

引用格式:

苏赞, 胡逸超, 熊坤龙, 龚嘉, 彭光爵, 陈义昌, 郑卜凡, 梁靖淞, 陈伟浩, 李俊霖. 垂直深耕下不同外源物对上部烟叶品质的调控[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2025, 51(2): 6–15.

SU Z, HU Y C, XIONG K L, GONG J, PENG G J, CHEN Y C, ZHENG B F, LIANG J S, CHEN W B, LI J L. Control of top tobacco leaf quality by different exogenous substances under vertical deep tillage[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2025, 51(2): 6–15.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



垂直深耕下不同外源物对上部烟叶品质的调控

苏赞¹, 胡逸超¹, 熊坤龙², 龚嘉³, 彭光爵², 陈义昌¹,
郑卜凡², 梁靖淞², 陈伟浩², 李俊霖^{1*}

(1.广西中烟工业有限责任公司, 广西 南宁 530001; 2.湖南农业大学农学院, 湖南 长沙 410128; 3.常德市烟草公司临澧县分公司, 湖南 常德 415200)

摘要:以烟草‘K326’为材料, 综合分析了大田垂直深耕(DT)、垂直深耕+腐熟有机肥(DTY)、垂直深耕+腐殖酸(DTF)、垂直深耕+生物菌肥(DTJ)4个处理对植烟土壤性质、烤烟干物质积累量、烟叶化学成分协调性、物理特性、感官质量和外观质量的影响。结果表明: 与对照DT处理相比, DTY、DTF处理的土壤速效钾、有机质、总氮、有效磷质量分数及烟株干物质积累量显著提升; DTY处理提高了烤后倒4、6烟叶的化学成分可用性指数(CCUI)、外观质量总分(AQC)和烤烟经济效益指数(ECI); DTF处理提高了倒2、4烟叶的感官质量总分(SQC)、物理特性指数(PPI)和ECI。整体而言, 垂直深耕结合不同外源物均可在一定程度上改善植烟土壤地力并调节上部烟叶品质, 其中垂直深耕结合腐熟有机肥对上部倒4、6烟叶的化学成分协调性及外观质量提升效果较好, 而垂直深耕结合腐殖酸施用则会改善烤烟倒2、4烟叶的物理特性, 提高感官质量。

关键词: 烟叶; 垂直深耕; 外源添加物; 土壤; 品质

中图分类号: S572.06

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2025)02-0006-10

Control of top tobacco leaf quality by different exogenous substances under vertical deep tillage

SU Zan¹, HU Yichao¹, XIONG Kunlong², GONG Jia³, PENG Guangjue², CHEN Yichang¹,
ZHENG Bufan², LIANG Jingsong², CHEN Weihao², LI Junlin^{1*}

(1.China Tobacco Guangxi Industrial Co. Ltd., Nanning, Guangxi 530001, China; 2.College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 3.Linli County Branch, Changde Tobacco Company, Changde, Hunan 415200, China)

Abstract: Using flue-cured tobacco variety ‘K326’ as material, the effects of vertical deep tillage(DT), vertical deep tillage plus decomposed organic fertilizer(DTY), vertical deep tillage plus humic acid(DTF) and vertical deep tillage plus biological bacterial fertilizer(DTJ) on soil properties, dry matter accumulation of flue-cured tobacco, chemical composition coordination, physical properties, sensory quality and appearance quality of tobacco were comprehensively analyzed. The results showed that compared with DT treatment, the contents of soil available potassium, organic matter, total nitrogen, available phosphorus and dry matter accumulation of tobacco plants were significantly increased under DTY and DTF treatment. DTY treatment also improved the chemical component availability index(CCUI), total appearance quality score(AQC) and flue-cured tobacco economic benefit index(ECI) of the inverted 2 and 4 tobacco leaves. The total sensory quality score(SQC), physical property index(PPI) and economic character index(ECI) of the

收稿日期: 2024-08-15

修回日期: 2025-03-18

基金项目: 广西中烟工业有限公司重点科技项目(GXZYCX2022B001)

作者简介: 苏赞(1980—), 男, 广西梧州人, 硕士, 高级农艺师, 从事烟叶原料质量研究, 17883720@qq.com; *通信作者, 李俊霖, 硕士, 农艺师, 主要从事烟叶原料质量研究, 511072671@qq.com

inverted 2 and 4 tobacco leaves were improved by DTF treatment. On the whole, vertical deep tillage combined with different exogenous substances could improve the soil fertility and adjust the quality of the upper tobacco leaves to a certain extent, in which vertical deep tillage combined with mature organic fertilizer had a better effect on the chemical composition coordination and appearance quality of the inverted 4 and 6 leaves of the upper tobacco leaves, while vertical deep tillage combined with humic acid could improve the physical characteristics and sensory quality of the inverted 2 and 4 leaves of flue-cured tobacco.

Keywords: tobacco leaf; vertical deep tillage; exogenous substances; soil; quality

烤烟上部叶作为优质卷烟的核心原料,其工业可用性直接决定着烟叶资源利用效率和终端产品品质。然而,我国部分主产烟区普遍面临上部叶品质退化的难题,上部烟叶存在厚度异常、填充值偏低等物理缺陷,同时伴随糖碱比失衡、类胡萝卜素类香气物质减少等化学协调性问题,严重制约其工业适配性^[1-2]。这一现象的形成与产区土壤生态系统功能退化密切相关。在长期集约化种植模式下,单一且高强度的农事作业使得耕作层物理结构持续恶化,内部空间固态化程度加剧,养分转化效率降低,土壤深层水分汲取能力下降,加之肥料的过度施用,耕地地力持续衰减,上部烟叶品质提升严重受限^[3-4]。如何缓解土壤压力,提高上部烟叶可用性已成为现阶段亟待解决的问题。

外源肥料调控是提升烤烟产量与品质的核心农艺措施,其中上部烟叶对养分供给模式具有高度敏感性。不同的外源添加物对土壤及烤烟的生长发育响应程度存在差异^[5-6]。研究表明,不同外源添加物通过差异化作用路径影响土壤-植物系统,如秸秆腐熟有机肥可提升土壤有机质含量及速效钾供应强度^[7],而高碳基有机肥能优化烟株农艺性状,并增强上部叶化学成分协调性及中性香气物质积累量^[8],施肥量梯度增加会显著改变土壤理化性质和烟叶感官质量阈值^[9]。生物菌肥可同步调控土壤酶活性和烟株生理响应能力,其中哈茨木霉-枯草芽孢杆菌和EM菌不仅可通过重塑根际菌群结构^[10],促进养分吸收效率的提升,还可通过调节土壤碳氮比提高烟叶抗氧化酶活性,增强植株抗逆特性从而促进烤烟生长^[11-13]。

