

## 烘烤过程中不同部位烟叶颜色值和主要化学成分的变化

王涛<sup>1</sup>, 贺帆<sup>1</sup>, 詹军<sup>2</sup>, 霍开玲<sup>3</sup>, 赵华武<sup>1</sup>, 王梅<sup>1</sup>, 宫长荣<sup>1\*</sup>

(1.河南农业大学 烟草学院, 河南 郑州 450002; 2.云南瑞升烟草技术(集团)有限公司, 云南 昆明 650106; 3.陕西中烟工业有限责任公司 澄城卷烟厂, 陕西 渭南 714000)

**摘 要:**为优化烤烟密集烘烤技术,实现烟叶烘烤进程的精准化和智能化控制,以中烟 100 下部叶、中部叶和上部叶为试验材料,研究了密集烘烤过程中不同部位烟叶亮度值( $L^*$ )、红度值( $a^*$ )、黄度值( $b^*$ )、彩度值( $C^*$ )、色相角( $H$ )与主要化学成分变化的关系。结果表明:密集烘烤过程中 3 个部位的烟叶各颜色值变化趋势基本一致,开始烘烤至 42 °C 变化最为显著,但上部叶各颜色值变化较中部叶和下部叶滞后;不同部位烟叶颜色值与主要化学成分相关性差异较大,其中总酚含量与各颜色值的相关性均不显著,但还原糖和色素类物质与各颜色值的相关性较好;中部叶还原糖含量与  $L^*$  值和  $a^*$  值呈极显著正相关,与  $b^*$  值和  $C^*$  值呈显著正相关,与  $H$  值呈极显著负相关;下部叶和中部叶叶绿素 a 含量和叶绿素总量、中部叶叶绿素 b 含量与  $b^*$  值和  $C^*$  值呈显著相关,与  $a^*$  值和  $H$  值呈极显著相关;上部叶叶绿素类物质含量只与  $a^*$  值和  $H$  值极显著相关;下部叶和上部叶类胡萝卜素含量与  $a^*$  值呈显著负相关,中部叶类胡萝卜素含量则与  $a^*$  值呈极显著负相关,中部和上部叶的类胡萝卜素含量与  $H$  值呈极显著正相关,下部叶的与其呈显著正相关;只有中部叶类胡萝卜素含量与  $L^*$  值呈显著负相关。

**关 键 词:**烤烟;部位;颜色值;化学成分

中图分类号:TS44+1

文献标志码:A

文章编号:1007-1032(2012)02-0125-06

## Color parameters and chemical components in different leaf positions of flue-cured tobacco leaves during bulk curing process

WANG Tao<sup>1</sup>, HE Fan<sup>1</sup>, ZHAN Jun<sup>2</sup>, HUO Kai-ling<sup>3</sup>, ZHAO Hua-wu<sup>1</sup>, WANG Mei<sup>1</sup>, GONG Chang-rong<sup>1\*</sup>

(1.College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 2.Yunnan Reacend Tobacco Technology(Group)Co. Ltd.,Kunming 650106, China; 3.China Tobacco Shanxi Industrial, Co., Ltd., Weinan,Shanxi 714000, China )

**Abstract:** The changes of color parameters including lightness value( $L^*$ ), redness value( $a^*$ ), yellowness value( $b^*$ ), Chroma value( $C^*$ )and Hue Angle ( $H$ ), the changes of chemical components and the relationship between color parameters and chemical components in lower, middle and upper leaves of flue-cured tobacco during bulk curing process were investigated to provide theoretical basis for optimizing the curing technology and for controlling the curing process precisely and intelligently. Results showed that, the color parameters in different positions of the flue-cured tobacco showed a consistent changing pattern, from the beginning of the curing process to the time when the temperature reached 42 °C, the color parameters in the leaf changed most remarkably, but the changes of upper leaf were slower than that of the middle and lower leaves. The correlations between color parameters and chemical components were quite different among different leaf positions. There was no significant correlation between color parameters and total phenols, but there were good correlations between color parameters and reducing sugar and pigments. Reducing sugar in middle leaves had significant positive correlations with  $L^*$  and  $a^*$ , significant positive correlation with  $b^*$  and  $C^*$  and significant negative

