

王玉华,于卫松,曹建敏,等. 烤烟烟叶复烤过程中重要致香物质的变化[J]. 江苏农业科学,2014,42(3):234-237.

# 烤烟烟叶复烤过程中重要致香物质的变化

王玉华<sup>1</sup>, 于卫松<sup>1</sup>, 曹建敏<sup>1</sup>, 杜传印<sup>2</sup>, 韩中波<sup>3</sup>, 信培林<sup>2</sup>, 姜振玲<sup>1</sup>, 邱 军<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院烟草研究所, 山东青岛 266101; 2. 山东潍坊烟草有限公司, 山东潍坊 261205;

3. 山东潍坊烟草有限公司诸城分公司, 山东诸城 262200)

**摘要:**为了探索烤烟烟叶在复烤过程中重要致香物质的变化规律,利用 GC-MS 对烟叶中致香物质进行测定。结果表明,初烤烟叶中 3-羟基-2-丁酮、 $\beta$ -大马酮、沉香醇-1 等 7 种物质部位间含量在 0.05 水平上差异显著,青叶醛、芳樟醇、 $\alpha$ -松油醇在 0.01 水平上差异显著。复烤后,部位间致香物质含量差异显著的有 18 种,其中含量显著增加的物质有巨豆三烯酮 C、巨豆三烯酮 D、2-甲基四氢呋喃-3-酮、2-环戊烯-1,4-二酮等 12 种物质,显著降低的有金合欢基丙酮 A、2,6-壬二烯醛、异戊醇 3 种物质。

**关键词:**烤烟烟叶;复烤;致香物质

**中图分类号:** S572.01;TS41<sup>+</sup>1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-1302(2014)03-0234-04

烟草品质的优劣很大程度上取决于烟叶中的致香物质<sup>[1]</sup>,致香物质种类与含量和卷烟产品的质量密切相关,是评价烟草制品感官质量的重要指标,对烟草制品的感官特性和吸烟者的健康都有非常重要的影响<sup>[2-3]</sup>。围绕烟草致香物质的研究一直是当前烟草研究的重要领域<sup>[4-7]</sup>。初烤后的烟叶并不适于直接醇化处理,只有经过打叶复烤将烟叶的含水率调整至规定的范围,才能防止烟叶在仓储和醇化过程中发生霉变,同时复烤还有利于排沙除杂、杀虫灭菌,提高烟叶加工质量和效率<sup>[8]</sup>。目前关于复烤过程中烟叶致香物质及感官评价指标变化的研究甚少<sup>[9-11]</sup>。掌握复烤前后烟叶中致香物质的变化规律,可以为合理进行配方打叶和制定打叶复烤工艺条件提供一定的参考<sup>[12-14]</sup>,以便在烟叶醇化之前对烟叶的质量进行较好的调节,为醇化提供良好的基础材料。本研究对山东省诸城地区烟叶上部叶和中部叶复烤前后重要致香物质进行研究,以期初步摸清不同部位烟叶重要致香物质在复烤过程中的变化规律,为烟叶复烤提供科学理论依据,从而保证烟叶醇化的顺利进行,提高烟叶的利用价值。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

山东省诸城地区 B<sub>2</sub>F(上部叶)、C<sub>3</sub>F(中部叶)初烤烟叶和相应的打叶复烤后的烟叶。

### 1.2 试剂

2-甲基-2-庚烯-6-酮、沉香醇、糠醛、苯甲醛、芳樟醇、5-甲基糠醛、2-乙酰基-5-甲基呋喃、2-甲基四氢呋喃-3-酮、3-羟基-2-丁酮、2-甲基-2-庚烯-6-酮、

