

# 不同光强对烤烟质体色素及其降解产物的影响

刘典三,刘国顺,贾芳芳,史宏志,高传奇,何永秋,彭金梅,许跃奇,姚华刚

(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)

**摘要:**为探讨光照强度对烤烟品质的影响,采用田间试验方法,以自然光照(透光率100%)为对照(CK),研究了不同遮阴处理(透光率分别为55%、70%、85%)对烤烟质体色素及其降解产物的影响。结果表明,100%自然光强(CK)下各部位烤后烟叶中叶绿素和类胡萝卜素含量均最低;随着光照强度的降低,中、上部烤后烟叶叶绿素含量呈先增加后降低的趋势,下部叶逐渐增加;各部位类胡萝卜素含量呈先增加后降低趋势。CK类胡萝卜素降解产物总量及新植二烯含量均高于遮荫处理。遮荫处理上、中、下部位的新植二烯含量平均值较CK分别降低13.59%、19.99%、5.66%,类胡萝卜素降解产物总量平均值较CK分别降低6.70%、8.08%、2.83%。由此可见,遮荫处理增加烟株各部位烤后烟叶中叶绿素、类胡萝卜素含量,降低新植二烯含量及类胡萝卜素降解产物总量。

**关键词:**光强;质体色素;类胡萝卜素;降解产物

中图分类号:S572 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2013)01-0234-05

## Effects of Light Intensity on Plastid Pigment and Its Degraded Products in Flue-cured Tobacco

LIU Dian-san, LIU Guo-shun, JIA Fang-fang, SHI Hong-zhi, GAO Chuan-qi,  
HE Yong-qiu, PENG Jin-mei, XU Yue-qi, YAO Hua-gang

(College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, National Tobacco Cultivation Physiology  
and Biochemistry Research Center, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** In the paper, a field experiment was conducted to study the effects of different light intensities (55%, 70%, 85% and 100% of full sunlight) on the plastid pigment and its degraded products in flue-cured tobacco. The results showed that the contents of chlorophyll and carotene in the flue-cured tobacco leaves at different positions were the lowest in CK (100% light intensity). With the decrease of light intensity, the chlorophyll content of leaves at upper and middle positions increased first and then decreased, but increased by degrees in lower leaves, while the carotene content in leaves of all positions increased first and decreased subsequently. The degraded products of carotene and the neophytadiene were all higher in CK than in shading treatments. The average content of neophytadiene in upper, middle and lower leaves for the three shading treatments was 13.59%, 19.99% and 5.66% lower than the CK, respectively, while the average content of degraded carotene products decreased 6.70%, 8.08% and 83% respectively. The results indicated that shading treatment increased the contents of chlorophyll and carotene in every position of flue-cured tobacco leaves, while decreased the contents of degraded carotene products and the neophytadiene.

**Key words:** Light intensity; Plastid pigment; Carotene; Degraded product

光强是影响植物生长的重要生态因子之一,它不仅影响植物的光合作用,还可以调节植物的生理代谢、生长发育和形态建成,使植物更好地适应外界

环境<sup>[1]</sup>。烟草是一种喜光作物,适宜的光照对烟草的生长发育和品质形成有重要影响<sup>[2]</sup>。关于光强对烟草的影响,以往研究多集中在光合作用、生理代

收稿日期:2012-12-12

基金项目:国家烟草专卖局特色优质烟叶重大专项浓香型特色优质烟叶开发项目(110201101001(TS-01))

