

包膜尿素和普通尿素不同掺混比例对水稻产量与氮肥利用率的影响

陈贤友¹, 吴良欢^{1,2*}, 韩科峰², 李金先³, 应金耀³

(1 教育部环境修复与生态健康重点实验室, 浙江大学环境与资源学院, 浙江杭州 310029;

2 浙江省亚热带土壤与植物营养重点实验室, 浙江大学环境与资源学院, 浙江杭州 310029;

3 浙江省杭州市萧山区农业局, 浙江萧山 311201)

摘要: 以晚粳稻“秀水 110”为供试水稻品种, 在 2007、2008 连续 2 年田间试验条件下, 研究了硫磺加树脂双层包膜尿素 (SPCU) 和普通尿素 (PU) 不同掺混比例对水稻产量及氮肥利用率的影响。结果表明, 与当地农民习惯施用普通尿素 PU100% (N 210 kg/hm²) 处理相比, 等氮量下一次性基施包膜尿素 SPCU100%、SPCU70% + PU30% 和 SPCU50% + PU50% 处理产量为 7644.0、7172.5 和 7008.2 kg/hm², 增产 17.75%、10.49% 和 7.96%; 氮肥利用率为 27.64%、23.24% 和 18.06%, 提高 18.73、14.33 和 9.15 个百分点; 氮肥农学效率也有显著增加。

关键词: 包膜尿素; 产量; 氮肥利用率; 水稻

中图分类号: S143.1

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2010)04-0918-06

Effects of different mixture rates of coated urea and prilled urea on rice grain yield and nitrogen use efficiency

CHEN Xian-you¹, WU Liang-huan^{1,2*}, HANG Ke-feng², LI Jin-xian³, YING Jin-yao³

(1 Ministry of Education Key Laboratory of Environmental Remediation and Ecosystem Health/College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China;

2 Zhejiang Provincial Key Laboratory of Subtropical Soil and Plant Nutrition/ College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China;

3 Agricultural Bureau of Xiaoshan, Xiaoshan, Zhejiang 311201, China)

Abstract: Using japonica Xiushui 110 as the tested rice cultivar, effects of different mixture rates of sulfur-polyester resin-coated urea (SPCU) and prilled urea (PU) on rice grain yield and nitrogen use efficiency (NUE) were studied in fields during 2007 and 2008. Results show that compared to the PU100% at N 210 kg/ha in conventional fertilizer application, the rice grain yields are 7644.0, 7172.5 and 7008.2 kg/ha under the single basal application of SPCU100%, SPCU70% + PU30% and SPCU50% + PU50% treatments, respectively, which are significantly increased by 17.75%, 10.49% and 7.96%, and the nitrogen use efficiencies are 27.64%, 23.24% and 18.06%, which are significantly increased by 18.73, 14.33 and 9.15 percent point. These results indicate the agronomic nitrogen use efficiencies are significantly increased.

