

基于计算机视觉技术的油菜冠层营养信息监测

袁道军¹, 刘安国^{1*}, 原保忠¹, 胡立勇¹, 刘志雄¹, 张方方^{1,2}

(1. 华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070; 2. 浙江林学院环境科技学院, 杭州 311300)

摘要: 为了探讨利用计算机视觉技术监测油菜长相长势的可行性, 在大田自然条件下, 用数码相机构建了计算机视觉系统, 获取、分割图像, 用逐步回归的方法建立了用颜色值监测叶绿素含量、全氮含量、碳氮比值的最优模型, 模型具有较好的预测性。试验结果表明: 在大田自然光照条件下, 用数码相机采集油菜图像, 监测冠层叶绿素含量、全氮含量、碳氮比等生理指标是可行的。

关键词: 计算机视觉, 图象处理, 图像分割, 油菜

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.12.031

中图分类号: TP242.62, S126

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-12-0174-06

袁道军, 刘安国, 原保忠, 等. 基于计算机视觉技术的油菜冠层营养信息监测[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 174-179.

Yuan Daojun, Liu Anguo, Yuan Baozhong, et al. Nutrition information extraction of rape canopy based on computer-vision technology[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 174-179. (in Chinese with English abstract)

0 引言

叶片是植物进行光合作用和蒸腾作用的主要器官, 冠层叶片的叶绿素、全氮和可溶性糖等的含量是营养状态的反映和作物长势长相的诊断指标, 是对肥水定位、定量管理的决策依据^[1-3]。实时准确地获取这些生长信息是精准农业实现的基础和关键^[4-5], 但目前这些信息的快速采集技术的研究大大落后于支持精细农作的其他技术的发展^[6], 是实现农业信息化迫切需要研究和解决的问题^[7]。随着计算机软硬件, 尤其图形图像处理技术的迅猛发展, 使得计算机在农业中的应用日益广泛, 用计算机视觉技术进行作物生长自动化监测成为可能^[8]。

1996 年, Ahmad 等率先成功将计算机视觉技术应用到作物营养信息监测中^[9]。之后, 国内外学者开展了许多作物营养信息计算机视觉监测的研究^[10-26], 但大部分都集中在作物缺素方面^[10-15]。近年来, 也开展了一些作物的生理营养指标的研究^[16-26], 主要是针对叶绿素含量的监测^[17-18,21], 并且都是基于温室的、人工光箱的特定计算机视觉系统, 其应用范围受限。对作物而言, 目前研究主要集中在番茄^[10,13-14,21]、黄瓜^[12,15,26]、棉花^[16-19]和玉米^[11,20,24]等作物, 而世界上最重要的油料作物——油菜的报道很少, 目前仅见 2002 年 Adamsen 将油菜花朵与背景、其他器官分割开来的研究^[23]。本研究建立了一种基于大田自然光照条件下, 用数码相机采集图像的计算机视觉系统。通过 AOI (area of interest, 感兴趣区域) 测试方法,

探索了图像分割方法, 建立了油菜冠层营养信息监测模型。

1 材料与方法

1.1 材料与试验设计

参试品种为中油 821 和华杂 6 号 (华中农业大学油菜研究中心提供), 于 2003 年 10 月至 2004 年 5 月种植于华中农业大学试验场。采用两因素 (2 个品种, 3 个基肥施肥水平) 随机区组设计, 3 次重复。土壤质地黄壤, 中等肥力, 前茬为玉米, 小区面积 18 m², 种植密度 12 万株/hm²。

1.2 试验方法

1.2.1 图像获取方法

在油菜苗期, 随机选取区域, 用 SONY-FM505 型 CCD 数码相机固定高度对油菜垂直拍照, 再对区域内的单株油菜、冠层主要叶片拍照。图像采用 24 位真彩色 JPEG 格式存储, 分辨率为: 1 600×1 200。将拍照的叶片采回处理, 并测量其生理指标含量。

1.2.2 颜色模型选择及应用

在图形图像处理中颜色的描述和显示依赖于一定的颜色模型, 目前常用的颜色模型有 RGB 模型和 HSI 模型。

RGB 模型是面向硬件的模型, 用三基色 RGB (red, green, blue) 来表示颜色, 简单直观, 应用广泛。但 R、G、B 分量之间存在很高的相关性, 并带有亮度信息^[27], 所以在颜色分析中, 常用标准化后的 rgb 来描述颜色, 即: $r=255*R/(R+G+B)$ 、 $g=255*G/(R+G+B)$ 、 $b=255*B/(R+G+B)$, 这样可以消除光强对颜色的影响^[28]。

