

NaHCO₃对烤烟成熟期氮代谢及烤后烟叶质量的影响

许东亚¹,孙军伟²,张 团¹,徐发华²,罗云霞³,许艳霞³,史宏志^{1*}
(1. 河南农业大学 烟草学院/国家烟草栽培生理生化研究基地,河南 郑州 450002; 2. 云南省烟草公司大理州公司,云南 大理 671000; 3. 云南省烟草公司大理州公司 弥渡县分公司,云南 弥渡 675600)

摘要:为探求促进生长过旺烟田烤烟成熟落黄的新途径,以烤烟品种红花大金元为试材,通过2013年在烟叶成熟期对生长过旺的烟株喷施不同质量浓度NaHCO₃溶液,筛选出适宜质量浓度,然后于2014年研究适宜NaHCO₃质量浓度对烤烟叶片氮代谢关键酶硝酸还原酶(NR)、谷氨酰胺合成酶(GS)活性以及烤后烟叶质量的影响。结果表明,烤烟成熟期喷施NaHCO₃能有效降低烟叶的NR、GS活性,且浓度越高降幅越大,以10、15 g/L处理叶片较快落黄、易于烘烤,为适宜质量浓度;将适宜质量浓度(10、15 g/L)NaHCO₃溶液喷施成熟期生长过旺烟株,烤后烟单叶质量、叶质重分别降低15.47%~27.57%、3.88%~7.47%;蛋白质、烟碱、总氮含量降低,还原糖、总糖、钾含量提高,化学成分更趋于协调;色素含量降低,中性致香物质含量提高16.64%~37.22%,评吸质量得分提高8.02%~10.95%。因此,适宜质量浓度(10、15 g/L)NaHCO₃能够促进烟株成熟落黄,提高烤后烟质量。

关键词: NaHCO₃; 烤烟; 成熟落黄; 烟叶质量

中图分类号: S572 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2016)07-0028-06

Effects of Bicarbonate on Nitrogen Metabolism at Maturity and Quality of Flue-cured Tobacco

XU Dongya¹, SUN Junwei², ZHANG Tuan¹, XU Fahua², LUO Yunxia³, XU Yanxia³, SHI Hongzhi^{1*}
(1. College of Tobacco Science, Henan Agricultural University/National Tobacco Cultivation, Physiology and Biochemistry Research Center, Zhengzhou 450002, China; 2. Dali Tobacco Company of Yunnan Province, Dali 671000, China; 3. Midu Branch of Dali Tobacco Company of Yunnan Province, Midu 675600, China)

Abstract: During the two years, 2013 and 2014, in order to find a new way to promote the maturity and yellowing of overgrowing flue-cured tobacco leaves, with a variety named Honghuadajinyuan as the test material, different mass concentrations of bicarbonate solution were sprayed on the overgrowing tobacco plants at maturity, certain proper concentrations were singled out and promoted, and the effects of bicarbonate on the activity of two key kinds of enzyme, nitrate reductase (NR) and glutamine synthetase (GS) and the quality of flue-cured tobacco were studied. The results showed that spraying different concentrations of bicarbonate solution could decrease the activity of NR and GS effectively, and the greater the concentration, the higher the reduction; in addition, tobacco leaves yellowed fast, and turned easily roasted when the tobacco was treated with 1.0 g/L, 1.5 g/L bicarbonate solution, indicating that 1.0 g/L, 1.5 g/L were suitable concentrations. When the overgrowing tobacco plants were sprayed with the suitable concentrations (10 g/L, 15 g/L) of bicarbonate solution at maturity, the single leaf weight and leaf quality weight decreased by 15.47%—27.57% and 3.88%—7.47% respectively, the contents of protein, nicotine, total nitrogen

收稿日期:2015-12-06
基金项目:云南省烟草公司科技项目(2013YN28);烟草行业烟草栽培重点实验室项目(YCZP201501)
作者简介:许东亚(1989-),女,河南民权人,在读硕士研究生,研究方向:烟草栽培生理。E-mail:15138958120@163.com
* 通讯作者:史宏志(1963-),男,河南滑县人,教授,博士,主要从事烟草栽培生理研究。E-mail:shihongzhi88@163.com

decreased, reducing sugar, total sugar, potassium contents increased, chemical composition tended coordinated, pigment residue reduced, the content of neutral aroma components increased by 16.64%—37.22%, and the score of sensory quality increased by 8.02%—10.95%. Therefore, suitable concentrations (10 g/L, 15 g/L) of bicarbonate solution were beneficial to promote maturity and yellowing of tobacco plants, improving the quality of flue-cured tobacco.

