

控释肥对小麦玉米生物学性状和土壤硝酸盐积累的影响

于淑芳¹, 杨 力¹, 张 民², 吴文良³, 巨晓棠³

(1.山东省农科院土壤肥料研究所, 山东 济南 250100; 2.山东农业大学, 山东 泰安 271018; 3.中国农业大学, 北京 100094)

摘 要:利用田间试验研究了非水溶性材料包膜控释肥对小麦和玉米叶片叶绿素、小麦分蘖和穗数、小麦千粒重、玉米百粒重、产量、养分吸收、肥料利用效率和土壤硝酸盐残留的影响。结果显示,与普通肥料习惯施肥方法相比,控释肥施在种子附近,在氮、磷、钾总用量减少 50%情况下,小麦、玉米多项生长指标无明显差别;控释肥明显提高了肥料的偏生产力,氮肥提高 75.75%~76.33%,磷肥提高 193.50%~201.29%,钾肥提高 109.20%~125.96%;1 m 土层硝酸盐残留,小麦季减少 65.94 kg·hm⁻²,玉米季减少 103.55 kg·hm⁻²。

关键词:小麦;玉米;控释肥;土壤硝酸盐

中图分类号:S145.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)01-0128-06

Effect of Controlled Release Fertilizers on the Biological Properties of Wheat and Corn and Soil Nitrate Accumulation

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

(1.Inst. of Soil and Fertilizer, SAAS, Ji'nan 250100, China; 2.Shandong Agric. Univ., Tai'an 271018, China; 3.China Agric.Univ., Beijing 100094, China)

Abstract:Field experiment was conducted to investigate the effect of controlled release fertilizers coated by non-water soluble material on the SPAD value, tiller, ear number, 1000-grain weight, yield, nutrient uptake, fertilizer utilization efficiency of wheat and corn and soil nitrate.

The results suggested that: There was no different between the wheat and corn's biological properties of controlled release fertilizers and that of customary fertilizer application, also the nutrient of controlled release fertilizers was decreased by 50% than that of customary fertilizer application, at the same time the controlled release fertilizers was near the seed. Comparing to normal fertilizer, ear number of wheat, 1000-grain weight of wheat, 100-grain weight of corn and yield of wheat and corn increased by 32.89%, 6.06%, 7.57%, 5.45% and 1.10% respectively because of using controlled release fertilizers. SPAD value of wheat decreased by 1.37%. The partial factor productivity for applied fertilizer was increased, such as the nitrate fertilizer increased by 75.75%~76.33%, phosphorus fertilizer increased by 193.50%~201.29%, potassium fertilizer increased by 109.20%~125.96%. At 0~100 cm soil depth, the soil nitrate decreased 65.94 kg·hm⁻² at wheat growth stage and it decreased 103.55 kg·hm⁻² at corn growth stage.

Keywords: wheat; corn; controlled release fertilizer; soil nitrate

小麦、玉米是我国的主要粮食作物,同时也是经济效益相对较低的作物。近年来,随着农村劳动力向城市转移,费工费力的肥料深施和多次施肥技术在小麦、玉米上已难于实行。

目前小麦、玉米的施肥模式主要是磷、钾肥和少

量氮肥作基肥,大部分氮肥作追肥,追肥方法为撒施于土壤表面。我国农业生产中应用的主要氮肥品种是尿素。研究表明,尿素作追肥时比其他形态的氮肥更易引起淋洗和地下水的硝态氮污染^[1]。同时这种施肥方法在我国旱地土壤,特别是石灰性土壤尿素的NH₃挥发损失很大,一般为施N量的10%~25%^[2]。由此造成的资源浪费及其对大气、土壤、水质等环境的污染^[3-4]已引起普遍关注。科学家们努力从肥料品种本身解决上述问题^[5-7],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、日等国控释肥已由草坪、花卉应用逐渐研究在马铃薯、水稻、果树等

收稿日期:2009-06-15

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);国家自然科学基金项目(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

作物上应用^[8-12]。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^[13-19]。本研究旨在通过田间试验,探讨非水溶性材料包膜控释肥减量化近种施用对小麦、玉米生长性状的影响,以及与常规肥料相比,氮素在土壤剖面上的淋溶移动特征,为该新型肥料的推广应用提供一定的技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用控释肥由山东金正大生态工程股份有限公司生产,为非水溶性材料包膜的配方控释肥,分小麦专用和玉米专用,小麦肥的氮、磷、钾配比为 30:10:10,玉米肥是 29:7:13。

