

北方设施菜地夏季不同填闲作物的吸氮效果比较研究

张继宗¹, 刘培财¹, 左 强², 邹国元², 刘宏斌¹

(1.农业部作物营养与施肥重点实验室 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2.北京市农林科学院营养与资源研究所, 北京 100089)

摘 要:为筛选出吸氮效果明显的北方设施菜地夏季填闲作物,在北京郊区设施菜地,以甜玉米、高丹草、红叶苋菜、空心菜和小麦等5种不同作物为处理设置试验小区,开展田间监测、土壤和植株样品采集及检测,进行试验数据和资料的统计分析。结果表明,5种作物中,甜玉米生物量大、吸氮量大且速率快,阻控硝酸盐向深层土壤淋溶能力强。本试验条件下,甜玉米生物量和吸氮量分别达到 92 335 kg·hm⁻² 和 330 kg·hm⁻²;种植甜玉米后,0~120 cm 土层的硝酸含量减少近 140 kg·hm⁻²,均显著大于同等种植条件下的其他4种作物($P<0.05$)。就减少土壤硝态氮淋失的效果而言,甜玉米是北方设施菜地夏季填闲作物的较好选择。

关键词:设施菜地;填闲作物;硝酸盐;淋溶

中图分类号:X173 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2009)12-2663-05

Nitrogen Uptake by Different Catch Crops in Facility Vegetable Field

ZHANG Ji-zong¹, LIU Pei-cai¹, ZUO Qiang², ZOU Guo-yuan², LIU Hong-bin¹

(1.Ministry of Agriculture Key Laboratory of Crop Nutrition and Fertilization, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, CAAS, Beijing 100081, China; 2. Beijing Academy of Agriculture and Forestry Institute of Nutrition and Resources, Beijing 100089, China)

Abstract: In North China, over input of fertilizer nitrogen in facility vegetable field always result in nitrate accumulation in soil and leaching to underground water then induce high risk of underground water pollution, which is a big potential problem. It is necessary to choose appropriate catch crops to absorb surplus nitrogen in fallow season and reduce nitrate content in surface soil. An experiment had been carried out in Beijing suburb to make sure different effects of different catch crops on nitrogen uptake. Five catch crops such as sweet corn (*Zea mays* L.), sorgham hybrid sudangrass, herbist bloodleaf (*Iresine herbistii* Hook.), water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) had been taken as experimental plants and field monitoring, samples analysis had been carried out simultaneously. The results indicated that biomass and nitrogen accumulation in shoots of sweet corn (*Zea mays* L.) were higher than other four catch crops. The biomass and nitrogen absorbed by sweet corn (*Zea mays* L.) were up to 92 335 kg·hm⁻² and 330 kg·hm⁻², respectively, and nitrate content in 0~120 cm soil layer of the treatment was significantly decreased (by 140 kg·hm⁻²) compared with other four catch crop treatments ($P<0.05$). It demonstrated that sweet corn is an appropriate catch crop for reducing nitrogen accumulation in surface soil and leaching to groundwater in vegetable cultivation system in North China.

Keywords: facility vegetable field; catch crop; nitrate; leaching

在北方设施菜地,由于过量肥水投入造成作物收获后土壤硝态氮大量残留并淋失,给地下水硝酸盐污染带来极大风险。北京市设施菜地全年氮肥用量平均

达 1 732 kg·hm⁻²,相当于蔬菜氮素吸收量的 4.5 倍,相当于冬小麦、夏玉米轮作粮田 3.8 倍。对北京 115 个温室大棚的研究表明^[1],蔬菜收获后 0~90 cm 土壤剖面中硝态氮残留量高达 480 kg·hm⁻²。调查研究表明,山东寿光 18 400 hm² 大棚蔬菜可能淋失的氮素为 23 300 t,所带来的环境风险可使 23.3 亿 m³ 的地下水硝酸盐含量提高 10 mg·L⁻¹[2]。

6 月下旬至 7 月上旬春茬蔬菜收获结束,大部分北方设施菜地处于歇棚休闲状态(约占 60%以上),一

收稿日期:2009-09-16

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)课题(2008AA06Z313);
中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金中国农业科学院农业资源与农业区划研究所项目(2008-7)

