

## 不同小分子有机物对烤烟生理特性、碳氮代谢及烟叶品质的影响

任志广<sup>1</sup>, 杨立均<sup>2</sup>, 龚治翔<sup>1</sup>, 赵佳佳<sup>2</sup>, 黄海棠<sup>2</sup>, 魏壮状<sup>1</sup>, 许自成<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>河南农业大学烟草学院, 河南郑州450002; <sup>2</sup>河南省烟草公司驻马店市公司, 河南驻马店463000

**摘要:** 通过田间试验于烤烟打顶当天喷施不同小分子有机物(蔗糖、山梨醇、葡萄糖酸钠和甘氨酸), 研究小分子有机物对上部烟叶开展、生理特性、碳氮代谢、品质等指标的影响。结果表明: 打顶后喷施小分子有机物能不同程度地促进上部烟叶开展, 增大上部烟叶面积。相比于对照, 小分子有机物可促进烤烟叶片抗氧化酶活性的提高; 各处理不同时期烟叶中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性要显著大于对照, 丙二醛(MDA)含量显著低于对照; 同时喷施小分子有机物可明显增加烟叶中叶绿素含量, 然而只有甘氨酸处理的类胡萝卜素含量显著增加。各处理烟叶淀粉酶活性呈现先升高后降低的趋势, 硝酸还原酶呈现逐渐降低的趋势。不同处理不同时期酶活性均高于对照, 其中甘氨酸处理有效促进碳氮代谢, 蔗糖和葡萄糖酸钠有助于碳代谢, 山梨醇更有助于氮代谢。说明喷施不同小分子有机物能增强烟株碳氮代谢程度, 但不同处理间表现不尽一致。喷施不同小分子有机物可提高烟叶中总糖、还原糖、钾含量和糖碱比、钾氯比, 降低烟叶中总氮、烟碱、氯含量, 说明各处理可有效改善叶片内在化学成分的协调性, 提高烟叶品质。本试验条件下, 甘氨酸处理促进烟株生长、增强酶促保护系统、促进碳氮代谢及改善烟叶品质方面的效果最佳。

**关键词:** 小分子有机物; 生理特性; 碳氮代谢; 品质

植株对外源营养物质的获取由根部及叶片吸收水分的同时吸入植物体内, 对作物叶片喷施不同种类和形态的养分, 作物自身通过叶面吸收后, 其对养分的利用与根部施肥的效果一致, 叶片可作为根外最重要的营养器官(Numann 1988; 李燕婷等2009a)。然而作物叶片表面结构存在使叶面疏水低能、不易液体润湿的不同厚度蜡质层, 将会影响对养分的吸收(Chamel等1991)。当叶片表面张力低于其临界张力值时, 叶面可被液体完全铺展和润湿(肖艳等2004)。某些小分子有机物以其良好渗透、湿润、粘着性及减小溶液表面张力的功能, 喷施于叶面后能有效地附着叶表并迅速扩展, 通过形成一层薄膜, 以增大作物叶片的吸收面积, 因此, 在叶面肥使用上常常被用作主剂或助剂(李燕婷等2009b)。

烟草属于以收获烟叶为根本的经济作物, 以叶面喷施形式补充烟叶生长所需营养物质, 是提高烟叶质量和内在品质的重要措施。研究发现(刘世亮等2007; 刘岱松2009)喷施叶面肥可有效促进烟叶生长发育, 提高烟叶的抗逆性, 协调化学成分, 提高烟叶的香气质、香气量, 改善烟叶品质。国内已有较多研究指出小分子有机物直接施用对作物生长、养分吸收和品质改善方面的作用。在油菜叶面直接喷施山梨醇和葡萄糖酸钠, 可促进其生长发育和对养分(氮、磷、钾)的吸收, 降低了叶片硝态氮, 并提高可溶性糖的含量, 促进品质改善(于会丽

等2014)。喷施一定浓度甘氨酸有效提高小白菜生物量并改善品质(张木等2011)。外源山梨醇或蔗糖缓解作物在逆境胁迫条件下的伤害程度, 有效增加叶片中抗氧化酶活性(杨艳华等2004; 闫素芳2012)。氨基酸可作为活体内潜在的抗活性氧(特别是 $^1\text{O}_2$ 和 $\text{O}^2$ )的生物抗氧化剂, 使烟草叶片超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶(peroxidase, POD)的活性都有明显上升, 并且外源甘氨酸对硝酸还原酶活性的提高效果显著(王莹等2008; 刘岱松2009; 余健维和李明君1988)。但小分子有机物在烟草方面的研究鲜有报道。本文选用蔗糖、山梨醇、葡萄糖酸钠和甘氨酸4种小分子有机物, 于打顶当天对烤烟上部烟叶喷施, 研究不同小分子有机物对烤烟烟叶开展、生理特性、碳氮代谢等指标的影响, 探讨并比较小分子有机物之间对烟叶中抗氧化酶、碳氮代谢酶和化学成分的影响, 以期提高烤烟上部叶品质和可用性提供参考依据。

## 材料与方法

### 1 试验材料

试验于2016年在河南省驻马店市盘古乡张岗村

收稿 2017-01-14 修定 2017-06-25

资助 中国烟草总公司河南省公司科技攻关项目(20164117002-4100和201641170024099)。

\* 通讯作者(E-mail: zichengxu@126.com)。

进行。供试材料为当地主栽烤烟(*Nicotiana tabacum* L.)品种‘云烟87’。供试土壤为黄壤土,基础土壤养分情况为:有机质 $9.23\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,pH值6.06,碱解氮 $65.4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效磷 $14.3\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效钾 $165.8\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

## 2 试验设计

设5个处理, S1(对照):为清水,选用小分子有机物分别为S2( $10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 蔗糖,分子量342.3)、S3( $0.4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 山梨醇,分子量182.17)、S4( $1.0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 葡萄糖酸钠,分子量218.14)、S5( $0.3\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 甘氨酸,分子量75.07)。试验采用随机区组排列,每个处理设3次重复,共15个小区。每个小区植烟200株,植烟行距1.1 m,株距0.55 m,各处理均设置保护行。50%以上中心花开放时打顶,留叶22片,化学制剂抑芽。4月12日移栽,6月14日打顶,分别于打顶当天、打顶后10和20 d进行叶面喷施,叶面以雾滴不下滴为宜。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 测定项目与方法

