

氮素形态、用量及施用时期对小青菜 产量和硝酸盐含量的影响

王强, 姜丽娜*, 符建荣, 汪建妹, 马军伟

(浙江省农业科学院环境资源与土壤肥料研究所, 浙江杭州 310021)

摘要: 采用田间试验研究了氮素形态、用量及施用时期对小青菜产量和硝酸盐含量的影响。结果表明, 等氮量施肥下, 产量最高的是硝酸钙、尿素 + 微量元素处理; 尿素、有机无机复混肥和碳酸氢铵处理间无显著差异, DMPP 处理产量最低; 追施微量元素能提高小青菜的产量。硝酸盐含量随着收获时期的延后而降低, 有机无机复混肥处理则略有升高, 但未达到显著水平; 收获期取样时, 不同氮肥对硝酸盐的积累是: 硝酸钙 > DMPP > 尿素 > 有机无机复混肥 > 尿素 + 微量元素 > 碳酸氢铵。配施微量元素及氮磷钾的协同吸收均能降低硝酸盐含量。综合考虑产量和品质指标, 以有机无机复混肥处理效果较好。小青菜产量和 Vc 含量随着施氮量的提高而提高, 但硝酸盐含量也随之提高; 小青菜产量和 Vc 含量随着施氮时期的延后而降低, 硝酸盐含量高峰出现在追肥后 20d 左右。

关键词: 氮素形态; 施氮时期; 小青菜; 硝酸盐

中图分类号: S636.9; S147.2

文章编号: A

文章编号: 1008-505X(2008)01-0126-06

Effects of form, rate and time of N fertilizer application on yield and nitrate content of greengrocery

WANG Qiang, JIANG Li-na*, FU Jian-rong, WANG Jian-mei, MA Jun-wei

(Institute of Environmental Resources and Soil Fertilizer, Zhejiang Academy of Agricultural Science, Hangzhou 310021, China)

Abstract: The effects of different types and application methods of N fertilizer on greengrocery (*Brassica campestris* L. ssp. *Chinensis*) yield and nitrate content were investigated in a field experiment. Results showed that: ① At the same N fertilizer application rate, yield was highest with the calcium nitrate and urea + micronutrient treatments. The yield difference among urea, organic-inorganic fertilizer mixture and ammonium bicarbonate treatments was not significant, and the DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) treatment had the lowest yield among the six treatments. Top-dressing of micronutrients could enhance yield. The nitrate content declined with harvesting time, except the organic-inorganic fertilizer mixture treatment. At harvesting, underground-plant samples from the six treatments showed the following order of nitrate accumulation ability: calcium nitrate > DMPP > urea > organic-inorganic fertilizer mixture > urea + micronutrients > ammonium bicarbonate. The synergistic absorption of N with P and K could reduce nitrate content in plants. Considering the yield and quality together, the organic-inorganic fertilizer mixture treatment would be the best; ② Greengrocery yield and Vc content increased with N fertilizer rate, so was nitrate content; ③ Greengrocery yield and Vc content declined as the fertilization time was delayed. The accumulation peak of nitrate content in plants is 20 days after N fertilizer application.

Key words: fertilizer-nitrogen forms; N application time; greengrocery (*Brassica campestris* L. ssp. *Chinensis*); nitrate

收稿日期: 2007-01-25 接受日期: 2007-05-21

基金项目: 浙江省科技厅重大科技招标项目“蔬菜安全生产关键技术集成与示范(2224C12008-3)”; 无公害蔬菜生产技术规范的研究(沪农科攻字(2003)第9-1号资助)。

作者简介: 王强(1979—), 男, 浙江江山人, 硕士, 助理研究员, 主要从事新型肥料研制与开发以及无公害施肥技术研究。

Tel: 0571-86404302, E-mail: tfsfls@zaas.org. * 通讯作者 Tel: 0571-86404399, E-mail: tfsjz@zaas.org

