

控释尿素对小麦-玉米产量及土壤氮素的影响

于淑芳¹, 杨 力¹, 张 民², 吴文良³, 巨晓棠³, 田 叶¹

(1.山东省农科院土壤肥料研究所, 济南 250100; 2.山东农业大学, 山东 泰安 271018; 3.中国农业大学, 北京 100193)

摘 要:利用田间试验研究了包膜控释尿素对小麦-玉米产量、氮素利用效率、土壤氮素积累及移动的影响。结果表明,与施用普通尿素比较,小麦-玉米周年施用包膜控释尿素,在肥料用量减少 20%和 40%情况下,小麦-玉米总产量分别是 100%普通尿素处理的 97.4%和 97.7%;控释尿素施氮量为 60%处理的肥料农艺利用率和偏生产力分别比普通尿素提高 11.57%和 54.14%。控释尿素施氮量为 80%处理的肥料农艺利用率和偏生产力分别提高 6.40%和 22.09%。施用控释尿素显著增加了 0~20 cm 土层的碱解氮和 0~40 cm 土层的硝态氮含量;60~100 cm 土层中,控释氮肥处理土壤硝态氮含量与不施氮肥处理差异不显著,普通尿素处理小麦收获后 60~80 cm 土层、玉米收获后 60~100 cm 土壤硝态氮显著高于不施氮肥处理,肥料氮素下移明显。试验结果显示,施用控释尿素增加了耕层(0~20 cm)土壤的氮素积累,减少了氮素向土壤深层移动的数量,有利于减少施肥对环境的不利影响。

关键词:小麦;玉米;控释尿素;土壤氮素

中图分类号:S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)09-1744-06

Effects of Controlled-release Urea on Wheat-corn's Yield and Soil Nitrogen

YU Shu-fang¹, YANG Li¹, ZHANG Min², WU Wen-liang³, JU Xiao-tang³, TIAN Ye¹

(1.Institute of Soil and Fertilizer, SAAS, Jinan 250100, China; 2.Shandong Agricultural University, Taian, 271018, China; 3.China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: The effects of controlled-release urea on wheat-corn's yield, nitrogen use efficiency, soil nitrogen accumulation and movement were studied by field experiment. The results showed that the yield of wheat and corn were 97.4% and 97.7% respectively after applying controlled-release urea which quantity was decreased by 20% and 40% compared with that of general urea treatment. After applying controlled-release urea which amount was 60% of general urea, agronomic N use efficiency (ANUE) increased by 11.57% and partial factor productivity for applied fertilizer (PFP) increased by 54.14%. After applying controlled-release urea which amount was 80% of general urea, fertilizer agronomic utilization increased by 6.40% and partial factor productivity increased by 22.09%. Alkali-hydrolyzable (0~20 cm) nitrogen and soil nitrate (0~40 cm) were increased after applying controlled-release urea, soil nitrate (60~80 cm) had no significant difference between controlled-release urea and no nitrogen treatment, soil nitrate (60~80 cm, wheat block; 60~100 cm, corn block) were increased compared with that of no nitrogen treatment, nitrogen moved obviously. Test results suggested that reducing controlled-release urea amount could increase nitrogen accumulation of upper soil, at the same time the amount of nitrogen which moved to soil depth was decreased. Therefore, reducing controlled-release urea amount was helpful to increasing the fertilizer's adverse effect on environment.

Keywords: wheat; corn; controlled-release urea; soil nitrogen

目前,我国农业生产中应用的主要氮肥品种是尿素,这种速效氮肥施入土壤后经挥发、淋溶和反硝化,氮素损失率高达 14%~45%^[1]。20 世纪 80 年代,为了

减少氮素损失、提高肥料利用率,土壤肥料工作者多从施肥方法、添加脲酶抑制剂、氮磷钾配合施用等方面进行研究^[2-8]。进入 21 世纪,随着农村劳动力的日趋减少,氮肥深施、多次施肥等费工费力的传统施肥模式逐渐被淘汰,加之施肥量不断增加,因肥料施用不当造成的资源浪费及其对大气、土壤、水质等环境的污染已引起世界各国的普遍关注。科学家们努力从肥料品种本身解决上述问题^[9-10],缓/控释肥应用于大田作物已经成为当前研究和试验的重点,欧、美、日等国

