

## 赤霉素和萘乙酸互作对烤烟生长、碳氮代谢及烟叶品质的影响

李健忠<sup>1</sup>, 薛立新<sup>2</sup>, 朱金峰<sup>3</sup>, 许仪<sup>2</sup>, 金磊<sup>2</sup>, 郝浩浩<sup>1</sup>, 苏谦<sup>4</sup>, 许自成<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>河南农业大学烟草学院, 郑州450002; <sup>2</sup>河南省烟草公司济源市公司, 河南济源454650; <sup>3</sup>河南省烟草公司漯河市公司, 河南漯河462000; <sup>4</sup>青岛卷烟厂, 山东青岛 266101

**摘要:** 通过田间试验研究了赤霉素(GA<sub>3</sub>)和萘乙酸(NAA)互作对烤烟生长、碳氮代谢及烟叶品质的影响。结果表明, 喷施GA<sub>3</sub>和NAA均能不同程度地促进上部烟叶开片, 促进烟株根、茎、上部叶的生长和干物质积累, 且二者交互作用的效果更明显。喷施GA<sub>3</sub>和NAA均能提高烟株碳代谢的强度, 且二者互作时的作用效果更明显, 但在一定程度上推迟了烟叶成熟落黄的时间, 延长了大田生育期。喷施GA<sub>3</sub>和NAA可以有效地提高中、上部烟叶钾含量、钾氯比和有机钾指数, 降低烟叶氯含量。但对烟碱和糖碱比的影响表现不一致, 中部叶表现为提高烟碱含量, 降低糖碱比, 上部叶表现为降低烟碱含量, 提高糖碱比。对总糖含量和SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>离子的含量没有影响。赤霉素和萘乙酸对上部烟叶的影响程度远高于中部烟叶, 两者互作时的作用效果更好。其中10 mg·kg<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub>+10 mg·kg<sup>-1</sup> NAA的处理效果最佳。

**关键词:** 烤烟; 赤霉素; 萘乙酸; 碳氮代谢; 生长; 品质

## Interaction Effect of Gibberelin and NAA on Growth, Carbon and Nitrogen Metabolism and Leaf Quality in Flue-Cured Tobacco

LI Jian-Zhong<sup>1</sup>, XUE Li-Xin<sup>2</sup>, ZHU Jin-Feng<sup>3</sup>, XU Yi<sup>2</sup>, JIN Lei<sup>2</sup>, HAO Hao-Hao<sup>1</sup>, SU Qian<sup>4</sup>, XU Zi-Cheng<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>College of Tobacco Sciences, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; <sup>2</sup>Jiyuan Branch of Henan Provincial Tobacco Company, Jiyuan, Henan 454650, China; <sup>3</sup>Luohe Branch of Henan Provincial Tobacco Company, Luohe, Henan 454200, China; <sup>4</sup>Qingdao Cigarette Factory, Qingdao, Shandong 266101, China

**Abstract:** The interaction effects of gibberellin (GA<sub>3</sub>) and naphthalene acetic acid (NAA) on the tobacco growth, carbon and nitrogen metabolism and leave quality of flue-cured tobacco were studied by field experiment. The results show that the spraying GA<sub>3</sub> and NAA could promote the expansion of upper leaves of flue-cured tobacco in different degrees, and enhanced the growth and accumulation of dry matter in tobacco plant, root, stem, the upper leaves, and the effect of their interaction was more obvious. Spraying GA<sub>3</sub> and NAA could improve the strength of the carbon metabolism in tobacco plants, and their interaction effect was more obvious, but in a certain extent delayed maturity and yellowing time, extended the growing period in the field. Spraying GA<sub>3</sub> and NAA could effectively improve the contents of potassium, potassium-chlorine ratio and organic potassium index in middle and upper leaves, and reduce the chlorine content. The effects on nicotine content and the ratio of sugar to nicotine were different. In the middle leaves, nicotine content was increased, and the ratio of sugar to nicotine was decreased, but they were opposite in the upper leaves. There were no effect on contents of total sugar and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. The effects of GA<sub>3</sub> and NAA in the upper leaves was much higher than those in the middle leaves, and the interaction was better, the treatment of 10 mg·kg<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub>+10 mg·kg<sup>-1</sup> NAA was best.

**Key words:** flue-cured tobacco; gibberelin; naphthalene acetic acid; carbon and nitrogen metabolism; growth; quality

植物生长调节剂能调节植物的生长发育, 调控作物的株型, 提高产量, 改善品质(李鹏程等2013), 目前已经在农业生产中被广泛的应用。赤霉素(gibberelin, GA<sub>3</sub>)能够促进细胞分裂和植株根、茎、叶生长, 缩短生长周期, 提高作物的产量和品质(母洪娜等2014)。萘乙酸(naphthalene acetic acid, NAA)是一种广谱型植物生长调节剂, 能促进细胞分裂与扩大, 促进植株生长, 控制株型, 提高

种植效益(李合生2002), 二者在烟草生产中已有大量的应用研究。有研究表明, 喷施0.15%的GA<sub>3</sub>水剂可以缩短烤烟大田生育期, 改善烤后烟叶的外观质量, 提高产量(蔡良勇等2012), 在打顶当天喷

收稿 2015-05-05 修定 2015-08-12  
资助 河南省烟草公司科技攻关项目(HYKJ2011M01和HYKJ 201043)。

\* 通讯作者(E-mail: zcxu@sohu.com; Tel: 0371-63555916)。

施 $20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的 $\text{GA}_3$ 可以增大全株叶面积,提高钾含量,降低烟碱,协调烟叶的各化学成分(史金钟等2007),打顶后施用NAA可促进烟株干物质积累,提高钾素吸收量和利用率,减少烟叶钾含量外排(李章海等2008),打顶后涂抹NAA可以促使成熟期烟株钾素维持在较高水平,增加烟叶钾含量(赵正雄等2002),但这些研究都集中于采用单一的生长调节剂对烟叶品质进行研究,而利用 $\text{GA}_3$ 和NAA互作对烟株生长和烟叶品质进行研究还未见报道。

本实验旨在通过研究在河南省济源烟区特定生态环境和常规栽培措施条件下,赤霉素和萘乙酸互作对烤烟生长、碳氮代谢以及烟叶品质的影响,以求提高烟叶品质,为优质烟叶生产提供理论依据。

## 材料与方法

### 1 试验材料

试验于2014年在济源市王屋镇燕庄科技示范园进行。供试烤烟(*Nicotiana tabacum* L.)品种为当地主栽品种‘中烟100’,供试土壤为黄壤土,基础土壤养分状况为:有机质 $9.89\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,pH 5.76,铵态氮 $69.35\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,硝态氮 $141.26\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效磷 $12.68\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效钾 $165.48\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

