

# 用数字图像技术评估番茄苗期钙素水平

郭小清, 范涛杰 (南京农业大学信息科学与技术学院, 江苏南京 210095)

**摘要** [目的]探讨数字图像技术对番茄钙素营养水平无损评估预测及诊断的可行性,明确该技术的最佳图像特征。[方法]2015年以番茄为材料进行钙素梯度(钙离子 0、80、160 mg/L)试验。利用数码相机获取叶片数字图像数据,明确采集叶片钙素含量水平,确立了钙素营养参数模拟预测方程。同时建立了基于颜色特征 R/G 标准差和 R/G 阈值的叶片钙含量诊断模型。[结果]顶叶与侧 2 枝顶叶钙素含量实测值与预测值决定系数  $R^2$  分别为 0.853 和 0.902,均方根误差 RMSE 分别为 0.128 和 0.016,基于阈值的诊断模型准确率超过 80%。[结论]叶片颜色特征可以表征番茄苗期钙素营养水平,可为基于数字图像技术预测与诊断番茄苗期钙水平提供参考。

**关键词** 钙素胁迫;营养诊断;叶片钙含量

中图分类号 S126 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)36-0192-04

## Evaluating Calcium Level of Seedling Tomato by Digital Image Technique

GUO Xiao-qing, FAN Tao-jie (College of Information Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095)

**Abstract** [Objective] To explore the feasibility of digital image technology in predicting and diagnosing tomato calcium nutrition level nondestructively, and to identify the best image characteristics of this technology. [Method] Calcium gradient (0, 80, 160 mg/L) test was conducted in tomato in 2015. The digital image data of leaves were acquired by digital camera. The level of calcium content in leaves was clearly collected, and the simulation and prediction equation of calcium nutrition parameters was established. At the same time, a diagnostic model of leaf calcium content based on R/G standard deviation and R/G threshold of color feature was established. [Result] The determination coefficient  $R^2$  of measured and predicted values of calcitonin content in top leaf and lateral 2 branch top leaf was 0.853 and 0.902, respectively, and RMSE of RMS was 0.128 and 0.016, respectively. The accuracy of threshold-based diagnostic model was over 80%. [Conclusion] It can provide reference for predicting and diagnosing calcium level of tomato seedling stage based on digital image technology.

**Key words** Calcium stress; Nutritional diagnosis; Leaf calcium content

土壤中钙元素含量充足,但由于高温、盐分等环境以及生物或矿质元素作用,栽培番茄常会出现生理性缺钙现象,从而导致叶绿素含量和叶绿素荧光性下降,出现叶片变黄、卷曲甚至生长点坏死等缺钙症状,并使产量和品质下降,发生脐腐病<sup>[1-3]</sup>。传统的农作物营养水平诊断方法主要是外观判别法和化学分析法。外观判别法需要丰富的田间经验,且诊断过程主观性强,容易发生误判现象。化学分析法需要破坏性采样,诊断耗时长。数字图像诊断技术通过获取作物植株的形态图像特征进行营养水平评估及施肥推荐,具有实时性和无损性<sup>[4-7]</sup>。徐贵力等<sup>[8]</sup>利用数字图像技术识别番茄苗期叶片是否缺素,发现 RGB 颜色模型中的蓝光分量标准偏差可以把正常番茄叶片和缺钾番茄叶片区分开,而红光分量与绿光分量的相关系数 R/G 可以把正常叶片和缺氮叶片、缺钾叶片分开。胡春华等<sup>[9]</sup>利用数字图像技术进行番茄缺素诊断研究,分别在 RGB 和 HSI 颜色模型中对缺氮、缺镁、缺铁与正常番茄叶片的彩色图像进行颜色特征分析,发现 G/R 和 G/B 的标准差能较好地地区别缺镁、缺氮与正常番茄叶片,G/R 与 G/B 的相关系数能将缺镁、缺氮和正常的番茄叶片区分开。李艳等<sup>[10]</sup>研究发现,在番茄的整个生育期内,叶片图像的 G/B、R/B 特征与叶片含氮量相关性显著,可以作为番茄氮营养水平诊断的可靠依据。吴雪梅等<sup>[11]</sup>研究发现正常番茄叶片和缺氮番茄叶片之间的 G 分量均值和 H 分量均值差异性较大。丁永军等<sup>[12]</sup>研究发现成熟期番茄叶片的颜色特征与全氮含量显著相关。迄今为止,直接将数码图

