

## 硝态氮对不结球白菜产量与主要营养品质及硝酸盐含量的影响

孙菲菲, 李英, 侯喜林\*, 王建军, 陶洁

(南京农业大学作物遗传与种质创新国家重点实验室/园艺学院, 江苏 南京 210095)

**摘要:** 以对硝酸盐诱导较敏感的不结球白菜品种苏州青为材料, 采用无土栽培法, 研究营养液中不同浓度硝态氮 (0、4、8、12、16、20 mmol · L<sup>-1</sup>) 对植株产量、主要营养品质及硝酸盐含量的影响, 为不结球白菜生产及施肥提供理论依据。结果表明: 地上部产量随 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的增加而增加, 但是 20 mmol · L<sup>-1</sup> 时植株的生长量反而有所下降; 可溶性糖含量与维生素 C 含量变化趋势相同, 除 0 mmol · L<sup>-1</sup> 处理外, 二者与供氮水平呈负相关; 可溶性蛋白含量在 16 mmol · L<sup>-1</sup> 处理中达到最大, 20 mmol · L<sup>-1</sup> 处理中略有下降。处理后不同器官的硝酸盐浓度也有所不同, 叶柄中的硝酸盐含量明显高于叶片和根系; 硝酸还原酶活性在叶片中最高, 且与硝酸盐含量无明显相关性。综合各项测定指标, 硝态氮浓度为 12 mmol · L<sup>-1</sup> 时, 不结球白菜产量高, 硝酸盐含量低且可溶性糖、可溶性蛋白、维生素 C 含量也都处于较高水平。

**关键词:** 不结球白菜; 产量; 营养品质; 硝酸盐; 硝酸还原酶

中图分类号: S634.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-2030 (2008) 02-0037-04

## Effect of different NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N concentration on yield, nutrient quality and nitrate content of *Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino

SUN Fei-fei, LI Ying, HOU Xi-lin\*, WANG Jian-jun, TAO Jie

(State Key Laboratory of Crop Genetics and Germplasm Enhancement/College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** Nitrate sensitive non-heading Chinese cabbage Suzhouqing (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino) was cultivated in soilless substrate irrigating with nutrient solution with five nitrate concentrations (0, 4, 8, 12, 16 and 20 mmol · L<sup>-1</sup>). The results showed that the shoot fresh weight increased most rapidly with NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N supply except the treatment of 20 mmol · L<sup>-1</sup>. Vitamin C and soluble sugar content changed similarly, and they presented negative correlation with nitrogen concentration except the treatment of 0 mmol · L<sup>-1</sup>. However, soluble protein content reached the highest at 16 mmol · L<sup>-1</sup> and had a little decrease at 20 mmol · L<sup>-1</sup>. Nitrate content in roots, petioles and leaves increased with NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N supply. Generally, the maximum nitrate concentration was observed in the petioles while the lowest in the roots. The highest nitrate reductase activity (NRA) was found at 4 mmol · L<sup>-1</sup>. In addition, there was no obvious relationship between NRA and nitrate concentration in the plants. In conclusion, the NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N of 12 mmol · L<sup>-1</sup> was the best concentration for non-heading Chinese cabbage growing.

**Key words:** *Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino; yield; nutrient quality; nitrate; nitrate reductase activity (NRA)

近年来, 为提高蔬菜作物的产量, 大量偏施或超施氮肥, 造成蔬菜品质恶化, 硝酸盐积累量显著上升<sup>[1]</sup>。在无公害蔬菜生产中, 如何降低叶菜类蔬菜硝酸盐含量, 使之达到安全食品的要求, 是一项十分重要的任务。研究表明, 硝态氮积累量因作物种类、品种和器官而有显著差别<sup>[2]</sup>; 硝酸还原酶活性也因不同作物、器官而有较大差异<sup>[3]</sup>。不结球白菜 (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino) 是南方地区普遍种植的蔬菜, 在蔬菜的周年供应中起着举足轻重的作用<sup>[4]</sup>。但是不结球白菜的硝酸盐污染十分严重, 这对人们的健康构成了潜在的威胁。

