

Preliminary Study on K Threshold in Tissues of Tomato Plug Seedlings

Huan Liang, Qingmao Shang

Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing
Email: lianghuanconf@126.com, shangqingmao@caas.cn

Received: Mar. 5th, 2014; revised: Mar. 12th, 2014; accepted: Mar. 17th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

To obtain the K threshold in tissues of tomato plug seedlings, K contents were measured in different tissues of 17 tomato cultivars by turbidimetric method with sodium tetraphenylborate. The effects of N, P, K fertilization level and environmental factors on K contents were also examined in two representative cultivars ("Jiahong No.4" and "Zhongza No.105"). The results showed that K contents varied among different cultivars and tissues with significant difference. The K threshold of the second leaf petiole among different tissues was maximal and 3.23 - 4.93 g/L, and the K threshold of Xianke No.5 among different tissues was maximal and 2.92 - 6.72 g/L. In addition, the K contents of tomato plug seedlings increased as the K fertilization levels increased from 29 to 1875 mg/L. Compared to that in the seedlings supplied with normal K, the K content was increased by at most 1.23-fold in the seedlings supplied with excessive K, while in the seedlings fertilized with low level of K, the K content was reduced at most 64.84%. With the change of external factors such as N or P fertilization level, or temperature, or light intensity, the K contents in tissues of tomato plug seedlings also changed. And the K contents were increased at most 38.34% and decreased at most 36.01%. Therefore, the basic values of K contents from 17 cultivars were corrected with these environmental factors. Finally the K threshold in tissues of tomato plug seedlings was 4.63 - 6.94 g/L in hypocotyls, 5.56 - 7.40 g/L in stems, 2.65 - 4.62 g/L in first leaf petioles, 2.14 - 4.09 g/L in first leaves, 2.80 - 6.93 g/L in second leaf petioles, 2.54 - 5.17 g/L in second leaves, 3.55 - 7.06 g/L in third leaf petioles, 2.69 - 6.24 g/L in third leaves, 4.29 - 7.71 g/L in fourth leaf petioles, 3.90 - 7.07 g/L in fourth leaves.

Keywords

Tomato; Plug Seedlings; Tissues; K; Threshold

番茄穴盘苗组织钾阈值的初步研究

梁 欢, 尚庆茂

中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京

Email: lianghuanconf@126.com, shangqingmao@caas.cn

收稿日期: 2014年3月5日; 修回日期: 2014年3月12日; 录用日期: 2014年3月17日

摘 要

为明确番茄穴盘苗组织钾阈值, 采用四苯硼钠比浊法测定了番茄17个主栽品种不同组织钾含量, 并选其中两个品种(佳红4号和中杂105号)研究了氮、磷、钾盈亏供应和外界环境因素对番茄穴盘苗组织钾含量的影响。发现17个品种中, 仙客5号组织间钾含量的变化范围最大, 为2.92~6.72 g/L; 供试品种的10个取样组织中, 第2叶位叶柄品种间钾含量的变化范围最大, 为3.23~4.93 g/L。与正常对照相比, 钾盈余供应下番茄穴盘苗组织钾含量最大提高了1.23倍, 钾亏缺供应下钾含量最大减小了64.84%。番茄穴盘苗组织钾含量也会因氮供应水平、磷供应水平、温度、光照等外部因素的改变而变化, 最大增加了38.34%, 最大减小了36.01%。以番茄17个品种不同组织钾含量范围为基础阈值, 利用环境条件作用最大增幅和最大减幅进行校正, 获得番茄穴盘苗组织钾含量阈值, 即下胚轴4.63~6.94 g/L, 茎5.56~7.40 g/L, 第1叶位叶柄2.65~4.62 g/L, 第1叶位叶片2.14~4.09 g/L, 第2叶位叶柄2.80~6.93 g/L, 第2叶位叶片2.54~5.17 g/L, 第3叶位叶柄3.55~7.06 g/L, 第3叶位叶片2.69~6.24 g/L, 第4叶位叶柄4.29~7.71 g/L, 第4叶位叶片3.90~7.07 g/L。

关键词

番茄; 穴盘苗; 组织; 钾; 阈值

1. 引言

番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)是世界上年产量最高、栽培最广泛的蔬菜作物之一, 据统计, 2012年全世界番茄的栽培面积为4,803,680公顷, 总产量161,793,834吨(FAO)。番茄栽培普遍采用育苗移栽的方式, 穴盘育苗因具有节能、省水、省力、适合机械化操作、生产效率高等显著特点, 已发展成为番茄育苗的主要形式。

钾作为“肥料三要素”之一, 与氮、磷不同, 在植物体内不合成有机化合物, 主要以离子形态和可溶性盐存在, 或者吸附在原生质表面上, 对植物体的生理生化过程起重要的调节作用, 如60多种酶的活化需要 K^+ ; 钾离子作为伴随离子能促进硝酸根离子的吸收和运输; 钾离子能促进光合产物的运输; 钾离子可以稳定蛋白质的四维或三维结构; 钾作为渗透调节物质能调节气孔运动等[1]。由于穴盘育苗采用轻型基质, 通气孔隙度增大, 单株基质填装量减小, 管理不当极易出现养分失调。钾供给不足或过量, 不仅影响番茄穴盘苗的生长[2][3], 同时, 番茄对病虫害的自身抵抗力和早期产量均会受到影响[4][5], 因此, 实时准确判断番茄穴盘苗钾养分状况对壮苗育成、稳产丰收尤为重要。

