

打顶后喷施不同浓度 GA₃ 和 6-BA 对烤烟农艺性状和化学成分的影响

谷宇超¹ 杨懿德² 鄢敏² 刘勇² 杨建²
向金友² 罗柱石² 李林秋² 景延秋¹ 杨洋²

(¹河南农业大学烟草学院, 450002, 河南郑州; ²四川省烟草公司宜宾市公司, 644002, 四川宜宾)

摘要 以云烟 87 为试验材料, 研究打顶后叶面喷施不同浓度的赤霉素 (GA₃) 和 6-苄氨基嘌呤 (6-BA) 植物生长调节剂组合对烤烟生长和烟叶化学成分的影响。结果表明, 在打顶当天喷施 GA₃ 和 6-BA 可以增加烤烟叶面积, GA₃ 浓度为 100mg/L、6-BA 浓度为 40mg/L 时, 烤烟叶面积增加最多; 喷施 GA₃ 和 6-BA 可以提高烟叶叶绿素含量, 且随着二者浓度提高烟叶叶绿素含量呈增加趋势; 外源 GA₃ 和 6-BA 主要对碳氮化合物起调节作用, GA₃ 和 6-BA 联用可以提高烟叶中总糖、还原糖和钾含量, 而单施 6-BA 则会引起烟碱含量升高, 当 GA₃ 浓度为 50mg/L、6-BA 浓度为 40mg/L 时, 总糖和还原糖含量最高; 不同浓度的 GA₃ 和 6-BA 主要影响烟叶香味物质中的类胡萝卜素降解产物和新植二烯, 当 GA₃ 浓度为 50mg/L、6-BA 浓度为 40mg/L 时, 烟叶中胡萝卜素降解产物和新植二烯等香味物质含量较高。

关键词 烤烟; 打顶; GA₃; 6-BA; 农艺性状; 化学成分

烤烟是以收获叶片为目的的经济作物, 烤烟植株的生长发育情况对烤烟的品质和经济效益具有重要影响^[1]。植物激素在烤烟的各个生长发育时期都起着重要的作用, 农业上常用喷施外源植物激素的方法调控烤烟的生长^[2-5]。在烤烟生产过程中, 打顶起到了调节烟叶源库比^[6-7]、调节烟叶碳氮代谢和解除顶端优势的作用, 但也阻碍了烤烟内源激素的合成^[8], 影响烟叶的品质。研究^[9-10]表明, 打顶后涂抹外源激素能调控烟株的库源关系, 提高烟叶钾含量, 降低烟碱含量, 协调烟叶的化学成分。GA₃ 作为赤霉素应用最为广泛的一种, 具有促进种子萌发和茎叶生长分化的作用^[11-12]。刘超等^[13]研究表明, 喷施一定浓度的赤霉素 (GA₃) 和生长素 (IAA) 可使烟叶干物质积累增加, 烟叶中总糖、还原糖和钾含量增加, 总氮、烟碱和氯含量有所降低。王林等^[14]在打顶后烟株表面喷施 IAA 与 GA₃ 2 种外源激素, 发现较高浓度的 GA₃ 和 IAA 可显著提高烟叶香味品质。6-苄氨基嘌呤 (6-BA) 是一种类似于细胞分裂素的植物生长调节剂, 有促进细胞分裂、诱导休眠芽增殖分化、抑制叶绿素及蛋白质分解、

打破顶端优势、促进侧芽生长、抑制叶的老化进程和提高植株抗性等作用^[7,15]。孟云等^[16]对苹果苗腋芽的研究表明, 喷施外源 6-BA 能够打破顶端优势, 促进腋芽细胞伸长生长。此外, 外源 6-BA 还可以增加叶片中叶绿素含量, 增强叶片的光合性能^[17]。