耕作措施作为调控土壤-作物系统的关键因素,直接影响烟田生态功能与烟叶品质形成。研究表明,不同耕作模式对土壤结构及烟株生长的调控存在显著异质性^[14]。传统旋耕及机器压实是导致犁

底层容重增高、限制根系下扎的主要原因;而垂直深耕通过破碎致密层土壤,提升孔隙网络连通度,改良耕层结构并促使耕层水力传导系数增加,显著增强土壤蓄水保墒能力,同时降低根系养分获取能耗^[15]。另外,深耕导致的土壤粗糙界面增大会增强土壤-根系接触面积,促进次生根发生,密度增加,进而提升烟株氮素同化效率。然而,单一耕作措施对烟叶品质的改善存在阈值效应,当深耕深度超过45 cm时,反硝化作用增强,导致氮素损失率骤升,从而影响烤烟的生长发育^[16]。因此,在烤烟生产中,适宜的耕作措施及外源添加物所形成的协同调控体系是提高上部烟叶品质的关键。

广西烟区是我国烤烟生产的重要板块,该烟区烤烟长期采用集约化种植模式,导致土壤生态功能退化情况加剧,上部烟叶品质受限,烟叶工业可用性下降。已有的研究对单一无机肥或无机、有机肥配施关注较多,而忽视了改良剂与耕作措施等相关因素的耦合作用。鉴于此,本试验在垂直深耕条件下,研究有机、无机及微生物复合调理剂等3种外源添加物对土壤养分与上部烟叶品质特性的影响,以期改善广西烟区耕地质量,提高上部烟叶品质及工业可用性提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2021年12月—2022年7月在广西壮族自治区靖西市同德乡(106°34'38"E, 23°6'27"N)进行,海拔高度690 m,属亚热带季风气候,夏无酷暑,冬无严寒,年平均气温19.3℃,年降水量1 636.3 mm,无霜期336 d,年日照时数1 501.3 h。土壤质地为壤土,pH为7.57,有机质、全氮、全磷、全钾质量分数分别为24.32、1.72、1.00、6.24 g/kg,铵态氮、硝态氮、有效磷、速效钾质量分数分别为6.35、3.26、

19.51、159.84 mg/kg。

1.2 材料

供试烟草品种为‘K326’。供试有机肥及腐殖酸由河南厚森环保科技有限公司提供,其中有机肥养分N、P、K的质量分数分别为3.28%、1.8%、2.9%,腐殖酸养分N、P、K的质量分数分别为2.23%、6.78%、6.54%;生物菌肥由湖南金叶众望科技股份有限公司制备,其菌群主要包含狭义梭菌属(*Clostridium sensu stricto*)、乳杆菌属(*Lactobacillus*)、片球菌属(*Pediococcus*)和屠场杆菌属(*Macellibacteroides*),质量分数分别为50.20%、19.74%、18.68%、11.38%。耕作器械为自走式垂直深耕深松机(SGL-160),由广西五丰机械有限公司提供。

1.3 试验设计

试验设置4个处理,分别为DT(垂直深耕+常规施肥)、DTY(垂直深耕+腐熟有机肥)、DTF(垂直深耕+腐殖酸)、DTJ(垂直深耕+生物菌肥)。在晚稻收获及晒田完成后,采用垂直深耕技术对田块进行处理,耕作深度为30 cm。有机肥及腐殖酸施用量分别为1 500 kg/km²,拌基肥混合施用;生物菌肥浓度8×10⁸ cfu/mL,施用量为150 L/km²,以水、肥质量比为10:1混合,根部浇施,分别于烟苗移栽期及移栽完成后7 d分2次等量施肥,各处理烟草复合肥及追肥施用均按等N量原则,采用K₂SO₄和KNO₃配齐补施。试验采用随机区组排列,每个处理3次重复,小区面积667 m²,每年2月下旬移栽,行株距为1.1 m×0.5 m,试验地周围设置2行保护行。其他田间管理措施均按当地烟叶生产技术方案操作。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 土壤化学性状检测

于烤烟移栽后60、90 d,采用五点取样法采取0~20 cm耕作层根际土壤样品,将同一小区内的土样混合均匀作为1个混合样,装入自封袋后编号。采用电位法测定土壤pH(水、土质量比为1:2.5);全钾、速效钾、铵态氮、硝态氮、总氮、全磷、有效磷、有机质质量分数参考文献[17]测定。

1.4.2 烤烟农艺性状调查与干物质积累量检测

于烤烟移栽后60、90 d时选取代表性烟株5株,

对预留上部6片烟叶进行挂牌标记。参照文献[18]对烟株进行株高、茎围、叶长、叶宽的测定并计算烟叶开片度。将鲜烟株带回杀青,分器官(根、茎、叶)烘干,检测各部位干物质积累量并计算总干物质积累量。

1.4.3 烟叶化学成分检测与可用性指数构建

在上部烟叶采收前,每个小区选取10株代表性烟株进行定株取样并按叶位编杆烘烤,烘烤结束后按叶位测定烟叶总糖、还原糖、总氮、烟碱、氯、钾质量分数^[19-20],拟定总糖、还原糖、总氮、烟碱、钾、氯、糖碱比、氮碱比、钾氯比的权重分别为14.463%、12.856%、12.373%、12.484%、7.463%、7.072%、12.552%、12.180%、8.557%,将烟叶化学成分指标的隶属函数类型和拐点值,运用模糊数学理论将化学成分原始数据转化为0~1的标准化数值,并构建烟叶化学成分可用性指数(CCUI)^[21]。

1.4.4 烟叶外观质量鉴评

烘烤结束后邀请专家进行烟叶外观质量鉴评,并按叶位对烟叶成熟度、发育状况、组织结构、身份、油分、色泽、色均匀度、光滑或微青等8项外观指标进行打分,评分范围为1~9分,多轮次打分取中位数形成最终得分,并参考文献[21]计算烟叶外观质量总分(AQC)。

1.4.5 烟叶感官质量鉴评

感官评价指标的设计参考GB 5606.4—2005《卷烟 第4部分:感官技术要求》、YC/T 497—2014《卷烟 中式卷烟风格感官评价方法》,从香气质、香气量、杂气、口感刺激性、口感余味、烟气柔细度、透发性、甜度、浓度、劲头等10项指标对烟叶原料进行评吸,评分范围为1~9分,多轮次打分取中位数形成最终得分,并参考文献[21]计算烟叶感官质量总分(SQC)。

