

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2010.00502

基于颜色阈值的田间籽棉图像分割技术

王 玲¹ 王 萍² 陈兵林³ 刘善军⁴ 姬长英^{1,*}

¹ 南京农业大学工学院, 江苏南京 210031; ² 江西农业大学成人教育学院, 江西南昌 330045; ³ 南京农业大学农业部作物生长调控重点实验室, 江苏南京 210095; ⁴ 江西农业大学农学院, 江西南昌 330045

摘 要: 为正确分割田间籽棉图像, 将棉花与背景视为两个类别, 在典型的未成熟籽棉图像和不同质量等级的成熟/过熟籽棉图像中, 用肉眼选取 20 000 个白棉、黄染棉和污染棉等棉花像素以及 20 000 个棉株、土壤等背景像素, 在 RGB、HSI、La*b*和 Hunter 颜色空间下获取两类像素之间的颜色阈值, 基于阈值进行图像分割, 选取噪声较少的 HSI 和 La*b*颜色空间, 进一步基于形态学滤波器去噪, 实验结果表明, 907 幅籽棉图像分割的准确率为 87.21% 和 86.33%。HSI 颜色空间更适合分割成熟籽棉图像, La*b*颜色空间则适合未成熟籽棉; 颜色阈值覆盖范围广, 基于速度的阈值分割法能够适应田间籽棉环境。

关键词: 田间棉花; 图像分割; 颜色阈值; 去噪

Image Segmentation Technique of Field Cotton Based on Color Threshold

WANG Ling¹, WANG Ping², CHEN Bing-Lin³, LIU Shan-Jun⁴, and JI Chang-Ying^{1,*}

¹ College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China; ² College of Adult Education, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; ³ Key Laboratory of Crop Regulation, Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

⁴ College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China

Abstract: The goal of cotton production in China is to improve corresponding rate of cotton quality grade, foreign fibers, adulteration, and cotton baling inconsistent phenomenon to decrease continuously. With the background, machine vision and pattern recognition technologies are introduced into traditional picking task to discriminate maturity degree and grade of quality of field cotton, which will solve the problem of picking cotton by the way from source, so that various cotton varieties can be adapted, pollution caused by agriculture chemicals can be avoided, labor cost can be reduced and agriculture cost can be decreased. In order to segment field cotton images exactly, we regarded cotton and its background as two classes and segmented them based on their color threshold. A total of 20 000 white, yellow, and stain cotton pixels and 20 000 background pixels of soil and cotton plant, including cotton bracteole, leaf, and branch, were extracted from typical under-ripe cotton images and ripe/over-ripe cotton images with various quality grades from 1 to 7. Color threshold of two classes of cotton and its background pixels were obtained in RGB, HSI, La*b*, and Hunter color space respectively; on the basis of which cotton regions were segmented from images; and HSI and La*b* color spaces were selected respectively by using S below 28, I over 108, L over 118, a* from 123 to 134, b* below 136 with less segmentation noise which would be removed based on morphological filter. The experiment results showed that 907 cotton images were segmented with an accuracy of 87.21% and 86.33% in HSI and La*b* color space respectively. The front images were segmented with an accuracy of 90.83% and 89.98% and the side images with an accuracy of 83.33% and 82.42%. Ripe cotton images were segmented perfectly in HSI color space while under-ripe cotton images in La*b* color space, and the speed-based segmentation method with threshold covering a wide area was preferable for field cotton surroundings.

Keywords: Field cotton; Image segmentation; Color threshold; Removing noise

陆地棉品系的细绒棉约占世界棉花总产量的 90% 左右, 中美两个产棉大国在棉花采摘手段上有很大的差异。美国棉花生产集中在少数农场主手中, 具有生产规模大、品种单一、纤维长、成熟期集中

等特点, 其机械化采收技术已是世界公认的成熟先进技术。我国棉花种植地域辽阔, 生产规模多元化、品种多、纤维短、收获期长, 严把采摘、收购关, 减少异型纤维含量, 不断提高棉花等级相符率, 不断

本研究由国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2006AA10Z259)资助。

* 通讯作者(Corresponding author): 姬长英, E-mail: chyji@njau.edu.cn; Tel: 13951994628

第一作者联系方式: E-mail: lingw@njau.edu.cn; Tel: 13913306944

Received(收稿日期): 2009-05-31; Accepted(接受日期): 2009-12-08.