收稿日期:2011-10-10

基金项目:国家烟草专卖局重大科技项目(TS-01-2011006);国家烟草专卖局资助项目(3300806156)

作者简介:王涛(1988—),男,山东临沂人,硕士研究生,主要从事烟叶调制研究,yctzwangtao@126.com;\*通信作者,gongchr009@126.com

correlation with  $H$ . Chlorophyll-a and chlorophyll in lower and middle leaves and chlorophyll-b in middle leaves were significantly correlated to  $b^*$  and  $C^*$ , very significantly correlated to  $a^*$  and  $H$ . Chlorophyll in upper leaves had significant correlation with  $a^*$  and  $H$ . Carotenoid of lower and upper leaves showed significant negative correlation with  $a^*$ , in middle leaves showed very significant negative correlation with  $a^*$ , in middle and upper leaves showed significant positive correlation with  $H$ , in lower leaves showed significant positive correlation with  $H$ , and in middle leaves showed significant negative correlation with  $L^*$ .

**Key words:** flue-cured tobacco; leaf position; color parameters; chemical components

密集烤房烘烤烟叶常常需要根据烟叶外观的变化来进行操作,主观性较强。烟叶在烘烤过程中会发生一系列的物理和生理生化变化,其中颜色变化是最明显、最直观的<sup>[1]</sup>。刘新民<sup>[2]</sup>、裴新辉<sup>[3]</sup>、霍开玲等<sup>[4]</sup>认为烟叶的颜色值与主要化学成分的相关性较好,基本能反映烟叶的内在质量特征,可以作为辅助指标来判断烟叶成熟度。近年来,透射图像<sup>[5]</sup>、计算机图像处理<sup>[6]</sup>、MATLAB<sup>[7]</sup>等技术也不断用于提取烟叶颜色特征值,获取烟叶内在的质量信息,进行烟叶分组、分级和烤烟鲜烟叶含水量的无损检测。目前,关于烘烤过程中不同部位烟叶颜色值的变化规律及其与碳水化合物、色素等化学成分关系的研究较少。笔者采用WSC-2型色差计测量烟叶的颜色特征值,对烘烤过程中下部叶、中部叶与上部叶的颜色特征值及烟叶主要化学成分的变化进行研究,旨在为实现烟叶烘烤进程的精准化和智能化控制提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试烤烟与主要仪器设备

供试烤烟品种为中烟100,以下部叶(第4~6位叶)、中部叶(第10~12位叶)、上部叶(第16~18位叶)为试验材料;烘烤设备采用河南农业大学设计的电热式温湿自控密集烤烟箱,装烟密度为 $70 \text{ kg/m}^3$ ;采用北京光学仪器厂生产的WSC-2型色差计测量烟叶的颜色值。

### 1.2 试验设计

试验于2008—2009年在河南省襄县王洛乡阎寨村进行。土壤为褐土,肥力中等。烤烟于2008年5月5日移栽,种植行距120 cm,株距50 cm。

取样前选取大田烟株长势、叶色、叶片大小、素质基本一致,有典型“中棵烟”特征的烟株进行挂牌,烟叶成熟时参照文献[1]中的标准按叶位单叶采收,以避免样品间差异过大。采收烟叶按三段式烘烤工艺进行烘烤。分别于烟叶烘烤的关键温度点取样(鲜样;干球 $38^\circ\text{C}$ ,湿球 $36^\circ\text{C}$ ;干球 $42^\circ\text{C}$ ,湿球 $37^\circ\text{C}$ ;干球 $48^\circ\text{C}$ ,湿球 $38^\circ\text{C}$ ;干球 $54^\circ\text{C}$ ,湿球 $39^\circ\text{C}$ ;烤后样)。挑选30片大小、颜色具有代表性的完整烟叶,将其均分成2份,一份用于叶片颜色值测定;另一份切去叶尖和叶基部后于烘箱中 $105^\circ\text{C}$ 杀青5 min, $60^\circ\text{C}$ 烘干、粉碎,过0.25 mm孔径筛,用于主要化学成分的测定。重复3次。

