

doi:10.3969/j.issn.1002-2481.2024.05.14

## 不同肥料运筹模式对烤烟生长及产质量的影响

陈大江<sup>1</sup>, 杨青云<sup>1</sup>, 朱宏强<sup>2</sup>, 吕鹏辉<sup>2</sup>, 刘远上<sup>2</sup>, 石成广<sup>2</sup>, 宋文峰<sup>2</sup>,  
王戈<sup>1</sup>, 王娜<sup>1</sup>, 杜宇<sup>1</sup>, 白羽祥<sup>1</sup>, 代惠娟<sup>2</sup>, 周鹏<sup>1</sup>

(1. 云南农业大学烟草学院, 云南昆明 650201; 2. 河北中烟工业有限责任公司, 河北石家庄 050051)

**摘要:**为了找到云南红河烟区的最适肥料施用模式, 试验以红花大金元为研究对象, 设置4个处理: 常规化肥施肥(CK)、化肥减量30%(A1)、化肥减量30%+微生物菌剂(A2)、化肥减量30%+微生物菌剂+生物质炭基肥(A3), 调查不同处理下烤烟的土壤理化性质、农艺性状、病害发生情况、经济性状、外观质量和烤后烟叶化学成分。结果表明, 对于农艺性状而言, A3处理的株高、最大叶长、有效叶片数均较大; CK对气候性斑点病的抗性最强, A3处理可有效降低番茄斑萎病毒病的发病率。在土壤理化性质方面, 与CK相比, A3处理能显著提高土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量, 增幅分别为15.16%、7.99%、17.02%、10.91%。A3处理的烤后烟叶外观质量和经济性状均优于其他处理, 与CK相比, 产量、均价、产值和中上等烟比例分别提高3.45%、6.56%、2.97%、1.17%; 从化学成分方面来看, 整体以A3处理表现最为协调。综上所述, 化肥减量30%+微生物菌剂+生物质炭基肥, 在促进烤烟生长、改善烟叶内在化学成分的协调性中效果最佳, 是最适宜的肥料运筹模式。

**关键词:** 生物质炭基肥; 微生物菌剂; 土壤理化性质; 烤烟生长

中图分类号: S572

文献标识码: A

文章编号: 1002-2481(2024)05-0107-07

## Effects of Different Fertilizer Operation Modes on Growth and Yield Quality of Flue-Cured Tobacco

CHEN Dajiang<sup>1</sup>, YANG Qingyun<sup>1</sup>, ZHU Hongqiang<sup>2</sup>, LÜ Penghui<sup>2</sup>, LIU Yuanshang<sup>2</sup>,  
SHI Chengguang<sup>2</sup>, SONG Wenfeng<sup>2</sup>, WANG Ge<sup>1</sup>, WANG Na<sup>1</sup>,  
DU Yu<sup>1</sup>, BAI Yuxiang<sup>1</sup>, DAI Huijuan<sup>2</sup>, ZHOU Peng<sup>1</sup>

(1. College of Tobacco Science, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. Hebei Tobacco Industry Co., Ltd., Shijiazhuang 050051, China)

**Abstract:** To identify the most appropriate fertilizer application mode in the Honghe tobacco-growing area of Yunnan province, in this the experiment, Honghua Dajinyuan was selected as the research subject and 4 treatments were established, namely conventional chemical fertilizer fertilization(CK); 30% of reduction in chemical fertilizer(A1); 30% of reduction in chemical fertilizer + microbial agent(A2); 30% of reduction in chemical fertilizer + microbial agent + biochar-based fertilizer (A3). The soil physicochemical properties, agronomic traits, disease occurrence, economic traits, appearance quality, and chemical composition of flue-cured tobacco under different treatments were determined. The results indicated that regarding agronomic traits, the plant height, maximum leaf length, and effective leaf number of the A3 treatment were higher. CK exhibited the strongest resistance to climate spot disease, and the A3 treatment could effectively reduce the incidence of tomato spot wilt virus disease. Concerning soil physicochemical properties, compared with CK, the A3 treatment could significantly increase the contents of organic matter, alkali-hydrolyzed nitrogen, available phosphorus, and available potassium in the soil by 15.16%, 7.99%, 17.02%, and 10.91%, respectively. The appearance quality and economic traits of flue-cured tobacco leaves under the A3 treatment were superior to those under other treatments. Compared with CK, the yield, average price, output value, and proportion of medium-grade tobacco increased by 3.45%, 6.56%, 2.97%, and 1.17%, respectively. In terms of chemical composition, the overall performance of the A3 treatment was the most coordinated. In conclusion, 30% of reduction in chemical fertilizer + microbial agent + biochar-based fertilizer had the best effect on promoting the growth of flue-cured tobacco and improving the coordination of the internal chemical components of tobacco leaves, and was the most appropriate fertilizer operation mode in flue-cured tobacco planting.

