

钾素对水培大蒜生理和品质的影响

陈 昆, 刘世琦*, 张自坤, 张 涛, 孟凡鲁

(山东农业大学园艺科学与工程学院, 作物生物学国家重点实验室, 农业部园艺作物生物学重点开放实验室, 山东泰安 271018)

摘 要: 以‘金乡白皮蒜’为试材, 采用设施水培试验探讨了钾素对大蒜生理和品质的影响。试验设置 5 个 K^+ 水平, 分别为 0、3.0、6.0、9.0 和 12.0 $mmol \cdot L^{-1}$ 。结果表明: 在营养液 K^+ 浓度 0 ~ 9.0 $mmol \cdot L^{-1}$ 范围内, 叶片色素含量和净光合速率, 蒜薹和鳞茎干、鲜质量随 K^+ 浓度升高而增加, 至 K^+ 9.0 $mmol \cdot L^{-1}$ 时达最大, 当 K^+ 浓度达到 12.0 $mmol \cdot L^{-1}$ 时呈下降趋势。蒜薹和鳞茎可溶性糖、维生素 C、可溶性蛋白质及大蒜素含量在营养液 K^+ 浓度 9.0 $mmol \cdot L^{-1}$ 时最高, 与不施钾相比, 蒜薹中分别增加 67.0%、31.22%、79.38% 和 76.38%, 鳞茎中分别增加 91.51%、45.61%、91.47% 和 99.26%。

关键词: 大蒜; 钾; 水培; 光合速率; 鳞茎; 品质

中图分类号: S 633.4

文献标识码: A

文章编号: 0513-353X (2011) 03-0556-07

Effects of Potassium in Nutrient Solution on Physiological and Quality of Garlic

CHEN Kun, LIU Shi-qi*, ZHANG Zi-kun, ZHANG Tao, and MENG Fan-lu

(College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, State Key Laboratory of Crop Biology, Agriculture Ministry Key Laboratory of Horticultural Crop Biology, Tai'an, Shandong 271018, China)

Abstract: In this study, ‘Jinxiang White Garlic’ was cultivated with nutrient solution to investigate the effects of potassium in nutrient solution on physiological and quality of garlic. Five different K^+ concentrations at 0, 3.0, 6.0, 9.0 and 12.0 $mmol \cdot L^{-1}$ were designed. The results indicated that pigment content, net photosynthesis rate, fresh and dry weight of garlic sprout and bulb increased with K^+ concentration ranging from 0 - 9.0 $mmol \cdot L^{-1}$, while decreased in the treatment of 12.0 $mmol \cdot L^{-1}$ K^+ . Compared with 0 $mmol \cdot L^{-1}$ K^+ , the treatment of 9.0 $mmol \cdot L^{-1}$ K^+ enhanced the contents of soluble sugars, vitamin C, soluble proteins and allicin by 67.0%, 31.22%, 79.38% and 76.38%, respectively, in garlic sprout, while these indexes increased by 91.51%, 45.61%, 91.47% and 99.26%, respectively, in bulb.

Key words: garlic; potassium; nutrient solution; photosynthetic rate; bulb; nutrient quality

大蒜 (*Allium sativum* L.) 生产以传统的土壤栽培为主, 存在栽培方式和栽培季节单一, 周年生产和供应矛盾突出的问题, 也容易引起品种退化和土传病虫害的严重发生, 导致大蒜生长势弱, 产

收稿日期: 2010-10-15; 修回日期: 2011-01-30

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2006BAD13B06-4-9); 山东省农业重大创新项目

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: liulucky99@163.com)

量和品质下降(李树和 等, 2003)。土壤中一般含有不同形态的钾, 故很难做到土壤零钾含量的处理, 且不同地区的土壤钾含量也不尽相同, 试验相对繁琐, 研究结果也只能在该地区及土壤状况与之类似的地区应用。当土壤中可被植物直接吸收利用的速效性钾较多时, 会降低施钾的作用(吴礼树, 2004)。无土栽培是目前生产高档蔬菜、绿色蔬菜的一种有效途径(王久兴和王子华, 2005), 能最大限度地满足根系对水、肥、气等诸条件的要求, 发挥作物生产的最大潜力(张乃明, 2006), 且不受当地土质影响, 试验结果相对稳定。

