

## 绿肥掩青对连作烟田土壤性质及烤烟产质量的影响

夏融<sup>1</sup>, 童文杰<sup>2</sup>, 马二登<sup>2</sup>, 刘棋<sup>3</sup>, 余磊<sup>1</sup>, 黄飞燕<sup>1</sup>, 刘佳妮<sup>1</sup>, 邓小鹏<sup>2\*</sup> (1. 昆明学院农生学院/云南省都市特色农业工程技术研究中心, 云南昆明 650214; 2. 云南省烟草农业科学研究院, 云南昆明 650021; 3. 三亚中国农业大学研究院, 海南三亚 572000)

**摘要** [目的] 以玉溪烟区连作多年的植烟土壤为研究对象, 探究不同品种绿肥掩青对植烟土壤理化性质及后茬烤烟生长、产量和品质的影响, 为玉溪烟区连作烟田的土壤保育确定最佳冬种绿肥种类提供参考依据。[方法] 设置田间随机区组排列试验, 于前茬烤烟收获后开展肥田萝卜、大麦、光叶紫花苜蓿、黑麦草及冬闲对照 5 种田间小春种植模式, 于下茬烤烟种植前 90 d 收割、掩青, 探讨不同绿肥翻压对土壤理化性状及烤烟生长、产量和品质的影响。[结果] 与冬闲田对照相比, 不同绿肥品种掩青对土壤容重的影响不明显, 肥田萝卜掩青下土壤 pH 的降幅较大, 禾本科绿肥大麦掩青对提高土壤有机质含量最优, 豆科绿肥光叶紫花苜蓿对水解氮和有效磷有较好的促进作用; 0~10 cm 土层, 禾本科绿肥黑麦草掩青对提高土壤有效钾效果较好, 10~20 cm 土层, 大麦则对土壤有效钾有更好的促进作用; 4 种绿肥对烤烟生长发育均有不同程度的促进作用, 其促进效果为大麦>黑麦草>光叶紫花苜蓿>肥田萝卜, 大麦掩青还田后的烤烟田间长势相对较好、根系活力最优, 烟叶产量最高、化学成分更为协调, 评吸质量更佳, 与对照相比其产量、产值分别提高 15.2%、19.7%, 钾含量提高了 22%, 评吸总分提高了 6.56%。[结论] 不同绿肥种植和掩青改善了连作烟田土壤理化性状, 有效培肥土壤, 优化土壤环境, 对促进烤烟根系生长发育, 增加植株干物质, 提高烟叶产量、产值效果明显, 尤其以大麦种植掩青效果更为显著。

**关键词** 绿肥; 连作土壤; 烤烟; 生长发育; 产量品质

中图分类号 S153 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)07-0165-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.07.038

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Effects of Different Green Manure Application on Soil Physical and Chemical Properties, Yield and Quality of Flue-cured Tobacco in Continuous Cropping Field

XIA Rong<sup>1</sup>, TONG Wen-jie<sup>2</sup>, MA Er-deng<sup>2</sup> et al (1. College of Agriculture and Life Sciences, Kunming University/Yunnan Urban Agricultural Engineering & Technological Research Center, Kunming, Yunnan 650214; 2. Yunnan Academy of Tobacco Agricultural Sciences, Kunming, Yunnan 650021)

**Abstract** [Objective] Taking the continuous tobacco soil in Yuxi tobacco area for many years as study object, the influence of different varieties of green fertilizer turning over on the physical and chemical properties of soil and the growth, yield and quality of the flue-cured tobacco was explored, which provided a reference for the soil conservation of the continuous tobacco field in Yuxi area. [Method] A field randomized block arrangement experiment was conducted to carry out five field planting patterns, including radish, barley, *Vicia villosa*, ryegrass and winter fallow, after the previous flue-cured tobacco harvest. The harvest and green cover were conducted before the next flue-cured tobacco planting to explore the effects of different green manure tillage on soil physical and chemical properties and the growth, yield and quality of flue-cured tobacco. [Result] Compared with the control of winter fallow field, the effect of different green manure varieties on soil bulk density was not obvious. The soil pH in the fertile field decreased greatly under the cover of radish. Barley, the green manure of gramineous family, was the best for improving the content of soil organic matter. *Vicia villosa*, the green manure of leguminous family, had a better promotion on hydrolyzed nitrogen and available phosphorus. In 0-10 cm soil layer, the ryegrass had maximum available potassium increment, and in 10-20 cm soil layer, barley had better promoting effect on available potassium. Four kinds of green manure could promote the growth and development of flue-cured tobacco to varying degrees, with the promotion effect order of barley>ryegrass> *vicia villosa* >radish. The flue-cured tobacco field after barley covering green and returning to the field had relatively good growth momentum, the best root activity, the highest yield of tobacco leaves, more coordinated chemical composition, better smoking quality. The yield and output value increased by 15.2% and 19.7%, the potassium content increased by 22%, and the total score of sensory evaluation increased by 6.56%, respectively, which compared with the control treatment. [Conclusion] Different green manure planting and covering improved the soil physical and chemical properties of continuous cropping tobacco fields, effectively fertilized the soil, optimized the soil environment, and had obvious effects on promoting the growth and development of flue-cured tobacco roots, increasing plant dry matter, increasing tobacco leaf yield and output value, and barley was especially effective.

