

LED 茶叶色选灯光源光谱的应用研究

甘汝婷¹ 郭震宁¹ 林介本^{1,2} 王标铭² 廖炫¹

¹华侨大学信息科学与工程学院, 福建 厦门 361021

²福建泉州世光照明科技有限公司, 福建 泉州 362302

摘要 基于光与物质相互作用的原理及农产品的基本光特性, 研究了一款用于铁观音茶叶和杂质分选的 LED 茶叶色选灯光源, 并对其光谱进行了研究和设计。通过测试茶叶和杂质的反射光谱, 在可见光谱范围内, 将茶叶与杂质相对反射率差值较大时对应的光波长作为选择 LED 光源的峰值波长, 利用多色 LED 组合对茶叶色选灯光源光谱进行匹配, LED 组合光源的数量比例由各个峰值波长处对应的茶叶和杂质的相对反射率差值的比例决定。结果表明, 该 LED 茶叶色选灯光源具有高光效特性, 寿命长, 能提高茶叶与杂质的对比度及茶叶的加工效率, 有利于茶叶的挑选加工; 为后续用于其他茶叶色选的新型 LED 茶叶色选灯光源的开发及特殊照明用 LED 光源光谱的设计奠定了基础。

关键词 光学器件; LED; 茶叶色选; 光源; 光谱; 反射率差

中图分类号 TN383

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP52.052301

Application Research on LED-Based Tea Color Sorter Light Source Spectrum

Gan Ruting¹ Guo Zhenning¹ Lin Jieben^{1,2} Wang Biaoming² Liao Xuan¹

¹College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen, Fujian 361021, China

²Fujian Quanzhou SIGOLED Lighting Technology Co., Ltd, Quanzhou, Fujian 362302, China

Abstract Based on the principle of light and matter interaction and the basic optical characteristics of agricultural products, a model for LED tea color sorter light source is studied to sort Tieguanyin tea and impurities, and the light source spectrum is studied and designed. By testing the spectral reflectance of the tea and impurities, the wavelength at which the tea and impurities have the maximum reflectivity difference is chosen as the peak wavelength of LED light sources in the range of visible light. The combination of multicolor LEDs is used to match the spectra of tea color sorter light source, and the numerical ratio of combinational LED light sources is decided by the proportion of relative reflectivity difference between tea and impurities at each corresponding peak wavelength. The results show that the tea color sorter light source can improve the processing efficiency of tea sorting and enlarge the contrast between tea and impurities with higher luminous efficiency characteristics and long lifetime, and it is beneficial to the sorter process of tea. Therefore, the study lays foundation for subsequent development of new LED tea color sorter light sources used for other tea color sorting and spectral design for special LED-based light sources.

Key words optical devices; LED; tea color sorter; light source; spectrum; reflectivity difference

OCIS codes 230.3670; 150.2945; 300.6170; 230.0250

1 引言

茶叶作为传统的天然饮料, 一直受到世人的欢迎。随着人们生活水平的逐步提高, 人们对茶叶质量的要求日益严格, 茶叶企业为了提高茶叶的质量不得不对茶叶做进一步加工。因为茶叶从采集到加工成品, 还有其他杂质混在里面, 制作好的茶叶中还存在着红粒、赤片和茶梗等成分, 所以需要进一步拣剔这些杂质, 最终加工得到成品。目前茶区主要依赖人工进行茶叶的拣剔作业, 而当前的茶区劳动力越来越紧张, 拣

收稿日期: 2014-10-20; 收到修改稿日期: 2014-12-12; 网络出版日期: 2015-04-28

基金项目: 福建省科技计划重点项目(2013I0004)、光传输与变换福建省重点实验室开放课题(2014201)

作者简介: 甘汝婷(1988—), 女, 硕士研究生, 主要从事 LED 特种照明应用方面的研究。E-mail: ganrutingmm@163.com

导师简介: 郭震宁(1958—), 男, 博士, 教授, 主要从事光电子材料与器件、半导体照明技术等方面的研究。

E-mail: znguo@hqu.edu.cn(通信联系人)

