

无损测技术在番茄营养诊断中的应用研究

武新岩^{1,2}, 郭建华², 张毅功¹, 方正³, 张丽娟¹, 毛思帅⁴

(1. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097; 2. 河北农业大学 资源与环境科学学院, 河北 保定 071000;

3. 河北农业大学 河北省生物无机化学重点实验室, 河北 保定 071001; 4. 中国农业大学 农学与生物技术学院, 北京 100193)

摘要:为了实现番茄无损测试诊断的目标, 利用叶绿素仪 SPAD-502 测定了番茄不同生育期成叶、新叶的 SPAD 读数值。结果表明: 番茄无论新叶还是成叶全氮含量、叶绿素含量都与 SPAD 测定值有很好的相关性; 随着施肥量的增加, 番茄植株体内的叶绿素含量、全氮含量都在增加, 番茄 SPAD 读数在逐渐的增大, 番茄的维生素 C 含量呈上升趋势, 在 600 kg/hm² 时, 果实维生素 C 含量达到最大值, 当施氮量为 900 kg/hm² 时, 番茄体内的可溶性固形物达到了最大值。SPAD 能够对番茄的营养状况作出诊断。

关键词:番茄; SPAD; 叶绿素; 全氮

中图分类号:S 641.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2011)11-0004-04

番茄(*Lycopersicon esculentum*)是我国设施栽培中面积最大的蔬菜之一。研究表明, 作物生长与其氮素吸收和氮浓度关系密切^[1]。由于其具有很高营养价值和药用价值, 风味独特, 深受广大消费者青睐。近年来, 叶绿素仪在作物叶片养分的间接速测上应用广泛, 取得了较好的效果, 利用叶绿素仪测定的 SPAD 值可以间接反映作物叶片的叶绿素含量及含氮量^[2-6]。对番茄最经济施肥量的研究发现, 合理施肥在一定程度上可以提高番茄的产量, 并且能够改善番茄的品质和风味^[7]。氮素营养对番茄生长发育及产量有很大的影响, 氮肥的合理施用比传统施用有更大的经济可行性和生态可行性。

合理氮素营养调控取决于对作物氮素营养水平的精确判定^[8]。由于植株全氮的化学分析方法普遍基于通过破坏土壤和作物获取样本, 历经采样、烘干、研磨、称重、化验分析等多道程序, 花费时间长, 测试结果不具有实时性, 不能满足日趋发展的农业信息化的要求^[9]。近年来, 一种基于测定叶绿素相对含量的手持式叶绿素仪(SPAD-502)较为广泛地应用于植物的氮素检测, 叶绿素检测仪 SPAD-502 是通过不同叶绿素含量的叶片对 2 种不同波长光的吸收不同来确定其叶绿素含量, 与传统的乙醇-丙酮浸提法测定叶绿素相比, 它能够快速、简便、较精确、非破坏性地监测植物氮素营养水平并能及时提供追肥所需的信息。现利用叶绿素仪对番茄不同氮素水平下各生育期成叶和新叶叶片的 SPAD 读数进行测定, 分析氮素不同用量、叶绿素、全氮与 SPAD 值的关系, 旨在寻找一种快速、简单、无损的氮素营养状况诊断方法。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试番茄品种为京丹, 供试氮肥为硫酸铵(N 21%), 磷肥为过磷酸钙(P₂O₅ 17%), 钾肥为硫酸钾(K₂O 0%)。

第一作者简介:武新岩(1986-), 女, 河北保定人, 在读硕士, 研究方向为植物营养生态。

责任作者:郭建华(1961-), 女, 河北武强人, 研究员, 现主要从事植物营养与施肥研究工作。

基金项目:北京市自然科学基金资助项目(6082010); 国家“863”计划资助项目(SQ2010AA1000764006)。

收稿日期:2011-03-25

Abstract: Effects of low night temperature at 6°C (15°C as control) on the diurnal changes of stomatal opening extent and the structures of tomato leaves were investigated. The results showed that on the 7th day of the treatment, the stomatal size and leaf area were significantly lower than control, while the stomatal density and leaf epidermal height were obviously higher than control. Leaf thickness was not significantly affected. During the whole day, the stomatal opening extent in low night temperature treatment was lower than control. The stomatal opening ratio was similar to the control in the morning, while it was lower than control at 14:00 and significantly lower at 16:00. After recovery for 7 days, the stomata size in the low temperature treatment was much bigger than control. The stomatal density, stomatal opening rate, leaf area were lower than control, and the stomatal opening extent, leaf epidermal height and leaf thickness were higher than control. However, these changes were not significant. In the low temperature treatment, the palisade tissue became closer, while no obvious difference was observed after recovered for 7 days.