**Key words** Green manure; Continuous cropping field soil; Flue-cured tobacco; Growth and development; Yield and quality

烟草是我国重要的经济作物, 玉溪作为全国最重要的优质烟区之一, 自身具备得天独厚的生态条件优势, 为全国卷烟工业发展提供了稳定的烟叶原料资源。要实现烟草的优质适产, 必须要有一个良好的土壤生态环境<sup>[1]</sup>。烟草属于典型的忌连作作物, 由于当前烟区种植制度的多元化发展, 烤烟连作现象不可避免, 连作障碍给烟叶生产带来了诸多不利

影响, 如烟株田间长势变差, 株高、茎围、生物量、叶面积系数下降, 烟叶的产量、产值降低, 田间病虫害发生增加, 评吸质量变劣等<sup>[2]</sup>。因此, 开展连作障碍的消减措施研究, 是烟草科研工作者当前要解决的重要课题。通常认为, 轮作是消除烟田连作障碍最为有效的措施<sup>[3]</sup>, 尤其以水旱轮作效果更为明显。由于很多烟区不具备烤烟季节轮作条件, 往往通过种植不同小春季作物的方式, 来调整和改变烟田土壤环境, 从而一定程度上减轻连作障碍的影响。

绿肥是玉溪烟区较为常见的小春季作物, 不仅有机物质含量丰富, 而且根系发达, 可穿透深层土壤, 加厚烟田耕层。绿肥腐解入田后可直接供烟株吸收利用, 增加土壤有机质, 提高土壤肥力<sup>[4-6]</sup>。同时, 有些绿肥的根系甚至能分泌特殊

**基金项目** 中国烟草总公司云南省公司科技计划项目(2019530000241011, 2018530000241016); 云南省教育厅科学研究基金研究生项目(2022Y692)。

**作者简介** 夏融(1997—), 女, 云南宣威人, 硕士研究生, 研究方向: 资源利用与植物保护。\*通信作者, 副研究员, 从事烤烟栽培技术研究。

**收稿日期** 2022-11-23

有机酸,不但能平衡土壤酸碱度,还能溶解土壤中被固定住的矿质元素,种植绿肥并翻压对促进烤烟生长、增加烟叶产量、提高烟叶品质和呼吸质量等方面都有较好的效果<sup>[7-9]</sup>。不同绿肥品种生态适宜性不同<sup>[10-11]</sup>,齐耀程等<sup>[12]</sup>研究表明,冬牧70较为适宜作为皖南烟区冬种绿肥品种,对上部烟品质提升效果较为显著;田峰等<sup>[13]</sup>研究表明,在湘西烟区种植豆科绿肥箭舌豌豆并进行翻压,对烤烟农艺性状有积极影响,且具有明显的土壤培肥改良效果,较为适宜当地进行推广。

目前关于绿肥对植烟土壤及烤烟生长的影响研究主要集中在河南、湘西、重庆等地,作为全国面积最大、最优质烟叶产地的云南烟区这方面研究相对不多,尤其是针对玉溪连作烟田上绿肥种植翻压的效果方面少见报道。因此,笔者选取云南烤烟优质核心烟区玉溪的连作烟田,开展不同绿肥掩青对植烟土壤理化性状和烤烟生长发育和烟叶品质的影响,筛选出适宜当地烤烟前茬种植的绿肥品种,为玉溪烟区植烟土壤质量改善、构建用养结合的环境友好型耕作模式提供科学依据。

## 1 材料与方法

**1.1 试验地概况** 试验于2020年9月至2021年9月在玉溪市红塔区高仓街道(海拔1 770 m, 102°54'E, 24°27'N)进行。该试验地所在区域年降水量750~1 000 mm,年平均气温15~24℃,年平均日照2 100~2 300 h,无霜期为245~365 d,属典型的中亚热带半湿润冷冬高原季风气候。试验地及周边地势平坦,排水良好。供试土壤为红壤土,0~20 cm土层土壤基础性状:pH 5.47,有机质19.1 g/kg,水解氮69.3 mg/kg,有效磷19.7 mg/kg,速效钾145 mg/kg,全氮1.08 g/kg,全磷1.12 g/kg,全钾6.4 g/kg。

**1.2 试验设计和田间管理** 试验设置5个处理,分别为T<sub>1</sub>,肥田萝卜,播种量为45 kg/hm<sup>2</sup>;T<sub>2</sub>,大麦,播种量为75 kg/hm<sup>2</sup>;T<sub>3</sub>,光叶紫花苕,播种量为75 kg/hm<sup>2</sup>;T<sub>4</sub>,黑麦草,播种量为75 kg/hm<sup>2</sup>;以冬闲田为常规对照(CK)。每个处理3次重复,随机区组排列。小区面积为40 m<sup>2</sup>。采用定位试验,2020年9月,烤烟收获后拔除烟秆和杂草后播种绿肥。1月中旬,绿肥盛花期割走茎叶切至10~20 cm长,采用小型微耕机翻压入土壤,翻压量统一为15 000 kg/hm<sup>2</sup>。

2021年4月中旬试验地开始起垄理墒打塘,烤烟种植品种为K326,于4月27日进行膜下小苗移栽。移栽前拌塘施用烟草复合肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=12:6:24)150 kg/hm<sup>2</sup>,追肥为对水浇施烟草复合肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=12:6:24)600 kg/hm<sup>2</sup>,移栽35 d后开展揭膜、追肥、培土等烟田中耕管理,塘内环施钾肥(农用硫酸钾,K<sub>2</sub>O≥50%)225 kg/hm<sup>2</sup>,病虫害防治及其他田间管理措施参照当地优质烟叶生产管理办法执行。