苯乙酮等 11 种标准品购于美国 Sigma 公司,香叶基丙酮、茄酮、苯乙醛、糠醇、异佛尔酮、 $\beta$ -环柠檬醛、 $\beta$ -大马酮、香叶基丙酮、苯甲醇、苯乙醇、 $\beta$ -紫罗兰酮、二氢猕猴桃内酯、新植二烯、巨豆三烯酮 A、巨豆三烯酮 B、巨豆三烯酮 C、巨豆三烯酮 D 等化学物质的标准品购于德国 Fluka 公司,上述标准品纯度均大于 95%;二氯甲烷(色谱纯,Baker 公司)、无水硫酸钠(分析纯,上海国药集团化学试剂有限公司)、氯化钠(分析纯,上海国药集团化学试剂有限公司)。

### 1.3 仪器

主要试验仪器包括气质联用仪 Agilent 7890A-5975C,美国 Agilent 公司;同时蒸馏萃取装置,安徽省天长市华玻实验仪器厂;氮吹仪 NEVAP-12,美国 Organ Ovation 公司;分析天平 BS 224S,德国 Satorious 公司。

### 1.4 方法与条件

**1.4.1 样品前处理** 称取 25 g 烟末样品,加入 400 mL 水和适量 NaCl,放入烧瓶中,以二氯甲烷为溶剂,蒸馏萃取 3 h,所得萃取液经氮吹浓缩后,通过气相色谱仪-质谱仪(GC-MS)进行定性、定量分析。

**1.4.2 GC-MS 条件** 采用 HP-5MS 色谱柱(Agilent 19091S433,30 m×0.25 mm×0.25  $\mu$ m),进样口温度 260  $^{\circ}$ C。升温程序:60  $^{\circ}$ C(2 min)以 2  $^{\circ}$ C/min 升至 200  $^{\circ}$ C(5 min),再以 2  $^{\circ}$ C/min 升至 220  $^{\circ}$ C(0 min),再以 10  $^{\circ}$ C/min 升至 260  $^{\circ}$ C(15 min)。

质谱检测器为四级杆检测器,温度为 150  $^{\circ}$ C,离子源温度为 230  $^{\circ}$ C。

### 1.5 数据处理

利用 SAS 9.1.3、Excel 对所得数据进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 复烤前后烟叶中重要致香物质的变化

通过对复烤前后烟叶进行检测,共检出 84 种致香物质,分析其中 59 种重要致香物质,结果见表 1。由表 1 可以看出,不同种类致香物质含量间存在差异,59 种致香物质中含量最高的为新植二烯,初烤上、中部叶新植二烯含量范围为

收稿日期:2013-10-20

基金项目:山东省潍坊市烟草专卖局(公司)烟叶质量风格特色研究项目。

作者简介:王玉华(1989—),男,山东五莲人,硕士研究生,主要从事农产品标准与检测技术研究。E-mail:wyhua9312@163.com。

通信作者:邱 军,副研究员,主要从事烟草化学研究。E-mail:qjun1975@126.com。

318.09 ~ 522.02、394.40 ~ 453.00  $\mu\text{g/g}$ ; 复烤上、中部叶新植二烯含量范围为 430.76 ~ 524.89、426.13 ~ 589.97  $\mu\text{g/g}$ 。烘焙过程中糠醛含量在 20.00  $\mu\text{g/g}$  左右, 巨豆三烯酮 B 复烤前后不同部位含量均在 10.00  $\mu\text{g/g}$  以上, 巨豆三烯酮 D 除初烤

中部叶含量为 9.80  $\mu\text{g/g}$  外, 其余均在 10.00  $\mu\text{g/g}$  以上。另外, 在烘烤过程中, 烟叶中苯甲醇、茄酮、香叶基丙酮、金合欢基丙酮 A、 $\beta$ -大马酮和苯乙醛含量均较高。