Key words: bicarbonate; flue-cured tobacco; maturity and yellowing; quality of tobacco

烟叶成熟度不同, 烘烤特性各异。成熟度不够, 叶内物质水解活动处于弱势, 变黄难, 不易烤; 过熟叶有机物质水解剧烈, 烟叶变黄快, 脱水快, 易烤但不耐烤; 适熟叶衰老程度适中, 易烤性和耐烤性都较理想^[1-3], 香气含量随成熟度提高而增加^[4], 烤后烟叶质量较好。近年来, 云南省烤烟中上部叶生长发育和成熟落黄过程中温度偏低, 色素等内含大分子物质水解缓慢, 加之化肥施用过多, 土壤氮素持续供应, 烟株中上部叶难以成熟落黄的问题较为普遍, 因此, 如何促进烤烟成熟期内含物质降解, 使其较快成熟落黄的问题亟待解决。目前关于促进烟叶成熟落黄的研究主要集中于土壤肥料以及灌水管理方面^[5-8], 而关于烟叶成熟期进行化学药剂喷施促进烟叶成熟落黄的研究鲜有报道。研究认为, NaHCO₃ 影响乙烯的产生, 加速烟叶衰老^[9], 目前有关 NaHCO₃ 溶液作用于烟草的研究主要集中于盐胁迫、耐盐性等^[10-12] 方面, 而关于烟草成熟期喷施 NaHCO₃ 促进烟株成熟落黄的研究鲜有报道。鉴于此, 针对难以成熟落黄的烤烟烟株, 研究喷施不同质量浓度 NaHCO₃ 溶液对烤烟成熟期氮代谢关键酶以及烤后烟叶质量的影响, 旨在为促进生长过旺烟株成熟落黄, 提高烟叶质量提供新的解决途径。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验于 2013—2014 年在云南大理州弥渡县新街镇进行, 供试烤烟品种为当地主栽品种红花大金元。烟株进入成熟期, 下部叶采收完毕后选取烟株整体生长均匀一致且生长过旺的烟田作为试验对象。

1.2 试验设计

2013 年设置 0 (CK)、5、10、15、20、25、30 g/L 等 7 个 NaHCO₃ 质量浓度处理, 于采收前 10 d 分别喷施于 2 行烟株, 每个处理间设 2 行保护行, 每个质量浓度处理重复 3 次, 观察烟叶颜色变化, 喷施 4 d 后测定倒 4、5 叶位叶片的硝酸还原酶 (NR)、谷氨酰胺合成酶 (GS) 活性, 筛选 NaHCO₃ 的适宜质量浓度。

根据 2013 年的试验结果, 于 2014 年进行重复

试验并推广, 设置 0 (CK)、10、15 g/L 3 个 NaHCO₃ 质量浓度处理。烤烟采收前 10 d 喷施, 每个质量浓度处理 4 行 200 株烟株, 处理间设 2 行保护行, 每个处理重复 3 次。于喷施前以及喷施后 4、8 d 分别取倒 4、5 叶位烟叶混合样品测定 NR、GS 活性 (均于白天光照超过 4 h 后取样)。各处理烟叶统一采用密集烤房进行烘烤, 并均匀选取有代表性的中、上部烤后烟各 3 kg, 用于烤后烟叶物理性状、化学成分、质体色素含量、中性致香物质含量测定以及感官质量评定。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 NR、GS 活性 NR 活性测定参照 Ferrario 等^[13] 的方法, GS 活性测定参照周忠新等^[14] 的方法。

1.3.2 物理性状 参照邓小华等^[15] 的方法测定。

1.3.3 化学成分 烟叶样品于 50 ℃ 下烘干, 研碎, 并经孔径 0.25 mm 的过滤筛过滤, 采用 AA III 型连续流动化学分析仪 (德国 BRAN + LUEBBE 公司生产) 测定。

1.3.4 质体色素含量 参照邹琦^[16] 的方法测定。

1.3.5 中性致香物质含量 采用水蒸气蒸馏—二氯甲烷溶液萃取法进行前处理, 采用美国 HP5890 II—5972 气质联用仪对烟叶样品中性致香物质含量进行定量分析^[2]。

1.3.6 感官质量 将各处理样品中、上部叶分别去梗、切丝卷制单料烟, 由红云红河烟草有限责任公司与河南农业大学 5 名评吸专家对其香气质、香气量、透发性、杂气、浓度、劲头、细腻度、刺激性、余味、回甜等进行评价。

1.4 数据处理

采用 SPSS 17.0 数据处理系统和 Excel 2003 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 成熟期喷施 NaHCO₃ 对烟叶氮代谢关键酶活性的影响

