

硝酸钾和硫酸钾对番茄幼苗生长、根系形态及钾素吸收和生理利用效率的影响

王 千^{1,2} 张淑香² 依艳丽¹

(1. 沈阳农业大学土地与环境学院,沈阳 东陵 110866;2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所/农业部作物营养与施肥重点开放实验室,北京 100081)

摘要:采用水培试验,研究不同钾肥种类(KNO_3 、 K_2SO_4)、不同钾素水平(0、2.0、4.0和8.0mmol/L)对“天福冠露”和“毛粉802”2个番茄品种幼苗生长、根系特征及对钾素吸收、生理利用效率的影响。结果表明,随钾素水平提高,番茄鲜重、干重以及根长、根体积、根直径等根系特征显著提高。在钾素水平为4.0、8.0mmol/L时,硝酸钾处理的番茄株高、根长显著高于硫酸钾。钾素水平为8.0mmol/L时,硫酸钾根直径显著高于硝酸钾处理的;“天福冠露”施用硝酸钾的根尖数显著高于施用硫酸钾;“毛粉802”施用硫酸钾,植株的根直径、钾含量和钾素积累量显著高于硝酸钾处理。番茄水培适宜的钾素浓度为8.0mmol/L,硝酸钾有利于番茄生长发育,硫酸钾有利于番茄对钾素的吸收。在相同钾素水平条件下,2个番茄品种鲜重、干重均无显著差异。

关键词:硝酸钾;硫酸钾;番茄;根系特征;钾素吸收利用效率

EFFECT OF POTASSIUM NITRATE AND SULPHATE ON GROWTH, ROOT MORPHOLOGICAL TRAITS, POTASSIUM UPTAKE AND UTILIZATION EFFICIENCY OF TOMATO SEEDLINGS

WANG Qian^{1,2} ZHANG Shu-xiang² YI Yan-li¹

(1. College of Land and Environment, Shenyang Agriculture University, Dongling, Shenyang 110866; 2. Key Laboratory of Crop Nutrition and Fertilization, Ministry of Agriculture, Institution of Agriculture Resources and Rational Planning, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing 100081)

Abstract: Water culture experiments were conducted to investigate effect of potassium on seedling growth, root morphology traits and potassium uptake and physiological K use efficiency with different potash (KNO_3 , K_2SO_4), different K levels (0.0 mmol/L, 2.0 mmol/L, 4.0 mmol/L and 8.0 mmol/L) and two varieties ("TFGL", "MF802"). After treated with the levels of 4.0 mmol/L and 8.0 mmol/L, root length and plant height of tomato plants were significantly higher than that treated with potassium sulphate. At the level of 8.0mmol/L, the number of tomato root tips with potassium nitrate was significantly higher than that with potassium sulphate in "TFGL". K content and the root diameter of plants treated with potassium sulphate was significantly higher than treatments with potassium nitrate in "MF802". Results showed that potassium treatment with 8.0mmol/L was the most suitable for tomatoes. Potassium nitrate is beneficial to the growth and development of tomato, and potassium sulfate is sensitive to potassium absorption. Under the treatment with the same potassium level, no significant difference was found in the fresh weight and dry weight of two different tomato varieties.

收稿日期:2011-06-03 接受日期:2011-08-31

基金项目:公益性行业(农业)科研专项经费(201103007),国家科技部支撑计划(2006BAD10B03)

作者简介:王 千(1986-),女,辽宁大连人,硕士研究生,主要从事农业环境与生态方面研究。

通讯作者:张淑香(1964-),女,山西寿阳人,研究员,研究方向为土壤生态。E-mail:sxzhang@caas.ac.cn

依艳丽(1961-),女,辽宁沈阳人,教授,研究方向为土壤物理。E-mail:yiyanni@126.com

Key words: potassium nitrate; potassium sulphate; tomato; root morphology; physiological potassium use efficiency

