/kg。烟草品种为云烟87,绿肥为光叶紫花苕。

1.2 试验设计

裂区试验设计(表1)。主区为有机肥,包括施用(900 kg/hm²;+O)和不施用(0 kg/hm²;-O)2个水平;副区为绿肥压青还田量,包括不还田0%(0 kg/hm²;GF0)、50%还田(1413 kg/hm²;GF50)和100%还田(2826.7 kg/hm²;GF100)3个水平。共6个处理:+O-GF0、+O-GF50、+O-GF100、-O-GF0、-O-GF50、和-O-GF100;其中,+O-GF0为当地常规施肥方式。每个处理重复3次,共18个小区,小区面积为30 m²。每个小区5垄,每垄7穴,种植行距为1.1 m,株距60 cm。

绿肥于烟草移栽前20 d全田收割计算单位面积绿肥产量,粉碎后按不还田0%(0 kg/hm²)、50%还田(1413 kg/hm²)和100%还田(2826.7 kg/hm²)3个水平,均匀铺撒在田面进行翻压。有机肥于烟草移栽前和基肥混合一次性拌塘穴施。其余肥料施用与当地常规6:4肥料运筹管理制度保持一致,包括基肥为585 kg/hm²(N-P₂O₅-K₂O: 9-13-24),基肥在移栽前一次性拌塘穴施;提苗肥为37.5 kg/hm²(N-P₂O₅-K₂O: 15-8-07),在移栽时溶水穴施;追肥为300 kg/hm²(N-P₂O₅-K₂O: 13-00-26),在移栽后30 d穴施。有机肥为金叶丰碳基有机肥,生物炭≥15%、有机质≥30%、N+P₂O₅+K₂O≥5%,由贵州金叶丰农业科技有限公司提供。绿肥为光叶紫花苕,其养分含量为碳60.9%、氮1.4%、磷0.04%、钾1.63%。

表1 田间小区试验处理及施肥量(kg/hm²)

处理	有机肥量	绿肥量	基肥量	提苗肥	追肥量
+O-GF0	900	0	585	37.5	300
+O-GF50	900	1413	585	37.5	300
+O-GF100	900	2826.7	585	37.5	300
-O-GF0	0	0	585	37.5	300
-O-GF50	0	1413	585	37.5	300
-O-GF100	0	2826.7	585	37.5	300

1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤碳组分指标测定

在烟草成熟期采用五点取样法分别采集各小区土壤样品。土壤样品混匀并拣出石块、植物残体、杂物,将部分土壤样品过孔径2 mm筛,保存于4℃冰箱中,用于测定土壤微生物量碳。其余土壤

样品置于阴凉处自然风干, 分别过 2 和 0.15 mm 土壤筛, 用于测定土壤有机碳、可溶性有机碳和活性有机碳含量。

土壤有机碳含量: 参照《土壤农化分析》^[21], 采用浓硫酸-重铬酸钾氧化法测定。

土壤微生物碳、可溶性有机碳: 参照鲍佳书等^[22]的研究方法, 采用氯仿熏蒸-K₂SO₄提取法测定。

惰性有机碳含量: 参照 Belay-Tedla 等^[23]的研究方法, 采用两步酸水解分解法、浓硫酸-重铬酸钾氧化法得出活性有机碳含量。惰性有机碳 = 总有机碳 - 活性有机碳。

1.3.2 烟叶农艺性状测量

按 YC/T 142—2010 中规定的烟草农艺性状调查方法。每个小区选 10 株有代表性烟株分别在团棵期、打顶期、圆顶期测定大田烟株农艺性状, 主要包括株高、茎围、节距、叶数、腰叶长宽和顶叶长宽。

1.3.3 烟叶常规化学成分测定及烤烟化学成分综合评价指标

每个处理取 B2F、C3F、X2F 烟叶各一份, 常规化学成分依据参照《中国烟草种植区划》^[24], 选择总植物碱、还原糖、总糖、总氮、氯离子和钾离子含量以及钾氯比、氮碱比和糖碱比 9 项作为烤烟化学成分综合评价指标, 测定方法参考 YC/T 159—2002、YC/T 173—2003、YC/T 160—2002、YC/T 161—2002 以 YC/T 162—2002 标准方法进行检测。计算烤后烟叶化学指标量化得分且采用指数和法评价烤烟化学成分协调性综合情况, 计算公式如下:

$$P = \sum C_i \times P_i$$

式中, P 代表烤烟化学成分协调性综合指数; C_i 为第 i 个化学成分指标量化分值; P_i 为第 i 个化学成分指标对应的权重。各指标权重分别为, 烟碱 0.17、总氮 0.09、还原糖 0.14、钾 0.08、淀粉 0.07、氯 0.09、糖碱比 0.25、氮碱比 0.11。

1.3.4 烤后烟叶感官质量评价

烟叶样品经去梗、切丝、烘干、平衡水分后制成卷烟, 参照《烟草及烟草制品感官评价方法》(YC/T 138—1998), 由中国烟草总公司郑州烟草研究院评吸专家组鉴定, 从香气特性(香气质、香气量)、烟气特性(浓度、劲头、余味)、口感特性(杂气、刺激性)和工业可用性等指标进行评价, 采用 9 分制打分, 对主要评吸指标进行赋值, 包括

浓度、劲头、香气质、香气量、杂气、刺激性、余味等, 其中浓度、劲头为参照因素不进入评分体系, 其余 5 个指标权重分别为 0.30、0.30、0.08、0.15、0.17, 计算总分。工业可用性档次由基地单元对应的卷烟工业企业感官质量评吸专家组进行对口评价, 分为可用于一类产品(A类)和可用于二类产品(B类)两档。

1.3.5 经济性状测定

不同处理烤后原烟单独存放, 按 GB 2635—1992 标准分级和当地烟叶各等级收购价格计产, 分别计算单位产量、单位产值、上等烟比例和上中等烟比例等。

1.4 数据处理

采用 Excel 2022 对数据进行统计处理, 采用 SPSS 20.0 进行方差分析, 采用 Duncan's 新复极差法进行处理间的差异显著性比较。使用 Origin 2023 绘图。

2 结果与分析

2.1 绿肥还田量对土壤有机碳组分的影响

有机肥施用显著影响有机碳含量, 绿肥压青还田量显著影响有机碳含量、活性有机碳含量、惰性有机碳含量、可溶性有机碳含量和微生物量碳含量, 二者的交互作用显著影响微生物生物量碳含量 ($P < 0.05$; 图 1)。施用有机肥有机碳含量增加 4.71%; 绿肥全量还田相较半量还田和不还田, 有机碳含量分别增加 5.04% 和 12.03%, 活性有机碳含量分别增加 20.03% 和 10.89%, 惰性有机碳含量分别增加 6.94% 和 11.70%, 可溶性有机碳含量分别增加 4.51% 和 15.93% 和微生物量碳含量分别增加 1.41% 和 24.86%。在不添加有机肥条件下, 绿肥全量还田相较半量还田和不还田, 有机碳含量分别提高 6.94% 和 12.94%, 活性有机碳含量分别提高 3.36% 和 0.54%, 惰性有机碳含量分别提高 8.51% 和 12.27%, 可溶性有机碳含量分别提高 6.68% 和 20.77%, 微生物生物量碳含量分别降低 42.99% 和 40.08%。在添加有机肥条件下, 绿肥全量还田相较半量还田和不还田, 有机碳含量分别提高 3.27% 和 11.13%, 活性有机碳含量分别提高 9.96% 和 16.32%, 惰性有机碳含量分别提高 5.54% 和 11.15%, 可溶性有机碳含量分别提高 2.35% 和 11.31%, 微生物生物量碳含量分别提高 55.19% 和 141.15%。