Key words: coated urea; grain yield; nitrogen use efficiency; rice

在人均占有耕地逐渐减少的情况下, 我国将主要依靠提高单产来增加粮食产量^[1]。施用氮肥是提高水稻产量的重要手段。但是, 目前我国农田氮

肥利用率低, 大部分氮素以挥发、淋失、硝化及反硝化等形式进入大气和水环境^[2-3], 对环境带来了巨大危害。目前, 缓控释肥的研究已成为现代农业科

收稿日期: 2009-02-23

接受日期: 2010-01-16

基金项目: “十一五”国家科技支撑项目 (2006BAD10B07, 2008BADA4B03) 资助。

作者简介: 陈贤友 (1984—), 女, 广西柳江人, 博士研究生, 主要从事肥料资源与养分综合管理研究。

* 通讯作者 Tel: 0571-86971921, E-mail: finm@zju.edu.cn

学研究的重大课题^[4]。许多研究表明,控释肥的施用能在不同程度上降低氨挥发量和氮素淋溶量,减少氮素流失对环境的污染^[5-7]。近年来,有关控释肥在水稻上的增产效应^[8-10]已有较多报道,但多为研究树脂或硫磺单一包膜尿素控释肥效应^[11-16],而对控释包膜尿素与普通尿素的掺混比例研究不多,这直接影响到控释肥的施用效果。我国南方地区,特别是江浙一带稻田普遍存在施氮量大,施用次数多,氮肥利用率低等现象,控释包膜尿素有望克服这一弊端,但其一次性施用很易导致作物前期氮素供应不足,后期偏多情况。本试验在 2007~2008 连续 2 年田间条件下对新型硫磺加树脂双层包膜尿素 (SPCU) 与普通尿素不同掺混比例对水稻产量及其氮肥利用效率的影响进行了研究。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2007~2008 年 6 月至 11 月在浙江省杭州市萧山区新湾镇进行。地处浙江省北部,为北亚热带季风气候,水稻生育期间最高气温 38.3℃ (7 月 5 日和 7 月 24 日),最低气温 2.1℃ (11 月 28 日),

平均气温 23.6℃,平均降雨量 946.8 mm,共降雨 90 d。供试土壤为水稻土,其基本理化性状为 pH 7.95,有机质 33.57 g/kg,全氮 1.03 g/kg,碱解氮 54.7 mg/kg,有效磷 23.6 mg/kg,速效钾 27.3 mg/kg,有效硫 44.2 mg/kg。

试验设 6 个处理:1) 硫磺加树脂双层包膜尿素全量 (SPCU100%); 2) 硫磺加树脂双层包膜尿素 70% + 普通尿素 30% (SPCU70% + PU30%); 3) 硫磺加树脂双层包膜尿素 50% + 普通尿素 50% (SPCU 50% + PU50%); 4) 硫磺加树脂双层包膜尿素 30% + 普通尿素 70% (SPCU30% + PU70%); 5) 普通尿素全量 (PU100%); 6) 不施氮肥 (CK),重复 3 次,随机区组排列。各施氮处理的氮肥用量均为 N 210 kg/hm²,各处理均普施过磷酸钙 (含 P₂O₅ 14%) 643 kg/hm²; 氯化钾 (含 K₂O 60%) 150 kg/hm² 作基肥。小区面积 41.6 m²,氮肥用量及施肥方法见表 1。供试控释肥为山东金正大生态工程有限公司生产的硫磺加树脂双层包膜尿素 (N 34%,控释期 3 个月),普通尿素含氮量 46%。试验小区之间用土埂隔开,单独排灌,区组之间设走道。

表 1 试验处理及施肥量
Table 1 Fertilizer rates for each treatment

处理 Treatment	SPCU (kg/hm ²)	PU (kg/hm ²)	施肥方法 Fertilizer application
SPCU100%	617	0	一次性基施 Single basal application
SPCU70% + PU30%	432	137	一次性基施 Single basal application
SPCU50% + PU50%	308	228	一次性基施 Single basal application
SPCU30% + PU70%	185	319	一次性基施 Single basal application
PU100%	0	456	按基肥:苗肥:分蘖肥:穗肥:粒肥 3:2:2:2:1 比例分 5 次施用 30% basal application; 20% applied at seedling, tillering and panicle initiation stages, respectively, and 10% at filling stage
CK	0	0	不施氮肥 No N fertilizer

注 (Note): SPCU—硫磺加树脂双层包膜尿素 Sulfur-polyester resin-coated urea; PU—普通尿素 Prilled urea. 以下图表同 The same symbol was used for other figures and tables.

供试水稻品种为晚粳“秀水 110”,采用直播栽培方式。第一年水稻于 2007 年 6 月 25 日施基肥,6 月 26 日播种,第 2 年水稻于 2008 年 6 月 5 日施基肥。普通尿素全量处理 2007 年分别于 7 月 15 日、7 月 26 日、8 月 17 日、8 月 30 日追施苗肥、分蘖肥、穗肥及粒肥,11 月 12 日收获并计产; 2008 年于 6 月 6 日播种,6 月 27 日、7 月 8 日、8 月 10 日、8 月 26 日分别追施苗肥、分蘖肥、穗肥及粒肥,11 月 13 日收获并计产。水稻栽培期间,采取浅干

湿灌溉、适当晒田的方式,即灌溉时保持田间水层较浅,一般灌水 3 cm 左右; 不需每天灌溉,保持田间干干湿湿的状态。水稻分蘖末期,适当排水晒田,控制生长,减少无效分蘖的发生,水稻收获前 20 d,田间排水晒田。

1.2 测定项目与方法

土壤分析: 试验地取 0—15 cm 耕层基础土样,用常规方法^[17]测定有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾、有效硫含量以及 pH。