2.1.1 不同质量浓度 NaHCO₃ 对烟叶 NR、GS 活性的影响 NR、GS 为植物氮代谢的关键酶, 其活性高

低直接影响到植物的氮素利用效率^[14-17]。2013 年对成熟期生长过旺的烟株喷施不同质量浓度 NaHCO₃ 溶液,4 d 后叶片的 NR、GS 活性见表 1。由表 1 可见,随 NaHCO₃ 质量浓度的增大,NR、GS 活性逐渐降低,且差异达到显著或极显著水平。试验过程中,5 g/L 处理的烟叶与 CK 相比颜色变化不明显;20、25、30 g/L 处理烟叶衰老较快,但叶片不能正常成熟落黄;10、15 g/L 处理烟叶较快成熟落黄,烟叶正常烘烤。因此,选取 10、15 g/L NaHCO₃ 溶液进行小面积验证推广试验。

表 1 不同质量浓度 NaHCO₃ 对烟叶 NR、GS 活性的影响

NaHCO ₃ 质量浓度/(g/L)	NR 活性/ [μg/(g·h)]	GS 活性/ [ΔOD/(mg·h)]
0(CK)	80.61±0.55Aa	0.69±0.64Aa
5	75.16±0.40Bb	0.64±0.01Ab
10	62.28±0.41Cc	0.57±0.02Bc
15	52.19±0.48Dd	0.53±0.00Bc
20	46.31±0.31Ee	0.45±0.01Cd
25	40.26±0.69Ff	0.37±0.32De
30	31.17±0.56Gg	0.32±0.04Ef

注:同列不同小、大写字母分别表示差异显著 ($P<0.05$)、极显著 ($P<0.01$)。

2.1.2 适宜质量浓度 NaHCO₃ 对烟叶 NR、GS 活性的影响 2014 年选取适宜质量浓度(10、15 g/L)处理成熟期生长过旺的烟株。由表 2 可见,随时间推移,同一处理烟叶的 NR、GS 活性明显降低;同一时间,与 0 g/L 处理相比,喷施 10、15 g/L NaHCO₃ 处理的烟叶 NR、GS 活性有不同程度的降低。喷施后 4 d,10、15 g/L 处理的烟叶 NR 活性为 43.52~45.72 μg/(g·h),较 CK 降低 23.08%~26.78%,GS 活性为 0.19~0.26 ΔOD/(mg·h),较 CK 降低 27.78%~

47.22%;喷施后 8 d,10、15 g/L 处理的烟叶 NR 活性为 33.72~37.60 μg/(g·h),较 CK 降低 33.19%~40.09%,GS 活性为 0.15~0.21 ΔOD/(mg·h),较 CK 降低 34.38%~53.13%。结果表明,烤烟成熟期喷施适宜质量浓度的 NaHCO₃,烟叶 NR、GS 活性极显著降低,且降低幅度随时间推进而增大,抑制氮合成代谢,促进烟叶成熟落黄。

表 2 适宜质量浓度 NaHCO₃ 对烟叶 NR、GS 活性的影响

取样时间	NaHCO ₃ 质 量浓度/(g/L)	NR 活性/ [μg/(g·h)]	GS 活性/ [ΔOD/(mg·h)]
喷药前		78.69±0.07	0.59±0.02
喷药后 4 d	0(CK)	59.44±0.59Aa	0.36±0.04Aa
	10	45.72±0.07Bb	0.26±0.01Bb
	15	43.52±0.08Cc	0.19±0.01Cc
喷药后 8 d	0(CK)	56.28±0.04Aa	0.32±0.02Aa
	10	37.60±0.05Bb	0.21±0.02Bb
	15	33.72±0.13Cc	0.15±0.00Cc

注:显著性分析为同一时间 3 个处理间比较,同列不同小、大写字母分别表示差异显著 ($P<0.05$)、极显著 ($P<0.01$)。

2.2 成熟期喷施 NaHCO₃ 对烤后烟叶质量的影响

2.2.1 物理性状 由表 3 可见,喷施 NaHCO₃ 处理烤后烟叶的叶长、叶宽、单叶质量、叶质重、含梗率等物理性状均极显著小于 CK。其中,上部叶单叶质量 17.61~18.91 g,较 CK 降低 15.47%~21.28%,叶质重 91.34~94.47 g/m²,较 CK 降低 3.88%~7.06%;中部叶单叶质量 15.87~17.65 g,较 CK 降低 19.44%~27.57%,叶质重 89.26~92.28 g/m²,较 CK 降低 4.34%~7.47%。可见,烤烟成熟期喷施适宜质量浓度 NaHCO₃,烤后烟叶的单叶质量、叶质重均极显著降低,且 NaHCO₃ 质量浓度高的处理效果更明显。

