

不同微生物菌肥对烤烟生长发育、产量及品质的影响

施 铭¹ 朱宏强² 杨梦璇¹ 周艳宾² 代惠娟²
吕鹏辉² 刘 波² 王圣丰² 穆文坡² 杜 宇¹

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

摘 要 通过田间试验, 施用生物制剂类和复合制剂类的不同微生物菌肥, 研究其对烤烟土壤理化性质、生长发育、抗病性、光合特性、经济性状、烟叶化学成分及感官评吸的影响。结果表明, 施用微生物菌肥能有效提高土壤速效养分, 改善土壤酸化, 进而促进烤烟生长发育, 表现出较好的株高、叶长、茎围以及有效叶数, 其中施用生物制剂类的淡紫紫孢菌效果最明显。此外, 施用淡紫紫孢菌提高了净光合速率、胞间 CO₂ 浓度以及叶绿素相对含量 (SPAD 值)。与 CK 处理相比, 施用微生物菌肥处理影响了烟草病害的发生, 施用双倍根腐宁和厚孢轮枝菌提高了对普通花叶病毒的抗病性, 而施用根腐宁、淡紫紫孢菌、奥线灵和荧光假单胞杆菌则提高了黑胥病抗性; 烤烟外观质量、经济性状、烤后烟叶化学成分及感官评吸总分整体以施用生物制剂类的处理表现最佳。生物制剂类微生物菌肥中淡紫紫孢菌的施用在一定程度上能改善土壤理化特性, 能促进烤烟生长发育, 提高抗病性, 同时, 能使烤烟外观质量和化学成分发生变化, 进而提升烤烟品质和产量。

关键词 烤烟; 微生物菌肥; 生长发育; 产量; 质量

烤烟作为一种重要的经济作物, 其产量与品质直接关系到烟草行业的经济效益和消费者健康^[1]。因此, 如何提高烤烟的生长发育水平、减少病害发生以及提升烟叶的产量和质量, 一直是烟草生产领域研究的热点和难点。近年来, 随着农业科技的不断发展, 微生物菌肥作为一类具有绿色、环保、高效的生物肥料, 正逐步在农业生产领域获得广泛应用^[2]。在烤烟生产中, 施用化肥虽然能在短期内达到优质适产, 但往往伴随着环境污染、土壤退化以及烟叶品质下降等问题^[3-4]。施加有机肥和烤烟—绿肥轮作等方式可提高烟叶的产量与品质^[5], 但有机肥的缓释效应^[6]使其肥力见效慢, 从而导致烟株生长缓慢, 降低了经济效益^[7]。而微生物菌肥则通过其丰富的有益微生物种群和生物活性物质改善土壤环境, 提高土壤肥力, 促进烤烟根系的生长发育, 增强烤烟的抗病性和抗逆性, 从而全面提高烤烟的产量和品质^[8]。

微生物菌肥具有活性微生物菌群^[9], 既能改善土壤环境, 增加土壤养分和储水能力^[10], 降解土壤中难溶性物质, 促进作物根系对养分的吸收, 又能增强作物的免疫力, 从而提升作物的质量与品质^[11-14], 在抗病虫害、改善土质和保产增质方面具

有突出效果^[15]。生物制剂类微生物菌肥通常由一种或多种特定功能的微生物组成, 通过其生命活动直接或间接改良土壤、恢复地力、维持根际微生物区系平衡。复合制剂类微生物菌肥是由 2 种或 2 种以上的微生物菌, 或 1 种微生物菌与其他营养物质 (如氮、磷、钾等大量元素及微量元素) 复混而成的肥料。不同类型的微生物菌肥发挥着不同的作用。Li 等^[16]研究表明, 施用微生物菌肥后玉米土壤的微生物区系和化学特性发生显著变化; Zhao 等^[17]研究也发现, 根际微生物对不同浓度微生物菌肥的响应存在差异, 施用生物菌肥使微生物群落结构发生明显变化; 王书娟等^[18]研究发现, 施用微生物菌肥可提高辣椒生长势, 增强抗病性。也有研究^[19]表明, 施用微生物菌肥能够明显提前果实的成熟时间, 增产效果明显。

微生物菌肥对植物生长发育和抗病性能产生影响, 但不同种类的微生物菌肥 (生物制剂类和复合制剂类) 对烤烟生长发育及其产量、品质的影响效果尚不明确。因此, 本研究以烤烟为研究对象, 选用不同种类的微生物菌肥开展田间试验, 探究微生物菌肥对烤烟生长发育、产量及品质的影响, 为烤烟生产的可持续发展提供理论支持。

作者简介: 施铭, 主要从事烟草栽培与植烟土壤保育研究, E-mail: shinuo3108@163.com

杜宇为通信作者, 主要从事烟草栽培与植烟土壤保育研究, E-mail: 276403684@qq.com

基金项目: 国家自然科学基金 (32160517); 河北中烟工业有限责任公司科技项目 (2022130000340019)

收稿日期: 2024-06-27; 修回日期: 2024-08-15; 网络出版日期: 2025-01-03

1 材料与方法

1.1 试验地概况与试验材料

试验于 2022 年 4 月 25 日-9 月 1 日在云南省昆明市禄劝县九龙镇 (25°24'30"~26°22'00" N, 120°14'00"~102°56'10" E) 进行。试验地土壤理化性质为 pH 5.18、有机质 79.41 g/kg、碱解氮 127.72 mg/kg、有效磷 42.68 mg/kg、速效钾 145.32 mg/kg。供试烤烟品种为云烟 87, 化学肥料采用烟草专用肥、普钙、硫酸钾和硝酸钾, 微生

