

田丰,黄士航,区禧贤,等. 有机肥配施化肥对烟草生长、养分吸收及分配的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(18):138-146.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.18.018

# 有机肥配施化肥对烟草生长、养分吸收及分配的影响

田丰<sup>1</sup>,黄士航<sup>1</sup>,区禧贤<sup>1</sup>,韩永亮<sup>1</sup>,范辛龙<sup>2</sup>,范光奖<sup>3</sup>,彭丹莉<sup>4</sup>,张昊<sup>1</sup>,李强<sup>1</sup>,张莉<sup>2</sup>

(1. 湖南农业大学农学院,湖南长沙 410128; 2. 江苏中烟工业有限责任公司,江苏南京 210019;

3. 湖南省烟草公司郴州市公司,湖南郴州 423000; 4. 湖南省浏阳市农业发展事务中心,湖南浏阳 410399)

**摘要:**为探明不同比例有机肥等氮替代化肥对烟草生长、养分吸收及分配的影响,探讨适合湖南省浏阳市植烟区的最佳有机无机配施比例。以云烟87为试验材料,采用田间小区试验,共设置5个处理:T1(100%化学氮肥)、T2(25%有机氮肥+75%化学氮肥)、T3(50%有机氮肥+50%化学氮肥)、T4(75%有机氮肥+25%化学氮肥)、T5(100%有机氮肥),对比分析不同施肥处理对烟草生长、养分吸收及分配的影响。结果表明,有机肥配施化肥(T2)处理可以加快烟草的田间生长速度,提高烟株各生育期干物质积累量,同时提高烟株的养分积累;但在半年试验期内,有机肥替代比例过高(T3、T4、T5处理)会造成烟株田间生长缓慢,降低烟株的养分吸收速率。对烟草生长及养分积累的相关性进行分析发现,养分积累会显著作用于烟株的干物质积累,氮素积累会显著作用于烟株叶面积,磷素积累会显著作用于烟株的株高,钾素积累会显著作用于烟株的茎围。综合来看,25%有机氮肥+75%化学氮肥配施比例较适宜湖南省浏阳市植烟区,该配施比例可增加烟株的养分吸收与积累,促进烟株生长。

**关键词:**有机无机配施;烟草;生长;养分吸收与分配;相关性分析

**中图分类号:**S572.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)18-0138-09

目前,我国烤烟生产过程中存在化肥投入量大、施肥方式不合理等问题,造成烤烟优质烟叶占比降低、品质下降,同时土壤问题日益突出。烟株对养分的吸收及累积直接影响其生长发育<sup>[1]</sup>,纯化肥虽然可以为作物提供生长所需的营养元素且肥效快,但是长期大量施入化肥将导致土壤肥力下降、土壤结构破坏、土壤酸化严重等<sup>[2]</sup>,而纯有机肥中虽富含有机质且肥效长,但也存在养分含量低、肥效慢等弊端<sup>[3]</sup>,难以满足优质烤烟生产所必需的营养条件<sup>[4]</sup>,有机肥配施化肥是目前我国烟草种植实现化肥减施、增产提质的重要措施之一<sup>[5]</sup>,目前已在水稻<sup>[6]</sup>、黄瓜<sup>[7]</sup>、小麦<sup>[8]</sup>、茶叶<sup>[9]</sup>等多种作物种植中投入应用。有机肥配施化肥可以缓解过量施入化肥带来的土壤质量退化问题,同时又能满足烤烟各生育期所需的营养元素,扩大根系总吸收面积和活跃吸收面积<sup>[10]</sup>,改善土壤中微生物的群落结构,提高土壤酶活性<sup>[11-12]</sup>,进而促进烤烟对氮、磷、

钾养分的吸收累积<sup>[13]</sup>,加速烤烟的田间生长,提高干物质积累量<sup>[14]</sup>,提升烟株抗病性,提高烤烟养分利用效率<sup>[15]</sup>,提高烟叶产量与产值,同时提高肥料利用率<sup>[2]</sup>。有机肥和化肥配施能降低成熟烟叶烟碱、总氮、氯含量,增加烟叶钾含量、改善烟叶化学协调性<sup>[16]</sup>、提高烟叶外观品质,如光泽、身份、油气、香气等<sup>[17]</sup>。但过高的有机替代比例会导致烤烟养分吸收缓慢,影响烤烟烟叶叶片开张,供肥后劲过长、过大,导致生长后期供氮水平过高,烟叶提前落黄成熟不佳<sup>[18]</sup>,同时易增加作物重金属含量超标的风险<sup>[19]</sup>。因此,结合当地实际情况并找出适合当地最适宜的有机无机配施比例,对改善土壤环境、提高烟叶产量、品质有着至关重要的作用。近年来,我国农业生产十分重视有机肥的投入,大多数研究重视植烟土壤环境变化及烤后烟叶品质、产量、产值的变化等,对烟草的田间生长及养分吸收分配的关注较少,本研究通过分析不同比例有机肥等氮替代化肥后对烟株农艺性状、干物质积累量、养分吸收分配的影响,得出适宜当地烟株生长的最佳有机无机配施比例。通过对试验数据进行分析,在优化施肥的基础上,得出适宜烟株养分吸收、优化烟株养分分配的最佳有机肥替代比例。

收稿日期:2023-10-24

基金项目:江苏中烟工业有限责任公司科技项目(编号:H202226)。

作者简介:田丰(1998—),湖南益阳人,硕士研究生,主要从事烟草栽培研究。E-mail:1422760017@qq.com。

通信作者:张莉,硕士,工程师,主要从事烟叶质量评价及工业应用研究。E-mail:156679805@qq.com。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地点

试验开始时间为 2022 年 4 月 11 日,试验地点位于湖南省浏阳市永安镇永和村(28°21'N,113°29'E)。试验地初始土壤 pH 值为 6.45,有机质含量为 20.74 g/kg,总氮含量为 0.74 g/kg,总磷含量为 2.56 g/kg,总钾含量为 10.39 g/kg,碱解氮含量为 207.83 mg/kg,速效磷含量为 19.03 mg/kg,速效钾含量为 176.62 mg/kg。种植制度为烤烟—水稻轮作。

### 1.2 试验材料

供试肥料:烟草专用有机肥(N 含量 6.6%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量 1.1%、K<sub>2</sub>O 含量 3.2%、含水量 21.7%)、烟草专用肥(N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 含量分别为 8%、10%、11%)、钙镁磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量 12%)、硝酸钾(N 含量 13.5%、K<sub>2</sub>O 含量 44.5%)、硫酸钾(K<sub>2</sub>O 含量 52%)、复合肥(N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 含量均为 15%)、提苗肥(N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 含量分别为 20%、9%、0)。供试烟草品种为云烟 87。