表 3 适宜质量浓度 NaHCO₃ 对烤后烟叶物理特性的影响

部位	NaHCO ₃ 质量浓度/(g/L)	叶长/cm	叶宽/cm	单叶质量/g	含梗率/%	叶质重/(g/m ²)
上部叶	0(CK)	55.20±0.17Aa	28.00±0.23Aa	22.37±0.07Aa	30.56±0.10Aa	98.28±0.21Aa
	10	54.36±0.30Bb	26.80±0.33Bb	18.91±0.16Bb	26.87±0.09Bb	94.47±0.08Bb
	15	52.20±0.04Cc	26.20±0.10Cc	17.61±0.19Cc	26.07±0.09Cc	91.34±0.06Cc
中部叶	0(CK)	56.20±0.04Aa	29.80±0.14Aa	21.91±0.04Aa	30.87±0.09Aa	96.47±0.04Aa
	10	55.20±0.12Bb	27.61±0.13Bc	17.65±0.14Bb	28.75±0.11Cb	92.28±0.08Bb
	15	53.67±0.08Cc	28.00±0.17Bb	15.87±0.09Cc	29.56±0.45Bc	89.26±0.14Cc

注:显著性分析为同一部位 3 个处理间比较,同列不同小、大写字母分别表示差异显著 ($P<0.05$)、极显著 ($P<0.01$)。

2.2.2 化学成分 由表 4 可见,与 CK 相比,NaHCO₃ 处理烤后烟叶的蛋白质、烟碱、总氮含量极显著降低,还原糖、总糖含量极显著提高,且 NaHCO₃ 质量浓度高的处理变化幅度更大;钾含量提高,氯含量

与 CK 较为接近;氮碱比、糖碱比、钾氯比更趋适宜。可见,烤烟成熟期喷施 NaHCO₃ 有利于降低烟叶蛋白质、烟碱、总氮含量,提高还原糖、总糖、钾含量,提高化学成分协调性。

表 4 适宜质量浓度 NaHCO₃ 对烤后烟叶化学成分的影响

项目	上部叶			中部叶		
	0 g/L	10 g/L	15 g/L	0 g/L	10 g/L	15 g/L
	NaHCO ₃ (CK)	NaHCO ₃	NaHCO ₃	NaHCO ₃ (CK)	NaHCO ₃	NaHCO ₃
蛋白质/%	10.72 ± 0.10Aa	9.63 ± 0.10Bb	8.94 ± 0.03Cc	10.21 ± 0.11Aa	9.05 ± 0.06Bb	8.86 ± 0.10Bc
还原糖/%	20.46 ± 0.21Cc	22.29 ± 0.02Bb	23.31 ± 0.07Aa	20.91 ± 0.05Cc	23.61 ± 0.04Bb	25.76 ± 0.07Aa
烟碱/%	3.85 ± 0.08Aa	2.91 ± 0.09Bb	2.68 ± 0.14Bc	3.50 ± 0.14Aa	2.88 ± 0.07Bb	2.84 ± 0.06Bb
总氮/%	2.75 ± 0.23Aa	2.37 ± 0.04Bb	2.21 ± 0.11Bb	2.46 ± 0.04Aa	2.30 ± 0.04ABb	2.21 ± 0.03Bb
总糖/%	24.08 ± 0.17Cc	25.73 ± 0.10Bb	27.64 ± 0.21Aa	26.45 ± 0.14Cc	27.80 ± 0.11Bb	28.45 ± 0.12Aa
钾/%	2.26 ± 0.05Ab	2.31 ± 0.04Aab	2.38 ± 0.05Aa	2.22 ± 0.04Cc	2.58 ± 0.04Aa	2.41 ± 0.13Bb
氯/%	0.66 ± 0.06Aa	0.58 ± 0.04Ab	0.67 ± 0.02Aa	0.64 ± 0.04Aa	0.62 ± 0.05Aa	0.59 ± 0.26Aa
糖碱比	5.31 ± 0.10Cc	7.65 ± 0.25Bb	8.71 ± 0.41Aa	5.97 ± 0.24Cc	8.21 ± 0.20Bb	9.07 ± 0.19Aa
氮碱比	0.71 ± 0.06Ab	0.81 ± 0.04Aa	0.83 ± 0.08Aa	0.70 ± 0.03Ab	0.80 ± 0.02Aa	0.78 ± 0.03Aab
钾氯比	3.43 ± 0.22Ab	3.99 ± 0.30Aa	3.56 ± 0.16Ab	3.47 ± 0.17Bb	4.16 ± 0.36Aa	4.08 ± 0.31ABa

注:显著性分析为同一部位 3 个处理间比较,同行不同小、大写字母分别表示差异显著 ($P < 0.05$)、极显著 ($P < 0.01$),表 6 同。

2.2.3 质体色素 由图 1 可见,喷施 NaHCO₃ 处理中、上部烟叶的绿素 a、叶绿素 b、叶绿素、类胡萝卜素含量整体上均低于 CK,且 15 g/L NaHCO₃ 处理相