目前关于外源植物激素对作物生长发育和改善品质方面已有一定的研究, 但对不同浓度 GA₃ 和 6-BA 的互作对烤烟生长及品质特征的影响效应报道较少。本研究以烟叶生产中大面积推广的优质品种云烟 87 为材料, 采用正交试验设计, 通过对烤烟打顶当天喷施不同浓度的外源 GA₃ 和 6-BA, 观测烤烟的生长发育情况, 探讨了不同浓度外源 GA₃ 和 6-BA 对烟叶物理特性、常规化学成分和香味物质等指标的影响, 旨在通过外源生长调节剂调节烟叶生长, 满足工业配方原料需求, 为优质烟叶生产提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2019 年在四川省宜宾市筠连县高坪乡

作者简介: 谷宇超, 主要研究方向为烟草栽培和烟草化学, E-mail: guyuchaovip@vip.qq.com; 杨懿德为共同第一作者, 从事烟叶生产技术研发与推广工作, E-mail: 757364325@qq.com

景延秋为通信作者, 主要从事烟草化学研究, E-mail: jingyanqiu72t@163.com; 杨洋为共同通信作者, 主要从事烤烟栽培与植保研究, E-mail: 298989633@qq.com

基金项目: 四川省烟草公司宜宾市公司科技攻关项目 (201851150024089)

收稿日期: 2021-04-02; 修回日期: 2021-05-24; 网络出版日期: 2021-09-03

英雄村进行。试验地土壤为黄壤土，肥力中等，地势平坦，灌排方便。试验地海拔 1150m，土壤 pH 6.12、碱解氮 109.90mg/kg、全磷 1.73g/kg、速效磷 14.72mg/kg、全钾 15.72g/kg、速效钾 414.56mg/kg、有机质 35.42g/kg。

1.2 试验设计

以当地主栽品种云烟 87 为试验材料，种苗由四川省烟草公司宜宾市公司提供。2019 年 4 月 20 日移栽，7 月 5 日打顶，植烟行距 1.2m，株距 0.5m，种植密度 15 750 株/hm²。采取全田烟株有 50%中心花开放后一次性打顶，留叶 22~24 片，于烟株打顶当天进行叶面（各叶面正反面均匀）喷施，在药液中加入适量表面活性剂吐温 80 以减少表面张力，药液用量以叶面湿润为度。选择在无风傍晚进行，喷施后 48h 内无雨。喷施不同浓度 GA₃ 和 6-BA，配比处理见表 1，每处理重复 3 次，随机排列，共 27 个小区，其他栽培措施按照当地优质烟叶生产技术规范执行。

表 1 GA ₃ 与 6-BA 叶面配施浓度设置					
Table 1 Foliar concentration setting of GA ₃ and 6-BA mg/L					
处理	GA ₃	6-BA	处理	GA ₃	6-BA
T1	0	0	T6	50	40
T2	0	20	T7	100	0
T3	0	40	T8	100	20
T4	50	0	T9	100	40
T5	50	20			

表 2 不同浓度 GA ₃ 和 6-BA 的烤烟农艺性状						
Table 2 Agronomic characteristics of flue-cured tobacco with different concentrations of GA ₃ and 6-BA						
处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	最大叶长 Maximum leaf length (cm)	最大叶宽 Maximum leaf width (cm)	茎围 Stem girth (cm)	最大叶面积 Maximum leaf area (cm ²)	
T1	120.61±2.95bc	74.71±1.04e	23.06±0.84f	10.40±0.95a	1102.68±58.68f	
T2	120.10±2.244c	74.70±0.96e	23.36±0.57ef	10.17±0.91a	1098.41±31.53f	
T3	120.85±2.75bc	75.26±0.94de	23.35±0.64ef	10.36±0.98a	1106.07±53.25ef	
T4	122.67±1.64a	75.70±1.38cd	23.85±0.81de	10.53±0.91a	1139.38±53.11de	
T5	122.50±1.54a	76.32±1.04bc	24.08±0.63cd	10.71±0.96a	1162.99±44.51cd	
T6	122.14±2.00ab	76.67±0.78ab	24.42±0.77bc	10.34±0.79a	1178.40±62.61bc	
T7	122.79±1.77a	75.78±0.95cd	24.21±0.64cd	10.85±0.64a	1159.72±59.22cd	
T8	123.47±2.21a	77.04±0.70ab	24.84±0.46b	10.54±0.92a	1218.34±46.91ab	
T9	123.37±2.41a	77.17±0.95a	25.48±0.69a	10.63±0.92a	1243.46±45.68a	
GA ₃	21.063**	39.386**	28.314**	1.879	30.435**	
6-BA	0.027	11.098**	5.701**	0.372	5.830*	
GA ₃ ×6-BA	0.610	1.596	2.159	0.518	1.532	