番茄 (*Solanum lycopersicum*) 是全世界栽培最为普遍的果菜之一,对钾肥需求量大,在我国有大面积温室、塑料大棚及其他保护地设施栽培^[1]。但随着作物产量、复种次数的提高以及钾肥的施用远未受到重视,缺钾已经成为保护地蔬菜栽培的主要限制因子^[2]。施用钾肥对高钾需求的蔬菜具有良好的效果,然而钾肥用量和种类对作物产量和品质的影响有显著差异,钾肥陪伴离子与作物的生长发育和根系形态关系密切^[3-10],不同种类陪伴离子对钾素的吸收、运输和利用的影响也有显著差异^[11,12]。有关钾素对番茄产量和品质影响的研究国内外已有一些报道,但硝酸钾和硫酸钾对番茄生长发育、根系形态以及钾素吸收影响的差异研究尚欠缺相应资料,尤其是番茄在不同陪伴离子钾肥处理下对钾素的吸收利用情况仍不明确。本研究选择 2 个番茄品种为试材,通过设置不同钾肥种类及钾肥水平,探讨水培条件下不同陪伴离子钾肥对不同品种番茄幼苗生长、根系形态及对钾素吸收利用效率的影响,以期为番茄的优质、高产、高效施肥提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试番茄为生产上常用品种“天福冠露”、“毛粉 802”。

1.2 试验设计

试验于 2010 年 11 月 - 2011 年 2 月在中国农业科学院农业资源与农业区划研究所温室进行。试验采用水培方式,设 3 个因子:番茄品种、钾肥种类和钾水平。番茄品种为“天福冠露”、“毛粉 802”;钾肥种类为硝酸钾、硫酸钾;K 水平分别为对照浓度 (0.0mmol/L)、低钾浓度 (2.0mmol/L)、营养液钾的正常浓度 (4.0mmol/L) 和倍增浓度 (8.0mmol/L)。硝酸钾处理中镁、硫元素的补充由硫酸镁提供,硫酸钾处理中镁、氮元素的补充由硝酸镁提供。完全试验方案共 16 个处理,3 次重复。营养液的成分 (除 K、Mg 外) 采用日本山崎番茄营养液配方,具体配方: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 354mg/L, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 77mg/L,微量元素采用通用营养液配方。

挑选饱满的番茄种子,常温清水中浸泡 4h 后在 10% 的磷酸三钠溶液中消毒 30min,清水冲洗干净,置于铺有浸湿滤纸的培养皿中,于 28℃ 恒温培养箱中催

芽。种子露白后播种于盛有草炭、蛭石培养基的穴盘中。第一片真叶完全展开后,移栽至装有 2L 上述各钾处理 1/3 浓度的营养液中水培,每箱 4 株。3d 后供应正常处理浓度。更换营养液时将 pH 调至 6.0 ± 0.2 ,在培养过程中每天用增氧泵连续通气,每 3d 换 1 次营养液。移栽后 27d 采集叶片测定相关生理指标。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 株高 用游标卡尺测定茎基部到生长点的高度。

1.3.2 生物量测定 植株从水培箱中完整取出,用蒸馏水快速冲洗全部样品地上部分表面的灰尘,并小心将根部冲洗干净。吸水纸吸干植株表面水分,称取鲜重。将新鲜植株置 105℃ 烘箱杀青 20min 后,65℃ 烘干至恒重,称干重。

1.3.3 幼苗根系形态指标 采用 WinRHIZO 根系分析仪扫描分析测定番茄根系总长、根系直径、根表面积、根体积、根尖数、分根数。

1.3.4 幼苗植株钾吸收率及生理利用效率 采用 $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$ 消煮,用火焰光度计法测定番茄植株全钾含量。其中钾吸收率用全株钾积累量表示,钾素生理利用效率用全株干重与全株钾积累量比值表示。

1.4 数据统计分析

试验数据用 Excel 2003 进行数据初步处理,用 SAS 6.1(8.0) 统计分析软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同钾肥处理对不同品种番茄幼苗生长的影响

由表 1 可知,在相同钾水平处理条件下,“天福冠露”在鲜重、干重及株高等方面大部分高于“毛粉 802”,但差异不显著。同一钾水平处理下,不同钾肥品种在鲜重、干重方面无显著差异,但硝酸钾有高于硫酸钾的趋势。在钾水平 2.0、4.0、8.0mmol/L 处理下,硝酸钾处理的株高显著高于硫酸钾。倍增浓度 8.0mmol/L 处理的植株鲜重和株高显著高于其他浓度处理。与对照处理的植株鲜重和株高相比,8.0mmol/L 硝酸钾处理分别高 79.8% 和 72.4%,硫酸钾处理分别高 77.2% 和 80.0%,其中,以“天福冠露”施用硝酸钾的处理最高,其鲜重达 4.56g,干重 0.29g,株高 22.47cm。