表 1 不同部位烟叶烘烤过程中重要致香物质含量

化合物名称		初烤烟叶致香物质含量		复烤烟叶致香物质含量		化合物名称		初烤烟叶致香物质含量		复烤烟叶致香物质含量	
		B <sub>2</sub> F	C <sub>3</sub> F	B <sub>2</sub> F	C <sub>3</sub> F			B <sub>2</sub> F	C <sub>3</sub> F	B <sub>2</sub> F	C <sub>3</sub> F
巨豆三烯酮 A		3.15	2.91	3.57	3.05	异戊醇		1.27	1.14	0.73	0.48
巨豆三烯酮 B		12.10	11.11	13.50	11.55	戊醇		0.43	0.35	0.29	0.20
巨豆三烯酮 C		1.83	1.73	2.62	2.28	沉香醇-1		0.07	0.05	0.08	0.06
巨豆三烯酮 D		10.49	9.80	14.61	12.89	沉香醇-2		0.03	0.02	0.04	0.03
2-甲基四氢呋喃-3-酮		1.04	0.92	1.29	1.19	芳樟醇		0.84	0.66	0.88	0.69
3-羟基-2-丁酮		0.89	1.09	0.94	0.88	糠醇		2.79	2.91	4.62	4.07
2-甲基-2-庚烯-6-酮		0.71	0.77	0.86	0.76	$\alpha$ -松油醇		0.19	0.15	0.20	0.16
异佛尔酮		0.02	0.03	0.04	0.03	香叶醇		0.24	0.19	0.24	0.19
苯乙酮		0.08	0.08	0.09	0.08	苯甲醇		9.54	11.01	10.21	7.75
$\beta$ -二氢大马酮		0.39	0.37	0.44	0.39	苯乙醇		3.23	2.96	3.63	2.72
香叶基丙酮		4.86	4.77	4.85	4.62	$g$ -丁内酯		0.45	0.46	0.65	0.55
$b$ -紫罗兰酮		0.37	0.37	0.42	0.42	$g$ -壬内酯		0.04	0.04	0.04	0.04
2-环戊烯-1,4-二酮		0.54	0.52	0.81	0.83	棕榈酸甲酯		0.26	0.34	0.52	0.66
植酮		0.36	0.33	0.34	0.29	二氢猕猴桃内酯		5.07	4.98	4.79	4.61
氧化异佛尔酮 2		0.06	0.06	0.08	0.07	亚麻酸甲酯		0.25	0.25	0.43	0.57
茄酮		10.97	7.42	12.69	9.93	邻苯二甲酸甲酯		0.25	0.24	0.20	0.18
降茄二酮		0.60	0.50	0.90	0.80	新植二烯		442.05	440.04	476.01	499.09
金合欢基丙酮 A		4.91	4.73	3.50	3.36	吡啶		1.19	1.14	1.36	1.22
$\beta$ -大马酮		5.72	6.55	5.60	6.06	吡嗪		0.13	0.15	0.11	0.10
3-甲基巴豆醛		0.50	0.47	0.58	0.51	噻唑		0.05	0.05	0.05	0.04
壬醛		0.14	0.13	0.12	0.12	2-乙基吡啶		0	0	0.01	0.01
糠醛		19.69	18.53	22.06	20.51	吡咯		0.35	0.24	0.39	0.28
2,4-庚二烯醛		0.58	0.64	0.84	0.95	2-乙酰吡啶		0.05	0.04	0.05	0.04
苯甲醛		0.59	0.57	0.67	0.62	3-乙酰吡啶		0.26	0.21	0.33	0.22
5-甲基糠醛		0.88	0.74	1.07	0.80	喹啉		0.05	0.04	0.06	0.04
$\beta$ -环柠檬醛		0.14	0.13	0.17	0.16	2-乙酰基吡咯		2.23	1.90	3.37	2.64
苯乙醛		3.05	2.99	5.66	4.83	辛酸		0.30	0.29	0.37	0.32
2,6-壬二烯醛		0.07	0.07	0.04	0.05	1,3,7,7-四甲基-2-氧双		0.08	0.08	0.13	0.11
青叶醛		0.07	0.09	0.06	0.07	环[4.4.0]癸					
藏红花醛		0.05	0.04	0.06	0.05	1,3,7,7-四甲基 2 氧双环		0.02	0.02	0.03	0.02

