

韩雅婷,钱建财,宋正熊,等. 不同植物生长调节剂对烟草生育期和烟叶品质的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(4):101-107.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.04.014

不同植物生长调节剂对烟草生育期和烟叶品质的影响

韩雅婷¹, 钱建财², 宋正熊³, 赵红朝⁴, 黄五星¹

(1. 河南农业大学烟草学院,河南郑州 450002; 2. 江苏中烟工业有限责任公司技术中心,江苏南京 210011;
3. 河南省烟草公司洛阳市公司,河南洛阳 471023; 4. 三门峡市烟草公司渑池县分公司,河南三门峡 472400)

摘要:豫西烟区烟叶种植历史悠久,是多家工业主要原料来源地区,但近年来受干旱影响,出现烟叶晚熟、品质降低等问题。为探究不同植物生长调节剂对烟草大田生育期和烟叶品质的影响,以云烟 87 为试验材料,对其打顶后叶面喷施脱落酸(200 $\mu\text{mol/L}$)、茉莉酸(100 $\mu\text{mol/L}$)、乙烯利(1 000 mg/L)处理后的大田生育期、常规化学成分、质体色素和碳氮代谢相关特性等方面进行了对比研究。结果显示:喷施脱落酸、茉莉酸、乙烯利处理的生育期相比对照分别提前了 14、15、21 d;3 种植物生长调节剂处理后均使烤后烟叶中的还原糖、总糖、钾含量提高,烟碱、总氮、氯含量降低,钾氯比、糖碱比提高,其中乙烯利处理的化学成分更协调;3 个处理与对照的叶绿素和类胡萝卜素含量关系均表现为清水处理 > 脱落酸处理 > 茉莉酸处理 > 乙烯利处理;喷施脱落酸、茉莉酸、乙烯利处理后烟叶的碳氮代谢关键酶活性和相关基因(*NtNR*、*NtGS*、*NtSPS*、*NtSS*)相对表达量均显著降低。云烟 87 打顶后喷施 3 种植物生长调节剂均能缩短生育期,提高烟叶品质,且乙烯利处理的综合效果最优,该研究结果可以为豫西旱地栽培提供现实参考。

关键词:云烟 87;生育期;烟叶品质;乙烯利;脱落酸;茉莉酸

中图分类号:S572.04 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)04-0101-07

烟草是我国重要的经济作物,其适熟适时采收有利于科学调控烟叶生育期,协调化学成分,提高

烟叶品质^[1]。豫西烟区作为河南省最大的植烟区,烟叶种植已有百年历史^[2-5],因其处于山地丘陵地区,缺乏灌溉条件,尤其近年来气候干旱,导致大田生育期延长,烟叶内含物质不充足,品质下降等问题频频发生^[6-7]。

植物生长调节剂是一种由人工合成具有植物激素同等作用的有机物质^[8-11],对调节植物生长发育和衰老有重要影响,其中促进衰老的包括脱落酸、茉莉酸、乙烯利等^[12]。脱落酸、茉莉酸、乙烯利

收稿日期:2023-04-05

基金项目:江苏中烟工业有限责任公司科技项目(编号:20220729);
河南省科技攻关项目(编号:202102310026)。

作者简介:韩雅婷(1997—),女,河南洛阳人,硕士研究生,主要从事烟草品质生态研究。E-mail:1562714698@qq.com。

通信作者:黄五星,博士,副教授,主要从事烟草品质生态与质量评价研究。E-mail:wxyang@henau.edu.cn。

[33] Manga - Robles A, Santiago R, Malvar R A, et al. Elucidating compositional factors of maize cell walls contributing to stalk strength and lodging resistance[J]. Plant Science;an International Journal of Experimental Plant Biology,2021,307:110882.

[34] Li Q,Fu C F,Liang C, et al. Crop lodging and the roles of lignin, cellulose, and hemicellulose in lodging resistance[J]. Agronomy, 2022,12(8):1795.

[35] 胡 昊,李莎莎,华 慧,等. 不同小麦品种主茎茎秆形态结构特征及其与倒伏的关系[J]. 麦类作物学报,2017,37(10): 1343-1348.

[36] 于玮淇,王芙臣,杜伟嘉,等. 种植密度与化学调控对春玉米茎秆性状及抗倒伏能力的影响[J]. 玉米科学,2022,30(5):71-79.

[37] 次旦卓嘎,赵爱宣,刘倩倩,等. 青稞茎秆形态特性与抗倒伏性的关系[J]. 湖北农业科学,2022,61(8):24-28.

[38] Berry P M, Spink J, Sterling M, et al. Methods for rapidly measuring the lodging resistance of wheat cultivars[J]. Journal of Agronomy and Crop Science,2003,189(6):390-401.

[39] 李 翔. 甘蔗抗倒伏性评价及抗性机制研究[D]. 南宁:广西大学,2019:28-34.

