植物营养与肥料学报 2006,12(3):388-393
Plant Nutrition and Fertilizer Science

饱和铵贮库施肥法对芹菜氮素吸收、产量和品质的影响

邢承华，章永松*，林咸永，都韶婷，于承艳，邵兴华
(浙江大学环境资源学院,教育部环境修复与生态健康重点实验室,浙江杭州 310029)

摘要：采用盆栽试验研究了饱和铵贮库施肥法(NDSA—Nitrogen depot with saturated ammonium)对芹菜(*Apium graveolens* L.)氮素吸收、产量和品质的影响。结果表明,与常规施肥法相比,NDSA施肥法或添加DCD(双氰胺)增加芹菜产量的效果并不明显,但两者配施(NDSA2-S处理)则可显著提高芹菜产量。常规施肥法(NDSA1-M)的氮肥表观利用率只有35.5%,NDSA施肥法和添加DCD均可显著增加芹菜对氮素的吸收,提高氮肥表观利用率；两者配施氮肥表观利用率可高达63%。NDSA施肥法可大幅降低芹菜的硝酸盐含量,而添加DCD的效果并不明显。施氮可明显增加芹菜的Vc含量,其中以NDSA施肥法配施DCD效果最好。芹菜叶片Vc含量很高,相当于茎中的10倍。施氮和NDSA施肥法对芹菜可溶性糖影响不大,但添加DCD可明显增加芹菜的可溶性糖含量。

关键词：饱和铵贮库施肥法；常规施肥法；芹菜；产量与品质；氮肥利用率
中图分类号：S147.5；S147.3　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-505X(2006)03-0388-06

Effects of NDSA fertilization on the N uptake, yield and quality of celery

XING Cheng-hua, ZHANG Yong-song*, LIN Xian-yong, DU Shao-ting, YU Cheng-yan, SHAO Xing-hua
(*College of Natural Resources and Environmental Science, Zhejiang Univ, Ministry of Education Key Lab of Environmental Remediation and Ecosystem Health, Hangzhou 310029, China*)

Abstract: A pot experiment was carried out to study the effects of NDSA (nitrogen depot with saturated ammonium) fertilization on the N uptake, yield and quality of celery (*Apium graveolens* L.). The results showed that NDSA fertilization with addition of DCD could significantly increase the biomass of celery, while single NDSA fertilization or solo addition of DCD could not raise yield compared to conventional fertilization. Both NDSA fertilization and addition of DCD could significantly promote N uptake and increase apparent N recovery of celery. The effect was much more pronounced when NDSA fertilization cooperated with the addition of DCD, in which the apparent N recovery was 63%. NDSA fertilization could largely decrease nitrate content of celery, while DCD did not. N application could markedly increase Vc content in celery plant, which was more pronounced if NDSA fertilization cooperated with addition of DCD. The Vc stored in the leaf of celery was 10 times higher than that in the stem. Nitrogen application and NDSA fertilization had slightly effect on the soluble sugar content in celery, but DCD could significantly increase it.

Key words: NDSA fertilization method; conventional fertilization; celery; yield and quality; nitrogen use efficiency

长期以来,肥料工作者一直希望将蔬菜氮肥施用的产量效益、经济效益、品质效应和环境效应有机地结合起来。但是目前农业生产过量施用化肥带来的一系列经济和环境问题,如投入增加和成本过高,肥料利用率和经济效益降低,N素特别是硝酸盐污染严重等[1]。使用新型肥料、脲酶抑制剂和硝化抑制剂等可有效减轻N素对环境的污染,但其施用受多种因素制约[2-5]。硝化作用联系着土壤氮素的矿化—生物固持等作用以及氮素的损失,是土壤氮素转化中的一个重要环节[6]。因此,减少土壤氮素损

收稿日期：2005-04-11　　**修改稿收到日期**：2005-09-05
基金项目：国家自然科学基金(30571083)；国家重点基础研究发展计划(2002CB410806)和PPI/PPIC资助项目。
作者简介：邢承华(1976—),男,浙江省金华市,博士研究生,主要从事土壤氮素转化方面的研究。*通讯作者

