

# 施用生物菌剂对烤烟叶片生理特征 及钾、氯含量的影响

毛家伟<sup>1</sup>, 张翔<sup>1</sup>, 李亮<sup>1</sup>, 余琼<sup>1</sup>, 司贤宗<sup>1</sup>,  
索炎炎<sup>1</sup>, 吴俊林<sup>2</sup>, 孔德辉<sup>3</sup>

(1.河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所,河南 郑州 450002;  
2.驻马店市烟草公司,河南 驻马店 463000;3.洛阳市烟草公司,河南 洛阳 471000)

**摘要:**为探讨不同生物菌剂在烤烟上的施用效果,选取烤烟品种秦烟 96 和豫烟 6 号为材料,设计了对照(T1)、生物菌剂 A(T2)、生物菌剂 B(T3)、生物菌剂 C(T4)、生物菌剂 D(T5)和生物菌剂 E(T6)6 个处理,于 2016 年在河南省洛阳市(旱作烟区)和驻马店市(雨养烟区)进行了田间试验,研究了施用生物菌剂对烤烟叶片生理特征及钾、氯含量的影响。结果表明:施用生物菌剂处理与对照相比烤烟叶片中可溶性糖的含量增加了 0.38%~1.43%,丙二醛(MDA)含量降低了 0.3~7.36  $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ 。除雨养烟区 T5 处理外,与对照相比,施用生物菌剂处理烤烟叶片过氧化氢酶(CAT)活性、超氧化物歧化酶(SOD)活性和过氧化物酶(POD)活性分别提高 2.1~26.2  $\mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ , 0.6~40  $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$  和 546~2 531  $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$ 。中部叶养分分析表明,施用生物菌剂处理在移栽后 45 d(除雨养烟区 T4 处理外)全钾含量提高了 0.42%~1.32%,移栽后 60 d 提高了 0.03%~1.00%。从经济性状看,与对照相比,雨养烟区 T3 处理产值和上等烟比例分别增加 14 708 元  $\cdot \text{hm}^{-2}$  和 23.1%,旱作烟区 T2 处理产值和上等烟比例分别增加 7 849 元  $\cdot \text{hm}^{-2}$  和 13.7%。化学成分分析表明,雨养烟区 T3 处理和旱作烟区 T2 处理烟叶钾含量平均分别提高 0.40%和 0.57%,施用生物菌剂处理使烟叶化学成分更加协调。

**关键词:**生物菌剂;烤烟;生理特性;钾、氯含量;经济性状  
**中图分类号:**S572;S144 **文献标志码:**A

## Effects of biological agent application on leaf physiological characteristics, potassium and chlorine contents of flue-cured tobacco

MAO Jiawei<sup>1</sup>, ZHANG Xiang<sup>1</sup>, LI Liang<sup>1</sup>, YU Qiong<sup>1</sup>, SI Xianzong<sup>2</sup>,  
SUO Yanyan<sup>1</sup>, WU Junlin<sup>2</sup>, KONG Dehui<sup>3</sup>

(1. Institute of Plant Nutrition, Resources and Environmental Sciences, Henan Academy of  
Agricultural Sciences, Zhengzhou, Henan 450002, China;  
2. Tobacco Company of Zhumadian, Zhumadian, Henan 463000, China;  
3. Tobacco Company of Luoyang, Luoyang, Henan 471000, China)

**Abstract:** In order to discuss the effects of biological agent application on flue-cured tobacco, a field experiment was carried out in 2016 using Qinyan 96 and Yuyan 6 as materials in Luoyang (DA: arid cultivation tobacco planting areas) and Zhumadian (RA: rain-fed tobacco planting areas). The experiment included CK (T1), biological agent A (T2), biological agent B (T3), biological agent C (T4), biological agent D (T5), and biological agent E (T6). The effects of biological agent application on leaf physiological characteristics, potassium and chlorine contents of flue-cured tobacco were studied. The results showed that biological agent application treatments increased soluble sugar content by 0.38%~1.43%, while the content of MDA decreased by 0.3~7.36  $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ .

收稿日期:2019-01-21

修回日期:2020-03-03

**基金项目:**河南省烟草专卖局科技项目(HYKJZD201503);中国烟草总公司科技项目(110201502013);河南省烟草业转型升级科技攻关项目(2018410000270036)

**作者简介:**毛家伟(1981-),男,湖北广水人,副研究员,主要从事植物营养与施肥研究与推广。E-mail:maojw1981@126.com

**通信作者:**张翔(1966-),男,河南遂平人,研究员,主要从事植物营养与施肥研究与推广。E-mail:zxtf203@163.com

compared with CK. Except the treatment T5 in RA, compared with CK, the activity of catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD), and peroxidase (POD) of biological agent application treatments were increased by 2.1~26.2  $\mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ , 0.6~40  $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$ , and 546~2 531  $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$ , respectively. The nutrient test of middle leaves analysis showed that: at 45 days after transplanting, biological agent application treatments (except treatment T4 in RA) could increase the potassium content in middle leaves by 0.42%~1.32%, while that increased by 0.03%~1.00% at 60 days after transplanting. According to the economic characters, the output value and supper tobacco rate of flue-cured tobacco with treatment T3 increased by 14 708  $\text{yuan} \cdot \text{hm}^{-2}$  and 23.1% in RA, while that of treatment T2 increased by 7 849  $\text{yuan} \cdot \text{hm}^{-2}$  and 13.7% in DA compared with CK treatment. Chemical component analysis indicated that the potassium content in flue-cured tobacco leaves of treatment T3 in RA and treatment T2 in DA increased by an average of 0.40% and 0.57%, respectively. Biological agent application improved the chemical components coordination.

