

熊佳诚,沈子奇,高旭,等. 喷施外源物质复配剂对烤烟生长和烟叶质量的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(3):84-90.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.03.013

# 喷施外源物质复配剂对烤烟生长和烟叶质量的影响

熊佳诚<sup>1</sup>, 沈子奇<sup>1</sup>, 高旭<sup>1,2</sup>, 许金亮<sup>1</sup>, 罗维<sup>2</sup>, 王洪春<sup>2</sup>, 杨杰<sup>2</sup>, 胡东华<sup>2</sup>, 李强<sup>1</sup>

(1. 湖南农业大学农学院,湖南长沙 410128; 2. 四川中烟工业有限责任公司,四川成都 610017)

**摘要:**为促进烤烟大田生长发育及提高烤后烟叶产质量,以云烟 87 为试验材料,利用 6-BA、DA-6、LaCl<sub>3</sub>、DCPTA 等 4 种外源物质共设置 11 个复配剂处理(含清水对照),分别测定烤烟植株现蕾期至圆顶期的农艺性状、冠层特征、光合参数和烤后烟叶的化学成分、经济指标。结果表明:(1)除 T1 处理外,不同外源物质复配剂对烤烟现蕾期至圆顶期的株高、最大叶宽、最大叶面积均有较大提升,其中 T3、T8、T10 处理对烤烟整体农艺性状均有促进效果,T3 处理最为明显;(2)中层光能截获率在 T2、T7、T8 处理下增长效果最显著,群体光能截获率在 T7、T9 处理下略有提升,不同外源物质施肥都延缓了烟叶成熟过程中光合参数下降的幅度,增强了烟叶的耐熟性;(3)不同外源物质施肥方式下烟叶产量和产值均有所提升,其中产量增长率在 1.9%~18.5% 之间,产值增长率在 3.3%~16.6% 之间,T3、T8、T10 处理与 CK 相比,均价、上等烟比例、中上等烟比例均有不同程度的提升,其中 T8 处理对于烤烟的经济性状提升最为明显;(4)不同外源物质复配剂均能提高烤后烟叶的化学成分协调性,烤后烟叶化学成分协调性在 T1、T5、T6、T8、T9、T10 处理中表现最好,其中化学成分协调性的综合得分提高 1.6~7.6 分。综上所述,现蕾期喷施 6-BA、DA-6、LaCl<sub>3</sub>、DCPTA 等外源物质的复配剂,能促进烤烟的大田生长发育、增强烟叶光合作用、优化化学成分协调性、提高烤后烟叶产质量;其中 T8 处理的促进效果最好,其次为 T3 处理。

**关键词:**云烟 87;外源物质;复配;光合参数;化学成分协调性

**中图分类号:**S572.04 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)03-0084-06

烤烟收获和利用的主要器官是烟叶,而烟叶既是烤烟进行光合作用的源也是光合产物的库,光合作用直接影响烟叶生长和干物质积累;当烟叶光照不足时,会导致叶片变薄而内含物不足,最终烟叶产量和品质下降<sup>[1]</sup>。有研究表明,喷施具有促进光合作用的外源物质,可以促进叶绿素的合成,抑制光呼吸,加强营养生长,有效增加叶片内含物,能从源和库 2 个方面促进烟叶的光合作用,对提高烟叶产量和品质有重要意义<sup>[2-5]</sup>。外源植物生长物质是由人工合成的,与植物激素具有类似的生理作用,在植物种子萌发和植物生长过程中有不同程度影响和作用。蔡子文等研究发现,CaCl<sub>2</sub>、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 等 5 种不同的外源物质浸种均能在不同程度上促进种子萌发,提高种子发芽率<sup>[6]</sup>。赵文欣等用外源 CaCl<sub>2</sub>、CuSO<sub>4</sub> 处理黑豆芽种子,发现适宜浓度的

CaCl<sub>2</sub>、CuSO<sub>4</sub> 能提高黑豆芽发芽率,保持较高的生理活性物质<sup>[7]</sup>。肖刘华等发现,0.01 mmol/L SA(水杨酸)、0.005 mmol/L EBR(表油菜素内酯)、1 mmol/L L-Arg(L-精氨酸)、0.1 mmol/L 和 5.0 mmol/L Spd(亚精胺)、0.1 mmol/L Sor(山梨醇)处理,可诱导采后猕猴桃果实对葡萄座腔菌产生抗性<sup>[8]</sup>。此外,外源生长物质在作物高温<sup>[9]</sup>、低温<sup>[10]</sup>、盐胁迫<sup>[11]</sup>等逆境生长过程有较大的调节作用,可通过提高作物抗氧化酶活性和渗透调节物质含量,增强作物对逆境的适应能力;还可以通过改变土壤 pH 值、微生物生物量碳、碳酸钙转化的<sup>13</sup>C-DOC(土壤可溶性有机碳)和<sup>13</sup>C-MBC(土壤微生物生物量碳)含量,间接影响土壤微生物群落的多样性和组成结构<sup>[12]</sup>,提高根际土壤酶活性,促进根际土壤有机质、碱解氮、有效磷、有效钾的吸收和土壤酚酸类化感自毒物质降解,提高作物的产量和品质<sup>[13]</sup>。6-BA(6-苄氨基嘌呤)是一种人工合成的细胞分裂素,在叶面喷施一定浓度的 6-BA,具有延缓植物叶片光合色素含量降低,改善叶片光合特性,进而延长叶片光合作用的能力<sup>[14]</sup>。DA-6(2-N,N-乙氨基乙基己酸酯)是一类新型、广谱性植物