随着人们对食品安全的重视和无公害食品的发展,硝酸盐对人体健康的影响受到越来越多的重视^[1-2]。蔬菜是一种易于富集硝酸盐的作物,人体积累的硝酸盐 81.2% 来自蔬菜。目前在蔬菜生产上,因盲目超量施用化学氮肥,致使土壤养分失衡,蔬菜硝酸盐含量超标的现象时有发生。影响蔬菜中硝酸盐累积的因素很多,其中施肥是最主要的因素之一。研究发现,氮素形态、用量、施用时期、有机无机配施以及喷施微量元素都能影响蔬菜的硝酸盐含量。据报道,氮肥的形态是蔬菜中硝酸盐积累的主要内源因子^[3],而氮肥用量是蔬菜中硝酸盐积累的主要外源因子^[4]。因此,明确不同氮素形态、氮肥用量及施用时间对小青菜硝酸盐含量的影响,通过施肥措施降低蔬菜中硝酸盐累积量,这对提高蔬菜的产量和品质,保障城乡人民健康有重要意义。但由于蔬菜品种、地域等的差异,研究结果不尽一致^[3]。本试验针对钱塘江沿岸冲积土壤中的小青菜(*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis*)生产,试图通过氮素形态、用量、有机无机配施以及施用微量元素等不同施肥措施的比较,研究施肥对小青菜硝酸盐含量和品质的影响,为发展无公害食品和绿色食品等提供相关依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

1.1.1 氮素形态对小青菜产量和品质的影响(试验 1) 试验设 6 个处理:①尿素(U);②硝酸钙(NCa);③碳酸氢铵(BA);④有机无机复混肥(O-IOF);⑤DMPP(含硝化抑制剂 DMPP 的硫硝铵);⑥尿素+微量元素(U+ME)。其中 DMPP 为含硝化抑制剂 3,4-二甲基吡唑磷酸盐(3,4-dimethylpyrazole phosphate)的硫硝铵,DMPP 含量为 1%。有机无机复混肥中 N:P₂O₅:K₂O 为 9:5:6,氮素形态为尿素态氮。微量元素溶液中含铁、锰、铜、锌、钼等元素。由于习惯施肥中秋季收获后施腐熟牛粪 30000 kg/hm²,各茬小青菜种植时施肥量较少,主要起追肥作用。试验各处理氮磷钾用量相同,各处理施 N 90 kg/hm²,磷、钾用量(按有机无机复混肥中的氮磷钾比例)分别为 50 kg/hm²和 60 kg/hm²。有机无机复混肥在播种前施入,其余处理参照常规施肥措施,50%氮肥在定苗后施,50%在定苗后 10 d 追施;微量元素在定苗后 10 d 喷施。

1.1.2 施氮量对小青菜产量和品质的影响(试验 2)

试验设 3 个处理,即:施尿素 N 45、90、135 kg/hm²。各处理 50% 氮肥在定苗后施,其余 50% 在定苗后 10 d 追施。

1.1.3 施氮时期对小青菜产量和品质的影响(试验 3) 试验设 3 个处理,即:①尿素播前施;②尿素在定苗时和定苗后 10 d 各施 50%;③尿素在定苗时和定苗后 20 d 各施 50%。各处理施 N 90 kg/hm²。除有机无机复混肥处理外,各处理分别按有机无机复混肥的氮磷钾比例,分别补充 P₂O₅ 45 kg/hm²和 K₂O 60 kg/hm²,保证各处理施肥量一致,磷肥用过磷酸钙,钾用硫酸钾,在移栽前一次施入。

1.2 试验方法

试验于 2005 年在杭州转塘中大公司基地进行。试验地土壤为小粉土,为钱塘江沿岸冲积土,钾含量较低。基本理化性状为:pH 为 6.5,碱解氮 217.61 mg/kg,速效磷 40.45 mg/kg,速效钾 17.5 mg/kg,有机质 23.08 g/kg。种植方式为小青菜连作,一年种植 5 次。常规栽培中一般在秋季收获后施 30000 kg/hm²腐熟牛粪,以后每次定苗时施挪威复合肥 250 kg/hm²,定苗后 10 d 左右追施 65 kg 尿素。

试验小青菜品种为矮抗青(*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis*),采用田间小区试验,重复 3 次。小区面积 4 m²。2005 年 9 月 9 日整地、播种。试验 1 中的有机无机复混肥处理和试验 3 中的尿素播前施肥处理在播种前施肥。10 d 后(9 月 19 日)定苗,定苗后 40 d(10 月 29 日)收割,测定各小区产量。分别于收获前 10 d 和收获期取样测定硝酸盐含量。硝酸盐含量采用紫外分光光度法测定;Vc 含量采用 2,6-二氯靛酚滴定法测定。植株养分的测定采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,氮用碱解扩散法,磷用钼锑抗比色法,钾用火焰光度法^[5]。