**Keywords:** biological agent; flue-cured tobacco; physiological characteristics; potassium and chlorine contents; economic characteristic

烟叶生长及其品质受土壤、栽培技术、气候等诸多因素的影响<sup>[1-3]</sup>。在干旱和渍水等不利条件下,烟株吸收水分和养分的能力受到抑制,并引起一系列的生理响应<sup>[4]</sup>,如植物气孔关闭、体内活性氧自由基大量累积等,而植物体内的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)等抗氧化酶协调作用能有效地清除活性氧自由基,减轻植物受到的伤害<sup>[5]</sup>。近年来,部分植烟土壤由于连作时间较长,长期使用单一化学肥料,忽视有机肥的使用<sup>[6]</sup>,造成土壤板结,土壤微生物活性降低<sup>[7]</sup>,营养元素利用率不高,从而造成烟叶品质下降。钾含量和氯含量都是评价烟叶质量的重要指标<sup>[8-9]</sup>,近年来,黄淮烟区烟叶氯含量偏高和钾含量偏低的问题一直未得到很好地解决,已经成为影响烟叶质量的关键问题之一<sup>[10]</sup>。微生物肥料含活性有益微生物,通过微生物代谢及其产物促进农作物代谢从而获得高产<sup>[11]</sup>。很多研究表明,配施微生物肥料可以显著提高作物的肥料利用率<sup>[12]</sup>,改善土壤结构<sup>[13]</sup>,减少病害<sup>[14]</sup>,提高作物的产量与品质<sup>[15]</sup>。随着现代农业的发展,人们逐渐认识到过量施用化肥、农药对环境造成的污染,因而对微生物肥料的研究和应用逐渐增加。近年来,关于生物菌剂在烟草上的应用有一些报道<sup>[16-18]</sup>,但由于微生物肥料种类繁多,不同地区气候环境、土壤类型不同,微生物肥料效果也会出现较大差异。因此,在不同地区大量开展微生物菌剂的应用研究是有实际意义的。本试验利用 5 种微生物菌剂,研究其对烤烟叶片抗氧化酶活性和钾、氯含量的影响,为筛选高效生物菌剂、改良烟区土壤、提高烟叶品质以及合理施用生物菌剂提供理论和技术支撑。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

试验于 2016 年分别在河南省豫西旱作烟区(DA)与豫南雨养烟区(RA)进行。豫西旱作烟区试验布置在洛宁县小界乡王村烟田,该区属豫西山地丘陵旱作区;年降水量仅 600 mm 左右,季节性干旱经常发生;此区供试烤烟品种为秦烟 96,供试土壤为褐土,基础理化性状为:pH 值 7.94,有机质 11.1  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,碱解氮 109.2  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效磷 9.5  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效钾 197.5  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。豫南雨养烟区试验布置在泌阳县杨家集乡,该区光、温、水资源丰富,降水和地下水较充足,年降水量在 750 mm 以上;此区供试烤烟品种为豫烟 6 号,供试土壤为黄褐土,基础理化性状为:pH 值 5.79,有机质 12.1  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,碱解氮 145.6  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效磷 20.3  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效钾 150.3  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。两试验地点前茬作物均为烟草,供试肥料种类为:一铵( $\text{N}11\%、\text{P}_2\text{O}_5 44\%$ ),硝铵磷( $\text{N}32\%、\text{P}_2\text{O}_5 4\%$ ),硫酸钾( $\text{K}_2\text{O} 50\%$ ),供试微生物肥 A、B、C、D、E 技术参数见表 1。

### 1.2 试验设计

2 个试验区均分别设 6 个处理,分别是 T1:对照,常规施肥,不施生物菌剂;T2:生物菌剂 A 30.0  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ +常规施肥;T3:生物菌剂 B 30.0  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ +常规施肥;T4:生物菌剂 C 30.0  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ +常规施肥;T5:生物菌剂 D 30.0  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ +常规施肥;T6:生物菌剂 E 15.0  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ +常规施肥。各处理生物菌剂用量按产品说明确定。

常规施肥氮、磷、钾用量分别为 N 67.5  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$  101.25  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  236.25  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,氮肥 70%条施、30%穴施,磷肥全部条施,钾肥 50%条施、20%穴施、30%追施,生物菌剂 A 兑水 300 倍浇施,其他生物菌剂均穴施。试验采取随机区组设

计,设 3 个重复,小区面积 72 m<sup>2</sup>。其他各项田间生产管理措施统一按当地规范化措施进行。

1.3 测定项目

1.3.1 叶片抗氧化酶活性、丙二醛及可溶性糖含量

在圆顶期,各处理随机选 3 株植株,采集中部叶片 5~6 g,并迅速用锡纸包好放于液氮中,采集完毕后带回实验室存放于-80℃冰箱。过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸收法,超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑法,过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法,丙二醛(MDA)含量采用双组分分光光度计法,可溶性糖含量采用蒽酮比色法<sup>[19]</sup>。

1.3.2 烟叶钾、氯含量 分别在移栽后 45 d 和 60 d 取各处理烟株中部叶,在 105℃下杀青 30 min,然后在 70℃下烘干至恒重,粉碎过 40 目筛后测定全钾和 Cl<sup>-</sup>含量<sup>[20]</sup>。