[40] Hussain S, Iqbal N, Rahman T, et al. Shade effect on carbohydrates dynamics and stem strength of soybean genotypes [J]. Environmental and Experimental Botany,2019,162:374-382.

[41] 任永峰,黄 琴,王志敏,等. 藜麦植株养分积累对源库调节的响应[J]. 华北农学报,2018,33(5):151-159.

[42] 王占贤,宋满刚,李金在. 鄂尔多斯地区藜麦引种试验初报[J]. 新农业,2017(23):9-10.

[43] 魏玉明,杨发荣,刘文瑜,等. 陇东旱塬区复种不同藜麦品种(系)的适应性初步评价[J]. 西北农业学报,2020,29(5): 675-686.

分别具有促进叶片脱落、衰老、气孔关闭,抑制植物生长,促进果实成熟等作用^[13-14]。有研究指出,外源脱落酸能够调节叶片气孔运动降低蒸腾速率,缓解干旱、低温等逆境胁迫^[15-16];外源喷施茉莉酸能够通过调控相关酶的活性提高内源茉莉酸含量,促使成熟相关基因表达或使乙烯提前释放进而促进苹果、草莓、香蕉成熟^[17-20];喷施乙烯利可以提高烤烟的抗胁迫能力,能够通过启动衰老进程加速叶绿素降解,促进烟叶变黄成熟,使烤后烟叶化学成分更协调^[21-24]。

目前,有关植物生长调节剂对植物内源激素、生长发育和抗胁迫能力的影响,前人已做了大量研究^[25-26],而关于在成熟期施用植物生长调节剂对烤烟生育期和烟叶品质的作用报道较少。鉴于此,本试验在云烟 87 打顶后喷施脱落酸、茉莉酸、乙烯利,对大田生育期、化学成分、质体色素以及碳氮代谢相关酶活性和基因表达量等方面进行了研究,以期筛选出适宜的植物生长调节剂实现云烟 87 适时落黄成熟,生产更优质的烟叶,为当地旱作栽培提供现实依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2021 年在河南省三门峡市朱阳镇梁家庄进行。该地年平均气温 13.2 °C,无霜期 184 ~ 218 d,烟叶大田生育期日照时数 750 h 以上。土壤基础理化性质为:碱解氮含量 97.1 mg/kg,速效磷含量 10.54 mg/kg,速效钾含量 134.45 mg/kg,有机质含量 11.03 g/kg,pH 值 7.06。

供试品种为云烟 87,试验采用完全随机设计,分别设置为喷施清水(CK)、喷施脱落酸(T1)、喷施茉莉酸(T2)、喷施乙烯利(T3)4 个处理,3 次重复,共 12 个试验小区。于打顶后阴天或晴天傍晚无风无降雨时用农用喷雾器均匀喷施中上部叶片,各处理喷施浓度详见表 1。

1.2 测定方法

1.2.1 烤后烟叶常规化学成分的测定和大田生育

表 1 不同处理喷施浓度

处理代号	喷施调节剂及其浓度
CK	喷施清水
T1	喷施脱落酸 200 μmol/L
T2	喷施茉莉酸 100 μmol/L
T3	喷施乙烯利 1 000 mg/L

期的调查 烟叶采收烘烤后,各个处理随机取 B2F 等级烟叶,用连续流动分析法^[27]进行烟碱、还原糖、总糖等化学成分的测定。记录烤烟下、中、上部叶采收结束时间,并计算大田生育期天数(从移栽当天到上部叶采收结束的总天数)。

1.2.2 样品采集 烟苗移栽后 120 d,各小区分别采集 3 株长势均匀一致的烟株,取上部叶(顶 3 叶)叶中部位,剔除主脉和支脉,剪碎混匀后分为 2 份,一份直接用于质体色素含量的测定;另一份用锡纸包裹,液氮速冻,于 -80 °C 超低温冰箱保存,用于碳氮代谢关键酶活性和相关基因表达量的测定。

1.2.3 质体色素含量、碳氮代谢关键酶活性和相关基因表达量的测定 在室内采用分光光度法^[28]分别测定叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素和总叶绿素含量;氮代谢关键酶活性采用北京索莱宝科技有限公司提供的硝酸还原酶(NR)、谷氨酰胺合成酶(GS)试剂盒进行测定,碳代谢关键酶活性采用苏州科铭生物技术有限公司提供的蔗糖合成酶(SPS)、蔗糖磷酸合成酶(SS)试剂盒进行测定,具体操作步骤按照相应酶试剂盒说明书进行。碳氮代谢相关基因表达量采用 EastepSuper 总 RNA 提取试剂盒提取总 RNA,采用 Novoprotein 试剂盒进行反转录,使用 Primer 6.0 软件为所有候选基因设计 qRT-PCR 引物,引物序列见表 2。设计原则为:每条引物碱基数 18 ~ 23 bp,产物长度 150 ~ 250 bp,退火温度 60 ~ 70 °C,GC 含量 40% ~ 60%,采用 AceQ™ qPCR SYBR® Green Master Mix 试剂盒进行 Real Time PCR,以上 3 个试剂盒由武汉赛弗瑞科技有限公司提供,试验结果采用 $2^{-\Delta\Delta C_T}$ 算法^[29]进行分析。

