

基于图像处理的密集烘烤过程烟叶 β -胡萝卜素含量的检测

段史江, 马力, 史龙飞, 王文超, 宋朝鹏, 宫长荣*

(河南农业大学 烟草学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 为实现密集烘烤过程中烟叶 β -胡萝卜素含量的实时检测, 首先采用图像处理技术提取烘烤过程烟叶图像的 6 个颜色特征值, 量化烘烤过程中烟叶颜色特征的变化, 然后以烟叶颜色特征值为输入指标, 运用 BP 神经网络对烘烤过程中烟叶 β -胡萝卜素含量进行预测。结果表明: 随着烘烤进行, 烟叶 R(红色)、G(绿色)、B(蓝色)分量及亮度值均呈现先升高后降低的趋势, 烟叶色相值在整个烘烤过程中剧烈下降, 而烟叶饱和度变化相对较缓; 运用 BP 神经网络所建模型的 β -胡萝卜素含量预测值与实测值相关系数达到 0.982, 平均相对误差为 0.092, 满足烟叶烘烤过程 β -胡萝卜素含量实时检测的需要。

关键词: 烟叶; 密集烘烤; 图像处理; β -胡萝卜素含量; BP 神经网络

中图分类号: TS41⁺¹ 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2011)05-0490-04

Detection on content of β -carotene during bulk curing based on image processing

DUAN Shi-jiang, MA Li, SHI Long-fei, WANG Wen-chao, SONG Zhao-peng, GONG Chang-rong*

(College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to realize the real-time detection of tobacco leaf β -carotene content during curing, six color characteristic parameters of tobacco leaf obtained by image processing were used for quantification of the changes of color feature, and the quantified six color characteristic parameters were used as the input to the BP neural network, with the output being the content of β -carotene. The test result showed the red, green, blue color components and brightness of tobacco leaves increased first, and then decreased during curing, the hue of tobacco leaves decreased significantly during curing, and the saturation of tobacco leaves changed slowly. The correlation coefficient of the prediction model was 0.982, and the average relative error was 0.092, which met the requirements of actual bulk curing and provided a theoretical reference for the application of image processing technology during the bulk curing.

Key words: tobacco leaf; bulk curing; image processing; β -carotene content; back propagation neural networks

类胡萝卜素是烤烟香气成分的重要前体物质。烟叶中类胡萝卜素及其降解产物的含量直接影响烤烟的香气风格、香气质和香气量^[1-3], 其中 β -胡萝卜素在烟叶类胡萝卜素组分中含量最高, 烘烤过程中烟叶 β -胡萝卜素含量的实时检测对研究烟叶内部香味物质转化、指导烘烤操作等具有重要意义。目前, 已有将图像采集装置安装于密集烤房内, 实现烘烤

过程中烟叶状态的实时图像采集的研究^[4]。图像处理技术应用于密集烤房已经成为未来烤烟烘烤的发展方向。国内外学者在应用图像处理技术进行作物色素含量检测方面取得了一些成果, T. Suzuki^[5]证实了 G/(R+G+B)与椰菜幼苗叶片叶绿素含量之间存在着显著相关性; F. J. Adamsen 等^[6]证实了 G/R 与小麦叶片色素含量有很好的相关性; 蔡鸿昌等^[7]利用黄瓜图

收稿日期: 2011-04-20

基金项目: 国家烟草专卖局资助项目(3300806156)

作者简介: 段史江(1986—), 男, 河南荥阳人, 硕士研究生, 主要从事烟草调制研究, duanshijiang@126.com; *通信作者, gongchr009@126.com

像的 RGB 值探寻了色素含量与颜色特征的关系;王克如等^[8]用图像处理技术提取叶片图像的 RGB 及 HIS 值,实现了棉花叶片叶绿素含量的无损检测。笔者探索利用图像处理技术和 BP 神经网络来检测烘烤过程中烟叶 β -胡萝卜素含量,旨在为图像处理技术在烤烟烘烤过程中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试烤烟品种为云烟 97。在群体中选择株高一致,叶片数相等,叶色基本一致且无病、虫、药害的烟株,对 11~12 位叶进行挂牌,烟叶成熟时采摘。