植株分析: 样品采集后立即剪下穗部, 将秸秆、叶片洗净, 擦干, 在 105℃ 下杀青 30 min, 再于 70℃ 下烘干至恒重, 称重。将烘干后各处理的秸秆、叶片和自然风干后的子粒样品分别粉碎, 过 0.25 mm 筛, 采用 $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$ 扩散法^[17] 测定水稻地上部茎、叶、子粒含氮量, 并计算粗蛋白含量。稻株地上部总氮量是水稻茎、叶、子粒含氮量与其相应部位干物重乘积之和, 最后用差值法计算各施肥处理的氮肥利用率^[9]。

氮肥农学效率 (AE_N , kg/kg) = (施氮区产量 - 对照区产量) / 施氮量

氮肥利用率 (NUE , %) = (施氮区地上部吸氮量 - 对照区地上部吸氮量) / 施氮量 × 100

考种与计产: 小区试验每小区在播种时固定 1 平方市尺, 播种 30 粒, 立苗后调查成苗率, 后定苗 10 株, 每 10 d 调查一次总苗数, 分析分蘖动态。收割时调查有效穗, 取样考查穗粒结构、地上部生物量

及收获指数, 分小区实收产量。收获指数 = 子粒产量 / 地上部生物量 × 100

所有数据采用 DPS 软件进行统计分析。处理间差异显著性检验采用 Duncan's 新复极差检验法。

2 结果及分析

2.1 各施肥处理对水稻分蘖动态的影响

2007 年试验小区水稻分蘖初期, 各处理之间茎蘖数无显著差异; 分蘖盛期各处理茎蘖数差异显著, 其中 SPCU100% 与 SPCU70% + PU30% 比 PU100% 的水稻茎蘖数显著增加了 13.6% 和 22.0%; 水稻分蘖末期各处理之间茎蘖数无显著差异 (图 1)。2008 年水稻分蘖初期各处理之间茎蘖数无显著差异。分蘖盛期各处理茎蘖数差异显著, 其中 SPCU100% 比 PU100% 的水稻茎蘖数显著增加了 30.3%; 水稻分蘖末期各处理之间茎蘖数无显著差异 (图 1)。

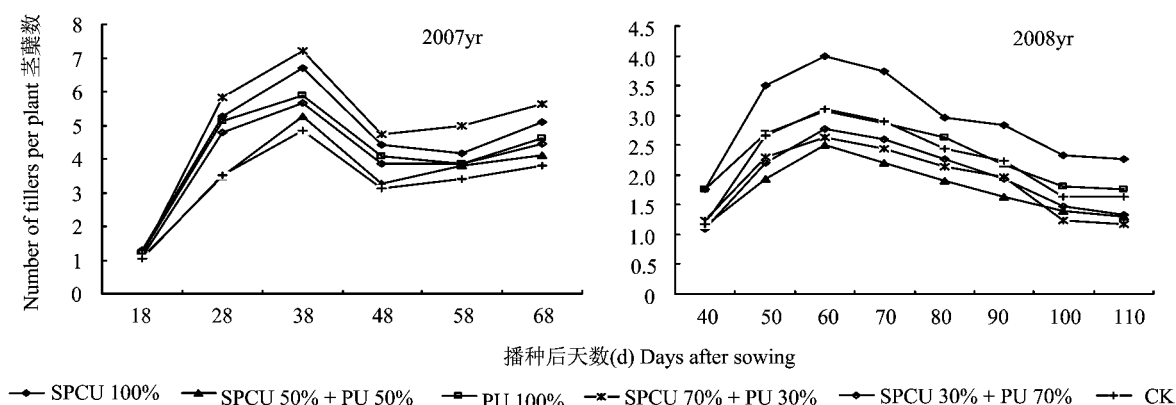


图 1 各施肥处理对 2007 和 2008 年不同时期水稻茎蘖数的影响

Fig. 1 Effects of the fertilization on number of tillers at different days after sowing in the years of 2007 and 2008