2 结果与分析

2.1 不同氮素形态对小青菜产量和硝酸盐含量的影响

在等氮量施肥下,不同氮素形态对小青菜产量有明显的影响(图 1)。产量最高的是硝酸钙和尿素+微量元素处理,和其余处理间差异显著。小青菜是喜硝态氮作物,因此施用硝酸钙产量最高。尿素+微量元素处理与单施尿素处理之间差异显著,追施微量元素处理产量提高了 18.6%,可能是因为设施栽培长期连作小青菜导致土壤养分不均衡,喷施微量元素后促进了小青菜的生长。有机无机复混肥、尿素、碳酸氢铵处理之间产量无明显差异,而

DMPP 处理则产量较低。有机无机复混肥和尿素处理间差异不显著,可能是因为试验处于夏季高温期,小青菜生长时间较短,有机肥的肥效未能体现。DMPP 产量最低,这一结果与许超等^[6]的结果不一致,可能和 DMPP 的合理使用有关,尚需深入研究。

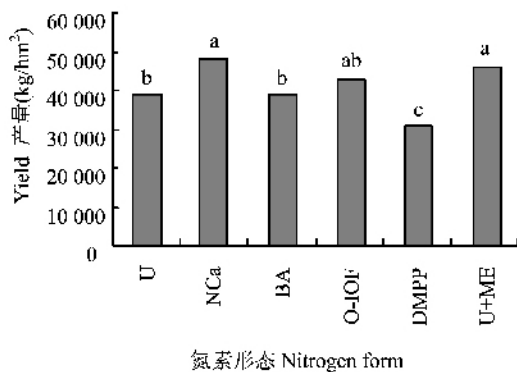


图 1 不同氮素形态对小青菜产量的影响

Fig.1 Effects of different N fertilizer forms on the yield of greengrocery

小青菜硝酸盐含量与氮素形态直接相关(表 1)。在等氮量下,施不同氮肥品种,青菜硝酸盐含量有较大的差异,同时还受到取样时间的影响。收获前 10 d,硝酸盐含量最高的是硝酸钙处理,最低的是碳酸氢铵处理,硝酸盐的积累能力为:硝酸钙 > DMPP > 尿素 > 尿素 + 微量元素 > 有机无机复混肥 > 碳酸氢铵;而收获期取样时为:硝酸钙 > DMPP >

尿素 > 有机无机复混肥 > 尿素 + 微量元素 > 碳酸氢铵,其趋势基本一致。从不同取样时间来看,有机无机复混肥处理在收获期取样时硝酸盐含量比收获前 10 d 取样略有升高,但处理未达到显著水平。其余处理硝酸盐含量均随着取样时间的延后而降低。杨保川等^[8]研究表明,叶面喷施钼、锰降低了莴苣硝酸盐含量;王德汉等^[7]的研究也表明,木质素螯合微肥能降低生菜硝酸盐含量。而林观捷等^[3]的研究则认为,喷施微量元素对菠菜硝酸盐含量无显著影响。本试验中尿素 + 微量元素处理在不同取样时间硝酸盐含量均低于单施尿素处理,在收获期取样时差异达到了显著水平。

不同氮素形态对小青菜营养特性的影响也有一定差异(表 1)。其中有机无机复混肥处理促进了氮、磷、钾的吸收。从营养特性上看,硝酸盐含量较低的有机无机复混肥处理磷、钾含量较高。刘明月等^[9]的研究表明,合理的氮磷钾配施能降低硝酸盐含量。本试验中虽然磷、钾施肥量一致,但有机无机复混肥处理提高了磷、钾的吸收,降低了硝酸盐的含量。

维生素 C 的含量与硝酸盐含量有一定的关系,高含量的维生素 C 能与亚硝酸迅速反应,生产一氧化氮,本身被氧化成脱氢抗坏血酸,从而降低蔬菜中硝酸盐含量。本试验中这一规律并不明显,可能受蔬菜品种的影响,同时也和小青菜生长引起的稀释效应有关。

表 1 不同氮素形态对小青菜营养特性和硝酸盐含量的影响

Table 1 Effects of different N fertilizer forms on the nutritional characteristics and nitrate content of greengrocery