1.3.3 经济性状 各小区单独计产,并根据烤烟 42 级烟叶分级国家标准对烤后烟叶分级,确定烤烟的产值、均价、上等烟比例。

1.3.4 烤后烟叶的化学成分 烘烤后各处理取中部叶(C3F)和上部叶(B2F)用于测定总糖、还原糖、总氮、烟碱、钾和氯含量<sup>[21]</sup>。

1.4 数据处理与分析

采用 Excel 2016 和 DPS 软件对试验数据进行统计分析,并进行 Duncan 新复极差法多重比较。

2 结果与分析

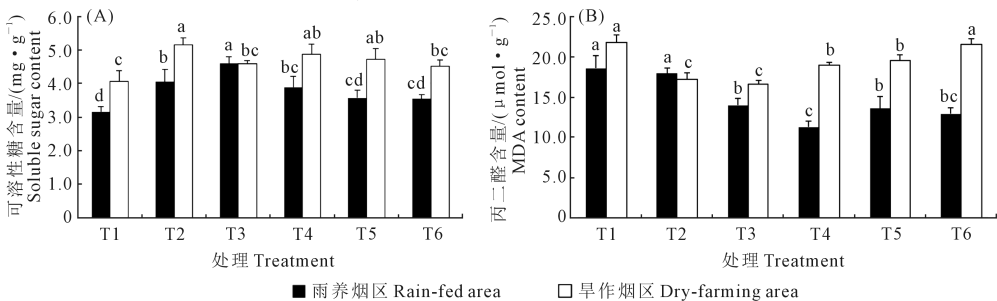
2.1 不同生物菌剂处理对烟叶叶片可溶性糖和丙二醛含量的影响

可溶性糖含量可以反映植株的碳代谢强度,同时在植株逆境防御中具有重要作用<sup>[22]</sup>。从图 1A 可以看出,在雨养烟区,与对照 T1 相比,施用生物菌剂均提高了烟叶叶片中可溶性糖的含量,提高幅度为 0.38%~1.43%,除 T5 处理和 T6 处理外,各处理均显著提高了烤烟叶片中可溶性糖的含量,以 T3 处

理最高,达 4.59%。在旱作烟区,生物菌剂处理可溶性糖含量均高于对照处理,以 T2 处理最高,达 5.16%,说明该处理光合作用效率较高,碳水化合物代谢旺盛<sup>[23]</sup>。

丙二醛(MDA)是膜脂过氧化的产物,具有细胞毒性,其含量高低可反映植物受害的程度<sup>[24]</sup>。由图 1B 可见,除 T2 处理外,各处理 MDA 含量均表现为旱作烟区大于雨养烟区,说明干旱胁迫条件下烟叶细胞膜的损害程度较大。在雨养烟区,与对照 T1 处理相比,施用生物菌剂均降低了烟叶中 MDA 含量,除 T2 处理外差异均达显著水平,以 T4 处理最低,为 11.3 μmol·g<sup>-1</sup>。在旱作烟区,与对照 T1 处理相比,除 T6 处理外,各处理均显著降低了烟叶中 MDA 含量,以 T2 处理和 T3 处理较低,分别为 17.2 μmol·g<sup>-1</sup>和 16.6 μmol·g<sup>-1</sup>。

| 表 1 生物菌剂产品技术参数   |                                                                                                                                                                                             |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 生物菌剂             | 技术参数                                                                                                                                                                                        |
| Biological agent | Agent technical parameters                                                                                                                                                                  |
| A                | 有效活菌数≥2.0×10 <sup>9</sup> ·mL <sup>-1</sup> ,有机碳养分≥150 g·L <sup>-1</sup> ,含枯草芽孢杆菌和凝结芽孢杆菌                                                                                                    |
|                  | Living bacteria≥2.0×10 <sup>9</sup> ·mL <sup>-1</sup> , organic carbon nutrient≥150 g·L <sup>-1</sup> . Contains <i>Bacillus subtilis</i> and <i>Bacillus coagulans</i> .                   |
| B                | 有效活菌数≥2.0×10 <sup>9</sup> ·g <sup>-1</sup> ,主要菌种为绿色木霉                                                                                                                                       |
|                  | Living bacteria≥2.0×10 <sup>9</sup> ·g <sup>-1</sup> , the major general of bacteria was <i>Trichoderma viride</i> .                                                                        |
| C                | 有益活菌数>50×10 <sup>9</sup> ·g <sup>-1</sup> ,含光合细菌、放线菌、酵母菌、木霉、曲霉、腐霉等菌株                                                                                                                        |
|                  | Living bacteria≥50×10 <sup>9</sup> ·g <sup>-1</sup> , contains photosynthetic bacteria, actinomycetes, saccharomycetes, trichoderma, aspergillus, pythium.                                  |
| D                | 有效活菌数≥2.0×10 <sup>9</sup> ·g <sup>-1</sup> ,含防病防虫细菌、真菌群、生物酶                                                                                                                                 |
|                  | Living bacteria≥2.0×10 <sup>9</sup> ·g <sup>-1</sup> , contains disease-resistant and insect-resistant bacteria, fungal community, biological enzyme.                                       |
| E                | 有效活菌含量≥1.0×10 <sup>10</sup> CFU·g <sup>-1</sup> ,含枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌、胶冻样芽孢杆菌、巨大芽孢杆菌                                                                                                              |
|                  | Living bacteria≥1.0×10 <sup>10</sup> CFU·g <sup>-1</sup> , contains <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus licheniformis</i> , <i>Bacillus mucilaginosus</i> , <i>Bacillus megaterium</i> . |



注:不同小写字母表示同一烟区处理间差异显著(P<0.05),下同。  
Note: Different small letters mean significant difference among treatments in the same tobacco planting areas at P<0.05 level. The same below.