剔作业已成为制约茶叶加工的瓶颈之一^[1]。茶叶的加工质量最终决定茶叶产品的高度,所以茶叶加工中拣梗去杂是费工、费时且又非常关键的工序,拣剔作业已是茶叶精制中质量与成本控制的瓶颈环节。茶叶色选机的出现,很好地解决了名优茶拣梗难的问题。但由于机械性能等原因,阶梯式拣梗机、静电拣梗机等常规设备的拣剔效果并不理想。如功夫红茶通过多次机拣、静拣,仍需手拣予以辅助,人工拣剔比机械拣剔的效果要好^[2-3]。另外,我国茶区也从日本和韩国等地引进茶叶色选机用于名优茶和高档绿茶等的拣剔作业,但这些茶叶色选机价格昂贵,只适用于工业加工,只有一小部分企业或者较大的茶叶加工基地才有能力购买这些设备。所以,研制开发一种能够让所有的企业包括茶农用得起、质量有保障、具有高性价比的茶叶色选光源是一种趋势,也具有重要的科研意义和经济价值。

随着光电技术的发展,发光二极管(LED)发光效率不断提高,具有单色性好、体积小、寿命长、能量消耗低、使用直流电、发热量低和控制灵活等特点,使其在植物栽培、医疗、机器视觉等特殊照明领域的研究受到广泛关注^[4-8]。LED在茶叶方面的应用主要是鉴别茶叶质量的好坏,区分茶叶的种类,判定茶叶的分级及作为茶叶色选机光学系统中的光源^[9-11],而将LED作为茶叶色选用光源进行照明的应用还比较少见。因此,根据LED的光电特性及光与物质相互作用的原理,研制开发一款茶叶色选灯用LED光源供茶农拣剔茶叶将具有重要的应用价值和经济意义。

本文基于光与物质相互作用的原理,通过实际测试铁观音茶叶、茶梗及其杂质的反射光谱,提出了LED茶叶色选灯光源配比选择的依据及相应峰值波长的光源的数值比例,开发了一款LED茶叶色选灯光源,提高了茶叶与其他杂质的分辨率,为后续用于其他茶叶色选的LED茶叶色选灯具及特殊照明用LED光源灯具的开发奠定了研究基础。

2 色选原理

农产品的光反射与光透射特性是农产品的基本光学特性,反映出光与农产品相互作用的基本规律。各类农产品的光学特性不同,同一种类而品质不同的农产品其光学特性往往也存在差异^[12]。对茶叶而言,茶叶与茶梗的颜色不同,合格的叶条与品质较差的老叶、黄叶在颜色方面也有明显差别。因此,颜色是茶叶具有较强选择性的物理特征之一。茶叶的颜色与其反射、吸收和透射等光学特性有关,原子和分子的种类与结构的差别,决定了叶与梗有不同的光学特性^[13]。茶叶的颜色分为绿色、浅绿色、灰黑色、浅红色、黄色,又被称为绿色正品茶叶、红粒次品茶叶和赤片次品茶叶。通过对茶物料中合格品及杂质的光谱特性分析,并根据茶物料平均色泽,利用特定光谱特性的光源,使合格品与杂质的反射光谱有较大差异,以区分接受物和剔除物。色选光学系统的设计还需建立在对被测物料光学特性透彻了解的基础之上。一般情况下,设计前需进行检测实验,测出合格品与疵品的光谱特性曲线,并进行分析。如果在某段光谱($\lambda_1 \sim \lambda_2$)中,合格品与疵品反射光(或透射光、激发的荧光等)强度值存在明显的差异,则该段光谱($\lambda_1 \sim \lambda_2$)可用作光学检测分选。这种采用一段光谱对物料进行检测分选的方法,称为单色光检测。