同一列不同小写字母表示处理间差异达到 0.05 显著水平。“*”表示测验达到 5%显著水平；“**”表示测验达到 1%极显著水平。下同
Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. “*” indicates the F test reached significant difference at 5% level; “**” indicates the F test reached significant difference at 1% level, respectively. The same below

要是由 GA₃ 引起的；与 T1 相比，T2 和 T3 最大叶长、最大叶宽和最大叶面积无显著差异，说明单一

1.3 测定项目及方法

1.3.1 农艺性状 于打顶后第 20 天参照 YC/T 142-2010^[18]测定各处理株高、茎围、最大叶长和最大叶宽等农艺性状指标。

1.3.2 叶绿素和类胡萝卜素含量 采用丙酮研磨比色法测定叶绿素和类胡萝卜素含量。

1.3.3 烟叶常规化学成分 取各处理烤后烟叶 C₃F 测定烟叶中各成分，参照 YC/T 160-2002 测定烟碱含量；参照 YC/T 161-2002 测定总氮含量；参照 YC/T 159-2002 测定总糖含量；参照 YC/T 216-2007 测定还原糖含量；参照 YC/T 217-2007 测定钾含量；参照 YC/T 162-2002 测定氯含量。

1.3.4 中性香味物质 按照李炎强等^[19]的方法测定烤烟中性香味物质。

1.4 数据统计与分析

用 Excel 2016 进行数据统计和图表绘制，采用 SPSS 22.0 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同浓度 GA₃ 和 6-BA 对烤烟农艺性状的影响

由表 2 可知，与 T1 相比，GA₃ 主要对烤烟的株高有一定促进作用，单用 6-BA 处理株高无显著差异。GA₃ 和 6-BA 的互作组合主要对烤烟的最大叶长、最大叶宽和最大叶面积有促进作用，而对茎围几乎没有影响。GA₃ 浓度相同而 6-BA 浓度不同的处理之间株高没有显著差异，说明株高的变化主

喷施 6-BA 对烤烟叶长、叶宽、叶面积影响不大；T4 和 T6 处理在最大叶长、最大叶宽、最大叶面积上有显著差异，T7 和 T9 处理在最大叶长、最大叶宽、最大叶面积有显著差异，说明在喷施相同浓度外源 GA₃ 的情况下，喷施 40mg/L 的 6-BA 有利于烤烟叶长、叶宽、叶面积等指标的增加；从 GA₃ 和 6-BA 的互作效应来看，GA₃ 对最大叶长、最大叶宽、最大叶面积有促进作用，而 6-BA 只有在外源喷施 GA₃ 和 6-BA 浓度为 40mg/L 时才有显著的正效应 ($P<0.05$)。

2.2 不同浓度 GA₃ 和 6-BA 对烤烟质体色素的影响

由表 3 可知，与 T1 相比，各个处理烟叶叶绿

表 3 不同浓度 GA ₃ 和 6-BA 的烤烟质体色素含量 Table 3 Flue-cured tobacco plastid pigments content with different concentrations of GA ₃ and 6-BA mg/g			
处理 Treatment	叶绿素 a Chlorophyll a	叶绿素 b Chlorophyll b	类胡萝卜素 Carotenoid
T1	0.61±0.26d	0.21±0.02a	0.25±0.03a
T2	0.69±0.38c	0.22±0.02ab	0.24±0.04ab
T3	0.74±0.25ab	0.22±0.02ab	0.22±0.02ab
T4	0.69±0.35bc	0.21±0.01ab	0.23±0.04ab
T5	0.71±0.20bc	0.22±0.01ab	0.25±0.03ab
T6	0.73±0.15abc	0.24±0.02ab	0.25±0.02abc
T7	0.71±0.25bc	0.22±0.01ab	0.26±0.03bc
T8	0.74±0.20ab	0.24±0.01b	0.26±0.03bc
T9	0.77±0.12a	0.24±0.01b	0.23±0.02c
GA ₃	19.690**	3.610*	2.643
6-BA	32.559**	3.683*	2.804
GA ₃ ×6-BA	4.047*	0.537	2.696

