

DOI: 10.11766/trxb202003060099

余小芬, 杨树明, 邹炳礼, 解燕, 刘加红, 张瑞勤, 吕亚琼, 蔡永占, 张素华, 李军营, 邱学礼. 菜籽油枯有机无机复混肥对烤烟产质量及养分利用率的影响[J]. 土壤学报, 2020, 57(6): 1564–1574.

YU Xiaofen, YANG Shuming, ZOU Bingli, XIE Yan, LIU Jiahong, ZHANG Ruiqin, LÜ Yaqiong, CAI Yongzhan, ZHANG Suhua, LI Junying, QIU Xueli. Effects of Combined Application of Rapeseed-cake as Organic Manure and Chemical Fertilizer on Yield, Quality and Nutrient Use Efficiency of Flue-cured Tobacco[J]. Acta Pedologica Sinica, 2020, 57(6): 1564–1574.

菜籽油枯有机无机复混肥对烤烟产质量及养分利用率的影响*

余小芬¹, 杨树明¹, 邹炳礼¹, 解燕², 刘加红², 张瑞勤², 吕亚琼², 蔡永占², 张素华³, 李军营⁴, 邱学礼^{1†}

(1. 云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明 650205; 2. 云南省烟草公司曲靖市公司, 云南曲靖 655002; 3. 云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所, 昆明 650205; 4. 云南省烟草农业科学研究院, 昆明 650021)

摘要: 探索添加 300 g·kg⁻¹ 和 400 g·kg⁻¹ 菜籽油枯制成的有机无机复混肥 (以 OR30 和 OR40 表示) 对烤烟生长、产质量及养分利用率的影响, 为提高云南菜籽油枯资源的利用效率和提升烟叶品质提供科学依据。以烤烟品种 K326 为材料, 采用大田试验, 设置 10 个处理: T1, 施化肥, 即烟草专用复合肥 400 kg·hm⁻²+过磷酸钙 362.5 kg·hm⁻²+ 硫酸钾 160 kg·hm⁻² (纯氮 60 kg·hm⁻²), T2, 施 OR30 400 kg·hm⁻² (等氮); T3, 施 OR30 265 kg·hm⁻² 和硝酸钾 150 kg·hm⁻² (等氮); T4, 施 OR30 225 kg·hm⁻² 和硝酸钾 150 kg·hm⁻² (减氮 10%); T5, 施 OR30 440 kg·hm⁻² (增氮 10%); T6, 施 OR40 500 kg·hm⁻² (等氮); T7, 施 OR40 331.2 kg·hm⁻² 和硝酸钾 150 kg·hm⁻² (等氮); T8, 施 OR40 281.2 kg·hm⁻² 和硝酸钾 150 kg·hm⁻² (减氮 10%); T9, 施 OR40 550 kg·hm⁻² (增氮 10%); T10, 不施肥。结果表明, 与化肥 (T1) 相比, T2、T3、T5、T7 和 T9 促进烟株生长明显, 叶面积和叶面积系数分别显著增加 1.74%~4.51%、4.47%~19.11%; T4、T5、T7 和 T9 的根鲜物质量、根干物质量和根体积较 T1 均显著增加。T2、T4、T5、T7 和 T9 增产率为 2.69%~7.46%, T2、T5 和 T9 产值较 T1 分别显著提高 10.99%~13.46%。T2、T4、T7 和 T9 中部烟叶总糖、还原糖、氧化钾和水溶性氯含量升高, 总氮、烟碱含量下降, 烟叶化学成分更加协调。与 T1 相比, T2、T4、T5、T7 和 T9 显著提高氮素表观利用率 9.31%~25.17%, 氮素生理利用率提高 7.67%~22.32%; T2、T4 和 T9 磷素表观利用率及生理利用率分别提高 19.85%~28.05%和 14.71%~21.39%; T2、T4、T5 和 T9 分别增加钾素表观利用率及生理利用率 8.55%~17.40%和 9.06%~21.98%。综合分析表明, 适量的油枯有机无机复混肥 (T5 和 T9) 或搭配追施硝酸钾 (T4 和 T7) 可促进烟株地上部和根部的生长, 促进氮、磷、钾吸收, 提高烟叶产质量。

关键词: 有机无机复混肥; 品质; 产量; 烤烟; 肥料利用率

中图分类号: S147 **文献标志码:** A

* 中国烟草总公司云南省公司科技计划项目 (2019530000241033, 2019530000241014) 和云南省科技重点研发 (农业) 项目 (2018BB019) 资助 Supported by the Science and Technology Foundation of Yunnan Tobacco Monopoly Bureau of China (Nos. 2019530000241033 and 2019530000241014) and the Key Research and Developed Project of Science and Technology of Yunnan Province of China (No. 2018BB019)

† 通讯作者 Corresponding author, E-mail: nkyqx101@126.com

作者简介: 余小芬 (1981—), 女, 云南陆良人, 助理研究员, 主要从事土壤肥料与农业环境研究。E-mail: 2543757367@qq.com

收稿日期: 2020-03-06; 收到修改稿日期: 2020-07-06; 网络首发日期 (www.cnki.net): 2020-07-31

Effects of Combined Application of Rapeseed-cake as Organic Manure and Chemical Fertilizer on Yield, Quality and Nutrient Use Efficiency of Flue-cured Tobacco

YU Xiaofen¹, YANG Shuming¹, ZOU Bingli¹, XIE Yan², LIU Jiahong², ZHANG Ruiqin², LÜ Yaqiong², CAI Yongzhan², ZHANG Suhua³, LI Junying⁴, QIU Xueli^{1†}

(1. Agricultural Resources & Environment Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China; 2. Qujing Branch of Yunnan Tobacco Company, Qujing, Yunnan 655002, China; 3. Biotechnology and Genetic Resources Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China; 4. Yunnan Academy of Tobacco Agricultural Sciences, Kunming 650021, China)