收稿日期:2010-04-06

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划课题(2006BAD17B05);“十一五”国家科技支撑计划课题(2006BAD10B07);国家自然科学基金(30871593)

作者简介:于淑芳(1958—),女,山东聊城人,硕士,研究员,主要从事作物营养与施肥。E-mail yushufang@saas.ac.cn

通讯作者:吴文良 E-mail: wuwenli@cau.edu.cn

控释肥已由草坪、花卉应用逐渐研究在马铃薯、水稻、果树等作物上应用^[11-15]。我国的缓/控释肥研究和应用尽管起步较晚,但起点高、发展快,已经拥有多种自主知识产权的缓/控释肥品种和少量大田应用试验报道^[16-20]。缓/控释肥具有养分损失少,肥料利用率高优势,但对于小麦、玉米这类作物来说,缓/控释肥价格偏高,农民难以接受。为了应用这种新型肥料,除了努力降低肥料生产成本外,在应用中减少肥料用量、降低肥料投入成本也是一项重要措施,但用量减少多少对产量没有影响,以及肥料减少后是否会耗竭土壤养分,缓/控释肥在土壤剖面的移动等目前还未见报道。本项研究旨在探讨冬小麦-夏玉米轮作中周年减量施用控释氮肥对产量和土壤氮素残留及移动的影响,为缓/控释肥的合理施用和减少氮肥污染提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用控释尿素由山东金正大生态工程股份有限公司生产。小麦用肥为硫加树脂包膜尿素,含 N 量 34%,粒径 2~5 mm,按照控释肥行业标准设计控释期 4 个月(25℃静水中,下同)。玉米用肥为树脂包膜尿素,含 N 量 42%,粒径 2~5 mm,控释期 3 个月。

试验设在山东省桓台县新城镇中国农业大学桓台试验站,种植模式为小麦、玉米轮作,土壤为壤质潮褐土,其耕层(0~20 cm)土壤基本理化性状为:有机质 22.3 g·kg⁻¹,碱解氮 31.60 mg·kg⁻¹,速效磷 3.56 mg·kg⁻¹,速效钾 138.36 mg·kg⁻¹,pH 8.1。小区面积 50 m²,3 次重复,随机区组排列,同一区组内小区间隔 1 m,两个区组间隔 1.5 m。

所有处理(表 1)磷、钾肥用量相同。控释尿素和

磷、钾肥全部作基肥施用。普通尿素小麦 40%基施,60%于拔节期追施,玉米普通尿素全部在大喇叭口期追施。按照农民习惯,基肥的施用方法是旋耕前均匀撒施,追肥是撒于土壤表面后灌溉。供试小麦品种为济麦 22,2007 年 10 月 16 日播种,2008 年 6 月 10 日收获。玉米品种为莱农 14,2008 年 6 月 15 日播种,2008 年 10 月 4 日收获。

1.2 样品采集与测试

小麦和玉米收获,每个小区采用人工收割 1/3 面积,单独脱粒、计产。小麦播种前、小麦拔节期(播种后 170 d、T2 处理未追施尿素)、小麦收获后和玉米收获后分别采取 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm 土壤样品,土壤碱解氮测定参考土壤农业化学分析方法^[21],硝态氮利用 FOSS 公司生产的 FI-Astar5000 流动分析仪。

1.3 数据统计分析和参数计算

数据采用 DPS 程序软件进行统计分析。

氮肥农艺利用率 (Agronomic N use efficiency, ANUE)=(施氮区产量-空白区产量)/施氮量。氮肥偏生产力 (Partial factor productivity for applied fertilizer, PFP)=施氮区产量/施氮量^[22]。