减少异型纤维问题、掺杂使假事件、包装一致性差现象是棉花的加工目标,借助采摘机器人的视觉系统,根据田间籽棉的自然形态判别其是否成熟,根据中国籽棉品级文字标准^[1]判别其质量等级可以从源头上解决棉花采摘质量问题。该标准可通俗地解释为1、2级100%是白棉;3级几乎都是白棉;4级大部分是白棉,小部分是污染棉;5级大部分是污染棉,一部分是白棉,还有极少量黄染棉;6级绝大部分是污染棉,少部分是白棉和黄染棉;7级基本上都是污染棉和黄染棉^[2];3级为标准级;6、7级为过熟。目前,国内外在皮棉品质检验方面已做了大量研究^[3-11],研究成果已应用于棉花生产实践,研制田间籽棉质量等级的视觉系统完全可以借鉴这方面的经验。

采摘机器人视觉系统的关键技术之一是图像分割,也就是将籽棉区域从图像中分割出来,以确定其三维空间的位置,并判别其成熟度和质量等级。王勇等^[12]在RGB颜色空间下研究了20幅田间早期成熟棉花图像中的633个像素的颜色值,发现背景区域的过绿特征(2G-R-B)范围为60~150,并以此为阈值分割了图像,后来,他们又从400幅图像中随机选取20、50、100和150幅图像进行试验,在6个颜色空间下分析了7200个棉桃像素、7200个棉叶像素和1500个棉枝像素的颜色差异,发现棉桃像素的R、G、B均值相等,棉叶和棉枝像素的R、G、B均值差异较大,据此分割图像获得了85%的识别率^[13-14]。其不足之处在于没有讨论棉桃是否成熟,没有讨论不同质量等级的成熟棉桃是否过熟;仅仅考虑棉株上棉叶和棉枝等绿色背景,没有考虑铃壳以及土壤等黄褐色背景;没有在其他颜色空间下分割图像。尽管从文献中可以看出,RGB中的B、 $I_1I_2I_3$ 中的 I_1 、HSI中的I和Lab中的L能够较明显地区分棉桃、棉叶和棉枝;但样本不够多。本文将棉花像素与背景像素视为二个类别,在4个颜色空间下获取二类间的颜色阈值,基于颜色阈值进行图像分割,并比较907幅新图像的分割效果。其中,20000个棉花像素选自未成熟的白棉以及成熟/过熟的白棉、污染棉、黄染棉区域,20000个背景像素选自黄/绿/褐色的铃壳、棉叶、棉枝等棉株和土壤区域,总计40000个像素的大样本可尽量提高颜色阈值的精确度。

1 材料与方法

1.1 样本采集

2006年8月底至11月中旬,在南京农业大学江浦农场苏棉12棉花试验田,用CCD数码照相机以

640×480的分辨率分批次地拍摄自然环境下早、中、晚期的各种未成熟、成熟/过熟的籽棉图像907幅,其中,正对着棉铃开花的方向拍摄了469幅正面图像,在棉铃开花方向正交处拍摄了438幅侧面图像,棉铃开花方向任意。拍摄过程中,注意避免铃壳、棉叶、棉枝等棉株遮挡物和阴影的干扰,不使用中午照度过高的太阳直射光,不用清晨、傍晚照度过低的地平光线,以确保拍摄光线的相对稳定和图像的清晰度。

1.2 研究方法

颜色空间之间有许多可能的坐标变换,但无论哪一种都无法替代其他的颜色空间而适用于所有彩色图像处理,故首要问题并非在哪个坐标系下度量颜色,而在于计算它们之间的差异^[15]。RGB颜色空间是一种很不均匀的颜色空间,两种颜色之间的知觉差异不能表示为该颜色空间中两点间的距离,其R、G、B分量高度相关,利用线性变换只能部分地消除这种相关性,HSI、 La^*b^* 和Hunter等非线性变换空间则完全消除了这种相关性^[16]。其中,HSI颜色空间具有将亮度(I)与色调(H)、饱和度(S)这两个正交的彩色分量分离的特性,与人眼的色彩感知相吻合,在一些照明不均的场合特别有用^[17]; La^*b^* 是一种通用的均匀颜色空间,也是一个亮度(L)与红-绿(a^*)、绿-蓝(b^*)两个彩色分量的分离器,强调的是人眼能够观察到的颜色区别,能够直接用颜色空间的几何距离进行不同颜色的比较,可有效地测量小的色差^[17]; Hunter颜色空间由亮度(Rd)与红色/绿色(+a/-a)、黄色/蓝色(+b/-b)这两个正交的彩色分量组成,是美国棉花测色仪HVI900使用的颜色系统,普遍用于原棉颜色的描述^[18]。基于颜色阈值可分4步分割田间籽棉图像。

