

控释氮肥对双季水稻生长及氮肥利用率的影响

徐明岗, 李菊梅, 李冬初, 丛日环, 秦道珠, 申华平

(农业部作物营养与施肥重点开放实验室, 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

摘要: 为阐明控释氮肥的产量和生态效应, 选用 N 75 和 150 kg/hm² 两种不同用量的控释氮肥(日本 Meister 系列)和尿素对比, 在南方典型双季稻区第四纪红壤发育的水稻土上进行早稻和晚稻田间试验, 观测控释肥氮素田间释放规律及水稻的生长、产量和氮肥利用率。结果表明, 控释氮肥 S₉ 和 LP₇₀(40%) + LPS₁₀₀(60%) 的氮释放规律分别与早稻、晚稻氮吸收的规律基本一致, 且氮累积吸收量与控释肥氮释放率均成显著正相关(相关方程的决定系数 R² = 0.9764 和 0.9968)。与 N 75 kg/hm² 用量的尿素相比, 早、晚稻施用相同量的控释氮肥分别增产 3.6% 和 9.3%; 有效分蘖数和有效穗数明显增加, 氮肥利用率分别提高了 29.9 个百分点和 10.4 个百分点。施用高氮(N 150 kg/hm²) 尿素的水稻产量与低氮(N 75 kg/hm²) 控释肥相比, 差异不显著。因此, 施用控释氮肥 N 75 kg/hm² 时, 水稻氮肥利用率显著提高, 为我国南方双季稻生产中一种高产高环境效益的施肥方式。

关键词: 控释氮肥; 早稻; 晚稻; 生长; 氮肥利用率

中图分类号: S511.4+2.62; S145.6 文献标识码: A 文章编号: 1008-505X(2009)05-1010-06

Effect of controlled-release nitrogen fertilizer on growth and fertilizer nitrogen use efficiency of double rice in southern China

XU Ming-gang, LI Ju-mei, LI Dong-chu, CONG Ri-huan, QIN Dao-zhu, SHEN Hua-ping

(Key Laboratory of Crop Nutrition and Fertilization, Ministry of Agriculture/ Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Controlled-release nitrogen fertilizer (“Meister” made by Japan) were chosen with two application rates, N 75 and 150 kg/ha, to investigate the nitrogen release dynamics of controlled-release fertilizer and its effects on growth, yield, and nitrogen use efficiency of early rice and late rice in red soil paddy field of Qiyang, Hunan province of Southern China. The results showed that the nitrogen release dynamics of S₉ and LP₇₀(40%) + LPS₁₀₀(60%) met with uptake by early rice, and late rice satisfactorily. Furthermore, a significant positive correlation was observed between the accumulate N uptake by early rice and N release from S₉ (R² = 0.9764), and the accumulate N uptake by late rice and N release from LP₇₀(40%) + LPS₁₀₀(60%) (R² = 0.9968). Compare to the same application rate of urea, applying controlled-release N fertilizer N 75 kg/ha increased the grain yield by 3.6% and 9.3%, and nitrogen use efficiency by 29.9 percent point and 10.4 percent point for early rice and late rice, respectively. Controlled-release nitrogen fertilizer could give more effective panicles and tillers than those of urea. No significant difference was observed in grain yield between N 150 kg/ha of urea and N 75 kg/ha of controlled-release nitrogen fertilizer. Thus, application controlled release nitrogen fertilizer N 75 kg/ha was recommended as best fertilization approach with comprehensive consideration on high yield and high efficiency.