物菌肥采用生物制剂类 (淡紫紫孢菌、荧光假单胞杆菌和厚孢轮枝菌) 和复合制剂类 (奥线灵和根腐宁)。

1.2 试验设计

以不同种类的微生物菌肥为因素, 设置 7 个处理, 3 次重复, 共 21 个小区, 每小区不少于 50 株, 行株距 120 cm×50 cm, 具体见表 1。小区随机区组排列, 四周设保护行。微生物菌肥按照产品说明书使用量施加, 其他管理措施按照当地优质烟叶生产技术体系进行。

表 1 试验设计
Table 1 Experiment design

处理 Treatment	菌肥 Bacterial fertilizer	施用量及方法 Application dosage and method
CK	常规施肥	—
S1	常规施肥+淡紫紫孢菌	0.5 g/株 (将菌肥溶解于 100 mL 水中, 灌根处理)
S2	常规施肥+荧光假单胞杆菌	0.6 g/株 (将菌肥溶解于 100 mL 水中, 灌根处理)
S3	常规施肥+厚孢轮枝菌	2 g/株 (将菌肥溶解于 100 mL 水中, 灌根处理)
F1	常规施肥+根腐宁	菌肥稀释 1000 倍, 每处理的喷施总量为 5 L
F2	常规施肥+根腐宁 (双倍)	菌肥稀释 1000 倍, 每处理的喷施总量为 10 L
F3	常规施肥+奥线灵	2 g/株 (将菌肥溶解于 100 mL 水中, 灌根处理)

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤理化性质 采用水土比为 2.5:1 的电位法测定土壤 pH; 采用重铬酸钾容量法-外加热法测定土壤有机质含量; 采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法测定土壤有效磷含量; 采用 1 mol/L 醋酸铵浸提-火焰光度法测定土壤速效钾含量; 采用碱扩散法测定土壤碱解氮含量。

1.3.2 生育期 按烤烟生育期调查标准^[20]准确记录移栽期、现蕾期、中心花开放期和脚叶成熟期。当小区内进入某生育期的烟株数占总株数的比例达到 50% 时作为该小区烟株整体进入该生育期的时间。

1.3.3 农艺性状 按照 YC/T 142-2010^[20]于移栽后 90 d 进行农艺性状调查, 调查内容包括株高、茎围、有效叶片数、最大叶长和最大叶宽, 每个处理随机调查 10 株。

1.3.4 病害调查 依据 GB/T23222-2008^[21]对田间自然发病情况进行调查, 并计算病情指数和发病率:

$$\text{病情指数} = \frac{\sum[\text{各级病株 (叶) 数} \times \text{该级级数}]}{100[\text{调查总株 (叶) 数} \times \text{最高级级数}]} \quad (1)$$

$$\text{发病率} = \frac{\text{发病株数}}{\text{调查总株数}} \times 100\% \quad (2)$$

1.3.5 光合特性 于移栽后 60 d, 选取 3 株长势良好且差异小的烟株, 利用 SPAD-502 测定仪 (日本柯尼卡美能达) 进行叶绿素相对含量 (SPAD 值) 测量 (每株选取中部叶 3 片); 利用 Li-6400 光合

仪测定光合特性。

1.3.6 经济性状及原烟外观质量调查 烟叶成熟烘烤后, 按照 42 级国家烟叶分级标准^[21]分级, 采收, 小区计产, 根据 2022 年云南禄劝烤烟收购价格, 计算其产量、产值、中上等烟比例及均价, 并随机抽取每处理相同部位叶片各 10 片, 调查其原烟外观质量。

1.3.7 化学成分和感官评吸质量分析 烟叶成熟烘烤后, 每个处理选取 C3F 等级烟叶各 2 kg 进行烟叶化学成分测定。利用 AA3 连续流动分析仪 (上海水分析仪器) 测定总糖、还原糖、总氮、烟碱和氯含量; 利用 Analyst300 原子吸收光谱仪 (美国珀金埃尔默) 测定钾含量。

依据烤烟外观质量赋分法^[22]以及烤烟化学成分指标赋值法^[23-24], 对烤烟外观质量与化学成分进行评定。参照烤烟感官质量综合评价法^[23], 进行感官评吸质量分析, 由河北中烟工业有限责任公司技术中心进行烟叶感官质量测定。

(1) 烤烟外观质量赋分法: 烤烟外观质量赋分见表 2, 每个分项按 10 分制进行打分, 各档次间可依实际打分, 最小单位为 0.5 分。

(2) 烤烟化学成分指标赋值法: 各指标均以公认的最适范围 100 分, 高于或低于该最适范围依次降低分值, 用 Excel 2019 对分值与指标范围进行等比例取值并用于线性建模, 将指标数据代入建