分蘖是水稻的一个重要生育特性, 也是水稻健壮的标志^[18]。分蘖的增加, 不仅扩大光合面积且扩大了根的吸收范围, 有利于稻株生长发育; 分蘖数的多少还和稻株的有效穗数有直接关系。2 年试验结果表明, 水稻分蘖初期, 包膜尿素与普通尿素处理之间, 水稻长势差异不明显; 水稻分蘖盛期, 包膜尿素比普通尿素处理水稻长势好, 茎蘖数多。这可能因为普通尿素处理在水稻分蘖盛期, 尽管氮肥分期施用, 施氮量较少, 但氮素释放速率较快, 促进了水稻的生长发育; 分蘖末期因施氮量低且易于流失, 致使水稻分蘖数减少; 而 SPCU 处理虽施氮较多, 但氮素释放缓慢, 以致水稻分蘖末期两者分蘖数无明显差异。

2.2 各施肥处理对水稻产量性状的影响

表 2 看出, 包膜尿素各处理的有效穗数明显多

于 PU100% 处理, 其中 SPCU100%, SPCU70% + PU30% 和 SPCU50% + PU50% 比 PU100% 的有效穗数增加 29.21%、23.23% 和 7.04%。各处理间实粒数、结实率差异不显著。除 CK 外, 各处理间千粒重也无显著差异。

水稻产量是由单位面积上的穗数、每穗总粒数、结实率和千粒重 4 个因素构成^[18]。和产量关系最为直接的是穗数和粒数的多少, 而粒重一般是一个较为稳定的性状, 对产量影响较小。要保证高产, 就要确保较高的有效穗数和实粒数。

2.3 各施肥处理对两年水稻产量、地上部生物量与收获指数的影响

试验结果 (表 3) 表明, 所有施氮肥处理产量均显著高于 CK, 以 SPCU100% 产量最高。SPCU100%、

表 2 各施肥处理对水稻产量构成因子的影响(2007~2008)

Table 2 Effects of the fertilization on rice yield components

处理 Treatment	有效穗数(×10 ⁴ No./hm ²) Fertile panicle	每穗实粒数(No./panicle) Filled grain	结实率(%) Filled grain rate	千粒重(g) 1000-grain weight
SPCU100%	293.7 a	121.6 a	91.6 a	25.48 b
SPCU70% + PU30%	280.1 b	112.8 a	89.8 a	25.48 b
SPCU50% + PU50%	243.3 c	123.1 a	91.2 a	25.95 ab
SPCU30% + PU70%	234.2 cd	126.8 a	94.4 a	25.39 b
PU100%	227.3 de	117.4 a	93.6 a	25.54 b
CK	220.7 e	110.7 a	93.7 a	26.16 a

注(Note): 表中数据为 2007、2008 年两年平均值 The data are average of 2007 and 2008 years; 同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters mean significant at 5% level.

表 3 各施肥处理对水稻产量的影响(2007~2008)

Table 3 Effects of the fertilization on grain yield of rice

处理 Treatment	产量 Yield (kg/hm ²)			净利润 ¹⁾ Net profit	地上部生物量 Shoot biomass	收获指数 Harvest index
	2007yr	2008yr	平均 Avg.	(Yuan/hm ²)	(kg/hm ²)	(%)
SPCU100%	8242.3 a	7045.5 a	7644.0 a	2530	16597.8 a	46.8 d
SPCU70% + PU30%	7694.2 b	6650.5 ab	7172.5 b	1615	15683.8 b	46.7 d
SPCU50% + PU50%	7583.4 bc	6433.5 bc	7008.2 bc	1364	14687.3 c	48.4 c
SPCU30% + PU 70%	7406.1 bc	6143.5 cd	6774.8 cd	947	14008.3 d	49.3 bc
PU100%	7108.3 c	5875.5 d	6491.7 d	—	13234.5 e	50.4 ab
CK	5746.0 d	5422.5 e	5584.4 e		10934.3 f	51.7 a

注(Note): 1) 净利润(Net profit) = 包膜尿素处理(SPCU) - 普通尿素处理(PU100%)。普通尿素(PU) 为 4.3 Yuan/kg N, 包膜尿素(SPCU) 为 7.6 Yuan/kg N, 水稻(Rice) 为 2.38 Yuan/kg, 施肥人工费(Labour) 为 120 Yuan/hm²。地上部生物量和收获指数为两年的平均值 Shoot biomass and harvest index are average of two year. 同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters mean significant at 5% level.