2.1.1 初烤烟叶不同部位重要致香物质的含量 由表 1 可知, 3-羟基-2-丁酮、 $\beta$ -大马酮、青叶醛、沉香醇-1、沉香醇-2、芳樟醇、 $\alpha$ -松油醇、香叶醇、吡咯、喹啉 10 种物质部位间含量差异明显, 其中 3-羟基-2-丁酮、 $\beta$ -大马酮中部叶含量显著高于上部叶, 中部叶青叶醛含量 0.09  $\mu\text{g/g}$ , 极显著高于上部叶 (0.07  $\mu\text{g/g}$ ) ( $P < 0.01$ )。张运涛等研究发现, 青叶醛具有一种青绿叶味, 在草莓中能形成一种特有的茉莉和玫瑰清爽香味<sup>[15]</sup>, 说明在卷烟制品中会对风味的形成产生一定的积极影响, 这在一定程度上促进了中部叶感官品质的提升。沉香醇-1、沉香醇-2、香叶醇、吡咯、喹啉上部叶含量显著高于中部叶, 芳樟醇、 $\alpha$ -松油醇在上部叶中含量分别极显著高于中部叶 0.18、0.04  $\mu\text{g/g}$  (表 1)。

2.1.2 烟叶复烤前后致香物质的含量变化 复烤工序是烟草加工的重要环节, 在此工序加工中, 烟叶经高温高湿处理, 其挥发性香味成分会发生变化<sup>[11]</sup>。对复烤前后不同部位烟

叶中致香物质分别进行方差分析发现, 复烤前后不同致香物质含量变化情况存在较大差异, 其中有 29 种物质复烤前后变化较明显 (表 2)。

2.1.2.1 上部叶 由表 2 可以看出, 上部叶中巨豆三烯酮 C、巨豆三烯酮 D、2-甲基四氢呋喃-3-酮、异佛尔酮、 $\beta$ -二氢大马酮、2-环戊烯-1,4-二酮、氧化异佛尔酮 2、糠醛、2,4-庚二烯醛、 $\beta$ -环柠檬醛、苯乙醛、藏红花醛、糠醇、 $g$ -丁内酯、棕榈酸甲酯、亚麻酸甲酯、1,3,7,7-四甲基 2 氧双环、2-乙基吡啶、2-乙酰基吡咯、辛酸 20 种物质复烤后含量显著或极显著提高, 其中巨豆三烯酮 C、巨豆三烯酮 D、异佛尔酮、2-环戊烯-1,4-二酮、2,4-庚二烯醛、 $\beta$ -环柠檬醛、糠醇、 $g$ -丁内酯、棕榈酸甲酯、2-乙酰基吡咯含量在复烤后极显著提高 43%、39%、100%、50%、45%、21%、66%、44%、100%、51% ( $P < 0.01$ ), 由此可见异佛尔酮和棕榈酸甲酯受复烤过程影响最大。其中, 巨豆三烯酮 D 含量由 10.49  $\mu\text{g/g}$

