

控释氮肥的氮素释放特征及其对水稻的增产效应*

宋付朋 张 民[†] 史衍玺 胡莹莹

(山东农业大学资源与环境学院, 山东泰安 271018)

摘 要 采用浸水释放试验和水稻田间试验方法研究了疏水性材料有机高分子聚合物包膜控释氮肥的释放特征,并以普通氮肥作对照研究了包膜控释氮肥对水稻的增产效应。研究表明,包膜控释氮肥养分释放达到了控释效果;与普通氮肥相比,施用控释氮肥有效提高了稻田土壤中碱解氮和铵态氮含量,促进了水稻植株和根系对氮素的吸收利用;两种处理的水稻总生物量差异不显著,但是在籽粒产量上,控释氮肥各处理两年的试验结果均比普通氮肥增产 10%~40%,尤其是控释氮肥施用量为普通氮肥 1/3 时仍有增产效果,2003 年高达 15.1%;在当地稻田条件下,2002 年控释氮肥氮素利用率最高达到了 51.2%。采用疏水性包膜材料有机高分子聚合物包膜的控释氮肥比普通氮肥具有控制释放、促进水稻吸收氮素养分、提高籽粒产量和肥料的当季利用率与降低施肥量的优越性。

关键词 控释氮肥; 释放特征; 水稻; 籽粒产量; 氮素利用率

中图分类号 S147.5 文献标识码 A

提高肥料利用率和农产品的产量与品质,保护生态环境,是当前现代化农业生产的热点。尤其是水田氮素肥料利用率的提高,在减少环境污染和提高水稻的产量和品质中所起的作用是至关重要的^[1,2]。在探索肥料的施肥技术以后,开发研制高效增产的新型肥料成为解决这一问题的关键。针对肥料本身养分的释放,国内外专家提出了缓释、控释肥料的概念,由此开始了缓释、控释肥料的研制与应用。许多研究模拟了作物对控释肥料的吸收和养分释放的关系,总结出累积氮素释放率是积温的函数,进一步阐明了控释氮肥的氮素释放行为,探讨了氮素控制释放对植物生长、肥料利用率提高以及环境保护的意义^[3]。在控释肥肥效方面,美国研制的控释肥料 OSMOCOTE 主要应用在草坪和花卉等景观农业中,日本研制的控释肥料 MEISTER 主要应用于免耕直播和水稻草莓育苗盘一次性施肥等方面,研究证明控释肥料养分利用率均得到了显著的提高^[4],控释氮肥深施促进大豆生长并提高了产量^[5]。国内研究发现,水稻对氮肥的利用率随氮肥用量的增加而减少^[6],氮肥提高了叶片干物质的积累^[7],加入尿素或 KNO₃ 能够改变水稻土无机氮的转化过程

或强度^[8],通过探讨氮素的适宜用量可以提高氮肥利用率,但是氮肥用量对氨挥发和氮素淋失有明显影响,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^[9-12],因此合理施用控释肥料能够减少氮肥用量、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^[13,14]。同时稻谷产量随着控释肥料的用量增加而增加^[15]。然而,不同包膜控释肥的释放特征与其在水稻生长期间的养分需求和供应之间的关系不同,本文旨在探讨高分子聚合物包膜控释氮肥的释放特征及其在稻田土壤中氮素养分的供应状况,对照普通氮肥,阐明控释氮肥对水稻的增产效应。

1 材料与方法

1.1 试验设计

1.1.1 控释氮肥浸水释放试验 供试肥料:包膜控释尿素,由山东农业大学资源与环境学院实验室制作。采用大颗粒尿素(粒径大于 2 mm),以有机高分子聚合物在流化床包膜塔中进行包膜。设计的养分控制释放时期为 100 d。

* 国家农业科技跨越计划(2001 跨-8)、教育部“高等学校骨干教师资助计划”(教技司(2000)65号)项目资助

[†] 通讯作者

作者简介:宋付朋(1972~),男,山东夏津人,讲师,博士研究生,主要从事土壤化学与植物营养方面的研究。

E-mail: fpsong@sdau.edu.cn

收稿日期:2004-07-12;收到修改稿日期:2004-12-18

水浸泡静置培养法(简称水浸泡法):分别称5.000 g 控释氮肥样品放入250 ml的玻璃瓶中,各加150 ml去离子水,加塞密封,放入生化培养箱中,在25℃下静置培养,定期取出三瓶进行测定,然后将其他瓶中的溶液倾弃,并向玻璃瓶中加入150 ml去离子水继续培养。前20天,每5天测一次,以后每10天测一次,直至养分溶出80%以上时,视为释放完全。以溶解并渗出颗粒包膜的尿素质量与时间的关系来描述养分释放特征。

测定时将溶液从瓶中倒出,取溶液10 ml转移至100 ml容量瓶,定容,吸取定容液5.00 ml于凯氏瓶中,加入浓硫酸消煮,凯氏法测定含氮量,根据含氮量和吸取倍数计算养分释放量,重复3次。