而 HSI 模型属极坐标空间定义, 是按照人的视觉习惯分析颜色的一种模型, 用色调 H (hue)、饱和度 S (saturation) 及相当亮度的量 I (intensity) 来表示。

灰度模型也是常用的颜色模型, 其灰度值由 RGB 值

收稿日期: 2007-03-12 修订日期: 2009-08-11

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (30130120) 资助

作者简介: 袁道军 (1979-), 男, 主要从事农业信息学研究。武汉 华中农业大学植物科学技术学院, 430070。Email: robert@mail.hzau.edu.cn

*通信作者: 刘安国 (1958-), 男, 副教授, 主要从事农业气象与农业模拟模型研究。武汉 华中农业大学植物科学技术学院, 430070。

Email: agl@mail.hzau.edu.cn

计算公式如下

$$Gray = \frac{9798 * R + 19235 * G + 3735 * B}{32768} \quad (1)$$

1.2.3 生理指标测定方法

叶绿素含量的测定：用美产 SPAD 502 叶绿素含量测量仪测定叶片的 SPAD 值，每片叶测定 5~10 点（视叶片大小和叶色分布情况而定），取均值。

可溶性糖和全氮含量的测定：鲜样杀青，烘干至恒重、碾碎。用蒽酮比色法测定可溶性糖含量，凯氏定氮法测定全氮含量。

1.2.4 模型建立与检验方法

模型建立：图 1 为模型建立流程。首先统计各目标物的颜色特征，寻找最优图象分割方法；然后分割图象，分离出油菜冠层与复杂背景，统计冠层图象的 *R*、*G*、*B*、*Gray*（灰度值）、*H*、*S*、*I*、*G-B*、*G-R*、*R-B*、*2G-R-B*、*r*、*g*、*b*、*g-b*、*g-r*、*r-b*、*2g-r-b* 等 18 项颜色特征值的均值。将 18 项值按颜色模型分组作自变量，生理指标为因变量，用统计软件 SAS 8.3 作逐步回归分析，建立生理指标与颜色间的模型，其样本数为 113。

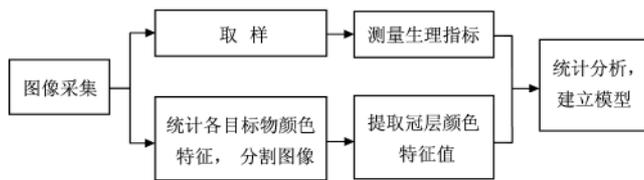


图 1 模型建立流程

Fig.1 Flow chart of model construction

模型检验：采用国际上模型检验常用的统计方法

RMSE (root mean square error, 简称 RMSE) 对模拟值与观测值之间的符合度进行统计分析。RMSE 值越小，表明模拟值与实际观测值的一致性越好，即模型的模拟结果越准确、可靠。RMSE 可用方程计算，方程中 OBS_i 为观测值， SIM_i 为模拟值， N 为样本容量。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (OBS_i - SIM_i)^2}{N}} \quad (2)$$

2 结果与分析

2.1 图像分割

2.1.1 图像分割方法研究

借鉴前人的 AOI 测试方法，通过图形图像处理得到仅有单一目标物的图像，用 Visual Basic 6.0 自编制的软件系统提取统计目标物的颜色特征。结合实际，统计分析了土壤、玉米残茬、枯萎叶片和绿色叶片 4 种目标物的图片各 50 张。

表 1 是基于 RGB 模型的颜色参数的均值和标准差。分析统计值发现：1) 绿色叶片的绿色分量占主导（即 $G > R$, $G > B$ ），其他目标的红色分量占主导（即 $R > G$, $R > B$ ）。2) 绿色叶片的 $G-R$ 的值远大于零，其他目标的 $G-R$ 值远小于零，且 $G-R$ 值的标准差较小。3) 绿色叶片的 $2G-R-B$ (excess green, 过绿特征) 的值远大于零，其他目标的 $2G-R-B$ 值远小于零或略大于零，但标准差较大。