### 2 试验设计

试验采用小区示范试验,每个处理的小区面积 $0.3\text{ 亩}$ 。试验共2个因素,每个因素设3个水平, $\text{GA}_3$ 浓度为0、10和 $20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;NAA浓度为0、10和 $20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。2个因素随机组合共9个处理。5月16日移栽,7月28日打顶,植烟行距 $1.2\text{ m}$ ,株距 $0.6\text{ m}$ ,每个处理设置保护行。50%以上中心花开放时打顶,留叶24片,化学抑芽,各处理均于烟株打顶当天叶面喷施,叶面以湿润为好。试验地N、P和K基肥及追肥用量按照当地常规施肥,保持各个小区土壤肥力一致。其余栽培管理措施与当地优质烟叶生产栽培管理措施保持一致。

### 3 测定项目

#### 3.1 顶部叶片叶面积的测量

打顶当天在每个处理中选取5株长势均匀具有代表性的烟株,挂牌定株,分别在打顶当天、打顶后15和30 d时,测量烟株顶部5片叶的叶长、叶宽,并计算叶面积 $=0.6345\times\text{叶长}\times\text{叶宽}$ 。

#### 3.2 烟株干物质质量积累的测量

分别在打顶当天、打顶后15和30 d时,在每个

处理中选取3株具有代表性的烟株,连同根部整株取样,在把根部清洗干净且用滤纸擦净表面水分后,将烟株按照根、茎、上部叶、中部叶、下部叶依次分开,在 $105\text{ }^\circ\text{C}$ 下杀青15 min,然后在 $60\text{ }^\circ\text{C}$ 下烘干,并测量各组分的干物质重量。

#### 3.3 酶活性的测定

分别在打顶当天、打顶后10、20和30 d选取3株代表性烟株,在每株的中部叶(第12~16片叶)取鲜样,并将3株的所取鲜样混合后用铝箔纸和纱布包裹,迅速置于液氮中带回,存放于 $-80\text{ }^\circ\text{C}$ 的冰箱中,用于酶活性的测定。

#### 3.4 烤后烟样的选取

每个处理依照《烤烟42级国标品质标准》选取烤后C3F(成熟度:成熟;叶片结构:疏松;身份:中等;油分:有;色度:中;长度: $\geq 35\text{ cm}$ ;残伤: $\leq 20\%$ )和B2F(成熟度:成熟;叶片结构:尚疏松;身份:稍厚;油分:有;色度:强;长度: $\geq 40\text{ cm}$ ;残伤: $\leq 10\%$ )烟叶各1 kg,用于测定烟叶常规化学成分。

### 4 测定方法

#### 4.1 碳氮代谢关键酶活性的测定

硝酸还原酶(nitrate reductase, NR)活性测定按照活体法进行(萧浪涛和王三根2005),淀粉酶(amylose, AM)和蔗糖转化酶(invertase, Inv)活性测定按照3,5-二硝基水杨酸比色法进行(邹琦1995),每项测定指标重复3次。

#### 4.2 化学成分的测定

总糖、烟碱、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 和 $\text{SO}_4^{2-}$ 含量的测定按《烟草化学品质分析法》(王瑞新等2003)进行测定。每项测定指标重复3次。有机钾指数计算公式为:有机钾指数(%) $=1.20\times(\text{K}^+\text{含量}-1.10\times\text{Cl}^-\text{含量}-0.81\times\text{SO}_4^{2-}\text{含量})$ (胡有持和刘立全1993)。

### 5 数据处理

采用Excel 2003和SPSS 21.0统计软件进行试验数据处理。用F检验法检验数据是否存在显著差异。

## 实验结果

### 1 $\text{GA}_3$ 和NAA互作对烤烟顶部烟叶叶面积的影响

从表1可知,9个处理顶部烟叶的平均叶面积在打顶当天没有显著性差异,在打顶15和30 d时均表现出显著差异。与对照A1B1相比,单独喷施 $\text{GA}_3$ 的处理A2B1和A3B1,在打顶15 d时增幅分别为32%和21.7%,打顶30 d时增幅分别为33.2%和

表1 赤霉素和萘乙酸互作对烤烟顶部烟叶平均叶面积的影响

Table 1 Interaction effects of GA<sub>3</sub> and NAA on average leaf area of top leaves in flue-cured tobacco

编号	GA <sub>3</sub> 浓度/mg·kg <sup>-1</sup>	NAA浓度/mg·kg <sup>-1</sup>	平均叶面积/cm <sup>2</sup> ·片		
			打顶当天	打顶15 d	打顶30 d
A1B1 (对照)	0	0	573.46 <sup>a</sup>	860.27 <sup>c</sup>	1 074.06 <sup>e</sup>
A1B2	0	10	577.29 <sup>a</sup>	937.99 <sup>de</sup>	1 173.16 <sup>de</sup>
A1B3	0	20	575.29 <sup>a</sup>	1 149.87 <sup>abc</sup>	1 287.51 <sup>cd</sup>
A2B1	10	0	577.97 <sup>a</sup>	1 135.62 <sup>abc</sup>	1 431.10 <sup>bc</sup>
A2B2	10	10	581.69 <sup>a</sup>	1 262.84 <sup>a</sup>	1 676.89 <sup>a</sup>
A2B3	10	20	583.36 <sup>a</sup>	1 169.28 <sup>ab</sup>	1 575.62 <sup>ab</sup>
A3B1	20	0	580.95 <sup>a</sup>	1 047.04 <sup>bcd</sup>	1 365.27 <sup>c</sup>
A3B2	20	10	566.14 <sup>a</sup>	1 200.53 <sup>ab</sup>	1 666.38 <sup>a</sup>
A3B3	20	20	590.16 <sup>a</sup>	1 004.64 <sup>de</sup>	1 283.19 <sup>cd</sup>

不同小写字母表示同一列中差异显著( $P<0.05$ )。下表同此。

27.1%; 而单独喷施NAA的处理A1B2和A1B3在打顶15 d的增幅分别为9.03%和33.7%, 打顶30 d时增幅为9.23%和19.9%。在GA<sub>3</sub>和NAA的交互处理中, 以处理A2B2 (10 mg·kg<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub>+10 mg·kg<sup>-1</sup> NAA)的效果最佳, 相对于对照, 其叶面积在打顶15和30 d时的增幅分别为46.8%和56.1%。在2个时期中, 处理A2B2的叶面积均为最大, 对照的叶面积最小, 说明GA<sub>3</sub>和NAA均能不同程度地促进上部烟叶开片, 且两者互作时效果更佳。

从表2中可知, GA<sub>3</sub>对顶部烟叶叶面积的影响在打顶15和30 d均达到极显著( $P<0.01$ ), NAA对顶部烟叶叶面积的影响在打顶15 d为显著( $P<0.05$ ), 在打顶30 d时为极显著( $P<0.01$ ), 二者的交互作用对烟叶叶面积的影响也为极显著( $P<0.01$ )。

