

基于数字图像分析监测不同氮肥处理下加工番茄生长状况的初步研究

李艳¹, 王进², 褚贵新^{1,3}, 马富裕^{1,3}, 危常州^{1,3*}

(1 石河子大学农学院, 新疆石河子 832000; 2 石河子大学生物工程学院, 新疆石河子 832000;

3 石河子大学新疆绿洲生态农业重点实验室, 新疆石河子 832000)

摘要: 利用数字相机获取田间加工番茄冠层影像, 通过图像处理软件准确识别冠层和背景像素, 分析了加工番茄不同施氮量下提取的地面覆盖度与生物学参数间的相关关系, 其相关系数都达到 0.96 以上, 呈极显著相关; 分析了光谱参数—绿色深度指数(DGCI)与叶片叶绿素含量相关关系, 二者表现出 $r = 0.74$ 以上的极显著直线相关。结果表明, 利用地面覆盖度可在生长前期监控加工番茄生长量, 预测生物学产量和叶面积系数; 在果实膨大期预测吸氮量和经济产量。利用光谱参数 DGCI 可监测加工番茄叶片叶绿素含量。本结果可快速准确监测加工番茄生长发育, 为加工番茄生产提供科学依据。

关键词: 加工番茄; 图像分析; 地面覆盖度; 绿色深度指数; 叶绿素含量

中图分类号: S642.1

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2008)01-0139-05

Tomato growth monitoring under different N treatments based on digital image analysis

LI Yan¹, WANG Jin², CHU Gui-xin^{1,3}, MA Fu-yu^{1,3}, WEI Chang-zhou^{1,3*}

(1 College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China; 2 College of Life Sciences,

Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China; 3 Key Laboratory of Oasis Ecological Agriculture of

Xinjiang Production and Construction Corps, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China)

Abstract: Tomato canopy and background pixel was identified by image processing software with CCD digital camera as a sensor. Percent ground cover of vegetation (PGCV) and tomato biological parameters were adopted for regression analysis. Empirical statistical showed that there was a significant correlation between these two parameters ($r = 0.96$). The results of regression analysis showed that the optical parameters (Dark Green Color Index, DGCI) significantly linear correlated to tomato leaves' chlorophyll concentration ($r = 0.74$). The results also indicated that image analysis is a promising method for monitoring growth rate of tomato at the prophase. The PGCV is a reliable indicator which can be used to evaluate both the biomass and the leaf area index (LAI) of tomato plant throughout the whole growth seasons. DGCI can be used to estimate the chlorophyll concentration in tomato's leaves. Therefore, color analysis provided a potential way for monitoring growth of tomato rapidly and accurately.

Key words: processing tomato; image analysis; percent ground cover of vegetation; dark green color index; chlorophyll concentration

随着精准农业的发展, 遥感作为一种监测作物生长、水肥胁迫、病虫害防治的监控技术, 为优化农

业生产管理提供实时快速、无损、大范围、大尺度监测工具^[1]。近年来, 可见光遥感和信息技术及数字

收稿日期: 2006-10-20 接受日期: 2007-01-15

基金项目: 新疆生产建设兵团重点科技攻关项目(04GG03)资助。

作者简介: 李艳(1979—), 女, 新疆人, 硕士研究生, 主要从事作物营养与施肥方面的研究。E-mail: liyan7919@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Tel: 0993-2058227, E-mail: wei-changzhou@163.com

图像处理技术的发展,国际上一些研究者应用可见光遥感技术、数字图像处理软件进行作物生长状况的监测^[5];许多研究人员试图利用可见光和近红外光谱反射从作物冠层探测到作物生长状况。Blackmer等^[6]研究了冠层光反射与玉米产量的关系;Adams等^[7]应用数字图像处理技术判断小麦的冠层叶绿素含量;Lukin等^[8]应用数码相机获取田间小麦冠层影像并通过图像处理技术获得小麦冠层覆盖度,估计了冬小麦冠层生物量;Richardsor^[9]利用数码影像分析技术预测草地地面覆盖度,其预测值与实测值达到极显著相关($R^2 = 0.99$)。这些研究都说明近地面可见光遥感的传感器具有广阔的应用前景,但估测精度受光照条件、阴影、环境噪音的影响,有些方法还带有主观性、费时、费力。