目前有关钾对无土栽培蔬菜影响的报道较多。李孝良和王伟(2004)对无土栽培莴苣吸钾的规律做了研究; 毛洪玉等(2007)通过试验得出仙客来在营养生长期对无土栽培营养液中氮磷钾浓度最佳组合为 300、60 和 325 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。胡池新和刘芳(2008)在水培试验中得出番茄的筋腐病与营养液的氮钾比呈正相关。钾对大蒜生长发育影响方面的研究多以土壤为介质, 且多是不同钾肥种类(朱建忠 等, 2005)、氮磷钾肥的配比(张琳 等, 2003; 王彩萍, 2007)、及钾硫配施(姜丽娜 等, 1997)对大蒜影响的研究, 而有关单因素钾对大蒜影响的报道不多。此外, 水培条件下硫对大蒜生理生化指标的影响(刘中良 等, 2010a, 2010b)已有全面报道, 而在水培条件下钾对大蒜生长发育各指标的影响尚未见系统研究。作者通过深液流技术(DFT)水培试验, 系统探讨了营养液不同钾素用量对大蒜生理特性、蒜薹和鳞茎干、鲜质量及品质的影响效应, 以期为大蒜的科学施肥提供量化指标, 为大蒜的优质高产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2009 年 10 月—2010 年 5 月在山东农业大学科技创新园进行。以‘金乡白皮蒜’为供试材料, 深液流技术(DFT)水培, 营养液用纯水配制, 每 7 d 更换 1 次, 控制 pH 5.8~6.2。试验用盆为 65 cm(长)×50 cm(宽)×35 cm(高)的硬质塑料大盆, 每盆定植大蒜 12 株。以 Hoagland 和 Arnon 营养液(Hoagland, 1950)为基础, 微量元素参照其通用配方。用等量的 NH_4NO_3 代替配方中由 KNO_3 提供的氮素, 并去除配方原有钾素, 即在所有处理去除配方所含钾素基础上, 通过单独供钾进行试验。供钾方式为: K_2SO_4 , 设 5 个水平, 分别为 0、1.5、3.0、4.5 和 6.0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 每水平重复 10 次(即每水平种植 10 盆)。为去除 K_2SO_4 造成的各处理 SO_4^{2-} 含量的不一致, 在 5 个处理增加 Na_2SO_4 , 浓度分别为 6.0、4.5、3.0、1.5 和 0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 而钠对大蒜影响较小可忽略不计。此时, 5 个处理营养液 K^+ 浓度依次为 0、3.0、6.0、9.0 和 12.0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。N、P、S、Ca 及 Mg 元素浓度分别为 15.0、1.0、8.0、4.0 和 2.0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

1.2 测定方法

试材于 2009 年 10 月 10 日在覆盖聚乙烯无滴膜的中棚内播种, 2010 年 4 月 19 日测定叶片光合色素含量、光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率, 4 月 20 日采收蒜薹, 5 月 7 日采收大蒜。分别于采收后测定蒜薹和鳞茎的干、鲜质量和营养品质指标(可溶性糖、维生素 C、可溶性蛋白、游离氨基酸和大蒜素)。每处理取样 10 株, 混匀, 3 次重复。

蒜薹采收标准为鳞茎上部膨大处向上 10 cm 位置采收; 鳞茎采收标准为鳞茎上部膨大处向上 2 cm 位置剪去上部假茎, 去除根系。用 MP200B 电子天平称量蒜薹及鳞茎干鲜质量。在 105 $^{\circ}\text{C}$ 下杀酶 10 min, 降至 80 $^{\circ}\text{C}$ 将样品烘干至恒重后称质量。光合色素含量测定采用分光光度法; 光合参数采用 CIRAS-1 光合仪于 2010 年 4 月 19 日上午 8: 50—9: 30 进行测定, 光强 1 100 ~ 1 200

$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，气温 18~20 ℃，叶温 19~21 ℃， CO_2 浓度 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ，测定部位为从上数第 4 片叶中间，每水平随即测定 5 株，即重复 5 次。叶绿素、可溶性蛋白质、维生素 C、可溶性糖、游离氨基酸和大蒜素含量测定分别采用丙酮比色法、考马斯亮蓝法（赵世杰 等，2002）、二甲苯比色萃取法、萘酚比色法、茚三酮法（王学奎，2006）和苯胺法（屈姝存和周朴华，1998）。