1.1.2 田间试验 田间试验设在山东省临沂市河东区汤和镇后坊坞村,供试土壤为种植水稻数十年的潴育型水稻土,种植模式为稻麦两熟,其耕层(0~20 cm)土壤基本理化性状为:pH(土水比1:1)7.5,有机质12.0 g kg⁻¹,全氮0.867 g kg⁻¹,速效氮96.3 mg kg⁻¹,全磷(P)0.537 g kg⁻¹,有效磷(Olsen P)

33.1 mg kg⁻¹,速效钾(NH₄OAc-K)188.4 mg kg⁻¹。

供试肥料为普通大颗粒尿素(粒径大于2 mm,含氮量46%)和采用包膜流化床制作的控释100 d的包膜控释尿素(含氮量为40%),磷肥为P₂O₅ ≥14%的过磷酸钙,钾肥为德国产的K₂O ≥60%的氯化钾。根据当地农民施肥习惯,普通尿素、包膜控释尿素、磷肥和钾肥都在灌水前一次性基施,并耙土覆盖10 cm左右,在灌水后插秧前进行水耙(耙深10 cm左右)。供试水稻品种为临稻10号,第一年在茬小麦收获后于2002年6月20日插秧,10月10日成熟收获。水稻收获后种植冬小麦,小麦种植和生长期不施用任何肥料。第二年在茬小麦收获后于2003年6月10日插秧,10月1日成熟收获。小区试验按照氮肥的用量共设8个处理(表1)。

小区面积为16 m²(2 m × 8 m),根据当地习惯插秧密度为20 cm × 20 cm,每穴3~5苗,每苗1~3穗,试验3次重复,在每个小区四周从土表向下埋入深达60 cm的塑料布进行隔水,小区管理措施与大田的常规管理措施相同。

表1 田间试验处理

Table 1 Treatments of field experiment

处理代号 Treatment code	施氮(N)量 N fertilizer application rate (N kg hm ⁻²)	施磷(P ₂ O ₅)量 P fertilizer application rate (P ₂ O ₅ kg hm ⁻²)	施钾(K ₂ O)量 K fertilizer application rate (K ₂ O kg hm ⁻²)
对照1(空白区) CK1	0	0	0
对照2(缺氮区) CK2	0	67.5	202.5
控氮1 CRF1 ¹⁾	150	67.5	202.5
控氮2 CRF2	300	67.5	202.5
控氮3 CRF3	450	67.5	202.5
普氮1 CUF1 ²⁾	150	67.5	202.5
普氮2 CUF2	300	67.5	202.5
普氮3 CUF3	450	67.5	202.5

1) CRF: Controlled release fertilizer; 2) CUF: Common urea fertilizer

1.2 样品采集与测试方法

土壤样品和植株样品按照生育时期定期进行采集。土壤样品每小区分三层(0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm)用土钻取土,带回实验室风干制备后进行测试分析。水稻植株同时分小区进行采集,分为地上和地下两部分在70℃鼓风烘干箱内烘至恒重,然后进行称重、磨细和测试分析。

土壤全氮量用凯氏法,土壤碱解氮用碱解扩散法,水田土壤中铵态氮用蒸馏滴定法(2 mol L⁻¹ KCl浸提—蒸馏法)测定。土壤全磷用HClO₄-H₂SO₄消化法,土壤有效磷用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法,

土壤速效钾用NH₄OAc浸提—火焰光度计法,有机质用重铬酸钾容量—外加热法测定。植株全氮用H₂SO₄—混合加速剂—蒸馏法。

1.3 数据统计分析

田间调查和室内测定数据均采用SAS程序软件^[16](SAS Institute, 1999)进行统计分析。

2 结果与讨论

2.1 控释氮肥的浸水释放特征

供试包膜控释氮肥的养分累积释放率在浸水中

的释放曲线如图 1 所示; 时段释放曲线为抛物线型, 释放速率明显分为三个阶段, 即释放速率逐渐增大阶段、释放高峰阶段和释放速率逐渐减小阶段。整个释放过程存在一个释放的高峰期。养分释放率开始时增加较慢, 在第 50 天时达到最高值, 以后逐渐下降, 到第 80 天时氮素养分累积释放率达到 85% (图 1)。可以看出, 供试控释氮肥的控释时期约为 100 d。这与 Raban 等^[17] 将控释肥释放过程分为迟滞期、恒释期和滞后期三个阶段的分析是一致的。用疏水性材料包膜的控释氮肥, 尤其是使用有机高分子聚合物包膜的控释氮肥, 表现出了较好的养分

控制释放效果。

研究表明, 包膜控释氮肥的养分释放具有控制释放的效果。虽然在浸水中, 包膜控释氮肥能很好地达到控释效果。但在土壤中是否能够真正达到在浸水中的效果, 需要进一步研究控释肥施入土壤后的土壤养分变化情况以及土壤库的库存与周转情况。在植物生长过程中, 作物与土壤之间的关系不断发生变化, 通过作物的产量仅能反映当季肥料的肥效, 而施肥对于土壤的物理化学性质, 如土壤质地、土壤孔隙状况、土壤结构、土壤酸碱度等方面以及对土壤潜在供肥效应等都需要更深入的研究。