本研究采用 CCD 数码相机作为传感器,获取加工番茄生长时期冠层彩色数码影像,应用图像处理软件分析图片,消除了光照、阴影、土壤等背景噪音,准确识别冠层影像,为监测作物生长提供一种快速可靠的方法。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2006 年在石河子大学试验站进行。试验地土质为中壤土,土壤容重为 1.34 g/cm^3 ,田间持水量为 25.29%。土壤耕层(0—30 cm)基本理化性状:有机质 15.4 g/kg ,碱解氮 63 mg/kg ,速效磷 16 mg/kg ,速效钾 208 mg/kg 。供试加工番茄(酱用番茄)为新疆目前主栽品种里格尔 87-5(Lycopersicon liget87-5,该品种为自封顶、早熟、无支架栽培类型,生育期为 120 天)。

试验采用育苗移栽,移植密度约为 4.8×10^4 株/ hm^2 ;氮肥处理设 0、150、300、450 kg/hm^2 四个水平(分别为对照、低氮、中氮、高氮)和一个氮肥“X”优化处理(“X”优化处理以获取的实时氮素指标为依据进行指导性施肥,作为探索性研究),三次重复,共 15 个小区,完全随机区组排列,小区面积 48 m^2 (长 \times 宽=10 m \times 4.8 m)。各处理均以基肥方式移植前一次性施入,磷肥(普钙) P_2O_5 210 kg/hm^2 ,钾肥(氯化钾) K_2O 150 kg/hm^2 ;氮肥(尿素)按设计要求全部作追肥,在番茄生长期间分期随水滴施。

1.2 调查测定项目与方法

在加工番茄生长不同生育期采取地上部分植株样(每 7 天取 1 次,各小区采取 2~3 株),测定其干物质积累量、叶面积指数(打孔法);生长前期测定

株高、茎粗;收获期测定单株果数及产量。

全氮测定:将植株样叶、茎、果分别烘干、称重、制样,以 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{—H}_2\text{O}_2$ 法消化,用 BUCHI-350 全自动凯氏定氮仪测定植株全氮含量。

叶绿素含量的测定采用日本生产的 SPAD-502 叶绿素仪,各小区选取长势均匀的 30 株测定主茎倒 3 叶叶片羽状复叶的顶生小叶。同时采用化学方法(丙酮:乙醇 1:1 混合)提取叶绿素,利用 721 分光光度计比色。

光谱参数的获取:使用 Olympus C740 型数码相机获取加工番茄各生育期冠层彩色影像,选择正午 12:00—14:00 无风无云的晴朗天气,拍摄高度为镜头距冠层 1 米,拍摄角度为镜头与水平面成 30 度角(在一定程度上确保了每张图片拍摄的冠层面积),设定强制曝光模式,相机分辨率为 2084×1536 像元,分别在移栽后 15、23、30、41、46、54、65、73、81 天与生物量同时获取,各小区每次拍摄 2~3 幅,并采用 JPEG 格式存储,采用自编图像处理软件^[10]提取可见光特征光谱参数。

图像处理软件的程序设计与特点:软件的编程以 HLS 和 RGB 颜色系统为基础,采用 VB 自行开发的可在 Windows 环境下运行的一个自动提取作物数码照片像素信息的计算机程序。该程序可以自动进行颜色的单色反演,按照影像的饱和度(Saturation)、色度(Hue)、亮度(Light)或象素点 R(红光值)、G(绿光值)、B(蓝光值)色阶值的任意一种或多种构建过滤条件或构建复合过滤条件,综合这些条件,可以精确的识别冠层和背景像素。进行图片处理时可根据研究的需要设定像元筛选条件(例如,色度范围、生育期等),消除土壤、阴影、热点等背景噪音,提取番茄冠层光谱信息(例如,冠层像素符合 $G-R > 0$,而背景像素符合 $G-R < 0$ 的特征),该程序具有目标明确、界面直观、操作简便的特点。

2 结果与分析

2.1 不同氮肥处理加工番茄地面覆盖度变化

利用数字图像提取封垄前的加工番茄地面覆盖度(PGCV),即冠层总像素与图片像素总量的比值。

应用图像处理软件分析不同氮肥处理加工番茄冠层影像并提取特征光谱参数 PGCV(图 1)。从整个生育期来看,地面覆盖度变化与生长动态变化趋势一致,都呈一个单峰曲线,即前期营养生长呈直线上升趋势,移栽后 40 天进入盛花期,开始生殖生长,