设茶叶、茶梗及杂质的平均反射率分别为 $E_{\text{leaf}}(\lambda_1 \sim \lambda_2)$ 、 $E_{\text{stalk}}(\lambda_1 \sim \lambda_2)$ 、 $E_{\text{impurity}}(\lambda_1 \sim \lambda_2)$,则有

$$E_{\text{leaf}}(\lambda_1 \sim \lambda_2) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} f(\lambda) d\lambda}{\lambda_2 - \lambda_1}, \quad (1)$$

$$E_{\text{stalk}}(\lambda_1 \sim \lambda_2) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} f'(\lambda) d\lambda}{\lambda_2 - \lambda_1}, \quad (2)$$

$$E_{\text{impurity}}(\lambda_1 \sim \lambda_2) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} f''(\lambda) d\lambda}{\lambda_2 - \lambda_1}, \quad (3)$$

式中 $f(\lambda)$ 、 $f'(\lambda)$ 、 $f''(\lambda)$ 分别为茶叶、茶梗、杂质的反射率曲线函数。梗、叶的相对反射率 $E_1(\lambda_1 \sim \lambda_2)$ 、杂质与叶的相对反射率 $E_2(\lambda_1 \sim \lambda_2)$ 越大,则分选精度越容易保证。

$$E_1(\lambda_1 \sim \lambda_2) = \frac{E_{\text{stalk}}(\lambda_1 \sim \lambda_2)}{E_{\text{leaf}}(\lambda_1 \sim \lambda_2)}, \quad (4)$$

$$E_2(\lambda_1 \sim \lambda_2) = \frac{E_{\text{impurity}}(\lambda_1 \sim \lambda_2)}{E_{\text{leaf}}(\lambda_1 \sim \lambda_2)}. \quad (5)$$

有时,只采用一段光谱还难以将物料中的合格品与疵品(含杂质)完全分开,这时就需要采用两段或多段光谱的光源对茶叶进行检测分选。

3 茶叶反射光谱检测实验

在无卷云、浓积云等光照稳定的太阳光下,利用ASD野外光谱分析仪FieldSpec Pro[光谱采样间隔为1.377 nm(350~1050 nm),光谱分辨率在700 nm处为3 nm]对安溪铁观音茶叶、茶梗及杂质进行反射光谱测试,测试的波长范围为350~1050 nm,在可见光范围内,反射光谱如图1所示。其中,茶叶、茶梗、杂质三种样本的光谱曲线是由多个样本获取的,分别取三类的样本量为50、50、50 g;各类样本同时测量20条光谱曲线,20组光谱数据中,若个别光谱形态与整体数值有较大差异时,剔除该差异较大的数据,然后取其他光谱曲线的数据平均值进而得到每种样本的光谱曲线。

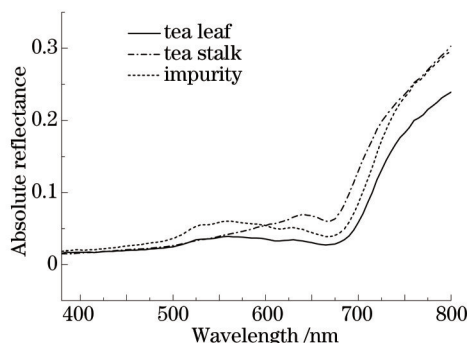


图1 茶叶、茶梗及其杂质的反射光谱图

Fig.1 Reflective spectra of tea leaf, tea stalk and impurity

根据茶叶的色选原理,从茶叶的反射光谱图和相应的测试数据得出,在400~500 nm波段范围内,茶叶和茶梗的反射光谱几乎是重叠的,而杂质与两者的光谱有明显差异;在595 nm处,茶梗和杂质的反射光谱有交叉,在600 nm以上波段,茶叶、茶梗和杂质的反射光谱有明显差异。因此,某一波段的光源很难使三者分辨开来,也就是说单色光源很难分辨出茶叶、茶梗和杂质,需要采用多种单色光源组合才能使茶叶、茶梗及其杂质更好地分辨开来。即用配光的方法才能达到使茶叶的次品红粒、次品赤片(杂质)和正品茶叶得到分选的目的。