失和硝酸盐在植物体内累积，较好地调控土壤中的硝化作用，提高氮肥利用率，充分发挥氮肥增产效益，并对环境友好，是氮肥施用中亟待解决的问题[7-8]。根据土壤对铵具有较强的固定和吸持能力，我们建立了“饱和铵贮库”(Nitrogen Depot with Saturated Ammonium，NDSA)施肥法。该方法的基本原理是，当高浓度的酸化 NH_4^+-N(配施硝化抑制剂)采用点穴法施入土壤后，利用土壤粘土矿物对 NH_4^+ 具有较强的固定、吸附和吸持作用的特点，使施入的肥料 N 集中保持在施肥点中，形成“饱和铵贮库”。因 NH_4^+-N 始终处于酸化环境中，而且施肥点被土壤覆盖，因而可有效防止 NH_3 的挥发；由于施肥点的 NH_4^+ 浓度非常高，促使 NH_4^+ 进入粘土矿物层间被暂时固定；同时利用高浓度 NH_4^+ 对施肥点中的微生物进行有效抑制，既可防止铵的硝化，又可防止硝化抑制剂被降解而延长其作用时间，从而防止以硝态氮淋失和反硝化脱 N 引起的氮素损失。施肥点的高浓度 NH_4^+ 同样对作物根系产生毒害作用，这样既可防止根系直接进入施肥点过多地吸收 N 素，又可促使作物根系只能围绕施肥点在其外围生长，将施肥点完全包围，每当施肥点的 N 素向外扩散时即可被作物迅速吸收，因而可十分有效地防止 N 素损失，大幅度提高氮肥利用率。将添加硝化抑制剂的低 pH 高浓度铵以点穴形式集中施入 10 cm 深的根区土壤中。由于施肥点 pH 低且深施，氨的挥发可得到有效控制。同时，由于施肥点的 NH_4^+ 浓度非常高，施肥点中的微生物活动被有效地抑制，防止了 NH_4^+-N 因硝化而被淋失以及反硝化脱 N 损失。并且硝化抑制剂的降解也同样受到抑制，大大提高和延长了硝化抑制剂的效果，从而使施入的肥料 N 以铵态氮形式在施肥点中贮存起来，形成铵饱和的氮素贮库。该施肥法不但可明显降低肥料氮在土壤中的氨挥发，还可使施肥点土壤中的铵离子浓度维持在较高水平，有效地抑制了施肥点中肥料氮的硝化作用，从而显著降低了硝态氮的淋失[9]。本研究试图进一步探索该施肥法对蔬菜氮素吸收、产量和品质的影响，以期为蔬菜合理施肥提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验设计

供试芹菜品种：美国西芹（*Apium graveolens* L.）。

供试土壤：浙江大学华家池校区农场的粉质黄松田土种。其主要理化性质为 pH 5.65，有机质 22.1 g/kg，全 N 0.82 g/kg，铵态氮 2.87 mg/kg，硝态氮 77.5 mg/kg，有效磷 18.4 mg/kg，交换性钾 36.8 mg/kg。

试验设 5 个处理：1) CK（对照，不施 N、P，K 用量与其它处理相同）；2) NDSA1-M(配方 1，与土混施)；3)NDSA2-M(配方 2，在配方 1 中加相当于总氮量 5% 的 DCD，与土混施)；4) NDSA1-S(配方 1，点穴施入土层 10 cm 处)；5)NDSA2-S(配方 2，在配方 1 中加相当于总氮量 5% 的 DCD，点穴施入土层 10 cm 处)。每盆装土 3.0 kg，②—⑤处理每公斤土壤施肥量为：N 0.3 g，P_2O_5(磷酸氢二钙) 0.15g，K_2O(硫酸钾)0.3 g，每处理重复 8 次。在幼苗长成 4～5 片叶时移栽，每盆 4 株。生长 60 d 后收获，分别测定产量和品质等指标。