## 1.3 测定项目与方法

**1.3.1 不同绿肥产量及养分** 绿肥掩青前,在每个小区取典型样方,测定不同绿肥地上、地下生物量鲜重、干重,每个处理3次重复。烘干后样品保留,计算其干物质量,参照

NY/T 2017—2011<sup>[14]</sup>测定各种绿肥中的氮、磷、钾养分含量。

**1.3.2 土壤养分** 每处理于烟苗移栽前,分小区采用环刀法进行原位取样,测定土壤的容重。同时,于田间各处理分层随机采集0~10、10~20 cm土样5个(烟垄上2株烟正中位置),各土层的土壤分开混匀后采用常规分析方法测定土壤pH、有机质、水解氮、有效磷、速效钾。

**1.3.3 烤烟农艺性状** 每个处理于烤烟的3个主要生育期(团棵期、旺长期、现蕾期),选取代表性烟株调查10株,按照YC/T 142—2010<sup>[15]</sup>测定烟株主要农艺性状(株高、茎围、有效叶片数、最大叶长和叶宽),并采用校正系数法计算叶面积系数。

**1.3.4 烤烟干物质** 在烤烟团棵期、旺长期和现蕾期,各处理分别选取3棵代表性烟株,清水洗净,放入烘箱105℃杀青30 min,60℃烘干至恒重,称量不同处理根、茎、叶干重。

**1.3.5 烤烟根系特性指标** 烤烟现蕾期,各处理选取3棵代表性烟株,清水将根洗净后采用TTC法测定根系活力,根系扫描分析系统(WinRHIZO)测定根系形态参数。

**1.3.6 烤烟经济性状** 各处理按小区进行采烤,烟叶回潮后进行分级、计产,统计中、上等烟所占比例,计算烟叶的均价和产值。

**1.3.7 烟叶化学成分分析** 每个小区选取中部烟叶(C3F)等级的初烤烟叶不少于0.5 kg,进行烟叶化学成分<sup>[16]</sup>测定。

**1.3.8 烟叶感官评价** 每个小区另取中部C3F等级烟叶撕去主脉后制成烟丝,含水量调节在11.5%左右制成卷烟。在温度(22±1)℃和相对湿度(60±2)%下,平衡水分48 h<sup>[17]</sup>,由专业评吸人员进行烟叶感官质量评价。

**1.4 数据处理与分析** 采用SPSS 20.0统计分析数据和检验显著性(显著水平为P<0.05)。

## 2 结果与分析

**2.1 不同绿肥产量及养分含量** 不同绿肥掩青前的产量及主要养分含量见表1。从表1可以看出,4种绿肥产量及养分含量差异明显,其生物学产量以肥田萝卜(T<sub>1</sub>)处理最高,为31 229.08 kg/hm<sup>2</sup>,显著高于其他绿肥。大麦(T<sub>2</sub>)和黑麦草(T<sub>4</sub>)之间则无显著差异。就绿肥的养分含量而言,大麦中(T<sub>2</sub>)的水解氮、有效磷、速效钾含量相对较低;光叶紫花苕(T<sub>3</sub>)的水解氮含量为3.37 mg/kg,显著高于其余处理;有效磷含量以肥田萝卜(T<sub>1</sub>)和光叶紫花苕(T<sub>3</sub>)较高,且两者之间差异不显著;速效钾含量在肥田萝卜(T<sub>1</sub>)和黑麦草(T<sub>4</sub>)中的含量较高,分别为3.16和3.18 mg/kg。可见,烟后种植的不同绿肥不仅在产量上差别较大,绿肥自身的主要养分含量也不同。

**2.2 不同绿肥掩青对土壤理化性状的影响** 由表2可知,在0~10 cm土层,与常规对照相比,不同绿肥掩青对土壤容重的影响不大,品种间无显著差异。绿肥掩青降低了土壤pH,降幅为0.68%~6.81%,除黑麦草(T<sub>4</sub>)外,均与对照之间差异显著。绿肥掩青对土壤有机质、水解氮、有效磷、速效钾等养分有较好的促进作用,其中大麦掩青(T<sub>2</sub>)使土壤有机质增加最大,比对照增加了17.74%,且与其余处理间差异显

著;光叶紫花苜蓿(T<sub>3</sub>)使水解氮、有效磷增加最大,分别比对照高9.70%、34.68%,除肥田萝卜(T<sub>1</sub>)外,其余处理间水解性氮含量无显著差异;各种绿肥种植均显著提升了土壤有效磷含量,尤其以光叶紫花苜蓿与大麦处理下含量最高,与肥田萝卜(T<sub>1</sub>)及黑麦草之间存在显著差异。黑麦草和大麦2种禾本科绿肥对土壤速效钾含量的提升最为显著,分别比对照高33.33%、31.84%,且与肥田萝卜、光叶紫花苜蓿处理之间存在显著差异。

在10~20 cm土层,各处理对土壤理化性质的影响表现与0~10 cm土层总体趋势一致。由此可知,绿肥掩青会降低土壤pH,提高土壤有机质及主要养分含量。

表1 不同绿肥产量及养分含量

处理 Treatment	产量 Yield kg/hm <sup>2</sup>	水解氮 Hydrolyzable N//mg/kg	有效磷 Available P mg/kg	速效钾 Rapid available K//mg/kg
T <sub>1</sub>	31 229.08±273.32 a	2.62±0.01 c	0.31±0.00 a	3.16±0.01 a
T <sub>2</sub>	18 372.77±196.76 c	1.11±0.04 d	0.11±0.01 c	1.92±0.03 c
T <sub>3</sub>	24 930.23±259.13 b	3.37±0.02 a	0.32±0.00 a	2.88±0.01 b
T <sub>4</sub>	18 661.87±70.88 c	2.88±0.06 b	0.21±0.02 b	3.18±0.06 a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)。  
Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different treatments at 0.05 level.