作者简介:刘典三(1987-),男,江西赣州人,在读硕士,主要从事烟草栽培生理生化研究。

通讯作者:刘国顺(1954-),男,河南叶县人,教授,博士生导师,主要从事烟草栽培生理生化研究。

谢、形态建成及化学成分等方面<sup>[1-5]</sup>。烟草通过质体色素获得光能,烟草中的质体色素包括叶绿素和类胡萝卜素,是本身不具有香味的物质,但可通过分解、转化形成百余种致香物质。由质体色素分解转化形成的致香物质含量约占烟叶致香物质总量的85%~96%<sup>[6]</sup>。在质体色素降解产物中,叶绿素的降解产物-新植二烯含量最丰富,占致香物质总量的85%以上;类胡萝卜素的降解物质种类最多,有近百种,其含量约占致香物质总量的8%~12%<sup>[7-9]</sup>。质体色素的合成和降解与遗传因素、生态因素、栽培措施及调制和醇化方法密切相关,其含量和性质不仅直接影响烟叶的外观质量,对烟叶的内在品质也有重要影响<sup>[10]</sup>。研究表明,光照强度降低使烟草鲜叶片中叶绿素、类胡萝卜素含量增高<sup>[5]</sup>;施用有机肥能增加质体色素降解产物含量<sup>[10-11]</sup>,氮、磷、钾肥配施也能增加烤后烟叶中质体色素及其降解产物含量<sup>[12]</sup>。而关于光照强度对烤后烟叶质体色素及其降解产物含量的研究尚未见报道。光照强度降低,烟草鲜叶中质体色素含量增高,是否意味着烤后烟叶中质体色素及其降解产物含量也增加,目前尚不清楚。鉴于此,以云烟87为材料,研究了不同光照强度对烤烟烤后烟叶质体色素及其降解产物的影响,旨在为我国浓香型特色优质烟开发提供理论依据和技术支撑。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料与试验设计

试验于2011年在河南省南阳市方城县金叶园进行,供试烤烟品种为云烟87;土壤质地为黄壤土,0~20 cm耕层pH值7.48,有机质11.45 g/kg,全氮0.72 g/kg,碱解氮55.0 mg/kg,速效磷( $P_2O_5$ )18.0 mg/kg,速效钾( $K_2O$ )135 mg/kg。地势平坦,前茬为玉米。试验用肥料为硝酸铵(含纯氮34%),重过磷酸钙(含 $P_2O_5$ 46%),硫酸钾(含 $K_2O$ 50%);各处理总氮施用量为52.5 kg/hm<sup>2</sup>,按N: $P_2O_5$ : $K_2O$ =1:1.5:3施入磷钾,氮、磷、钾肥的70%作基肥开沟条施,30%作穴肥。田间栽培,行距1.2 m,株距0.5 m,试验地四周设保护行,于2011年4月26日移栽,按照田间优质烟叶管理方法进行管理。

烟株移栽后,缓苗15 d,之后利用不同层数的白色纱布进行遮荫,一直持续至采收结束。试验设置4个光强水平,即对照(CK):自然光强(100%光照强度);L1:遮1层白纱布(85%光照强度);L2:遮2层白纱布(65%光照强度);L3:遮3层白纱布(50%光照强度);旺长期的平均光照强度分别为976,

830 635 490  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。遮荫网距地面200 cm,以保证冠层通风条件良好且便于田间观测、取样。

### 1.2 试验方法

1.2.1 烤后烟叶取样 烟叶成熟后分部位采收,按照三段式烘烤工艺调制后,按42级烤烟分级标准GB2635-92分级;取下橘二(X2F)、中橘三(C3F)、上橘二(B2F)烟叶各1 kg进行质体色素及其降解产物分析。

1.2.2 烤后烟叶质体色素测定 采用丙酮提取法<sup>[14]</sup>测定叶绿素和总类胡萝卜素含量。

1.2.3 香气物质含量的测定 香气物质提取:采用水蒸气蒸馏-二氯甲烷溶剂萃取法,在500 mL圆底烧瓶中加入10.000 g烟样、1.0 g柠檬酸、500  $\mu\text{L}$ 内标(302 g/mL硝基苯)、350 mL蒸馏水;安装同步蒸馏萃取装置,从冷凝管上方加入40 mL二氯甲烷于250 mL烧瓶中,待开始沸腾时进行同时蒸馏萃取,装置中出现分层时开始计时。2.5 h后,收集250 mL烧瓶中的有机相,加入10 g左右无水硫酸钠摇匀至溶液澄清,转移有机相到鸡心瓶,水浴浓缩有机相至1 mL左右。所得分析样品以GC/MS鉴定结果和NIST库检索定性。

香气物质定性定量测定:采用美国HP5890-5972气质连用仪对烟叶样品进行定性分析。色谱柱HP-5(60 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25  $\mu\text{m}$ );载气及流速分别为He,0.8 mL/min;进样口温度为250  $^{\circ}\text{C}$ ,传输线温度为280  $^{\circ}\text{C}$ ;离子源温度为177  $^{\circ}\text{C}$ ;升温程序为在40  $^{\circ}\text{C}$ 保留2 min,然后以8  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的升温速度升至240  $^{\circ}\text{C}$ ,保留15 min,不分流进样,进样量为1  $\mu\text{L}$ ,电离能为70 eV,电离方式为EI;质量数范围为35~500 amu;用NIST02谱库检索定性;采用内标法定量。

### 1.3 数据处理

采用Excel 2003和SPSS 17.0软件软件进行数据处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同光强对烤后烟叶质体色素含量的影响