像技术应用用于番茄钙水平诊断的研究相对较少。目前已有基于数字图像技术的番茄钙营养状况研究<sup>[13-15]</sup>,然而缺乏图像特征与作物钙素生理指标之间关系的探讨。笔者拟探讨基于数字图像技术进行番茄钙素水平无损诊断的可行性,通过梯度试验获取番茄叶片数字化指标,与叶片图像颜色特征进行相关性分析,确定番茄钙素水平快速诊断的参数及方程模型,然后基于典型颜色指标进行钙素胁迫诊断,为番茄钙素水平无损诊断建立理论基础。

## 1 材料与方法

**1.1 样本培育** 采取无土栽培的方式培育番茄苗期样本,栽培试验于 2015 年 7—11 月在南京农业大学牌楼试验站(118°15'E,32°1'N)的玻璃温室内进行,供试番茄品种为上海蔬菜研究所培育的合作 903<sup>[2]</sup>,该品种为自封顶有限生长期,适宜于全国各地春秋季节设施栽培和露天栽培,对钙元素胁迫反应敏感。试验选用改进型霍格兰氏营养液,正常情况下,其钙离子浓度为 160 mg/L,满足番茄植株生长对钙元素及其他元素的需求<sup>[16]</sup>。配制缺钙 50%组营养液时,将正常的改进型霍格兰营养液中的四水硝酸钙含量扣除一半,损失的硝酸离子由相同摩尔数的硝酸钠补足;配制完全缺钙组营养液时,将正常的改进型霍格兰营养液中的四水硝酸钙完全去除,损失的硝酸离子由相同摩尔数的硝酸钠补足。缓苗期结束后,设 3 个处理组:健康组、50%缺钙组、完全缺钙组,每个处理 10 个重复(共 60 株)。

**1.2 图像数据采集与处理** 用日本佳能公司生产的 5DS 单反数码相机采集番茄新叶(包括顶叶、侧 1 枝顶叶、侧 1 枝顶 2 叶、侧 1 枝顶 3 叶)、侧 2 枝 5 个叶位的叶片图像。在实验室暗室中采集图像,叶片平铺在 A4 白纸上,叶脉朝上。用三脚架将数码相机固定在叶片样本正上方,镜头距离叶片样本

**基金项目** 中央高校基本科研业务费项目(KYZ201547)。

**作者简介** 郭小清(1976—),女,山西繁峙人,讲师,博士,从事基于视觉的作物病害诊断与识别研究。

**收稿日期** 2018-07-30;修回日期 2018-08-07

50 cm,在缓苗期后第 5~30 天每隔 5 d 取样 1 次。图像色彩信息的获取采用 Matlab2010 软件,提取 RGB 和 HIS 颜色模

型下统计类、均值类和线性组合类三大类 51 个色彩特征(表 1)。

表 1 提取的番茄叶片图像颜色特征

Table 1 Color features of tomato leaf extracted in this paper

| 颜色特征类型<br>Color feature types                       | 具体的颜色特征<br>Specific color features  |
|---|---|
| 分量均值类特征<br>Component mean class characteristics     | R、G、B、H、S、I、R/G、R/B、G/B   |
| 统计类特征<br>Statistical class characteristics          | R 标准差、G 标准差、B 标准差、H 标准差、S 标准差、I 标准差、R 和 G 相关系数、B 和 G 相关系数、R 和 B 相关系数、H 和 S 相关系数、S 和 I 相关系数、I 和 S 相关系数、R/G 标准差、G/B 标准差、R/B 标准差、R/G 和 G/B 相关系数、R/G 和 R/B 相关系数、G/B 和 R/B 相关系数  |
| 线性组合类特征<br>Linear combination class characteristics | $R/(R+G+B)$ 、 $G/(R+G+B)$ 、 $B/(R+G+B)$ 、 $(R+G)/(R+B)$ 、 $(R+G)/(G+B)$ 、 $(R+G)/(R-G)$ 、 $(R+G)/(R-B)$ 、 $(R+G)/(G-B)$ 、 $(R+B)/(G+B)$ 、 $(R+B)/(R-G)$ 、 $(R+B)/(R-B)$ 、 $(R+B)/(G-B)$ 、 $(G+B)/(R-G)$ 、 $(G+B)/(R-B)$ 、 $(G+B)/(G-B)$ 、 $(R-G)/(R-B)$ 、 $(R-G)/(G-B)$ 、 $(R-B)/(G-B)$ 、 $(R+G)$ 、 $(R+B)$ 、 $(G+B)$ 、 $(R-G)$ 、 $(R-B)$ 、 $(G-B)$ |

