

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2021.06.011

王日俊, 黄成东, 徐照丽, 等. 基于中国知网的有机无机配施对烤烟产量与品质影响的整合分析. 土壤, 2021, 53(6): 1185–1191.

基于中国知网的有机无机配施对烤烟产量与品质影响的整合分析^①

王日俊¹, 黄成东^{1*}, 徐照丽^{2*}, 邓小鹏², 马二登²

(1 中国农业大学资源与环境学院, 国家农业绿色发展研究院, 植物-土壤相互作用教育部重点实验室, 北京 100193; 2 云南省烟草农业科学研究院, 昆明 650021)

摘要: 为在全国及区域尺度上, 定量评价烤烟产量和品质对有机无机肥料配施的响应及其影响因素, 为烤烟科学施肥以及提高生产效益提供依据, 通过中国知网数据库, 选择“烤烟”“有机肥”和“产量”为主要关键词检索期刊文献, 将单施化肥处理作为对照, 选择反应比作为效应量, 采用文献整合分析方法进行了研究。结果表明: 与单施化肥处理相比, 有机无机配施处理下的烤烟产量平均增幅 E 为 4.68%, 并显著提高了上等烟叶比例 13.55%; 有机无机配施对氯离子 ($E=0.55%$) 的影响没有达到显著效应, 但显著降低了烟碱 ($E=-3.9%$) 和总氮含量 ($E=-1.37%$), 显著提高了还原糖 ($E=3.69%$) 和钾离子含量 ($E=6.77%$), 且有机无机配施较单施化肥更能协调烟叶化学成分, 达到优质烤烟化学成分适宜范围内。烤烟产量效应的亚组分类分析结果显示, 试验时间、种植密度和植烟区域对烤烟产量效应影响显著, 且随着有机无机配施时间的推移, 有机无机配施烤烟产量呈线性增加趋势; 当无机氮投入量 $>60 \text{ kg/hm}^2$ 时, 有机无机配施对烤烟产量表现为显著的正效应, 且无机氮投入量 $>90 \text{ kg/hm}^2$ 时增产幅度最高 ($E=4.1%$)。有机无机配施对烤烟产量在潮土上没有达到显著效应, 在紫色土上增产幅度最高 ($E=13.85%$)。总体上, 有机无机配施对烤烟产量与品质的效果积极明显, 可以推广应用。

关键词: 烤烟; 有机肥; 无机肥; 产量; 品质; 整合分析

中图分类号: S572; S141; S153 **文献标志码:** A

Meta-analysis of Effects of Combined Application of Organic and Inorganic Fertilizers on Yield and Quality of Flue-cured Tobacco Based on CNKI Database

WANG Rijun¹, HUANG Chengdong^{1*}, XU Zhaoli^{2*}, DENG Xiaopeng², MA Erdeng²

(1 College of Resources and Environmental Sciences, National Academy of Agriculture Green Development, Key Laboratory of Plant-Soil Interactions, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2 Yunnan Academy of Tobacco Agricultural Sciences, Kunming 650021, China)

Abstract: In order to quantitatively evaluate the response of flue-cured tobacco yield and quality to the combined application of organic-inorganic fertilizers and the influencing factors at the national and regional scales, and provide the bases for scientific fertilization of flue-cured tobacco and improvement of production profit, through the cnki.net database, “flue-cured tobacco”, “organic fertilizer” and “yield” were selected as the main keywords to retrieve journal literatures, inorganic fertilizer only was used as control, the response ratio was used as the effect size, and the literature integration analysis method was used in the study. Compared with single application of inorganic fertilizers, the average increase in E of flue-cured tobacco under the treatment of combined application of organic-inorganic fertilizers was 4.68%, and significantly increased the proportion of first-class tobacco by 13.55%. The combined application of organic-inorganic fertilizers did not reach significant effect on chloride ions ($E=0.55%$), but significantly reduced nicotine ($E=-3.9%$) and total nitrogen ($E=-1.37%$) while significantly increased reducing sugars ($E=3.69%$) and potassium ions ($E=6.77%$), and the combined application of organic-inorganic fertilizers could coordinate the chemical composition of tobacco leaves better than single application of chemical fertilizers, and reach the appropriate range of