#### 2.1.1 不同光强对烤后烟叶叶绿素含量的影响

烟草叶片发育过程中最主要的质体色素是叶绿素,包括叶绿素a、叶绿素b等,是烟叶成熟和调制过程中变化最剧烈的标志性物质。在成品烟叶中叶绿素是一种不利成分,如果在调制过程中其降解不充分就会形成青烟,给卷烟抽吸带来青杂气<sup>[8-9]</sup>。由表1可知,随着光照强度的降低,上、中部烟叶的叶绿素含量呈先增加后降低的趋势,下部叶随光强降低

而逐渐增加,但遮荫处理烤烟各部位叶片的叶绿素含量均显著高于 CK。其中,上、中部叶中 L2 处理的叶绿素含量最高;下部叶, L3 处理含量最高。说明光照强度降低,增加了烤后烟叶中的叶绿素含量。

烤烟不同部位叶片的叶绿素含量表现为下部叶 >

表 1 不同光强对烤烟质体色素含量的影响

Tab. 1 Effects of different light intensities on the plastid pigment

μg/g

部位 Position	处理 Treatments	叶绿素 Chlorophyll	类胡萝卜素 Carotenoid	类胡萝卜素/叶绿素 Carotenoid/Chlorophyll
上部叶 Upper leaves	CK	24.69d	124.86b	5.06
	L1	42.74c	143.87b	3.37
	L2	82.61a	209.87a	2.54
	L3	47.64b	189.09a	3.97
中部叶 Middle leaves	CK	36.80c	148.62d	4.04
	L1	50.75b	203.08b	4.00
	L2	86.34a	257.28a	2.98
	L3	84.49a	180.43c	2.14
下部叶 Lower leaves	CK	52.77c	195.59b	3.82
	L1	63.41b	201.82b	3.18
	L2	91.48a	246.42a	2.69
	L3	105.73a	221.40ab	2.09

注:同一叶位同列不同小写字母表示各处理间差异达到 5% 显著水平。

Note: Different small letters indicate significant difference at 0.05 level in the same leaf.

2.1.2 不同光强对烤后烟叶类胡萝卜素含量的影响 类胡萝卜素作为烟草致香物质的重要前体物,其含量与烟叶品质密切相关<sup>[9]</sup>。由表 1 可见,各部位烤后烟叶类胡萝卜素含量均以 CK 最低、L2 处理最高。而且随着光强的降低,各部位烟叶类胡萝卜素含量均呈先升高后降低的趋势;上、中、下部叶遮荫处理的类胡萝卜素含量平均值分别为 180.94, 213.60, 223.21 μg/g, 分别较其 CK 提高了 44.92%, 43.72%, 14.12%。说明光照强度的降低,增加了烤后烟叶中类胡萝卜素的含量。

CK 的类胡萝卜素含量表现为下部叶 > 中部叶 > 上部叶,这可能是靠下部位的烟叶接收到的光照强度低于靠上部位烟叶造成的,其他各处理各部位叶片间无明显规律。

2.1.3 不同光强对类胡萝卜素与叶绿素比值的影响 从表 1 可以看出,CK 的上、中、下部位叶片的类胡萝卜素与叶绿素比值均最高,分别为 5.06, 4.04, 3.82, 明显高于遮荫处理,说明光强降低使类胡萝卜素与叶绿素比值下降。主要原因可能是,遮荫处理下叶绿素含量的增幅大于类胡萝卜素的增幅,且遮荫处理的叶绿素不易降解。

2.2 不同光强对烤后烟叶质体色素降解产物的影响

2.2.1 不同光强对烤后烟叶叶绿素降解产物的影响 新植二烯是叶绿素的降解产物,是烤烟含量最丰富的中性香气物质。新植二烯在烟草燃烧时可直

中部叶 > 上部叶。叶绿素含量随着叶片部位的下降而逐渐升高,这可能是因为随着叶位降低,烟草叶片接收到的光照强度也降低,促进了叶绿素的积累,从而使叶绿素含量升高。

接或间接转化为致香物质进入烟气,它作为捕集烟香气溶胶内香气物质的载体,能够携带烟叶中其他挥发性致香物质以及添加的香气成分进入烟气,具有减轻刺激性和调和烟气的能力<sup>[9,12]</sup>。由表 2 可以看出,新植二烯占致香物质总量的 83.70% ~ 87.50%,平均为 85.19%,其中,上部叶以 L3 处理最高,中、下部叶以 CK 最高。各部位新植二烯含量均以 CK 最大,上、中、下部位遮荫处理烟叶新植二烯的平均含量为 1112.66, 1078.81, 1124.00 μg/g, 较 CK 分别降低 13.59%, 19.99%, 5.66%, 可见,遮荫处理降低了新植二烯的含量。另外,随着光强降低,新植二烯含量呈先降低后增加的趋势,主要原因可能是遮荫不利于成熟过中叶绿素的降解,从而导致烤后烟叶中叶绿素含量升高、新植二烯含量降低。

