

根际施肥调控对油菜硝酸盐含量的影响研究

李燕婷^{1,2}, 白灯莎·买买提艾力³, 张福锁¹, 江荣凤¹, 毛达如¹

(1 农业部植物营养与养分循环重点实验室, 教育部植物-土壤相互作用重点实验室, 中国农业大学植物营养系, 北京 100094;

2 中国农业科学院土壤肥料研究所, 北京 100081; 3 新疆农业科学院核生所, 新疆乌鲁木齐 830000)

摘要: 利用盆栽试验, 测定了肥料周围不同距离处土壤中 NH_4^+ 与 NO_3^- 增量的变化, 验证不同施肥方式对小油菜产量与 NO_3^- 含量的影响。结果发现, 通过肥料在土壤中的扩散作用, 肥料氮对土壤 NH_4^+ 与 NO_3^- 增量的影响范围主要是在距肥料 4 cm 内, 但集中施肥与酸性根际肥 (pH1.0~2.0) 的显著差异则是在 2 cm 内; 后者的 NH_4^+ 扩散与硝化作用都较前者弱。其中, 在距肥料 1 cm 处, 集中施肥的土壤 NH_4^+ 增量于施肥一周后达最大值, 而酸性根际肥则在两周后, 且两者 NH_4^+ 增量差异显著; 在 2 cm 处, 二者土壤 NH_4^+ 增量达最大值的时间都较 1 cm 处晚一周, 且前者显著低于后者, 而后者土壤的 NO_3^- 增量都低于前者。在盆栽试验中, 酸性根际肥使小油菜的土壤 NH_4^+ 含量显著提高, 而 NO_3^- 含量却很低。与集中施肥比较, 土壤 NH_4^+ 含量提高 13%, NO_3^- 含量降低 72%~89%, 小油菜的硝酸盐累积量降低了 28%, 小油菜产量增加 39%。

关键词: 酸性根际肥; 油菜; 硝酸盐; 铵盐

中图分类号: S634.306

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2005)04-0524-06

Effects of rhizosphere fertilization on nitrate content of rape

LI Yan-ting^{1,2}, BAI Deng-sha³, ZHANG Fu-suo¹, JIANG Rong-feng¹, MAO Da-ru¹

(1 Key Lab. of Plant Nutrition, MOA, Key Lab. of Plant-Soil Interactions, MOE, Dept. of Plant Nutrition, CAU, Beijing 100094, China;

2 Soil and Fertilizer Inst., CAAS, Beijing 100081, China; 3 Inst. of Nucleus Energy of Xinjiang AAS, Urumchi 830000, China)

Abstract: A diffusion experiment was conducted to determine the changes of nitrate and ammonium concentration at different distance around the placement of fertilization in soil, and a pot trial was carried out to validate the effects of different means of fertilizer application on the nitrate content and yield of rape on a calcareous soil. Two kinds of fertilizers, the Acidic ball-like Rhizosphere Fertilizer (pH1.0—2.0) and normal concentrated fertilizer, were used. The results indicated that the sphere of influence on the concentration of nitrate and ammonium in soil were mainly within 4 cm apart from fertilization point; however, the difference of influence sphere of these two fertilizers was significant within 2 cm. The diffusion of ammonium and nitrification of the acidic fertilizer were slower than that of concentrate fertilizer. Therein, within 1 cm from fertilization point, the increment of the soil ammonium of the concentrated fertilizer measured up to the maximum after a week of application, but for the acidic fertilizer, the maximum was reached after two weeks, meanwhile, the difference of increment of these two fertilizers was significant. Within 2 cm from fertilization point, for both fertilizers, the maximum of ammonium was reached one week later than that at 1 cm, and the increment of ammonium of the concentrated fertilizer was lower than that of the acidic fertilizer. But the increment of nitrate of concentrated fertilizer was lower than that of acidic fertilizer. The results of pot experiment indicated that the application of acidic rhizosphere fertilizer increased ammonium concentration remarkably, but decreased nitrate concentration. Comparing with the concentrated fertilization, the application of acidic rhizosphere increased ammonium concentration by 13% and decreased nitrate concentration by 71%—89%, respectively. As the result, the application of acidic rhizosphere fertilizer decreased the amount of nitrate accumulated in the rape by 28% and increased the output of rape by 39%.

