

地面数字图像技术在棉花氮素营养诊断中的初步研究

王晓静^{1,2}, 张炎^{1*}, 李磐¹, 侯秀玲¹, 冯固²

(1. 新疆农业科学院土壤肥料研究所, 乌鲁木齐 830000; 2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

摘要: 为了探讨利用图像处理技术进行棉花氮素营养诊断的可行性, 通过多水平的氮肥田间试验, 采用数码相机获取棉花冠层图像, 分析了不同氮水平下棉花冠层图像色彩参数与施氮量、产量及多个氮素营养诊断指标之间的关系。研究表明: 新疆畦灌条件下, 氮素营养水平直接影响到棉花冠层光谱反射特性。红、蓝光标准化值与铃期施氮量、产量之间有极显著的线性负相关关系, 采用 $R/(R+G+B)$ 、 $B/(R+G+B)$ 值可以直接用来诊断棉花铃期的氮素营养状况, 或间接估测产量; 铃期绿光值 G 和绿光与红光比值 G/R 与叶柄硝酸盐浓度、植株全氮和地上部生物量之间都有较大的相关性, 可以较为灵敏地反映棉花氮素营养水平, 适宜作为氮素营养诊断指标。因此, 应用数字图像技术进行棉花氮素营养诊断是可行的。

关键词: 棉花; 数字图像; 植株快速测试; 氮营养诊断

中图分类号: S 562.01 **文献标识码:** A

文章编号: 1002-7807(2007)02-0106-08

Study on Cotton N Status Diagnosis Using Digital Image Processing

WANG Xiao-jing^{1,2}, ZHANG Yan^{1*}, LI Pan¹, HOU Xiu-ling^{1,2}, FENG Gu²

(1. Soil and Fertilizer Institute, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830000, China; 2. College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: The common methods including testing of total N, stem tissue nitrate and SPAD readings were used to diagnose the nitrogen (N) status of cotton and recommend the nitrogen application rate. However, due to labor requirements and high costs, these methods can hardly be applied to the cotton in field condition. In recent years, with rapid development of remote sensing nearing the ground, digital image analysis method combined with plant test and yield measurement has become another choice in crop nutrient diagnosis. Because N of plant shows obvious effects on chlorophyll constitutes and content directly, nutrition could be detected through digital image analysis of plant canopy. Large quantities of tests have been studied on spectrum character of plant canopy. But few of that were studied on cotton. Therefore, we are trying to research on spectrum character of cotton canopy through digital image analysis method for N status diagnosis.

In this study, digital image analysis method, which combined with soil and plant N rapid test, was studied for cotton N status diagnosis. The experiment was conducted within a multi-factorial field trial with three levels of N under channel irrigation at Fenshou farm, Awati county, Xinjiang. The possibility of using digital image analysis method for plant N status diagnosis was studied. The results show significant relationship between color index of plant canopy and N rate, yield, total N, plant nitrate concentration and biomass. Compared with other canopy color index, the normalized intensity of redness and blueness $R/(R+G+B)$, $B/(R+G+B)$ was much better because of its significant lineal

收稿日期: 2006-03-10 **作者简介:** 王晓静(1980-), 女, 在读博士研究生, catherine_0903@126.com; *, 通讯作者

基金项目: 农业部 948 项目(2003-Z53)、国际植物营养研究所项目(NMS-Xinjiang200201)和中组部“西部之光”访问学者培养计划资助

inverse relationships correlations with N rate, yield at boll stage. These could be suitable indicators for N status diagnosis. The plant canopy indexes of G and G/R were good correlated with total N content, nitrate concentration and biomass. They could be used for N status diagnosis at boll stage.

Results showed that digital image analysis method combined with soil and rapid test of petiole nitrate could be used for nitrogen fertilization rate in field condition. In this field experiment, when $G/(R+G+B)$ was less than 1.16, cotton was in N stress state, did need more N topdressing at boll stage in a degree; when $G/(R+G+B)$ was 1.16~1.18, cotton was in optimum N supply state; and when N fertilization rate before boll stage exceed what the plants actually need, $G/(R+G+B)$ would be less than 1.155 and cotton was in surplus N at this time. However, many factors such as water stress, crop variety, field weed, insect pests or any other factors affecting weather condition could influence leaf color of cotton canopy. These effects they brought were unavoidable in field condition. Consequently, simply depending on results from canopy image information is not enough for nutrient diagnosis and N fertilization recommendation. It is important that the integration of soil or rapid plant test and digital image analysis method should be emphasized. On all accounts, more inspection and test should be devoted to application of digital image analysis method on cotton nutrition diagnosis and nutrient resources management.