试验数据采用 DPS6.55 和 Microsoft Excel 2003 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 钾对大蒜叶片光合色素含量的影响

从表 1 可知，在 K^+ 浓度 0~9.0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 范围内，叶绿素 a、叶绿素 b、胡萝卜素及总叶绿素（a+b）含量随 K^+ 浓度的升高而增加，至 K^+ 浓度 9.0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时达最大，较不施钾处理分别提高 132.05%、94.69%、132.92%和 124.20%，差异极显著；当 K^+ 浓度达到 12.0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时，光合色素含量则降低。说明 9.0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ K^+ 浓度对大蒜叶片光合色素含量的增加较好。

表 1 钾对大蒜叶片光合色素含量的影响
Table 1 Effect of potassium on photosynthetic pigment content in garlic leaf

$\text{K}^+ / (\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1})$	叶绿素 a/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Chl. a	叶绿素 b/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Chl. b	胡萝卜素/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Car.	叶绿素(a+b)/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Chl. (a+b)
0	0.2549 dC	0.0678 dD	0.0638 cC	0.3227 dD
3.0	0.3898 cB	0.0839 cdCD	0.0933 bcBC	0.4737 cC
6.0	0.4757 bB	0.1088 bB	0.1160 abAB	0.5845 bB
9.0	0.5915 aA	0.1320 aA	0.1486 aA	0.7235 aA
12.0	0.4325 bcB	0.0979 bcBC	0.0997 bcABC	0.5304 bcBC

注：同列数据后不同小写或大写字母表示 5%或 1%显著水平。
Note: Different lowercase or uppercase letters in the same column mean significant difference at 5% and 1% level.

2.2 钾对大蒜叶片光合参数的影响

钾在提高大蒜叶片叶绿素含量的同时，也显著提高了大蒜叶片的净光合速率。由表 2 可知， K^+ 浓度为 9.0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时，净光合速率、蒸腾速率和气孔导度最高，较不施钾处理分别增加 96.96%、52.37%和 71.17%。当 K^+ 浓度 6.0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时，胞间 CO_2 浓度最高，但处理间差异不显著。

表 2 钾对大蒜叶片光合参数的影响
Table 2 Effect of potassium on photosynthetic parameter in garlic leaf

$\text{K}^+ / (\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1})$	净光合速率/($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) P_n	蒸腾速率/($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) E	气孔导度/($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) G_s	胞间 CO_2 浓度/($\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$) C_i
0	5.60 dC	1.20 cC	74.00 cB	238.00 abA
3.0	8.50 cB	1.60 bB	105.67 bA	246.00 aA
6.0	9.93 bAB	1.66 bAB	120.33 abA	231.67 abA
9.0	11.03 aA	1.83 aA	126.67 aA	198.00 bA
12.0	9.47 bcB	1.65 bAB	111.67 abA	226.00 abA

注：同列数据后不同小写或大写字母表示 5%或 1%显著水平。
Note: Different lowercase or uppercase letters in the same column mean significant difference at 5% and 1% level.

从表 2 还可以看出，随 K^+ 浓度增加（0~9.0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ），净光合速率、蒸腾速率和气孔导度均逐渐增加；当 K^+ 浓度继续增加（9.0~12.0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ），这些指标则降低。说明 K^+ 对大蒜叶片光合性能有重要影响，过高 K^+ 浓度不利于大蒜叶片光合性能的改善。

2.3 钾对大蒜蒜薹及鳞茎干、鲜质量的影响

表 3 表明，施钾可显著提高大蒜蒜薹及鳞茎干、鲜质量。营养液 K^+ 浓度 $9.0\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时，大蒜单薹及鳞茎单头干、鲜质量最大，与不施钾处理相比，单薹干、鲜质量增幅分别为 352.43% 和 321.99%；鳞茎单头干、鲜质量增幅分别为 258.71% 和 258.70%，差异极显著。在 K^+ 浓度 $0 \sim 9.0\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 范围内，大蒜单薹及鳞茎单头干、鲜质量随 K^+ 浓度的升高而增加；超出这一范围 ($> 9.0\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) 达 $12.0\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时，上述指标则下降。总之，在 K^+ 浓度 $9.0\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时能够较好的提高水培大蒜蒜薹及鳞茎干鲜质量。