试验设在山东省桓台县新城镇中国农业大学桓台试验站,供试土壤种植模式为小麦、玉米轮作,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。

试验设 3 个处理,分别为空白、普通肥料、控释肥(氮、磷、钾总量为普通肥料的 50%)。普通肥料处理施肥方法按当前农民习惯施肥方法进行,磷、钾肥全部作基肥施用,尿素在小麦上 40%基施,60%于拔节期追施,玉米全部在大喇叭口期追施。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。控释肥全部作基肥施用,施肥方法是顺播种行开沟施肥,然后在原沟的位置用播种机播种。供试小麦品种为济麦 22,10 月 16 日播种,6 月 10 日收获。玉米品种为莱农 14,6 月 15 日播种,10 月 4 日收获。

1.2 调查与测试

小麦最大分蘖每小区分 3 个点共调查 3 m²。叶片

叶绿素在小麦拔节期和玉米大喇叭口期利用日本产 SPAD-502 便携式叶绿素仪测定,每个小区随机测定 30 片最上端一片全展开叶,取其平均值。小麦穗数是在收获前每小区分 3 个点共调查 3 m²。小麦和玉米收获每个小区采用人工贴地面收割 1/3 面积,单独脱粒计产。试验前、后分 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm 取土壤样品测定硝态氮。土壤和植株常规测试参考土壤农业化学分析方法^[20],土壤硝态氮利用 FOSS 公司生产的 FIAstar5000 流动分析仪。

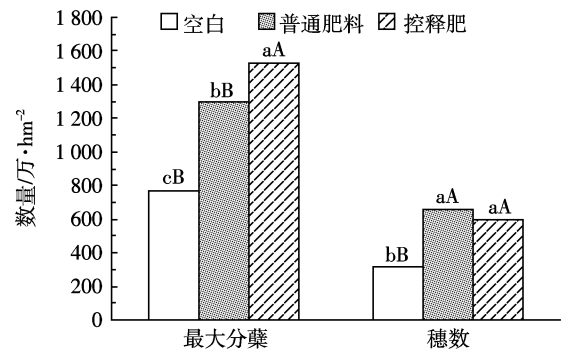
1.3 数据统计分析和参数计算

田间调查和室内测定数据均采用 DPS 程序软件进行统计分析。肥料偏生产力(partial factor productivity for applied fertilizer, PFP)=施肥区产量/施肥量^[21]。

2 结果与分析

2.1 控释肥对小麦分蘖和穗数的影响

调查结果显示(图 1),施肥显著增加了小麦最大分蘖数,与空白比较,普通肥料处理增加了 68.6%,控释肥增加 98.4%。经统计,处理之间达到极显著性差异。小麦穗数控释肥与普通肥料之间差异不明显。



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。

图 1 小麦分蘖和穗数

Figure 1 The tiller and ear number of wheat

上述试验结果表明,在冬小麦上近种施用控释肥,尽管施肥量减少一半,由于肥料集中在根系附近,有利于幼苗的吸收和利用,促进了分蘖的发生。田间观察看到,与普通肥料处理相比,控释肥处理小麦麦苗油绿,叶片宽厚、呈下垂状,群体较大。小麦群体具有自行调节能力,控释肥处理由于分蘖多,无效分蘖增加,因此穗数与普通肥料处理没有明显区别。

2.2 控释肥对小麦千粒重和玉米百粒重的影响

小麦千粒重、玉米百粒重见图 2。从图中看出,空白处理由于生长稀、穗数少,小麦千粒重高于两个施

表 1 施肥方案

Table 1 Scheme of fertilizers

处理		施肥量/kg·hm ⁻²		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
小麦	空白	0	0	0
	普通肥料	210	120	90
	控释肥	126	42	42
玉米	空白	0	0	0
	普通肥料	225	90	120
	控释肥	129	31	58