氮素形态 N forms	全氮 Total N (%)	全磷 Total P ₂ O ₅ (%)	全钾 Total K ₂ O (%)	NO ₃ ⁻ 含量 Nitrate content (mg/kg)		Vc 含量 Vc content (mg/kg)
				收获前 10 d 10 d before harvesting	收获期 Harvesting time	
尿素 U	4.60 a	0.78 b	3.9 b	2157 d	2031 e	4.52 c
硝酸钙 NCa	4.48 c	0.81 a	3.7 c	2447 a	2373 b	5.69 a
碳酸氢铵 BA	4.66 b	0.81 a	4.2 b	1885 f	1793 g	5.23 bc
有机无机复混肥 O-IOF	5.04 a	0.82 a	4.5 a	1947 f	2009 ef	5.30 b
DMPP	4.32 c	0.83 a	4.7 a	2305 bc	2281 c	5.30 b
尿素 + 微量元素 U + ME	4.84 b	0.74 b	3.7 c	2012 de	1984 f	4.69 c

注(Note): NCa—Calcium nitrate; U + ME—Urea + microelement; O—IOF—Organic-Inorganic mixed fertilizer; U—Urea; BA—Ammonium bicarbonate. 各列中数字后面不同字母表示在 0.05 水平差异显著,下同 Values in each column followed by different letters are significantly different at $P < 0.05$. The same symbol was used for other tables.

2.2 施氮量对小青菜产量和硝酸盐含量的影响

常规施肥中一般在秋季收割后每公顷施 30000

kg 腐熟牛粪,小青菜种植时则施肥较少,因此本试验更多的是显示追肥对小青菜产量和硝酸盐含量的

影响。在尿素不同施肥量试验中,小青菜产量随着施氮量的提高而提高(图2)施 N135 kg/hm² 处理与 45 kg/hm²、90 kg/hm² 处理间差异达到了显著水平,而 45 kg/hm² 和 90 kg/hm² 处理之间差异不显著。

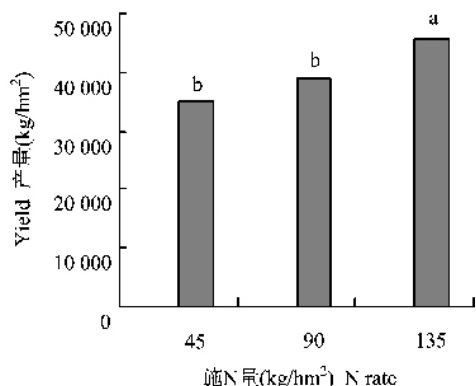


图2 不同施氮量对小青菜产量的影响

Fig.2 The effect of N fertilizer rate on greengrocery yield

表2 不同施氮量对小青菜营养特性和硝酸盐含量的影响

Table 2 The effects of N fertilizer rate on the nutritional characteristics and nitrate content of greengrocery

施氮量 N rate (kg/hm ²)	全氮 Total N (%)	全磷 Total P ₂ O ₅ (%)	全钾 Total K ₂ O (%)	NO ₃ ⁻ 含量 Nitrate content (mg/kg)		Vc 含量 Vc content (mg/kg)
				收获前 10 d	收获期	
				10 d before harvesting	Harvesting time	
45	4.77 c	0.84 a	3.9 a	1987 d	1953 d	5.32 a
90	4.96 b	0.78 a	3.9 a	2157 c	2031 d	4.93 b
135	5.04 a	0.80 a	3.8 a	2293 b	2378 a	4.52 c

2.3 不同施氮时期对小青菜产量和硝酸盐含量的影响

从尿素不同施用时期看,小青菜产量随施用时期的延后而降低,各处理间差异达到显著水平(图3)。尿素做基肥比定苗后 20 d 追肥产量提高了 63.8%。尿素的施用时期对小青菜硝酸盐含量的影响(表3)看出,播前施肥处理,在不同取样时间硝酸盐含量都最低;定苗后 10 d 施肥处理,在收获前 10 d 取样时,硝酸盐含量要低于定苗后 20 d 施肥处理,但在收获期取样时则较高。从不同取样时间看,播前施肥处理和定苗后 10 d 施肥处理硝酸盐含量随着取样时间的延后而降低;而定苗后 20 d 施肥处理则随着取样时间的延后而升高。植株的硝酸盐含量在施肥后有个吸收积累到转化的过程,从定苗后 10 d 和 20 d 施肥处理看,硝酸盐含量都在 20 d 时最高。Vc 含量则随施氮时期的延后逐渐提高。