1.4.6 烟叶物理特性检测与物理特性指数构建

对不同叶位烟叶单叶质量、含梗率、叶片厚度、填充值、开片度、平衡含水率进行检测,参照前人研究结果^[22-23]确定单叶质量、含梗率、叶片厚度、填充值、开片度、平衡含水率等物理特性评价指标的权重分别为12.52%、15.54%、18.95%、15.63%、

18.68%、18.68%，运用加权指数和法构建烟叶物理特性指数(PPI)^[21]，其值越大，说明物理性状综合表现越好。

1.4.7 烤烟经济性状调查与经济性状指数构建

按小区单独采收鲜烟叶进行烘烤，烤后烟叶分炕次进行产值测定。按照国家烤烟分级标准，参考YC/T 142—2010《烟草农艺性状调查测量方法》，调查产量、产值、均价、上等烟比例等经济指标。参考文献[24]的方法将经济性状指标转换为0~1的标准化数值，并确定产量、产值、均价、上等烟比例的权重分别为25.45%、19.92%、32.76%、21.87%，同时构建经济性状指数(ECI)作为烟叶经济性状综合评价依据，其值越大，说明经济性状越好。

1.5 数据统计与分析

采用 Microsoft Excel 2017进行数据统计与绘

图，采用IBM Statistics SPSS 23.0进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同外源添加物对植烟土壤化学性状的影响

从表1可以看出，垂直深耕配施不同外源添加物对土壤化学性质有影响，2个时期DT处理土壤全钾质量分数均显著高于其余处理的；DTY、DTF处理的速效钾质量分数均显著高于其他2个处理的；DTY处理的确态氮质量分数均显著高于其余3个处理的；DTY处理的总氮质量分数最高，且与DT的差异显著；全磷、有效磷质量分数均以DTF处理的最高，其中2个时期的有效磷质量分数均显著高于其余3个处理的；2个时期DTY处理的有机质质量分数均显著高于DT、DTJ处理的；土壤pH及铵态氮质量分数各处理间的差异均无统计学意义。

表 1 不同处理下植烟土壤的化学性状

Table 1 Chemical properties of tobacco-planting soil under different treatments						
处理	pH		总氮质量分数/(g·kg ⁻¹)		铵态氮质量分数/(mg·kg ⁻¹)	
	60 d	90 d	60 d	90 d	60 d	90 d
DT	7.73±0.04	7.77±0.03	(2.54±0.07)bc	(2.65±0.07)b	2.50±0.38	5.28±0.22
DTY	7.74±0.07	7.85±0.06	(2.86±0.09)a	(2.89±0.12)a	2.32±0.21	5.20±0.14
DTF	7.65±0.05	7.82±0.02	(2.75±0.06)ab	(2.80±0.06)ab	2.23±0.30	4.86±0.30
DTJ	7.73±0.07	7.80±0.04	(2.49±0.08)c	(2.69±0.12)ab	2.53±0.20	4.96±0.31
处理	硝态氮质量分数/(mg·kg ⁻¹)		全磷质量分数/(g·kg ⁻¹)		有效磷质量分数/(mg·kg ⁻¹)	
	60 d	90 d	60 d	90 d	60 d	90 d
DT	(9.13±0.95)c	(10.18±0.35)b	(1.29±0.06)b	1.32±0.03	(19.32±0.86)c	(24.32±0.56)b
DTY	(12.38±1.52)a	(13.19±0.67)a	(1.43±0.14)ab	1.33±0.05	(22.72±0.67)b	(22.06±1.51)c
DTF	(10.83±0.30)b	(11.23±0.53)b	(1.57±0.03)a	1.40±0.07	(27.95±0.78)a	(29.08±0.44)a
DTJ	(10.49±0.41)b	(10.90±0.83)b	(1.28±0.14)b	1.32±0.04	(20.98±0.68)bc	(25.19±0.62)b
处理	全钾质量分数/(g·kg ⁻¹)		速效钾质量分数/(mg·kg ⁻¹)		有机质质量分数/(g·kg ⁻¹)	
	60 d	90 d	60 d	90 d	60 d	90 d
DT	(8.08±0.36)a	(7.80±0.41)a	(179.33±4.13)b	(680.33±5.96)b	(36.60±0.76)c	(34.52±0.43)c
DTY	(6.00±0.28)b	(6.79±0.10)b	(227.33±6.44)a	(749.81±38.51)a	(48.72±3.74)a	(50.13±3.26)a
DTF	(6.35±0.32)b	(6.66±0.18)b	(226.00±8.12)a	(734.17±21.56)a	(42.57±1.66)b	(47.47±1.02)a
DTJ	(5.93±0.20)b	(6.42±0.19)b	(190.50±6.25)b	(672.06±24.70)b	(38.28±2.49)c	(42.12±4.43)b

注：同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。

2.2 不同外源添加物对烤烟农艺性状及干物质积累量的影响

成熟期DTY处理的烟株株高为124.40 cm，显著高于其他3个处理的；4个处理的茎围均无显著性差异。由表2可知，较DT处理，DTF、DTY处理的倒2

叶叶长、叶宽和开片度均显著增加。倒4叶DTY处理的叶长、叶宽及开片度与DT和DTJ处理的差异均显著，倒6叶DTY处理的叶长、叶宽及开片度与DT的差异也显著。由此可见，DTY处理对烤烟上部倒2、4、6叶的叶长、叶宽和开片度均有提升效果。

表 2 烤烟移栽 90 d 不同处理上部烟叶倒 2、4、6 叶位烟叶的农艺性状

Table 2 Agronomic traits of the inverted 2, 4 and 6 leaves of tobacco plant at 90 d after transplanting under different treatments								
处理	倒2烟叶			倒4烟叶			倒6烟叶	
	叶长/cm	叶宽/cm	开片度	叶长/cm	叶宽/cm	开片度	叶长/cm	叶宽/cm
DT	(46.67±1.19)b	(10.60±0.80)c	(22.75±2.07)b	(58.32±2.73)c	(14.25±0.38)c	(24.49±1.43)b	(63.57±2.42)c	(17.67±0.85)c
DTY	(50.23±3.79)a	(13.62±1.01)a	(27.30±3.48)a	(67.32±3.38)a	(19.13±0.78)a	(28.47±1.54)a	(70.20±4.22)a	(21.75±1.13)a
DTF	(51.99±0.74)a	(14.19±0.89)a	(27.29±1.51)a	(63.88±2.51)b	(17.82±1.16)b	(27.97±2.67)a	(68.38±2.11)ab	(20.58±1.10)a
DTJ	(49.78±2.88)a	(12.45±0.74)b	(25.06±1.79)ab	(62.15±1.73)b	(15.28±1.11)c	(24.64±2.43)b	(64.83±3.25)bc	(19.08±1.34)b