### 1.3 试验设计

采用田间小区试验,小区面积为 31.82 m<sup>2</sup>,共设置 5 个处理,分别为 T1(100% 化学氮肥)、T2(25% 有机氮肥 + 75% 化学氮肥)、T3(50% 有机氮肥 + 50% 化学氮肥)、T4(75% 有机氮肥 + 25% 化学氮肥)、T5(100% 有机氮肥)。采用穴施施肥法,每个小区 5 行,行株距 120 cm × 50 cm,高垄单行栽培。各处理肥料养分投入量:N 为 229.5 kg/hm<sup>2</sup>,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 为 190.5 kg/hm<sup>2</sup>,K<sub>2</sub>O 为 555 kg/hm<sup>2</sup>,各处理重复 3 次,共 15 个小区,随机区组排列。

### 1.4 样品采集

自移栽后 41、52、63 d 从每个小区随机选取 3 株烟株(为避免取样烟株为后发烟,第 1 次取样时标记该小区长势均匀的烟株 30 株,之后每次取该小区标记烟株),测定其农艺性状,105 ℃ 杀青 30 min,70 ℃ 烘干至恒重,称量烟株根、茎、叶干物重后粉碎装袋,测定烟株氮、磷、钾含量。

### 1.5 测定项目与方法

根据《作物栽培学实验指导》中的试验方法测量烟株农艺性状<sup>[20]</sup>,叶面积采用校正系数法:叶面积(cm<sup>2</sup>) = 叶片长度(cm) × 叶片宽度(cm) × 0.634 5;用浓 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 法消煮制备待测液,全氮含量用凯氏定氮法测定、全钾含量用火焰光度法

测定、全磷含量用钒钼黄比色法测定<sup>[21]</sup>。

### 1.6 数据分析

本试验使用 SPSS 19 进行单因素试验统计分析(采用 LSD 法检验 0.05 水平上的差异显著性),使用 Microsoft Excel 2016 进行数据统计整理,使用 Origin 2021 软件和 Adobe Illustrator 2022 进行图形绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 对烟草生长的影响

2.1.1 对烟草田间生长的影响 由表 1 可知,移栽后 41、52、63 d 各处理间农艺性状差异均达到显著水平,其中在移栽后 41 d 差异最明显,而在移栽后 63 d 差异缩小。移栽后 41 d,T2 处理株高显著高于其他处理;T2 处理烟株茎围显著高于 T5 处理,与 T1、T3、T4 无显著差异;T2 处理烟株叶面积显著高于其他处理;T2 处理烟株有效叶数显著高于 T3、T4、T5,与 T1 无显著差异;此时处理间叶面积差异最大,T2 较 T5 处理烟株叶面积显著提高 40%。移栽后 52 d,T2 处理烟株株高显著高于 T3、T5 处理,与 T1、T4 无显著差异;T1 处理烟株茎围显著高于 T3 处理,与 T2、T4、T5 无显著差异;T2 处理烟株叶面积显著高于 T3 处理,与 T1、T4、T5 无显著差异;T2 处理烟株有效叶数显著高于 T3、T5 处理,与 T1、T4 无显著差异;此时处理间有效叶数差异最大,T2 较 T3 处理烟株有效叶数显著提高 20%。移栽后 63 d,T2 处理烟株株高显著高于 T5 处理,与 T1、T3、T4 无显著差异;T2 处理烟株茎围显著高于其他处理;T2 处理烟株叶面积显著高于 T3、T4、T5 处理,与 T1 处理无显著差异;T2 处理烟株有效叶数显著高于 T4 处理,与 T1、T3、T5 无显著差异;此时茎围差异最大,T2 较 T3 处理烟株茎围显著提高 10%。综合来看,T2 处理(25% 有机氮肥 + 75% 化学氮肥)烟株田间生长最佳。

由表 2 可知,株高在移栽后 52 ~ 63 d 日平均生长量最大,随移栽天数的推移株高的日平均生长量逐渐增加,株高日平均生长量排序为 T2 > T4 > T1 > T3 > T5;烟株茎围在移栽后 52 ~ 63 d 日平均生长量最大,各处理间茎围日平均生长量差异不明显,茎围日平均生长量排序为 T2 = T5 > T1 > T4 > T3;烟株叶面积在移栽后 41 ~ 52 d 日平均生长量最大,叶面积随移栽天数的推移日平均生长量先增加后降低,叶面积日平均生长量排序为 T2 > T1 > T5 > T3 > T4;

表 1 各处理下不同时期农艺性状

移栽后时间 (d)	处理	株高 (cm)		茎围 (cm)		叶面积 (cm <sup>2</sup> )		有效叶数 (张/株)	
41	T1	35.45 ± 2.22b		5.85 ± 0.27ab		559.67 ± 35.64b		9.67 ± 0.21ab	
	T2	41.68 ± 1.65a		6.25 ± 0.18a		706.26 ± 82.19a		10.33 ± 1.21a	
	T3	30.33 ± 3.14b		5.80 ± 0.13ab		585.77 ± 21.68b		8.67 ± 0.67b	
	T4	35.31 ± 4.67b		5.97 ± 0.43a		592.05 ± 67.82b		8.78 ± 0.96b	
	T5	30.46 ± 2.70b		5.41 ± 0.28b		504.22 ± 38.51b		8.33 ± 0.88b	
52	T1	77.83 ± 5.96a		6.75 ± 0.30a		976.03 ± 16.82a		16.33 ± 1.20ab	
	T2	79.40 ± 13.63a		6.47 ± 0.43ab		1 003.07 ± 29.00a		17.67 ± 0.34a	
	T3	59.70 ± 4.39b		6.10 ± 0.35b		817.80 ± 85.03b		14.78 ± 0.77c	
	T4	67.86 ± 7.36ab		6.62 ± 0.41ab		915.15 ± 50.58ab		16.33 ± 0.88ab	
	T5	58.90 ± 3.01b		6.29 ± 0.02ab		920.78 ± 64.44a		15.33 ± 0.34bc	
63	T1	116.11 ± 10.84ab		7.98 ± 0.05b		1 154.15 ± 91.19ab		19.11 ± 0.38ab	
	T2	120.77 ± 6.80a		8.37 ± 0.18a		1 299.69 ± 67.25a		19.78 ± 0.51a	
	T3	109.88 ± 2.10ab		7.62 ± 0.09c		1 088.12 ± 96.72b		19.44 ± 0.51ab	
	T4	114.83 ± 9.89ab		7.79 ± 0.22bc		1 010.19 ± 80.90b		18.45 ± 0.69b	
	T5	106.21 ± 5.16b		7.96 ± 0.25b		1 060.99 ± 68.07b		19.44 ± 1.02ab	