表 2 引物序列

基因名称	上游引物	下游引物
NiSPS	5' - CCAGGACA AAACAGCATTCTCTAAC - 3'	5' - ATTGGAACGGCTATCCTGTGTG - 3'
NiSS	5' - CACAGTCAAACAAAAGCCTCG - 3'	5' - CAGCACTTFCCTGGAGATAGCG - 3'
NiNR	5' - GATAAAGAGGATTATAGTCACCACC - 3'	5' - GATAAAGAGGATTATAGTCACCACC - 3'
NiGS	5' - CCTTTGCCTTGCTTCTCAGTGTC - 3'	5' - CCATCAAACAAACGCCATAAAGC - 3'

1.3 数据处理

试验结果分析采用 SPSS 26.0 软件处理和分
析,使用 Origin 2021 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 植物生长调节剂对云烟 87 成熟采收结束时间和大田生育期的影响

表 3 所示为不同处理各个部位成熟采收时间及大田生育期。因栽培管理情况一致,下部叶采收时间也一致;T3 处理的中部叶采收结束时间最早,比 CK 处理提前 15 d, T1、T2 处理中部叶采收时间一

表 3 不同处理下、中、上部叶成熟采收时间

处理	下部叶采收 结束时间 (月-日)	中部叶采收 结束时间 (月-日)	上部叶采收 结束时间 (月-日)	大田生育期 (d)
CK	08-18	09-18	10-07	145
T1	08-18	09-11	09-23	131
T2	08-18	09-11	09-22	130
T3	08-18	09-03	09-16	124

表 4 不同处理顶 3 叶烤后常规化学成分

处理	烟碱含量 (%)	还原糖含量 (%)	总糖含量 (%)	总氮含量 (%)	钾含量 (%)	氯含量 (%)	钾氯比	糖碱比	氮碱比
CK	2.73 ± 0.02a	24.23 ± 0.09d	30.50 ± 0.06d	1.88 ± 0.01a	1.32 ± 0.00d	0.88 ± 0.01a	1.50 ± 0.01d	8.88 ± 0.10d	0.69 ± 0.01a
T1	2.45 ± 0.01b	25.40 ± 0.06c	31.77 ± 0.09c	1.72 ± 0.01b	1.48 ± 0.01c	0.74 ± 0.00b	2.00 ± 0.00c	10.37 ± 0.07c	0.70 ± 0.01a
T2	2.34 ± 0.02c	26.23 ± 0.09b	32.50 ± 0.06b	1.65 ± 0.01c	1.62 ± 0.01b	0.63 ± 0.01c	2.57 ± 0.04b	11.21 ± 0.09b	0.71 ± 0.00a
T3	2.18 ± 0.03d	27.03 ± 0.03a	33.73 ± 0.07a	1.55 ± 0.01d	1.79 ± 0.01a	0.56 ± 0.01d	3.20 ± 0.05a	12.40 ± 0.17a	0.71 ± 0.01a

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理之间差异显著($P < 0.05$)。

2.3 植物生长调节剂对云烟 87 质体色素的影响

移栽后 120 d 不同处理的质体色素含量如图 1 所示,进行喷施处理后,T1、T2、T3 处理与 CK 处理相比 4 个质体色素指标均表现出显著降低趋势。由图 1 - A 可知,各个处理之间的叶绿素 a 含量差异均显著,其关系为 CK > T1 > T2 > T3;由图 1 - B 可知,T3 处理的叶绿素 b 含量最低,相比 CK、T1、T2 处理分别降低了 13.59、3.04、1.60 mg/g;由图 1 - C 可知,T3 处理的类胡萝卜素含量显著低于 CK、T1、T2 处理,T1、T2 处理间无显著性差异;由图 1 - D 可知,T1、T2、T3 处理相比 CK 处理总叶绿素含量分别降低了 53.81、59.60、68.80 mg/g。总体来看,3 个喷施处理均能使成熟期云烟 87 质体色素含量显著降低,其中 T3 处理最低。