Abstract: A field experiment was conducted to explore effects of combined application of organic manure (300 g·kg⁻¹ or 400 g·kg⁻¹ rapeseed cake) and chemical fertilizer on yield, quality and nutrient utilization efficiency of flue-cured tobacco, in an attempt to provide scientific basis for improving utilization efficiency of the rapeseed resources and tobacco quality. Using flue-cured tobacco of cultivar K326 as test material, the experiment was designed to have ten fertilization treatments, i.e. T1 (chemical fertilizer, consisting of 400 kg·hm⁻² specialized tobacco fertilizer equal to 60 kg·hm⁻² in N nutrient + 362.5 kg·hm⁻² superphosphate +160 kg·hm⁻² potassium sulfate as control), T2 (OR30 at 400 kg·hm⁻², equal to T1 in N rate), T3 (OR30 at 265 kg·hm⁻², equal to T1 in N rate, and 150 kg·hm⁻² potassium nitrate), T4 (OR30 at 225 kg·hm⁻², 10% less than T1 in N rate, and 150 kg·hm⁻² potassium nitrate), T5 (OR30 at 440 kg·hm⁻², 10% more than T1 in N rate), T6 (OR40 at 500 kg·hm⁻², equal to T1 in N rate), T7 (OR40 at 331.2 kg·hm⁻² and 150 kg·hm⁻² potassium nitrate, equal to T1 in N rate), T8 (OR40 at 281.2 kg·hm⁻² and 150 kg·hm⁻² potassium nitrate, 10% less than T1 in N rate), T9 (OR40 at 550 kg·hm⁻², 10% more than T1 in N rate) and T10 (neither manure or fertilizer). Results showed that compared with treatment T1, Treatments T2, T3, T5, T7 and T9 significantly improved growth, leaf area and leaf area coefficient of the tobacco plants by 1.74%–4.51% and 4.47%–19.11%, respectively. Compared with treatment T1, Treatments T4, T5, T7 and T9 significantly increased fresh weight, dry weight and root volume of the plants; Treatments T2, T4, T5, T7 and T9 increased by 2.69%–7.46% in yield, increase rate; and Treatments T2, T5 and T9 increased significantly or by 10.99%–13.46% in output. Meanwhile, Treatments T2, T4, T7 and T9 increased contents of total sugar, reducing sugar, potassium oxide and water-soluble chlorine, and decreased the content of total nitrogen and nicotine in the middle position tobacco leaves. Compared with Treatment T1, Treatments T2, T4, T5, T7 and T9 were 9.31%–25.17% and 7.67%–22.32% higher to apparent and physiological N use efficiency, respectively; Treatments T2, T4 and T9 were 19.85%–28.05% and 14.71%–21.39%, respectively higher in apparent and physiological P use efficiency; and Treatments T2, T4, T5 and T9 were 8.55%–17.40% and 9.06%–21.98%, respectively higher in apparent and physiological K use efficiency. In summary, the application of a proper amount of complex organic-inorganic fertilizer in Treatments T5 and T9, and the application plus potassium nitrate in Treatments T4 and T7 can promote growth, yield, output value and quality of the flue-cured tobacco by improving their NPK absorption.

Key words: Organic-inorganic complex fertilizer; Quality; Yield; Flue-cured tobacco; Fertilizer use efficiency

云南是中式卷烟最大的核心基地，烤烟风格为西南高原生态区-清甜香型^[1]，所产烟叶是我国各类高端品牌卷烟不可替代的原料。烤烟生产一直是云南农业的重要经济支柱，也是农民增收的重要途径。但长期以来，一些烟区和烟农片面追求产量和经济收益，重施化肥而轻施有机肥以及采取高复种模式，造成植烟土壤板结、酸化、养分不均衡、土壤碳氮

比(C/N)和微生物活性降低^[2]，以及烤烟肥料利用率和烟叶品质下降等问题^[3]，在一定程度上已威胁到云南烟草产业的可持续发展^[4]。

我国油枯(饼肥)资源丰富，一些烟区也有施用油枯的传统，油枯对增加烟叶产量、改善烟叶外观质量和提高香气含量发挥着很好的作用^[5]。化肥减施是实现我国农业绿色发展的重要举措，其中有

机肥替代化肥措施是第一选择^[6]。近年来,我国烟草行业也开始尝试推行利用油枯替代部分化肥以实现烟草减肥、增产、提质和增效。菜籽油枯富含氮磷钾及多种中微量元素和小分子有机营养物质,在改土促烟上已展现出良好效果^[7],但也存在一些不足,如其在土壤中氮素释放速率与烤烟需肥不一致,易出现前期“供氮不足”但后期“供氮过多”,利用率低等问题^[8],因此需要与无机氮合理配施^[9],才可促进土壤微生物活性及氮素转化^[10],改善土壤 C/N 比、尿酶活性及微生物群落结构,优化根际环境,提高烤烟养分吸收利用率及烟叶品质^[11-12]。有研究表明菜籽饼肥氮替代 30% 化肥氮的改土促烟效果较好^[12-13],也有研究发现菜籽饼与复合肥按 25%:75% 配施时提升烤烟品质的效果最好^[14],而油枯占比超过 40% 时则会降低烟叶品质^[15]。

虽然已有关于油枯配施化肥对烤烟生长发育、产质量及养分利用的研究报道^[5-15],但菜籽油枯在烤烟生产上的科学施用必需考虑菜籽饼肥自身的特点、烟区气候和土壤特征以及烤烟主栽品种等因素,才能保证菜籽油枯的科学高效施用。云南是我国冬油菜主产地之一,2019 年全省油菜种植面积 30 万 hm^2 ,产油菜籽 60 万 t,预计可产菜籽油枯 36 万 t^[16]。为进一步提高云南菜籽油枯在改良植烟土壤和促进烤烟生产上的应用,本研究针对利用云南菜籽油枯研发制成的高端烟草专用菜籽油枯有机无机复混肥,选择曲靖烟区最典型的植烟土壤类型,开展大田试验,探讨该肥料对烤烟生长、产质量和养分利用效率的影响,旨在为进一步利用云南菜籽油枯资源,提升其在烤烟生产上的高效利用提供理论支撑。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于 2019 年进行,试验地位于云南省曲靖市罗平县罗雄圭山(103°57'E,24°46'N,海拔 1 480 m),前茬为油菜,土壤类型为黄壤,质地为轻黏土,烤烟移栽前耕层土壤 pH 5.67,有机质 30.19 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮 147.3 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,有效磷 46.25 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 284.3 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,除质地偏黏外,其他属性均适宜植烟。本试验地土壤类型及其理化属性状况在曲靖市烟区较为普遍,具有代表性。

1.2 试验材料

供试烤烟品种:K326(主栽品种之一)。供试肥料:2 种自主研发的菜籽油枯有机无机复混肥:1)OR30,油枯 300 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,N:P₂O₅:K₂O=15%:5%:18%,有机质 722.9 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$;2)OR40,油枯 400 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,N:P₂O₅:K₂O=12%:5%:17%,有机质 758.1 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。烟草专用复合肥:N:P₂O₅:K₂O=15%:8%:25%;硝酸钾(N135 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,K₂O465 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$),过磷酸钙(P₂O₅ 160 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$),硫酸钾(K₂O500 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)。

