

## 叶菜类蔬菜不同部位的确态氮累积对氮肥的响应

陈宝明\* 王朝辉\*\* 王西娜 李生秀

西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100

**提要** 土壤盆栽油菜、小白菜和菠菜的叶柄对施氮的响应最为敏感。叶柄中硝态氮的累积量占整株蔬菜的一半以上(从54.9%到75.0%)。叶柄中硝态氮累积量与植物整株的硝态氮累积量呈极显著正相关。

**关键词** 硝态氮; 氮肥; 叶柄; 蔬菜; 菠菜

## Response of Nitrate Accumulation in Different Parts of Leafy Vegetables to Nitrogen Supply

CHEN Bao-Ming\*, WANG Zhao-Hui\*\*, WANG Xi-Na, LI Sheng-Xiu

College of Resources and Environment, Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China

**Abstract** Three leafy vegetables rape (*Brassica campestris* L.), Chinese cabbage (*Brassica chinensis* var. *oleifera* Makino et Nemoto) and spinach (*Spinacia oleracea* L.) were planted in plastic pots with tilled layer soil. The effects of N supply [five N levels, from 0 to 0.8 g (N)·kg<sup>-1</sup> (soil)] on the plant growth, nitrate concentration and accumulation in 3 leafy vegetables were studied. The results showed that the petiole was the most sensitive part to N application. In addition, the nitrate accumulation in petiole was over the half of that in the whole plant, ranged from 54.9% to 75.0%. There was significantly positive correlation between the nitrate in petiole and that in whole plant; the coefficient between them was the highest.

**Key words** nitrate; N fertilizer; petiole; vegetable; spinach

对大多数蔬菜来说, 硝态氮是作物吸收利用的主要氮素形态(Marschner 1995)。但氮肥施用过多, 不仅浪费资源, 还会导致过量的硝酸盐累积在蔬菜体内, 严重影响其品质(Ishiwata等2002; Matt等2001)。蔬菜中硝态氮累积一直是农业生产中的热点问题(Cárdenas-Navarro等1999), 如何调控施氮量, 既不影响蔬菜产量, 又不影响其品质, 向来是人们力求解决的问题(王西娜等2005; Hocking等1987)。

一般植株全氮和硝态氮含量常用于作物氮素营养诊断(Bouma 1983; Hocking等1987), 根据作物体内的硝态氮含量, 调控氮肥用量, 可保证蔬菜高产, 降低作物体内硝态氮的累积, 以及避免过量施用氮肥对环境造成的污染。Jenkins等(1982)的研究表明, 在指示作物氮营养水平中, 硝态氮比全氮更为灵敏和简便。我们以往的试验也表明, 施氮量较低时, 菠菜、小白菜和油菜的生长量随施氮量的提高而增大, 但施氮量达到一定水平后, 若再增加用量, 则蔬菜的生长量即

不再增加或增加不明显、甚至出现下降, 而蔬菜体内的硝态氮含量却随着氮肥用量的增加持续上升(Chen等2004; 刘忠等2004)。这表明蔬菜达到最高产量并不要求硝态氮也达到最大累积, 只要达到一定水平即可。可见, 并非蔬菜体内硝态氮含量越高, 产量就越高。

要调控施氮量首先要快速准确地了解植物对氮素的需求情况, 由于蔬菜不同部位的确态氮含量差异相当大(Chen等2004; 刘忠等2004; Gastal和Lemaire 2002; 陈宝明等2002), 所以应该通过测定来确定哪个部位的确态氮含量更能灵敏地反应出植物的氮素水平。本文用土培盆栽的油菜、小白菜和菠菜为材料, 分别测定了它们各部位的确态

收稿 2006-03-07 修定 2006-05-17

资助 国家自然科学基金(30370843, 39970429)和中国博士后基金(2005038491)。

\*现通讯地址: 中山大学生命科学学院, 广州 510275。

\*\* 通讯作者(E-mail: w-zhaohui@263.com, Tel: 029-87092475)。

氮含量,并分析了硝态氮在不同部位的累积分配与蔬菜生长的关系,以确定蔬菜的哪个部位可用于反映蔬菜氮素水平,以期为蔬菜施肥和调控蔬菜体内硝态氮含量参考。

### 材料与方法

试验在我校农作一站玻璃温室内进行。土壤采自大田耕层,系红油土,前茬为小麦。土壤有机质含量为 $11.19 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,全氮为 $0.91 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,硝态氮为 $37.45 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,铵态氮为 $13.15 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,Olsen-P为 $23.93 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效钾为 $97.65 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,pH 7.78。实验材料为小白菜(*Brassica chinensis* var. *oleifera* Makino et Nemoto)品种黑油菜,油菜(*Brassica campestris* L.)品种‘秦油1号’和菠菜(*Spinacia oleracea* L.)品种‘宁夏圆叶’。

