

# 基于计算机视觉技术的温室黄瓜叶片营养信息检测

张彦娥, 李民赞, 张喜杰, 张建平, 徐增辉

(中国农业大学“现代精细农业系统集成研究”教育部重点实验室, 北京 100083)

**摘要:** 应用计算机视觉技术研究了诊断温室作物营养状态的方法。在日光条件下采集了温室黄瓜叶片图像, 然后分别提取了红绿蓝(RGB)三色分量和它们的相对系数  $rgb$ , 以及色度、饱和度和亮度指标(HSD)。在RGB和HSI颜色模型下分析了各分量与叶片含氮率、含磷率和含水率之间的相关性。分析结果表明: 叶片绿色分量G和色度H分量与氮含量线性相关, 可用作利用机器视觉快速诊断作物长势的指标, 而其它分量与氮含量没有明显的相关性; 颜色各分量与磷含量和水分含量均没有表现出明显相关关系; 在对单次数据进行分析和比较时发现在同一光照条件下, 绿色分量G和色度H与氮含量之间存在较好的线性相关特性, 而当光照条件不同时, 对两变量之间的线性关系存在一些影响, 需要在进一步的试验研究中通过使用人工光源和系统标定的方法改进, 以提高线性回归的精度。

**关键词:** 计算机视觉; 黄瓜; 叶片; 图像处理; 氮素; 温室作物

**中图分类号:** TP391; S625.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2005)08-0102-04

张彦娥, 李民赞, 张喜杰, 等. 基于计算机视觉技术的温室黄瓜叶片营养信息检测[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 102-105.  
Zhang Yan'e, Li Minzan, Zhang Xijie, et al. Nutrition information extraction of the cucumber leaves in the greenhouse based on computer vision technology[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(8): 102-105. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

温室栽培可以根据实际的作物长势人工控制栽培条件(温度、光线、通风以及营养供给), 以实现近乎全年度度的管理与生产, 这使得温室作物栽培越来越受到人们的重视。理想的温室管理应使作物的生长环境完全没有营养胁迫或过剩, 从而使作物始终处在有利于生长的营养平衡状态<sup>[1]</sup>, 这种理想状态在实际生产过程中虽很难实现, 但却是目前研究温室控制的目标。因此, 在温室栽培管理中, 准确地获得作物在生长过程中的营养状态信息是非常重要的。

长期以来, 研究营养状态基本上是用化学组分分析的方法进行。这种方法虽然准确, 但成本较高, 且必须采用破坏性的试验手段, 在生产实践中很难做到实用。

光谱分析的方法可以用来研究作物的营养状态。各种营养成分, 由于其化学成分不同, 具有不同的光谱反射特性。因此, 通过研究作物的光谱反射特性, 可以进行作物识别<sup>[2]</sup>、叶面积指数测定<sup>[3]</sup>。利用高光谱遥感还可以进行作物长势和养分诊断研究, 对作物的叶绿素浓度、叶绿素密度、水分、木质素、淀粉、蛋白质等信息可以通过光谱的“红边”, 或是特定波段的改变进行识别和诊断<sup>[4-7]</sup>。但是光谱仪器一般视角较小, 还没实现对整株营养状况的快速分析。

在实际生产中, 大多是作物种植人员根据经验用目测的方法进行, 在经验积累的基础上, 也取得了一定的效果。但人的肉眼分辨能力有限, 往往肉眼可以识别的时候, 已经对作物的生长状态造成了伤害。

随着计算机技术的发展, 图像分析的技术方法越来越成熟, 而且计算机图像有比人眼精细的分辨能力, 因此计算机图像处理和图像分析的方法也逐步被用于作物长势诊断。早在1970年就出现了用图像的方法研究作物长势的方法, 但是当时的图像是采用的印刷蓝图。早期应用图像处理的方法进行作物长势测定, 主要目的是研究作物的生长模型, 测定不同的生长条件对作物外形尺寸的影响, 测定作物的叶面积、茎粗、苗高、节距、叶片展开度和叶柄角度等<sup>[8,9]</sup>, 还有通过作物生长过程中各个部位器官的颜色不同和器官间形状的差异, 确定器官在植株上的位置<sup>[10]</sup>。近年来, 图像处理技术也用来进行营养分析<sup>[11-13]</sup>。

但这些研究都是各种营养缺乏或病态的定性分类, 尚未有对营养状态做定量诊断分析的, 因此笔者进行了颜色特征与作物叶片氮含量的相关分析。并通过对叶片的颜色分析与养分含量的相关分析, 明确地指出可以应用视觉技术诊断黄瓜叶片的氮含量。