2.2 不同钾肥处理对不同品种番茄根系形态的影响

由表 2 可知,在相同钾水平处理条件下,不同番茄

表 1 不同钾肥处理对不同品种番茄鲜重、干重及株高的影响

Table 1 Effects of potassium on fresh matter weight, dry weight and plant height in different tomato cultivars

不同钾肥处理 potassium level (mmol/L)	鲜重 fresh weight (g)		干重 dry matter (g)		株高 plant height (cm)	
	天福冠露	毛粉 802	天福冠露	毛粉 802	天福冠露	毛粉 802
	CK	0.92gh	0.82gh	0.08e	0.07e	4.97g
KNO ₃ 2.0	1.54efgh	2.14cdef	0.17bcd	0.19bc	8.43f	8.10f
KNO ₃ 4.0	3.05bcd	2.70cdef	0.25ab	0.21ab	15.96d	15.29d
KNO ₃ 8.0	4.56a	3.80ab	0.29a	0.25ab	22.47a	21.47b
K ₂ SO ₄ 2.0	1.29fgh	1.39fgh	0.10de	0.12cde	9.80e	9.66e
K ₂ SO ₄ 4.0	2.00def	2.26cdef	0.17bcd	0.20ab	10.04e	10.32e
K ₂ SO ₄ 8.0	3.16bcd	3.58bc	0.25ab	0.25ab	18.42c	18.05c

注: 数值后不同字母表示同一指标不同处理差异达 5% 显著水平, 下同。

Note: Values followed by different letters in the same column means significant at 5% level.

品种在根长和根直径方面无显著差异。与对照相比, 施钾可以显著促进番茄根系形态的发育。其中, 施用硫酸钾后 2 种番茄植株的根长、“毛粉 802”的根表面均呈现先减少后增加的趋势。4.0mmol/L K 浓度下, 硝酸钾处理的根长、根表面积显著高于硫酸钾, 而根直径显著低于硫酸钾; 8.0mmol/L K 浓度下, 硫酸钾处理的根长显著低于硝酸钾, 而根直径显著高于硝酸钾。从不同处理

钾水平看, 8.0mmol/L K 浓度处理植株根长、根表面积显著高于其他处理, 硝酸钾对“毛粉 802”的根直径影响不大。与对照处理相比, 8.0mmol/L 浓度下硝酸钾处理 2 种番茄的根长、根表面积高 115.5%、106.7%, 硫酸钾处理平均高 30.9%、70.3%, 其中, 以“天福冠露”施用硝酸钾的处理最高, 根长 1035.5cm, 根表面积 110.54cm², 根直径 0.38mm。

表 2 不同钾肥处理对不同品种番茄根长、根表面积及根直径的影响

Table 2 Effects of potassium on length, surface area and diameter of root of different tomato cultivars

不同钾肥处理 potassium level (mmol/L)	根长 root length (cm)		根表面积 root surface area (cm ²)		根直径 root diameter (mm)	
	天福冠露	毛粉 802	天福冠露	毛粉 802	天福冠露	毛粉 802
	对照 0.0	450.5d	484.4d	43.49e	63.22cd	0.27f
KNO ₃ 2.0	588.4cd	616.2c	65.08cd	76.84bc	0.31e	0.37cd
KNO ₃ 4.0	730.0b	725.2b	71.58bc	77.10bc	0.32e	0.38cd
KNO ₃ 8.0	1035.5a	978.9a	110.54a	110.02a	0.38cd	0.37cd
K ₂ SO ₄ 2.0	392.0e	369.0e	43.20e	46.93e	0.36cd	0.41bc
K ₂ SO ₄ 4.0	361.3e	347.4e	44.68e	61.89d	0.45ab	0.46a
K ₂ SO ₄ 8.0	625.3c	597.8cd	95.92ab	85.83b	0.41b	0.45ab

表 3 可知, 与对照相比, 两种钾肥 0 ~ 8.0mmol/L 范围内“天福冠露”植株的根体积及硫酸钾 0 ~ 8.0mmol/L 处理两种番茄的分根数均呈现先减少后增

