

密集式烘烤条件下不同变黄温湿度对 烤后烟叶致香物质的影响

代 丽, 黄永成, 宫长荣, 余金恒, 杨少杰

(河南农业大学 农学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 采用河南农业大学设计的电热式温湿自控密集烤烟箱, 研究了不同变黄温湿度对烟叶致香物质的影响。结果表明, 在低温中湿变黄条件(干球温度 38℃, 相对湿度 85%~80%)下, 对烟叶香气有重要贡献的草酸、苹果酸、硬脂酸等酸性致香物质, 以及一些中性致香物质如苯甲醇、苯乙醛、苯乙醇、糠醛、糠醇和 2-乙酰基吡咯、 β -大马酮、香叶基丙酮、二氢猕猴桃内酯、巨豆三烯酮①、巨豆三烯酮②、3-氢基- β -二氢大马酮、茄酮等均有不同程度的提高。

关键词: 烤烟; 密集烘烤; 温湿度; 致香物质

中图分类号: S572.092 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2008)06-0148-05

Effects of Different Temperature and Humidity Yellowing Conditions on Aroma Constituents of Tobacco Leaves during Bulk Curing

DAI Li, HUANG Yong-cheng, GONG Chang-rong, YU Jin-heng, YANG Shao-jie

(Agronomy College of Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The Effects of different temperature and humidity yellowing conditions on the aroma constituents of tobacco leaves during bulk curing were studied using the electric-heated flue-curing barn designed and made by Henan Agriculture University. The result showed that the treatment of low temperature and medium humidity yellowing condition (dry-bulb temperature 38℃ and relative humidity 85%~80%) could increase the contents of acids and neutral aroma constituents. The contents of oxalic acid, malic acid and noctadecanoic acid, which contributed importantly to the fragrance of tobacco leaves, were increased remarkably, and the total contents of neutral aroma constituents including the benzyl alcohol, phenyl acetaldehyde, phenyl ethyl alcohol, furfural, furfuryl alcohol, acepyrrol, β -damascenone, geranyl acetone, dihydroactinolide, megastigmatrienone①, megastigmatrienone②, β -hydrogen- β -damascone and solanone were also increased to a certain degree.

Key words: Flue-cured tobacco; Bulk curing; Temperature and humidity; Aroma constituents

香气是评定烟叶及其制品品质的重要指标, 优质烟叶要求在燃烧过程中产生的香气量大、质纯、香型突出、吃味醇和^[1]。长期以来, 香气是中国烟叶质量提高的制约因素之一。而生产低焦油卷烟在降低焦油量的同时也伴随着香气量的损失, 从而对烟叶香气提出了更高的要求。

烟叶的致香成分主要是在调制过程中转化形成的。有研究表明, 调制条件的不同, 直接导致烟叶香气成分的组成和含量发生变化^[2-10]。迄今为止, 关于普通烤房烘烤环境对烟叶致香成分的影响, 已有许多研究, 但关于密集式烤房对烟叶致香成分影响

研究相对较少。近年来, 密集式烤房发展迅速, 在这种背景下对密集式烤房烘烤环境与烟叶香气关系的研究显得尤为重要。本研究对密集式烘烤条件下, 不同变黄温湿度条件与烟叶香气成分的关系进行了探索, 旨在为我国密集式烤房的快速发展和合理应用提供理论参考。

1 材料和方法

1.1 试验时间、地点

本研究的田间试验于 2005 年在河南省伊川县进行, 室内试验在河南农业大学进行。

收稿日期: 2008-01-07

基金项目: 国家烟草专卖局科技攻关项目(110200302007)

作者简介: 代 丽(1982-), 女, 山西长治人, 硕士, 主要从事烟草栽培生理生化研究。

通讯作者: 宫长荣(1948-), 男, 河南荥阳人, 教授, 主要从事烟草调制与加工教学和科研工作。

1.2 试验材料

试验材料取自伊川县, 试验田土壤质地为红黏土, 土壤肥力中等。供试品种为中烟 100, 5 月 5 日移栽, 种植行距 120 cm, 株距 50 cm。土壤碱解氮 49.52 mg/kg, 速效磷 6.8 mg/kg, 速效钾 145.31 mg/kg, pH 8.49。施纯氮 45.0 kg/hm², N: P₂O₄: K₂O = 1: 2: 3。田间管理按优质烤烟栽培生产技术规范进行, 烟叶成熟采收, 以中部烟叶为试验材料。