注：同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

干物质积累量是衡量烤烟潜在产量的重要指标。由表3可知，DTY、DTF处理根、茎的干物质积累量均显著高于DT处理的，其中DTY处理的根、茎干物质积累量较DT的分别提高14.32%、25.40%，而DTF处理的较DT的分别提高12.53%、19.61%。

DTY处理下叶的干物质积累量和总干物质积累量均显著高于DT处理的，较DT处理的分别提升20.12%和22.52%。DTY、DTF、DTJ、DT处理叶的干物质积累量和总干物质积累量均依次降低，DTY处理更有利于烟株干物质积累量的提升。

表 3 烤烟移栽 90 d 不同处理的干物质积累量

Table 3 Dry matter accumulation under different treatments on the 90 d after transplanting					g
处理	根的干物质积累量	茎的干物质积累量	叶的干物质积累量	总干物质积累量	
DT	(48.11±8.93)b	(60.47±6.34)b	(111.58±22.95)b	(216.17±35.88)c	
DTY	(55.00±9.58)a	(75.83±7.14)a	(134.03±24.32)a	(264.86±35.56)a	
DTF	(54.14±3.42)a	(72.33±6.39)a	(118.49±21.53)ab	(244.96±29.07)b	
DTJ	(51.70±8.90)ab	(69.08±3.98)a	(117.82±11.79)ab	(238.59±21.28)b	

注：同列不同字母表示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.3 不同外源添加物对烤烟化学成分的影响

从表4可以看出，DTY处理提高了上部倒2烟叶烟碱、钾质量分数及钾氯比，较DT的分别提高8.13%、8.46%和13.17%；提高了倒4烟叶总糖、还原糖、烟碱质量分数，较DT的分别提高8.60%、8.17%和13.43%；同时DTY处理还显著提升了倒6烟叶总氮、烟碱质量分数，但倒4、6烟叶的糖碱比以及倒6烟叶的钾质量分数和氮碱比显著降低。此外，DTF处理下倒2烟叶总糖、还原糖质量分数及糖

碱比较DT分别提高20.81%、21.88%和16.70%，倒4烟叶的较DT分别提高12.21%、11.82%和2.03%，倒2烟叶的钾质量分数和倒4烟叶的钾氯比及倒6烟叶的总糖、总氮质量分数较DT的均有显著提升。而DTJ处理则显著降低了倒2、4、6烟叶的糖碱比及倒4、6烟叶的钾质量分数，提高了倒4、6烟叶的总氮和烟碱质量分数。DTF处理显著提高了倒2烟叶的CCUI得分，而DTY处理显著提升了倒4、6烟叶的CCUI得分(处理间均为同叶位比较)。

表 4 不同处理下倒 2、4、6 叶位烟叶的化学指标

Table 4 Chemical indexes of the inverted 2, 4 and 6 tobacco leaves under different treatments						
叶位	处理	总糖质量分数/%	还原糖质量分数/%	总氮质量分数/%	烟碱质量分数/%	钾质量分数/%
倒2 烟叶	DT	(18.07±1.63)b	(16.09±1.57)b	(2.30±0.06)ab	(3.20±0.03)b	(2.01±0.06)b
	DTY	(19.12±0.80)b	(17.29±0.05)b	(2.36±0.02)a	(3.46±0.06)a	(2.18±0.04)a
	DTF	(21.83±0.34)a	(19.61±0.73)a	(2.26±0.04)b	(3.34±0.05)ab	(2.23±0.06)a
	DTJ	(17.69±1.34)b	(15.80±1.22)b	(2.37±0.02)a	(3.30±0.06)b	(1.99±0.02)b
倒4 烟叶	DT	(21.63±0.33)b	(19.46±0.46)b	(2.13±0.04)bc	(2.83±0.08)c	(2.40±0.01)ab
	DTY	(23.49±0.83)a	(21.05±0.85)a	(2.18±0.03)ab	(3.21±0.06)a	(2.36±0.04)bc
	DTF	(24.27±0.19)a	(21.76±0.58)a	(2.10±0.04)c	(3.10±0.03)b	(2.45±0.04)a
	DTJ	(20.43±0.52)c	(18.57±0.76)b	(2.19±0.01)a	(3.07±0.06)b	(2.30±0.05)c
倒6 烟叶	DT	(24.94±0.76)bc	(22.65±0.88)ab	(1.84±0.04)b	(2.51±0.06)d	(2.75±0.01)a
	DTY	(25.32±0.69)b	(22.61±0.39)ab	(1.98±0.02)a	(3.03±0.01)a	(2.56±0.04)b
	DTF	(26.78±0.76)a	(23.94±1.21)a	(1.93±0.03)a	(2.81±0.18)b	(2.74±0.06)ab
	DTJ	(23.62±0.21)c	(21.29±0.50)b	(1.95±0.02)a	(2.69±0.04)bc	(2.55±0.07)b

表 4(续)

叶位	处理	氯质量分数/%	糖碱比	氮碱比	钾氯比	CCUI
倒2 烟叶	DT	0.49±0.01	(5.03±0.75)b	0.72±0.15	(4.10±0.46)b	(70.96±2.68)b
	DTY	0.47±0.04	(5.00±0.95)b	0.68±0.16	(4.64±0.88)a	(70.12±3.15)b
	DTF	0.49±0.02	(5.87±0.74)a	0.68±0.08	(4.55±0.65)a	(76.29±2.36)a
	DTJ	0.47±0.02	(4.79±0.82)c	0.72±0.32	(4.23±1.01)b	(67.24±2.13)c
倒4 烟叶	DT	0.48±0.01	(6.88±0.84)b	(0.75±0.22)a	(5.00±1.32)b	(79.32±2.45)b
	DTY	0.48±0.01	(6.56±0.64)c	(0.68±0.23)ab	(4.92±0.86)b	(84.48±2.34)a
	DTF	0.46±0.01	(7.02±1.02)a	(0.68±0.16)ab	(5.33±0.91)a	(81.93±2.39)b
	DTJ	0.46±0.03	(6.05±1.11)d	(0.71±0.11)ab	(5.00±0.66)b	(79.96±1.59)b
倒6 烟叶	DT	0.44±0.01	(9.02±1.11)a	(0.73±0.05)a	(6.25±1.02)ab	(84.11±1.69)b
	DTY	0.45±0.01	(7.46±1.45)d	(0.65±0.06)b	(5.69±1.11)b	(90.17±2.12)a
	DTF	0.43±0.01	(8.52±1.26)b	(0.69±0.08)ab	(6.37±0.95)a	(86.70±2.47)b
	DTJ	0.44±0.02	(7.91±1.44)c	(0.72±0.15)a	(5.80±0.88)b	(86.08±1.22)b