SPCU70% + PU30% 和 SPCU50% + PU50% 分别比 PU100% 显著增产 17.75%、10.49% 和 7.96%。随包膜尿素掺混比例的增加,可显著增加水稻的有效穗数(表 2),而水稻产量与有效穗数呈显著正相关(相关系数 $r = 0.8459$),因此施用包膜尿素有利于水稻产量的提高。

表 3 还看出,所有施氮处理稻株地上部生物量均显著高于 CK。其中,SPCU100% 与 SPCU70% + PU30% 分别比 PU100% 处理增加 25.41% 和 18.51%。除 SPCU30% + PU70% 处理外,其他包膜尿素不同掺混比处理的收获指数均显著低于 PU100% 和 CK 处理。收获指数与经济产量关系密切,生产上栽培的水稻品种收获指数一般为 40%~50%。水稻收获指数与影响穗粒重、生物产量及物质分配的因素密切相关^[19]。本试验包膜尿素处理的收获指数较普通尿素低,这可能和一次

基施包膜尿素处理水稻茎蘖数多,长势好,地上部生物量大;而普通尿素处理由于分次施用,氮素易于流失,水稻茎蘖数少,长势相对差,地上部生物量小有关。

同一供氮条件下,包膜尿素不同掺混比处理的水稻产量和地上部生物量均比普通尿素高。这与包膜尿素养分供应持久,能满足整个水稻生育期需求,植株生长发育好,水稻分蘖多,有效穗数高,实粒数多,对水稻产量构成因子有较大正效应有关。一次性基施包膜尿素与分次施用普通尿素相比,不仅提高了水稻产量,而且节约劳动成本,增加农户收入。

2.4 各施肥处理对水稻子粒粗蛋白含量、稻株地上部总氮量与氮肥利用率的影响

从表 4 可以看出,所有包膜尿素处理的稻株地上部总氮量比 PU100% 和 CK 处理显著增加;其中,

表 4 各施肥处理对子粒粗蛋白、稻株地上部总氮量及氮肥利用率的影响(2007~2008)

Table 4 Effects of the fertilization on crude protein content, rates of nitrogen uptake by rice and nitrogen use efficiency

处理 Treatment	子粒粗蛋白含量 Crude protein of grain (%)	地上部总氮量 Total N of shoot (kg/hm ²)	氮肥农学效率 AE _N (kg/kg)	氮肥利用率 NUE (%)		
				2007yr	2008yr	平均 Avg.
SPCU100%	7.4 a	155.24 a	9.81 a	27.38 a	27.90 a	27.64 a
SPCU70% + PU30%	7.4 a	145.98 b	7.56 b	26.57 a	19.90 b	23.24 b
SPCU50% + PU50%	7.3 a	135.11 c	6.78 bc	15.45 b	20.67 b	18.06 c
SPCU30% + PU70%	7.1 ab	123.37 d	5.67 cd	12.77 bc	12.17 c	12.47 d
PU100%	6.7 b	115.89 e	4.32 d	11.18 c	6.64 d	8.91 e
CK	6.7 b	97.18 f				

注(Notes): 表中数据为 2007、2008 年两年平均值 Data are average from 2007 and 2008 years; 同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters mean significant at 5% level. AE_N—Agronomic efficiency of N; NUE—N use efficiency.

SPCU100% 和 SPCU70% + PU30% 处理稻株地上部总氮量显著高于其他处理。

蛋白质含量是评价稻米营养品质的一项重要指标,氮和硫在植物体内的生理功能有许多相似之处,共同组成各种植物蛋白质中的含硫氨基酸^[20]。本试验中,除 SPCU30% + PU70% 处理外,所有包膜尿素处理的子粒粗蛋白含量均显著高于 PU100% 和 CK 处理。SPCU 处理提高稻株地上部总氮量及子粒粗蛋白质含量,这与肥料本身含氮、硫、且肥效稳而长有密切关系^[16]。