目前, 蔬菜钾营养诊断方法主要分为培养介质(包括土壤和人工混配基质)分析法和组织分析法[6][7], 介质分析仅能反映根系可从介质获得的潜在营养水平, 且分析结果常因取样方法、贮存条件和养分提取

技术而产生偏差,组织分析剔除了介质特性、环境因素对矿质养分吸收的影响,更能直接反映植株矿质营养状况,因此研究应用更加广泛。近年来,研究发现植物组织汁液钾含量与钾供给水平显著相关[8],同时,它不仅减少了样品量,而且节约了样品烘干、研磨、浸提的时间[9],提高了诊断的时效性,越来越受到关注。目前,基于组织汁液钾含量的钾素营养诊断关于番茄的研究只是在定植后期[10],苗期尚无报道。为此,本试验以番茄穴盘苗为试验材料,测定分析不同品种和组织位点钾含量及其与环境因子的相关性,以期明确番茄穴盘苗组织钾的诊断部位和环境因素影响下钾含量的变化范围,为番茄穴盘苗钾盈亏快速诊断提供科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 材料

番茄 17 个品种,中杂 9 号(Zhongza No.9)、中杂 15 号(Zhongza No.15)、中杂 101 号(Zhongza No.101)、中杂 105 号(Zhongza No.105)、中杂 106 号(Zhongza No.106)、中杂 108 号(Zhongza No.108)、中杂 109 号(Zhongza No.109)、美樱 2 号(Meiying No.2)、北京樱桃番茄(Beijing cherry tomato)来自中国农业科学院蔬菜花卉研究所,佳红 4 号(Jiahong No.9)、佳红 5 号(Jiahong No.5)、佳粉 18 号(Jiafen No.18)、硬粉 8 号(Yingfen No.8)、仙客 1 号(Xian 钾 e No.1)、仙客 5 号(Xian 钾 e No.5)、京丹红小果(Jingdan red cherry tomato)、京丹黄小果(Jingdan yellow cherry tomato)来自北京京研益农科技发展中心。

育苗穴盘采用标准规格(长 × 宽 = 540 mm × 280 mm)72 孔塑料穴盘,购自台州隆基塑业有限公司,单穴容积 40 cm³。配制育苗基质所需草炭来自乌鲁木齐成美园林有限公司,蛭石和珍珠岩来自河北灵寿县腾达矿产品加工厂,全部采用园艺级,粒径 3~5 mm。

化学测定所用试剂,如四苯硼钠、四硼酸钠、氯化钾等,均购自国药集团化学试剂北京有限公司(AR 级)。

2.2. 试验设计

品种间差异试验于 2013 年 2~4 月在济南市金农夫农业科技有限公司日光温室中进行。育苗基质采用草炭、蛭石、珍珠岩混合基质(4:2:1, v/v),选取饱满、大小一致种子,室温下浸种 6 h,5%次氯酸钠消毒 15 min,自来水淋洗 4 遍,播于 72 孔穴盘中,每穴一粒,覆盖 1.5 cm 厚蛭石。子叶平展后,间隔喷灌水与 1/2 浓度 Hoagland 营养液,第 2 片真叶平展后,改为喷灌完全 Hoagland 营养液,第 4 片真叶平展(播种后 42 d)开始取样测定。共 17 个品种,每品种重复 4 次,随机区组排列。

氮、磷、钾盈亏供应试验于 2013 年 4~6 月在中国农业科学院蔬菜花卉研究所玻璃温室进行。选取佳红 4 号和中杂 105 号为试材,育苗基质配方、育苗方法同品种间差异试验。番茄第 2 片真叶平展(播种后 22 d),分别进行氮、磷、钾盈亏供应。共设 7 个处理,对照是完全 Hoagland 营养液(210 mg N/L, 31 mg P/L, 234 mg K/L),盈亏处理除目标元素相应增减外,其余元素同对照,即氮亏缺(26 mg N/L)、氮盈余(840 mg N/L)、磷亏缺(4 mg P/L)、磷盈余(248 mg P/L)、钾亏缺(29 mg K/L)、钾盈余(1875 mg K/L)。处理后 9 d 取样测定。每处理重复 3 次。

环境因子试验于 2013 年 4~6 月在中国农业科学院蔬菜花卉研究所玻璃温室进行。试验材料、育苗方法等同氮、磷、钾盈亏供应试验。第 3 片真叶平展(播种后 30 d)后,置人工气候箱进行温度处理,共 32℃/22℃、28℃/18℃、20℃/10℃(昼/夜)3 个处理,光照强度 200 μmol·m⁻²·s⁻¹,光周期 10 hr,80%空气相对湿度;光照处理采用遮阳网覆盖方式,分不遮阴、50%遮阳率 2 个处理。温度、光照处理周期均是 7 d。灌水时间处理于第 4 片真叶平展后(播种后 37 d)进行,灌溉后 2 h、10 h、24 h 递次取样。每处理均 3 次重复,每重复 72 株。