表 2 烤烟外观质量赋分
Table 2 Score for appearance quality of tobacco leaves

指标 Indicator	评分 Rating
成熟度 Maturity	成熟 (7~10)、完熟 (6~9)、尚熟 (4~7)、欠熟 (0~4)、假熟 (3~5)
颜色 Color	橘黄 (7~10)、柠檬黄 (6~9)、红棕 (3~7)、微带青 (3~6)、青黄 (1~4)、杂色 (0~3)
色度 Chroma	浓 (8~10)、强 (6~8)、中 (4~6)、弱 (2~4)、淡 (0~2)
油分 Oil content	多 (8~10)、有 (5~8)、稍有 (3~5)、少 (0~3)
叶片结构 Blade structure	疏松 (8~10)、尚疏松 (5~8)、稍密 (3~5)、紧密 (0~3)
身份 Thickness	中等 (7~10)、稍薄 (4~7)、稍厚 (4~7)、薄 (0~4)、厚 (0~4)

模公式则得对应分值，采用指数和法评价烤烟内在化学成分协调性综合情况：

$$P = \sum P_i \times C_i \quad (3)$$

式中， P 为烤烟化学成分协调性综合指数； C_i 为第 i 个化学成分指标量化分值； P_i 为第 i 个化学成分指标相对权重。

(3) 烤烟感官质量综合评价法：总分=香气质+香气量+浓度+刺激性+杂气+劲头+余味+柔细度+甜度。

香型：1-清甜香型，2-蜜甜香型，3-醇甜香型，4-焦甜焦香型，5-焦甜醇甜香型，6-清甜蜜甜香型，7-蜜甜焦香型，8-木香蜜甜香型。其余香气质、香气量、浓度、刺激性、杂气、劲头、余味、柔细度和甜度最大标度值为 9。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2019 和 IBM Statistic SPSS 23.0 软件进行数据处理和统计制图。

2 结果与分析

2.1 不同微生物菌肥对烤烟土壤理化性质的影响

由表 3 可知，施用微生物菌肥处理的碱解氮含量显著高于 CK 处理，其中施加生物制剂的碱解氮含量较高。除 S2 处理外，其余处理速效钾含量均

表 3 不同微生物菌肥对烤烟土壤理化性质的影响
Table 3 Effects of different microbial fertilizers on soil physicochemical properties of flue-cured tobacco

处理 Treatment	碱解氮 hydrolyzed nitrogen (mg/kg)	速效钾 Available potassium (mg/kg)	有效磷 Available phosphorus (mg/kg)	pH	有机质 Organic matter (g/kg)
CK	136.72e	86.70e	47.36c	4.68c	69.21a
S1	187.97a	110.88d	60.35a	4.90a	62.23b
S2	182.63a	81.21e	35.55d	5.21a	50.31c
S3	176.52b	112.97d	32.91d	4.89b	42.65d
F1	167.02c	242.61b	51.90b	4.56c	64.85b
F2	154.51d	364.58a	35.88d	4.92b	45.62d
F3	163.17c	122.20c	49.27b	4.98a	61.54b

不同小写字母表示不同处理下在 $P < 0.05$ 水平下差异显著，下同。Different lowercase letters indicate significant differences at $P < 0.05$ level under different treatments, the same below.

显著高于 CK 处理。在有效磷含量中，S1 处理显著最高，与 CK 处理相比增加了 27.43%。在 pH 值中，S1、S2 和 F3 处理显著高于其他处理，三者间无显著差异。在有机质含量中，施用微生物菌肥处理的有机质含量均显著低于 CK 处理。综上所述，S1 处理提高了土壤速效养分，表现最佳。

2.2 不同微生物菌肥对烤烟生育期的影响

由表 4 可知，在移栽期和脚叶成熟期，各处理表现均一致。在现蕾期和中心花开放期，S3 和 F2 处理比 CK 处理提前 1 d，其他处理表现一致。

表 4 不同微生物菌肥对烤烟生育期的影响
Table 4 Effects of different microbial fertilizers on growth period of flue-cured tobacco 月-日 month-day

处理 Treatment	移栽期 Transplanting stage	现蕾期 Budding stage	中心花开放期 Central flowering stage	脚叶成熟期 Foot leaf maturity
CK	04-25	06-27	04-07	07-12
S1	04-25	06-27	04-07	07-12
S2	04-25	06-27	04-07	07-12
S3	04-25	06-26	03-07	07-12
F1	04-25	06-27	04-07	07-12
F2	04-25	06-26	03-07	07-12
F3	04-25	06-27	04-07	07-12

2.3 不同微生物菌肥对烤烟农艺性状的影响

由表 5 可知，S1 和 S2 处理的株高显著高于 CK 处理，分别增加了 12.16% 和 9.52%。S1 处理的茎围显著高于 CK 处理，增加了 10.68%。各处理的叶长与 CK 处理无显著差异。S1、S2 和 F1 处理最大叶宽均显著高于 CK 处理，分别增加了 11.25%、7.72% 和 7.72%。各处理的有效叶片数无显著差异，其中 S1 处理有效叶片数最多，较 CK 处理增加了 6.43%。

2.4 不同微生物菌肥对烤烟主要病害发病率及病情指数的影响

由表 6 可知，主要发生的病害有烟草普通花叶病、烟草黑胫病和气候性斑点病。在施用微生物菌肥后，烟草花叶病的发病率均显著降低，发病率和病情指数从高到低均为 $CK > F1 > S1 > F3 > S2 >$

表 5 不同微生物菌肥对烤烟农艺性状的影响
Table 5 Effects of different microbial fertilizers on the agronomic traits of flue-cured tobacco