Key words: controlled-release nitrogen fertilizer; early rice; late rice; growth; nitrogen use efficiency

在我国南方双季稻区绝大部分稻田缺氮。大量施用氮肥促进了水稻产量的大幅度提高, 也导致氮肥利用率降低。2005 年我国氮肥用量达 2200 多万(纯 N)^[1], 占世界总用量的近 1/3, 而我国氮肥的当

季利用率仅为 30%~35%,损失却高达 40%~50%,造成了氮肥的严重损失和环境污染^[2-4]。因此,减少稻田氮素损失,提高氮肥利用率成为近年来土壤学和植物营养学研究的热点课题。

减少稻田氮素损失,提高氮肥利用率的途径和措施较多,其中对肥料本身进行改型改性,减缓、控制肥料的溶解和释放速度,开发出符合作物养分吸收动态的新型肥料,已成为国内外众多研究者关注的热点。日本、美国等国家研制生产的包膜可控释放肥料,其氮肥利用率可达到 60%~70%,较传统化肥利用率提高一倍多,被称为“施肥技术的一次革命”、“21 世纪的肥料”等,是施肥技术的发展方向^[5-8]。由于不同控释氮肥的氮素控制和释放特性不同,其施用效果和氮肥利用率也有差异^[9-10]。目前,在南方双季稻田,对日本生产的 Meister 类型控释肥料的养分释放特性、施肥效应及施肥技术等研究不多。为此,我们以 3 种 Meister 类型控释氮肥为材料,在南方红壤丘陵区典型双季稻田开展研究,以为控释氮肥的经济合理施用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在湖南祁阳中国农科院红壤站进行(26°45'36"N, 111°52'12"E),供试稻田为第四纪红土发育的红黄泥,质地为粘质土,肥力中等。耕层土壤容重 1.2~1.3 g/cm³,有机质 19.8 g/kg,全氮 1.38 g/kg,有效氮、磷、钾分别为 135、8.6 和 84.9 mg/kg,pH 为 6.8(水:土=1:1)。

试验于 2001 年分别在早稻和晚稻上进行。根据不同氮肥类型及用量设 5 个处理:1)对照(CK),不施氮;2)尿素 N 75 kg/hm²(U1);3)尿素 N 150 kg/hm²(U2);4)控释肥 N 75 kg/hm²(C1);5、控释肥 N 150 kg/hm²(C2)。各处理磷钾肥用量相同,P₂O₅、K₂O 分别为 100、110 kg/hm²,肥料分别为过磷酸钙和氯化钾,于水稻移栽(早稻为抛秧)前一次性施入土壤耕层。尿素按照当地农民的习惯施用方法,分基肥和追肥两次施入,基追比为 7:3;基肥于移栽前撒施土壤耕层,施入后耙田,追肥作穗肥,于水稻幼穗分化时撒施,施入后灌水。

供试控释氮肥采用的 Meister 类型 S₉、LP₇₀ 和 LPS₁₀₀(日本氮素公司提供)。三种控释肥均为包膜尿素,含氮量均为 41%。LP₇₀ 为线型(L 型)释放日型控释肥,在水中释放养分没有后滞期;S₉ 和 LPS₁₀₀ 为后滞型(S 型)释放日型控释肥,需要 30~40 d 的

后滞期。Meister 控释肥料在田间养分释放的影响因素主要是温度。20℃下,控释肥 S₉、LP₇₀、LPS₁₀₀ 80% 的养分释放分别需要 60 d、100 d 和 105 d^[8]。

根据前期试验结果,早稻控释肥选用 S₉,采用秧盘施入,施肥时间提前到与播种同时进行。具体操作为:在秧盘孔内(孔穴容积 3 mL)先放少量细土,然后施控释氮肥,施肥后每穴播催芽水稻 3 粒,再用少量细土覆盖;然后将抛秧盘放入秧田,用地膜覆盖。晚稻控释肥选用 LP₇₀(40%) + LPS₁₀₀(60%)混合,移栽前作基肥一次施入土壤耕层,施入后耙田。

供试水稻品种:早稻为培两优 288,晚稻为金优 207。早稻移栽方式为秧盘秧苗抛秧,晚稻采用大田移栽。小区面积 4m×3m,随机区组排列,3 次重复。早稻于 3 月 31 日播种,4 月 26 日抛秧,7 月 24 日收获,晚稻于 6 月 28 日播种,8 月 1 日移栽,10 月 20 日收获。早、晚稻移栽密度为 20 cm×20 cm。其他田间管理措施均相同。