2.3. 测定方法

每重复随机选取番茄穴盘苗 25 株，将下胚轴、茎(子叶节至顶端生长点)、各叶位叶柄和叶片分别取样，剪成 1 cm 小段(下胚轴、茎、叶柄)或 1 cm × 1 cm 小块(叶片)，压蒜器榨取汁液，收集至 1.5 mL 离心管，4℃冰箱短期保存备测。

钾含量采用四苯硼钠比浊法[11]测定。将收集的组织汁液，1000 ×g 离心 3 min，取上清液加适量蒸馏水稀释，取 1 mL 于试管中，顺次加入 2 mL 3% 四苯硼钠溶液、2 mL 四硼酸钠缓冲液、5 mL 10% 甘油，混匀反应 20 min，分光光度计读取 OD₄₂₀ 值。

采用 Microsoft office excel(2003)和 SAS 9.2 进行统计分析。

3. 结果与分析

3.1. 番茄不同品种钾含量的变化

番茄穴盘苗同一品种不同组织间、同一组织不同品种间钾含量均存在显著差异(表 1)。所有供试品种，京丹红小果第 1 叶位叶片钾含量最低，佳粉 18 号茎钾含量最高，高者为低者的 2.75 倍。10 个取样组织，第 2 叶位叶柄钾含量的变异最大，变异度约 44.64%，极差为 1.70 g/L；茎钾含量的变异最小，变异度约 13.03%，极差为 0.83 g/L。17 个品种，京丹红小果组织间钾含量变异最大，变异度约 87.17%，极差为 3.49 g/L；美樱 2 号组织间钾含量变异最小，变异度约 60.86%，极差为 2.90 g/L。

3.2. 氮、磷、钾盈亏供应对番茄穴盘苗组织钾含量的影响

钾供应水平对番茄穴盘苗组织钾含量有直接作用(表 2)，钾亏缺供应，穴盘苗所有组织钾含量均显著降低，钾盈余供应则显著提高所有组织钾含量。钾亏缺供应下，叶片钾含量较叶柄更加敏感，如与对照相比，中杂 105 号第 4 叶位叶柄钾含量降低了 30.92%，而第 4 叶位叶片钾含量降低了 62.73%；盈余供应下，叶柄钾含量较叶片敏感，如与对照相比，佳红 4 号第 1 叶位叶柄钾含量提高了 122.51%，而第 1 叶位叶片仅提高了 85.10%。

氮、磷供应水平对番茄穴盘苗钾含量也有明显作用。氮亏缺供应，番茄穴盘苗各组织钾含量均增大，尤其是第 4 叶位叶柄，佳红 4 号和中杂 105 号钾含量较对照分别提高了 38.34%和 22.31%；氮盈余供应，使番茄穴盘苗下胚轴、茎、叶柄钾含量提高，叶片钾含量降低，如中杂 105 号，第 4 叶位叶柄钾含量较对照提高了 16.30%，第 4 叶位叶片钾含量较对照降低了 22.05%。

磷亏缺供应下，番茄穴盘苗下胚轴、茎、叶柄、叶片钾含量均提高，佳红 4 号和中杂 105 号钾含量提高幅度最大的组织分别为第 4 叶位叶柄和第 1 叶位叶片，分别较对照提高了 34.21%和 15.01%；磷盈余供应下，番茄穴盘苗各组织钾含量均降低，尤其是第 3 叶位叶片，佳红 4 号和中杂 105 号钾含量相比于对照分别提高了 13.45%和 36.01%。

3.3. 环境条件对番茄穴盘苗组织钾含量的影响

环境条件可能通过调节穴盘苗钾素吸收利用能力而影响组织钾含量，也可能通过改变组织含水量而使测定结果产生偏差。总体而言，环境温度对番茄穴盘苗钾含量作用效果要大于光照和基质含水量。如表 3 所示，低温条件下，番茄穴盘苗不同组织位点钾含量表现出不同的变化趋势，如下胚轴、第 1 叶位叶片、第 1 叶位叶柄钾含量降低，第 4 叶位叶柄、第 4 叶位叶片钾含量提高。高温条件下，番茄穴盘苗下胚轴、茎、叶柄和叶片钾含量均呈下降趋势，佳红 4 号和中杂 105 号钾含量降低幅度最大的组织分别为下胚轴和第 2 叶位叶柄，分别比对照降低了 18.74%和 20.64%；佳红 4 号和中杂 105 号汁液钾含量降低幅度最小的组织分别为第 1 叶位叶柄和茎，分别比对照降低了 3.09%和 6.06%。

Table 1. The contents of K in different tissues of tomato plug seedlings
表 1. 番茄穴盘苗不同组织钾含量(g/L)