对较低。可见,喷施适宜质量浓度 NaHCO₃ 有利于降低烤后烟叶的色素残留,且 NaHCO₃ 质量浓度高的处理残留更少。

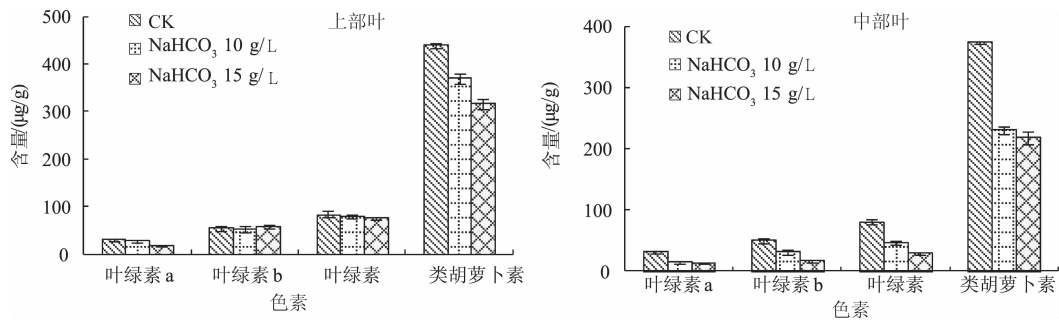


图 1 适宜质量浓度 NaHCO₃ 对烤后烟叶质体色素的影响

2.2.4 中性致香成分 由表 5 可见,NaHCO₃ 处理烟叶的中性致香成分总量比 CK 高 16.64% ~ 37.22%。上部叶类胡萝卜素类、类西柏烷类、苯丙氨酸类、新植二烯含量以及中性致香成分总量均以 15 g/L 处理最高,而中部叶类胡萝卜素类、类西柏烷类、棕色化产物类、新植二烯含量以及中性致香成分

总量均以 10 g/L 处理最高。可见,适宜质量浓度 NaHCO₃ 处理烤后烟叶的中性致香成分含量提高,且上部叶以 15 g/L 处理较高,中部叶以 10 g/L 处理较高,这可能是由于不同部位烟叶对 NaHCO₃ 的敏感度不同所致。

表 5 适宜质量浓度 NaHCO₃ 对烤后烟叶中性致香成分含量的影响 μg/g

香气物质 类型	中性致香 成分	上部叶			中部叶		
		0 g/L	10 g/L	15 g/L	0 g/L	10 g/L	15 g/L
		NaHCO ₃ (CK)	NaHCO ₃	NaHCO ₃	NaHCO ₃ (CK)	NaHCO ₃	NaHCO ₃
类胡萝卜素 降解物类	二氢猕猴桃内酯	1.98 ± 0.07	2.24 ± 0.08	2.53 ± 0.04	1.55 ± 0.02	1.89 ± 0.05	1.84 ± 0.05
	3-羟基-β-二氢大马酮	0.91 ± 0.02	1.06 ± 0.03	1.20 ± 0.02	0.84 ± 0.02	0.96 ± 0.02	1.13 ± 0.02
	氧化异佛尔酮	0.09 ± 0.01	0.11 ± 0.00	0.12 ± 0.00	0.10 ± 0.00	0.14 ± 0.01	0.11 ± 0.01
	异佛尔酮	0.17 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.23 ± 0.01	0.12 ± 0.00	0.24 ± 0.01	0.19 ± 0.01
	巨豆三烯酮 1	1.37 ± 0.09	1.32 ± 0.02	1.36 ± 0.02	1.03 ± 0.03	1.27 ± 0.01	1.17 ± 0.04
	巨豆三烯酮 2	5.36 ± 0.11	5.18 ± 0.03	5.77 ± 0.07	4.18 ± 0.06	4.76 ± 0.06	4.32 ± 0.08
	巨豆三烯酮 3	1.84 ± 0.02	4.30 ± 0.15	3.61 ± 0.06	1.32 ± 0.02	3.22 ± 0.05	2.87 ± 0.10
	巨豆三烯酮 4	8.21 ± 0.10	8.28 ± 0.10	8.75 ± 0.10	6.32 ± 0.16	7.45 ± 0.14	7.13 ± 0.01
	螺岩兰草酮	0.18 ± 0.00	0.19 ± 0.01	0.25 ± 0.03	0.09 ± 0.08	0.24 ± 0.02	0.13 ± 0.01
	β-大马酮	16.35 ± 0.12	17.22 ± 0.31	18.65 ± 0.21	13.56 ± 0.11	17.34 ± 0.09	15.80 ± 0.12
	6-甲基-5-庚烯-2-酮	0.78 ± 0.01	0.96 ± 0.02	0.89 ± 0.01	0.63 ± 0.02	0.87 ± 0.01	0.83 ± 0.02
	6-甲基-5-庚烯-2-醇	0.46 ± 0.01	0.50 ± 0.01	0.73 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.31 ± 0.01	0.33 ± 0.01