作者简介:张继宗(1976—),男,河南鲁山人,博士,助理研究员,主要从事农业与环境方面的研究。E-mail:jizongzhang@163.com

通讯作者:刘宏斌 E-mail:liuhongbin2002@126.com

直持续到 8 月下旬开始种植秋茬蔬菜,9 月中旬开始扣棚。处于敞棚休闲或低植被覆盖状态的时期长达 90~120 d(其中敞棚休闲期 40~60 d)。鉴于北方设施菜地过量施氮仍较普遍^[3],蔬菜收获后土壤硝态氮残留量高,加之设施菜地有机质含量丰富、微生物活跃,有机氮矿化能力强,6—9 月又是北方降雨最为集中的时期(占全年降雨量 60%以上),在没有植物利用或缺乏有效利用的条件下,土壤硝态氮淋失风险极大。因此,夏季敞棚休闲期有可能成为我国北方设施菜地土壤硝态氮淋失的重要时期。

填闲作物是指主要作物收获后,在多雨季节种植以吸收土壤氮素、降低耕作系统中的氮淋溶损失,并将所吸收的氮转移给后季作物的作物^[4-5]。随着氮素过量施入及硝酸盐淋溶愈来愈严重,近几年我国对于利用填闲作物降低硝酸盐淋溶方面的研究较多,但尚未筛选出较合适的填闲作物。

本研究以北京市房山区韩村河农业生态示范园蔬菜种植区为研究试区,以设施菜地为研究对象,以夏季敞棚休闲期为关键研究阶段,研究该期设施菜地硝态氮淋失潜力,筛选适宜于北方夏季种植、生长迅速、高效吸氮且具有一定经济效益的填闲作物,为控制我国北方集约化蔬菜种植区硝态氮淋失、减轻地下水污染提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试农田

试验设置在北京市房山区韩村河农业生态示范园,供试农田种植方式为设施菜地。1996 年建棚后,历年种植蔬菜。2008 年 2 月 5 日种植西兰花,7 月 5 日收获完毕,撤掉棚膜,7 月 6 日农田进入休闲期。供试土壤基本理化性状见表 1。

1.2 试验设置

试验以不同填闲作物种类设置处理,包括甜玉

米、高丹草、红叶苋菜、空心菜、小麦等 5 种作物和空白对照,共计 6 个处理,每个处理设 3 次重复,试验共计 18 个小区,每个小区面积 12 m²,小区按照随机区组排列。试验时段为 2008 年 7 月 6 日至 2008 年 9 月 3 日,共计 60 d。作物全部采取撒播方式种植,试验期间不施肥,出苗期各小区均匀灌溉 1 次水,清除 2 次杂草。

1.3 样品采集

试验采集样品包括土样和植株样。土样采集时间分别在设置小区前和作物收获后,第 1 次采集以整个供试农田为单元,第 2 次采集分别以 18 个小区为单元,采取“S”混合采样法,土样分 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm 和 100~120 cm 共计 6 个层次。植株样采集以 15 d 为时段,分别在作物种植后 15、30、45 和 60 d 采集,采取整株采集方法,根据作物在不同生育期大小,选取若干株有代表性的单株,现场称鲜重。

1.4 样品检测与数据处理

土壤检测指标包括全氮、硝态氮和铵态氮,植株样检测指标为全氮(表 2)。采用 Microsoft Excel 2003 制作图表,采用 SPSS10.0 软件进行(One-Way ANOVA)数据差异的显著性分析。

表 2 样品检测指标及方法

Table 2 Measuring items and methods of water samples

检测指标		检测方法
土壤	全 N	半微量开氏法
	NO ₃ -N	0.01 mol·L ⁻¹ CaCl ₂ 浸提-紫外分光光度计法
	NH ₄ ⁺ -N	0.01 mol·L ⁻¹ CaCl ₂ 浸提-靛酚蓝比色法
植株	全 N	H ₂ SO ₄ -H ₂ O ₂ 消煮,凯氏定氮法