收稿日期:2023-05-12

项目基金:四川中烟工业有限责任公司项目(编号:y1201901)。

作者简介:熊佳诚(1999—),男,湖南邵阳人,硕士研究生,研究方向为烟草生理生态与栽培调制。E-mail:1762345799@qq.com。

通信作者:李强,博士,副教授,主要从事烟草生理生态和烟草种质资源创新利用研究。E-mail:zqiangli@126.com。

生长调节剂,具有高度安全性,在叶面喷施一定浓度的 DA-6,有助于提高植物叶面积指数和光合速率<sup>[15]</sup>。LaCl<sub>3</sub> 中的镧元素是稀土元素中含量相对丰富和重要的元素,对植物的生命活动有着至关重要的调节作用<sup>[16]</sup>。在水稻孕穗期喷施 LaCl<sub>3</sub> 溶液,能够明显提高水稻叶片的叶绿素含量,从而促进水稻的光合作用<sup>[17]</sup>。DCPTA [2-(3,4-二氯苯氧基)-乙基-二乙胺]是一类具有高生物活性和低分子量特性的叔胺类活性物质,喷施 DCPTA,叶片光合速率、叶绿素含量、农艺性状和产量均有增加和改善<sup>[18]</sup>。

目前,有关 6-BA、DA-6、LaCl<sub>3</sub>、DCPTA 这 4 种外源物质在烤烟上的研究,大部分集中于单独 1 种外源物质喷施对于烤烟生长发育和改善品质方面的影响。本试验通过分析现蕾期在叶面喷施外源物质复配剂对烟株生长发育、冠层特征、化学成分协调性、经济指标的影响,筛选合适的外源物质配施方式,以期调节烤烟大田生长发育及提高烤后烟叶产质量提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验地概括

试验于 2021 年在四川省凉山州会理县太平镇开展,试验地海拔高度为 2 121 m,102.47°E、26.75°N;土壤类型为黄壤,地势平坦,土壤肥力中等、均匀,且具有代表性,1 km 以内无污染源。试验地主要肥力指标如下:pH 值为 6.12,有机质含量为 2.91%,全氮含量为 1.83 g/kg,碱解氮含量为 145.65 mg/kg,有效磷含量为 24.16 mg/kg,速效钾含量为 234.56 mg/kg。

1.2 试验设计

以当地常栽品种云烟 87 为试验材料。株行距为 1.2 m×0.5 m,种植密度为 15 750 株/hm<sup>2</sup>。不同外源物质复配剂由 6-BA、DA-6、LaCl<sub>3</sub>、DCPTA 这 4 种材料组成,共 11 个处理(含对照 CK),各处理配置详见表 1,以喷施等量清水为对照 CK。全田烟株有 50% 现蕾后,喷施烤烟叶面(各叶片的正反面),至整叶湿润,叶面喷施选择在无风傍晚进行,喷施后 48 h 内无降雨。每个处理重复 3 次,处理之间设置保护行。试验田施肥、田间管理和烟叶烘烤、分级按当地优质烟叶生产标准执行。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 农艺性状 每处理选取代表性烟株 10 株,于现蕾期喷施外源物质复配剂前 1 d 和圆顶期测量

| 表 1 各处理所含外源物质具体设置 |          |      |                   |       |
|-------------------|----------|------|-------------------|-------|
| 处理                | 浓度(mg/L) |      |                   |       |
|                   | 6-BA     | DA-6 | LaCl <sub>3</sub> | DCPTA |
| T1                | 10       | 50   |                   |       |
| T2                | 10       |      | 50                |       |
| T3                | 10       |      |                   | 40    |
| T4                |          | 50   | 50                |       |
| T5                |          | 50   |                   | 40    |
| T6                |          |      | 50                | 40    |
| T7                | 10       | 50   |                   | 40    |
| T8                | 10       |      | 50                | 40    |
| T9                |          | 50   | 50                | 40    |
| T10               | 10       | 50   | 50                |       |
| CK                |          |      |                   |       |

株高、茎围、最大叶长、最大叶宽等农艺性状指标。

1.3.2 冠层特征 在现蕾期和圆顶期,每个定位田块采用“W”形选取 5 个点,分顶层(顶叶以上)、上层(第 6 叶和第 7 叶之间)、中层(第 14 叶和第 15 叶之间)、下层(底叶以下)这 4 层,测定垄上冠层特征。

1.3.3 光合指标 在现蕾期和圆顶期,采用“X”形(方形田块)或“W”形(长形田块),选取 5 个点打顶后从上往下数第 1、4、10、15 叶,采用 MultispeQ 植物多功能测定仪(Photosynq,美国),测定相对叶绿素含量(SPAD 值)和叶绿素荧光参数: $\Phi_{PSII}$ (PS II 有效量子产量)、 $F_v/F_m$ (PS II 最大光化学量子产量)、LEF(PS II 相对电子传递效率),计算平均值。

1.3.4 经济性状 使用当地标准,计算各处理烤后烟叶的产量、产值、均价和上等烟比例、中上等烟比例。

1.3.5 化学成分 烤后中部烟叶样品的总糖、还原糖、烟碱、氯、淀粉、蛋白质含量等使用连续流动分析仪测定,总氮含量使用凯氏定氮仪测定,钾含量使用火焰光度计测定,并按照李强等的评价方法<sup>[19]</sup>对烤烟化学成分协调性进行综合评价。