肥处理。小麦千粒重和玉米百粒重,控释肥处理均高于普通肥料处理,小麦达到了 5%显著性差异,玉米虽然没有统计意义上的差别,但也是 3 个处理中最高的,说明控释肥虽然用量减少,但由于施于根系附近,且释放逐渐进行,后劲足,有利于灌浆过程,使籽粒饱满,粒重增加。

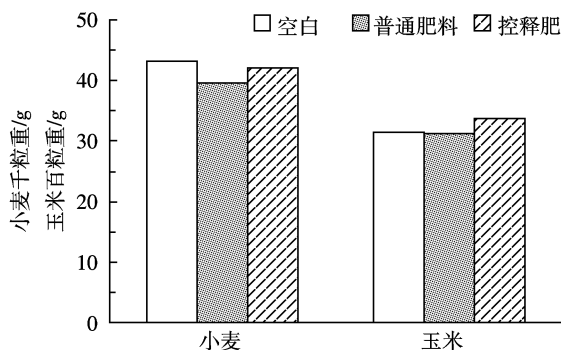


图 2 小麦千粒重和玉米百粒重

Figure 2 The 1000-grain weight of wheat and 100-grain weight of corn

2.3 控释肥对产量的影响

试验产量结果见图 3,两个施肥处理显著增加了小麦、玉米产量,经统计达到 1%差异性水平。控释肥与普通肥料之间没有统计意义上的差异。从平均值来看,控释肥处理小麦、玉米产量稍高于普通肥料处理。试验结果表明,在小麦、玉米轮作制中,两季连续施用控释肥,其氮、磷、钾总用量达到普通肥料的 50%能够满足小麦、玉米全年的增产需要。控释肥解决了大量速效肥料集中施用造成的烧种问题,肥料距离根系近,有利于吸收,可以明显减少肥料用量,同时也为小麦、玉米的播种、施肥一次完成提供了可能。

2.4 控释肥对叶片叶绿素含量的影响

在小麦、玉米生长的关键时期测定叶片的叶绿素含量可以直接了解这个时期肥料供应是否充足,对此

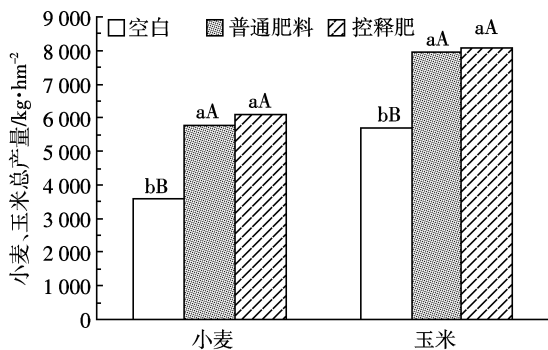


图 3 小麦、玉米产量

Figure 3 The yield of wheat and corn

后一段时间生长发育会不会有影响。试验结果显示(图 4),小麦叶片的叶绿素两个施肥处理显著高于空白对照,达到极显著差异;与普通肥料比较,控释肥处理的平均值略有减少,但没有达到统计上的差异。在叶绿素测定之前半个月普通肥料处理追施了尿素,从田间观察看,在小麦追肥前控释肥处理的叶色还稍浓于普通肥料处理。结果也显示,在玉米大喇叭口期,普通肥料处理叶片叶绿素含量平均值高于空白处理,但没有显著性差异,而控释肥处理则显著高于空白处理,也显著高于普通肥料处理。

上述试验结果说明,控释肥具有养分供应均衡、持续的特性,尽管用量大幅度减少,但由于集中施于根系附近,便于吸收利用。

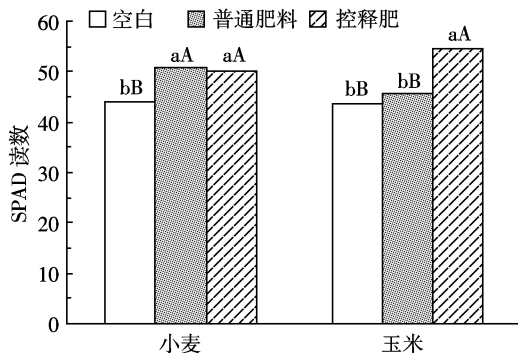


图 4 小麦、玉米叶片 SPAD 读数

Figure 4 The SPAD value of wheat and corn

2.5 控释肥对小麦、玉米氮、磷、钾含量的影响

各处理小麦、玉米氮、磷、钾含量列于表 2。从表中可以看出,除了玉米植株外,施用氮肥都明显增加了小麦籽粒、小麦植株和玉米籽粒的氮含量,差异达到 5%显著性水平;控释肥与普通肥料相比,控释肥施氮量只有普通肥料的 60%,小麦、玉米籽粒和植株的