2 结果与分析

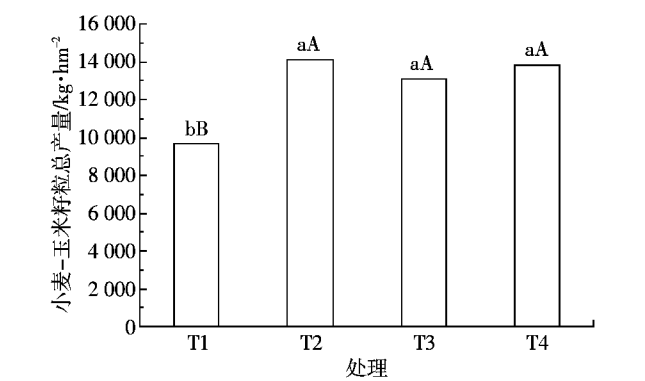
2.1 控释氮肥对产量的影响

试验产量结果见图 1。从平均值来看,小麦-玉米两季总产量为 T2>T4>T3>T1,控释氮肥 60%处理产量是普通尿素 100%处理的 97.4%,控释氮肥 80%处理产量是普通尿素的 97.7%,差别很小,可以看作不减产。经统计,所有施氮肥处理与不施氮肥处理的差异均达到 1%极显著差异水平。各施肥处理之间差异不显著。试验结果表明,在小麦、玉米轮作制中,两季

表 1 试验处理

Table 1 Experiment treatment

处理 Treatment	处理内容 Content	施肥量 Dosage of fertilizer/kg·hm ⁻²		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
小麦 wheat	T1	对照,不施氮肥	120	90
	T2	普通尿素,100%,其中 40%基施,60%追施	120	90
	T3	控释尿素 60%,全部基施	120	90
	T4	控释尿素 80%,全部基施	120	90
玉米 corn	T1	对照,不施氮肥	90	120
	T2	普通尿素,100%,全部追施	90	120
	T3	控释尿素 60%,全部基施	90	120
	T4	控释尿素 80%,全部基施	90	120



图中不同的小写字母表示 5% 差异水平,不同的大写字母代表 1% 差异水平,下同。

Different small letters mean significant at 5% level; Different capital letters mean significant at 1% level.

图 1 各处理小麦-玉米籽粒总产量

Figure 1 Total yield of wheat and corn

连续施用控释氮肥,其用量以达到普通尿素用量的 60% 以上为佳。

2.2 控释氮肥对氮肥农艺利用率和氮素偏生产力的影响

氮肥农艺利用率是指施用氮肥后增加的产量与施用氮肥量的比值,氮肥偏生产力是施氮区产量与施氮量的比值,它们表明施用每千克纯氮增产小麦、玉米的能力,两者都是学术界用来描述氮肥利用率的重要指标。试验结果显示(表 2),与施用普通尿素比较,控释氮肥处理明显提高了氮肥农艺利用率和氮肥偏生产力。在保证不降低产量的条件下,控释氮肥通过减少肥料损失,降低肥料用量,提高利用效率,为节约资源、减少因施肥造成的环境污染提供了重要途径。

2.3 控释氮肥对土壤耕层碱解氮的影响

土壤碱解氮代表土壤对当季作物的供氮能力,冬小麦的生长期为 230~240 d,试验选用的控释肥在 25℃ 静水条件下的控释期为 120 d,为了了解控释肥在小麦生长的关键时期——拔节期土壤的供氮状况,对 0~20 cm 土壤碱解氮进行了测定。结果显示(图 2),各