植株氮含量随着施氮时期的延后而减少,而磷、

表2看出,硝酸盐含量随着施氮量的增加而增加。王朝辉等^[10]研究表明,氮肥用量与蔬菜中硝酸盐含量呈显著正相关。本试验中,收获前 10 d 取样,135 kg/hm² 处理硝酸盐含量比 45 kg/hm² 处理提高了 15.4%,处理间差异显著。可见施氮量是影响小青菜硝酸盐含量的主要因素。随着取样时间的延后,45 kg/hm² 和 90 kg/hm² 处理植株硝态氮含量降低,而 135 kg/hm² 则随取样时间的延后而升高,可能是由于施氮量较高,氮源充分,小青菜体内硝酸盐转化较慢,导致后期硝酸盐含量升高。小青菜 Vc 含量则随着施氮量的升高逐渐降低,高量处理只有低量处理的 84.9%。

不同施氮量处理中,小青菜植株氮含量随着施氮量的增加而增加;但磷和钾含量在低施氮量时较高。中、低施氮量时,硝酸盐含量也要低于高施氮量处理。其中磷、钾的协同吸收可能起了一定的作用。

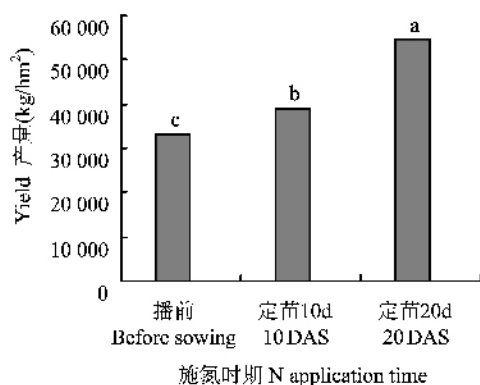


图3 不同施氮时期对小青菜产量的影响

Fig.3 The effect of N application time on greengrocery yield

(DAS—Days after final singling of seedling)

钾含量则随着施氮时期的延后而增加。与之相对应,硝酸盐含量在收获前 10 d 取样时也是随着磷、钾含量的增加而降低,这一趋势与其余两个试验一致。

表 3 不同施氮时期对小青菜营养特性和硝酸盐含量的影响

Table 3 The effects of N application time on the nutritional characteristics and nitrate content of greengrocery

施氮时间 N application time	全氮 Total N (%)	全磷 Total P ₂ O ₅ (%)	全钾 Total K ₂ O (%)	NO ₃ ⁻ 含量 Nitrate content (mg/kg)		Vc 含量 Vc content (mg/kg)
				收获前 10 d 10 d before harvesting	收获期 Harvesting time	
播前 Before sowing	4.99 a	0.71 b	3.2 b	2043 c	2015 c	4.22 b
定苗后 10 d 10 DAS	4.96 a	0.78 a	3.9 a	2157 b	2031 c	4.52 b
定苗后 20 d 20 DAS	4.80 b	0.77 a	4.1 a	2108 b	2257 a	5.21 a

DAS—Days after final singling of seedlings

3 讨论

蔬菜硝酸盐的含量除了受蔬菜种类,蔬菜品种等因素影响外,还直接受施肥品种,施肥方式的影响^[11]。铵态氮被蔬菜作物吸收后,立即参与含氮有机物合成,而硝态氮则要先还原成铵态氮,要消耗额外能量并在相应酶参与下方能进行,因而易在蔬菜体内积累。本试验中在等氮量施肥下,硝酸钙处理和尿素+微量元素处理产量最高,其次是有机无机复混肥处理,但硝酸钙和尿素处理同时提高了小青菜硝酸盐含量。碳酸氢铵处理由于单纯施用铵态氮,会抑制小青菜的生长,因而导致产量降低。综合产量和品质指标来看,有机无机复混肥处理效果较好。有机无机复混肥处理与尿素处理相比未能增加小青菜产量,可能和小青菜生长时间较短有关,但在控制硝酸盐含量方面比较理想,可能是由于有机质促进了土壤反硝化作用,降低了土壤中硝态氮的含量^[12]。另外有机无机复混肥中含有大量微生物,能活化土壤中的缓效养分,促进了磷、钾等元素的吸收,并能改善土壤的氧化还原条件,减少硝态氮含量,进而降低蔬菜中硝酸盐含量^[13]。喷施微量元素能有效地提高小青菜的产量,并降低硝酸盐含量,主要是由于喷施微量元素减缓了复种指数提高,导致土壤养分不平衡的影响。试验地土壤呈酸性,叶面喷施钼肥促进了小青菜的吸收。研究表明,采用根外施钼能降低蔬菜硝酸盐含量^[14],钼诱导并提高了硝酸还原酶的活性^[15],而NR是催化硝酸盐同化反应的限速酶,是蔬菜硝酸盐累积的主要内源因子^[16]。