表2 不同绿肥掩青对土壤理化性状的影响

Table 2 Effect of different green manure application on soil physical and chemical properties

土层 Soil layer cm	处理 Treatment	土壤容重 Soil bulk density//g/cm <sup>3</sup>	pH	有机质 Organic matter g/kg	水解氮 Hydrolyzable N mg/kg	有效磷 Available P mg/kg	速效钾 Rapid available K//mg/kg
0~10	T <sub>1</sub>	1.06±0.03 a	5.47±0.05 b	21.70±0.26 b	92.43±0.41 b	43.4±0.87 b	356.00±13.32 b
	T <sub>2</sub>	1.03±0.02 a	5.66±0.07 b	23.23±0.23 a	101.27±0.35 a	52.93±0.52 a	412.67±12.71 a
	T <sub>3</sub>	1.00±0.03 a	5.69±0.06 b	20.77±0.32 b	103.63±0.29 a	53.20±0.44 a	353.33±14.15 b
	T <sub>4</sub>	1.02±0.03 a	5.83±0.06 a	21.17±0.23 b	101.57±0.32 a	43.90±0.46 b	417.33±12.99 a
	CK	1.04±0.03 a	5.87±0.08 a	19.73±0.35 c	94.47±2.92 b	39.50±0.40 c	313.00±12.07 b
10~20	T <sub>1</sub>	1.12±0.02 a	5.67±0.04 c	20.93±0.32 b	79.13±0.49 b	36.90±0.32 c	350.0±30.02 bc
	T <sub>2</sub>	1.09±0.01 a	5.70±0.15 bc	22.73±0.26 a	91.03±0.20 a	40.20±0.15 b	605.33±4.67 a
	T <sub>3</sub>	1.11±0.02 a	5.68±0.01 c	21.97±0.26 a	91.73±0.87 a	44.43±0.30 a	355.33±4.91 bc
	T <sub>4</sub>	1.08±0.01 a	5.95±0.02 ab	22.13±0.23 a	77.87±0.18 b	43.63±0.13 a	378.00±5.86 b
	CK	1.11±0.02 a	6.19±0.02 a	20.93±0.32 b	76.53±0.35 b	36.80±0.23 c	309.33±10.72 c

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)。

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different treatments at 0.05 level.

**2.3 不同绿肥掩青对烤烟农艺性状的影响** 不同绿肥掩青对下茬烤烟农艺性状的影响见表3。从表3可以看出,绿肥掩青对团棵期烤烟农艺性状的影响明显,与对照相比,4种绿肥掩青处理均显著提高了烟株株高、茎围、叶面积指数(LAI)和最大叶长,且绿肥处理之间差异不显著;在旺长期,大麦

(T<sub>2</sub>)处理的各项农艺性状均与对照存在显著差异,黑麦草(T<sub>4</sub>)处理下的叶面积指数和最大叶宽与对照之间差异显著。从株高来看,大麦处理(T<sub>2</sub>)比对照高18.12%,从叶面积指数来看,大麦(T<sub>2</sub>)、黑麦草(T<sub>4</sub>)处理分别比对照高40.86%、34.41%。

表3 不同绿肥掩青对烤烟农艺性状的影响

Table 3 Effects of different green manure application on agronomic characters of flue-cured tobacco

时期 Stage	处理 Treatment	株高 Plant height cm	茎围 Stem girth cm	有效叶片数 Number of productive leaves	叶面积指数 Leaf area index	最大叶长 Maximum leaf length//cm	最大叶宽 Maximum leaf width//cm
团棵期 Resettling growth stage	T <sub>1</sub>	18.33±0.33 a	6.17±0.17 a	10.00±0.58 ab	0.35±0.03 a	33.33±0.33 a	19.67±0.33 ab
	T <sub>2</sub>	19.00±0.58 a	6.33±0.33 a	10.33±0.33 a	0.39±0.02 a	35.33±0.33 a	20.67±0.67 a
	T <sub>3</sub>	18.67±0.33 a	6.33±0.33 a	10.00±0.58 ab	0.36±0.01 a	33.67±0.33 a	20.00±0.00 ab
	T <sub>4</sub>	17.67±0.33 a	6.67±0.33 a	9.67±0.33 ab	0.36±0.02 a	33.67±0.67 a	19.33±0.33 ab
	CK	14.67±1.20 b	5.46±0.50 b	8.67±0.33 b	0.26±0.05 b	31.00±1.15 b	18.33±0.88 b
旺长期 Vigorous growing stage	T <sub>1</sub>	43.33±0.88 bc	7.00±0.58 ab	14.33±0.33 b	1.14±0.04 ab	49.33±1.33 ab	25.00±1.00 ab
	T <sub>2</sub>	50.00±3.06 a	7.67±0.33 a	16.00±0.58 a	1.31±0.15 a	51.83±0.60 a	27.17±0.44 a
	T <sub>3</sub>	45.00±0.00 b	7.00±0.00 ab	15.33±0.33 ab	1.12±0.05 ab	49.00±0.58 ab	25.33±0.33 ab
	T <sub>4</sub>	44.33±0.67 bc	8.00±0.58 ab	14.67±0.33 ab	1.25±0.10 a	50.00±0.58 ab	26.33±0.67 a
	CK	42.33±0.58 c	6.33±0.33 b	14.00±0.58 b	0.93±0.04 b	48.33±1.20 b	23.83±0.17 b
现蕾期 Budding stage	T <sub>1</sub>	96.67±1.45 bc	8.67±0.33 b	20.00±0.58 b	2.89±0.11 b	65.00±0.58 c	27.33±0.67 b
	T <sub>2</sub>	104.00±1.53 a	10.33±0.67 a	23.67±0.33 a	3.30±0.17 a	71.33±0.67 a	31.33±0.88 a
	T <sub>3</sub>	98.67±0.88 bc	10.17±0.17 a	22.67±0.33 a	3.15±0.14 a	68.33±0.88 b	31.33±1.20 a
	T <sub>4</sub>	100.67±1.76 ab	9.67±0.33 ab	23.33±0.67 a	2.87±0.40 ab	65.67±0.88 bc	28.67±0.33 ab
	CK	95.33±0.33 c	8.67±0.33 b	19.33±0.33 b	2.71±0.01 c	64.67±0.88 c	26.67±0.88 b