**1.3 钙素含量测定** 番茄叶片用微波消解技术处理,然后利用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-AES)法测定消解液中的钙含量。番茄叶片在烘箱 105 ℃ 的环境中杀青 30 min 后,将温度降至 80 ℃ 烘干。8 h 后取出,放在干净的玻璃研磨皿中研磨至粉末状,称取干重后放入微波消解仪的内置管。每个内置管添加 2 mL 优级纯硝酸。将内置管放入微波消解仪,在 150 ℃ 环境下消解 15 min。微波消解结束后,将内置管取出冷却 30 min,把消解液倒入 15 mL 容量瓶中定容至 10 mL,再转移至 10 mL 离心管中。

差分析,并进行事后多重检验(Duncan's 检验)。结果表明,相对于均值类颜色特征,统计类颜色特征和线性组合类颜色特征能更好地反映不同钙素水平番茄叶片之间的差异性。G/B、S 标准差、S、R/G 标准差、R/G、R 和 G 的相关系数、 $(R+G)/(R-G)$ 、 $(R+G)/(R-B)$ 、 $(R+G)/(G-B)$ 、 $(R+B)/(R-G)$ 、 $(R+B)/(G-B)$ 、 $(G+B)/(R-G)$ 、 $(G+B)/(R-B)$ 、 $(G+B)/(G-B)$  14 个颜色特征能让 3 个叶位的完全缺钙组叶片和健康组叶片间的差异水平达到显著,其中 R/G 标准差和 R/G 能够让 4 个叶位(侧 1 枝顶叶、侧 1 枝顶 2 叶、侧 1 枝顶 3 叶、侧 2 枝顶叶)的完全缺钙组叶片和健康组叶片间的差异性达到显著水平( $P < 0.05$ )。表 2 列出了差异性较大的 6 个颜色特征数据,与不同钙处理水平下番茄叶片钙含量之间差异性分析结果相一致。

2 结果与分析

**2.1 不同钙素处理水平番茄苗期叶片颜色特征差异性分析** 针对表 1 所示的颜色特征值,用 SPSS 对 3 个钙处理水平所有叶位叶片图像的同一个颜色特征数据进行单因素方

表 2 不同钙素水平对番茄苗期叶片部分颜色特征的影响

Table 2 Effects of different calcium treatments on color features of tomato leaf at seedling stage

| 叶位<br>Leaf position                       | 处理<br>Treatment | G/B       | R/G 标准差<br>R/G standard deviation | S 标准差<br>S standard deviation | S         | R/G      | R、G 相关系数<br>R、G correlation coefficient |
|---|-----------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------|----------|---|
| 顶叶 Top leaf                               | 健康组             | 1.30 aA   | 0.19 aA                           | 0.15 aA                       | 0.04 aA   | 0.95 aA  | 0.99 aA                                 |
|   | 缺钙 50%组         | 1.22 aAb  | 0.18 aA                           | 0.14 abA                      | 0.03 aA   | 0.96 aA  | 0.99 aA                                 |
|   | 完全缺钙组           | 1.18 bA   | 0.14 aA                           | 0.13 bA                       | 0.03 aA   | 0.97 aA  | 0.99 aA                                 |
| 侧 1 枝顶叶<br>Lateral 1 branch top leaf      | 健康组             | 1.59 aA   | 0.31 aA                           | 0.19 aA                       | 0.09 aA   | 0.88 aA  | 0.99 bA                                 |
|   | 缺钙 50%组         | 1.51 bAab | 0.29 aA                           | 0.18 abA                      | 0.07 abAB | 0.89 abA | 0.99 bA                                 |
| 侧 1 枝顶 2 叶<br>Lateral 1 branch top 2 leaf | 健康组             | 1.28 aAb  | 0.20 aAB                          | 0.15 aA                       | 0.04 aA   | 0.95 aA  | 0.99 aA                                 |
|   | 缺钙 50%组         | 1.29 aA   | 0.21 aA                           | 0.15 aAB                      | 0.05 abA  | 0.95 aA  | 0.99 aA                                 |
| 侧 1 枝顶 3 叶<br>Lateral 1 branch top 3 leaf | 健康组             | 1.24 aA   | 0.18 abA                          | 0.14 aA                       | 0.04 aA   | 0.96 aA  | 0.99 abA                                |
|   | 缺钙 50%组         | 1.25 aA   | 0.19 aA                           | 0.14 aAB                      | 0.04 abA  | 0.95 aA  | 0.99 bA                                 |
| 侧 2 枝顶叶<br>Lateral 2 branch top leaf      | 健康组             | 1.59 aA   | 0.33 aA                           | 0.21 aA                       | 0.11 aA   | 0.86 aA  | 0.99 aA                                 |
|   | 缺钙 50%组         | 1.61 aA   | 0.32 aA                           | 0.21 aA                       | 0.11 aA   | 0.86 aA  | 0.99 aA                                 |
|   | 完全缺钙组           | 1.45 aA   | 0.12 bB                           | 0.19 aA                       | 0.09 aA   | 0.98 bB  | 0.99 aA                                 |