## 2 赤霉素和萘乙酸互作对烤烟干重的影响

表3表明, 打顶当天各处理的根、茎和上部叶

表2 赤霉素和萘乙酸对烤烟顶部烟叶平均叶面积影响的F检验

Table 2 F-test of interaction effects of GA<sub>3</sub> and NAA on average leaf area of the top leaves of flue-cured tobacco

植物生长调节剂	烟叶平均叶面积		
	打顶当天	打顶后15 d	打顶后30 d
GA <sub>3</sub>	0.026	13.598**	38.511**
NAA	0.051	5.038*	10.719**
GA <sub>3</sub> +NAA	0.057	5.435**	5.922**

\*表示差异显著( $P<0.05$ ); \*\*表示差异极显著( $P<0.01$ )。下表同此。

的干重没有显著性差异, 在打顶后15和30 d时均有显著性差异。各处理的根、茎和上部叶的干重相对于对照均有所增加, 根的干重以A3B3最高, GA<sub>3</sub>和NAA对于根干重的影响在打顶后15和30 d均达到极显著( $P<0.01$ ) (表4), 但二者的交互作用对于根

表3 赤霉素和萘乙酸互作对烤烟干重的影响

Table 3 Interaction effects of GA<sub>3</sub> and NAA on dry weight of flue-cured tobacco

编号	GA <sub>3</sub> 浓度/ mg·kg <sup>-1</sup>	NAA浓度/ mg·kg <sup>-1</sup>	根干重/g			茎干重/g			上部叶干重/g		
			打顶当天	打顶15 d	打顶30 d	打顶当天	打顶15 d	打顶30 d	打顶当天	打顶15 d	打顶30 d
A1B1	0	0	57.04 <sup>a</sup>	62.28 <sup>d</sup>	76.98 <sup>b</sup>	86.77 <sup>a</sup>	95.79 <sup>c</sup>	103.74 <sup>c</sup>	29.89 <sup>a</sup>	55.14 <sup>c</sup>	64.63 <sup>d</sup>
A1B2	0	10	58.80 <sup>a</sup>	62.50 <sup>d</sup>	76.79 <sup>b</sup>	90.60 <sup>a</sup>	99.25 <sup>bc</sup>	118.21 <sup>b</sup>	29.53 <sup>a</sup>	65.90 <sup>b</sup>	81.56 <sup>c</sup>
A1B3	0	20	60.83 <sup>a</sup>	66.97 <sup>cd</sup>	79.39 <sup>b</sup>	89.98 <sup>a</sup>	99.25 <sup>bc</sup>	116.65 <sup>b</sup>	30.46 <sup>a</sup>	66.60 <sup>b</sup>	86.29 <sup>bc</sup>
A2B1	10	0	60.39 <sup>a</sup>	70.31 <sup>bc</sup>	78.50 <sup>b</sup>	91.09 <sup>a</sup>	105.22 <sup>abc</sup>	116.82 <sup>b</sup>	30.05 <sup>a</sup>	70.09 <sup>b</sup>	84.19 <sup>bc</sup>
A2B2	10	10	60.20 <sup>a</sup>	74.89 <sup>ab</sup>	85.72 <sup>a</sup>	90.13 <sup>a</sup>	115.48 <sup>a</sup>	133.21 <sup>a</sup>	30.44 <sup>a</sup>	91.99 <sup>a</sup>	103.47 <sup>a</sup>
A2B3	10	20	62.22 <sup>a</sup>	74.78 <sup>ab</sup>	85.85 <sup>a</sup>	91.55 <sup>a</sup>	108.19 <sup>ab</sup>	124.97 <sup>ab</sup>	31.41 <sup>a</sup>	93.29 <sup>a</sup>	99.56 <sup>a</sup>
A3B1	20	0	61.59 <sup>a</sup>	69.11 <sup>c</sup>	79.47 <sup>b</sup>	89.79 <sup>a</sup>	103.77 <sup>bc</sup>	117.55 <sup>b</sup>	30.91 <sup>a</sup>	73.91 <sup>b</sup>	89.35 <sup>b</sup>
A3B2	20	10	61.45 <sup>a</sup>	74.99 <sup>ab</sup>	86.00 <sup>a</sup>	90.30 <sup>a</sup>	105.85 <sup>abc</sup>	130.29 <sup>a</sup>	30.19 <sup>a</sup>	92.53 <sup>a</sup>	99.30 <sup>a</sup>
A3B3	20	20	59.55 <sup>a</sup>	76.25 <sup>a</sup>	89.49 <sup>a</sup>	90.75 <sup>a</sup>	101.24 <sup>bc</sup>	119.83 <sup>b</sup>	31.28 <sup>a</sup>	70.65 <sup>b</sup>	85.57 <sup>bc</sup>

表4 赤霉素和萘乙酸对烤烟干重影响的F检验

Table 4 F-test of interaction effects of GA<sub>3</sub> and NAA on dry weight of flue-cured tobacco

植物生长调节剂	根干重			茎干重			上部叶干重		
	打顶当天	打顶15 d	打顶30 d	打顶当天	打顶15 d	打顶30 d	打顶当天	打顶15 d	打顶30 d
GA <sub>3</sub>	1.312	34.755**	10.828**	0.530	9.758**	13.861**	0.161	65.208**	48.619**
NAA	0.349	8.851**	8.668**	0.403	2.204*	17.821**	0.225	35.517**	33.720**
GA <sub>3</sub> +NAA	0.819	1.070	1.421	0.323	0.714	0.993	0.027	10.181**	8.454**

干重的影响不显著; 茎的干重在打顶后2个时期均以A2B2最高, GA<sub>3</sub>对于茎干重的影响在2个时期里均达到极显著( $P<0.01$ ), NAA对茎干重的影响在打顶后15 d为显著( $P<0.05$ ), 在打顶后30 d为极显著( $P<0.01$ ), 二者的交互作用对茎干重的影响却不显著; 上部叶的干重在打顶后2个时期以A2B2最高, 其次是A2B3, GA<sub>3</sub>和NAA对上部叶干重的影响在打顶后2个时期均为极显著( $P<0.01$ ), 二者的交互作用对上部叶干重的影响在打顶后2个时期也表现为极显著( $P<0.01$ )。

### 3 赤霉素和萘乙酸互作对烤烟碳氮代谢的影响

#### 3.1 赤霉素和萘乙酸互作对硝酸还原酶活性的影响

NR是一种光诱导酶, 是烟株进行硝态氮吸收同化过程中的限速酶, 其酶活性的大小决定着氮代谢的强弱(刘国顺等2013)。从表5中可知, 各处理的NR活性在打顶后的3个时期里表现出了显著性差异, 均表现为处理A2B2的酶活性最高, 对照的酶活性最低, 从打顶当天到打顶后30 d, 对照的NR活性呈持续下降的变化趋势, 其余各处理的酶活性则表现为先上升后下降, 在打顶后20 d时各处理的酶活性达到最大, 在打顶后30 d时有所下降, 但