1.2　测定方法

Vc 测定用 2,6-二氯靛酚滴定法[10]；硝酸盐含量采用水杨酸法[11]；全氮测定采用水杨酸—锌粉还原法[12]；土壤铵态氮和硝态氮用 2.0 mol/L KCl 溶液提取，分别用靛酚蓝比色法和酚二磺酸比色法测定[13]；土壤有效 P 用 0.03 mol/L NH_4F-0.025 mol/L HCl 提取，钼锑抗比色法[14]；土壤有效钾用 1.0 mol/L 醋酸铵提取，火焰光度计测定[15]。

2　结果与讨论

2.1　NDSA 施肥法对芹菜产量和氮素吸收的影响

各施氮处理与对照相比，芹菜生物量增加十分显著，增幅为 156%～214%，说明该土壤自身供氮水平较低。4 个施氮处理之间，以 NDSA2-S 处理的效果最好，芹菜生物量比 NDSA1-M、NDSA2-M 和 NDSA1-S 处理分别增加 22.8%、18.4% 和 13.9%，均达到显著水平。而 1 号配方的 NDSA1-S 处理的芹菜生物量与其相应对照处理 NDSA1-M 的差异不显著(表 1)。

从表 1 还看出，NDSA2-S、NDSA1-S 和 NDSA2-M 处理间芹菜含氮量差异不显著，但它们均显著高于 CK 和 NDSA1-M 处理。从中还可以发现，不施氮处理 CK 的芹菜含氮量与 1 号配方散施处理(NDSA1-M)几乎没有任何差异，这应该是由于 NDSA1-M 处理较大的生物量引起的稀释效应造成的。从各处理的植株氮吸收总量和氮素表观利用率计算结果(表 1)可以看出，NDSA2-S 处理的芹菜氮吸收总量和氮素表观利用率均显著高于其他处理，NDSA1-S 处理与 NDSA2-M 处理之间差异不明显，但它们均显著高于 NDSA1-M 处理。

表1 NDSA施肥法对芹菜生物量和氮吸收的影响

Table 1 Effect of NDSA fertilization method on the biomass and N uptake by celery plant

处理 Treatment	生物量 Biomass (g/pot)	含氮量 N content (mg/g)	氮吸收总量 N uptake (mg/pot)	氮素表观利用率 Apparent N recovery rate (%)
CK	12.5 c	16.6 b	208.7 d	
NDSA1-M	32.0 b	16.5 b	528.3 c	35.5 c
NDSA2-M	33.2 b	18.7 a	620.6 b	45.7 b
NDSA1-S	34.5 b	18.4 a	633.0 b	47.1 b
NDSA2-S	39.3 a	19.7 a	776.0 a	63.0 a

注(Note): M—混施 Fertilization by mixing with soil; S—点穴施 Fertilization by spot,下同 Same as follows.

本试验中NDSA2-S和NDSA1-S与对应处理NDSA2-M和NDSA1-M的差异在于施肥方法的不同,而NDSA2-S与NDSA1-S以及NDSA2-M与NDSA1-M之间的差异在于配方的不同,即在NDSA2-S和NDSA2-M配方中加入了硝化抑制剂DCD。配施硝化抑制剂的NDSA2-M处理芹菜氮吸收和氮素利用率显著高于NDSA1-M处理的结果说明,延缓铵的硝化作用对增加芹菜氮素吸收和提高氮素利用率具有重要作用。NDSA2-S和NDSA1-S处理芹菜氮吸收总量和氮素表观利用率显著高于各自对照处理NDSA2-M和NDSA1-M的结果则说明,在相同配方情况下,"饱和铵贮库"施肥法有利于芹菜对氮素的吸收、减少氮素损失、提高氮肥利用率。这是因为"饱和铵贮库"施肥法在施肥点形成的高浓度铵可有效抑制铵的硝化,减少硝的淋失[9]。此外,NDSA1-S处理芹菜氮吸收总量和氮素表观利用率与NDSA2-M相似的结果也再次说明,"饱和铵贮库"施肥法至少可起到撒施中添加硝化抑制剂的作用。与NDSA1-M相比,NDSA1-S处理的氮素表观利用率从35.5%提高到47.1%,但NDSA2-S处理则提高到了63%。这很可能与供试土壤的性质有关,因为粉质黄松土的固铵能力有限,在施肥点所固定和吸持的铵浓度还难以长时间维持对硝化作用的抑制,还需硝化抑制剂的加强与配合。由此看来,在质地较轻的土壤上采用"饱和铵贮库"施肥法适当添加DCD是非常必要的。