### 1.3 测定项目与方法

选择大小和外观色泽基本一致的烟叶15片,每片叶取叶中部分测量距离叶主脉约5 cm处对称点的叶色,每半片叶等距离测量3个点,每片叶6个点的平均值为此叶片的色差值,重复15次;分别测得烟叶的亮度值( $L^*$ )、红度值( $a^*$ )和黄度值( $b^*$ ),并计算彩度值( $C^*$ )和色相角( $H$ )。计算公式为: $C^* = ((a^*)^2 + (b^*)^2)^{1/2}$ ;  $H = \arctan(b^*/a^*)$ 。还原糖、总糖、淀粉、总氮和总酚含量的测定参照文献[8]中的方法。叶绿素、类胡萝卜素含量的测定采用分光光度法<sup>[9]</sup>。

### 1.4 数据处理

采用Excel 2003和SPSS 17.0进行数据处理;采用LSD法进行多重比较分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 烘烤过程中不同部位烟叶的颜色值

由表1可知,不同部位鲜烟叶 $L^*$ 、 $a^*$ 和 $C^*$ 值

均表现为上部叶最大,中部叶最小, $H$  值则相反; $b^*$  值以下部叶最大,中部叶最小。不同部位烤后烟叶  $L^*$ 、 $H$  值均表现为下部叶最大,上部叶最小, $a^*$ 、 $b^*$  和  $C^*$  值则相反。烘烤过程中各部位烟叶各颜色值的变化趋势基本一致,变化最显著的阶段均出现在鲜样至  $42\text{ }^\circ\text{C}$ ,但上部叶各颜色值变化较中部叶和下部叶滞后。

烘烤过程中各部位烟叶  $L^*$  和  $b^*$  值均呈先增大后下降而后略有上升的趋势,其中,下部叶和中部叶  $L^*$  值在  $42\text{ }^\circ\text{C}$  时最大,上部叶在  $48\text{ }^\circ\text{C}$  时最大,且与中部叶差异显著。下部叶  $b^*$  值在  $48\text{ }^\circ\text{C}$  时最大,与中部叶差异极显著;中部叶和上部叶最大值出现在  $42\text{ }^\circ\text{C}$ ,与下部叶均无显著差异。烘烤过程中下

部叶与中部叶  $a^*$  值先增大而后略有下降,上部叶则一直呈增大趋势,其中,下部叶  $a^*$  值在  $42\text{ }^\circ\text{C}$  时最大,中部叶在  $48\text{ }^\circ\text{C}$  时最大,上部叶在烤后时最大,且两两之间差异显著。

烘烤过程中各部位烟叶  $C^*$  值呈先增大后下降而后略有上升的趋势。下部叶和中部叶  $C^*$  值最大值均出现在  $42\text{ }^\circ\text{C}$ ,且与上部叶差异均不显著。上部叶  $C^*$  值在  $48\text{ }^\circ\text{C}$  时最大,与中部叶差异显著。烘烤过程中下部叶与中部叶  $H$  值呈先下降而后略有增大的趋势,上部叶  $H$  值基本上呈逐渐下降的趋势。下部叶  $H$  值在  $42\text{ }^\circ\text{C}$  最小,中部叶在  $48\text{ }^\circ\text{C}$  最小,而上部叶在烤后最小。

表 1 烘烤过程中不同部位烟叶的颜色值

Table 1 Color parameters change in different positions of tobacco leaves during curing