①基金项目: 中国烟草总公司云南省公司重大科技计划项目(2019530000241012)和国家重点研发计划项目(2016YFE0103100)资助。

* 通讯作者(chengdonghuang@cau.edu.cn; 836126481@qq.com)

作者简介: 王日俊(1995—), 男, 广东湛江人, 硕士研究生, 主要研究作物养分管理。E-mail: 1466529676@qq.com

chemical composition of high-quality flue-cured tobacco. The results of subgroup classification analysis of the effect of flue-cured tobacco yield showed that trial time, planting density and planting tobacco region have significant influences on the yield effect of flue-cured tobacco, and with the time passage of the combined application of organic-inorganic fertilizers, the yield of flue-cured tobacco showed a linear increase trend; When the input amount of inorganic nitrogen $> 60 \text{ kg/hm}^2$, the combined application of organic and inorganic fertilizers showed a significant positive effect on the flue-cured tobacco yield, and when the input amount of inorganic nitrogen $> 90 \text{ kg/hm}^2$, the yield increase reached the highest ($E=4.1\%$). The combined application of organic and inorganic fertilizers did not have significant effect on flue-cured tobacco yield in fluvo-aquic soil, and the highest yield increase rate was obtained in purple soil ($E=13.85\%$). On the whole, the combined application of organic and inorganic fertilizers has positive and obvious effects on the yield and quality of flue-cured tobacco and thus can be popularized.

Key words: Flue-cured tobacco; Organic fertilizer; Inorganic fertilizer; Yield; Quality; Meta-analysis

烟草是我国重要的经济作物,常年栽培面积和总产量分别为 $1.2 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 和 $2.2 \times 10^5 \text{ kg/hm}^2$, 均居世界首位^[1]。但长期以来,烟农为了追求烟叶产量与经济效益最大化,大量施用化肥^[2],对土壤、烤烟和环境造成了一定的负面影响^[3-4]。大量研究表明,增施有机肥可提高植烟土壤综合肥力、烟株抗病性、烟叶综合品质、上中等烟比例等^[5-6],但有机肥本身养分释放缓慢,单施有机肥无法满足作物对养分的需求^[7],配施适量的无机肥可满足烟株对养分的需求,并促进烟株生长发育,提高烟叶产量、产值和品质^[8-9]。我国在烤烟有机无机肥料配施方面开展了大量研究,较多研究认为有机无机肥料配施比单施化肥的改土、增产和提质效果明显^[10-12],但也有研究表明两者之间差异没有达到显著水平^[13-14]。

一定程度上,不同植烟区有机无机肥料配施田间试验体现了该区域烤烟增产提质效果,但难以全面认识全国尺度上有机无机配施对烤烟产量和品质的综合效应,以及田间试验存在很多不确定的因素对有机无机配施增产提质产生影响。文献整合分析方法可对同类主题下多个研究结果进行系统定量统计及综合评价其影响因素^[15]。目前国内还没有关于有机无机配施对烤烟产量与品质影响的文献整合分析报道。因此,本研究采用整合分析方法,以中国知网已发表文献数据为基础,系统分析了有机无机配施对烤烟产量与品质的综合效应,并探究了植烟区土壤性状、无机氮施用量、种植密度、试验时间以及植烟区域等因素下有机无机配施对烤烟产量的影响,以为烤烟绿色生产中科学合理施肥提供参考。

1 材料与方 法

1.1 数据来源

通过中国知网数据库(<https://www.cnki.net/>),以“烤烟”“有机肥”和“产量”为主要关键词检索大

田试验期刊文献。文献中试验数据筛选标准如下:①试验区域位于中国;②以田间试验为准,同一研究中必须包含有机无机配施处理和单施化肥处理;③文中须明确试验处理的产量和品质均值及标准差,或者列出不同处理每个重复的产量和品质数据(重复数至少 3 次);④文中要明确试验时间、植烟区域、种植密度、有机肥种类、施肥量、土壤类型、土壤理化性质及其他研究背景方法等信息。基于以上标准,筛选出 193 篇文献,共收集 673 组数据。收集的文献数据时间跨度为 1987—2019 年,地理跨度包含了我国 17 个省市及自治区。在提取数据过程中,如果数据以图的形式呈现,则采用 GetData Graph Digitizer 软件进行数字化转换后再提取。