续表 5 适宜质量浓度 NaHCO₃ 对烤后烟叶中性致香成分含量的影响 μg/g

香气物质 类型	中性致香 成分	上部叶			中部叶		
		0 g/L	10 g/L	15 g/L	0 g/L	10 g/L	15 g/L
		NaHCO ₃ (CK)	NaHCO ₃	NaHCO ₃	NaHCO ₃ (CK)	NaHCO ₃	NaHCO ₃
类西柏烷类	香叶基丙酮	3.80 ± 0.13	4.69 ± 0.17	5.96 ± 0.09	1.95 ± 0.10	3.16 ± 0.08	3.40 ± 0.08
	法尼基丙酮	11.29 ± 0.16	12.67 ± 0.13	12.57 ± 0.06	11.98 ± 0.11	13.62 ± 0.05	12.73 ± 0.08
	芳樟醇	0.71 ± 0.02	0.78 ± 0.01	0.72 ± 0.01	0.68 ± 0.01	0.82 ± 0.02	0.79 ± 0.02
	β-二氢大马酮	7.21 ± 0.02	11.75 ± 0.03	10.62 ± 0.12	6.65 ± 0.18	9.86 ± 0.11	7.65 ± 0.07
	愈创木酚	2.15 ± 0.05	3.25 ± 0.08	2.96 ± 0.18	2.68 ± 0.07	3.75 ± 0.11	3.41 ± 0.18
	小计	62.84 ± 0.07	74.70 ± 0.61	76.92 ± 0.22	53.89 ± 0.21	69.90 ± 0.24	63.83 ± 0.32
	茄酮	27.31 ± 0.32	31.22 ± 0.07	38.12 ± 0.14	21.36 ± 0.28	33.21 ± 0.13	30.68 ± 0.08
	苯丙氨酸类	0.32 ± 0.01	0.46 ± 0.00	0.54 ± 0.01	0.24 ± 0.01	0.41 ± 0.01	0.39 ± 0.01
	苯甲醛	2.14 ± 0.07	3.20 ± 0.15	3.67 ± 0.03	3.15 ± 0.05	5.61 ± 0.22	5.84 ± 0.11
	苯乙醛	2.66 ± 0.05	3.00 ± 0.20	2.99 ± 0.07	2.76 ± 0.04	3.17 ± 0.02	3.61 ± 0.04
棕色化产物类	苯乙醇	0.92 ± 0.01	1.76 ± 0.02	2.10 ± 0.17	1.86 ± 0.08	2.46 ± 0.05	2.20 ± 0.05
	小计	6.04 ± 0.08	8.42 ± 0.12	9.30 ± 0.04	8.01 ± 0.11	11.66 ± 0.11	12.04 ± 0.15
	糠醛	14.77 ± 0.38	18.26 ± 0.05	14.17 ± 0.12	14.24 ± 0.17	16.77 ± 0.17	16.23 ± 0.14
	糠醇	0.36 ± 0.00	—	0.35 ± 0.02	—	0.32 ± 0.01	0.61 ± 0.01
	2-乙酰基呋喃	0.34 ± 0.03	0.37 ± 0.01	0.32 ± 0.02	0.28 ± 0.01	0.42 ± 0.00	0.39 ± 0.02
	5-甲基糠醛	1.09 ± 0.03	1.54 ± 0.02	1.46 ± 0.03	1.50 ± 0.03	2.32 ± 0.02	1.86 ± 0.03
	藏花醛	0.18 ± 0.02	0.19 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.13 ± 0.01	0.15 ± 0.01	0.20 ± 0.01
	β-环柠檬醛	0.55 ± 0.01	0.61 ± 0.02	0.63 ± 0.02	0.43 ± 0.03	0.68 ± 0.01	0.79 ± 0.01
	小计	17.30 ± 0.18	20.98 ± 0.11	17.11 ± 0.07	16.58 ± 0.04	20.65 ± 0.08	20.09 ± 0.22
	新植二烯	621.81 ± 0.28	722.32 ± 0.58	796.32 ± 2.23	553.70 ± 1.05	761.35 ± 0.82	734.16 ± 0.79
总计		735.30 ± 1.46	857.64 ± 1.49	937.76 ± 3.62	653.54 ± 2.15	896.77 ± 0.96	860.78 ± 1.01

2.2.5 评吸质量 由表 6 可见,NaHCO₃ 处理烤后烟叶的香气质、透发性以及余味更好,香气量足,杂气、刺激性减小,浓度、劲头更适宜。NaHCO₃ 处理的上部叶总分 65.64 ~ 66.76,较 CK 提高 9.09 % ~ 10.95 %;中部叶总分 65.56 ~ 66.30,较 CK 提高 8.02 % ~ 9.24 %。可见,适宜质量浓度的 NaHCO₃ 处理有利于提高烟叶感官质量,上部叶以 15 g/L 处理较好,中部叶则以 10 g/L 处理较好。