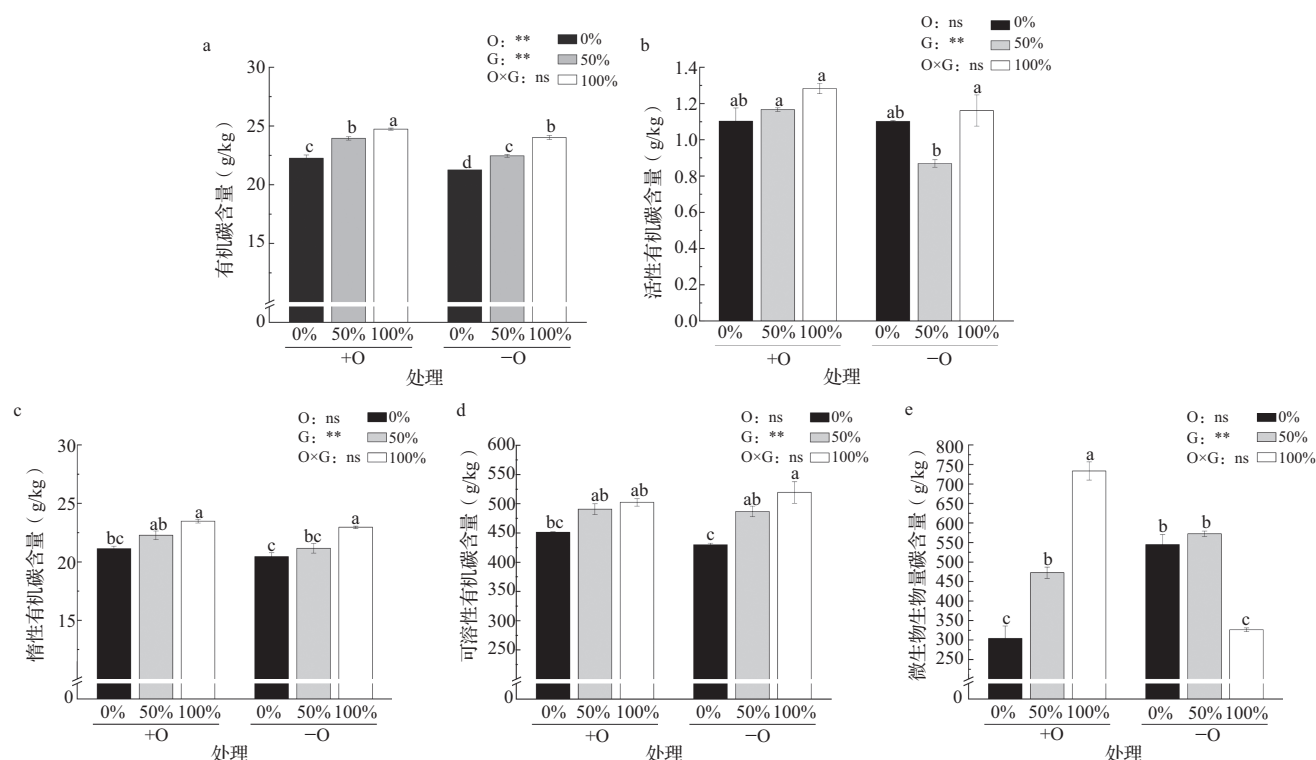


图1 绿肥还田量对土壤碳组分的影响

注: O 为有机肥施用, G 为绿肥压表还田量。不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。* 表示 $P<0.01$, ns 表示差异不显著。

2.2 绿肥还田量对烤烟农艺性状的影响

2.2.1 绿肥还田量对烤烟团棵期农艺性状的影响

有机肥施用对团棵期农艺性状影响不显著,绿肥压青还田量对所有处理团棵期农艺性状(株高、茎围、有效叶数、最大叶长、最大叶宽)均显示出极显著影响($P<0.01$),但二者的交互作用仅在最大叶长、最大叶宽上表现出显著性($P<0.05$;表2)。绿肥全量还田相较半量还田和不还田,株

高分别显著提高8.05%和10.49%,茎围分别显著提高3.99%和7.68%,有效叶数分别显著提高5.48%和4.32%,最大叶长显著提高2.57%和4.99%。在不添加有机肥条件下,绿肥全量还田相较半量还田和不还田,株高提高了9%。添加有机肥且全量还田的处理在烤烟团棵期农艺性状表现出最优的株高、茎围、有效叶数、最大叶长、最大叶宽。

表2 不同绿肥还田量对烤烟团棵期农艺性状的影响

处理		株高 (cm)	茎围 (cm)	有效叶数	最大叶长 (cm)	最大叶宽 (cm)
有机肥	绿肥还田量 (%)					
-O	0	20.71c	6.75b	15.00b	40.45b	23.14a
	50	21.52bc	7.01ab	15.33ab	41.43ab	23.43a
	100	22.65b	7.17ab	16.00ab	41.68ab	23.38a
+O	0	21.95bc	6.80b	16.00ab	40.87ab	24.33a
	50	22.18bc	7.01ab	15.33ab	41.82ab	24.46a
	100	24.59a	7.42a	16.33a	43.72a	24.72a
有机肥施用		NS	NS	NS	NS	NS
绿肥压青还田量		**	**	**	**	NS
有机肥施用 × 绿肥压青还田量		NS	NS	NS	*	NS

注: * 表示 $P<0.05$; ** 表示 $P<0.01$; *** 表示 $P<0.001$; NS 表示不显著。下同。

2.2.2 绿肥还田量对烤烟打顶期农艺性状的影响

有机肥施用对打顶期有效叶数、节距、最大叶长、最大叶宽表现出显著差异，绿肥压青还田量对打顶期茎围、最大叶宽表现出显著差异，二者的交互作用显著影响打顶期茎围、最大叶宽 ($P<0.05$ ；表 3)。有机肥施用相较于不施用，有效叶数显著降低 2.25%，节距显著降低 8.39%，最大叶长显著降低 2.68%，最大叶宽显著提高 8.40%。绿肥全量还田相较半量还田和不还田，茎围分别显著提高

1.13% 和 1.66%，最大叶宽分别显著提高 5.03% 和 8.10%。在添加有机肥条件下，绿肥全量还田相较半量还田和不还田，茎围分别显著提高 3.08% 和 3.50%，最大叶宽分别显著提高 10.86% 和 14.04%。相较于不添加有机肥且绿肥不还田的处理，添加有机肥且绿肥全量还田处理下的株高、茎围、最大叶宽分别增加了 5.5%、4.5% 和 18.98%。打顶期，添加有机肥且绿肥全量还田时烤烟表现出了最大株高、茎围及叶宽。