表 2 是 RGB 模型标准化后的各颜色参数的统计值。同样可以得出类似上述的 3 点结论，并且除玉米残茬外，其他目标物的标准差都较小，所以标准化后的颜色参数更有利于图像分割。

表 1 基于 RGB 模型的颜色参数均值和标准差

Table 1 Mean values and standard error of color parameters based on RGB model

| 目标类型 | <i>R</i> | <i>G</i> | <i>B</i> | <i>G-B</i> | <i>G-R</i> | <i>R-B</i> | <i>2G-R-B</i> |
|------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|
| 土壤 | 128.1±42.4 | 105.7±43.0 | 98.1±40.4 | 7.6±11.3 | -22.4±12.6 | 30.0±12.4 | -14.9±20.5 |
| 玉米残茬 | 154.8±77.1 | 144.7±75.1 | 150.5±77.1 | -5.8±8.3 | -10.1±10.6 | 4.3±8.1 | -15.9±17.2 |
| 枯萎叶片 | 188.7±27.4 | 166.5±28.0 | 137.5±30.6 | 28.9±23.2 | -22.2±10.6 | 51.1±26.2 | 1.8±28.2 |
| 绿色叶片 | 127.9±25.9 | 147.2±23.0 | 121.1±38.3 | 26.2±31.0 | 19.3±17.1 | 6.8±20.7 | 45.5±45.5 |

表 2 标准化颜色参数的均值和标准差

Table 2 Mean values and standard error of normalized color parameters based on RGB model

| 目标类型 | <i>r</i> | <i>g</i> | <i>b</i> | <i>g-b</i> | <i>g-r</i> | <i>r-b</i> | <i>2g-r-b</i> |
|------|------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|---------------|
| 土壤 | 101.0±10.8 | 79.9±8.0 | 74.0±7.8 | 5.9±23.9 | -21.1±11.4 | 27.0±17.3 | -15.3±17.0 |
| 玉米残茬 | 90.1±41.3 | 83.6±41.7 | 81.3±33.7 | 2.3±125.0 | -6.5±63.5 | 8.9±75.8 | -4.2±62.8 |
| 枯萎叶片 | 98.1±6.6 | 86.1±4.5 | 70.8±9.3 | 15.3±13.5 | -11.9±13.1 | 27.3±6.4 | 2.4±15.5 |
| 绿色叶片 | 82.5±4.9 | 96.4±13.5 | 76.1±14.8 | 20.3±40.5 | 13.9±27.9 | 6.4±13.9 | 34.2±17.4 |

表 3 为基于 HSI 模型的颜色参数的统计值。分析表明，绿色叶片的色度值大于其他目标，饱和度和亮度值都比较接近。

综上所述，标准化和没有标准化的过绿特征值 $2G-R-B$ 和 $G-R$ 值提供了足够的对比度，为分割绿色植株和背景提供有力依据。叶片的绿色分量占主导、背景的红色分量占主导及色度值，也可作为图像分割的依据。

表 3 HSI 的均值和标准差

Table 3 Mean values and standard error of Hue, Saturation, Intensity

| 目标类型 | <i>H</i> | <i>S</i> | <i>I</i> |
|------|-------------|-----------|-------------|
| 土壤 | 103.9±40.1 | 14.9±9.3 | 110.6±111.0 |
| 玉米残茬 | 101.4±124.0 | 16.4±31.2 | 150.0±147.9 |
| 枯萎叶片 | 62.1±88.5 | 17.3±10.3 | 164.2±169.3 |
| 绿色叶片 | 141.7±65.9 | 13.4±15.8 | 132.1±138.0 |

2.1.2 图像分割分析

我们对 2G-R-B、2g-r-b、G-R、g-r、背景红色主导和标准化的背景红色主导 6 个依据对 411 张图像作了分割研究，各依据所取阈值和分割效果见表 4。