1.3 试验方法

采用河南农业大学设计的电热式温湿自控密集烤烟箱烘烤。试验共设置 6 个处理: A1, 低温低湿变黄(变黄期干球温度 38℃, 相对湿度 75%~70%); A2, 低温中湿变黄(变黄期干球温度 38℃, 相对湿度 85%~80%); A3, 低温高湿变黄(变黄期干球温度 38℃, 相对湿度 95%~90%); A4, 高温低湿变黄(变黄期干球温度 40℃, 相对湿度 75%~70%); A5, 高温中湿变黄(变黄期干球温度 40℃, 相对湿度 85%~80%); A6, 高温高湿变黄(变黄期干球温度 40℃, 相对湿度 95%~90%)。变黄结束后转入正常烘烤。

1.4 测定方法

1.4.1 中性致香物质提取及定性定量分析 采用 HP5890-5972 气质连用仪, 称 20 g 烟样, 用同时蒸馏萃取仪蒸馏萃取, 萃取剂为二氯甲烷, 分液浓缩, 加入内标即可。经前处理制备得到的分析样品, 由 GC/MS 鉴定结果和 NIST 库检索定性。GC/MS 分析

条件如下: 色谱柱 HP-5(60 m×0.25 mm. i. d. ×0.25 μm d. f.); 载气及流速 He 0.8 mL/min; 进样口温度 250℃; 传输线温度 280℃; 离子源温度 177℃; 升温程序 50℃(2 min) $\xrightarrow{2^{\circ}\text{C}/\text{min}}$ 120℃(5 min) $\xrightarrow{2^{\circ}\text{C}/\text{min}}$ 240℃(30 min) 2 μL(分流比和进样量 1: 15); 电离能 70 eV; 质量数范围 50~500 amu; MS 谱库 NIST02; 采用内标法定量。

1.4.2 酸性致香物质提取及定性定量分析 称 1 g 烟样放入 100 mL 具塞磨口锥形瓶中, 加入硫酸甲醇缓冲液和内标, 振荡过夜, 用二氯甲烷萃取, 加入无水硫酸钠干燥。酸性 GC/MS 条件: 升温程序 40℃(2 min) $\xrightarrow{8^{\circ}\text{C}/\text{min}}$ 240℃(15 min) \rightarrow 不分流, 进样 1 μL, 1 min 后分流, 其余同中性条件。定量分析: 假定相对校正因子为 1, 采用内标法定量。

2 结果与分析

2.1 不同变黄温湿度对烟叶酸性香气成分含量的影响

烟叶中的非挥发性有机酸虽对烟叶和烟气没有直接作用, 但可以调节烟叶的 pH 值, 使吸味醇和, 还能增强烟气浓度, 间接影响烟叶香气, 在烟气中起到平衡作用。烟叶中的挥发性有机酸是决定烟草香味的主要成分, 可以降低烟气的碱性, 从而减小刺激性, 使吃味醇和。因此, 烟草中有机酸的种类和含量均直接或间接地影响着烟叶的香气吃味。

表 1 不同烘烤变黄条件对烟叶酸性香气成分含量的影响(均值)