2.2.2 不同光强对烤后烟叶类胡萝卜素降解产物的影响 烟叶类胡萝卜素是烟叶重要的帖烯类化合物之一,其降解时因双键断裂的部位不同,产生近百种不同的致香物质,如 β-紫罗兰酮、β-大马酮、β-二氢大马酮、香叶基丙酮、二氢猕猴桃内酯、巨豆三烯酮等,它们的含量直接决定着烟叶的品质<sup>[7-10,13]</sup>,如 β-大马酮可增加烟叶花香,并增加香气浓度;法尼基丙酮具有甜味特征;巨豆三烯酮可增加烟叶的花香和木香特征,增加烟气的舒适口感;少量二氢猕猴桃内酯能消去烟气中的刺激感<sup>[7,12]</sup>。这些物质香气质量好,是烟叶重要的香气成分<sup>[9]</sup>。由表 2 可以

看出,类胡萝卜素降解产物占致香物质总量的比例为 5.06% ~ 6.50%, 平均为 5.57%, 其中,中、上部叶均以 L2 处理最大,下部叶以 L3 处理最大。在类胡萝卜素降解产物中,上部叶,除香叶基丙酮、法尼基丙酮含量以 L1 处理最高,巨豆三烯酮 4 种异构体以 L2 处理最高外,其他致香物质含量均以 CK 最高。中部叶,β-二氢大马酮、β-大马酮、螺岩兰草酮、巨豆三烯酮 4 种异构体含量均以 CK 处理最高;6-甲基-5-庚烯-2-酮、β-紫罗兰酮、法尼基丙酮含量均以 L1 处理最高;香叶基丙酮含量以 L2 处理最高;其他致香物质含量均以 L3 处理最高。下部叶,氧化异佛尔酮、β-二氢大马酮、β-大马酮、螺岩兰草酮、豆三

烯酮 4 种异构体含量均以 CK 处理最高,香叶基丙酮、β-紫罗兰酮、法尼基丙酮含量以 L1 处理最高,6-甲基-5-庚烯-2-酮、3-羟基-β-二氢大马酮含量均以 L2 处理最高,其他致香物质含量以 L3 处理最高。上、中、下部叶类胡萝卜素降解产物总量均以 CK 最高,3 个部位各遮荫处理的类胡萝卜素降解产物平均值分别为 77.19,71.65,72.08 μg/g,较 CK 分别降低 6.70%,8.08%,2.83%。说明遮荫影响类胡萝卜素的降解,不利于类胡萝卜素降解产物的提高,这与遮荫处理烤后烟叶中类胡萝卜素含量升高相一致。

表 2 不同光强处理对质体色素降解产物的影响

Tab. 2 The effects of different light intensities on the plastid pigment degraded products