收稿日期: 2004-04-27

修改稿收到日期: 2004-11-29

基金项目: 农业部“948”项目“新型 CULTAN 根际肥与根际施肥技术”; 863 计划项目“环境友好型肥料研制与产业化”(2001AA246023)资助。

作者简介: 李燕婷(1971—), 女, 山东临沂人, 博士, 主要从事新型肥料和根际施肥调控技术研究。

Key words: acidic rhizosphere fertilizer; nitrification; rape; accumulation of nitrate

在通气良好的条件下,施入土壤的铵态氮肥(如碳酸氢铵、氯化铵与硫酸铵)以及酰胺态氮肥(尿素),经过水解与硝化作用后将迅速转化为硝态氮。石灰性土壤的硝化作用很强^[1]。酸度是影响硝化作用的主要因素之一,在 pH 3.4~8.6 范围内,硝化作用与 pH 值呈正相关^[2-3]。硝态氮在土壤中移动性较强,极易随水淋洗损失,导致肥料氮损失严重和环境污染。随着农业生产中氮肥施用量的增加,土壤中硝态氮的含量也在增加。当今,农田生态系统中大量硝酸盐累积对环境和人类健康方面的影响已引起广泛关注。

影响植物硝酸盐含量的最重要因素是氮素的施用量^[4],土壤中硝态氮含量是影响植物体内硝酸盐浓度的主要因素^[5]。在生产中,蔬菜的增产对氮素肥料的依赖程度很大,增加氮肥用量能够提高蔬菜产量^[6-7],但由于蔬菜是富集硝酸盐的植物性食品,过量的氮素供应会促进其硝酸盐累积,影响蔬菜品质^[8]。氮肥用量是决定蔬菜硝酸盐含量的主要因素,二者呈显著或极显著的正相关^[9-11]。合理施用氮肥不仅是蔬菜增产的重要措施,也是调节硝态氮累积、改善品质的关键。

本试验所用的酸性根际肥 pH 值在 1.0~2.0 之间,根据我们的试验结果,该酸性根际肥能使施肥微域(距肥料 2 cm 内)的土壤 pH 值降低 1 个单位左右^[12-13]。为进一步探讨这种酸性肥料对土壤酸化和硝化作用以及对蔬菜硝酸盐积累的影响,进行了酸性根际肥在土壤中的硝化作用及其对小油菜硝酸盐累积的影响研究,以期酸性根际肥的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤分别用取自中国农业大学植物营养系温室的石灰性壤土(土壤 1)与取自北京郊区卢沟桥冲积河滩的石灰性砂壤土(土壤 2),两种土壤 pH 分别为 7.7、8.4,有机质含量为 19.0、3.7 g/kg,全氮为 1.0、0.2 g/kg,速效 P 为 10.14、5.03 mg/kg,速效 K 为 83.83、55.28 mg/kg, CaCO₃ 为 77、98 g/kg。

供试的酸性根际肥(自制),为较规则的圆形颗粒,主要成分为硫酸铵,三料磷肥和硫酸钾(N:P:K=1:1:1),pH 1.0~2.0,单粒质量为 5.0±0.5 g,颗粒直径为 2±0.2 cm,颗粒大小基本一致。普通化肥

为尿素、硫酸铵、三料磷肥、硫酸钾。

供试蔬菜为小油菜(*Brassica campestris* L.),品种为四月慢青菜。

1.2 试验设计

1.2.1 试验 1 用土壤 1,设置 3 个处理:1)空白对照(CK0),不施用任何肥料;2)普通化肥对照(CK),与酸性根际肥等量 NPK 的普通化肥穴施;3)酸性根际肥(Tr)。试验用塑料盆,上口内径 30 cm,底部内径 28 cm,深 15 cm。每盆装土 10 kg,将肥料于供试土体的中心位置穴施,酸性根际肥每盆 1 粒,普通化肥对照处理施肥量与酸性根际肥等养分量(每盆施 N 0.3 g、P₂O₅ 0.3 g、K₂O 0.3 g),施肥后浇透水,不种植任何植物,并用塑料布盖住盆口,以防水分蒸发。整个试验期间,保持各处理土壤含水量基本不变。每个处理重复 6 次。