### 3.1 上部叶片叶面积的测定

打顶当天在各处理张选取长势均匀具有代表性的5株烟,挂牌标记,分别于打顶当天、打顶后10、20和30 d,测量上部5片叶的叶长、叶宽。叶长测定方法为伸直叶片,用直尺量取叶尖至叶基部的距离;叶宽测定方法为将叶片平整展开,用直尺量取两叶边最宽部分。烟叶上部叶面积= $0.6345\times$ 叶长 $\times$ 叶宽。

### 3.2 相关生理指标与碳氮代谢酶活性测定

分别于打顶当天、打顶后10、20和30 d,在各试验处理喷施之前,选取代表性的5株烟草,在每株烟草的上部叶(倒数第4片)取鲜样,剪成大小一致的片状,将所取鲜样混合后用锡箔纸和纱布包裹,立即放入液氮中,保存于 $-80^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱里,用于生理指标和酶活性的测定。叶绿素和类胡萝卜素含量采用95%乙醇提取法测定,POD活性测定采用愈创木酚显色法,丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量测定用硫代巴比妥酸比色法测定(张志良和瞿伟菁2006);SOD活性测定采用氮蓝四唑还原法(高俊凤2006);淀粉酶(amylase, AM)活性测定采用3,5-二硝基水杨酸比色法(邹琦1995);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)。每个指标重复3次。

### 3.3 烟叶化学成分的测定

每个处理按照《烤烟42级国标品质标准》取上部叶烤后烟样(B2F)各1.0 kg,用于常规化学成分的测定,烤后烟叶还原糖和水溶性总糖含量采用3,5-二硝基水杨酸法(王瑞新等1990)、总氮含量采用凯氏定氮法(章平泉2011)、烟碱含量采用紫外分光光度计法(殷全玉等2008)、钾离子含量采用火焰光度计法(陈伟华等2010)、氯离子含量采用滴定法(吴玉萍等2012),每个指标重复3次。

## 4 数据处理

采用Excel 2010初步处理数据;采用SPSS 20.0单因素方差分析和多重比较,比较各处理间差异的显著性;利用Excel 2010软件绘制图表。

## 实验结果

### 1 不同小分子有机物处理对烤烟上部叶生长扩展的影响

上部叶的开片程度与烟叶可用性的高低直接相关(李章海等2005)。从打顶后上部叶生长情况来看(表1),打顶当天,4种小分子有机物之间没有显著差异,说明各处理叶片开片程度在此时期基本一致。打顶后10 d,各处理间叶面积无显著差异,均高于对照,以S5最大, S4次之, S5和S4较对照显著增加24.0%和22.6%。打顶后20 d,4种处理间无显著差异,均显著高于对照,不同处理高低顺序为: S5>S4>S3>S2>S1。打顶后30 d,各处理叶面积显著高于S1, S5处理叶面积最大, S5相对于S1增加23.4%,与S4无差异,但显著高于S3和S2,各处理叶面积大小亦表现为: S5>S4>S3>S2>S1。说明喷施4种小分子有机物均能不同程度地提高上部叶的叶面积,其中处理S5和S4对上部叶扩展效果优于S3和S2。

### 2 不同小分子有机物处理对烟叶生理指标的影响

#### 2.1 不同小分子有机物处理对烟叶SOD、POD活性和MDA含量的影响

图1所示,在打顶当天各处理间无显著差异,说明烟叶SOD活性此时基本一致。随处理时间的延长, SOD活性表现为先升高后降低的趋势,并在打顶后20 d活性达到最大。在打顶后10 d,各处理显

表1 四种小分子有机物处理对烤烟上部叶平均叶面积的影响

Table 1 Interaction effects of four kinds of small molecular organics on average leaf area of top leaves in flue-cured tobacco

处理	上部叶平均叶面积/cm <sup>2</sup>			
	打顶当天	打顶后10 d	打顶后20 d	打顶后30 d
S1 (对照)	545.90±43.90 <sup>a</sup>	679.54±52.80 <sup>b</sup>	987.84±84.38 <sup>b</sup>	1 122.64±49.11 <sup>c</sup>
S2	549.67±46.78 <sup>a</sup>	783.36±73.22 <sup>ab</sup>	1 131.33±53.82 <sup>a</sup>	1 249.44±56.29 <sup>b</sup>
S3	562.92±39.58 <sup>a</sup>	773.23±78.63 <sup>ab</sup>	1 167.26±101.27 <sup>a</sup>	1 259.07±104.05 <sup>b</sup>
S4	562.58±43.02 <sup>a</sup>	832.88±88.76 <sup>a</sup>	1 186.06±64.49 <sup>a</sup>	1 326.02±73.90 <sup>ab</sup>
S5	555.02±37.49 <sup>a</sup>	842.58±82.61 <sup>a</sup>	1 239.81±69.50 <sup>a</sup>	1 384.91±84.25 <sup>a</sup>

同一时期不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著, 下图同此。

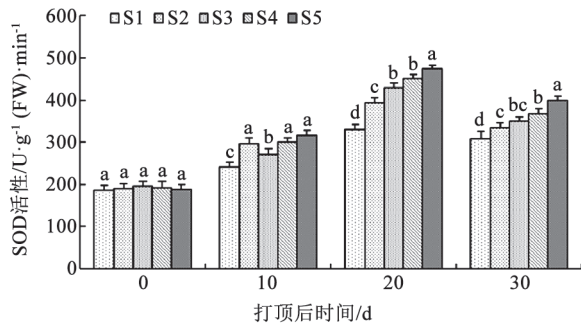


图1 四种小分子有机物处理对烟叶SOD活性的影响

Fig.1 Interaction effects of four kinds of small molecular organics on SOD activities of flue-cured tobacco leaves

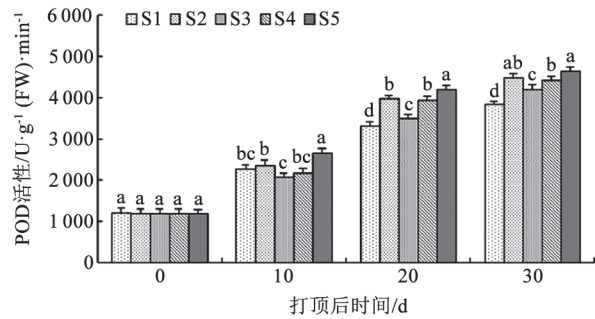


图2 四种小分子有机物处理对烟叶POD活性的影响

Fig.2 Interaction effects of four kinds of small molecular organics on POD activities of flue-cured tobacco leaves

