

基于数字图像技术的黄瓜缺氮营养诊断

袁媛 陈雷 李淼 高会议
(中国科学院 合肥智能机械研究所,合肥 230031)

摘要 以节节瓜和日本小黄瓜 2 个品种为试验对象,设计田间不同氮肥处理试验研究数字图像技术对于黄瓜缺氮无损诊断的可行性。每隔 3 d 利用数码相机和叶绿素仪获取固定叶位的叶片图像和叶绿素测量 (SPAD) 值,利用图像处理技术获取叶片的颜色特征参数,分析这些参数和 SPAD 值之间的相关性,并建立回归方程。结果表明,红光标准化值 (NRI)、色调 (H)、深绿色指数 (DGCI) 和 SPAD 值之间存在良好的线性关系,其决定系数分别为 0.86、0.70 和 0.65。利用数码相机和数字图像技术进行黄瓜氮素营养状况诊断具有快速、无损、易于操作的特点,易于在生产实际应用中推广。

关键词 黄瓜;营养诊断;数字图像;氮素;SPAD

中图分类号 S 642.2; S 24 **文章编号** 1007-4333(2016)12-0035-06 **文献标志码** A

Diagnosis of nitrogen nutrition of cucumber based on digital image processing technique

YUAN Yuan, CHEN Lei, LI Miao, GAO Hui-yi

(Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract Taking Jiejiegua and Ribenxiaohuanggua as study object, digital camera and SPAD-502 were used to obtain the images and SPAD values of fixed leaf every three days. The color characteristic parameters and SPAD values of leaves were obtained and analyzed by using image processing techniques. A regression equation was also built. The results showed good linear correlation between NRI, H , DGCI parameters and SPAD values, where the R^2 were 0.86, 0.70 and 0.65 respectively. In conclusion, digital camera and image processing technique are usable in detecting the N nutrition in cucumber with advantages of fast speed, stable results, easy to apply, and non-destructive, and will provide references for crop nitrogen nondestructive diagnosis.

Keywords cucumber; nutrition diagnosis; digital image; nitrogen; SPAD

黄瓜是我国普遍栽培的蔬菜,氮素是影响黄瓜生长发育和产量形成的重要营养元素^[1-2]。传统的氮素营养诊断和评价黄瓜氮素的方法主要基于土壤和黄瓜组织的实验室分析,需要破坏土壤或黄瓜样本,操作繁琐,耗时长^[3-4]。为了便于田间作物氮素营养状况的快速诊断,近年来,利用便携式叶绿素仪进行作物叶片养分测量已取得了较好的效果,利用其测定的叶绿素 (SPAD) 值可以反应作物叶片含氮

量^[5-8]。与传统方法相比,该方法具有无损、快速、成本低等优势,因此,更易于在实际应用中进行推广。

近年来,随着图像处理技术的迅速发展,结合 SPAD 值和图像处理技术进行作物氮素诊断的研究取得了一定进展。王远等^[9]利用数码相机在自然光下拍摄不同品种的水稻叶片图像,通过比较 3 个图像特征参数色调 H (Hue)、明度 V (Value)、深绿色指数 DGCI (Dark green color index) 与 SPAD 值及

收稿日期: 2016-02-16

基金项目: 国家“863 计划”项目 (2013AA102304); 国家自然科学基金项目 (31501223); 江苏省自然科学基金面上项目 (BK20131090)