表 3 不同绿肥还田量对烤烟打顶期农艺性状的影响

处理		株高 (cm)	茎围 (cm)	有效叶数	节距 (cm)	最大叶长 (cm)	最大叶宽 (cm)
有机肥	绿肥还田量 (%)						
-O	0	89.43c	7.36b	18.62ab	3.34ab	68.24a	23.07c
	50	91.75abc	7.39b	18.93a	3.35ab	66.72ab	23.77bc
	100	90.23bc	7.34b	18.24ab	3.41a	66.42abc	23.51c
+O	0	92.18abc	7.43b	18.31ab	3.06c	65.40bc	24.07bc
	50	93.32ab	7.46b	18.27ab	3.06c	66.15bc	24.76b
	100	94.35a	7.69a	18.00b	3.16bc	64.60c	27.45a
有机肥施用		NS	NS	*	**	*	*
绿肥压青还田量		NS	**	NS	NS	NS	**
有机肥施用 × 绿肥压青还田量		NS	**	NS	NS	NS	**

2.2.3 绿肥还田量对烤烟圆顶期农艺性状的影响

有机肥施用对圆顶期最大叶宽、顶 1 叶长宽、顶 2 叶长宽、顶 3 叶长宽均有显著影响，绿肥压青还田对圆顶期顶 2 叶宽、顶 3 叶长有显著影响，且二者的交互作用对圆顶期节距有显著影响 ($P<0.05$ ；表 4)。有机肥还田相较于不还田，最大叶宽显著降低 8.29%，顶 1 叶长宽分别降低 12.3% 和 24.4%，顶 2 叶长宽分别降低 11.02% 和 23.06%，顶 3 叶长宽分别降低 12.86% 和 22.68%。绿肥全

量还田相较半量还田和不还田，顶 2 叶宽分别增加 4.67% 和 9.32%，顶 3 叶长分别提高 3.32% 和 7.61%。在不添加有机肥条件下，绿肥全量还田相较半量还田和不还田，顶 3 叶长分别提高 5.89% 和 9.32%。在添加有机肥条件下，绿肥全量还田相较半量还田和不还田，顶 2 叶长提高 7.74%，顶 2 叶宽提高 14.51%，顶 3 叶长提高 5.73%。绿肥压青还田改善了烤烟农艺性状且绿肥全量还田时表现出最大株高、茎围、有效叶数和各叶片长宽。

表 4 不同绿肥还田量对烤烟圆顶期农艺性状的影响

处理		株高 (cm)	茎围 (cm)	有效叶数	节距 (cm)	最大叶长 (cm)	最大叶宽 (cm)	顶 1 叶长 (cm)	顶 1 叶宽 (cm)	顶 2 叶长 (cm)	顶 2 叶宽 (cm)	顶 3 叶长 (cm)	顶 3 叶宽 (cm)
有机肥	绿肥还田量 (%)												
-O	0	93.75b	7.64ab	4.12a	18.94ab	73.20a	23.84abc	55.07ab	15.84a	62.49a	18.33a	65.43b	20.73a
	50	94.19ab	7.77ab	4.02a	19.25a	74.32a	24.06ab	54.23ab	15.77a	61.67ab	18.41a	67.55b	20.49a
	100	92.65b	7.80a	4.07a	18.58ab	75.08a	24.97a	57.54a	15.91a	63.83a	19.30a	71.53a	21.09a
+O	0	94.34ab	7.24b	4.23a	18.53ab	71.66a	21.96c	47.60c	11.86b	54.24d	14.06c	58.28d	15.80b
	50	94.71ab	7.43ab	4.28a	18.17b	72.09a	22.56bc	49.87c	13.02b	56.63cd	15.40b	61.32c	17.69b
	100	96.79a	7.55ab	4.30a	18.72ab	72.48a	22.76bc	51.12bc	13.31b	58.44bc	16.10b	61.62c	17.31b
有机肥施用		NS	NS	NS	NS	NS	*	*	**	**	**	**	*
绿肥压青还田量		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	**	NS
有机肥施用 × 绿肥压青还田量		NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS



2.3 绿肥还田量对烤后烟叶化学成分的影响

有机肥施用显著影响烤后上部叶的总糖、氯、淀粉、钾氯比,绿肥压青还田量显著影响总氮、还原糖、淀粉和氮碱比,二者的交互作用显著影响总氮、还原糖、总糖、淀粉和氮碱比($P<0.05$;表5)。施用有机肥总糖含量增加4.25%、氯含量增加20.8%、淀粉含量增加14.58%,氯钾比降低15.99%;绿肥全量还田相较半量还田和不还田,总氮含量分别增加5.80%和13.94%,还原糖含量分别增加1.87%和10.42%,氮碱比分别增加10.45%和17.46%,钾氯比分别增加3.48%和13.98%,而淀粉含量显著降低7.03%和10.19%。在不添加有

机肥条件下,绿肥全量还田相较半量还田和不还田,总氮含量分别提高8.52%和14.15%,还原糖含量分别提高15.62%和16.44%,氮碱比分别提高14.71%和21.88%。绿肥全量还田相较半量还田糖碱比提高10.96%,绿肥全量还田相较不还田糖碱比降低19.23%。在添加有机肥条件下,绿肥半量还田相较全量还田和不还田,还原糖含量分别提高11.71%和17.46%,总糖含量分别提高6.26%和2.78%。绿肥半量还田相较不还田,总氮提高22.27%、氮碱比提高20.34%。绿肥全量还田在氮碱比、钾氯比、糖碱比表现最好,上部叶化学成分最协调。

表5 不同绿肥还田量对烤后烟叶化学成分的影响 (%)