1.2 样品采集及分析测定方法

水稻生育期性状调查:主要调查水稻各生育期时间、分蘖数、有效穗数、每穗粒数、实粒数和千粒重等,分区收获水稻产量,单晒、单称,统计产量。

土壤基本性质测定:每季水稻插秧前、收获后采集耕层(0—20 cm)土样,风干后,根据分析需要进行粉碎处理,测定有机质、全氮、有效氮、磷、钾含量。有机质测定方法为重铬酸钾滴定法,全氮测定用蒸馏法,有效氮测定采用扩散法,有效磷测定用钼锑抗比色法,有效钾测定用火焰光度法,pH 采用电位计测定(水:土=1:1)^[11]。

控释肥氮田间释放动态测定:用 0.2 mm 尼龙袋(5 cm×5 cm)称取控释肥,1.0 g/袋,每种 30 袋,在水稻播种期(早稻)或移栽期(晚稻)埋入稻田耕层 5 cm 处,每 10 d 取样一次,每次 3 袋,将肥料颗粒表面的土壤用蒸馏水冲洗干净、烘干(100℃)称重,根据差减法求出养分释放量^[12]。

水稻生育期氮素吸收动态测定:水稻移栽后,分别在返青期、分蘖期、孕穗期、抽穗期、成熟期采取植株样品,烘干称重,测定干物质产量和 N 含量。植株全氮用 H₂SO₄-H₂O₂ 消解,靛酚兰比色测定。

采用如下方法计算氮肥利用效率:

氮肥农学利用率(Agronomic efficiency, AE, kg/kg)=(施氮处理产量-不施氮处理产量)/施氮量;

氮肥利用率(N use efficiency, NUE, %)=(施氮

处理植株吸氮量 - 不施氮处理植株吸氮量) / 施氮量 $\times 100^{[13]}$ 。

所有试验结果采用 Microsoft Excel 2003 软件和 SPSS13.0 软件进行计算和统计分析。

2 结果分析

2.1 控释氮肥在水田的释放动态

田间观察结果表明,早稻施入 S_9 控释肥后 30 d 内,即从播种期(3/30)至抛秧期(4/27),氮素释放率为 2.9%,施肥 50 d(分蘖期) S_9 的氮素释放率为 16.3%,施肥 60 d(拔节期)氮素释放率达到 48.5%,施肥 90 d(抽穗期) S_9 的氮素释放率累计为 98.2% (图 1)。该比例对作物需要来说有点偏大,如果使用高用量的肥料,则有可能造成水稻后期氮素过剩,容易引起水稻贪青晚熟。说明控释氮肥释放速率的快慢对水稻生长发育有明显影响,筛选与水稻各生育阶段对氮素养分的需求速度较为同步的控释氮肥是施肥技术的关键^[14]。

晚稻施用的两种控释肥料在水稻生长前期释放速度较后期快,晚稻施用控释肥 30 d 氮的累积释放率达 63% 以上(图 1),其中施肥 20 d(即水稻分蘖期),氮素累积释放率 LP_{70} (49.9%) > LPS_{100} (27.3%) 施肥 40 d(孕穗期),氮素累积释放率 LP_{70}

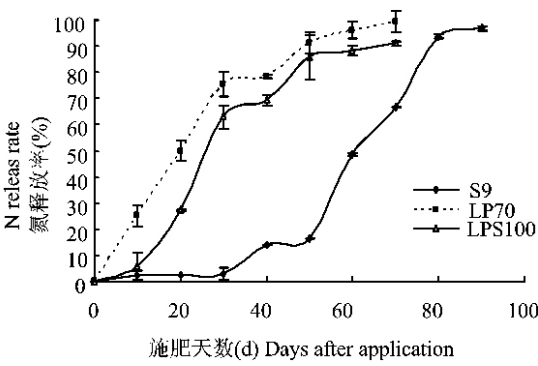


图 1 不同控释氮肥在水田的氮素释放过程

Fig.1 N-release process of controlled-release N fertilizers in the paddy field

(75.3%) > LPS_{100} (63.0%); 施肥 60 d(抽穗期),氮素累积释放率 LP_{70} (96.1%) > LPS_{100} (88.4%)。