2.4 植物生长调节剂对云烟 87 碳氮代谢关键酶活性的影响

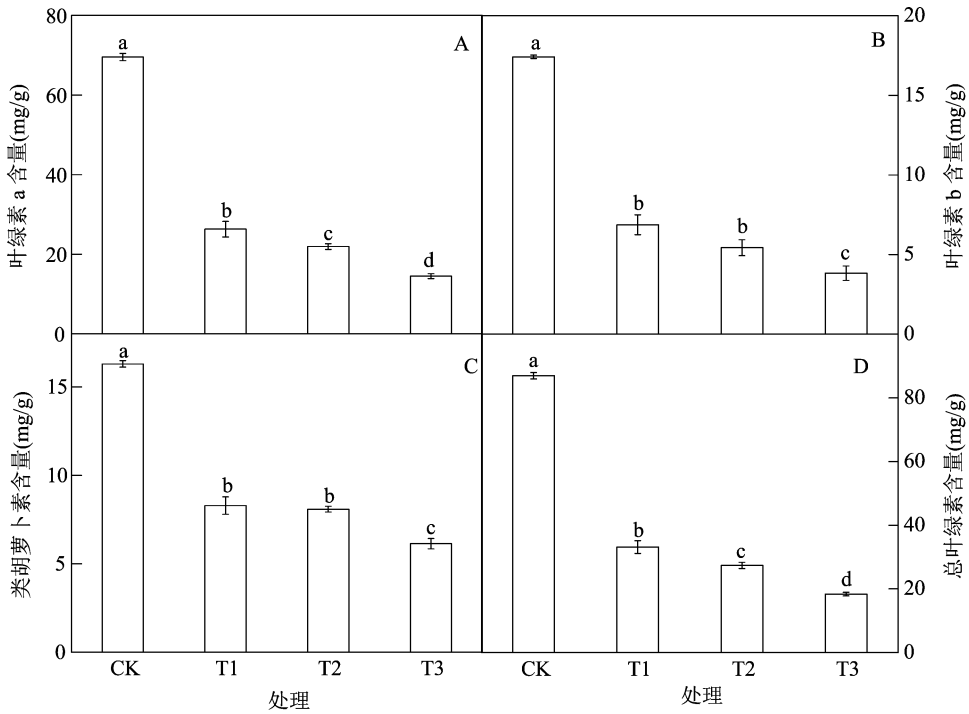
图 2 所示为移栽后 120 d 不同处理碳氮代谢关

键酶活性。由图 2 - A 可知,CK 处理的硝酸还原酶活性与 T1、T2、T3 处理均有显著性差异,T3 处理的硝酸还原酶活性最低;由图 2 - B 可知,与 CK 处理相比,T1、T2、T3 处理的谷氨酰胺合成酶活性显著降低,分别是 CK 处理的 31%、26%、19%;由图 2 - C 可知,CK、T1 处理的蔗糖磷酸合成酶活性显著高于 T2、T3 处理,T2、T3 处理间差异不显著,T1、T2、T3 处理的蔗糖磷酸合成酶活性分别是 CK 处理的 52%、30%、27%;如图 2 - D 所示,T3 处理的蔗糖合成酶活性最低,且显著低于 CK、T1 处理。相比对照处理,3 个处理均能降低云烟 87 成熟期碳氮代谢关键酶活性,其中 T3 处理酶活性最低。

2.2 植物生长调节剂对云烟 87 烤后烟叶常规化学成分的影响

表 4 中为不同处理烤后烟叶的常规化学成分。与 CK 处理相比,T1、T2、T3 处理的烟碱含量分别降低了 10%、14%、20%;T3 处理的还原糖、总糖含量最高,分别比 CK 处理提高了 12%、11%;T1、T2、T3 处理的总氮、氯含量相比 CK 显著降低;各个处理的钾氯比、糖碱比均有显著性差异,表现为 T3 > T2 > T1 > CK,各个处理的氮碱比差异不显著。说明喷施 3 种植物生长调节剂能够显著降低烤后烟叶中烟碱、总氮、氯含量,提高还原糖、总糖含量,协调钾氯比、糖碱比,使烤烟化学成分趋于协调,其中 T3 处理更优。

图 3 所示为移栽后 120 d 不同处理碳氮代谢相关基因表达量。由图 3 - A 可知,T1、T2、T3 处理的 *NtNR* 相对表达量显著低于 CK 处理,分别是 CK 处



柱上不同小写字母表示不同处理之间差异显著($P < 0.05$)。下图同
图1 移栽后 120 d 叶绿素 a(A)、叶绿素 b(B)、类胡萝卜素(C)、总叶绿素(D)含量