表 2 小麦、玉米地上部分氮、磷、钾含量(%)

Table 2 The N, P, K content of wheat and corn shoot(%)

营养元素	处理	小麦		玉米	
		籽粒	植株	籽粒	植株
氮 N	空白	1.71bB	0.19bB	1.18bB	0.58aA
	普通肥料	1.83aA	0.36aA	1.36aA	0.64aA
	控释肥	1.82aA	0.34aA	1.32aA	0.63aA
磷 P	空白	0.37bA	0.09aA	0.57aA	0.08aA
	普通肥料	0.40aA	0.08aA	0.59aA	0.09aA
	控释肥	0.38abA	0.09aA	0.58aA	0.09aA
钾 K	空白	0.49bA	2.01cB	0.40bB	1.08aA
	普通肥料	0.52aA	2.68aA	0.42bB	1.18aA
	控释肥	0.51abA	2.36aAB	0.48aA	0.99aA

氮素含量仅有少量减少,但没有统计意义上的差别,说明小麦、玉米两季连续减少 40% 的肥料用量,对小麦、玉米的氮素吸收没有明显影响。

小麦籽粒和植株磷、钾含量控释肥稍低于普通肥料处理,但没有达到显著性差异。玉米籽粒钾含量控释肥明显高于普通肥料。试验结果表明,控释肥磷、钾用量较少,不足普通肥料的一半,而小麦、玉米体内含量却没有明显减少。

2.6 控释肥对肥料偏生产力的影响

试验结果显示(表 3),与普通肥料比较,控释肥明显提高了肥料的偏生产力,小麦、玉米氮肥分别提高 75.75% 和 76.33%,磷肥提高 201.29% 和 193.50%,钾肥提高 125.96% 和 109.20%。

表 3 小麦和玉米的肥料偏生产力

Table 3 The partial factor productivity for applied fertilizer in wheat and corn

作物	营养元素	处理	施入量/ kg·hm ⁻²	偏生产力/ kg 籽粒·kg ⁻¹ 养分	比普通肥料增减/ kg 籽粒·kg ⁻¹ 养分
小麦	N	普通肥料	210	27.50	
		控释肥	126	48.33	20.83
	P ₂ O ₅	普通肥料	120	48.13	
		控释肥	42	145.00	96.88
	K ₂ O	普通肥料	90	64.17	
		控释肥	42	145.00	80.83
玉米	N	普通肥料	225	35.40	
		控释肥	129	62.42	27.02
	P ₂ O ₅	普通肥料	90	88.50	
		控释肥	31	259.75	171.25
	K ₂ O	普通肥料	120	66.38	
		控释肥	58	138.83	72.46

2.7 控释肥对土壤剖面硝态氮的影响

试验结果如图 5、图 6。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,且两个生长季节也无明显变化。

小麦生长季,在 2 个施肥处理中,控释肥处理在 20 cm 以上土壤硝态氮比空白处理有一定量的增加,而 40 cm 则有所减少,这主要是控释肥处理小麦生长好,根系吸收了更多的氮素所致,40 cm 以下控释肥处理土壤硝态氮与空白基本没有差别。普通肥料处理 20 cm 土层以下土壤硝态氮远远大于空白处理,下移强烈,且在小麦生长季节,施用的速效性氮肥以下移至 60 cm 土层为主,80 cm 以下数量减少。玉米生长季土壤硝态氮下移规律与小麦季有所不同。由于玉米生

长季节降雨较多,硝态氮下移深度增加,但是普通肥料与控释肥有明显差别。在 100 cm 土层深处,普通肥料处理土壤硝态氮还明显高于空白,而控释肥处理在 60 cm 处与空白处理基本无差异。

上述试验结果说明,在小麦、玉米轮作制中施用控释肥,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向土壤深层移动的数量。