近年来近地面遥感技术发展迅速,通过计算机图像处理技术把遥感技术(RS)、植株分析和产量分析相结合成为氮素营养诊断的另外一种选择。氮素营养状况直接影响到植物叶绿素的组成和含量,进而导致叶片光谱特性发生变化,因此通过监测植物冠层光谱反射特性可以了解作物的营养状况,这就为应用图像处理技术进行作物氮素营养诊断提供了基础。对于植被冠层的光谱特征,前人已经做了大量研究,但大部分集中在水稻^[1-4]、小麦^[5-8]等作物,而对棉花的研究不多,有关棉花光谱氮素营养诊断与常规诊断相互比较、分析的研究更不多见。为此,本文拟采用图像处理技术对不同氮素营养条件下的棉花的营养诊断做一探讨,通过监测棉花生育期内的图像色彩参数的变化,从棉花冠层光谱反射特性与氮素营养水平、硝酸盐含量及产量的相互关系入手,对氮素营养的图像处理诊断技术进行了可行性分析,以期筛选棉花氮素营养诊断的敏感色彩参数指标,阐明近地面遥感氮素营养诊断指标与常规氮素营养诊断指标的关系,为数字图像技术诊断棉花生长、营养状况并在今后生产中得到广泛应用提供依据。

1 试验方法与数据获取

1.1 试验地情况

试验于2004年安排在新疆阿瓦提县丰收三场二连,试验地,供试土壤为砂壤质潮土,土壤pH值为8.25,含有机质 $10.4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全氮 0.58

$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效氮 $26.9\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效磷 $38.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $128\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,前茬棉花。

1.2 试验设计

供试棉花品种为陆地棉中棉所35,畦灌条件下设5个氮处理,氮肥用量为N0,180,240,300,360 $\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,基肥用量占总量的45%,追肥占55%,在棉花初花至花铃期分3次随前3次灌水分别以15%,25%和15%的比例追施氮肥,肥料经由施肥罐随水带入小区,各处理施氮量见表1。所有处理磷钾肥做底肥,一次施入,用量分别为 P_2O_5 138 $\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 K_2O 72 $\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。种植模式为超宽膜覆盖高密度种植,理论株数为27.8万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 。试验采用随机区组排列,各处理重复3次,小区面积66.64 m^2 。所有处理全生育期灌水量相同,均为1200 $\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,分4次灌入,灌溉方式为畦灌。

1.3 测试项目

1.3.1 植株硝酸盐测试。在棉花主要生育期(蕾期、花期、花铃期、铃期)取倒四叶的叶柄挤压汁液用反射仪测定硝酸盐含量。

1.3.2 植株生物量、全氮测定。在棉花主要生育期(苗期、蕾期、花期、铃期、吐絮期)采样,时间在上午10:00—12:00之间,每小区随机选取有充分代表性的棉株。采样后按器官分离,然后置于105 $^{\circ}\text{C}$ 烘箱中杀青2h,以70 $^{\circ}\text{C}$ 恒温烘干,烘干后测定生物量,分析植株各部分全氮含量。将采集的植株样品编号、装袋。

表 1 试验各处理施肥方案
Table 1 N rates of treatments in cotton experiments

处理	总量			基肥			追施 N 肥		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	06-24	07-13	08-04
	分配比例			45%	100%	100%	15%	25%	15%
N0	0	138	72	0	138	72	0	0	0
N1	180	138	72	81	138	72	27	45	27
N2	240	138	72	108	138	72	36	60	36
N3	300	138	72	135	138	72	45	75	45
N4	360	138	72	162	138	72	54	90	54

1.3.3 产量测定。棉花产量以测产、实收产量两种方式获得。测产方法为试验小区内每隔 2 株测一株,计结铃数,计算全区株数、铃数及单株结铃数,棉花吐絮后每小区分三次采收下、中、上部 30、50、20 朵完全吐絮棉桃,测定平均铃重和衣分,计算棉花产量。实收产量方法为每试验小区棉花全部采收完毕后计算棉花产量。