注:同栏同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。

表 2 各处理下不同时期烟株日平均生长量

处理	株高日平均生长量(cm/d)			茎围日平均生长量(cm/d)			叶面积日平均生长量(cm <sup>2</sup> /d)			干物质积累量日平均生长量(g/d)		
	0~41 d	41~52 d	52~63 d	0~41 d	41~52 d	52~63 d	0~41 d	41~52 d	52~63 d	0~41 d	41~52 d	52~63 d
T1	0.86	4.07	3.83	0.14	0.09	0.12	13.65	38.30	17.81	0.62	2.48	3.98
T2	1.02	3.77	4.14	0.15	0.05	0.19	17.23	30.01	29.66	0.86	1.52	4.54
T3	0.74	2.94	5.02	0.14	0.04	0.15	14.29	23.20	27.03	0.48	2.24	3.20
T4	0.86	3.32	4.70	0.15	0.07	0.12	14.44	32.31	12.08	0.63	2.30	3.44
T5	0.74	2.84	4.73	0.13	0.09	0.17	12.30	41.66	15.50	0.45	2.70	3.55

烟株干物质积累量在移栽后 52~63 d 日平均生长量最大,且随移栽天数的推移日平均生长量逐渐增加,与株高、叶面积增长趋势一致,干物质积累量日平均生长量排序为 T1 > T2 > T5 > T4 > T3。

2.1.2 对干物质积累量的影响 由图 1 可知,移栽后 41 d, T2 处理烟株总干物质积累量显著高于其他处理,各处理烟株根系、茎秆、烟叶干物质质量占比分别为 8%~11%、11%~17%、72%~81%,此时干物质质量主要在烟叶中积累,烟株各部位干物质积累量占比排序为烟叶 > 茎秆 > 根系。移栽后 52 d, T2 处理烟株干物质积累量显著高于 T3 处理,与 T1、T4、T5 无显著差异;各处理烟株根系、茎秆、烟叶干物质质量占比分别为 16%~20%、17%~20%、62%~66%,此时根系和茎秆干物质质量积累迅速,烟株各部位干物质积累量占比排序为烟叶 > 茎秆 > 根系。移栽后 63 d, T2 处理干物质积累量显著高于 T3、T4、T5 处理,与 T1 无显著差异,各处理烟株根

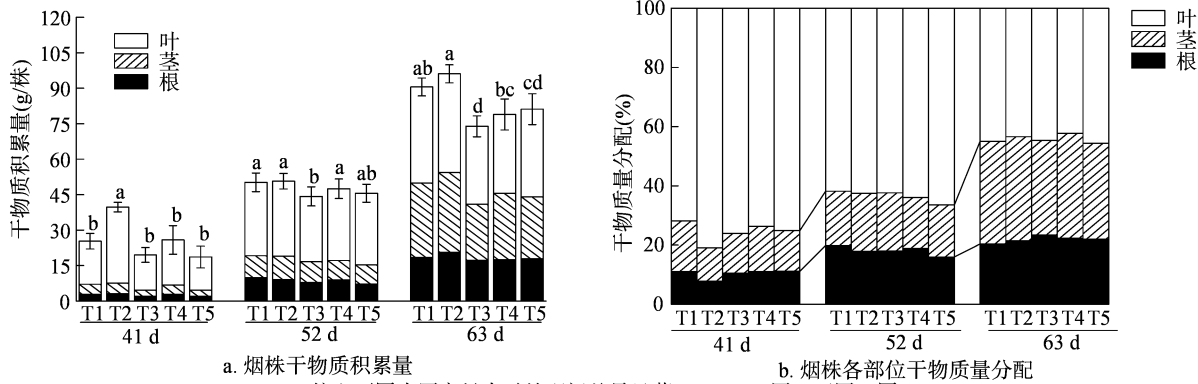
系、茎秆、烟叶干物质质量占比分别为 20%~23%、32%~35%、42%~46%,烟株各部位干物质积累量占比排序为烟叶 > 茎秆 > 根系。综上,有机肥配施化肥处理(T2, 25%有机氮肥 + 75%化肥氮肥)烟株干物质积累量在各时期均高于单施化肥处理,各处理烟叶干物质占比较大,尤其表现在移栽前期,但随移栽天数的推移,烟株根系及茎秆干物质积累量占比逐渐增加。

## 2.2 对烟草养分吸收及分配的影响

2.2.1 氮素吸收及分配特征 由图 2 可知,根系氮含量随移栽天数的推移呈现先缓慢上升后下降的趋势,茎秆及烟叶氮含量随移栽天数的推移呈逐渐下降的趋势。移栽后 41 d, T5 处理烟株根系氮含量显著高于 T1、T3、T4 处理,与 T2 无显著差异;各处理烟株茎秆及烟叶氮含量均无显著差异;烟株各部位氮含量大小排序为烟叶 > 茎秆 > 根系。移栽后 52 d, T2 处理烟株根系氮含量显著高于 T1 处理,与

T3、T4、T5 无显著差异;T5 处理茎秆氮含量显著高于 T4 处理,与 T1、T2、T3 无显著差异;T2 处理烟叶氮含量显著高于 T4 处理,与 T1、T3、T5 无显著差异;烟株各部位氮含量大小排序为烟叶 > 茎秆 > 根系。移栽后 63 d,各处理烟株根系氮含量均无显著

差异;T1 处理茎秆氮含量显著高于 T3、T4、T5 处理,与 T2 处理无显著差异;T1 处理烟叶氮含量显著高于 T4、T5 处理,与 T2、T3 处理无显著差异;烟株各部位氮含量大小排序为烟叶 > 根系 > 茎秆。