表 4 不同浓度 GA ₃ 和 6-BA 下烤烟叶片常规化学成分 Table 4 Conventional chemical composition of flue-cured tobacco leaves with different concentrations of GA ₃ and 6-BA %							
处理 Treatment	总糖 Total sugar	还原糖 Reducing sugar	总氮 Total N	烟碱 Nicotine	钾 K	氯 Cl	
T1	22.11±0.50e	20.28±0.51e	1.83±0.08ab	2.09±0.05bc	1.80±0.03d	0.25±0.01a	
T2	23.30±0.28d	21.80±0.28cd	1.78±0.21b	2.30±0.09ab	1.86±0.19cd	0.27±0.03a	
T3	24.08±0.28c	22.58±0.28bc	2.04±0.04a	2.48±0.02a	1.99±0.07bcd	0.19±0.05a	
T4	22.00±0.14e	20.50±0.14d	1.68±0.06b	1.93±0.14cd	2.11±0.04ab	0.21±0.11a	
T5	25.08±0.50b	23.58±0.58ab	1.73±0.10b	1.98±0.23cd	2.22±0.03a	0.25±0.02a	
T6	25.43±0.29ab	23.93±0.46a	2.00±0.11a	2.16±0.30bc	2.25±0.12a	0.23±0.05a	
T7	23.89±0.18cd	22.39±0.76b	1.65±0.09b	1.74±0.06d	2.14±0.16ab	0.20±0.07a	
T8	25.89±0.25a	24.39±0.43a	1.85±0.16ab	1.88±0.13cd	1.92±0.10bcd	0.19±0.04a	
T9	25.64±0.54ab	24.14±0.37a	1.63±0.10b	2.08±0.10bc	2.07±0.21abc	0.25±0.03a	
GA ₃	8.731*	11.923*	4.863*	15.235*	14.372*	0.365	
6-BA	15.112*	20.328**	4.845*	9.845*	1.682	0.139	
GA ₃ ×6-BA	7.898**	6.424**	4.499*	0.278	1.811	1.500	

2.4 不同浓度 GA₃ 和 6-BA 对烤烟香味物质的影响

由表 5 可知，将烤烟香味物质按照香味前体物

素 a 含量均显著增加，从 GA₃ 与 6-BA 的互作效应来看，6-BA 对叶绿素的影响大于 GA₃，并且随着 6-BA 浓度的增大，叶绿素 a 含量有所增加；只有 T8 和 T9 处理叶绿素 b 与 T1 有显著差异，这可能与叶绿素 b 较为稳定有关；与 T1 相比，T7 和 T8 处理烤烟类胡萝卜素含量有显著增加，T9 处理有一定程度减少。这一定程度反映了喷施外源生长调节剂可能是通过调控烟叶中的色素含量影响烟叶的光合作用，从而影响烟叶中碳氮化合物代谢。

2.3 不同浓度 GA₃ 和 6-BA 对烤烟常规化学成分的影响

由表 4 可知，与 T1 相比，不同浓度的 GA₃ 和 6-BA 互作喷施使烤烟叶片总糖和还原糖含量均有增加，且显著高于单一喷施 GA₃ 和 6-BA 的处理，且浓度较高的互作组合总糖和还原糖含量相对较高；各外源激素处理后的烤烟总氮含量与 T1 无显著差异，但不同处理之间有一定差异，其中 T3 处理最高，T7 和 T9 处理相对较低；6-BA 和 GA₃ 对烤烟烟碱含量有显著影响，与 T1 相比，T3 处理的烟碱含量显著增加，T7 处理的烟碱含量显著降低，而 GA₃ 和 6-BA 的互作组合与 T1 无显著差异。GA₃ 和 6-BA 在调节烟碱的过程中属拮抗关系，打顶后喷施 GA₃ 有利于烟碱的降低，而喷施 6-BA 有利于烟碱的升高；T4、T5、T6 和 T7 处理的烟叶钾含量与 T1 相比显著增加，说明喷施一定浓度的外源 GA₃ 和 6-BA 有利于提升烟叶的钾含量；各处理间氯含量无显著差异。