**Key words:** biochar-based fertilizer; microbial agent; soil physicochemical properties; growth of flue-cured tobacco

收稿日期: 2023-11-07

基金项目: 河北中烟工业有限责任公司科技项目(2022130000340019)

作者简介: 陈大江(2000-), 男, 云南曲靖人, 在读硕士, 研究方向: 烟草栽培与生理生化。

通信作者: 代惠娟(1976-), 女, 河北石家庄人, 高级农艺师, 主要从事烟叶生产及烟叶质量分析评价研究工作。

化肥在烟草产业发展过程中发挥着重要作用,但长期以来,因化肥的不合理施用造成植烟土壤肥料过剩但是肥力却下降,土传病害加剧和土壤板结日益严重,导致烟叶的经济效益和品质逐渐下降<sup>[1-2]</sup>。如何通过探索高效、科学、友好的肥料运筹模式来保障烤烟产质量稳定,已成为目前亟待解决的关键问题<sup>[3]</sup>。近年来,云南烟草行业开始尝试推广减肥增效技术,在解决肥料不合理利用造成的问题和烤烟提质增效上收到了一定的效果。

微生物菌剂作为一种新型肥料,通过微生物生命活动来改善烟株生长环境<sup>[4]</sup>,在烤烟种植过程中具有巨大潜力。孟祥等<sup>[5]</sup>研究表明,微生物肥料可以提高土壤生物活性和养分利用率,从而刺激和调节烤烟生长发育,进而促进烟株生长,并且对烟株病害的发生有一定的防治效果。生物质炭基肥是以生物质炭为基质,通过添加各种营养元素混合制成的一种新型肥料<sup>[6]</sup>,具有改良土壤<sup>[7]</sup>、使作物提质增产及养分缓释等<sup>[8]</sup>优良特性。张金峰<sup>[9]</sup>研究认为,化肥减量 60% 配施 40% 的生物质炭基肥最有利于改善土壤酶活性和提高烟叶产质量。陈燕等<sup>[10]</sup>研究表明,施用烟秆生物质炭基肥可提高土壤中活性有机质的含量,从而改善土壤 pH 值,提高水解氮和速效钾含量,促进烟株生长。施用生物质炭基肥可增加田间持水量和透气性,改良土壤 pH 和养分有效性<sup>[11]</sup>。在生产中,施用生物质炭基肥可实现化肥减施<sup>[12]</sup>,提高烟农收益,是实现烟草行业可持续发展的重要新型肥料。以上研究主要关注单一施用生物质炭基肥或微生物菌剂对植烟土壤的影响,而在化肥减施的基础上通过生物质炭基肥和微生物菌剂的协同作用对烤烟生长及产质量的影响的研究较少。

本试验在云南省红河弥勒烟区进行,将常规化肥、化肥减施、微生物菌剂和生物质炭基肥结合运用,通过设置不同的肥料配比,比较分析不同肥料运筹模式下,烤烟农艺性状、经济性状、外观质量和烤后烟叶化学成分等指标,最终明确红河烟区最适的肥料运筹模式,旨在为河北中烟基地单元建设提供理论依据和技术指导。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2022 年 4 月 28 日至 9 月 1 日在云南省弥勒市西二镇进行。该地(103°10'E,24°25'N)海拔 1 799.3 m,土壤基础理化性质:pH 值 6.32,有机质含量 23.28 g/kg,碱解氮含量 110.85 mg/kg,速效磷

含量 21.52 mg/kg,速效钾含量 264.63 mg/kg。前茬作物为小麦,土地平坦开阔,光照良好。

### 1.2 试验材料

供试烤烟品种为红花大金元,由云南省农业科学院烟草研究所提供。化肥统一采用烟草专用肥(N:P:K=12:8:25),由云南省烟草公司生产。有机肥为当地腐熟农家肥(有机质含量 16.75%,N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 含量分别为 1.60%、0.96%、2.43%)。生物质炭基肥为玉米秸秆生物质炭基肥(有机质含量 50%,N 含量 1.20%,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量 0.60%,K<sub>2</sub>O 含量 2.40%),通过玉米秸秆和烟草专用复合肥制成,由云南农业大学提供。微生物菌剂选用抗重茬微生物菌剂,有效成分主要为芽孢杆菌(总有效活菌数≥20 亿个/g)。

### 1.3 试验设计

试验设置不同肥料施用方式 4 个处理,每个处理 3 次重复,共 12 个小区(8 m×12 m)。每小区不少于 100 株烟株。各处理施肥方式为:当地常规施肥(CK)、烟草专用复合肥 1 200 kg/hm<sup>2</sup>,农家腐熟有机肥 3 000 kg/hm<sup>2</sup>;A1. 烟草专用复合肥 840 kg/hm<sup>2</sup>,农家腐熟有机肥 3 000 kg/hm<sup>2</sup>;A2. 在 A1 基础上加施微生物菌剂 3 kg/hm<sup>2</sup>;A3. 在 A2 基础上加施生物质炭基肥 1 500 kg/hm<sup>2</sup>。各处理的化肥、炭基肥均以基肥形式一次性施入,微生物菌剂于移栽后 15、30、45 d 以追肥形式分 3 次施入,菌剂稀释 500 倍液灌根,即取 20 g 溶于 10 L 水中,每株施 100 mL。其他管理措施按照当地优质烟叶生产技术体系进行。