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)。

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different treatments at 0.05 level.

现蕾期,各处理间差异表现与旺长期大体一致。大麦( $T_2$ )处理的各农艺性状指标均与对照存在显著差异,各种绿肥掩青下的烤烟叶面积系数均显著高于对照(CK)。光叶紫花苕( $T_3$ )处理下的茎围、有效叶片数和叶面积指数与对照之间差异显著,而肥田萝卜处理( $T_1$ )下的株高、茎围、有效叶片数、最大叶长、最大叶宽则与对照之间不存在显著差异。

由此可知,种植4种绿肥并掩青对烤烟生长均起到一定促进作用,尤其以大麦处理烟株主要农艺性状指标提升明显。

#### 2.4 不同绿肥掩青对烤烟干物质的影响

表4 不同绿肥掩青对烤烟干物质的影响

Table 4 Effect of green manure application on dry matter of flue-cured tobacco

单位:g

处理 Treatment	地上部干物质 Shoot dry weight			地下部干物质 Root dry weight		
	团棵期 Resettling growth stage	旺长期 Vigorous growing stage	现蕾期 Budding stage	团棵期 Resettling growth stage	旺长期 Vigorous growing stage	现蕾期 Budding stage
$T_1$	18.15±1.63 bc	66.02±9.98 b	141.16±9.87 c	1.92±0.31 a	9.04±1.70 ab	28.37±11.87 a
$T_2$	21.71±1.23 a	89.22±11.72 a	201.23±15.51 a	2.00±0.44 a	12.29±2.65 a	35.73±8.39 a
$T_3$	19.17±0.42 b	74.10±1.20 b	208.38±7.54 a	2.05±0.32 a	8.31±1.95 b	34.26±3.79 a
$T_4$	18.47±1.85 bc	77.46±7.74 ab	176.54±47.80 ab	1.75±0.20 a	10.13±1.58 ab	32.64±11.32 a
CK	16.17±1.07 c	66.18±2.26 b	125.82±5.28 c	1.24±0.94 a	6.86±1.23 b	25.97±2.09 a

注: 同列不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ )。

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different treatments at 0.05 level.

2.5 不同绿肥掩青对烤烟根系指标的影响 从表5可以看出,不同绿肥掩青对烤烟根系形态有较好的促进作用。不同绿肥掩青处理的根长和根表面积均显著高于冬闲对照(CK),肥田萝卜( $T_1$ )、大麦( $T_2$ )、光叶紫花苕( $T_3$ )、黑麦草( $T_4$ )处理的根长分别比对照高15.17%、117.45%、24.48%和

烤烟地上部干物质看,团棵期大麦( $T_2$ )处理与光叶紫花苕( $T_3$ )处理差异显著,分别比对照高34.26%和18.55%,黑麦草( $T_4$ )、肥田萝卜( $T_1$ )与对照(CK)相比差异不显著;旺长期大麦( $T_2$ )处理显著高于除黑麦草( $T_4$ )外的其他处理,现蕾期大麦( $T_2$ )、光叶紫花苕( $T_3$ )、黑麦草( $T_4$ )处理与对照差异显著,分别比对照高59.93%、65.62%和40.31%。从烤烟地下部干物质看,团棵期各处理间无显著差异。旺长期大麦( $T_2$ )处理与对照相比差异显著,比对照高79.15%。至现蕾期各处理烟叶生长发育差异不大。说明绿肥翻压更利于促进移栽后烤烟旺长期物质积累,尤以大麦翻压处理效果最明显。

57.60%,根表面积分别比对照高14.34%、79.03%、20.84%和28.12%。另外,绿肥掩青能有效提高烤烟根系活力,增幅为5.0%~17.5%。与其他处理相比,大麦、黑麦草处理下有较好的根系形态指标,根系活力也有较好的提升。

表5 不同绿肥掩青对烤烟根系指标的影响

Table 5 Effect of different green manure application on root index of flue-cured tobacco