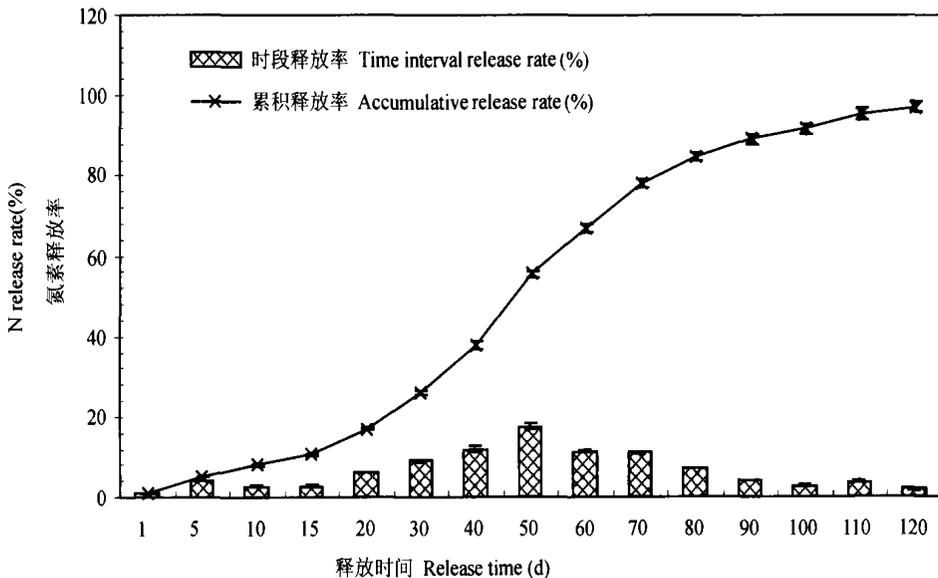


图 1 控释氮肥的氮素释放曲线

Fig. 1 N release rate of CRFs in water at 25°C

2.2 控释氮肥对稻田土壤中碱解氮和铵态氮的影响

土壤中碱解氮和铵态氮的变化是土壤供氮能力的重要指标。土壤中碱解氮的变化直接反映了土壤的供氮强度。水稻是典型的喜铵态氮作物, 因此在水稻生长过程中, 土壤中碱解氮和铵态氮的变化对水稻的生长发育有着重要影响。试验结果表明, 在不同施肥量处理中, 相同种类氮肥处理, 均是高氮处理的土壤碱解氮高于低氮处理; 相同施 N 量的试验处理, 除了水稻的返青期外, 在其他生育期均是控释氮肥处理的土壤碱解氮含量高于普通氮肥处理 (图 2)。很显然, 普通氮肥施入后, 迅速溶解到田面水中, 而控释氮肥在稻田土壤中缓慢释放, 使耕层土壤中碱解氮含量不断提高, 虽然在返青期 (6 月 27 日) 阶段土壤中的碱解氮含量低于普通氮肥处理, 但水

稻植株在返青期需氮量相对较少, 控释氮肥所释放的氮素养分完全能够满足水稻生长发育的需要。随着水稻的生长发育, 控释氮肥不断释放, 到分蘖期 (7 月 27 日) 持续升高, 在此阶段土壤中有效氮素养分的供应量至关重要, 为有效分蘖的增多和以后大穗壮秆打下了基础, 相当于常规施肥管理中的促蘖肥。随后控释氮肥处理有效氮有所降低, 但比普通氮肥降低的幅度小, 仍然保持在较高的含量水平上, 而普通氮肥处理中低氮处理却降低到与对照处理差异不显著。这说明土壤碱解氮随各处理施 N 量的提高而提高, 普通氮肥仅能够在水稻生长的初始阶段满足需要, 不能够满足水稻后期生长的需要。普通氮肥如果施肥量过大, 集中快速的溶解还有可能造成烧苗, 而控释氮肥在土壤中能够持续不断地控制释放, 有效提高了土壤中碱解氮的含量, 且不造成烧