以不结球白菜品种苏州青为供试材料, 笔者研究了不同硝态氮水平下其地上部产量, 主要营养品质, 根、叶柄及叶片的硝酸盐含量及硝酸还原酶活性, 目的在于揭示硝态氮对不结球白菜品质的影响程

收稿日期: 2007-01-15

基金项目: 江苏省高新技术研究项目 (BG2004311)

作者简介: 孙菲菲, 博士研究生。\* 通讯作者: 侯喜林, 教授, 博导, 从事蔬菜遗传育种及分子生物学研究, E-mail: hxl@njau.edu.cn。

度, 为不结球白菜无公害栽培施肥技术提供科学依据, 并探讨硝酸盐积累与硝酸还原酶活性的关系。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

以对硝酸盐诱导较敏感的不结球白菜品种苏州青为试验材料, 由南京农业大学园艺学院不结球白菜课题组提供。种子消毒后催芽, 播在装有蛭石和珍珠岩的育苗盘中, 出苗后浇去离子水, 7 d 后浇 1/4 Hoagland 营养液, 以长有 3 片真叶的幼苗作为试验材料。

### 1.2 方法

**1.2.1 处理方法** 参照 Hoagland And Aron 营养液配方并对配方进行改造: 保持  $K^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $PO_4^{3-}$ 、 $SO_4^{2-}$  等离子的平衡, 去除  $NH_4^+-N$ , 全部采用  $NO_3^- - N$ , 由  $NaNO_3$  和  $KNO_3$  提供营养液中的  $NO_3^- - N$ , 共设置 6 个  $NO_3^- - N$  水平, 浓度分别为 0、4、8、12、16、20  $mmol \cdot L^{-1}$ 。待幼苗长至 3 片真叶时移植到装有蛭石和珍珠岩的营养钵, 每处理 10 株, 置玻璃温室内培养, 确保各处理除  $NO_3^- - N$  水平外其他生长条件一致。每天上午在正常光照 2 h 后浇营养液, 营养液浇于基质中, 每株每日 60 mL。14 d 后测定各指标。

**1.2.2 采样及测定** 在正常光照 2 h 后采样。采下的植株挂好标签, 用自来水洗去根系表面粘附的基质, 并立即用吸水纸擦干。测定各处理的地上部鲜重, 分别测定叶片的可溶性蛋白含量、可溶性糖含量、维生素 C 含量, 各处理的根、叶柄、叶片的硝酸盐含量以及叶柄、叶片的硝酸还原酶活性。

硝酸盐含量采用硫酸-水杨酸比色法测定; 硝酸还原酶活性 (NRA) 测定方法参照李合生等<sup>[5]</sup> 离体测定法测定, 以每小时每克鲜样产生的  $NO_2^-$  ( $\mu g$ ) 表示; 可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G-250 染色法; 可溶性糖含量采用蒽酮比色法; 维生素 C 含量采用 1,10-菲罗啉比色法。

## 2 结果与分析

### 2.1 $NO_3^- - N$ 对不结球白菜生长的影响

在不同浓度  $NO_3^- - N$  处理不结球白菜过程中, 可观察到除 0  $mmol \cdot L^{-1}$  处理的植株矮小, 叶片发黄, 叶柄发红外, 其他处理均生长良好, 但无明显差异。如图 1 所示, 随着施  $NO_3^- - N$  量的增加, 植株地上部产量随之增加, 表明施用氮肥在一定程度上增加作物产量。12、16  $mmol \cdot L^{-1}$   $NO_3^- - N$  处理的地上部鲜重无显著差异, 20  $mmol \cdot L^{-1}$  处理的地上部鲜重有所下降。

### 2.2 $NO_3^- - N$ 对不结球白菜硝酸盐含量及硝酸还原酶活性的影响

由图 2 可知, 随着施  $NO_3^- - N$  量的增加, 叶片、叶柄和根系中的硝酸盐含量都有所增加, 叶柄中的硝酸盐含量上升最快, 而叶片和根系中的硝酸盐吸收相对叶柄较缓慢。8、12、16  $mmol \cdot L^{-1}$   $NO_3^- - N$  处理的硝酸盐含量从大到小顺序均为叶柄、根系、叶片, 而 0、4  $mmol \cdot L^{-1}$   $NO_3^- - N$  处理则分别是叶片和根系的硝酸盐含量最高, 另外当  $NO_3^- - N$  浓度为 20  $mmol \cdot L^{-1}$  时虽然叶柄的硝酸盐含量仍保持最高, 但是此时叶片的硝酸盐含量高于根系。