2 结果与分析

2.1 填闲作物的生物量和吸氮量

5 种作物中,甜玉米的生物量和吸氮能力都显著优于其他 4 种($P<0.05$),分别达到 92 335 和 330 kg·hm⁻²(图 1),甜玉米的生物量与高丹草和红叶苋菜相差不大,但吸氮量明显高于后两者,分别高出 165 和 171 kg·hm⁻²。说明甜玉米对氮的累积能力强于高丹草和红叶苋菜。红叶苋菜的生物量低于高丹草,而吸氮量却高于高丹草,表明红叶苋菜的氮累积能力优于高丹草。空心菜和小麦的生物量和吸氮量相对较低,它们对氮的累积能力相对较差。

2.2 填闲作物不同生育期的吸氮特征

整个生育期,甜玉米的单株吸氮量及单株吸氮量

表 1 供试土壤的基本理化性状

Table 1 Basic physical and chemical properties of the soil studied

土壤层次/ cm	NH ₄ ⁺ -N/ mg·kg ⁻¹	NO ₃ ⁻ -N/ mg·kg ⁻¹	全 N/ g·kg ⁻¹	碱解 N/ mg·kg ⁻¹	速效 K/ mg·kg ⁻¹	速效 P/ mg·kg ⁻¹
0~20	3.4	214.4	4.25	259.4	549.5	318.7
20~40	1.4	160.3	1.10	103.0	458.5	138.7
40~60	0.7	91.9	0.56	34.3	523.5	30.5
60~80	0.9	83.7	0.59	42.0	335.0	39.6
80~100	0.4	79.6	0.53	42.0	101.1	14.6
100~120	0.5	68.9	0.36	34.3	68.6	4.6

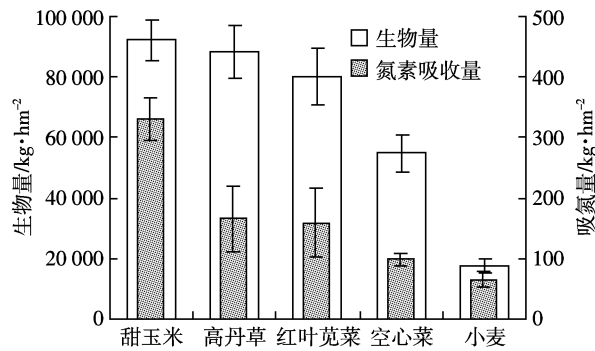


图 1 填闲作物生物量及其吸氮量

Figure 1 The biomass and nitrogen content of catch crops

增长速率明显高于其他 4 种作物 ($P<0.01$), 前期(7 月 20 日—8 月 19 日)甜玉米吸氮速率相对平缓, 后期(8 月 19 日以后)吸氮量急剧增长, 速率明显提高, 其他 4 种作物的吸氮量增长趋势缓慢, 增长速率低(图 2)。由于甜玉米生育期较短(3 个月左右), 最终生物量却很大, 所以, 它必须快速大量吸收氮素以满足其需求, 特别是进入大喇叭口期生长迅速, 需氮量大增, 吸氮速率急剧变大。7 月到 9 月是北方降雨集中期, 而甜玉米能在此期间大量快速吸收土壤中的氮素, 可以有效减少设施菜地土壤硝酸盐的淋失。

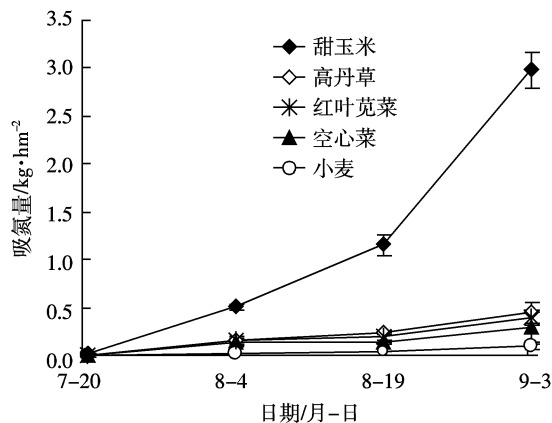


图 2 填闲作物不同生育期吸氮量

Figure 2 The nitrogen content of catch crops in different period

2.3 种植填闲作物前后土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量变化情况

经过休闲期后, 6 个处理 0~120 cm 土层 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量均有不同程度减少, 其中减少最明显的是甜玉米, 减少近 $140 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 其次为高丹草, 减少量为 $120 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 不种作物的处理小区减少量最少, 减少量仅为甜玉米的 1/2 左右。其原因除了作物吸收部分外, 还可能是雨水及灌溉水形成的下渗水为 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的迁移提供载体^[5], 导致浅层硝酸盐向深层淋失, 而强降水