设0、0.20、0.40、0.60和0.80  $\text{g (N)}\cdot\text{kg}^{-1}$  (土)5个氮水平,每处理重复3盆。于1999年10月12日种植,每盆装土4 kg (以干土计),每kg土施0.30  $\text{g P}_2\text{O}_5$  (12%的过磷酸钙),全部与土混匀作基肥,氮肥为尿素,施用2次,总施用量的1/2与土混匀基施,其余1/2于植株长出4片真叶时随水灌入,定植6株,土壤水分含量保持在

20%。于2000年2月25日进行采样。测定根、叶柄、叶片和茎的鲜重、水分含量以及硝态氮含量。植物含水量用烘干法测定,先将植物鲜样于 $90^\circ\text{C}$ 下烘30 min杀青,然后于 $60^\circ\text{C}$ 下烘干至恒重,用鲜重和烘干后重量的差值计算水分含量,水分含量以鲜重(FW)表示。植株各部位硝态氮含量采用研磨浸提法(王朝辉和李生秀1996),将新鲜样品制成待测液后,用连续流动分析仪(FIASTAR 5000)测定待测液中的硝态氮含量。整株的鲜重为各器官之和,整株水分含量和硝态氮含量为各部位的加权平均值。

### 结果与讨论

#### 1 施氮对蔬菜各部位生长的影响

从表1可以看出,施用氮肥能明显提高蔬菜产量,除根系外,整株和各部位的生长量随着氮肥用量的变化上是一致的,均呈先增后减的趋势。3种蔬菜整株的生长量均在施氮量为0.20 g时达到最大,而各部位生长量则在施氮量0.20~0.40 g时较高。随着施氮量的进一步提高,生长即受抑制。3种蔬菜中,以小白菜的生长量为最大,油菜居中,菠菜最小,施氮量为0.20 g时的增加值

表1 不同氮水平下3种蔬菜各部位的生长量

Table 1 Biomasses of root, stem, petiole and leaf blade of the 3 vegetables at different N concentrations

蔬菜种类	氮水平/ $\text{g (N)}\cdot\text{kg}^{-1}$ (土)	生长量/ $\text{g (FW)}\cdot\text{株}^{-1}$				
		根	茎	叶柄	叶片	整株
油菜	0	4.12	1.77	1.63	2.53	10.04
	0.20	2.42	3.38	8.93	11.21	25.93
	0.40	3.71	2.98	9.90	10.38	23.95
	0.60	0.90	2.64	7.90	7.04	18.48
	0.80	0.87	0.95	3.54	3.92	9.28
小白菜	0	3.13	—	6.08	3.82	13.03
	0.20	2.27	—	20.65	9.71	32.63
	0.40	1.41	—	19.51	10.53	31.44
	0.60	0.92	—	13.57	7.46	21.95
	0.80	1.51	—	7.28	5.38	14.17
菠菜	0	1.42	—	1.73	3.38	6.53
	0.20	1.44	—	5.12	6.99	13.54
	0.40	1.10	—	4.12	5.69	10.90
	0.60	1.18	—	2.88	4.45	8.51
	0.80	0.35	—	1.68	2.45	4.47

“—”表示蔬菜未长出该部位。下表同此。

分别是 19.60、15.89 和 7.01 g·株<sup>-1</sup>。3 种蔬菜不同部位的生长对氮肥的响应也明显不同, 叶柄和叶片的生长量随着氮水平变化而变化的趋势与整株极其相似, 根的变化无明显规律。随着氮水平的提高, 叶柄增长速度最快, 施氮量为 0.20 g 时, 油菜、小白菜和菠菜叶柄的生长量分别是不施氮时的 5.5 倍、3.4 倍和 3.0 倍; 而 3 种蔬菜叶片的生长量依次是不施氮的 4.4 倍、2.5 倍和 2.1 倍, 说明施用氮肥后叶柄生长对氮肥的反应最敏感。