相同施氮量(N 210 kg/hm²)条件下,除 SPCU30% + PU70% 处理外,各包膜尿素处理的氮肥农学效率和氮肥利用率均比 PU100% 显著增加。其中 SPCU100%、SPCU70% + PU30%、SPCU50% + PU50% 和 SPCU30% + PU70% 处理的氮肥利用率分别比 PU100% 显著增加 18.73、14.33、9.15 和 3.56 个百分点(表 4)。这一方面是由于试验地土壤母质为钱塘江冲积物,土壤质地较轻,氮素流失严重,普通尿素(PU)氮肥利用率较低,另一方面是由于包膜尿素养分累积释放曲线一般为 S 型,其养分释放主要受肥料本身特性及外界条件影响。肥料自身特性主要有粒度、包膜材料、薄膜厚度以及膜的孔径等;外界条件主要有温度和水分,两者是通过影响饱和水汽压的高低间接起作用。在一定范围内,温度越高,水汽压越大,包膜尿素的养分释放速率越快^[21]。硫磺加树脂双层包膜尿素(SPCU)既能让肥料养分从硫膜的微孔和裂隙中缓慢释放出来又不会使硫膜破裂,且树脂层可防止硫膜因暴露在空气中而被氧化、不抗冲击和不耐磨损的特性^[22]。在本试验条件下,

水稻生长季高温天气持续时间比较长,SPCU 养分释放速率受温度影响较大。在总氮量为 N 210 kg/hm² 条件下,施用控释肥用量 70% 以上可使氮肥利用率大大提高。

氮肥农学效率是单位施肥量对作物子粒产量增加的反映,是农业生产中最关心的经济指标之一;氮肥利用率是评价作物对氮肥吸收的一个重要指标,反映作物对土壤中氮肥的回收利用效果^[9]。两年的试验结果表明,同一施氮水平下,包膜尿素处理比普通尿素处理的植株地上部总氮量多,氮肥农学效率和氮肥利用率高。

3 小结

本试验结果表明,在江浙一带南方地区,N 210 kg/hm² 用量下,硫磺加树脂双层包膜尿素(SPCU)与普通尿素的掺混比例达 70% 以上一次性基施,可以满足水稻整个生育期氮肥需要,比全量普通尿素分次施用水稻有效穗数和实粒数增多,增产显著,氮肥农学效率和氮肥利用率也明显提高;一次性基施还比分次施肥节约劳动成本,效益增加,推广意义较大。

参考文献:

- [1] 金继运,林葆. 化肥在农业生产中的作用与展望[J]. 作物杂志,1997,(2): 5-9.
Jin J Y, Lin B. Expectation of fertilizers in agriculture production [J]. Crops,1997,(2): 5-9.
- [2] 李庆远,朱兆良,于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题[M]. 南昌: 江西科学技术出版社,1997,38-51.
Li Q K, Zhu Z L, Yu T R. The fertilizer and fertilization problems