注:小写字母不同表示同一叶位不同处理间差异显著( $P < 0.05$ ),大写字母不同表示同一叶位不同处理间差异极显著( $P < 0.01$ )

Note: Different small letters of different treatments in the same leaf position mean significant differences ( $P < 0.05$ ), different capital letters of different treatments in the same leaf position show extremely significant differences ( $P < 0.01$ )

**2.2 图像颜色特征与叶片钙含量的相关性分析** 用 SPSS 对叶片图像的颜色特征数据(表 1)和测定的叶片钙含量数据进行相关性分析,并对分析结果进行显著性检验。结果表明,R/G 和 G/B 的相关系数、R/G 和 R/B 的相关系数和侧 2

枝顶叶钙含量显著负相关,R 和 B 的相关系数、G/B 和番茄侧 2 枝顶叶钙含量低度相关,R/G 标准差和 R/G 与侧 2 枝顶叶钙含量中度正相关。番茄新叶钙含量与叶片图像颜色特征的相关系数均小于 0.5,且没有达到显著相关水平。其

中,H和I相关系数、S和I相关系数、R/B、G/B、H和S相关系数、I标准差6个颜色特征和番茄新叶钙含量为低度相关。表3列出了上一节分析中能让3个叶位的完全缺钙组叶片和健康组叶片间的差异水平达到显著的14个颜色特征与钙含量的相关系数。

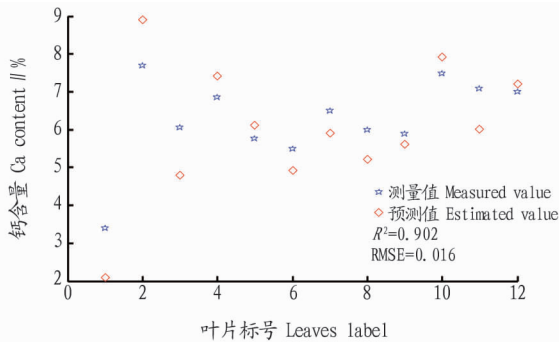
表3 番茄苗期叶片图像部分颜色指标与叶片钙含量相关系数

Table 3 Correlation between the tomato seedling leaf color index and Ca content

| 颜色指标<br>Color index                  | 新叶钙含量<br>Ca content of<br>new leaf | 侧2枝顶叶钙含量<br>Ca content of<br>lateral 2 branch<br>top leaf |
|--------------------------------------|------------------------------------|---|
| R、G 相关系数 R、G Correlation coefficient | 0.18                               | 0.14  |
| R/G                                  | -0.21                              | 0.58*   |
| G/B                                  | 0.35                               | 0.36  |
| (R+G)/(R-G)                          | 0.37                               | 0.66*   |
| (R+G)/(R-B)                          | -0.11                              | -0.07   |
| (G+B)/(G-B)                          | -0.05                              | -0.01   |
| (R+G)/(G-B)                          | 0.18                               | 0.24  |
| (R+B)/(R-G)                          | -0.26                              | -0.42   |
| (R+B)/(G-B)                          | -0.22                              | 0.62*   |
| (G+B)/(R-B)                          | 0.01                               | 0.13  |
| (G+B)/(R-G)                          | 0.04                               | 0.16  |
| S 标准差 S Standard deviation           | 0.31                               | 0.25  |
| S                                    | -0.16                              | -0.66*  |
| R/G 标准差 R/S Standard deviation       | 0.20                               | 0.55*   |

注: \* 表示在  $P < 0.05$  水平上显著

Note: \* means significant differences ( $P < 0.05$ )



注:A.侧2枝顶叶;B.顶叶

Note: A.Lateral 2 branch top leaf; B.Top leaf

图1 以颜色特征为自变量的番茄叶片钙含量预测值与实测值的相关性

Fig.1 Correlation between estimated value and measured value of Ca content in the tomato leaf using color feature as an independent variable