第一作者: 袁媛, 助理研究员, 博士, 主要从事农业信息化和智能化研究, E-mail: ahhfyy@gmail.com

叶片含氮量的关系,获取水稻的氮素营养状况。Kyu-Jong 等^[10]利用数码相机获取水稻冠层图像,研究表明绿光深度绝对值与地上部生物量、氮素累积量和叶面积指数均可用指数方程进行拟合, R^2 分别为 0.83、0.83 和 0.86。李岚涛等^[11]通过研究水稻生育期地上部生物量、成熟期产量及植株氮素营养指标的变化规律,分析其与冠层数码指标之间的相关性,从而确定水稻氮素营养诊断的最佳色彩参数及方程模型。王秋红等^[12]使用 SPAD-502 仪测定了甜菜叶片不同叶位和叶序的 SPAD 值,分析了 SPAD 值的分布特点及其规律性,建立了基于 SPAD 值的氮素营养快速诊断方法。这些研究主要通过田间拍摄作物的叶片或者冠层绿度估测作物的氮营养状况,在水稻、小麦、玉米^[13-16]等大田作物上研究的比较多,而利用 SPAD 值结合图像处理技术进行黄瓜氮素诊断的研究相对较少。

本研究拟以黄瓜 2 个品种为例,设计不同氮肥处理的田间试验,利用数码相机在自然光下拍摄黄瓜叶片图像,并使用基于 RGB、HSV 等颜色空间提取多种颜色特征,结合田间实测 SPAD 值,建立颜色特征参数与黄瓜氮素营养状况之间的关联,研究利用数码相机在自然光下采集的图像获取黄瓜氮素营养状况的可行性,为探明数字图像技术在精确诊断黄瓜氮素状况和推荐施肥方面提供理论基础。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

不同氮肥处理的试验于 2015 年 9 月在安徽农业大学园艺学院试验基地进行。以节节瓜和日本小黄瓜 2 个品种为供试材料,种植方式采用基质+营养液+盆栽的方法。

1.2 试验设计与方法

黄瓜种子催芽后放入 72 孔穴盘育苗,当幼苗出现 1 片真叶的时候适当间苗,并移栽到大盆中。采用基质栽培,基质为石英砂和蛭石,体积比 1:1。待黄瓜苗长到 4 叶 1 心(幼苗期)时,用不同质量分数氮的营养液处理:CK, $w(N) = 0$; N1, $w(N) = 20\%$; N2, $w(N) = 40\%$; N3, $w(N) = 100\%$ 。以山崎完全配方营养液($w(N) = 100\%$)为基础配方,氮、磷、钾肥品种分别为尿素($w(N) = 46\%$),过磷酸钙($w(P_2O_5) = 12\%$)和氯化钾($w(K_2O) = 60\%$);氮素水平用尿素调节。各处理营养液中加入的微量元素浓度一致。每隔 3 d 浇 1 次,浇透,每盆

每次大约浇 300 mL。

1.3 数字图像的获取与处理

黄瓜开花期和结果初期是利用叶绿素 SPAD 值进行氮素诊断的最佳时期^[17],本研究选择黄瓜开花期进行数据测量和分析。在黄瓜 7 叶 1 心时(开花期)开始,上午 10:00 进行测定和拍摄,每隔 3 d 重复进行。叶片 SPAD 值的测定采用日本柯尼卡美能达 SPAD-502 叶绿素测定仪,每个小区选取 2~3 株长势相近的植株进行测量,每株测定主茎顶部第 2 和第 3 完全展开叶。每 1 个叶片分别在叶尖、叶中部和叶基部 3 点进行测量(图 1),取其平均值作为该叶片的 SPAD 值。

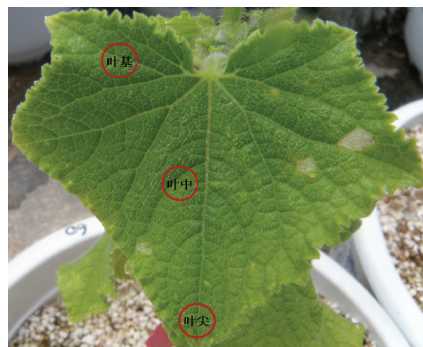


图 1 叶片叶绿素值测量位置示意图

Fig.1 The diagram of measuring SPAD value

采用 OLYMPUS SP-565UZ 数码相机拍摄,拍摄时光路尽量垂直于叶片,尽量保持光线均匀,采用相机自动白平衡模式进行拍摄,图像像素为 $2\ 560 \times 1\ 920$ 。拍摄的叶片与测量 SPAD 值的叶片对应。