1.3 试验设计

设置 10 个施肥处理(表 1)。其中,T1、T2、T3、T6 和 T7 处理为常规施氮量(60 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$),T4 和 T8 处理为减氮 10%(54 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$),T5 和 T9 处理增氮 10%(66 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)。除 T10 外,各处理的磷肥(P₂O₅)和钾肥(K₂O)用量分别为 90 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 180 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。大田试验采用随机区组设计,每个处理 3 次重复,每个小区面积 60 m^2 ,采用漂浮育苗,2019 年 4 月 26 日移栽,株行距 0.6 m×1.2 m,每个小区栽烟 80 株,覆盖地膜。T2~T9 处理氮肥来自有机无机复混肥,用过磷酸钙和硫酸钾补足磷和钾。肥料施用方式上,除 T3、T4、T7 和 T8 处理的硝酸钾在烤烟移栽后长出第 8 片新叶时兑水一次追施外,其余肥料和其他处理的全部肥料均为移栽时作为基肥采用根区施肥(中层环施)一次性施入。大田其他管理措施按当地优质烤烟规范化生产进行。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 烤烟农艺性状测定 于移栽后 50 d(团棵期)和成熟采收前,各小区选择健康有代表性烟株 8 株,按标准 YC/T142-2010^[17]测定烟株株高、茎围、有效叶片数、叶片长和宽,并计算叶面积和叶面积系数。

1.4.2 烤烟经济性状测定 烟叶开始成熟时,按小区单独挂牌采收和烘烤,烤后烟叶按照 GB2635-92^[18]分级,统计等级比例、产量,按曲靖市 2019 年烟叶收购单价,计算产值。产指为亩(合 667 m^2)产值与 C1F(中橘一)单价的比值,级指按均价/C1F 单价×100 计算。

1.4.3 烟叶化学成分及可用性指数计算 以小区为单位,选取有代表性的 B2F(上橘二)、C3F(中橘三)和 X2F(下橘二)3 个等级烟叶样品测定化学成分。采用连续流动分析仪(AA3 型,德国)测定总糖和还原糖(YC/T159-2002)^[19]、总氮(YC/T161-2002)^[20]、烟碱(YC/T468-2013)^[21]、

表 1 试验各处理设置

Table 1 Designing of the treatments of experiment

处理 Treatment	肥料及处理 Fertilizer	肥料总纯用量 Total pure fertilizer application rate/ (kg·hm ⁻²)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
T1 (CK)	化肥 (即烟农常规施肥) ^① , 烟草专用复合肥 ^② 400 kg·hm ⁻² +普钙 ^③ 362.5 kg·hm ⁻² +硫酸钾 ^④ 160 kg·hm ⁻²	60	90	180
T2	油枯有机无机复混肥 ^⑤ (OR30) 400 kg·hm ⁻²	60	90	180
T3	油枯有机无机复混肥 ^⑤ (OR30) 265 kg·hm ⁻² +追施硝酸钾 ^⑥ 150 kg·hm ⁻²	60	90	180
T4	油枯有机无机复混肥 ^⑤ (OR30) 225 kg·hm ⁻² +追施硝酸钾 ^⑥ 150 kg·hm ⁻²	54	90	180
T5	油枯有机无机复混肥 ^⑤ (OR30) 440 kg·hm ⁻²	66	90	180
T6	油枯有机无机复混肥 ^⑤ (OR40) 500 kg·hm ⁻²	60	90	180
T7	油枯有机无机复混肥 ^⑤ (OR40) 331.2 kg·hm ⁻² +追施硝酸钾 ^⑥ 150 kg·hm ⁻²	60	90	180
T8	油枯有机无机复混肥 ^⑤ (OR40) 281.2 kg·hm ⁻² +追施硝酸钾 ^⑥ 150 kg·hm ⁻²	54	90	180
T9	油枯有机无机复混肥 ^⑤ (OR40) 550 kg·hm ⁻²	66	90	180
T10	不施任何肥料 ^⑦	0	0	0

①Inorganic fertilizer (Specialized tobacco fertilizer), ②Compound fertilizer of tobacco, ③Superphosphate, ④Potassium sulfate, ⑤Organic- (rapeseed cake) and inorganic complex fertilizer, ⑥Potassium nitrate topdressing, ⑦No fertilizer.

钾 (YC/T217-2007)^[22]和水溶性氯含量 (YC/T162-2011)^[23]。参考邓小华等^[24]方法计算化学成分可用性指数 (Chemical components usability index, CCUI) 用以评价各处理的化学成分协调性。

1.4.4 烤烟根系指标及氮、磷和钾测定 在成熟期, 按小区选取 6 株烤烟固定, 分 3 次分别采收上、中、下部叶。最后 1 次采叶连同茎、根采集, 取样后用清水将烟株冲洗干净, 其中对根系称取鲜物质量后, 按《烟草农艺性状调查测量方法》(YC/T 142-2010)^[17], 用排水法测定烟株根部体积。随后各器官分开在 105℃ 杀青 30 min, 80℃ 下烘干分别测定干物质量, 粉碎后混合均匀, 制成分析样品, 按 NY/T 2017-2011^[25]标准, 采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮, 用全自动定氮仪 (K9840 型, 中国) 测定全氮, 分光光度法测定全磷, 火焰光度法测定全钾。根据薛如君等^[26]方法计算肥料利用率, 公式如下:

$$\text{肥料表观利用率} = (\text{施肥区烤烟养分吸收量} - \text{空白区烤烟养分吸收量}) / \text{肥料施用量} \times 100\%$$

$$\text{肥料生理利用率} = (\text{施肥区烟叶产量} - \text{空白区烟叶产量}) / (\text{施肥区烟株吸收养分量} - \text{空白区烟株吸收$$

养分量) × 100%

1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 19.0 软件进行统计分析, 差异显著性检验采用最小显著差异 (LSD) 方法。

2 结果

2.1 油枯有机无机复混肥对烤烟农艺性状的影响

由表 2 可知, T10 (不施肥) 烟株在整个生育期长势均较差, 其农艺性状显著低于其他处理。在烤烟移栽后 50 d, 与 T1 (CK) 相比, 施油枯有机无机复混肥的处理对株高、茎围、叶片数无显著影响, 但 T2、T4、T6 和 T8 处理显著降低烟株叶面积及叶面积系数。在成熟采收前, T2、T3、T5、T7 和 T9 处理的烤烟株高、茎围、叶片数与 CK 处理亦无显著差异, 但叶面积及叶面积系数分别显著增加了 1.74%~4.51%、4.47%~19.11%, 而 T4、T6 和 T8 处理的叶面积和面积系数较 CK 均有显著下降。上述结果表明, 在相同肥料用量和施肥方式下, 施

OR30 的处理采烤前烟株农艺性状表现优于 OR40, 表明添加油枯 $300 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 更有利于烟株生长发育; 在