1.2 主要仪器与设备

烤房装烟室规格为 8.0 m \times 2.7 m,为装烟 3 层 2 路的密集烤房,装烟量为 4 000~4 300 kg。

索尼 DSC-N2 CCD 数码相机,最高分辨率为 3 264 \times 2 448 像素。

为了消除光线不均对摄像的影响,自制拍摄灯箱,规格为 120 cm \times 90 cm \times 140 cm,箱体外围用黑色薄膜遮挡,顶部固定数码相机,照明光源为 4 支 30 W 日光灯管^[9],灯管长度与箱体相当,以保证箱体内光线均匀,底部放置厚度为 6 mm 的玻璃载样台,载样台上铺盖大幅白纸作为烟叶背景^[10]。

1.3 方法

1.3.1 样品制备

将采摘后标记鲜烟叶集中编竿,按照三段式烘烤工艺烘烤(自烘烤开始到 42 $^{\circ}$ C,风机转速为 960 r/min; $>$ 42~54 $^{\circ}$ C为 1 450 r/min;高于 54 $^{\circ}$ C至烘烤结束为 720 r/min。在 35~42 $^{\circ}$ C完成变黄,干、湿球温度相差 2 $^{\circ}$ C左右。定色从 42 $^{\circ}$ C开始,在 50 $^{\circ}$ C前保持湿球温度为 37~39 $^{\circ}$ C,50 $^{\circ}$ C后湿球温度为 38~40 $^{\circ}$ C。干筋阶段从 54 $^{\circ}$ C开始,60 $^{\circ}$ C前湿球温度为 39~40 $^{\circ}$ C,高于 60 $^{\circ}$ C湿球温度为 40~43 $^{\circ}$ C,直到烟叶完全干筋)。

取样规则:鲜烟叶采摘后取样 1 次,烘烤开始后每隔 10 h 取样 1 次,直至烘烤结束,共取样 16 次,每次取颜色变化均匀一致的烟叶 5 片,整个过程共取样 80 片。试验过程仅采集挂牌烟叶。

1.3.2 烟叶图像采集与 β -胡萝卜素含量的测定

去除样品烟叶 1/3 的叶尖部和叶基部,然后将样品置于拍摄灯箱内修理平整,在同等焦距条件下逐片采集烟叶正面图像。每片烟叶连续采集 5 次。采集的原始图像储存在计算机内,以供后续的分析 and 处理用。图像采集后随即将烟叶放在烘箱中 105 $^{\circ}$ C 杀青 5 min,60 $^{\circ}$ C 烘干、粉碎,过 0.25 mm 孔径筛。每片烟叶杀青样单独保存。采用反相高效液相色谱法^[11]测定烟叶 β -胡萝卜素含量。

1.3.3 图像预处理

图像预处理包括图像去噪和图像分割两部分。烟叶图像采集完成后,首先对采集图像进行去噪,经试验确定,使用 butterworth 低通滤波器能够提高烟叶图像的细节清晰度,在线性相位、衰减斜率和加载特性等方面具有特性均衡的优点。图像分割是成功地进行图像分析和理解的关键技术。鉴于本研究烟叶叶片与白色背景灰度差别较明显,使用基于灰度等级处理的最大类间方差法(Ostu)的图像运算方法完成图像分割^[12],然后运用数学形态学算法消除孤立噪声和孔洞,去除冗余信息,同时平滑、闭合图像边缘,最后经合成运算得到从背景中分割出来的彩色烟叶图像^[13]。

1.3.4 颜色特征值的提取

将 RGB 颜色模型和 HSB 颜色模型配合使用来提取烟叶的 6 个颜色特征值^[14]。RGB 颜色系统是采用 3 种原色(R(红色)、G(绿色)、B(蓝色))的色光,按照不同比例相加表示颜色的方法,即图像中每一个像素点均用 R、G、B 分量来表示。HSB 表色系统是将任一颜色用 3 个变量来表示,H 表示色相,即该色为红、绿还是紫色等,它是颜色最基本的内容;S 表示饱和度,是指颜色中含有多少灰成分;B 是亮度,表示颜色的亮与暗。烟叶颜色特征值提取以 MATLAB R2008a 为分析软件,采用笔者自编的 MATLAB 程序提取每片烟叶 R、G、B、H、S、B 特征值,对每片烟叶图像内各个像素点的特征值取均值。本研究中统一以叶片正面各分量的均值来表示烟叶颜色特征的变化。