质进行分类后，仅有新植二烯含量达到了显著差异水平 ($P<0.05$)。烟草香味物质在烟草化学成分中

所占比例较小,此外还受到调制和储存环境等诸多因素的影响,这可能是导致这一结果的主要原因。打顶后喷施不同浓度的 GA₃ 和 6-BA,各处理烤烟香味物质中类胡萝卜素降解产物、新植二烯、类西柏烷类降解产物含量不同,其中 T6 处理的类胡萝

卜素降解产物含量最高,T6 和 T8 处理的新植二烯含量较高,T4 和 T7 处理的类西柏烷类降解产物含量较高,但新植二烯和类胡萝卜素降解产物含量较低,这说明喷施一定浓度的 GA₃ 和 6-BA 主要影响烟叶中新植二烯、类胡萝卜素降解产物和类西柏烷

表 5 不同浓度 GA₃ 和 6-BA 的烤烟香味物质含量
Table 5 Contents of aroma substances in flue-cured tobacco with different concentrations of GA₃ and 6-BA $\mu\text{g/g}$

处理 Treatment	美拉德反应产物 The Millard reaction product	苯丙氨酸类代谢产物 Phenyl-alanine-class metabolites	类胡萝卜素降解产物 Carotenoid degradation products	新植二烯 Neophytadiene	类西柏烷类降解产物 Cycane degradation products
T1	21.94±3.67a	13.12±2.77a	83.23±3.03a	831.47±14.91def	22.46±4.50a
T2	21.23±4.54a	12.63±3.90a	81.46±14.18a	852.97±13.11cde	32.07±10.70a
T3	21.54±4.24a	13.58±2.40a	81.61±10.71a	896.22±9.12bcd	21.23±1.96a
T4	20.75±3.97a	13.95±3.57a	83.65±15.35a	781.97±35.88ef	33.15±12.10a
T5	26.16±1.69a	15.82±3.90a	81.60±21.64a	953.75±74.81b	25.47±2.16a
T6	26.03±1.19a	15.62±0.85a	92.59±3.27a	1107.66±99.05a	24.49±5.21a
T7	22.79±2.89a	13.28±1.64a	76.66±6.47a	761.25±18.77f	36.36±4.32a
T8	24.28±2.13a	13.95±3.21a	78.00±6.49a	1053.00±18.36a	21.67±4.42a
T9	23.11±2.13a	16.06±1.54a	80.82±4.46a	919.55±16.28bc	19.63±4.03a

类降解产物含量。

3 讨论

烤烟的叶长、叶宽、叶面积等指标对烟草的经济价值有着重要的作用^[20]。有研究^[21]表明,烟叶的感官评吸总分与叶长、叶面积呈显著正相关,促进烟叶开片,增加叶面积,有利于提高烟叶香气质和香气量。植物内源激素间的平衡是影响植物生长发育的重要因素^[22]。本次试验结果显示,打顶后喷施 GA₃ 和 6-BA 能不同程度地增加最大叶长、最大叶宽和最大叶面积。不同浓度 GA₃ 和 6-BA 的组合中以 T9 处理对烟叶的最大叶长、最大叶宽和最大叶面积的影响最为显著。烟叶面积过大也会对烟叶产生不利影响,各处理中,最大叶面积为 1243.46cm²,属于该品系烤烟品种正常叶面积适宜范围^[23]。在保持正常的氮素水平下,本试验仅施用外源激素对烤烟叶面积的增加程度有限,并不会因为烟叶过大对烤烟产品质产生不利影响。其作用机理可能是打顶后烟株内生生长素与细胞分裂素的比值发生改变,从而促使细胞分裂和叶片细胞数量增加,同时,水分作为细胞产生膨压和扩展提供动力^[24],二者的协同作用促使烤烟叶面积扩大^[25]。喷施不同浓度的 GA₃ 和 6-BA 均能不同程度地增加叶绿素 a 含量,其中 6-BA 对叶绿素 a 的增加作用更为明显,二者共同施