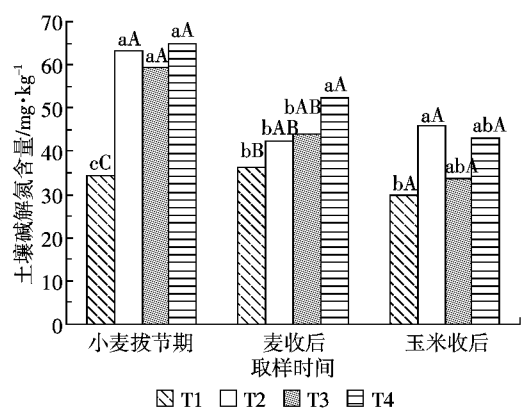


图 2 各处理 0~20 cm 土壤碱解氮含量

Figure 2 The hydrolytic nitrogen of different treatments in 0~20 cm soil

施肥处理比不施肥土壤碱解氮有明显增加。在 3 个施肥处理中,土壤碱解氮以处理 4 最高,处理 2 次之,然后是处理 3。小麦收获后,土壤碱解氮含量的顺序是 T4>T3>T2>T1。3 个施肥处理,土壤碱解氮有明显的积累。与施用普通尿素 100% 比较,两个控释氮肥处理尽管施肥量比普通尿素减少,但土壤碱解氮含量并没有降低。60% 控释氮肥处理土壤碱解氮含量比普通尿素 100% 略有增加,但差异不显著。80% 控释氮肥处理土壤碱解氮含量比 100% 普通尿素处理有明显提高,差异达到 5% 显著性水平。玉米收获后测定结果表明,与不施氮肥比较,两个控释氮肥处理耕层土壤(0~20 cm)碱解氮均有一定量的积累。与施用 100% 普通尿素相比,60% 控释氮肥处理土壤碱解氮积累量减少,80% 控释氮肥处理基本持平。经统计,前者达到极显著差异,后者差异不显著。上述试验结果说明,在小麦、玉米轮作制中,单季施用控释氮肥其用量为普通尿素用量的 60% 以上,不会降低土壤的供氮能力。若连续施用控释氮肥,其用量不应少于普通尿素用量的 80%。

2.4 控释氮肥对土壤耕层硝态氮的影响

在旱作土壤中,硝态氮是作物吸收的主要氮素形

表 2 各处理小麦和玉米总的氮肥农艺利用率和氮肥偏生产力

Table 2 Total nitrogen Agronomic efficiency and Partial factor productivity of wheat and corn dealt with different treatment

处理 Treatment	施 N 量/ kg·hm ⁻² Dosage of nitrogen	氮肥农艺利用率/ kg 籽粒·kg ⁻¹ N Agronomic N use efficiency	比普通尿素增减/ %Variation	氮肥偏生产力/kg 籽粒·kg ⁻¹ N Partial factor productivity for applied fertilizer	比普通尿素增减/ %Variation
T2	435	9.85		32.51	
T3	261	10.99	11.57	50.11	54.14
T4	348	10.48	6.40	39.69	22.09

态,硝态氮的数量标志着土壤氮素的供应强度。土壤硝态氮的变化趋势与碱解氮基本一致。小麦拔节期(施基肥后 170 d)测定结果显示(图 3),施用氮肥显著增加了土壤的供氮强度,3 个施氮处理土壤硝态氮的提高达到 1%显著性水平。与施用普通尿素 100% 比较,施用 60%控释氮肥,土壤硝态氮稍有减少,施用 80%控释氮肥土壤硝态氮略有增加,但 3 个处理之间没有显著性差异。小麦收获后,两个控释氮肥处理土壤硝态氮含量均高于施用普通尿素 100%处理,且施用 80%控释氮肥处理,土壤硝态氮含量与施用普通尿素 100%处理之间有极显著差异。玉米收获后,由于玉米产量高,吸收强度大,与施用 100%普通尿素比较,控释氮肥用量较少的 60%控释氮肥处理土壤硝态氮下降明显,施用 80%控释氮肥的处理土壤硝态氮也有一定程度下降。