1.2.2 试验 2 用土壤 2,处理同试验 1。各处理统一施底肥,底肥用量为每盆施 N 0.15 g、P₂O₅ 0.06 g、K₂O 0.15 g,与土混匀后装盆。各处理肥料均于播种前施入盆中土体的中心处,施用位置与深度一致。试验用盆为塑料盆,每盆装土 2.5 kg,底部无孔,不漏水肥。每盆定苗 5 株,4 次重复。试验过程中各处理浇水等管理措施保持一致。2001 年 4 月 4 日播种,6 月 4 日收获。

两组试验均在网室(玻璃房顶)中进行,气温状况近似大田。

1.3 样品采取与分析方法

1.3.1 试验 1 于试验开始后第 1、3、7、14、21、28 d,在肥料周围,以肥料为中心,分别在不同的方位、距肥料 1、2、4、6、8、10、12 cm 处取土,每个距离上取 3 个点,充分混匀后作为该距离的土样。称取新鲜土样 12.00 g 于塑料振荡瓶中,加入 100 mL 0.01 mol/L CaCl₂溶液浸提,振荡 1 h,过滤,滤液用流动分析仪(TRAACS2000)测定其 NO₃⁻ 与 NH₄⁺ 的浓度,同时测定土壤含水量。

1.3.2 试验 2 油菜生长两个月后收获。地上部收获后测鲜重,另取新鲜叶片测 NO₃⁻ 含量。鲜样经 105℃下杀青 30 min,70℃下烘 24 h,测定干生物量。地上部收获后,将盆中土完整地倒出,从中间剖开,取肥料周围半径 2 cm 内的土壤作为施肥区土壤,将其余部分混匀后作为土体土壤。新鲜土样充分混匀后,测定 NO₃⁻ 与 NH₄⁺ 含量,方法同 1.3.1。

1.3.3 叶片 NO₃⁻ 含量测定 取新鲜的油菜叶片

(带柄)剪碎混匀后,精确称取一定量放入刻度试管中。加入 10 mL 无离子水,封口,置入沸水浴中提取 30 min,取出后用自来水冷却。将提取液过滤到 25 mL 容量瓶中,并反复冲洗残渣,最后定容至刻度,待测。吸取样品液 0.1 mL 于刻度试管中,加入 5% 水杨酸-硫酸溶液 0.4 mL,混匀后于室温下静置 20 min,再慢慢加入 9.5 mL 8% NaOH 溶液,待冷却至室温后,在 410 nm 波长下测其吸光度,以空白做参比,据标准曲线计算 NO_3^- 含量。

2 结果与分析

2.1 酸性根际肥对石灰性土壤 pH 值的影响

在 28 d 内,酸性根际肥(Tr)对土壤 pH 值的影响与普通化肥穴施(CK)相比有明显不同,变化较显著的范围是在距肥料 2 cm(半径)内的区域中(表 1)。在距肥料 1 cm 内,各处理土壤 pH 值都有降低,且随时间的延长而加剧,Tr 的降低作用较 CK 更显著。施肥后 28 d,CK 与 Tr 土壤 pH 值分别比 CK0 降低了 0.5、0.8 个单位。在距肥料 2 cm 处的情形与距肥料 1 cm 内相似,土壤 pH 值的降低随时间的延长而加剧;施肥后 21d 和 28 d 时,二者的土壤 pH 值均

渐趋稳定。在距肥料 4 cm 处,土壤 pH 值变化很小,CK、Tr 的土壤 pH 值直至 14d 后才开始有所下降,至 28 d 时,Tr 土壤 pH 值较 CK0 也只降低了 0.3 个单位;在距肥料 6 cm 处,土壤 pH 值没有明显变化,即使是处理 Tr 的土壤 pH 值也没有明显降低。据测定,在距肥料 8、10、12 cm 处土壤 pH 值在整个试验期间均无太大变化。这说明肥料中的酸对土壤 pH 值影响的最大距离是 6 cm。为此,以下仅讨论距肥料 6 cm 以内的结果。