表 3 钾对大蒜蒜薹及鳞茎干鲜质量的影响
Table 3 Effect of potassium on the dry and fresh weight of bolt and bulb

$K^+ / (\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1})$	单薹鲜质量/g Average fresh weight per bolt	增幅/% Increase range	单薹干质量/g Average dry weight per bolt	单头鲜质量/g Average fresh weight per bulb	增幅/% Increase range	单头干质量/g Average dry weight per bulb
0	6.50 dD	-	0.80 dD	35.77 eD	-	7.12 dD
3.0	19.62 cC	201.69	2.36 cC	98.36 dc	180.80	20.00 cC
6.0	23.25 bB	257.46	2.94 bBC	109.11 cB	211.11	22.16 bcBC
9.0	27.44 aA	321.99	3.63 aA	125.15 aA	258.70	25.55 aA
12.0	25.11 abAB	286.16	3.39 abAB	117.14b AB	239.01	24.15 abAB

注：同列数据后不同小写或大写字母表示 5% 或 1% 显著水平。
Note: Different lowercase or uppercase letters in the same column mean significant difference at 5% and 1% level.

2.4 钾对大蒜蒜薹及鳞茎品质的影响

从表 4 可以看出，施钾可显著改善蒜薹及鳞茎的营养品质。在一定 K^+ 浓度范围内 ($0 \sim 9.0\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)，蒜薹可溶性糖、维生素 C、可溶性蛋白质和大蒜素含量均随 K^+ 浓度的升高而增加，至 K^+ 浓度 $9.0\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时达最大，较不施钾处理分别提高 67.13%、36.31%、66.18% 和 76.15%，差异显著；当营养液 K^+ 浓度继续增加达 $9.0\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时，呈下降趋势。各施钾处理游离氨基酸含量均低于不施钾处理。鳞茎各品质指标与之类似，蒜薹可溶性糖、维生素 C、可溶性蛋白质和大蒜素含量均以 K^+ 浓度 $9.0\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时最大，游离氨基酸含量以不施钾处理最高。由此说明，以营养液 K^+ 浓度 $9.0\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时有利于水培大蒜蒜薹及鳞茎营养品质的提高。

表 4 钾对大蒜蒜薹及鳞茎营养品质的影响
Table 4 Effect of potassium on nutrition quality of bolt and bulb

器官 Organic	$K^+ / (\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1})$	可溶性糖/% Soluble sugar	维生素 C/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Vitamin C	可溶性蛋白质/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Soluble protein	游离氨基酸/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Free aminoacid	大蒜素/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Allicin
蒜薹 Bolt of garlic	0	10.83 cC	1.79 dC	8.07 cC	82.96 aA	2.18 dD
	3.0	15.68 bB	2.04 cC	12.20 bB	49.56 cBC	3.19 cC
	6.0	17.04 abAB	2.27 bAB	13.41 abAB	45.30 cC	3.49 bB
	9.0	18.10 aA	2.44 aA	14.47 aA	43.70 cC	3.84 aA
	12.0	16.05 bAB	2.14 bcBC	12.30 bB	58.81 bB	3.46 bB
鳞茎 Bulblet	0	13.56 dC	1.53 dD	11.54 dC	70.71 aA	3.85 dD
	3.0	21.50 cB	1.70 cCD	17.97 cB	48.15 bB	6.02 cC
	6.0	25.52 bAB	1.83 bcBC	19.59 bB	43.04 bB	6.66 bB
	9.0	28.80 aA	2.22 aA	22.11 aA	45.06 bB	7.65 aA
	12.0	24.23 bcB	1.98 bB	18.18 bcB	72.22 aA	6.63 bB

注：同列数据后不同小写或大写字母表示 5% 或 1% 显著水平。
Note: Different lowercase or uppercase letters in the same column mean significant difference at 5% and 1% level.