## 2 不同氮水平下蔬菜各部位硝态氮的累积

表 2 和表 3 结果表明:

(1) 施氮量不高于 0.60 g 时, 3 种蔬菜各部位硝态氮含量均随氮肥用量的增加而升高, 施氮量大于 0.60 g 时, 各部位硝态氮含量均出现不同程度的下降。各部位的最高硝态氮含量与不施氮时的相比, 叶柄的硝态氮含量增加幅度最大。如油菜叶柄硝态氮含量在施氮量 0.60 g 时最高, 是不施氮的 48.6 倍; 小白菜和菠菜在施氮量 0.80 g 时最高, 分别为不施氮的 25.7 倍和 12.7 倍; 油菜茎在施氮量 0.20 和 0.40 g 时, 增加 35 倍多; 施氮后, 3 种蔬菜根和叶中硝态氮含量的最大值为各自不施氮时的 10 倍左右。可见, 叶柄中硝态氮含量对氮肥的反应最敏感。从 3 种蔬菜 5 个氮

水平下各部位硝态氮含量来看, 叶柄的硝态氮含量最高, 叶片的最低。油菜叶柄的硝态氮含量分别是根、茎、叶片的 2.8 倍、1.6 倍和 3.9 倍; 小白菜叶柄的硝态氮含量分别是根和叶片的 2.7 倍和 2.8 倍; 菠菜叶柄的硝态氮含量分别是根和叶片的 2.1 倍和 3.5 倍。

(2) 蔬菜硝态氮累积量是硝态氮含量与鲜重的乘积, 各部位硝态氮累积量占整株累积量的比例可反映各部位对硝态氮累积的贡献大小。表 3 结果表明, 不施氮时, 根中硝态氮累积量所占比例最大, 施氮量超过 0.20 g 时叶柄和叶片所占比例迅速增加, 且以叶柄中累积硝态氮的比例最高, 其次为叶片及油菜茎, 根最低。不施氮时, 根系累积硝态氮较多, 其原因可能是: ①低氮水平下, 整株生长量小, 导致根系占整株生长量的比例较大; ②低氮水平下可供作物吸收利用的硝态氮有限, 大部分已在根部还原, 没有更多的硝态氮可以向地上部运输 (Chen 等 2004; Jeschke 和 Hartung 2000)。

另外, 比较 3 种蔬菜各部位硝态氮累积量与整株累积量的相关性的结果表明, 各部位硝态氮累积量与整株累积量呈正相关, 根与整个植株的  $r$  值, 油菜为 0.7328; 小白菜为 0.8729; 菠菜为

表2 不同氮水平下3种蔬菜各部位硝态氮含量

Table 2 Nitrate contents in root, stem, petiole and leaf blade of the 3 vegetables at different N concentrations

蔬菜种类	氮水平/ g (N)·kg <sup>-1</sup> (土)	硝态氮含量/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW)				
		根	茎	叶柄	叶片	整株
油菜	0	130.6	56.5	55.2	59.7	87.4
	0.20	309.8	674.8	1781.7	549.7	967.7
	0.40	768.2	1994.5	2680.9	840.8	1742.2
	0.60	1018.4	1988.2	2682.5	636.3	1718.5
	0.80	1194.6	1144.4	2427.9	389.1	1316.6
小白菜	0	116.5	—	92.6	36.4	81.9
	0.20	391.7	—	1566.6	585.7	1192.4
	0.40	849.6	—	1588.2	609.9	1226.9
	0.60	896.7	—	2171.9	748.8	1635.6
	0.80	583.1	—	2381.0	807.3	1592.3
菠菜	0	172.8	—	108.1	35.2	85.2
	0.20	392.3	—	1245.5	387.1	711.2
	0.40	614.4	—	1311.8	405.9	770.2
	0.60	705.4	—	1369.6	337.1	736.9
	0.80	740.9	—	1523.9	419.8	865.2

表3 三种蔬菜各部位硝态氮累积量占总量的比率

Table 3 The percentages of nitrate contents in root, stem, petiole and leaf blade of the 3 vegetables of the total content

