

包膜尿素对水稻的增产效应及提高氮素利用率的研究

孙永红^{1,2}, 范晓晖^{1*}, 高豫汝³, 武 琴³, 张 民⁴, 孙红霞³

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2 南京农业大学, 南京 210095;

3 南京市雨花区农业局, 南京 210012; 4 山东农业大学资源环境学院, 山东泰安 271000)

摘 要: 随着经济的发展, 国内包膜肥料逐渐得到应用, 包膜肥料施用方便, 肥效期长, 在国内应用潜力巨大。本文通过田间试验比较了硫磺加热固性树脂包膜尿素与普通尿素对水稻的增产效应, 研究表明, 在低 N 水平下产量比施用普通尿素增加了 22.2%, 增产效果显著; N 素利用率分别为 76.9% 和 37.8%; 在收获期, 同等 N 素水平下, 包膜尿素处理的植株含 N 量显著高于普通尿素, 分别高出 24.1% 和 20.0%。施用包膜尿素减缓了 N 素的释放, 一次性施肥就能够满足水稻整个生育期的营养需求, 大大节约了劳动力, 并且在低 N 水平下获得了较高的经济效益。

关键词: 包膜尿素; 氮肥; 产量; N 素利用率。

中国分类号: S143.1; S145.5

水稻是我国的主要粮食作物之一, 近年来, 随着人口的增长及耕地的减少, 对粮食的需求不断增长, 为了提高粮食的单位面积产量, 化肥的施用量不断增加, 然而增产幅度却很小, 而且化肥的大量使用既是资源的浪费, 对环境又造成了污染。N 肥作为常用的肥料, 施用量逐年增加。目前我国 N 肥的利用率约为 30%~35%, 在稻田中其损失可达 50%, 甚至更多^[1-2]。导致肥料利用率低的一个很重要原因是肥料的淋溶损失, 尤其是 N 肥和 K 肥^[3-5]。肥料的大量淋失不但造成了直接的巨大经济损失 (保守估计, 如果使我国肥料利用率提高 10 个百分点, 以我国现有的化肥消费水平计算, 每年可节约化学成本 100 亿元以上), 而且对环境和可持续发展带来了越来越大的影响, 并由此对人类的健康构成了严重的威胁, 从而引起了世界各国的高度重视^[6]。因此, 如何提高肥料利用率、降低用量, 研制高效且低成本, 无污染, 易于被农民接受的新型肥料已成为现代农业科学发展的重大课题。

目前的包膜肥料有包膜肥料、超颗粒肥料和高分子微溶性肥料等几种^[7]。美国、日本、荷兰、英国等国发展比较早, 而我国包膜肥料的发展较晚, 由于目前的包膜肥料仍然存在成本高、生产工艺复杂和包膜效果难于和作物同步等问题, 因此, 至今这些包膜肥料仍然未在国内得到广泛利用。包膜肥料的设想始于 1907 年, 由于问题复杂, 直至 1940 年才见到农业上的试验报道^[3]。自上世纪 60 年代, 美国 TVA 开发了包

硫尿素后, 包膜肥料得到了迅速发展, 技术水平不断提高, 生产规模逐渐扩大, 目前国外投放市场的包膜型尿素主要为涂硫尿素和聚合物包膜尿素^[4], 但价格较高, 主要应用于草坪、花卉等经济作物。国内这方面研究起步较晚, 上世纪 60 年代末开始包膜肥料的研制, 80 年代开始有产品相继出现, 目前形成的几种主要包膜型尿素有涂层尿素、磷石膏包膜尿素和钙镁磷肥包膜尿素^[8], 这些产品均具有一定的缓效控制作用, 而且成本较低, 但其缓释性还不甚理想。

本试验应用的包膜肥料采用硫磺加热固性树脂包膜尿素, 有较好的缓释效果, 肥效期长, 养分释放期约在 100 天左右, 而且成本较低, 是适宜大田作物使用的包膜肥料。本研究在江苏省南京市雨花区板桥农业技术实验站进行, 通过田间试验比较了聚丙烯包膜尿素与普通尿素对水稻的增产效应, 评价了 N 素的利用效率, 经济效益, 旨在为包膜 N 肥的推广和合理施用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

田间试验于 2004 年 6—10 月在南京市雨花区板桥农业技术实验站的水稻田进行。供试土壤为壤质江淤土, 土壤 pH 6.5, 全 N 为 1.36 g/kg, 有机质含量为 2.12 g/kg, 速效 P 为 (23 ± 2.23) mg/kg, 速效 K 为 (82 ± 9.0) mg/kg。

基金项目: 江苏省科技攻关项目 (BE2003378)、国家自然科学基金重大项目 (30390080) 和国家重点基础研究发展计划 (973 计划) (2005CB121108) 资助。

* 通讯作者 (xhfan@issas.ac.cn)

作者简介: 孙永红 (1980—), 女, 山东烟台人, 博士研究生, 主要从事植物营养及植物逆境生理方面的研究。E-mail: susan830521@sohu.com

水稻品种为当地习惯品种,水稻秧苗含 N 量为 31.5 g/kg,秧苗于 6 月 17 日人工插秧,10 月 27 日收获。包膜 N 肥为山东农业大学生产的硫磺加热固性树脂包膜尿素,含 N 量为 400 g/kg,养分释放期约在 100 天左右,其养分在土壤中的释放不受土壤 pH、微生物、溶液离子强度等因素的影响。