1.4 数据处理与统计分析

数据整理在 Excel 中完成,使用 SPSS 23.0 完成方差分析和多重比较( $\alpha=0.05$ )。

2 结果与分析

2.1 喷施不同外源物质复配剂对烤烟农艺性状的影响

不同外源物质复配剂对烤烟农艺性状的影响较大。由表 2 可知,就株高而言,相较于 CK 1.2%

的增长率,T1、T9 处理的增长率只有 0.2%、0.1% ;其余处理的增长率均不同程度高于 CK,增长率在 3.3% ~14.9%,其中 T3、T8、T10 处理的增长率分别是 13.5%、14.9%、9.2%,复配效果对株高影响最明显。就最大叶长而言,相较于 CK 15.5% 的增长率,T1、T2、T4、T5、T6 处理的增长率均有所不及,表现为抑制作用,其中 T1 处理的增长率只有 2.6%,抑制效果最明显;T7 处理有 15.4% 的增长率,与对照基本一致;T3、T8、T9、T10 处理的增长率分别为 28.0%、29.0%、17.6%、26.4%,其中 T3、T8、T10 处理的复配效果最为明显。CK 的最大叶宽增长率为 0.5%,除 T10 处理的增长率为 0.3%,表现为抑制以外,其他处理均有不同程度的促进效果,其中 T2、T3、T7 处理的促进效果最明显,增长率分别是 9.7%、11.2%、10.5%。CK 的茎围增长率

为 16.3%,T1、T2、T4、T5、T7、T9 处理的增长率均不及 CK,表现为抑制,其中 T7 处理的增长率只有 7.6%;T3、T6、T8、T10 处理表现为促进作用,其中 T3、T6、T8 处理的促进作用最为明显,增长率分别为 23.6%、22.5%、25.6%。最大叶面积中,CK 增长率为 16.2%,除 T1 处理的增长率只有 3.9% 表现为抑制外,其他处理均有不同程度的促进作用;其中 T3、T7、T8、T10 处理的促进效果最明显,增长率分别为 42.4%、27.5%、32.3%、26.0%。综上,T3、T8、T10 处理对烤烟各农艺性状的增长率均高于 CK,表现出明显促进作用,其中促进作用增长幅度排序为 T3 > T8 > T10,说明这 3 种复配方式对现蕾期至圆顶期烤烟农艺性状具有明显的促进作用,可提高烤烟产量;T1 各农艺性状增长率均低于 CK,抑制烤烟生长。

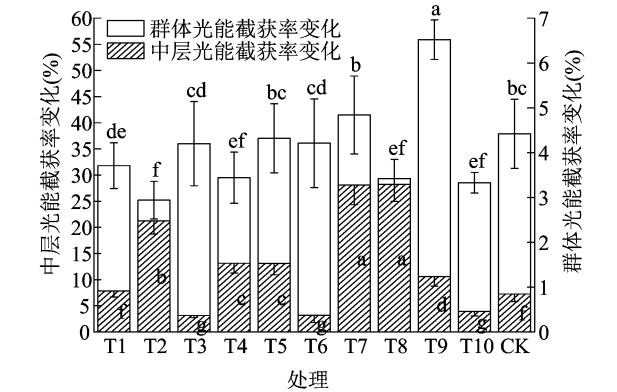
表 2 烤烟农艺性状变化

| 处理  | 株高(cm) |      | 株高<br>增长率<br>(%) | 最大叶长(cm) |      | 最大叶长<br>增长率<br>(%) | 最大叶宽(cm) |      | 最大叶宽<br>增长率<br>(%) | 茎围(cm) |      | 茎围<br>增长率<br>(%) | 最大叶面积(cm <sup>2</sup> ) |         | 最大叶<br>面积增长<br>率(%) |
|-----|--------|------|------------------|----------|------|--------------------|----------|------|--------------------|--------|------|------------------|-------------------------|---------|---------------------|
|     | 现蕾期    | 圆顶期  |                  | 现蕾期      | 圆顶期  |                    | 现蕾期      | 圆顶期  |                    | 现蕾期    | 圆顶期  |                  | 现蕾期                     | 圆顶期     |                     |
| T1  | 94.8   | 95.0 | 0.2              | 78.3     | 80.3 | 2.6                | 39.3     | 39.8 | 1.3                | 10.2   | 11.3 | 10.8             | 1 952.5                 | 2 027.8 | 3.9                 |
| T2  | 87.4   | 93.4 | 6.9              | 74.3     | 83.0 | 11.7               | 35.9     | 39.4 | 9.7                | 10.0   | 11.3 | 13.0             | 1 692.4                 | 2 074.9 | 22.6                |
| T3  | 78.4   | 89.0 | 13.5             | 65.6     | 84.0 | 28.0               | 34.7     | 38.6 | 11.2               | 8.9    | 11.0 | 23.6             | 1 444.3                 | 2 057.3 | 42.4                |
| T4  | 83.0   | 89.4 | 7.7              | 73.7     | 84.2 | 14.2               | 38.5     | 40.0 | 3.9                | 9.7    | 10.6 | 9.3              | 1 800.4                 | 2 137.0 | 18.7                |
| T5  | 96.2   | 99.8 | 3.7              | 73.0     | 80.8 | 10.7               | 38.1     | 40.2 | 5.5                | 10.1   | 11.1 | 9.9              | 1 764.7                 | 2 061.0 | 16.8                |
| T6  | 85.8   | 88.6 | 3.3              | 70.4     | 80.6 | 14.5               | 36.5     | 38.2 | 4.7                | 8.9    | 10.9 | 22.5             | 1 630.4                 | 1 953.6 | 19.8                |
| T7  | 76.4   | 80.8 | 5.8              | 68.8     | 79.4 | 15.4               | 34.2     | 37.8 | 10.5               | 9.2    | 9.9  | 7.6              | 1 493.0                 | 1 904.3 | 27.5                |
| T8  | 69.3   | 79.6 | 14.9             | 60.0     | 77.4 | 29.0               | 34.7     | 35.6 | 2.6                | 8.2    | 10.3 | 25.6             | 1 321.0                 | 1 748.3 | 32.3                |
| T9  | 73.1   | 73.2 | 0.1              | 66.6     | 78.3 | 17.6               | 37.1     | 38.4 | 3.5                | 8.7    | 9.9  | 13.8             | 1 567.8                 | 1 907.8 | 21.7                |
| T10 | 71.8   | 78.4 | 9.2              | 65.2     | 82.4 | 26.4               | 35.5     | 35.6 | 0.3                | 8.8    | 10.5 | 19.3             | 1 468.6                 | 1 850.8 | 26.0                |
| CK  | 76.6   | 77.5 | 1.2              | 69.5     | 80.3 | 15.5               | 36.8     | 37.0 | 0.5                | 8.6    | 10.0 | 16.3             | 1 622.8                 | 1 885.2 | 16.2                |