小青菜产量随着施氮量的增加逐渐升高,但硝酸盐含量也随之升高;Vc含量则随着施氮量的增加而降低。在施低量和中量氮时,硝酸盐含量随着取样时间的延后而降低,但高施氮量处理则有所升高。可见,为了提高小青菜的品质,不宜盲目提高施肥量。本试验小青菜为连作,一般在秋季小青菜收

割后追施有机肥,因此每季种植时施肥量较低。在不同种植方式下,应根据土壤肥力确定适宜的施肥量。

小青菜产量随施肥时间的延后而降低。蔬菜硝酸盐含量还受施肥时间和收获时间的影响。研究表明,叶菜中硝酸盐含量的高峰一般在施肥后10d左右出现^[17]。本试验中,硝酸盐含量的高峰出现在施肥后20d左右,可能受蔬菜品种及施肥等因素的影响。王正银等^[18]的研究表明,小白菜硝酸盐含量与生长天数呈直线关系,延迟采收还能提高小白菜Vc,可溶性糖和氨基酸含量。因此,应根据植株长势和收获时间合理安排基肥和追肥比例及用量。

参考文献:

- [1] Cantliffe D J. Nitrate accumulation in vegetable crops as affected by photoperiod and light duration [J]. J. Am. Soc. Hort. Sci., 1972, 97(3):414-418.
- [2] Eichholzer M, Gultzwiler F. Dietary nitrates, nitrites, and N-nitroso-compounds and cancer risk: A review of the epi-demiological evidence [J]. Nutr. Rev., 1998, 56(4):95-105.
- [3] 林观捷,林家宝,陈火英. 影响蔬菜硝酸盐含量积累因素的探讨 [J]. 上海农学院学报, 1995, 13(1):47-52.
Li G J, Lin J B, Chen H Y. The discussing of the factor that influence the nitrate content accumulation on vegetables [J]. J. Shanghai Agric. Coll., 1995, 13(1):47-52.
- [4] 任祖淦,邱孝煌,蔡元呈,等. 施用化学氮肥对蔬菜硝酸盐的积累及其治理研究 [J]. 土壤通报, 1999, 30(6):265-267.
Ren Z G, Qiu X X, Cai Y C et al. Studies of the regulation and nitrate accumulation of vegetable under nitrogen fertilizer [J]. Chin. J. Soil Sci., 1999, 30(6):267-267.
- [5] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京:中国农业科技出版社, 2000.
Lu R K. Analysis methods for soil chemistry of agriculture [M]. Beijing: China Agricultural Sciencetech Press, 2000.
- [6] 许超,吴良欢,巨晓棠,张福锁. 含 DMPP 硫硝铵不同基追肥比例对小青菜硝酸盐累积及品质的影响 [J]. 科技通报, 2004, 20(5):464-467.
Xu C, Wu L H, Ju X T, Zhang F S. Effects of different ratios of basal application to top dressing of ammonium sulphat nitrate (ASN)