Key Words: tomato; low night temperature; stomatal

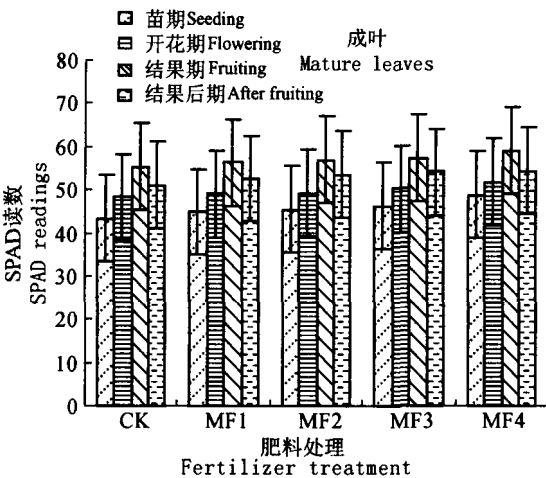
1.2 试验方法

试验于 2009 年春在北京市昌平区小汤山国家精准农业示范基地的日光温室内进行。番茄移栽前,大棚按照“S”型进行取样,取样深度 0~20 cm,土壤类型为石灰性褐土,试验土壤的基础地力:有机质 32.2 g/kg,全氮 1.63 g/kg,有效磷 179 mg/kg,速效钾 272 mg/kg,pH 6.87,硝态氮 98.8 mg/kg。2009 年 3 月 10 日定植,株距 40 cm,行距 40 cm,每小区共 28 株。田间浇水以及病虫害管理同常规大棚管理。

试验共设 5 个氮素处理,CK 0 kg/hm²、MF1 300 kg/hm²、MF2 600 kg/hm²、MF3 900 kg/hm²、MF4 1 200 kg/hm²;3 次重复,随机排列,每个小区面积为 5.2 m²,共 15 个小区。磷钾肥在播种前作为底肥施入。氮肥施用方法:1/3 作为基肥施入,2/3 作追肥冲施。

1.3 指标测定

取样时分为下部叶片(成叶)和上部叶片(新叶),使用 SPAD-502 型叶绿素计测定单叶片 5 次,取平均值,该叶片准备用做叶绿素含量测定。土壤有机质采用重铬酸钾容量法-外加热法进行测定,叶绿素采用丙醇-乙酮浸提法,全氮的测定采用凯式定氮法测定。



2 结果与分析

2.1 施肥对番茄叶片 SPAD 测定值的影响

番茄新叶的 SPAD 读数在 43.3~59.1 之间,成叶的 SPAD 读数在 45.20~68.18 之间。无论新叶还是成叶,在番茄整个生育期间,SPAD 值随施肥量的变化而变化(图 1)。同一施肥量的新叶与老叶,差异显著,苗期 SPAD 值比较低,到结果期 SPAD 值达到最大值,以后逐渐下降,该变化与番茄营养生长的变化一致。不同施肥处理,随着施肥量的增加,番茄叶片 SPAD 读数值也在增大,整个生育期间氮素处理 1 200 kg/hm² 的 SPAD 测定值最大,0 kg/hm² 处理的 SPAD 测定值最小,氮素 0 kg/hm² 处理的新叶叶片 SPAD 读数值在苗期比成叶叶片 SPAD 读数值小 1.9,在结果后期,新叶叶片的测定值比成叶叶片的 SPAD 测定值下降快,其读数值相差 8.9。不同施氮处理对苗期叶片 SPAD 值影响相对较小,到开花期这种影响逐渐加大;由于施肥量的增加促进了叶片含氮量、叶绿素含量的增加,因此 SPAD 读数值也随之增加。番茄的成叶和新叶在不同施氮量的处理下,2 个不同叶位的变化趋势基本一致。

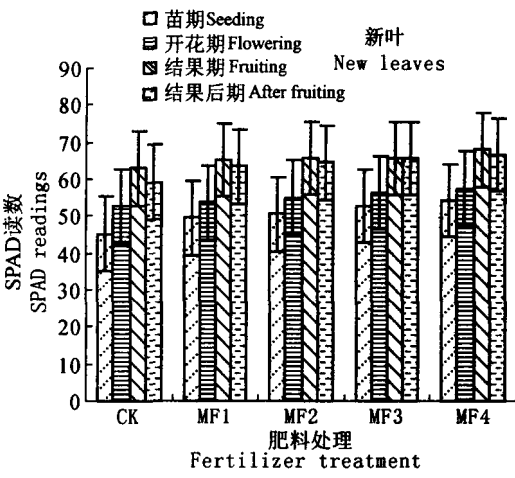


图 1 不同施肥处理在不同生育期对番茄新叶、成叶 SPAD 值影响

Fig.1 In different growth stages, the effect of different fertilizer treatment on new leaves, mature leaves of tomato