1.3.4 数码相片的采集。选择晴朗无云无风天气,利用 Sony 数码相机在棉花主要生育期对 20 个小区进行拍照,照相时间分别为蕾期(6 月 16 日)、花期(7 月 1 日)、花铃期(7 月 21 日)、铃期(8 月 7 日)。为保证拍摄图像的可比性,拍摄时间是太阳高度角相对稳定的中午 12:00~13:00 之间,拍摄时相机离地面 1.5 m,手动调节使相机与地面冠层成 30°~60°角,设定自动模式由相机自动控制快门速度和色彩平衡,图像的分辨率采用 1280×960。数码相机得到图像为 RGB 真彩色图像,以 JPEG 格式存储到计算机中,共获取影像 240 幅。

1.3.5 数码图像处理及数据分析。数码图像的处理采用 Adobe Photoshop 7.0 中的 Histogram 程序。首先通过工具面板的魔棒工具在图像中点中没有土壤背景的冠层植物图像,接着点击鼠标右键,选择“选取相似”,然后再选择“图像”下拉菜单中的“直方图”程序,读取红、绿、蓝各个通道的图像中间值(Median Level)。直方图程序计算了选定图像区域中的红(R)、绿(G)、蓝(B)通道和图像亮度(L)通道的各色阶统计的平均值、中间值等信息。

由于图像处理中“选取相似”程序剔除了绝大部分的异样背景,减少了“图像噪声”对冠层图像

处理结果的影响,因此可以认为所得到的 R、G、B 值即为冠层的色彩信息。本文中描述棉花冠层分析数字化指标有:1)光度值 L、红光值 R、绿光值 G、蓝光值 B;2)绿光与图像亮度比值 G/L、绿光与红光比值 G/R、绿光与蓝光比值 G/B;③绿光标准化值 G/(R+G+B)、红光标准化值 R/(R+G+B)、蓝光标准化值 B/(R+G+B)。

试验数据均用 Excel 和 SPSS 等统计软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 氮肥用量对棉花冠层光谱反射特性的影响

试验结果表明,氮肥用量对棉花冠层光谱反射特性有着显著影响。分析不同生育期施氮量与棉花冠层各图像色彩参数之间的关系,发现在与花铃期施氮量的关系中,G/L、G/R 与之皆有极显著的线性负相关关系,即 G/L、G/R 值随着施氮量的增加呈下降的趋势;G/B 和 R/(R+G+B)与铃期施氮量之间有极显著的线性负相关关系,而 B/(R+G+B)值恰相反,与铃期施氮量之间有极显著的线性正相关关系。

Wang Ke 等^[9]、蒋桂英等^[10]、Thomas 等^[11]的研究结果也证实,随着氮素营养水平的提高,作物冠层对可见光波段的光谱反射率呈下降趋势,不同氮营养水平之间的光谱反射特性差异显著。根据不同波段的光谱变化特性,水稻氮素营养诊断的敏感光谱波段为 520~550 nm、630~690 nm 和 760~900 nm^[9],玉米为 600 nm 和 800 nm^[12],棉花为 760~900 nm、630~690 nm 和 520~550 nm^[10]。