- in sustainable agriculture production and development in China [M]. Nanchang: Jiangxi Science and Technology Press, 1997, 38-51.
- [3] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 1-6.
Zhu Z L. Loss of fertilizer N from plants-soil system and the strategies and techniques for its reduction [J]. Soil Environ. Sci., 2000, 9(1): 1-6.
- [4] 谷佳林, 曹兵, 李亚星, 等. 缓控释氮素肥料的研究现状与展望[J]. 土壤通报, 2008, 39(2): 431-434.
Gu J L, Cao B, Li Y X *et al.* Research status and expectation of slow/controlled release nitrogen fertilizers [J]. Chin. J. Soil Sci., 2008, 39(2): 431-434.
- [5] 杜建军, 毋永龙, 田吉林, 等. 控/缓释肥料减少氨挥发和氮淋溶的效果研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(2): 49-52.
Du J J, Wu Y L, Tian J L *et al.* Effect of several controlled/slow-release fertilizers on decreasing ammonia volatilization and N leaching [J]. J. Soil Water Conserv., 2007, 21(2): 49-52.
- [6] 纪雄辉, 郑圣先, 聂军, 等. 稻田土壤上控释氮肥的氮素利用率与硝态氮的淋溶损失[J]. 土壤通报, 2007, 38(3): 467-471.
Ji X H, Zheng S X, Nie J *et al.* Nitrogen recovery and nitrate leaching from a controlled release nitrogen fertilizer in an irrigated paddy soil [J]. Chin. J. Soil Sci., 2007, 38(3): 467-471.
- [7] 郑圣先, 刘德林, 聂军, 等. 控释氮肥在淹水稻田土壤上的去向及利用率[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(2): 137-142.
Zheng S X, Liu D L, Nie J *et al.* Fate and recovery efficiency of controlled release nitrogen fertilizer in flooding paddy soil [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(2): 137-142.
- [8] 谢春生, 唐控虎, 徐陪智, 等. 一次性施用控释肥对水稻植株生长及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(2): 177-182.
Xie C S, Tang S H, Xu P Z *et al.* Effects of single basal application of controlled-release fertilizers on growth and yield of rice [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2006, 12(2): 177-182.
- [9] 李方敏, 樊小林, 陈文东. 控释肥对水稻产量和氮肥利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4): 494-500.
Li F M, Fan X L, Chen W D. Effects of controlled release fertilizer on rice yield and nitrogen use efficiency [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2005, 11(4): 494-500.
- [10] 李方敏, 艾天成, 周升波, 等. 缓释氮肥对水稻的增产效果及其氮素利用率[J]. 土壤通报, 2004, 35(3): 311-315.
Li F M, Ai T C, Zhou S B *et al.* Influence of slow-release nitrogen fertilizers on lowland rice yield and nitrogen use efficiency [J]. Chin. J. Soil Sci., 2004, 35(3): 311-315.
- [11] Inubushi K, Acquaye S, Tsukagoshi S *et al.* Effects of controlled-release coated urea (CRCU) on soil microbial biomass N in paddy fields examined by the N-15 tracer technique [J]. Nutr. Cycl. Agroecosys., 2002, 63(2-3): 291-300.
- [12] Murthy A G K, Padmaja K, Kumar R M, Subbaiah S V. Efficacy of controlled release, nitrogen fertilizer on grain-yield of different cultivars of rice (*Oryza sativa*) in irrigated, rice ecosystem [J]. Ind. J. Agric. Sci., 2002, 72(12): 693-696.
- [13] Carreres R, Sendra J, Ballesteros R *et al.* Assessment of slow release fertilizers and nitrification inhibitors in flooded rice [J]. Biol. Fert. Soils, 2003, 39(2): 80-87.
- [14] Yasmin N, Blair G, Till R. Effect of elemental sulfur, gypsum, and elemental sulfur coated fertilizers on the availability of sulfur to rice [J]. J. Plant Nutr., 2007, 30(1): 79-91.
- [15] Singh K, Sharma H C, Singh C S *et al.* Effect of polyolefin resin coated slow release iron fertilizer and its methods of application on rice production in calcareous soil [J]. Soil Sci. Plant Nutr., 2004, 50(7): 1037-1042.
- [16] 张永春, 汪吉东, 梁永红, 等. 硫包衣尿素对水稻的增产效应及氮素利用率的影响研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(4): 108-111.
Zhang Y C, Wang J D, Liang Y H *et al.* Effects of sulfur-coated urea on growth and nitrogen use efficiency of rice [J]. J. Soil Water Conserv., 2007, 21(4): 108-111.
- [17] 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. 85-196.
Lu R K. Analytical methods of soil agricultural chemistry [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000. 85-196.
- [18] 湘鄂赣桂琼粤六省农业中专教材编审委员会. 作物栽培[M]. 北京: 气象出版社, 1999. 30-53.
Compilation and review committee for teaching material of agricultural technical secondary school in Hunan, Hubei, Jiangxi, Guangxi, Hainan and Guangdong provinces. Crop cultivation [M]. Beijing: Weather Press, 1999, 30-53.
- [19] 何秀英, 廖耀平, 陈钊明, 陈顺佳. 收获指数在水稻高产育种中的作用[J]. 种子, 1999, (6): 39-41.
He X Y, Liao Y P, Chen Z M, Chen X J. Effect of harvest index on breeding of highly yielded rice [J]. Seeds, 1999, (6): 39-41.
- [20] 何念祖, 孟赐福. 植物营养原理[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1987. 227-281.
He N Z, Meng C F. Principles for plant nutrition [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1987. 227-281.
- [21] 李红光. 包裹型控释肥的养分释放特征及其在主要农作物上的肥效研究[D]. 泰安: 山东农业大学硕士学位论文, 2006.
Li H G. Nutrients releasing characteristic and effects of encapsulated CRF on main crops [D]. Taian: Ms thesis of Shangdong Agricultural University, 2006.
- [22] 张民, 杨越超, 马丽, 等. 包膜控释肥料的养分释放及增产效应[J]. 中国农资, 2005, (10): 45-46.
Zhang M, Yang Y C, Ma L *et al.* Effect of coated urea on nutrients releasing and yield [J]. Agrochem. Sci. & Tech., 2005, (10): 45-46.