2.2 水稻吸收氮素动态与控释肥释放养分的关系

控释肥氮的释放和水稻氮吸收的关系(图 2)表明,控释肥氮释放规律与水稻生育期内对氮的吸收基本一致,其中早稻氮的累积吸收量与控释肥 S_9 氮累积释放率成正相关 ($R^2 = 0.9764$),晚稻氮累积吸收量与控释肥 LP_{70} (40%) + LPS_{100} (60%) 氮释放率也成正相关 ($R^2 = 0.9968$),表明以 LP_{70} (40%) + LPS_{100} (60%) 配比方式和比例对晚稻生长发育有益。

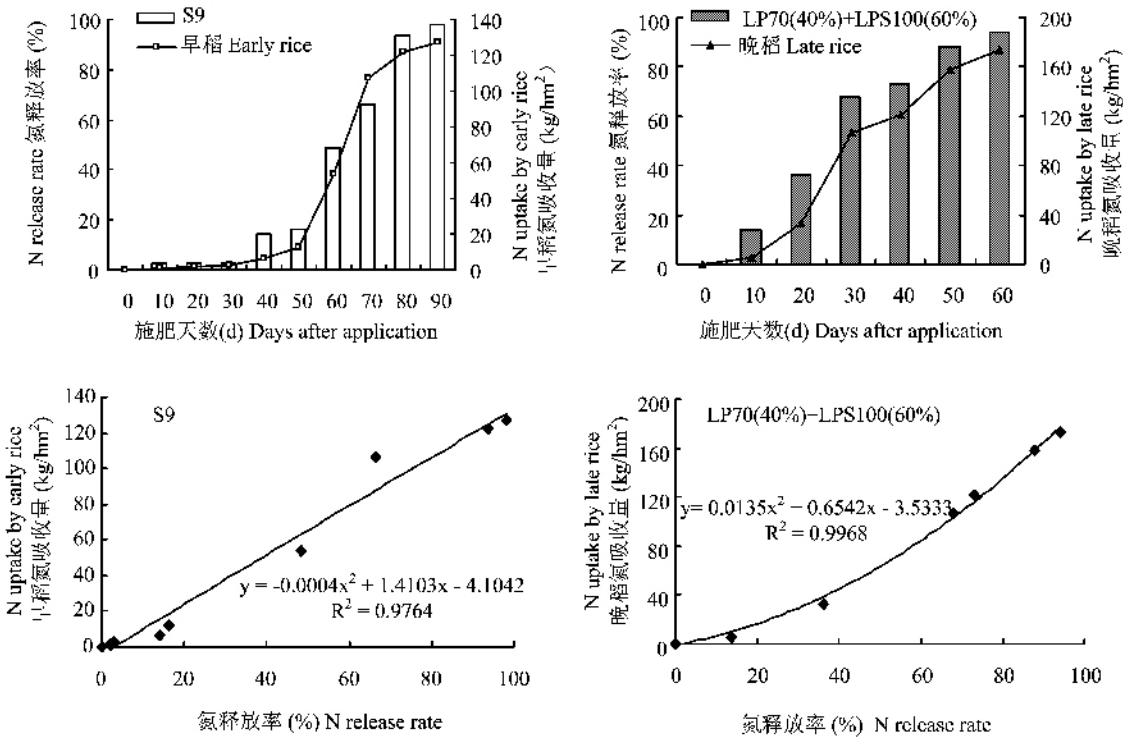


图 2 水稻吸氮量与控释肥氮释放量的关系

Fig.2 Relationship between N uptake by rice and N released from controlled-release fertilizers

2.3 控释氮肥对水稻生长发育进程的影响

对不同氮肥处理的水稻生长发育期调查结果,随肥料用量的增加,水稻的成熟期后移,生育期有所延长,这与控释氮肥后期释氮量大,水稻生育中、后期吸收氮量较多有关。

早稻控释肥处理 C1、C2 的有效穗数比对照平均高 29.1%,比尿素处理平均高 13.5%(表 1),且控释肥处理 C1、C2 的有效穗数与尿素高氮处理 U2 相