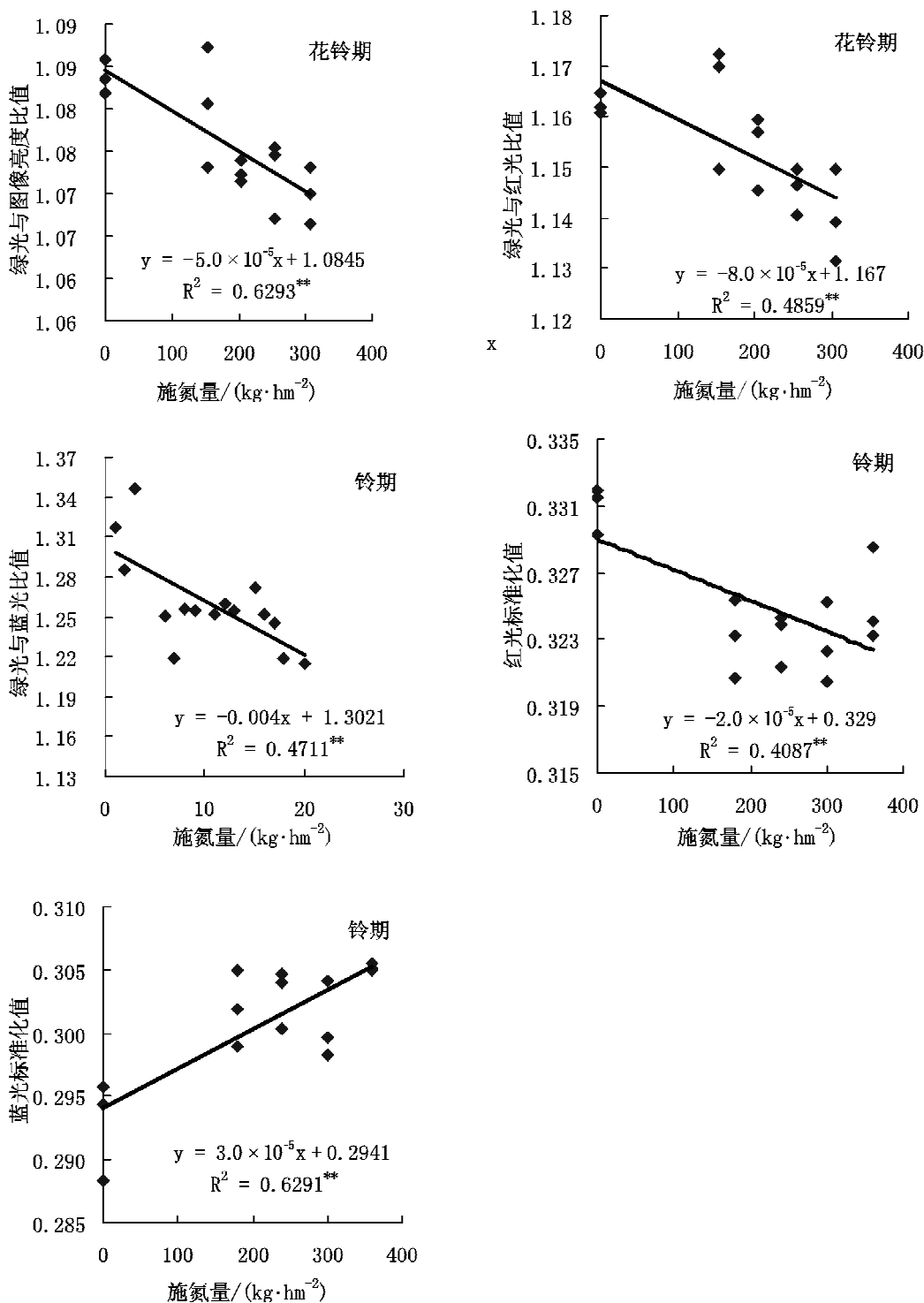


图 1 棉花花铃期、铃期施氮量与多个冠层图像色彩参数值的关系

Fig. 1 The correlations between N supply with color values of cotton canopy at blooming and bolling stage

注:绿光与图像亮度比值 G/L; 绿光与红光比值 G/R;绿光与蓝光比值 G/B;红光标准化值 $R/(R+G+B)$;蓝光标准化值 $B/(R+G+B)$;绿光标准化值 $G/(R+G+B)$,下同。

2.2 冠层图像色彩参数与产量之间的关系

分析不同生育期棉花冠层图像色彩参数与产量之间的关系,发现铃期 $R/(R+G+B)$ 与产量之间有极显著的线性负相关关系,而 $B/(R+G+B)$ 与产量之间呈线性正相关。另外,G值与产量之

间的关系可用二次曲线拟合,负相关性达到显著 ($R^2=0.3511$);G/R、G/B与产量之间有显著的相关性,分别为正相关和负相关,决定系数 R^2 值分别为 0.2773 和 0.2559。