叶位	处理		烟碱 含量	总氮 含量	还原糖 含量	总糖 含量	钾含量	氯含量	淀粉 含量	糖碱比	氮碱比	钾氯比
	有机肥	绿肥还田量 (%)										
上部叶	-O	0	3.30a	2.23bc	25.42c	31.96d	1.43ab	0.26ab	2.85c	9.72ab	0.68b	5.51abc
		50	3.33a	2.12c	25.24c	32.13cd	1.50ab	0.24bc	2.90c	9.67b	0.64bc	6.36ab
		100	3.10a	2.42a	29.39ab	33.18bc	1.40b	0.21c	2.90c	10.73a	0.78a	6.53a
	+O	0	3.29a	1.93d	25.43c	33.87ab	1.44ab	0.29a	3.62a	10.29ab	0.59c	4.93c
		50	3.34a	2.36a	29.87a	34.81a	1.47ab	0.29a	3.37b	10.44ab	0.71ab	5.14c
		100	3.20a	2.33ab	26.74bc	32.76cd	1.52a	0.29a	2.92c	9.88ab	0.70b	5.37bc
中部叶	-O	0	2.89a	1.53b	25.05bcd	38.53a	1.67a	0.21bc	2.72a	13.35bc	0.53d	7.81ab
		50	2.72b	1.89ab	23.52cd	36.49cd	1.67a	0.18d	2.68a	13.29bc	0.69bc	9.21a
		100	2.78ab	1.83ab	23.05d	35.68d	1.75a	0.19cd	2.60a	12.84c	0.66cd	9.06a
	+O	0	2.36c	1.97a	26.59abc	36.44c	1.58a	0.23ab	2.37a	15.46a	0.84a	6.99b
		50	2.49c	2.00a	27.22ab	37.24b	1.69a	0.21bc	2.81a	14.98a	0.81ab	8.15ab
		100	2.66b	2.19a	28.59a	36.99b	1.84a	0.24a	2.65a	13.89b	0.82ab	7.54ab
下部叶	-O	0	2.39b	1.82a	18.51c	26.05d	1.89ab	0.25a	1.34b	10.92c	0.76a	7.61a
		50	2.38b	1.82a	21.20b	30.84c	1.78abc	0.24a	1.49ab	12.96b	0.77a	7.44ab
		100	2.64a	1.77a	19.28c	27.06d	1.94a	0.28a	1.35ab	10.27c	0.67a	6.93bc
	+O	0	2.14c	1.61a	26.49a	33.89b	1.67c	0.26a	1.74a	15.87a	0.75a	6.43cd
		50	2.28bc	1.83a	26.42a	36.21a	1.62c	0.26a	1.58ab	15.93a	0.80a	6.23d
		100	2.19c	1.56a	27.27a	34.55ab	1.73bc	0.28a	1.44ab	15.78a	0.71a	6.17d
上部叶	有机肥施用		NS	NS	NS	**	NS	*	*	NS	NS	*
	绿肥压青还田量		NS	**	*	NS	NS	NS	**	NS	**	NS
	有机肥施用 × 绿肥压青还田量		NS	**	**	*	NS	NS	**	NS	**	NS
中部叶	有机肥施用		**	NS	*	NS	NS	**	NS	**	*	NS
	绿肥压青还田量		NS	*	NS	**	NS	NS	NS	*	NS	NS
	有机肥施用 × 绿肥压青还田量		*	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	*	NS
下部叶	有机肥施用		*	NS	**	**	*	NS	NS	**	NS	*
	绿肥压青还田量		*	NS	NS	**	*	**	NS	*	NS	NS
	有机肥施用 × 绿肥压青还田量		**	NS	NS	*	NS	NS	NS	*	NS	NS

有机肥的施用显著影响了烤后中部叶的烟碱、还原糖、氯、糖碱比和氮碱比，绿肥压青还田量显著影响了总氮、总糖和糖碱比，二者的交互作用显著影响了烟碱、总糖和氮碱比 ($P<0.01$ ；表 5)。施用有机肥还原糖含量提高 15.08%、氯含量提高 15.00%、糖碱比提高 12.31%、氮碱比提高 30.16%，而烟碱含量显著降低 10.71%；绿肥全量还田相较半量还田和不还田，总氮含量分别显著提高 3.08% 和 14.86%，总糖含量分别降低 1.03% 和 3.04%，糖碱比降低 5.44% 和 7.15%。在不添加有机肥条件下，绿肥半量还田相较不还田，氮碱比提高 30.19%，而氯含量降低 14.29%，烟碱降低 10.00%；绿肥全量还田相较半量还田和不还田，总糖含量分别显著降低 1.03% 和 3.04%。在添加有机肥条件下，绿肥全量还田相较半量还田和不还田，糖碱比分别降低 7.28% 和 10.16%；绿肥全量还田相较不还田，总糖含量提高 15.09%；相较半量还田，氯含量提高 14.29%。随着压青还田量增加烤后中部叶钾、总氮等指标均有显著提高，表明绿肥压青还田可以改善中部叶烤后品质，添加有机肥且绿肥全量还田时中部叶化学成分最协调。

有机肥的施用显著影响烤后下部叶的烟碱、还原糖、总糖、钾、糖碱比、钾氯比，绿肥压青还田量显著影响烟碱、总糖、钾、氯、糖碱比，二者的交互作用显著影响烟碱、总糖、糖碱比 ($P<0.05$ ；表 5)。施用有机肥还原糖含量增加 35.96%、总糖

含量增加 24.66%、糖碱比含量增加 39.37%，而烟碱含量显著降低 10.93%、钾含量降低 10.53%、钾氯比降低 14.32%。绿肥全量还田相较半量还田和不还田，烟碱含量分别提高 3.43% 和 6.64%，钾含量分别提高 8.24% 和 3.37%，氯含量分别提高 12% 和 12%，钾氯比显著降低 4.10% 和 6.69%。绿肥半量还田时总糖、糖碱比达到最大值，分别为 33.53% 和 14.44%。在不添加有机肥条件下，绿肥全量还田相较半量还田和不还田，烟碱含量分别提高 10.92% 和 10.46%。绿肥半量还田相较全量还田和不还田，还原糖含量分别提高 9.96% 和 14.53%，总糖分别提高 13.97% 和 18.39%，糖碱比分别提高 26.19% 和 18.68%；而绿肥全量还田相较半量还田和不还田，钾氯比分别降低 6.85% 和 8.94%。在添加有机肥条件下，绿肥压青半量还田相较不还田总糖含量显著提高了 6.85%。从烤烟下部叶化学成分来看，不施用有机肥处理在烟叶化学成分协调方面较施用有机肥处理更优，不添加有机肥、压青还田量为 0% 处理的下部叶化学成分最协调。

2.4 绿肥还田量对烤后烟叶感官质量的影响

对于上部叶，添加有机肥条件下，绿肥全量还田相较半量还田和不还田，感官质量总分分别提高 0.96% 和 4.35%；不添加有机肥条件下，绿肥全量还田相较半量还田和不还田，感官质量总分分别提高 1.86% 和 2.27%。上部叶中绿肥全量还田处理工业可用性最高（表 6）。

表 6 不同绿肥还田量对烤后烟叶感官质量的影响

叶位	处理		浓度	劲头	香气质	香气量	杂气	刺激性	余味	总分	工业 可用性
	有机肥	绿肥还田量 (%)									
上部叶	-O	0	6.5	6.2	6.2	6.4	6.0	6.0	5.9	68.47	B
		50	6.5	6.4	6.2	6.4	6.1	6.0	6.0	68.75	B
		100	6.5	6.4	6.4	6.4	6.2	6.2	6.1	70.03	B+
	+O	0	6.5	6.5	6.1	6.3	6.0	6.0	6.0	67.99	B
		50	6.5	6.5	6.5	6.5	6.1	6.0	6.1	70.27	B
		100	6.5	6.5	6.5	6.6	6.3	6.1	6.1	70.95	A
中部叶	-O	0	6.3	6.2	6.3	6.3	6.0	6.0	6.0	68.66	B
		50	6.5	6.1	6.4	6.5	6.1	6.0	6.0	69.75	B+
		100	6.5	6.0	6.4	6.5	6.1	6.0	6.0	69.75	B+
	+O	0	6.1	6.0	6.2	6.3	6.2	6.0	6.0	68.50	B
		50	6.2	6.2	6.4	6.5	6.2	6.1	6.2	70.38	B+
		100	6.6	6.0	6.7	6.7	6.4	6.3	6.4	72.94	A