用要比单一施用效果好;这对于增强烟叶的同化作用、提高烟叶内含物质积累具有重要的作用。

烟叶化学成分是烟叶品质的内在体现,烟叶主要化学成分与评吸质量、外观质量、物理特性及安全性等方面有着密切联系^[26-27]。薛琳等^[28]研究表明,影响烟叶感官评吸得分的化学成分指标主要有总植物碱、总糖、还原糖、钾和总氮等,感官评吸得分与总糖、还原糖含量呈显著或极显著正相关;周继华等^[29]研究表明,喷施一定浓度的 GA₃ (100mg/L) 促进了烟草叶片内源激素 GA₃ 与吲哚乙酸的合成,并提高了各时期烟草叶片中的相对钾含量。本试验结果表明,打顶后喷施一定浓度的外源 GA₃ 和 6-BA 可以增加烟叶总糖和还原糖含量,提高烟叶钾含量,其中 T6 处理的烟叶钾含量最高,烟叶总糖和还原糖含量也相对较高,同时外源 6-BA 在一定程度上引起了烟叶中烟碱含量的升高,GA₃ 则会导致烟叶烟碱含量降低,这与前人的研究^[29]结果基本一致。

烟草香味是由各种特定香味成分相互作用形成的,是评价烟叶及卷烟质量的重要指标。烟叶香气物质除包括分子结构简单的挥发性香气成分外,还包括分子结构较复杂的香气前体^[30]。这些物质在烟叶生长、成熟、调制、醇化和燃烧过程中通过积累、转化和降解将直接影响烤烟的香气风格、香气

质和香气量^[31-32]，其中质体色素包括叶绿素和类胡萝卜素，是一类本身不具有香味特征，但通过降解和转化可形成致香成分的物质^[33]，占中性挥发香气物质总量的 85%~95%。打顶后喷施一定浓度的 GA₃ 和 6-BA，增加了烟叶中类胡萝卜素降解产物和新植二烯的含量。韩富根等^[34]研究认为，打顶后喷施植物生长活性剂能有效促进叶绿素适度降解，抑制类胡萝卜素过度降解，提高烤后烟叶中新植二烯的含量和质体色素降解产物的总量。然而，质体色素的合成受多方面因素的影响，如光照、发育信号、激素、温度和营养供应等^[35]，但这些因素影响质体色素的合成的机理还有待进一步研究。

4 结论

打顶后喷施一定浓度的 GA₃ 和 6-BA 可以促进烤烟的生长发育，促进烤烟光合作用，增加烟叶总糖和还原糖含量，烟叶类胡萝卜素降解产物和新植二烯等香味物质含量也有所增加。喷施浓度为 100mg/L GA₃ 和 40mg/L 6-BA (T9 处理) 时，烤烟叶面积增加最多；喷施 100mg/L GA₃ 和 20mg/L 6-BA (T8 处理) 时，烤烟总糖和还原糖含量增加最多；喷施 50mg/L GA₃ 和 40mg/L 6-BA (T6 处理) 时，类胡萝卜素降解产物和新植二烯含量最高。