### 1.4 测定项目及方法

1.4.1 农艺性状的测定 分别于移栽后 30、60、90 d,各小区分别选取 3 株最具代表性的烟株,进行株高、茎围、有效叶片数等主要农艺性状的测定。具体测定按照 YC/T 142—2010《烟草农艺性状调查》方法进行。

1.4.2 病害调查 依据中华人民共和国国家标准 GB/T 23222—2008《烟草病虫害分级及调查方法》对田间自然发病情况进行病害调查。

1.4.3 土壤理化性质的测定 采收完成后,通过 5 点取样采用抖根法收集烟株根际土壤样品,用于测定土壤理化性质。采用电位法测定土壤 pH 值;采用硫酸重铬酸钾氧化法测定有机质含量;采用碱解扩散法测定土壤水解性氮;采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定速效磷含量;采用火焰光度法测定速效钾含量<sup>[13-14]</sup>。

1.4.4 烤后烟叶化学成分测定 烟叶成熟烘烤后,

每个处理取C2F烟叶各1 kg进行烟叶化学成分测定。采用YC/T 159—2002的方法测定总糖和还原糖含量、YC/T 161—2002的方法测定总氮的含量、YC/T 160—2002的方法测定烟碱的含量、YC/T 162—2002的方法测定氯含量、YC/T 217—2007的方法测定钾含量,同时进行糖碱比、氮碱比及钾氯比的计算。

1.4.5 原烟外观质量及经济性状调查 烟叶成熟采收烘烤后,按照国家烟叶分级标准42级进行分级,并随机抽取每个处理的相同部位叶片各10片,进行外观质量鉴定,并计算产量及中上等烟比例。根据2022年云南省红河州烤烟收购价格,计算各个处理产值及均价。

1.5 数据分析

试验数据采用SPSS 23.0进行单因素ANOVA

方差分析,采用Excel 2013处理数据作图。

2 结果与分析

2.1 不同肥料运筹模式下烤烟土壤理化性质分析

由表1可知,不同施肥处理后植烟土壤的理化性质表现为A3处理较好,A1处理最差。与A1、CK处理相比,A3处理能显著提高土壤中的pH值及有机质、速效磷、速效钾含量( $P<0.05$ ),与A1处理相比,增幅分别为6.71%、15.22%、17.80%、16.61%;与CK相比,增幅分别为9.62%、15.16%、17.02%、10.91%。可见,A1处理(化肥减施)的土壤各营养成分与CK相比有所降低,A2、A3处理对植烟土壤养分含量有促进作用且能改善土壤pH。说明微生物菌剂和生物质炭基肥均能不同程度地改善根际土壤的理化性质。

表1 不同肥料运筹模式下烤烟土壤理化性质分析

Tab.1 Analysis of physicochemical properties of flue-cured tobacco soil under different fertilizer operation modes

处理 Treatment	pH	有机质/(g/kg) Organic matter	碱解氮/(mg/kg) Alkali-hydrolyzed nitrogen	速效磷/(mg/kg) Available phosphorus	速效钾/(mg/kg) Available potassium
CK	5.51±0.02b	24.08±0.50b	114.37±6.48a	22.79±0.39c	271.83±4.80b
A1	5.66±0.39b	23.72±0.53bc	102.40±3.95b	22.64±1.07c	258.53±3.12c
A2	5.70±0.41b	23.14±0.12c	116.18±4.56a	24.87±0.50b	274.67±5.06b
A3	6.04±0.11a	27.73±0.23a	123.51±6.28a	26.67±0.74a	301.48±3.92a

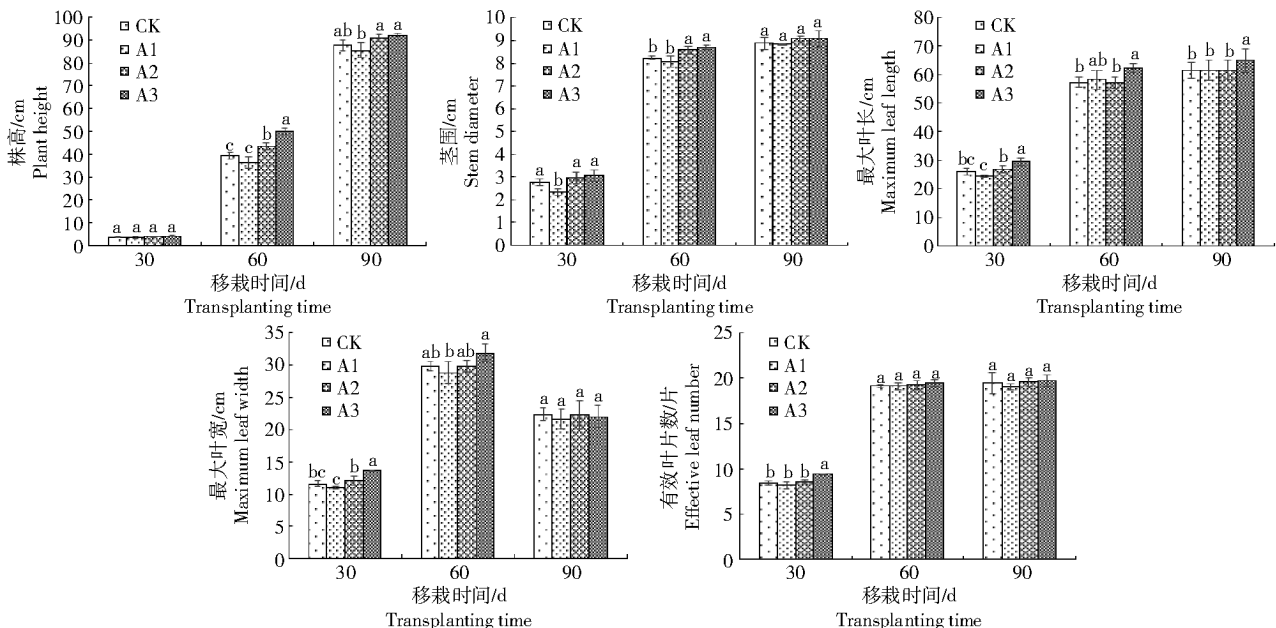
注:同一指标后不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。下表同。