著高于对照, 而S5、S4和S3处理显著高于S2, 三者之间无显著差异。在打顶后20和30 d, 4种小分子有机物处理的烟叶SOD活性均显著高于对照, 不同处理间表现基本一致, 其中S5和S4均显著高于S2, 酶活性大小顺序为: S5>S4>S3>S2>S1。综合来看, 4种小分子有机物可显著提高烟叶SOD活性, S5处理对POD活性影响高于其它处理, S4和S3处理效果接近, 无明显差异; S2处理表现低于前三种小分子有机物。

图2所示, 在打顶当天, 各处理烟叶POD活性大小基本一致, 在打顶后的3个时期, 烟叶POD活性随处理时间延长呈逐渐升高的趋势。打顶后10 d, S5处理POD活性最大, 显著高于其它处理。打顶后20和30 d, 4种小分子有机物处理均显著高于S1, 各处理间酶活性以S5最大, S5、S2显著高于S3, S2与S4无显著差异, 酶活性大小顺序表现为: S5>S2>S4>S3>S1。总体来看, 4种物质可有效提高烟叶POD活性, 其中S5表现效果好于其它处理, S2和S4处理之间差异较小, S3处理较其它三种有机物对POD活性的影响较低。

图3所示, 打顶当天各处理间无显著差异, 说明此时期烟叶MDA含量基本一致。在打顶后的3个时期, 各处理烟叶MDA含量大小呈现先降低后升高的趋势, 并在打顶后20 d达到最低。打顶后10和20 d, S1处理烟叶MDA含量显著高于4种小分子有机物处理, 其中以S5最低, S2次之, 同时两者显著低于S3、S4。打顶后30 d, 烟叶MDA含量以S1最高, S5最低, 与其它处理存在显著差异, 而S2、

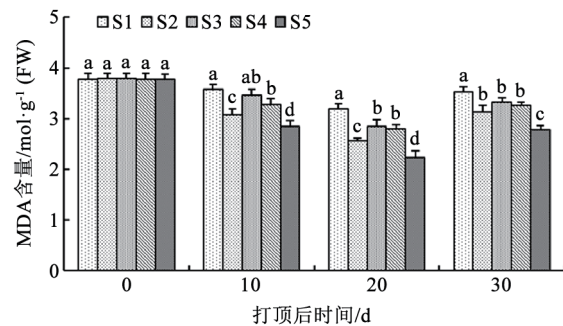


图3 4种小分子有机物处理对烟叶MDA的影响

Fig.3 Interaction effects of four kinds of small molecular organics on MDA contents of flue-cured tobacco leaves

S3和S4之间无差异。在整个时期,烟叶MDA含量高低顺序表现为: S1>S3>S4>S2>S5。说明4种小分子有机物可不同程度降低MDA含量, S5处理效果最佳, S3和S4处理间无差异, S2处理作用相对较好。

## 2.2 不同小分子有机物处理对烤烟叶片叶绿素和类胡萝卜素含量的影响

表2显示, 烟叶中叶绿素含量随处理时间延长呈逐渐降低的趋势, 打顶后的3个时期各处理烟叶叶绿素含量显著高于S1, 以S5最高, 较S1分别增加21.3%、19.4%和45.2%; 处理S2和S4含量接近, 各

处理烟叶叶绿素含量高低顺序表现为: S5>S2>S4>S3>S1。烟叶中类胡萝卜素含量表现出先升高后降低的趋势, 各处理于打顶后10 d达到最大值, 在3个时期里, S5处理的类胡萝卜素含量要显著高于S1, 分别增加了42.1%、50.0%和54.5%; S2、S3和S4处理较S1虽有所增加, 但无明显差异, 各处理不同时期类胡萝卜素含量亦表现为: S5>S2>S4>S3>S1。综合来看, 喷施小分子有机物可不同程度地提高上部叶的叶绿素和类胡萝卜素含量, 其处理间综合表现效果为: 甘氨酸>蔗糖>葡萄糖酸钠>山梨醇。

表2 四种小分子有机物处理对烤烟叶片叶绿素和类胡萝卜素含量的影响

Table 2 Interaction effects of four kinds of small molecular organics on the contents of Chl and Car of flue-cured tobacco leaves

处理	叶绿素含量/mg·kg <sup>-1</sup>				类胡萝卜素含量/mg·kg <sup>-1</sup>			
	打顶当天	打顶后10 d	打顶后20 d	打顶后30 d	打顶当天	打顶后10 d	打顶后20 d	打顶后30 d
S1 (对照)	2.24±0.06 <sup>a</sup>	1.69±0.04 <sup>d</sup>	1.29±0.07 <sup>d</sup>	0.84±0.05 <sup>c</sup>	0.16±0.02 <sup>a</sup>	0.19±0.02 <sup>b</sup>	0.14±0.01 <sup>b</sup>	0.11±0.02 <sup>b</sup>
S2	2.29±0.05 <sup>a</sup>	1.90±0.07 <sup>b</sup>	1.50±0.01 <sup>ab</sup>	1.04±0.06 <sup>b</sup>	0.15±0.01 <sup>a</sup>	0.21±0.01 <sup>b</sup>	0.17±0.02 <sup>ab</sup>	0.14±0.20 <sup>ab</sup>
S3	2.31±0.06 <sup>a</sup>	1.74±0.05 <sup>cd</sup>	1.39±0.04 <sup>c</sup>	0.90±0.03 <sup>c</sup>	0.15±0.02 <sup>a</sup>	0.19±0.03 <sup>b</sup>	0.15±0.01 <sup>b</sup>	0.12±0.02 <sup>b</sup>
S4	2.25±0.08 <sup>a</sup>	1.84±0.09 <sup>bc</sup>	1.41±0.05 <sup>bc</sup>	1.00±0.06 <sup>b</sup>	0.13±0.03 <sup>a</sup>	0.21±0.01 <sup>b</sup>	0.17±0.03 <sup>ab</sup>	0.13±0.01 <sup>ab</sup>
S5	2.30±0.03 <sup>a</sup>	2.05±0.07 <sup>a</sup>	1.54±0.04 <sup>a</sup>	1.22±0.05 <sup>a</sup>	0.14±0.05 <sup>a</sup>	0.27±0.02 <sup>a</sup>	0.21±0.03 <sup>a</sup>	0.17±0.03 <sup>a</sup>