则使土壤表层 $\text{NO}_3\text{-N}$ 淋溶到相当深度^[6]。6 个处理 0~60 cm 土层硝酸盐均有不同程度降低, 但降低量不同, 其中甜玉米、高丹草和红叶苋菜降低最多, 三者 $\text{NO}_3\text{-N}$ 减少量相近, 均在 $106 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 以上。6 个处理 60~120 cm 硝酸盐含量有增有减, 其中种植甜玉米的处理降低最多, $\text{NO}_3\text{-N}$ 减少量近 $20 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 其他处理按照减少量大小顺序依次为高丹草、小麦和 CK, 而种植红叶苋菜和空心菜后, 60~120 cm 土层硝酸盐含量增加, 特别是红叶苋菜, $\text{NO}_3\text{-N}$ 增加量近 $30 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (表 3)。

表 3 种植填闲作物后不同土层 $\text{NO}_3\text{-N}$ 减少量Table 3 The $\text{NO}_3\text{-N}$ content in different soil depth after planting catch crops

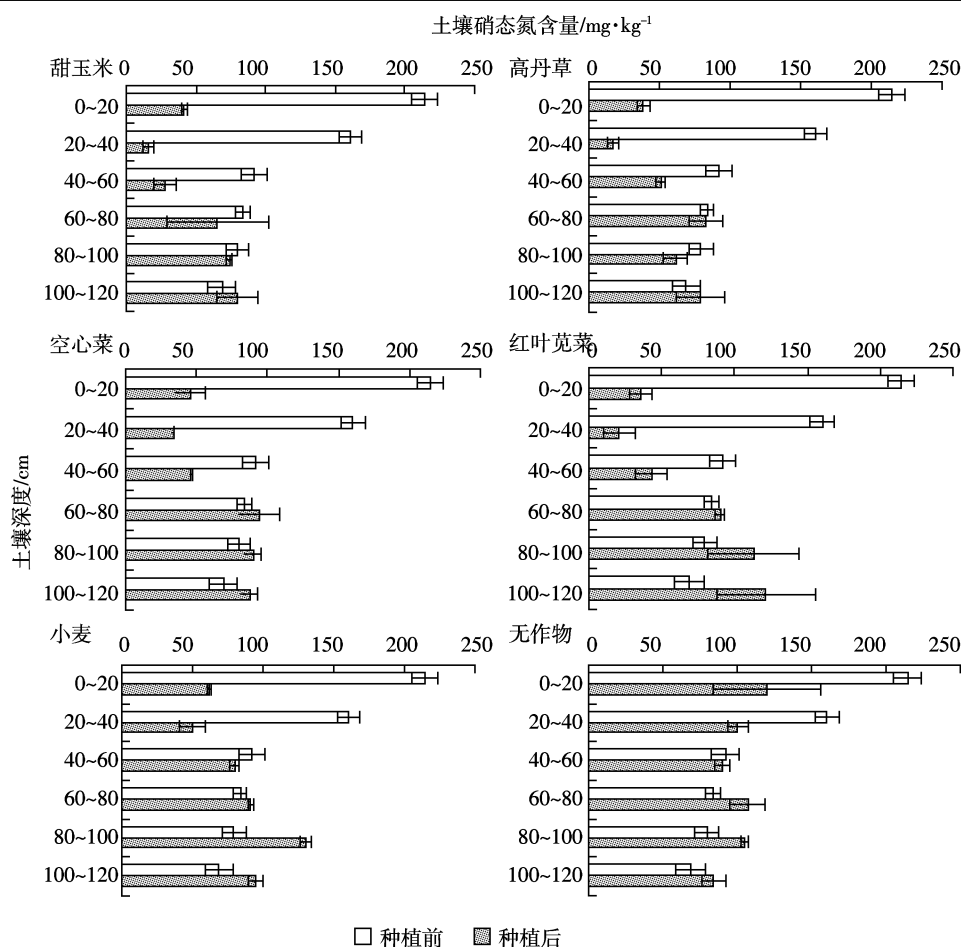
处理	$\text{NO}_3\text{-N}/\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$		
	0~60 cm	60~120 cm	0~120 cm
甜玉米	-107.2±1.5	-18.3±18.5	-137.8±19.8
高丹草	-106.8±9.6	-9.1±6.5	-120.2±14.9
红叶苋菜	-109.6±3.5	28.6±21.2	-86.1±28.2
空心菜	-96.1±3.2	12.0±8.2	-88.9±4.4
小麦	-95.5±18.0	-6.7±13.4	-106.1±31.5
CK	-61.9±21.4	-10.7±7.1	-74.8±25.1