数据方差分析、相关分析和回归分析均采用 Microsoft Excel 2013 和 Spss 22.0 软件,多重比较采用 LSD 法和 Duncan 法。

1.4 叶片图像的颜色特征参数

RGB 颜色空间使用红 R、绿 G 和蓝 B 3 种基色显示彩色,是用于显示和保存彩色图像最常用的彩色空间。但该颜色空间容易受到强光、弱光、阴影等因素的影响。相比之下,HSV 空间面对这些光照的变化更稳定一些,能很好的反应颜色的本质。而 Lab 模式既不依赖光线,也不依赖于颜料,是 CIE 组织确定的一个理论上包括了人眼可以看见的所有色彩的色彩模式。

本研究分别采用 RGB、HSV 和 Lab 颜色模型对黄瓜的氮素状况进行描述,针对提取的叶片上 3

个位置(叶尖、叶中和叶基)像素点 R 、 G 、 B 通道的灰度平均值计算如下颜色特征参数:红光值 R 、绿光值 G 、蓝光值 B 、红光标准化值 NRI 、绿光标准化值 NGI 、蓝光标准化值 NBI 、色调 H 、明度 V 、饱和度 S (Saturation)、深绿色指数 $DGCI$; 照度 L (Luminosity)、 a 通道(红色到深绿范围)、 b 通道(蓝色到黄色范围)。具体计算公式如下:

$$NRI = R / (R + G + B)$$

$$NGI = G / (R + G + B)$$

$$NBI = B / (R + G + B)$$

$$H = \begin{cases} 60 \times \{(G - B) / [\max(R, G, B) - \min(R, G, B)]\}, \max(R, G, B) = R \\ 60 \times \{2 + \{(B - R) / [\max(R, G, B) - \min(R, G, B)]\}\}, \max(R, G, B) = G \\ 60 \times \{4 + \{(R - G) / [\max(R, G, B) - \min(R, G, B)]\}\}, \max(R, G, B) = B \end{cases}$$

$$S = \{[\max(R, G, B) - \min(R, G, B)] / \max(R, G, B)\}$$

$$V = \max(R, G, B)$$

$$DGCI = \{[(H - 60) / 60] + (1 - S) + (1 - V)\} / 3$$

Lab 颜色空间^[18]可以根据 CIE1976 均匀颜色空间的计算公式得出:

$$L = 116(Y/Y_0)^{1/3} - 16$$

$$a = 500[(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}]$$

$$b = 200[(Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3}]$$

其中:

$$X = 0.5164R + 0.2789G + 0.1792B$$

$$Y = 0.2963R + 0.6192G + 0.0845B$$

$$Z = 0.0339R + 0.1426G + 1.0166B$$

式中: R 、 G 、 B 的取值为 $0 \sim 100$, X_0 、 Y_0 、 Z_0 为标准光源 D65 的三基色刺激值,其值为 $X_0 = 95.045$ 、 $Y_0 = 100$ 、 $Z_0 = 108.255$ 。

2 结果与分析

2.1 黄瓜叶片 SPAD 的叶面分布

黄瓜叶片的叶尖、叶中和叶基在不同氮肥处理条件下的 SPAD 值存在明显的分布差异(表 1),叶尖、叶中和叶基的 SPAD 值平均在 26.79、36.14 和 32.25,说明靠近叶片中心部分的叶绿素含量最高,绿色程度最深,其次是叶片基部,最后是叶片尖部。该研究结论与胡静^[19]在黄瓜叶片上的测定结果类似,说明叶片不同点位的 SPAD 值有差异。

本研究针对不同氮肥处理黄瓜叶片各测量位置的 SPAD 值进行了分析,并计算了变异系数(表 1)。变异系数越大,说明该叶片位置对氮素的变化越敏感。叶尖的变异系数达到 28.9%,其变异程度大于叶中和叶基,表明这一区域对外界氮素发生变化时比其他区域更敏感、反应更快,最能体现叶片的氮素营养状况,可以作为黄瓜叶片氮素营养诊断的最佳部位,该研究结论与胡静^[19]的分析结果一致。