图 1 不同处理对烤烟叶片可溶性糖和丙二醛含量的影响

Fig. 1. Effects of different treatments on soluble sugar and MDA content of tobacco leaf

2.2 不同生物菌剂处理对烟叶叶片抗氧化酶活性的影响

由图 2A 可知,雨养烟区叶片 CAT 活性明显高于旱作烟区。在雨养烟区,除 T5 处理外,其他施用生物菌剂处理均比对照 T1 处理提高了烟叶 CAT 活性,以 T4 处理 CAT 活性最高,达  $47.8 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ 。在旱作烟区,与对照 T1 相比,施用生物菌剂均显著提高了烟叶 CAT 活性,以 T2 和 T3 最高,均显著高于其他处理。

由图 2B 可以看出,在雨养烟区,生物菌剂处理均比对照 T1 提高了烟叶 SOD 活性,以 T3 处理和 T4 处理最高且显著高于其他处理。在旱作烟区,施用生物菌剂对烟叶 SOD 活性稍有提高,但各处理间差异不显著。

图 2C 显示,在雨养烟区,施用生物菌剂处理均比对照 T1 的烟叶 POD 活性有一定程度提高,以 T4 处理最高,但其他处理与 T1 差异未达显著水平。在旱作烟区,各处理 POD 活性由高到低的顺序为:  $\text{T3} > \text{T2} > \text{T4} > \text{T6} > \text{T5} > \text{T1}$ ,除 T5 处理外,其他处理均显著提高了烟叶的 POD 活性。

2.3 不同生物菌剂处理对烟叶钾、氯离子含量的影响

不同处理移栽后 45 d 和 60 d 中部烟叶中全钾含量见图 3A。在雨养烟区移栽后 45 d,以 T1 和 T4 的烟叶钾含量较低,显著低于其他处理,以 T3 和 T5 烟叶钾含量较高,分别达 3.44% 和 3.64%,显著高于其他处理;在移栽后 60 d,以 T3 烟叶钾含量最高,达 2.52%,显著高于其他处理。在旱作烟区移栽后 45 d,

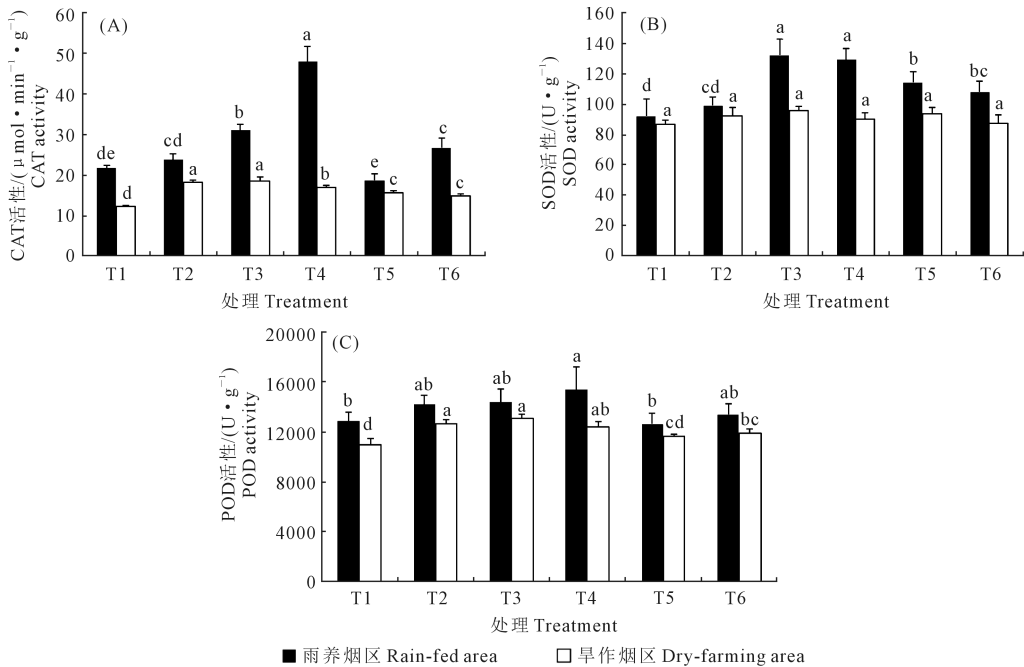
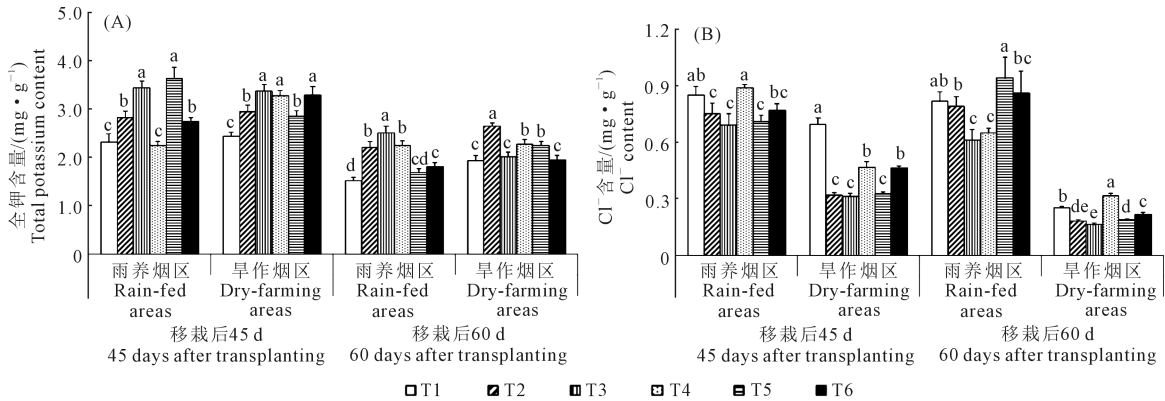


图 2 不同处理对烤烟叶片抗氧化酶活性的影响

Fig.2 Effects of different treatments on antioxidant enzyme activities of tobacco leaf



注:不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )  
Note: Different small letters mean significant difference among treatments ( $P < 0.05$ ).