酶活性相对于对照A1B1仍保持在较高水平。GA<sub>3</sub>和NAA对烟叶NR活性的影响在打顶后的3个时期均为极显著( $P<0.01$ ), 二者的交互作用对烟叶NR活性的影响在打顶后10和30 d为极显著( $P<0.01$ ), 但在打顶后20 d却不显著(表8)。说明喷施赤霉素和萘乙酸能不同程度地提高烟叶NR的活性, 处理A2B2 (10 mg·kg<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub>+10 mg·kg<sup>-1</sup> NAA)的酶活性在打顶后均为最高, 说明GA<sub>3</sub>和NAA互作时喷施最能明显提高烟叶NR的活性。

#### 3.2 赤霉素和萘乙酸互作对蔗糖转化酶活性的影响

转化酶(Inv)与植物的碳代谢密切相关, 它可以反映烟株对碳的固定和转化代谢的强弱, 是烟株碳代谢强弱的重要指标(刘国顺等2009; 刘炳清等2015)。从表6中可知, 各处理的Inv活性在打顶当天没有差异, 而在打顶后的各时期均有显著性差异。在打顶后的3个时期里, Inv活性均以对照最高, 处理A2B2最低, 从打顶当天到打顶后30 d, 对照的Inv活性大致表现为先升高后下降的变化趋势, 其余处理的Inv活性则表现为先降低后略有升高的变化趋势。GA<sub>3</sub>对Inv活性的影响在打顶后10、20和30 d均为极显著( $P<0.01$ ); NAA对Inv活性

表5 赤霉素和萘乙酸互作对烤烟硝酸还原酶活性的影响

Table 5 Interaction effects of GA<sub>3</sub> and NAA on activity of nitrate reductase of flue-cured tobacco

编号	GA <sub>3</sub> 浓度/mg·kg <sup>-1</sup>	NAA浓度/mg·kg <sup>-1</sup>	NR活性/μg·g <sup>-1</sup> (FW)·h <sup>-1</sup>			
			打顶当天	打顶10 d	打顶20 d	打顶30 d
A1B1	0	0	2.46 <sup>a</sup>	2.19 <sup>f</sup>	1.84 <sup>e</sup>	1.59 <sup>d</sup>
A1B2	0	10	2.69 <sup>a</sup>	2.46 <sup>ef</sup>	2.55 <sup>d</sup>	2.40 <sup>bc</sup>
A1B3	0	20	2.58 <sup>a</sup>	2.79 <sup>bcd</sup>	2.68 <sup>d</sup>	2.44 <sup>bc</sup>
A2B1	10	0	2.52 <sup>a</sup>	2.73 <sup>cde</sup>	3.24 <sup>bc</sup>	2.69 <sup>b</sup>
A2B2	10	10	2.67 <sup>a</sup>	3.23 <sup>a</sup>	3.82 <sup>a</sup>	3.30 <sup>a</sup>
A2B3	10	20	2.55 <sup>a</sup>	3.05 <sup>abc</sup>	3.52 <sup>ab</sup>	3.19 <sup>a</sup>
A3B1	20	0	2.61 <sup>a</sup>	2.92 <sup>abcd</sup>	2.91 <sup>cd</sup>	2.44 <sup>bc</sup>
A3B2	20	10	2.54 <sup>a</sup>	3.07 <sup>ab</sup>	3.31 <sup>b</sup>	3.09 <sup>a</sup>
A3B3	20	20	2.58 <sup>a</sup>	2.65 <sup>de</sup>	3.15 <sup>bc</sup>	2.16 <sup>c</sup>

表6 赤霉素和萘乙酸互作对烤烟蔗糖转化酶活性的影响

Table 6 Interaction effects of GA<sub>3</sub> and NAA on activity of sucrose invertase of flue-cured tobacco

编号	GA <sub>3</sub> 浓度/mg·kg <sup>-1</sup>	NAA浓度/mg·kg <sup>-1</sup>	Inv活性/mg·g <sup>-1</sup> (FW)·h <sup>-1</sup>			
			打顶当天	打顶10 d	打顶20 d	打顶30 d
A1B1	0	0	6.82 <sup>a</sup>	6.96 <sup>a</sup>	6.17 <sup>a</sup>	5.85 <sup>a</sup>
A1B2	0	10	6.92 <sup>a</sup>	5.89 <sup>b</sup>	5.24 <sup>b</sup>	5.43 <sup>ab</sup>
A1B3	0	20	7.10 <sup>a</sup>	5.62 <sup>b</sup>	4.98 <sup>bc</sup>	5.38 <sup>abc</sup>
A2B1	10	0	6.90 <sup>a</sup>	5.73 <sup>b</sup>	4.69 <sup>c</sup>	5.26 <sup>bc</sup>
A2B2	10	10	6.88 <sup>a</sup>	4.61 <sup>d</sup>	4.05 <sup>d</sup>	4.87 <sup>c</sup>
A2B3	10	20	6.87 <sup>a</sup>	4.81 <sup>cd</sup>	4.17 <sup>d</sup>	4.89 <sup>c</sup>
A3B1	20	0	7.15 <sup>a</sup>	5.08 <sup>c</sup>	4.72 <sup>c</sup>	5.13 <sup>bc</sup>
A3B2	20	10	7.01 <sup>a</sup>	4.97 <sup>cd</sup>	4.11 <sup>d</sup>	4.92 <sup>bc</sup>
A3B3	20	20	6.94 <sup>a</sup>	5.86 <sup>b</sup>	4.96 <sup>bc</sup>	5.34 <sup>abc</sup>

的影响在打顶后10和20 d为极显著( $P<0.01$ ), 在打顶后30 d不显著; GA<sub>3</sub>和NAA的交互作用对Inv活性的影响在打顶后10和20 d为极显著( $P<0.01$ ), 在打顶后30 d不显著(表8)。说明喷施GA<sub>3</sub>和NAA能不同程度地降低烟叶Inv的活性, 对照的酶活性在各时期均最高且表现为先升后降的原因可能是烟株在成熟期碳代谢较强, 但随着烟株的成熟, 碳代谢也逐渐减弱。A2B2 (10 mg·kg<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub>+10 mg·kg<sup>-1</sup> NAA)的酶活性在打顶后各时期均为最低, 说明GA<sub>3</sub>和NAA互作喷施最能明显降低Inv的活性。