1.3.5 BP 神经网络模型的建立

采用单隐层 BP 神经网络对烘烤过程 β -胡萝卜素

含量进行模拟。网络分3层,即输入层、隐含层和输出层。输入层有6个单元,分别对应6个颜色特征值;输出层只有1个单元,对应 β -胡萝卜素含量。对于BP神经网络拓扑结构隐含层节点数的确定,笔者根据Kolmogorov定理,经过反复训练对比,确定最佳隐含层节点数为11^[15]。网络隐含层神经元传递函数采用S型正切函数tansig,输出层采用线性传递函数purelin,网络训练函数采用trainbr,可以有效提高网络的泛化能力。网络输入样本数和输出样本数需要通过标准化处理来消除量纲影响,以提高网络收敛性能^[16],选取premnmx为归一化函数。

试验取样16次,共获取80个样本,随机抽取其中的68个作为训练样本,其余作为测试样本。设定训练误差目标为0.01,终止训练步数为3000,对神经网络模型进行训练,直至总误差小于给定值,认为网络训练完毕。用12个测试样本检验神经网络模型,当测试过程预测值与实测值的相关系数达到0.982,继续调整参数,相关系数无法再高时认为训练结束^[17]。模型分析软件为MATLAB R2008a。

2 结果与分析

2.1 不同烘烤时期烟叶图像的颜色特征值

表1为不同烘烤时期烟叶图像的各颜色分量均值(表中仅列出烘烤过程关键温度点稳温结束时的特征值),鲜样的绿分量明显大于红、蓝分量,这是因为鲜烟叶的主体颜色为绿色,查对RGB颜色表得鲜烟叶的颜色接近于钴绿色和草绿色。理论上纯红色与纯绿色的加色为纯黄色,从38℃结束到烘烤结束烟叶的主体颜色为黄色,所以会出现从38℃到烘烤结束烟叶红、绿分量远大于蓝分量。烟叶图像的色相值为43.43~75.57,随着烘烤时间的推移,色相值逐渐变小,说明烟叶颜色逐渐由绿色向黄色转变;烟叶的饱和度在定色阶段达到最低值,这是由于定色期烟叶颜色介于鲜烟叶的绿色与烘烤后期的黄色的过渡阶段,颜色纯度较小;随着烘烤时间的推移,亮度值逐渐上升,但到干筋期其亮度又下降,主要是因为干筋期烟叶皱缩严重所致。

表1 烘烤过程烟叶颜色的特征值

Table 1 Color features of tobacco leaves during curing

样品	RGB 系统烟叶颜色特征值			HSB 系统烟叶颜色特征值		
	R	G	B	H	S	B
鲜样	89.35	119.65	38.44	75.57	65.23	17.12
38℃结束烟叶	122.81	133.64	43.91	72.58	64.98	18.14
42℃结束烟叶	150.11	140.98	54.24	52.79	60.63	23.36
46℃结束烟叶	159.56	141.90	58.78	49.07	60.04	25.87
54℃结束烟叶	159.34	130.41	56.01	43.90	67.67	20.26
烤后烟叶	146.32	115.78	43.16	43.32	70.44	16.91

2.2 BP神经网络模型预测结果

BP神经网络预测值与实测值结果见图1。12个测试样本 β -胡萝卜素含量实测值和预测值的相

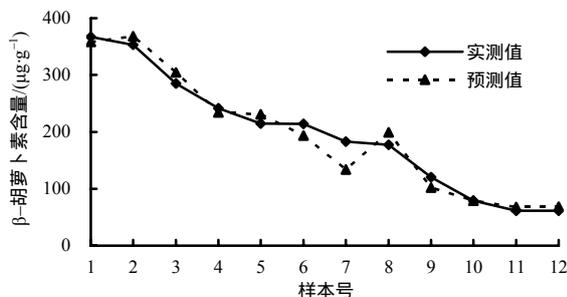


图1 β -胡萝卜素含量的实测值和BP神经网络预测值

Fig.1 Comparison of β -Carotene concentration predicted and those tested

关系数为0.982,模型预测值最大相对误差绝对值为26.71%,最小相对误差绝对值为0.52%。模型预测值与实测值平均相对误差绝对值为0.092,预测误差标准差为19.83。模型评价结果表明,该模型预测效果较好,能满足实际烘烤过程 β -胡萝卜素含量检测的需求,能较好地反映烘烤过程烟叶 β -胡萝卜素含量的变化。