苗,使土壤中氮素营养的供应能够充分和持续地满足水稻生长发育的需要。

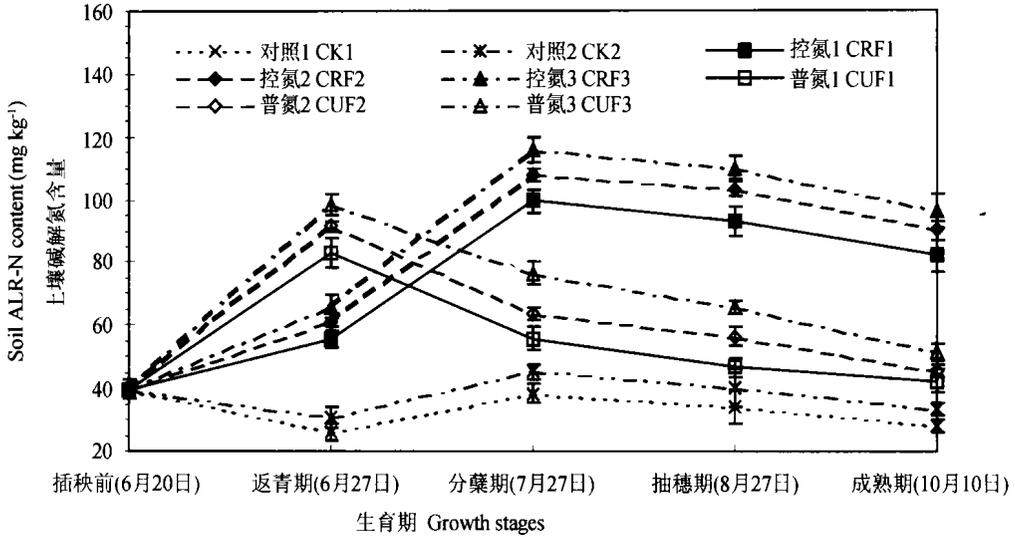


图2 大田土壤碱解氮含量变化曲线

Fig. 2 Dynamics of soil alkalytic nitrogen (ALR-N)

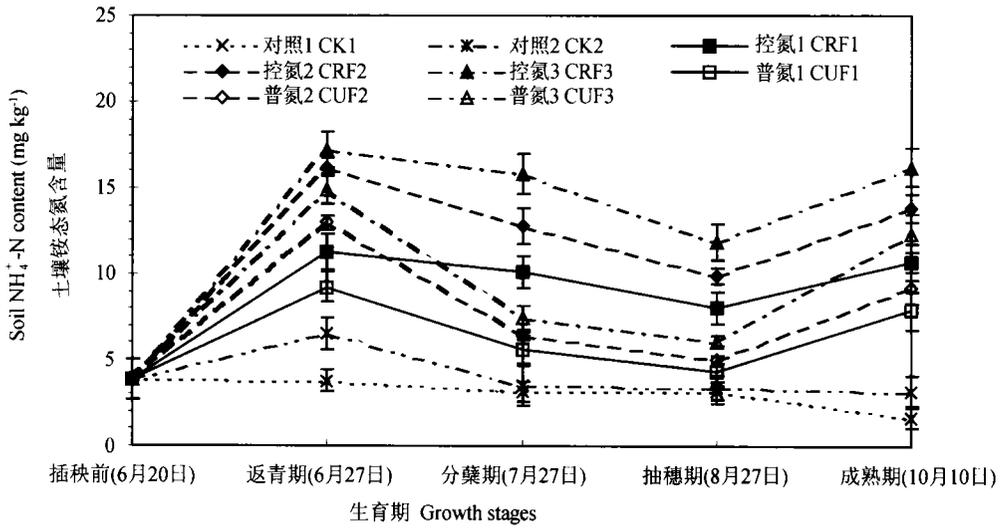


图3 大田土壤铵态氮含量变化

Fig. 3 Dynamics of soil NH₄⁺-N

土壤中铵态氮的变化(图3)与土壤中碱解氮的变化相似,相同施肥量处理中都是控释氮肥处理大于普通氮肥处理,总的趋势与普通氮肥处理相似,但普通氮肥处理降低的幅度大于控释氮肥,说明控释氮肥虽然释放比较缓慢,但却持续地维持了土壤中较高的铵态氮含量,提高了氮素的有效性。对于任何一个施肥处理来说,土壤中铵态氮含量均是在返青期、分蘖期与成熟期较高,而在抽穗期最低,这与稻田的田间管理情况有关。在抽穗期,稻田基本上处于搁田阶段,铵态氮大都已经氧化为硝态氮;而在

成熟期,由于要为下季小麦的播种做准备而进行灌水,导致硝态氮还原为铵态氮,使土壤中铵态氮的含量有所上升。在水稻生长的四个主要生育期,控释氮肥处理土壤中铵态氮含量均显著高于相同施肥量的普通氮肥处理,在返青期 CRF1、CRF2、CRF3 与 CUF1、CUF2、CUF3 相比分别提高了 19%、20% 和 13%,在分蘖期虽然都处于降低阶段,但是控释氮肥处理 CRF1、CRF2 和 CRF3(与 CUF1、CUF2 和 CUF3 比较)仍然提高了 45%、49.8% 和 53%,控释氮肥处理表现出了明显优势,能够明显地增加水稻的有效

分蘖, 并且促进了分蘖健壮生长。而在抽穗阶段, 控释氮肥处理土壤中铵态氮含量仍然显著高于普通氮肥处理, 此阶段的普通氮肥处理与对照处理差异不显著。这一时期是水稻营养生长和生殖生长并进时期, 又是决定穗粒数的重要时期, 控释氮肥处理土壤中铵态氮含量的提高能够保证幼穗增大和茎秆的茁壮。因此, 控释氮肥控制释放的特性有效提高了土壤中的碱解氮与铵态氮含量, 促进了水稻的生长发育。