## 3 不同小分子有机物处理对烤烟烟叶碳氮代谢的影响

图4所示, 在打顶当天各处理烟叶淀粉酶活性无显著差异, 说明处理前烟叶碳代谢程度一致, 在打顶后3个时期, 各处理间达到了显著差异水平, 不同处理间酶活性均以S5最高, S1最低, S5、S4和S2处理的烟叶酶活性显著高于S3和S1。在整个时期, 不同处理酶活性表现出先升高后下降的趋势, 高低顺序表现为S5>S4>S2>S3>S1, 其中在打顶后20 d,

酶活性达到最大。综合来看, S5、S4和S2处理可显著提高烟叶淀粉酶活性, S5表现效果最好, 提高碳代谢强度显著高于其它三种有机物, S4和S2之间无差异, 而S3处理对淀粉酶活性无明显促进作用。

图5所示, 打顶当天烟叶NR活性无显著差异, 说明此时烟叶氮代谢程度基本一致。各处理间NR活性在打顶后10、20和30 d存在显著性差异, 各处理的酶活性大小变化趋势在这3个时期基本一致, 表现为随生育时间的延长而逐渐降低。在打顶

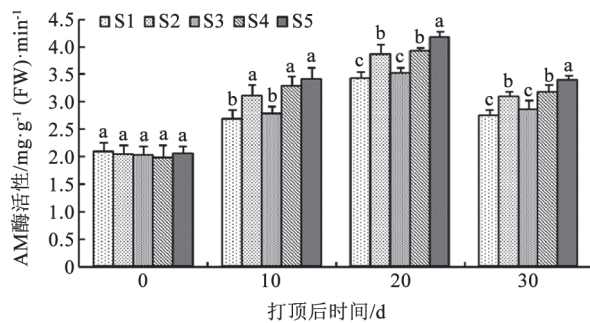


图4 四种小分子有机物处理对烟叶淀粉酶活性的影响  
Fig.4 Interaction effects of four kinds of small molecular organics on AM activities of flue-cured tobacco leaves

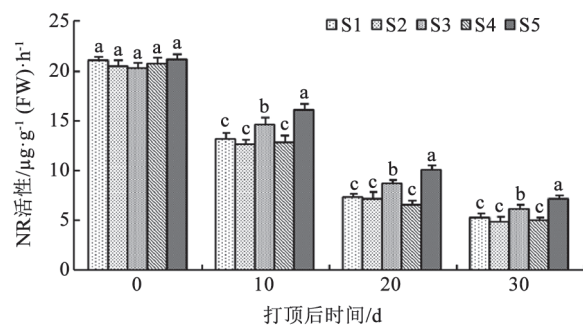


图5 四种小分子有机物处理对烟叶硝酸还原酶活性的影响  
Fig.5 Interaction effects of four kinds of small molecular organics on NR activities of flue-cured tobacco leaves

后的3个时期, NR活性均以S5最高, 分别较S1高22.0%、37.8%和36.1%; S3次之, 分别较S1高11.1%、18.4%和16.9%, 两者显著高于其它处理; 而处理S2、S4酶活性略低于S1, 并且三者之间并无显著差异。说明S5处理可显著提高NR活性, 其次为S3, 两者在增强氮代谢方面显著优于S2和S4, 在整个时期, S2和S4并未对NR活性有影响, 表明并无加强烟叶氮代谢方面作用。

#### 4 不同小分子有机物处理对烤烟烟叶化学成分含量的影响

表3显示, 各处理总糖、还原糖、钾含量、糖碱比、钾氯比相比对照S1均显著增加, 其中总糖和还原糖含量以S5最高, S2次之, 表现为S5>S2>S4>S3>S1; 钾含量以S5最高, S4次之, 相比S1增幅分别达34.7%、19.5%, S5处理的糖碱比和钾氯比也显著高于其它有机物质处理; 各处理烟碱、总

表3 四种小分子有机物处理对烤烟上部叶部分品质指标的影响

Table 3 Interaction effects of four kinds of small molecular organics on leaf quality indicators of upper leaves of flue-cured tobacco

处理	总糖含量/%	还原糖含量/%	烟碱含量/%	总氮含量/%	钾含量%	氯含量/%	糖碱比	氮碱比	钾氯比
S1 (对照)	22.16±0.26 <sup>d</sup>	21.43±0.36 <sup>d</sup>	3.16±0.16 <sup>a</sup>	2.71±0.16 <sup>a</sup>	1.03±0.08 <sup>c</sup>	0.51±0.06 <sup>a</sup>	7.03±0.37 <sup>c</sup>	0.86±0.09 <sup>a</sup>	2.04±0.31 <sup>d</sup>
S2	24.23±0.32 <sup>b</sup>	22.89±0.55 <sup>ab</sup>	2.87±0.23 <sup>ab</sup>	2.39±0.11 <sup>bc</sup>	1.18±0.09 <sup>b</sup>	0.42±0.04 <sup>b</sup>	8.48±0.81 <sup>b</sup>	0.84±0.10 <sup>a</sup>	2.87±0.44 <sup>c</sup>
S3	23.25±0.21 <sup>c</sup>	21.62±0.39 <sup>cd</sup>	2.71±0.22 <sup>b</sup>	2.26±0.15 <sup>bc</sup>	1.15±0.08 <sup>bc</sup>	0.33±0.03 <sup>c</sup>	8.61±0.63 <sup>b</sup>	0.84±0.10 <sup>a</sup>	3.55±0.31 <sup>b</sup>
S4	23.85±0.29 <sup>b</sup>	22.35±0.19 <sup>bc</sup>	2.83±0.21 <sup>ab</sup>	2.48±0.14 <sup>ab</sup>	1.23±0.08 <sup>b</sup>	0.36±0.04 <sup>bc</sup>	8.47±0.73 <sup>b</sup>	0.88±0.11 <sup>a</sup>	3.42±0.11 <sup>bc</sup>
S5	25.23±0.13 <sup>a</sup>	23.45±0.51 <sup>a</sup>	2.51±0.19 <sup>b</sup>	2.16±0.08 <sup>c</sup>	1.38±0.06 <sup>a</sup>	0.29±0.03 <sup>c</sup>	10.09±0.69 <sup>a</sup>	0.86±0.08 <sup>a</sup>	4.73±0.28 <sup>a</sup>

氮、氯含量均以S1最高, S5最低, 总氮含量高低顺序为S1>S4>S2>S3>S5, 其中S5和S3烟碱和氯含量显著低于S1, 烟碱含量较S1分别降低了20.5%和14.1%, 氯含量较对照分别降低了43.1%、35.3%, 而氮碱比在处理之间并无明显差异。由此说明喷施不同小分子有机物均能显著提高烟叶的两糖含量、钾含量、糖碱比和钾氯比, 其中以S5处理相应成分含量和比值最大; 同时显著降低烟叶中烟碱、总氮和氯含量, 各成分在S5处理含量最低。综合来看, 喷施甘氨酸烟叶化学成分协调性最好, 品质最佳。