Tab.1 Effects of different yellowing condition on the content of acid aroma constituents of cured tobacco						mg/g
酸性香气成分 Acid aroma constituents	处理 Treatments					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
草酸 Oxalic acid	2.51	3.54	2.44	2.73	3.00	2.87
丙二酸 Malonic acid	0.93	2.63	1.86	1.91	1.48	1.38
β-戊酮酸 β-pentanone acid	1.31	1.46	1.97	1.77	1.95	2.04
延胡索酸 Fumaric acid	0.07	0.05	0.06	0.06	0.04	0.07
丁二酸 Succinic acid	0.07	0.01	0.04	0.05	0.01	0.09
2-甲基-2-羟基-丁二酸 2-methyl-2-hydroxyl succinic acid	0.06	0.08	0.06	0.06	0.07	0.08
苹果酸 Malic acid	28.15	36.74	24.64	26.75	28.79	27.80
柠檬酸 Citric acid	6.79	4.05	7.01	8.76	8.79	9.53
异柠檬酸 Isocitric acid	0.24	0.29	0.24	0.29	0.31	0.31
壬二酸 Azelaic acid	0.02	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04
月桂酸 Lauric acid	0.15	0.22	0.14	0.14	0.17	0.17
软脂酸 Pamitic acid	3.19	3.11	3.65	3.40	3.74	3.64
14-甲基十六酸 14-methyl-C16 acid	0.08	0.07	0.10	0.11	0.08	0.08
十七碳酸 C17 acid	0.10	0.10	0.11	0.12	0.11	0.10
硬脂酸 Stearic acid	0.57	0.76	0.73	0.67	0.70	0.65
花生酸 Arachic acid	0.05	0.05	0.07	0.06	0.06	0.05
亚油酸 Linoleic acid	1.77	1.56	1.92	2.05	2.02	1.90
油酸+ 亚麻酸 Oleic acid+ linolenic acid	3.98	4.04	4.89	5.17	5.64	5.26
总量 Total	50.01	58.81	49.95	54.14	57.01	56.05

由表 1 可以看出, 共检测到 10 种多元酸、6 种饱和脂肪酸和 3 种不饱和脂肪酸, 其中草酸、丙二

酸、苹果酸、月桂酸、硬脂酸含量以低温中湿变黄处理较高, β-戊酮酸、丁二酸、柠檬酸、软脂酸、亚油酸、

油酸+ 亚麻酸含量以低温中湿变黄处理较低, 其他几种酸含量各处理相差不大。但最终有机酸的总量表现为低温中湿变黄(58. 81 mg/g) > 高温中湿变黄(57. 01 mg/g) > 高温高湿变黄(56. 05 mg/g) > 高温低湿变黄(54. 14 mg/g) > 低温低湿变黄(50. 01 mg/g) > 低温高湿变黄(49. 95 mg/g)。这表明低温中湿变黄处理能一定程度上提高烟叶酸性香气成分含量。

2.2 不同变黄温湿度对烟叶中性香气成分含量的影响

烟叶和烟气中的中性致香物质种类最多, 对烟叶的香气质、香气量、香型有不同的影响。经 GC/MS 定性分析, 共检测出 29 种化合物, 其中苯丙氨酸

类 4 种、美拉德反应产物类 6 种、类胡萝卜素类 10 种、类西柏烷类 3 种、其他类 5 种及新植二烯。

2.2.1 不同变黄条件对烤后烟叶类胡萝卜素降解产物的影响 类胡萝卜素是烟叶重要的香气前体物, 其降解产物的香气阈值较低, 对烤烟的香气贡献率大, 是形成烤烟细腻、高雅和清新香气的主要成分。由表 2 看出, 类胡萝卜素降解产物以 A1 处理含量最低, A2、A5 处理含量较高, 较 A1 处理分别增加 30. 45%, 24. 86%; β-大马酮、巨豆三烯酮类物质在类胡萝卜素降解产物中所占比重较大, A2 处理这 2 种物质总含量最高, 但巨豆三烯酮 iv、巨豆三烯酮 ㊟以 A4 处理最高、巨豆三烯酮 ㊿以 A5 处理最高。

表 2 不同烘烤变黄条件对烟叶类胡萝卜素降解产物含量的影响

类胡萝卜素降解产物 Products of degraded carotenoid	处理 Treatments					
	μg/g					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-methyl-5-hepten-2-one	0.39	0.35	0.39	0.31	0.27	0.30
β-大马酮 β-damascenone	8.45	12.08	9.08	11.09	11.43	9.33
香叶基丙酮 Geranyl acetone	1.36	2.02	1.89	1.90	1.87	1.76
二氢猕猴桃内酯 Dihydroactinolide	1.07	1.43	1.36	1.31	1.35	1.00
巨豆三烯酮 iv Megastigmatrienone iv	1.21	1.29	1.21	1.66	1.41	1.35
巨豆三烯酮 ㊟ Megastigmatrienone ㊟	4.52	5.03	4.50	5.18	5.01	4.77
巨豆三烯酮 ㊿ Megastigmatrienone ㊿	0.58	0.82	0.69	0.94	1.07	0.75
巨豆三烯酮 ㊿ Megastigmatrienone ㊿	3.55	4.87	4.00	4.08	4.25	3.70
3-氢基-β-二氢大马酮 3-hydrogen-β-damascone	2.14	2.71	2.45	1.98	2.66	1.56
类胡萝卜素降解产物总量 Total products of degraded carotenoid	23.61	30.80	25.87	28.61	29.48	24.69