- fertilizer with DMPP on nitrate accumulation and quality of greengrocery[J]. *Bull. Sci. tech.*, 2004, 20(5):464-467.
- [7] 王德汉, 彭俊杰, 廖宗文. 木质素螯合微肥对生菜栽培中硝酸盐污染的控制作用[J]. *上海环境科学*, 2003, 22(2):106-111. Wang D X, Peng J J, Liao Z W. Nitrate pollution control in lettuce culture using ironnutrients chelated lignosulfonate[J]. *Shanghai Environ. Sci.*, 2003, 22(7):106-111.
- [8] 杨保川, 王昌全, 项虹艳, 卢益武. 叶面喷施钼锰对莴苣生长发育和硝酸盐含量的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2006, 25: 96-99. Yang B C, Wang C Q, Xiang H Y, Lu Y W. Effects of foliar spraying molybdenum, manganese on growth and nitrate content of lettuce[J]. *J. Agro-Environ. Sci.*, 2006, 25: 96-99.
- [9] 刘明月. NPK 施用量与芹菜硝酸盐积累和产量的相关性[J]. *中国蔬菜*, 1998, (6):4-7. Liu M Y. Correlation of the N P K rates with the nitrate accumulation and yield of celery[J]. *Chin. Veget.*, 1998, (6):4-7.
- [10] 王朝辉, 李生秀, 田宵鸿. 不同氮肥用量对蔬菜硝态氮积累的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 1998, 4(1):22-28. Wang Z H, Li S X, Tian X H. Influence of nitrogen rates on nitrate accumulation in vegetables[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 1998, 4(1):22-28.
- [11] 王利群, 董英, 黄达明, 等. 蔬菜硝酸盐的积累及其生理机制研究进展[J]. *江苏农业科学*, 2006, (6):78-81. Wang L Q, Dong Y, Huang D M *et al.* Research progress of accumulation and physiological mechanism of nitrate in vegetables[J]. *Jiangsu Agric. Sci.*, 2006, (6):78-81.
- [12] 曾宪军, 刘登魁. 有机无机氮肥配施对蔬菜和土壤硝酸盐含量的影响[J]. *湖南农业科学*, 2006, (1):37-39. Zeng X J, Liu D K. Effects of the organo-inorgano-mixed fertilizers application of nitrate contents of vegetable and soil[J]. *Hunan Agric. Sci.*, 2006, (1):37-39.
- [13] 李仁发, 潘晓萍, 蔡顺香, 等. 施用有机肥对降低蔬菜硝酸盐残留的影响[J]. *福建农业科技*, 1999, (6):14-15. Li R F, Pan X P, Cai S X *et al.* Influence of application of organic manure to reduce the residues of nitrate of vegetable[J]. *Fujian Agric. Sci., Tech.*, 1996, (6):14-15.
- [14] 赵静, 白清云, 帕尼古丽, 戴晓华. 钼对降低蔬菜硝酸盐积累的效应研究[J]. *农业环境保护*, 2001, 20(4):238-239. Zhao J, Bai Q Y, Pani G L, Dai X H. Alleviation of nitrate accumulation in vegetable by application of molybdenum[J]. *Agro-Environ. Prot.*, 2001, 20(4):238-239.
- [15] Stoimenova M, Hansch R, Mendel R *et al.* The role of nitrate reduction in the anoxic metabolism of roots I. Characterization of root morphology and normoxic metabolism of wild type tobacco and a transformant lacking root nitrate reductase[J]. *Plant Soil*, 2003, 253:145-153.
- [16] 杜红斌, 王秀峰, 崔秀敏. 植物 NO_3^- 积累的生理机制研究[J]. *中国蔬菜*, 2001, (2):49-51. Du H B, Wang X F, Cui X M. Study on nitrate accumulation mechanism of the nitrate for plant[J]. *China vegetable*, 2001, (2):49-51.
- [17] 王庆, 王丽, 赫崇岩, 等. 过量氮肥对不同蔬菜中硝酸盐积累的影响及调控措施研究[J]. *农业环境保护*, 2000, 19(1):46-49. Wang Q, Wang L, He C Y *et al.* Study on accumulation effect and control measure of nitrate with application of excessive nitrogenous fertilizer for different vegetables[J]. *Agro-Environ. Prot.*, 2000, 19(1):46-49.
- [18] 王正银, 李会合, 李宝珍, 等. 氮肥、土壤肥力和采收期对小白菜体内硝酸盐含量的影响[J]. *中国农业科学*, 2003, 36(9):1057-1064. Wang Z Y, Li H H, Li B Z *et al.* Influence of nitrogen rates, soil fertility and harvest time on nitrate in Chinese cabbage[J]. *Sci. Agric. Sin.*, 2003, 36(9):1057-1064.