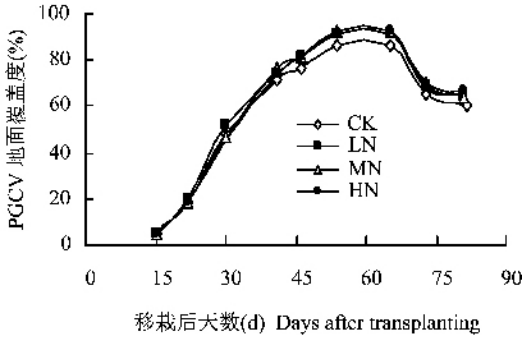


图 1 不同氮素处理加工番茄地面覆盖度动态变化
Fig.1 Dynamics of PGCV of processing tomato under different N treatments

变化减缓 到移栽后 65 天地面覆盖度达到峰值 65 天以后为盛果期 开始拉秧 地面覆盖度呈下降趋势。

不同氮肥水平下地面覆盖度动态变化可以看出 移栽后 40 天不同处理间开始表现出差异,不施氮肥的对照(CK)处理 PGCV 始终低于其它处理,而

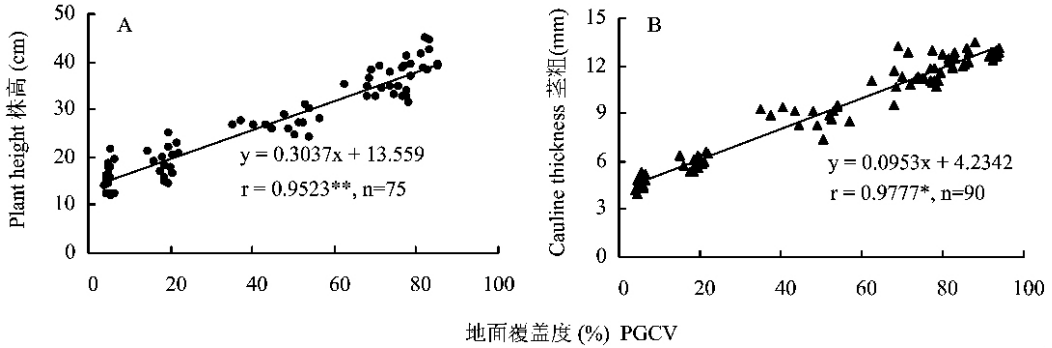


图 2 加工番茄 PGCV 株高和茎粗的关系

Fig.2 Relationship between PGCV and the plant height and cauline thickness of processing tomato

2.2.2 地面覆盖度与生物量、叶面积、单株吸氮量的相关关系 利用数字图像提取采收前期的加工番茄地面覆盖度与实时取样测定的生物量、叶面积指数(LAI)进行回归分析(图 3A、图 3B),结果表明,PGCV 与生物量、LAI 均表现出极显著指数相关关系($r = 0.9683, 0.9751$)。在红果期以前,加工番茄地面覆盖度与单株吸氮量的回归分析也呈极显著指数相关关系($r = 0.9676$,图 3C),这与地面覆盖度变化和数字图像所提取的冠层总像素趋于一致相符合。

从数据分布来看,在 PGCV 低于 60% 时拟合精度较高,高于 60% 时表现出了较高的离散程度。这是由于番茄生长进入盛花期,开始封垄,枝叶交互重叠,而数字图像的提取只是表面冠层像素的总和,PGCV 主要是由冠层总像素决定的,因而影响了识别精度。这

低氮(LN)、中氮(MN)、高氮(HN)处理之间差异不明显,这主要是由于生长旺盛时期生长量增加,叶片重叠,影响了计算机识别精度。这表明在加工番茄生长前期计算机能够更好的提取冠层信息。

2.2 地面覆盖度与生物学参数的相关性分析

2.2.1 地面覆盖度与株高和茎粗相关关系 株高和茎粗是反映作物生长状况的重要指标^[11]。由图 2 可以看出,地面覆盖度(PGCV)与加工番茄株高和茎粗均呈极显著直线相关关系($r = 0.9490$ 和 0.9691)。

从数据的分布来看,前期处于缓苗阶段,地面覆盖度较低且数据分布比较集中,处于一个稳定值。随着番茄的生长,PGCV 也随之上升,但数据分布比较分散,这也与番茄生长旺盛时期计算机识别精度下降有关,但总体上地面覆盖度与株高、茎粗变化趋势是一致的。其二者相关性说明地面覆盖度指标能很好的监测加工番茄的生长量。