步骤1:从未成熟籽棉图像和1~7级不同质量等级的成熟、过熟籽棉图像中选取多幅典型图像作为试验样本,在RGB、HSI、 La^*b^* 和Hunter颜色空间下,源于相同区域,用肉眼从样本图像中选取20000个白棉、污染棉和黄染棉等棉花像素以及20000个黄褐色土壤背景像素和黄绿褐色的铃壳、棉叶、棉枝等棉株背景像素。

步骤2:观察棉花、背景像素在3个颜色分量上的数据分布,获取两类像素之间的颜色阈值。

步骤3:在各颜色空间下,基于颜色阈值将棉花区域从籽棉图像中分割出来,选取分割噪声较低的颜色空间。

步骤4:在所选取的颜色空间下,设计形态学滤

波器去除噪声, 完成图像分割任务。

2 结果与分析

2.1 获取颜色阈值

在 RGB、HSI、La*b* 和 Hunter 颜色空间下, 由 40 000 个棉花、背景像素在 3 个颜色分量上的数据

分布(图 1)可知, 在 RGB 颜色空间下, 棉花像素的 $R > 104$, $G > 110$, $B > 107$, 7.89% 的背景像素也在此阈值范围内。在 HSI 颜色空间下, 棉花像素的 $S < 28$, $I > 108$, H 与背景像素重叠, 7.63% 的背景像素也在此阈值范围内。在 La*b* 颜色空间下, 棉花像素的 $L > 118$, $123 < a^* < 134$, $b^* < 136$, 6.11% 的背景像素也在