## 1 试验理论与方法

### 1.1 作物形态诊断的理论依据

作物生长的营养状况, 必然在植株的形态上有所反映。氮是叶绿素的主要组成部分, 叶片的颜色可以说明氮素是否充足。

各种作物的形态表征各不相同, 黄瓜植株中氮含量的变化会迅速的在新叶颜色上有所反映<sup>[1]</sup>, 正常的叶片刻缺明显, 而且对各位置叶片的影响不尽相同。黄瓜缺氮, 叶片颜色会先从老叶开始变黄, 从叶脉间开始逐渐

收稿日期: 2004-06-29 修订日期: 2005-05-03

基金项目: 北京市科技计划项目(H020720030530)

作者简介: 张彦娥, 副教授, 博士生, “现代精细农业系统集成研究”教育部重点实验室, 中国农业大学信息与电气工程学院, 100083。

Email: zhyane@263.net

通讯作者: 李民赞, 博士, 教授, 博士生导师, 北京清华东路17号 中国农业大学125#, 100083。Email: pact@cau.edu.cn

发展到全叶, 直至整个叶片白化。

## 1.2 温室黄瓜的植株营养

黄瓜是主要温室作物的一种。氮的营养水平是作物生长状态的主要营养特征之一。

氮不足时, 黄瓜植株生长不良, 叶色淡绿, 茎叶早衰<sup>[14]</sup>。氮营养对叶面积影响显著, 叶面积与黄瓜氮营养成正比<sup>[3]</sup>。叶片是作物进行光合作用的主要器官, 也是产生生物量的主要部分, 叶片的营养和养分与植物生长状态有着密不可分的关系。

为了研究黄瓜植株表面颜色特征与植株营养之间的关系, 设计了在不同营养条件下种植黄瓜, 并采集叶片图像, 分析其颜色特征与叶片营养含量之间的关系。

## 1.3 试验条件及试验内容

试验是在日光温室进行, 所栽培的品种是“京研迷你 1 号”, 采用蛭石和草炭混合基质栽培。每周分两次采集叶片图像, 每次采集 15~20 片。

采用自然光源条件, 将采摘叶片放置在白色背景下, 用数码相机进行了图像采集。

为了研究在自然条件下, 通过图像分析营养成分的可能性, 图像采集使用普通 200 万像素的数码相机, 自然光光照条件, 对采摘下的叶片, 在具有固定目距的条件下完成。

对于采摘的叶片测量其湿重, 再经 15 h 77 °C 高温干燥后测量 N、P 的营养含量和干生物量产出。养分测量工作由河北农业大学协助测量完成。

## 1.4 图像颜色模型应用

数字图像中颜色的描述和显示依赖于一定的颜色模型。一般颜色模型分成两类, 一种是面向诸如彩色显示器或打印机之类的硬设备, 而另一类是面向彩色处理的。第一类中最常用的是 RGB 模型, 第二类中最常用的是 HSI 模型。

所谓的 RGB 模型是用国际照明委员会 CIE 指定波长的三基色 RGB 来表示颜色, 这种颜色模型在数字图像显示时普遍使用, 用三个分量可以描述具有一定色度、饱和度和亮度的颜色。有时在颜色分析中也经常使用 rgb 来描述颜色, 其中 r、g、b 分别表示  $R/(R+G+B)$ 、 $G/(R+G+B)$ 、 $B/(R+G+B)$ , 也就是用三基色系数的相对值来标记颜色。这种描述颜色的模型可以理解为消除了光强对颜色的影响<sup>[15]</sup>。

而 HSI 模型是按照人的视觉习惯分析颜色的一种模型, H 是色度, S 是饱和度, I 是亮度。

## 2 试验结果及分析

### 2.1 图像处理

在 Matlab 应用软件环境下, 应用其图像分析功能, 对于叶片的图像分别采用 RGB 和 HSI 颜色模型进行统计分析。图 1 所示为不同营养状态下的叶片图像实例, 其中叶片分别为 (a) 氮含量为 6.29%; (b) 氮含量为 4.60%; (c) 氮含量为 4.45%; (d) 氮含量为 1.26%。从中可以看出图像颜色的区别, 本研究就是试图通过计算机图像分析技术, 找出简便且准确提取叶片营养状态信