图 3 不同处理对烟叶钾、氯离子含量的影响

Fig.3 Effects of different treatments on potassium and chlorine content of tobacco leaves



与对照 T1 相比,各处理均显著提高了烟叶钾含量 0.42%~0.94%。在移栽后 60 d,各处理烟叶中钾含量由高到低的顺序表现为:T2>T4>T5>T3>T6>T1,T2 钾含量达 2.65%,显著高于其他处理。

不同处理移栽后 45 d 和 60 d 中部烟叶中 Cl<sup>-</sup>含量见图 3B。在雨养烟区移栽后 45 d,与对照 T1 相比,T2、T3 和 T5 均显著降低了烟叶中 Cl<sup>-</sup>含量;移栽后 60 d,T5 处理的叶片 Cl<sup>-</sup>含量最高,达 0.94%,说明施用该生物菌剂提高了烟叶 Cl<sup>-</sup>含量;以 T3 和 T4 处理烟叶 Cl<sup>-</sup>含量最低,显著低于其他处理,其中 T3 处理 Cl<sup>-</sup>含量为 0.61%。在旱作烟区,移栽后 45 d,对照 T1 叶片中氯离子含量显著高于其他处理,T2、T3、T5 处理氯离子含量较低且三者之间差异不显著;在移栽后 60 d,以 T3 处理烟叶氯离子含量最低,但与 T2 处理差异不显著。

2.4 不同生物菌剂处理对烤烟经济性状的影响

不同处理对烤烟经济性状的影响见表 2。在雨养烟区,与常规对照 T1 处理相比,施用生物菌剂处

理产量提高幅度为 99~447 kg·hm<sup>-2</sup>,T4 处理产量最高,达 2 753 kg·hm<sup>-2</sup>,T3 处理和 T4 处理间产量差异不显著;产值由高到低的顺序为:T3>T4>T5>T6>T2>T1,T3 产值显著高于其他处理;各处理均价和上等烟比例均以 T3 最高,分别为 22.25 元·kg<sup>-1</sup>和 54.2%。在旱作烟区,与常规对照处理相比,施用生物菌剂处理产量提高幅度为 19~171 kg·hm<sup>-2</sup>,T3 产量最高,达 2 585 kg·hm<sup>-2</sup>,T3 和 T2 产量均显著高于对照处理;与对照处理相比,除 T6 外,各处理均显著提高了烟叶产值,以 T2 处理产值最高,达 63 214元·hm<sup>-2</sup>,除 T4 外与其他处理产值差异均达显著水平;各处理均价和上等烟比例均以 T2 最高,分别为 24.82 元·kg<sup>-1</sup>和 61.8%。

2.5 不同生物菌剂处理对烤后烟叶化学成分的影响

从表 3 可以看出,在雨养烟区,与对照 T1 处理相比,除 T6 处理外的其他施用生物菌剂处理均降低了中部叶和上部叶总糖、还原糖和烟碱含量,上部

表 2 不同处理对烤烟经济性状的影响

Table 2 Effects of different treatments on economic characters of flue-cured tobacco

| 处理<br>Treatment | 产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )<br>Yield |         | 产值/(元·hm <sup>-2</sup> )<br>Output value/(Yuan·hm <sup>-2</sup> ) |         | 均价/(元·kg <sup>-1</sup> )<br>Average price/(Yuan·hm <sup>-2</sup> ) |       | 上等烟比例/%<br>Supper grade tobacco rate |      |
|-----------------|------------------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------|---------|--------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------|------|
|                 | RA                                 | DA      | RA                                                                | DA      | RA                                                                 | DA    | RA                                   | DA   |
|                 |                                    |         |                                                                   |         |                                                                    |       |                                      |      |
| T1              | 2306e                              | 2414c   | 45234e                                                            | 55365e  | 19.62                                                              | 22.94 | 31.1                                 | 48.1 |
| T2              | 2405d                              | 2547ab  | 49124d                                                            | 63214a  | 20.43                                                              | 24.82 | 33.8                                 | 61.8 |
| T3              | 2694ab                             | 2585a   | 59942a                                                            | 59545bc | 22.25                                                              | 23.04 | 54.2                                 | 51.8 |
| T4              | 2753a                              | 2502abc | 58160b                                                            | 61519ab | 21.13                                                              | 24.59 | 45.6                                 | 57.8 |
| T5              | 2609b                              | 2480bc  | 52535c                                                            | 58165cd | 20.14                                                              | 23.46 | 36.8                                 | 53.8 |
| T6              | 2517c                              | 2433c   | 52052c                                                            | 56565de | 20.68                                                              | 23.25 | 38.3                                 | 52.8 |

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。RA:雨养烟区;DA:旱作烟区。下同。  
Note: Different small letters in the same column mean significant difference ( $P<0.05$ ). RA: Rain-fed tobacco planting area; DA: Dry-farming tobacco planting area. The same below.