1.2 数据分类

基于文献数据分布情况,从土壤性状、试验时间、植烟区域、土壤类型、种植密度和无机氮施用量等方面进行亚组分析。无机氮(N)施用量(kg/hm^2)划分为: ≤ 30 、 $30 \sim 60$ 、 $60 \sim 90$ 和 > 90 ;种植密度(株/hm^2)划分为: $\leq 15\ 000$ 、 $15\ 000 \sim 18\ 000$ 和 $> 18\ 000$;土壤类型划分为水稻土、红壤、棕壤、紫色土、潮土和褐土;土壤 pH 划分为 ≤ 6.5 、 $6.5 \sim 7.5$ 和 > 7.5 ;土壤有机质(g/kg)划分为 ≤ 20 、 $20 \sim 30$ 和 > 30 ;土壤速效钾(mg/kg)划分为 ≤ 50 、 $50 \sim 150$ 和 > 150 ;土壤有效磷(mg/kg)划分为 ≤ 10 、 $10 \sim 20$ 和 > 20 ;土壤碱解氮(mg/kg)划分为 ≤ 60 、 $60 \sim 120$ 和 > 120 ;试验时间划分为 2000 年以前、2001—2010 年和 2011—2019 年;植烟区域划分为南方烟区和北方烟区,各烟区数据量及其区域分布信息详见表 1。

1.3 数据整合分析及处理

1.3.1 标准偏差计算 在整合分析中,标准偏差是计算研究权重的重要参数。根据文献提供的信息,若文献列出标准偏差,则直接录入数据库中;若文献没有列出标准偏差但提供多个重复试验的数据,直接在

表 1 各个地区的数据量分布
Table 1 Distribution of data volumes in various regions

烟区	省(直辖市、自治区)
南方烟区(548)	云南(201)、四川(36)、湖南(76)、福建(29)、贵州(95)、江西(13)、湖北(20)、安徽(7)、重庆(36)、广东(3)、广西(30)、浙江(2)
北方烟区(122)	河南(53)、山东(23)、陕西(42)、黑龙江(3)、甘肃(1)

注：括号内数字为数据量。

Excel 中计算；如果文献中没有列出标准偏差与试验重复值，但进行了多年的试验，可将多年数据视为试验重复，在 Excel 中计算标准偏差。

1.3.2 数据整合分析 在 Microsoft Excel 2017 中分别建立烤烟产量和品质指标的数据库，根据卡方分布检验(Chi-square test)，明确不同处理间及各试验结果是否存在异质性(处理间或各试验结果间的变异是否由随机误差引起)。如果纳入的各研究结果无异质性($P>0.05$)，则采用固定效应模型进行分析(fixed effect model, FEM)，相反，则采用随机效应模型(random effect model, REM)^[16]。本研究文献中数据来源于全国不同植烟区域，存在不同的烟株管理模式、烤烟品种、土壤理化性质和生态气候条件等，不同研究之间变异大，且研究数据通过卡方分布检验符合 REM($P<0.05$)，因此采用平衡权重的 REM 计算其效应值，选择反应比(response ratio)作为效应量，反应比计算公式：

$$R=X_1/X_2 \quad (1)$$

式中： X_1 为有机无机配施处理的烤烟产量或品质均值； X_2 为单施化肥处理的烤烟产量或品质均值。采用自然对数反应比($\ln R$)衡量有机无机配施对烤烟产量的影响程度，其计算公式为：

$$\ln R=\ln(X_1/X_2)=\ln(X_1)-\ln(X_2) \quad (2)$$

根据 Excel 中整理好的每一组数据，在 Metawin 2.1 软件中计算效应值权重加权平均值后得到 $\ln R$ 的 95% 置信区间，如果 $\ln R$ 的 95% 置信区间均大于 0，则说明有机无机配施对烤烟产量有显著的正效应；若置信区间均小于 0，则说明有机无机配施对烤烟产量具有显著的负效应；若置信区间包含 0，则说明有机无机配施对烤烟产量无显著影响。