## 讨 论

施用小分子有机物一方面可为作物生长发育过程中的代谢提供能量, 另一方面以提供碳骨架的形式参与叶肉细胞中脂类、蛋白质和核酸的合成, 如小分子有机物——糖醇在光合作用及碳源代谢条件下, 产生不同糖信号参与调节、激发作物的生长发育(Boriboonkaset等2006; Rolland等2006)。于会丽等(2014)研究发现叶面喷施不同种类的小分子有机物可促进小油菜生长发育, 增大叶面积, 提高产量。丁双双等(2016)研究表明喷施糖醇和氨基酸可平均提高小白菜生物量9.17%。烤烟上部叶包括顶叶和上二棚叶两部分, 有6~7片叶组成,

产量约占全株40%, 在烤烟总体质量、全株产量中占有十分重要的地位(许自成等2015)。烤烟上部叶存在开片不充分、身份厚、烟叶结构紧密等物理特点。本研究表明, 喷施不同小分子有机物均可显著提高上部烟叶叶面积, 这可能与烟株打顶时上部叶片正好处在细胞伸长期, 叶面吸收有机物后, 改善了上部叶营养状况, 并补充了所需的营养物质, 有利于促进叶片细胞伸长有关, 促进了生长发育。其中甘氨酸处理烟叶开片效果最佳, 葡萄糖酸钠处理次之, 而喷施山梨醇和蔗糖表现效果相近, 但显著低于前两者处理。

打顶作为烟草生长过程中一项重要农艺措施, 但会引起体内活性氧含量升高, 氧化还原平衡遭到破坏(罗映虹等2016)。SOD保护酶的累积量在植物逆境和衰老生理代谢中起着主导的作用(冯佰利等2005)。POD对于维持植株体内活性氧代谢平衡, 清除过量活性氧, 保持细胞膜稳定性起重要作用(许自成等2011)。本试验研究发现, SOD活性随烟叶生育期延长呈现先升高后降低的趋势, POD酶活性表现为逐渐升高趋势, 各时期内不同处理SOD和POD的酶活性要显著高于对照, 其中S5处理的最高。MDA是植物细胞膜脂过氧化的主要产物, 其交联糖类、脂类、蛋白质及核酸, 通过影响细胞膜蛋白来调节细胞对离子的吸收积累和活性

氧代谢系统的平衡,其含量的多少可直接反映出组织膜质过氧化程度(张盼盼等2012; Srivastava和Srivastava 2014)。本试验中,烟叶中MDA含量随生育期延长表现为先降低后升高的趋势,处理后各时期内均以S5处理的含量最低。本试验结果表明,喷施不同小分子有机物有效形成一套烟叶酶促防御系统,在打顶当天至20 d,作用效果较明显;随着烟叶逐渐成熟,细胞质膜透性加大,细胞膜脂过氧化程度加剧,但处理的烟叶酶活性和MDA含量变化优于对照。说明喷施不同小分子有机物可提高烟叶的抗逆性,对于维持烤烟植物体内活性氧代谢平衡、保持细胞膜稳定性、增强酶促防御体系功能效果明显,其中甘氨酸处理可显著提高烟叶中SOD、POD酶活性,降低MDA含量,有效维护烟叶酶促防御系统,对烟叶正常生长发育进行良好保护。

作为植物光合作用最重要、最有效的色素,叶绿素的含量高低直接联系着叶片光合强弱和有机物质合成(项锡娜等2014)。试验表明喷施不同小分子有机物可不同程度地提高烟叶中叶绿素含量,其中喷施S5的叶绿素含量显著高于其它处理,有利于烟叶光合碳固定生成有机物。类胡萝卜素可在强光下逸散能量,保护叶绿素分子在强光下不致被光氧化而破坏(向彬方等2008)。本试验中类胡萝卜素只有处理S5较对照显著增加,其它处理较对照略微增加,但差异并不显著。综合而言,喷施小分子有机物对烟叶光合作用有一定的积极作用,可能是小分子有机物可有效改善烟叶的表面细胞结构,增加光能的吸收效率和光能利用率。同时,叶绿素和类胡萝卜素作为烟叶质体色素,可直接或间接地影响烟叶外观质量和内在品质(史宏志等2012)。本试验喷施甘氨酸的烟叶叶绿素和类胡萝卜素含量最高,对提高烟叶色素含量作用最为明显,促进上部烟叶对光合电子的捕获和传递,加速光合产物的合成和积累,处理间整体表现为:甘氨酸>蔗糖>葡萄糖酸钠>山梨醇。

烤烟上部叶淀粉、烟碱等物质含量较高,其中一部分原因是烟草生长过程中,烟叶由下向上逐片成熟,随生育时期的延长,上部烟叶可分配到较多营养物质;另一方面受生育后期生态因素、栽培措施等方面影响,烟叶内在生理生化活动减

弱,致使相关酶活性降低。碳氮代谢中AM和NR的代谢强度、协调程度和在烟叶生长及成熟过程中的动态变化直接或间接影响着烟叶化学成分的含量及组成比例(李建忠等2015)。本试验研究表明,不同处理烤烟烟叶AM活性呈现先上升后降低的趋势,S5处理对各时期烟叶酶活性影响最显著,说明喷施甘氨酸可促进烟叶碳代谢,有利于烟叶中淀粉含量随淀粉酶活性的增加而得到充分降解。NR活性随烟叶生育期的延长呈现持续降低的趋势,各时期中酶活性以S5处理的活性最高,S3次之,两者显著高于其它处理,说明喷施甘氨酸和山梨醇可显著促进烟叶氮代谢程度,促进上部叶成熟落黄,缩短生育期。甘氨酸处理一定程度上促进碳氮代谢程度,更有利于烟叶内在化学成分的改善和协调,而蔗糖和葡萄糖酸钠处理在糖代谢方面效果显著,山梨醇处理在氮代谢方面效果显著。