OR30 和 OR40 的高施氮量下, 追施硝酸钾可促进烟株生长, 显著提高叶面积及叶面积系数。

表 2 施用油枯有机无机复混肥下的烤烟农艺性状

Table 2 Effects of application of organic-inorganic complex fertilizer on agronomic traits of flue-cured tobacco

处理 Treatment	移栽后 50 d 50 d after transplanting					采烤前 Preroast				
	株高 Plant height /cm	茎围 Stem girth /cm	叶片数 Leaf number	叶面积 Leaf area /cm ²	叶面积系数 Leaf area coefficient	株高 Plant height /cm	茎围 Stem girth /cm	叶片数 Leaf number	叶面积 Leaf area / cm ²	叶面积系数 Leaf area coefficient
T1 (CK)	87.3±1.7a	9.2±0.1a	15.8±0.1a	657.1±85.1a	1.59±0.11a	117.1±3.9a	12.2±0.2a	20.5±0.4a	928.2±97.1b	2.46±0.21b
T2	86.5±1.2a	8.8±0.4a	14.6±0.2a	640.4±46.5b	1.54±0.15b	118.3±2.7a	12.0±0.4ab	19.6±0.2ab	944.3±68.5a	2.59±0.12a
T3	89.1±3.1a	9.7±0.5a	15.2±0.1a	724.7±27.4a	1.87±0.08a	121.4±2.4a	12.9±0.1a	20.9±0.6a	967.6±81.3a	2.77±0.14a
T4	84.7±0.9a	9.3±0.1a	14.5±0.3a	631.1±34.6b	1.49±0.04b	107.2±2.1b	11.8±0.6b	19.2±0.1b	905.7±72.6c	2.36±0.15c
T5	83.9±2.4a	9.0±0.3a	16.3±0.1a	792.2±63.2a	1.92±0.06a	124.7±3.5a	13.6±0.3a	21.1±0.7a	970.0±54.9a	2.93±0.17a
T6	98.2±0.9a	9.4±0.8a	14.1±0.6a	628.7±52.7b	1.48±0.10b	109.6±3.0b	11.6±0.2b	18.9±0.5b	902.7±60.1c	2.31±0.09c
T7	91.7±1.8a	9.6±0.2a	15.2±0.8a	660.9±71.8a	1.64±0.14a	119.9±1.9a	12.4±0.5a	19.9±0.3a	946.6±101.8a	2.57±0.05a
T8	89.4±2.5a	10.5±0.6a	14.3±0.4a	644.3±38.3b	1.56±0.15b	112.5±2.1b	11.7±0.6b	18.7±0.5b	894.5±116.4c	2.32±0.11c
T9	85.8±3.0a	10.1±0.4a	15.8±0.9a	675.1±41.9a	1.73±0.09a	123.6±3.3a	12.5±0.3a	20.5±0.2a	950.7±89.5a	2.61±0.03a
T10	47.5±1.1b	8.2±0.2b	12.8±0.1b	373.0±60.1c	0.85±0.12c	57.4±1.8c	9.5±0.1c	14.3±0.4c	594.8±37.9d	1.44±0.07d

注: 同列数据后不同字母表示不同处理间在 0.05 水平上差异显著, 表中数据为平均值 ± 标准差, 下同。Note: Values in the same column followed by different letters are significantly different at the 0.05 level. The data in the table are means ± standard deviation. The same below.

2.2 油枯有机无机复混肥对烤烟经济性状的影响

由表 3 可知, T10 处理烟叶各项经济性状显著低于其他处理。从烟叶等级结构看, T2、T4、T5 和 T9 上等烟比例较 T1 (CK) 显著增加 4.59%~14.17%, 中等烟比例以 T6 和 T8 最高。T2、T4、T5、T7 和 T9 较 CK 显著增产 2.69%~7.46%, 其他处理产量较 CK 显著下降 3.23%~36.62%。处理 T2、T5 和 T9 产值最高, 较 CK 显著增加 10.99%~13.46%, 但三者间差异不显著, 处理 T4 和 T7 次之, 较 CK 产值分别显著增加 7.63%和 6.85%。产指、级指的变化规律与产值相似。上述结果表明, 与 CK 处理相比, 单施油枯有机无机复混肥, 以 T5 和 T9 处理的综合效果最佳, 在配施硝酸钾的条件下, 分别以 T4 (减氮 10%) 和 T7 处理烟叶产量、产值最佳。

2.3 油枯有机无机复混肥对烟叶主要化学成分的影响

由表 4 可知, T10 处理烟叶化学成分含量较低, 协调性差。就总糖含量而言, 施 OR 的 8 个处理总

糖含量为 $201.6\sim 363.7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均 $278.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$; 与 CK 相比, 上部烟叶以处理 T3 和 T9 相对较高, 中部为 T4 和 T9 处理最高, 下部为 T8 处理最高。施 OR 处理的还原糖含量为 $186.3\sim 298.5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均 $236.9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 还原糖变化规律与总糖相似。就总氮含量而言, 施 OR 处理的总氮含量为 $13.6\sim 24.7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均 $18.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 各处理上、下部烟叶总氮与 CK 差异不显著, 中部烟叶总氮显著低于 CK。施 OR 处理的烟碱含量为 $15.3\sim 35.5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均 $23.1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 各处理上部烟叶烟碱含量与 CK 差异不显著, 中部烟叶以 T2 和 T3 处理烟碱含量较高, 下部烟叶为 T2、T3、T6 和 T9 处理较高。施 OR 的氧化钾含量为 $14.6\sim 39.7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均 $24.4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 处理 T2、T5、T6、T7 和 T9 处理上部烟叶钾含量较高, 中部烟叶以 T2、T4、T5、T6、T7 和 T9 处理较高, 所有施 OR 处理的下部烟叶钾含量均显著高于 CK。施 OR 的水溶性氯含量为 $2.8\sim 11.9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均 $6.6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 各处理上部烟叶氯含量与 CK 差异不显

表 3 施用油枯有机无机复混肥下的烤烟经济性状

Table 3 Effects of application of organic-inorganic complex fertilizer on economic traits of flue-cured tobacco

