

# 过量磷对菜心植株生长和产量及品质的影响

康云艳, 冯新富, 杨 暹

(华南农业大学 园艺学院, 广东 广州 510642)

**摘 要:**采用营养液水培法, 研究过量磷对菜心(*Brassica parachinensis*)植株生长、产量和品质的影响。结果表明:与正常磷浓度处理(1 mmol/L  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ )比较, 3~7 mmol/L  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 处理植株生物量和产量均显著降低, 5 和 7 mmol/L  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 处理植株根冠比显著增加;随着磷浓度的增加, 菜薹表皮花色苷含量和菜薹可溶性糖含量逐渐增加, 菜薹硝酸盐含量逐渐降低, 三者与营养液磷浓度均呈显著线性关系。

**关键词:**菜心; 过量磷; 生长; 产量; 品质

**中图分类号:**S 634.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2011)15-0070-03

磷是作物生长发育必需的三大营养元素之一, 是植物体内核酸和磷脂等许多重要化合物的结构成分。然而, 由于磷肥在土壤中移动性小, 且易被固定, 大量施用磷肥易导致土壤磷素富集, 不仅造成资源浪费, 而且随着土壤对磷素吸持饱和度的增加, 土壤磷素流失潜能增加, 进而导致土壤养分循环失衡和水体富营养化<sup>[1]</sup>。

研究表明, 珠江三角洲地区, 蔬菜种植面积大, 肥料投入量大, 土壤养分积累明显。据广东省土壤肥料

总站 2002~2006 年在珠江三角洲 12 县(市、区)调查统计, 蔬菜地土壤有效磷浓度平均值达 85.54 mg/kg, 总体上属于极丰富水平<sup>[2]</sup>。现以华南地区特产蔬菜菜心为试材, 采用营养液水培法, 研究高磷对菜心植株生长、产量和品质的影响, 以期合理施用磷肥提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验在华南农业大学温室内进行。供试菜心(*Brassica campestris* ssp. *parachinensis*)品种为“四九-19”。2006 年 4 月 30 日播种育苗, 采用珍珠岩为基质。5 月 5 日定植于装有 6 L 1 个剂量 Hoagland 和 Snyder 营养液(含 1 mmol/L  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ )的塑料花盆中(25 cm 上口口径 × 17 cm 下口径 × 25 cm 高)。通过添加  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ , 设置 5 个磷浓度处理, 分别为: (A) Control, 1 mmol/L  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ; (B) P2, 2 mmol/L  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ; (C) P3, 3 mmol/L  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ; (D) P5, 5 mmol/L  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ; (E) P7,

第一作者简介:康云艳(1981-), 女, 江苏盐城人, 博士, 讲师, 现主要从事蔬菜栽培生理研究工作。E-mail: kangyunyan@scau.edu.cn。

责任作者:杨暹(1964-), 男, 博士, 教授, 现主要从事蔬菜栽培生理研究工作。E-mail: yangxian@scau.edu.cn。

基金项目:广东省农业科技推广专项资金资助项目(粤财农[2009]433 号); 2010 年广东高校优秀青年创新人才培养计划(育苗工程)资助项目; 211 工程三期建设资助项目。

收稿日期:2011-05-04

研究[J]. 食品科技, 2011, 36(1): 282-285.

[6] 李林松, 罗永明. 井冈山地区樟树果挥发性成分的分析[J]. 江西中医学院学报, 2005, 17(3): 36-37.

[7] 梁光义, 邱德文. 樟果实挥发油的研究[J]. 贵阳中医学院学报, 1994, 16(4): 59-60.

[8] 陈光英, 艾克惠, 袁艺, 等. 四川芳樟叶芳香油化学成分研究[J]. 海南师范学院学报, 1999, 12(1): 62-64.

[9] 丛浦珠. 质谱学在天然有机化学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1987.