比无显著差异。施用 S₉ 控释肥,早稻成熟期推迟 3~5 d,施用量为 N 150 kg/hm² 时,易发生贪青晚熟。

表 1 还看出,与对照相比,晚稻控释肥 C1、C2 处理的成熟期推迟 5~7 d,其有效穗数分别提高 37.6%和 74.1%,尿素 U1、U2 处理的有效穗数分别提高 18.8%和 39.8%,控释肥处理平均有效穗比尿素多 26.5%,且差异显著。

表 1 不同施肥处理早、晚稻的生长发育期及分蘖数

Table 1 Growth and development, tiller number of early and late rice under different fertilizations

处理 Treatment	生育期(月/日) Growing date(Mon./Day)					有效穗数 Effective panicles (No./m ²)	生育期 Growth period (d)
	分蘖 Tilling	拔节 Jointing	抽穗 Earing	齐穗 Full heading	成熟 Mature		
早稻 Early rice							
CK	5/10	5/26	7/1	7/4	7/24	173.3 a	115
U1	5/10	5/26	7/1	7/4	7/24	195.8 b	115
U2	5/10	5/25	6/30	7/3	7/27	198.3 bc	118
C1	5/10	5/26	6/30	7/3	7/27	215.0 bc	118
C2	5/10	5/26	6/28	7/1	7/29	232.5 bc	120
晚稻 Late rice							
CK	8/8	8/26	9/12	9/17	10/13	150.8 a	107
U1	8/10	8/29	9/15	9/19	10/18	179.2 a	112
U2	8/10	8/29	9/15	9/19	10/18	210.8 ab	112
C1	8/10	8/29	9/15	9/19	10/20	207.5 ab	114
C2	8/10	8/29	9/15	9/19	10/20	262.5 b	114

注：抛秧 7d 调查立苗率,5 月 15 日调查分蘖后总苗数(早稻);10 月 11 日调查有效穗数(晚稻)。同列数值后不同字母表示差异达 5% 显著水平,表 2 同。

Note : Emergence rate was investigated after throwing seedling 7 days, investigation of total seedlings at May 15(early rice); field investigation of effective panicles at 11 Oct. (late rice). Different letters within a column means significant at 5% level, The same symbol is used for table 2.

2.4 控释氮肥对水稻产量及氮肥利用率的影响

试验结果(表 2)表明,各施肥均比对照显著增产,各施肥处理的增产幅度随施肥量的增加而提高,其中早稻增产幅度为 28.9%~56.1%,晚稻增产幅度为 42.9%~78.1%。

早稻子粒产量以控释肥 N 150 kg/hm² (C2) 最高,为 7542 kg/hm²。相同施肥量的控释氮肥均比尿素增产明显,增产幅度为 3.6%~6.6%,其中控释肥 N 75 kg/hm² (C1) 的产量能够达到尿素 N 150 kg/hm² (U2) 的产量水平。晚稻各处理产量高低顺序分别为高量控释肥 C2、低量控释肥 C1、高量尿素 U2 > 低量尿素 U1,施用控释氮肥比尿素增产 9.3%~22.5%;其中,低量控释氮肥 C1 与高量尿素 U2 相

比仍然增产 7.4%。

氮肥利用率的各种指标(农学利用率、吸收利用率)均有随施氮量的增加而逐渐降低的趋势(表 2)。与尿素相比,早稻施用控释氮肥的氮肥利用率分别提高了 15.4%、29.9%;晚稻施用控释氮肥的氮肥利用率分别提高了 10.4%、12.1%。控释肥用量为 N 75 kg/hm² 时,早、晚稻的农学利用率达到最大值(24.2 和 29.2 kg/kg),氮肥吸收利用效率也达到最大值(58.35% 和 43.71%)。与同用量的尿素相比,早、晚稻氮肥利用率分别提高了 29.9 个百分点和 10.4 个百分点。表明,在本试验条件下,控释肥最佳施肥量为 N 75 kg/hm²,有利于水稻生产的高产和高利用率。