柱上不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ ), 图 2 至图 7 同

图1 烟株干物质积累量以及烟株各部位干物质分配

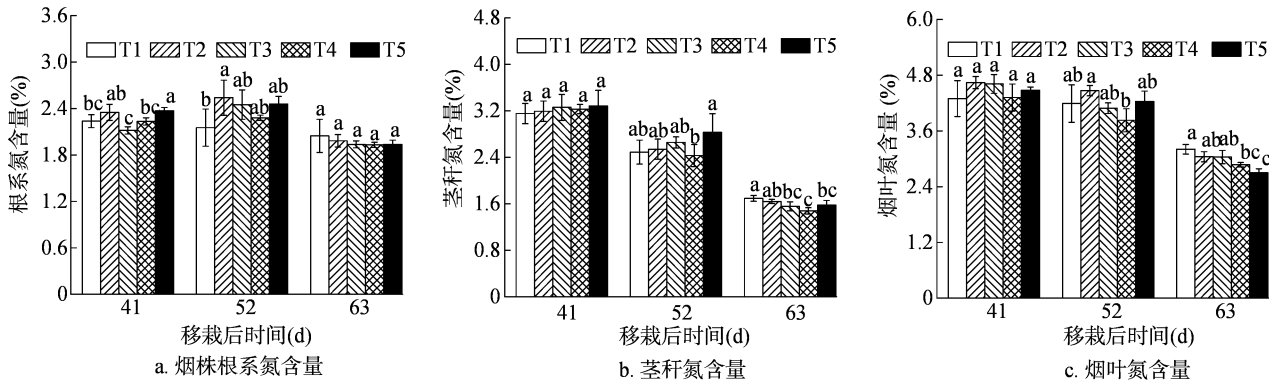


图2 烟株根系氮含量、茎秆氮含量及烟叶氮含量

由图 3 可知,移栽后 41 d,各处理烟株氮素积累量差异显著,T2 处理烟株氮素积累量显著高于其他处理;此时烟株根系、茎秆、烟叶氮素积累量占比分别为 5% ~ 7%、12% ~ 14%、80% ~ 84%,烟叶氮素积累量占比较大,大部分氮素积累至烟叶,烟株各部位氮素积累量占比排序为烟叶 > 茎秆 > 根系。移栽后 52 d,各处理烟株氮素积累量差异较小,T1 处理烟株氮素积累量显著高于 T3、T4 处理,与 T1、T5 无显著差异;此时烟株根系、茎秆、烟叶氮素积累量占比分别为 9% ~ 13%、12% ~ 16%、74% ~ 76%,根系氮素积累量占比增加,烟株各部位氮素积累量占比排序为烟叶 > 茎秆 > 根系。移栽后 63 d,各处理烟株氮素积累量差异显著,T1 处理烟株氮素积累量显著高于 T3、T4、T5 处理,与 T2 无显著差异;此时烟株根系、茎秆、烟叶氮素积累量占比分别为 16% ~ 21%、22% ~ 29%、54% ~ 58%,根系及茎秆

氮素积累量增加,烟叶氮素积累量占比减小,烟株各部位氮素积累量占比排序为烟叶 > 茎秆 > 根系。综上,烟株氮素积累量随移栽天数的推移呈逐渐增加的趋势,烟叶氮素积累量占比较大,尤其表现在移栽前期,但随移栽天数的推移,根系及茎秆氮素积累量占比也在逐渐增加。

2.2.2 磷素吸收及分配特征 由图 4 可知,随移栽天数的推移,根系磷含量无显著变化趋势,茎秆磷含量随移栽天数的推移呈现缓慢下降的趋势,与烟叶氮含量趋势完全相反,烟叶磷含量随移栽天数的推移呈上升趋势。移栽后 41 d,T2 处理烟株根系磷含量显著高于 T4、T5 处理,与 T1、T3 无显著差异;各处理间茎秆磷含量均无显著差异;T2 处理烟叶磷含量显著高于 T4、T5 处理,与 T1、T3 无显著差异;烟株各部位磷含量大小排序为茎秆 < 根系 < 烟叶。移栽后 52 d,各处理间根系磷含量均无显著差异;

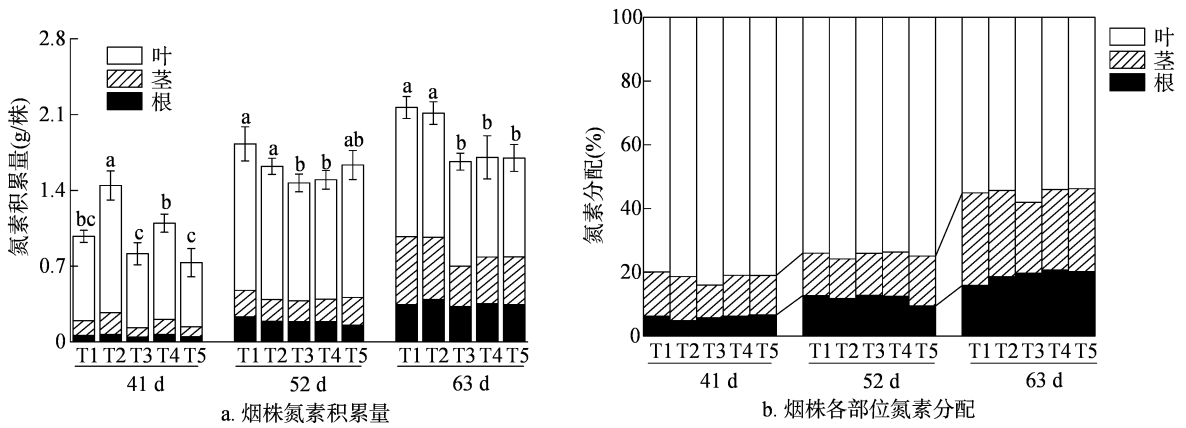


图3 烟株氮素积累量及烟株各部位氮素分配

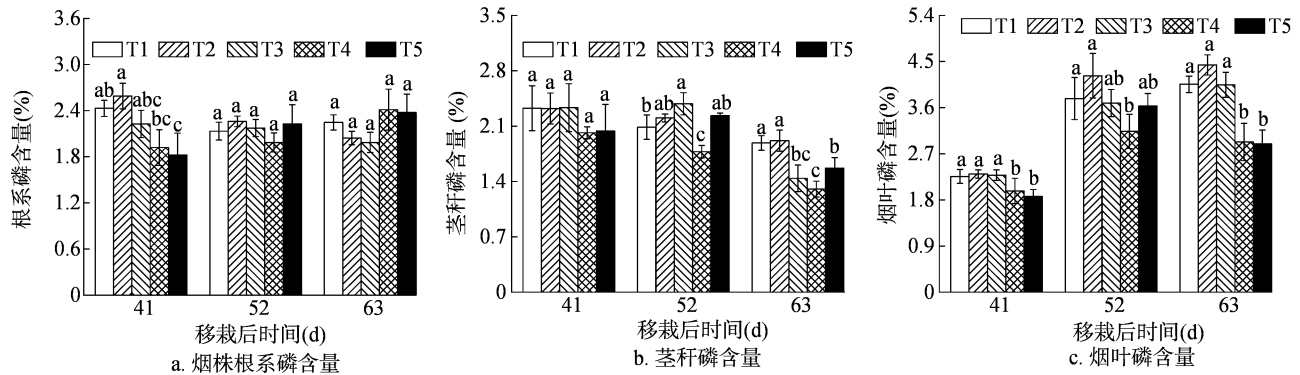


图4 烟株根系磷含量、茎秆磷含量及烟叶磷含量

T3 处理茎秆磷含量显著高于 T1、T4 处理,与 T2、T5 无显著差异;T2 处理烟叶磷含量显著高于 T4 处理,与 T1、T3、T5 无显著差异;烟株各部位磷含量大小排序为烟叶 > 根系 > 茎秆。移栽后 63 d,各处理间根系磷含量均无显著差异;T2 处理茎秆磷含量显著高于 T3、T4、T5 处理,与 T1 无显著差异;T2 处理烟叶磷含量显著高于 T4、T5 处理,与 T1、T3 无显著差异;烟株各部位磷含量大小排序为烟叶 > 根系 > 茎秆。