为了便于解释有机无机配施对烤烟产量与品质的影响，将 R 转化为增长幅度 E (E 为负值时表示负增长)，其计算公式为：

$$E=(R-1)\times 100\% \quad (3)$$

1.3.3 数据处理 采用 Microsoft Excel 2017 进行数据处理和部分图形制作，采用 IBM Statistics SPSS 22.0 和 Metawin 2.1 软件进行计算和统计分析，采用 Origin 2018 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 有机无机配施对烤烟产量与品质的综合效应

采用平衡权重的 REM 模型对烤烟产量和品质的平均效应值进行计算，结果(图 1)表明，与单施化肥相比，有机无机配施对烤烟产量达到显著的正效应，增产幅度 E 为 4.68%。从烟叶等级结构(下等、中等和上等)来看，有机无机配施显著提高了烤烟上等烟叶比例，增长幅度 E 为 13.55%。在品质方面，有机无机配施对烟叶各个化学成分的影响不同。与单施化肥相比，有机无机配施对烟叶水溶性氯离子效应没有达到显著水平，但其效应值表现为正效应，增长幅度 E 为 0.55%；有机无机配施对烟叶烟碱和总氮含量均表现为显著的负效应，增长幅度 E 分别为 -3.9% 和 -1.37% ；而有机无机配施对烟叶还原糖和钾离子含量均表现为显著的正效应，增长幅度 E 分别为 3.69% 和 6.77%。

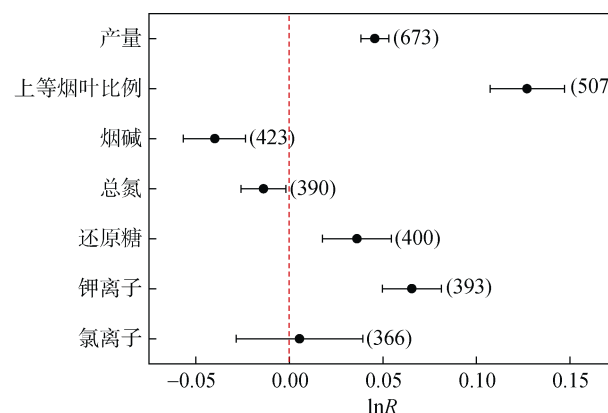


图 1 有机无机配施对烤烟产量与品质的综合效应

Fig.1 Comprehensive effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on yield and quality of flue-cured tobacco

以优质烤烟各个化学成分的适宜范围量为参考，通过统计分析各个化学成分数据样本量(表 2)可知，有机无机配施处理的烟碱、还原糖、总氮和钾离子在优质烤烟化学成分适宜范围中的样本占比均高于单施化肥处理，而水溶性氯离子则低于单施化肥处理。这表明，有机无机配施处理较单施化肥处理，总体上有利于改善烤烟各个化学成分的协调性。

2.2 土壤性状对有机无机配施增产效果的影响

由图 2 知，与单施化肥处理相比，有机无机配施

表 2 烤烟各个化学成分统计分析
Table 2 Statistical analysis of various chemical components of flue-cured tobacco

化学成分	处理	总样 本量	优质烤烟适宜范围样本		优质烤烟适宜 范围(%) ^[17-20]
			样本数量	比例(%)	
烟碱	单施	423	350	82.74	1.5 ~ 3.5
	配施	423	375	88.65	
总氮	单施	390	361	92.56	1.5 ~ 3.0
	配施	390	365	93.59	
还原糖	单施	400	96	24.00	18 ~ 22
	配施	400	98	24.50	
钾	单施	393	180	45.80	2.0 ~ 3.5
	配施	393	188	47.84	
氯	单施	366	221	60.38	0.2 ~ 0.6
	配施	366	214	58.47	