μg/g

致香物质 Aroma constituents	上部叶 Upper leaves				中部叶 Middle leaves				下部叶 Lower leaves			
	CK	L1	L2	L3	CK	L1	L2	L3	CK	L1	L2	L3
6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-Me-5-hepten-2-dione	2.75	2.13	1.84	2.13	1.52	2.48	1.89	2.12	1.63	1.91	2.35	2.06
氧化异佛尔酮 Keto-isophorone	0.24	0.14	0.18	0.16	0.10	0.11	0.12	0.15	0.14	0.14	0.10	0.09
β-二氢大马酮 β-Dihydro damascenone	3.48	2.07	2.06	1.79	2.56	1.87	1.71	1.61	2.40	1.82	1.48	1.97
β-大马酮 β-Damascenone	25.41	21.93	24.82	22.95	30.43	23.61	24.32	26.50	29.32	27.27	28.79	27.73
香叶基丙酮 Neryl acetone	3.31	4.76	4.41	2.50	2.26	2.88	3.23	2.21	2.06	2.80	2.59	2.07
β-紫罗兰酮 β-ionone	0.66	0.50	0.55	0.44	0.37	0.53	0.48	0.42	0.36	0.50	0.42	0.32
二氢猕猴桃内酯 Dihydroactinidiolide	0.97	0.90	0.93	0.73	0.81	0.74	0.68	0.87	0.63	0.63	0.71	0.92
3-羟基-β-二氢大马酮 3-hydroxyl-β-damascenone	2.69	2.61	2.33	2.63	2.01	2.51	2.90	3.81	2.03	2.64	3.71	2.80
螺岩兰草酮 Vetiver ketone	2.27	1.48	1.15	1.60	2.47	2.04	1.24	1.60	2.49	1.96	1.74	1.97
法尼基丙酮 Farnesal acetone	22.75	24.73	22.36	18.12	17.80	19.36	18.68	18.90	17.91	18.92	17.96	18.91
巨豆三烯酮 1 Megastignone 1	2.14	2.16	2.39	1.91	1.77	1.60	1.63	1.75	1.56	1.47	1.40	1.53
巨豆三烯酮 2 Megastignone 2	5.65	6.75	7.33	5.53	5.81	4.70	4.85	5.23	4.91	3.86	4.04	4.46
巨豆三烯酮 3 Megastignone 3	1.60	1.80	1.94	1.55	1.69	1.40	1.36	1.48	1.31	1.20	1.17	1.16
巨豆三烯酮 4 Megastignone 4	8.61	8.54	8.78	7.99	8.34	6.72	6.98	7.71	7.43	5.99	5.75	6.83
类胡萝卜素降解物总量 (A) Carateno ids	82.53	80.48	81.08	70.02	77.95	70.56	70.07	74.33	74.18	71.09	72.22	72.94
新植二烯 (B) Neophytadiene	1 287.72	1 137.32	1 048.54	1 152.11	1 348.35	1 041.46	1 004.66	1 190.32	1 191.41	1 146.35	1 121.46	1 104.19
致香物质总量 (C) Total of aroma constituents	1 536.70	1 337.78	1 247.61	1 353.42	1 540.92	1 244.22	1 190.78	1 385.57	1 379.54	1 343.67	1 312.76	1 288.26
A 占 C 的比例/% Proportion of A to C	5.38	6.02	6.50	5.17	5.06	5.67	5.88	5.36	5.38	5.29	5.50	5.66
B 占 C 的比例/% Proportion of B to C	83.80	85.02	84.04	85.13	87.50	83.70	84.37	85.91	86.36	85.31	85.43	85.71

### 3 讨论

叶绿素作为绿色植物吸收光能和进行光能转化的主要物质,是烟草生长过程中烟叶进行碳氮代谢和物质形成的基础。光照强度对质体色素有很大的影响,有研究表明,随光强减弱,烟草叶片中叶绿素含量呈增加趋势<sup>[3]</sup>。在成熟调制过程中,叶绿素含量发生剧烈变化,先降解形成叶醇,再进一步脱水形成新植二烯和植物呋喃等产物,新植二烯占总香气量的 3/4,是一种烟草增香剂,具有捕集烟气中致香物质以及调和烟气的作用<sup>[9,15]</sup>。本研究结果表明,光强对叶绿素含量的影响很大,随着光照强度的降低,中、上部烤后烟叶叶绿素含量呈先增加后降低的

趋势,下部叶逐渐增加。各处理新植二烯占致香物质总量的 83.70% ~ 87.50%, 平均为 85.19%, 各部位叶新植二烯含量均以 CK 最高,并且随着光照强度的降低,中、上部叶新植二烯含量呈现先降低后稍有增加的趋势,下部叶呈逐渐降低的趋势,其变化趋势刚好与叶绿素含量变化相反。有研究表明,烤后烟叶新植二烯含量中有 80% ~ 85% 是由烟叶成熟过程中降解形成的<sup>[16]</sup>,而遮荫处理不利于烟叶落黄,不利于成熟过程中叶绿素的降解,所以虽然遮荫处理增加了鲜烟叶中叶绿素的含量,但其成熟过程中叶绿素降解量低,使得烤后烟叶中叶绿素含量升高,新植二烯含量降低。