3 讨论

目前已知有 60 多种酶需要钾离子作为活化剂，其能活化的酶分别属于合成酶类、氧化还原酶类

和转移酶类等, 他们参与糖代谢、蛋白质代谢及核酸代谢等生物化学过程, 对作物的生长发育起着独特的生理功能。叶绿体是光合作用的重要细胞器, 钾是保持叶绿体正常结构所必需的矿质元素(吴礼树, 2004)。充足的钾能促进叶绿素合成, 改善叶绿体结构, 提高光合速率, 降低暗呼吸, 钾不足则严重影响光合器官的形成, 引起净光合速率降低(饶立华 等, 1989)。本水培试验表明, K^+ 浓度 $9.0 \text{ mmol} \cdot L^{-1}$ 时, 叶绿素含量和光合速率最大, 不施钾 ($0 \text{ mmol} \cdot L^{-1}$) 和高钾 ($12.0 \text{ mmol} \cdot L^{-1}$) 处理上述指标降低。施钾同时提高了大蒜叶片蒸腾速率和气孔导度, 表明适量的钾有助于气孔正常开闭, 从而有效调节 CO_2 的交换和水的蒸腾。刘芸等(2004)采用 4 种浓度营养液培养番红花, 结果表明在一定 K^+ 浓度范围内随着钾水平的提高, 叶片钾含量、叶绿素含量和叶片净光合速率也相应提高, 同时新球茎中可溶性糖含量也随之增加, 使新球茎作为代谢库的功能增强, 试验结果与之类似。

钾能够加速植物生长发育, 促进光合作用并加速光合产物向产品器官转运(梁德印 等, 1992), 大幅度提高作物产量。与土壤栽培相比, 水培条件下大蒜根系生长健壮, 且钾以可溶性钾存在, 有利于根系的直接吸收利用, 能显著提高大蒜单头鲜质量。本试验以营养液 K^+ 浓度 $9.0 \text{ mmol} \cdot L^{-1}$ 时, 蒜薹及鳞茎鲜质量最大, 分别为 27.44 g 和 125.15 g , 较不施钾处理分别增加 321.99% 和 258.70% 。另外, 钾能提高作物产量的作用在洋葱(Bassiony, 2006)、豌豆(Muhammad et al., 2004)和烤烟(钟晓兰, 2008)等作物中均有报道。本水培试验还表明高钾处理 ($12.0 \text{ mmol} \cdot L^{-1}$) 和不施钾处理大蒜蒜薹及鳞茎干、鲜质量与品质并不是最优的, 因为大蒜对钾可能存在奢侈吸收现象, 过量的钾供应虽不易使大蒜直接表现钾中毒症状, 但可影响各种离子(特别是钙离子和镁离子)间的平衡, 影响其他矿物质的吸收, 还会造成钾的浪费, 降低钾的施用效益; 不施钾会造成大蒜营养失调, 影响大蒜生长发育, 限制蒜薹、鳞茎产量及品质的提高。这与张恩平等(2005)的研究结果基本一致。

与以土壤为介质的钾肥试验相比, 水培条件下适宜的钾浓度能较好的改善大蒜营养品质。本试验条件下, K^+ 浓度 $9.0 \text{ mmol} \cdot L^{-1}$ 时, 水培大蒜鳞茎可溶性糖、游离氨基酸及可溶性蛋白质含量均高于以土壤为介质(姜丽娜 等, 1997)时适宜钾用量下的大蒜的相应指标, 其中可溶性蛋白质较土壤栽培条件下提高 171.96% , 差异极显著。姜丽娜等(1997)在潮土旱地进行了大蒜施钾、硫试验, 结果表明施钾可显著改善大蒜鳞茎外观形态, 增加单头质量、鳞茎内可溶性碳水化合物和氨基酸总量; 而施硫能增加大蒜蛋白质含量。Lin 等(2003)通过水培的方式研究钾对网纹甜瓜的影响, 认为适宜浓度的钾能增加网纹甜瓜的糖含量及可溶性固形物含量, 并以 K^+ 浓度 $240 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ 时较好, 本水培试验结果与之类似。另外, 本试验条件下, $9.0 \text{ mmol} \cdot L^{-1} K^+$ 浓度可使大蒜蒜薹及鳞茎可溶性糖含量达最高, 与不施钾处理相比差异也非常显著, 这可能因为光合产物蔗糖向韧皮部的装载通过 H^+ - 蔗糖共运载体来实现, 而钾离子可以活化筛管膜上的 H^+ -ATP 酶, 决定 H^+ 向质外体的泵出, 进而影响蔗糖向筛管的装载过程。可溶性蛋白质也在该 K^+ 浓度下含量最高, 这主要由于钾是氨基酰 - tRNA 合成酶和多肽合成酶的活化剂, 能促进蛋白质和谷胱甘肽的合成(吴礼树, 2004)。张琳等(2003)在连续 3 年多点试验中研究氮磷钾配施对大蒜的影响, 发现氮钾配施能提高蒜苗和蒜薹的维生素 C 及可溶性糖含量, 本研究有类似结论。同时, 试验也证实供钾不足时, 植物体内蛋白质合成减少, 游离氨基酸含量增加(吴礼树, 2004), 且显著高于施钾处理。另外, 钾改善作物品质的生理特性在番茄(孙红梅 等, 2001)、黄瓜(李冬梅 等, 2005)、洋葱(郭熙盛 等, 1999)、甘蓝、花椰菜(倪吾钟 等, 1997)和小麦(刘峰和聂荣邦, 2004)等作物上也有类似报道。