与施氮量相似,铃期 $R/(R+G+B)$ 、 $B/(R+$

G+B)值与产量的关系也可用线性模型描述,模型决定系数也都达到极显著水平。这表明,应用红、蓝光标准化值进行棉花氮素营养诊断是可行

的,既可以直接用来诊断棉花铃期的氮素营养状况,也可间接通过红、蓝光标准化值来估测棉田产量。

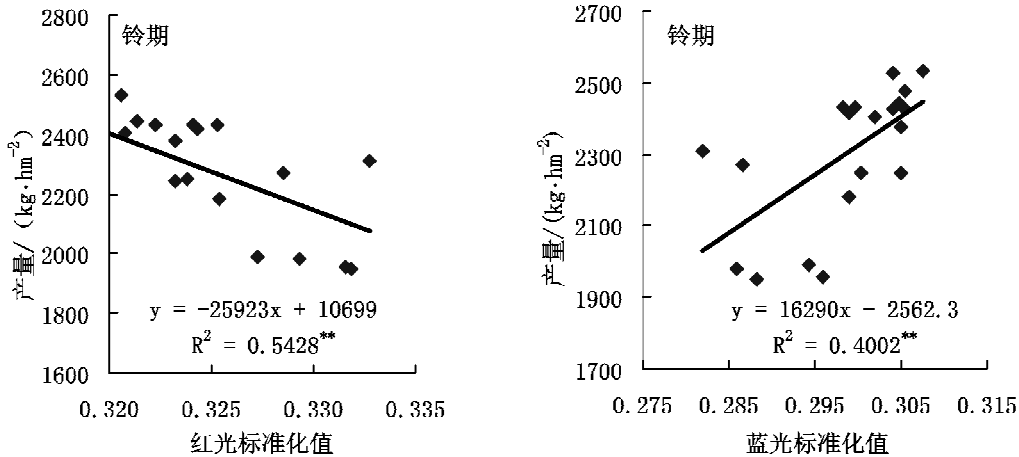


图2 棉花铃期冠层图像 R/(R+G+B)和 B/(R+G+B)值与产量的关系

Fig. 2 The correlations between canopy R/(R+G+B)、B/(R+G+B) at boll stage with yields

2.3 冠层图像色彩参数与植株全氮的关系

前人研究表明,植物的营养状况是影响植物冠层光谱反射的主要因素。试验结果表明:L、R和G与花铃期植株全氮含量间有极显著的线性负相关关系,L、R、G值随着植株含氮量的增加而呈下降的趋势(表2);冠层 B/(R+G+B)、

G/B值与蕾期植株全氮含量间的相关关系达到显著,可用二次曲线拟合,决定系数分别为0.4054和0.3095;G/R值与铃期植株全氮含量间的相关亦达到显著,可用二次曲线拟合,决定系数为0.4001。

表2 不同氮素水平下棉花冠层图像色彩参数与植株全氮的决定系数

Table 2 The relative coefficients between canopy color parameters and total N under different N supply

生育期	冠层图像色彩参数	回归模型	R ² 值
蕾期	B/(R+G+B)	$y=0.0003x^2-0.0267x+0.8612$	0.405*
	G/B	$y=-0.0022x^2+0.1915x-2.8241$	0.400*
花铃期	L	$y=-0.0635x+150.720$	0.431**
	R	$y=-0.0813x+143.742$	0.358**
	G	$y=-0.0665x+161.833$	0.421**
铃期	R	$y=-4.9724\ln(x)+154.002$	0.266*
	G/R	$y=5.0\times 10^{-6}x^2-0.0010x+1.2010$	0.400*

注: ** ,0.01水平下差异显著; * ,0.05水平下差异显著(下同)。

2.4 冠层图像色彩参数与倒四叶叶柄硝酸盐浓度

目前,以植株硝酸盐浓度为指标的氮素营养快速诊断技术日益成熟,并在部分地区得到应用。为此,以植株硝酸盐浓度为参照,分析图像处理技术在棉花氮素营养诊断方面的可行性。在与倒四叶叶柄硝酸盐浓度的关系上,棉花蕾期冠层图像的四个绿光指标[G/(R+G+B)、G/L、G/R、G/B]都与之呈显著或极显著的线性负相关关系,绿光值G与叶柄硝酸盐浓度间的负相关关系也达

到显著水平,可用二次曲线拟合(表3);铃期L、R、G与叶柄硝酸盐浓度之间有显著的线性负相关关系,即L、R、G值随着硝酸盐浓度的增加而下降,G/R与叶柄硝酸盐浓度的关系可用二次曲线拟合(表3)。由此可见,与植株硝酸盐营养诊断技术相同,应用图像处理技术(G、G/R)亦可进行棉花氮素营养诊断,用来诊断蕾、铃期棉花的氮素营养状况。这与国外相关研究有相似之处,Adamsen等(1999)应用数码相机获取了冬小麦的冠层图像,认为G/R与叶绿素仪读数有极显著