注：同一叶位同列不同字母示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.4 不同外源添加物对烤烟外观质量的影响

从表5可以看出，相较于DT处理，DTY处理显著提高了倒2烟叶的组织结构、身份、油分、色泽和色泽均匀度得分，倒4烟叶的成熟度、发育状况、油分、光滑或微青得分，倒6烟叶的发育状况和组织结构得分；DTF处理显著提高了倒2烟叶的组织结构、油分得分，倒4烟叶成熟度和光滑或微青得分；

DTJ处理则显著提升了倒2烟叶的组织结构、身份、油分、色泽和色泽均匀度得分及倒6烟叶的组织结构得分。DTY较DT处理显著提升了倒2、4、6烟叶的AQC，在倒2、6烟叶中DTY、DTJ、DTF、DT的AQC依次降低，在倒4烟叶中DTY、DTF、DTJ、DT的AQC依次降低。

表 5 不同处理下倒 2、4、6 叶位烟叶外观指标得分

Table 5 Appearance quality score of the inverted 2, 4 and 6 tobacco leaves under different treatments

叶位	处理	成熟度	发育状况	组织结构	身份	油分	色泽	色泽均匀度	光滑或微青	AQC
倒2 烟叶	DT	(8.08±0.11)ab	(8.12±0.29)ab	(7.30±0.27)c	(7.08±0.11)b	(7.42±0.47)b	(7.16±0.09)bc	(6.84±0.32)bc	7.98±0.18	(75.61±1.35)c
	DTY	(8.24±0.25)ab	(8.12±0.29)ab	(8.50±0.00)a	(8.04±0.36)a	(8.24±0.25)a	(8.08±0.37)a	(8.02±0.30)a	8.22±0.18	(82.03±1.56)a
	DTF	(8.40±0.42)a	(8.24±0.25)a	(8.04±0.36)b	(7.08±0.11)b	(7.94±0.26)a	(7.34±0.23)b	(7.14±0.22)b	8.00±0.35	(78.66±1.34)b
	DTJ	(7.80±0.27)b	(7.68±0.63)b	(8.14±0.22)b	(8.04±0.09)a	(8.04±0.09)a	(8.08±0.11)a	(8.04±0.09)a	8.04±0.09	(79.57±1.02)b
倒4 烟叶	DT	(8.00±0.00)c	(7.94±0.13)b	7.94±0.13	(7.80±0.45)ab	(7.80±0.45)b	8.04±0.09	(8.04±0.09)ab	(8.04±0.09)c	(79.30±1.35)c
	DTY	(8.74±0.37)a	(8.40±0.42)a	8.14±0.22	(8.20±0.27)a	(8.34±0.42)a	8.44±0.44	(8.20±0.27)a	(8.80±0.27)a	(84.04±1.21)a
	DTF	(8.50±0.50)ab	(8.20±0.27)ab	8.08±0.11	(8.10±0.22)a	(8.08±0.11)ab	8.12±0.11	(8.12±0.11)ab	(8.54±0.46)ab	(82.14±1.16)ab
	DTJ	(8.18±0.20)bc	(8.20±0.35)ab	7.98±0.40	(8.18±0.20)a	(8.06±0.22)ab	8.22±0.33	(8.22±0.18)a	(8.22±0.18)bc	(81.43±2.13)b
倒6 烟叶	DT	8.04±0.09	(7.94±0.26)b	(7.74±0.25)b	(7.90±0.22)ab	7.94±0.13	8.04±0.09	8.00±0.00	8.08±0.11	(79.44±0.96)b
	DTY	8.44±0.52	(8.58±0.40)a	(8.18±0.20)a	(8.10±0.14)a	8.14±0.22	8.12±0.11	8.08±0.11	8.48±0.48	(82.78±1.46)a
	DTF	8.00±0.00	(8.08±0.11)b	(8.00±0.00)ab	(8.00±0.00)a	8.00±0.00	8.08±0.11	8.04±0.09	8.24±0.43	(80.34±0.32)ab
	DTJ	8.18±0.20	(8.22±0.18)ab	(8.18±0.20)a	(8.18±0.20)a	8.18±0.20	8.18±0.41	8.08±0.29	8.02±0.49	(81.73±1.98)ab

注：同一叶位同列不同字母示处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.5 不同外源添加物对烤烟感官质量的影响

由表6可知，不同处理条件下烟叶感官质量存在差异。DTY较DT处理显著提升倒2烟叶的口感刺激性、烟气柔细度的得分，倒4烟叶的香气质、口感余味、烟气柔细度和倒6烟叶的甜度得分；而DTF较DT处理则显著提升倒2烟叶的口感刺激性、烟气柔细度、透发性得分，倒4烟叶的香气质、口感刺

激性、口感余味、烟气柔细度、透发性得分及倒6烟叶的劲头得分；DTJ处理则明显提升了倒2烟叶的浓度得分，倒4烟叶的透发性得分和倒6烟叶的劲头得分，并降低了烟叶的透发性得分。此外，DTF处理倒2、4烟叶的感官质量总分(SQC)较DT处理显著提高；倒2、4烟叶DTF、DTY、DTJ、DT的SQC均依次降低，而倒6烟叶各处理的SQC无显著差异。