对表1中各处理的氮素表观利用率作进一步计算还可发现,"饱和铵贮库"施肥法和DCD提高氮素表观利用率的单因子作用之和,即:(NDSA1-S-NDSA1-M)+(NDSA2-M - NDSA1-M)为21.8%,而NDSA2-S则比NDSA1-M高27.5%。

2.2 NDSA施肥法对芹菜品质的影响

2.2.1 对硝酸盐含量的影响 从图1看出,硝酸盐在芹菜体内的分布趋势为茎>叶>根,这与叶片内含有大量的硝酸还原酶有关外,还与茎内有大量的薄壁细胞(储存硝酸盐的主要场所)有关[18-19]。与不施氮处理CK相比,所有施氮处理均显著增加芹菜根、茎、叶的硝酸盐含量,其中以NDSA1-M处理增加的幅度最大,根、茎和叶中的硝酸盐含量分别比CK处理增加152%、164%和164%。说明供氮水平是影响蔬菜体内硝酸盐含量的一个重要因素[20]。就不同施肥方法处理来看,无论是NDSA2-S还是NDSA1-S处理,芹菜各器官的硝酸盐含量均显著低于各自的对照处理,尤其在叶片和根中的差异更大,降幅达42%~45%。茎中的差异相对较小,很可能与茎主要充当硝酸盐储存库的功能有关。以上结果说明,"饱和铵贮库"施肥法对减低芹菜硝酸盐的作用非常明显。值得一提的是,添加DCD的NDSA2-M处理芹菜根和叶中的硝酸盐含量与NDSA1-M处理没有差异。通常施入土壤的铵态氮肥和酰胺态氮肥很容易被硝化,硝化作用在14 d内即可完成[21],而添加DCD可延缓硝化过程。因此,添加DCD理应也可降低芹菜的硝酸盐含量,然而这一作用在本试验中并没有体现。这可能与DCD在土壤中本身易被微生物或酶降解致使其抑制硝化作用的有效期较短有关。因为本试验芹菜的收获期和测定是在施肥后的60 d进行,此时DCD早已失效,因此出现上述情况并不奇怪。

2.2.2 对Vc含量的影响 收获期芹菜各部位Vc含量测定结果(图2)表明,与不施氮肥处理相比,所

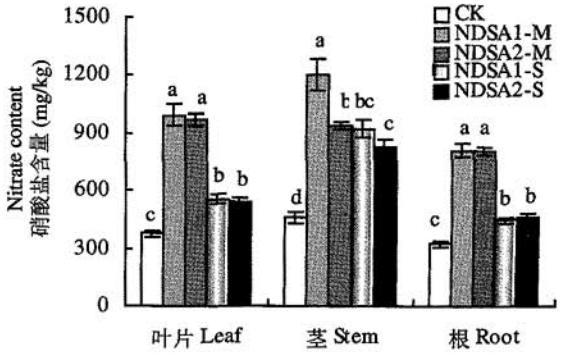

图1 NDSA施肥法对芹菜硝酸盐含量的影响

Fig.1 Effect of NDSA fertilization method on nitrate content in celery

有施氮处理芹菜叶、茎和根中的 Vc 含量均显著增加，其中以叶片中的增幅最大，说明施氮对增加芹菜 Vc 含量有明显效果。就不同施肥处理来看，NDSA2-S 施肥法芹菜叶、茎和根的 Vc 含量均显著高于其它 3 个施氮处理，其中叶片中增加了 30% 左右。许超等[22]发现，施用硝化抑制剂 DMPP 后，能显著延缓冰箱储藏条件下小青菜 Vc 含量的降低，即当 DMPP 被吸收到蔬菜体内后，照样能使 Vc 维持在较高的水平。至于 DCD 是否也有相同功效还有待证实。NDSA1-S、NDSA2-M 和 NDSA1-M 处理间，除 NDSA1-S 和 NDSA2-M 芹菜根中的 Vc 含量显著高于 NDSA1-M 处理外，其余差异均不显著。值得一提的是，芹菜不同部位的 Vc 含量差异非常巨大，不同处理叶片的 Vc 含量相当于根中的 4.8～5.8 倍、茎中的 9.7～ 11.4 倍。由此可见，叶片是芹菜储存 Vc 的主要器官，从 Vc 角度来看，芹菜叶的营养比茎高得多。