注：A、A- 为可用于一类产品（A 类）档次，A 代表达到该档次标准，A- 为稍低于 A 水平但仍符合一类产品要求；B+、B、B- 为可用于二类产品（B 类）档次，B+ 品质在该档次中较优，B 为达到标准，B- 为稍低于 B 水平但仍符合二类产品要求，由卷烟工业企业感官质量评吸专家组评定。

对于中部叶,添加有机肥条件下,绿肥全量还田相较半量还田和不还田,感官质量总分分别提高 3.63% 和 6.47%;不添加有机肥条件下,绿肥全量还田相较绿肥不还田,感官质量总分提高 1.59%。中部叶中绿肥全量还田处理工业可用性最高(表 6)。

2.5 绿肥还田量对烤烟化学成分综合协调性的影响

通过对烤后上部叶、中部叶各化学成分含量赋

值和权重分析,采用指数和法对化学成分进行综合协调性评价(图 2a、b、c、d),结果显示,绿肥压青还田后上部叶协调性总分呈现压青还田量 100% > 50% > 0%;从中部叶来看,有机肥施用处理可以增加烤后烟叶的化学成分协调性;绿肥全量还田时烤后上部叶、中部叶化学成分最协调。从下部叶来看,不施用有机肥处理化学成分协调性较施用有机肥处理更优(图 2e、f)。

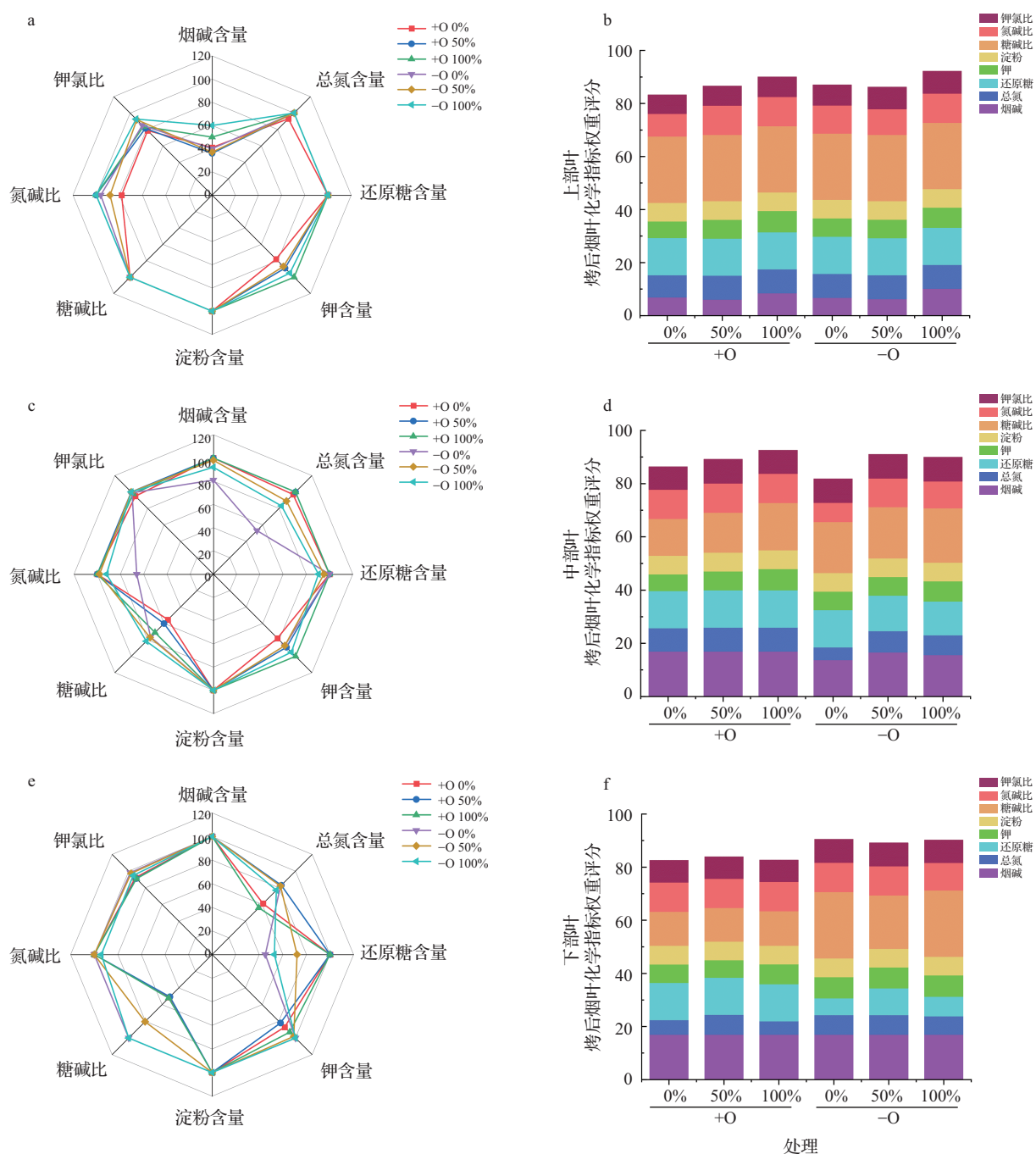


图 2 绿肥还田对烤后烟叶化学指标量化得分、权重评分的影响

注: a、c、e 为烤后烟叶化学成分量化得分, b、d、f 为烤后烟叶化学成分权重评分。

2.6 绿肥还田量对烤烟经济性状的影响

有机肥施用显著影响产量、产值和中上等烟比例；绿肥压青还田量显著影响产量、产值和中上等烟比例；二者的交互作用显著影响烟叶产量 ($P<0.05$ ；表 7)。相较于不施用有机肥，有机肥施用处理烟叶产量显著增加 17.22%，产值显著增加 20.18%，中上等烟比例显著增加 3.44%。绿肥全量还田相较半量还田和不还田产量分别显著增加 6.08% 和 11.55%，产值分别显著增加 7.13% 和 19.88%，中上等烟比例分别显著增加 1.75% 和 2.54%。添加有机肥且绿肥全量还田时达到产量、产值最大值，分别为 3.43 t/hm²、10.88 万元 /hm²。从烤后烟叶的经济性状来看，添加有机肥且绿肥全量还田时表现出最好的产量与产值，为最优处理。

表 7 不同绿肥还田量对烤烟经济性状的影响

处理		产量 (t/hm ²)	产值 (万元 /hm ²)	上等烟 比例	中上等烟 比例
有机肥	绿肥还田量 (%)				
-O	0	2.57e	7.65c	0.57a	0.89c
	50	2.86d	8.30c	0.54a	0.89bc
	100	3.10c	8.86bc	0.55a	0.92abc
+O	0	3.28b	8.82bc	0.59a	0.92ab
	50	3.29ab	10.13ab	0.56a	0.93a
	100	3.43a	10.88a	0.62a	0.94a
有机肥施用		**	*	NS	*
绿肥压青还田量		**	**	NS	**
有机肥施用 × 绿肥 压青还田量		**	NS	NS	NS