2.2 喷施不同外源物质复配剂对烤烟冠层特征的影响

由图 1 可知,不同外源物质复配剂对烤烟冠层特征影响较大。T2、T4、T5、T7、T8、T9 处理的中层光能截获率增长率相较于 CK 的 7.26% 增长率有显著差异,表现为明显的促进作用,其中 T2、T7、T8 处理的中层光能截获率增长率为 21.26%、28.12%、28.20%。关于群体光能截获率,CK 的增长率为 4.42%,只有 T7、T9 处理高于 CK,分别为 4.84%、6.52%,表现为促进作用;T1、T2、T4、T8、T10 处理显著低于 CK,表现为抑制作用;T3、T5、T6 处理比 CK 增长率略低。

综上,T2、T4、T5、T8 处理能够明显促进烤烟中上层烟叶生长,但对下层烟叶表现为抑制生长,T3、



柱上不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。图 2 同  
图1 外源物质复配剂喷施前后烤烟冠层特性变化

T6 表现相反,抑制中上层烟叶生长但促进下层烟叶生长,T7、T9 处理对烤烟的整体生长率有促进作用。

2.3 喷施不同外源物质复配剂对烤烟光合参数的影响

由图 2 可知,不同外源物质复配剂对烤烟各光合参数指标的影响存在较大差异。其中,PS II 有效量子产量( $\Phi_{PSII}$ )与相对叶绿素含量(SPAD 值)仅在 T9 处理下同时升高,T7 处理下 SPAD 值也有所升高,其余处理  $\Phi_{PSII}$  与 SPAD 值均降低,但下降率均低于 CK,差异达显著或极显著水平。PS II 最大光化学量子产量( $F_v/F_m$ )在 T2、T3、T9 处理下出现

增长,其余处理均出现不同程度的下降,且 T6、T7 处理的下降率高于 CK,但差异不显著。PS II 相对电子传递速率(LEF)在 T1、T4 处理下出现增长,其余处理均降低,但下降率均小于 CK,且达显著差异水平。说明不同外源物质复配处理下,烤烟叶片光合参数下降幅度均比 CK 低,即延缓了烟叶成熟过程中光合参数下降的幅度,增强了烟叶的耐熟性,有利于烟叶进行更多的光合作用,从而积累更多的有机物质。