2.2.2 不同变黄条件对烤后烟叶苯丙氨酸类物质含量的影响 从表 3 可知, 不同变黄条件下苯丙氨酸类物质总量表现为 A2 处理(32. 44 μg/g) > A5 处理(26. 22 μg/g) > A4 处理(25. 46 μg/g) > A1 处理

(22. 55 μg/g) > A6 处理(21. 52 μg/g) > A3 处理(19. 68 μg/g), 其中 A2 处理较 A3 处理的增幅达到 64. 83%。

表 3 不同烘烤变黄条件对烟叶苯丙氨酸类产物含量的影响

苯丙氨酸类 Products of Phenylalanine	处理 Treatments					
	μg/g					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
苯甲醛 Benzaldehyde	0.34	0.90	0.52	0.63	0.97	0.80
苯甲醇 Benzyl alcohol	17.21	24.34	15.45	20.59	20.26	15.56
苯乙醛 Phenyl acetaldehyde	3.20	4.32	2.35	1.99	3.83	3.31
苯乙醇 Phenyl ethyl alcohol	1.80	2.88	1.36	2.25	1.16	1.85
苯丙氨酸类总量 Total products of Phenylalanine	22.55	32.44	19.68	25.46	26.22	21.52

2.2.3 不同变黄条件对烤后烟叶美拉德反应产物类物质含量的影响 美拉德反应产物是形成烟草特征香味的重要反应。该反应机理复杂, 至今尚无定论, 反应产物及中间体较多, 其中有些化合物具有愉快的香气, 但有些化合物具有不良气息。由表 4 知, 美拉德反应产物总量表现为 A2 处理(12. 97 μg/g) > A5 处理(10. 59 μg/g) > A1 处理(10. 17 μg/g) > A3 处理(9. 63 μg/g) > A6 处理(9. 2 μg/g) >

A4 处理(9. 08 μg/g), 其中戊醛、糠醛、糠醇含量均以 A2 处理最高, 2-乙酰基呋喃、5-甲基-2-糠醛含量以 A5 处理最高, 而 2-乙酰基吡咯则以 A6 处理高。

2.2.4 不同变黄条件对烤后烟叶类西柏烷类物质含量的影响 不同变黄条件对烤后烟叶类西柏烷类物质含量的影响见表 5, 其中茄酮含量以 A2 处理(27. 29 μg/g) 最高, A5 处理(26. 23 μg/g) 次之, A4 处理(20. 43 μg/g) 最低; 西柏三烯-1-醇、西柏三烯-1, 3-

醇则以 A6 处理(4. 57 $\mu\text{g/g}$) 和 A4 处理(15. 79 $\mu\text{g/g}$) 含量最高。类西柏烷类物质总量表现为 A2 处理(41. 96 $\mu\text{g/g}$) > A1 处理(41. 73 $\mu\text{g/g}$) > A5 处理(40. 94 $\mu\text{g/g}$) > A4 处理(39. 57 $\mu\text{g/g}$) > A3 处理(39. 14 $\mu\text{g/g}$) > A6 处理(37. 26 $\mu\text{g/g}$)。

表 4 不同烘烤变黄条件对烟叶美拉德反应产物含量的影响

Tab. 4 Effects of different yellowing condition on products of Maillard reaction of cured tobacco						$\mu\text{g/g}$
美拉德反应产物 Products of Maillard reaction	处理 Treatments					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
戊醛 Valeraldehyde	0. 24	0. 24	0. 24	0. 09	0. 15	0. 10
糠醛 Furfural	5. 61	6. 70	5. 48	4. 22	6. 02	4. 86
3-乙烯醇和糠醇 3-vinyl alcohol and furfural	2. 75	3. 38	2. 14	2. 72	2. 56	2. 03
2-乙酰基呋喃 2-acetyl furan	0. 49	0. 84	0. 54	0. 65	0. 95	0. 51
5-甲基-2-糠醛 5-methyl-2-fufural	0. 19	0. 62	0. 30	0. 54	0. 90	0. 43
2-乙酰基吡咯 Acepyrrol	0. 88	1. 20	0. 93	0. 86	Tr	1. 27
美拉德反应产物类总 Total products of Maillard reaction	10. 17	12. 97	9. 63	9. 08	10. 59	9. 20