处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	茎围 Stem girth (cm)	最大叶长 Maximum leaf length (cm)	最大叶宽 Maximum leaf width (cm)	有效叶片数 Effective number of leaves
CK	107.17bc	9.08bc	73.80ab	29.78c	20.67ab
S1	120.20a	10.05a	77.32a	33.13a	22.00a
S2	117.37a	9.57ab	72.70ab	32.08ab	21.17ab
S3	101.72c	9.22bc	71.05b	29.03c	20.17b
F1	109.45b	9.47ab	75.82a	32.08ab	21.17ab
F2	110.23b	9.60ab	74.67ab	30.55bc	20.83ab
F3	100.45c	8.75c	69.82b	29.28c	19.83b

表 6 不同微生物菌肥对烤烟主要病害发病率及病情指数的影响
Table 6 Effects of different microbial fertilizers on main morbidity and disease index of flue-cured tobacco

处理 Treatment	烟草花叶病 Tobacco mosaic disease		烟草黑胫病 Tobacco black shank		气候性斑点病 Weather fleck	
	发病率 Morbidity (%)	病情指数 Disease index	发病率 Morbidity (%)	病情指数 Disease index	发病率 Morbidity (%)	病情指数 Disease index
CK	9.56a	7.65a	2.87c	2.29c	0.00c	0.00c
S1	0.62c	0.49c	2.45d	1.96d	0.00c	0.00c
S2	0.56c	0.45c	1.64f	1.31e	0.53b	0.42b
S3	0.00d	0.00d	5.41a	4.32a	0.00c	0.00c
F1	3.98b	3.18b	2.25e	1.80d	0.00c	0.00c
F2	0.00d	0.00d	3.39b	2.71b	0.56b	0.44b
F3	0.58c	0.46c	1.20g	0.96f	0.62a	0.49a

F2=S3, 其中 S3 和 F2 处理的发病率和病情指数均为 0。对于烟草黑胫病而言, 除 S3 和 F2 处理外, 其余处理的发病率和病情指数均显著低于 CK 处理。对于气候性斑点病而言, 发病率和病情指数以 F3 处理最高, CK、S1、S3 和 F1 处理均为 0。

2.5 不同微生物菌肥对烤烟光合特性的影响

由表 7 可知, 施用微生物菌肥处理的净光合速

率 (P_n) 均显著高于 CK 处理。在气孔导度 (G_s) 方面, 除 S2 和 S3 处理外, 其余处理均显著高于 CK 处理。在胞间 CO_2 浓度 (C_i) 方面, S1 处理显著高于 CK 处理, 增加了 9.72%。在蒸腾速率 (T_r) 方面, 除 S3 处理外, 其余处理均高于 CK 处理。在 SPAD 值方面, S1 处理显著高于 CK 处理, 增加了 5.30%, S3 处理显著低于 CK 处理, 降低了

表 7 不同微生物菌肥对烤烟光合特征的影响
Table 7 Effects of different microbial fertilizers on the photosynthetic characteristics of flue-cured tobacco

处理 Treatment	净光合速率 P_n [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	气孔导度 G_s [$\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	胞间 CO_2 浓度 C_i ($\mu\text{mol}/\text{m}^2$)	蒸腾速率 T_r [$\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	SPAD 值 SPAD value
CK	8.41c	0.55b	233.47c	1.54b	48.65b
S1	11.16a	0.71a	256.17a	1.58b	51.23a
S2	9.78b	0.52b	232.18c	1.59b	46.82b
S3	9.51b	0.58b	218.47d	1.37c	39.98c
F1	10.25a	0.69a	254.47a	1.74a	48.94b
F2	9.98b	0.75a	244.25b	1.60b	47.21b
F3	10.98a	0.68a	235.48c	1.79a	44.34b

17.82%, 其余处理间无显著差异。

2.6 不同微生物菌肥对烤烟经济性状及原烟外观质量的影响

2.6.1 对烤烟经济性状的影响 由表 8 可知, S1、S2 和 F1 处理的产量、均价、产值、中上等烟比例均显著高于 CK 处理, 其中, S1 处理表现最优,

产量、均价和产值分别增加了 3.57%、8.89% 和 12.77%, 且中上等烟比例升高了 5.6 个百分点。

2.6.2 对烤烟原烟外观质量的影响 由表 9 可知, 各处理在成熟度、颜色和色度以及叶片结构方面表现均一致。在油分和身份方面, S1、S3 和 F1 处理表现为油分充足、身份中等, CK、S2、F2

表 8 不同微生物菌肥对烤烟经济性状的影响
Table 8 Effects of different microbial fertilizers on the economic traits of flue-cured tobacco

处理 Treatment	产量 Yield (kg/hm ²)	均价 (元/kg) Mean price (yuan/kg)	产值 (元/hm ²) Production value (yuan/hm ²)	中上等烟比例 Proportion of medium to high tobacco (%)
CK	2397.00b	22.50b	53 932.50c	79.10b
S1	2482.50a	24.50a	60 820.50a	84.70a
S2	2529.00a	23.30a	58 926.00a	82.90a
S3	2347.50c	22.10c	51 880.50c	73.50c
F1	2455.50a	23.10a	56 721.00a	81.60b
F2	2484.50c	21.80c	54 379.50c	78.70b
F3	2341.50c	22.30b	52 216.50c	75.80c