表 1 氮肥处理对黄瓜不同叶片位置的 SPAD 值的影响

Table 1 Effect of nitrogen treatments on SPAD value at different leaf position of cucumber

叶片位置 Position of leaf	氮肥处理 Nitrogen Treatment				叶绿素值 SPAD	变异系数 CV
	CK	N1	N2	N3		
叶尖部 Tip	15.81	27.49	30.15	33.72	26.79±7.75	28.9
叶中部 Central	21.89	38.83	40.34	43.48	36.14±9.69	26.8
叶基部 Base	21.70	32.04	35.34	39.93	32.25±7.74	24.0

注:CK 为空白对照,N1、N2、N3 分别代表氮的质量分数为 20%、40% 和 100%,下表同。

Note:CK represents blank control,N1,N2,N3 represent the mass fraction 20%,40% and 100% of nitrogen, respectively. The same below.

2.2 不同氮肥处理黄瓜的 SPAD 状况

本研究对 2 个品种、4 个处理的黄瓜叶片叶绿素 (SPAD) 值进行方差分析,结果显示(表 2):节节瓜和日本小黄瓜施氮处理和不施氮处理间的叶片

SPAD 值均存在显著差异,2 个品种不同氮肥处理下的叶片 SPAD 值有相同的变化趋势。随着施氮水平的提高,黄瓜叶片的 SPAD 值总体呈现增加趋势。2 个品种的 N1 和 N2 的叶片 SPAD 值差

异不显著,但是,CK、N1和N3三者之间以及CK、N2和N3三者之间的SPAD值差异比较明

显,可能是试验设置的N1和N2施氮水平的梯度不太明显。

表2 不同黄瓜品种叶片的SPAD值

Table 2 SPAD value of different varieties of cucumber leaves

处理 Treatment	节节瓜 Jiejiegua	日本小黄瓜 Ribenxiaohuanggua
CK	19.62 Cc	22.08 Cc
N1	34.50 Bb	31.27 Bb
N2	36.12 Bb	36.40 Bb
N3	43.77 Aa	42.63 Aa

注:同一列的不同字母表示在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 显著性水平上存在差异。

Note: Different letters in the same column mean significant difference at the 0.05 and 0.01 levels.

2.3 SPAD值与图像特征参数间的关系

选取上述颜色特征参数 R 、 G 、 NRI 、 H 、 $DGCI$ 等与叶片SPAD值进行相关分析(表3)。结果表明: NRI 、 H 、 $DGCI$ 3个特征参数与SPAD值间具有良好的线性关系。其中, H 、 $DGCI$ 2个特征参数和SPAD值之间呈正线性相关, NRI 和SPAD

值之间呈负线性相关。节节瓜和日本小黄瓜在CK和N1这2种处理方面,其 NRI 、 H 、 $DGCI$ 3个特征参数与SPAD值间呈极显著相关关系($P<0.01$);在N2和N3处理方面的 NRI 、 H 、 $DGCI$ 3个特征参数与SPAD值间呈显著相关关系($P<0.05$)。

表3 不同黄瓜品种叶片颜色特征参数与其SPAD值之间的回归决定系数

Table 3 The regress coefficient between color features and SPAD values of different cucumber leaves

处理 Treatment	节节瓜 Jiejiegua			日本小黄瓜 Ribenxiaohuanggua		
	NRI	H	DGCI	NRI	H	DGCI
CK	-0.80**	0.58*	0.64*	-0.70**	0.82**	0.74**
N1	-0.83**	0.70**	0.89**	-0.92**	0.85**	0.84**
N2	-0.70**	0.68*	0.72**	-0.63*	0.51*	0.50*
N3	-0.57*	0.69*	0.51*	-0.50*	0.59*	0.57*

注:样本数 $n=8$; *、**分别表示在5%和1%水平下显著相关。

Note: Number of samples $n=8$; * and ** mean significant at 5% and 1% levels, respectively.