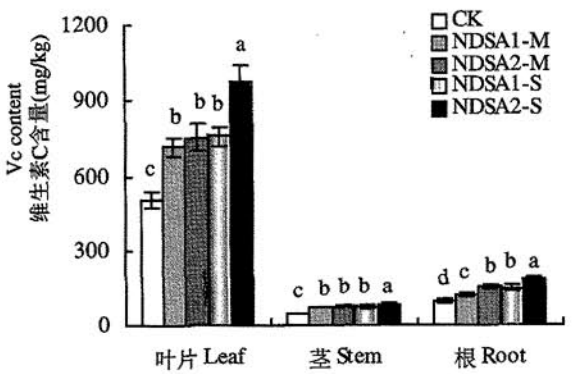

图 2　NDSA 施肥法对芹菜 Vc 含量的影响

Fig.2　Effect of NDSA fertilization method on Vc content in celery

2.2.3　对可溶性糖含量的影响　分析结果表明，在芹菜叶片中，NDSA2-S 和 NDSA2-M 处理的可溶性糖显著高于其它处理，其余 3 个处理之间没有差异（图 3）。在茎中，只有 NDSA2-S 处理显著高于其它处理；在根系中，NDSA2-S 处理显著高于其它处理，还有 NDSA1-S 处理也明显高于 NDSA1-M 处理。以上结果看出，施氮似乎对芹菜的可溶性糖没有影响，而明显影响芹菜各器官可溶性糖含量的因素是 DCD。尽管李宝珍等[23]也曾发现两种植物性硝化抑制剂可增加莴笋叶和茎的可溶性糖含量，但有关机理尚未见报道。从本试验结果推测，应该与 DCD 引起的氮素吸收的硝/铵比减少关系不大，因 NDSA1-S 处理的可溶性糖并没有增加，而该处理也可明显减小芹菜氮素吸收的硝/铵比。至于是否由 DCD 本身被植物吸收而带来的影响，还有待进一步研究。

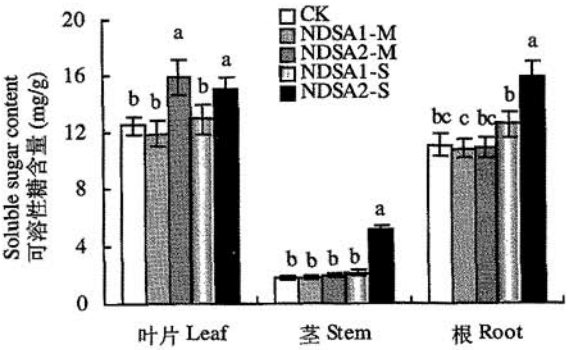

图 3　NDSA 施肥法对芹菜可溶性糖含量的影响

Fig.3　Effect of NDSA fertilization method on soluble sugar content in celery

3　讨论

“饱和铵贮库”施肥法有利于芹菜对氮素的吸收、减少氮素损失、提高氮肥利用率。“饱和铵贮库”施肥法对提高芹菜氮素表观利用率取得如此高的效果的机理，除了该施肥法可显著降低氨挥发和硝酸盐的淋失有关外[9]，还应与该施肥法对植物根系生长和形态分布产生重要影响有关。众所周知，植物根系具有趋肥性，在“饱和铵贮库”施肥条件下，植物根系将朝施肥点生长，但因施肥点的铵浓度很高，对根系产生毒害作用而使根系无法进入施肥点，根系只能围绕施肥点周围生长，形成“包围圈”，施肥点的氮素一旦往外扩散即可被根系吸收，从而大大提高了氮素利用率。本试验发现，“饱和铵贮库”施肥法处理的芹菜确实存在根系主要集中分布在施肥点周围的现象，故氮素不易淋失。因此，NDSA1-S 处理与 NDSA1-M 处理相比，氮素表观利用率从 35.5% 提高到 47.1% 并不奇怪。至于 NDSA2-S 处理的氮素表观利用率提高到了 63% 的原因，应该和“饱和铵贮库”施肥法与 DCD 配施之间存在正的交互作用有关，因为高浓度铵通过抑制微生物对 DCD 的降解作用可延长 DCD 对硝化作用的抑制效果；而 DCD 抑制效果的延长又可加强施肥点高浓度铵的维持，从而有利于各自效果的发挥。这一作用在质地较轻的土壤上尤为明显。