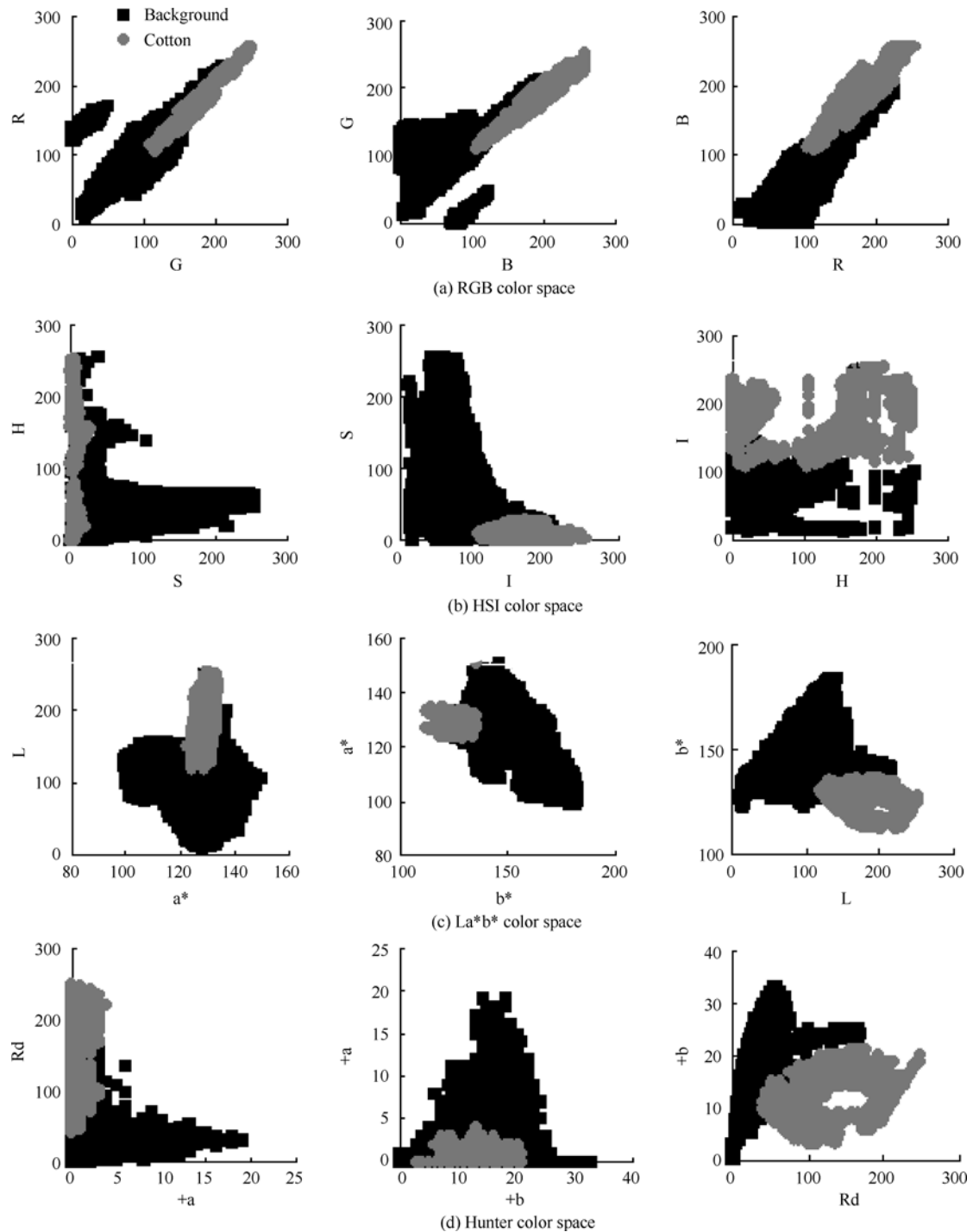


图 1 棉花、背景像素在 3 个颜色分量上的散点图

Fig. 1 Scatter plots of three color components of cotton and their background pixels

此阈值范围内。在 Hunter 颜色空间下, 棉花像素的 $R_d > 40$, $a < 4$, $3 < b < 21$, 8.32% 的背景像素也在此阈值范围内。可见, 在任何一个颜色空间下, 棉花、背景像素的颜色分量都存在重叠现象, 相比之下, 在 HIS 和 La^*b^* 颜色空间下, 背景像素被误分为棉花的像素较少。

2.2 籽棉图像分割

分别在 RGB、HSI、 La^*b^* 和 Hunter 颜色空间下, 基于所选取的颜色阈值对 40 多幅未成熟籽棉图像、1~7 级成熟和过熟籽棉图像进行分割, 形成二值图, 结果表明, 无论是未成熟/成熟的白棉还是成熟/过熟的污染棉/黄染棉, 绝大多数图像的分割效果对颜色空间敏感(图 2 和图 3)。观察到, 在 HSI 和 La^*b^*

颜色空间下, 二值图中噪声明显减少, 也就是说, 背景像素被误分为棉花的像素较少, 其分割效果优于 RGB 和 Hunter 颜色空间, 验证了 2.1 节的结论; 尽管 La^*b^* 颜色空间的噪声更少, 但却存在过度分割现象, 少量的棉花像素被误分为背景, 不能完整地分割出棉花区域。

综上所述, 在 HSI 和 La^*b^* 颜色空间下基于颜色阈值能够更好地完成图像分割任务。作为试验样本的棉花, 背景像素样本量大, 来自各种未成熟/成熟的白棉和不同质量等级的成熟/过熟的白棉、污染棉、黄染棉, 其颜色覆盖范围更广, 客观地反映了田间籽棉及其自然环境的颜色, 有利于提高颜色阈值和图像分割的精确度。

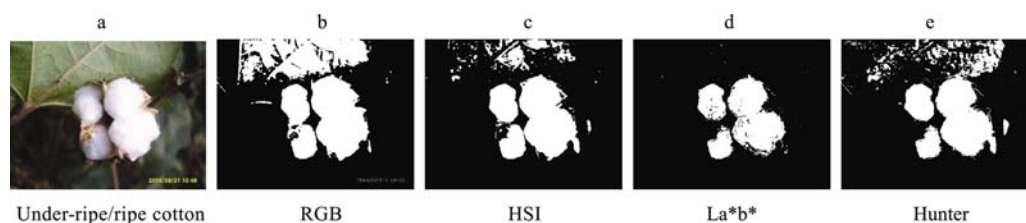


图 2 未成熟/成熟籽棉图像在 4 个颜色空间下的分割效果
Fig. 2 Image segmentation results of under-ripe/ripe cotton in four color spaces