表 4 参数取值区间和效果表
Table 4 Parameters and results of splitting images

| | 阈值区间 | 最佳阈值 | 平均最高识别率 |
|---------------|---------------------------------------|-------------------|---------|
| $R>G$ 且 $R>B$ | $R-G \in [-10, 10], R-B \in [15, 24]$ | $R-G=3, R-B=17.6$ | 0.968 |
| $r>g$ 且 $r>b$ | $r-g \in [-10, 10], r-b \in [9, 18]$ | $r-g=2, r-b=10$ | 0.976 |
| 2G-R-B | [-10, 30] | 14 | 0.928 |
| 2g-r-b | [-5, 20] | 13 | 0.930 |
| G-R | [-10, 10] | -3 | 0.964 |
| g-r | [-10, 10] | -2 | 0.966 |

试验表明：在阈值区间内取不同的值，可以得到不同的识别效果。取值越小，植株的正确识别率越高，误将背景识别为植株的概率越大；取值越大，背景正确识别率越高，误将植株识别为背景的概率就越大。故实际应用中应根据图片中植株和背景的分布比率来灵活调整阈值，背景分布较多时，阈值适当取小；植株分布较多时，阈值适当取大，这样可以减少整体识别误差。

用 $R>G$ 且 $R>B$ 或者 $r>g$ 且 $r>b$ 分割效果好，平均识别率分别高达 0.968 和 0.976，且图像连通性好。

2.1.3 图像分割数值修正

对所有图像进行分割试验，发现 2G-R-B、2g-r-b、G-R、g-r、背景红色主导和标准化的背景红色主导 6 个依

据分割图像效果都较好，正确识别率均达到 92.5% 以上，试验中还发现：

1) 紫色叶片较多的图像采用 2G-R-B 和 2g-r-b 参数识别，推荐经验值分别为 14 和 13；

2) 土壤非常干燥（土壤发白）的图像采用参数 G-R 和 g-r 分割效果较好，推荐经验值分别为 -3 和 -2；

3) 用过绿特征和 G-R 值分割图像时，加入条件 $R-B>17.56$ ；用 2g-r-b 和 g-r 分割图像时，加入条件 $r-b>10$ ，可以很好的分割出有接近枯萎但未丧失功能的紫色叶片；

4) 用 $R>G$ 且 $R>B$ 或者 $r>g$ 且 $r>b$ 分割后的图像连通性较好，接近枯萎的叶片较少和“发白”的土壤不多的情况下分割效果最好，而且可以很好的分割出玉米残茬；

5) 在用 2G-R-B、2g-r-b、G-R 和 g-r 参数分割图像时，易出现一些孤点，影响分割效果，在以后的研究中应进一步除去孤点，以达到更好的识别效果。

结合本研究所采集图像的特点，最后采用阈值 $g-r=-2$ ，加入条件 $r-b=10$ 分割所有图像。

2.2 模型建立

2.2.1 叶绿素相对含量模型的建立与分析

用叶绿素相对含量 SPAD 值作为因变量，R、G、B、Gray（灰度值）、H、S、I、G-B、G-R、R-B、2G-R-B、r、g、b、g-b、g-r、r-b、2g-r-b 等 18 项 8 组颜色特征值作为自变量，进行逐步回归，建立的模型和各方程剩余均方和 $\hat{\sigma}^2$ 见表 5。

表 5 SPAD 值模型
Table 5 Models of SPAD values

| 因变量 | 模 型 | F 值 | P 值 | 显著性 | 剩余均方和 $\hat{\sigma}^2$ |
|---------------|-------------------------------------|---------|--------|-----|------------------------|
| R、G、B 值 | $Y=38.3878-0.6420R+0.2990G+0.3210B$ | 30.7300 | 0.0001 | ** | 58.4371 |
| H、S、I 值 | $Y=63.2472-0.3932S-0.2016I$ | 2.2760 | 0.0865 | | |
| 灰度值 | $Y=0.2745-0.0005X$ | 2.3250 | 0.1300 | | |
| r、g、b 值 | $Y=133.8571-1.1472r$ | 73.2100 | 0.0001 | ** | 64.9943 |
| G-B、G-R、R-B 值 | $Y=35.7659+0.3101(G-R)-0.3282(R-B)$ | 46.6100 | 0.0001 | ** | 57.7344 |
| g-b、g-r、r-b 值 | $Y=35.8866+0.4195(g-r)-0.3412(r-b)$ | 36.3500 | 0.0001 | ** | 65.6497 |
| 2G-R-B 值 | $Y=133.8571-1.1472(2G-R-B)$ | 73.2100 | 0.0001 | ** | 64.9943 |
| 2g-r-b 值 | $Y=31.2611+0.2411(2g-r-b)$ | 18.3580 | 0.0001 | ** | 101.9931 |