4 LED茶叶色选灯光源的设计

4.1 LED茶叶色选灯光源的选择

由图1中茶叶、茶梗及其杂质的反射光谱图可知,茶叶和茶梗在500 nm波段之前,相对反射率差值较小,反射率曲线很难分辨,反射光谱曲线几乎是重叠的;茶叶与杂质的反射率相差也比较小;在650 nm处,茶叶和茶梗的反射光谱曲线相差最大,在650 nm之后,茶叶与茶梗、茶叶与其杂质的反射曲线相差较大;在595 nm左右,茶梗与杂质的反射率曲线有交叉,在750 nm之后两者的反射率曲线近似重叠;在可见光范围内,茶叶、茶梗及其杂质的相对反射率差值较大的点所对应的光的峰值波长并不相同。因此,根据色选原理、测试的反射光谱曲线的数据和反射光谱图,为提高色选精度,选取茶叶和杂质的相对反射率差值较大的点对应的峰值波长的光源作为LED茶叶色选灯光源的组合光源。结合茶叶、茶梗、杂质的相对反射率差值最大点对应的的光波长以及市场上现有LED的峰值波长,分别在400~500 nm波段范围内选择峰值波长为460 nm的蓝光LED,在500~600 nm波段范围内选择峰值波长为530 nm和550 nm的绿光LED以及595 nm的黄光LED,在600~800 nm波段选择峰值波长为650 nm和700 nm的红光和近红外LED作为光源。由于目前市面上没有峰值波长为550 nm的绿光LED,且三原色刺激值匹配等能白光中绿色在550 nm附近,为补偿其他单色光使混合的光谱相对连续,减少单色光组合对人眼的刺激,且有利于茶农挑茶时的视觉健康,实验中采用暖白光LED代替。光源的具体参数规格如表1所示。

利用远方光电股份有限公司生产的YF1000光色电测试系统对光谱进行测试,光谱图如图2所示。

表1 不同峰值波长的LED光源参数表

Table 1 Parameters of LED light sources with different peak wavelengths

| Emitting color | Peak wavelength /nm | Forward voltage /V | Forward current /mA | Luminous flux /lm |
|------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| Blue (B) | 460 | 3.0~3.6 | 350 | 15~20 |
| Green (G) | 530 | 3.3~3.5 | 350 | 85~95 |
| Warm white (WW) ^a | - | 3.1~3.3 | 350 | 100~110 |
| Yellow (Y) | 595 | 2.0~2.4 | 350 | 30~40 |
| Red (R) | 650 | 2.0~2.6 | 350 | 25~35 |
| Near infrared (NIR) | 700 | 1.8~2.4 | 350 | 1.5~3.5 |

^a Color temperature of warm white LED is 2908 K.