## 2.4 基于阈值的番茄苗期钙营养水平诊断

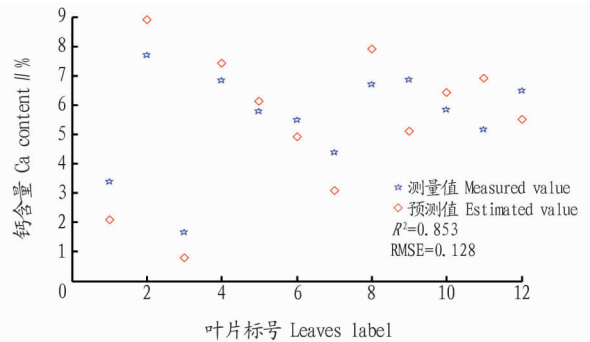
2.4.1 模型构建。植物营养学研究<sup>[3]</sup>表明,正常情况下,健康番茄的叶片钙含量为2.3%~10.0%。董彩霞等<sup>[16]</sup>在研究不同品种番茄对钙胁迫反应的敏感性时发现,健康的合作903品种番茄顶部叶片钙含量为4.6%~6.8%,故根据营养液配比可以判定该研究中缺钙处理15d后完全缺钙组叶片处于钙营养亏缺水平,缺钙处理15d前的完全缺钙组叶片和整个试验阶段(苗期)的健康组、缺钙50%组番茄叶片处于钙营养正常水平。试验表明番茄叶片钙含量与品种及叶位有关,表4是试验期间测定的钙含量。研究采集的叶片样本中,顶

上述结果表明,应用数字图像技术进行番茄钙素营养的表征是可行的。不同钙水平处理使番茄叶片颜色不同,可基于叶片图像颜色特征构建番茄钙素营养指标预测模型和诊断模型,为番茄钙素营养的实时监测和定量研究提供参考。

## 2.3 基于方程模型的番茄苗期钙营养水平检测

2.3.1 模型构建。为进一步探讨基于叶片图像数字化指标进行番茄钙营养评估预测的可行性,采用线性回归方程模型分析其与苗期叶片钙素含量间的相关性。首先把筛选出的特征一一与钙含量做线性回归分析,发现基于单个特征的模式决定系数较低,且模型的方差分析  $F$  检验所对应的显著性 Sig 值均大于0.05。故增加建模参数,选取颜色特征中基于单个特征拟合度较高的9个特征[S、R/G、(R+G)/(R-G)、(R+G)/(R-B)、R/G标准差、G/B、(G+B)/(R-B)、S标准差、(R+B)/(G-B)]进行逐步线性回归建模,结果表明,当选取4个及以上特征时模型拟合度提高到0.8以上,且能通过  $F$  检验。

2.3.2 模型验证。为了验证番茄钙素营养方程模型的适应性及准确性,用2015年相同培育方式的10月13日采集的试验数据进行验证,按照模型计算的叶片钙含量与实测值相比较,以决定系数( $R^2$ )、均方根误差(RMSE)2个指标综合考察模型的准确性(图1)。结果表明,利用数字图像 G/B、R/G、R/G 标准差值和 S 值建立的估算模型,其实际值与预测值之间的决定系数均达到极显著水平,为  $R^2 = 0.902$  和  $R^2 = 0.853$ 。其中,均方根误差 RMSE 分别为 0.016 和 0.128,预测结果精度较好,可用于苗期番茄叶片钙含量模型预测。



叶处于茎部的顶端,侧1枝的3个叶位紧靠顶叶,所测定的完全缺钙组新叶钙含量也高于完全缺钙组侧2枝顶叶的钙含量。即使是在缺钙处理20d后,所有番茄叶片样本均已产生明显的缺钙症状,完全缺钙组番茄新叶的钙含量仍超过2.2%,因此无法根据叶片钙含量来确定番茄新叶的钙营养水平,即不能利用颜色特征阈值方法进行番茄新叶钙营养水平的诊断,且R/G标准差、R/G、G/B和番茄新叶钙含量的相关系数相对较低,所以研究最终选择番茄侧2枝顶叶作为番茄苗期钙营养水平诊断的叶位。