### 3.3 赤霉素和萘乙酸互作对淀粉酶活性的影响

淀粉酶(AM)可将叶绿体中积累的淀粉转化为单糖, 其酶活性的大小直接关系着烟株体内淀粉含量的高低, 是衡量碳代谢强度的重要指标(高琴等2013)。从表7中可知, 各处理的烟叶AM活性在打顶后3个时期均有显著性差异, 均以对照的酶活性最高, 处理A2B2的酶活性最低。从打顶当天到

打顶后30 d, 对照的AM活性呈现出先升高后降低的变化趋势, 在打顶后20 d时达到最高, 说明此时期烟株的碳代谢强度较强; 其余处理的AM活性则表现为先降低后略有升高的变化趋势, 酶活性在打顶后10 d时均达到最低, 说明喷施GA<sub>3</sub>和NAA可以使AM活性降低, 减弱烟株的碳代谢强度。GA<sub>3</sub>和NAA对烟叶AM活性的影响在打顶后3个时期均为极显著( $P<0.01$ ), 二者的交互作用对AM活性的影响也为极显著( $P<0.01$ ) (表8)。说明淀粉酶对GA<sub>3</sub>、NAA以及二者的交互作用均有极为敏感的反应, 三者均能有效的降低烟叶AM的活性, 进而减弱烟株的碳代谢强度。

## 4 赤霉素和萘乙酸互作对烤烟部分品质指标的影响

### 4.1 赤霉素和萘乙酸互作对中部烟叶部分品质指标的影响

对各处理的中部烟叶的部分品质指标进行分析(表9)可知, 总糖含量和SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的含量在处理间没

表7 赤霉素和萘乙酸互作对烤烟淀粉酶活性的影响

Table 7 Interaction effects of GA and NAA on activity of amylase of flue-cured tobacco

编号	GA <sub>3</sub> 浓度/mg·kg <sup>-1</sup>	NAA浓度/mg·kg <sup>-1</sup>	AM活性/mg·g <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup>			
			打顶当天	打顶10 d	打顶20 d	打顶30 d
A1B1	0	0	2.04 <sup>a</sup>	2.28 <sup>a</sup>	2.92 <sup>a</sup>	2.44 <sup>a</sup>
A1B2	0	10	1.98 <sup>a</sup>	1.59 <sup>b</sup>	2.22 <sup>b</sup>	2.12 <sup>bc</sup>
A1B3	0	20	2.02 <sup>a</sup>	1.73 <sup>b</sup>	2.31 <sup>b</sup>	2.07 <sup>c</sup>
A2B1	10	0	2.01 <sup>a</sup>	1.61 <sup>b</sup>	1.83 <sup>c</sup>	1.99 <sup>cd</sup>
A2B2	10	10	2.01 <sup>a</sup>	1.05 <sup>d</sup>	1.42 <sup>e</sup>	1.52 <sup>e</sup>
A2B3	10	20	2.07 <sup>a</sup>	1.23 <sup>cd</sup>	1.48 <sup>e</sup>	1.63 <sup>e</sup>
A3B1	20	0	2.04 <sup>a</sup>	1.27 <sup>cd</sup>	1.67 <sup>d</sup>	2.00 <sup>cd</sup>
A3B2	20	10	2.05 <sup>a</sup>	1.21 <sup>d</sup>	1.49 <sup>e</sup>	1.87 <sup>d</sup>
A3B3	20	20	2.00 <sup>a</sup>	1.53 <sup>bc</sup>	2.17 <sup>b</sup>	2.25 <sup>b</sup>

表8 赤霉素和萘乙酸互作对烤烟硝酸还原酶、转化酶和淀粉酶活性影响的F检验

Table 8 F-test of interaction effects of GA<sub>3</sub> and NAA on activities of NR, Inv and AM of flue-cured tobacco

植物生长调节剂	NR				Inv				AM			
	打顶当天	打顶10 d	打顶20 d	打顶30 d	打顶当天	打顶10 d	打顶20 d	打顶30 d	打顶当天	打顶10 d	打顶20 d	打顶30 d
GA <sub>3</sub>	0.005	22.08**	74.77**	73.04**	0.41	60.72**	129.79**	9.79**	0.26	30.39**	262.25**	82.25**
NAA	1.38	7.28**	18.98**	41.19**	0.02	27.67**	48.81**	3.47	0.22	14.63**	54.83**	30.34**
GA <sub>3</sub> +NAA	1.13	6.17**	2.21	12.01**	0.37	19.41**	17.01**	1.41	0.99	5.13**	33.78**	14.20**

表9 赤霉素和萘乙酸互作对中部烟叶部分品质指标的影响

Table 9 Interaction effects of GA<sub>3</sub> and NAA on part of quality indicators in middle leaves

编号	GA <sub>3</sub> 浓度/ mg·kg <sup>-1</sup>	NAA浓度/ mg·kg <sup>-1</sup>	总糖 含量/%	烟碱 含量/%	钾含 量/%	氯含 量/%	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 含量/%	糖碱比	钾氯比	有机钾指数/%
A1B1	0	0	25.675 <sup>a</sup>	2.447 <sup>d</sup>	1.737 <sup>c</sup>	0.611 <sup>a</sup>	1.680 <sup>a</sup>	9.320 <sup>a</sup>	2.844 <sup>f</sup>	-0.355 <sup>d</sup>
A1B2	0	10	25.771 <sup>a</sup>	2.490 <sup>d</sup>	1.760 <sup>c</sup>	0.586 <sup>bc</sup>	1.674 <sup>a</sup>	9.115 <sup>ab</sup>	3.005 <sup>d</sup>	-0.288 <sup>c</sup>
A1B3	0	20	25.904 <sup>a</sup>	2.477 <sup>d</sup>	1.811 <sup>b</sup>	0.585 <sup>bc</sup>	1.679 <sup>a</sup>	9.232 <sup>a</sup>	3.093 <sup>c</sup>	-0.233 <sup>b</sup>
A2B1	10	0	25.786 <sup>a</sup>	2.557 <sup>c</sup>	1.811 <sup>b</sup>	0.578 <sup>c</sup>	1.682 <sup>a</sup>	9.067 <sup>abc</sup>	3.134 <sup>c</sup>	-0.224 <sup>b</sup>
A2B2	10	10	25.771 <sup>a</sup>	2.591 <sup>bc</sup>	1.866 <sup>a</sup>	0.564 <sup>d</sup>	1.680 <sup>a</sup>	8.953 <sup>bcd</sup>	3.307 <sup>a</sup>	-0.139 <sup>a</sup>
A2B3	10	20	25.731 <sup>a</sup>	2.624 <sup>ab</sup>	1.848 <sup>a</sup>	0.567 <sup>d</sup>	1.681 <sup>a</sup>	8.742 <sup>d</sup>	3.261 <sup>ab</sup>	-0.165 <sup>a</sup>
A3B1	20	0	25.612 <sup>a</sup>	2.595 <sup>bc</sup>	1.740 <sup>c</sup>	0.580 <sup>c</sup>	1.673 <sup>a</sup>	8.866 <sup>bcd</sup>	3.000 <sup>d</sup>	-0.304 <sup>c</sup>
A3B2	20	10	25.836 <sup>a</sup>	2.625 <sup>ab</sup>	1.833 <sup>ab</sup>	0.568 <sup>d</sup>	1.673 <sup>a</sup>	8.826 <sup>cd</sup>	3.228 <sup>b</sup>	-0.176 <sup>a</sup>
A3B3	20	20	25.846 <sup>a</sup>	2.652 <sup>a</sup>	1.738 <sup>c</sup>	0.593 <sup>b</sup>	1.671 <sup>a</sup>	8.724 <sup>d</sup>	2.930 <sup>e</sup>	-0.322 <sup>cd</sup>