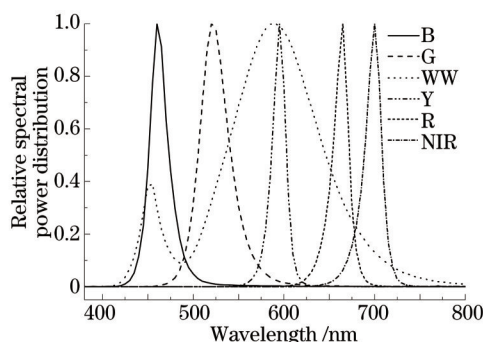


图2 不同峰值波长的LED光源光谱图

Fig.2 Spectral diagram of LED sources with different peak wavelengths

4.2 LED茶叶色选灯光源的光谱设计

根据前述的色选原理和茶叶、茶梗及其杂质的反射光谱特性曲线和数据可以得出,茶叶及其杂质在不同的光峰值波长处的相对反射率并不相同,即反射的相对光强值不相同,物质的光学特性受照射光源光强的影响,而不同峰值波长处的单色LED最大光强也不相同。因此,根据色选机光源的选择原则,光源的光谱能量分布特性应满足被测物的要求,并且光源的光强度也要尽可能大一些^[11],将茶叶及其杂质在不同峰值波长处的相对反射率差值作为不同峰值波长单色LED的数量比例(相对光强的比例),归一化处理,蓝光(B)、绿光(G)、暖白光(WW)、黄光(Y)、红光(R)、近红外光(NIR)的数量比例为0.1554:0.4437:0.4752:0.3896:0.3198:0.5923,对LED茶叶色选灯光源的光谱进行拟合,得到的光谱图如图3所示。

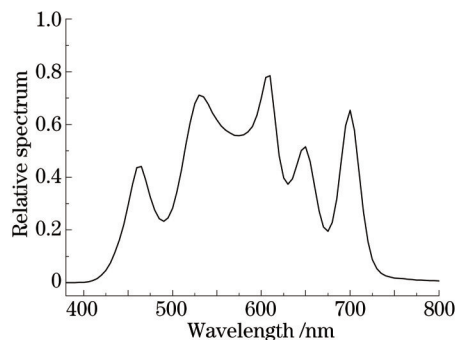


图3 LED茶叶色选灯光源拟合光谱图

Fig.3 Fitted spectrum of LED tea color sorter light source

4.3 LED茶叶色选灯光源样品的制作

分别取1 W的蓝光(B)1颗,绿光(G)3颗,暖白光(WW)3颗,黄光(Y)2颗,红光(R)2颗,近红外光(NIR)4颗共15颗制作15 W左右的LED茶叶色选灯光源样品。实物图和光源样灯照射茶叶及其杂质的效果图如图4所示。为使光源样品的颜色均匀分布,各个颜色的灯珠交叉排列,光源样品灯珠的排列如图4(b)所示,其光电参数如表2所示。

由图4和表2可知,此款LED茶叶色选灯光源样灯照射茶叶时,可使茶叶及其杂质的对比度增加,能够使人眼更清晰地分辨茶叶和杂质,具有较好的色选效果。该茶叶色选灯发光效率高、发光的光通量大,有利

于茶叶的加工和挑选,是一款非常实用的茶叶色选灯具。

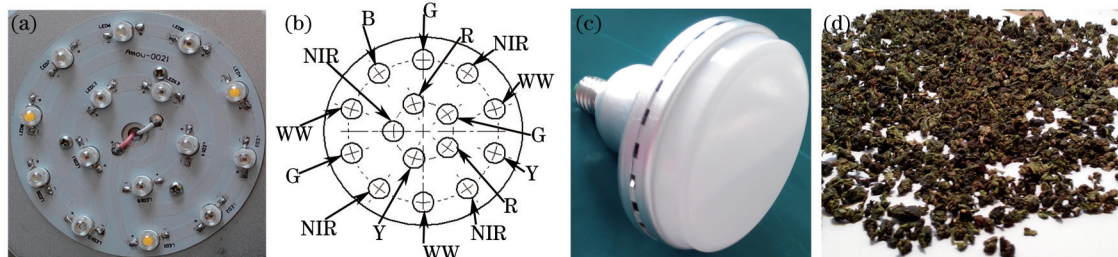


图4 15 W LED 茶叶色选灯光源样品和照射茶叶效果图

Fig.4 15 W LED tea color sorter light source sample and illumination effect

表2 LED 茶叶色选灯光源光电参数表

Table 2 Optoelectronic parameters of LED tea color sorter light source

| Item | Luminous flux /lm | Radiant flux /W | Luminous efficiency / (lm/W) | Output voltage /V | Output current /mA | Output power /W |
|----------------------------|-------------------|-----------------|------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|
| LED tea color sorter light | 389.4 | 1.77 | 29.69 | 221.5 | 113.6 | 13.11 |