蔬菜种类	氮水平/ g (N)·kg <sup>-1</sup> (±)	硝态氮绝对累积量占总量的比例/%			
		根	茎	叶柄	叶片
油菜	0	61.2	11.4	10.2	17.2
	0.20	2.8	8.9	63.9	24.4
	0.40	6.8	14.2	63.7	20.8
	0.60	3.1	16.0	66.8	14.0
	0.80	8.5	8.9	70.0	12.6
小白菜	0	34.2	—	52.8	13.0
	0.20	2.3	—	83.0	14.7
	0.40	3.1	—	80.3	16.7
	0.60	2.3	—	82.2	15.4
	0.80	3.8	—	76.6	19.6
菠菜	0	44.2	—	34.3	21.5
	0.20	6.0	—	65.9	28.1
	0.40	8.0	—	64.6	27.4
	0.60	13.2	—	62.9	23.9
	0.80	7.0	—	65.9	27.1

0.6500。茎与整株的  $r$  值, 油菜为 0.9610。叶柄与整株的  $r$  值, 油菜为 0.9982; 小白菜为 0.9991; 菠菜为 0.9990。叶片与整株的  $r$  值, 油菜为 0.9380; 小白菜为 0.9840; 菠菜为 0.9949。除根与整株的相关性未达到显著水平外, 其它器官部位与整株均呈显著的正相关, 特别是叶柄与整株的相关系数最高, 达到极显著水平。

总之, 蔬菜各部位中, 叶柄的硝态氮含量最高; 施用氮肥后, 硝态氮含量升高最快; 对整株累积硝态氮总量的贡献最大; 与整株硝态氮累积的相关性最好, 大致可以反映整株硝态氮的变化趋势。据此认为, 可以代表植物整株生长与硝态氮含量的关系。

### 参考文献

陈宝明, 王朝辉, 李生秀(2002). 菠菜叶片中硝态氮代谢库的测

定. 植物生理学通讯, 38 (2): 124~126

- 刘忠, 王朝辉, 陈宝明, 李生秀(2004). 菠菜叶片中硝态氮还原与叶柄中硝态氮累积的关系. 植物生理学通讯, 40 (3): 281~284
- 王朝辉, 李生秀(1996). 蔬菜不同器官的硝态氮含量与水分、全氮、全磷含量的关系. 植物营养与肥料学报, 2 (2): 144~152
- 王西娜, 王朝辉, 陈宝明, 李生秀(2005). 不同品种菠菜叶柄和叶片的硝态氮含量及其与植株生长的关系. 植物营养与肥料学报, 11 (5): 675~681
- Bouma D (1983). Diagnosis of mineral deficiencies using plant tests. In Lauchli A, Bielecki RL (eds). Inorganic Plant Nutrition, Encyclopedia of Plant Physiology (New Series). Vol 15A. Berlin: Springer-Verlag, 120~146
- Cárdenas-Navarro R, Adamowicz S, Robin P (1999). Nitrate accumulation in plants: a role for water. J Exp Bot, 50: 613~624
- Chen BM, Wang ZH, Li SX, Wang GX, Song HX, Wang XN (2004). Effects of nitrate supply on plant growth, nitrate accumulation, metabolic nitrate concentration and nitrate reductase activity in three leafy vegetables. Plant Sci, 167: 635~643
- Gastal F, Lemaire G (2002). N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. J Exp Bot, 53: 789~799
- Hocking PJ, Randall PJ, Pinkerton A (1987). Mineral nutrition of linseed and fiber flax. Adv Agron, 41: 221~292
- Ishiwata H, Yamada T, Yoshiike N, Nishijima M, Kawamoto A, Uyama Y (2002). Daily intake of food additives in Japan in five age groups estimated by the market basket method. Eur Food Res Technol, 215: 367~374
- Jenkins JN, Nichols Jr JR, McCarty Jr JC, Parrot WL (1982). Nitrate in petioles of three cottons. Crop Sci, 22: 1230~1233
- Jeschke WD, Hartung W (2000). Root-shoot interaction in mineral nutrition. Plant Soil, 226: 57~69
- Marschner H (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. London: Academic Press, 229~312
- Matt P, Geiger M, Walch-Liu P, Engels C, Krapp A, Stitt M (2001). The immediate cause of the diurnal changes of nitrogen metabolism in leaves of nitrate-replete tobacco: a major imbalance between the rate of nitrate reduction and the rates of nitrate uptake and ammonium metabolism during the first part of the light period. Plant Cell Environ, 24: 177~190