有显著性差异,其余各项指标均有显著性差异。烟碱含量以对照最低,A3B3最高,说明喷施GA<sub>3</sub>和NAA在一定程度上能使中部烟叶的烟碱含量有所增加。钾含量、钾氯比和有机钾指数均以对照最低,A2B2最高。说明喷施GA<sub>3</sub>和NAA能不同程度地提高中部烟叶的钾含量、钾氯比和有机钾指数,且以处理A2B2(10 mg·kg<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub>+10 mg·kg<sup>-1</sup> NAA)的效果最佳。氯含量以对照最高,A2B2最低,说明喷施GA<sub>3</sub>和NAA能有效降低中部烟叶的氯含量,且以A2B2处理效果最明显。糖碱比以对照最高,A2B3最低,说明喷施GA<sub>3</sub>和NAA在一定程度上降低了中部烟叶的糖碱比。GA<sub>3</sub>和NAA对中部烟叶钾含量、氯含量、钾氯比和有机钾指数的影响均为极显著( $P<0.01$ ),二者的交互作用对这些指标的影响也为极显著( $P<0.01$ ) (表10)。GA<sub>3</sub>对中部烟叶

烟碱含量的影响为极显著( $P<0.01$ ),NAA对其的影响为显著( $P<0.05$ ),但二者的交互作用对其的影响却不显著。GA<sub>3</sub>对中部烟叶SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>含量的影响为显著( $P<0.05$ ),但NAA、GA<sub>3</sub>和NAA交互作用对其影响不显著。GA<sub>3</sub>对中部烟叶糖碱比的影响为极显著( $P<0.01$ ),NAA对其的影响为显著( $P<0.05$ ),但二者的交互作用对其的影响却不显著。GA<sub>3</sub>、NAA、GA<sub>3</sub>和NAA的交互作用对中部烟叶总糖含量的影响均为不显著。

#### 4.2 赤霉素和萘乙酸互作对上部烟叶部分品质指标的影响

表11对各处理的上部烟叶部分品质指标进行了分析,从中可知,上部烟叶总糖含量和SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的含量在处理之间没有显著性差异,其余各项指标在处理间均有显著性差异。烟碱含量和氯含量均以

表10 赤霉素和萘乙酸互作对中部烟叶部分品质指标影响的F检验

Table 10 F-test of interaction effects of GA<sub>3</sub> and NAA on part of quality indicators in middle leaves

植物生长调节剂	总糖含量	烟碱含量	钾含量	氯含量	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 含量	糖碱比	钾氯比	有机钾指数
GA <sub>3</sub>	0.41	51.66**	32.74**	35.52**	3.80*	19.08**	102.56**	60.66**
NAA	1.58	5.64*	15.53**	17.50**	0.43	3.63*	53.13**	35.74**
GA <sub>3</sub> +NAA	0.87	0.46	8.45**	8.36**	0.30	1.15	22.05**	14.61**

表11 赤霉素和萘乙酸互作对上部烟叶部分品质指标的影响

Table 11 Interaction effects of GA<sub>3</sub> and NAA on part of quality indicators in upper leaves

处理 编号	GA <sub>3</sub> 浓度/ mg·kg <sup>-1</sup>	NAA浓度/ mg·kg <sup>-1</sup>	总糖 含量/%	烟碱 含量/%	钾含量/%	氯含量/%	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 含量/%	糖碱比	钾氯比	有机钾 指数/%
A1B1	0	0	26.311 <sup>a</sup>	3.126 <sup>a</sup>	1.006 <sup>e</sup>	0.539 <sup>a</sup>	1.146 <sup>a</sup>	7.584 <sup>c</sup>	1.868 <sup>f</sup>	-0.618 <sup>e</sup>
A1B2	0	10	26.351 <sup>a</sup>	2.870 <sup>b</sup>	1.108 <sup>d</sup>	0.531 <sup>a</sup>	1.133 <sup>a</sup>	8.241 <sup>d</sup>	2.085 <sup>e</sup>	-0.473 <sup>d</sup>
A1B3	0	20	26.314 <sup>a</sup>	2.811 <sup>bc</sup>	1.187 <sup>cd</sup>	0.494 <sup>b</sup>	1.080 <sup>a</sup>	8.398 <sup>cd</sup>	2.405 <sup>d</sup>	-0.277 <sup>c</sup>
A2B1	10	0	26.554 <sup>a</sup>	2.695 <sup>d</sup>	1.277 <sup>bc</sup>	0.486 <sup>b</sup>	1.157 <sup>a</sup>	8.823 <sup>b</sup>	2.628 <sup>e</sup>	-0.234 <sup>bc</sup>
A2B2	10	10	26.574 <sup>a</sup>	2.611 <sup>c</sup>	1.549 <sup>a</sup>	0.459 <sup>d</sup>	1.101 <sup>a</sup>	9.070 <sup>a</sup>	3.374 <sup>a</sup>	0.182 <sup>a</sup>
A2B3	10	20	26.724 <sup>a</sup>	2.610 <sup>c</sup>	1.505 <sup>a</sup>	0.475 <sup>c</sup>	1.114 <sup>a</sup>	9.056 <sup>a</sup>	3.168 <sup>b</sup>	0.096 <sup>a</sup>
A3B1	20	0	26.710 <sup>a</sup>	2.752 <sup>cd</sup>	1.293 <sup>b</sup>	0.490 <sup>b</sup>	1.084 <sup>a</sup>	8.595 <sup>bc</sup>	2.638 <sup>e</sup>	-0.144 <sup>b</sup>
A3B2	20	10	26.750 <sup>a</sup>	2.589 <sup>e</sup>	1.468 <sup>a</sup>	0.472 <sup>c</sup>	1.077 <sup>a</sup>	9.192 <sup>a</sup>	3.109 <sup>b</sup>	0.091 <sup>a</sup>
A3B3	20	20	26.558 <sup>a</sup>	2.689 <sup>d</sup>	1.195 <sup>cd</sup>	0.487 <sup>b</sup>	1.139 <sup>a</sup>	8.772 <sup>b</sup>	2.456 <sup>cd</sup>	-0.316 <sup>c</sup>