3 讨论

3.1 绿肥还田对土壤有机碳及组分的影响

有机肥和绿肥是植烟土壤中碳汇的重要来源^[25]。通过增加土壤有机碳含量，提高土壤肥力和微生物活性，对烟株生长发育和烟叶品质提升具有重要影响。本研究发现，绿肥还田显著增加土壤有机碳、活性有机碳、惰性有机碳、可溶性有机碳和微生物生物量碳的含量（图 1）。绿肥压青还田增加土壤微生物的活性且会通过激发效应促进土壤原有有机碳分解。大量研究表明，绿肥还田可以增加土壤有机碳含量且随绿肥还田量的增加土壤有机碳含量也显著提高^[26-27]。可溶性有机碳作为活性有机碳的主要组成部分，对调节土壤养分流有很大影响，且与土壤内在生产力高度相关^[28]，其高低反映了土壤中有

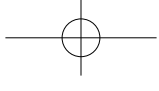
机碳的可用性和碳循环的活跃程度^[29]。微生物生物量碳的增加则表明土壤微生物活性提高，微生物在碳循环中的作用加强，进一步扩充土壤碳库^[30]。

然而，本研究发现，单施有机肥虽可增加土壤中的有机碳含量，但其他各碳组分都表现为不显著（图 1），可能原因是缺乏绿肥提供的可快速分解的有机质。单施绿肥虽显著提高土壤中的可溶性有机碳含量和微生物生物量碳含量，但由于无法长期提供有机质，可能不足以维持土壤肥力进而导致烟叶产量与产值下降（表 7），且在绿肥压青还田 100% 时微生物生物量碳显著下降，其可能原因是，大量碳源输入使微生物对氮素需求旺盛，使适应资源稳定、竞争能力强、繁殖速率较慢的微生物类群，如真菌、放线菌等 K 策略型微生物在竞争中处于优势，从而导致微生物生物量碳大幅下降^[31]。因此，单施有机肥或绿肥都难以充分满足植株对养分的需求。本试验中施加有机肥且绿肥压青还田量为 100% 的处理为最佳处理，其主要原因可能是该处理能够在不同时间段内为土壤提供碳源，绿肥在前期迅速分解，释放出大量易分解的有机碳，有助于烟株早期生长，而有机肥则为土壤提供了长期的有机质来源，稳定增加土壤碳储量。因此，这种组合能够确保在烟株不同生长阶段维持稳定的土壤肥力。

3.2 绿肥还田对烟草生长发育的影响

烟草在生长发育过程中对土壤营养成分供给十分敏感，而绿肥、有机肥腐解的产物中含有大量有机质，是土壤有机质的重要组成部分和补充来源，可以促进烟株生长^[17, 32]。本研究中，团棵期烟株株高、茎围、叶数、最大叶长显著增加，表明绿肥压青还田可以促进烟株早发快发，抵御烟株前期生长遇到低温、干旱造成的不良影响。在打顶期，有机肥施用显著提高有效叶数、节距、最大叶长、最大叶宽。在圆顶期，随绿肥压青还田量的增加农艺性状也显著改善。这与前人研究结果一致^[33-34]，合适的压青还田量、有机肥施用量可以显著改善烤烟的农艺性状。本研究结果表明，单施绿肥虽较不施绿肥处理改善了烟草的农艺性状，但与有机肥和绿肥配施处理相比仍存在较大差距（表 2、3、4）。本试验发现，施用有机肥处理在圆顶期使顶 3 叶较未施肥处理的叶片变小，可能是由于烟株前期生长旺盛，导致叶片间遮荫严重，影响了后期上部叶的生长^[35]。

本研究表明，施加有机肥且绿肥压青还田量为 100% 为最优处理，可以显著改善烤烟农艺性状并



且可以提高产量。其可能原因如下：第一，豆科绿肥根瘤具有较强的固氮功能，增加了土壤中氮素含量^[36]；在烤烟生长前期持续供给氮素^[37]，保证烤烟前期生长发育^[38]，有利于植株形态建成；添加有机肥进而可以增加土壤全氮与碱解氮含量以长期持续增加土壤肥力从而促进烟叶高产。第二，绿肥还田后可以改良土壤理化性状、提高土壤保水性、调节地温、改善微生物群落结构与功能^[17, 39]，进而促进营养物质的分解与释放^[40]，使烤烟各个生长阶段养分需求得到满足^[41]，为烟叶高产创造条件。第三，健康的土壤环境使植株更加强壮，增强了植株对病虫害的抗性，保障了烟叶的高产。因此，在毕节地区，施加有机肥且绿肥压青全量还田的生产模式可以通过改善农艺性状而促进烤烟增产增效。

3.3 绿肥还田对烤后烟叶品质的影响

烟叶化学成分和感官质量是评价烟叶品质的重要指标^[42]。本研究地点位于毕节地区西部，是世界上海拔最高的烟区之一，为西部清香型低碱高糖区，烟碱较低、糖含量较高，是本烤烟区的主要特征^[43]。有研究表明^[44-47]，绿肥压青、施用有机肥可以提高烤后烟叶总糖、烟碱含量，提高中部烟叶化学成分之间的协调性，与本试验研究结果一致。也有研究^[48]表明，烤后烟叶随两糖比值升高，两糖差值减小，烟叶浓度和香气量增强，香气质和综合感官品质呈改善趋势，这与本研究结果一致。本试验中施加有机肥且绿肥全量还田处理改善了烤后烟叶的浓度、香气质、香气量、杂气、刺激性、余味等（表6），改善了烤后烟叶化学成分。其可能原因是：第一，烟苗移栽前翻压绿肥，促进了烟株对氮、磷、钾等养分的吸收^[49]，从而提高烟叶中磷、钾含量，同时，钙、镁、铜、铁、锰、锌等微量元素含量都有所增加，进而提高了烟叶品质^[20]。第二，威宁彝族回族苗族自治县属于毕节西部温凉春旱多日照烤烟种植区，该种植区全年日照充沛、降水量少并且昼夜温差大，绿肥还田并且施用有机肥有助于烤烟根系生长，提高烤烟水肥吸收能力，并且由于根系分泌物的释放刺激土壤中微生物活性，进一步促进土壤养分的分解与转化，有利于烟叶化学成分的协调且有利于碳水化合物的积累，有助于增加还原糖、总糖含量。第三，绿肥还田有助于增加烤烟叶面积，提高烤烟光合效率，促进烤烟碳水化合物的合成使糖类积累，从而改善烟叶品质^[50]。第四，绿肥还田后活跃的微生物群落有助

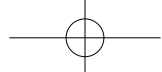
于抑制土壤有害病原菌的生长，减少病害的发生，从而促进烤烟健康生长^[51]。第五，随绿肥压青还田量的增加，土壤中氮含量有所增加，而烤后烟叶的香气量、浓度、劲头与土壤施氮量有关，在一定的范围内施氮有利于增加烟叶中氨基酸含量从而改善烤烟感官质量^[52]。因此，施加有机肥且绿肥压青全量还田的生产模式，在保证烟叶稳产高产的前提下对改善烟叶品质具有较好的作用。