品种 Cultivars	取样组织 Tissues for sampling										变异度(%) Variation	差异 显著性 Significant
	H	S	1P	1L	2P	2L	3P	3L	4P	4L		
Zhongza No.9	6.60 ± 0.07	6.63 ± 0.11	3.22 ± 0.08	3.20 ± 0.06	3.44 ± 0.12	3.38 ± 0.03	4.47 ± 0.15	4.05 ± 0.19	5.13 ± 0.04	4.73 ± 0.04	76.65	**
Zhongza No.15	5.69 ± 0.39	6.19 ± 0.52	3.09 ± 0.13	2.80 ± 0.03	3.62 ± 0.21	3.31 ± 0.02	4.50 ± 0.24	4.08 ± 0.29	5.63 ± 0.09	5.22 ± 0.04	76.81	**
Zhongza No.101	6.05 ± 0.35	6.15 ± 0.54	3.25 ± 0.04	2.87 ± 0.50	3.47 ± 0.21	3.11 ± 0.20	4.48 ± 0.23	4.41 ± 0.33	5.04 ± 0.06	4.67 ± 0.07	75.31	**
Zhongza No.105	6.49 ± 0.28	6.49 ± 0.14	3.62 ± 0.15	3.37 ± 0.04	4.16 ± 0.06	3.98 ± 0.12	5.03 ± 0.08	4.85 ± 0.31	5.38 ± 0.09	5.25 ± 0.08	64.07	**
Zhongza No.106	5.61 ± 0.43	6.43 ± 0.18	3.15 ± 0.38	2.82 ± 0.03	3.45 ± 0.30	3.22 ± 0.14	4.51 ± 0.27	4.48 ± 0.31	5.05 ± 0.02	4.79 ± 0.08	83.16	**
Zhongza No.108	5.74 ± 0.45	6.05 ± 0.03	3.36 ± 0.02	2.56 ± 0.05	3.76 ± 0.06	3.69 ± 0.38	4.66 ± 0.43	4.60 ± 0.01	5.59 ± 0.13	5.39 ± 0.02	77.04	**
Zhongza No.109	5.89 ± 0.60	6.37 ± 0.63	3.38 ± 0.15	3.05 ± 0.24	4.93 ± 0.28	3.59 ± 0.34	5.35 ± 0.18	4.76 ± 0.35	5.86 ± 0.03	5.49 ± 0.10	68.17	**
Meiying No.2	6.25 ± 0.17	6.33 ± 0.65	3.77 ± 0.06	3.43 ± 0.15	4.29 ± 0.05	3.81 ± 0.12	4.89 ± 0.01	4.81 ± 0.35	5.22 ± 0.03	4.84 ± 0.23	60.86	**
Beijing cherry tomato	6.42 ± 0.33	6.49 ± 0.27	3.46 ± 0.08	3.24 ± 0.19	3.97 ± 0.07	3.55 ± 0.02	4.93 ± 0.07	4.60 ± 0.13	5.47 ± 0.02	5.32 ± 0.12	68.40	**
Jiahong No.4	6.02 ± 0.47	6.33 ± 0.14	3.31 ± 0.23	2.92 ± 0.17	3.82 ± 0.04	3.26 ± 0.28	4.84 ± 0.10	4.45 ± 0.32	5.57 ± 0.01	5.44 ± 0.06	74.19	**
Jiahong No.5	5.40 ± 0.68	5.92 ± 0.29	3.10 ± 0.11	2.91 ± 0.01	3.81 ± 0.10	3.69 ± 0.05	4.12 ± 0.22	4.03 ± 0.30	5.36 ± 0.06	4.68 ± 0.05	70.04	**
Yingfen No.8	6.13 ± 0.41	6.60 ± 0.57	3.47 ± 0.14	3.05 ± 0.12	3.91 ± 0.06	3.82 ± 0.11	5.00 ± 0.08	4.77 ± 0.23	5.91 ± 0.04	5.46 ± 0.12	73.86	**
Jiafen No.18	6.61 ± 0.49	6.74 ± 0.17	3.33 ± 0.14	3.12 ± 0.10	3.76 ± 0.14	3.61 ± 0.15	5.14 ± 0.12	4.71 ± 0.41	5.84 ± 0.09	5.48 ± 0.28	74.93	**
Xian 钾 e No.1	6.64 ± 0.37	6.65 ± 0.62	3.56 ± 0.42	2.87 ± 0.17	3.85 ± 0.49	3.79 ± 0.01	4.98 ± 0.26	4.62 ± 0.21	5.85 ± 0.11	5.51 ± 0.12	78.15	**
Xian 钾 e No.5	6.58 ± 0.16	6.72 ± 0.53	3.44 ± 0.11	2.92 ± 0.02	3.99 ± 0.13	3.72 ± 0.15	4.88 ± 0.77	4.70 ± 0.44	5.12 ± 0.09	4.92 ± 0.16	80.87	**
Jingdan red cherry tomato	5.31 ± 0.43	5.93 ± 0.14	2.78 ± 0.11	2.45 ± 0.07	3.23 ± 0.01	2.91 ± 0.11	4.10 ± 0.33	3.58 ± 0.17	4.98 ± 0.06	4.73 ± 0.03	87.17	**
Jingdan yellow cherry tomato	5.54 ± 0.16	5.99 ± 0.31	3.07 ± 0.20	2.84 ± 0.10	3.32 ± 0.10	3.09 ± 0.08	4.17 ± 0.55	3.69 ± 0.27	5.11 ± 0.01	4.88 ± 0.05	75.40	**
变异度(%) Variation	22.03	13.03	29.89	33.08	44.64	30.53	26.62	28.81	17.30	16.31		
差异显著性 Significant	**	NS	**	**	**	**	**	**	**	**		