表 4 番茄叶片钙含量变化

Table 4 Changes of Ca content in tomato leaf

%

| 叶型<br>Leaf type             | 处理<br>Treatment | 缺钙 5 d<br>Calcium deficiency<br>for 5 days | 缺钙 10 d<br>Calcium deficiency<br>for 10 days | 缺钙 15 d<br>Calcium deficiency<br>for 15 days | 缺钙 20 d<br>Calcium deficiency<br>for 20 days | 缺钙 25 d<br>Calcium deficiency<br>for 25 days | 缺钙 30 d<br>Calcium deficiency<br>for 30 days |
|-----------------------------|-----------------|--|--|--|--|--|--|
| 新叶 New leaf                 | 健康组             | 4.41                                       | 7.11   | 6.49   | 6.46   | 5.35   | 8.68   |
|                             | 缺钙 50%组         | 3.39                                       | 7.69   | 6.05   | 6.84   | 5.76   | 5.48   |
|                             | 完全缺钙组           | 3.81                                       | 5.75   | 2.66   | 2.21   | 2.94   | 3.63   |
| 侧 2 枝顶叶<br>Lateral 2 branch | 健康组             | 4.81                                       | 5.11   | 5.58   | 7.75   | 6.56   | 12.12  |
|                             | 缺钙 50%组         | 4.21                                       | 5.81   | 6.73   | 5.59   | 9.38   | 8.81   |
| top leaf                    | 完全缺钙组           | 3.43                                       | 2.80   | 2.05   | 1.69   | 2.21   | 2.21   |

注:新叶为顶叶、侧 1 枝顶叶、侧 1 枝顶 2 叶、侧 1 枝顶 3 叶的集合

Note: New leaves were the gathering of top leaf, lateral 1 branch top leaf, lateral 1 branch top 2 leaf, lateral 1 branch top 3 leaf

前面差异性和相关性结果表明, R/G 标准差值和 R/G 值既是不同钙水平番茄叶片之间差异性显著的特征, 能反映不同钙处理水平叶片颜色的变化趋势, 也与叶片钙含量显著相关, 可以作为诊断番茄苗期叶片钙营养水平的依据。利用 R/G 标准差值和 R/G 值对番茄侧 2 枝顶叶钙素水平进行诊断, 方法如下: 以 R/G 标准差值为例, 健康组 R/G 标准差值范围为 0.31~0.41, 均值为 0.34; 缺钙 50%组 R/G 标准差值的范围为 0.31~0.39, 均值为 0.32; 完全缺钙组 R/G 标准差值的范围为 0.04~0.31, 均值为 0.12。3 组叶片图像的 R/G 标准差值分布如图 2 所示, 从图中可以明显看出健康组 R/G 特征值和缺钙 50%组 R/G 特征值互相混合, 不容易区分; 而完全缺钙组 R/G 标准差值明显小于健康组和缺钙 50%组, 且差别明显。因此, 根据番茄侧 2 枝顶叶的 R/G 标准差值分布范围, 取 R/G 标准差值为 0.20, 将番茄叶片分为 2 类, 位于上半部分的为健康状态(非钙素亏缺)叶片, 位于下半部分的为钙营养亏缺状态叶片。

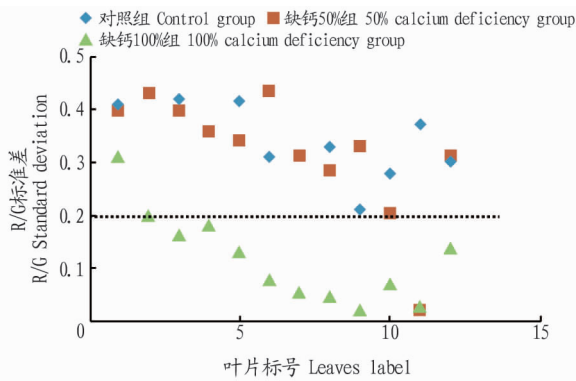


图 2 侧 2 枝顶叶 R/G 标准差分布

Fig.2 R/G standard deviation distribution of the lateral 2 branch top leaf

利用侧 2 枝顶叶的 R/G 标准差、R/G 分布情况提取的阈值, 都能够很容易地将完全缺钙组番茄叶片与其他 2 组番茄叶片区分开, 区分正确率均为 91.6%。因此 R/G 标准差 = 0.20, R/G = 0.96 可以作为番茄侧 2 枝顶叶钙营养水平诊断的指标(表 5)。

**2.4.2 模型验证。**将 10 月 13 日采集的 15 个侧 2 枝顶叶叶片作为验证样本集, 测定验证集样本叶片的钙含量并提取其图像的 R/G 标准差值和 R/G 值, 试验数据分析结果表明, 验

证集样本叶片钙含量为 1.50%~1.91%, 均处于钙营养亏缺状态。15 个叶片的 R/G 标准差值均小于 0.20, 12 个叶片的 R/G 值大于 0.96, 利用 R/G 标准差值阈值和 R/G 阈值对验证集叶片钙营养水平的诊断正确率都超过了 80%。