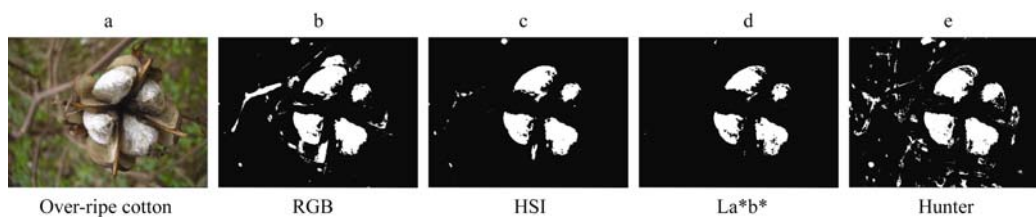


图 3 过熟籽棉图像在 4 个颜色空间下的分割效果
Fig. 3 Image segmentation results of over-ripe cotton in four color spaces

2.3 形态学滤波去噪

二值图中的噪声是指被误分为棉花的背景像素。为了去除这些噪声, 有必要基于信号的几何特性设计一个形态学滤波器, 利用预先定义的结构元素对二值图进行匹配以提取目标信息, 并保持目标的细节特性, 具体实验步骤如下(图 4)。

步骤 1: 在 HSI 和 La^*b^* 颜色空间下, 标记二值图中的各个不连通区域。

步骤 2: 根据拍摄距离自适应地选取不同尺寸的结构元素, 并对二值图执行形态学开启运算, 以去除噪声, 但不能保持棉花的自然形态。

步骤 3: 以开启运算的结果为种子, 从标记后的二值图中提取含有种子的连通区域, 也就是自然形态的棉花。

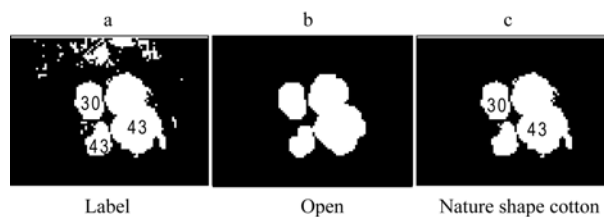


图 4 形态学滤波去噪过程
Fig. 4 Process of removing noise by morphological filter

在 HSI 和 La^*b^* 颜色空间下, 基于颜色阈值和形态学滤波器对 907 幅籽棉图像的分割(表 1)表明 HSI、 La^*b^* 颜色空间下, 大多数图像能够被正确地分割, 其准确率为 87.21%、86.33%, 其中, 正面图像分割的准确率为 90.83%、89.98%, 侧面图像分割的准确率为 83.33%、82.42%。

表 1 图像分割的准确率
Table 1 Accuracies of 907 images segmentation

颜色空间 Color space	正面棉花 Front cotton (%)		侧面棉花 Side cotton (%)	
	成熟 Ripe	未成熟 Under-ripe	成熟 Ripe	未成熟 Under-ripe
HSI	93.6	84.6	86.0	72.7
La*b*	90.8	88.1	84.3	75.0

3 讨论

由于正面图像中的棉瓣较大、形状规整，侧面图像中棉瓣较小、形状凌乱、易误为噪声，因而正面图像的分割效果优于侧面图像。

成熟/过熟籽棉分为白棉、污染棉、黄染棉，开合度较大，表面凹凸不平，光照不均匀；由于 HSI 颜色空间与肉眼的色彩感知相吻合，在一些照明不均的场合特别有用，因而 HSI 颜色空间能够适应成熟/过熟籽棉表面的彩色斑点以及户外阴影，其分割效果优于 La*b*颜色空间，适用于判别田间籽棉品级的预处理，Hunter 颜色空间则适合室内检测皮棉的品质。

未成熟籽棉一般为白棉，开合度较小，表面平整，光照均匀；由于 La*b*颜色空间强调的是肉眼能够观察到的颜色区别，可有效地测量小的色差，因而 La*b*颜色空间能够区分未成熟籽棉表面小的色差，产生过度分割现象，其分割效果优于 HSI 颜色空间，适用于判别田间籽棉是否成熟的预处理。