2.2 番茄叶片叶绿素含量与 SPAD 测定值的关系

绿色植物光能利用率高高低取决于其叶片叶绿素含量的多少,而作为植物生理指标之一的叶片叶绿素含量能确定植物在整个生育期间的营养状况,因此,研究绿色植物叶片叶绿素含量至关重要^[10]。

由表 1 可看出,随 SPAD 值增加,叶绿素含量呈增

加趋势。由雷泽湘^[11]的研究表明,其散点图图形符合对数函数和线性函数,二函数相比较,线性函数计算简单,相关系数略高于乘幂函数和指数函数。根据表 1 按线性函数分别对叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素含量进行统计分析,相关趋势图见图 2。

表 1 番茄叶片叶绿素含量及 SPAD 测定值的测定结果

Table1 SPAD readings and chlorophyll contents in leaves of tomato

叶位 Leaves position	SPAD 读数 SPAD readings	鲜叶叶绿素含量 Chlorophyll contents /mg·g ⁻¹		
		Chl-a	Chl-b	Chl
新叶 New laves	53.68	1.60	0.61	2.21
新叶 New laves	55.25	1.69	0.64	2.34
新叶 New laves	56.30	1.78	0.68	2.46
新叶 New laves	57.10	1.81	0.65	2.46
新叶 New laves	58.03	1.82	0.71	2.53
成叶 Mature laves	62.85	1.23	0.48	1.71
成叶 Mature laves	64.40	1.26	0.49	1.75
成叶 Mature laves	65.63	1.40	0.60	2.00
成叶 Mature laves	66.70	1.41	0.54	1.95
成叶 Mature laves	67.18	1.55	0.63	2.18

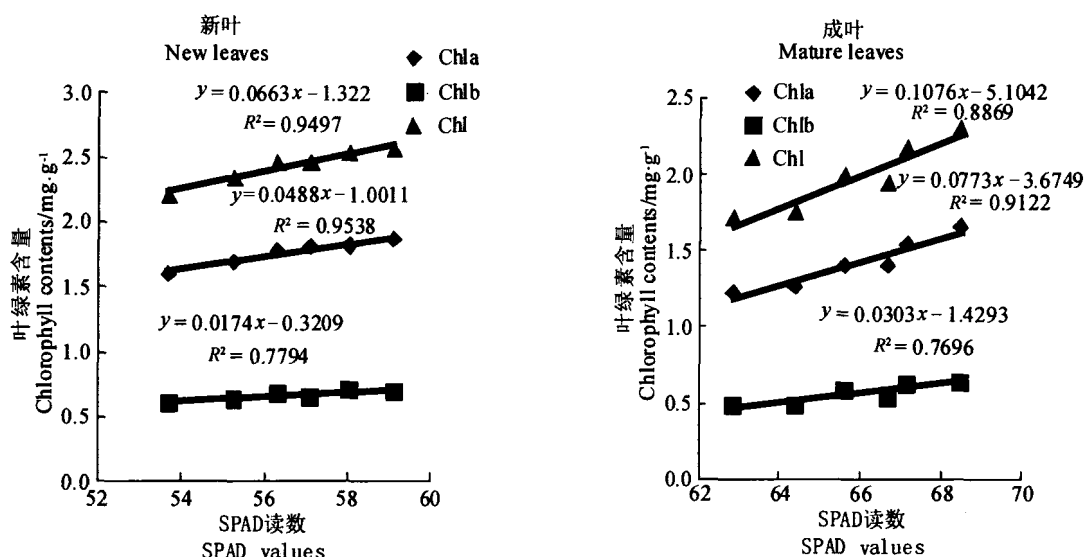


图2 番茄新叶、成叶 SPAD 测定值与叶绿素含量的相关图

Fig.2 Correlogram between SPAD readings and chlorophyll contents in new leaves and mature leaves of tomato

由图2可以看出,成叶和新叶叶片的叶绿素a都与SPAD测定值有很好的相关性,相关系数分别是0.9122、0.9588;叶绿素b与SPAD测定值的相关性较差,相关系数分别为0.7696、0.7794;叶绿素与SPAD测定值的相关性介于叶绿素a与叶绿素b之间,分别是0.8869、0.9497。表明无论新叶还是成叶叶片的叶绿素a与SPAD测定值的相关性大于叶绿素b与SPAD测定值的