表 2 烘烤过程中烟叶部分重要致香物质含量的方差分析结果

化合物名称	B <sub>2</sub> F			C <sub>3</sub> F		
	初烤烟叶 (μg/g)	复烤烟叶 (μg/g)	<i>P</i> 值	初烤烟叶 (μg/g)	复烤烟叶 (μg/g)	<i>P</i> 值
巨豆三烯酮 C	1.83	2.62	0.003 1	1.73	2.28	0.032 7
巨豆三烯酮 D	10.49	14.61	0.004 3	9.80	12.89	0.029 4
异佛尔酮	0.02	0.04	0.000 4	0.03	0.03	0.716 1
β-二氢大马酮	0.39	0.44	0.036 2	0.37	0.39	0.194 8
氧化异佛尔酮 2	0.06	0.08	0.012 6	0.06	0.07	0.179 8
糠醛	19.69	22.06	0.027 9	18.53	20.51	0.228 0
2,4-庚二烯醛	0.58	0.84	0.002 4	0.64	0.95	0.001 9
β-环柠檬醛	0.14	0.17	0.005 2	0.13	0.16	0.000 5
苯乙醛	3.05	5.66	0.049 2	2.99	4.83	0.038 5
藏红花醛	0.05	0.06	0.038 3	0.04	0.05	0.252 9
糠醇	2.79	4.62	0.000 2	2.91	4.07	0.007 3
<i>g</i> -丁内酯	0.45	0.65	0.007 2	0.46	0.55	0.214 5
棕榈酸甲酯	0.26	0.52	0.005 1	0.34	0.66	0.000 3
亚麻酸甲酯	0.25	0.43	0.041 0	0.25	0.57	0.000 4
2-乙基吡啶	0	0.01	0.038 6	0	0.01	0.020 5
2-乙酰基吡咯	2.23	3.37	0.000 4	1.90	2.64	0.014 4
辛酸	0.30	0.37	0.040 3	0.29	0.32	0.604 3
金合欢基丙酮 A	4.91	3.50	0.036 8	4.73	3.36	0.050 7
2,6-壬二烯醛	0.07	0.04	0.022 0	0.07	0.05	0.045 3
异戊醇	1.27	0.73	0.043 5	1.14	0.48	0.000 2
3-羟基-2-丁酮	0.89	0.94	0.622 0	1.09	0.88	0.011 9
降茄二酮	0.60	0.90	0.105 0	0.50	0.80	0.013 2
沉香醇-2	0.03	0.04	0.137 3	0.02	0.03	0.012 0
新植二烯	442.05	476.01	0.392 8	440.04	499.09	0.040 0
戊醇	0.43	0.29	0.202 9	0.35	0.20	0.027 4
吡嗪	0.13	0.11	0.061 0	0.15	0.10	0.001 1
1,3,7,7-四甲基 2 氧双环	0.02	0.03	0.035 5	0.02	0.00	0.122 6
2-甲基四氢呋喃-3-酮	1.04	1.29	0.020 6	0.92	1.19	0.006 4
2-环戊烯-1,4-二酮	0.54	0.81	0.000 3	0.52	0.83	0.000 5

提高到了 14.61 μg/g,数值增量较大,其他 3 种同分异构体含量均有不同程度的增加。王能如等发现,巨豆三烯酮含量越高,烟草的品质越好,因此在复烤过程中烟草的感官品质会得到一定的提升<sup>[16]</sup>。含量最高的新植二烯复烤后含量有所增加,但未达到显著水平。另外,糠醇、2-乙酰基吡咯含量提高量也在 1 μg/g 以上;金合欢基丙酮 A、2,6-壬二烯醛、异戊醇 3 种物质含量在复烤后显著下降,分别降低 1.41、0.03、0.54 μg/g;其他物质含量变化不显著。

2.1.2.2 中部叶 对中部叶致香物质含量进行复烤前后差异性分析(表 2)可知,巨豆三烯酮 C、巨豆三烯酮 D、2-甲基四氢呋喃-3-酮、3-羟基-2-丁酮、2-环戊烯-1,4-二酮、降茄二酮、2,4-庚二烯醛、β-环柠檬醛、苯乙醛、沉香醇-2、糠醇、棕榈酸甲酯、亚麻酸甲酯、新植二烯、2-乙基吡啶、2-乙酰基吡咯含量在复烤后显著或极显著提高。其中,2-甲基四氢呋喃-3-酮、2-环戊烯-1,4-二酮、2,4-庚二烯醛、β-环柠檬醛、糠醇、棕榈酸甲酯、亚麻酸甲酯 7 种物质在复烤后含量极显著提高 0.27、0.31、0.31、0.03、1.16、0.32、0.32 μg/g(*P*<0.01),棕榈酸甲酯含量提高最大,较烤前提高了 94%,2-环戊烯-1,4-二酮含量较烤前提高 60%。金合欢基丙酮 A、2,6-壬二烯醛、异戊醇、戊醇、吡嗪