## Analysis of the Aroma of Chemical Composition from the Leaves and Fruits of *Cinnamomum parthenoxylon* (Jack) Nees in Guizhou

YANG Zai-bo, YANG Bing

(Department of Chemistry and Chemical Engineering, Qiannan Normal University for Nationalities, Duyun, Guizhou 558000)

**Abstract:** The aroma of chemical composition were extracted with steam distillation from the leaf and fruit of *Cinnamomum parthenoxylon* (Jack) Nees in Guizhou, and the chemical composition were qualitative and quantitative by GC-MS. The results showed that 38 constituents in the leaf and 47 in the fruit of *Cinnamomum parthenoxylon* (Jack) Nees were separated and identified, accounting for 95.788% and 99.172% of the total peak areas, respectively. Which was the main component in leaf (+)-camphor (19.247%), cis-Citral (8.352%), trans-citral (8.539%) and isosafrole (7.613%). And in the fruit (+)-camphor (26.514%) and isosafrole (25.843%). The results could be seen from the main flavor components of two parts no difference.

**Key words:** *Cinnamomum parthenoxylon* (Jack) Nees; leaf; fruit; aroma composition; GC/MS

7 mmol/L  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 。每个处理 25 盆,每盆 5 株。每隔 4 d 换 1 次营养液。于 6 月 2 日菜薹采收期取植株根、茎、叶进行各项指标的测定,3 次重复。

1.2 试验方法

1.2.1 植株生物量及菜薹产量的测定 于菜薹采收期,每个处理随机取样 15 株,测定植株根、茎、叶的鲜重、干重和菜薹产量。采收标准:“齐口花”,即菜薹的高度与外叶先端大致在同一高度,花薹即将开放时,留 2 片基叶割取主薹。

1.2.2 菜薹花色苷、硝酸盐和可溶性糖含量的测定 花色苷含量的测定参照崔艳涛<sup>[3]</sup>的方法;硝酸盐含量的测定参照 Cataldo<sup>[4]</sup>的方法;可溶性糖含量的测定参照 Dubois<sup>[5]</sup>的方法。

1.2.3 统计学处理 数据采用 Microsoft Excel 软件进行绘图,用 SAS 软件 Duncan's 多重比较法进行统计分析。

表 1 过量磷对菜心植株生长和产量的影响

处理	茎鲜重/ $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$	叶片鲜重/ $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$	根系鲜重/ $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$	根冠比	产量/g
Control	10.93±0.71 a	17.33±1.35 a	2.42±0.17 a	0.087±0.004 c	23.43±0.57 a
P2	10.52±0.72 a	17.70±1.16 a	2.47±0.16 a	0.088±0.003 c	22.13±0.74 ab
P3	6.17±0.26 b	16.40±1.03 ab	1.97±0.12 b	0.089±0.005 c	20.33±0.37 b
P5	5.11±0.36 b	13.71±1.03 b	1.88±0.14 b	0.110±0.013 b	13.47±0.74 c
P7	3.05±0.22 c	10.30±0.71 c	1.75±0.11 b	0.131±0.002 a	8.30±0.31 d

注:同列不同字母表示差异达 5%显著水平。

步受到明显的抑制,植株的根、茎、叶鲜重和菜薹产量逐渐降低,菜薹产量显著下降。

2.2 过量磷对菜心菜薹品质的影响

由表 2 可看出,过量磷对菜心菜薹品质具有明显的影响。营养液磷浓度与菜薹表皮花色苷含量( $R^2=0.8902$ )、菜薹可溶性糖含量( $R^2=0.8440$ )均呈线性正相关,与菜薹硝酸盐含量( $R^2=0.8273$ )呈线性负相关。营养液磷浓度为 2、3、5、7 mmol/L 时,菜薹表皮花色苷含量分别为对照的 2.1、3.1、3.4、6.0 倍;营养液磷浓度为 2 mmol/L 和 3 mmol/L 时,菜薹可溶性糖和硝酸盐含量与对照无显著差异,但当营养液磷浓度增加至

表 2 过量磷对菜心菜薹品质的影响

处理	花色苷含量 / $\text{nmol} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$	可溶性糖含量 / $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$	硝酸盐含量 / $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$
Control	18.83±1.29 d <sup>v</sup>	2.44±0.23 b	727.47±17.96 a
P2	40.46±2.24 c	2.68±0.19 b	710.96±34.24 a
P3	59.11±4.13 b	2.78±0.18 b	635.83±43.21 a
P5	63.28±5.36 b	3.99±0.20 a	430.47±30.74 b
P7	112.87±6.12 a	4.54±0.27 a	415.25±27.17 b
Trend <sup>x,w</sup>	***L	***L	***L
b <sub>0</sub>	8.76 ns	1.93 ***	800.61 ***
b <sub>1</sub>	13.93 ***	0.38 ***	-60.17 ***