表 5 不同烘烤变黄条件对烟叶类西柏烷类物质含量的影响

Tab. 5 Effects of different yellowing condition on products of cemdrenoid of cured tobacco						
类西柏烷类物质 Products of cemdrenoid	处理 Treatments					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
茄酮 Solanone	25. 16	27. 29	21. 49	20. 43	26. 23	20. 72
α 和 β -4, 8, 13-西柏三烯-1-醇 α and β -4, 8, 13-divatriene-1-ol	4. 03	3. 17	2. 42	3. 35	3. 46	4. 57
α 和 β -4, 8, 13-西柏三烯-1, 3-二醇 α and β -4, 8, 13-divatriene-1, 3-ols	12. 54	11. 50	15. 23	15. 79	11. 25	11. 97
类西柏烷类总量 Total products of cemdrenoid	41. 73	41. 96	39. 14	39. 57	40. 94	37. 26

2. 2. 5 不同变黄条件对烤后烟新植二烯含量的影响
不同烘烤变黄条件对烟叶新植二烯含量影响见表 6。各处理新植二烯含量表现为 A2 处理(616. 88 $\mu\text{g/g}$) > A5 处理(575. 96 $\mu\text{g/g}$) > A1 处理(557. 64 $\mu\text{g/g}$) > A3 处理(548. 44 $\mu\text{g/g}$) > A4 处理(514. 15 $\mu\text{g/g}$) > A6 处理(501. 84 $\mu\text{g/g}$)，而各处理新植二烯

占挥发性香气物质总量的比例为: A3 处理(85. 17%) > A1 处理(84. 70%) > A6 处理(83. 98%) > A3 处理(83. 97%) > A2 处理(83. 35%) > A4 处理(82. 87%)，A2 处理新植二烯含量最高, 但占挥发性香气物质总量的比例却不是最高, 说明 A2 处理增加了其他挥发性香气物质的绝对含量。

表 6 不同烘烤变黄条件对烟叶新植二烯含量的影响

Tab. 6 Effects of different yellowing condition on products of neopytadiene of cured tobacco						
叶绿素降解产物 Products degraded by chlorophy ⑤	处理 Treatments					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
新植二烯/($\mu\text{g/g}$) Neopytadiene	557. 64	616. 88	548. 44	514. 15	575. 96	501. 84
挥发性香气物质总量/($\mu\text{g/g}$) The total contents of volatile aroma matter	658. 36	740. 09	643. 91	620. 40	685. 88	597. 56
新植二烯占挥发性香气物质总量的比例/ % The proportion of content of neopytadiene to the total contents of volatile aroma matter	84. 70	83. 35	85. 17	82. 87	83. 97	83. 98

3 结论与讨论

香气是烟叶品质的主要内容, 烟叶的香气量、香气质是由各种致香物组分含量、比例及相互作用共同决定的。史宏志等^[11]指出, 烟叶成熟和调制过程是香气前提物降解、香气物质形成和转化的主要时期, 国内外的研究普遍认为, 烤烟香气物质大部分在烘烤的变黄和定色期形成, 到干筋后期香气物质可能分解, 因此变黄、定色和干筋期温湿度条件对烟叶的香吃味具有决定性影响^[1]。本研究结果表明, 不同变黄温湿度条件对烟叶中香气物质含量有很大影响, A2(低温中湿变黄) 处理酸性香味成分总量最

高, 其中对烟叶香气有重要贡献的草酸、苹果酸、硬脂酸含量显著增加; 中性香味成分总量和新植二烯也以该处理最高, 其中对烟叶香气有重要影响的苯甲醇、苯乙醛、苯乙醇、糠醛、糠醇和 2-乙酰基吡咯、 β -大马酮、香叶基丙酮、二氢猕猴桃内酯、巨豆三烯酮 ⑤ 3-氢基- β -二氢大马酮、茄酮等物质含量较高。