对节节瓜和日本小黄瓜2个品种的所有氮肥处理的颜色特征参数和SPAD值计算平均值后进行回归分析, NRI 、 H 、 $DGCI$ 3个特征参数与SPAD值间仍然具有良好的线性关系,决定系数分别为0.86**、0.70**和0.65*。与单一品种回归分析相比,决定系数变化不大,说明不同黄瓜品种对特征参数与SPAD值之间的关系没有明显影响。

对节节瓜和日本小黄瓜2个黄瓜品种的 NRI 、 H 、 $DGCI$ 3个特征参数与SPAD值统一进行回归分析(图2),各参数间仍然呈良好的线性关系,决定系数分别为0.54**、0.64**和0.58**。

3 结论

基于数码相机和图像处理技术的氮素营养诊断方法具有快速、简单、无损的优点,尤其是随着智能手机的快速发展,利用手机拍摄黄瓜叶片图像,分析其氮素情况后可以及时反馈黄瓜生长的营养状况,这在生产实际中是切实可行的,具有广阔的应用前景。

1)叶尖部位最能体现黄瓜叶片氮素营养变化情况,推荐作为黄瓜叶片氮素营养诊断的最佳部位;不同品种的黄瓜叶片随着施氮量的增加,其叶片SPAD值总体呈增大趋势。

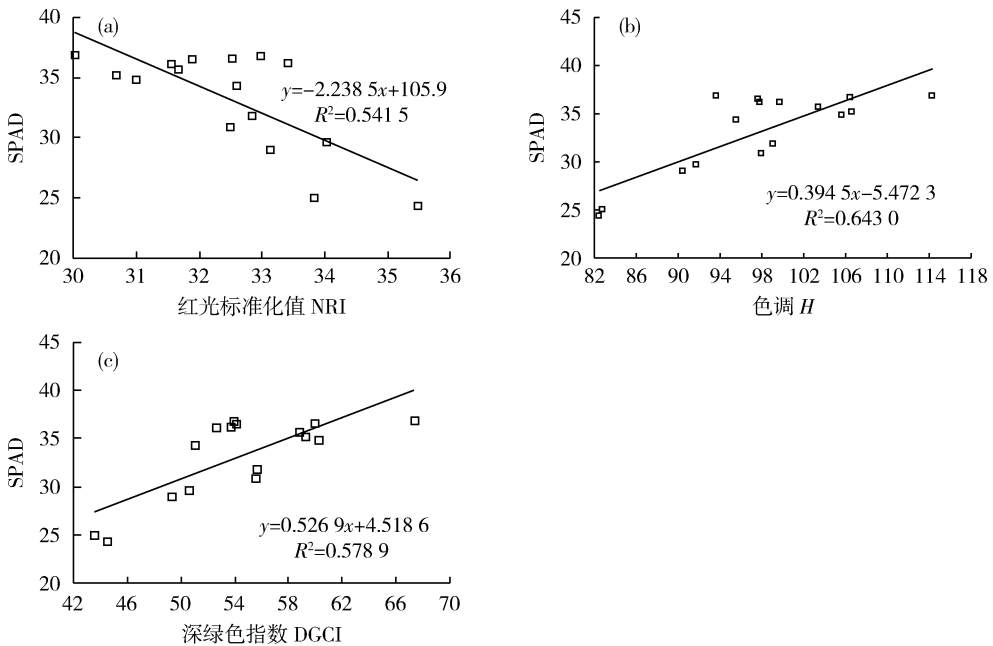


图 2 黄瓜红光标准化值 NRI(a)、色调 H(b)、深绿色指数 DGCI(c)与 SPAD 值的回归分析

Fig. 2 Regression analysis between NRI (a), H (b), DGCI (c) and SPAD of different cucumber ($n=16$)