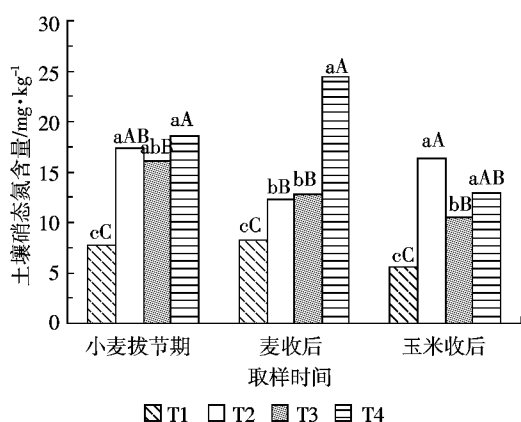


图3 各处理 0~20 cm 土壤硝态氮含量

Figure 3 The nitrate nitrogen of different treatments in 0~20 cm soil

2.5 控释氮肥对土壤剖面硝态氮移动的影响

试验结果如图 4、图 5。空白对照土壤硝态氮的变化主要集中在 0~40 cm 土层内,40~100 cm 土层基本稳定,且小麦、玉米收获后无明显变化。在小麦收获后,3 个施肥处理中,施用 60%控释氮肥处理只在 40 cm 以上土壤硝态氮有一定量的增加,40 cm 以下与不施氮肥处理无明显差别,氮素向土壤下层移动不显著。施用 80%控释氮肥处理,在 0~20 cm 土层内硝态氮明显高于其他处理,20~40 cm 急剧减少,至 60 cm 后无增加现象。施用普通尿素处理 20~40 cm 土层内硝态氮远远大于 0~20 cm,下移强烈,至 60 cm 又明显减少,说明小麦生长季由于雨水较少,施用速效性氮肥后当季以下移至 60 cm 土层为主。玉米生长季土壤硝态氮下移与小麦季有所不同。首先,数量普遍增加,特别是施用普通尿素处理。其次,下移深度增加,

控释氮肥处理土壤硝态氮在 60 cm 土层比不施肥有少量提高,施用普通尿素则在 100 cm 处还显著多于不施肥处理。从图中也可以看出,在耕层土壤中控释氮肥处理与施用普通尿素比较,土壤硝态氮含量基本接近,个别处理还远远高于普通尿素,但耕层以下控释氮肥处理显著低于施用普通尿素处理。在小麦、玉米两季施肥条件下,控释氮肥下移至 60 cm 土层深度,而普通尿素则达到 100 cm 以下。上述试验结果说明,在小麦、玉米轮作制中施用控释氮肥,由于其氮素是逐渐释放的,土壤中存留的速效性氮素减少,在保证耕层养分供应的情况下可以明显减少氮肥的淋溶损失。

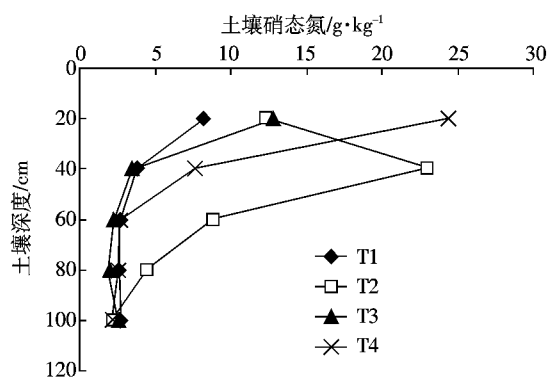


图4 小麦收获后土壤硝态氮移动曲线

Figure 4 The nitrate nitrogen's movement dynamics in soil at wheat growth phase

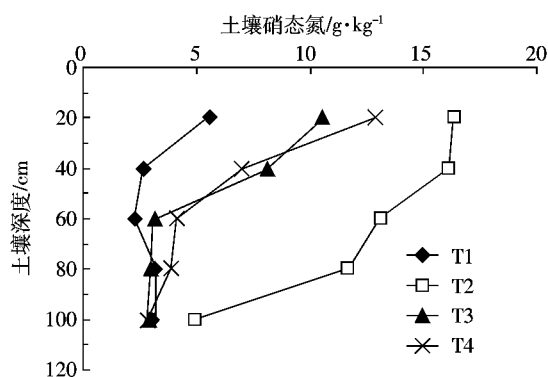


图5 玉米收获后土壤硝态氮移动曲线

Figure 5 The nitrate nitrogen's movement dynamics in soil at corn growth phase

统计显示,耕层土壤硝态氮小麦季以施用 80%控释氮肥处理最高,玉米季以施用 100%普通尿素处理最高,两者与其他处理的差异达到 1%差异水平。耕层以下土壤硝态氮以施用 100%普通尿素处理最高,与其他处理之间均为 1%差异水平。两个控释氮肥处理