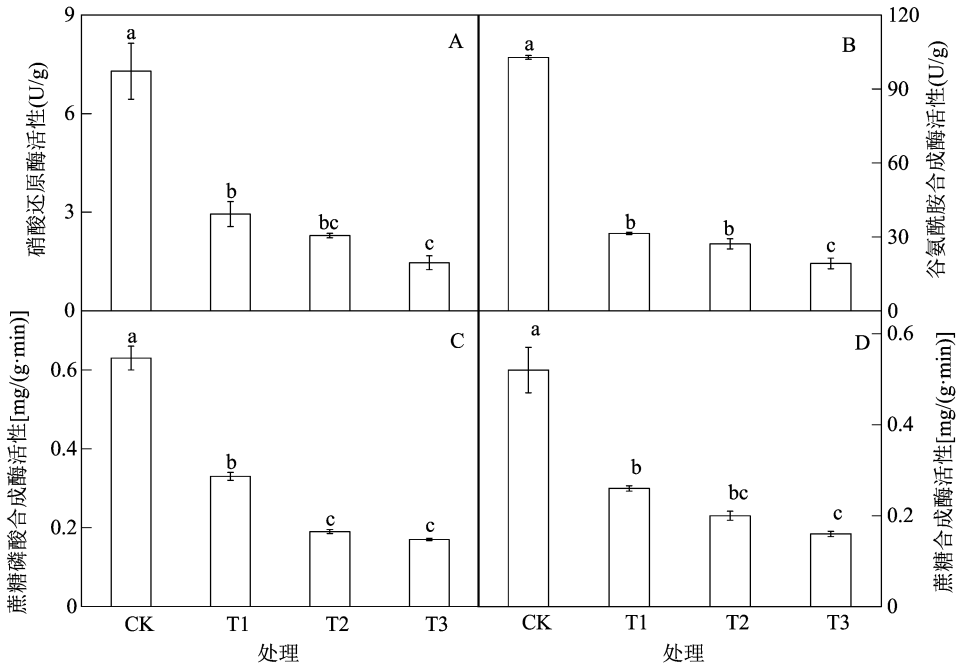


图2 移栽后 120 d 硝酸还原酶(A)、谷氨酰胺合成酶(B)、蔗糖磷酸合成酶(C)、蔗糖合成酶(D)活性

理的 57%、36%、20%；由图 3 - B 可知,4 个处理间的 *NtGS* 相对表达量差异均显著,关系为 CK > T1 > T2 > T3；由图 3 - C 可知,T3 处理的 *NtSPS* 相对表达量最低,分别是 CK、T1、T2 处理的 16%、29%、40%；由图 3 - D 可知,CK、T1、T2、T3 处理间的 *NtSS* 相对表达量均有显著性差异,且 T3 处理最低。说明 3 个

喷施植物生长调节剂处理均能够降低成熟期云烟 87 碳氮代谢相关基因的相对表达量,乙烯利处理更能影响成熟期烟叶碳氮代谢相关基因的表达。

2.6 云烟 87 碳氮代谢关键酶活性、相关基因表达量与烟叶常规化学成分的相关性

表 5 中为成熟期碳氮代谢酶活性与基因表达量

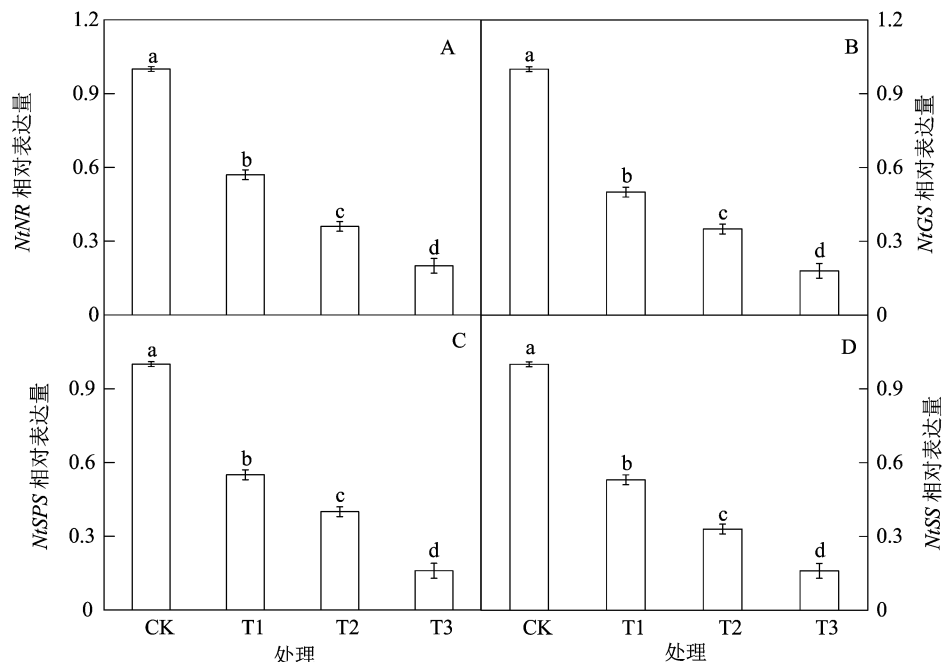


图3 移栽后 120 d *NiNR*(A)、*NiGS*(B)、*NiSPS*(C)、*NiSS*(D) 相对表达量

的相关性。硝酸还原酶、谷氨酰胺合成酶、蔗糖磷酸合成酶、蔗糖合成酶活性之间表现为显著或极显著正相关水平,其中硝酸还原酶与谷氨酰胺合成酶活性间以及蔗糖合成酶与硝酸还原酶、谷氨酰胺合成酶、蔗糖磷酸合成酶活性间的相关性达极显著水平;*NiNR*、*NiGS*、*NiSPS*、*NiSS* 相对表达量之间表现为极显著正相关水平;硝酸还原酶活性与 *NiNR*、*NiGS*、*NiSPS*、*NiSS* 相对表达量间为显著或极显著正相关