2.2 酸性根际肥对肥料周围土壤中 NH_4^+ 增量的影响

设在同等条件下,将各处理肥料周围(12 cm 内)不同距离处土壤 NH_4^+ 含量减去空白对照(CK0)土壤 NH_4^+ 含量所得到的数值为肥料氮在土壤中扩散与转化而对土壤的贡献量,称之为 NH_4^+ 增量。各肥料周围土壤中 NH_4^+ 增量在施肥后 28 d 内的变化(表 2)表明,虽然土壤中 NH_4^+ 增量提高的影响范围可以扩展到距肥料 6 cm 处,但处理间有显著差异的距离主要是在 2cm 内。施肥后 3 d,Tr 的 NH_4^+ 增量在 1 cm 处较 CK 低 56%,差异显著;而在 2 cm 处则高 44%,但差异不显著。7 d 后,CK 和 Tr 在 1 cm 处的 NH_4^+ 增量比第 3 d 分别提高了 69%、248%,说明酸性根际肥周围土壤 NH_4^+ 含量增加较快。14 d 时,CK 在 1 cm 处 NH_4^+ 增量比 7 d 前降低了 21%,而 Tr 却增加了 67%,显著地高于 CK; 21、28 d 时,在距肥料 1 cm 和 2 cm 处,随时间的延续 NH_4^+ 增量均降低,但 Tr 仍高于 CK。

表 1 酸性根际肥对肥料周围土壤 pH 值的影响
Table 1 The effect of acidic fertilizer on the pH of soil

DAF (d)	处理 Treatment	离肥料距离(cm) Distance from fertilizer			
		1	2	4	6
1	CK0	7.7 a	7.7 a	7.7 a	7.7 a
	CK	7.5 ab	7.6 ab	7.8 a	7.7 a
	Tr	7.1 c	7.4 b	7.7 a	7.8 a
3	CK0	7.7 a	7.7 a	7.7 a	7.7 a
	CK	7.5 b	7.7 a	7.6 ab	7.8 a
	Tr	7.0 c	7.2 c	7.6 ab	7.8 a
7	CK0	7.6 a	7.6 a	7.6 a	7.6 a
	CK	7.5 ab	7.4 b	7.7 a	7.7 a
	Tr	7.0 c	7.1 c	7.7 a	7.7 a
14	CK0	7.6 a	7.6 a	7.6 a	7.6 a
	CK	7.3 b	7.3 b	7.5 ab	7.7 a
	Tr	6.9 c	6.8 c	7.4 b	7.6 a
21	CK0	7.6 a	7.6 a	7.6 a	7.6 a
	CK	7.1 c	7.2 c	7.5 a	7.6 a
	Tr	6.8 d	6.8 d	7.4 b	7.5 a
28	CK0	7.6 a	7.6 a	7.6 a	7.6 a
	CK	7.1 c	7.3 b	7.5 a	7.6 a
	Tr	6.7 d	6.8 d	7.3 b	7.4 b

注: DAF,施肥后天数;不同字母表示差异达 5% 显著水平,下同。
Note: DAF, Days after fertilization; Different letters mean significant at 5% level, same as follows.

表 2 酸性根际肥对肥料周围土壤中 NH_4^+ 增量的影响(mg/kg)

Table 2 Effect of acidic fertilizer on the NH_4^+ content of soil

DAF (d)	处理 Treat.	离肥料距离(cm) Distance from fertilizer			
		1	2	4	6
1	CK	50.23 a	51.95 a	1.67 b	1.37 b
	Tr	46.71 a	39.09 a	1.57 b	-2.12 b
3	CK	282.25 a	71.04 c	10.49 d	0.47 e
	Tr	124.18 b	102.05 b	9.95 d	0.25 e
7	CK	476.53 a	329.28 b	93.92 c	0.97 d
	Tr	432.59 a	254.85 b	15.60 d	-4.10 d
14	CK	375.92 b	380.77 b	5.73 c	-11.08 d
	Tr	721.96 a	327.91 b	10.19 c	-11.84 d
21	CK	159.26 c	200.88 b	15.49 d	-9.89 e
	Tr	340.07 a	167.70 c	10.58 d	-8.96 e
28	CK	52.70 b	53.08 b	3.32 c	-9.92 d
	Tr	204.62 a	248.51 a	4.20 c	-7.70 d

2.3 酸性根际肥对肥料周围土壤中 NO₃⁻ 增量的影响

将各处理肥料周围(12 cm 内)不同距离处土壤 NO₃⁻ 含量减去空白对照(CK0)土壤 NO₃⁻ 含量,所得到的数值作为肥料氮在土壤中扩散与转化而对土壤的贡献量,称之为土壤 NO₃⁻ 增量。各肥料周围土壤 NO₃⁻ 增量在施肥后 28 d 内的变化情况(表 3)看出,尽管第 1 d 肥料周围土壤 NO₃⁻ 增量还很低,但在 1 cm 处 CK 显著高于 Tr; 3 d 后,各处理肥料周围土壤中 NO₃⁻ 增量提高,影响范围扩大,在 2 cm 以内 Tr 显著低于 CK; Tr 在 7 d 时于 4 cm 处 NO₃⁻ 增量也显著低于 CK,且在 6 cm 处已无增量;直至 21、28 d 时,Tr 在 2 cm 内的 NO₃⁻ 增量仍低于 CK。