综上所述, 钾在水培大蒜上的应用效果显著, 并以营养液 K^+ 浓度 $9.0 \text{ mmol} \cdot L^{-1}$ 最佳, 可大幅度提高大蒜叶片叶绿素含量、光合速率、产品干鲜质量, 改善蒜薹和鳞茎品质。

References

- Bassiony A M El. 2006. Effect of potassium fertilization on growth, yield and quality of onion plants. *Journal of Applied Sciences Research*, 2 (10): 780 – 785.
- Guo Xi-sheng, Liu Cai-yu, Wang Wen-jun, Ye Shu-ya, Zhu Hong-bin. 1999. The effect of K fertilizer on the yield, qualities and nutrient uptake of onion. *China Vegetables*, (2): 12 – 14. (in Chinese)
- 郭熙盛, 刘才宇, 王文军, 叶舒娅, 朱宏斌. 1999. 钾肥对洋葱产量、品质及养分吸收的影响. *中国蔬菜*, (2): 12 – 14.
- Hoagland D R. 1950. The water culture method for growing plants without soil. *Calif Agr Exp Stat Circ*, 347: 1 – 32.
- Hu Chi-xin, Liu Fang. 2008. Effects of nutrient solution on yield and quality of tomato under soilless culture. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 12 (6): 51, 72. (in Chinese)
- 胡池新, 刘 芳. 2008. 无土栽培营养液对番茄产量和品质的影响. *河北农业科学*, 12 (6): 51, 72.
- Jiang Li-na, Zhan Chang-geng, Fu Jian-rong, Yu Guo-zhen, Lu Hong. 1997. Effects of K and S on high yield and quality of garlic, and the relationships between K and S on garlic. *Soil Fert*, (1): 28 – 31. (in Chinese)
- 姜丽娜, 詹长庚, 符建荣, 俞国桢, 陆 宏. 1997. 钾硫对大蒜头优质高产的效应及相互关系初探. *土壤肥料*, (1): 28 – 31.
- Li Dong-mei, Wei Min, Zhang Hai-shen, Kong Xiang-bo, Wang Xiu-feng. 2005. Effects of different amounts and ratios of N, P, K on the yield and quality of cucumber in solar greenhouse. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 5 (7): 262 – 265. (in Chinese)
- 李冬梅, 魏 珉, 张海森, 孔祥波, 王秀峰. 2005. 氮磷钾不同用量及配比对日光温室黄瓜产量和品质的影响. *中国农学通报*, 5 (7): 262 – 265.
- Li Shu-he, Wang Zhen-xing, Zhang Hong-shun. 2003. Garlic Soilless cultivation techniques. *Agriculture & Technology*, 23 (5): 95 – 96. (in Chinese)
- 李树和, 王震星, 张洪顺. 2003. 大蒜有机生态型无土栽培技术. *农业与技术*, 23 (5): 95 – 96.
- Li Xiao-liang, Wang Wei. 2004. Study on K nutrition characteristic of cos lettuce. *Journal of Anhui Technical Teachers College*, 18 (1): 32 – 34. (in Chinese)
- 李孝良, 王 伟. 2004. 无土栽培生菜吸钾规律研究. *安徽技术师范学院学报*, 18 (1): 32 – 34.