表 6 适宜质量浓度 NaHCO₃ 对烤后烟叶评吸质量的影响

项目	上部叶			中部叶		
	0 g/L	10 g/L	15 g/L	0 g/L	10 g/L	15 g/L
	NaHCO ₃ (CK)	NaHCO ₃	NaHCO ₃	NaHCO ₃ (CK)	NaHCO ₃	NaHCO ₃
香气质(10)	5.63 ± 0.29Bb	6.25 ± 0.15ABa	6.56 ± 0.24 Aa	5.81 ± 0.30Aa	6.53 ± 0.20Aa	6.44 ± 0.56Aa
香气量(10)	6.42 ± 0.36Aa	6.62 ± 0.39Aa	6.65 ± 0.15Aa	6.05 ± 0.23Aa	6.46 ± 0.25Aa	6.53 ± 0.49Aa
透发性(10)	5.54 ± 0.39Ab	6.54 ± 0.25Aa	6.62 ± 0.64Aa	5.46 ± 0.20Aa	6.06 ± 0.49Aa	6.04 ± 0.33Aa
杂气(10)	6.15 ± 0.35Aa	6.66 ± 0.46Aa	6.71 ± 0.55Aa	6.02 ± 0.19Ab	6.81 ± 0.37Aa	6.56 ± 0.25Aab
浓度(10)	6.68 ± 0.43Aa	6.61 ± 0.09Aa	6.64 ± 0.39Aa	5.95 ± 0.25Aa	6.52 ± 0.42Aa	6.68 ± 0.93Aa
劲头(10)	5.76 ± 0.31Bb	6.82 ± 0.28ABa	7.03 ± 0.47Aa	5.97 ± 0.42Aa	6.54 ± 0.33Aa	6.61 ± 0.37Aa
细腻度(10)	6.25 ± 0.33Aa	6.57 ± 0.26Aa	6.51 ± 0.26Aa	6.03 ± 0.32Aa	6.45 ± 0.22Aa	6.32 ± 0.28Aa
刺激性(10)	6.09 ± 0.35Ab	6.48 ± 0.28Aab	6.82 ± 0.47Aa	6.25 ± 0.28Ab	7.04 ± 0.15Aa	6.94 ± 0.39Aa
余味(10)	5.76 ± 0.36Ab	6.46 ± 0.29Aa	6.55 ± 0.25Aa	6.31 ± 1.08Aa	6.76 ± 0.29Aa	6.58 ± 0.43Aa
回甜(10)	5.89 ± 0.27Ab	6.63 ± 0.11Aa	6.67 ± 0.36Aa	6.84 ± 0.50Aa	7.13 ± 0.35Aa	6.86 ± 0.41Aa
总分(100)	60.17 ± 0.44Bb	65.64 ± 1.01Aa	66.76 ± 0.66Aa	60.69 ± 0.46Bb	66.30 ± 0.56Aa	65.56 ± 0.26Aa

3 结论与讨论

GS 是植物氮代谢过程中同化和转移 NH₄⁺ 的关键酶之一^[17-18],NR 是植物氮代谢过程中硝酸盐同化的限速酶和调节酶^[19],二者的活性高低反映了植物营养状况和氮代谢水平^[20]。氮素的再转移和同化速率与叶片衰老进程有关^[21]。因此,降低 NR、GS 活性,有利于降低氮素再转移和同化速率,从而加速烟叶衰老,促进成熟落黄。2013 年的试验结果

表明,成熟期喷施 NaHCO₃,烟叶 NR、GS 活性降低,且降低幅度随 NaHCO₃ 质量浓度增大而增大,这与郭传滨^[9]的研究结果一致,同时,结合烟叶的田间表现,NaHCO₃ 喷施的适宜质量浓度为 10、15 g/L。

NaHCO₃ 适宜质量浓度的推广试验表明,与 CK 相比,喷施 10、15 g/L NaHCO₃ 后,烟叶的 NR、GS 活性降低较快,且随时间推后降低幅度增大,有效降低了氮合成代谢速率,促进生长过旺烟叶较快成熟落黄,这与武云杰等^[22]的研究结果一致;烤后烟叶单

叶质量、叶质重明显降低,这可能是由于喷施 NaHCO₃,氮素利用率降低,合成代谢减弱,叶片物质积累迅速转向物质分解所致;烤后烟叶蛋白质、烟碱、总氮含量降低,还原糖、总糖、钾含量提高,化学成分更为协调,这可能与 NR、GS 活性降低有关,NR、GS 活性降低有利于烟叶氮代谢向碳代谢转变,促进含氮化合物分解、碳水化合物积累;烤后烟叶色素含量降低,且 NaHCO₃ 质量浓度越高,色素含量越低,这与郭传滨^[9]的研究结果一致;烤后烟叶中性致香物质含量增加,评吸质量较好,其中,上部叶以喷施 15 g/L NaHCO₃ 效果较好,中部叶以喷施 10 g/L NaHCO₃ 效果较好。NR、GS 活性降低控制了烟株氮合成代谢,色素等大分子物质较快分解,形成较多的香气前体物质。