利用远方光电股份有限公司生产的YF1000光色电光谱测试系统对LED茶叶色选灯光源样品进行光谱测试,结果如图5所示。LED茶叶色选灯光源样品光谱、拟合光谱与茶叶、茶梗及其杂质的反射光谱的对比图如图6所示。

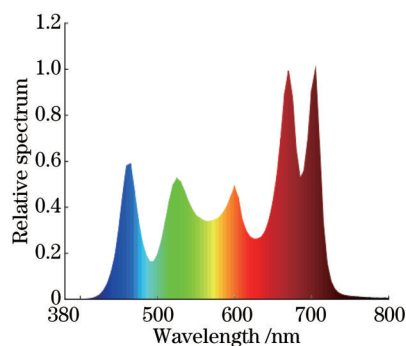


图5 LED 茶叶色选灯光源样品光谱图

Fig.5 LED tea color sorter light source sample spectrum

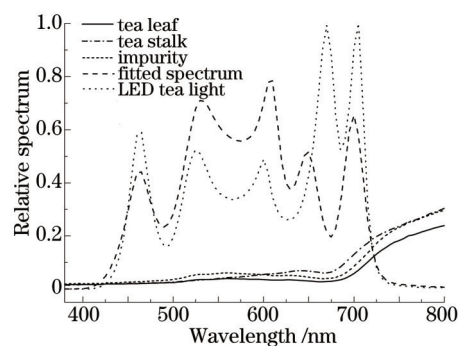


图6 LED 茶叶色选灯光源样品与拟合光谱对比图

Fig.6 Comparative diagram between the fitted and LED tea color sorter light source sample spectra

从图5、图6及实际的光源样品照射茶叶的效果图来看,制作的LED茶叶色选灯光源的光谱形状与拟合的光谱形状相似,且包含了可见光范围内的全部光波段,在茶叶、茶梗及其杂质反射率差值较大的波长点处有尖峰,恰好对应于茶叶及其杂质相对反射率差值较大的峰值波长。用作茶叶拣剔照明时,能够很好地分辨出茶叶、茶梗及杂质,具有较好的色选效果。由于红光LED在不同的电流驱动或者环境温度下,峰值波长会产生一定的漂移^[14],例如,随着驱动电流的增大,红光的峰值波长会产生红移,向长波长方向移动;而不同灯珠的光谱也受其材料和制程的影响^[15],会使灯珠的光谱有些偏移,即使是同一批次的灯珠,其光谱也有偏差;并且大功率灯珠的强度、波长、角度等都具有离散性,最终会影响灯具的实际光谱形状。所以,实际样灯的光谱和模拟的光谱还是有些形状上的差异和波长的偏移,在650 nm处拟合的光谱与灯的实际光谱差距也较大,但灯的光谱波段包含了茶叶色选所需光源的全部波长,仍然是一种比较理想的经济实用型茶叶色选灯具。

5 结 论

通过理论分析和实验研制设计了一款用于分离铁观音茶叶、茶梗及其杂质的LED茶叶色选灯光源,提出了一种LED茶叶色选灯光源光谱设计的选择方法,该光谱选择方法为后续用于其他茶叶色选的LED茶叶色选灯光源及其他特殊照明用LED光源光谱匹配技术的研究奠定了基础。此LED茶叶色选灯光源是专为茶叶加工过程中存在的照明问题而设计的,与传统灯具相比,能使茶叶的正、次品得到明显的分辨效果,能

够色选出茶叶的正品净茶、次品红粒和次品赤片,使加工效率得到提高,同时它还具有易安装、成本低、产品占空比小等优点。LED茶叶色选灯光源的开发及应用,可以使茶企和茶农加工茶叶的成本降低、提升茶叶加工效率,也解决了茶叶拣剔质量差和效率低的问题,可促进茶企增效,茶农增收。将LED应用于特殊照明光源的开发具有重要的科学研究价值和经济意义。