参考文献

- [1] 童治军, 方敦煌, 陈学军, 等. 6 个烟草重要产量相关性状的遗传分析. 中国烟草学报, 2020, 26(5): 72-81.
- [2] 刘春奎, 王国良, 王晓宾, 等. 植物生长调节剂对烤烟品质影响的研究进展. 安徽农学通报, 2010, 16(17): 99-100.
- [3] 邹琳娜, 王兴银. 植物生长调节剂在设施园艺生产上的应用现状 (二). 农村实用工程技术 (温室园艺), 2005(2): 34-35.
- [4] 张晓英, 嵇照卿, 李秀艳, 等. 赤霉素在烤烟上的应用效果研究. 现代农业科技, 2018, 733(23): 150-151.
- [5] 李卫华, 齐绍武, 胡宇, 等. 植物外源激素在烟草生产上的应用. 江西农业学报, 2008, 20(11): 50-52.
- [6] 王贵元. 不同浓度 6-BA 和 GA₃ 处理对豆梨实生苗生长的影响. 吉林农业科学, 2015, 40(4): 87-89.
- [7] 吴进东, 尹亚楠. 6-BA 对霍山石斛生长及品质的调控效应. 唐山师范学院学报, 2020, 42(6): 63-67.
- [8] 杨洁, 胡日生, 童建华, 等. 打顶对烟草腋芽生长及植物激素含量的影响. 烟草科技, 2013, 315(10): 72-75.
- [9] 洪丽芳, 付丽波, 赵宗胜, 等. 烤烟钾素库源关系生理调控措施研究. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(4): 404-409.
- [10] 邹焱, 苏以荣. 打顶及施用生理调节剂对烤烟主要化学成分的影响. 中国烟草科学, 2008, 29(2): 1-4.
- [11] 张文明, 邱慧珍, 何秀成, 等. 外源激素对陇东旱塬烤烟主要品质指标和产量、产值的影响. 干旱地区农业研究, 2012, 30(3): 180-183, 193.

- [12] 周继华, 杨铁钊, 巩巧玲, 等. 外源 GA₃ 与 ABA 对烤烟茎尖内源激素调控及生长的影响. 干旱地区农业研究, 2009, 27(3): 198-202.
- [13] 刘超, 武云杰, 张安乾, 等. 外源 GA₃ 和 IAA 对烤烟内源激素调控效应和常规化学成分的影响. 中国农业科技导报, 2019, 21(8): 153-160.
- [14] 王林, 朱金峰, 许自成. 烤烟打顶后喷施外源激素对中部烟叶品质的互作效应. 核农学报, 2016, 30(12): 2411-2417.
- [15] 王杰, 葛春妹, 秦元柱, 等. 外源激素对杭白菊分枝及产量和品质的影响. 山东农业科学, 2020, 52(8): 51-56.
- [16] 孟云, 马少锋, 邵建柱, 等. 喷施 6-BA 对‘天红 2 号’苹果苗腋芽萌发及其内源激素的影响. 园艺学报, 2012, 39(5): 837-844.
- [17] 衣琨, 赵一航, 胡尧, 等. GA₃ 和 6-BA 对高加索三叶草根蘖芽生长及内源激素含量的影响. 草业学报, 2020, 29(2): 22-30.
- [18] 全国烟草标准化技术委员会农业分技术委员会. 烟草农艺性状调查方法: YC/T 142-2010. 北京: 国家烟草专卖局, 2010.
- [19] 李炎强, 郝建辉, 赵明月, 等. 烤烟烟梗和叶片中性香味成分的分析. 烟草科技, 2002(11): 3-6.
- [20] 董昆乐, 毛家伟, 孔德辉, 等. 叶面喷施不同调节剂对烟叶质量的影响. 湖北农业科学, 2020, 59(14): 108-111, 116.
- [21] 李冉, 程森, 周超, 等. 烟叶发育状况与其感官评吸质量关系研究. 安徽农业科学, 2019, 47(21): 209-213.
- [22] 刘健康. 不同外源植物激素配比对烤烟生长发育及产质量的影响. 郑州: 河南农业大学, 2004.
- [23] 郑登峰, 熊晶, 文德锋, 等. 栽培技术对‘云烟 87’田间生长及产量质量的影响. 热带农业工程, 2019, 43(4): 1-8.
- [24] 黄敏. 种植密度、施氮量及留叶数对烤烟新品种云烟 99 的影响. 昆明: 云南农业大学, 2017.
- [25] 韩建民, 商振清, 董永华, 等. 6-BA, IAA 促进玉米叶片伸长机理研究. 玉米科学, 1997(3): 50-52.
- [26] 李健忠, 薛立新, 朱金峰, 等. 打顶后喷施油菜素内酯和生长素对烤烟田间生长、碳氮代谢及烟叶品质的影响. 中国生态农业学报, 2015, 23(11): 1404-1412.
- [27] 黎根, 毕庆文, 汪健, 等. 烤烟主要化学成分与烟叶品质关系研究进展. 河北农业科学, 2007, 66(6): 6-9, 41.
- [28] 薛琳, 朱启法, 季学军, 等. 皖南烤烟烟叶化学成分与感官品质的相关性. 烟草科技, 2016, 49(11): 26-32.
- [29] 周继华, 聂红资, 豆显武, 等. 外源 GA₃ 与 ABA 对烤烟叶片内源激素及钾素含量的影响. 甘肃农业大学学报, 2009, 44(5): 61-66.
- [30] 韩锦峰, 赫冬梅, 刘华山, 等. 不同植物激素处理方法对烤烟内烟碱含量的影响. 中国烟草学报, 2001, 7(2): 22-25.
- [31] 景延秋, 宫长荣, 高玉珍, 等. 烟草香味物质及其形成的前体物质研究进展. 湛江海洋大学学报 (自然科学), 2006, 26(1): 94-98.
- [32] 高远, 张艳玲, 张仕祥, 等. 不同香型烤烟类胡萝卜素及其降解产物含量与感官质量的关系. 烟草科技, 2014, 319(2): 38-43.
- [33] 杨虹琦, 周冀衡, 杨述元, 等. 不同产区烤烟中主要潜香型物质对评吸质量的影响研究. 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2005, 31(1): 11-14.
- [34] 韩富根, 董祥洲, 王初亮, 等. 植物生长物质对烤烟上部叶生长生理、质体色素及其降解产物的影响. 江西农业大学学报, 2010, 32(6): 1109-1114.
- [35] 高慧君, 明家琪, 张雅娟, 等. 园艺植物中类胡萝卜素合成与调控的研究进展. 园艺学报, 2015, 42(9): 1633-1648.