处理 Treatment	上等烟比例 Proportion of high grade leaf /%	中等烟比例 Proportion of medium grade leaf /%	产量 Yield / (kg·hm ⁻²)	产值 Output value / (yuan·hm ⁻²)	产指 Output index	级指 Grade index
T1 (CK)	50.1b	36.9b	2 736b	60 885c	124.9b	69.24b
T2	55.0a	35.5b	2 924a	69 078a	148.2a	94.26a
T3	49.5b	32.4c	2 648bc	58 760d	132.7b	73.91b
T4	52.7a	33.9c	2 810a	65 053b	139.3a	79.52a
T5	54.6a	32.4c	2 879a	67 576a	145.3a	84.96a
T6	49.0b	37.1a	2 628c	56 006d	102.1c	68.93b
T7	52.4ab	33.5c	2 825a	65 529b	141.5a	82.32a
T8	48.9b	39.8a	2 567c	54 629c	98.21c	64.57c
T9	57.2a	36.6b	2 940a	68 833a	143.3a	87.89a
T10	25.8c	34.2c	1 734d	34 253e	59.31d	43.05d

表 4 施用油枯有机无机复混肥下的烟叶主要化学成分

Table 4 Main chemical components of the flue-cured tobacco relative to treatment

等级 Grade	处理 Treatment	总糖 Total sugar / (g·kg ⁻¹)	还原糖 Reducing sugar / (g·kg ⁻¹)	总氮 Total nitrogen / (g·kg ⁻¹)	烟碱 Nicotine / (g·kg ⁻¹)	氧化钾 Oxides potassium / (g·kg ⁻¹)	水溶性氯 Water-soluble chlorine / (g·kg ⁻¹)	CCUI
B2F	T1 (CK)	239.9b	221.7b	22.2a	33.1a	18.6ab	6.1a	68.41c
	T2	243.2a	235.9b	23.4a	34.5a	18.9a	6.6a	63.14d
	T3	275.8a	255.1a	21.9a	32.2a	15.4c	7.1a	85.43a
	T4	238.8b	223.1b	22.9a	35.5a	14.6c	7.2a	57.85e
	T5	222.8b	222.1b	22.2a	34.2a	19.5a	5.5a	72.68b
	T6	225.9b	213.5b	21.9a	33.5a	19.5a	5.4a	70.28b
	T7	223.7b	214.5b	23.4a	30.6a	20.8a	5.3a	75.62a
	T8	201.6c	186.3c	24.7a	32.8a	18.3b	6.7a	43.57f
	T9	253.6a	244.9a	22.6a	31.9a	20.5a	6.2a	82.39a
	T10	205.2c	170.3c	12.4b	16.8b	16.2c	2.4b	24.35g
C3F	T1	292.6b	214.1c	19.9a	24.3a	25.7b	2.8d	69.97b
	T2	306.2b	243.4a	17.8b	24.2a	28.7a	7.5b	83.56a
	T3	294.5b	226.7b	17.2bc	23.9a	22.2c	7.6b	56.27d
	T4	346.3a	231.9b	16.1c	21.5b	29.8a	9.7a	89.42a
	T5	309.4b	258.6a	13.6d	16.1c	27.3a	5.1c	80.14b
	T6	326.2b	243.8a	15.3c	19.5b	28.5a	5.8c	76.45b
	T7	308.1b	217.3c	17.9b	19.7b	28.9a	5.4c	87.19a
	T8	305.8b	218.8bc	17.7b	21.8b	24.3bc	6.2c	61.58c
	T9	363.7a	268.5a	16.5c	19.1b	29.6a	5.1c	82.53a
	T10	327.9b	241.3a	11.3e	14.2d	15.2d	2.5d	20.69e
X2F	T1	280.1b	242.5c	15.6a	15.9b	28.8d	5.6c	73.35b
	T2	270.6b	234.7c	15.3a	19.1a	35.8b	11.9a	75.45b
	T3	307.3a	249.8c	15.3a	19.5a	29.3d	7.7b	70.59b
	T4	306.2a	262.8b	16.4a	16.5b	33.2c	8.3b	87.43a
	T5	299.6ab	298.5a	15.1a	15.4b	32.7c	10.9a	89.24a
	T6	266.2c	231.6c	15.9a	18.3a	39.7a	9.7a	64.12c
	T7	312.5a	286.4a	16.2a	15.8b	31.8c	6.2c	82.26a
	T8	319.5a	275.8b	16.1a	15.3b	33.3c	6.6c	61.24c
	T9	310.8a	278.1b	15.6a	17.2ab	36.5b	10.3a	86.17a
	T10	257.4d	229.9d	10.2b	14.8c	13.4e	3.4d	27.38d

注: CCUI: 化学成分可用性指数; B2F: 上橘二; C3F: 中橘三; X2F: 下橘二。Note: CCUI: Chemical components usability index; B2F: Upper orange leaf 2; C3F: Middle orange leaf 3; X2F: Lower orange leaf 2.

著, 中、下部烟叶氮含量升高。从中部烟叶化学成分差异看, 与 CK 相比, T2、T4、T7 和 T9 使烟叶总糖、还原糖、氧化钾和水溶性氮含量升高, 总氮和烟碱含量下降, 烟叶化学成分更趋于协调。上述结果表明, 施用 OR 的处理对上、下部位烟叶品质的调控效应差异较小, 而对中部烟叶品质的调控效应差异较大。

2.4 油枯有机无机复混肥对烤烟根系指标及肥料利用率的影响

由表 5 可知, 就烟株根际指标而言, T4、T5、T7 和 T9 的根鲜物质量、根干物质量和根体积较 CK 分别显著增加 3.74%~32.73%、3.71%~30.24%和 7.09%~28.78%。就氮素利用而言, T2、T4、T5、T7 和 T9 的氮素表观利用率和氮素生理利用率分别

为 34.27%~39.24%和 30.34%~34.47%, 较 CK 分别显著提高 9.31%~25.17%和 7.67%~22.32%。T2、T4 和 T9 磷素表观利用率在 6.28%~6.71%, 分别较 CK 显著提高 28.05%、19.85%和 26.72%; T2、T4 和 T9 磷素生理利用率为 4.13%~4.54%, 较 CK 分别显著提高 14.71%、19.79%和 21.39%。T2、T4、T5 和 T9 钾素表观利用率 33.51%~36.24%, 分别较 CK 显著提高 17.40%、13.96%、11.08%和 8.55%; T2、T4、T5、T7 和 T9 钾素生理利用率为 32.97%~35.69%, 较 CK 处理显著提高 9.06%~21.98%。上述结果表明, 单施油枯有机无机复混肥的 T5 和 T9 以及配施硝酸钾的 T4 (减氮 10%) 和 T7 处理可促进烟株根系发育, 并能显著提高烤烟肥料利用率。

表 5 施用油枯有机无机复混肥下的烤烟根系指标及肥料利用率

Table 5 Root indices and fertilizer use efficiency of flue-cured tobacco relative to treatment