表 3 酸性根际肥对肥料周围土壤中 NO₃⁻ 增量的影响(mg/kg)

Table 3 The effect of acidic fertilizer on the NO₃⁻ content of soil

DAF 处理 (d) Treat.	离肥料距离(cm) Distance from fertilizer			
	1	2	4	6
1 CK	39.40 a	-1.76 c	-9.01 c	-10.55 c
	Tr	1.88 b	0.54 b	-5.22 c
3 CK	18.36 a	12.25 ab	9.52 b	-1.54 d
	Tr	3.34 c	0.67 c	1.04 bc
7 CK	82.22 a	80.12 a	84.86 a	45.72 b
	Tr	8.37 d	20.16 c	17.96 c
14 CK	102.50 a	43.32 b	-24.58 c	-33.46 c
	Tr	54.92 b	58.47 b	-21.49 c
21 CK	180.03 a	166.07 a	82.60 b	-33.43 d
	Tr	79.48 b	161.93 a	20.59 c
28 CK	164.26 ab	195.81 a	99.32 c	-43.85 e
	Tr	137.76 b	158.08 b	18.01 d

2.4 酸性根际肥对油菜产量和植株 NO₃⁻ 含量的影响

本试验所用土壤贫瘠(土壤 2),在底肥相等的基础上,施肥可以显著提高小油菜的生长量(表 4)。施普通化肥(CK)处理小油菜鲜重和干重分别比不施肥(CK0)提高 83%、36%;施酸性根际肥(Tr)处理分别提高了 155%、46%,Tr 与 CK 相比,鲜重的差异达 5%的显著水平。

表 4 还看出,施用酸性根际肥能显著降低油菜体内 NO₃⁻ 的含量。CK 小油菜 NO₃⁻ 含量是 CK0 的 2.57 倍;而 Tr 小油菜 NO₃⁻ 含量是 CK0 的 1.86 倍,差异均达到 5%的显著水平。可见,施用酸性根际

肥使小油菜 NO₃⁻ 积累量比施普通化肥降低了 27.67%,提高了食用小油菜的安全性。

表 4 酸性根际肥对小油菜产量与 NO₃⁻ 含量的影响

Table 4 The effect of acidic fertilizer on yield and NO₃⁻ content of rape

处理 Treatment	产量 Yield (g/pot)		NO ₃ ⁻ (mg/kg, FW)
	鲜重 Fresh wt.	干重 Dry wt.	
CK0	36.78 c	5.58 b	352.17 c
CK	67.41 b	7.58 a	903.56 a
Tr	93.94 a	8.16 a	653.56 b

2.5 酸性根际肥对土壤 NH₄⁺ 与 NO₃⁻ 含量的影响

试验结果表明,施肥后,施肥区土壤 NH₄⁺ 含量增加。表 5 看出,CK 处理的施肥区和土体中土壤 NH₄⁺ 含量均比 CK0 高,但差异不显著;而施酸性根际肥(Tr)的施肥区土壤 NH₄⁺ 含量显著高于土体和不施肥处理(CK0),比 CK0 土体增加了 41.32%,差异达 5%的显著水平,但与 CK 施肥区相比,差异不显著。CK0 处理土壤中的 NO₃⁻ 含量只有 1.59 mg/kg,施普通化肥(CK)处理土体与施肥区中 NO₃⁻ 含量显著提高,分别是 CK0 土体的 6.8 倍和 4 倍;而酸性根际肥(Tr)处理土体与施肥区中 NO₃⁻ 含量都很低,与 CK0 相比差异不显著。

表 5 酸性根际肥对土壤中 NO₃⁻ 与 NH₄⁺ 含量的影响(mg/kg)

Table 5 Effect of acidic fertilizer on the NO₃⁻ and NH₄⁺ content of soil

处理 Treatment	NH ₄ ⁺		NO ₃ ⁻	
	土体 Solum	施肥区 Fertilizing zone	土体 Solum	施肥区 Fertilizing zone
CK0	7.14 b	—	1.59 c	—
CK	8.34 ab	8.94 ab	10.86 a	6.36 b
Tr	7.15 b	10.09 a	1.15 c	1.75 c