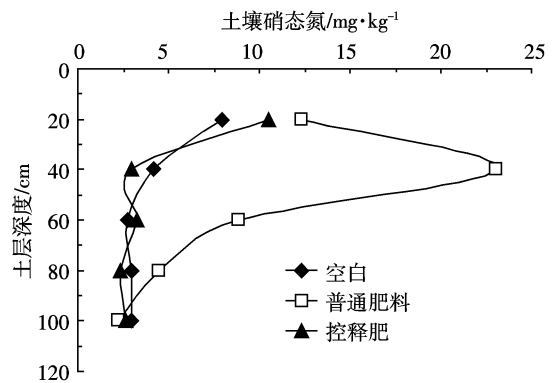


图 5 小麦生长季土壤硝态氮移动曲线

Figure 5 The soil NO₃-N move curve at wheat growth stage

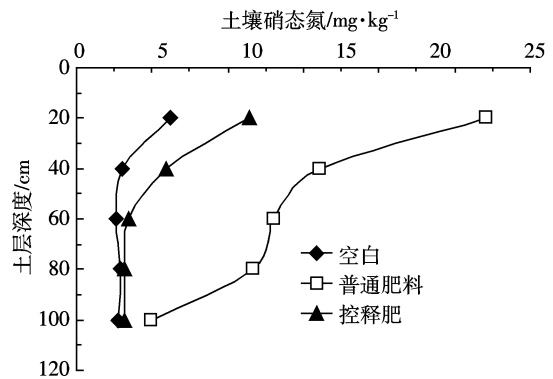


图 6 玉米生长季土壤硝态氮移动曲线

Figure 6 The soil NO₃-N move curve at corn growth stage

目前,控制土壤中肥料氮的残留量是发达国家减少农业生产中因施肥造成的环境问题的一个重要指标,例如西欧各国规定,作物收获后 1 m 土层的氮素残留量不超过 50 kg·hm⁻²。本项研究以施肥与不施肥的空白处理各土层硝态氮数量之差作为肥料氮在土壤中的残留进行统计,结果显示(表 4),普通肥料处理,小麦季 1 m 土层硝态氮残留量为 67.99 kg·hm⁻²,玉米季为 124.90 kg·hm⁻²,两者均超过了西欧规定的指标。而控释肥处理,小麦季 1 m 土层硝态氮残留量为 2.05 kg·hm⁻²,玉米季 21.35 kg·hm⁻²,两者远低于上述指标。从表中也可以看出,普通肥料处理残留的肥

料氮小麦季下移至 60~80 cm 土层, 玉米季下移至 80~100 cm 土层, 而控释肥处理残留的肥料氮小麦季仅在 0~20 cm 土层, 玉米季也主要分布在 0~40 cm 土层。在土壤中, 硝态氮不被土壤胶体吸附, 很容易随灌溉水或雨水向土壤深层移动。大量的硝态氮存留在土壤中, 必定对地下水形成污染威胁。

表 4 不同深度土壤硝态氮残留($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)

Table 4 The soil $\text{NO}_3\text{-N}$ content($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) at different soil depth

取样时间	处理	土层深度/cm				
		0~20	20~40	40~60	60~80	80~100
小麦收后	普通肥料	9.90	42.42	13.78	3.42	-1.52
	控释肥	5.76	-2.66	1.17	-1.41	-0.82
玉米收后	普通肥料	46.83	29.51	23.63	19.95	4.98
	控释肥	11.51	6.53	1.66	0.72	0.93

3 结论

非水溶性材料包膜控释肥可以与小麦、玉米种子近距离一次性施入土壤, 田间试验表明不会出现烧种、烧根现象。由于肥料距离根系近, 便于吸收利用, 肥料用量能够大幅度减少。研究表明, 在氮、磷、钾总用量减少 50% 条件下, 与普通速效肥料比较, 小麦、玉米生长的多种指标如叶片叶绿素含量、小麦分蘖数、千粒重、产量等没有明显差别, 可以保证小麦、玉米正常产量水平或略有提高。控释肥明显提高了肥料偏生产力, 减少了氮肥在土壤中的残留, 降低了因施肥对地下水造成的污染危险。

参考文献:

- [1] 王继红, 刘景双, 李月芬, 等. 氮磷肥对黑土浅层土壤氮素累积和移动的影响[J]. 土壤通报, 2005, 36(3): 341-344.
WANG Ji-hong, LIU Jing-shuang, LI Yue-fen, et al. The effect of nitrogenous and phosphorus fertilizers on accumulation and movement of nitrogen in shallow layer of dark soil[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(3): 341-344.
- [2] 黄国勤, 王兴祥, 钱海燕, 等. 施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策[J]. 生态环境, 2004, 13(4): 656-660.
HUANG Guo-qin, WANG Xing-xiang, QIAN Hai-yan, et al. Negative impact of inorganic fertilizers application on agricultural environment and its countermeasures[J]. *Ecology and Environment*, 2004, 13(4): 656-660.
- [3] 寇长林, 巨晓棠, 张福锁. 三种集约化种植体系氮素平衡及其对地下水硝酸盐含量的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(4): 660-667.
KOU Chang-lin, JU Xiao-tang, ZHANG Fu-suo. Nitrogen balance and its effects on nitrate-N concentration of groundwater in three intensive cropping systems of north China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(4): 660-667.
- [4] 胡克林, 李保国, 黄元仿, 等. 农田尺度下土体硝酸盐淋失的随机模拟及其风险性评价[J]. 土壤学报, 2005, 42(6): 909-915.
HU Ke-lin, LI Bao-guo, HUANG Yuan-fang, et al. Stochastic simulation and risk assessment of nitrate leaching at field scale[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(6): 909-915.
- [5] 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.
ZHAO Bing-qiang, ZHANG Fu-su, LIAO Zong-wen, et al. Research on development strategies of fertilizer in China[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2004, 10(5): 536-545.
- [6] 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.
XU Wan-li, ZHOU Bo, LIU Hua, et al. Study and review on the controlled release fertilizers[J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2002, 25(4): 17-21.
- [7] 张 民, 史衍玺, 杨守祥. 控释和缓释肥的研究现状与进展[J]. 化肥工业, 2001, 28(5): 27-30.
ZHANG Min, SHI Yan-xi, YANG Shou-xiang. The progress of study on controlled-release and slow-release fertilizers[J]. *Fertilizer Industry*, 2001, 28(5): 27-30.
- [8] 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.
- [9] Hutchinson C, Simonne E, Solano P, et al. Testing of controlled release fertilizer programs for seep irrigated irish potato production[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2003, 26(9): 1709-1723.
- [10] 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.
- [11] Shoji S, Delgado J, Mosier A, et al. Use of controlled release fertilizers and nitrification in Hibitors 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.
- [12] 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.
- [13] 张 民, 杨越超, 宋付朋, 等. 包膜控释肥料研究与产业化开发[J]. 化肥工业, 2005, 32(2): 7-13.
ZHANG Min, YANG Yue-chao, SONG Fu-peng, et al. Study and industrialized development of coated controlled release fertilizer [J]. *Fertilizer Industry*, 2005, 32(2): 7-13.
- [14] 姜宝雷, 张 民, 杨越超. 硫包膜尿素养分释放特征[J]. 化肥工业, 2005, 32(1): 36-41.
JIANG Bao-lei, ZHANG Min, YANG Yue-chao. Characteristics of nutrient released from sulfur-coated urea[J]. *Fertilizer Industry*, 2005, 32(1): 36-41.
- [15] 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.
SONG Fu-peng, ZHANG Min, SHI Yan-xi, et al. Releasing Character-

- istics of controlled-release nitrogen fertilizer and its effects on rice yield[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(4):619-627.
- [16] 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 Shuan-hu, CHEN Jian-sheng, XU Pei-zhi, et al. Nitrogen release and dynamic of controlled release fertilizer studied with rice[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35(2):186-190.
- [17] 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 Yan-lai, ZHAO Shi-cheng, WANG Yi-lun, 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.
- [18] 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 Qiang, LI Shuang-ling, HAN Yan-lai, 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.
- [19] 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 Hong-ying, DONG Shu-ting, HU Chang-hao. Research on the yield and characters of maize in different controlled release fertilizer[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2003, 11(4):86-89.
- [20] 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 Ru-kun. Analysis method of soil agrichemistry[M]. Beijing: China Agricultural Technology Publishing House, 2000.
- [21] 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 Quan-bao, ZHANG Hong-cheng, WEI Hai-yan, 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.