土壤硝态氮在 60 cm 土层以下与不施氮肥处理没有统计意义上的差异。

3 结论

(1)小麦、玉米两季连续施用包膜控释氮肥,其用量为普通尿素用量的 60%至 80%可以保证产量与 100%尿素用量相近或略有增产。控释氮肥明显提高了氮肥农艺利用率和氮肥偏生产力,起到明显的节肥增效作用。

(2)施用控释氮肥能够增加肥料氮素在作物主要根系土层的积累(0~20 cm)。与施用普通尿素 100%比较,小麦单季施用控释氮肥,尽管用量减少,0~20 cm 土壤碱解氮和硝态氮含量明显提高。小麦、玉米两季连续施用控释氮肥,其用量为普通尿素的 60%时,耕层土壤碱解氮和硝态氮有一定下降,用量为 80%时则基本持平。

(3)在小麦、玉米两季连续施用氮肥条件下,控释氮肥处理在 60 cm 土层深度的硝态氮含量与不施氮肥处理无明显差异,而施用普通尿素则在 100 cm 土层深度硝态氮含量还明显高于无氮肥处理。试验结果说明,在小麦、玉米轮作制中施用控释氮肥明显减少氮肥向土壤深层移动数量,能够预防因施肥造成的地下水污染。

参考文献:

- [1] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素[M]. 南京:江苏科学技术出版社, 1992.
- [2] Zhu Z L, Wen Q X. Nitrogen in soil of China[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishinghouse, 1992.
- [3] 张邵林, 朱兆良, 徐银华. 黄泛区潮土-冬小麦系统中尿素的转化和化肥氮去向的研究[J]. 核农学报, 1989, 3(1): 9-15.
- [4] Zhang S L, Zhu Z L, XU Y H. The Transformation of urea and the fate of fertilizer nitrogen in fluvo-aquic soil-winter wheat system in flooded plain of Huanghe river[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 1989, 3(1): 9-15.
- [5] 李仲林, 李阿荣, 曹志洪. 石灰性土壤上氮肥施用方法对春小麦氮素利用率的影响[J]. 土壤, 1984(16): 134-137.
- [6] Li Z L, Li A R, Cao Z H. Effect of nitrogen application methods in calcareous soil on wheat's nitrogen use efficiency[J]. *Soils*, 1984(16): 134-137.
- [7] 姚如河, 关士杰. 尿素深施在土壤中的运转及增产效果[J]. 土壤肥料, 1983(1): 15-16.
- [8] Yao R H, Guan S J. The operation and yield of urea applied in soil deeply[J]. *Soil and Fertilizer Sciences*, 1983(1): 15-16.
- [9] 袁增玉, 黄楚玉, 李淑华, 等. 应用 ^{15}N 对尿素在土壤中的移动、损失与提高氮肥利用率的研究[J]. 原子能农业应用, 1981(2): 51-56.
- [10] Yuan Z Y, Huang C Y, Li S H, et al. Study on urea's movement, loss and enhancing nitrogen use efficiency after using ^{15}N [J]. *Application of Atomic Energy in Agriculture*, 1981(2): 51-56.
- [11] 蒋仁成. 尿素在石灰性土壤中的转化及其施用方法[J]. 江苏农业科学, 1980(3): 42-46.
- [12] Jiang R C. Transformation and application methods of urea in calcareous soil[J]. *Jiangsu Agricultural sciences*, 1980(3): 42-46.
- [13] 关松荫. 土壤脲酶抑制剂应用效果的研究[J]. 土壤通报, 1985(16): 132-134.
- [14] Guan S Y. Study on the application effect of soil urease inhibitors[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1985(16): 132-134.
- [15] 周礼恺, 武冠云, 张志明, 等. 脲酶抑制剂氢醌在提高尿素肥效中的作用[J]. 土壤学报, 1988, 25: 191-198.
- [16] Zhou L K, Wu G Y, Zhang Z M, et al. Effect of urease restrainer-hydroquinone on increasing efficiency of urea[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1988, 25: 191-198.
- [17] 赵秉强, 张福锁, 廖宗文, 等. 我国新型肥料发展战略研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(5): 536-545.
- [18] Zhao B Q, Zhang F S, Liao Z W, et al. Research on development strategies of fertilizer in China[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2004, 10(5): 536-545.
- [19] 徐万里, 周勃, 刘骅, 等. 控释肥料的研究及其进展[J]. 新疆农业大学学报, 2002, 25(4): 17-21.
- [20] Xu W L, Zhou B, Liu H, et al. Study and review on the controlled release fertilizers[J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2002, 25(4): 17-21.
- [21] Hutchinson C M. Influence of a controlled release nitrogen fertilizer program on potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber yield and quality[J]. *Acta Horticulturae*, 2005, 684: 99-102.
- [22] Hutchinson C, Simonne E, Solano P, et al. Test of controlled release fertilizer programs for seep irrigated Irish potato production[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2003, 26(9): 1709-1723.
- [23] Purwanto B H, Kakuda K, Ando H, et al. Nutrient availability and response of sago palm (*Metroxylon sagu* Rottb.) to controlled release N fertilizer on coastal lowland peat in the tropics[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2002, 48(4): 529-537.
- [24] Shoji S, Delgado J, Mosier A, et al. Use of controlled release fertilizers and nitrification inhibitors to increase nitrogen use efficiency and to conserve air and water quality[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2001, 32(7-8): 1051-1070.
- [25] Bong Kyoon Kang, Sang Heon Han. Production of seed potato (*Solanum tuberosum* L.) under the recycling capillary culture system using controlled release fertilizers[J]. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 2005, 74(4): 225-229.
- [26] 宋付朋, 张民, 史衍玺, 等. 控释氮肥的氮素释放特征及其对水稻的增产效应[J]. 土壤学报, 2005, 42(4): 619-627.
- [27] Song F P, Zhang M, Shi Y X, et al. Releasing characteristics of controlled-release nitrogen fertilizer and its effects on rice yield[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(4): 619-627.
- [28] 唐拴虎, 陈建生, 徐培智, 等. 控释肥料氮素释放与水稻吸收动态研究[J]. 土壤通报, 2004, 35(2): 186-190.