烘烤过程中温湿度决定着烟叶内部生理生化变化进程和各种生物大分子的转化程度, 烟叶处于适宜的温湿度条件下, 烟叶能维持较长的生命活动状态, 有利于提高烟叶内各种酶的活性, 如淀粉酶、蛋白酶、叶绿素酶、苯丙氨酸裂解酶、脂肪酶等酶活性得到提高^[12-15], 使烟叶代谢进展顺利。密集式烘

烤在变黄期干球温度 38℃,相对湿度 85%~80%条件下,创造了烟叶代谢适宜的温湿度环境,使烟叶适度失水和凋萎,烟叶的氧化和还原平衡状态失衡较慢,有利于各类酶活性的提高。淀粉酶、蛋白酶活性增强使烟叶内的碳氮化合物充分降解,形成大量糖与氨基酸,有利于美拉德反应产物类香气物质的形成;叶绿素酶和催化类胡萝卜素降解的酶活性的提高,使烟叶内叶绿素和胡萝卜素降解彻底,增加类胡萝卜素类、类西柏烷类和新植二烯等香气物质含量;苯丙氨酸裂解酶活性的提高催化苯丙氨酸产生苯甲醇、苯甲酸、苯乙醇、苯乙醛等香味物质,烟叶中的脂肪酶能催化脂肪化合物降解生产许多对烟叶香气有重要作用的有机酸类香气成分。同时,在低温和适宜湿度条件下,烟叶变黄速度较慢,变黄时间较长,烟叶的失水速率较慢,烟叶内具有适宜的水分,促进了烟叶前提物质的转化分解和烟叶致香成分的形成,有利于提高烟叶的香气品质。而且,密集式烤房本身保温保湿性能好,烤房内平面温差和垂直温差小,通风排湿顺畅,加之近年来密集式烤房温湿度自控设备发展很快,温湿度控制精准程度越来越高,因此在烟叶调制期间,就能够创造理想的烘烤环境,促进烟叶中的色素充分降解,形成更多的香气物质,改善和增进烟叶香气质量。

参考文献:

[1] 史宏志,刘国顺.烟草香味学[M].北京:中国农业出版社,1998.

[2] 宫长荣,汪耀富,赵铭钦,等.烘烤过程中烟叶香气成分变化的研究[J].烟草科技,1995,114(5):31-33.

[3] Johnston R A,Plimmer J R. The chemical composition of tobacco and tobacco smoke [J]. Hem Rev, 1959(59): 885-936.

[4] Leffingwell J C. Tobacco flavoring for smoking products ⑤ [J]. Tob Sci, 1967(32): 495- 502.

[5] Stedman R L. The chemical Composition of tobacco and tobacco smoke [J]. Chem Rev, 1968(68): 153- 207.

[6] 宫长荣,汪耀富,赵铭钦,等.烟叶烘烤中变黄和定色条件对香气特征的影响[J].华北农学报,1996,11(3): 106- 111.

[7] 孙福三.烤烟调制过程中香气成分的研究及其应用技术探讨[J].中国烟草科学,1997(2): 39- 41.

[8] 茆寅生,译.日本烟草调制的研究 iv. 烤烟烘烤条件与香气吃味的关系[J].中国烟草,1986(2): 40- 42.

[9] 白震.烤烟烘烤干筋期的温度与香吃味[J].烟草科技,1984(1): 56- 60.

[10] 王凌,苗果园,刘华山,等.烘烤温湿度对烟叶香气物质的影响[J].河南农业科学,2007(8): 36- 39.

[11] 史宏志,韩锦峰,官春云.烟叶香气前体物在成熟和调制过程中的变化[J].作物研究,1996,10(2): 22- 25.

[12] 吴中华,窦国孝,赵瑜,等.不同调制方法对烤烟淀粉含量及香吃味的研究[J].云南烟草,2004(2): 17- 24.

[13] 宫长荣,李艳梅,李常军.烘烤过程中烟叶脂氧合酶活性与膜脂过氧化物的关系[J].中国烟草学报,2000(1): 39- 41.

[14] 王怀珠,杨焕文,郭红英,等.不同烘烤条件下烟叶淀粉降解酶活性变化[J].河南农业科学,2005(6): 30- 33.

[15] 李常军,宫长荣,周义和,等.烤烟烘烤过程中变黄温度对氮素代谢的影响[J].中国烟草学报,2001(2): 31- 35.