注：单施，单施化肥；配施，有机无机配施。

处理的烤烟产量在不同土壤 pH 条件下均达到显著的正效应，但各 pH 间增产效应差异不显著，其中在 pH>7.5 时产量增幅较高(E=8.81%)，其次是 pH 为 6.5 ~ 7.5(E=5.32%)和 pH≤6.5(E=5.25%)。随着土壤有机质含量的增加，有机无机配施对烤烟增产效应逐渐降低，其中有机质含量≤20 g/kg 时烤烟增产幅度为 5.41%，有机质含量>20 g/kg 时烤烟增产幅度为 4.02% ~ 4.52%，但差异不显著。不同土壤碱解氮和速效钾水平下，有机无机配施处理的烤烟产量增幅无显著差异。当土壤有效磷含量≤10 mg/kg 时，有机无机配施对烤烟产量没有显著影响，但表现为正效应，增产幅度 E 为 2.82%；其余有效磷水平下，均达到显著的正效应，土壤有效磷含量为 10 ~ 20 mg/kg 时烤烟增产幅度最高(E=7.41%)。总体来看，在土壤肥力较低的地区，有机无机配施对烤烟增产效应较明显。

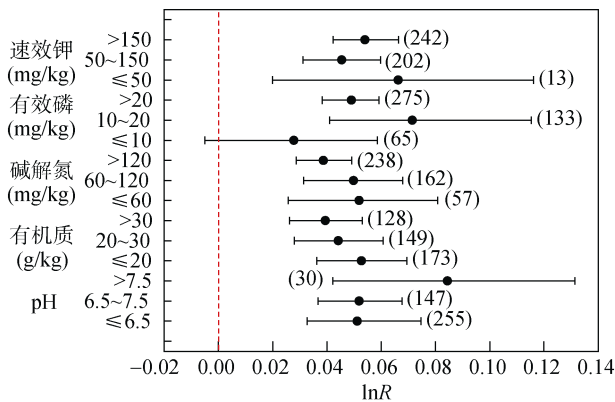


图 2 土壤性状对有机无机配施增产效果的影响
Fig. 2 Effects of soil properties on yield-increase effect of combined application of organic and inorganic fertilizers

2.3 其他因素对有机无机配施增产效果的影响

将土壤类型和无机氮投入量划分为不同水平进行分析，结果(图 3)表明，与单施化肥相比，有机无机配施在褐土、石灰性紫色土、棕壤、红壤和水稻土上对烤烟产量均表现为显著的正效应，增产幅度分别为 6.12%、13.85%、10.33%、4.55% 和 4.4%，而在潮土上的效应没有达到显著水平，但也表现为正效应(E=9.18%)。根据有机无机配施处理中无机氮施用量划分为 4 个水平，当无机氮施用量≤60 kg/hm²时，有机无机配施对烤烟产量没有显著效应；当无机氮施用量>60 kg/hm²时，有机无机配施对烤烟产量表现为显著的正效应，两个无机氮施用量之间增产效应差异显著(P<0.05)，且当无机氮施用量>90 kg/hm²时，烤烟增产幅度最高(E=4.1%)。

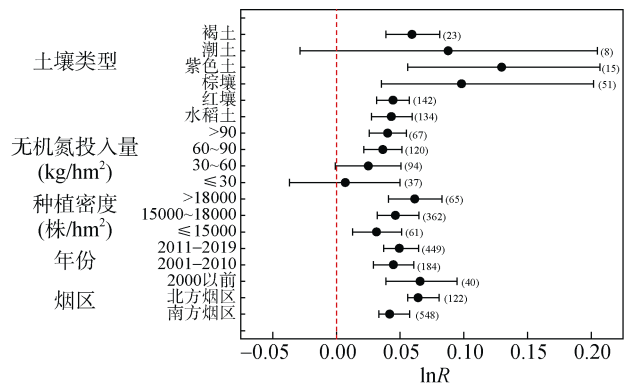


图 3 其他因素对有机无机配施增产效果的影响
Fig. 3 Effects of other factors on yield-increase effect of combined application of organic and inorganic fertilizers