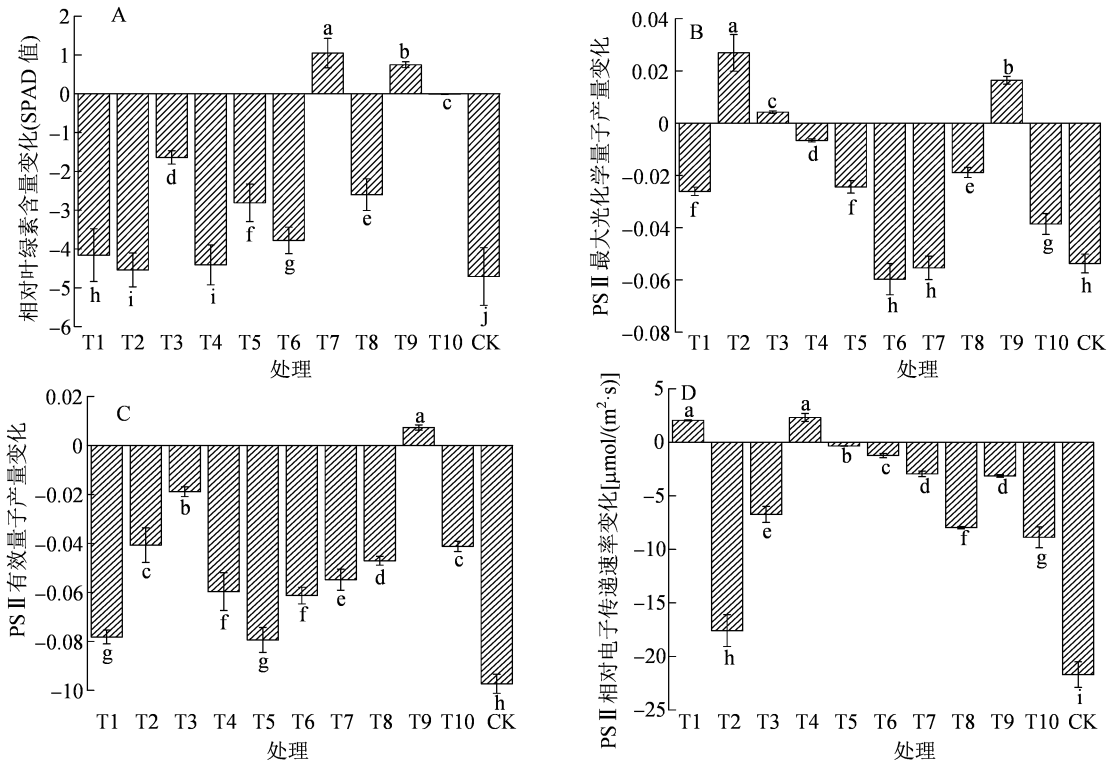


图2 外源物质复配剂喷施前后烤烟光合参数变化

2.4 喷施不同复配方式的外源物质对烤烟经济指标的影响

由表 3 可知,不同外源物质复配剂在不同程度上增加了烤烟产量和产值,均达到显著水平。产量方面,除 T3 外,其余处理较 CK 的增长率在 10% 以上;T6、T9 处理的产量增长率为 12.6%、18.5%。产值方面,T4 ~ T10 处理较 CK 的增长率均在 10% 以上。均价方面,各处理与 CK 相比差异不显著;T3、T6、T8、T10 处理略有提高,其余处理相对降低。上等烟比例方面,T3、T8、T10 处理略有提高,其余处理相对降低,但与 CK 相比差异均不显著。中上等烟比例方面,各处理差异较大,T3、T6、T8、T10 处理高于 CK,T1、T4、T5、T7、T9 处理显著低于 CK。综上,不同处理均能提升烤烟产量和产值;在均价、

表 3 烤后烟叶经济指标

| 处理  | 产量<br>(kg/667 m <sup>2</sup> ) | 产值<br>(元/667 m <sup>2</sup> ) | 均价<br>(元/kg) | 上等烟比例<br>(%) | 中上等烟<br>比例 (%) |
|-----|--------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|----------------|
| T1  | 116.4de                        | 3 247.6g                      | 27.9a        | 33.45a       | 75.02d         |
| T2  | 115.6e                         | 3 294.6f                      | 28.5a        | 35.10a       | 79.55bc        |
| T3  | 106.9f                         | 3 100.1h                      | 29.1a        | 36.02a       | 83.01a         |
| T4  | 120.4bc                        | 3 311.0e                      | 27.5a        | 33.20a       | 71.08f         |
| T5  | 122.3b                         | 3 436.6c                      | 28.1a        | 34.84a       | 77.83c         |
| T6  | 118.1d                         | 3 389.5d                      | 28.7a        | 34.56a       | 82.14a         |
| T7  | 120.5bc                        | 3 434.3d                      | 28.5a        | 34.03a       | 77.58c         |
| T8  | 119.8c                         | 3 498.2a                      | 29.2a        | 35.97a       | 82.53a         |
| T9  | 124.3a                         | 3 468.0b                      | 27.9a        | 33.38a       | 73.16e         |
| T10 | 117.7d                         | 3 389.8d                      | 28.8a        | 35.48a       | 81.51ab        |
| CK  | 104.9g                         | 3 000.1i                      | 28.6a        | 35.23a       | 80.99ab        |

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。表 4 同。

上等烟比例、中上等烟比例方面,T3、T8、T10 处理相较 CK 均有不同程度的提升,其中 T8 处理对于烤烟的经济指标提升最为明显。

2.5 喷施不同外源物质复配剂对烤后烟叶化学成分的影响

不同外源物质复配剂对烤后烟叶化学成分的影响见表 4。在各处理中,总糖、还原糖、总氮、钾离子、淀粉含量均无显著差异。烟碱含量方面,除 T3 处理略有增加外,其余处理均低于 CK。T3、T9 处理

的氯离子含量较其他处理低。T4 处理的钾氯比较 CK 低,但差异不显著;其他处理的钾氯比均高于 CK。T3 处理的氮碱比、糖碱比均低于 CK,但差异不显著;其他处理的氮碱比、糖碱比均高于 CK。综上,除 T3、T4 处理外,其余处理对烤后烟叶的钾氯比、氮碱比、糖碱比的提高有促进作用。总体而言,不同外源物质复配剂均能提高烤后烟叶化学成分协调性,其中以 T8 处理提升最明显。