与雷咏雯^[10]和李存军^[12]的研究结果相同。表明采用图像分析技术可以很好地预测番茄生物量、叶面积和吸氮量,并且可以大幅度提高工作效率。

2.3 利用地面覆盖度估计产量

各时期加工番茄冠层地面覆盖度与产量的相关性分析(如图 4, $n = 15$)结果表明,地面覆盖度(PGCV)与产量的相关性在不同生育时期都有差异,在盛花期(移栽 46 天)以前相关性不显著;在盛花期以后相关性达到显著和极显著水平($r = 0.6044 \sim 0.8070$);果实膨大期(移栽 65 天),进入生长最旺盛的时期,叶面积和生物量均达到最大值,也是形成产量的关键时期,其相关系数达到峰值($r = 0.791$)。

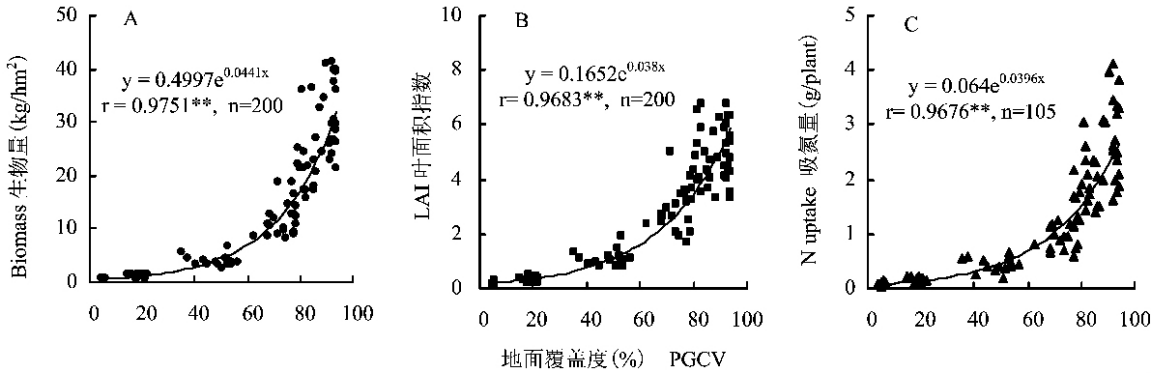


图3 加工番茄地面覆盖度与生物量(A)、叶面积系数(B)、吸氮量(C)的相关关系

Fig.3 Relationship between PGCV and biomass(A), LAI(B), N uptake(C) of processing tomato

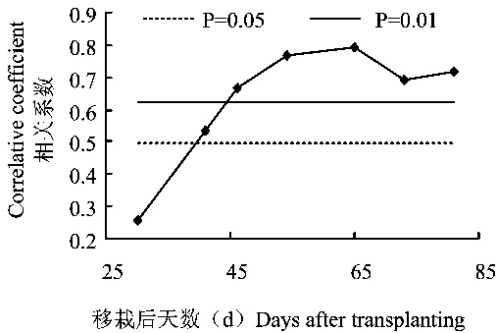


图4 不同生育时期地面覆盖度与产量的相关关系

Fig.4 Correlations between PGCV and the tomato yield in different growing stage

移栽 65 天后番茄叶片开始衰老、脱落,地面覆盖度下降,而此时产量已经形成,因此其相关系数有所下降($r = 0.5374 \sim 0.685$)。综上所述,利用地面覆盖度在果实膨大期可以很好地估测加工番茄经济产量。

2.4 绿色深度指数与叶绿素含量的相关分析

叶绿素是作物生长状况快速诊断的最佳监测指标。Karcher^[14]提出的参数绿色深度指数(Dark Green Color Index, DGCI)是从数字图片中获得,可以识别图片绿色深度,并提出计算公式: $DGCI = [(H - 60)/60 + (1 - S) + (1 - B)]/3$,其中参数值色度范围 Hue 值在 60(黄)~120(绿)之间,最大值为 120,因此公式中的 $(H - 60)/60$ 值变化范围在 0~1 之间,饱和度(Saturation)和亮度(Brightness)的变化范围 $0 < S < 1, 0 < B < 1$ 。因此, DGCI 主要还是由色度值决定,也就是植物绿色深度状况,而植物的绿色深度与其叶绿素含量紧密相关^[13]。