表 5 R/G 标准差、R/G、阈值对番茄侧 2 枝顶叶的区分情况

Table 5 R/G standard deviation, R/G, threshold for distinguishing the lateral 2 branch top leaf of tomato

| 分组<br>Group  | R/G 标准差<br>R/G Standard<br>deviation | R/G       |
|--|--------------------------------------|-----------|
| 健康组和缺钙 50%组番茄叶片特征分布范围<br>Distribution range of tomato leaf characteristics in healthy group and 50% calcium deficiency group | 0.31~0.41                            | 0.75~0.99 |
| 完全缺钙组番茄叶片特征分布范围<br>Distribution range of tomato leaf characteristics in complete calcium deficiency group                    | 0.14~0.31                            | 0.89~0.99 |
| 阈值 Threshold   | 0.20                                 | 0.96      |
| 区分正确率 Division accuracy // %   | 91.6                                 | 91.6      |

### 3 结论

该研究采用梯度试验, 探讨了基于数字图像特征检测并诊断番茄苗期钙素水平的可行性, 分析了番茄苗期叶片图像颜色指标与叶片钙含量之间的关系, 通过试验建立了基于数字图像 G/B、R/G、R/G 标准差值和 S 值的叶片钙含量预测模型, 并用 2015 年的试验数据进行反演验证, 顶叶与侧 2 枝顶叶钙含量实测值与预测值的决定系数  $R^2$  分别为 0.853 和 0.907, 均方根误差 RMSE 分别为 0.128 和 0.013, 预测结果精度较好。通过差异性和相关性分析, 建立了基于颜色特征 R/G 和 R/G 标准差阈值的钙素诊断模型, 用于判断番茄植株是否受钙素胁迫, 诊断准确率为 80% 以上, 试验验证结果与植物营养学研究成果一致。研究成果可为番茄钙素营养无损诊断研究提供理论基础。

不同品种、不同生育期番茄钙素营养诊断的图像特征参数可能不同, 普适性和规律性更强的预测与诊断模型是下一步研究工作的重点。

### 参考文献

- [1] 王久兴. 蔬菜无土栽培实用技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 281-288.
- [2] 马跃. 氮磷钾配比对温室番茄生长、产量和品质的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.

(下转第 215 页)

设置后无人管理,这些标识存在着安全隐患,严重时甚至威胁到生命财产的安全,失去了原有设置的初心。可见,水利标识的设置疏于管理。

#### 4 农村水利标识规范化的必要性

农村水利标识是农村水利工程建设和发展的重要推动力,直接服务于农村。因此,需不断规范化农村水利标识。

**4.1 设置规范的水利标识,优化管理系统** 农村水利包含农村自来水供应、农田水利、农村旅游业发展及农村生态文明建设,上述均离不开农村水利的贡献<sup>[7-8]</sup>。无论人类科技发展 to 何种程度,农田水利均具备不可替代的作用。农田水利主要包括排水、浇灌、沼泽地改良、沙漠开垦及水土保持等。实施这些措施需要必要的水利配套设备,如河流堤坝、闸门、沟渠等。对于其中的重要工程,需设置合理的标识装置,可提高工程建设效率。设置规范的水利标识装置,加强管理规范,提高建设工人安全意识,明确责任主体,加强工作效率与工程的使用寿命,都需要各方面协调统一配合<sup>[9]</sup>。

**4.2 充分展示水利功能,增添水利特色** 农村水利建设功能强大,包括生态环境保护、防洪排涝、排水灌溉等。如何让人们了解这些功能,需针对性地设置水利标识。近几年,国家实施新农村建设,加强生态文明发展,是一个水利快速发展的契机。根据管理需要设置合理的水利标识,在标识上充分体现水利功能及特色,以便直观地了解农村水利功能以及当地独特的风景文化。

**4.3 加强宣传,鼓励公众积极参与** 建国以来,我国已经针对农村水利的发展做出了相关规定,并出台了法律法规、政策条文。但这些条文并没有普及到人们内心深处,贯彻落实效果差。新阶段,农村水利更注重人与水的协调发展,标识是让人们关注水利、了解水利、发展水利最好的方法。因此,应加大宣传力度,合理规范水利标识,通过标识使国家颁布的相关法律条文深入人心,使人们积极参与水利工程建设。

#### 5 农村水利标识系统的规范化设计

**5.1 设计要求** 农村水利标识的设计要对信息传达、设计规范统一,并注意内容是否表达完整<sup>[10]</sup>。要求设计地系统规范、简单明了。对于信息方面有如下具体要求:①文字。对于文字的设计在易于理解的基础上适当变化类型,突出文字