注:y,同列不同字母表示差异达 5%显著水平;X,L 表示线性相关;W,ns,\*,\*\*,\*\*\*,分别表示差异不显著,5%,1%,1%水平显著。

2 结果与分析

2.1 过量磷对菜心植株生长和菜薹产量的影响

由表 1 可知,过量磷对菜心植株生长和菜薹产量具有明显的影响。营养液磷浓度为 2 mmol/L 时,菜心植株的根、茎、叶鲜重和菜薹产量与对照无显著差异;营养液磷浓度为 3、5、7 mmol/L 时,菜心植株茎鲜重、根系鲜重以及菜薹产量均显著降低,茎鲜重分别为对照的 56.5%、46.8%和 27.9%,根系鲜重分别为对照的 81.4%、77.7%和 72.3%,菜薹产量分别为对照的 86.8%、57.5%和 35.4%;营养液磷浓度为 3 mmol/L 时,菜心植株叶片鲜重和根冠比和对照植株无显著差异,但当营养液磷浓度增加至 5 mmol/L 和 7 mmol/L 时,叶片鲜重显著降低,分别为对照的 79.7%和 59.5%,根冠比显著提高,分别为对照的 1.3 倍和 1.5 倍。结果表明,随着磷浓度的提高,菜心植株的生长逐

5 mmol/L 和 7 mmol/L 时,菜薹可溶性糖含量显著高于对照,分别为对照的 1.6 倍和 1.8 倍,相反,菜薹硝酸盐含量显著降低,分别为对照的 59.2%和 57.1%;菜薹可溶性糖含量和表皮花色苷含量呈线性正相关( $R^2=0.8053$ )(图 1)。结果表明,过量磷可提高菜薹花色苷含量和可溶性糖含量,并可显著地抑制菜薹硝酸盐的积累。

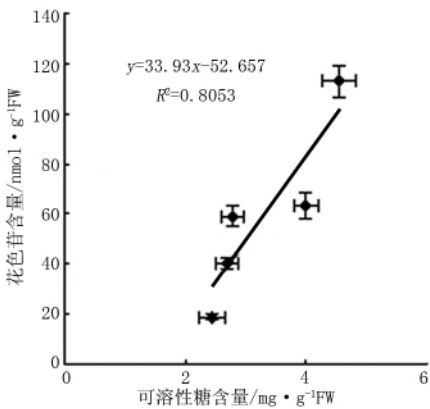


图 1 不同磷水平条件下菜心菜薹表皮花色苷含量与可溶性糖含量的相关性分析

### 3 结论与讨论

研究表明,土壤中过量施用磷肥显著抑制了番茄<sup>[6]</sup>、大豆<sup>[7]</sup>等植株的生长,植物体表现出早衰、叶片黄化或坏死。该试验结果表明,营养液磷浓度为 3、5、7 mmol/L 时,菜心植株生长和产量显著降低。

缺磷条件下,根冠比增加,植株形成大量的簇生根,进而增加根系的养分吸收表面积,以满足其在缺磷条件下对磷素的需求<sup>[8]</sup>。该试验研究发现,营养液磷过量条件下,菜心植株根冠比也增加,但是与缺磷胁迫不同,过量磷处理植株根系鲜重和地上部鲜重均显著降低(表 1),因此,过量磷条件下,植株根冠比增加主要归因于过量磷对地上部生长的抑制程度大于根系。该结果与吴一群等<sup>[6]</sup>在番茄中的报道一致,但是与 Silber 等<sup>[9]</sup>在 *Verticordia plumosa* (一种澳大利亚的木本植物)的研究结果相反。不同植物根冠比对过量磷的响应差异可能归因于植物对过量磷毒害的耐受性差异。

多种胁迫条件下,植物体内较高的糖含量有利于花色苷的形成<sup>[10]</sup>。该试验研究表明,菜薹可溶性总糖含量和菜薹表皮花色苷含量存在显著的正相关( $R^2 = 0.8053$ )。可溶性总糖积累可能是植株应答磷过量的防御机制,菜薹表皮花色苷的积累可能是糖代谢的库产物<sup>[11]</sup>。较高含量的花色苷导致菜心植株茎表皮出现明显的紫红色,严重降低了菜心的外观品质。