表 2 不同施肥处理水稻产量、吸氮量及氮肥利用率

Table 2 Grain yield, rate of nitrogen uptake by rice and nitrogen use efficiency among treatments

处理 Treatment		产量 Yield (kg/hm ²)	增产 Yield increase (%)	吸氮量 N uptake (kg/hm ²)	农学利用率 AE (kg/kg)	氮肥利用率 NUE (%)
早稻 Early rice	CK	4833 a		64.37		
	U1	6231 b	28.9	85.74	18.64	28.49
	U2	7278 c	50.6	122.79	16.30	38.95
	C1	6644 bc	37.5	108.13	24.15	58.35
	C2	7542 c	56.1	145.88	18.06	54.34
晚稻 Late rice	CK	2917 a		38.22		
	U1	4167 b	42.9	63.17	16.67	33.27
	U2	4754 c	63.0	74.66	12.25	24.29
	C1	5106 c	75.0	71.00	29.19	43.71
	C2	5194 c	78.1	92.87	15.18	36.43

3 讨论

日本研制的控释肥料 Meister 主要应用于免耕直播和水稻育苗盘一次性施肥方面。研究证明,控释肥料养分利用率均得到了显著提高^[15],控释氮肥深施促进大豆生长并提高了产量^[16]。国内研究发现,氮肥提高了叶片干物质的积累^[17],加入尿素或 KNO₃ 能够改变水稻土无机氮的转化过程或强度^[18];适宜的氮素用量可以提高氮肥利用率。但是氮肥用量对氨挥发和氮淋失有明显影响,采用涂层包膜处理可以减少氮肥淋失和氨挥发,并且降低环境污染^[19-22]。因此合理施用控释氮肥能够减少氮肥用量、提高稻谷产量,控释氮肥提高了氮素生理效率和农学效率是高产的主要原因^[23-24]。同时稻谷产量随着控释肥料用量的增加而增加^[25]。

水田中氮肥主要是通过氨挥发、淋溶、径流等途径而损失^[24,26],而这些过程都与表面水的养分浓度有直接或间接的关系。先前的研究发现,控释氮肥的施用,使表面水的 NH₄⁺-N 浓度显著降低,使通过氨挥发损失的氮素显著减少^[14],而且通过径流等途径可能损失的数量也很小,从而减少肥料氮的损失及农业面源污染^[24],同时也减少了由于氮肥的施用引起的生态环境问题。

本研究证明,Meister 类型控释肥在我国南方红壤地区双季稻种植区域施用,能显著提高氮素利用率,且控释肥及其搭配可以满足水稻生育期内对氮的需求。控释肥用量 N 75 kg/hm² 可以达到常规生产中施用尿素 N 150 kg/hm² 的产量水平,即可在氮肥用量减少一半的情况下,保持高产和低的环境负效应。因此,施用控释肥能够实现高产和良好的环境效益,这对控释肥的进一步推广应用具有重要的

意义。当然,目前控释肥的价格还比较高,日本 Meister 控释肥的价格是普通尿素的 3~4 倍,从经济效益上分析,Meister 控释肥并不占有明显的优势。但是可以确信,随着控释肥生产技术的改进和成本的降低,以及人们对于氮肥资源及其环境效应的广泛重视^[8-10, 13-14, 23-25],施用控释肥必将成为未来农业生产中一种可能的、客观的选择。

4 结论

1) 控释氮肥 S₉、LP₇₀(40%) + LPS₁₀₀(60%) 在土壤中氮的释放规律与水稻氮素吸收规律基本一致,其氮素累积释放率分别与早、晚稻氮素累积吸收量成正相关,表明供试的控释肥及其配比方式和比例能够满足水稻生育期内对氮的需要。控释氮肥的施用使水稻各生育期时期对氮素的吸收分配合理。