水平,谷氨酰胺合成酶活性与 *NiGS*、*NiSS* 相对表达量间的相关性为显著水平,蔗糖磷酸合成酶活性与 *NiNR*、*NiGS*、*NiSPS*、*NiSS* 相对表达量间为显著正相关水平,蔗糖合成酶活性与 *NiNR*、*NiGS*、*NiSPS*、*NiSS* 相对表达量间的相关性为显著或极显著水平,其中硝酸还原酶、蔗糖合成酶活性与 *NiGS* 相对表达量间为极显著正相关水平,说明碳氮代谢酶活性之间、酶活与基因相对表达量之间能够相互促进,相互影响。

表5 移栽后 120 d 碳氮代谢酶活性与基因表达量的相关性

指标	相关系数							
	硝酸还原酶活性	谷氨酰胺合成酶活性	蔗糖磷酸合成酶活性	蔗糖合成酶活性	<i>NiNR</i> 相对表达量	<i>NiGS</i> 相对表达量	<i>NiSPS</i> 相对表达量	<i>NiSS</i> 相对表达量
硝酸还原酶活性	1.000							
谷氨酰胺合成酶活性	0.994 **	1.000						
蔗糖磷酸合成酶活性	0.986 *	0.971 *	1.000					
蔗糖合成酶活性	0.999 **	0.991 **	0.993 **	1.000				
<i>NiNR</i> 相对表达量	0.974 *	0.944	0.986 *	0.979 *	1.000			
<i>NiGS</i> 相对表达量	0.990 **	0.970 *	0.988 *	0.992 **	0.995 **	1.000		
<i>NiSPS</i> 相对表达量	0.970 *	0.940	0.970 *	0.972 *	0.995 **	0.994 **	1.000	
<i>NiSS</i> 相对表达量	0.980 *	0.954 *	0.987 *	0.985 *	0.999 **	0.998 **	0.997 **	1.000

注: * 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。下表同。

表6中为成熟期碳氮代谢酶活性及基因表达量与常规化学成分的相关性。碳氮代谢相关基因表达量与常规化学成分间(除 *NiGS* 相对表达量与钾氯比之间)相关性为显著或极显著水平,硝酸还原

酶活性与烟碱、总氮含量间为显著正相关水平,蔗糖磷酸合成酶活性与烟碱、还原糖、总氮、氯含量及氮碱比间显著相关水平,蔗糖合成酶活性与烟碱、总氮、氯含量间为显著正相关水平。综合来看,碳

氮代谢酶活性及基因相对表达量与烟碱、总氮、氯含量呈正相关水平,碳氮代谢酶活性及基因相对表达量与还原糖、总糖、钾、钾氯比、糖碱比、氮碱比呈

负相关水平,说明成熟期碳氮代谢的强弱会反向影响烤后烟叶常规化学成分的协调性。

表 6 烤烟 120 d 碳氮代谢酶活性及基因表达量与常规化学成分的相关性

指标	相关系数								
	烟碱含量	还原糖含量	总糖含量	总氮含量	钾含量	氯含量	钾氯比	糖碱比	氮碱比
硝酸还原酶活性	0.965 *	-0.937	-0.918	0.958 *	-0.900	0.945	-0.875	-0.936	-0.941
谷氨酰胺合成酶活性	0.933	-0.895	-0.872	0.922	-0.849	0.906	-0.819	-0.894	-0.912
蔗糖磷酸合成酶活性	0.967 *	-0.955 *	-0.925	0.962 *	-0.919	0.969 *	-0.900	-0.944	-0.984 *
蔗糖合成酶活性	0.968 *	-0.944	-0.922	0.961 *	-0.907	0.954 *	-0.884	-0.940	-0.957 *
<i>NtNR</i> 相对表达量	0.995 **	-0.991 **	-0.976 *	0.994 **	-0.972 *	0.995 **	-0.959 *	-0.986 *	-0.978 *
<i>NtGS</i> 相对表达量	0.992 **	-0.977 *	-0.963 *	0.988 *	-0.952 *	0.980 *	-0.934	-0.975 *	-0.963 *
<i>NtSPS</i> 相对表达量	0.999 **	-0.992 **	-0.987 *	0.999 **	-0.978 *	0.989 *	-0.965 *	-0.993 **	-0.954 *
<i>NtSS</i> 相对表达量	0.996 **	-0.987 *	-0.974 *	0.993 **	-0.967 *	0.991 **	-0.952 *	-0.984 *	-0.973 *