2.3 控释氮肥对水稻地上部和根系氮素含量的影响

大田水稻地上部氮素含量变化总的趋势是随着水稻生物量的增长而先上升后下降, 到成熟期时, 水稻地上部氮素含量降至水稻一生中的最低点(图

4)。在水稻生长的主要生育时期, 控释氮肥处理的水稻地上部氮素含量高于相同施肥量的普通氮肥处理。这是由于控释氮肥的控制释放的特点有效促进了水稻地上部对氮素养分的吸收利用。在返青期, 虽然不是控释氮肥氮素养分释放的最高峰, 但是控释氮肥所释放的养分能够有效地被水稻植株所吸收利用, 而普通氮肥却由于养分过分集中释放, 导致植株对养分的吸收和利用受到影响, 开始能够吸收氮素使地上部氮素含量升高, 后期普通氮肥流失较多, 植株吸收少, 地上部氮素含量降低。与土壤中铵态氮的变化相对照(图3), 可知土壤中铵态氮的含量变化影响了水稻植株的生长发育。控释氮肥的控制释放特性有效提高了水稻地上部的氮素含量。

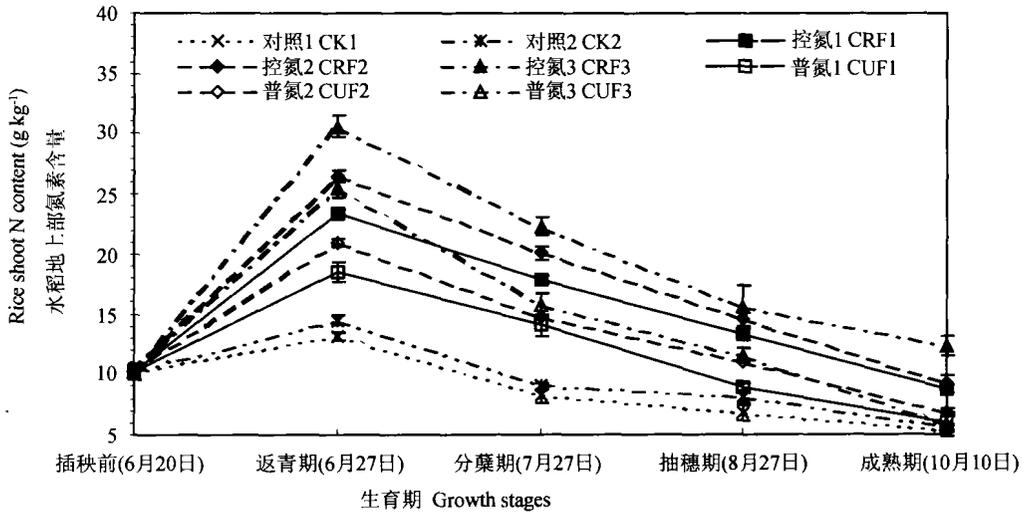


图4 水稻地上部氮素含量变化曲线

Fig. 4 Dynamics of N content in rice shoots

水稻根系氮素含量变化(图5)说明控释氮肥能够有效促进稻田土壤中有效氮的供应, 促进根系对有效性氮素养分的吸收利用。在整个水稻生长过程中的主要生育期, 水稻根系氮素含量都是控释氮肥处理高于普通氮肥处理。在水稻生长的各个时期, 虽然控释氮肥与普通氮肥各处理之间差异不明显, 但前者根系的含氮量普遍比后者根系的含氮量高, 证明控释氮肥有效地促进了根系对氮素营养的吸收, 提高了氮素肥料的有效性和氮肥利用率。

2.4 控释氮肥对水稻植株生物量和产量的影响

在水稻生长的不同生育时期, 各处理的水稻生物量差异不同, 在返青期普通氮肥施肥量最高的处理(CUF3)生物量最高, 在其他三个生长阶段为控释氮肥最高施肥量处理(CRF3)最高, 但是在成熟期控释氮肥最高施肥量处理(CRF3)与普通氮肥处理差

异不显著(表2)。

控释氮肥处理与普通氮肥处理对大田水稻籽粒的增产效果比较列于表3。2002年不同处理对大田水稻籽粒产量增产率比较(表3), 其中籽粒产量以CRF3处理最高, 同时相同氮肥各处理之间差异显著。各施肥处理均比对照处理(CK1和CK2)显著增产, 各施肥处理的增产幅度随施肥量的增加而增加, 增产幅度为19.5%~116.9%。控释氮肥处理的籽粒产量均高于普通氮肥处理。相同施肥量的控释氮肥处理均比普通氮肥处理增产显著, 最高增产34.6%。低施用量控释氮肥(CRF1)与高施肥量普通氮肥(CUF3)相比仍然增产1.9%。这说明, 控释氮肥养分的控制释放有效提高了水稻的产量, 与普通氮肥处理相比能够使水稻产量大幅度提高, 同时在保证产量的前提下, 可大幅度减少氮素化肥的施用量。