加的趋势。“天福冠露”施用硝酸钾 8.0mmol/L K 处理根尖数显著高于硫酸钾。与对照相比, 8.0mmol/L 水平下硝酸钾处理两种番茄根体积、根尖数和

表 3 不同钾肥处理对不同品种番茄根体积、根尖数及分根数的影响

Table 3 Effects of potassium on root volume, root tips and root forks in different tomato cultivars

不同钾肥处理 potassium level (mmol/L)	根体积 root volume (cm ³)		根尖数 numbers of root tips (No./plant)		分根数 number of root forks (No./plant)	
	天福冠露	毛粉 802	天福冠露	毛粉 802	天福冠露	毛粉 802
	对照 0.0	0.75bc	0.47cd	1042.3c	964.7c	2557b
KNO ₃ 2.0	0.38d	0.65cd	1272.3c	1246.7c	2577b	2797b
KNO ₃ 4.0	0.65cd	0.74bc	1740.3bc	1590.0bc	3434ab	3217ab
KNO ₃ 8.0	1.02ab	1.09a	3121.0a	2305.0ab	4167ab	4824a
K ₂ SO ₄ 2.0	0.38d	0.48cd	1806.7bc	1663.0bc	1568c	1605c
K ₂ SO ₄ 4.0	0.60cd	0.66cd	1766.3bc	1401.7bc	1263c	1212b
K ₂ SO ₄ 8.0	1.12a	1.14a	1620.3bc	1821.7bc	1647c	4003ab

分根数平均高73.0%,170%和73.3%,硫酸钾处理分别高85.2%,71.5%和8.9%。施用硝酸钾8.0mmol/L,“毛粉802”处理的植株分根数最高。硫酸钾对番茄根尖数影响差异不大。

2.3 不同钾肥处理对不同品种番茄钾素吸收和利用效率的影响

由图1可知,随施钾水平提高,番茄植株钾含量和钾素积累量显著增加,而植株钾素生理利用效率显著降低。不施钾时钾素生理利用效率最高是缺钾导致植株钾含量最低所致。8.0mmol/L钾水平下,“毛粉802”施用硫酸钾植株钾含量显著高于硝酸钾处理;施用硝酸钾“天福冠露”植株钾含量、钾素积累量显著高于“毛粉802”。2.0mmol/L钾水平下,“天福冠露”施用硝酸钾植株钾素生理利用效率显著高于“毛粉802”施用硫酸钾。

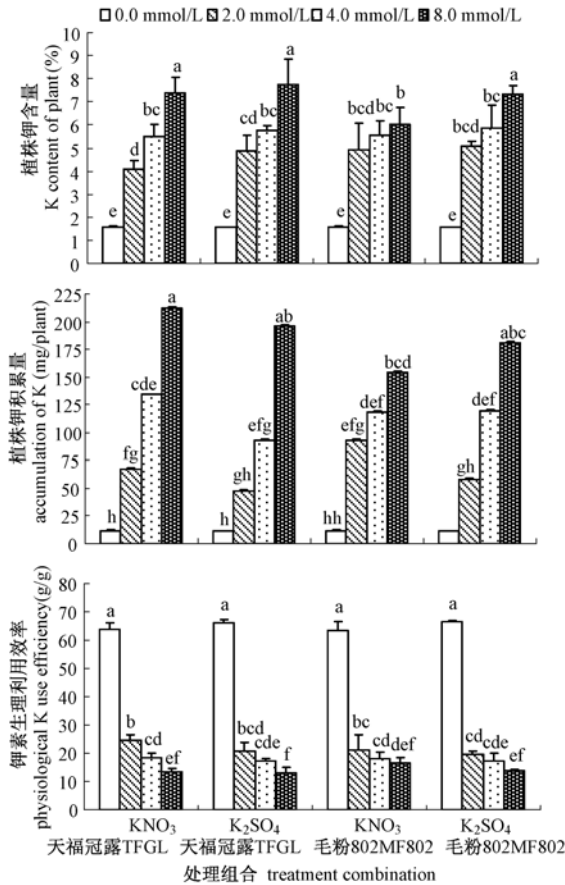


图1 钾素处理对不同番茄品种植株钾含量、钾积累量及钾素生理利用效率的影响

Fig. 1 Effect of potassium treatments on K content of plant, accumulation of K and physiological potassium use efficiency in two tomato cultivars