从图 3 可见, 除 0  $mmol \cdot L^{-1}$  处理外, 其他处理叶片的 NRA 都明显高于叶柄, 并且表现出相似的变化趋势。 $NO_3^- - N$  浓度为 0~8  $mmol \cdot L^{-1}$  时, 叶片和叶柄的 NRA 随着施  $NO_3^- - N$  浓度的增加而迅速升高, 8  $mmol \cdot L^{-1}$  时达到最大, 但是在 12  $mmol \cdot L^{-1}$  时, 叶片和叶柄的 NRA 都有所下降。略有不同的是, 叶片的 NRA 在 8、16、20  $mmol \cdot L^{-1}$  时相近, 呈现“V”字型波动, 而叶柄的 NRA 在 12、16、20  $mmol \cdot L^{-1}$  条件下基本没有显著变化。

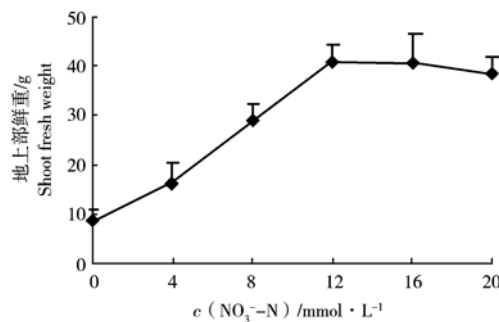


图 1 不同浓度  $NO_3^- - N$  对不结球白菜地上部产量的影响  
Fig.1 Effect of different concentration of  $NO_3^- - N$  on shoot yield of non-heading Chinese cabbage

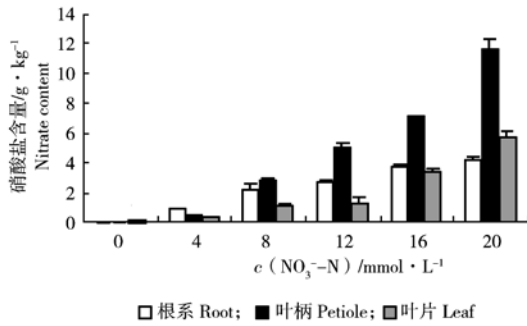


图 2 不同浓度 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 对不结球白菜不同部位硝酸盐含量的影响

Fig. 2 Effect of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N supply on nitrate content of different parts of non-heading Chinese cabbage

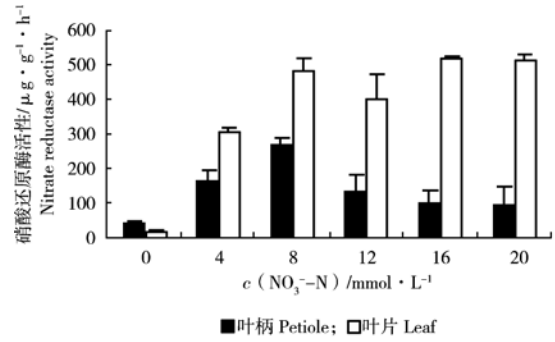


图 3 不同浓度 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 对不结球白菜不同部位硝酸还原酶活性的影响

Fig. 3 Effect of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N supply on nitrate reductase activity of different parts of non-heading Chinese cabbage

2.3 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 对不结球白菜营养品质的影响

由表 1 可见，随着 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 浓度的增加，可溶性蛋白含量增加，至 20 mmol·L<sup>-1</sup> 时有所下降，各处理间差异不显著。可溶性糖含量与氮素水平呈明显的负相关关系 (r = -0.861 1)，4 ~ 12 mmol·L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 处理差异显著。维生素 C 含量与可溶性糖含量具有相同的变化趋势。