的相关关系,该比值与小麦叶片叶绿素测定值及 归一化植被覆盖指数有很好的相关性。

表 3 不同氮素水平下棉花冠层图像色彩参数与叶柄硝酸盐浓度的决定系数

Table 3 The relative coefficients between canopy color parameters and nitrate concentration under different N supply

生育期	冠层图像色彩参数	回归模型	R ² 值
蕾期	G	$y = -1.0 \times 10^{-6} x^2 + 0.0288x + 21.0806$	0.484*
	G/(R+G+B)	$y = -3.0 \times 10^{-6} x + 0.4148$	0.385*
	G/L	$y = -9.0 \times 10^{-9} x^2 + 0.0002x - 0.1534$	0.579**
	G/R	$y = -1.0 \times 10^{-5} x + 1.2601$	0.368*
	G/B	$y = -2.0 \times 10^{-5} x + 1.5862$	0.280*
铃期	L	$y = -0.0016x + 153.038$	0.272*
	R	$y = -0.0018x + 143.207$	0.281*
	G	$y = -0.0016x + 163.109$	0.299*
	G/R	$y = -3.0 \times 10^{-9} x^2 + 3.8 \times 10^{-5} x - 1.0563$	0.417*

2.5 冠层图像色彩参数与生物量的关系

研究表明,作物的叶面积 LAI 与作物的光谱反射率有密切的关系^[12-13],而作物的生物量积累又与 LAI 密切相关,因此作物生物量的积累必然在某种程度上与作物的光谱反射特性密切相关。通过对不同氮素水平下的多个冠层图像色彩参数与地上生物量的相关分析(表 4),发现色彩参数与地上生物量之间的对数回归效果良好,其相关性达到了显著或极显著的水平。通过表 3 可以发

现,花期 G/(R+G+B)和花铃期、铃期的 G 与相应时期地上生物量有较好的相关关系;另外,发现随着生育期的推进,棉花冠层图像色彩参数与生物量之间的相关性逐渐减小,这与棉花生长后期对冠层光谱贡献较少但对地上干生物量贡献较大的棉铃有关。由此看出,图像处理技术大大提高了对作物的监测能力,通过不同生育期色彩参数的选取[G/(R+G+B)、G]能够较为准确地估算棉花地上部分生物量。

表 4 不同氮素水平下棉花冠层图像色彩参数与生物量的决定系数

Table 4 The relative coefficients between canopy color parameters and biomass under different N supply

生育期	冠层图像色彩参数	回归模型	R ² 值
花期	B	$y = -17.901 \ln(x) + 269.468$	0.425**
	G/(R+G+B)	$y = 0.0170 \ln(x) + 0.2514$	0.546**
	B/(R+G+B)	$y = -0.0286 \ln(x) + 0.5035$	0.442**
	G/L	$y = 0.0150 \ln(x) + 0.9565$	0.408**
	G/B	$y = 0.2279 \ln(x) - 0.4137$	0.496**
花铃期	L	$y = -6.7103 \ln(x) + 202.333$	0.474**
	R	$y = -8.1457 \ln(x) + 205.982$	0.354**
	G	$y = -7.0351 \ln(x) + 215.950$	0.464**
	R/(R+G+B)	$y = -0.0044 \ln(x) + 0.3708$	0.354*
铃期	L	$y = -11.512 \ln(x) + 249.221$	0.325**
	R	$y = -13.248 \ln(x) + 253.756$	0.298*
	G	$y = -10.775 \ln(x) + 252.461$	0.326**
	B	$y = -11.428 \ln(x) + 226.656$	0.221*
	G/R	$y = 0.0346 \ln(x) + 0.8388$	0.362*

注: ** ,0.01 水平下差异显著; * ,0.05 水平下差异显著。

2.6 利用地面数字图像技术进行棉花氮素营养诊断

不同氮肥水平下棉花冠层 G/R 值在铃期的

分布范围如表 5 所示。处理 N0 与其它施氮处理相比,G/R 值相对较低,但其变化梯度很大,这可能是由试验田块地力不均引起的;低氮处理 N1

G/R 值明显小于优化施氮处理;优化施氮处理 N2、N3 的 G/R 值交织在一起,但总的趋势是 N3 略高于 N2;高氮处理 N4 绿光与红光比值与优化施氮处理亦有所相交,但总的趋势是 N4 低于优化施氮处理。