将种植密度、试验时间和植烟区域等因素划分为不同水平进行分析。统计结果(图 3)显示，与单施化肥相比，有机无机配施对 3 种植植密度水平的烤烟增产效应均达到显著水平，但种植密度高低不影响有机无机配施对烤烟的增产效应。从试验时间来看，与单施化肥相比，有机无机配施在不同年份间的烤烟增产效应均表现为显著的正效应，其中 2000 年以前有机无机配施处理的烤烟产量增幅最高，E 为 6.79%。从图 4 可知，随着年份的增大，有机无机配施处理的烤烟产量处于线性增加趋势(y=76.404x+2101.5, R²=0.5735, n=673)，且不同年份间有机无机配施处理的烤烟产量存在显著性差异(P<0.05)。将烤烟种植区域划分为南方烟区和北方烟区，与单施化肥处理相比，有机无机配施处理的烤烟产量在南北烟区均表现为显著的正效应，其中南方烟区的烤烟增产幅度为 4.27%，北方烟区的烤烟增产幅度为 6.63%，但南北烟区之间无显著差异。

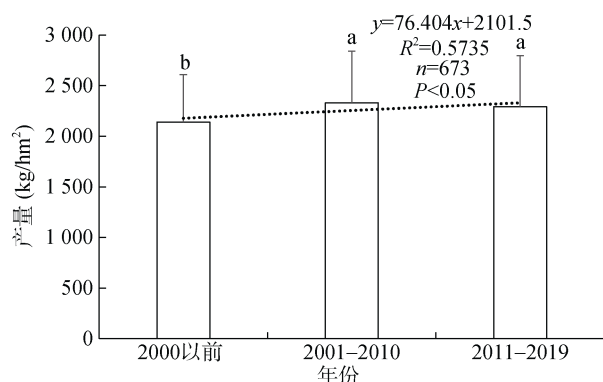


图 4 不同年份间有机无机配施烤烟产量的差异

Fig. 4 Differences in yields of flue-cured tobacco in different years

3 讨论

有机肥部分替代化肥是实现我国农业绿色发展的重要举措。本研究表明,与单施化肥相比,有机无机配施显著提高了烤烟产量和上等烟叶比例,平均增幅分别为 4.68% 和 13.55%。究其原因可能是化肥是一种速效养分,易随土壤水移动从而被淋洗与挥发,单施化肥的养分不易被烟株根系及时吸收,而有机肥具有缓效养分,含有多种中微量元素,且能够促进土壤微生物繁殖,快速活化土壤养分。当有机肥与化肥配施后使植烟区土壤的养分趋于平衡,促进烤烟正常生长发育,增加烟叶的干物质积累量,从而提高烤烟产量和上等烟叶比例^[21-22]。烟叶化学成分分析显示,与单施化肥相比,有机无机配施提高了烟叶还原糖、钾离子和水溶性氯离子含量,降低总氮和烟碱含量(图 1),使烟叶化学成分更加协调(表 2),从而改善烟叶内在品质。这可能是化肥配施有机肥后提高了烟株根系酶活性,加快了土壤有机营养转化和碳氮代谢^[23-24],并使土壤中养分释放速率与烟株根系对养分吸收规律较一致^[25-26],促进烟叶各物质转化,从而改善烟叶品质。但不同植烟区有机无机配施对烤烟产量影响的效果存在较大差异^[6, 27-28],可能受植烟区土壤类型、试验时间、植烟区域、土壤性状、种植密度以及施肥量等因素的影响较大。因此,本研究以单施化肥为对照,系统整合分析了不同因素下烤烟有机无机配施的产量效应,为今后的相关研究提供参考。

土壤是烤烟吸收营养和水分的场所。与单施化肥相比,土壤越“瘦”,如有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量越低,有机无机配施的增产效果越显著,其原因是在高肥力植烟土壤区,有机无机配施虽然可以提高土壤中有有机质和速效养分的含量,维持土壤肥力,但进一步提升烤烟产量的空间较小。总体来看,在土壤肥力较低的烟区,化肥配施有机肥后烤烟产量