3 讨论

番茄高产需吸收大量的钾,施用钾肥可满足番茄对钾的需求,促进番茄植株生长发育,产生明显的增产效应。本研究通过不同浓度水平的钾肥处理,结果表明相应提高基质中钾素的含量,能够促进番茄幼苗鲜重、株高,并且有利于干物质的积累。8.0mmol/L钾水平处理,番茄植株鲜重、株高显著高于其他处理。王桂良等^[13,14]研究认为,在同一施钾水平下,施用硫酸钾的小麦、花椰菜干物质积累量、生物产量优于施用氯化钾。邓兰生等认为^[15]施硫酸钾的马铃薯块茎产量、叶片干物质质量显著高于硝酸钾处理的。本试验结果表明,不同水平硝酸钾处理的株高显著高于硫酸钾处理,不同钾肥处理的植株鲜重、干重之间无显著差异。尽管较高的生物量是形成经济产量的基础,但番茄生长特点是营养生长与生殖生长同时进行,其器官过高和生长量过多不一定对经济产量有益,保持营养生长与生殖生长的平衡是一个关键问题^[16,17]。在对番茄的试验处理过程中,施用硫酸钾可以在一定程度上避免氮素过多引起的植株徒长。本试验仅研究到8.0mmol/L的浓度,更高的钾肥浓度对番茄的影响还有待于进一步研究。

低钾胁迫下小麦、烟草、棉花等作物的根体积、根直径、根尖数和吸收面积显著降低,适度增加钾素可以促进燕麦、大豆、大蒜根系生长,提高根系活力,增加植物根系中养分的含量^[18~23]。卞禄^[24]研究认为硫酸钾(0~7.5mmol/L)处理对番茄幼苗根直径、根体积及分根数的增加有显著效果,但根系长度却减小。而本试验施用0、2.0、4.0、8.0mmol/L硝酸钾植株的根长、根表面积等根系形态,随钾水平提高而增加;施用0、2.0、4.0、8.0mmol/L硫酸钾番茄植株的根长、根表面积及分根数,呈现先减少后增加的趋势,产生这种现象是由于在缺钾水平下,根长、根表面积及分根数的增加可以增大根系与土壤的接触面,提高根对钾的吸收利用,有可能通过截获作用吸收更多的养分,这是根的形态和生理特征响应低钾环境压力的结果^[25]。根系的发育状况在一定程度上也影响着植物体内的钾营养状况,根系发达、活力强、表面积大的植物可获得更多的养分^[26]。

大量试验证明,钾肥的陪伴阴离子不同时,作物对钾素等养分的吸收情况也不同。研究发现花椰菜、番茄、甘蓝施用硫酸钾植株钾含量显著优于氯化钾,马铃薯施用硝酸钾块茎中钾含量显著优于硫酸

钾^[11,12,27,28]。硝酸钾在提高烟叶钾含量方面优于硫酸钾,高浓度 SO_4^{2-} 对钾素吸收有明显抑制作用, NO_3^- 更能促进烟草对钾的吸收^[29~31]。Roemheld 研究认为,由于离子吸收与流出不平衡对根-土界面环境产生影响,施用硫酸钾植株根际 pH 可降低 0.5~1.4 个单位,提高根际土壤酸度^[32]。土壤 H^+ 浓度高一方面降低了钾饱和度的有效度;另一方面 H^+ 与 K^+ 竞争原生质膜上的结合点,或使跟原生质膜上的 H^+ 流出泵的效率下降,因不能有效排除 H^+ 而抑制 K^+ 吸收^[33]。而本试验在 8.0mmol/L 的钾水平下,番茄对钾素吸收量达到最大值。其中,“毛粉 802”施用硫酸钾的植株钾含量、钾素积累量显著高于施用硝酸钾的,说明某些番茄品种适当增施硫酸钾更能促进番茄对钾的吸收。但产生这种现象也可能是由于本试验采用水培方式,营养液 pH 保持在 6.0 ± 0.2 , SO_4^{2-} 提高根际土壤酸度的现象没有体现出来。因此在番茄栽培中, SO_4^{2-} 对 K^+ 吸收或抑制作用的影响及其机理仍需进一步探究。

参考文献:

- [1] 董洁,邹志荣,燕飞,李江,张志新,李志颜.不同施肥水平对大棚番茄产量和品质的影响[J].北方园艺,2009,(12):38-41
- [2] 张恩平,张淑红,李天来,葛晓光.钾营养对番茄丰产形态指标及产量形成的影响[J].沈阳农业大学学报,2008-10,39(5):615-617
- [3] Bishnu P, Chapagain, Zeev W. Effect of potassium magnesium chloride in the fertigation solution as partial source of potassium on growth, yield and quality of greenhouse tomato [J]. Scientia Horticulturae,2004,(99):279-288
- [4] Swift M L, Bittman S, Hunt D E, Kowalenko C G. The Effect of Formulation and Amount of Potassium Fertilizer on Macromineral Concentration and Cation - Anion Difference in Tall Fescue [J]. American Dairy Science Association,2007,90:1063-1072
- [5] ASRI Filiz Öktüren, SÖNMEZ Sahriye. Reflection of different applications of potassium and iron fertilization on tomato yield and fruit quality in soilless medium [J]. International Journal of Food, Agriculture and Environment,2010,8(1):426-429
- [6] Walter G T, Rick G K, Douglas J. Westlind. Potassium fertilizer applied immediately after planting had no impact on Douglas-fir seedling mortality caused by laminated root rot on a forested site in Washington State [J]. Forest Ecology and Management, 2006, 22(9):195-201
- [7] 叶协锋,朱海滨,凌爱芬,喻奇伟.不同钾肥对烤烟叶片钾和中性香气成分及非挥发性有机酸含量的影响研究[J].土壤通报,2008,39(2):338-342
- [8] 李俊玲,杜黎君.不同钾肥品种及用量对番茄产量的影响[J].河南科技学院学报,2009,37(3):24-25
- [9] 孙彭寿,李会合,戴亨林.氮钾肥对叶菜产量和品质的效应[J].西南农业大学学报,2004,26(6):710-715
- [10] 李玉影,金继运,刘双全.钾对春小麦生理特性产量及品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2005,11(4):449-455
- [11] 郭熙盛,王文军,朱宏斌,武际,叶舒娅.不同钾肥品种及用量对花椰菜养分吸收与分配的影响[J].安徽农业大学学报,2007,34(3):420-425
- [12] 刘汝亮,李友宏,王芳,陈智君,赵天成,陈晨.两种钾源对马铃薯养分累积和产量的影响[J].西北农业学报,2009,18(1):143-146
- [13] 王桂良,黄玉芳,叶优良.不同钾肥品种和用量对小麦产量品质和养分吸收利用的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(5):35-40
- [14] 郭熙盛,吴礼树,朱宏斌,王文军,叶舒娅,武际.不同钾肥品种和用量对花椰菜产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(3):464-470
- [15] 邓兰生,林翠兰,龚林,李中华,涂攀峰,张承林.滴施不同钾肥对马铃薯生长及产量的影响[J].华南农业大学学报,2010,31(2):12-14
- [16] Higashi D, Shimaji H, Takaich I. Effects of diurnal control in the mineral concentration of nutrient solution on tomato yield and nutrient absorption in hydroponics [J]. Acta Horticulturae, 1997, 440:326-331
- [17] Chung S J, Seo B S, Lee B S. Effects of nitrogen, potassium levels and their interaction on the growth and development of hydroponically grown tomato [J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 1992, 33(3):244-251
- [18] 张永清,毕润成,庞春花,苗果园.不同品种春小麦根系对低钾胁迫的生物学响应[J].西北植物学报,2006,26(6):1190-1194
- [19] 何伟,杨中义,张发明,李永亮,刘莉莉,宋鹏飞,周冀衡.低钾胁迫下不同烤烟品种根系生长和根毛形态的差异[J].中国烟草学报,2010,16(3):43-48
- [20] 张志勇,王清连,李召虎,段留生,田晓莉.缺钾对棉花幼苗根系生长的影响及其生理机制[J].作物学报,2009,35(4):718-723
- [21] 刘文辉,周青平,贾志锋,梁国玲.施钾对青引1号燕麦草产量及根系的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(2):419-424
- [22] 蔡左莹,王伟,曹敏建.不同钾效应型大豆根系形态和生理特性差异的比较[J].沈阳农业大学学报,2008,39(2):137-140
- [23] 陈昆,刘世琦,张自坤.水培条件下钾对大蒜幼苗生长及根系活力的影响[J].北方园艺,2011,(1):20-23
- [24] 卞禄.钾、镧影响下番茄幼苗根系生长研究[D].山东师范大学硕士学位论文,2009
- [25] Jian J C, Warren H, Gabelman. Morphological and physiological characteristics of tomato roots associated with potassium - acquisition efficiency [J]. Scientia Horticulturae, 2000 (83):213-225
- [26] 邹春琴,李振声,李继云.小麦对钾高效吸收的根系形态学和生理学特征[J].植物营养与肥料学报,2001,7(1):36-43
- [27] 吴庆强,张勇,梁东丽,李小平.不同钾肥品种对蔬菜产量和品质的影响[J].西北农业学报,2001,10(2):84-86,90
- [28] 王桂良,黄玉芳,叶优良.不同钾肥品种和用量对甘蓝产量、品质和养分吸收利用的影响[J].中国蔬菜,2009,(20):40-45