样品	烟叶部位	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*$	$H$
鲜样	下部	48.41ABab	-7.21Cc	39.39Aa	33.00Bb	102.62Cc
	中部	44.89Bb	-9.89Bb	28.92Cc	30.56Bc	108.89Aa
	上部	53.58Aa	-3.52Aa	32.20Bb	39.54Aa	95.10Bb
$38\text{ }^\circ\text{C}$ 样	下部	62.07Aa	-3.65Cc	47.15Aa	46.12Aab	94.54Aa
	中部	58.11Bb	-0.46Bb	45.64Ab	45.64Ab	90.57Bb
	上部	58.23Bb	0.04Aa	45.98Aab	47.15Aa	89.95Bb
$42\text{ }^\circ\text{C}$ 样	下部	67.68Aa	6.30Bb	48.71	50.95	82.89
	中部	63.80Bb	8.56Aa	49.64	50.38	80.21
	上部	63.44Bb	8.57Aa	50.55	49.46	80.03
$48\text{ }^\circ\text{C}$ 样	下部	64.07Aa	5.28Cc	49.57Aa	48.86Aab	83.79Aa
	中部	61.90Ab	11.16Aa	46.97Bb	48.27Ab	76.64Bb
	上部	63.87Aab	8.19Bb	48.57Aab	50.24Aa	80.62ABa
$54\text{ }^\circ\text{C}$ 样	下部	64.96Aa	3.41 Bb	44.11	46.16	85.76Aa
	中部	59.27Ab	10.17Aa	44.33	45.48	77.08Bb
	上部	59.23Ab	9.77Aa	46.04	45.17	77.52Bb
烤后样	下部	65.70Aa	3.40Cc	45.14	46.21	85.78Aa
	中部	62.76Bb	9.90Bb	45.20	46.27	77.65Bb
	上部	59.55Bc	11.79Aa	46.09	46.65	75.36Bb

## 2.2 烘烤过程中不同部位烟叶的主要化学成分

由表 2 可知,不同部位烟叶烘烤过程中主要化学成分的变化规律基本一致。随着烘烤的进行,总酚含量在  $42\text{ }^\circ\text{C}$  之前缓慢上升,然后下降, $47\text{ }^\circ\text{C}$  后逐渐上升至烘烤结束。下部叶和中部叶总氮含量随烘

烤的进行逐渐降低,而上部叶在  $42\sim 47\text{ }^\circ\text{C}$  有缓慢上升趋势,而后继续下降。淀粉、叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总量和类胡萝卜素含量则均呈现逐步下降的趋势,且均在  $42\text{ }^\circ\text{C}$  之前急剧减少, $42\text{ }^\circ\text{C}$  之后降解速度趋缓,至烘烤结束时降至最低值。总糖和还原糖

含量随着淀粉的降解一直增加, 42 °C 之后淀粉降解缓慢, 两糖含量增加速率也逐渐减慢。

表 2 烘烤过程中不同部位烟叶主要化学成分的含量

Table 2 Contents of chemical components in different positions of tobacco leaves during curing