综上所述,对成熟期生长过旺的烤烟喷施 NaHCO₃,NR、GS 活性降低,且质量浓度以 10、15 g/L 较为理想,喷施后能够促进烟叶较快成熟落黄,且烤后烟叶单叶质量、叶质重降低,综合质量提高,这为解决生长过旺烟田烟株难以成熟落黄、烟叶质量较差的问题提供了新途径。

进一步深入研究 NaHCO₃ 等化学药剂对烟草代谢机制的影响,有利于更好地控制烟株生长后期的长势。由于我国种植烤烟品种多样,不同品种对化学药剂的敏感度不同,因此拓宽 NaHCO₃ 对不同烤烟品种的作用,更有利于化学方法推广应用于烟草,为我国烟叶成熟落黄提供更加便捷的方法。

参考文献:

[1] 宫长荣.烟草调制学[M].北京:中国农业出版社,2003.

[2] 王瑞云,樊在斗,周海燕,等.云南白肋烟中性香气物质含量及与国内外烟叶对比分析[J].中国烟草科学,2014,35(1):108-112.

[3] 叶晓青,王行,张丹丹,等.不同采收成熟度对烟叶质量的影响[J].现代农业科技,2012(4):64-65.

[4] 曾祥难.不同成熟度采收对烤烟香气物质及前体物的影响[J].天津农业科学,2013,19(12):59-62.

[5] 景沙沙,符云鹏,魏利,等.不同钾肥处理对晒红烟质体色素及其降解产物的影响[J].河南农业大学学报,2015,49(6):748-755.

[6] 曾涛,刘华山,韩锦峰,等.环割对烤烟酶活性及烟碱和钾含量的影响[J].河南农业科学,2005(3):32-34.

[7] 苏菲,杨永霞,史宏志,等.氮素营养协同成熟期同量调亏对烤烟质体色素和相关基因表达的影响[J].华北农学报,2013,28(4):145-151.

[8] 顾少龙,何景福,苏菲,等.成熟期氮素调亏程度对烤烟叶片生长和化学成分含量的影响[J].河南农业科学,2012,41(6):45-49.

[9] 郭传滨.外源物质对烤烟成熟期黑暴促黄效果的研究[D].郑州:河南农业大学,2008.

[10] 张衷华.NaHCO₃胁迫对烟草的毒害机理研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2011.

[11] 于影.转柃柳 *LEA* 基因烟草耐盐性分析[D].哈尔滨:东北林业大学,2006.

[12] 刘甜甜,于影,赵鑫,等.转 *LEA* 基因烟草的 NaHCO₃ 抗性分析[J].分子植物育种,2006,4(2):216-222.

[13] Ferrario M, Valadier M, Foyer C H. Overexpression of nitrate reductase in tobacco delays drought induced decreases in nitrate reductase activity and mRNA [J]. Plant Physiology, 1998, 11(7):293-302.

[14] 周忠新,王云华,张楚富,等.菠菜叶中存在两种谷氨酰胺合成酶同工酶[J].武汉植物学研究,2004,22(6):572-574.

[15] 邓小华,周冀衡,陈新联,等.烟叶质量评价指标间的相关性研究[J].中国烟草学报,2008,14(2):1-8.

[16] 邹琦.植物生理生化实验指导[M].北京:中国农业出版社,1997:42-44.

[17] 刘化冰,何文苗,尚晓颖,等.谷氨酰胺合成酶抑制剂对烤烟烘烤特性的影响[J].西北植物学报,2015,35(3):553-557.

[18] 陈明霞,黄见良,崔克辉,等.不同氮效率基因型水稻植株氮挥发速率及其与氮效率的关系[J].作物学报,2010,36(5):879-884.

[19] Foyer C H, Notor G, Lelandais M, et al. Short-term effects of nitrate, nitrite and ammonium assimilation and amino biosynthesis in maize [J]. Planta, 1994, 192: 211-220.

[20] 方昭希,王明录,彭代平,等.硝酸还原酶活性与氮素营养的关系[J].植物生理学报,1979,5(2):123-128.

[21] Agüera E, Cabello P, De La Haba P. Induction of leaf senescence by low nitrogen nutrition in sunflower (*Helianthus annuus*) plants [J]. Physiologia Plantarum, 2010, 138(3):256-267.

[22] 武云杰,杨铁钊,张小全.谷氨酰胺合成酶抑制剂对衰老期烟叶氮代谢的影响[J].中国烟草科学,2014,35(1):37-42.