3 讨论

烟叶成熟的过程就是逐渐衰老的过程,是烟叶品质形成的关键时期^[30-31]。本试验通过在打顶后对云烟 87 喷施脱落酸、茉莉酸、乙烯利后发现,相比对照,3 个处理均能使大田生育期提前。魏星等认为,脱落酸、茉莉酸、乙烯利代谢旺盛的烟株成熟落黄较快^[32],本研究侧面验证了这一观点,其中乙烯利处理的生育期相比对照提前了 21 d。喷施 3 种植物生长调节剂均能够降低烤后烟叶中烟碱、总氮、氯含量,增加总糖、还原糖、钾含量,提高钾氯比、糖碱比,其中乙烯利处理的烤烟常规化学成分更协调,这与王莹等的研究结果^[33]一致。叶片衰老的标志是叶绿素降解导致的叶片黄化^[34],本试验中喷施的 3 种植物生长调节剂均使成熟期云烟 87 的叶绿素、类胡萝卜素含量显著降低,且乙烯利处理的质体色素含量降解最快。叶绿素、类胡萝卜素降解越多,衰老程度越深^[35-36]。

在烟叶生长发育的恰当时期碳氮代谢的及时转化是成熟衰老和优质烟叶形成的重要控制因素^[37]。阚洪赢研究发现,碳代谢弱、氮固定转化能力低的烤烟落黄较快^[38]。本研究得出,喷施植物生长调节剂处理使成熟期云烟 87 的碳氮代谢关键酶活性与基因表达量均显著降低,且成熟期碳氮代谢的强弱能够影响烤烟常规化学成分的协调性:一方面,随着氮代谢、碳的固定和转化代谢能力减弱,烟叶的衰老程度加深;另一方面,碳氮代谢的强度影响烤后烟叶常规化学成分的协调性,碳氮代谢的弱化使烟叶品质得到提高,这与雷佳等的研究结果^[39]

一致。与碳氮代谢关键酶活性相比,相关基因表达量与烤烟常规化学成分的相关性更显著,可能是由于植物内源激素相互协调,喷施植物生长调节剂能够促进内源激素影响碳氮代谢相关基因表达,进而影响了烟叶品质,其作用机制还需进一步研究。

4 结论

打顶后喷施脱落酸、茉莉酸、乙烯利处理相比对照处理分别使云烟 87 大田生育期缩短了 14、15、21 d;喷施植物生长调节剂处理使烤后烟叶常规化学成分更协调,其中乙烯利处理相比对照处理的烤后烟叶烟碱含量降低了 20%,还原糖、总糖分别提高了 12%、11%。成熟期喷施植物生长调节剂处理能够促进云烟 87 叶绿素、类胡萝卜素降解,喷施脱落酸、茉莉酸、乙烯利处理相比对照处理总叶绿素含量分别降低了 53.81、59.60、68.80 mg/g;3 种植物生长调节剂均能够降低成熟期烟叶的碳氮代谢关键酶活性和相关基因表达量,且各处理在 *NtNR*、*NtGS*、*NtSPS*、*NtSS* 相对表达量指标上关系均表现为 CK > T1 > T2 > T3。乙烯利处理的综合指标最优,大田生育期最短,烟叶品质更佳,因此结合当地栽培措施在打顶后喷施乙烯利能够缓解当地存在的烟叶晚熟、品质下降等问题,生产出更优质的烟叶。

参考文献:

- [1]时宏书,刘书凯,何玉安,等. 移栽方式和采烤时间对烤烟生育期及产质量的影响[J]. 安徽农业科学,2015,43(26):57-58.
- [2]高家合,杨宇虹. 不同生态环境对烤烟内在质量的影响[J]. 中国农学通报,2006,22(5):168-170.
- [3]王勇军,常剑波,杨芳,等. 不同烤烟品种的生态适应性及产质