表 4 烤后烟叶化学成分评价

| 处理  | 总糖含量<br>(%) | 还原糖含量<br>(%) | 总氮含量<br>(%) | 烟碱含量<br>(%) | 钾离子含量<br>(%) | 氯离子含量<br>(%) | 淀粉含量<br>(%) | 钾氯比    | 氮碱比    | 糖碱比     | 化学成分协调性<br>综合得分(分) |
|-----|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|--------|--------|---------|--------------------|
| T1  | 29.89a      | 28.94a       | 2.70a       | 2.43cde     | 1.80a        | 0.24ab       | 4.15a       | 7.50ab | 1.11b  | 12.3ab  | 90.15a             |
| T2  | 28.51a      | 27.35a       | 2.75a       | 2.52cd      | 1.92a        | 0.24ab       | 4.28a       | 8.00ab | 1.09bc | 11.31b  | 86.27b             |
| T3  | 29.09a      | 28.19a       | 2.89a       | 2.82a       | 1.97a        | 0.23bc       | 4.23a       | 8.57a  | 1.02c  | 10.32c  | 86.02b             |
| T4  | 29.46a      | 28.46a       | 2.96a       | 2.73ab      | 1.74a        | 0.25a        | 4.15a       | 6.96b  | 1.08bc | 10.79c  | 85.88bc            |
| T5  | 29.15a      | 28.63a       | 2.97a       | 2.30e       | 1.85a        | 0.25a        | 4.34a       | 7.40b  | 1.29a  | 12.67a  | 90.95a             |
| T6  | 29.65a      | 29.04a       | 2.96a       | 2.37de      | 1.78a        | 0.24ab       | 4.09a       | 7.42b  | 1.25a  | 12.51a  | 90.96a             |
| T7  | 30.00a      | 29.26a       | 2.91a       | 2.71ab      | 1.76a        | 0.24ab       | 4.20a       | 7.33b  | 1.07bc | 11.07bc | 87.99b             |
| T8  | 30.42a      | 29.47a       | 2.91a       | 2.38de      | 1.82a        | 0.24ab       | 3.99a       | 7.58ab | 1.22ab | 12.78a  | 92.30a             |
| T9  | 30.28a      | 29.60a       | 2.97a       | 2.70ab      | 1.74a        | 0.22c        | 4.19a       | 7.91ab | 1.1b   | 11.21b  | 89.39ab            |
| T10 | 29.98a      | 29.34a       | 2.80a       | 2.60bc      | 1.90a        | 0.24ab       | 4.09a       | 7.92ab | 1.08bc | 11.53ab | 89.5ab             |
| CK  | 28.96a      | 28.14a       | 2.90a       | 2.80a       | 1.78a        | 0.25a        | 4.39a       | 7.12b  | 1.04c  | 10.34c  | 84.67c             |

3 讨论

农艺性状是判断烤烟生长状况最基本的指标之一,可以直观地反映出烤烟的成熟度和工业可用性,且喷施外源物质复配剂能显著促进烟株生长,增加烟株的生物量<sup>[20]</sup>。单守明等的研究表明,在叶面喷施 6-BA 可以有效促进植株的营养生长和植株质量<sup>[21]</sup>。苗鹏飞等发现,DA-6 在叶面喷施后可以提高植株单叶干质量和根茎质量<sup>[22]</sup>。王亮等研究发现,LaCl<sub>3</sub> 对大豆的质量和产量上涨都有明显的促进效果<sup>[23]</sup>。任红等研究发现,DCPTA 能有效增加玉米的叶面积<sup>[24]</sup>。本研究发现,除 T1 处理外,不同外源物质复配剂处理均能提高成熟期烤烟的株高、最大叶宽、最大叶面积,但最大叶长与茎围变化差异较小,在一定程度上可以增加烤烟产量,有效提高烤烟的品质。

光合作用是植物最为重要和基础的生命活动之一,而光照强度和光的田间分布特征则会对其造成巨大影响<sup>[25]</sup>。研究表明,合理的密度与株型特征可增加烟叶光能利用率,发挥烤烟群体结构性增产

潜力,随着光照强度的减弱,烟株干物质积累受阻,烟碱、淀粉、还原糖、水溶性总糖、总酚含量逐渐降低,总氮和钾含量升高,且持续的弱光条件会导致植株营养生长受阻,CO<sub>2</sub> 转化效率下降,最大净光合速率下降,严重制约烤烟产量和品质的形成<sup>[26-28]</sup>。相对叶绿素含量决定植物总体光合作用的能力<sup>[29]</sup>,PS II 最大光化学量子产量反映植物适应光照不良环境的程度<sup>[30]</sup>,PS II 有效量子产量、PS II 相对电子传递效率是表示植物电子传递、光能利用能力的指标<sup>[31]</sup>。本研究结果表明,不同外源物质复配剂对于烤烟叶片的相对叶绿素含量、PS II 最大光化学量子产量、PS II 有效量子产量的下降均表现出明显的减缓作用,能改善冠层光分布特征,减缓烟叶成熟过程中光合参数下降的幅度,增加烟叶的耐熟性,促进有机物的积累,提升烟叶品质,这与前人的研究结果<sup>[32]</sup>一致。

经济性状是评价烤烟产量和品质最直观的方式。本研究发现,不同外源物质复配剂对烤烟产量均有不同程度的提高,这也是产值增加的主要原因,与前人的研究结果<sup>[32]</sup>一致。化学成分是烤烟风

味特征和风格特色的内在体现,也是烤烟香型特征的划分依据,化学成分协调性越好,评吸质量越好,香型越明显。研究表明,多种外源物质配施,能够有效提高烤后烟叶的还原糖、总糖、钾含量,同时有效降低总氮、烟碱、氯含量,提高两糖比、糖碱比、氮碱比、钾氯比,改善烟叶化学成分协调性<sup>[33]</sup>。本研究发现,不同外源物质复配剂对烤后烟叶总氮影响较小,烟碱、氯离子、淀粉含量略有降低,但差异不显著;总糖、还原糖、钾含量与钾氯比、氮碱比、糖碱比略有增加。总体而言,不同外源物质配施对烤后烟叶经济性状和化学成分协调性综合评分均有较大的提升。