在大样本情况下和多个颜色空间中，讨论未成熟白棉以及不同质量等级的成熟/过熟白棉、污染棉和黄染棉等图像样本，考虑黄绿褐色的铃壳、棉叶、棉枝等棉株和土壤背景，选取噪声较低的 HSI 和 La*b*颜色空间；因而克服了前人研究的不足之处，客观地反映了田间籽棉的情形，提高了颜色阈值的精确度和图像分割的准确率。

对于不同地域的棉花品种，可因地制宜地选取棉花与背景之间的颜色阈值，推广本方法。

4 结论

将棉花与背景视为两个类别，肉眼选取未成熟、成熟、过熟籽棉图像的棉花像素和铃壳、棉叶、棉枝等棉株和土壤背景像素颜色范围广，能够客观地反映田间籽棉环境。在 RGB、HSI、La*b*、Hunter 颜色空间下获取了两个类别像素之间的颜色阈值，据此分割籽棉图像可提高速度；选取噪声较低的 HSI 和 La*b*颜色空间，结合形态学滤波器，使 907

幅籽棉图像分割的准确率达 87.21%和 86.33%；其中，正面图像分割的准确率为 90.83%和 89.98%，侧面图像分割的准确率为 83.33%和 82.42%。

References

- [1] Li N(李宁), Liu D-P(刘东波), Zang Y-M(臧英明). Study on the differences of cottons grading standards between China and other countries. *J Dalian Light Ind Inst* (大连轻工业学院学报), 2001, 20(4): 309–312 (in Chinese)
- [2] Cotton Instrument Test Group (棉花仪器化检验(草案)起草小组). Dialectical relationship of cotton quality grade and color feature grade. *China Textile Test* (中国纤检), 2005, (5): 5–7 (in Chinese)
- [3] Kang T J, Kim S C, Zhao Q-M(赵其明) trans, Cui R-F(崔瑞芳) proof. Objective evaluation of the trash and color of raw cotton by image processing and neural network. *Foreign Textile Tech* (国外纺织技术), 2003, (1): 37–42 (in Chinese)
- [4] Xu B, Fang C, Watson M D. Investigating new factors in cotton color grading. *J Textile Res*, 1998, 68: 779–787
- [5] Xu B, Su J, Dale D S, Watson M D. Cotton color grading with a neural network. *J Textile Res*, 2000, 70: 430–436
- [6] Xu B, Dale D S, Huang Y, Watson M D. Cotton color classification by fuzzy logic. *J Textile Res*, 2002, 72: 504–509
- [7] Tilocca A, Borzone P, Carosio S, Durante A. Detecting fabric defects with a neural network using two kinds of optical patterns. *J Textile Res*, 2002, 72: 545–550
- [8] Pelletier M G, Barker G L, Baker R V. Image processing for stripper harvested cotton trash content measurement: A progress report. *Proc Beltwide Cotton Conf*, 1999, pp 1412–1415
- [9] Pavani S K, Mehmet S D, Hamed S S, Eric F H. Segmentation and classification of four common cotton contaminants in X-ray micro-tomographic Images. *Conference on Machine Vision Applications in Industrial Inspection*, 2004, pp 1–13
- [10] Liu L-H(刘立海), Wang Y-P(王延平). Preprocessing and feature extracting of cotton classification. *J Data Acquisition & Proc* (数据采集与处理), 2001, 16(2): 145–149 (in Chinese with English abstract)
- [11] Xu H-Q(许鹤群), Huang J(黄健). Analysis on mature of cotton fiber image. *J China Textile Univ* (中国纺织大学学报), 1992, 18(1): 78–83(in Chinese)
- [12] Wang Y(王勇), Ji C-Y(姬长英). Study on discrimination of mature cotton in early field scenes. *Acta Agric Jiangxi* (江西农业学报), 2006, 18(6): 141–143(in Chinese with English abstract)
- [13] Wang Y(王勇), Shen M-X(沈明霞), Ji C-Y(姬长英). Model and analysis of color for different parts of ripe cotton in picking period. *Trans CSAE* (农业工程学报), 2007, 23(4): 183–185 (in Chinese with English abstract)
- [14] Wang Y(王勇), Shen M-X(沈明霞), Ji C-Y(姬长英). Using color data and shape properties for cotton fruit recognition. *Trans Chin Soc Agric Machinery* (农业机械学报), 2007, 38(11): 77–79 (in Chinese with English abstract)