我国烤烟上部叶普遍存在烟碱含量过高、还原糖及糖碱比低、内在化学成分不协调等一系列问题,导致其工业可用性低(朱尊权2010)。喷施不同小分子有机物对烤后烟叶的内在化学成分含量及协调性有积极的作用。烟叶各种成分的比例协调性决定着烟叶品质的高低,而不是仅仅取决于某种成分的绝对含量(王林等2015)。本试验研究表明,喷施不同小分子有机物可显著提高上部叶总糖、还原糖、钾含量和糖碱比、钾氯比,降低烟叶中总氮、烟碱、氯含量。在对上部叶化学成分影响上,以处理S5作用效果最好,相比对照S1,处理S5烟叶钾含量增加34.7%,烟碱、总氮、氯含量分别降低20.5%, 20.3%、34.1%,其在各处理中相应指标增幅和降幅均为最大。S2和S4处理对提高烟叶总糖、还原糖和钾含量作用明显,S3可有效降低烟叶总氮、烟碱及氯含量效果突出。试验表明喷施甘氨酸可明显提高上部叶内在化学成分协调性,有利于改善烟叶的香吃味,提高烟叶质量和可用性。

#### 参考文献

- Boriboonkaset T, Bunyakijinda V, Chaum S, Kirdmanee C (2006). Effect of exogenous sugar classes and concentrations on salt-tolerant ability of indica rice (*Oryza sativa* L). *Acta Hort*, 764: 155-164
- Chamel A, Gambonnet B, Arnaud L, Alfi M (1991). Foliar absorption of  $^{14}\text{C}$  paclobutrazol: Study of cuticular sorption and penetration

- using isolated cuticles. *Plant Physiol*, 29: 395–401
- Chen WH, Bao FW, Zhang XJ, Su GS (2010). Determination of potassium in flue-cured tobacco by microwave digestion-continuous flow flame photometry method. *Anal Test Technol Instr*, 16 (2): 120–122 (in Chinese with English abstract) [陈伟华, 鲍峰伟, 张晓静, 苏国岁(2010). 微波消解-连续流动火焰光度法测定烤烟中的钾含量. *分析测试技术与仪器*, 16 (2): 120–122]
- Ding SS, Li YT, Yu L, Zhao BQ, Lin ZA, Yang XD, Li J, Zhang JJ (2016). Effects of sugar alcohols and amino acids on growth, quality and calcium nutrition of Chinese cabbage. *Plant Nutr Fert Sci*, 22 (3): 744–751 (in Chinese with English abstract) [丁双双, 李燕婷, 袁亮, 赵秉强, 林治安, 杨相东, 李娟, 张建君(2016). 糖醇和氨基酸对小白菜钙营养及生长、品质的影响. *植物营养与肥料学报*, 22 (3): 744–751]
- Feng BL, Gao XL, Wang CF, Zhang SW, Li SX (2005). Leaf senescence and active oxygen metabolism of different-type wheats under drought. *Chin J Eco-Agri*, 13 (4): 74–76 (in Chinese with English abstract) [冯佰利, 高小丽, 王长发, 张嵩午, 李生秀(2005). 干旱条件下不同温型小麦叶片衰老与活性氧代谢特性的研究. *中国生态农业学报*, 13 (4): 74–76]
- Gao JF (2006). *Plants Physiology Experimentation Guidance*. Beijing: Higher Education Press (in Chinese) [高俊凤(2006). *植物生理学实验指导*. 北京: 高等教育出版社]
- Li JZ, Xue LX, Zhu JF, Xu Y, Jin L, Hao HH, Su Q, Xu ZC (2015). Interaction effect of Gibberelin and NAA on growth, carbon and nitrogen metabolism and leaf quality in flue-cured tobacco. *Plant Physiol J*, 51 (9): 1473–1481 (in Chinese with English abstract) [李健忠, 薛立新, 朱金峰, 许仪, 金磊, 郝浩浩, 苏谦, 许自成(2015). 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. *植物生理学报*, 51 (9): 1473–1481]
- Li YT, Li XY, Xiao Y, Zhao BQ, Wang LX (2009a). Advances in study on mechanism of foliar nutrition and development of foliar fertilizer application. *Sci Agric Sin*, 42 (1): 162–172 (in Chinese with English abstract) [李燕婷, 李秀英, 肖艳, 赵秉强, 王丽霞(2009a). 叶面肥的营养机理及应用研究进展. *中国农业科学*, 42 (1): 162–172]
- Li YT, Xiao Y, Li XY (2009b). *The Technology and Application of Crop Spraying*. Beijing: Science Technology Press (in Chinese) [李燕婷, 肖艳, 李秀英(2009b). *作物叶面施肥技术与应用*. 北京: 科学出版社]
- Li ZH, Xu XY, Ji XJ, Chen ZF, Feng L (2005). Effects of different cultural practices on nicotine and total nitrogen in upper tobacco leaves. *Chin Tob Sci*, 26 (1): 28–30 (in Chinese with English abstract) [李章海, 徐晓燕, 季学军, 陈治锋, 冯磊(2005). 不同栽培条件对烤烟上部烟叶烟碱和总氮含量的影响. *中国烟草科学*, 26 (1): 28–30]
- Liu DS (2009). Regulation and control of amino acid and potassium on physiological index and quality of flue-cured tobacco [PhD thesis]. Shenyang: Shenyang Agrical University (in Chinese with English abstract) [刘岱松(2009). 氨基酸钾肥对烟草生理指标及品质的调控研究(博士论文). 沈阳: 沈阳农业大学]
- Liu SL, Hua DL, Liu YF, Jie XL, Du L, Han FG (2007). Effect of spurting leaf-fertilizer on flue-cured tobacco growth and the tobacco qualities. *China Agric Sci Bull*, 12 (23): 257–260 (in Chinese with English abstract) [刘世亮, 化党领, 刘摇芳, 介晓磊, 杜君, 韩富根(2007). 烤烟多功能叶面肥对烟草生长及品质影响. *中国农学通报*, 12 (23): 257–260]
- Luo YH, Zhang YY, Liu XY, Li S, Liu K, Cui CG, Tan GP, Zhou JH (2016). Influence of daub exogenous ascorbic acid and glutathione on wounds after tobacco topping on redox equilibrium and nicotine content of tobacco. *Chin J Eco-Agri*, 24 (3): 356–364 (in Chinese with English abstract) [罗映虹, 张一扬, 刘晓颖, 李爽, 刘坤, 崔超岗, 谭观萍, 周冀衡(2016). 外源抗坏血酸与谷胱甘肽对打顶后烟草氧化还原平衡及烟碱的影响. *中国生态农业学报*, 24 (3): 356–364]
- Numann PM (1988). *Plant growth and leaf-applied chemicals*. Boca Raton, Florida: CRC Press, Inc
- Rolland F, Baena-Gonzalez E, Sheen J (2006). Sugar sensing and signaling in plants: conserved and novel mechanisms. *Ann Rev Plant Biol*, 57: 675–709
- Shi HZ, Gu SL, Duan WD, Wang JA, Qian H, Liu QH, Su F, Liu GS (2012). Degradation of plastid pigment and its relationship with volatile catabolite content in cured leaves of different genotypes of flue-cured tobacco. *Sci Agric Sin*, 45 (16): 3346–3356 (in Chinese with English abstract) [史宏志, 顾少龙, 段卫东, 王建安, 钱华, 刘清华, 苏菲, 刘国顺(2012). 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. *中国农业科学*, 45 (16): 3346–3356]
- Srivastava S, Srivastava M (2014). Morphological changes and antioxidant activity of stevia rebaudiana under water stress. *Amer J Plant Sci*, 5 (22): 3417–3422
- Wang L, Li JZ, Xu Y, Zhu JF, Hao HH, Wang SS, Xu ZC (2015). Influence of different biological agent on quality traits of flue-cured tobacco after topping. *J Agric Sci Tech China*, 17 (3): 136–143 (in Chinese with English abstract) [王林, 李健忠, 许仪, 朱金峰, 郝浩浩, 王杉杉, 许自成(2015). 打顶后喷施不同生物制剂对烤烟品质的影响. *中国农业科技导报*, 17 (3): 136–143]
- Wang RX, Han FG, Yang SQ (1990). *Tobacco Chemical Quality Analysis*. Zhengzhou: Henan Science Technology Press (in Chinese) [王瑞新, 韩富根, 杨素勤(1990). *烟草化学品质分析法*. 郑州: 河南科学技术出版社]
- Wang Y, Shi ZS, Wang ZB, Li FH (2008). Absorption and utilization of amino acids by plant and application of amino acids on agriculture. *China Soils Fert*, (1): 6–11 (in Chinese with English abstract) [王莹, 史振声, 王志斌, 李凤海(2008). 植物对氨基酸的吸收利用及氨基酸在农业中的应用. *中国土壤与肥料*, (1): 6–11]
- Wu YP, Kong GH, Lei LP, Mu X (2012). Comparison of different analytical method for determination of chlorion in organic fertilizer. *J Chin Spect Lab*, 29 (1): 341–344 (in Chinese with English abstract) [吴玉萍, 孔光辉, 雷丽萍, 沐雪(2012). 烟用有机肥中氯离子含量测定方法的比较. *光谱实验室*, 29 (1): 341–344]
- Xiang BF, Xiang LH, Ding XB, Xia K, Zhao JM, Duan HG (2008). Physiological and biochemical responses of barley seedling to salt stress. *J Neijiang Nor Univ*, 23 (z1): 257–259 (in Chinese with English abstract) [向彬方, 向利红, 丁晓波, 夏奎, 赵俊铭, 段辉国(2008). 青稞幼苗对盐胁迫生理生化的响应. *内江师范学院学报*, 23 (z1): 257–259]