烟叶部位	样品	总酚 /%	总氮 /%	淀粉 /%	总糖 /%	还原糖 /%	叶绿素 a /(mg·g <sup>-1</sup> )	叶绿素 b /(mg·g <sup>-1</sup> )	叶绿素总量 /(mg·g <sup>-1</sup> )	类胡萝卜素 /(mg·g <sup>-1</sup> )
下部	鲜样	1.32	1.82	23.80	9.30	7.07	0.26	0.08	0.34	0.23
	38 °C 样	1.72	1.71	19.21	14.02	13.58	0.15	0.05	0.20	0.20
	42 °C 样	2.25	1.62	12.09	20.21	17.80	0.05	0.03	0.08	0.13
	47 °C 样	1.59	1.52	7.18	26.11	20.67	0.04	0.02	0.06	0.14
	54 °C 样	2.16	1.42	6.37	27.97	21.59	0.03	0.01	0.04	0.11
	烤后样	2.31	1.22	4.95	29.26	21.86	0.02	0.01	0.03	0.09
	中部	鲜样	1.71	2.23	21.08	8.06	6.52	0.32	0.11	0.43
38 °C 样		2.08	2.03	18.47	15.45	15.12	0.18	0.05	0.23	0.18
42 °C 样		2.17	1.82	13.43	21.57	20.29	0.09	0.02	0.11	0.14
47 °C 样		1.81	1.72	10.80	24.62	20.66	0.06	0.02	0.08	0.13
54 °C 样		2.25	1.72	8.55	26.24	21.96	0.05	0.01	0.06	0.13
烤后样		2.28	1.52	4.55	28.49	22.75	0.02	0.01	0.04	0.10
上部		鲜样	1.92	2.28	26.55	8.45	6.60	0.24	0.10	0.33
	38 °C 样	2.47	2.05	17.68	19.22	16.99	0.19	0.07	0.25	0.18
	42 °C 样	2.68	1.88	11.90	25.26	21.45	0.10	0.04	0.14	0.16
	47 °C 样	2.03	1.97	7.44	28.44	23.04	0.06	0.03	0.09	0.15
	54 °C 样	2.75	1.71	6.40	29.75	25.13	0.07	0.02	0.09	0.13
	烤后样	2.87	1.68	5.31	29.85	25.59	0.02	0.02	0.04	0.11

### 2.3 不同部位烟叶颜色值与主要化学成分的相关性

由表 3 可知, 不同部位烟叶颜色值与主要化学成分相关性的差异较大。总酚、总氮含量与烟叶各颜色值的相关性较差, 只有中部叶和上部叶的总氮含量与  $a^*$  值和  $H$  值呈极显著相关。淀粉含量与下部叶、中部叶  $a^*$  值呈显著负相关, 与  $H$  值呈显著正相关, 与其他各颜色值的相关性不显著, 上部叶的淀粉含量则与  $a^*$  值呈极显著负相关, 与  $H$  值呈极显著正相关。总糖含量与中部叶  $L^*$  值呈显著正相关, 与中部叶和上部叶  $a^*$  值呈极显著正相关, 与下部叶  $a^*$  值呈显著相关, 与中部叶和上部叶  $H$  值呈极显著负相关, 与下部叶  $H$  值呈显著负相关。中部叶还原糖含量与  $L^*$  值、 $a^*$  值均呈极显著正相关, 与  $b^*$  值和  $C^*$  值呈显著正相关; 下部叶还原糖含量与  $a^*$  值和  $L^*$  值呈显著正相关; 上部叶还原糖含量与  $a^*$  值呈极显著正相关; 3 个部位烟叶还原糖含量均与  $H$  值呈极显著负相关。

烘烤中烤烟颜色变化是叶片内各种色素比例变化所表现出来的综合结果<sup>[10]</sup>。相关分析表明, 烟叶各颜色值与色素含量的相关性以下部叶和中部叶较好, 其中, 叶绿素 a 含量与各部位烟叶  $L^*$  值和  $a^*$  值呈极显著负相关, 与  $H$  值呈极显著正相关; 叶绿素 b 含量与下部叶  $L^*$  值和  $a^*$  值呈显著负相关, 与  $H$  值呈显著正相关, 与中部叶  $L^*$ 、 $a^*$  和  $H$  值呈极显著相关, 与  $b^*$  和  $C^*$  呈显著相关, 与上部叶  $a^*$  和  $H$  值呈极显著相关。下部叶和中部叶中的叶绿素总量和中部叶叶绿素 b 含量与  $b^*$  值和  $C^*$  值呈显著相关, 与  $a^*$  值和  $H$  值呈极显著相关; 上部叶叶绿素类物质只与  $a^*$  值和  $H$  值呈极显著相关。下部叶和上部叶类胡萝卜素含量与  $a^*$  值呈显著负相关, 中部叶的与  $a^*$  值呈极显著负相关; 中部和上部叶的类胡萝卜素与  $H$  值呈极显著正相关, 下部叶的与其呈显著正相关; 只有中部叶类胡萝卜素与  $L^*$  值呈显著负相关。