注：X 为灰度值，**：显著性为 $P<0.01$ 。

从表 5 可知，除了灰度值和 H、S、I 值外，其他的 6 个模型都达到了极显著水平。比较 $\hat{\sigma}^2$ 值，表明用全氮含量与 G-B、G-R、R-B 值作逐步回归得到的模型 $Y=35.7659+0.3101(G-R)-0.3282(R-B)$ 最优，RMSE 值也仅有 1.7133，也就是植株图像 G 值越大于 R 值，叶绿素含量越大；R 值越大于 B 值，叶绿素含量越小。试验表明用植株的颜色特征值预测、监视冠层的叶绿素含量是可行的，并且 RMSE 值较小，具有较好的预测性。

2.2.2 可溶性糖含量模型的建立与分析

采用蒽酮比色法测定样品的可溶性糖含量，试图建立可溶性糖含量的统计回归模型，但回归模型均不显著。可能是单一的可溶性糖含量和叶色间相关性不显著，要

结合叶片氮含量即常用来衡量作物长相长势的指标——碳氮 (C/N) 比来分析。

2.2.3 全氮含量模型的建立与分析

采用微量凯氏法测定叶片全氮含量，建立全氮含量模型如表 6 所示的模型。

从表 6 可知，除了灰度值外，其他的 7 个模型都达到了显著性水平。全氮含量与 G、g、b、G-R、g-r、2G-R-B、2g-r-b 存在显著正相关，与 R、H 存在显著负相关，可见 G 值或者 g 值越大，全氮含量越高；R 值或 H 值越高，全氮含量越低。

比较模型的 $\hat{\sigma}^2$ 值，表明用全氮含量与 R、G、B 值作逐步回归得到的模型 $Y=1.3659-0.0133R+0.0214G$ 最优，

其 *RMSE* 值也仅有 0.1212。

2.2.4 碳氮比模型的建立与分析

作物组织中的碳氮比是作物重要的营养指标，也是作物长势长相判断的重要依据。作物处于不同的生育期

或不同的营养水平，其叶片的碳氮比不同，同时叶色也有很大差异。而可溶性糖/全氮可以作为碳氮比的 1 个指标。本研究中用可溶性糖/全氮作为碳氮比的值来建立模型，如表 7 所示。

表 6 全氮含量模型
Table 6 Models of full nitrogen

| 因变量 | 模 型 | <i>F</i> 值 | <i>P</i> 值 | 显著性 | 剩余均方和 σ^2 |
|--|-----------------------------|------------|------------|-----|------------------|
| <i>R</i> 、 <i>G</i> 、 <i>B</i> 值 | $Y=1.3659-0.0133R+0.0214G$ | 25.4500 | 0.0001 | ** | 0.1493 |
| <i>H</i> 、 <i>S</i> 、 <i>I</i> 值 | $Y=3.4293-0.0053H$ | 14.9400 | 0.0002 | ** | 0.1895 |
| 灰度值 | $Y=2.2088+0.0041X$ | 1.0580 | 0.3057 | | |
| <i>r</i> 、 <i>g</i> 、 <i>b</i> 值 | $Y=-2.9673+0.0394g+0.0242b$ | 19.3200 | 0.0001 | ** | 0.1613 |
| <i>G-R</i> 、 <i>G-R</i> 、 <i>R-B</i> 值 | $Y=2.4012+0.0157(G-R)$ | 43.6200 | 0.0001 | ** | 0.1553 |
| <i>g-b</i> 、 <i>g-r</i> 、 <i>r-b</i> 值 | $Y=2.4295+0.0176(g-r)$ | 37.2200 | 0.0001 | ** | 0.1618 |
| <i>2G-R-B</i> 值 | $Y=2.4223+0.0066(2G-R-B)$ | 31.8290 | 0.0001 | ** | 0.1677 |
| <i>2g-r-b</i> 值 | $Y=2.4888+0.0059(2g-r-b)$ | 22.0950 | 0.0001 | ** | 0.1796 |