3 小结与讨论

颜色变化是烟叶烘烤过程中最为显著的特征之一,也是判断烤房内烟叶素质以及执行烘烤操作的重要依据。笔者将具有客观性和可重复性的图像处理技术应用于烤烟烘烤过程,通过提取烟叶图像

R、G、B、H、S、B 等颜色特征值具体量化烟叶的颜色变化。结果表明, 烟叶 R、G、B 分量及亮度值在定色前期(46 °C)结束以前均逐渐升高, 定色后期至烘烤结束逐渐降低; 烟叶色相值在整个烘烤过程均剧烈下降; 烟叶饱和度变化相对较缓, 其中定色前期结束之前有所降低, 定色后期到烘烤结束略有升高。整体来看, 烟叶颜色各个特征值随着烘烤过程变化明显。

采用 BP 神经网络模型来检测烟叶 β -胡萝卜素含量, 模型预测值与实测值的相关系数为 0.982, 具有良好的拟合效果。由于本试验数据样本较少, 样本数据分布不均匀, 所以, 烘烤过程烟叶 β -胡萝卜素含量的模拟精度存在一定误差。本研究结论还需要通过扩大样本量、配合其他非线性模型来进一步证实。

参考文献:

- [1] 周冀衡, 王勇, 邵岩, 等. 产烟国部分烟区烤烟质体色素及主要挥发性香气物质的含量比较[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2005, 31(2): 128-132.
- [2] 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.
- [3] 杨虹琦, 周冀衡, 杨述元, 等. 不同产区烤烟中主要潜香型物质对评吸质量的影响研究[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2005, 31(1): 11-14.
- [4] 中国烟草总公司郑州烟草研究院. 密集烤房烘烤过程烟叶状态的图像采集装置: 中国, 200820220980[P]. 2009-09-30.
- [5] Suzuki T. Measurement of growth of plug seedlings by image processing in broccoli[J]. Acta Horticultu-rae, 1995, 399: 333-343.
- [6] Adamsen F J, Paul J Pinter, Barncs E M Jr, et al. Measuring wheat senescence with a digital camera[J]. Crop Sci, 1999, 39: 719-724.
- [7] 蔡鸿昌, 崔海信, 宋卫堂, 等. 黄瓜初花期叶片光和色素含量与颜色特征的初步研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(9): 34-38.
- [8] 王克如, 李少昆, 王崇桃, 等. 用机器视觉技术获取棉花叶片叶绿素浓度[J]. 作物学报, 2006, 32(1): 34-40.
- [9] 马文杰, 贺立源, 刘华波, 等. 成像环境因素对烟叶图像采集结果的影响及校正研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(12): 2615-2620.
- [10] 徐增辉, 张彦娥. 温室黄瓜叶片图像的白平衡处理[J]. 农业机械学报, 2007, 11(11): 189-191.
- [11] 刘国顺, 韦凤杰, 王芳, 等. 反相高效液相色谱测定烤烟叶片发育过程中的类胡萝卜素类物质[J]. 色谱, 2006, 24(2): 161-163.
- [12] 安秋, 李志臣, 姬长英, 等. 基于光照无关图的农业机器人视觉导航算法[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 208-212.
- [13] 展慧, 李小昱, 王为, 等. 基于机器视觉的板栗分级检测方法[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 327-331.
- [14] 刘燕德, 应义斌, 成芳. 机器视觉技术在种子纯度检验中的应用[J]. 农业机械学报, 2003, 34(5): 161-163.
- [15] 陈博, 欧阳竹. 基于 BP 神经网络的冬小麦耗水预测[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 81-86.
- [16] 陈红, 熊利荣, 胡筱波, 等. 基于神经网络与图像处理的花生仁霉变识别方法[J]. 农业工程学报, 2007, 23(4): 158-161.

责任编辑: 杨盛强