处理 Treatment	根长 Root length cm	根表面积 Root area cm <sup>2</sup>	根体积 Root volume cm <sup>3</sup>	<2 mm 根长 <2 mm root length/mm	根系活力 Root activity μg/(g·h)
$T_1$	2 678.18±16.79 c	1 109.82±37.75 c	35.71±0.96 c	2 489.60±75.35 c	0.42±0.01 ab
$T_2$	5 056.56±156.00 a	1 737.70±47.22 a	49.01±0.70 a	4 447.01±130.01 a	0.47±0.02 a
$T_3$	2 894.57±88.20 c	1 172.96±17.74 bc	40.45±0.45 b	2 401.93±81.62 cd	0.46±0.01 a
$T_4$	3 664.76±41.72 b	1 243.56±3.63 b	35.44±0.52 c	3 129.57±68.90 b	0.44±0.01 ab
CK	2 325.37±36.94 d	970.64±23.48 d	30.52±0.43 d	2 164.77±57.05 d	0.40±0.01 b

注: 同列不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ )。

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different treatments at 0.05 level.

2.6 不同绿肥掩青对烤烟经济性性状的影响 由表6可知,不同绿肥掩青对烤烟产量、产值有显著影响。与对照(CK)相比,4种绿肥掩青还田均显著提升烤烟产量、产值,其中以大麦( $T_2$ )、黑麦草( $T_4$ )处理效果较好。相比对照,大麦、黑麦草处理的烟叶产量分别提高15.2%、12.6%,产值分别提高19.7%、17.6%,上等烟比例分别提高8.0%、6.2%,中上等烟比例分别提高7.27%、8.07%。各处理烟叶均价在23~25元/kg,总体差别不大,大麦和黑麦草掩青处理显著高于其他处理。这说明绿肥掩青对提高连作烤烟烟叶产量和产值有较好的促进作用。

2.7 不同绿肥掩青对烟叶化学成分的影响 糖类物质含量是评价烟叶品质的重要指标。从表7可以看出,就总糖而

言,各处理上部烟叶总糖含量差别不大,以黑麦草处理( $T_4$ )最低,为24.37%,大麦处理( $T_2$ )最高,为28.55%。通常认为,烟叶总糖含量与评吸质量在一定范围内呈正相关,含量越高评吸口感越佳,含量过低则可能表现出较强的刺激性<sup>[18]</sup>。各绿肥处理的还原糖含量与总糖类似,略高于冬闲对照(CK)。烟叶中的总氮含量与烟气特征关系密切,各绿肥处理烟叶总氮含量差别不大,且变化规律不明显;烟叶的烟碱含量是决定吸食品质的关键因素<sup>[19]</sup>,烟碱含量高则刺激性强。各处理烟碱含量以肥田萝卜( $T_1$ )和大麦处理( $T_2$ )较低,与其他处理之间差异显著。钾含量是衡量烟叶总体品质的重要指标,各绿肥处理烟叶钾含量均高于冬闲对照,大麦处理( $T_2$ )比对照提高了22%以上。综合以上分析,绿肥尤

其是大麦掩青处理提高了连作烤烟中部烟叶化学成分之间的协调性,烟叶总体品质好于对照。

表 6 不同绿肥掩青对烤烟经济性状的影响

Table 6 Effect of different green manure application on economic characters of flue-cured tobacco

处理 Treatment	产量 Yield kg/hm <sup>2</sup>	产值 Output value 万元/hm <sup>2</sup>	上等烟比例 The ratio of high quality leaf//%	中上等烟比例 The ratio of medium and high quality leaf//%	均价 Average price 元/kg
T <sub>1</sub>	2 599.92±13.38 b	6.08±0.02 b	45.54±0.10 a	73.36±1.13 b	23.37±0.07 b
T <sub>2</sub>	2 783.79±4.48 a	6.74±0.04 a	47.48±0.52 a	78.51±1.57 a	24.22±0.13 a
T <sub>3</sub>	2 606.52±10.63 b	6.10±0.01 b	45.81±0.83 a	75.44±0.78 a	23.42±0.12 b
T <sub>4</sub>	2 720.81±4.69 a	6.62±0.02 a	46.70±0.45 a	79.10±2.45 a	24.33±0.11 a
CK	2 415.80±26.64 c	5.63±0.08 c	43.97±0.90 b	73.19±1.61 b	23.33±0.26 b

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ )。

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different treatments at 0.05 level.

表 7 不同绿肥掩青对中部烟叶化学成分的影响

Table 7 Effect of different green manure application on chemical composition of tobacco leaf

单位:%

处理 Treatment	总糖 Total sugar	还原糖 Reducing sugar	总氮 Total nitrogen	烟碱 Nicotine	钾 Potassium	氯 Chlorine
T <sub>1</sub>	25.89±1.28 b	22.50±1.31 a	2.17±0.13 a	2.42±0.15 b	2.05±0.11 a	0.17±0.01 a
T <sub>2</sub>	28.55±0.95 a	24.30±2.10 a	2.03±0.06 a	2.39±0.11 b	2.27±0.16 a	0.16±0.02 a
T <sub>3</sub>	26.62±2.25 ab	22.14±0.87 a	2.20±0.08 a	2.78±0.10 a	2.13±0.23 a	0.20±0.02 a
T <sub>4</sub>	24.37±1.21 b	19.82±1.23 b	2.11±0.10 a	2.64±0.14 a	1.96±0.13 ab	0.16±0.01 a
CK	24.51±0.77 b	20.35±1.07 b	2.28±0.21 a	2.75±0.21 a	1.86±0.10 b	0.18±0.01 a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ )。

Note: Different lowercase letters indicated significant difference between different treatments at 0.05 level.