Note: Different lowercase letters after the same indicator indicated significant difference( $P<0.05$ ). The same as below.

2.2 不同肥料运筹模式下烤烟农艺性状分析

析结果如图1所示。

不同肥料运筹模式下烤烟主要农艺性状的分



图中不同小写字母表示同一时期各处理间差异显著( $P<0.05$ )

In the figure, different lowercase letters for the same indicator during the same period indicated significant differences( $P<0.05$ )

图1 不同肥料运筹模式下烤烟主要农艺性状的分析

Fig.1 Analysis of main agronomic traits of flue-cured tobacco under different fertilizer operation modes

由图 1 可知,在移栽 30 d 后,各处理间株高差异不显著;在茎围方面,A1 处理的茎围显著低于 CK、A2、A3 处理( $P<0.05$ ),CK、A2、A3 处理间差异不显著;A3 处理的最大叶长、叶宽均显著高于 CK、A1 和 A2 处理,A2 处理显著高于 A1 处理( $P<0.05$ );有效叶片数方面,A3 处理显著高于 CK、A1、A2 处理( $P<0.05$ )。移栽 60 d 后,在株高、茎围方面,各处理呈现出 CK 和 A1 显著低于 A2 和 A3( $P<0.05$ );在最大叶长方面,A3 处理显著高于 CK、A2 处理( $P<0.05$ );最大叶宽方面,只有 A3 与 A1 处理间差异显著( $P<0.05$ );有效叶片数方面,各处理间无显著差异。在移栽 90 d 后,A2、A3 处理的株高显

著高于 A1 处理( $P<0.05$ );各处理茎围之间均无显著差异;最大叶长方面,A3 处理显著高于 CK、A1 和 A2 处理( $P<0.05$ );各处理间最大叶宽和有效叶片数在移栽后 90 d 均无显著差异。综上所述,各处理的农艺性状大小表现为  $A3>A2>CK>A1$ 。

### 2.3 不同肥料运筹模式下烤烟主要病害的病情指数分析

由表 2 可知,在烤烟番茄斑萎病毒病方面,发病率和病情指数最高的是 CK(常规施肥处理),表现出抗病性较好的是 A1 处理;在烤烟气候性斑点病方面,A3 处理最易感染,CK 的抗性最好。

表 2 不同肥料运筹模式下烤烟主要病害的病情指数分析

Tab.2 Analysis of disease index of flue-cured tobacco under different fertilizer operation modes

处理 Treatment	番茄斑萎病毒病 Tomato spot wilt virus disease		气候性斑点病 Climate spot disease	
	发病率/% Incidence rate	病情指数 Disease index	发病率/% Incidence rate	病情指数 Disease index
CK	3.33±0.21a	9.25±0.56a	0.83±0.07c	2.50±0.17c
A1	2.08±0.31c	6.25±0.34c	1.67±0.19b	5.00±0.40a
A2	2.92±0.28ab	6.50±0.54c	1.25±0.17bc	3.75±0.34b
A3	2.50±0.27bc	7.50±0.58b	3.33±0.37a	5.63±0.41a

### 2.4 不同肥料运筹模式下烤烟烤后烟叶化学成分及协调性分析

由表 3 可知,与 CK 相比,A2、A3 处理有助于提高烟叶的还原糖、总糖、氯和钾的含量并且糖碱比和氮碱比增大,烟碱和钾氯比却有降低的趋势;与 A1 处理相比,A2、A3 处理的总糖、还原糖等养分含量均增大;A2、A3 处理间化学成分差异不明显。依

据王彦亭等<sup>[15]</sup>提出的优质烤烟化学成分指标范围可知,CK 的烤烟烟碱含量过高,氯含量过低;A1 处理下总氮、氯和钾含量过低导致氮碱比不在优质烤烟范围内;与 CK、A1 相比,A2、A3 处理下烤烟化学成分指标多数处于优质烤烟范围内,并且以 A3 处理最优。综上,A3 处理能较好改善烤后烟叶化学成分协调性。