表 3 不同处理对烤后烟叶化学成分的影响

Table 3 Effects of different treatments on chemical components of flue-cured tobacco

| 部位<br>Plant part          | 处理<br>Treatment | 总糖/%<br>Total sugar |      | 还原糖/%<br>Reducing sugar |      | 总氮/%<br>Total N |      | 烟碱/%<br>Nicotine |      | K <sup>+</sup> /% |      | Cl <sup>-</sup> /% |      |
|---------------------------|-----------------|---------------------|------|-------------------------|------|-----------------|------|------------------|------|-------------------|------|--------------------|------|
|                           |                 | RA                  | DA   | RA                      | DA   | RA              | DA   | RA               | DA   | RA                | DA   | RA                 | DA   |
|                           |                 |                     |      |                         |      |                 |      |                  |      |                   |      |                    |      |
| 中部叶<br>Middle leaf<br>C3F | T1              | 25.6                | 21.5 | 22.7                    | 18.6 | 2.03            | 1.38 | 2.74             | 2.92 | 1.47              | 1.10 | 0.61               | 0.63 |
|                           | T2              | 22.3                | 27.2 | 18.8                    | 23.4 | 2.06            | 1.45 | 2.69             | 2.73 | 1.62              | 1.94 | 0.67               | 0.55 |
|                           | T3              | 22.7                | 22.4 | 19.9                    | 19.9 | 1.94            | 1.71 | 2.55             | 3.31 | 1.84              | 1.35 | 0.72               | 0.65 |
|                           | T4              | 23.4                | 25.4 | 20.1                    | 22.2 | 2.09            | 1.40 | 2.61             | 3.06 | 1.74              | 1.94 | 0.55               | 0.56 |
|                           | T5              | 23.5                | 26.1 | 18.2                    | 23.4 | 2.14            | 1.57 | 2.48             | 2.47 | 1.63              | 1.83 | 0.85               | 0.48 |
|                           | T6              | 24.2                | 28.9 | 17.8                    | 22.9 | 2.11            | 1.61 | 2.81             | 3.17 | 1.51              | 1.47 | 0.64               | 0.77 |
| 上部叶<br>Upper leaf<br>B2F  | T1              | 26.9                | 27.2 | 24.2                    | 23.6 | 2.05            | 1.70 | 2.92             | 3.16 | 1.34              | 1.36 | 0.69               | 0.61 |
|                           | T2              | 25.4                | 26.5 | 22.7                    | 22.5 | 1.86            | 1.41 | 2.63             | 3.15 | 1.58              | 1.65 | 0.64               | 0.46 |
|                           | T3              | 23.3                | 24.2 | 20.8                    | 22.5 | 1.75            | 1.77 | 2.69             | 3.64 | 1.76              | 1.54 | 0.78               | 0.42 |
|                           | T4              | 24.1                | 26.8 | 21.2                    | 23.6 | 1.83            | 1.60 | 2.76             | 3.03 | 1.73              | 1.63 | 0.61               | 0.51 |
|                           | T5              | 24.7                | 26.9 | 22.4                    | 23.4 | 1.87            | 1.87 | 2.81             | 3.07 | 1.51              | 1.54 | 0.63               | 0.64 |
|                           | T6              | 27.1                | 29.8 | 25.2                    | 23.7 | 1.96            | 2.14 | 2.94             | 3.44 | 1.47              | 1.67 | 0.57               | 0.75 |

叶总氮含量也均有所降低,各施用生物菌剂处理对烟叶钾含量均有所提高,中部和上部叶钾含量均以 T3 处理最高,分别达 1.84% 和 1.76%。 $\text{Cl}^-$  含量分析结果表明,与对照处理相比,上部叶除 T3 处理有所增加外,其余处理均降低了上部烟叶  $\text{Cl}^-$  含量。在旱作烟区,与对照处理相比,施用生物菌剂处理均提高了中部叶总糖和还原糖含量,上部叶除 T6 处理外,各处理总糖含量均有一定降低。从总氮含量比较,施用生物菌剂处理中部叶总氮含量均有一定上升。与对照处理相比,T2 处理和 T5 处理中部叶烟碱含量有一定降低。施用生物菌剂处理均明显提高烟叶钾含量,中部叶提高 0.25%~0.84%,上部叶提高 0.18%~0.31%,不同生物菌剂处理间相比,中部叶钾含量以 T2 处理和 T4 处理较高,均为 1.94%。各处理烟叶氯离子含量均在小于 0.8% 的适宜范围<sup>[21]</sup>。

### 3 讨论与结论

可溶性糖是原烟重要品质指标之一,在一定范围内,可溶性总糖含量越高,烟叶品质越好<sup>[25]</sup>。本试验结果表明,与对照处理(T1)相比,施用生物菌剂处理均提高了烟叶叶片中可溶性糖的含量,不同处理间相比,雨养烟区以 T3 处理最高,旱作烟区以 T2 处理最高。MDA 含量可以反映植物遭受逆境伤害的程度,最直接的特征在于叶片的快速衰老<sup>[26]</sup>,从本试验看,MDA 含量均表现为旱作烟区大于雨养烟区,施用生物菌剂处理均降低了叶片中 MDA 含量。生物体内各种代谢途径都是由酶来催化和调控的,特别是一些起调控作用的抗氧化酶<sup>[27]</sup>。研究表明,向土壤中添加有机物料能够明显改善土壤理化性质和植物叶片的抗氧化酶活性<sup>[28]</sup>,孙运杰等<sup>[29]</sup>试验结果表明,施用生物有机肥使蓝莓叶片的过氧化氢酶活性显著提高,提高了蓝莓的抗逆能力。本研究结果表明,与对照处理相比,除雨养烟区 T5 处理外,其他施用生物菌剂处理均提高了烤烟叶片 CAT、SOD、POD 活性,说明施用生物菌剂提高了烟叶清除活性氧分子的能力,减轻了逆境对细胞膜系统的伤害,增强烟株的抗逆能力和环境适应能力。

本试验研究结果表明,施用生物菌剂处理(除雨养烟区 T5 外)中部叶钾含量均高于对照处理,在移栽后 60 d,雨养烟区以 T3 中部叶全钾含量显著高于其他处理,旱作烟区则以 T2 钾含量最高。从烟叶中  $\text{Cl}^-$  含量分析,与对照 T1 相比,在移栽后 45 d,除雨养烟区 T4 处理外,其他施用生物菌剂处理  $\text{Cl}^-$