根据各处理 G/R 值的分布情况,建议不施氮处理 G/R 临界值为 1.15,小于此值则表示棉花

处于供氮严重缺乏状态;当 G/R 值在 1.150~1.160 之间时认为此时供氮不足,不能够满足棉花后期正常生长;G/R 值介于 1.160~1.180 时表示棉花后期生长发育正常;铃期施氮量达到 300 kg·hm⁻² 之后,G/R 值<1.155 即表示棉花处于供氮过量状态。

表 5 不同施氮处理条件下棉花铃期冠层绿光与红光比值 G/R 分布

Table 5 The distribution of cotton canopy G/R under different N treatments at boll stage

处理	施氮量 (kg·hm ⁻²)	G/R	平均值	G/R 范围	推荐施氮量 (kg·hm ⁻²)	棉花氮营养 状况
N0	0	1.124~1.168	1.149	<1.150	a	供氮不足
N1	180	1.150~1.158	1.154	1.150~1.160	b	供氮不足
N2	240	1.160~1.164	1.162	1.160~1.164	c	供氮正常
N3	300	1.153~1.177	1.164	1.164~1.180	d	供氮正常
N4	360	1.144~1.171	1.155	<1.155	e	供氮过量

注:推荐施氮量=生育期土壤 N_{min} 临界值-土壤 N_{min} 测定值。

铃期追氮量的确定可以根据各处理 0~60 cm 土壤 N_{min} 测试氮营养诊断数据来确定,由表 5 可以分辨出不同氮肥处理所引起的棉花冠层 G/R 值的变化,不同氮水平的 G/R 值范围与土壤、植株测试氮营养诊断数据确定的铃期追氮量相对应,通过对供氮不足者追施一定量氮肥,使 0~60 cm 土壤 N_{min} 能够保证棉花铃期正常生长。雷咏雯等研究表明在计算机辅助棉花叶色诊断中,光照和土壤背景值对诊断特征值影响不大^[14]。贾良良试验证明了光照强度、图象分辨率、灌水对于小麦冠层的相对绿色深度没有明显影响^[15]。因此应用数字图像技术与分期优化的土壤、植株测试氮营养诊断相结合进行棉花氮素营养具有可行性和实用性,这在较大尺度上通过窗口田块的土壤、植株测试氮营养诊断信息转移到整个棉田区域提供了有利的技术支持。

然而,大田环境中冠层反射光谱反映的是整个棉田植被的综合信息,受到多种因素干扰,不同气候、土壤状况和作物品种等会导致冠层反射光谱存在着一定的差异,因此应用数字图像技术时要特别注意减少因素的差异,并且获取足量的样本数,保证数据值更具代表性。考虑到各处理棉花冠层 G/R 值跨度较大,因此需要在今后试验中对其范围值进行校正。诊断推荐 G/R 范围值能否推广到其它区域棉田还有待于进一步验证。

3 讨论

从应用的角度来说,Adobe Photoshop 在图像处

理的控制手段上尚有不足之处,与专业性遥感图像软件仍有较大差距,但从实际的需要来说,该软件已经完全能够胜任从数字图像中获取色彩信息的任务,且软件价格和易用性也要比专业的遥感图像处理软件便宜和简单。国外发表的部分文章亦多采用普通图像处理软件,例如:Adobe Photoshop, Paint Shop Pro, Micrografx Picture Publisher 等。

本试验结果表明,氮素营养水平直接影响到棉花不同生育期冠层光谱反射特性,利用图像处理技术得到的冠层图像色彩参数与施氮量、产量以及其它描述作物氮素营养状况的指标如植株全氮、地上部生物量之间有良好的相关性,这表明利用数码相机作为近地面遥感工具来监测棉花氮素营养状况具有一定的可行性。