- [15] David A F, Jean P. Lin X-Y(林学渊), Wang H(王宏), trans. Computer Vision-A Modern Approach (计算机视觉一种现代方法). Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004. pp 83-109 (in Chinese)
- [16] Lin K-Y(林开颜), Wu J-H(吴军辉), Xu L-H(徐立鸿). A survey on color image segmentation techniques. *J Image Graph* (中国图像图形学报), 2005, 10(1): 1-10 (in Chinese with English abstract)
- [17] Gonzalez R C, Woods R E. Zhu Z-G(朱志刚), Lin X-Y(林学渊), trans. Digital Image Processing (数字图像处理), 2nd edn. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004. pp 228-240 (in Chinese)
- [18] Lin M(林敏), Ye G-R(叶关荣), Zhao T-D(赵冬冬). The design of intelligent classification system for cotton color. *Instrument Tech Sensor* (仪表技术与传感器), 1997, (8): 25-27 (in Chinese with English abstract)

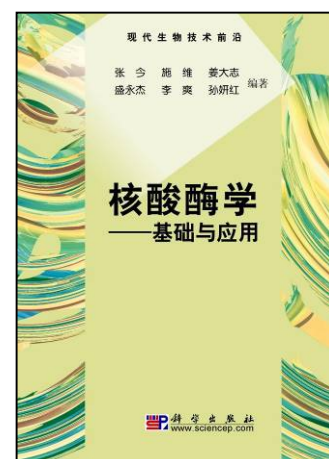
科学出版社生物分社新书推介

《核酸酶学——基础与应用》

张今 施维 姜大志 盛永杰 李爽 孙妍红 编著
978-7-03-026345-2 ¥46.00 2010年1月 出版

核酸酶学不仅是核酸科学的重要组成部分,而且是酶学的一个独特分支。本书是国内首部全面、系统介绍核酸酶学的基础、应用及发展趋势的专著。内容涵盖核酸酶的结构原理和催化基础、自身剪切类核酶、自身剪接类核酶、RNP类核酶、脱氧核酶、核酶和脱氧核酶的设计、核酶编码核肽酶和蛋白质酶以及核酶与脱氧核酶的应用等。

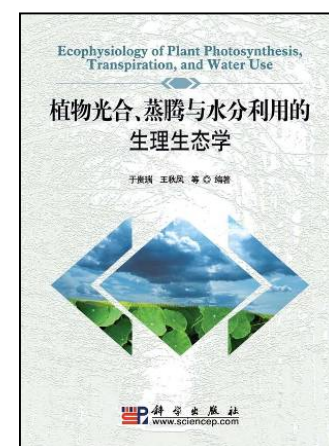
本书可供从事生命科学研究与教学的人员参考,也可用作生命科学专业高年级本科生及研究生的教材和参考用书。



《植物光合、蒸腾与水分利用的生理生态学》

于贵瑞 王秋凤 等著
978-7-03-026045-1 ¥128.00 2010年1月 出版

本书以气孔行为控制的植物光合、蒸腾和水分利用为主线,系统地论述了植物光合、蒸腾和水分利用的生理生态学基础,介绍了生态系统的光合、蒸腾和水分利用效率变化特征及其模型模拟的基础知识和主要的研究进展。本书在论述生物圈与其他圈层间关系的基础上,着重论述了植物的气孔行为及气孔导度的模拟模型,植物光合作用及其模拟方法,植物蒸腾及其模拟方法,植物的水分利用及其模拟模型,以及基于植物光合、蒸腾和水分利用相互作用关系的生态系统碳、水和能量平衡综合模型。本书是作者研究团队多年科研工作的总结,归纳分析了国内外本研究领域的重要进展,其目的是为国内从事相关领域研究的科技人员提供关于植物光合、蒸腾和水分利用效率方面的参考资料,本书也可作为相关领域的研究生基础教材。



欢迎各界人士邮购科学出版社各类图书(免邮费)

邮购地址: 北京东黄城根北街16号 科学出版社 科学出版中心 生命科学分社 邮编: 100717

联系人: 李韶文(010-64000849), 周文宇(010-64031535)

网上订购: <http://www.dangdang.com>; <http://www.joy.com>; <http://www.amazon.cn>; <http://www.beifabook.com>

更多精彩图书请登陆网站 <http://www.lifescience.com.cn>, 欢迎致电索要书目