注: 数据前有-, 表示 $\text{NO}_3\text{-N}$ 量降低; 数据前有+, 表示 $\text{NO}_3\text{-N}$ 量增高。±后为标准偏差(RSD)。

休闲期后, 6 个处理的 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 3 个土层硝酸盐含量均有减少, 且种植填闲作物的 5 个处理减少均较明显。甜玉米和高丹草 60~80 cm 及 80~100 cm 两个层次的硝酸盐含量降低, 其他 4 种处理呈现增加现象, 可见空心菜、红叶苋菜、小麦和 CK 均从 60 cm 开始出现硝酸盐积累, 至 100~120 cm, 各处理均有硝酸盐增加趋势, 特别是红叶苋菜和小麦在 80~120 cm 土层累积量大, 高于 CK 的含量, 分别高 45 和 $35 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。原因可能是红叶苋菜和小麦的根系等改变土壤性状而促进了硝酸盐向深层淋失。而甜玉米和高丹草则能显著降低 0~100 cm 土层硝态氮的残留量, 减少硝酸盐淋失(图 3)。

3 讨论与结论

本研究表明, 填闲作物能够显著降低设施菜地硝酸盐淋失量, 尤其是甜玉米和高丹草等禾本科植物。这与 Meisinger^[8-9]的研究结果是一致的。原因主要在于填闲作物不仅延长植被覆盖时间, 并通过植株蒸腾和养分吸收作用大量消耗土壤剖面中的水分和氮素^[10], 控制土壤剖面硝态氮向下淋溶。本试验还发现

图3 填闲作物种植前后各个土壤层次 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量Figure 3 The $\text{NO}_3\text{-N}$ content in different soil depth before and after planting catch crops

有些作物虽能降低浅层土壤硝酸盐含量,但促进了硝酸盐向深层的淋失,如红叶苋菜和小麦。

填闲作物作为有效的氮库不仅应具备一定的生物量^[1],而且作物自身氮素累积能力也是影响填闲作物吸氮和阻控土壤硝酸盐淋溶的重要因素。属于 C_4 植物的甜玉米由于其高光效的代谢特点,生长迅速,生物量大且根系发达,能在降雨集中的较短期间内大量吸收硝酸盐。已有试验也有选择 C_4 作物作为填闲作物,包括青贮玉米、糯玉米、甜玉米等^[12],但任智慧^[12]的研究表明,苋菜的氮素提取能力比甜玉米高,且种植甜玉米和苋菜后的 90 cm 以下土层硝酸盐含量并没有降低。张丽娟^[13]的研究表明,夏季种植高丹草对土壤上层氮素的吸收消耗大于玉米,高丹草比玉米在截获残留硝态氮、阻止其大量向下迁移的作用更强,与本试验有一定分歧。本试验表明,高丹草和红叶苋菜对浅层土壤硝酸盐吸收效果较好,且高丹草能较好降低 80~100 cm 层次的硝酸盐含量,但是甜玉米对 0~120 cm 土层氮素提取和截获的总体能力显著

强于前两者。研究结果的分歧与土壤基本条件、生长环境、管理措施以及作物品种等有关系。种植红叶苋菜和小麦的处理促进硝酸盐向深层次 (80~120 cm) 的淋失,可能因为两者的根系生物量小,且主要分布在较浅土层,上层土壤中未被作物吸收的硝酸盐,被淋洗至下层。