- Liang De-yin, Xu Mei-de, Wang Xiao-qi. 1992. Effects of potassium on cotton nutrient absorption and dry matter accumulation. *Scientia Agricultura Sinica*, 25 (2): 69 – 74. (in Chinese)
- 梁德印, 徐美德, 王晓琪. 1992. 钾营养对棉花养分吸收和干物质积累的影响. *中国农业科学*, 25 (2): 69 – 74.
- Lin Duo, Huang Danfeng, Wang Shiping. 2003. Effects of potassium levels on fruit quality of muskmelon in soilless medium culture. *Scientia Horticulturae*, 102 (2004): 53 – 60.
- Liu Feng, Nie Rong-bang. 2004. Research of potassium nutrition on crops. *Crop Research*, (5): 358 – 361. (in Chinese)
- 刘 峰, 聂荣邦. 2004. 作物钾营养研究进展. *作物研究*, (5): 358 – 361.
- Liu Yun, Zhu Li-quan, Long Yun, Cao Guo-xing, Zhong Zhang-cheng. 2004. Effects of potassium on corms expansion of saffron. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 10 (1): 96 – 100. (in Chinese)
- 刘 芸, 朱利泉, 龙 云, 操国兴, 钟章成. 2004. 钾对番红花球茎膨大的促进效应. *植物营养与肥料学报*, 10 (1): 96 – 100.
- Liu Zhong-liang, Liu Shi-qi, Zhang Zi-kun. 2010a. Effects of sulfur content in nutrient solution on nutritient quality and fresh weight of garlic. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 26 (10): 207 – 211. (in Chinese)
- 刘中良, 刘世琦, 张自坤. 2010a. 水培条件下硫对大蒜营养品质和鲜重的影响. *中国农学通报*, 26 (10): 207 – 211.
- Liu Zhong-liang, Liu Shi-qi, Zhang Zi-kun, Yang Ru, Chen Kun. 2010b. Effects of sulfur content in nutrient solution on photosynthetic characteristics and quality of garlic. *Acta Horticulturae Sinica*, 37 (4): 581 – 588. (in Chinese)
- 刘中良, 刘世琦, 张自坤, 杨 茹, 陈 坤. 2010b. 硫对设施水培大蒜光合特性和鳞茎品质的影响. *园艺学报*, 37 (4): 581 – 588.
- Mao Hong-yu, Liu Di, Han Xiao-ri. 2007. Study on the optimum composition and concentration of NPK in cyclamen persicum soilless culture solution. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 38 (1): 75 – 79. (in Chinese)
- 毛洪玉, 刘 迪, 韩晓日. 2007. 仙客来无土栽培营养液氮磷钾最佳组合和适宜浓度的研究. *沈阳农业大学学报*, 38 (1): 75 – 79.
- Muhammad A, Muhammad A A A, Nadeem A. 2004. Influence of phosphorus and potassium supply to the mother plant on seed yield, quality and vigour in pea (*Pisum sativum* L.). *Asian Journal of Plant Sciences*, 3 (1): 108 – 113.
- Ni Wu-zhong, Zhang Yong-song, Lin Xian-yong. 1997. The effect of different K sources on yield and quality of some vegetable crops. *Acta*