类胡萝卜素是烤烟中多种挥发性致香物质的前

体物,其含量及其降解产物含量与烟叶的外观及内在品质密切相关。有研究认为,烤后烟叶中类胡萝卜素含量与烟叶品质成正比,因为类胡萝卜素可以在醇化过程中进一步降解,产生更多的致香物质<sup>[17]</sup>;也有研究认为二者成反比,原因是类胡萝卜素在调制过程中未得到充分降解,则烤后卷烟中香味不能够充分体现<sup>[18]</sup>。本研究结果表明,光强对烤烟类胡萝卜素及其降解产物的含量有明显影响,CK各部位类胡萝卜素含量最低,并且随着光照强度的降低,各部位烟叶类胡萝卜素呈先增后稍降的趋势。此外,CK各部位的 $\beta$ -大马酮、巨豆三烯酮含量也明显高于遮荫处理;CK各部位类胡萝卜素降解产物含量最高,遮荫处理各部位类胡萝卜素降解产物随光强降低无明显规律,上、中、下部位各遮荫处理总量的平均值较CK分别降低6.70%,8.08%,2.83%。这可能是遮荫处理有利于类胡萝卜素的积累,但不利于类胡萝卜素的降解,所以遮荫处理的烤后烟叶中类胡萝卜素的含量提高,其降解产物的含量降低。

遮荫处理有利于生育期间叶绿素及类胡萝卜素的大量积累,但如何能在成熟及调制过程中大量降解,及能否在醇化过程中充分降解为香气物质有待进一步研究。若要进一步研究光强对质体色素家族中各色素的增长及转变机制的影响,可以尝试通过高效液相色谱法测定各色素的绝对含量,或者从分子角度结合光系统各色素位点进行阐述。

## 4 结论

综合分析表明,遮荫处理的各部位烤后烟叶中叶绿素、类胡萝卜素含量均高于100%自然光照,遮荫处理有利于各部位叶绿素、类胡萝卜素含量的积累;各遮荫处理的新植二烯及类胡萝卜素降解产物总含量均低于100%自然光照处理,且中、上部叶新植二烯含量随光强降低呈先降低后增加的趋势,下部叶随光强降低而降低。不同生态地区的光照条件有很大的差异,在优质烟叶生产开发过程中,需要选择光照充足、光强不宜过低的地区,同时在大田生产中不宜选择容易被高山高树遮荫的地块进行烟叶生产,以确保烤烟在生长过程中能够获取充足的光照资源,促进烤烟品质的形成。

## 参考文献:

- [1] 吴能表,谈锋,肖文娟,等.光强因子对少花桂幼苗形态和生理指标及精油含量的影响[J].生态学报,2005,25(5):1159-1164.
- [2] 刘国顺.烟草栽培学[M].北京:中国农业出版社,2003:70-74.
- [3] 刘国顺,乔新荣,王芳,等.光照强度对烤烟光合特性及其生长和品质的影响[J].西北植物学报,2007,27(9):1833-1837.
- [4] 杨兴有,刘国顺,伍仁军,等.不同生育期降低光强对烟草生长发育和品质的影响[J].生态学杂志,2007,26(7):1014-1020.
- [5] 云菲,刘国顺,史宏志,等.光氮互作对烤烟叶片光合色素及荧光特性的影响[J].中国烟草学报,2010,16(4):44-50.
- [6] 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.
- [7] 左天觉,朱尊权.烟草的生产、生理和生物化学[M].上海:上海远东出版社,1993.
- [8] 杨伟祖,谢刚,王保兴,等.烟草中类胡萝卜素的热裂解产物的研究[J].色谱,2006,24(6):611-614.
- [9] 史宏志,刘国顺.烟草香味学[M].北京:中国农业出版社,2011.
- [10] 韦风杰,王芳,刘国顺,等.烤烟叶片发育过程中类胡萝卜素组分含量变化研究[J].河南农业大学学报,2006,40(6):588-591.
- [11] 刘洪华,赵铭钦,王付峰,等.有机无机肥配施对烤烟质体色素及降解产物的影响[J].中国烟草科学,2010,31(5):38-42.
- [12] 叶协峰,张春华,刘国顺,等.不同氮磷钾肥配施对烤烟质体色素及其降解产物含量的影响[J].华北农学报,2011,26(4):178-183.
- [13] 王勇,吴树成,赵俊杰,等.不同基因型烤烟不同肥力下中性致香物质含量比较分析[J].河南农业科学,2011,40(8):98-103.
- [14] 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.
- [15] 王瑞新.烟草化学[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [16] 过伟民,尹启生,宋纪真.烟草质体色素及其降解产物影响因素研究进展[J].华北农学报,2008,23(增刊):358-362.
- [17] 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):9-22.
- [18] Roberts D L, Rode W A. Isolation and identification of flavor components of burley tobacco [J]. Tobacco Science, 1972, 16: 107-112.