在本文的研究中发现红、蓝光标准化值与铃期施氮量、产量之间有极显著的线性反相关关系,其中,红光标准化值 R/(R+G+B) 与施氮量、产量间为负相关关系,而蓝光标准化值 B/(R+G+B) 与之成正相关关系,这一结果尚未见到国内外有相关报道,这可能与冠层红、绿、蓝三色光在植物氮营养状况改变时的光反射比例变化有关,但这一推测需要得到多光谱冠层反射数据的支持。另外,在本研究中铃期 G/R 值与植株全氮、地上部生物量之间都有显著的相关关系,这与国外研究结果有相似之处,Adamsen 等^[16]的研究中得到了 G/R 值与叶绿素仪读数有极显著的正相关关系,该比值还与归一化植被覆盖指数有很好的相关性。

地面数字图象技术是利用了土壤和植物冠层对光的吸收、反射与折射,而影响光吸收和反射的因素很多,如田间杂草、病害、虫害和水分胁迫、大气状况等,并且这些因素的影响是无法完全避免的,因此单纯依靠由数码相机获得的棉花冠层图像信息和色彩特征进行棉花氮素营养诊断以及施肥推荐准确度不足,必须强调与传统的土壤测试^[17-18]和植株测试为基础的地面调查相结合。地面数字图象技术能够作为一种简便的工具,将地面土壤-植株测试分析结果得到的作物营养状况推导到整个研究区域。总之,地面数字图象技术应用用于棉田的营养诊断和养分资源综合管理尚需要深入地研究。

参考文献:

- [1] 王人潮,黄敬峰. 水稻遥感估产[M]. 北京:农业出版社,2002.
- [2] 田国良,包佩丽. 土壤中镉、铜伤害对水稻光谱特性的影响[J]. 环境遥感,1990,5(2):141-149.
- [3] 李云梅,倪绍祥,黄敬峰. 高光谱数据探讨水稻叶片叶绿素含量对叶片及冠层光谱反射特性的影响[J]. 遥感技术与应用,2003,18(1):1-5.
- [4] 金震宇,田庆久,惠风鸣,等. 水稻叶绿素浓度与光谱反射率关系研究[J]. 遥感技术与应用,2003,18(3):134-137.
- [5] 黄敬峰,谢国辉. 冬小麦气象卫星综合遥感[M]. 北京:气象出版社,1996.
- [6] 王家圣. 小麦光谱特性与估产模式的研究—遥感估产研究之一[J]. 北京农业大学学报,1982(3):19-23.
- [7] 侯学曾,肖淑招. 小麦反射光谱特性与估产[J]. 华北农学报,1986(2):32-35.
- [8] 黄文江,王纪华,刘良云,等. 冬小麦红边参数变化规律及营养诊断[J]. 遥感技术与应用,2003,18(4):206-211.
- [9] WANG K, Shen Z Q, Wang R C. Effects of nitrogen nutrition on the spectral reflectance characteristics of rice leaf and canopy[J]. Journal of Zhejiang Agricultural University,1998,24(1):93-97.
- [10] 蒋桂英,李少昆,王登伟,等. 棉花遥感应用研究进展[J]. 新疆农业大学学报,2002,25(3):76-79.
- [11] THOMAS J R. Leaf reflectance vs. leaf chlorophyll and carotenoid concentration for eight crops[J]. Agronomy Journal,1977,69:799-802.
- [12] MA B L, Morrison M J, Dwyer L M. Canopy light reflectance and field greenness to assess nitrogen fertilization and yield maize[J]. Agronomy Journal,1996,88(6):915-920.
- [13] BOUMAN B A. Accuracy of estimating the leaf area index from vegetation indices derived from crop reflectance characteristics, a simulation study [J]. Int J Remote Sens, 1992,(13):3069-3084.
- [14] 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,2004,2:113-116.
- [15] 贾良良. 应用数字图像技术和土壤植株测试进行冬小麦营养诊断[D]. 中国农业大学博士论文,2003.
- [16] ADAMSEN F J, Paul J P, Barnes Jr E M, et al. Measuring wheat senescence with a digital camera [J]. Crop Sci, 1999,39:719-724.
- [17] 陈志超,田长彦,马英杰,等. 应用土壤无机氮测试进行棉花氮肥推荐研究[J]. 棉花学报,2006,18(4):242-247.
- [18] 侯秀玲,张 炎,王晓静,等. 新疆超高密度棉田氮肥运筹对产量和氮肥利用的影响[J]. 棉花学报,2006,18(5):273-278. ●