表 3 烘烤过程中不同部位烟叶颜色值与主要化学成分含量的相关性

烟叶部位	颜色值	相关系数								
		总酚	总氮	淀粉	总糖	还原糖	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素总量	类胡萝卜素
下部	<i>L</i> *	0.811	-0.661	-0.792	0.762	0.879*	-0.924**	-0.868*	-0.914*	-0.811
	<i>a</i> *	0.704	-0.660	-0.872*	0.831*	0.889*	-0.938**	-0.876*	-0.927**	-0.877*
	<i>b</i> *	0.666	-0.506	-0.698	0.657	0.802	-0.857*	-0.785	-0.844*	-0.686
	<i>C</i> *	0.660	-0.493	-0.691	0.649	0.795	-0.852*	-0.776	-0.838*	-0.680
	<i>H</i>	-0.733	0.693	0.890*	-0.854*	-0.925**	0.967**	0.912*	0.958**	0.887*
中部	<i>L</i> *	0.670	-0.832*	-0.726	0.856*	0.936**	-0.917**	-0.951**	-0.928**	-0.857*
	<i>a</i> *	0.604	-0.924**	-0.873*	0.964**	0.983**	-0.982**	-0.988**	-0.986**	-0.934**
	<i>b</i> *	0.626	-0.694	-0.568	0.743	0.863*	-0.831*	-0.895*	-0.849*	-0.721
	<i>C</i> *	0.618	-0.722	-0.600	0.771	0.883*	-0.854*	-0.914*	-0.871*	-0.750
	<i>H</i>	-0.649	0.918**	0.859*	-0.961**	-0.991**	0.987**	0.998**	0.992**	0.925**
上部	<i>L</i> *	0.286	-0.524	-0.727	0.769	0.748	-0.712	-0.719	-0.717	-0.720
	<i>a</i> *	0.681	-0.936**	-0.965**	0.958**	0.950**	-0.988**	-0.973**	-0.988**	-0.909*
	<i>b</i> *	0.237	-0.373	-0.581	0.641	0.639	-0.524	-0.556	-0.535	-0.663
	<i>C</i> *	0.326	-0.488	-0.681	0.732	0.730	-0.635	-0.658	-0.644	-0.748
	<i>H</i>	-0.709	0.954**	0.970**	-0.963**	-0.959**	0.985**	0.978**	0.987**	0.921**

### 3 结论与讨论

不同部位鲜烟叶的组织结构和内在大分子物质积累程度各不相同<sup>[11-12]</sup>；因此，在烘烤过程中对环境温、湿度的响应也不相同，进而烟叶颜色变化也存在较大差异。本研究结果表明，密集烘烤过程中下部叶、中部叶和上部叶颜色值的变化趋势基本一致，但上部叶各颜色值变化较中部叶和下部叶滞后；各颜色值的变化主要集中在变黄期，进入定色期后变化幅度趋缓，烟叶颜色基本固定，这主要是因为烘烤过程中随着叶绿素的降解，类胡萝卜素类色素比例增大，烟叶的黄色和橘色度明显增加<sup>[13]</sup>。变黄期是淀粉和色素等大分子物质降解的关键期<sup>[14]</sup>，48 °C 之后叶绿素、类胡萝卜素含量趋于稳定，影响烟叶颜色的糖或多酚的深色复合体转化基本稳定<sup>[15-16]</sup>。

鲜烟叶各部位颜色值差异较大，从成熟采收理论分析，主要是因为下部叶要求适熟早采，中部叶要求成熟采收，上部叶则要求成分成熟采收<sup>[17]</sup>，烟叶外观颜色存在明显差异。下部叶烤后烟叶颜色较