参考文献

- 1 Quan Qi'ai. Principle and selection of tea color sorter[J]. China Tea, 2009, 31(1): 28-29.
权启爱. 茶叶色选机的工作原理及选用[J]. 中国茶叶, 2009, 31(1): 28-29.
- 2 Ding Yong, Liao Wanyou. Technical characteristic and application of tea color sorter[J]. Journal of Tea, 2009, 35(1): 36-37.
丁勇, 廖万有. 茶叶色选机的技术特性与应用[J]. 茶叶, 2009, 35(1): 36-37.
- 3 Zhang Minghan. Color sorter in the application of black tea refining process[J]. Journal of Tea Business, 2007, 29(4): 169-170.
张明汉. 色选机在红茶精制加工中的应用[J]. 茶业通报, 2007, 29(4): 169-170.
- 4 E F Schubert. Light-Emitting Diodes[M]. UK: Cambridge University Press, 2006.
- 5 Zhou Guoquan, Zheng Jun, Zhou Yimin, *et al.*. Optimal design of LED assembled light source used in the production of greenhouse plant[J]. Journal of Optoelectronics·Lasers, 2008, 19(10): 1319-1323.
周国泉, 郑军, 周益民, 等. 温室植物生产用LED组合光源的优化设计[J]. 光电子·激光, 2008, 19(10): 1319-1323.
- 6 K H Lin, M Y Huang, W D Huang, *et al.*. The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa L.* var. *capitata*)[J]. Scientia Horticulturae, 2013, 150: 86-91.
- 7 N G Yeh, C H Wu, T C Cheng. Light-emitting diodes-their potential in biomedical applications[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010, 14(8): 2161-2166.
- 8 Z Zhu, X Jin, H Yang, *et al.*. Design of diffuse reflection freeform surface for uniform illumination[J]. Journal of Display Technology, 2014, 10(1): 7-12.
- 9 Feng Chao. Tea Classification and Quality Evaluation Using Fluorescence Spectroscopy Based on Multi-Wavelength LEDs[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013: 9.
冯超. 基于多波长的LED荧光系统在茶叶种类和等级方面的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013: 9.
- 10 A Laddi, S Sharma, A Kumar, *et al.*. Classification of tea grains based upon image texture feature analysis under different illumination conditions[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 115(2): 226-231.
- 11 Liu Derui. Study on Optical and Mechanical Subsystem of High Speed Color Sorter Based on CCD[D]. Tianjin: Tianjin University, 2007: 17.
刘德瑞. 基于CCD的高速色选机光机系统研究[D]. 天津: 天津大学, 2007: 17.
- 12 Liu Shaogang, Wu Shouyi, Fang Ruming, *et al.*. Spectrophotometric system operated with a microcomputer for agricultural product quality testing[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Engineering, 1992, 8(3): 97-103.
刘绍刚, 吴守一, 方如明, 等. 计算机控制的农产品光特性检测系统[J]. 农业工程学报, 1992, 8(3): 97-103.
- 13 Ji Shiming, Xiong Sichang, Wang Liexin, *et al.*. Technique for on-line tea-stalk distinction and its application[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1995, 26(1): 56-60.
计时鸣, 熊四昌, 王烈鑫, 等. 茶叶茶梗的计算机在线识别技术及其应用[J]. 农业机械学报, 1995, 26(1): 56-60.
- 14 Wen Jing, Wen Yumei, Li Ping, *et al.*. Dominant factor impacting the photoluminescence and electroluminescence spectra in AlInGaP LEDs[J]. Journal of Optoelectronics·Laser, 2010, 21(5): 659-663.
文静, 文玉梅, 李平, 等. 影响AlInGaP LED光致发光与电致发光谱的决定性因素[J]. 光电子·激光, 2010, 21(5): 659-663.
- 15 T Kolbe, A Knauer, H Wenzel, *et al.*. Emission characteristics of InGaN multi quantum well light emitting diodes with differently strained InAlGaN barriers[J]. Physics Status Solidi C, 2009, 6(S2): S889-S892.

栏目编辑: 吴秀娟