2) 黄瓜叶片红光标准化值 NRI、色调 H、深绿色指数 DGCI 3 个特征参数与 SPAD 值间的回归决定系数分别为 0.86**、0.70** 和 0.65*，均达到显著或极显著水平，推荐 NRI、H、DGCI 作为基于图像处理技术的黄瓜缺氮诊断的最佳颜色特征参数。

3) 试验选择的是每天上午同一时间的自然光下拍摄黄瓜叶片，但是避免不了晴天、阴天或者雨天外界光线强弱的影响，这可能也会造成特征参数间相关性下降。

4) 利用数字图像技术进行黄瓜氮素营养预测，稳定性和可行性较好，可实时、快捷、准确反映黄瓜生长发育状况，为黄瓜的氮素营养无损诊断研究提供理论基础。

参 考 文 献

[1] Natanos D A, Koutroubas S D. Dry matter and N accumulation and translation for indica and japonica rice under Mediterranean conditions[J]. *Field Crops Research*, 2002, 74 (1): 93-101

[2] 王娟, 雷咏雯, 张永帅, 郭金强, 危常州. 应用数字图像分析技术进行棉花氮素营养诊断的研究[J]. *中国生态农业学报*, 2008, 16(1): 145-149

Wang J, Lei Y W, Zhang Y S, Guo J Q, Wei C Z. Diagnosis of cotton N status using digital image analysis technique[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16(1): 145-149 (in

Chinese)

[3] 贾良良, 范明生, 张福锁, 陈新平, 吕世华, 孙彦铭. 应用数码相机进行水稻氮素营养诊断[J]. *光谱学与光谱分析*, 2009, 29 (8): 2176-2179.

Jia L L, Fan M S, Zhang F S, Chen X P, Lv S H, Sun Y M. Nitrogen status diagnosis of rice by using a digital camera[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2009, 29 (8): 2176-2179 (in Chinese)

[4] 屈卫群, 王绍华, 陈兵林, 王友华, 周治国. 棉花主茎叶 SPAD 值与氮素营养诊断研究[J]. *作物学报*, 2007, 33(6): 1010-1017

Qu W Q, Wang S H, Chen B L, Wang Y H, Zhou Z G. SPAD value of cotton leaves on main stem and nitrogen diagnosis for cotton growth[J]. *Acta Agronomice Sinica*, 2007, 33(6): 1010-1017 (in Chinese)

[5] 苗腾, 赵春江, 郭新宇, 陆声链, 温维亮. 基于叶绿素相对值的植物叶片颜色模拟方法[J]. *农业机械学报*, 2014, 45(8): 282-287

Miao T, Zhao C J, Guo X Y, Lu S L, Wen W L. Simulation of plant leaf color based on relative content of chlorophyll[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014, 45(8): 282-287 (in Chinese)

[6] 朱咏莉, 李萍萍, 毛罕平, 吴沿友. 生菜叶片光谱红边参数对氮营养的响应特征分析[J]. *农业机械学报*, 2011, 42(11): 174-177

Zhu Y L, Li P P, Mao H P, Wu Y Y. Response features of red edge parameters for lettuce leaf spectra under different nitrogen levels[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2011, 42(11): 174-177 (in Chinese)