的增幅较高,可能是因为对于低肥力土壤,有机肥提供的各种养分更有效地起到了提高土壤综合肥力并及时供给烤烟养分吸收的作用。有机肥对产量的提升作用在不同 pH 植烟土壤上没有显著差异,可能是有机肥是一种完全肥料,具有较强的缓冲能力,均可创造适宜烟株生长发育的土壤 pH 条件。不同土壤类型下有机无机配施所生产的烟叶产量和品质也存在差异。有机无机配施处理的烤烟产量在紫色土上表现为显著的正效应,且增产幅度最高,可能是紫色土土壤有机质含量较低,氮磷含量也低,锌硼缺乏严重,保水抗旱能力差,而有机肥具有内在优势,能够及时有效地培肥土壤与供给烟株吸收不同的养分。

研究表明,在土壤中有有机氮释放速率与烤烟对氮素需求规律不相一致,可能会导致前期供氮不足、后期供氮过多,从而降低烟株根系对氮素的吸收利用^[26],因此有机氮需与无机氮合理配施,以提高土壤微生物活性并促进氮素转化^[23]。当无机氮施用量 $\leq 60 \text{ kg/hm}^2$ 和 $>60 \text{ kg/hm}^2$ 时,有机无机配施对烤烟增产效应存在显著性差异($P<0.05$),且当无机氮施用量 $>90 \text{ kg/hm}^2$ 时烤烟增产幅度最高($E=4.1\%$)。而有机肥与无机肥的配比也会影响烤烟产量与品质。徐刚等^[13]研究发现,当化肥与有机肥配比为 3:1 时,可显著提高烟叶的产值和上中等烟比例,更能改善烟叶化学成分的协调性。李文科等^[29]研究表明,当化肥与有机肥配比为 7:3 时,烟叶产量、产值、上等烟比例和化学成分均达到最佳。但也有研究表明,化肥与有机肥配比为 7:3 的烤烟产量与其他配比的烤烟产量没有显著性差异^[30]。基于文献数据的局限性,本文对于不同有机无机配施比例的增产效应没有进行具体分析,还需进一步研究。

与单施化肥相比,在 2000 年以前有机无机配施处理的烤烟产量增幅最高,可能是随着时间的推移,烟农为了追求产量与经济效益最大化,连年大量施用肥料,导致土壤综合肥力普遍提高,从而降低有机无机配施的增产幅度。但有机无机配施处理的烤烟产量在逐年呈线性增加趋势,且在 $P<0.05$ 水平上,不同年份间有机无机配施处理的烤烟产量差异显著(图 4),可能是随着时间的推移,科研工作者对烤烟有机无机配施技术研究的不断深入和优化以及各种新型高效有机肥料的广泛应用,如生物有机肥,供肥稳定,肥效持久,与适量的化肥配施后,不仅能促进烤烟对大量元素的营养需求,还能满足烟株对中微量元素的平衡吸收,使营养成分更加协调。此外,还可能与植烟区土壤质量不断改善有关。从种植区域来看,与单

施化肥相比,有机无机配施在南北烟区产量增幅差异不显著,北方烟区产量增幅高于南方烟区,主要原因可能是南方烟区高温多雨造成的氮素损失比例较高,除了残留在土壤中以外,还可能通过淋洗、径流、反硝化等途径损失。北方烟区的降水少,投入的氮素以及土壤中残留和矿化的氮素利用率较高,并且南方烟区收获烟株带走的磷量占肥料投入磷量的平均比例低于北方烟区^[31]。从种植密度来看,与单施化肥相比,种植密度高低不影响有机无机配施对烤烟的增产效应,均达到显著水平。

4 结论

本研究通过烤烟有机无机配施相关文献的整合分析,揭示了与单施化肥相比,有机无机配施可显著提高烤烟产量和上等烟叶比例,显著降低烟碱和总氮含量,显著提高还原糖和钾离子含量,但对水解性氯离子含量没有显著影响,总体上可改善烟叶化学成分的协调性。有机无机配施对烤烟的增产效应受时间、种植密度与种植区域的影响显著,且有机无机配施下随着时间的推移,烤烟产量呈线性增加趋势。肥力越低,有机无机配施的增产效果越显著。当无机氮施用量 $>60 \text{ kg/hm}^2$ 时,有机无机配施对烤烟存在显著的增产效应,且当无机氮施用量 $>90 \text{ kg/hm}^2$ 时,增产幅度最高。不同有机无机配施比例的增产效应还需进一步研究。

参考文献:

- [1] FAO. Faostat:2019[DB/OL].[2021-09-16]. <http://faostat.fao.org/default.aspx>.
- [2] 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.
- [3] 杨滨键,尚杰,于法稳. 农业面源污染防治的难点、问题及对策[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(2): 236–245.
- [4] 陈朝阳,吴平,陈星峰,等. 南平市植烟土壤氮、磷、钾养分状况与演变趋势[J]. 中国农学通报, 2011, 27(25): 68–76.
- [5] 潘义宏,顾毓敏,王瑞宝,等. 不同有机肥配施对植烟土壤肥力及云烟 105 综合品质的影响[J]. 河南农业大学学报, 2018, 52(2): 179–186.
- [6] 余小芬,杨树明,邹炳礼,等. 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.
- [7] Hartl W, Putz B, Erhart E. Influence of rates and timing of biowaste compost application on rye yield and soil nitrate levels[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2003, 39(3): 129–139.
- [8] 李晓婷,常寿荣,孔宁川,等. 不同有机肥与无机肥配施对烤烟生长及铅、镉含量的影响[J]. 中国烟草科学, 2013, 34(5): 37–41.
- [9] 齐永杰,徐文兵,邓小华,等. 根区施用不同生物有机肥对稻茬烤烟生长和产质量的影响[J]. 烟草科技, 2018, 51(5): 24–31.
- [10] 何光道. 不同有机肥用量对土壤养分、烤烟农艺性状、产量及品质的影响[D]. 湖南: 湖南农业大学, 2016.
- [11] 尹振华,樊红柱,吴绍军,等. 有机无机肥配施对烟叶综合效益的影响[J]. 宁夏农林科技, 2016, 57(5): 26–28,33.
- [12] 介晓磊,王镇,化党领,等. 生物有机肥对土壤氮磷钾及烟叶品质成分的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(1): 109–114.
- [13] 徐刚,戴勋,王毅,等. 不同有机—无机氮对比对烤烟生长及产量和质量的影响[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(3): 570–573.
- [14] 农传江,汤利,徐智,等. 有机肥部分替代化肥对土壤有机碳库和烤烟经济性性状的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2016, (4): 70–75.
- [15] Bender D J, Contreras T A, Fahrig L. Habitat loss and population decline: A meta-analysis of the patch size effect[J]. *Ecology*, 1998, 79(2): 517–533.
- [16] 蔡岸冬,张文菊,杨品品,等. 基于 Meta-Analysis 研究施肥对中国农田土壤有机碳及其组分的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(15): 2995–3004.
- [17] 林北森,农世英,周文亮,等. 功能性有机肥对烤烟性状及品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(20): 107–109.
- [18] 韩富根. 烟草化学[M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2010: 196–200.
- [19] 刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [20] 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.
- [21] 何冬冬,魏欣琪,林紫婷,等. 不同有机肥对植烟红壤真菌群落结构及功能的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(11): 2081–2094.
- [22] 沈中泉,郭云桃,张在淳,等. 有机无机肥料配合施用对烟叶品质的影响[J]. 烟草科技, 1988, 21(6): 49–53.
- [23] 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.
- [24] 史宏志,韩锦峰. 烤烟碳氮代谢几个问题的探讨[J]. 烟草科技, 1998, 31(2): 34–36.

- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 马二登, 李军营, 马俊红, 等. 土壤类型和有机无机肥配施比例对烟叶产质量的影响[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(35): 13546-13549.
- [28] 张晓龙, 普郑才, 陈芳锐, 等. 有机无机肥配施对红花大金元烤烟产质量的影响[J]. 现代农业科技, 2010(7): 54-56.
- [29] 李文科, 郭祥, 刘昌华, 等. 化肥氮与有机肥氮对比对咸丰烤烟产质量的影响[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(S2): 225-227.
- [30] 胡保文, 赵文军, 薛开政, 等. 有机肥与无机肥不同施用对比对烤烟‘K326’产质量的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2016, 31(2): 316-321.
- [31] 陶芾, 滕婉, 李春俭, 等. 我国烤烟生产体系中的养分平衡[J]. 中国烟草科学, 2007, 28(3): 1-5.