特殊性,要求用有限的文字传达更多的信息。一般情况以黑体为主,10个字左右即可,字体大小24~50磅,由左侧主写。

②图标。对于农村水利图标,通常使用国家统一规定的图标。在不违反规定的基础上可适当增添地方名称,图标的尺寸也应与国家规定相一致,可按比例缩放或扩大。③地图。标识中配置的图形应简明清晰、醒目,颜色和风格的设计符合当地特色,突出当地的风土人情。对于图中的色彩搭配主题要鲜明,空间结构也要调整,可适当留空。

**5.2 标识材料的选取** 为保证标识的使用期限、满足生态发展需要及经济节约等要求,一般石材、木材、竹材等作为备用材料。在乡村旅游胜地还可根据当地风俗习惯、历史文化选取代表性的材料。部分地区常年多雾多雨,选材时可选取不锈钢、石材或其它不易腐蚀的高硬度材料。

#### 6 结论

我国水利标识结构系统的建设中存在:缺乏标准规范、疏于管理、标识没有深入人心等问题。针对上述问题,首先应制定统一规范的农村水利标识;其次加大宣传力度,让公众辨识标识,理解标识意义;最后在水利标识设置的选材中应基于安全耐用、外观精致、内容体系统一的标准。

#### 参考文献

- [1] 李伟,景明宪.农村水利服务体系建设的调查与思考[J].河南水利与南水北调,2011(19):65-66.
- [2] 夏继红,伊紫函,张震宇,等.农村水利标识系统的结构体系及规范化[J].中国农村水利水电,2016(10):40-43,48.
- [3] 邱元锋,孟戈,雷声隆.中国农村水利现代化指标体系构建[J].农业工程学报,2016,32(20):171-178.
- [4] 黄介生.我国农村水利工作的几点思考[C]//第三届安徽省自然科学学术年会暨首届安徽水利论坛论文集.合肥:中国水利学会,安徽省水利学会,2005.
- [5] 陈艳,陈进,杨海霞,等.水利枢纽工程功能设计中有关风险分析体系的建立[J].水利水电技术,2005,36(7):136-139.
- [6] 李聪然,张强.关于我国农村水利问题的若干思考[J].城市建设理论研究(电子版),2013(18):3-5.
- [7] 孔喜梅.农村水利设施管理和维护的困境与对策研究[J].安徽农业科学,2011,39(13):8117-8119.
- [8] 王易萍.农田水利的双轨运行机制及其变革路径建构研究[J].安徽农业科学,2012,40(10):6339-6340,6343.
- [9] 阙学红,张辉,梁纪英.对我国农村水利工作的思考[J].农家科技,2011(S2):9.
- [10] 张于喆,史清琪,张岳.我国水利现代化的评价指标体系[J].人民黄河,2003,25(11):4-6.
- [11] [J].计算机测量与控制,2004,12(9):859-862.
- [12] 李艳.加工番茄氮素营养快速诊断方法的研究[D].石河子:石河子大学,2007.
- [13] 吴雪梅.基于计算机视觉的番茄营养元素亏缺识别研究[D].镇江:江苏大学,2004.
- [14] 丁永军,李民赞,孙红,等.基于多光谱图像技术的番茄营养素诊断模型[J].农业工程学报,2012,28(8):175-180.
- [15] 张作贵.自然光照条件下基于机器视觉的番茄缺素的智能诊断研究[D].镇江:江苏大学,2005.
- [16] 毛罕平,徐贵力,李萍萍,等.番茄缺素叶片的图像特征提取和优化选择研究[J].农业工程学报,2003,19(2):133-136.
- [17] 吴艳,洪明,孟晓艳.基于RGB颜色模型的核桃缺素症判别方法[J].北方大学学报(自然科学版),2013,14(4):493-496.
- [18] 董彩霞,周健民,段增强,等.不同番茄品种苗期对缺钙胁迫的反应[J].中国蔬菜,2002(2):12-14.

(上接第195页)

- [3] 李会远.番茄无公害标准化栽培技术[M].北京:化学工业出版社,2009:149-166.
- [4] 何勇,彭继宇,刘飞,等.基于光谱和成像技术的作物养分生理信息快速检测研究进展[J].农业工程学报,2015,31(3):174-189.
- [5] 张立周,侯晓宇,张玉铭,等.数字图像诊断技术在冬小麦氮素营养诊断中的应用[J].中国生态农业学报,2011,19(5):1168-1174.
- [6] 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.
- [7] 石媛媛.基于数字图像的水稻氮磷钾营养诊断与建模研究[D].杭州:浙江大学,2011.
- [8] 徐贵力,毛罕平,李萍萍.缺素叶片彩色图像颜色特征提取的研究[J].农业工程学报,2002,18(4):150-154.
- [9] 胡春华,李萍萍.计算机图像处理在缺素叶片颜色特征识别方面的应用