息的方法。

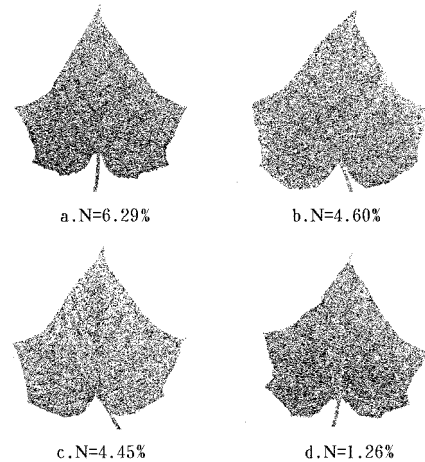


图 1 叶片的原始图像

Fig. 1 Original images of the cucumber leaves

图 2 所示为图像处理流程, 首先将图像采集, 然后进行图像分割, 提取叶片面积内的颜色分量, 并计算出颜色分量的统计量, 包括颜色各分量的平均值和最大和最小灰度值等。

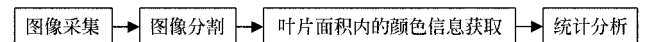


图 2 图像处理流程

Fig. 2 Flow chart of image processing

### 2.2 叶片颜色分析与试验结果

叶片的颜色直接反映叶绿素的含量, 而氮是叶绿素的主要成分, 用其颜色可以间接反映氮的含量。通过上述的图像处理, 获得了 RGB、rgb 和 H 分量在叶面积范围内的平均值, 与化学方法测得的叶片营养成分进行线性相关分析, 目的是确定可用来快速诊断作物营养状况的叶片图像特征。

表 1 是 2003 年 7 月 1 日所采集叶片的含氮率、含磷率和含水率等 3 个营养指标, 以及叶片的各种颜色分量数据。表 2 是 RGB 模型下的颜色分量及其相对系数 rgb, 以及色度分量 H 与 3 个营养参数之间的相关系数。图 3 所示为颜色 G 分量均值, 所用数据是两次采集叶片的相应数据。其中横坐标是 G 分量均值, 纵坐标是叶片的含氮率。图 4 所示为色度 H 分量均值, 两次分别采集叶片的相应数据。其中横坐标是 H 分量均值, 纵坐标是叶片的含氮率。

### 2.3 分析与讨论

通过颜色分量与 3 个营养参数之间的相关系数发现, 绿色分量 G 和色度分量 H 与氮含量之间有相当高的相关性, 相关系数分别为 -0.89 和 -0.88; 绿色分量 G 与磷的相关系数仅为 -0.17, 基本没有相关性, 与水分的相关系数为 0.51, 相关性不理想, 红色分量 R 与各含量之间的相关性均不理想; 而 rgb 与营养成分间基本没有相关性。结果表明, G 分量和 H 分量可以作为评价作物叶片含量的特征量。

表 1 叶片各颜色分量平均值与营养含量的试验数据

Table 1 Average values of leaf colours and tested results of nutritional contents

| 序号 | N 含量 /% | P 含量 /% | 水分 / $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ | R      | G      | B     | r     | g     | b     | H      |
|----|---------|---------|--------------------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1  | 5.0478  | 0.6712  | 0.8873                               | 51.18  | 94.90  | 46.72 | 0.265 | 0.492 | 0.242 | 154.33 |
| 2  | 3.5429  | 0.7004  | 0.9046                               | 66.48  | 120.03 | 30.12 | 0.005 | 0.355 | 0.640 | 172.34 |
| 3  | 3.2891  | 0.4816  | 0.8926                               | 91.92  | 144.71 | 49.68 | 0.004 | 0.387 | 0.609 | 175.90 |
| 4  | 3.6152  | 0.3409  | 0.9005                               | 78.73  | 132.13 | 48.84 | 0.004 | 0.372 | 0.624 | 170.33 |
| 5  | 4.6452  | 0.4698  | 0.8765                               | 46.40  | 92.97  | 47.36 | 0.006 | 0.331 | 0.663 | 147.95 |
| 6  | 4.5024  | 0.6552  | 0.8886                               | 32.94  | 82.44  | 30.60 | 0.008 | 0.283 | 0.709 | 151.85 |
| 7  | 3.0694  | 0.3653  | 0.9099                               | 72.92  | 131.70 | 34.39 | 0.004 | 0.355 | 0.641 | 170.00 |
| 8  | 4.2004  | 0.9990  | 0.8959                               | 78.96  | 136.51 | 36.07 | 0.004 | 0.365 | 0.631 | 173.61 |
| 9  | 3.7077  | 0.5384  | 0.8425                               | 53.72  | 110.74 | 46.84 | 0.005 | 0.325 | 0.670 | 155.18 |
| 10 | 5.0589  | 0.4018  | 0.8853                               | 51.68  | 89.61  | 51.81 | 0.006 | 0.363 | 0.630 | 147.53 |
| 11 | 4.6135  | 0.5700  | 0.8671                               | 36.53  | 93.94  | 34.21 | 0.007 | 0.278 | 0.715 | 151.49 |
| 12 | 4.5658  | 0.6123  | 0.8893                               | 33.65  | 88.61  | 34.53 | 0.007 | 0.273 | 0.720 | 149.19 |
| 13 | 1.1998  | 0.6618  | 0.8384                               | 98.71  | 147.37 | 24.56 | 0.003 | 0.374 | 0.623 | 179.56 |
| 14 | 1.2209  | 0.6092  | 0.8427                               | 96.80  | 161.04 | 28.96 | 0.003 | 0.374 | 0.623 | 179.56 |
| 15 | 1.2871  | 0.7121  | 0.8399                               | 114.68 | 164.37 | 39.28 | 0.003 | 0.410 | 0.587 | 186.05 |