表 6 不同处理倒 2、4、6 叶位烟叶的感官指标得分

Table 6 Sensory quality score of the inverted 2, 4 and 6 tobacco leaves under different treatments							
叶位	处理	香气质	香气量	杂气	口感刺激性	口感余味	烟气柔细度
倒2烟叶	DT	5.25±0.10	(5.27±0.12)ab	5.18±0.12	(5.22±0.08)b	(5.23±0.10)ab	(5.17±0.08)b
	DTY	5.32±0.13	(5.20±0.11)b	5.18±0.08	(5.35±0.10)a	(5.18±0.10)b	(5.30±0.06)a
	DTF	5.22±0.10	(5.33±0.08)a	5.27±0.05	(5.32±0.12)a	(5.30±0.17)a	(5.27±0.10)a
	DTJ	5.20±0.11	(5.20±0.11)b	5.23±0.08	(5.20±0.14)b	(5.28±0.13)a	(5.23±0.15)b
倒4烟叶	DT	(5.30±0.11)b	5.42±0.10	5.35±0.15	(5.25±0.12)b	(5.33±0.12)b	(5.33±0.12)b
	DTY	(5.37±0.15)a	5.47±0.19	5.28±0.10	(5.33±0.08)ab	(5.43±0.08)a	(5.45±0.08)a
	DTF	(5.40±0.00)a	5.53±0.14	5.40±0.06	(5.40±0.11)a	(5.42±0.08)a	(5.43±0.08)a
	DTJ	(5.33±0.05)ab	5.47±0.14	5.32±0.08	(5.30±0.09)ab	(5.33±0.05)b	(5.35±0.08)b
倒6烟叶	DT	5.35±0.08	5.55±0.05	5.35±0.10	5.42±0.08	5.35±0.12	5.40±0.09
	DTY	5.30±0.11	5.47±0.10	5.35±0.16	5.35±0.12	5.32±0.31	5.43±0.21
	DTF	5.27±0.08	5.47±0.10	5.28±0.12	5.35±0.12	5.28±0.10	5.38±0.12
	DTJ	5.32±0.15	5.52±0.10	5.25±0.14	5.32±0.10	5.32±0.16	5.38±0.17

叶位	处理	透发性	甜度	浓度	劲头	SQC
倒2烟叶	DT	(5.17±0.08)b	5.12±0.04	(5.45±0.12)b	5.58±0.20	(52.63±0.30)b
	DTY	(5.17±0.10)b	5.10±0.06	(5.50±0.13)ab	5.68±0.12	(52.98±0.48)ab
	DTF	(5.33±0.05)a	5.17±0.08	(5.58±0.10)ab	5.68±0.12	(53.47±0.37)a
	DTJ	(5.15±0.14)b	5.17±0.08	(5.63±0.12)a	5.47±0.28	(52.77±0.75)ab
倒4烟叶	DT	(5.28±0.13)b	5.18±0.08	5.73±0.18	5.68±0.10	(53.87±0.53)b
	DTY	(5.35±0.08)ab	5.23±0.14	5.77±0.14	5.68±0.13	(54.37±0.42)ab
	DTF	(5.42±0.04)a	5.25±0.10	5.80±0.17	5.68±0.10	(54.73±0.43)a
	DTJ	(5.40±0.06)a	5.18±0.12	5.80±0.11	5.72±0.16	(54.20±0.47)ab
倒6烟叶	DT	(5.43±0.10)a	(5.23±0.14)b	5.77±0.14	(5.63±0.08)b	54.48±0.39
	DTY	(5.42±0.17)a	(5.43±0.15)a	5.85±0.15	(5.90±0.17)a	55.02±0.70
	DTF	(5.37±0.15)a	(5.22±0.17)b	5.85±0.15	(5.87±0.21)a	54.33±0.63
	DTJ	(5.20±0.13)b	(5.28±0.17)ab	5.82±0.13	(5.85±0.23)a	54.25±0.63

注：同一叶位同列不同字母处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.6 不同外源添加物对烤烟物理性状的影响

倒2、4、6烟叶的单叶质量，倒2、6烟叶的叶片厚度和倒6烟叶的填充值，其中倒2、4、6烟叶的单叶质

由表7可知，与DT相比，DTY处理显著提高了

表 7 不同处理倒 2、4、6 叶位烟叶的物理性状

Table 7 Physical properties of the inverted 2, 4 and 6 tobacco leaves under different treatments								
叶位	处理	单叶质量/g	含梗率/%	叶片厚度/ μm	填充值/ $(\text{cm}^3\cdot\text{g}^{-1})$	开片度	平衡含水率/%	PPI
倒2烟叶	DT	(6.15±0.86)b	23.10±2.41	(190.77±9.86)b	4.77±0.92	0.26±0.01	16.52±1.11	(82.19±2.11)b
	DTY	(9.07±0.60)a	22.79±3.95	(217.63±8.11)a	4.83±0.22	0.26±0.01	16.66±0.89	(84.19±2.98)a
	DTF	(8.82±1.86)a	23.43±3.55	(205.83±12.09)ab	5.06±0.25	0.26±0.02	16.69±1.06	(84.72±2.12)a
	DTJ	(6.60±0.29)b	23.29±0.37	(195.90±12.17)b	4.97±0.76	0.25±0.01	16.82±0.98	(83.45±3.12)b
倒4烟叶	DT	(7.00±0.69)c	(26.91±3.03)a	(211.17±6.45)ab	(4.99±0.42)b	0.25±0.01	17.08±1.11	(82.40±2.15)c
	DTY	(10.67±0.59)a	(25.56±2.54)ab	(227.40±10.97)a	(5.02±0.86)b	0.26±0.02	16.46±0.68	(84.53±2.33)b
	DTF	(9.14±0.53)b	(23.84±6.54)c	(231.00±12.96)a	(5.56±0.65)ab	0.25±0.01	17.05±0.66	(86.16±2.06)a
	DTJ	(8.59±0.83)b	(24.26±1.86)b	(200.60±18.45)b	(6.02±1.81)a	0.25±0.01	16.28±0.54	(81.83±3.99)c
倒6烟叶	DT	(10.89±1.17)b	29.67±1.91	(195.50±6.95)b	(4.29±0.22)b	0.25±0.01	16.57±0.74	(86.72±2.77)ab
	DTY	(11.64±1.27)a	28.46±1.78	(212.50±4.48)a	(4.89±0.82)a	0.26±0.02	16.36±0.32	(88.10±2.06)a
	DTF	(11.85±0.15)a	28.59±3.29	(206.13±4.77)ab	(4.79±0.55)a	0.25±0.01	16.81±0.15	(86.56±2.31)ab
	DTJ	(10.28±1.16)b	28.15±1.63	(207.67±13.03)ab	(5.05±0.14)a	0.26±0.01	16.82±0.98	(85.22±1.59)c

注：同一叶位同列不同字母处理间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

量分别提高47.48%、52.43%、6.89%，叶片厚度分别提高14.08%、7.69%和8.70%；相较于DT处理，DTF处理显著提高了倒2、4、6烟叶的单叶质量和倒6烟叶的填充值，同时降低了倒4烟叶的含梗率，其中，倒2、4、6烟叶的单叶质量分别提高43.41%、30.57%、8.82%，倒6烟叶的填充值提高11.66%，倒4烟叶的含梗率降低3.07个百分点；相较于DT处理，DTJ处理提升了倒4烟叶的单叶质量和填充值，分别达22.71%、20.64%，含梗率降低了2.65个百分点，倒6烟叶的填充值提高了17.72%。此外，DTY、DTF处理显著提升了倒2、4烟叶的PPI，在倒2烟叶中，DTF、