- Tang S H, Chen J S, Xu P Z, et al. Nitrogen release and dynamic of controlled-release fertilizer studied with rice[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35(2): 186–190.
- [18] 韩燕来, 赵士诚, 王宜伦, 等. 包膜肥料 ZP 氮素释放特点及在夏玉米上的施用效果[J]. 土壤通报, 2006, 37(3): 530–532.
- Han Y L, Zhao S C, Wang Y L, et al. The Nitrogen release character of the coated fertilizer ZP and its effect on summer maize[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(3): 530–532.
- [19] 汪 强, 李双凌, 韩燕来, 等. 缓控释肥对小麦增产与提高氮肥利用率的效果研究[J]. 土壤通报, 2007, 38(1): 47–50.
- Wang Q, Li S L, Han Y L, et al. Slow/controlled release fertilizer effect on wheat yield and fertilizer-nitrogen use efficiency[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007, 38(1): 47–50.
- [20] 朱红英, 董树亭, 胡昌浩. 不同控释肥料对玉米产量及产量性状影响的研究[J]. 玉米科学, 2003, 11(4): 86–89.
- Zhu H Y, Dong S T, Hu C H. Research on the yield and characters of maize in different controlled release fertilizer[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2003, 11(4): 86–89.
- [21] 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 method of soil agrichemistry[M]. Beijing: China Agricultural Technology Publishinghouse, 2000.
- [22] 叶全宝, 张洪程, 魏海燕, 等. 不同土壤及氮肥条件下水稻氮利用效率和增产效应研究[J]. 作物学报, 2005, 31(11): 1422–1428.
- Ye Q B, Zhang H C, Wei H Y, et al. Effects of nitrogen fertilizer on nitrogen use efficiency and yield of rice under different soil conditions[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2005, 31(11): 1422–1428.