表 3 不同肥料运筹模式下烤烟烤后烟叶化学成分及协调性分析

Tab.3 Analysis of chemical composition and coordination of flue-cured tobacco leaves under different fertilizer operation modes

处理 Treatment	总糖/% Total sugar	还原糖/% Reducing sugar	烟碱/% Nicotine	总氮/% Total nitrogen	氯/% Chlorine	钾/% Potassium	糖碱比 Sugar alkali ratio	氮碱比 Nitrogen alkali ratio	钾氯比 Potassium-chloride ratio
CK	22.31±1.39b	19.52±1.66b	2.92±0.29a	2.35±0.19a	0.34±0.04b	2.85±0.15b	6.78±1.24b	0.81±0.07a	8.38±1.27a
A1	23.98±1.36ab	20.26±1.35b	2.26±0.38b	1.91±0.17b	0.34±0.04b	2.30±0.16c	9.21±1.54a	0.86±0.14a	6.85±0.30a
A2	26.53±1.80a	23.45±1.15a	2.42±0.20ab	2.26±0.09a	0.46±0.05a	3.29±0.11a	9.72±1.12a	0.94±0.10a	7.14±0.52a
A3	26.05±1.64a	22.36±1.77ab	2.63±0.23ab	2.53±0.13a	0.45±0.07a	3.39±0.07a	8.57±1.33ab	0.97±0.12a	7.64±1.06a
适宜范围 Suitable range	24~28	18~22	2.2~2.8	2.0~2.5	0.3~0.8	>2.5	8.5~9.5	0.95~1.05	≥8

### 2.5 不同肥料运筹模式下烤烟经济性状及原烟外观质量分析

2.5.1 不同肥料运筹模式对烤烟原烟外观质量分析 从表 4 可以看出,各处理在成熟度、颜色、色度和叶片结构等方面均呈现出高度的一致性;与 CK、

A1、A2 处理相比,A3 处理油分较多;就身分而言,A1 处理呈现出稍薄的厚度,CK、A2、A3 处理则展现出中等的厚度。总的来看,A3 处理在原烟外观质量方面呈现出最好的表现。

表4 不同肥料运筹模式下烤烟主要外观质量分析  
 Tab.4 Analysis of main appearance quality of flue-cured tobacco under different fertilizer operation modes

处理 Treatment	成熟度 Maturity	颜色 Colour	色度 Chroma	油分 Oil content	叶片结构 Leaf structure	身分 Status
CK	成熟	桔黄	强	有	疏松	中等
A1	成熟	桔黄	强	有	疏松	稍薄
A2	成熟	桔黄	强	有	疏松	中等
A3	成熟	桔黄	强	多	疏松	中等

2.5.2 不同肥料运筹模式下烤烟经济性状分析 由表5可知,A3处理的烟叶各经济性状均最高,A1处理最低,除均价外,其他指标均表现为A3处理显著高于A1( $P<0.05$ ),其中产量、均价、产值和中上等烟占比增幅分别为6.70%、7.97%、15.23%、3.43%。

A3与A2处理间差异不显著,但依然表现为A3处理的各指标优于A2处理;在产量和产值方面,A3显著高于CK( $P<0.05$ )。总体上,与CK、A1处理相比,A2和A3处理的产量和产值均呈增加趋势;A1与CK相比呈降低趋势,整体以A3处理效果最佳。

表5 不同肥料运筹模式下烤烟主要经济性状分析  
 Tab.5 Analysis of main economic traits of flue-cured tobacco under different fertilizer operation modes

处理 Treatment	产量/(kg/hm <sup>2</sup> ) Yield	均价/(元/kg) Average price	产值/(元/hm <sup>2</sup> ) Output value	中上等烟占比/% Proportion of medium-grade tobacco
CK	2 771.83±54.36bc	30.27±0.60a	83 880.73±1 446.84b	86.47±1.99ab
A1	2 687.50±16.62c	28.87±1.40a	77 563.87±3 290.37c	84.58±1.44b
A2	2 836.45±50.33ab	30.13±1.68a	85 416.50±3 327.30ab	86.05±1.08ab
A3	2 867.50±59.53a	31.17±0.35a	89 380.73±2 675.52a	87.48±1.04a

### 3 结论与讨论

目前,烤烟种植中连作现象明显,导致化肥残留严重,土壤质量降低,土壤病虫害日渐凸显,肥料不能充分利用<sup>[16-17]</sup>。因此,如何改良植烟土壤对化肥的吸收利用成为较为关注的焦点。根据试验地基础土壤理化性质与土壤肥力指标丰缺程度分级标准比较发现<sup>[14]</sup>,当地土壤养分并不缺乏,大量的化肥施入不仅对烤烟生长促进作用不明显,而且影响植烟土壤的质量,降低经济效益。为此,本研究通过设计化肥减施来探究减少化肥施用量对烤烟生长发育、病害和产质量的影响。结果表明,化肥减施30%后,有效降低番茄斑萎病毒病的发病率,但烤烟的农艺性状、产质量均低于常规施肥处理。这可能是由于土壤对化肥的吸收转化较少、化肥减量过多造成土壤中有效养分较少,影响了烤烟的生长发育,并导致减产<sup>[18]</sup>。由此可见,探究更加科学友好的肥料运筹模式来提高烤烟化肥利用率,保障烤烟产质量稳定显得极其重要。