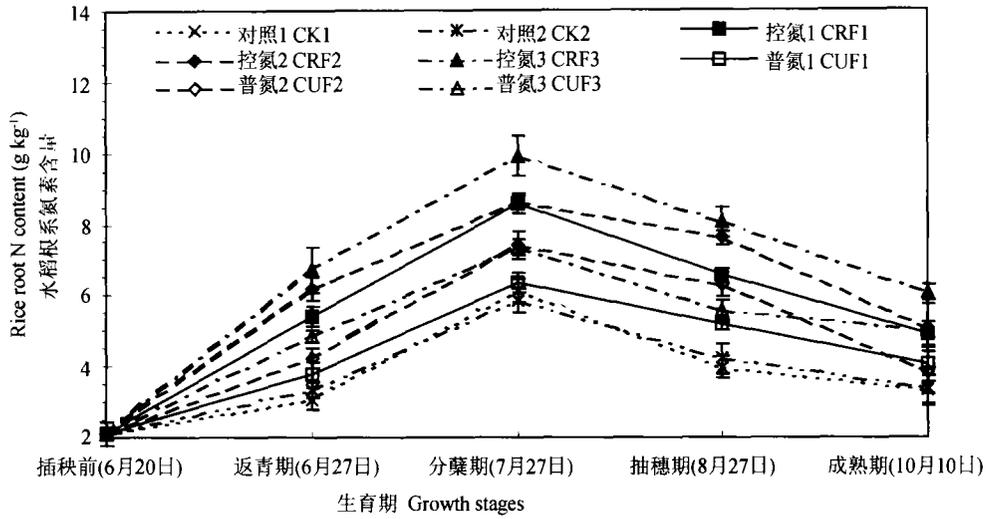


图 5 水稻根系氮素含量变化曲线

Fig. 5 Dynamics of N content in rice roots

表 2 控释氮肥与普通氮肥处理水稻植株生物量¹⁾

Table 2 Plant biomass of rice for different treatments(g m⁻²)

处理代号 Treatment code	返青期 Turning green stage	分蘖期 Tillering stage	抽穗期 Heading stage	成熟期 Maturity stage
对照 1 CK1	95.92f	331.1e	831.5e	1470f
对照 2 CK2	114.7e	359.8de	906.7d	1682e
控氮 1 CRF1	118.2e	465.3cd	1103bc	2103d
控氮 2 CRF2	137.6d	557.3ab	1167b	2295b
控氮 3 CRF3	150.8c	603.9a	1296a	2542a
普氮 1 CUF1	142.2cd	405.2de	959.6d	2204c
普氮 2 CUF2	184.3b	470.6cd	1056c	2331b
普氮 3 CUF3	227.9a	506.3bc	1130b	2490a

1) 在同一列中的平均数据用邓肯多重比较, 凡尾部标有不同字母的数值表示其间差异显著($p < 0.05$) Means in the same vertical column with the same letter are not significant in difference at the 5% level

表 3 控释氮肥与普通氮肥处理水稻籽粒产量¹⁾

Table 3 Comparison in grain yield of rice between different treatments

年份 Year	处理代号 Treatment code	籽粒产量 Grain yield (kg hm ⁻²)	(X ² - CK1)/CK1	(X- CK2)/CK2	(X- CUF1)/CUF1	(X- CUF2)/CUF2	(X- CUF3)/CUF3
			增产率%	增产率%	增产率%	增产率%	增产率%
			Increment	Increment	Increment	Increment	Increment
2002	对照 1 CK1	4520g	0	-	-	-	-
	对照 2 CK2	5280f	16.8	0	-	-	-
	控氮 1 CRF1	8490c	87.8	60.8	34.6	16.8	1.9
	控氮 2 CRF2	9107b	101.5	72.5	44.4	25.3	9.3
	控氮 3 CRF3	9803a	116.9	85.7	55.4	34.8	17.7
	普氮 1 CUF1	6307e	39.5	19.5	0	-13.2	-
	普氮 2 CUF2	7270d	60.8	37.7	15.3	0	-
	普氮 3 CUF3	8330c	84.3	57.8	32.1	14.6	-

续表

年份 Year	处理代号 Treatment code	籽粒产量 Grain yield (kg hm ⁻²)	(X ² - CK1)/CK1 增产率%	(X- CK2)/CK2 增产率%	(X- CUF1)/CUF1 增产率%	(X- CUF2)/CUF2 增产率%	(X- CUF3)/CUF3 增产率%
			Increment	Increment	Increment	Increment	Increment
2003	对照 1 CK1	4 872c	0	-	-	-	-
	对照 2 CK2	6 126c	25.7	0	-	-	-
	控氮 1 CRF1	11 799a	142.2	92.6	39.9	37.6	15.1
	控氮 2 CRF2	12 030a	146.9	96.4	42.7	40.3	17.3
	控氮 3 CRF3	11 283a	131.6	84.2	33.8	31.6	10.0
	普氮 1 CUF1	8 432b	73.1	37.6	0	- 1.7	- 17.8
	普氮 2 CUF2	8 574b	76.0	40.0	1.7	0	- 16.4
	普氮 3 CUF3	10 254a	110.5	67.4	21.6	19.6	0