含量均有所降低,在移栽后 60 d,雨养烟区 T3 和 T4 烟叶  $\text{Cl}^-$  含量较低,旱作烟区以 T3 和 T2 烟叶  $\text{Cl}^-$  含量较低。弓新国等<sup>[30]</sup>研究表明,微生物菌剂在苗期和大田期施用均可促进烤烟生长,减少病害发生,提高烟叶产量、质量。张良等<sup>[31]</sup>试验结果显示,复合菌剂与有机无机肥配施可以显著提高烤烟上等烟比例和均价。从本试验经济性状来看,与对照 T1 相比,施用生物菌剂处理提高了烤烟产量、产值、均价和上等烟比例,各生物菌剂处理间相比,雨养烟区以 T3 最佳,旱作烟区则以 T2 表现最佳。从烤后烟叶化学成分来看,在雨养烟区,与对照 T1 相比,除 T6 处理外,其他施用生物菌剂处理均降低了中部叶和上部叶总糖、还原糖和烟碱含量,而在旱作烟区,施用生物菌剂处理均提高了中部叶总糖和还原糖含量,并且烟叶钾含量均有所提高,在雨养烟区和旱作烟区分别以 T3 和 T2 表现较好。 $\text{Cl}^-$  含量除雨养烟区 T5 处理外,其他处理烟叶  $\text{Cl}^-$  含量均在小于 0.8% 的适宜范围。

综合来看,与常规施肥相比,施用生物菌剂能提高烤烟叶片中可溶性糖的含量,降低叶片中 MDA 含量,提高抗氧化酶活性,增强烟株的抗逆能力,提高烟叶的产量和产值,促进烤后烟叶化学成分更加协调。在雨养烟区和旱作烟区,分别以 T3 处理(生物菌剂 B,用量  $30.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,施用方式为穴施)和 T2 处理(生物菌剂 A,用量  $30.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,施用方式为兑水 300 倍浇施)较果较好。

### 参考文献:

- [1] 毛家伟,杨立均,张翔,等.减氮配施生物菌剂对土壤肥力及烟叶产量质量影响[J].中国农学通报,2017,33(15):56-61.
- [2] 王发勇,袁清华,廖宜树,等.栽培措施对烤烟生育进程的影响研究进展[J].中国烟草科学,2016,37(2):89-94.
- [3] 陈佳武,陈颐,周清明,等.湘南浓香型烟叶产区烤烟大田生育期气候趋势分析[J].作物研究,2016,30(6):697-703,713.
- [4] 霍勇锦,徐紫薇,王燃,等.干旱胁迫下嫁接对烟草抗氧化酶活性、膜脂过氧化及胁迫响应基因表达的影响[J].烟草科技,2016,49(8):14-20.
- [5] 郭文琦,陈兵林,刘瑞显,等.施氮量对花铃期短期渍水棉花叶片抗氧化酶活性和内源激素含量的影响[J].应用生态学报,2010,21(1):53-60.
- [6] 靳志丽,刘国顺,聂新柏.腐殖酸对土壤环境和烤烟矿质吸收影响的研究[J].中国烟草科学,2002,(3):15-18.
- [7] 张笑宇,段宏群,王闯灵,等.轮作与连作对烟田土壤微生物区系及多样性的影响[J].中国土壤与肥料,2018,(6):84-90.
- [8] 代晓燕,郭春燕,王海波,等.钾肥施用方式对豫西烤烟钾含量及产质量的影响[J].中国烟草学报,2012,18(3):12-49.
- [9] 王亚宁,张翔,范艺宽,等.烟草草素营养研究进展与展望[J].中国农学通报,2017,33(27):66-70.
- [10] 孙计平,吴照辉,李雪君,等.高氯灌溉水对盆栽烤烟氯吸收和分配

的影响[J].河南农业科学,2017,46(10):44-48.

[11] 张翔,王亚宁,范艺宽,等.河南省不同烤烟种植区微生物肥效应差异[J].中国土壤与肥料,2017,(5):99-104.

[12] 黄鹏,何甜,杜娟.配施生物菌肥及化肥减量对玉米水肥及光能利用效率的影响[J].中国农学通报,2011,27(3):76-79.

[13] 张亚玉,孙海,吴连举,等.多功能微生物制剂对农田栽参土壤容重及人参皂苷的影响研究[J].特产研究,2010,32(1):35-37,48.

[14] 邓家礼,李红丽,李小龙,等.生物菌剂对青枯病的防治效果研究[J].天津农业科学,2015,21(4):117-119.

[15] 李倩,牛莉莉,刘园,等.微生物制剂在现代烟草生产中的应用研究进展[J].贵州农业科学,2018,46(7):68-72.

[16] 陈冲,王小东,郭传滨,等.微生物菌剂不同用量对烤烟生长和叶片关键酶活性的影响[J].山东农业科学,2015,47(9):73-76.

[17] 邝中山.微生物肥在烤烟上的应用效果[J].广东农业科学,2009,(6):84-85.

[18] 刘艳霞,李想,蔡刘体,等.生物有机肥对烟株和土壤酶活性以及烟草超微结构的影响[J].中国烟草学报,2013,19(6):78-85.

[19] 李春丽,毛绍春.烟叶化学成分及分析[M].昆明:云南大学出版社,2007:179-186.

[20] 鲍士旦.土壤化学分析[M].北京:中国农业科技出版社,2000:270-275.

[21] 王瑞新.烟草化学[M].北京:中国农业出版社,2003:263-295.

[22] 王亚宁.白肋烟旱生快发栽培的生理机制与适应性品种筛选的研究[D].武汉:华中农业大学,2016.