5 种物质含量在复烤后明显降低,其中异戊醇、吡嗪含量较烤前极显著降低 58%、33%(*P*<0.01)。蒋次清等研究发现烟丝吡嗪等含氮化合物与卷烟香气的浓淡有一定的关系,当其浓度高时,卷烟的香气浓度较高,香气较好<sup>[17]</sup>。当吡嗪含量下降时,其香气、杂气、刺激性、余味和总得分都存在下降趋势,因此中部叶吡嗪含量的降低将会对其品质产生不利的影响。

2.1.3 复烤后烟叶部位间重要致香物质含量差异分析 由“2.1.2”节的分析可以看出,烟叶经过复烤后致香物质含量都会发生不同程度的改变,由于初烤烟叶致香物质在部位之间存在差异以及复烤过程中变化量的不同势必导致复烤后烟叶部位间致香物质含量存在差异。分析发现,部位之间差异显著的致香物质数量由初烤烟叶的 10 种增加到 18 种,苯乙酮、植酮、沉香醇-1、沉香醇-2、苯乙醇、吡嗪 6 种物质在上部叶中含量显著高于中部叶(*P*<0.05),β-二氢大马酮、5-甲基糠醛、藏红花醛、芳樟醇、*α*-松油醇、香叶醇、吡咯、2-乙酰吡啶、3-乙酰吡啶、喹啉 10 种物质在上部叶中含量极显著高于中部叶(*P*<0.01)。β-大马酮、亚麻酸甲酯中部叶含量显著高于上部叶含量,差值分别为 0.08、0.33 μg/g。

### 3 结论与讨论

采用同时蒸馏萃取和 GC-MS 联用技术对诸城地区复烤前后的烟叶中重要致香物质进行定性定量分析,结果表明,不同部位烟叶中致香物质含量存在差异,复烤过程中烟叶某些致香物质含量会发生较大改变。初烤烟叶部位间含量存在显著差异的致香物质有 10 种,复烤后部位间致香物质含量差异显著的增加为 18 种。由此可以说明,在复烤过程中不同部位致香物质变化不同,其中复烤前后部位间均存在显著差异的有沉香醇-1、沉香醇-2、芳樟醇、 $\alpha$ -松油醇、香叶醇、吡咯和喹啉,从而说明这 7 种物质含量与烟叶部位关系密切。

复烤后上部叶和中部叶中含量均显著或极显著增加的物质有巨豆三烯酮 C、巨豆三烯酮 D、2-甲基四氢呋喃-3-酮、2-环戊烯-1,4-二酮、2,4-庚二烯醛、 $\beta$ -环柠檬醛、苯乙醛、糠醇、棕榈酸甲酯、亚麻酸甲酯、2-乙基吡啶、2-乙酰基吡咯 12 种物质;显著下降的有金合欢基丙酮 A、2,6-壬二烯醛、异戊醇 3 种物质。复烤过程中致香物质增加,主要是由前体物质的分解积累所致,物质含量的降低在于本身的降解或挥发。巨豆三烯酮 C、巨豆三烯酮 D 和  $\beta$ -环柠檬醛是烟草中类胡萝卜素降解产物,其含量的提高主要在于复烤过程中叶黄素、新黄质和  $\beta$ -胡萝卜素<sup>[18]</sup>等类胡萝卜素发生降解;作为重要的致香物质,金合欢基丙酮 A 是由类胡萝卜素(六氢番茄红素)降解产生的,其含量在复烤过程中显著下降,可能是因为复烤过程中温度较高导致分解和挥发损失量大于生成量。苯乙醛含量的提高是由于复烤过程中芳香族氨基酸的降解而产生的。糠醇、2-乙基吡啶、2-乙酰基吡咯 3 种物质含量增加可能是复烤过程中还原糖和氨基酸、蛋白质之间发生一系列反应而产生<sup>[19-20]</sup>。