由图 5 可知,移栽后 41 d,各处理烟株磷素积累量差异显著,T2 处理烟株磷素积累量显著高于其他处理;此时烟株根系、茎秆、烟叶磷素积累量占比分别为 7% ~ 12%、13% ~ 19%、69% ~ 78%,烟株各部位磷素积累量占比排序为烟叶 > 茎秆 > 根系。移栽后 52 d,各处理烟株磷素积累量差异较小,T4 处理磷素积累量显著低于其他处理,T1、T2、T3、T5 处理间无显著差异;此时烟株根系、茎秆、烟叶磷素积累量占比分别为 11% ~ 14%、12% ~ 13%、73% ~ 77%,根系磷素积累量占比增加,烟株各部位磷素积累量占比排序为烟叶 > 根系 > 茎秆。移栽后 63 d,各处理烟株磷素积累量差异显著,T2 处理烟株磷素积累量

显著高于 T3、T4、T5 处理,与 T1 无显著差异;此时烟株根系、茎秆、烟叶磷素积累量占比分别为 15% ~ 22%、18% ~ 23%、56% ~ 65%,根系及茎秆磷素积累量增加,烟叶磷素积累占比减小,烟株各部位磷素积累量占比排序为烟叶 > 茎秆 > 根系。综上,烟株磷素积累量随移栽天数的推移呈逐渐增加的趋势,烟叶磷素积累量占比较大,尤其表现在移栽前期,但随移栽天数的推移,根系及茎秆磷素积累量占比也在逐渐增加。

**2.2.3 钾素吸收及分配特征** 由图 6 可知,随移栽天数的推移,根系钾含量呈缓慢下降的趋势,茎秆及烟叶钾含量随移栽天数的推移呈现先上升后下降的趋势,但烟叶钾含量下降趋势较缓。移栽后 41 d,T1 处理根系钾含量显著低于其他处理,T2、T3、T4、T5 处理间根系钾含量均无显著差异;T3 处理茎秆钾含量显著高于 T1、T2 处理,与 T4、T5 无显著差异;T2 处理烟叶钾含量显著高于 T1 处理,与 T3、T4、T5 无显著差异;烟株各部位钾含量大小排序为茎秆 > 烟叶 > 根系。移栽后 52 d,各处理间根系、烟叶钾含量均无显著差异;T5 处理茎秆钾含量显著高于 T1、T2、T4 处理,与 T3 无显著差异;烟株各部

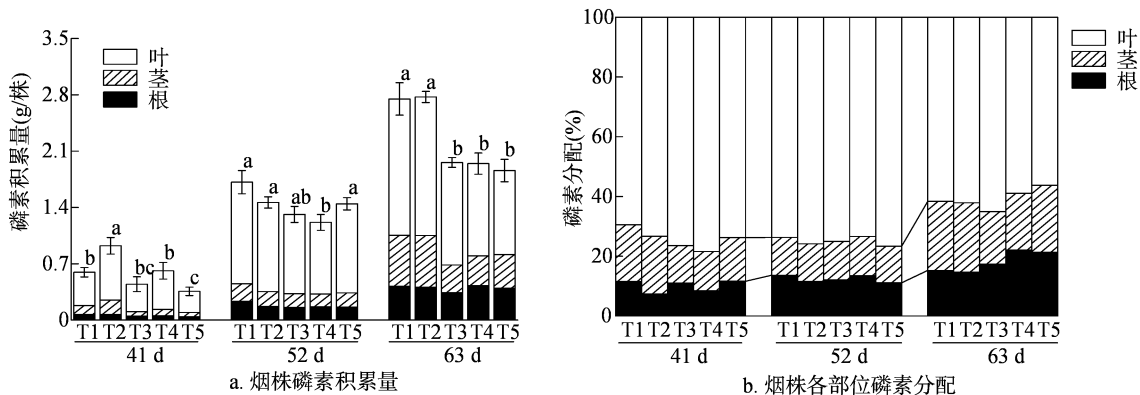


图5 烟株磷素积累量及烟株各部位磷素分配

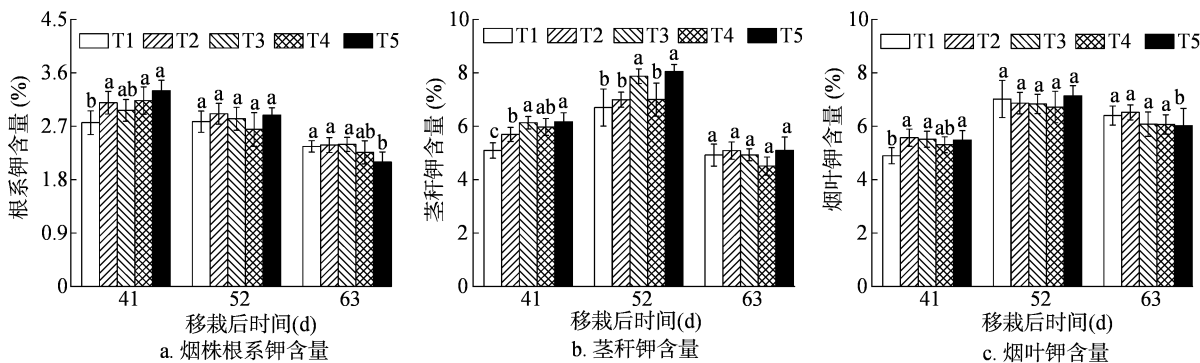


图6 烟株根系钾含量、茎秆钾含量及烟叶钾含量

位钾含量大小排序为茎秆 > 烟叶 > 根系。移栽后 63 d, T5 处理根系钾含量显著低于其他处理, T1、T2、T3、T4 处理间无显著差异; 各处理间茎秆钾含量均无显著差异; T5 处理烟叶钾含量显著低于其他处理, T1、T2、T3、T4 处理间无显著差异; 烟株各部位钾含量大小排序为烟叶 > 茎秆 > 根系。

由图 7 可知, 移栽后 41 d, 各处理烟株钾素积累量差异显著, T2 处理烟株钾素积累量显著高于其他处理; 此时烟株根系、茎秆、烟叶钾素积累量占比分别为 5% ~ 7%、14% ~ 19%、75% ~ 79%, 烟株各部位钾素积累量占比排序为烟叶 > 茎秆 > 根系。移栽后 52 d, 各处理烟株钾素积累量无显著差异; 此时烟株根系、茎秆、烟叶钾素积累量占比分别为 7% ~ 9%、21% ~ 24%、68% ~ 72%, 烟株各部位钾素积累量占比排序为烟叶 > 茎秆 > 根系。移栽后 63 d, 各处理烟株钾素积累量差异显著, T2 处理烟株钾素积累量显著高于 T3、T4、T5 处理, 与 T1 无显著差异; 此时烟株根系、茎秆、烟叶钾素积累量占比分别为 9% ~ 11%、31% ~ 37%、53% ~ 57%, 茎秆钾素积累量增加, 烟叶钾素积累占比减小, 烟株各部位钾素积累量占比排序为烟叶 > 茎秆 > 根系。综上, 烟株