1) 在同一列中的平均数据用邓肯多重比较, 凡尾部标有不同字母的数值表示其间差异显著($p < 0.05$) Means in the same vertical column with the same letter are not significant in difference at the 5% level; 2) X: 以上 8 个试验处理 X represents any one of the eight treatments

2003 年不同处理对大田水稻籽粒产量增产率比较(表 3), 各施肥处理均比对照(CK1 和 CK2) 显著增产, 增产幅度为 37.6% ~ 146.9%, 控释氮肥各处理的籽粒产量均高于普通氮肥各处理。控释氮肥各处理之间以及控释氮肥各处理与普通氮肥高施肥量处理之间差异不显著。控释氮肥处理均比相同施肥量的普通氮肥处理显著增产, 最高增产达到 40.3%。低施肥量控释氮肥处理(CRF1) 与高施肥量的普通氮肥处理(CUF3) 相比仍可增产 15.1%。2003 年的大田水稻试验是在 2002 年的基础上, 在小麦整个生育阶段不施入任何肥料的条件下, 收获小麦后再按照前述试验方案进行水稻田间试验而得出的产量结果。同时由于 2002 年和 2003 年都是丰水年, 试验区所在地山东临沂市河东区的年平均降雨量 800~ 900mm, 2002 年和 2003 年年平均降雨量达到了 1 200~ 1 500 mm, 施入稻田的普通氮肥随地表径流流失严重, 同时氮素不断在土体中向下淋溶, 而控释氮肥流失和淋溶较轻; 同时由于控释氮肥的控释特性, 致使水稻产量结果差异较明显(表 3)。因此, 2003 年的产量更有力地证明了控释氮肥的增产效果。在试验年份与普通氮肥相比, 控释氮肥具有极为显著的增产作用。

2.5 控释氮肥对水稻植株含氮量及肥料氮素利用率的影响

水稻植株的含氮量在不同生育期均受到施肥处理的显著影响(表 4)。在返青期和分蘖期, 植株含氮量控释氮肥处理均大于普通氮肥处理, 并随着施肥水平的提高而提高, 所有施肥处理均大于空白处

理。在抽穗期, 控释氮肥处理植株含氮量均大于相同施肥量的普通氮肥处理, 高氮控释肥处理(CRF3) 又显著高于其他处理。控释氮肥对水稻植株氮素含量的影响达显著水平, 控释氮肥处理的氮素利用率比普通氮肥对应的相同施肥量处理分别提高了 29.7、15.4、10.1 个百分点。水稻生长的不同生育期, 植株氮含量随着水稻生物量的升高而升高, 同时 CRF3 处理显著高于其他任何处理。控释氮肥处理的氮素利用率总是高于任何施肥量的普通氮肥处理。在相同施氮量条件下, 控释氮肥处理比普通氮肥处理氮素利用率提高了 10.1~ 29.7 个百分点, 证明施用控释氮肥不仅提高了水稻的产量, 而且有效地提高了氮素肥料的利用率, 从而可大幅度降低施肥量。

3 结 论

1) 利用疏水性材料有机高分子聚合物包膜控释氮肥在浸水中养分释放达到了控制释放的效果。

2) 与普通氮肥相比, 控释氮肥提高了土壤中碱解氮和铵态氮含量, 有效促进了水稻的生长发育。

3) 与普通氮肥相比, 控释氮肥有效地促进了水稻地上部和根系对土壤和肥料中氮素的吸收利用。

4) 控释氮肥对水稻植株生物量影响与普通氮肥相比差异不显著, 但控释氮肥有效地促进了籽粒产量的形成和提高, 具有显著的增产效果, 同时有效地提高了肥料的当季利用率, 能够在保证产量的前提下降低氮素化肥的施用量。

表4 控释氮肥与普通氮肥处理水稻植株氮素含量及肥料氮素利用率¹⁾

Table 4 Nitrogen content of plant and nitrogen use efficiency in different treatments (2002)

处理代号 Treatment code	水稻植株氮素含量 N content of the plant (g m^{-2})				氮素利用率 ²⁾ Nitrogen use efficiency (%)
	返青期 Turning green stage	分蘖期 Tillering stage	抽穗期 Heading stage	成熟期 Maturity stage	
	对照1 CK1	0.721g	3.492de	4.543d	
对照2 CK2	0.970f	3.083e	6.981dc	12.57g	-
控氮1 CRF1	2.581c	7.103b	14.02b	22.39d	51.2
控氮2 CRF2	3.343b	8.887a	16.14b	25.11c	36.8
控氮3 CRF3	4.262a	9.116a	19.18a	32.30a	39.1
普氮1 CUF1	1.618e	3.993d	8.254c	17.94f	21.5
普氮2 CUF2	2.053d	5.158d	16.37b	21.14e	21.4
普氮3 CUF3	2.665c	7.459b	15.70b	27.80b	29.0