微生物菌肥作为一种新型肥料逐渐应用于烤烟生产中,通过调整土壤微环境平衡,发挥有益微生物的功能,释放更多的土壤肥力,促进烟株健康生长<sup>[19-20]</sup>。何志群等<sup>[21]</sup>研究发现,微生物菌剂对提

高烤烟主要农艺性状指标有一定的作用,并且能够提高烟叶的钾氯比和糖碱比,促进烟叶化学成分协调性<sup>[22]</sup>。本试验中,在化肥减施的基础上增施微生物菌肥提高了植烟土壤有机质、速效钾、有效磷等养分含量,有效改善了化肥减施处理下烤烟的农艺性状,与CK相比烤烟产量和产值增幅分别为2.33%、1.83%。可能原因是本试验所用微生物菌剂主要含芽孢杆菌,芽孢杆菌能活化土壤养分,防止土壤板结,促进烤烟的生长发育,增强根系活力<sup>[23]</sup>,菌剂中有益细菌的协同作用能改善酸性土壤,调节土壤养分,利于烤烟吸收,进而促进烟株生长。

生物质炭基肥通过其有机碳架起载体作用,实现了炭质—矿物质—化肥养分的团聚体结合<sup>[24]</sup>,延缓了化肥释放,高碳基肥中的有机质和生物炭占比较大,为植物提供所需的速效养分<sup>[25]</sup>,从而减少化肥用量。陈宇琳等<sup>[26]</sup>研究表明,适宜的烟秆生物质炭基肥能有效提高烤烟经济性状和内在化学品质。施用生物质炭可显著增加烤后烟叶的总糖、还原糖和钾元素含量,降低烟碱含量从而增大糖碱比。糖碱比高,有助于提高烟叶的安全性,柔和烟气<sup>[27-29]</sup>。本试验中,化肥减量30%配施微生物菌剂和生物质炭基肥后提高了土壤中有机质、水解氮、速效钾、有效磷等养分含量,与CK相比分别增加15.16%、

7.99%、17.02%、10.91%，对烟株株高、最大叶长、叶宽和有效叶片数有较好的改善效果，提高了烤烟的产质量、总糖和还原糖含量，产量和产值与CK相比增幅分别达到3.45%、2.97%，且烤后烟叶化学品质更接近优质烤烟范围。试验结果比单一施用微生物菌剂效果更好，与徐凤丹等<sup>[30]</sup>研究得出高碳基肥+解淀粉芽孢杆菌配施下的烤烟经济效益和上等烟比例增幅最大的结果相似。微生物菌剂配施炭基肥对烟叶增产提质的原因，可能是生物质炭基肥中疏松多孔的结构为土壤微生物的生长、繁殖营造了一个优良的场所，增加了土壤微生物数量<sup>[31]</sup>。高碳基肥与微生物菌剂配施后，土壤中有益细菌、部分真菌的相对丰度与土壤速效养分含量存在显著相关性<sup>[32]</sup>；其次，生物炭含碳量高，可调节土壤C/N值，改善土壤微生物环境<sup>[33]</sup>，使烟叶中的内在物质分解、转化充分，促进养分积累，从而提升烟叶品质。

综上所述，微生物菌剂和生物质炭基肥兼顾化肥的速效性、生物质炭基肥的缓效性和微生物菌剂对改良土壤的作用，不仅能够促进烤烟生长，提高烤烟对某些病害的抗性，而且能提高烟叶内在化学成分协调性，改善烟叶化学品质，提高肥料利用率。本试验条件下，化肥减量30%+微生物菌剂、化肥减量30%+微生物菌剂+生物质炭基肥处理不仅与常规施肥处理相比有一定作用效果，而且较好改善单一化肥减施下的农艺性状，提高了烤烟的产质量和化肥利用率，提高了烟农经济效益，其中，以化肥减量30%+微生物菌剂+生物质炭基肥的效果最佳，在烤烟种植中具有良好的潜力，值得推广使用。