2) 施用控释氮肥,水稻成熟期推迟 3~7 d,有效穗数比常规尿素增加 29.1%~55.8%。相同施肥量的控释氮肥均比尿素增产明显,增产幅度为 3.6%~6.6%。控释氮肥用量为 N 75 kg/hm² 时,早稻产量与尿素 N 150 kg/hm² 处理无明显差异;而晚稻 N 75 kg/hm² 控释氮肥处理仍比 N 150 kg/hm² 尿素处理增产 7.4%。

3) 控释肥用量为 N 75 kg/hm² 时,早、晚稻的农学利用率和氮肥利用率均达到最大值;与同用量的尿素相比,早、晚稻氮肥利用率分别提高了 29.9 和 10.4 个百分点。因此,在我国南方双季稻生产中,控释氮肥用量为 N 75 kg/hm²,可获得高的水稻产量和良好的环境效益。

参 考 文 献:

[1] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴[M]. 北京:中国农

- 业出版社,2006. 166.
- Editorial Board of China Agricultural Yearbook. China agricultural yearbook [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2006. 166.
- [2] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素 [M]. 南京: 江苏科技出版社, 1992: 171–196, 288–303.
- Zhu Z L, Wen Q X. Nitrogen in soils of China [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1992. 171–196, 288–303.
- [3] Cai G X, Zhu Z L. An assessment of N loss from agricultural fields to the environment in China [J]. Nutr. Cycl. Agro-Ecosyst., 2000, 57: 67–73.
- [4] Fillery R P, Simpson J R, De Datta S K. Contribution of ammonia volatilization to total nitrogen loss of the applications of urea to wetland rice plants [J]. Fert. Res., 1986, 9: 78–98.
- [5] Cheng X X, Li D P, Wang H B. Fertilizers for the future [J]. Fert. Int., 1999, 369: 31–32.
- [6] Cai G X, Chen D L, Ding H *et al.* Nitrogen losses from fertilizers applied to maize, wheat and rice in the North China [J]. Nutr. Cycl. Agro-Ecosyst., 2002, 63(2–3): 187–195.
- [7] Sato T, Shibuya K, Saigusa M *et al.* Single basal application of total nitrogen fertilizer with controlled release coated urea on non-tilled rice culture [J]. Jpn. J. Crop Sci., 1993, 62(3): 408–413.
- [8] Shoji S. Meister-controlled release fertilizer [M]. Sendai Japan: Konno Printing Comp. Ltd., 1999.
- [9] 黄科延, 戴平安. 早稻施用控释氮肥的效果 [J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2002, 28(1): 12–15.
- Huang K Y, Dai P A. Effects of controlled-release nitrogen application on early rice [J]. J. Hunan Agric. Univ. (Nat. Sci.), 2002, 28(1): 12–15.
- [10] 郑圣先, 聂军, 熊金英, 等. 控释肥料提高氮素利用率的作用及对水稻效应研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(1): 11–16.
- Zheng S X, Nie J, Xiong J Y *et al.* Study on role of controlled release fertilizer in increasing the efficiency of nitrogen utilization and rice yield [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2001, 7(1): 11–16.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 30–109.
- Bao S D. Soil agro-chemistry analysis [M]. Beijing: China Agric. Press, 2000. 30–109.
- [12] Fujisawa E, Kobayashi A, Hanyu T. A mechanism of nutrient release from resin-coated fertilizers and its estimation by kinetic methods 5. Effect of soil moisture level on release rates from resin-coated mixed fertilizer [J]. Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., 1998, 69: 582–589.
- [13] 彭少兵, 黄见良, 钟旭华, 等. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略 [J]. 中国农业科学, 2002, 35(9): 1095–1103.
- Peng S B, Huang J L, Zhong X H *et al.* Research strategy in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China [J]. Sci. Agric. Sin., 2002, 35(9): 1095–1103.
- [14] 徐明岗, 孙小凤, 邹长明, 等. 稻田控释氮肥的施用效果与合理施用技术 [J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4): 487–493.