[23] 刘国顺,习向银,时向东,等.锌对烤烟漂浮育苗中烟苗生长及生理特性的影响[J].河南农业大学学报,2002,36(2):18-22.

[24] 李海燕,刘惕若,甄艳.辣椒品种对疫病的抗性研究-氨酸、丙二醛与可溶性糖在抗病中的作用[J].中国农学通报,2006,22(11):315-317.

[25] 张欢欢,梁晓红,熊德中.不同供氮水平对烤烟叶片碳代谢的影响[J].福建农业学报,2013,28(8):752-757.

[26] 张德龙,张士荣,王军,等.南雄烟区主栽烤烟品种成熟期丙二醛含量变化规律研究[J].中国农学通报,2017,33(28):44-49.

[27] 陈爽,朴世领,金爱兰,等.不同抗性晒烟品种接种 TMV 后抗氧化酶活性及叶绿素含量的变化[J].吉林农业大学学报,2015,37(3):273-280.

[28] 唐雪东,李亚东,吴林,等.不同土壤改良物质对越桔叶片酶活性影响的研究[J].土壤通报,2005,36(1):76-79.

[29] 孙运杰,马海林,刘方春,等.生物肥对蓝莓光合生理特性及品质的影响[J].东北林业大学学报,2016,44(6):36-40.

[30] 弓新国,胡晓峰,陈俊秋,等.不同时期施用微生物菌剂对烤烟生长和产量质量的影响[J].中国土壤与肥料,2014,(6):106-110.

[31] 张良,刘好宝,顾金刚,等.复合菌剂与有机无机肥配施对烤烟生长及产量品质的影响[J].烟草科技,2013,(12):67-73.

(上接第 180 页)

[14] 孙权,张学英,王振平,等.宁夏贺兰山东麓葡萄基地土壤微量元素分布状况[J].中外葡萄与葡萄酒,2008,(2):4-8.

[15] 王锐.贺兰山东麓土壤特征及其与酿酒葡萄生长品质关系研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2016.

[16] 施明,孙权,王锐,等.贺兰山东麓酿酒葡萄园土壤微量营养元素及微肥施用进展[J].中外葡萄与葡萄酒,2013,(2):59-63.

[17] 窦森,于水强,张晋京.不同 CO<sub>2</sub> 浓度对玉米秸秆分解期间土壤腐殖质形成的影响[J].土壤学报,2007,44(3):458-466.

[18] Chen Y D, Wang H Y, Zhou J M, et al. Minimum data set for assessing soil quality in farmland of northeast China [J]. Pedosphere, 2013, 23(5):564-576.

[19] 姜龙群,侯贵廷,黄淇,等.基于因子分析和最小数据集的土壤养分评价——以房山平原区为例[J].2018,49(5):1034-1040.

[20] 贡璐,张雪妮,冉启洋.基于最小数据集的塔里木河上游绿洲土壤质量评价[J].土壤学报,2015,52(3):685-689.

[21] 金慧芳,史东梅,陈正发,等.基于聚类及 PCA 分析的红旗坡耕地耕层土壤质量评价指标[J].农业工程学报,2018,34(7):155-164.

[22] 施建平,宋歌.中国土种数据库——基于第二次土壤普查的全国性土壤数据集[J/OL].中国科学数据,2016,1(2):1-12. DOI: 10.11922/CSDATA170.2015.0033.

[23] 解锋.我国土壤中硼元素现状及对策分析[J].陕西农业科学,2010,(1):139-141.

[24] 卢翠玲,张俊华,丁亚鹏,等.基于模糊数学法的河南黄泛区土壤质量综合评价——以开封和周口为例[J].河南大学学报(自然科学版),2018,48(6):660-668.

[25] 郑敏娜,梁秀芝,李荫藩,等.晋北盐碱区不同种植年限人工紫花苜蓿草地土壤质量的评价[J].草地学报,2017,25(4):889-892.

[26] 孙华,谢丽,张金婷,等.基于改进内梅罗指数法的棕(褐)地周边土壤重金属污染评价[J].环境保护科学,2018,44(2):98-102.

[27] 陈欢,曹承富,张存岭,等.基于主成分-聚类分析评价长期施肥对砂姜黑土肥力的影响[J].土壤学报,2014,51(3):600-617.

[28] 赵串串,安若兰,赵巧玉,等.物元模型在玉树地区林地土壤养分评价中的应用[J].土壤,2014,46(6):984-988.

[29] 李向,管涛,徐清.基于 BP 神经网络的土壤重金属污染评价方法——以包头土壤环境质量评价为例[J].中国农学通报,2012,28(02):250-256.

[30] 牛颖超,周忠发,王历,等.基于分形插值模型的贵州农产品区土壤养分综合评价研究[J].环境化学,2018,37(10):2207-2218.

[31] 杨建宇,欧聪,李琪,等.基于云模型的耕地土壤养分模糊综合评价[J].农业机械学报,2018,49(1):251-257.

[32] Larson W E, Pierce F J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management[C]//Doran J W, Coleman D C, Bezdicek D F, et al. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Madison, USA: Soil Science Society of America Special Publication, 1994, 37-70.

[33] 向武,周卫军,于良艺,等.低山油茶林土壤肥力质量评价最小数据集的建立[J].湖南农业科学,2013,(3):44-46.

[34] 杨梅花,赵小敏,王芳东,等.基于主成分分析的最小数据集的肥力指数构建[J].江西农业大学学报,2016,38(6):1188-1195.

[35] 邓绍欢,曾令涛,关强,等.基于最小数据集的南方地区冷浸田土壤质量评价[J].土壤学报,2016,53(5):1326-1333.