作为蔬菜品质的一个重要指标，许多国家和国际组织对蔬菜硝酸盐含量都制定了限量标准。如欧共体（EC）食品科学委员会（SCF）于 1995 年颁布

的[16],规定每 kg 体重日摄入硝酸盐的量为 3.65 mg (相当于 60 kg 体重的人每天摄入 219 mg 的硝酸盐)。FAO/WHO 食品添加剂联合专家委员会(JECFA)推荐的每 kg 体重日摄入 0～3.7 mg[17]。我国的标准目前也正在制定中。"饱和铵贮库"施肥法对减低芹菜硝酸盐的作用非常明显。其机理应该与"饱和铵贮库"施肥法可有效抑制肥料氮的硝化作用有关,即"饱和铵贮库"施肥条件下因铵的硝化被抑制,降低土壤氮的硝/铵比,可减少了硝态氮在所吸收氮中的比例。这一推论也被不同施肥法处理芹菜根中硝酸盐含量的显著差异得到了进一步证实,硝态氮的还原通常在植物的地上部进行,故根中的硝酸盐含量可反映根系从土壤中吸收氮素形态和浓度等状况。因此,"饱和铵贮库"施肥法处理芹菜根中硝酸盐含量比其对照低 45% 的结果足以说明该施肥处理芹菜吸收的硝态氮比对照明显要少。

参考文献:

[1] Fernández-Escobar R, Benlloch M, Herrera E *et al*. Effect of traditional and slow-release N fertilizers on growth of olive nursery plants and N losses by leaching [J]. Scientia Horticulturae, 2004, 101(1-2): 39-49.

[2] 张夫道.氮素营养研究中几个热点问题[J].植物营养与肥料学报,1998,4(4): 331-338.
Zhang F D. Some hot points on nitrogen nutrition research [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998, 4(4): 331-338.

[3] 陆欣,王申贵,王海江,王艳.新型脲酶抑制剂的试验研究[J].土壤学报,1997,34(4): 461-466.
Lu X, Wang S G, Wang H J, Wang Y. Study on new types of urease inhibitors [J]. Acta Pedologica Sinica, 1997, 34 (4): 461-466.

[4] 李双霖,薛由保.脲酶抑制剂的筛选及使用条件的研究[J].土壤,1991,23(2): 96-102.
Li S L, Xue Y B. Study on screening urease inhibitors and its location condition [J]. Soils, 1991, 23 (2): 96-102.

[5] 王秀君,罗盛国.尿素肥效的影响因素及其施用技术[J].土壤学进展,1995,23 (1): 21-27.
Wang X J, Luo S G. The influenced factors and its fertilization technique of urea effect [J]. Progress in Soil Science, 1995, 23 (1): 21-27.

[6] Saari Anne, Martikainen Pertti J. Differential inhibition of methane oxidation and nitrification in forest soils by dimethyl sulfoxide (DMSO) [J]. Soil Biol. and Bioch., 2001, 33(1): 1567-1570.

[7] Arts Patricia A M, Robertson L A, Kuenen J G. Nitrification and denitrification by thiosphaera pantotropha in aerobic chemostat cultures [J]. FEMS Microbiol. Ecology, 1995, 18(4): 305-315.

[8] Home P G, Panda R K, Kar S. Effect of method and scheduling of irrigation on water and nitrogen use efficiencies of Okra (*Abelmoschus esculentus*) [J]. Agricultural Water Management, 2002, 55(2): 159-170.