表 9 不同微生物菌肥对原烟外观质量的影响
Table 9 Effects of different microbial fertilizers on appearance quality of raw tobacco

处理 Treatment	成熟度 Maturity	颜色 Color	色度 Chroma	油分 Oil content	叶片结构 Blade structure	身份 Thickness
CK	成熟	橘黄	中	中等	疏松	稍薄
S1	成熟	橘黄	中	充足	疏松	中等
S2	成熟	橘黄	中	中等	疏松	稍薄
S3	成熟	橘黄	中	充足	疏松	中等
F1	成熟	橘黄	中	充足	疏松	中等
F2	成熟	橘黄	中	中等	疏松	稍薄
F3	成熟	橘黄	中	中等	疏松	稍薄

表 11 不同微生物菌肥对烟叶化学成分的影响

Table 11 Effects of different microbial fertilizers on the chemical composition of tobacco leaves

处理 Treatment	总糖 Total sugar (%)	还原糖 Reducing sugar (%)	烟碱 Nicotine (%)	总氮 Total N (%)	氯 Cl (%)	钾 K (%)	钾氯比 K/Cl	糖碱比 Total sugar/nicotine	氮碱比 Total N/nicotine
CK	25.03a	12.95a	1.48b	2.12b	0.09d	2.72a	21.23ab	8.31ab	1.55ab
S1	28.82a	21.06a	2.39ab	2.29ab	0.27b	2.29ab	8.81bc	10.96ab	1.12bc
S2	26.57a	20.27a	1.43b	1.90b	0.19bc	2.91a	16.10abc	15.64a	1.47ab
S3	29.88a	18.61a	1.66b	2.11b	0.12cd	2.39ab	23.60a	11.30ab	1.27abc
F1	32.30a	22.61a	3.27a	2.65a	0.41a	1.82b	4.44c	6.92b	0.81c
F2	23.80a	14.16a	1.42b	2.16b	0.11cd	2.58ab	23.55a	10.79ab	1.62ab
F3	24.04a	21.66b	1.52b	2.34ab	0.21b	2.93a	13.85abc	15.58a	1.68a

云南优质烟叶化学成分含量：总糖 24%~33%、还原糖 20%~28%、烟碱 2%~3%、总氮 1.8%~2.4%、氯 0.1%~0.6%、钾 ≥1.70%，钾氯比 ≥8、糖碱比 10~15、氮碱比 0.7~1.0。

The chemical composition of high-quality tobacco leaves in Yunnan: total sugar 24%-33%, reducing sugar 20%-28%, nicotine 2%-3%, total N 1.8%-2.4%, Cl 0.1%-0.6%, K ≥1.70%, K/Cl ≥8, total sugar/nicotine 10-15, total N/nicotine 0.7-1.0.

标准。除 F1 处理外，其余处理的总氮含量和钾氯比均达到优质标准；除 CK 处理外，其余处理氯含量均达到优质标准；对于钾含量，所有处理均在优质范围内；除 S2 和 F3 处理外，其余处理的糖碱比均在优质范围内；仅有 F1 处理的氮碱比达到优质标准。相比于其他处理，S1 处理更接近于优质范围。由表 12 烤烟品质评分可看出，单个指标方面，不同微生物菌肥对还原糖、总氮、钾和钾氯比影响较大；总分方面，S1 处理评分最高，F3 处理评分

和 F3 处理则为油分中等、身份稍薄。由表 10 烤烟外观质量评分可看出，单个指标方面，不同微生物菌肥对油分和身份的影响较大，从总分来看，S1 处理评分最高，F3 处理评分最低。

表 10 外观质量综合评分结果
Table 10 Comprehensive evaluation results of appearance quality

处理 Treatment	成熟度 Maturity	颜色 Color	色度 Chroma	油分 Oil content	叶片结构 Blade structure	身份 Thickness	总分 Total score
CK	8	8	5	8	8	8	45
S1	8	8	6	9	9	9	49
S2	8	7	4	7	8	7	41
S3	9	9	6	8	8	8	48
F1	9	8	6	8	8	8	47
F2	7	8	5	7	8	7	42
F3	7	7	4	7	8	7	40

外观质量总分满分为 60 分。

The total score for appearance quality is 60 points.

2.7 不同微生物菌肥对烤后烟叶化学成分的影响

由表 11 可知，与 CK 处理相比，施用微生物菌肥后，部分处理的总糖和还原糖含量有升高趋势，其中 S1、S2、F1 和 F3 处理总糖和还原糖含量均达到优质标准。仅有 S1 处理烟碱含量达到优质

最低。

2.8 不同微生物菌肥对烤烟感官评吸质量的影响

通过感官评吸质量分析（表 13）可知，不同处理下烤烟均为清甜蜜甜香型，香气质以 S1 和 S2 处理最高，F3 处理最低；香气量以 F1 处理最高，F3 处理最低；浓度、刺激性、杂气、劲头、余味、柔细度和甜度等指标在各处理间无显著差异；各处理间总分也无显著差异，但 S1 处理总分最高，为 65.5。

表 12 化学品质综合评分结果
Table 12 Comprehensive evaluation results of chemical quality

处理 Treatment	总糖 Total sugar (%)	还原糖 Sugar (%)	烟碱 Nicotine (%)	总氮 Toatl N (%)	氯 Cl (%)	钾 K (%)	钾氯比 K/Cl	总分 Total score
CK	69.5	48.0	46.0	100.0	100.0	98.76	30.00	78.88
S1	100.0	100.0	25.0	95.8	100.0	94.16	95.33	97.45
S2	100.0	43.0	100.0	100.0	100.0	53.60	46.00	71.84
S3	100.0	66.0	100.0	97.8	100.0	92.80	83.00	90.04
F1	97.0	53.0	100.0	86.4	68.8	89.20	90.67	82.05
F2	80.8	42.0	100.0	100.0	100.0	94.84	16.00	76.92
F3	100.0	52.0	100.0	100.0	100.0	54.20	4.00	69.83

化学品质总分满分为 100 分。

The total score for chemical quality is 100 points.