注：*X* 为灰度值，**：显著性为 $P<0.01$ 。

表 7 碳氮比含量模型
Table 7 Models of the C/N

| 因变量 | 模 型 | <i>F</i> 值 | <i>P</i> 值 | 显著性 | 剩余均方和 σ^2 |
|--|----------------------------|------------|------------|-----|------------------|
| <i>R</i> 、 <i>G</i> 、 <i>B</i> 值 | $Y=0.1372+0.0004R-0.0008G$ | 7.5500 | 0.0008 | ** | 0.00053 |
| <i>H</i> 、 <i>S</i> 、 <i>I</i> 值 | $Y=0.0588+0.0002H$ | 3.7900 | 0.0542 | | |
| 灰度值 | $Y=0.1063-0.0002X$ | 1.0500 | 0.3078 | | |
| <i>r</i> 、 <i>g</i> 、 <i>b</i> 值 | $Y=0.2540-0.0012g-0.0007b$ | 5.4700 | 0.0054 | ** | 0.00055 |
| <i>G-R</i> 、 <i>G-R</i> 、 <i>R-B</i> 值 | $Y=0.0889-0.0005(G-R)$ | 11.6700 | 0.0009 | ** | 0.00054 |
| <i>g-b</i> 、 <i>g-r</i> 、 <i>r-b</i> 值 | $Y=0.0884-0.0006(g-r)$ | 10.8200 | 0.0013 | ** | 0.00055 |
| <i>2G-R-B</i> 值 | $Y=0.0883-0.0002(2G-R-B)$ | 9.3020 | 0.0029 | ** | 0.00056 |
| <i>2g-r-b</i> 值 | $Y=0.0865-0.0002(2g-r-b)$ | 7.3400 | 0.0078 | ** | 0.00056 |

注：*X* 为灰度值，**：显著性为 $P<0.01$ 。

从表 7 可知，除了灰度值和 *H*、*S*、*I* 值外，其他的 6 组变量建立的模型达到了显著性水平。这与只分析可溶性糖含量得到的结果是不一样的，表明叶色不能很好的反映出单一的可溶性糖含量。碳氮比与 *R*、*G*、*g*、*b*、*G-R*、*g-r*、*2G-R-B*、*2g-r-b* 存在显著负相关。可见 *G* 值或者 *g* 值越大，*C/N* 比值越小，也即是说可溶性糖含量相对于全氮含量的值越小。

比较模型的 $\hat{\sigma}^2$ 值，表明用 *C/N* 比值与 *R*、*G*、*B* 值作逐步回归得到的模型 $Y=0.1372+0.0004R-0.0008G$ 最优，其 *RMSE* 值也仅有 0.0036。

3 结 论

1) *2G-R-B*、*2g-r-b*、*G-R*、*g-r*、背景红色主导和标准化的背景红色主导 6 个依据都能很好得将油菜冠层和复杂背景分离出来，正确识别率均达到 92.5% 以上。根据实际情况可以采取不同的参数阈值和进行参数组合，*2G-R-B* 和 *2g-r-b* 适合紫色叶片较多的图像，*G-R* 和 *g-r* 适合土壤非常干燥（土壤发白）的图像， $R>G$ 且 $R>B$ 或者 $r>g$ 且 $r>b$ 分割后的图像连通性较好。

2) 通过逐步回归分析，建立了叶绿素含量、全氮含量和碳氮比的最优回归模型，均达到极显著水平，并具有较小的 *RMSE* 值，可以通过冠层颜色特征值反演各生

理指标含量；但未能建立各颜色特征值与可溶性糖含量的模型。

结果表明，用数码相机在大田条件下，通过图形图像分析，监测油菜冠层的营养信息是可行的，并为应用计算机视觉技术自动化监测作物的长相长势提供了技术依据。

[参 考 文 献]

- [1] 吴全一，杜茂林，柯定荣，等. 高原特早熟玉米叶面积速测法研究简报[J]. 四川农业大学学报, 1997, (1): 146—148.
- [2] 庞红喜. 不同穗型小麦品种叶重与叶面积关系的研究[J]. 麦类作物, 1998, (1): 39—40.
- [3] 艾军，李爱民，王玉兰，等. 北五味子叶面积的回归测算法[J]. 特产研究, 1999, (1): 43—44.
- [4] Meyer G E, Anthony S, Shelton D P, et al. Electronic image analysis of crop residue on cover soil[J]. Trans of the ASAE, 1988, 31(3): 968—973.
- [5] 罗锡文，臧英，周志艳. 精细农业中农情信息采集技术的研究进展[J]. 农业工程学报, 2006, 22 (1): 167—173. Luo Xiwen, Zang Ying, Zhou Zhiyan. Research progress in farming information acquisition technique for precision agriculture[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(1): 167—