中部叶与上部叶鲜亮，但颜色较淡，多为柠檬色；上部叶烤后烟叶颜色相对黯淡。烟叶在烘烤过程中外观颜色的变化是烟叶内含物的转化和分解等生理生化变化的外在表现。烟叶由青转黄的程度，反映了叶内淀粉、蛋白质和色素类物质转化的进程，进入定色期后叶片颜色固定，大分子物质的分解转化也逐渐停止<sup>[17]</sup>。相关分析表明，不同部位烟叶颜色值与主要化学成分的相关性差异较大，各颜色值与总酚、总氮和碳水化合物的相关性以中部叶最好，与色素类物质的相关性以下部叶和中部叶较好，与文献[4]、[18]的研究结果略有差异，可能是由所选取的烟叶样品以及烘烤方式的差异所导致的。

密集烤房作为现代烟草农业建设的重要基础设施，其带来的效益日渐突出。在现代农业大氛围下，智能化和精准化烘烤是密集烤房设备及其烘烤技术发展的方向。本研究结果表明，采用色差计可以快速定量烘烤过程中烟叶的颜色值变化，进而通过烟叶颜色值的变化来定量反映碳水化合物与色素类物质的变化规律，作为智能化和精准化烘烤的辅助指标。

## 参考文献:

- [1] 宫长荣. 密集式烘烤[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 11-20.
- [2] 刘新明. 颜色量化分析在烤烟品质评价中的应用研究[D]. 青岛: 中国农业科学院烟草研究所, 2004.
- [3] 裴新辉, 易建华, 周清明, 等. 同部位不同等级烤烟的色泽和化学成分及其关系[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2008, 34(1): 39-43.
- [4] 霍开玲, 宋朝鹏, 武圣江, 等. 不同成熟度烟叶烘烤中颜色值和色素含量的变化[J]. 中国农业科学, 2011, 44(10): 2013-2021.
- [5] 刘立波, 贺立源, 马文杰, 等. 透射图像颜色特征在烟叶识别中应用的探索[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 169-171.
- [6] 魏春阳, 张云鹤, 宋瑜冰, 等. 基于颜色分形的不同产地烟叶聚类分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(8): 178-183.
- [7] 甘露萍, 谢守勇, 邹大军. 基于计算机视觉的烤烟鲜烟叶含水量无损检测及 MATLAB 实现[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2009, 31(7): 166-170.
- [8] 王瑞新, 韩富根, 杨素琴, 等. 烟草化学品质分析[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1998.
- [9] 邹琦. 植物生理生化实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 31-39.
- [10] 朱书香, 杨建民, 王中华, 等. 4 种李属彩叶植物色素含量与叶色参数的关系[J]. 西北植物学报, 2009, 29(8): 1663-1669.
- [11] 王瑞, 刘国顺, 倪国仕, 等. 种植密度对烤烟不同部位叶片光合特性及其同化物积累的影响[J]. 作物学报, 2009, 35(12): 2288-2295.
- [12] 黄勇, 周冀衡, 刘建利, 等. 不同部位烟叶海绵与栅栏细胞中主要化学成分研究[J]. 中国农业科学, 2007, 40(10): 2289-2295.
- [13] 宫长荣, 周义和, 杨焕文. 烤烟三段式烘烤导论[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 174-185.
- [14] 李春艳, 聂荣邦. 烟叶烘烤过程中部分化学成分的动态变化研究进展[J]. 作物研究, 2005, 19(5): 312-313.
- [15] 宫长荣, 袁红涛, 陈江华. 烤烟烘烤过程中烟叶淀粉酶活性变化及色素降解规律的研究[J]. 中国烟草学报, 2002, 8(2): 16-20.
- [16] 宫长荣, 陈江华, 吴洪田, 等. 密集烤房[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 212-242.
- [17] 宫长荣. 烟叶烘烤原理[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 143-144.
- [18] 霍开玲, 张勇刚, 樊军辉, 等. 密集烘烤中烤烟颜色变化及其与主要成分的关系研究[J]. 湖南农业科学, 2011(9): 115-119.

责任编辑: 杨盛强