注: 1. H、S、1P、1L、2P、2L、3P、3L、4P、4L 分别表示番茄穴盘苗下胚轴、茎、第 1 叶位叶柄、第 1 叶位叶片、第 2 叶位叶柄、第 2 叶位叶片、第 3 叶位叶柄、第 3 叶位叶片、第 4 叶位叶柄、第 4 叶位叶片, 下同。2. NS 代表未达到差异显著水平, *代表差异达显著水平($P \leq 0.05$), **代表差异达极显著水平($P \leq 0.01$)。

Note: 1. H, S, 1P, 1L, 2P, 2L, 3P, 3L, 4P, 4L respectively represent for hypocotyl, stem, the first leaf petiole, the first leaves, the second leaf petiole, the second leaves, the third leaf petiole, the third leaves, the fourth leaf petiole and the fourth leaves. The same as below. 2. NS represent for none significant. * indicate the significance at $P \leq 0.05$ level, ** indicate the significance at $P \leq 0.01$ level.

通过遮光处理降低光照强度, 番茄穴盘苗下胚轴、茎、叶柄、叶片钾含量显著下降, 佳红 4 号和中杂 105 号穴盘苗钾含量降低幅度最大的组织分别为下胚轴和第 1 叶位叶片, 与对照相比分别降低了 28.81% 和 20.87%。

随着距离灌溉时间的增加, 番茄穴盘苗不同组织位点钾含量表现出不同的变化趋势。佳红 4 号和中杂 105 号第 3 叶位叶片钾含量变化幅度最大, 变化幅度分别为 15.93% 和 11.93%; 佳红 4 号和中杂 105 号钾含量变化幅度最小组织分别为第 4 叶位叶柄和茎, 变化幅度分别为 2.70% 和 1.92%。

3.4. 番茄穴盘苗组织钾含量阈值

以番茄 17 个品种的穴盘苗不同组织钾含量范围为基础阈值, 同时, 比较分析各种环境条件下不同组

Table 2. Effects of N, P and K fertilization levels on K contents in tissues of tomato plug seedlings
表 2. 氮、磷、钾盈亏供给对番茄穴盘苗组织钾含量的影响(g/L)

品种 Cultivars	处理 Treatment	取样组织 Tissues for sampling									
		H	S	1P	1L	2P	2L	3P	3L	4P	4L
Jiahong No.4	对照 Control	5.51 ± 0.50	5.95 ± 0.18	3.31 ± 0.2	2.60 ± 0.17	3.79 ± 0.41	2.86 ± 0.03	4.71 ± 0.14	4.33 ± 0.05	5.39 ± 0.12	5.26 ± 0.04
	钾亏缺 K deficiency	3.73 ± 0.04	3.60 ± 0.15	1.86 ± 0.18	1.34 ± 0.09	1.92 ± 0.06	1.41 ± 0.05	2.57 ± 0.09	1.69 ± 0.01	4.07 ± 0.01	1.85 ± 0.04
	钾盈余 K excess	7.83 ± 0.19	8.68 ± 0.49	7.36 ± 0.13	4.81 ± 0.19	7.82 ± 0.62	5.35 ± 0.15	9.22 ± 0.76	6.87 ± 0.27	10.43 ± 0.04	7.66 ± 0.14
	氮亏缺 N deficiency	5.47 ± 0.31	5.54 ± 0.17	3.98 ± 0.32	2.62 ± 0.14	4.30 ± 0.43	3.26 ± 0.22	5.83 ± 0.08	5.39 ± 0.54	7.46 ± 0.05	6.59 ± 0.05
	氮盈余 N excess	5.83 ± 0.24	6.65 ± 0.16	4.21 ± 0.19	2.62 ± 0.12	5.43 ± 0.11	3.03 ± 0.25	6.34 ± 0.10	3.98 ± 0.24	6.91 ± 0.12	4.68 ± 0.03
	磷亏缺 P deficiency	5.79 ± 0.37	6.69 ± 0.21	3.94 ± 0.25	3.22 ± 0.07	3.90 ± 0.15	3.80 ± 0.12	5.71 ± 0.28	5.39 ± 0.10	7.24 ± 0.18	5.41 ± 0.06
	磷盈余 P excess	5.75 ± 0.22	6.06 ± 0.07	3.47 ± 0.22	2.38 ± 0.06	3.47 ± 0.14	2.73 ± 0.18	4.21 ± 0.18	3.75 ± 0.13	4.70 ± 0.04	4.71 ± 0.05
	对照 Control	6.08 ± 0.26	6.27 ± 0.28	3.51 ± 0.21	2.96 ± 0.09	3.81 ± 0.14	3.50 ± 0.15	4.76 ± 0.20	4.50 ± 0.10	5.17 ± 0.07	5.07 ± 0.10
	钾亏缺 K deficiency	4.02 ± 0.24	3.37 ± 0.15	1.91 ± 0.12	1.60 ± 0.05	2.09 ± 0.07	1.66 ± 0.06	2.84 ± 0.03	1.75 ± 0.03	3.57 ± 0.04	1.89 ± 0.01
	钾盈余 K excess	7.81 ± 0.15	8.95 ± 0.73	7.65 ± 0.24	5.11 ± 0.15	7.96 ± 0.26	6.27 ± 0.32	9.29 ± 0.42	8.31 ± 0.16	9.66 ± 0.04	8.12 ± 0.06
Zhongza No.105	氮亏缺 N deficiency	5.93 ± 0.24	5.94 ± 0.41	3.85 ± 0.14	2.77 ± 0.17	4.28 ± 0.22	3.28 ± 0.04	5.69 ± 0.12	4.97 ± 0.31	6.33 ± 0.08	5.73 ± 0.02
	氮盈余 N excess	6.27 ± 0.26	6.75 ± 0.65	4.14 ± 0.15	2.80 ± 0.09	5.25 ± 0.22	3.22 ± 0.15	6.15 ± 0.07	3.48 ± 0.15	6.02 ± 0.06	3.95 ± 0.05
	磷亏缺 P deficiency	5.83 ± 0.27	6.40 ± 0.17	3.58 ± 0.02	3.41 ± 0.25	3.88 ± 0.13	3.87 ± 0.23	5.18 ± 0.23	4.82 ± 0.16	5.89 ± 0.23	5.15 ± 0.01
	磷盈余 P excess	5.62 ± 0.14	5.69 ± 0.19	3.03 ± 0.16	2.47 ± 0.14	3.12 ± 0.07	2.78 ± 0.16	4.00 ± 0.11	2.88 ± 0.14	4.41 ± 0.08	3.98 ± 0.05