相关性,且叶片内的叶绿素a的含量高于叶绿素b的含量。这是由于SPAD-502型叶绿素计测定原理是以660nm左右固定波长测定叶绿素的含量,而叶绿素a的吸收峰为660nm,与之非常接近,而叶绿素b的吸收峰在643nm,与SPAD-502型叶绿素计的波长相差较远,所以叶绿素b与SPAD测定值的相关性要差一些。

表2 番茄不同生育期成叶、新叶叶片全氮含量与SPAD读数的相关性

Table 2 In different growth stage, the correlation between nitrogen and SPAD value of tomato

生育期 Growth stage	叶位 Leaves position	方程式 Equation	R^2	N
苗期 Seeding	新叶 New leaves	$y = 0.0248x^2 - 0.047x + 4.7348$	0.9273	15
	成叶 Mature leaves	$y = -0.0293x^2 + 0.3129x + 2.8665$	0.9882	15
开花期 Flowering	新叶 New leaves	$y = 0.0411x^2 + 1.0161x + 51.53$	0.9991	15
	成叶 Mature leaves	$y = 0.1714x^2 - 0.1886x + 48.49$	0.9810	15
结果期 Fruiting	新叶 New leaves	$y = -0.0054x^2 + 1.1496x + 62.115$	0.8709	15
	成叶 Mature leaves	$y = 0.05x^2 + 0.59x + 54.73$	0.9691	15
结果后期 After fruiting	新叶 New leaves	$y = -0.4304x^2 + 4.3196x + 55.67$	0.9667	15
	成叶 Mature leaves	$y = -0.1964x^2 + 2.0186x + 49.31$	0.9981	15

2.3 番茄不同生育期叶片全氮含量与SPAD测定值的关系

番茄叶片全氮含量的测定结果表明,番茄叶片无论成叶还是新叶都与全氮具有很好的相关性。苗期新叶、开花期新叶、开花期成叶和结果期成叶全氮含量与SPAD测定值呈正相关;苗期成叶、结果期新叶、结果后期新叶、结果后期成叶全氮含量与SPAD测定值呈负相关。在开花期时,新叶全氮含量与SPAD测定值的相关性达到了极显著,其函数表达式为 $y = 0.0411x^2 + 1.0161x + 51.53$,相关系数 $R^2 = 0.9991$ 。结果期新叶全氮含量与SPAD测定值的相关性显著,但相对较差,其函数表达式为 $y = -0.0054x^2 + 1.1496x + 62.115$,相关系数 $R^2 = 0.8709$ 。其它时期的无论新叶还是成叶都

达到了极显著相关。所以用SPAD测定时无论选新叶还是成叶都能很好的进行番茄氮素诊断。

2.4 不同施肥处理对番茄果实品质的影响

果实维生素C含量和可溶性固形物含量的测定结果(图3)表明,不同施肥处理果实维生素C含量差异不显著,随着施氮量的增加,番茄果实体内的维生素C含量也在逐渐增加,当施氮量达到600kg/hm²时,果实的维生素C含量达到最大值,随着施氮量的继续增加,果实体内的维生素C含量逐渐降低。不同施肥处理果实硝态氮含量差异显著,随着施肥量的增加,果实体内的可溶性固形物逐渐上升,当施氮量为900kg/hm²时,番茄体内的可溶性固形物达到了最大值,到1200kg/hm²时开始下降。

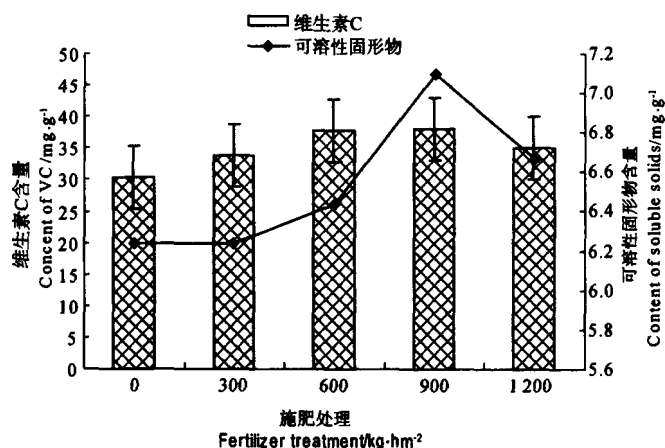


图3 不同施肥处理对番茄维生素C、可溶性固形物的影响

Fig. 3 The influence on vitamin C, soluble solids of tomato in different fertilizer treatment