表 1 不同供氮水平对不结球白菜营养品质的影响

Table 1 Effect of different nitrogen concentration on the nutrition quality of non-heading Chinese cabbage

c (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N) /mmol·L <sup>-1</sup>	可溶性蛋白含量/mg·g <sup>-1</sup> Soluble protein content	可溶性糖含量/mg·g <sup>-1</sup> Soluble sugar content	维生素 C 含量/mg·g <sup>-1</sup> Vitamin C content
0	18.32 ± 0.32 <sup>b</sup>	3.22 ± 0.48 <sup>c</sup>	48.81 ± 3.46 <sup>b</sup>
4	19.33 ± 0.48 <sup>ab</sup>	7.49 ± 0.79 <sup>a</sup>	54.99 ± 2.39 <sup>a</sup>
8	19.48 ± 0.27 <sup>ab</sup>	4.68 ± 0.25 <sup>b</sup>	54.39 ± 4.72 <sup>ab</sup>
12	19.68 ± 0.21 <sup>a</sup>	3.59 ± 0.31 <sup>c</sup>	53.66 ± 2.79 <sup>ab</sup>
16	20.45 ± 0.25 <sup>a</sup>	2.98 ± 0.30 <sup>bc</sup>	52.22 ± 1.96 <sup>ab</sup>
20	20.16 ± 0.21 <sup>a</sup>	2.53 ± 0.41 <sup>c</sup>	51.52 ± 4.82 <sup>ab</sup>

注：同列上标字母不同表示差异显著 (P < 0.05)。Different superscript letters within a column represent significantly at 5% level.

3 讨论

3.1 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 与植物生长和硝酸盐积累的关系

在高等植物中，硝酸盐的吸收和积累与外源硝酸盐供应高度相关<sup>[6]</sup>。本试验中，NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 浓度小于 12 mmol·L<sup>-1</sup> 时不结球白菜地上部产量与硝态氮供应呈正相关，当达到 20 mmol·L<sup>-1</sup> 时，地上部产量反而降低。这表明高硝酸盐供应表现出毒性而阻碍植物生长。因此，由高硝酸盐供应引起的植物体内硝酸盐积累不仅对人体的健康有害<sup>[7-8]</sup>，而且对植物生长也有害<sup>[9]</sup>。

3.2 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 水平与植物体内硝酸盐分布的关系

本试验中，8、12、16、20 mmol·L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 处理的硝酸盐含量都是叶柄最高，叶片中的硝酸盐含量低，这与任祖淦等<sup>[10]</sup>的结果一致。这是因为叶片是硝酸盐还原的主要器官，植物吸收的硝态氮最终要在这里还原同化成含氮有机物。而茎、叶柄主要是输导器官，对硝酸盐的还原能力远低于叶片，硝态氮在茎、叶柄中不能及时还原同化，故而叶片中的硝酸盐含量较少；另一方面，硝酸盐主要是在细胞的液泡中累积，构成茎叶类蔬菜茎及叶柄的主要部分是导管和薄壁组织，而薄壁细胞中的液泡大于叶肉组织的液泡。因此，从结构和功能来看，茎、叶柄更有利于积累硝酸盐。

值得注意的是，0 mmol·L<sup>-1</sup> 和 4 mmol·L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 处理表现出与其他处理不同的硝酸盐含量分布。在 0 mmol·L<sup>-1</sup> 处理中，不结球白菜硝酸盐含量从大到小依次为叶片、叶柄、根，且叶片远远大于根和叶柄。可能是由于长时间的氮胁迫下，植物为了维持正常的生长和能量供应，需及时将氮化合物运入叶片参与代谢，而在 4 mmol·L<sup>-1</sup> 水平，植物不再受氮胁迫，可以正常生长，但由于生长量缓慢，根系吸收的氮来不及转运出去就被还原，因而根中的硝态氮浓度最高。