Table 3. Effects of environmental factors on contents of K in tissues of tomato plug seedlings
表 3. 环境因素对番茄穴盘苗组织钾含量的影响(g/L)

品种 Cultivars	处理 Treatment	取样组织 Tissues for sampling									
		H	S	1P	1L	2P	2L	3P	3L	4P	4L
Jiahong No.4	对照 Control	6.53 ± 0.41	7.20 ± 0.23	3.31 ± 0.24	3.23 ± 0.09	3.84 ± 0.15	3.65 ± 0.11	4.97 ± 0.30	4.57 ± 0.18	5.74 ± 0.11	5.60 ± 0.28
	高温 High temperature	5.30 ± 0.18	6.64 ± 0.17	3.21 ± 0.01	2.80 ± 0.26	3.46 ± 0.05	3.50 ± 0.26	4.57 ± 0.31	4.94 ± 0.05	4.74 ± 0.04	5.16 ± 0.20
	低温 Low temperature	5.58 ± 0.10	6.21 ± 0.15	3.26 ± 0.07	3.03 ± 0.08	4.23 ± 0.18	3.90 ± 0.07	5.50 ± 0.16	5.76 ± 0.09	6.45 ± 0.08	6.77 ± 0.09
	50%遮阴率 50% shading rate	4.65 ± 0.01	5.92 ± 0.09	3.36 ± 0.16	2.68 ± 0.08	3.98 ± 0.15	3.23 ± 0.17	4.68 ± 0.19	4.63 ± 0.07	5.26 ± 0.10	5.37 ± 0.03
	灌水后 10 h 10 hours after irrigation	5.98 ± 0.07	7.59 ± 0.20	3.84 ± 0.07	3.45 ± 0.12	4.19 ± 0.24	3.92 ± 0.15	5.18 ± 0.25	5.08 ± 0.21	5.77 ± 0.28	5.64 ± 0.23
	灌水后 24 h 24 hours after irrigation	5.90 ± 0.25	6.82 ± 0.57	3.71 ± 0.29	3.58 ± 0.17	4.28 ± 0.50	4.20 ± 0.19	5.39 ± 0.35	5.30 ± 0.17	5.90 ± 0.48	5.83 ± 0.09
	对照 Control	6.89 ± 0.39	7.20 ± 0.18	3.72 ± 0.10	3.79 ± 0.12	4.51 ± 0.04	4.47 ± 0.25	5.30 ± 0.09	5.21 ± 0.19	5.59 ± 0.22	5.42 ± 0.21
	高温 High temperature	6.06 ± 0.08	6.76 ± 0.07	3.39 ± 0.14	3.06 ± 0.09	3.58 ± 0.12	4.03 ± 0.25	4.21 ± 0.27	4.56 ± 0.19	4.84 ± 0.11	4.98 ± 0.25
	低温 Low temperature	6.26 ± 0.08	6.38 ± 0.17	3.56 ± 0.03	3.48 ± 0.10	4.20 ± 0.16	4.32 ± 0.11	5.11 ± 0.06	5.58 ± 0.17	5.85 ± 0.13	6.50 ± 0.09
	Zhongza No.105	50%遮阴率 50% shading rate	5.48 ± 0.09	6.26 ± 0.11	3.59 ± 0.09	3.00 ± 0.12	4.03 ± 0.05	3.87 ± 0.12	4.65 ± 0.08	4.98 ± 0.12	5.14 ± 0.13
灌水后 10 h 10 hours after irrigation		6.31 ± 0.15	7.63 ± 0.25	4.07 ± 0.08	3.83 ± 0.17	4.25 ± 0.18	4.23 ± 0.19	5.29 ± 0.11	5.13 ± 0.27	5.67 ± 0.04	5.47 ± 0.15
灌水后 24 h 24 hours after irrigation		6.45 ± 0.46	7.06 ± 0.31	3.56 ± 0.00	3.43 ± 0.24	4.05 ± 0.12	4.03 ± 0.20	4.81 ± 0.04	4.58 ± 0.22	5.2 ± 0.18	5.08 ± 0.19