本研究利用图像分析技术获取的 DGCI 与加工番茄叶绿素含量作回归分析(图 5),结果表明, DGCI

与叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素(a + b)和叶绿素仪(SPAD)读数均呈正相关,且相关系数都达到 $r = 0.7$ 以上的极显著水平,其中与 SPAD 读数值相关性最好。研究表明,利用数字图像分析技术提取光谱参数 DGCI 能很好地反映加工番茄的叶绿素含量,可以用来估计加工番茄的叶绿素含量。

3 结论

本研究利用数字图像处理技术分析不同氮肥处理下加工番茄冠层影像,结果表明,不同氮肥水平下的地面覆盖度参数(PGCV)变化趋势都呈单峰曲线,与作物生育进程相符合,且与生长量株高、茎粗均呈直线相关关系;与生物量、叶面积指数、单株吸氮量都表现出指数相关关系。因此,利用地面覆盖度在生长前期可以很好地监测加工番茄生长量;在整个生育期可以很好地估测加工番茄生物量和叶面积。在果实膨大期 PGCV 与产量的相关性最好,也证明可以利用地面覆盖度在果实膨大期估测加工番茄的经济产量。光谱参数 DGCI 与叶绿素 a、b、a + b 和 SPAD 值均呈正相关,表明光谱参数 DGCI 可以很好的反映植物叶片的叶绿素含量。

本研究采用自编图像处理软件能够消除热点、阴影、土壤等背景噪音,很好地提取加工番茄冠层光谱参数,为估测作物生长参数提供一种快速可靠的方法。但是软件的编程对于盛花期的黄花不能很好地区分,在生长旺盛时期枝叶的相互交错影响了像元的区分,因此,还需要进一步研究改进计算方法,提高估测精度。

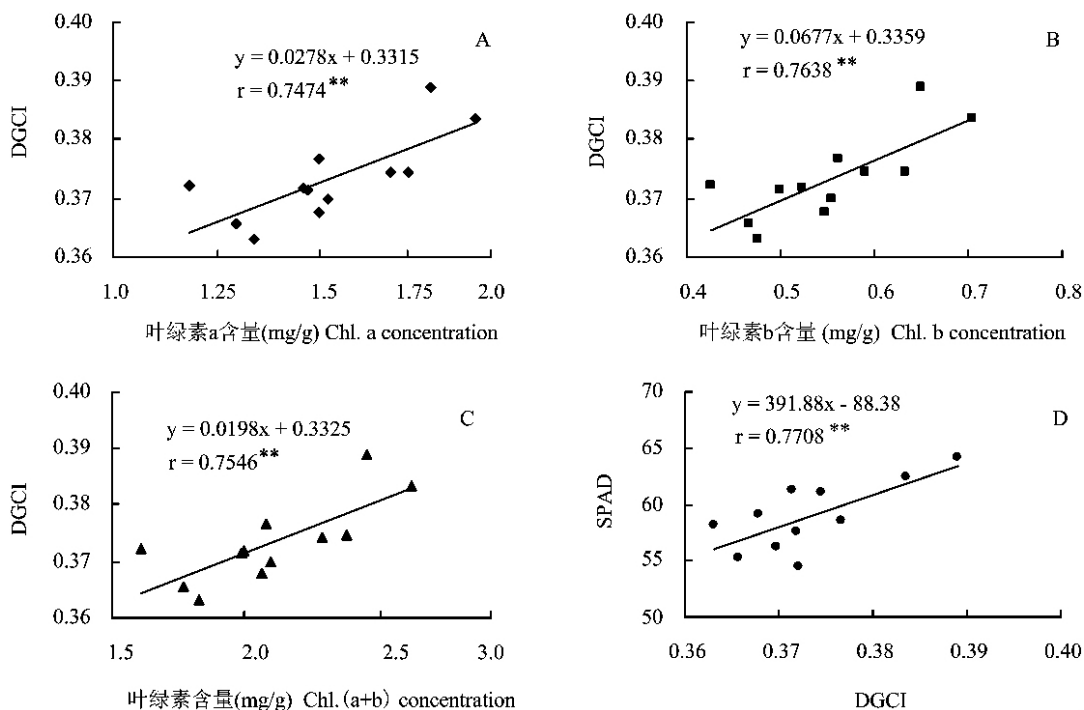


图 5 加工番茄绿色深度指数与叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素(a+b)、SPAD 值的相关关系