173. (in Chinese with English abstract)
- [6] 陈佳娟, 纪寿文, 李娟, 等. 采用计算机视觉进行棉花虫害程度的自动测定[J]. 农业工程学报, 2001, 17(3): 157—200.
Chen Jiajuan, Ji Shouwen, Li Juan, et al. Automatic measurement of danger degree of cotton insect pests using computer vision[J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(3): 157—200. (in Chinese with English abstract)
- [7] 李少昆, 王崇桃. 图象及视觉技术在作物科学中的应用进展[J]. 石河子大学学报: 自然科学版, 2002, 6(1): 79—86.
Li Shaokun, Wang Chongtao. A review of the application of image and machine-vision technique in crop production and scientific research field[J]. J of Shihezi University: Natural Science, 2002, 6(1): 79—86. (in Chinese with English abstract)
- [8] 宁纪锋, 龙满生, 何东健, 等. 农业领域中的计算机视觉研究[J]. 计算机与农业, 2000, (1): 1—3.
Ning Jifeng, Long Mansheng, He Dongjian, et al. The review and prospect of computer vision in agriculture[J]. Computer and Agriculture, 2000, (1): 1—3. (in Chinese with English abstract)
- [9] Ahmad I S, Reid J F. Evaluation of colour representation for maize image[J]. J of Agri Engineering Res, 1996, 63(3): 185—196.
- [10] 徐贵力, 毛罕平, 李萍萍. 缺素叶片彩色图像特征值提取的研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4): 150—154.
Xu Guili, Mao Hanping, Li Pingping. Extracting color features of leaf color images[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(4): 150—154. (in Chinese with English abstract)
- [11] Gautam R K, Panigrahi S. Image processing techniques and neural network models for predicting plant nitrate using aerial images[C]//Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks, 2003, (2): 1031—1036.
- [12] 李长缨, 滕光辉, 赵春江, 等. 利用计算机视觉技术实现对温室植物生长的无损监测[J]. 农业工程学报, 2003, 19(3): 140—143.
Li Changying, Teng Guanghui, Zhao Chunjiang, et al. Development of non-contact measurement on plant growth in greenhouse using computer vision[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(3): 140—143. (in Chinese with English abstract)
- [13] 毛罕平, 徐贵力, 李萍萍. 基于计算机视觉的番茄营养元素亏缺的识别[J]. 农业机械学报, 2003, 34(2): 73—75.
Mao Hanping, Xu Guili, Li Pingping. Diagnosis of nutrient deficiency of tomato based on computer vision[J]. Transactions of the CSAM, 2003, 34(2): 73—75. (in Chinese with English abstract)
- [14] 吴雪梅, 毛罕平. 计算机视觉描述缺素番茄叶片颜色变化的研究[J]. 农机化研究, 2004, (5): 212—214.
Wu Xuemei, Mao Hanping. Research on application of quantitative description of nutrition deficiency of tomato color using computer vision[J]. J of Agri Mechanization Res, 2004, (5): 212—214. (in Chinese with English abstract)
- [15] 胡春华, 李萍萍. 基于图像处理的黄瓜缺氮与缺镁判别的
研究[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2004, 25(1): 9—12.
Hu Chunhua, Li Pingping. Application of image processing to diagnose cucumbers short of Mg and N[J]. J of Jiangsu University: National Science Edition, 2004, 25(1): 9—12. (in Chinese with English abstract)
- [16] 雷咏雯, 危常州, 冶军, 等. 计算机辅助叶色分析进行棉花氮素营养诊断的初步研究[J]. 石河子大学学报: 自然科学版, 2004, 22(2): 113—116.
Lei Yongwen, Wei Changzhou, Ye Jun, et al. Application of computer-aided cotton leaf-color analysis in nitrogen status diagnosis in cotton plants[J]. J of Shihezi University: Natural Science, 2004, 22(2): 113—116. (in Chinese with English abstract)
- [17] 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.
Wang Ke'ru, Li Shaokun, Wang Chongtao, et al. Acquired chlorophyll concentration of cotton leaves with technology of machine vision[J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(1): 34—40. (in Chinese with English abstract)
- [18] 王方永, 李少昆, 王克如, 等. 基于机器视觉的棉花群体叶绿素监测[J]. 作物学报, 2007, 33(12): 2041—2046.
Wang Fangyong, Li Shaokun, Wang Ke'ru, et al. Obtaining information of cotton population chlorophyll by using machine vision technology[J]. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(12): 2041—2046. (in Chinese with English abstract)
- [19] 王晓静, 张炎, 李磐, 等. 地面数字图像技术在棉花氮素营养诊断中的初步研究[J]. 棉花学报, 2007, 19(2): 106—113.
Wang Xiaojing, Zhang Yan, Li Pan, et al. Study on cotton N status diagnosis using digital image processing[J]. Cotton Science, 2007, 19(2): 106—113. (in Chinese with English abstract)
- [20] 刘洪见, 曾爱平, 郑丽敏. 基于数字图像处理技术的玉米氮肥营养状态诊断[J]. 农业网络信息, 2007, (12): 31—35.
Liu Hongjian, Zeng Aiping, Zheng Limin. Corn nitrogenous nutrition status diagnosis based on digital image processing technology[J]. Agriculture Network Information, 2007, (12): 31—35. (in Chinese with English abstract)
- [21] 柴阿丽, 李宝聚, 王倩, 等. 基于计算机视觉技术的番茄叶片叶绿素含量的检测[J]. 园艺学报, 2009, 36(1): 45—52.
Cai A'li, Li Baoji, Wang Qian, et al. Detecting Chlorophyll content of tomato leaves with technology of computer vision[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2009, 36(1): 45—52. (in Chinese with English abstract)
- [22] 郑丽颖, 张敬涛, 王谦玉. 基于计算机视觉的作物营养诊断系统的关键技术研究现状[J]. 黑龙江农业科学, 2009, (2): 137—140.
Zheng Liying, Zhang Jingtao, Wang Qianyu, et al. Review on key technologies of computer vision based diagnosis of crop nutrition status[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2009, (2): 137—140. (in Chinese with English abstract)
- [23] Adamsen F J, Coffelt T A, Nelson J M, et al. Method for