钾素积累量随移栽天数的推移呈逐渐增加的趋势, 烟叶钾素积累量占比较大, 尤其表现在移栽前期, 但随移栽天数的推移, 根系及茎秆钾素积累量占比也在逐渐增加; 与氮素、磷素养分分配规律不同的是, 根系钾素积累量占比并没有随着移栽天数的推移而迅速增加, 但茎秆钾素积累量占比随移栽天数的推移呈现明显增加的趋势。

2.2.4 对烟株养分吸收速率的影响 由表 3 可知, 各处理日平均氮素吸收量在移栽后 41 ~ 52 d 最高, 在移栽后 0 ~ 41、41 ~ 52、52 ~ 63 d 株高日平均氮素吸收量最大的分别是 T2、T1、T2 处理, 各处理间烟株日平均氮素吸收量排序为 T1 > T2 > T4 > T5 > T3; T3、T5 处理烟株日平均磷素吸收量在移栽后 41 ~ 52 d 较高, T1、T2、T4 处理烟株日平均磷素吸收量随移栽天数的推移而增加, 在移栽后 0 ~ 41、41 ~ 52、52 ~ 63 d 烟株日平均磷素吸收量最大的分别是 T2、T3、T2 处理, 各处理间烟株日平均磷素吸收量排序为 T2 > T1 > T3 > T4 > T5; T2 处理烟株日平均钾素吸收量随着移栽天数的推移而增加, 其他处理日平均钾素吸收量在移栽后 41 ~ 52 d 最高, 在移栽后 0 ~ 41、41 ~ 52、52 ~ 63 d 烟株日平均钾素吸收量最

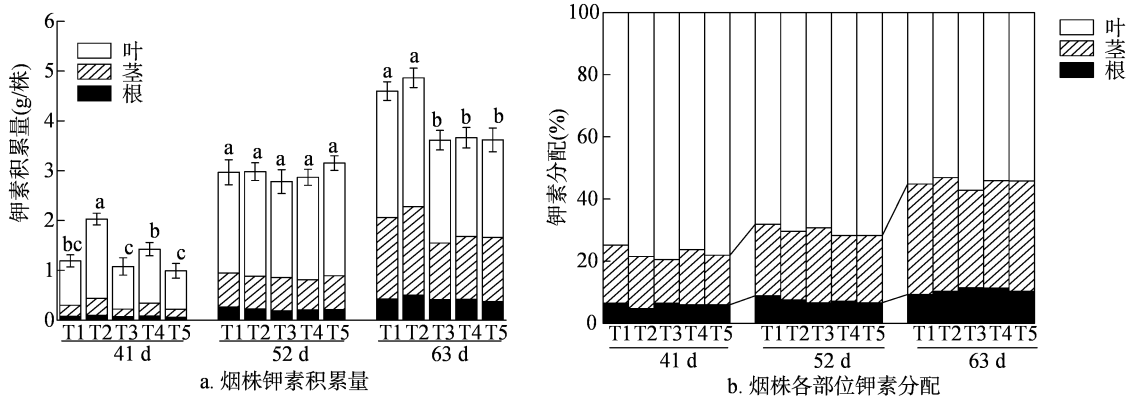


图7 烟株钾素积累量及烟株各部位钾素分配

表3 各处理下不同时间段烟株日平均养分吸收量

处理	日均氮素吸收量 (g/株)			日均磷素吸收量 (g/株)			日均钾素吸收量 (g/株)		
	0~41 d	41~52 d	52~63 d	0~41 d	41~52 d	52~63 d	0~41 d	41~52 d	52~63 d
T1	0.026	0.085	0.039	0.014	0.097	0.108	0.029	0.174	0.147
T2	0.029	0.046	0.044	0.023	0.070	0.122	0.048	0.117	0.151
T3	0.023	0.065	0.017	0.011	0.100	0.044	0.026	0.174	0.067
T4	0.023	0.040	0.022	0.014	0.070	0.080	0.035	0.142	0.085
T5	0.022	0.083	0.014	0.008	0.105	0.043	0.025	0.199	0.083

大的分别是 T2、T5、T2 处理,各处理间烟株日平均钾素吸收量排序为 T2 > T1 > T4 > T5 > T3。

### 2.3 烟草养分积累与生长的相关性分析

由图 8 可知,烟草氮、磷、钾的累积与其株高、茎围、叶面积、干物质质量呈显著正相关,但与烟株的有效叶数无显著相关性。缺少氮素对烟草株高、叶面积、根系干物质质量、茎秆干物质质量的影响最大。因此,增加肥料中氮素的投入可显著提高烟草的株高,增加叶面积、根系及茎秆的干物质积累量;缺少磷素同时也会影响烟草的株高,但磷素的累积对于株高的贡献度略小于氮素对于株高的贡献度,因此适当增加肥料中磷素的投入也可提高烟草的株高;缺少钾素对烟草的茎围、叶片干物质积累的影响最大,因此增加肥料中钾素的投入可扩大烟草茎围、提高叶片干物质积累量。

## 3 讨论

### 3.1 有机肥配施化肥对烟草生长的影响

有机肥除了能提供氮、磷、钾养分及丰富的有机质外,同时富含多种适合植物生长的微量元素<sup>[19]</sup>,有机肥配施化肥可以促进烤烟的生长发育,缩短生育期进程,增强烟株长势<sup>[22]</sup>,本研究 T2 处理(25% 有机氮肥 + 75% 化学氮肥)烟株株高、茎围、有效叶数均高于 T1 处理(100% 化学氮肥),适当比

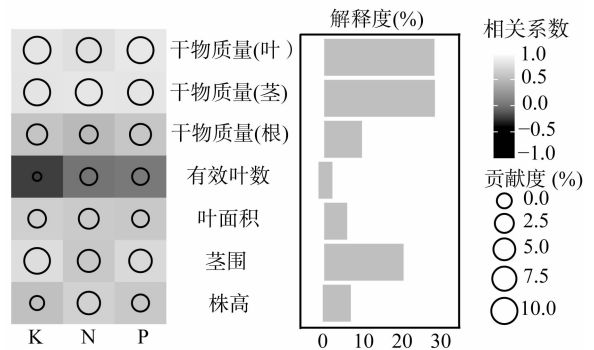


图8 烟草养分积累与生长的随机森林模型

例有机替代能够促进烟株叶片开张、提高叶片 SPAD 值及光合特性,从而增加烟株叶面积<sup>[17,23]</sup>。本研究 T2 处理(25% 有机氮肥 + 75% 化学氮肥)烟株叶面积在移栽后 41、52、63 d 均高于 T1 处理(100% 化学氮肥)烟株;加入有机肥会显著影响移栽前期烟株的农艺性状,但在移栽后 52 d 差异逐渐缩小,这与张福光的研究结果<sup>[24]</sup>一致。