- Xiang XN, Chen TH, Wu YY, Shi P, Tang H, Wu WC, Yang X, Wang ZH, Jiao CF (2014). Effects of salt stress on physio-biochemical characteristics and leaf microstructure in photiniaglabra 'Rubens' seedlings. *Plant Physiol J*, 50 (7): 917–924 (in Chinese with English abstract) [项锡娜, 陈泰豪, 吴月燕, 施佩, 唐虹, 吴卫成, 杨潇, 王忠华, 焦彩凤(2014). 盐胁迫对红叶石楠'鲁班'生理生化特性及叶片显微结构的影响. *植物生理学报*, 50 (7): 917–924]
- Xiao LT, Wang SG (2005). *Plant Physiology Experiment Technology*. Beijing: China Agriculture Press (in Chinese) [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]
- Xiao Y, Cao YP, Wang JG, Chen K (2004). Research of mixed adjuvants on the absorption of nutrient elements in crop leaf. *Plant Nutr Fert Sci*, 10 (3): 281–285 (in Chinese with English abstract) [肖艳, 曹一平, 王敬国, 陈凯(2004). 提高作物叶面养分吸收的复合型助剂研究. *植物营养与肥料学报*, 10 (3): 281–285]
- Xu ZC, Huang PJ, Su FQ, Li JX, Wang Y (2015). Effects of different picking methods on quality of upper leaf in flue-cured tobacco. *J Northwest Sci Tech Univ Agric For (Nat Sci Ed)*, 33 (11): 13–17 (in Chinese with English abstract) [许自成, 黄平俊, 苏富强, 李桂湘, 王勇(2005). 不同采收方式对烤烟上部叶内在品质的影响. *西北农林科技大学学报:自然科学版*, 33 (11): 13–17]
- Xu ZC, Shao HF, Sun SG, Sun SG, Zheng C, Wang J, Yan TJ (2011). Effects of selenium added to soil on physiological indexes in flue-cured tobacco. *Acta Ecol Sin*, 31 (23): 7179–7187 (in Chinese with English abstract) [许自成, 邵惠芳, 孙曙光, 郑聪, 汪键, 闫铁军(2011). 土壤施硒对烤烟生理指标的影响. *生态学报*, 31 (23): 7179–7187]
- Yan SF, Yu Y, Ge Q, Zhang Y, Sun JH, Du LG, Xie ZX, Xu J, Liu XJ (2012). Effect of exogenous sucrose application on wheat seedling salt tolerance. *Chin J Eco-Agri*, 20 (2): 225–230 (in Chinese with English abstract) [闫素芳, 于洋, 葛青, 张源, 孙建杭, 杜立国, 谢志霞, 徐进, 刘小京(2012). 外源蔗糖对小麦幼苗耐盐性的影响. *中国生态农业学报*, 20 (2): 225–230]
- Yang YH, Chen GX, Liu SH, Zhou QC, Chen L, Wang GM, Lv CG (2004). Effect of exogenous sorbitol on photosynthetic characteristics and polypeptide compositions of thylakoid membrane of Liangyoupeijiu and Wuyunjing 7 under salt stress. *Chin J Rice Sci*, 18 (3): 234–238 (in Chinese with English abstract) [杨艳华, 陈国祥, 刘少华, 周泉澄, 陈利, 王贵民, 吕川根(2004). 外源山梨醇对盐胁迫下两优培九和武运梗7号光合特性及类囊体膜多肽组分的影响. *中国水稻科学*, 18 (3): 234–238]
- Yin QY, Yang TZ, Guo NY, Huang JH (2008). Determination of free nicotine in tobacco leaves by UV spectrophotometry. *Chin Tob Sci*, 29 (6): 20–22 (in Chinese with English abstract) [殷全玉, 杨铁钊, 郭宝银, 黄进慧(2008). 紫外分光光度法测定烟草中的游离烟碱. *中国烟草科学*, 29 (6): 20–22]
- Yu HL, Lin ZA, Li YT, Yuan L, Zhao BQ (2014). Effects of spraying low molecular organic compounds on growth and nutrients uptake of rape (*Brassica chinensis* L.). *Plant Nutr Fert Sci*, 20 (6): 1560–1568 (in Chinese with English abstract) [于会丽, 林治安, 李燕婷, 袁亮, 赵秉强(2014). 喷施小分子有机物对小油菜生长发育和养分吸收的影响. *植物营养与肥料学报*, 20 (6): 1560–1568]
- Yu JY, Li MQ (1988). The relationship between glycine oxidation and nitrate reduction in tobacco leaves. *J Plant Ecol*, 30 (5): 515–523 (in Chinese with English abstract) [余健维, 李明启(1988). 烟草叶片中甘氨酸氧化与硝酸还原的关系. *植物生态学报*, 30 (5): 515–523]
- Zhang M, Hu CX, Sun XC, Liu JS, Chen QY, Zhang Y (2011). Effects of spraying micronutrient and amino acids into surface of leaves on yield and quality of Chinese cabbage. *J Huazhong Agric Univ*, 30 (5): 613–617 (in Chinese with English abstract) [张木, 胡承孝, 孙学成, 刘金山, 陈青云, 张影(2011). 叶面喷施微量元素和氨基酸对小白菜产量及品质的影响. *华中农业大学学报*, 30 (5): 613–617]
- Zhang PP, Feng BL, Wang PK, Gao XL, Gao JF, Song H (2012). Study on identification of drought-resistance indexes at seedling stage in broomcorn millet under PEG stress. *J China Agric Univ*, 17 (1): 53–59 (in Chinese with English abstract) [张盼盼, 冯佰利, 王鹏科, 高小丽, 高金锋, 宋慧, 张小东, 柴岩(2012). PEG胁迫下糜子苗期抗旱指标鉴定研究. *中国农业大学学报*, 17 (1): 53–59]
- Zhang PQ, Jin DM, Du XM (2011). Determination of total nitrogen in tobacco and tobacco products by automatic Kjeldahl nitrogen analyzer. *Tobacco Sci Technol*, (3): 43–45 (in Chinese with English abstract) [章平泉, 金殿明, 杜秀敏, 韩志强(2011). 自动凯氏定氮仪测定烟草及其制品中的总氮. *烟草科技*, (3): 43–45]
- Zhang ZL, Qu WQ (2006). *Plants Physiology Experimentation Guidance*. Beijing: Higher Education Press (in Chinese) [张志良, 瞿伟菁(2006). *植物生理学实验指导*. 北京: 高等教育出版社]
- Zhu ZQ (2010). Improving usability of upper leaves, an important measure for accelerating up-grading cigarette quality. *Tobacco Sci Technol*, (6): 5–9 (in Chinese with English abstract) [朱尊权(2010). 提高上部烟叶可用性是促“卷烟上水平”的重要措施. *烟草科技*, (6): 5–9]
- Zou Q (1995). *Plant Physiological and Biochemical Experiments*. Beijing: Chinese Agriculture Press, 26–108 (in Chinese) [邹琦(1995). *植物生理生化实验指导*. 北京: 中国农业出版社, 26–108]