4 结论

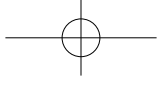
本研究发现，添加有机肥且绿肥全量还田显著增加了土壤有机碳及组分，扩充了土壤碳库，改善了烤烟生育期内农艺性状和不同部位烤后烟叶主要化学成分和感官质量，使烤后上部叶、中部叶烟叶化学成分和感官质量更加协调。在经济性状方面，该措施显著提高了产量、产值和中上等烟的比例。综上所述，添加有机肥，种植绿肥并进行全量压青还田，有利于提升毕节地区植烟土壤固碳能力，促进烤烟生长，提高产量并改善烟叶化学协调性，是实现毕节地区烟叶可持续发展的有效途径。

参考文献：

- [1] 张桃林, 李忠佩, 王兴祥. 高度集约农业利用导致的土壤退化及其生态环境效应[J]. 土壤学报, 2006, 43(5): 843-850.
- [2] 王茹, 江厚龙, 马超, 等. 氮锌配施对烟草根系发育及产量和质量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2023(12): 180-190.
- [3] 王兴松, 李灿, 王铎, 等. 烟秆生物质炭基肥对不同烤烟品种生长、病害及产质量的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(13): 82-88.
- [4] 张豪强, 杨春雷, 饶雄飞, 等. 不同有机肥对雪茄各部位烟叶养分吸收及产质量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2023(12): 227-235.
- [5] 刘德水, 冯雨晴, 史素娟, 等. 减氮配施丙三醇和生长素对烟叶质量及硝酸盐含量的影响[J]. 中国烟草学报, 2025, 31(1): 142-152.
- [6] 杨明华, 李永东, 林力, 等. 氮钾肥配施对烤烟生长及养分利用的影响[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(8): 73-80.
- [7] 郭迎新, 王琛, 王红叶, 等. 施肥管理对洱河流域烤烟产质量及氮磷养分径流损失的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2023(11): 101-109.
- [8] 王日俊, 黄成东, 徐照丽, 等. 基于中国知网的有机无机配施对烤烟产量与品质影响的整合分析[J]. 土壤, 2021, 53(6): 1185-1191.
- [9] 张良, 刘好宝, 顾金刚, 等. 复合菌剂与有机无机肥配施对烤烟生长及产量品质的影响[J]. 烟草科技, 2013(12):



- 67-73.
- [10] 廖强, 杨新士, 廖敏, 等. 不同施氮量对赣南烟区烤烟生长发育及烟叶产质量的影响[J]. 安徽农业科学, 2024, 52(8): 142-144.
- [11] Zhou G P, Gao S J, Lu Y H, et al. Co-incorporation of green manure and rice straw improves rice production, soil chemical, biochemical and microbiological properties in a typical paddy field in southern China [J]. Soil & Tillage Research, 2020, 197: 104499.
- [12] Adekiya A O. Green manures and poultry feather effects on soil characteristics, growth, yield, and mineral contents of tomato [J]. Scientia Horticulturae, 2019 (257): 257.
- [13] 王昊, 贺国强. 种植翻压绿肥对土壤理化性质及作物生长的影响[J]. 黑龙江科学, 2019, 10(12): 15-17.
- [14] Guldan S J, Martin C A, Lindemann W C, et al. Yield and green-manure benefits of interseeded legumes in a high desert environment [J]. Agronomy Journal, 1997, 89(5): 757-762.
- [15] Olesen J R E, Askegaard M, Rasmussen I A. Winter cereal yields as affected by animal manure and green manure in organic arable farming [J]. European Journal of Agronomy, 2009, 30(2): 119-128.
- [16] Talgre L, Lauringson E, Roostalu H, et al. Green manure as a nutrient source for succeeding crops [J]. Plant Soil and Environment, 2012, 58(6): 275-281.
- [17] 赵文军, 刘蕊, 王正旭, 等. 烤烟-绿肥轮作对云南烟田土壤质量与微生物养分限制的影响[J]. 草业学报, 2024, 33(10): 147-158.
- [18] 郭云桃, 沈中泉, 范先鹏, 等. 有机肥对烟叶品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 1989(S1): 80-85.
- [19] 董绘阳, 张家韬, 董鹏飞, 等. 绿肥对烟草品质及烟田土壤性质的影响[J]. 陕西农业科学, 2014, 60(1): 10-12.
- [20] 李正, 习相银, 刘国顺, 等. 绿肥与化肥配施对植烟土壤微生物量及供氮能力的影响[J]. 草业学报, 2011, 20(6): 9.
- [21] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [22] 鲍佳书, 汤玉洁, 刘俊萍, 等. 不同品种薄壳山核桃林地土壤微生物多样性及群落组成[J]. 中南林业科技大学学报, 2022, 42(9): 24-36.
- [23] Belay-Tedla A, Zhou X H, Su B, et al. Labile, recalcitrant, and microbial carbon and nitrogen pools of a tallgrass prairie soil in the US Great Plains subjected to experimental warming and clipping [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2009, 41(10): 110-116.
- [24] 李志宏, 王彦亭, 谢剑平. 中国烟草种植区划[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [25] 熊于斌, 余顺平, 杨娅, 等. 不同比例化肥减量配施有机肥对植烟土壤有机碳固存的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2024, 32(2): 262-272.
- [26] Luo Z, Wang E, Smith C J. Fresh carbon input differentially impacts soil carbon decomposition across natural and managed systems [J]. Ecology, 2016, 96(10): 2806-2813.
- [27] Xiao C, Guenet B, Zhou Y, et al. Priming of soil organic matter decomposition scales linearly with microbial biomass response to litter input in steppe vegetation [J]. Oikos, 2015, 124(5): 649-657.
- [28] 李淑芬, 俞元春, 何晟. 土壤溶解有机碳的研究进展[J]. 土壤与环境, 2002, 11(4): 422-429.
- [29] Kalbitz K, Solinger S, Park J H, et al. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: A review [J]. Soil Science, 2000, 165(4): 277-304.
- [30] 俞慎, 李勇, 王俊华, 等. 土壤微生物生物量作为红壤质量生物指标的探讨[J]. 土壤学报, 1999, 36(3): 413-422.
- [31] 孙昭安, 张轩, 胡正江, 等. 秸秆与氮肥配比对农田土壤内外源碳排放的影响[J]. 环境科学, 2021, 42(1): 459-466.
- [32] 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.
- [33] 赵文军, 杨继周, 尹梅, 等. 绿肥模式下减量施氮对烤烟产量与品质的影响[J]. 中国农业科技导报, 2023, 25(4): 189-196.
- [34] 张书豪, 王玉洁, 黄培元, 等. 化肥减量配施羊粪有机肥对烤烟生长、产质量及土壤养分的影响[J]. 山东农业科学, 2024, 56(4): 72-80.
- [35] 解梦凡, 贾海江, 曲远凯, 等. 种植密度和氮肥用量对百色烟区烤烟叶片发育及烟叶产量的影响[J]. 作物杂志, 2024(2): 189-197.
- [36] 王利民, 黄东风, 何春梅, 等. 紫云英还田对黄泥田土壤理化和微生物特性及水稻产量的影响[J]. 生态学报, 2023, 43(11): 4782-4797.
- [37] 杨伟, 朱杰, 姚涖, 等. 有机无机配施对稻田不同绿肥腐解特征和养分释放速率的影响[JOL]. 生态学杂志, 1-10[2025-05-12] <http://kns.cnki.net/kcms/detail/211148.0.20240704.2000.004.html>.
- [38] 魏媛, 常春丽, 李金秋, 等. 草木犀翻压时期和化肥用量对烤烟生长和产量的影响[J]. 中国烟草科学, 2021, 42(3): 7-12.
- [39] 张济世, 刘春增, 郑春风, 等. 紫云英还田与化肥减量配施对稻田土壤细菌群落组成和功能的影响[J]. 环境科学, 2023, 44(5): 2936-2944.
- [40] 朱吉凤, 蒋美艳, 周熙荣, 等. 不同绿肥作物的腐解特性及氮磷钾释放规律[J]. 上海农业学报, 2022, 38(2): 1-5.
- [41] 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.
- [42] 常爱霞, 杜咏梅, 付秋娟, 等. 烤烟主要化学成分与感官质量的相关性分析[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(6): 9-12.
- [43] 代昌明, 翟欣. 贵州省毕节地区烤烟种植区划[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 2015.
- [44] 夏融, 童文杰, 马二登, 等. 绿肥掩青对连作烟田土壤性质及烤烟产质量的影响[J]. 安徽农业科学, 2023, 51(7): 165-170.
- [45] 赵文军, 薛开政, 杨继周, 等. 烤烟-绿肥轮作对烤烟产量和品质的影响[J]. 中国农学通报, 2022, 38(25): 8-15.
- [46] 嵇其翠, 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.
- [47] 林桂华, 杨斌, 上官克攀, 等. 施用有机肥对龙岩特色烟叶香气质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2003, 24(3): 9-10.
- [48] 张光照, 杨威, 宋鹏飞, 等. 烤烟两糖比值和差值与感官品质指标的相关性[J]. 烟草科技, 2023, 56(11): 34-44.
- [49] 袁家富, 徐祥玉, 赵书军, 等. 绿肥翻压和减氮对烤烟养分累积、产量及质量的影响[J]. 湖北农业科学, 2009, 48 (9): 2106-2109.
- [50] 麻碧娇, 苟志文, 殷文, 等. 干旱灌区麦后复种绿肥与施氮水平对小麦光合性能与产量的影响[J]. 中国农业科学, 2022, 55(18): 3501-3515.
- [51] Larkin R P, Griffin T S. Control of soilborne potato diseases using Brassica green manures[J]. Crop Protection, 2007, 26 (7): 1067-1077.
- [52] 史宏志, 韩锦峰, 刘国顺, 等. 不同氮素营养的烟叶氨基酸含量与香吃味品质的关系[J]. 河南农业大学学报, 1997 (4): 20-23.