[9] 邢承华,章永松,林咸永,都韶婷.饱和铵贮库施肥法对降低土壤氮素挥发和淋失的作用研究[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2006,32(2): 155-161..
Xing C H, Zhang Y S, Lin X Y, Du S T. Study on decreasing ammonia volatilization and leaching rates by NDSA fertilization method [J]. Journal of Zhejiang University (Agric. and Life Sci.), 2006, 32(2): 155-161.

[10] 景国安,刘玉群,宋筱英.2,6-二氯靛酚测定果蔬还原型抗坏血酸方法的改进[J].食品工业,1991(4): 41-42.
Jing G A, Liu Y Q, Song X Y. Modified the method of 2,6-dichlorophenol indophenol for measuring Vc [J]. J. of Food Industry, 1991(4): 41-42.

[11] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京: 高等教育出版社,2000.123-124.
Li H S. Plant physiological chemical experiment theory and technology [M]. Beijing: High Education Press, 2000. 123-124.

[12] 鲍士旦.土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社,2000.267-268.
Bao S D. Soil chemicalanalysis [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000. 267-268.

[13] 李酉开.土壤农业化学常规分析方法 [M].北京: 科学出版社,1983.86-95.
Li Y K. Conventional analysis methods of soil agricultural chemistry [M]. Beijing: Science Press, 1983, 86-95.

[14] John M K. Colorimetric determination of phosphorus in soil and plant materials with ascorbic acid [J]. Soil Sci., 1970, 109: 214-220.

[15] Rouse R D, Bertramson B R. Potassium availability in several indiana soil: Its nature and methods of evaluation [J]. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 1950, 14: 113.

[16] European Commission, Food Science and Techniques. Reports of the scientific committee for food (38th series) [M]. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 1997.

[17] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA. Evaluation of certain food additives and contaminants [M]. World Health Organization, 1995. 29-35.

[18] 庄舜尧,孙秀廷.氮肥对蔬菜硝酸盐积累的影响[J].土壤学进展,1995,23(3): 29-35.
Zhuang S Y, Sun X T. Effects of nitrogen on nitrate accumulation in vegetable crops [J]. Progress in Soil Sci., 1995, 23(3): 29-35.

[19] 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.
Wang Z H, Li S X. Relationships between nitrate contents and water, total N as well as total P in different organs of vegetable plants [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1996, 2(2): 144-152.

[20] 张英鹏,林咸永,章永松,等.供氮水平对菠菜产量、硝酸盐和草酸累积的影响[J].植物营养与肥料学报,2004,10(5): 494-498.
Zhang Y P, Lin X Y, Zhang Y S *et al*. Influence of different nitrogen levels on biomass, nitrate and oxalate accumulation in spinach [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10(5): 494-498.

[21] 巨晓棠,刘学军,张福锁.不同氮肥施用后土壤各氮库的动态研究[J].中国生态农业学报,2004,12(1): 92-94.

Ju X T, Liu X J, Zhang F S. Dynamics of different soil nitrogen pools after applying different types of nitrogen fertilizers [J]. Chinese J. Eco-Agri., 2004, 12 (1): 92-94.

[22] 许超,吴良欢,巨晓棠,等.田间施用硝化抑制剂 DMPP 对小青菜贮藏过程中硝酸盐与 Vc 含量的影响[J].农业环境科学学报,2004(4): 630-632.

Xu C, Wu L H, Ju X T *et al*. Effects of nitrification inhibitor DMPP (3,4-Dimethylpyrazole Phosphate) on nitrate and vitamin C (Vc) concentrations in greengrocery (*Brassica campestris* L ssp. Chinensis) during storage [J]. J. of Agro-Environ. Sci., 2004, (4): 630-632.

[23] 李宝珍,王正银,李会合.植物性硝化抑制剂对莴笋 NO_3^--N 和品质的影响[J].西南农业大学学报,2002,24(3): 211-213.

Li B Z, Wang Z Y, Li H H. Effects of plant nitration inhibitors on nitrate content and nutrient quality of lettuce [J]. J. of Southwest Agric. Univ., 2002, 24(3): 211-213.