**2.8 不同绿肥掩青对烟叶评吸质量的影响** 感官评吸可以相对准确、直接地评价烟叶及其制品的优劣。从表 8 可以看出,不同绿肥掩青处理中部烟叶感官质量评分结果存在一定差异。香气特征是评判烟叶质量的核心内容和重要指标,4 种绿肥处理烟叶的香气特性指标如本香、香气量、香气质的打分均高于冬闲对照(CK),香气浓度除光叶紫花苜蓿处理(T<sub>3</sub>)外,各处理之间差别不大;从烟叶刺激性得分来看,大麦

(T<sub>2</sub>)、光叶紫花苜蓿(T<sub>3</sub>)和黑麦草(T<sub>4</sub>)高于肥田萝卜(T<sub>1</sub>)和对照,而劲头、口感则以对照得分最低。根据感官评吸结果可以看出,大麦处理的烟叶总体评价较好,为 78.67 分,明显高于打分最低的对照烟叶(73.83 分)。可见,绿肥掩青处理后,烟叶本香变足,烟香清晰感提高,杂气减轻,口腔特性较好,评吸质量有一定的提高。

表 8 不同绿肥掩青对中部烟叶评吸质量的影响

Table 8 Effect of different green manure application on smoking quality of flue-cured tobacco

处理 Treatment	香气特性 Aroma characteristics			烟气特性 Flue gas characteristics				总分 Total points	
	烟草本香 Tobacco essential fragrance (10 分)	香气量 Aroma content (15 分)	香气质 Aromatic quality (15 分)	香气浓度 Aromatic concentration (10 分)	刺激性 Thrill (15 分)	劲头 Physiological strength (5 分)	杂气 Offensive odor (10 分)		口感特性 Taste characteristics (20 分)
T <sub>1</sub>	7.18	12.80	12.65	7.39	11.81	4.58	7.02	12.48	75.91
T <sub>2</sub>	7.28	13.66	12.86	7.52	12.91	4.32	7.28	12.84	78.67
T <sub>3</sub>	7.07	12.90	12.86	6.86	12.23	4.58	7.66	12.41	76.56
T <sub>4</sub>	6.96	12.91	12.76	7.33	12.91	4.32	7.81	12.63	77.63
CK	6.81	12.86	11.95	7.49	11.91	4.16	7.39	11.26	73.83

### 3 讨论

通常认为,绿肥掩青还田对土壤肥力的影响是土壤-微生物-绿肥-气候共同作用的结果。绿肥翻压入土腐解能导致土壤微生物种群、活性等发生改变,为土壤提供多种有效养分,对培肥、改良植烟土壤有重要的作用<sup>[20]</sup>。该研究结果表明,不同绿肥掩青在一定程度上改善了土壤理化性状,提高了土壤肥力,不同绿肥品种影响程度不同。绿肥掩青还田在一定程度上降低了土壤 pH,在 0~10 cm 土层降幅为 0.68%~6.81%,这与牛雅琼<sup>[21]</sup>的研究结果一致;不同绿肥品

种以大麦提高土壤有机质的幅度最大,其原因可能是大麦的 C/N 较低,掩青后能够快速腐解,养分释放快,土壤有效养分活性增强,土壤微生物获取了充足的有机碳源,大大增加了土壤中的有机质含量<sup>[22]</sup>。在 0~10 cm 土层,黑麦草掩青对有效钾的增加最大,而在 10~20 cm 土层则是大麦掩青有效钾含量最高,原因可能是禾本科作物比该研究中的其他作物有较强的富钾作用<sup>[7]</sup>。

绿肥作为一种天然有机肥料,掩青还田后可有效提高化肥利用率,其自身腐解过程中还能提高土壤有机质含量,

从而提高土壤养分水平,促进烟株生长发育,达到土地用养结合的效果<sup>[4]</sup>。该研究表明,4种绿肥掩青处理的主要农艺性状指标均优于对照,尤其是团棵期大麦、黑麦草处理的烟叶叶面积指数分别比对照高40.86%、34.41%。至旺长期,大麦处理对烤烟生长发育促进效果较明显,原因可能是后期雨水充足,大麦掩青后土壤中转化酶活性提高,微生物活动增强,促进了土壤有机质的分解、矿质营养的吸收、利用,进而提高烤烟生物量及产质量。烤烟的田间长势直接影响干物质的积累,该研究中,现蕾期大麦、光叶紫花苕、黑麦草处理的地上部干物质重量分别比对照高59.93%、65.62%和40.31%。这与郭飞<sup>[7]</sup>的研究结果一致。

根系作为作物吸收运输水分和养分、合成有机物的主要功能器官,所处外界环境直接影响其发挥,土壤肥力是影响作物地上部、根系间干物质分配量的重要因素<sup>[23]</sup>。研究表明,绿肥翻压还田既可充分、高效地利用地、光、热、水、气等自然资源,又能改良土壤生态环境,平衡土壤碳氮循环,为烤烟根系的生长发育提供良好基础<sup>[24]</sup>,使烟株保持较优的根系性状指标,促进根系发育,延缓烟株根系的衰老。该研究结果表明,不同绿肥掩青处理对烤烟根系形态和根系活力有重要影响。与冬闲田对照相比,禾本科绿肥大麦和黑麦草掩青后的烤烟根系指标更好,其次是豆科绿肥光叶紫花苕,均大幅提高了烟株根系的表面积和根系活力。