- [14] Arnon D I. Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenol oxidase in *Beta vulgaris* L. [J]. Plant Physiology, 1949, 24:1-15
- [15] 颜建明, 郁继华, 黄高宝, 颜敏华. 持续低温弱光及之后光强对辣椒光抑制的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5):231-234
- [16] Demmig-Adams B, Adams W W, Barker D H, et al. Using chlorophyll fluorescence to assess the fraction of absorbed light allocated to thermal dissipation of excess excitation [J]. Physiologia Plantarum, 1996, 98(2): 253-264
- [17] Valladares F, Lasso E, Kitajima K, et al. Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a panamanian rainforest[J]. Ecology, 2000, 81(7): 1925-1936
- [18] 郭亚华, 谢立波, 孟凡娟, 刘录祥, 王雪, 高永利, 周宇, 庞洪影. 空间诱变后甜椒叶片光合、色素和超微结构的变化[J]. 核农学报, 2011, 25(2): 0237-0241
- [19] 周凯, 郭维明, 王智芳, 郝峰鸽. 菊花不同部位及根际土壤水浸液处理对光合作用的自毒作用研究[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(2): 318-322
- [20] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. Annu Rev Plant Physiol, 1982, 33: 317-345
- [21] 刘俊祥, 孙振元, 巨关升, 韩蕾, 钱永强. 重金属 Cd^{2+} 对结缕草叶片光合特性的影响[J]. 核农学报, 2009, 23(6):1050-1053
- [22] Allen D J, Ort D R. Impact of chilling temperatures on photosynthesis in warm climate plants [J]. Trends Plant Sci, 2001, 6: 36-42
- [23] 赵丽英, 邓西平, 山仑. 渗透胁迫对小麦幼苗叶绿素荧光参数的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(7):1261-1264
- [24] 徐洪文, 宋凤斌, 童淑媛. 两种不同基因型玉米苞叶叶绿素荧光特性差异分析[J]. 核农学报, 2008, 22(5): 717-721
- [25] 王悦琳, 宗晓娟, 李德全. 转基因 *ZmMPK7* 基因烟草响应高盐胁迫的光合特性和抗氧化酶系统分析[J]. 核农学报, 2010, 24(5):1086-1092
- [26] 周艳虹, 黄黎锋, 喻景权. 持续低温弱光对黄瓜叶片气体交换、叶绿素荧光猝灭和吸收光能分配的影响[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2004, 30(2): 153-160

(责任编辑 邱爱枝)

(上接第394页)

- [29] 周冀衡. K^+ 与相伴阴离子 (SO_4^{2-} , Cl^-) 对烤烟生长和有关生理代谢的影响[J]. 中国烟草学报, 1994, (2):46-53
- [30] 冯文强, 涂仕华, 成本喜, 廖鸣兰, 秦鱼生. 氮、钾肥类型对烟草产量及吸钾量差异的研究[J]. 西南农业学报, 2008, 21(1):117-120
- [31] 韩锦峰, 杨素勤, 王永华, 岳彩鹏, 张秀英. 不同相伴阴离子钾肥对烤烟光合特性、钾含量及化学成分的影响[J]. 中国烟草学报, 2002, 8(3):22-25
- [32] Roemheld V. pH changes in the rhizosphere depending on nutrient supply[R]. Landwirtschaftliche Forschung 36, Sonderheft 40, 1983: 226-230
- [33] 黎成厚, 刘元生, 何腾兵. 土壤 pH 与烤烟钾素营养关系的研究[J]. 土壤学报, 1999, 36(2):276-281

(责任编辑 邱爱枝)