处理 ^①	根系指标 Root indices			表观利用率 Apparent use efficiency/%			生理利用率 Physiological use efficiency/%		
	根鲜物质量 ^② (g·plant ⁻¹)	根干物质量 ^③ (g·plant ⁻¹)	根体积 ^④ (cm ³ ·plant ⁻¹)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
T1 (CK)	227.3c	70.1c	248.1d	31.35c	5.24b	30.87c	28.18c	3.74b	29.26d
T2	243.6b	75.1b	287.4b	34.27b	6.71a	36.24a	30.34b	4.29a	35.69a
T3	185.4d	59.6d	212.9e	26.92d	4.25c	29.63c	25.13d	3.11c	27.34e
T4	235.8c	72.7c	265.7d	37.23a	6.28a	35.18a	34.26a	4.48a	33.51c
T5	301.7a	91.3a	319.5a	38.41a	5.77b	34.29b	32.55b	4.13a	32.97c
T6	194.9d	61.4d	203.6e	27.16d	4.03c	26.35d	26.92d	3.25c	25.13e
T7	243.5b	77.9b	279.3c	35.75b	5.97b	32.96c	32.81b	3.96b	34.92b
T8	171.4d	53.8e	192.2e	25.83d	4.39c	27.52d	23.69e	3.47b	25.45e
T9	282.1a	86.6a	316.1a	39.24a	6.64a	33.51b	34.47a	4.54a	31.91c

① Treatment, ②Root fresh biomass, ③Root dry biomass, ④Root volume.

3 讨论

3.1 菜籽油枯有机无机复混肥对烟叶产质量的影响

油枯是南方烟田应用较广泛的有机肥源, 具有良好的替代化肥潜力^[7]。适量油枯配施化肥可在一定程度上减少化肥用量, 并能保证烟叶稳产或增产, 烟叶等级结构、产值显著提高^[14-15]。已有研究表明, 添加油枯比例在 30%以内时, 烟叶产量、产值随油枯用量增加均呈上升趋势, 烟叶化学成分更协

调^[13-15]。本研究表明, 与化肥相比, 单施油枯有机无机复混肥 (OR30 和 OR40) 时, 以 OR30 (施纯氮 60 kg·hm⁻² 和 66 kg·hm⁻²) 以及 OR40 (施纯氮 66 kg·hm⁻²) 处理的烤烟产量和产值最高 (表 3), 说明添加油枯 300~400 g·kg⁻¹ 仍可保证烤烟整个生育期的养分供应。在追施硝酸钾条件下, OR30 (施纯氮 54 kg·hm⁻², 减氮 10%) 和 OR40 (施纯氮 60 kg·hm⁻²) 处理均可显著提高烟叶产量和产值 (表 3)。综合比较而言, 添加菜籽油枯 300 g·kg⁻¹ 更有利于提高烟叶产量、产值, 这与已有的研究结果^[14-15]一致; 饼肥用量太大将导致速效养分不足, 不能及时满足烤烟生

长前期对养分的需求^[27]。本研究发现, 与 T1 (CK) 相比, 处理 T2、T4、T7 和 T9 提高了中部烟叶总糖、还原糖、氧化钾和水溶性氮含量, 降低总氮和烟碱含量 (表 4), 从而改善烟叶化学成分的协调性, 这可能是菜籽油枯促进了烤烟根系酶活性、土壤有机营养转化、碳氮代谢及烟叶各物质转化^[10], 改善氮磷钾营养^[12], 并使其氮素释放速率与烤烟养分吸收规律较一致^[7-8], 从而提升烟叶品质。其中, 烟叶钾含量显著升高可能与施复混肥有效减缓钾素释放有关^[28]。本研究中, 就化学成分可用性指数 (CCUI) 而言, 油枯有机无机复混肥对中部烟叶总氮和烟碱的影响大于上部, 这可能是复混肥中的有机氮优先供应烟株生长旺盛部位, 上部烟叶氮素积累量增加速度大于中部叶, 而转移速度小于中部^[29], 且添加发酵油枯提高了中部烟叶的耐熟性所致^[30]。

3.2 菜籽油枯有机无机复混肥对烤烟肥料利用率的影响

油枯有机无机复混肥是含有机物质和无机营养的复混颗粒肥料, 其氮素在土壤中水平方向上扩散迁移速度较复合肥氮素慢, 养分释放较适合烤烟生长所需^[31], 可促进烤烟根部对氮素的吸收, 从而提高氮素利用率^[32]。本研究中, 与单施化肥相比, 处理 T2、T4、T5、T7 和 T9 的氮磷钾表观利用率及生理利用率均显著提升 (表 5), 表明烟株对氮、磷、钾的利用能力提高, 这与宋建群等^[32]研究结果相似, 一方面可能是因为发酵油枯富含小分子有机营养物质, 施入后有利于根际土壤微生物菌群繁殖及其活性增强, 从而促进土壤对肥料的吸附、氮转化作用, 改善土壤性质及微生态^[33]; 同时有机无机复混肥中的大量元素和有机质保证了烟株体内养分平衡^[34], 其中有机物料促进了土壤氮、磷的有效性, 并降低了氮、钾离子的淋溶^[35], 从而有利于养分吸收。另一方面, 增施腐熟有机肥促进了烟株一级和二级侧根的发, 其中根数量、体积及干物质量显著提高^[36], 改善土壤脲酶和蔗糖酶的活性, 微生物生物量碳显著增加^[37], 而且发酵菜籽油枯对根际固氮菌和磷、钾细菌具有选择富集作用, 从而增强烟株根系活力和吸收能力^[12]。本研究采用根区施肥 (中层环施) 方法, 不但实现了肥料扩展空间与根区空间的吻合, 而且肥料中的高有机质改善了根际土壤环境, 促进根系发育, 如 T4、T5、T7 和 T9 根系生物量和体积较 CK 显著增加 (表 5), 从而提高了肥料利用率。根

区施肥提高肥料当季利用率已在烤烟生产实践中有不同程度的体现^[38]。可见在烤烟生产中只有充分考虑肥料养分供应及肥料对根际有益微生物的影响, 才能有效提高肥料利用率。本研究仅是一类烟田土壤和一年大田试验, 结果的区域广泛应用性和效果的可持续年限, 以及油枯有机无机复混肥的不同施肥量和施肥位点变化后, 养分在土壤中的扩散分布特征及其对烟株根系构型、根际微生物的影响等, 尚需进一步研究。

4 结 论

菜籽油枯有机无机复混肥可促进烤烟地上部和根部生长发育, 提高烟叶产量和产值, 改善烟叶化学成分协调性, 显著提高肥料利用率, 适宜在云南烟区推广应用, 也是实现油枯资源合理利用、化肥减施及烤烟提质、增效的良好施肥模式。在相同肥料用量和施肥方式下, 添加菜籽油枯 30% ($300 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 的有机无机复混肥的综合效果更优。