干物质是植株对所吸收的养分及光合产物的积累,是判断植株光合能力强弱的重要依据<sup>[25]</sup>,烟株的干物质积累状况直接影响烤烟对氮、磷、钾的吸收以及烤后烟叶的品质和产量<sup>[26]</sup>,同时养分的快速吸收及转运也为其干物质增长提供基础,本研究 25% 有机氮肥 + 75 化学氮肥处理的烟株干物质积累量在各时期均高于单施化学氮肥处理的烟株;过

高比例 ( $\geq 50\%$ ) 有机氮肥替代化学氮肥处理烟株在各时期干物质积累量及农艺性状表现均不突出, 可能是因为过高比例的有机替代降低了土壤中肥料的释放速率<sup>[27]</sup>, 土壤中可吸收利用的养分不足以满足烟株在各生育期的生长所需, 导致烟株干物质质量增长缓慢<sup>[28]</sup>。

### 3.2 有机肥配施化肥对烟草养分吸收及分配的影响

合理的施肥方式能显著提高烤烟养分吸收, 有机肥配施化肥使得烤烟大田各生育期内氮、磷、钾积累量显著提高<sup>[13]</sup>, 本研究有机肥配施化肥处理 (T2) 显著提高了烟株钾素的积累量, 可能是有机肥中含有的微生物释放有机酸对化肥的钾离子具有吸附和络合等作用, 从而减少钾离子在土壤中的损失<sup>[29]</sup>, 同时大量微生物和腐殖质进入土壤后减少了钾素固持, 提高了有效养分的释放<sup>[30]</sup>; 张翔等的研究表明, 烟草对钾素的吸收积累高于氮和磷, 氮素次之, 磷素最少<sup>[31]</sup>, 本研究结果与之一致。本研究有机肥配施化肥处理烟株提高氮素积累效果不显著, 这与熊廷浩等的研究结果<sup>[32-33]</sup>有差异, 原因可能在于有机肥虽能促进固氮菌、固氮螺杆菌与溶解磷酸盐的细菌生长及大量繁殖, 发挥其固氮和转化氮的作用, 提高作物氮素的吸收量<sup>[34-36]</sup>, 但本试验时长仅为半年, 有机肥改善作物生长及土壤环境的短期效应不明显<sup>[37]</sup>。唐继伟等认为, 有机无机配施的前几年对提高作物产量不显著, 但随着年限的增加作物产量逐年增加<sup>[38]</sup>; 同时土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾等含量随有机肥施用量增加、种植年限的延长而增加<sup>[39]</sup>; 有机肥会促进植株对磷素的积累, 原因可能是有机肥所含的磷酸酶能将磷酸单脂转化为植物可以吸收的正磷酸盐, 从而提高植株对磷素的积累<sup>[40]</sup>; 有机肥配施化肥不仅会影响烟株各器官对氮、磷、钾的吸收量, 同时还能影响其在各器官中的分配。本研究中各处理烟叶的氮、磷、钾积累量明显高于茎和根, 在根、茎、叶中分配率差异明显, 表现为叶 > 茎 > 根, 这与汤宏等的研究结果<sup>[2]</sup>一致。

本研究 T3、T4、T5 处理烟株在烟草各时期的生长发育及养分吸收积累均低于 T2 处理烟株, 原因可能是随着有机氮比例的提高, 土壤中碳数量随之增加, 微生物固持无机氮的数量也在增加, 导致替代比例高的处理中矿质养分含量降低<sup>[41]</sup>, 但配施合适比例的有机肥后, 土壤矿质和有机养分前后供

应、速缓相济, 肥效更加均匀<sup>[42]</sup>, 同时能够提高根际土壤酶的活性, 促进土壤中有效养分的转化<sup>[43]</sup>, 从而有利于作物生长过程中的养分吸收利用。综上, 合适的有机无机配施比例, 对植物的生长及养分吸收具有显著的促进作用, 同时对长期偏施、滥施化肥所造成的土壤质量退化具有良好的修复作用<sup>[44]</sup>。

## 4 结论

有机肥配施化肥可促进烟草的生长发育, 提高烟株各部位干物质积累量, 增加烟株氮、磷、钾的积累量, 优化养分在烟株各部位中的分配, 扩大烟叶的养分占比, 但在移栽后 60 d 以内, 过高比例 ( $\geq 50\%$ ) 的有机氮肥替代化学氮肥反而会造成烟株养分积累不足, 导致烟株生长缓慢。本研究 T2 处理 (25% 有机氮肥 + 75% 化学氮肥) 烟株综合表现优于其他处理。

### 参考文献:

- [1] 宋海星, 李生秀. 玉米生长量、养分吸收量及氮肥利用率的动态变化[J]. 中国农业科学, 2003, 36(1): 71-76.
- [2] 汤宏, 曾掌权, 张杨珠, 等. 化学氮肥配施有机肥对烟草品质、氮素吸收及利用率的影响[J]. 华北农学报, 2019, 34(4): 183-191.
- [3] 钟曙英, 卢彬荣, 傅林, 等. 定制有机肥施用量对龙岩烤烟生长和产质量的影响[J]. 江西农业学报, 2022, 34(10): 82-87.
- [4] 李艳平, 任天宝, 李建华, 等. 烟秆有机肥对烤烟根系发育和矿质元素含量的影响[J]. 中国烟草科学, 2016, 37(6): 21-26.
- [5] 马宜林, 吴广海, 申洪涛, 等. 羊粪有机肥与化肥配施对烤烟生长及土壤肥力特性的影响[J]. 核农学报, 2021, 35(10): 2423-2430.
- [6] 张玉平, 刘强, 荣湘民, 等. 不同有机肥与化肥配施对稻田土壤微生物活性的影响[J]. 土壤通报, 2013, 44(6): 1434-1439.
- [7] 罗佳, 刘丽珠, 王同, 等. 有机肥与化肥配施对黄瓜产量及土壤微生物多样性的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2016, 32(5): 774-779.
- [8] 李燕青, 林治安, 温延臣, 等. 不同类型有机肥与化肥配施对小麦品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(6): 1513-1522.
- [9] 李萍萍, 林永锋, 胡永光. 有机肥与化肥配施对茶叶生长和土壤养分的影响[J]. 农业机械学报, 2015, 46(2): 64-69.
- [10] 王宁, 冯克云, 南宏宇, 等. 不同水分条件下有机无机肥配施对棉花根系特征及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2022, 55(11): 2187-2201.
- [11] 张璐, 任天宝, 阎海涛, 等. 不同有机物料对烤烟根际土壤碳库、酶活性及根系活力的影响[J]. 中国烟草科学, 2018, 39(2): 39-45.
- [12] 张永军, 张斌, 文俊明, 等. 有机肥对烤烟产量和根际土壤细菌群落的影响[J/OL]. 分子植物育种, 2023: 1-12 (2023-04-