表 13 不同微生物菌肥对烤烟感官评吸质量的影响
Table 13 Effects of different microbial fertilizers on the sensory evaluation and smoking quality of flue-cured tobacco

处理 Treatment	香型 Fragrance type	香气质 Aroma quality	香气量 Aroma volume	浓度 Concentration	刺激性 Irritancy	杂气 Off-flavor	劲头 Strength	余味 Aftertaste	柔细度 Smoothness	甜度 Sweetness	总分 Total score
CK	6	8.0ab	7.7ab	8.0a	7.8a	7.7a	8.0a	8.0a	8.0a	8.0a	65.2a
S1	6	8.3a	7.8ab	7.8a	7.8a	8.0a	7.8a	7.8a	8.0a	7.8a	65.5a
S2	6	8.3a	7.8ab	7.7a	7.8a	7.7a	7.5a	7.8a	8.2a	8.0a	64.8a
S3	6	8.2ab	7.8ab	8.0a	8.0a	7.7a	8.0a	7.8a	7.8a	7.8a	65.3a
F1	6	8.0ab	8.2a	8.0a	7.7a	7.7a	7.8a	8.0a	8.0a	8.0a	65.3a
F2	6	8.2ab	7.8ab	8.0a	7.8a	7.7a	7.7a	7.8a	8.0a	8.2a	65.0a
F3	6	7.7b	7.5b	7.7a	8.0a	7.7a	7.3a	7.8a	8.0a	7.7a	63.7a

3 讨论

过度施用化肥会造成土壤酸化,从而导致植烟土壤质量直线下滑,因此,微生物菌肥在土壤改良中发挥重要作用。施用微生物菌肥会使土壤中的微生物数量增多,促进有益微生物群落富集,进而使土壤养分发生变化。本研究发现,施用淡紫紫孢菌能够提高土壤中速效养分含量,这与胡诚等^[25]研究结果一致,可能是因为微生物菌肥中腐殖酸和氨基酸有机质等营养成分转化分解产生速效养分;也可能是微生物分泌的有机酸和蛋白质酶类使难溶的无机盐降解为植物能够吸收的游离速效养分,因而使土壤速效养分含量提高。王豹祥等^[26]研究发现,施用微生物肥料能够提高土壤中有机质的含量,这与本研究结果相反,可能是土壤中或微生物菌肥中的微生物过度活跃,导致有关碳代谢的微生物呼吸作用增强,使有机质转变成 CO₂ 释放到了空气中,从而降低了土壤中的有机质含量。本研究还发现,施用微生物菌肥后,植烟土壤 pH 有所升高,这与韦建玉等^[27]的研究结果基本一致,说明在酸性土壤上施用微生物菌肥,对调节土壤 pH 具有一定的作用。生物制剂类和复合制剂类微生物菌肥相比,施

用前者的土壤 pH 值增加较为明显,这可能是因为复合制剂类菌肥中除微生物菌肥外还有化肥等其他供肥来源,对土壤酸碱平衡影响作用较小。因此,施用不同微生物菌肥,能使其内含的大量营养成分转化为利于吸收的养分,改善土壤环境,使土壤理化协调,进而促进烤烟生长发育,提高抗病性。

微生物菌肥的施用影响烤烟生长发育以及抗病性。前人^[28-30]研究表明,微生物菌肥在一定程度上能促进烟株的早生快发,促进烟株生长发育,尤其显著提高了农艺性状,增加了烟叶的产量。增加土壤酶活性可促进烟叶光合作用增强^[31]。微生物菌肥还可以促进烟株的免疫力,帮助烟株抵抗病原体的侵害,提高烟株的抗病能力^[32]。本研究发现,施用根腐宁、淡紫紫孢菌、荧光假单胞杆菌和根腐宁(双倍)处理均促进生长发育。究其原因,一方面可能是生物菌肥中的有益微生物能产生糖类物质,参与腐殖质的形成,改善土壤根际微环境,活化土壤中的矿质元素,增加根际土壤养分活性,从而影响根系的生长发育,促进烟株对养分的吸收利用;另一方面可能是微生物菌肥中的功能微生物在烟株根际分泌大量的活性物质或代谢产物,从而调节和促进了烟株的生长发育。本研究中,增施淡紫紫

孢菌能显著提高叶片 G_s ，有利于叶片与空气之间 CO_2 交换，提高 C_i 活跃度，从而提高了叶片 P_n 。其次因 G_s 的增大，导致叶片 T_r 增加，促进烟株叶片光合能力提高。此外，本研究还发现，施用微生物菌肥后对烟草花叶病有一定的防治效果，施用根腐宁（双倍）和厚孢轮枝菌后，黑胫病的发生率反而升高，另外，在施用奥线灵、荧光假单胞杆菌、根腐宁（双倍）后，气候性斑点病的发病率也有不同程度的升高，施用淡紫紫孢菌的综合抗病性较好，不同处理间出现抗病性差异，可能是不同微生物菌肥含有不同的抗病活性物质，从而对不同病害的抑制作用存在差异。因此，微生物菌肥能促进烤烟生长发育，增强光合特性，提高抗病性。