3.3 叶片中硝酸盐积累与 NRA 的关系

硝酸还原酶 (NR) 被认为是高等植物硝酸盐代谢的限速酶，催化硝酸盐还原为亚硝酸盐，可被硝

酸盐诱导。因此 NR 对植物硝酸盐积累影响很大。但是, 硝酸还原酶活性 (NRA) 和硝酸盐浓度之间的关系至今还不明确。有研究指出, 高的 NRA 可降解更多的硝酸盐, 所以 NRA 和硝酸盐浓度之间是负相关的<sup>[11]</sup>。但是大多数研究表明, 由于 NR 是一种底物诱导酶, 植物中硝酸盐底物浓度高, NRA 也比较高, 因此它们之间是正相关的<sup>[12]</sup>。本研究表明, 只有当  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  供应较低时, 对 NRA 产生正效应, 当在较高的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  供应时, NRA 达到一个稳定的水平甚至稍有下降。因此, 只以植物体内硝酸盐的浓度来估测 NRA 是不充分的。

### 3.4 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 水平与不结球白菜主要营养品质的关系

研究表明, 在结球莴苣中维生素 C 含量随着供氮水平的增加呈先升高后降低的趋势<sup>[13]</sup>, 在大白菜中却发现维生素 C 含量与氮供应水平呈负相关<sup>[14]</sup>。本试验结果表明, 不结球白菜维生素 C 含量随着  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  供应量的增加而降低, 这与对大白菜的研究结果一致。

硝酸盐含量是蔬菜重要的卫生品质指标之一。本试验中不结球白菜的硝酸盐含量随着  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  水平的增加而升高,  $0 \sim 12 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  处理下增加较缓慢, 大于  $12 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  处理硝酸盐积累迅速。因此, 综合考虑蔬菜的产量、营养品质及硝酸盐含量等指标,  $12 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  为不结球白菜最适施氮标准。

#### 参考文献:

- [1] 汪李平, 向长萍, 王运华. 武汉地区夏季蔬菜硝酸盐含量状况及其防治 [J]. 华中农业大学学报, 2000, 19(5): 497-499
- [2] 王朝辉, 李生秀. 蔬菜不同器官的硝态氮与水分、全氮、全磷的关系 [J]. 植物营养与肥料学报, 1996, 2(2): 144-152
- [3] Olday F C, Barker A V, Maynard D N. A physiological basis for different patterns of nitrate accumulation in two spinach cultivars [J]. Amer Soc Hort Sci, 1976, 101(3): 217-219
- [4] 侯喜林. 不结球白菜育种研究新进展 [J]. 南京农业大学学报, 2003, 26(4): 111-115
- [5] 李合生, 孙群, 赵世杰, 等. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 125-127
- [6] Devienne-Barret F, Justes E, Machel J M, et al. Integrated control of nitrate uptake by crop growth rate and soil nitrate availability under field conditions [J]. Ann Bot, 2000, 86: 995-1005
- [7] Ikemoto Y, Teraguchi M, Kobayashi Y. Plasma level of nitrate in congenital heart disease; comparison with healthy children [J]. Pediatr Cardiol, 2002, 23: 132-136
- [8] Ishiwata H, Yamada T, Yoshiike N, et al. Daily intake of food additives in Japan in five age groups estimated by the market basket method [J]. Eur Food Res Technol, 2002, 215: 367-374
- [9] Reddy K S, Menary R C. Nitrate reductase and nitrate accumulation in relation to nitrate toxicity in *Boronia megastigma* [J]. Physiologia Plantarum, 1990, 78: 430-434
- [10] 任祖淦, 邱孝煊, 蔡元呈, 等. 化学氮肥对蔬菜累积硝酸盐的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 1997, 3(1): 81-84
- [11] Wang Zhaohui, Li Shengxiu. Effect of nitrogen and phosphorus fertilization on plant growth and nitrate accumulation in vegetables [J]. J Plant Nutr, 2004, 27(3): 539-556
- [12] Ivashikina N V, Sokolov O A. Regulation of nitrate uptake and distribution in maize seedlings by nitrate, nitrite, ammonium and glutamate [J]. Plant Sci, 1997, 123: 29-37
- [13] Samuelson M E, Campbell W H, Larsson C-M. The influence of cytokinins in nitrate regulation of nitrate reductase activity and expression in barley [J]. Physiologia Plantarum, 1995, 93: 533-539
- [14] 李军, 董建恩, 刘兆辉, 等. 不同氮磷钾配比对大白菜产量和品质的影响 [J]. 山东农业科学, 2005(5): 35-36

责任编辑: 范雪梅