- Xu M G, Sun X F, Zou C M *et al.* Effects and rational application of controlled-release nitrogen fertilizer in paddy field of Southern China [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2005, 11(4): 487–493.
- [15] Shoji S, Gandeza A T. Controlled release fertilizers with polyolefin resin coating [M]. Japan: Konno Printing Co. Ltd, 1992. 122–123.
- [16] Yoshihiko T, Toshiaki C, Yoshifumi N *et al.* Effect of deep placement of controlled release nitrogen fertilizer (coated urea) on growth, yield, and nitrogen fixation of soybean plants [J]. Soil Sci. Plant Nutr., 1991, 37(2): 223–231.
- [17] Fu Q L, Yu J Y, Chen Y X. Effect of nitrogen applications on dry matter and nitrogen partitioning in rice and nitrogen fertilizer requirements for rice production [J]. J. Zhejiang Univ. (Agric. Life Sci.), 2000, 26(4): 399–403.
- [18] 蔡祖聪. 尿素和 KNO_3 对水稻土氮转化过程和产物的影响 I. 无机氮转化过程 [J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 239–245.
- Cai Z C. Effects of urea and KNO_3 on process and products of inorganic nitrogen transformation in paddy soils I. Process of inorganic nitrogen [J]. Acta Pedol. Sin., 2003, 40(2): 239–245.
- [19] 王德建, 林静慧, 孙端娟, 等. 太湖地区稻麦高产的氮肥适宜用量及其对地下水的影响 [J]. 土壤学报, 2003, 40(3): 426–432.
- Wang D J, Lin J H, Sun D J *et al.* Optimum nitrogen rate for a high productive rice wheat system and its impact on the ground water in the Taihu Lake area [J]. Acta Pedol. Sin., 2003, 40(3): 426–432.
- [20] 傅庆林, 陈英旭, 俞劲炎. 浙中水稻生长适宜施氮量研究 [J]. 土壤学报, 2003, 40(5): 787–790.
- Fu Q L, Chen Y X, Yu J Y. Study on satisfactory amount of nitrogen fertilizer applied on rice in the middle area of Zhejiang Province [J]. Acta Pedol. Sin., 2003, 40(5): 787–790.
- [21] 宋勇生, 范晓晖, 林德喜, 等. 太湖地区稻田氨挥发及影响因素的研究 [J]. 土壤学报, 2004, 41(2): 265–269.
- Song Y S, Fan X H, Lin D X *et al.* Ammonia volatilization from paddy fields in the Taihu Lake region and its influence factors [J]. Acta Pedol. Sin., 2004, 41(2): 265–269.
- [22] 王家玉, 王胜佳, 陈义, 等. 稻田土壤中氮素淋失的研究 [J]. 土壤学报, 1996, 33(1): 28–36.
- Wang J Y, Wang S J, Chen Y *et al.* Study on the nitrogen leaching in rice fields [J]. Acta Pedol. Sin., 1996, 33(1): 28–36.
- [23] Fu J R, Zhu Y H, Jiang L N. Use of controlled release fertilizer for increasing N efficiency on direct seeding rice [J]. Pedosphere, 2001, 11(4): 333–339.
- [24] 符建荣. 控释氮肥对水稻的增产效应及提高肥料利用率的研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(2): 145–152.
- Fu J R. Effects of controlled release fertilizer on rice yield and N recovery [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2001, 7(2): 145–152.
- [25] 聂军, 郑圣先. 控释肥料不同用量水平对水稻氮素利用和产量的影响 [J]. 湖南农业科学, 2001, 6: 37–39.
- Nie J, Zheng S X. Effects of different application rate of controlled release fertilizer on rice nitrogen utilization and yield [J]. J. Hunan Agric. Sci., 2001, (6): 37–39.
- [26] 徐明岗, 邹长明, 秦道珠, 等. 有机无机配合施用下的稻田氮素转化与利用 [J]. 土壤学报, 2002, 39(增刊): 147–156.
- Xu M G, Zou C M, Qin D Z *et al.* Transformation and utilization of nitrogen in paddy soil under different chemical fertilizers combining with manure [J]. Acta Pedol. Sin., 2002, 39(Suppl.): 147–156.