#### 参考文献：

- [1] 赵玉芬,尹应武.我国肥料使用中存在的问题及对策[J].科学通报,2015,60(36):3527-3534.  
ZHAO Y F, YIN Y W. Key scientific problems on establishing green fertilizer ensurance system[J]. Chinese Science Bulletin, 2015, 60(36):3527-3534.
- [2] 刘光辉,李迪秦,陈一凡,等.烤烟生长发育特性及产质量对施肥技术的响应[J].核农学报,2017,31(10):2032-2038.  
LIU G H, LI D Q, CHEN Y F, et al. Response of the flue-cured tobacco growth and development characters, yield and quality to the fertilizer application technology[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2017, 31(10):2032-2038.
- [3] 刘立昊.泸州烟区烤烟施肥现状及平衡调控施肥措施研究[D].雅安:四川农业大学,2018.  
LIU L H. Fertilization status and balanced fertilization measures in luzhou tobacco area[D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2018.
- [4] 杨丽平,徐赛,张锦韬,等.不同功能微生物菌剂对马龙烟区植烟土壤化学性质及烟叶品质的影响[J].江西农业学报,2022,34(10):64-70.  
YANG L P, XU S, ZHANG J T, et al. Effects of different functional microbial agents on soil chemical properties and tobacco leaf quality in Malong tobacco-growing areas[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2022, 34(10):64-70.
- [5] 孟祥,冯彬彬,彭友,等.不同微生物肥对烤烟生长发育及产质量的影响[J].山西农业科学,2020,48(3):436-440.  
MENG X, FENG B B, PENG Y, et al. Effects of different microbial fertilizer application on growth and quality of flue-cured tobacco[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2020, 48(3):436-440.
- [6] LI Y L, CHENG J Z, LEE X Q, et al. Effects of biochar-based fertilizers on nutrient leaching in a tobacco-planting soil[J]. Acta Geochimica, 2019, 38(1):1-7.
- [7] KAVITHA B, REDDY P V L, KIM B, et al. Benefits and limitations of biochar amendment in agricultural soils: a review[J]. Journal of Environmental Management, 2018, 227:146-154.
- [8] 赵泽州,王晓玲,李鸿博,等.生物质炭基肥缓释性能及对土壤改良的研究进展[J].植物营养与肥料学报,2021,27(5):886-897.  
ZHAO Z Z, WANG X L, LI H B, et al. Slow-release property and soil remediation mechanism of biochar-based fertilizers[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2021, 27(5):886-897.
- [9] 张金峰,谭小兵,吕世保,等.化肥减量配施炭基肥对烤烟产质量及土壤酶活性的影响[J].南方农业学报,2022,53(11):3079-3087.  
ZHANG J F, TAN X B, LYU S B, et al. Effects of chemical fertilizer reduction combined with biochars-based fertilizers on yield and quality of flue-cured tobacco and soil enzyme activity [J]. Journal of Southern Agriculture, 2022, 53(11):3079-3087.
- [10] 陈燕,贾孟,孔明,等.烟秆生物质炭对连作植烟土壤养分及烟叶产质量的影响[J].西南农业学报,2023,36(9):2019-2025.  
CHEN Y, JIA M, KONG M, et al. Effects of tobacco stem biochar on soil nutrients, yield and quality of continuous cropping tobacco[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2023, 36(9):2019-2025.
- [11] 宋鹏,李慧,江厚龙,等.生物质炭基肥对重庆植烟区烤烟根系发育及产量和品质的影响[J].浙江农林大学学报,2023,40(6):1232-1240.  
SONG P, LI H, JIANG H L, et al. Effect of biochar-based fertilizer on root development, yield and quality of flue-cured tobacco in Chongqing tobacco growing area[J]. Journal of Zhejiang A & F University, 2023, 40(6):1232-1240.
- [12] 魏春辉,任奕林,刘峰,等.生物炭及生物炭基肥在农业中的应用研究进展[J].河南农业科学,2016,45(3):14-19.  
WEI C H, REN Y L, LIU F, et al. Research progress of application of biochar and biochar-based fertilizer in agriculture[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2016, 45(3):14-19.
- [13] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.  
BAO S D. Soil and agricultural chemistry analysis[M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [14] 陈江华,刘建利,李志宏,等.中国植烟土壤及烟草养分综合管理[M].北京:科学出版社,2008.  
CHEN J H, LIU J L, LI Z H. Comprehensive management of