Effects of GA₃ and 6-BA on Agronomic Traits and Chemical Components of Flue Cured Tobacco after Topping

Gu Yuchao¹, Yang Yide², Yan Min², Liu Yong², Yang Jian², Xiang Jinyou²,
Luo Zhushi², Li Linqiu², Jing Yanqiu¹, Yang Yang²

(¹College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, Henan, China;

²Yibin Branch of Sichuan Tobacco Company, Yibin 644002, Sichuan, China)

Abstract Yunyan 87 was used as the experimental material to study the effects of different concentrations of gibberellin (GA₃) and 6-benzylaminopurine (6-BA) plant growth regulators on the growth and quality of flue-cured tobacco by foliar spraying after topping. The results showed that, spraying GA₃ and 6-BA on the day of topping could increase the leaf area of flue-cured tobacco and maximum increase was observed in case of 100mg/L GA₃ and 40mg/L 6-BA. Spraying GA₃ and 6-BA could increase the chlorophyll content in tobacco leaves, and chlorophyll content increased with the increase of GA₃ and 6-BA concentrations. GA₃ and 6-BA mainly regulated carbon and nitrogen compounds, the combination of GA₃ and 6-BA could increase contents of the total sugar, reducing sugar and potassium in tobacco leaves, while the use of 6-BA alone could increase nicotine content. When the concentration of GA₃ was 50mg/L and 6-BA was 40mg/L, the contents of total sugar and reducing sugar were the highest. Different concentrations of GA₃ and 6-BA mainly affected the degradation products of carotenoid and neophytadiene in tobacco flavor. When the concentration of GA₃ was 50mg/L and 6-BA was 40mg/L, the contents of carotenoid degradation products and neophytadiene in tobacco were higher.

Key words Tobacco; Topping; GA₃; 6-BA; Agronomic traits; Chemical composition