1) 在同一列中的平均数据用邓肯多重比较, 凡尾部标有不同字母的数值表示其间差异显著($p < 0.05$) Means in the same vertical column with the same letter are not significant in difference at the 5% level; 2) 肥料氮素利用率(%) = (施肥处理植株氮量(g hm^{-2}) - CK2 处理植株氮量(g hm^{-2})) \times 100 / 公顷施氮量(g) Nitrogen use efficiency (%) = (N content of plant of fertilized treatment (g hm^{-2}) - N content of plant of CK2 (g hm^{-2})) \times 100 / amount of applied N per hm^{-2}

参考文献

- [1] 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. 中国农业科学, 2002, 35(9): 1 095~ 1 103. Peng S B, Hang J L, Zhong X H, *et al.* Research strategy in improving fertilizer nitrogen use efficiency of irrigated rice in China (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(9): 1 095~ 1 103
- [2] 张洪程, 王秀芹, 戴其根, 等. 施氮量对杂交稻两优培九产量、品质及吸氮特性的影响. 中国农业科学, 2003, 36(7): 800~ 806. Zhang H C, Wang X Q, Dai Q G, *et al.* Effects of N application rate on yield, quality and characters of nitrogen uptake of hybrid rice variety liangyoupei jiu (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(7): 800~ 806
- [3] Gandeza A T, Shoji S, Yamada I. Simulation of crop response to Polyolefin Coated Urea: I. Field dissolution. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1991, 55: 1 462~ 1 467
- [4] Shoji S, Gandeza A T. Controlled release fertilizers with polyolefin resin coating. Japan: Konno Printing Co. Ltd, 1992. 122~ 123
- [5] 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. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 1991, 37(2): 223~ 231
- [6] Shen A L, Liu C Z, Zhang F S, *et al.* Effects of different application rate of urea on the growth of rice and N fertilizer utilization ratio under water leakage and nonleakage conditions. *Chinese J. Rice Sci.*, 1997, 11(4): 231~ 237
- [7] 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. *Journal of Zhejiang University (Agric. & Life Sci.)*, 2000, 26(4): 399~ 403
- [8] 蔡祖聪. 尿素和 KNO_3 对水稻土无机氮转化过程和产物的影响 I. 无机氮转化过程. 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 (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(2): 239~ 245
- [9] 王德建, 林静慧, 孙瑞娟, 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. 土壤学报, 2003, 40(3): 426~ 432. Wang D J, Lin J H, Sun R 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 (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(3): 426~ 432
- [10] 傅庆林, 陈英旭, 俞劲炎. 浙中水稻生长适宜施氮量研究. 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 (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(5): 787~ 790
- [11] 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. 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 influencing factors (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(2): 265~ 269
- [12] 王家玉, 王胜佳, 陈义, 等. 稻田土壤中氮素淋失的研究. 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 (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1996, 33(1): 28~ 36
- [13] Fu J R, Zhu Y H, Jiang L N. Use of controlled release fertilizer for increasing N efficiency on direct seeding rice. *Pedosphere*, 2001, 11(4): 333~ 339
- [14] 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. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(2): 145~ 152. Fu J R.

- Effects of controlled release fertilizer on the rice yield and recovery (In Chinese). *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2001, 7(2): 145~ 152
- [15] 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. *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 (In Chinese). *Journal of Hunan Agricultural Science*, 2001, 6: 37~ 39
- [16] SAS Institute. *SAS/STAT User's Guide: Statistics. Version 8, 1st Ed.* SAS Inst., Cary, NC, USA, 1999
- [17] Raban S, Zaidel E, Shaviv A. Release mechanisms controlled release fertilizers in practical use. *In: Mortvedt J J, Shaviv A. eds. Third Int. Dahlia Greidinger Sym. on Fertilization and the Environment. April 1997, Technion, Haifa, Israel*

RELEASING CHARACTERISTICS OF CONTROLLED RELEASE NITROGEN FERTILIZER AND ITS EFFECTS ON RICE YIELD

Song Fupeng Zhang Min[†] Shi Yanxi Hu Yingying

(College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China)

Abstract Nitrogen release experiments and field experiments were conducted to study release characteristics of the controlled release fertilizer (CRF) coated with hydrophobic material (organic macromolecule polymer) and its effect on rice yield as compared to common urea fertilizer (CUF). The results show that nutrient release of the CRF in water met the requirements for controlled-release. Compared with the CUF, the CRF significantly increased the contents of alkalytic N (ALR-N) and NH_4^+ -N in the paddy soil, facilitating N uptake by the roots of rice. There was no difference in total biomass of the rice plants between the different nitrogen treatments, but the results of two years' field experiments show that the grain yield of the rice in the CRF treatments was 10%~ 40% greater than that in the CUF treatments. Especially, the CRF, applied at a rate only 1/3 of the rate of the CUF, also increased the grain yield of rice by 15. 1% in 2003. Under the local paddy field conditions, the results proved that the nitrogen use efficiency of CRF was up to 51. 2% in 2002. The CRF showed its advantages of controlling release of N nutrient, promoting N uptake by the rice, increasing grain yield and nitrogen use efficiency, and reducing nitrogen application rate.

Key words Controlled-release fertilizers; Release characteristics; Rice; Grain yield; Nitrogen use efficiency