参考文献 (References)

- [1] Luo D S, Wang B, Qiao X Y. Explanation of national regionalization of leaves style of flue-cured tobacco [J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2019, 25 (4): 1—9. [罗登山, 王兵, 乔学义. 《全国烤烟烟叶香型风格区划》解析[J]. *中国烟草学报*, 2019, 25 (4): 1—9.]
- [2] Zhu Z L, Jin J Y. Fertilizer use and food security in China [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2013, 19 (2): 259—273. [朱兆良, 金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题[J]. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19 (2): 259—273.]
- [3] Yang X Y, Liu X H, Han X R. Effect of nitrogen application rates in different fertility soils on soil N transformations and N use efficiency under different fertilization managements[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49 (13): 2561—2571. [杨馨逸, 刘小虎, 韩晓日. 施氮量对不同肥力土壤氮素转化及其利用率的影响[J]. *中国农业科学*, 2016, 49 (13): 2561—2571.]
- [4] Huang H G, Ban G J, Chen Y, et al. Effects of porous soil amendments on soil properties, yield and quality of flue-cured tobacco in Bijie[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2017, 54 (6): 1427—1437. [黄化刚, 班国军, 陈垚, 等. 多孔改良剂对毕节烟区土壤性状及烤烟产质量的影响[J]. *土壤学报*, 2017, 54 (6): 1427—1437.]
- [5] Yang H W, Li F, Zhu K L, et al. Effects of cake fertilizers on tobacco and tobacco-growing soil[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, 39 (7): 3880—3881. [杨

- 红武, 李帆, 朱开玲, 等. 饼肥对烟草·植烟土壤的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39 (7): 3880—3881.]
- [6] Huang Y Z, Luo X F. Reduction and substitution of fertilizers : farmer's technical strategy choice and influencing factors[J]. Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition), 2020, 19 (1): 77—87. [黄炎忠, 罗小锋. 化肥减量替代: 农户的策略选择及影响因素[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2020, 19 (1): 77—87.]
- [7] Wu X P, Zhong X M, Liu Z J. The study on the mineralization rate and humification coefficient of cake fertilizer in soil of tobacco field[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2007 (5): 32—35. [武雪萍, 钟秀明, 刘增俊. 饼肥在植烟土壤中的矿化速率和腐殖化系数分析[J]. 中国土壤与肥料, 2007 (5): 32—35.]
- [8] Liu Q L, Shi J X, Zhang Y G, et al. The effects of various organic matters on the nitrogen nutrition of flue-cured tobacco and its quality by ^{15}N [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43 (22): 4642—4651. [刘青丽, 石俊雄, 张云贵, 等. 应用 ^{15}N 示踪研究不同有机物对烤烟氮素营养及品质的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43 (22): 4642—4651.]
- [9] Huang A Y, Lu Y G, Wang J S. Research on nutrient-releasing characteristics and effect of organic-inorganic tobacco special fertilizer[J]. Journal of Mountain Agriculture & Biology, 2008 (1): 5—9. [黄安远, 陆引罡, 王家顺. 有机-无机烟草专用肥的养分释放特点及效果[J]. 山地农业生物学报, 2008 (1): 5—9.]
- [10] Li L, Zhang P J, Zhang X, et al. Effects of different ratios of cake fertilizers on soil biological characteristics and nitrogen transformation in tobacco field[J]. Soils, 2019, 51 (4): 648—657. [李亮, 张佩佳, 张翔, 等. 不同饼肥配比对烟田土壤生物学特性及氮素转化的影响[J]. 土壤, 2019, 51 (4): 648—657.]
- [11] Ji X, Feng C C, Zheng X B, et al. Effects of combined application of rapeseed cake and chemical fertilizers on nutrients, enzyme activity of tobacco growing soil and nitrogen utilization[J]. Chinese Tobacco Science, 2019, 40 (5): 23—29. [季璇, 冯长春, 郑学博, 等. 饼肥等氮替代化肥对植烟土壤养分、酶活性和氮素利用的影响[J]. 中国烟草科学, 2019, 40 (5): 23—29.]
- [12] Chen Y, Zheng H, Shi J X, et al. Effects of chemical fertilizer and rapeseed meal on microorganisms in the rhizosphere of flue-cured tobacco seedlings[J]. Acta Pedologica Sinica, 2012, 49 (1): 198—203. [陈尧, 郑华, 石俊雄, 等. 施用化肥和菜籽粕对烤烟根际微生物的影响[J]. 土壤学报, 2012, 49 (1): 198—203.]
- [13] Liang H T, Li L, Sun M H, et al. Effects of rapeseed-cake fertilizer on chemical components and sensory quality of tobacco in Luohe[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2015, 27 (2): 71—73, 78. [梁洪涛, 李莉, 孙明辉, 等. 菜籽饼肥对漯河烟叶化学成分及其感官质量的影响[J]. 江西农业学报, 2015, 27 (2): 71—73, 78.]
- [14] Fu L B, Su F, Chen H, et al. Effect of application rates of rapeseed cake on yield and quality of flue-cured tobacco[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15 (6): 77—80. [付利波, 苏帆, 陈华, 等. 菜籽饼肥不同用量对烤烟产量及质量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15 (6): 77—80.]
- [15] Liu Y. Studies on the growth, yield and quality of tobacco by using different percentage of organic and chemical fertilizer [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2008. [刘宇. 有机—无机肥配比量对烟草生长发育及产质量影响的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2008.]
- [16] Yunnan bureau of statistics. Yunnan statistical yearbook (2019) [M]. Beijing: China Statistics Press, 2019: 347. [云南省统计局. 云南统计年鉴(2019) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2019: 347.]
- [17] State Tobacco Monopoly Administration. Methods for investigation and measurement of tobacco agronomic traits: YC/T 142-2010 [S]. Beijing: China Standards Press, 2010: 1—10. [国家烟草专卖局. 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: 1—10.]
- [18] State Bureau of Quality and Technical Supervision. Flue-cured tobacco: GB 2635—92[S]. Beijing: China Standards Press, 1992: 7—8. [国家技术监督局. 烤烟: GB 2635—92[S]. 北京: 中国标准出版社, 1992: 7—8.]
- [19] State Tobacco Monopoly Administration. Tobacco and tobacco products- determination of water soluble sugars-continuous flow method: YC/T 159—2002 [S]. Beijing: China Standards Press, 2002: 397—401. [国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品-水溶性糖的测定-连续流动法: YC/T 159—2002 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2002: 397—401.]
- [20] State Tobacco Monopoly Administration. Tobacco and tobacco products- determination of total nitrogen-continuous flow method: YC/T 161—2002 [S]. Beijing: China Standards Press, 2002: 409—413. [国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品-总氮的测定-连续流动法: YC/T 161—2002 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2002: 409—413.]
- [21] State Tobacco Monopoly Administration. Tobacco and tobacco products- determination of total alkaloids-continuous flow (potassium thiocyanate) method: YC/T 468—2013 [S]. Beijing: China Standards Press, 2013: 1—4. [国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品-总植物碱的测定-连续流动(硫氰酸钾)法: YC/T 468—2013 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2013: 1—4.]
- [22] State Tobacco Monopoly Administration. Tobacco and tobacco products- determination of potassium-continuous flow method: YC/T 217—2007 [S]. Beijing: China Standards Press, 2007: 1—4. [国家烟草专卖局.