- 25) [2023 - 08 - 20]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20230425.1205.016.html>.
- [13] 朱英华, 田维强, 苟剑渝, 等. 有机无机复混肥对水稻土烤烟养分积累、分配与利用的影响[J]. 中国烟草科学, 2019, 40(2): 30 - 37.
- [14] 王晓强, 许跃奇, 何晓冰, 等. 不同烤烟品种干物质积累及养分吸收特征[J]. 贵州农业科学, 2022, 50(8): 8 - 14.
- [15] Wang F, Ge S F, Lyu M X, et al. DMPP reduces nitrogen fertilizer application rate, improves fruit quality, and reduces environmental cost of intensive apple production in China[J]. The Science of the Total Environment, 2022, 802: 149813.
- [16] 王树会, 纳红艳, 陈发荣, 等. 有机肥与化肥配施对烤烟品质及土壤的影响[J]. 中国农业科技导报, 2011, 13(4): 110 - 114.
- [17] 杨洋, 惠非琼, 胡世龙, 等. 有机肥与化肥配施对福建三明烤烟生长及烟叶产质量的影响[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(9): 75 - 79, 193.
- [18] 陆宜春, 李自林, 年夫照, 等. 不同有机肥对烤烟生长及产质量的影响[J]. 江西农业学报, 2020, 32(9): 102 - 106.
- [19] 宁川川, 王建武, 蔡昆争. 有机肥对土壤肥力和土壤环境质量的影响研究进展[J]. 生态环境学报, 2016, 25(1): 175 - 181.
- [20] 湖南农学院. 作物栽培学实验指导[M]. 北京: 农业出版社, 1988.
- [21] 鲍士旦. 土壤化学分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [22] 张四伟, 李根原, 朱利群, 等. 不同有机肥与烟草专用肥配施对烤烟生长、土壤微生物量、产质量及黑胫病的影响[J]. 江西农业学报, 2015, 27(11): 39 - 43.
- [23] 李婉茹, 郭延亮, 王恩煜, 等. 优化施肥配施蚯蚓粪有机肥对薄皮甜瓜产量和品质的影响[J]. 中国瓜菜, 2021, 34(10): 67 - 73.
- [24] 张福光. 不同施肥水平条件下山地烟区烤烟物质积累和养分吸收规律研究[J]. 现代农业科技, 2022(19): 10 - 13.
- [25] 崔正勇, 李新华, 裴艳婷, 等. 氮磷配施对冬小麦干物质积累、分配及产量的影响[J]. 西北农业学报, 2018, 27(3): 339 - 346.
- [26] 吴雷, 曹国璠. 不同施肥措施对烤烟养分吸收及干物质积累的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(16): 255 - 258.
- [27] 陈贵, 赵国华, 张红梅, 等. 长期施用有机肥对水稻产量和氮磷养分利用效率的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017(1): 92 - 97.
- [28] 林力, 廉云, 刘金亮. 减量化肥配施有机肥一次性基施对烤烟大田生育期养分积累、分配及利用的影响[J]. 亚热带植物科学, 2022, 51(6): 441 - 450.
- [29] 范晓伟, 谷守宽, 陈益, 等. 有机肥钾与化肥钾配施对叶类蔬菜的营养效应研究[J]. 农学学报, 2019, 9(3): 26 - 31.
- [30] 宇万太, 姜子绍, 马强, 等. 施用有机肥对土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(5): 1057 - 1064.
- [31] 张翔, 毛家伟, 黄元炯, 等. 不同施肥处理烤烟氮磷钾吸收分配规律研究[J]. 中国烟草学报, 2012, 18(1): 53 - 57, 63.
- [32] 熊廷浩, 资涛, 张媛, 等. 化肥减量条件下不同有机肥用量对油菜养分利用和产量的影响[J]. 作物杂志, 2021(3): 133 - 139.
- [33] 黄玲娟, 陆钧平. 不同氮肥用量对水稻产量和氮肥利用率的影响[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(21): 169 - 171, 197.
- [34] 张迎春, 顾建明, 李静, 等. 生物有机肥部分替代化肥对苜蓿及土壤理化性质和微生物的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(4): 196 - 205.
- [35] Esmailian Y, Amiri M B, Tavassoli A, et al. Replacing chemical fertilizers with organic and biological ones in transition to organic farming systems in saffron (*Crocus sativus*) cultivation [J]. Chemosphere, 2022, 307(Pt 1): 135537.
- [36] 赖佳鑫, 邓华, 刘峰, 等. 化肥减施配施有机肥对烤烟产质量和化学成分的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(6): 73 - 78.
- [37] 马忠明, 王平, 陈娟, 等. 适量有机肥与氮肥配施方可提高河西绿洲土壤肥力及作物生产效益[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(5): 1298 - 1309.
- [38] 唐继伟, 徐久凯, 温延臣, 等. 长期单施有机肥和化肥对土壤养分和小麦产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(11): 1827 - 1834.
- [39] Yang Q L, Zheng F X, Jia X C, et al. The combined application of organic and inorganic fertilizers increases soil organic matter and improves soil microenvironment in wheat - maize field [J]. Journal of Soils and Sediments, 2020, 20(5): 2395 - 2404.
- [40] Wang J G, Zhao X C, Wei K, et al. The relationships of bacterial - feeding nematodes, phoD - harboring bacteria and alkaline phosphomonoesterase activity under the combined application of organic and inorganic fertilizers in an alkaline soil [J]. Applied Soil Ecology, 2022, 179: 104595.
- [41] 何进勤, 雷金银, 桂林国, 等. 不同氮水平及生物有机肥对旱地土壤养分和马铃薯产量及品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(10): 191 - 196.
- [42] 王飞, 李清华, 何春梅, 等. 稻秸 - 有机肥联合还田对黄泥田水稻产能与化肥替代的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(12): 2024 - 2033.
- [43] 涂攀峰, 王川, 张伟丽, 等. 化肥减施及配施有机肥对荔枝生长及根际微生物的影响[J]. 广东农业科学, 2023, 50(2): 59 - 66.
- [44] 李苹, 付弘婷, 逢玉万, 等. 有机肥配施化肥对柑橘养分吸收及土壤酶活力的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022(3): 39 - 45.