表12 赤霉素和萘乙酸互作对上部烟叶部分品质指标影响的F检验

Table 12 F-test of interaction effects of GA<sub>3</sub> and NAA on part of quality indicators in upper leaves

植物生长调节剂	总糖含量	烟碱含量	钾含量	氯含量	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 含量	糖碱比	钾氯比	有机钾指数
GA <sub>3</sub>	5.82*	173.39**	105.38**	200.94**	0.54	129.89**	198.12**	131.26**
NAA	0.05	57.65**	29.34**	36.96**	0.55	38.07**	50.97**	40.88**
GA <sub>3</sub> +NAA	0.52	12.29**	13.64**	26.47**	1.48	7.79**	23.34**	24.12**

对照最高, A2B2最低, 说明喷施GA<sub>3</sub>和NAA可以有效地降低上部烟叶烟碱和氯含量, 且以二者的互作组合(10 mg·kg<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub>+10 mg·kg<sup>-1</sup> NAA)效果最佳。钾含量、钾氯比和有机钾指数均以对照最低, A2B2含量最高, 说明GA<sub>3</sub>和NAA能有效提高上部烟叶钾含量、钾氯比和有机钾指数, 且以二者的互作组合(10 mg·kg<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub>+10 mg·kg<sup>-1</sup> NAA)效果最明显。糖碱比以对照最低, A3B2最高, 说明喷施GA<sub>3</sub>和NAA能提高上部烟叶的糖碱比, 并以二者的互作组合(20 mg·kg<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub>+10 mg·kg<sup>-1</sup> NAA)效果最好。表12是对GA<sub>3</sub>和NAA互作对上部烟叶部分品质指标的影响进行了F检验, 从中可知, GA<sub>3</sub>对总糖含量的影响为显著( $P<0.05$ ), NAA、GA<sub>3</sub>和NAA的交互作用对其的影响不显著。GA<sub>3</sub>、NAA以及二者的交互作用对烟碱、钾含量、氯含量、糖碱比、钾氯比和有机钾指数的影响均为极显著( $P<0.01$ )。GA<sub>3</sub>、NAA以及二者的交互作用对SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的影响均为不显著。

## 讨 论

我国目前上部烟叶一般都存在开片不充分, 烟叶结构紧密, 身份厚, 烟碱含量高, 可用性较低

等问题(郭群召等2004)。有研究表明, 在打顶后对烤烟上部叶喷施GA<sub>3</sub>可以有效地提高顶部5片烟叶的叶宽、叶长、长宽比和叶面积(汤红印2012), 打顶后喷施生长素也能提高上部烟叶的叶面积(李代强等2013)。本试验结果表明, 打顶后喷施GA<sub>3</sub>和NAA能不同程度地提高顶部5片烟叶的叶面积, 且以二者的交互作用对叶面积的影响最明显(除A3B3), 这与前人的研究基本一致。其作用机理可能是打顶后喷施GA<sub>3</sub>和NAA, 使烟株内生长素与细胞分裂素的比值发生改变, 促使细胞进行分裂, 叶片的细胞数量增加; 与此同时, 水分在细胞产生膨压和扩展提供动力, 二者的协同作用促使细胞的体积扩大, 进而促使烟叶的叶面积扩大, 达到促进开片的效果。处理A3B3显示GA<sub>3</sub>和NAA的交互作用对叶面积的影响远不如其余3个交互处理, 原因可能是GA<sub>3</sub>和NAA的浓度过高, 导致促进烟叶开片的效果有所减弱。本试验结果还表明, 处理A2B2(10 mg·kg<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub>+10 mg·kg<sup>-1</sup> NAA)对促进顶部5片烟叶开片的效果最好, 至于对烟叶开片最好是GA<sub>3</sub>和NAA的浓度值, 由于品种、生态环境等不同, 还需要进一步研究探讨。

烟株各部位器官的干物质重在一定程度上可

以反映出烟株在大田的生长状况。李章海等(2008)认为烟株打顶后外源NAA能促进烟株干物质积累。许自成等(2008)认为打顶后施用生长素可以提高根系活力,促进根系生长发育,有利于烟株生长。本试验结果表明,打顶后喷施GA<sub>3</sub>和NAA可以不同程度地提高烟株根、茎和上部烟叶的干物质重,GA<sub>3</sub>和NAA的交互作用对促进干物质的积累效果更明显。在打顶15和30 d时烟株的根、茎和上部叶的干物质重均有明显增加,这可能是在喷施GA<sub>3</sub>和NAA后,由于二者对烟株有促进生长的调节作用,烟株在这种信号的刺激下不得不增强原有的生长规律、碳氮代谢和根系生长活力等一系列的生理机制,使根系活力和吸收养分的强度增强,导致根、茎、上部叶充分吸收养分后再度生长的原因所导致。处理A3B3 (20 mg·kg<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub>+20 mg·kg<sup>-1</sup> NAA)对根的干物质重影响最显著,说明二者在交互时,在一定浓度范围内,浓度越高越有利于烟株根部的生长。处理A2B2对茎和上部叶的干物质影响最显著,说明10 mg·kg<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub>+10 mg·kg<sup>-1</sup> NAA最有利于烟株茎和上部叶的生长。出现这种现象的原因可能是烟株各部位器官对GA<sub>3</sub>和NAA发生响应的浓度各不相同,根部对二者的响应较为迟钝,因此高浓度对根部有促进作用。茎和上部叶对二者的响应较为敏感,因此低浓度有促进茎和上部叶生长的作用,当浓度过高时,这种作用反而会减弱。

碳氮代谢是烟草生长最基本的代谢过程,其代谢强度、协调程度及其在烟叶生长和成熟过程中的动态变化直接或间接地影响着烟叶各类化学成分的含量及组成比例,对烟叶质量和可用性有重大的影响(张生杰等2010)。齐群刚(1990)认为烟草叶面喷施GA<sub>3</sub>可以促进氮代谢。许自成等(2007)研究表明在打顶后施用生长素可以促进碳氮代谢,AM活性先降低后略有上升,Inv和NR活性持续下降。本试验结果表明,打顶后喷施GA<sub>3</sub>和NAA, NR活性呈现出先升高后降低的变化趋势,Inv和AM活性表现为先降低后略有升高,且处理A2B2打顶后各时期对NR、Inv和AM活性的影响最显著,说明打顶后喷施GA<sub>3</sub>和NAA在一定程度上可以使烟株的碳氮代谢发生改变,使原本以碳代谢为主的代谢过程转变为以氮代谢为主,从而增强了烟株的