Fig.5 Relationship between DGCI and the tested value of chl. a, chl. b, chl.(a + b) and SPAD of processing tomato

参考文献:

- [1] 贾良良. 应用数字图像技术与土壤植株测试进行冬小麦氮营养诊断[D]. 中国农业大学博士论文, 2003.
Jia L L. Diagnosis of N status of winter wheat using digital image processing and soil-plant testing techniques[D]. Beijing: Ph D thesis of China Agricultural University, 2003.
- [2] 王珂, 沈掌泉, 王人潮. 植物营养胁迫与光谱特性[J]. 国土资源遥感, 1999, 1(1): 9-14.
Wang K, Sheng Z Q, Wang R C. The Plant nutrition stress and spectrum identity[J]. Remote Sens. Land & Resource., 1999, 1(1): 9-14.
- [3] 沈掌泉, 王珂, 朱君艳. 叶绿素计诊断不同水稻品种氮素营养水平的研究初报[J]. 科技通报, 2002, 18(3): 173-176.
Sheng Z Q, Wang K, Zhu J Y. Preliminary study on diagnosis of the nitrogen status of two rice varieties chlorophyll meter[J]. Bull. Sci. Techn., 2002, 18(3): 173-176.
- [4] Boegh E, Soegaard H, Broge N *et al.* Airborne multispectral data for quantifying leaf area index, nitrogen concentration, and photo synthesis efficiency in agriculture[J]. Rem. Sens. Environ., 2002, 81: 179-193.
- [5] 白优爱. 京郊保护地番茄养分吸收及氮素调控研究[D]. 北京: 中国农业大学硕士论文, 2003.
Bai Y A. Studies on nutrient uptake and nitrogen balance in protected-field tomato in Beijing Suburb[D]. Beijing: Master thesis of China Agricultural University, 2003.
- [6] Blackmer T M, James S S, Gary E V *et al.* Nitrogen deficiency detection using reflected shortwave radiation from irrigated corn canopies[J]. Agron. J., 1996, 88: 1-5.
- [7] Adamsen F J, Pinter P J, Barnes J E M *et al.* Measuring wheat senescence with a digital camera[J]. Crop Sci., 1999, 39: 719-724.
- [8] Lukina E, Stone M, Raun W. Estimating vegetation coverage in wheat using digital images[J]. Plant Nutr., 1999, 22(2): 341-350.
- [9] Richardson M D, Karcher D E, Purcell L C. Quantifying turfgrass cover using digital image analysis[J]. Crop Sci., 2001, 41: 1884-1888.
- [10] 雷咏雯, 王娟, 郭金强, 等. 一种基于图像分析提取作物冠层生物学参数的方法与验证[J]. 西北农学报, 2006, 15(13): 45-49.
Lei Y W, Wang J, Guo J Q *et al.* Digital image analysis for estimating crop canopy parameters based on object features on-farming validation[J]. Acta Agric. Boreali-Occident. Sin., 2006, 15(13): 45-49.
- [11] 姚磊, 杨阿明. 不同水分胁迫对番茄生长的影响[J]. 华北农学报, 1997, 12(2): 102-106.
Yao L, Yang A M. Influences of different water stress on tomato growth[J]. Acta Agric. Boreali-Sin., 1997, 12(2): 102-106.
- [12] 李存军, 王纪华, 刘良云, 王人潮. 基于数字照片特征的小麦覆盖度自动提取研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版) 2004, 30(6): 650-656.
Li C J, Wang J H, Liu L Y, Wang R C. Automated digital image analyses for estimating percent ground cover of winter wheat based on object features[J]. J. Zhejiang Univ. (Agric. & Life Sci.), 2004, 30(6): 650-656.
- [13] 雷咏雯, 王娟, 李艳, 危常州. 图像分析在大田作物生长监测中的应用进展[J]. 新疆农业科学, 2006, 43(3): 213-217.
Lei Y W, Wang J, Li Y, Wei C Z. Application of image analysis technology to monitoring field crop growth[J]. Xinjiang Agric. Sci., 2006, 43(3): 213-217.
- [14] Karcher D E, Richardson M D. Quantifying turfgrass color using digital image analysis[J]. Crop Sci., 2003, 43: 943-951.