- 烟草及烟草制品-钾的测定-连续流动法: YC/T 217—2007 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 1—4.]
- [23] State Tobacco Monopoly Administration. Tobacco and tobacco products- determination of chloride- continuous flow method: YC/T 162—2011 [S]. Beijing: China Standards Press, 2011: 1—5. [国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品-氯的测定-连续流动法: YC/T 162-2011 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011: 1—5.]
- [24] Deng X H, Yang L L, Zou K, et al. Effect of density-increasing and nitrogen-saving on chemical components of flue-cured tobacco under tobacco-rice rotation system[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2017, 23 (4): 991—997. [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] The Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Determination of nitrogen, phosphorus and potassium in plants: NY/T 2017-2011 [S]. Beijing: China Standards Press, 2011: 1—7. [中华人民共和国农业部. 植物中氮、磷、钾的测定: NY/T 2017—2011 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011: 1—7.]
- [26] Xue R J, Gao T, Zhao Z X, et al. Effects of drip irrigation fertilizing reduction on the yield and NPK absorption and utilization of flue-cured tobacco [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2019, 34 (5): 860—866. [薛如君, 高天, 赵正雄, 等. 氮肥减量滴灌对烤烟产质量及氮磷钾吸收利用的影响[J]. *云南农业大学学报 (自然科学版)*, 2019, 34 (5): 860—866.]
- [27] Ren X L, Wang L P, Xu D B, et al. Effects of application of rapeseed cake compost combined with chemical fertilizer on the yield and quality of flue-cured tobacco and soil microorganism[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2012, 35 (2): 92—98. [任小利, 王丽萍, 徐大兵, 等. 菜粕堆肥与无机肥配施对烤烟产量和品质以及土壤微生物的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2012, 35 (2): 92—98.]
- [28] Yu Y Y, Jiang C C, Gu H Z, et al. The K apparent release characteristics of organic-inorganic compound potash fertilizers and its effect on yield and quality of flue-cured tobacco[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2016, 37 (1): 14—19. [余垚颖, 蒋长春, 顾会战, 等. 有机无机复混钾肥钾素表观释放特征及对烤烟产质量的影响[J]. *中国烟草科学*, 2016, 37 (1): 14—19.]
- [29] Ye X Q, Zou Y, Yu Z H, et al. Temporal and spatial distribution of N accumulation in flue-cured tobacco plant and its relationship with N nutrition of plant [J]. *Tobacco Science & Technology*, 2013, (11): 78—81. [叶晓青, 邹勇, 余志虹, 等. 烤烟氮素积累时空分布及其与植株氮素营养的关系. *烟草科技*, 2013, (11): 78—81.]
- [30] Wang X C, Jin Z L, Zhou X P, et al. Effects of fermented rapeseed cake fertilizer from different manufacturers on growth, development, yield and quality of flue-cured tobacco[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2019, 31 (8): 65—69. [王锡春, 靳志丽, 周向平, 等. 不同发酵菜籽饼肥对烤烟生长发育及产质量的影响[J]. *江西农业学报*, 2019, 31 (8): 65—69.]
- [31] She W K, Wu L, Gou J Y, et al. Release and migration of nitrogen in mountain tobacco soil by organic-inorganic compound fertilizer [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2019, 46 (6): 1048—1054. [余文凯, 武丽, 苟剑渝, 等. 有机无机复混肥在山地烤烟土壤中氮素的释放迁移[J]. *安徽农业大学学报*, 2019, 46 (6): 1048—1054.]
- [32] Song J Q, Tang L, Yin H H, et al. Effects of different organic fertilizers on nutrient absorption and fertilizer use efficiency of flue-cured tobacco[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2015 (3): 471—476. [宋建群, 徐智, 汤利, 等. 不同有机肥对烤烟养分吸收及化肥利用率的影响[J]. *云南农业大学学报 (自然科学版)*, 2015 (3): 471—476.]
- [33] Zhang H, Li W Q, Fang Y, et al. Effects of different fertilization on bacterial community diversity in tobacco rhizospheric soil [J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2019, 25 (10): 29—35. [张慧, 李文卿, 方宇, 等. 施用不同肥料对烟草土壤细菌群落的影响[J]. *安徽农学通报*, 2019, 25 (10): 29—35.]
- [34] He P, Jin J Y. Fertilizer saving and efficiency improvement in intensified farmland[M]. Beijing: Science Press, 2012. [何萍, 金继运. 集约化农田节肥增效理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2012.]
- [35] Zhu Y H, Tian W Q, Gou J Y, et al. Effects of organic-inorganic compound fertilizers on nutrient accumulation, distribution, and utilization ratio of flue-cured tobacco in paddy soil[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2019, 40 (2): 30—37. [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.]
- [36] Gao J H, Yang X, Li M Y, et al. Effect of organic manure application on flue-cured tobacco root development and leaf quality[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2009, 30 (6): 38—41, 45. [高家合, 杨祥, 李梅云, 等. 有机肥对烤烟根系发育及品质的影响[J]. *中国烟草科学*, 2009, 30 (6): 38—41, 45.]
- [37] Li Y P, Liu G S, Ding S S, et al. Effects of mixed organic fertilizer amount on root vigor and rhizosphere soil biological characteristics of flue-cured tobacco[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2016, 37 (1): 32—36, 44. [李艳平, 刘国顺, 丁松爽, 等. 混合有机肥用量对烤烟根系活力及根际土壤生物特性的影响[J]. *中国烟草*

- 科学, 2016, 37 (1): 32-36, 44.]
- [38] Wang H Y, Zhou J M. Root-zone fertilization—A key and necessary approach to improve fertilizer use efficiency and reduce non-point source pollution from the cropland[J]. Soils, 2013, 45 (5): 785—790. [王火焰, 周健民. 根区施肥——提高肥料养分利用率和减少面源污染的关键和必需措施[J]. 土壤, 2013, 45 (5): 785—790.]

(责任编辑: 陈荣府)