微生物菌肥的施用，能够有效降低化学农药的使用量，增强烤烟根际生态系统中的微生物多样性。这种相互作用不仅丰富了土壤中的营养元素，还促进了烟株对各类养分的吸收与利用，为烟株创造了良好的生长环境与条件，进而促进了烟叶产量的提升与品质的优化。微生物菌肥通过其内含的有益微生物在烟株根系区域的活跃作用，有效抑制了病原菌侵袭，提高了烟株抗病性，减少病害发生的风险。同时，施用微生物菌肥还促进了烤烟化学成分的协调，使得烟叶在风味与品质上均得到了显著提升^[33]。前人^[34-35]研究表明，增施微生物菌肥能显著提高烟叶的产量、均价、产值以及中上等烟比例，还可以提升烟叶的钾含量，降低烟叶的烟碱含量并提高钾氯比，使烟叶化学成分趋于协调，从而提高感官评吸质量。本研究发现，施用淡紫紫孢菌后可提高中部叶糖、烟碱、氯、钾和总氮的含量，提高优质烤烟的比例，且感官评吸质量优于施用其他微生物菌肥；施用生物制剂类较复合制剂类菌肥效果明显，间接表明施用不同微生物菌肥在一定程度上可提升烟叶品质。这是因为微生物菌肥中的活性解钾菌等能够改善根际土壤的有效钾含量，从而提高烟叶中的钾含量，对烤烟的燃烧性和品质有显著影响^[36]，微生物菌肥改变了土壤环境，使有关碳代谢功能的微生物富集，使土壤中的有效养分被烟株吸收，进而导致烟叶中碳代谢增强，使糖类物质增加。本研究为科学施用微生物菌肥提供了理论支持，对云南省烤烟产量、品质提高及病害防治具有一定的生产指导意义。

4 结论

生物制剂类微生物菌肥中淡紫紫孢菌的施用在一定程度上改善了土壤理化，能促进烤烟生长发育，提高抗病性，同时，能引起烤烟外观质量和化学成分发生变化，进而提升烤烟品质和产量和品质。

参考文献

- [1] 杨魁琼. 无公害烟草生产技术及其发展方向. 农家参谋, 2017(6): 178.
- [2] 郭玉鸽, 申洪涛, 李丽华, 等. 微生物菌肥对不同酸碱度土壤及烤烟生长和致香物质的影响. 江苏农业科学, 2023, 51(3): 54-62.
- [3] 邹云峰, 赵洪祥. 绿色无公害烟叶生产技术. 吉林农业, 2016(18): 108.
- [4] 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. 中国农学通报, 2021, 37(23): 45-51.
- [5] 蒋岁寒, 刘艳霞, 孟琳, 等. 生物有机肥对烟草青枯病的田间防效及根际土壤微生物的影响. 南京农业大学学报, 2016, 39(5): 784-790.
- [6] 付道艳, 敖金成, 杨玉标, 等. 有机和常规种植方式对红花大金元生长发育及烟叶品质的影响. 安徽农学通报, 2012, 18(23): 68-70.
- [7] 卢文钰, 何忠伟. 中国有机肥料产业发展现状、问题及对策. 科技和产业, 2022, 22(9): 258-262.
- [8] 李生秀. 有机肥料的缺点是养分含量低. 中国农资, 2005(9): 550-552.
- [9] 李茜, 苏国权, 危月辉, 等. 增施微生物菌肥对烤烟生长发育及烟叶品质的影响. 江苏农业科学, 2021, 49(19): 123-129.
- [10] 王润芝, 孙璐. 浅谈微生物菌肥的特点与功效. 新农业, 2022(3): 18.
- [11] 符艺潇. 微生物菌肥在农业种植上应用效果的调研报告. 大连: 大连工业大学, 2019.
- [12] 武杞蔓, 刘朋宇, 张颖, 等. 微生物菌肥对番茄生长、品质及糖代谢相关酶的影响. 江苏农业科学, 2022, 50(24): 125-130.
- [13] 段迪瀚, 刘情宇, 荣梦瑶, 等. 微生物菌肥的特点及其作用机制研究进展. 农业技术与装备, 2022(8): 98-99, 103.
- [14] 石慧敏, 陆蓝翔, 王焱, 等. 五种促生微生物菌肥对巨峰葡萄生长和果实品质的影响. 分子植物育种. (2023-01-17)[2024-06-27]. <https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20220916.1222.040>.
- [15] 张煜. 微生物菌肥对烟草品质及土壤细菌多样性影响的研究. 哈尔滨: 东北林业大学, 2020.
- [16] Li X Q, Lu Q J, Li D Y, et al. Effects of different microbial fertilizers on growth and rhizosphere soil properties of corn in newly reclaimed land. *Plants*, 2022, 11(15): 1978.
- [17] Zhao Y G, Lu G X, Jin X, et al. Effects of microbial fertilizer on soil fertility and alfalfa rhizosphere microbiota in alpine grassland. *Agronomy*, 2022, 12(7): 1722.
- [18] 王书娟, 陈文钊, 齐合玉, 等. 微生物菌肥对大棚辣椒生长及产量的影响. 蔬菜, 2022(7): 26-29.
- [19] 王雄英. 微生物菌肥对大豆生长发育的影响. 农业工程技术, 2022, 42(17): 31-33.
- [20] 国家烟草专卖局. 烟草农艺性状调查测量方法: YC/T 142-2010. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [21] 全国烟草标准化技术委员会. 烟草病虫害分级及调查方法:

- GB/T 23222-2008. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [22] 蔡宪杰, 王信民, 尹启生. 烤烟外观质量指标量化分析初探. 烟草科技, 2004(6): 37-39.
- [23] 王彦亭, 谢剑平, 李志宏. 中国烟草种植区划. 北京: 科学出版社, 2010.
- [24] 谢晋, 严玛丽, 陈建军, 等. 不同铵态氮硝态氮配比对烤烟产量、质量及其主要化学成分的影响. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4): 1030-1037.
- [25] 胡诚, 曹志平, 罗艳蕊, 等. 长期施用生物有机肥对土壤肥力及微生物生物量碳的影响. 中国生态农业学报, 2007(3): 48-51.
- [26] 王豹祥, 李富欣, 张朝辉, 等. 应用 PGPR 菌肥减少烤烟生产化肥的施用量. 土壤学报, 2011, 48(4): 813-822.
- [27] 韦建玉, 王政, 黄崇峻, 等. 增施微生物菌肥对植烟土壤理化性质及微生物量的影响. 贵州农业科学, 2018, 46(11): 57-61.
- [28] 潘锋华, 艾永峰, 熊承飞, 等. 施用不同微生物肥对烤烟生长发育及品质的影响. 农村经济与科技, 2020, 31(20): 29-30.
- [29] 张伟娜, 朱先志, 刘莉, 等. 地恩地微生物菌肥对烤烟品种 CF225 产量及质量的影响. 现代农业科技, 2017(20): 11-13.
- [30] 王梦雅, 符云鹏, 贾辉, 等. 不同菌肥对土壤养分、酶活性和微生物功能多样性的影响. 中国烟草科学, 2018, 39(1): 57-63.
- [31] 王辉, 李小艳, 云菲, 等. 微生物菌剂对烤烟光合特性及产量的影响. 江西农业学报, 2018, 30(6): 52-56.
- [32] 陈玉国, 王海涛, 李小杰, 等. 沃益多微生物菌肥对烤烟生长发育和抗病性的影响. 中国烟草科学, 2015, 36(3): 63-67.
- [33] 刘展展, 宋洪昌, 徐钟晨, 等. 增施微生物菌肥对烤烟产量和质量的影响. 浙江农业科学, 2018, 59(8): 1357-1359, 1364.
- [34] 王政, 敖金成, 张真, 等. 微生物菌肥对烤烟生长发育和品质的影响. 湖北农业科学, 2018, 57(10): 79-82, 87.
- [35] 徐宗昌, 李天卫, 蔡宪杰, 等. 3 种微生物菌肥对烤烟生长发育及烟叶产量和质量的影响. 江苏农业科学, 2020, 48(16): 108-114.
- [36] 夏振远, 李云华, 杨树军. 微生物菌肥对烤烟生产效应的研究. 中国烟草科学, 2002(3): 28-30.

Effects of Different Microbial Fertilizers on Growth, Yield and Quality of Flue-Cured Tobacco

Shi Nuo¹, Zhu Hongqiang², Yang Mengxuan¹, Zhou Yanbin², Dai Huijuan², Lü Penghui², Liu Bo², Wang Shengfeng², Mu Wenpo², Du Yu¹

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

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

Abstract A field experiments was conducted to investigate the effects of different microbial fertilizers of biological and compound formulations on soil physicochemical properties, growth and development, disease resistance, photosynthetic characteristics, economic traits, chemical composition, and sensory evaluation of tobacco leaves. The results showed that the application of microbial fertilizer could effectively improve the soil available nutrients, ameliorate soil acidification, and promote the growth and development of flue-cured tobacco, showing better plant height, leaf length, stem girth and effective leaf number. Among all the treatments, the treatment of biological agents, purple spotted fungus had the most obvious effect. In addition, the application of purple spotted fungus increased the net photosynthetic rate, intercellular CO₂ concentration and relative chlorophyll content (SPAD value). Compared with the CK treatment, the application of microbial fertilizer affected the occurrence of tobacco disease. The application of root rot control agent (double dosage) and thick-walled verticillium improved the resistance to common mosaic virus, while the application of root rot control agent, purple spotted fungus, oxmayl and fluorescent pseudomonad improved the resistance to black shank disease. The appearance quality of flue-cured tobacco, economic properties, chemical composition of cured tobacco leaves and the total score of sensory evaluation were the best in the treatment of biological agents. This indicated that the application of purple spotted fungus in biological-based microbial fertilizer could improve soil physicochemistry properties to a certain extent, promote the growth and development of flue-cured tobacco and improve disease resistance. At the same time, it could cause changes in the appearance quality and chemical composition of flue-cured tobacco, thus improving the quality and yield quality of flue-cured tobacco.

Key words Flue-cured tobacco; Microbial fertilizer; Growth and development; Yield; Quality