经济性状反映了烟叶田间长势及营养水平,直接决定烟农种烟收入。该研究中,大麦、黑麦草处理的烟叶产量分别比冬闲对照提高了15.2%和12.6%,产值分别提高了19.7%和17.6%,提升效果显著。烟叶化学成分是评价烟叶品质的重要指标,烟叶中最主要的化学成分是糖类、总氮、烟碱及钾等,直接决定烟叶自身的质量,并影响感官评吸结果<sup>[18]</sup>。烟叶中含有大量的糖类化合物,一定范围内糖组分与评吸质量呈正相关,在燃烧时能够产生酸性物质来平衡烟气的酸碱度,从而产生令人愉悦的口感和吃味<sup>[25]</sup>。该研究中,大麦处理的总糖含量在各处理中最高,达28.55%。各绿肥掩青处理烟叶钾含量均高于冬闲对照,其中大麦处理比对照高22%以上,总体化学成分协调性较好。感官评吸是反映烟叶化学成分协调度的重要手段,该研究中评吸总分以大麦掩青处理的分值较高,这也直接印证了化学成分的检测结果。

#### 4 结论

不同绿肥种植和掩青改善了连作烟田土壤理化性状,有效培肥土壤,优化土壤环境,对促进烤烟根系生长发育,增加

植株干物质,提高烟叶产量、产值效果明显,尤其以大麦种植掩青效果更为显著。该研究有较好的现实生产意义,针对玉溪烟区各气候、土壤环境条件综合考虑,大麦更适宜作为当地冬季空闲茬口的烤烟前作种植掩青对象。

#### 参考文献

- [1] 陈发荣. 红塔品牌导向玉溪特色烟叶评价体系构建及应用[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012.
- [2] 时鹏, 张继光, 王正旭, 等. 烟草连作障碍的症状·机理及防治措施[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(1): 120-122, 124.
- [3] 张仕祥, 过伟民, 李辉信, 等. 烟草连作障碍研究进展[J]. 土壤, 2015, 47(5): 823-829.
- [4] 曹海莲. 不同种类绿肥翻压对植烟土壤理化性状和烤烟产质量的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2015.
- [5] 潘福霞, 鲁剑巍, 刘威, 等. 不同种类绿肥翻压对土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(6): 1359-1364.
- [6] 邓小华, 石楠, 周米良, 等. 不同种类绿肥翻压对植烟土壤理化性状的影响[J]. 烟草科技, 2015, 48(2): 7-10, 20.
- [7] 郭飞. 大麦掩青对烤烟品质影响的研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2004.
- [8] 敬海霞, 曹安全, 张登荣, 等. 翻压绿肥对烤烟大田生长及烤后烟产值效益的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(1): 155-159.
- [9] 江智敏, 田峰, 邓小华, 等. 多年定位翻压绿肥对烤烟大田生长及经济性状的影响[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(3): 35-39.
- [10] 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.
- [11] 张明发, 田峰, 邓小华, 等. 不同绿肥品种翻压对烤烟产质量及土壤性状的影响[J]. 作物研究, 2017, 31(1): 66-69, 72.
- [12] 齐耀程, 崔仁仁, 周本国, 等. 不同冬种绿肥对皖南烟区烤烟产质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2016, 37(6): 32-36.
- [13] 田峰, 陆中山, 邓小华, 等. 湘西烟区翻压不同绿肥品种的生态和烤烟效应[J]. 中国烟草学报, 2015, 21(4): 56-62.
- [14] 中华人民共和国农业部. 中华人民共和国农业行业标准 植物中氮、磷、钾的测定: NY/T 2017—2011[S]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [15] 国家烟草专卖局. 中华人民共和国烟草行业标准 烟草农艺性状调查测量方法: YC/T 142—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [16] 王瑞新, 韩富根, 杨素勤, 等. 烟草化学品质分析法[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1990.
- [17] 邓小鹏, 陶永萍, 杨宇虹, 等. 破口温度对膜下烟生长及品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(5): 1212-1216, 1220.
- [18] 云南省烟草科学研究所. 云南烟叶主要化学成分分析[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [19] 陈伟, 蒋卫. 烤烟烟碱含量与吸食品质的关联分析[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(15): 3106-3109.
- [20] 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.
- [21] 牛雅琼. 翻压三种绿肥作物对贵州酸性黄壤、碱性黄棕壤 pH 的影响[D]. 贵阳: 贵州大学, 2021.
- [22] 杜威, 王紫泉, 和文祥, 等. 豆科绿肥对渭北旱塬土壤养分及生态化学计量学特征影响[J]. 土壤学报, 2017, 54(4): 999-1008.
- [23] 孔伟. 光叶紫花苕子翻压后腐解释放规律及对烤烟生长发育影响的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
- [24] 陈治锋, 邓小华, 周米良, 等. 秸秆和绿肥还田对烤烟光合生理指标及经济性状的影响[J]. 核农学报, 2017, 31(2): 410-415.
- [25] 李洪勋, 潘文杰, 李建伟, 等. 烤烟内在化学成分含量与感官评吸指标的关系分析[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(8): 1836-1841.