我国蔬菜中硝酸盐含量严重超标,采取有效措施减控硝酸盐积累一直是研究的目标。根据中国农业科学院制定的我国蔬菜硝酸盐污染程度的 4 级标准,可食蔬菜硝酸盐含量必须低于 3 100 mg/kg,当含量低于 432 mg/kg 时可以生食<sup>[12]</sup>。试验中随着营养液磷浓度由 1 mmol/L 增加至 7 mmol/L,菜薹中硝酸盐含量由 727.47  $\mu\text{g/g}$  降低至 415.25  $\mu\text{g/g}$ ,呈显著负相关( $R^2 = 0.9186$ )。在试验中不同磷水平条件下硝酸盐含量均在安全范围之内,适度提高磷浓度有利于抑制硝酸盐的积累。

综上所述,营养液磷浓度大于 3 mmol/L 时,菜心

植株生长和产量显著降低。同时,过量磷条件下,菜心植株茎表皮花色苷明显积累,出现明显的紫红色,外观品质明显降低;然而,适度提高磷水平可降低菜薹硝酸盐的含量。因此,合理地使用磷营养,对于调控菜心的植株生长和提高菜薹的产量和品质意义重大。

#### 参考文献

- [1] Chen M, Chen J, Sun F. Agricultural phosphorus flow and its environmental impacts in China[J]. Science of the Total Environment, 2008,405:140-152.
- [2] 梁友强.珠江三角洲耕地质量评价与利用[M].北京:中国农业出版社,2007:49.
- [3] 崔艳涛,孟庆瑞,王文凤,等.安哥诺李果皮花青素与内源激素、酶活性变化规律及其相关性[J].果树学报,2006,23(5):699-702.
- [4] Cataldo D, Haroon M, Schrader L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid[J]. Communication in Soil Science and Plant Analysis, 1975(6):71-80.
- [5] Dubois, M, Gilles K, Hamilton J, et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances[J]. Analytical Chemistry, 1956,38:350-356.
- [6] 吴一群,李延,杨际伟.高磷对番茄磷素吸收、运转和利用效率的影响[J].中国农学通报,2009,25(7):162-165.
- [7] Rotaru V, Sinclair T. Influence of plant phosphorus and iron concentrations on growth of soybean[J]. Journal of Plant Nutrition, 2009, 32:1513-1526.
- [8] Li J, Xie Y, Dai A, et al. Root and shoot traits responses to phosphorus deficiency and QTL analysis at seedling stage using introgression lines of rice[J]. Journal of Genetics and Genomics, 2009, 36(3):173-183.
- [9] Silber A, Ben-Jacov J, Ackerman A, et al. Interrelationship between phosphorus toxicity and sugar metabolism in *Verticordia plumosa* L[J]. Plant and Soil, 2002,245:249-260.
- [10] Murakami P, Schaberg P, Shane J. Stem girdling manipulates leaf sugar concentrations and anthocyanin[J]. Tree Physiology, 2008, 28: 1467-1473.
- [11] Lloyd J, Zakhleniuk O. Responses of primary and secondary metabolism to sugar accumulation revealed by microarray expression analysis of the *Arabidopsis* mutant, *pho3* [J]. Journal of Experimental Botany, 2004,55(400):1221-1230.
- [12] Zhou Z, Wang M, Wang J. Nitrate and nitrite contamination in vegetables in China[J]. Food Reviews International, 2000,16:61-76.

## Effect of Excess Phosphorus on Growth, Yield and Quality of Chinese Flowering Cabbage

KANG Yun-yan, FENG Xin-fu, YANG Xian

(South China Agricultural University, Guangdong, Guangzhou 510642)

**Abstract:** The effects of different phosphorus(P) doses in the nutrient solution on growth, yield and quality of Chinese flowering cabbage (*Brassica parachinensis*) were investigated. The results showed that compared with normal phosphorus(1 mmol/L  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) treatment, root applied  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  from 3 to 7 mmol/L produced significantly stunted growth and yield, and addition with 5 and 7 mmol/L  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  resulted in increased root to shoot ratios. Both anthocyanin in flower stalk epidermis and soluble sugar concentration increased while nitrate concentration decreased with the increasing  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  from 1 to 7 mmol/L in nutrient solution.

**Key words:** Chinese flowering cabbage; excess phosphorus; growth; yield; quality