DTY、DTJ、DT处理的PPI依次降低，倒4烟叶中，DTF、DTY、DT、DTJ处理的PPI依次降低。

2.7 不同外源添加物对烤烟经济性状的影响

不同处理烟叶烘烤后的经济性状有差异(表8)。DTY、DTF处理的产量、产值、上等烟比例、均价均表现较优，DTJ的次之。与DT处理相比，外源添加物处理的产量、产值分别增加132.88~340.1 kg/hm²、4 741.97~14 070.26元/hm²，均价提高0.55%~3.90%。DTY处理的ECI指数显著高于其余处理的，其后依次为DTF、DTJ、DT。

表 8 不同处理烤烟的经济性状

Table 8 Economic characteristics of the flue-cured tobacco under different treatments					
处理	产量/(kg·hm ⁻²)	产值/(元·hm ⁻²)	均价/(元·kg ⁻¹)	上等烟比例/%	ECI
DT	(1 984.92±189.44)c	(65 080.15±5 461.16)c	(32.79±0.66)b	(66.97±4.25)b	(76.04±1.45)c
DTY	(2 325.02±210.64)a	(79 150.41±5 789.56)a	(34.04±0.43)a	(70.02±4.66)a	(88.27±1.66)a
DTF	(2 284.70±285.16)ab	(77 834.18±5 648.15)a	(34.07±0.38)a	(69.39±4.25)a	(84.11±1.12)b
DTJ	(2 117.80±243.21)b	(69 822.12±6 151.22)b	(32.97±0.55)ab	(68.36±3.79)ab	(81.97±2.12)b

注：同列不同字母处理间的差异有统计学意义(P<0.05)。

3 结论与讨论

本研究结果显示，2个观测时期内DT处理的土壤全钾质量分数均显著高于其他处理的。这一差异主要归因于DT处理施用了更高水平的复合肥。值得注意的是，虽然菌肥处理(DTJ)与DT处理的施肥总量相同，但其土壤全钾质量分数却呈现不同趋势。这可能源于生物菌肥处理通过增强根际微生物活性，显著提升了土壤钾素的有效性，从而促进了作物根系对钾元素的吸收利用^[25]；其次，菌肥处理(DTJ)增强了土壤水合作用，在前期多雨的气候条件下，易溶性钾素随水分发生垂直迁移，逐渐脱离作物根系的主要吸收层(0~20 cm)，最终导致根际土壤全钾含量的降低^[26]。有机肥处理(DTY)提高了土壤速效钾、总氮、硝态氮及有机质质量分数，推测可能是因为有机肥中含有丰富的有机物质，其附着于土壤颗粒中，直接增加了土壤有机质质量分数，刺激土壤微生物活动并将难溶性的钾矿物质转化为可溶性钾；其次，有机肥中的有机氮通过矿化作用引起硝态氮质量分数上升；另外，疏松的土壤环境扩增了土壤“养分储备”潜能，加速了土壤中钾、碳、氮等速效养分的积累与转化^[27-28]。此外，DTF处理显著提高了土壤有效磷质量分数，腐殖酸通过络合

作用可改变土壤中磷的存在形态，使部分原本被土壤颗粒固定的磷转化为更容易被植物根系吸收的形态，从而提高土壤有效磷的质量分数^[29]。

不同外源添加物对烤烟干物质及农艺性状均有影响。相较于DT处理，DTY处理显著提升了烟株的干物质积累量及倒2、4、6烟叶的叶长、叶宽和开片度，推测有机肥可能有利于改善土壤养分环境，促进根系生长和对养分的吸收，进而促进烟株地上部的生长发育。

烟叶的化学成分协调性是衡量烟叶品质的重要参数。本研究发现，不同外源物质处理对上部烟叶的烟碱、总糖、还原糖质量分数以及糖碱比、氮碱比等关键指标具有显著调控作用，有效改善了烟叶化学协调性。具体而言，DTY处理显著提升了上部倒2、4、6烟叶的烟碱质量分数，同时增加了倒4烟叶的总糖和还原糖质量分数，但降低了倒4、6烟叶的糖碱比；而DTF处理则显著提高倒2、4烟叶的总糖、还原糖质量分数及糖碱比。这种差异的产生可能涉及两方面的原因：其一，外源物质的营养成分构成与配比差异直接影响土壤中氮、钾等元素的供应动态，进而调控烟株体内糖类与生物碱的合成代谢路径；其二，有机物料通过微生物介导的矿化过程释放养分，其形态转化速率与生物有效性的差

异,可能导致烟株对营养元素的吸收利用效率产生时空分异,从而使烟叶出现不同的化学成分的积累特征^[30]。

不同外源添加物对烟叶外观质量、口感特征及物理特性均有不同影响。DTY处理提升了倒2烟叶的组织结构、身份、油分、色泽和色泽均匀度得分,倒4烟叶的成熟度、发育状况、身份、油分和光滑或微青得分,倒6烟叶的发育状况和组织结构等指标得分,显著提升了倒2、4、6烟叶的AQC。烟叶感官质量评审结果显示,DTY、DTF处理显著提高了倒2烟叶的刺激性和柔细度得分,DTJ处理提升了烟叶浓度得分;DTY处理下倒4叶的口感余味、烟气柔细度得分提升程度较高,DTF处理下倒4叶的香气质、口感刺激性、口感余味、烟气柔细度、透发性得分提升程度也较高。此外,DTF处理还显著提高了倒2、4烟叶感官质量总分SQC。烤后烟叶物理指标研究显示,有机肥和腐殖酸处理显著提高了倒2、4、6烟叶的单叶质量及倒6烟叶的填充值,其中DTY处理显著提高了倒2、6烟叶的叶片厚度,DTF处理降低了倒4烟叶的含梗率,DTJ处理提升了倒4烟叶的单叶质量和填充值。不同外源添加物处理后不同叶位烟叶的品质特性有差异,推测可能是因为不同外源添加物营养素的差异性供给直接影响了烟叶中相应化学成分的合成与积累,导致烟叶中芳香族化合物、类胡萝卜素等成分的含量差异,进而对烟叶的香气特征产生直接作用^[31]。其中,有机肥及腐殖酸不仅能改善土壤环境,还能直接作用于烟叶,增强细胞壁强度,改善细胞组织结构,从而影响烟叶的物理特性^[32];而垂直深耕能改善土壤团粒结构,增加土壤的孔隙度和保水保肥能力,同时有机肥中的有机物质能显著提高土壤微生物活性,促进微生物生长调节物质的合成,间接影响烟叶的生理代谢,促进有益物质的积累从而改善烟叶外观质量^[33]。但垂直深耕配施不同种类有机肥对植烟土壤生物学特性及烟叶品质的影响是长期且复杂的过程,有机、无机肥施用种类及配比仍需进一步研究。