织钾含量变化幅度, 筛选出环境条件作用最大增幅和最大减幅, 然后, 对钾基础阈值进行扩展校正, 最终获得番茄穴盘苗下胚轴、茎、叶柄和叶片组织钾含量阈值(表 4)。

4. 结论与讨论

在栽培介质中, 钾以离子形态通过物理扩散方式到达根系表面, 依靠钾离子高亲和性转运体和钾离子通道, 将钾离子泵入根系表皮细胞, 再经过共质体和质外体进入木质部, 向地上部茎叶运输, 供植株生长发育需要。同时, 韧皮部筛管中的钾离子可随着同化产物运往生长点或根部。

基因型决定的同一作物不同品种生理形态[12]、钾离子吸收运转[13]等差异, 必然导致植物组织钾含量的遗传差异性和组织位点差异性。George 等[14]发现在不施肥条件下马铃薯 84 个品种叶柄钾含量最高, 变化范围为 1.08%~2.20%, 根钾含量最低, 变化范围为 0.50%~0.96%。李见云等[15]发现小麦 42 个品种地上部钾积累量最大为 72.46 mg/株, 最小值为 42.61 mg/株。本试验发现番茄穴盘苗品种间钾含量存在显著差异, 最大极差为 1.70 g/L, 组织间钾含量也存在显著差异, 最大极差为 3.80 g/L。

植物组织钾含量归根到底是根系活化吸收能力和植物体内运输、同化利用能力的综合表现。矿质元素、温度、光照、灌水时间等外在环境因素, 主要通过 4 个方面的作用影响组织钾含量: 第一, 离子间的相互作用。研究发现: 铵离子与钾离子之间存在拮抗作用[16], 硝酸根离子、磷酸根离子与钾离子之间存在协同作用[17]。第二, 植物自身的钾离子吸收反调节机制[18], 植物能根据体内的钾离子浓度调节钾离子的吸收速率, 前人关于水稻[19]、拟南芥[20]的研究结果均说明植物自身的钾离子吸收反馈调节机制的存在。第三, 通过影响 ATP 的合成, 进而影响钾的主动运输。第四, 通过调节编码钾离子转运体、离子通道等基因的表达, 进而影响植物钾吸收、运转、同化能力。Shin 等[21]发现缺钾条件下会诱导高亲和性钾离子转运体的表达, 孙小茗等[22]研究发现铵离子能够通过影响水稻、大豆细胞膜上钾离子载体的数量而影响钾离子的吸收。本研究设计了氮、磷、钾盈亏供应、高温、低温、遮光、灌水时间等多项环境处理, 在不同处理条件下, 番茄穴盘苗组织钾含量表现出不同程度的提高或降低, 从另一侧面说明了钾代谢调节机制的复杂性和普遍性。

本研究以番茄 17 个品种不同组织钾含量范围为基础阈值, 利用环境条件作用下的最大增幅和最大减幅进行扩展, 获得番茄穴盘苗组织钾含量阈值, 即: 下胚轴 4.63~6.94 g/L, 茎 5.56~7.40 g/L, 第 1 叶位叶柄 2.65~4.62 g/L, 第 1 叶位叶片 2.14~4.09 g/L, 第 2 叶位叶柄 2.80~6.93 g/L, 第 2 叶位叶片 2.54~5.17 g/L, 第 3 叶位叶柄 3.55~7.06 g/L, 第 3 叶位叶片 2.69~6.24 g/L, 第 4 叶位叶柄 4.29~7.71 g/L, 第 4 叶位叶片 3.90~7.07 g/L。对照钾盈亏供应下番茄穴盘苗各组织钾含量值, 本试验提出的组织钾阈值介于两者之间,

Table 4. The threshold of K contents in tissues of tomato plug seedlings

表 4. 番茄穴盘苗组织钾阈值

钾阈值 Threshold of K	取样组织 Tissues of sampling									
	H	S	1P	1L	2P	2L	3P	3L	4P	4L
基础阈值(g/L) Basic threshold	5.31 - 6.64	5.92 - 6.74	2.78 - 3.77	2.45 - 3.43	3.23 - 4.93	2.91 - 3.98	4.10 - 5.35	3.58 - 4.85	4.98 - 5.91	4.67 - 5.51
最大增幅(%) Maximal increasing rate	4.44	9.77	22.65	19.37	40.65	29.95	31.83	28.68	30.32	28.40
最大减幅(%) Maximal reduction rate	12.84	6.07	4.39	12.52	13.18	12.49	13.38	24.73	13.87	16.56
阈值(g/L) Threshold	4.63 - 6.94	5.56 - 7.40	2.65 - 4.62	2.14 - 4.09	2.80 - 6.93	2.54 - 5.17	3.55 - 7.06	2.69 - 6.24	4.29 - 7.71	3.90 - 7.07