表 2 图像特征量与营养成分间的相关性

Table 2 Correlation between characteristic values of images and nutritional contents

|      | R 分量  | G 分量  | B 分量  | r 分量 | g 分量  | b 分量  | H 分量  |
|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| N 含量 | -0.86 | -0.89 | 0.47  | 0.32 | -0.30 | -0.04 | -0.88 |
| P 含量 | 0.15  | 0.17  | -0.47 | 0.14 | 0.12  | -0.14 | 0.28  |
| 水分含量 | -0.37 | -0.36 | 0.22  | 0.12 | -0.10 | -0.02 | -0.29 |

图 3 和图 4 是对 2003 年 6 月 21 日和 7 月 1 日的两次数据进行处理后的结果,对两次采集的叶片分别进行分析,G 分量与氮含量之间均有很好的相关性;而且两次同时处理 G 分量与氮含量仍保持比较好的相关性,如图 3 所示。

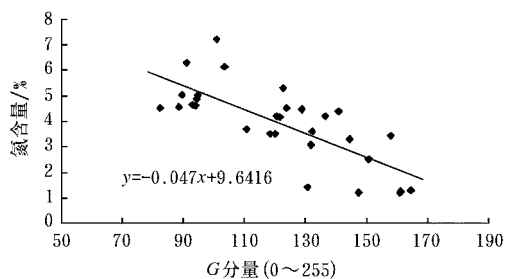


图 3 G 分量与氮含量之间的关系

Fig 3 Relationship between G values and nitrogen contents

而 H 分量在分别处理时与氮含量具有较好的相关性,相关系数分别为 0.88 和 0.87;但是如果同时处理,相关系数仅为 0.33。如图 4 分别表示了两次的相关性结果。采用自然光源,光线可能影响叶片表面的反射情况,光强较大时直反射的影响会加大,而两次的照射条件不完全一致,引起成像色度变化导致误差。

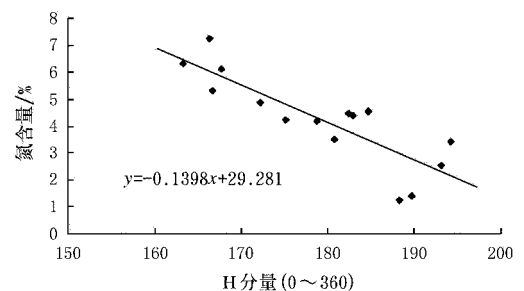
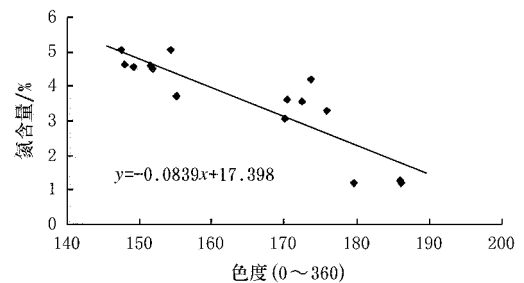


图 4 H 分量与氮含量之间的关系

Fig 4 Relationship between H values and nitrogen contents

### 3 结论

为了探求和研究应用计算机视觉手段,诊断温室作物营养状态的方法,在日光条件下采集了黄瓜温室叶片图像,并对其 RGB 分量、对应相对分量 rgb 及其色度 H 进行了分析,得出以下结论。