3 讨论

土壤 pH 值是影响硝化作用的因素之一^[14],一般来说,自养硝化细菌适宜在 pH6.6~8.0 或更高的范围内生长,在酸性环境中自养硝化细菌很少或不存在^[1]。石灰性土壤的硝化作用很强,而在酸性土壤中,硝化作用受到的抑制较氨化作用更强烈^[14]。

有研究表明,土壤硝化率与土壤 pH 值呈极显著的正相关($r = 0.941$),pH 值为 5.6 的土壤,硝化率很低,在 pH 5.6~8.0 范围内,硝化率随土壤 pH 值的升高而增大^[15]。本试验结果表明,在施肥后 28 d 内,酸性根际肥(pH 1.0~2.0)使其施肥微域(半径 2 cm 内)土壤 pH 值降低了近 1 个单位,对肥料在土壤中的硝化作用有一定的抑制作用;使 2 cm 内土壤 NH_4^+ 增量比施普通化肥高,而 NO_3^- 增量则较之低;且在 1 cm 处 NH_4^+ 增量比施普通化肥晚一周达到最大值。试验 1 因无植物栽培,故在肥料扩散过程中先是发生了 NH_4^+ 的积累,后随着硝化作用的进行, NO_3^- 逐渐增加。在石灰性土壤中,不同氮肥硝化作用一般需 6~9 d 完成^[16]。

有人提出高浓度的氮对硝化细菌可产生毒害,降低氮的硝化作用,阻抑 NO_3^- 淋失的发生^[17-18]。酸性根际肥为强酸性(pH 1.0~2.0),又是较紧密的颗粒状,肥料的 pH 值及相对较高的氮浓度对肥料中氮的硝化作用产生了抑制作用,使得其肥际微域(2 cm 内) NO_3^- 增量在 28 d 内一直处于最低。因此,酸性根际肥降低了肥料氮在土壤中的硝化作用,减少了 NO_3^- 的淋洗损失和对环境的污染。

蔬菜累积的硝酸盐主要是来自土壤或营养液等生长介质中,在氮素用量等同时,营养液中不同氮肥形态可导致不同的硝酸盐累积量,使用铵态氮肥会明显降低蔬菜中的硝酸盐浓度^[19]。氮肥用量较低时,植株硝酸盐含量也很低,但蔬菜的生长受到抑制;提高氮肥用量,蔬菜硝酸盐含量和生长量均随之升高,但会使硝酸盐过量累积,导致干物质的累积量下降^[20, 7]。因此,对于易积累硝酸盐的植物来说(如蔬菜),如果减少外界硝态氮源,则将减少植株体硝态氮的累积。当土壤 NH_4^+ 和 NO_3^- 同时存在时,植物优先吸收 NH_4^+ ^[20]。在本试验中,施用酸性根际肥使施肥区土壤 NH_4^+ 含量远远大于 NO_3^- 含量,说明酸性根际肥在土壤中供应植物的氮素形态主要是铵态氮,降低了植物积累硝酸盐的外界硝态氮源,有利于小油菜硝酸盐累积量的降低。

参考文献:

- [1] 朱兆良,文启孝. 中国土壤氮素[M]. 江苏科学技术出版社, 1992, 94~120.
Zhu Z L, Wen Q X. Soil nitrogen in China[M]. Jiangsu Science and Technology Press, 1992. 94 120.
- [2] Dancer W S, Peterson L A, Chesters G. Ammonification and nitrification of nitrogen as influenced by soil pH and previous treatments [J]. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 1973, 37: 67~69.
- [3] Sahrawat K L. Nitrification in some tropic soils [J]. Plant and Soil, 1982, 65: 281~286.
- [4] Wright M J, Davidson K L. Nitrate accumulation in crops and nitrate poisoning in animals [J]. Adv. Agron., 1964, 16: 197~247.
- [5] Nelson D W. Effect of nitrogen excess on quality of food and fiber[J]. Hanck R D (ed.). Nitrogen in crop production[M]. ASA, Madison WI, 1984. 643~661.
- [6] 周根娣,卢善玲.上海市主要蔬菜中硝酸盐含量及加工处理后硝酸盐和亚硝酸盐含量[J]. 环境污染与防治, 1989, 11(6): 31~32.
Zhou G D, Lu S L. The nitrate and nitrite content in the main vegetables and artifactual ones in Shanghai [J]. Environmental Pollution and Control, 1989, 11 (6): 31~32.
- [7] Miller A J, Smith S J. Nitrate transport and compartmentation in cereal root cells [J]. J. Exp. Bot., 1996, 47: 43~854.
- [8] Guillard K, Allinson D W. Effects of nitrogen fertilization on a Chinese cabbage hybrid [J]. Agron. J., 1988, 80: 21~26.
- [9] 胡承孝,邓波儿,刘同仇.施用氮肥对小白菜、番茄中硝酸盐积累的影响[J]. 华中农业大学学报. 1992, 11(3): 239~243.
Hu C X, Deng B E, Liu T C. Effects of nitrogen fertilizer on nitrate accumulation by the Chinese cabbage (*Brassica Chinese*) and tomato (*Lycopersicon Esculentum*) [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 1992, 11(3): 239~243.
- [10] 卢善玲,周根娣,汪雅各,章家骥.上海蔬菜硝酸盐残留状况及其控制途径[J]. 上海农业学报, 1990, 6(4): 59~66.
Lu S L, Zhou G D, Wang Y G, Zhang J Q. Nitrate accumulation in Shanghai suburbs and agricultural measures of reducing nitrate [J]. Acta Agriculturae Shanghai, 1990, 6 (4): 59~66.
- [11] Dich J R, Knekt P, Penttil P L. Dietary intakes of nitrate, nitrite and NDMA in the finish mobile clinic health examination survey [J]. Food Add. Contam., 1996, 13: 541~552.
- [12] 李燕婷,白灯莎·买买提艾力,张福锁,等.根际施肥调控技术研究初探[J]. 中国农业科技导报, 2002, 4(5): 55~58
Li Y T, Bai D S, Zhang F S et al. Primary study on the technology of rhizosphere fertilization and regulation [J]. Review of China Agricultural Science and Technology, 2002, 4(5): 55~58.
- [13] 李燕婷,白灯莎·买买提艾力,张福锁,等.酸性根际肥对石灰性土壤 pH 和铁有效性的影响研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(3): 312~316.
Li Y T, Bai D S, Zhang F S et al. Effect of acidic rhizosphere fertilizer on the soil pH and Fe availability of calcareous soil [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science. 2003, 9(3): 312~316.
- [14] 袁可能. 植物营养元素的土壤化学[M]. 北京: 科学出版社, 1983. 71~75.
Yuan K N. The chemistry of plant nutrition elements in Soil [M]. Beijing: Science Press, 1983. 71~75.
- [15] 李良谟,潘映华,周秀如,等.太湖地区主要类型土壤的硝化作用及其影响因素[J]. 土壤, 1987, 19: 289~293.
Li L M, Pan Y H, Zhou X R et al. The factors effect nitrification of main type soil in Tai Lake [J]. Soils. 1987, 19: 289~293.

- [16] 同延安,张文孝,韩稳社,邓金兰. 不同氮肥种类在塿土及黄绵土中的转化[J]. 土壤通报,1994,25(3): 107-108.
Tong Y A, Zhang W X, Han W S, Deng J L. The translation of difference nitrogen fertilizers in the loess soil[J]. Chinese Journal of Soil Science, 1994,25(3): 107-108.
- [17] Andreas C. Long-term N fertilization for vegetables without leaching and nitrate problems [J]. TASPO-Gartenbaumagazin, 1997, 6 (1): 64-66.
- [18] Rooster L de, Spiessens K, De Rooster L. Nitrogen fertilizers assay: Comparison of nitrophoska stabil and CULTAN with nitrophoska perfekt [J]. Proeftuinnieuws, 1998a, 8 (5): 20-23.
- [19] 张春兰,高祖明,张耀栋,唐为民. 氮素形态和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 配比对菠菜生长和品质的影响[J]. 南京农业大学学报,1990,13(3): 70-74.
Zhang C L, Gao Z M, Zhang Y D, Tang W M. The effects of different forms and their concentration combinations of the growth and quality of spinach[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 1990, 13(3): 70-74.
- [20] Lorenz O A. Nitrate in the invironment [A]. Donald R, Nielson J G, Mac Donald (eds). Soil-plant-nitrogen relationship [M]. New York, Son Francisco, London: Acdemic Press, 1978, Vol.2: 201-209.