碳氮代谢,且以GA<sub>3</sub>和NAA交互组合(10 mg·kg<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub>+10 mg·kg<sup>-1</sup> NAA)的效果最好。在打顶后30 d时,其余处理NR活性相对于对照仍保持在较高水平,说明喷施GA<sub>3</sub>和NAA在一定程度上推迟了烟叶成熟落黄的时间,延长了烟株的大田生育期。

植物生长调节剂可以打破烟株内源激素平衡,改变内源激素水平,使烟叶内在质量更为协调。赵正雄等(2002)认为打顶后烟株涂抹NAA可以使成熟期烟株钾素积累维持在较高水平,增加烟叶钾含量。史金钟等(2007)研究表明打顶后喷施适当浓度的GA<sub>3</sub>可以降低烟叶游离烟碱的含量,使化学成分更为协调。邹焱和苏以荣(2009)的研究表明在打顶后施用生长素对烟叶有提钾降碱的作用。吴彦辉等(2013)的研究表明在打顶后采用断根结合生长素和钾肥施用可以有效提高烟叶钾含量和有机钾指数,降低烟碱和Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>离子的含量。本试验结果表明,打顶后喷施GA<sub>3</sub>和NAA可以有效提高上中部烟叶的钾含量、钾氯比和有机钾指数,降低烟叶的氯含量,对总糖和SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>离子的含量没有影响,且以二者交互处理(10 mg·kg<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub>+10 mg·kg<sup>-1</sup> NAA)的效果最好。这可能是GA<sub>3</sub>和NAA对烟株体内矿质元素的离子通道和载体有调节作用所导致,K<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>和SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>离子等在被植株吸收时都有各自固定的离子通道和载体,GA<sub>3</sub>和NAA可能有调节着离子通道开启与关闭以及载体数量的作用。对烟碱含量的影响表现为:中部叶表现为促进烟碱合成,上部叶表现为降低烟碱的合成,出现这种现象的原因可能是喷施GA<sub>3</sub>和NAA改变了烟株体内烟碱的合成与分配规律,具体原因需要进一步研究探讨。对糖碱比的影响表现为:降低中部叶的糖碱比,提高上部叶的糖碱比。出现这种现象的主要由烟碱含量的变化所导致。喷施GA<sub>3</sub>和NAA对上部烟叶各项品质指标的影响程度要高于中部烟叶,这可能是由于喷施时中部烟叶已经快接近成熟,烟叶细胞已经开始转向衰老,对GA<sub>3</sub>和NAA的响应也比较迟钝的缘故。

#### 参考文献

- 蔡良勇,王玉川,常凯,贺兴林,徐庆华(2012). 施用赤霉素对烟叶生长和品质的影响. 作物研究, 26 (5): 496-499  
高琴,刘国顺,李姣,何永秋,许俐,母海勇(2013). 不同氮肥水平对烤烟质体色素和碳氮代谢及品质的影响. 河南农业大学学报,



- 47 (2): 138~142
- 郭群召, 刘卫群, 陈良存, 刘健康(2004). 降低烤烟上部叶烟碱含量的综合措施. 耕作与栽培, (1): 58~59
- 胡有持, 刘立全(1993). 低焦油混合型卷烟的设计. 烟草科技, (3): 10~14
- 李代强, 刘朝科, 张重义, 古力, 王峰吉, 杨秀海, 周阳, 周显波(2013). 不同植物生长调节剂对烤烟上部烟叶品质及可用性的影响. 江西农业学报, 25 (5): 107~109
- 李合生(2002). 现代植物生理学. 北京: 高等教育出版社
- 李鹏程, 刘爱忠, 董合林, 李如义(2013). 几种生长调节剂对棉花产量与品质的影响. 中国棉花, 40 (9): 13~15
- 李章海, 刘登乾, 田必文, 李强, 黄新杰(2008). 打顶和施用NAA对烟株生长、烟碱合成和钾素吸收的影响. 烟草科技, (9): 52~55
- 刘炳清, 许嘉阳, 黄化刚, 杨永霞, 杨双剑, 连培康, 许自成(2015). 不同海拔下烤烟碳氮代谢相关酶基因的表达差异分析. 植物生理学报, 51 (2): 183~188
- 刘国顺, 何永秋, 杨永锋, 李姣, 高琴, 彭金梅, 刘典三, 母海勇(2013). 不同钾肥配施对烤烟质体色素和碳氮代谢及品质的影响. 中国烟草科学, 34 (6): 49~55
- 刘国顺, 彭智良, 黄元炯, 李立丹(2009). N、P互作烤烟碳氮代谢关键酶活性的影响. 中国烟草学报, 15 (5): 33~37
- 母洪娜, 杨秀莲, 王良桂(2014). 赤霉素在农林生产中的应用研究进展. 江苏农业科学, (2): 15~18
- 齐群刚, 郭月清, 韩锦峰(1990). 植物生长调节剂和无机营养元素对烤烟根系内生物合成调节机理的研究. 河南农业大学学报, (3): 332~338
- 史金钟, 赵东方, 韩富根, 李浩亮, 尚现超, 宋鹏飞, 刘世亮(2007). 外源赤霉素对旱区烤烟叶片生长和品质的影响. 中国农学通报, 23 (5): 221~225
- 汤红印(2012). 赤霉素在烤烟栽培上的应用研究. 现代农业科技, (13): 145~146
- 王瑞新, 韩富根, 杨素勤(2003). 烟草化学品质分析法. 北京: 中国农业出版社
- 吴彦辉, 薛立新, 许自成, 许仪, 邵惠芳, 金磊, 黄五星, 刘春奎(2013). 断根结合生长素和钾肥施用对烤烟生长及糖碱比、有机钾指数的影响. 生态学报, 33 (18): 5686~5695
- 萧浪涛, 王三根(2005). 植物生理学实验技术. 北京: 中国农业出版社
- 许自成, 张婷, 卢秀萍, 张延军(2007). 打顶后施用生长素和钾肥对烤烟碳氮代谢的影响. 生态学杂志, 26 (4): 461~465
- 许自成, 张婷, 卢秀萍, 张延军(2008). 打顶后施用生长素和钾肥对烤烟根系性状及品质的影响. 中国烟草学报, 14 (2): 26~30
- 赵正雄, 杨宇虹, 张福锁, 李春俭, 杨东升(2002). 不同顶端调控措施对烟株内钾素积累和分配规律的影响. 烟草科技, (6): 37~39
- 邹琦(1995). 植物生理生化实验指导. 北京: 中国农业出版社.
- 邹焱, 苏以荣(2009). 打顶后施用植物生长调节剂对烤烟钾和烟碱的影响. 中国烟草学报, 15 (2): 75~79
- 张生杰, 黄元炯, 任庆成, 杨铁钊(2010). 不同基因型烤烟烟叶碳氮代谢差异研究. 华北农学报, 25 (3): 217~220