1) 叶片绿色分量 G 和色度 H 分量与氮含量线性相关, 可用作利用机器视觉快速诊断作物长势的指标; 而其他分量与氮含量没有明显的相关性。

2) 颜色各分量与磷含量和水分含量均没有明显相关关系。

3) 另外, 在对单次数据进行分析和比较时发现在同一光照条件下, 绿色分量 G 和色度 H 与氮含量之间存在较好的线性相关特性; 而不同光照条件对两变量之间的线性关系存在一些影响, 应该在进一步的试验研究中通过使用人工光源和系统标定的方法改进, 以提高线性回归的精度, 确定诊断模型。

综上所述, 本文研究叶片颜色和营养含量之间的关系, 为应用计算机视觉技术解决黄瓜叶片氮含量的技术实现提供了技术依据。

#### [参 考 文 献]

- [1] Geoffrey Winsor, Peter Adams Diagnosis of mineral disorders in plants (Vol 3): glasshouse crops [M]. London: Her Majesty's Stationery Office
- [2] LüJunwei, Ma Chenglin, Zuo Chunchen Distinguishing onions and weeds in field by using color image [J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(5): 153- 158
- [3] 杨劲峰, 陈清, 韩晓日, 等. 数字图像处理技术在蔬菜叶面积测量中的应用[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4): 155- 158
- [4] Tian Yongchao, Zhu Yan, Cao Weixing, et al. Monitoring growth status, yield and quality in cereal crops with canopy spectral reflectance[A]. The Second International Symposium on Intelligent Information Technology in Agriculture[C]
- [5] Pinar A. Crass chlorophyll and the reflectance red edge [J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(2): 351- 357.
- [6] Computon J Tucker Remote sensing of leaf water content in the near infrared[J]. Remote Sensing of Environment, 1980, 10: 23- 32
- [7] Carol A Wessman, John D Aber, David L Peterson. An evaluation of imaging spectrometry for estimating forest canopy chemistry [J]. International Journal of Remote Sensing, 1989, 10(8): 1293- 1316
- [8] George E Mayer, Date A Davison. An electronic image plant growth measurement system [J]. Transactions of the ASAE, 1987, 30(1): 242- 248
- [9] Ta-Te Lin, Jeng-Ming Chang. Vegetable seedling feature using stereo color imaging [R]. ASAE/CSAE - CSGR Annual International Meeting, 1999
- [10] Humphries S, Simonton W. Identification of plant parts using color and geometric image data[J]. Transactions of the ASAE, 1993, 36(5): 1493- 1500
- [11] 徐贵力. 基于计算机视觉技术的无土栽培番茄缺素智能识别研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2002
- [12] 陈佳娟. 基于图像处理和人工智能的植物病害自动诊断技术的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2001
- [13] Yud Ren Chen, Kuanglin Chao, Moon S Kim. Machine vision technology for agricultural applications [J]. Computers and Electronics Agriculture, 2002, 36, 173- 191.
- [14] 赵凤艳. 保护地黄瓜优质高产氮肥施用参数的研究[J]. 黑龙江农业科学, 2000, (6): 8- 10
- [15] 冯斌. 计算机视觉信息处理方法与水果分级检测技术研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2002

## Nutrition information extraction of the cucumber leaves in the greenhouse based on computer vision technology

Zhang Yan'e, Li Minzan, Zhang Xijie, Zhang Jianping, Xu Zenghui  
(Key Laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration Research,  
Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The method to diagnose the growth conditions of cucumber in greenhouse was studied with the machine vision. The images of the cucumber leaves were taken under the sunlight condition, then the red, green, blue (RGB), their relative ratios (r, g, b), and the hues of the images were calculated. And the correlations among nitrogen, phosphorus and water content of the leaves and their color parameters were analyzed using the RGB and the HSI model. The result shows that there are high linear correlations between the nitrogen content and the green weight, and between the nitrogen content and the hue so that two parameters could be used as the indices of the growth for the fast diagnosis using machine vision. Whereas the other color weights had not so high correlation with the nitrogen. It was observed that the color weights did not have obvious correlations with the phosphorus and water content. Additionally, it was found that different light conditions could have an effect on the linear relationship between the nitrogen content and the green weight or hue. So the method needs to be improved for higher precision of the linear regression through further experiments under the artificial light source and the system calibration.

**Key words:** computer vision; cucumber; leaf; image processing; nitrogen; greenhouse crop