3 结论与讨论

用无损测试技术对土壤或作物的氮素状况的精确评价是作物营养诊断技术的发展趋势^[2]。应用 SPAD 仪,在番茄生长的各个生育期,对其氮营养状况进行诊断,发现它们之间具有很好的相关性,用 SPAD 能够估测番茄氮素丰缺。

番茄成叶叶片、新叶叶片全氮含量、叶绿素含量与 SPAD 测定值有很好的相关性,SPAD 能够动态的监测番茄的生长状况,随着施肥量的增加,番茄体内的全氮含量、叶绿素含量都在增加,番茄 SPAD 读数在逐渐的增大。与传统的作物氮素营养状况诊断方法-番茄叶片全氮含量相比,叶绿素仪读数与番茄无论新叶还是成叶全氮含量之间为极显著的函数关系,表明叶绿素仪测试与植株全氮分析 2 种方法是相类似的氮营养诊断方法,叶绿素仪测试方法可以反映番茄的氮营养状况。与李志宏^[10]在冬小麦上叶绿素仪测定值与作物全氮有很好

的相关性这一研究结果比较接近。

番茄的品种繁多,不同品种间的 SPAD 值、果实品质往往相差很大,要根据品种的不同建立对应的诊断指标。另外,由于叶色是许多因素综合影响的结果,并不是单纯因氮含量不同而存在差异,当植物缺磷、缺钾或缺乏微量元素时,叶色也会发生变化,影响测定结果,今后尚需做大量的试验来完善利用叶绿素仪进行蔬菜合理施肥这项技术。

参考文献

- [1] Cui R Y, Lee B W. Spikelet number estimation model using nitrogen nutrition status and biomass at panicle initiation and heading stage of rice [J]. Korean J. Crop Sci., 2002, 47: 390-394.
- [2] 唐延林, 王人潮, 张金恒, 等. 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.
- [3] 杨通, 陈晓燕, 冯红贤. 氮营养对菜心炭疽病抗性生理的影响[J]. 华南农业大学学报, 2004, 25(2): 26-30.
- [4] 王强, 姜丽娜, 符建荣. 氮素形态、用量及施用时期对小青菜产量和硝酸盐含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(1): 126-131.
- [5] 唐延林, 王人潮, 张金恒, 等. 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.
- [6] 姜丽芬, 石福臣, 王化田, 等. 叶绿素计 SPAD2502 在林业上应用[J]. 生态学杂志, 2005, 24(12): 1543-1548.
- [7] 张艳玲, 宋述尧. 氮素营养对番茄生长发育及产量的影响[J]. 北方园艺, 2008(2): 25-26.
- [8] Balasubramanian V, Morales A C, Cruz R T. On-farm adaptation of knowledge-intensive nitrogen management technologies for rice systems[J]. Nutr Cycling Agroecosyst, 1999, 53(1): 59-69.
- [9] 郭建华, 赵春江, 王秀, 等. 作物氮素营养诊断方法的研究现状及进展[J]. 中国土壤与肥料, 2008(4): 10-14.
- [10] 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.
- [11] 雷泽湘, 艾天成, 李方敏, 等. 草莓叶片叶绿素含量、含氮量与 SPAD 值间的关系[J]. 湖北农学院学报, 2001, 21(2): 138-140.

(注:该文作者还有赵斌,单位河北农业大学,河北省生物无机化学重点实验室,071001。)

Application Research of Non-destructive Test Technology on Tomato Nutrition Diagnosis

WU Xin-yan^{1,2}, GUO Jian-hua², ZHANG Yi-gong¹, FANG Zheng², ZHANG Li-juan, MAO Si-shuai⁴, ZHAO Bin³

(1. National Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097; 2. College of Resource and Environmental Science, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001; 3. Key Lab of Bio-inorganic Chemistry of Hebei, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001; 4. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193)

Abstract: The number of leaves developed in different stages and SPAD readings of new leaves were tested with chlorophyll meter SPAD-502 in order to conduct non-destructive diagnosis. The results showed that the content of total nitrogen and chlorophyll in both new and matured tomato leaves correlated with the SPAD reading positively. The content of total nitrogen and chlorophyll in tomato plants increased with more input of fertilizer and so as the SPAD value. The content of VC also gradually increased and reached maximum value with the nitrogen content of 600 kg/hm². The solid content of tomato reached highest level with the nitrogen content of 900 kg/hm². Therefore, SPAD could make diagnosis on tomato nutritious status.

Key words: tomato; SPAD; chlorophyll; total nitrogen