Effects of different *Viciavillosa Rothvar* green manure incorporation rates on soil organic carbon and tobacco leaf yield and quality in Bijie tobacco growing area

HUANG Shu-peng¹, GUO Pei-xin¹, LI Cai-bin², ZHAI Zhen³, LIANG Tai-bo³, YANG Hai-shui¹, CAO Ting-mao^{2*}, DAI Hua-xin^{3*} (1. College of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing Jiangsu 210095; 2. Bijie Branch of Guizhou Provincial Tobacco Company, Bijie Guizhou 551700; 3. Zhengzhou Tobacco Research Institute of China National Tobacco Corporation, Zhengzhou Henan 450001)

Abstract: This study aimed to explore the effects of different *Vicia villosa* Rothvar green manure incorporation rates on soil organic carbon, growth of tobacco plants, and leaf quality in the Bijie region, and provided a theoretical basis for the scientific and rational use of green manure. A split-plot experiment was conducted to investigate the effects of different levels of green manure incorporation under various organic fertilizer application rates on soil organic carbon, agronomic traits of tobacco plants, the quality of flue-cured leaves at different leaf positions, and economic attributes. The research showed that organic fertilizer application significantly increased soil organic carbon by 4.71%. Compared with half-rate and no green manure returning, the full-rate green manure returning increased organic carbon by 5.04% and 12.03%, active organic carbon by 20.03% and 10.89%, recalcitrant organic carbon by 6.94% and 11.70%, soluble organic carbon by 4.51% and 15.93%, and microbial biomass carbon by 1.41% and 24.86%, respectively. In terms of agronomic traits, at the resettling stage, compared with no application of organic fertilizer, the application of organic fertilizer significantly increased the maximum leaf width by 8.40%. The full-rate green manure returning improved agronomic traits in each period compared with half-rate and no green manure returning. At the resettling stage, plant height was significantly increased by 8.05% and 10.49%, stem girth was significantly increased by 3.99% and 7.68%, effective leaf number was significantly increased by 5.48% and 4.32%, and maximum leaf length was significantly increased by 2.57% and 4.99%, respectively. At the topping stage, stem girth was significantly increased by 1.13% and 1.66%, and maximum leaf width was significantly increased by 5.03% and 8.10%, respectively. At the full doming stage, the width of the second leaf at the top was increased by 4.67% and 9.32%, and the length of the third leaf at the top was increased by 3.32% and 7.61%, respectively. The comprehensive coordination of chemical components and sensory quality of cured tobacco leaves showed a trend of full-rate green manure returning > half-rate green manure returning > no green manure returning. The chemical components of tobacco leaves were more coordinated and the sensory quality was higher under the treatment of full-rate green manure returning. In terms of economic traits, compared with no application of organic fertilizer, the application of organic fertilizer significantly increased tobacco leaf yield by 17.22%, output value by 20.18%, and the proportion of medium and high-grade tobacco by 3.44%. Compared with half-rate and no green manure returning, the full-rate green manure returning significantly increased yield by 6.08% and 11.55%, value-of-production by 7.13% and 19.88%, and the proportion of medium and high-grade tobacco by 1.75% and 2.54% respectively. Compared with the local conventional fertilization method of applying organic fertilizer but no green manure returning (+O-GF0), adding organic fertilizer with full-rate green manure returning significantly increased soil organic carbon by 16.32%, active organic carbon by 16.32%, recalcitrant organic carbon by 11.15%, soluble organic carbon by 11.31%, microbial biomass carbon by 141.15%, and significantly increased leaf yield by 4.57% and value-of-production by 23.36%. Therefore, planting green manure and carrying out full-rate green manure incorporation was beneficial to expand the soil organic carbon pool and further improved the growth status of flue-cured tobacco in Bijie area and increased tobacco leaf yield and chemical coordination, which was an effective way to realize the sustainable development of tobacco leaves in Bijie area.

Key words: green manure incorporation; soil organic carbon; organic fertilizer; tobacco yield; tobacco quality