## Effects of different small molecular organics on physiological characteristics, carbon and nitrogen metabolism and quality of flue-cured tobacco

REN Zhi-Guang<sup>1</sup>, YANG Li-Jun<sup>2</sup>, GONG Zhi-Xiang<sup>1</sup>, ZHAO Jia-Jia<sup>2</sup>, HUANG Hai-Tang<sup>2</sup>, WEI Zhuang-Zhuang<sup>1</sup>, XU Zi-Cheng<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>College of Tobacco Sciences, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; <sup>2</sup>Zhumadian Branch of Henan Provincial Tobacco Company, Zhumadian, Henan 463000, China

**Abstract:** The effects of small molecular organic compounds on the leaf development, physiological characteristics, carbon and nitrogen metabolism and quality of flue-cured tobacco were studied by spraying different organic compounds (sucrose, sorbitol, sodium gluconate and glycine) on the day of topping. The results showed that, spraying different small molecule organic compounds could promote the opening of upper tobacco leaves and increase the area of tobacco leaves. Compared with the control, small molecular organic compounds could promote the antioxidant enzyme activities and the content of light and pigment in flue-cured tobacco leaves. The activities of superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) in tobacco leaves were significantly higher than those in control, and the content of malondialdehyde (MDA) was significantly lower than that in control. The contents of chlorophyll in tobacco leaves were increased by the treatments, but the content of carotenoids increased only by glycine treatment. The activities of amylase in tobacco leaves increased firstly and then decreased, and the nitrate reductase showed a decreasing trend. Glycine treatment promoted the metabolism of carbon and nitrogen. Sucrose and sodium gluconate were helpful for carbon metabolism, and sorbitol was more helpful to nitrogen metabolism in different treatments. The results showed that the spraying of different small molecule organic compounds could enhance the carbon and nitrogen metabolism of tobacco, but the performance was not consistent with each other. The contents of total sugar, reducing sugar, potassium, sugar and nicotine, potassium to chlorine ratio, total nitrogen, nicotine and chlorine in tobacco leaves were increased by spraying different organic compounds, which indicated that the treatment could effectively improve the coordination of chemical components and improve the quality of tobacco leaves. In general, the growth and the physiological activities of flue-cured tobacco were affected by the spraying of small molecular organic compounds. Under the experimental conditions, glycine treatment promoted tobacco growth, enhanced enzymatic protection system, promoted carbon and nitrogen metabolism and improved tobacco leaves quality.

**Key words:** small molecular organics; physiological characteristics; carbon and nitrogen metabolism; quality

Received 2017-01-14 Accepted 2017-06-25

This work was supported by the Science and Technology Project of Henan Province Tobacco Company of China National Tobacco Corporation (Grant Nos. 201641170024100 and 201641170024099).

\*Corresponding author (E-mail: zichengxu@126.com).