综合试验结果来看,不同外源物对不同叶位烟叶品质影响不同,垂直深耕结合有机肥提高了广西烟区上部倒4、6烟叶的化学协调性、外观质量及经济性状,而腐殖酸则对倒2、4烟叶的物理特性及感官质量提升效果更佳。整体而言,3种外源物均可

在一定程度上改良植烟土壤、提升烟叶品质,其中以有机肥的效果更为显著。

参考文献:

- [1] 陈克玲,王德权,张金林,等.我国主栽烤烟品种上部叶生长特征及差异研究[J].江苏农业科学,2024,52(1):76-82.
- [2] 金佳威,刘咏艳,王惠,等.施氮量和留叶数对烤烟LY1306上部叶生理特性及产质量的影响[J].山东农业科学,2023,55(4):56-64.
- [3] 张江周,王光州,李奕赞,等.农田土壤健康评价体系构建的若干思考[J].土壤学报,2024,61(4):879-891.
- [4] 刘智炫,周清明,穰中文,等.深耕对植烟土壤温湿度及烤烟根系发育和经济性状的影响[J].烟草科技,2019,52(12):23-30.
- [5] 杨营月,刘慧,王龙飞,等.不同肥料类型对植烟土壤及烤烟品质的影响研究[J].作物杂志,2022(3):187-193.
- [6] 刘沐衡,王贵云,张彦东,等.牛场粪水添加外源添加物施用后对土壤氨挥发的影响[J].农业环境科学学报,2021,40(11):2568-2573.
- [7] 刘佳琪,彭光爵,郑重谊,等.粉垄及秸秆腐熟有机肥对湖南稻作烟区土壤养分和烤烟产质量的影响[J].西南农业学报,2022,35(2):397-404.
- [8] 路丹,张得平,梁永进,等.不同用量高碳基有机肥对烤烟生长及产质量的影响[J].贵州农业科学,2019,47(10):23-28.
- [9] 汪坤,张海涛,姬小明,等.不同碳基有机肥用量对邵阳烟区土壤及上部烟叶品质的影响[J].山东农业科学,2021,53(12):124-129.
- [10] 钱颖颖,任可,陈颐,等.无机肥配施生物菌剂对植烟土壤质量及烤烟品质的影响[J].江苏农业科学,2024,52(3):121-131.
- [11] 殷全玉,刘健豪,方明,等.高碳基肥配施菌剂对植烟土壤化学性质及微生物的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2019,45(5):501-506.
- [12] 王文凤,张丽娜,朱启法,等.枯草芽孢杆菌BC80-6发酵条件的优化及对烟草根黑腐病的控病效果[J].烟草科技,2019,52(5):6-13.
- [13] 施河丽,孙立广,谭军,等.生物有机肥对烟草青枯病的防效及对土壤细菌群落的影响[J].中国烟草科学,2018,39(2):54-62.
- [14] 彭光爵,王志勇,胡桐,等.粉垄深耕对长沙稻作烟区土壤物理特性及烤烟根系发育的影响[J].华北农学报,2021,36(1):134-142.
- [15] 杨佳宜.粉垄配施腐殖酸对稻作烟区土壤理化特性及

- 烤烟生长发育的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2020.
- [16] 胡瑞文, 刘勇军, 荆永锋, 等. 深耕条件下生物炭对烤烟根系活力、叶片SPAD值及土壤微生物数量的动态影响[J]. 江西农业大学学报, 2018, 40(6): 1223–1230.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [18] YC/T 142—1998. 烟草农艺性状调查方法[S].
- [19] 李伟, 何铭钰, 邓小华, 等. 减氮条件下不同施肥模式对稻茬烤烟生长和养分积累及利用效率的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2023, 50(5): 869–875.
- [20] 叶协锋, 李佳颖, 史双双, 等. 烤烟叶片茄酮含量与土壤化学性状的关系[J]. 土壤通报, 2014, 45(3): 637–642.
- [21] 邓小华, 向清慧, 刘勇军, 等. 施用改良剂对山地土壤pH和烤烟生长及产质量的效应[J]. 核农学报, 2020, 34(7): 1568–1577.
- [22] 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.
- [23] 田茂成, 邓小华, 陆中山, 等. 基于灰色效果测度和主成分分析的湘西州烟叶物理特性综合评价[J]. 核农学报, 2017, 31(1): 187–193.
- [24] 邓小华, 杨丽丽, 邹凯, 等. 烟稻轮作模式下烤烟增密减氮的主要化学成分效应分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(4): 991–997.
- [25] 刘玉连, 卢红, 李明, 等. 2种微生物菌肥对穿心莲根际土壤理化性质、微生物数量及酶活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(12): 208–214.
- [26] 李森, 王凤新, 赵健宇, 等. 灌水定额和施钾量对膜下滴灌马铃薯产量及水肥利用效率的影响[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(10): 100–110.
- [27] 舒业勤, 彭复细, 雷文硕, 等. 稻油复种不同措施下土壤有机碳组分积累及其稳定性特征[J/OL]. 土壤学报, 2024: 1–10. (2024-04-08). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1119.p.20240402.1444.002.html>.
- [28] 龚嘉, 郑重谊, 刘勇军, 等. 粉垄深耕结合开沟排水对土壤养分和烤烟生长发育的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2022, 50(2): 75–81, 89.
- [29] 丁建. 铁盐活化污泥生物炭特性及其磷吸附性能研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2021.
- [30] 王超, 杨倩楠, 张池, 等. 丹霞山不同土地利用方式土壤磷组分特征及其有效性[J]. 生态环境学报, 2023, 32(5): 889–897.
- [31] 肖和友, 朱伟, 郑生猛, 等. 连续施用不同种类生物炭对植烟土壤养分的影响[J/OL]. 土壤, 2024: 1–8. (2024-02-05). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1118.P.20240202.1748.002.html>.
- [32] 张晓伟, 张轲, 倪明, 等. 垂直深旋耕下有机物料改良酸性土壤及烤烟产质量的调控效应[J]. 中国农学通报, 2024, 40(2): 52–60.
- [33] 杨茜, 张弘蒙, 杨洁, 等. 不同种类有机肥对植烟土壤生物学特性及烤烟产质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2023, 44(1): 8–14.

责任编辑: 毛友纯

英文编辑: 罗 维