## 4 结论

除 T1 处理外,在现蕾期喷施外源物质复配剂可以改善烤烟的农艺性状,不同复配剂对群体冠层特征的改善有促进效果,能有效减缓烟叶成熟过程中光合作用下降的幅度,同时提升烤烟产量和产值,烤后烟叶化学成分协调性也有所增加。T8 处理对于烤烟的农艺性状提升仅次于 T3,能显著提高中层光能截获率,促进中上部叶开片生长,对经济指标提升最明显,同时对烤后烟叶化学成分协调性的提升也最好。

## 参考文献:

- [1]江 力,曹树青,戴新宾,等. 光强对烟草光合作用的影响[J]. 中国烟草学报,2000,6(4):17-20.
- [2]申 明,成学慧,谢 荔,等. 氨基酸叶面肥对砂梨叶片光合作用的促进效应[J]. 南京农业大学学报,2012,35(2):81-86.
- [3]李瑞海,徐大兵,黄启为,等. 叶面肥对苗期油菜生长特性的影响[J]. 南京农业大学学报,2008,31(3):91-96.
- [4]杨江山. 氨基酸叶面肥对设施延后‘红地球’葡萄光合特性和品质的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2012,47(6):81-86.
- [5]徐福利,梁银丽,杜社妮,等. 不同施肥结构对日光温室黄瓜发育及产量的影响[J]. 中国农学通报,2005,21(1):171-174.
- [6]蔡子文,赵朔阳. 外源物质浸种对黄瓜陈种子萌发效应的影响[J]. 甘肃农业科技,2022,53(8):65-68.
- [7]赵文欣,刘凯凯,徐 伟,等. 外源钙和铜对黑豆芽苗菜生长及生理活性物质的影响[J]. 山西农业科学,2022,50(1):46-53.
- [8]肖刘华,李树成,吴 帆,等. 几种外源物质诱导采后猕猴桃果实抗葡萄座腔菌的效应[J]. 中国南方果树,2022,51(1):135-137,143.
- [9]张凤姣,刘金玉,邢毅等. 不同外源物质对高温胁迫下金莲花幼苗生理生化的影响[J]. 分子植物育种:1-22(2022-01-10)[2023-05-12]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.s.20220106.1706.006.html>.
- [10]许金尧,谢鹏飞,向世鹏,等. 喷施外源 EBR 和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 对低温胁迫烟苗恢复生长期生理特性的影响[J]. 中国烟草学报,2022,28(3):44-51.
- [11]王俭珍,刘 倩,高娅妮,等. 植物对盐碱胁迫的响应机制研究进展[J]. 生态学报,2017,37(16):5565-5577.
- [12]李瑞东. 外源碳酸钙和温度对喀斯特区土壤有机碳矿化的影响[D]. 贵阳:贵州大学,2021:35-47.
- [13]范志伟,张奇瑞,刘小林,等. 外源茉莉酸甲酯对连作草莓土壤酶活性和酚酸类物质含量的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(17):253-258.
- [14]李 玲,李 俊,张春雷,等. 外源 ABA 和 BR 在提高油菜幼苗耐渍性中的作用[J]. 中国油料作物学报,2012,34(5):489-495.
- [15]聂乐兴,姜兴印,吴淑华,等. 胺鲜酯对高产夏玉米产量及叶片光合羧化酶和保护酶活性的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(10):2558-2564.
- [16]吴文杰,潘冰毅. 氯化镧对铜胁迫水稻幼苗生长的缓解作用[J]. 江苏农业学报,2012,28(4):912-913.
- [17]陈桂华,刘 芬,王 悦,等. 氯化镧对不同叶色水稻叶绿素含量及抗氧化酶活性的影响[J]. 分子植物育种,2020,18(8):2695-2701.
- [18]顾万荣,李召虎,翟志席,等. DCPTA 和 DTA-6 对大豆叶片光合及叶绿素荧光特性的调控[J]. 大豆科学,2008,27(5):777-782.
- [19]李 强. 曲靖烤烟品质特征及主要生态因素对其影响的研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2011:24-26.
- [20]范幸龙,付金存,张 莉,等. 阿根廷不同基因型烟叶品质特征及工业适用性评价[J]. 贵州农业科学,2022,50(9):99-105.
- [21]单守明,刘国杰,李绍华,等. 秋季叶面喷施 IAA、6-BA 或 GA<sub>3</sub> 对草莓植株的影响[J]. 果树学报,2007,24(4):545-548.
- [22]苗鹏飞,刘国杰,李绍华,等. DA-6 对秋季草莓叶片光合速率和植株生长的影响[J]. 应用生态学报,2007,18(12):2722-2726.
- [23]王 亮. 氯化镧和氯化铈对大豆产量和品质的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2015:29-34.
- [24]任 红,周培禄,赵 明,等. 不同类型化控剂对春玉米产量及生长发育的调控效应[J]. 玉米科学,2017,25(2):81-85.
- [25]Kouřil R, Wientjes E, Bultema J B, et al. High-light vs. low-light: effect of light acclimation on photosystem II composition and organization in *Arabidopsis thaliana* [J]. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics, 2013, 1827(3):411-419.
- [26]秦玉芝,邢 铮,邹剑锋,等. 持续弱光胁迫对马铃薯苗期生长和光合特性的影响[J]. 中国农业科学,2014,47(3):537-545.
- [27]刘国顺,乔新荣,王 芳,等. 光照强度对烤烟光合特性及其生长和品质的影响[J]. 西北植物学报,2007,27(9):1833-1837.
- [28]沈 杰,王昌全,何玉亭,等. 合理密植对不同株型烤烟冠层结构及光合生产特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2019,25(2):284-295.
- [29]许爱祝,秦惠珍,唐健民,等. 光照强度对贵州地宝兰光合特性