- tobacco-growing soil and tobacco nutrients in China[M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [15] 王彦亭, 谢剑平, 李志宏. 中国烟草种植区划[M]. 北京: 科学出版社, 2010.  
WANG Y T, XIE J P, LI Z H. Division of tobacco planting in China[M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [16] 白羽祥, 史普西, 杨成翠, 等. 连作植烟土壤酚酸类物质积累特征及其相互作用关系分析[J]. 中国土壤与肥料, 2019(3): 22-28.  
BAI Y X, SHI P Y, YANG C C, et al. Analysis of accumulation characteristics of phenolic acids and their interactions in tobacco planted soil with different continuous cropping years[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2019(3): 22-28.
- [17] 杨成翠, 徐照丽, 史普西, 等. 氮肥运筹对烤烟养分积累和产质量的影响[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(6): 176-185.  
YANG C C, XU Z L, SHI P Y, et al. Effects of nitrogen fertilizer application on nutrient accumulation, yield and quality of flue-cured tobacco[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2020, 22(6): 176-185.
- [18] 黄广一. 化肥减量配施腐植酸对烤烟生长及产量品质的影响[D]. 昆明: 云南大学, 2022.  
HUANG G Y. Effects of chemical fertilizer reduction and humic acid on the growth and yield quality of flue-cured Tobacco [D]. Kunming: Yunnan University, 2022.
- [19] YANG Y H, CHEN D M, JIN Y, et al. Effect of different fertilizers on functional diversity of microbial flora in rhizospheric soil under tobacco monoculture[J]. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(1): 105-111.
- [20] 鲁艳红. 追施有机肥、生物菌肥消减烤烟连作障碍的效果研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2017.  
LU Y H. Study on the effect of topdressing organic fertilizer, biological fertilizer on reduction of flue-cured tobacco continuous cropping obstacle[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2017.
- [21] 何志群, 蒋南, 朱子亮, 等. 施用微生物菌剂对烤烟生长发育及抗病性的影响[J]. 农业技术与装备, 2021(5): 39-41.  
HE Z Q, JIANG N, ZHU Z L, et al. Effect of microbial fertilizer on flue-cured tobacco growth and disease resistance[J]. Agricultural Technology & Equipment, 2021(5): 39-41.
- [22] 梁永进, 尚海丽, 盘文政, 等. 微生物菌肥对‘K326’烤烟生长发育及产质量的影响[J]. 中国农学通报, 2021, 37(23): 45-51.  
LIANG Y J, SHANG H L, PAN W Z, et al. Effects of microbial fertilizer on growth and quality of flue-cured tobacco ‘K326’ [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2021, 37(23): 45-51.
- [23] 杨超才, 朱列书, 李迪秦, 等. 不同枯草芽孢杆菌用量对植烟土壤养分含量的影响[J]. 西南农业学报, 2018, 31(4): 779-785.  
YANG C C, ZHU L S, LI D Q, et al. Effect of different amount of *Bacillus subtilis* on nutrients of tobacco planting soils [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2018, 31(4): 779-785.
- [24] 潘根兴, 卞荣军, 程琨. 从废弃物处理到生物质制造业: 基于热裂解的生物质科技与工程[J]. 科技导报, 2017, 35(23): 82-93.  
PAN G X, BIAN R J, CHENG K. From biowaste treatment to novel bio-material manufacturing: biomaterial science and technology based on biomass pyrolysis[J]. Science & Technology Review, 2017, 35(23): 82-93.
- [25] 苏梦迪, 马啸, 胡丽涛, 等. 高碳基肥减氮施用对土壤肥力和细菌多样性的影响[J]. 农业生物技术学报, 2022, 30(6): 1174-1185.  
SU M D, MA X, HU L T, et al. Effects of high-carbon basal fertilizers combined with nitrogen reduction on soil fertility and bacterial diversity[J]. Journal of Agricultural Biotechnology, 2022, 30(6): 1174-1185.
- [26] 陈宇琳, 童晨晓, 吴凤英, 等. 烟秆炭基肥对烤烟生长和品质的影响[J]. 南方农业学报, 2022, 53(6): 1625-1633.  
CHEN Y L, TONG C X, WU F Y, et al. Effects of tobacco stem biochar-based fertilizer on growth and quality of flue-cured tobacco[J]. Journal of Southern Agriculture, 2022, 53(6): 1625-1633.
- [27] 王晓强, 许跃奇, 何晓冰, 等. 减氮配施生物炭基肥对豫中烤烟产质量的影响[J]. 贵州农业科学, 2019, 47(2): 32-36.  
WANG X Q, XU Y Q, HE X B, et al. Effects of applying biochar based fertilizer with nitrogen reduction on yield and quality of flue-cured tobacco in central Henan tobacco-growing region [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2019, 47(2): 32-36.
- [28] 李青山, 王德权, 杜传印, 等. 有机无机肥与生物炭配施对烤烟生长发育和烟叶质量的影响[J]. 土壤通报, 2021, 52(6): 1393-1401.  
LI Q S, WANG D Q, DU C Y, et al. Effect of combined application of organic and inorganic fertilizers and biochar on the growth and development of flue-cured tobacco and leaf quality [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2021, 52(6): 1393-1401.
- [29] 崔志燕, 张立新, 金保锋, 等. 高碳基土壤修复一体肥对烤烟氮钾含量、生长发育及产质量的影响[J]. 安徽农学通报, 2016, 22(12): 32-35.  
CUI Z Y, ZHANG L X, JIN B F, et al. Influences of soil remediation fusion fertilizer of high carbon-based on nitrogen and potassium content, growth and development, yield and quality of flue-cured tobacco[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2016, 22(12): 32-35.
- [30] 徐凤丹, 李亮, 张翔, 等. 高碳基肥与微生物菌剂配施对土壤肥力及烟叶产质量的影响[J]. 湖北农业科学, 2023, 62(1): 77-83.  
XU F D, LI L, ZHANG X, et al. Effects of high-carbon biochar-based fertilizer combined with microbial agent on soil fertility and yield-quality of tobacco[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2023, 62(1): 77-83.
- [31] HOCKADAY W C, GRANNAS A M, KIM S, et al. The transformation and mobility of charcoal in a fire-impacted watershed[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2007, 71(14): 3432-3445.
- [32] 李金融, 侯湖平, 王琛, 等. 基于高通量测序的复垦土壤细菌多样性研究[J]. 环境科学与技术, 2018, 41(12): 148-157.  
LI J R, HOU H P, WANG C, et al. Soil bacteria diversity of reclaimed soil based on high throughput sequencing[J]. Environmental Science & Technology, 2018, 41(12): 148-157.
- [33] WANG J Y, XIONG Z Q, KUZYAKOV Y. Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects[J]. GCB Bioenergy, 2016, 8(3): 512-523.