- 差异性研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(20): 8491 - 8493, 8562.
- [4] 堵彦琼. 烟草栽培中植物生长调节剂的应用研究[J]. 智慧农业导刊, 2022, 2(21): 70 - 72.
- [5] 陆永恒. 生态条件对烟叶品质影响的研究进展[J]. 中国烟草科学, 2007, 28(3): 43 - 46.
- [6] 庄 晔, 葛嘉雪, 汪孝国, 等. 干旱胁迫后复水对烤烟生长及其生理特性的影响[J]. 中国烟草学报, 2022, 28(4): 48 - 58.
- [7] 李雪君, 王海波, 丁燕芳, 等. 豫西烟区烤烟新品种特征特性研究[J]. 河南农业科学, 2013, 42(3): 42 - 45.
- [8] 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 231 - 277.
- [9] 傅华龙, 何天久, 吴巧玉. 植物生长调节剂的研究与应用[J]. 生物加工过程, 2008, 6(4): 7 - 12.
- [10] 刘昆成. 三种植物生长调节剂对格木幼苗生长及生理特性的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2013.
- [11] 王贝贝, 徐 旭, 赵艳, 等. 植物生长调节剂对花后渍水遮荫小麦籽粒淀粉合成和干物质积累的影响[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(1): 9 - 19.
- [12] 孙玉莹, 毕京翠, 赵志超, 等. 作物叶片衰老研究进展[J]. 作物杂志, 2013(4): 11 - 19.
- [13] Santner A, Estelle M. Recent advances and emerging trends in plant hormone signalling[J]. Nature, 2009, 459(7250): 1071 - 1078.
- [14] 武 丽, 徐晓燕, 黄义德, 等. 植物生长调节剂·营养元素在烤烟生产上的应用[J]. 安徽农业科学, 2004, 32(4): 786 - 788.
- [15] 王 爽, 赵 雁. 外源 ABA 对干旱下 4 种园林地被植物生长及生理特征的影响[J]. 现代园艺, 2022, 45(1): 10 - 13.
- [16] 项洪涛, 郑殿峰, 何 宁, 等. 植物对低温胁迫的生理响应及外源脱落酸缓解胁迫效应的研究进展[J]. 草业学报, 2021, 30(1): 208 - 219.
- [17] 吕 静. 果实衰老中水杨酸和茉莉酸甲酯的生理效应及其关系研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2002.
- [18] Abbasi U A. 植物激素在草莓果实发育和成熟过程中的协同调控[D]. 北京: 中国农业大学, 2018.
- [19] 巫建华, 贾思振, 冯英娜, 等. 茉莉酸合成关键酶基因 *FaOPR3* 调控草莓果实成熟[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(5): 1148 - 1154.
- [20] 梁水连. 不同后熟方式对‘巴西蕉’果实挥发性成分及关基因表达特性的影响[D]. 海口: 海南大学, 2021.
- [21] 刘新甜, 彭剑涛, 张 琳, 等. 乙烯利对烟草离体叶圆片衰老相关生理指标的影响[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2017, 34(4): 12 - 15.
- [22] 苏家恩, 米建华, 刘运国, 等. 红花大金元上部烟叶乙烯利促黄烘烤研究[J]. 昆明学院学报, 2008, 30(4): 60 - 61.
- [23] 蒋博文, 苏家恩, 王德勋, 等. 外源乙烯诱导烟叶田间成熟的生理变化研究[J]. 南方农业学报, 2016, 47(10): 1671 - 1676.
- [24] 常娟娟, 邓世媛, 文国宇, 等. 乙烯利对烤烟生长发育和品质作用机理的研究进展[J]. 江西农业学报, 2018, 30(3): 93 - 96, 101.
- [25] 郭世洋, 高 远, 程 森, 等. 植物生长调节剂对烤烟中上部烟叶品质的影响[J]. 广东农业科学, 2017, 44(6): 14 - 19.
- [26] 谢静静, 王 笑, 蔡 剑, 等. 苗期外源脱落酸和茉莉酸减缓小麦花后干旱胁迫的效应及其生理机制[J]. 麦类作物学报, 2018, 38(2): 221 - 229.
- [27] 于建华. 烟草常规化学成分分析连续流动分析法研究进展[J]. 化工管理, 2018(1): 173 - 175.
- [28] 邹 琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 56 - 79.
- [29] Livak K J, Schmittgen T D. Analysis of relative gene expression data using real - time quantitative PCR and the $2^{-\Delta\Delta C_t}$ method [J]. Methods, 2001, 25(4): 402 - 408.
- [30] Lim P O, Kim H J, Nam H G. Leaf senescence[J]. Annual Review of Plant Biology, 2007, 58: 115 - 136.
- [31] 沈成国. 植物衰老生理与分子生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 35 - 37.
- [32] 魏 星, 武云杰, 阚洪赢, 等. 不同烤烟品种烟叶衰老特性与内源激素的关系[J]. 烟草科技, 2020, 53(2): 1 - 7.
- [33] 王 莹, 强继业. 叶面喷施外源 ABA 对烤烟生长及品质的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2012, 27(4): 535 - 539.
- [34] 李丽华. 不同烤烟品种成熟期质体色素降解规律及对氮素和光强的响应差别[D]. 郑州: 河南农业大学, 2014.
- [35] 张生杰, 黄元炯, 任庆成, 等. 氮素对不同品种烤烟叶片衰老、光合特性及产量和品质的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(3): 668 - 674.
- [36] 史宏志, 顾少龙, 段卫东, 等. 不同基因型烤烟质体色素降解及与烤后烟叶挥发性降解物含量关系[J]. 中国农业科学, 2012, 45(16): 3346 - 3356.
- [37] Tso T C. Physiology and biochemistry of tobacco plants [M]. Dowden; Stroudsburg, 1972.
- [38] 阚洪赢. 不同烤烟品种中部叶成熟衰老过程中生理代谢差异研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2019.
- [39] 雷 佳, 吕永华, 李淮源, 等. 烤烟碳氮代谢调节机理及其指标研究进展[J]. 广东农业科学, 2018, 45(12): 20 - 26.