综上分析和讨论,甜玉米自身生物量大,吸氮量大且速率高,不仅可以大幅度降低浅层土壤硝酸盐残留量,还能有效地吸收深层土壤的硝酸盐,因此,可以较好地防治土壤及地下水硝酸盐污染。5 种作物中,高丹草减少硝酸盐向下淋溶效果仅次于甜玉米。

参考文献:

- [1] 刘宏斌,李志宏,张云贵,等.北京市农田土壤硝态氮的分布与累积特征[J].中国农业科学,2004,37(5):692-698.
LIU Hong-bin, LI Zhi-hong, ZHANG Yun-gui, et al. Characteristics of nitrate distribution and accumulation in soil profiles under main agro-land use types in Beijing[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(5): 692-698.

- [2] 袁新民, 李晓林, 同延安, 等. 陕西关中地区蔬菜地土壤的 NO_3^- -N 累积[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(5): 102-105.
YUAN Xin-min, LI Xiao-lin, TONG Yan-an, et al. NO_3^- -N accumulation in vegetable soil in Guanzhong area of Shaanxi Province[J]. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1999, 5(5): 102-105.
- [3] 刘宏斌. 施肥对北京市农田土壤硝态氮累积与地下水污染的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2002: 1-127.
LIU Hong-bin. Influence of fertilization on NO_3^- -N accumulation and pollution in soil and groundwater of Beijing rural area[D]. Beijing: Dissertation of ph. D. Chinese Agricultural Academic Science, 2002: 1-127.
- [4] Vos J, Putten P E L van der, Hussein M H, et al. Field observations on nitrogen catch crops. II. Root length and root length distribution in relation to species and nitrogen supply[J]. *Plant and Soil*, 1998, 201(1): 149-155.
- [5] Gustafson A, Fleischer S, Joelsson A A. Catchment oriented and cost effective policy for water protection[J]. *Ecological Engineering*, 2000, 14(4): 419-427.
- [6] 彭林, 王继增, 余存祖. 侵蚀旱作土壤氮素吸收利用与淋溶损失[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(2): 9-16.
PENG lin, WANG Ji-zeng, YU Cun-zu. Soil nitrogen uptake by crops, nitrogen leaching and loss from the eroded dryland[J]. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1996, 2(2): 9-16.
- [7] 张庆忠, 陈欣, 沈善敏. 农田土壤硝酸盐累积与淋失研究进展[J]. 应用生态学报, 2002, 13(2): 233-238.
ZHANG Qing-zhong, CHEN Xin, SHEN Shan-min. Advances in studies on accumulation and leaching of nitrate in farming soil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology of Applied Ecology*, 2002, 13(2): 233-238.
- [8] Meisinger J J, Delgado J A. Principles for managing nitrogen leaching[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 57: 485-498.
- [9] Meisinger J J, Hargrove W L, Mikkelsen R L, et al. Effect of cover crops on groundwater quality[G]//Hargrove W L. ed. *Cover Crops for Clean Water*. Los Angeles, USA: Soil and Water Conservation Society, 1991: 57-68.
- [10] Strock J S, Porter P M, Russelle M P. Cover cropping to reduce nitrate loss through subsurface drainage in the northern U. S. Corn Belt[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2004, 33(3): 1010-1016.
- [11] Thorup-kristensen K, Magid J, Jensen L S. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones[J]. *Advances in Agronomy*, 2003, 79: 227-302.
- [12] 任智慧. 京郊露地菜田土壤硝酸盐累积及阻控对策[D]. 北京: 中国农业大学, 2003: 1-53.
REN Zhi-hui. Nitrate accumulation and related control strategies in the open-field vegetable production of Beijing suburb[D]. Beijing: Dissertation of Master. China Agricultural University, 2003: 1-53.
- [13] 张丽娟. 农田生态系统中残留硝态氮的行为及植物利用[D]. 北京: 中国农业大学, 2004: 1-118.
ZHANG Li-juan. The behavior of residue nitrate and its utilization by plants in agro-ecosystem[D]. Beijing: Dissertation of Master. China Agricultural University, 2004: 1-118.

致谢: 雷秋良、张心昱、宋正国、肖强、雷宝坤、翟丽梅、习斌、杨波、张倩、郑洁、张亦涛等在试验及论文撰写过程中给予了指导和帮助, 衷心表示感谢。