也一定程度上反映了阈值的科学性。Aini 等[23]也发现随着生育期的推进,蚕豆和埃及豆组织钾含量随着苗龄的增大而降低。Hochmuth[24]比较分析了不同发育阶段番茄最新展开叶叶柄汁液钾含量,发现定植到第2穗花期为4.5~5.0 g/L,第2穗花期到第5穗花期为4.0~5.0 g/L,第5穗花期到拉秧期为3.5~4.0 g/L。本试验获得的番茄苗期最新展开叶叶柄(第4叶位叶柄)钾含量值高于定植后各阶段钾含量,符合上述变化趋势。

基金项目

国家自然科学基金项目(31172001),现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-25),公益性行业科研专项(201303014)。

参考文献 (References)

- [1] 张恩平, 张淑红, 李天来, 葛晓光 (2005) 蔬菜钾素营养的研究现状与展望. *中国农学通报*, **8**, 265-268.
- [2] Zhao, D., Oosterhuis, D.M. and Bednarz, C.W. (2001) Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. *Photosynthetica*, **39**, 103-109.
- [3] Jordan-Meille, L. and Pellerin, S. (2008) Shoot and root growth of hydroponic maize (*Zea mays* L.) as influenced by K deficiency. *Plant and Soil*, **304**, 157-168.
- [4] Pettigrew, W.T. (2008) Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiologia Plantarum*, **133**, 670-681.
- [5] Cakmak, I. (2005) The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, **168**, 521-530.
- [6] Prado, R.M. and Caione, G. (2012) Plant analysis. *Soil Fertility*, 115-134.
- [7] Hartz, T.K., Smith, R.F., LeStrange, M. and Schulbach, K.F. (1993) On-farm monitoring of soil and crop nitrogen status by nitrate-selective electrode. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, **24**, 2607-2615.
- [8] 聂万林, 姜益娟, 杨明花, 郑德明 (2010) 杂交棉品种杂4钾素营养诊断指标的研究. *中国棉花*, **4**, 17-20.
- [9] Handson, P.D. and Shelley, B.C. (1993) A review of plant analysis in Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, **33**, 1029-1038.
- [10] Hochmuth, G. (1994) Efficiency ranges for nitrate-nitrogen and potassium for vegetable petiole sap quick tests. *Hort-Technology*, **4**, 218-222.
- [11] Tubino, M. and Torres, J.R.O. (1992) Turbidimetric determination of potassium in leaf tissues with sodium tetraphenylboron. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, **23**, 123-128.
- [12] 涂书新, 孙锦荷, 郭智芬 (1999) 富钾植物籽粒苋根系分泌物及其矿物释钾作用的研究. *核农学报*, **5**, 305-311.
- [13] 彭克勤, 胡笃敬 (1986) 空心莲子草 K⁺吸收的动力学研究. *植物生理学报*, **2**, 187-193.
- [14] George, M.S., Lu, G. and Zhou, W. (2002) Genotypic variation for potassium uptake and utilization efficiency in sweet potato. *Field Crops Research*, **77**, 7-15.
- [15] 李见云, 王宜伦, 介晓磊, 谭金芳, 李有田, 化党领, 韩燕来 (2002) 不同小麦品种钾素积累差异及其对钾肥施用的产量效应. *河南农业大学学报*, **2**, 125-128.
- [16] Beusichem, M.L.V., Kirkby, E.A. and Baas, R. (1988) Influence of nitrate and ammonium nutrition on the uptake, assimilation, and distribution of nutrients in *Ricinus communis*. *Plant Physiology*, **86**, 914-921.
- [17] 黄建国, 杨邦俊, 袁玲 (1995) 小麦不同品种吸收钾离子的动力学研究. *植物营养与肥料学报*, **1**, 38-43.
- [18] 谢少平 (1989) 高等植物钾离子吸收的调节. *植物生理学通讯*, **4**, 1-7.
- [19] 谢少平, 倪晋山 (1990) 水稻(威优49)幼苗根系 K⁺(86Rb⁺)吸收的调节. *植物生理学报*, **1**, 63-69.
- [20] Xu, J., Li, H.D., Chen, L.Q., Wang, Y., Liu, L.L., He, L. and Wu, W.H. (2006) A protein kinase, interacting with two calcineurin b-like proteins, regulates K⁺ transporter AKT1 in Arabidopsis. *Cell*, **125**, 1347-1360.
- [21] Shin, R. and Schachtman, D.P. (2004) Hydrogen peroxide mediates plant root cell response to nutrient deprivation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **101**, 8827-8832.
- [22] 孙小茗, 封克, 汪晓丽 (2007) K⁺高亲和转运系统吸收动力学特征及其受 NH₄⁺影响的研究. *植物营养与肥料学报*, **12**, 208-212.

- [23] Aini, N. and Tang, C. (1998) Diagnosis of potassium deficiency in faba bean and chickpea by plant analysis. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, **38**, 503-509.
- [24] Hochmuth, G., Maynard, D., Vavrina, C., Hanlon, E. and Simonne, E. (1991) Plant tissue analysis and interpretation for vegetable crops in Florida. Florida Cooperative Extension Service SS-VEC-42.