[7] 李志宏, 刘宏斌, 张福锁. 应用叶绿素仪诊断冬小麦氮营养状况

- 的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(4): 401-405
- Li Z H, Liu H B, Zhang F S. Research of nitrogen nutrition status for winter wheat based on chlorophyll meter[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2003, 9(4): 401-405 (in Chinese)
- [8] 朱新开, 盛海君, 顾晶, 张容, 李春燕. 应用 SPAD 值预测小麦叶片叶绿素和氮含量的初步研究[J]. 麦类作物学报, 2005, 25(2): 46-50
- Zhu X K, Sheng H J, Gu J, Zhang R, Li C Y. Primary study on application of SPAD value to estimate chlorophyll and nitrogen content in wheat leaves[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2005, 25(2): 46-50 (in Chinese)
- [9] 王远, 王德建, 张刚. 基于数码相机的水稻氮素营养诊断[J]. 中国农学通报, 2012, 28(24): 111-117
- Wang Y, Wang D J, Zhang G. Nitrogen status diagnosis of rice based on a digital camera [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(24): 111-117 (in Chinese)
- [10] Kyu J L, Byuu W L. Estimation of rice growth and nitrogen nutrition status using color digital camera image analysis[J]. *European Journal of Agronomy*, 2013(6): 57-65
- [11] 李岚涛, 张萌, 任涛, 李小坤, 丛日环, 吴礼树, 鲁剑巍. 应用数字图像技术进行水稻氮素营养诊断[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1): 259-268
- Li L T, Zhang M, Ren T, Li X K, Cong R H, Wu L S, Lu J W. Diagnosis of N nutrition of rice using digital image processing technique [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2015, 21(1): 259-268 (in Chinese)
- [12] 王秋红, 周建朝, 王孝纯. 采用 SPAD 仪进行甜菜氮素营养诊断技术研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(36): 92-98
- Wang Q H, Zhou J C, Wang X C. Diagnostic technique of sugarbeet nitrogen nutrient status using SPAD-502 chlorophyll meter [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(36): 92-98 (in Chinese)
- [13] 谢华, 沈荣开, 徐成剑, 覃奇志. 水、氮效应与叶绿素关系试验研究[J]. 中国农村水利电力, 2003(8): 40-43
- Xie H, Shen R K, Xu C J, Tan Q S. Experimental study on the interaction of water and nitrogen and their relations with chlorophyll [J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2003(8): 40-43 (in Chinese)
- [14] 王绍华, 曹卫星, 王强盛, 丁艳锋, 黄丕生, 凌启鸿. 水稻叶色分布特点与氮素营养诊断[J]. 中国农业科学, 2002, 35(12): 1461-1466
- Wang S H, Cao W X, Wang Q S, Ding Y F, Huang P S, Ling Q H. Positional distribution of leaf color and diagnosis of nitrogen nutrition in rice plant [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(12): 1461-1466 (in Chinese)
- [15] 王康, 沈荣开, 唐友生. 用叶绿素测值 (SPAD) 评估夏玉米氮素状况的试验研究[J]. 灌溉排水, 2002, 21(4): 1-3, 12
- Wang K, Shen R K, Tang Y S. Subsurface waterlogging tolerances in different growth stages of three crops [J]. *Irrigation and Drainage*, 2002, 21(4): 1-3, 12 (in Chinese)
- [16] 唐延林, 王人潮, 张金恒, 王珂. 高光谱与叶绿素计快速测定大麦氮素营养状况研究[J]. 麦类作物学报, 2003, 23(1): 63-66
- Tang Y L, Wang R C, Zhang J H, Wang K. Study on determining nitrogenous levels of barley by hyperspectral and chlorophyll meter [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2003, 23(1): 63-66 (in Chinese)
- [17] 张延丽. 设施栽培条件下黄瓜的氮素营养诊断研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008
- Zhang Y L. Study of nitrogen diagnosis of cucumber in greenhouse [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2008 (in Chinese)
- [18] 丁莹. 复杂环境运动目标检测若干关键问题研究[D]. 长春: 吉林大学, 2010
- Ding Y. Research on moving objects detection with complicated condition [D]. Changchun: Jilin University, 2010 (in Chinese)
- [19] 胡静, 毛罕平, 胡圣尧, 温贻芳, 于霜, 韩绿化, 储建华, 高新浩. 黄瓜叶片氮素诊断的最佳位点选择[J]. 河南农业科学, 2015, 44(11): 114-119
- Hu J, Mao H P, Hu S Y, Wen Y F, Yu S, Han L H, Chu J H, Gao X H. Determination of suitable leaf location for nitrogen diagnosis in cucumber [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2015, 44(11): 114-119 (in Chinese)

责任编辑: 刘迎春