烟叶复烤作为醇化之前的步骤,其重要性是非常明显的,合理的复烤对卷烟工业优质原料的提供有重要的意义。目前,对于复烤过程中化学成分变化的研究不多,尚未引起足够重视,因此在以后的科研中应该加以重视。

#### 参考文献:

- [1] 史宏志,刘国顺,杨惠娟,等. 烟草香味学[M]. 北京:中国农业出版社,1998:45-50.
- [2] 谢卫,刘江生,杨斌,等. 不同部位烤烟中香味成分的分析研究[J]. 福建分析测试,2003,12(2):4-6.

- [3] Prabhu S R, Chakraborty M K. Development of aroma-bearing compounds and their precursors in flue-cured tobacco during curing and postcuring operations[J]. Tob Res, 1986, 12(2): 175-185.
- [4] 周冀衡,杨虹琦,林桂华,等. 不同烤烟产区烟叶中主要挥发性香气物质的研究[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版,2004,30(1):20-23.
- [5] 胡建军,周冀衡,李文伟,等. 烤烟香味成分与其感官质量的典型相关分析[J]. 烟草科技,2007(3):9-15,22.
- [6] 刘帅帅,曹建敏,邱军,等. 南平烤烟 GC-MS 指纹图谱构建及模式识别[J]. 华北农学报,2012,27(21):18-23.
- [7] 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):45-50.
- [8] 廖永平,中国质量管理协会质量研究与培训中心. 质量管理常用统计技术与方法[M]. 北京:中国科学技术出版社,1998.
- [9] 袁逢春,龙明海,何邦华,等. 打叶复烤过程烟叶内在品质的变化研究[J]. 湖北农业科学,2013,52(1):158-160.
- [10] 简辉,杨学良,王保兴,等. 复烤温度对烟叶化学成分及感官质量的影响[J]. 烟草科技,2006(12):12-15,19.
- [11] 李晓,姚光明,穆林,等. 烟叶复烤前后香味成分的变化[J]. 河南农业科学,2010(1):40-43,46.
- [12] 王能如,徐增汉,李章海,等. 烟叶调制与分级[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2002.
- [13] 宫长荣,王能如,杨焕文,等. 烟草调制学[M]. 北京:中国农业出版社,2003.
- [14] 宫长荣,孙福山,刘奕平,等. 烘烤环境条件对烟叶内在品质的影响[J]. 中国烟草科学,1999(2):10-11.
- [15] 张运涛,王桂霞,董静,等. 草莓 5 个品种的果实香味成分分析[J]. 园艺学报,2008,35(3):433-437.
- [16] 王能如,李章海,王东胜,等. 我国烤烟主体香味成分研究初报[J]. 中国烟草科学,2009,30(3):1-6.
- [17] 蒋次清,黄海涛,李忠,等. 烟草中吡嗪、吡啶类含氮化合物变化及其对卷烟品质的影响[C]//中国烟草学会 2006 年学术年会论文集,2007:670-679.
- [18] 李爱军,代惠娟,娄本,等. 烟草类胡萝卜素研究进展[J]. 安徽农业科学,2008,36(6):2364-2366.
- [19] Waller G R, Feather M S. The maillard reaction in foods and nutrition[M]. Washington: ACS, 1983.
- [20] Fujimaki M, Namiki M, Kato H. Developments in food science, V. 13: amino-carbonyl reactions in food and biological systems[J]. Amsterdam: Elsevier, 1986.