- Agriculturae Zhejiangensis, 9 (3): 143 - 148. (in Chinese)
- 倪吾钟, 章永松, 林咸永. 1997. 不同钾肥对几种主要蔬菜作物产量和品质的影响. 浙江农业学报, 9 (3): 143 - 148.
- Qu Shu-cun, Zhou Pu-hua. 1998. The extrcation of diallyl thiosulfonate and the anaylises of chemical composition of garlic and the residue. Journal of Hunan Agricultural University, 24 (3): 235 - 237. (in Chinese)
- 屈姝存, 周朴华. 1998. 大蒜油提取及大蒜油与大蒜渣的化学成分分析. 湖南农业大学学报, 24 (3): 235 - 237.
- Rao Li-hua, Xue Jian-ming, Jiang De-an. 1989. Effects of potsassium nutrition on photosynthesis and yield. Journal of Zhejiang University, 15 (4): 341. (in Chinese)
- 饶立华, 薛建明, 蒋德安. 1989. 钾营养对番茄光合作用和产量形成的效应. 浙江农业大学学报, 15 (4): 341.
- Sun Hong-mei, Li Tian-lai, Xu Hui, Guo Yong, Fan Wen-li. 2001. Effects of potassium fertilizer on nutrients absorption and growth of tomato in greenhouse. China Vegetables, (4): 14 - 16. (in Chinese)
- 孙红梅, 李天来, 须 晖, 郭 泳, 范文莉. 2001. 钾营养对保护地番茄氮磷钾吸收及植株生育的影响. 中国蔬菜, (4): 14 - 16.
- Wang Cai-ping. 2007. Effects of P and K fertilizer on garlic in the alpine region. Journal of Anhui Agri Sci, 35 (17): 5215 - 5277. (in Chinese)
- 王彩萍. 2007. 磷钾肥在高寒地区大蒜上的施用效果. 安徽农业科学, 35 (17): 5215 - 5277.
- Wang Jiu-xing, Wang Zi-hua. 2005. Morden vegetable soilless culture. Beijing: Scientific and Technological Document Publishing House: 7. (in Chinese)
- 王久兴, 王子华. 2005. 现代蔬菜无土栽培. 北京: 科学技术文献出版社: 7.
- Wang Xue-kui. 2006. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment. 2nd. Beijing: Higher Education Press: 190 - 192, 202 - 204, 268 - 270. (in Chinese)
- 王学奎. 2006. 植物生理生化实验原理和技术. 第2版. 北京: 高等教育出版社: 190 - 192, 202 - 204, 268 - 270.
- Wu Shu-li. 2004. Soil and fertilizer. Beijing: China Agriculture Press: 226 - 227. (in Chinese)
- 吴礼树. 2004. 土壤肥科学. 北京: 中国农业出版社: 226 - 227.
- Zhang En-ping, Li Tian-lai, Ge Xiao-guang, Liu Jun-dong. 2005. Effects of potassium on photosynthetic physiologies and active absorpotion of NPK in tomato. Journal of Shenyang Agriculture University, 36 (5): 532 - 535. (in Chinese)
- 张恩平, 李天来, 葛晓光, 刘俊东. 2005. 钾营养对番茄光合生理及氮磷钾吸收动态的影响. 沈阳农业大学学报, 36 (5): 532 - 535.
- Zhang Lin, Guo Xi-sheng, Li Lu-ju, Yin Xiong. 2003. Study on the effect of potassium application combined with nitrogen on garlic yield. Chinese Journal of Soil Science, 34 (6): 539 - 542. (in Chinese)
- 张 琳, 郭熙盛, 李录久, 殷 雄. 2003. 氮钾配施对大蒜增产效应的研究. 土壤通报, 34 (6): 539 - 542.
- Zhang Nai-ming. 2006. The theory and practice of facility agriculture. Beijing: Chemical Industry Press: 39. (in Chinese)
- 张乃明. 2006. 设施农业理论与实践. 北京: 化学工业出版社: 39.
- Zhao Shi-jie, Shi Guo-an, Dong Xin-chun. 2002. Guidance of plant physiology experiments. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. (in Chinese)
- 赵世杰, 史国安, 董新纯. 2002. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业科学技术出版社.
- Zhu Jian-zhong, Wu Zhen, Cheng Qiu-hua, Zhou Hong-fa, Zhou Shi-tu. 2005. Effects of kinds and amounts of top-dressing on growth, yield and quality of Jiading garlic at seedling stage. Acta Agriculturae Shanghai, 21 (1): 37 - 40. (in Chinese)
- 朱建忠, 吴 震, 程秋华, 周宏发, 朱世徒. 2005. 苗期追肥种类和追肥量对嘉定白蒜生长发育及产量与质量的影响. 上海农业学报, 21 (1): 37 - 40.
- Zhong Xiao-lan, Zhang De-yuan, Li Jiang-tao, Yuan Lan, Cheng Xiao-qiang, Chen Shui-gen. 2008. Effects of K application on K absorption, K utilization efficiency, and yield and quality of flue-cured tobacco. Soils, 40 (2): 216 - 221. (in Chinese)
- 钟晓兰, 张德远, 李江涛, 袁 兰, 程小强, 陈水根. 2008. 施钾对烤烟钾素吸收利用率及其产量和品质的影响. 土壤, 40 (2): 216 - 221.