魏吉平,李成霞,牟佳美,等. 水稻半矮秆突变体内生真菌分离鉴定及其对植株抗倒伏性的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(3):90-96.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.03.014

# 水稻半矮秆突变体内生真菌分离鉴定 及其对植株抗倒伏性的影响

魏吉平<sup>1,2</sup>, 李成霞<sup>3</sup>, 牟佳美<sup>3</sup>, 柯善文<sup>1,2</sup>

(1. 河西学院甘肃省应用真菌工程实验室,甘肃张掖 734000; 2. 河西学院祁连山食用菌产业协同创新中心,甘肃张掖 734000;  
3. 华南农业大学农学院,广东广州 510642)

**摘要:**为了探究水稻半矮秆突变体内生真菌种类与分布及内生真菌对水稻植株抗倒伏性的影响,以水稻中花 11 及其矮化突变体 *pex1* 为研究对象,对植株根、茎、叶等组织植物内生真菌进行分离,运用形态学观察和 rDNA-ITS 区序列分析法,对内生真菌进行鉴定与分类;在此基础上,采用内生真菌侵染接种的方法,使内生真菌定殖于中花 11 植株体内,并对植株茎秆特性与强度、株高及抗倒伏指数等指标进行分析。结果表明,共鉴定出 15 种内生真菌,隶属 5 纲、6 目、8 科、8 属。从突变体 *pex1* 植株的根、茎、叶中都可以分离得到疣孢青霉(*Penicillium verruculosum*),但在中花 11 各组织器官中并未分离得到;用疣孢青霉对中花 11 进行侵染处理后发现,处理组水稻植株茎秆抗折力明显增强,株高降低,茎秆节间壁厚增加,茎秆木质素含量及合成相关基因的表达水平明显上升,倒伏指数下降,说明疣孢青霉可提高水稻植株抗倒伏性,但其具体作用机理尚不清楚。本研究初步探索了内生真菌影响水稻抗倒伏性的生理机制,并为水稻及其他作物的高产优质栽培与育种提供重要的理论基础与微生物资源。

**关键词:**水稻;内生真菌;疣孢青霉;倒伏;木质素

**中图分类号:**S511.01;S182 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)03-0090-07

水稻(*Oryza sativa* L.)是我国乃至全世界重要的粮食作物,水稻的安全生产直接影响着粮食安全<sup>[1]</sup>。我国水稻种植源远流长,在农业生产中占有重要的地位,增加水稻单产成为提高粮食总产量的有效措施,但不断追求水稻高产带来了一定的弊端,其中一个就是倒伏<sup>[2-3]</sup>。在水稻大田栽培过程中,倒伏是制约水稻生产的重要因素之一,直接影响产量与品质,并增加收获成本,因此,提高水稻抗倒伏能力非常迫切<sup>[4]</sup>。在水稻育种中,由于水稻矮

秆基因与半矮秆基因的导入,使得多数水稻品种株高发生了大幅度的降低,从而提高了水稻抗倒伏性,但也限制了产量的提升<sup>[5]</sup>。

植物内生真菌是指生活史的部分阶段或全部阶段在植物组织器官内,对宿主植物不会造成明显病害症状的一类真菌,在长期的协同进化过程中,它们与宿主植物形成一种互惠共生的关系,其生长活动能够显著影响宿主植物的生长发育和系统进化<sup>[6-7]</sup>。植物内生真菌在宿主植物体中发挥多种生物学作用,影响各器官组织的生长发育,在农业领域有很大发展潜力<sup>[8]</sup>。内生真菌可通过影响宿主植物细胞相关基因的表达水平来改变一些生理酶活性,调控宿主体的生理代谢或信号传导途径,提高宿主体激素、维生素与氨基酸等的含量,促进宿主植物的生长发育,主要表现在以下 2 个方面:(1)能够产生水解酶、还原酶、激酶及其他代谢物,提高植物体对 N、P、K、Na、Mg 等营养元素的吸收、同化

收稿日期:2023-05-26

基金项目:甘肃省科技计划(编号:21YF5NA127);陇原青年创新创业人才(团队)项目(编号:2022LQTD14);河西学院博士科研启动基金(编号:KYQD2020060)。

作者简介:魏吉平(1987—),女,甘肃天水人,硕士,讲师,研究方向为作物栽培学与耕作学。E-mail:18819492976@163.com。

通信作者:柯善文,博士,研究员,研究方向为植物分子育种与菌物科学。E-mail:ksw0705@126.com。

的影响[J]. 广西科学院学报,2022,38(2):163-171.

[30]张强,杨平,张边江. 叶绿素荧光技术在彩叶植物引种评价中的应用[J]. 分子植物育种,2017,15(3):1114-1120.

[31]师生波,张怀刚,师瑞,等. 青藏高原春小麦叶片光合作用的光抑制及 PS II 反应中心光化学效率的恢复分析[J]. 植物生态

学报,2014,38(4):375-386.

[32]马春梅,田阳青,赵强,等. 植物生长调节剂复配对棉花产量的影响[J]. 作物杂志,2022(6):181-185.

[33]王发展. 叶面喷施植物生长调节物质对烤烟上部叶品质的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2020:25-27.