- using images from a color digital camera to estimate flower number[J]. *Crop Science*, 2000, 40(3): 704—709.
- [24] Scharf P C, Lory J A. Calibrating corn color from aerial photographs to predict sidedress nitrogen need[J]. *Agronomy Journal*, 2002, 94(3): 397—404.
- [25] Gautam R K, Panigrahi S. Leaf nitrogen determination of corn plant using aerial images and artificial neural networks[J]. *Canadian Biosystems Engineering*, 2007, 49(7): 1—9.
- [26] 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)
- [27] Tao Linmi, Xu Guangyou. Color in machine vision and its application[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46 (17): 1411—1421.
- [28] 吴健新, 李翠华. 视频序列中基于肤色的人脸实时检测[J]. *厦门大学学报: 自然科学版*, 2004, 43(3): 321—325.
Wu Jianxin, Li Cuihua. Real-time face detection based on skin-color in video sequence[J]. *Journal of Xiamen University: Natural Science*, 2004, 43(3): 321—325. (in Chinese with English abstract)

Nutrition information extraction of rape canopy based on computer-vision technology

Yuan Daojun¹, Liu Anguo^{1*}, Yuan Baozhong¹, Hu Liyong¹, Liu Zhixiong¹, Zhang Fangfang^{1,2}

(1. College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. School of Environment Technology, Zhejiang Forestry University, Hangzhou 311300, China)

Abstract: In order to study the possibility of monitoring the rape canopy' nutrition information based on computer-vision technology in the outdoor ray, the computer-vision system was designed, and the images of the rape canopy were got and segmented. Through the statistical analysis of stepwise regression, the perfect models of chlorophyll content, total-N content, and C/N ratio were found and have a good predictive ability. The result showed that it is possible to estimate the physiological indexes of rape canopy, including chlorophyll content, total-N content, and C/N ratio, with digital camera under the conditions of field natural light.

Key words: computer vision, image processing, image segmentation, rape