1.2 试验设计

试验采用完全随机区组设计,共 5 个处理,分别为: CK; U1,普通尿素 100 kg/hm²(低 N 水平); U2,普通尿素 200 kg/hm²(高 N 水平); CU1; 包膜尿素 N100 kg/hm²; CU2: 包膜尿素 N 200 kg/hm²。每个处理 4 个重复,20 个小区(小区面积 5 m × 6 m = 30 m²)。包膜尿素一次性随基肥施入,普通尿素分 3 次施入,施肥比例为基肥:分蘖肥:穗肥为 4:2:4。水稻基肥在栽秧前施入,分蘖肥在栽秧 7 天后施入,穗肥在倒 3 叶时施入。以 P、K 肥为基肥,所有处理用量相同,P 肥用过磷酸钙,为 60 kg/hm²(P₂O₅),K 肥为氯化钾,为 120 kg/hm²(K₂O)。前茬土壤耕翻后灌水,形成田面无水层,均匀撒施肥料。

水稻整个生育期动态采样 3 次,分别在拔节期、孕穗期和灌浆初期采集,每次采样取地上部分植株 3 穴,烘干后的植株样品测全 N。收获时每个小区采 3 穴地上部分植株,测量统计农学指标(有效穗、千粒重、实粒数、空秕粒),烘干后称重并计算谷草比,分析籽粒和稻草的全 N 含量。

1.3 样品采集与分析测定

(1) 土壤 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 的测定。取风干土样 20 g,过 20 目筛,加入 2 mol/L KCl 溶液 100 ml,振荡提取 1 h 后过滤,用凯氏定氮法测定。

(2) 植株全 N 测定。分别于分蘖期、幼穗分化期、抽穗期、收获期 4 个时期采样,每小区采集植株 3 穴,将样品烘干后,分别称量干重,用凯氏定氮法测全 N。

(3) 收获期样品的采集与分析。对每个小区的水稻进行单打单收,对各个处理进行考种分析,并分别称出每个小区稻粒的湿重、干重,计算出水稻产量。用凯氏定氮法测定不同处理的水稻的籽粒和茎秆的含 N 量。

2 结果与分析

2.1 不同时期水稻植株的 N 素吸收

由图 1 看出,在收获前期低 N 处理的植株含 N 量均小于高 N 处理。而在收获期 CK, U1, U2, CU1, CU2 的含 N 量分别为 14.9, 18.0, 16.8, 22.3, 20.1 g/kg, 低 N 处理高于高 N 处理,分别高出 7.23%和 10.86%;

而在同等 N 素水平下,包膜尿素处理的含 N 量显著高于普通尿素,分别高出 24.1%和 20.0%。有研究认为,水稻前期吸收的 N 素主要是促进分蘖,有利于有效穗形成;幼穗分化期以后吸收的 N 素主要是促进颖花形成和发育,有利于形成大穗,提高产量^[8-9]。普通尿素的溶解集中而且快速,而包膜尿素在土壤中能够持续不断地控制 N 素的释放,使土壤中的 N 素充分满足了水稻生长发育的需要。本试验表明,包膜尿素减缓了 N 素的释放,延长了尿素的肥效期,提高了 N 素的利用。由于尿素易溶于水,水稻在生育前期普通尿素处理与包膜尿素处理间含 N 量的差异不大。当进入生育中、后期,则表现出施用包膜尿素处理的含 N 量显著高于普通尿素,其原因是包膜尿素的 N 是在进入中期之后才释放出来, N 素利用率大大提高^[10]。说明包膜尿素在包膜颗粒中释放较慢,淋溶、径流、氨挥发、硝化-反硝化和其他途径的损失都很少。

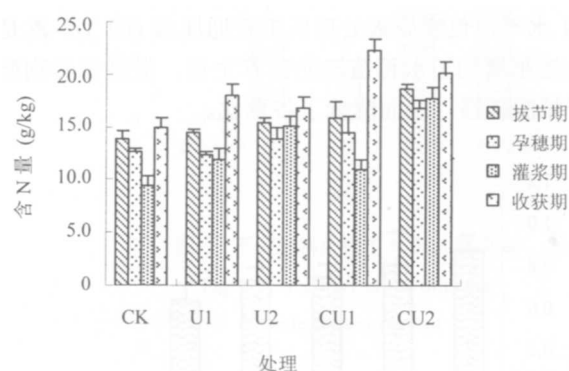


图1 不同生育期水稻地上部含 N 量的变化

Fig. 1 Dynamics of N content in the shoots of rice with growth of the crop

2.2 不同肥料处理对水稻生物量的影响

适量施用 N 肥,可以提高水稻叶片的叶绿素含量、全 N 含量,延长了叶绿素含量缓降期和光合速率高值持续期^[13],延缓叶片叶绿素和光合功能的衰老进程,而且也使剑叶以下叶片的叶绿素含量缓降期在不同程度上得到延长,从而保证了光合源的充分供应,使植株抽穗后绿叶面积持续时间延长,而且对植株生长和籽粒产量均产生影响^[12]。从图 2 中可看出,在各个生育期每穴植株的干物重相差不大,拔节期的稻秧每穴的干重在 7.05 ~ 10.6 g 之间,孕穗期在 16.1 ~ 24.7 g 之间。灌浆期的干重在 43.0 ~ 57.6 g 之间。在不同的肥料处理中,除 CK 外, U2 的生物量较其他施肥处理偏低,包膜尿素处理的干物重显著高于普通尿素处理。在低 N 水平下,包膜尿素处理比普通尿素处理的生物量分

别高出 11.9%，而在高 N 水平下则高出 34.0%。

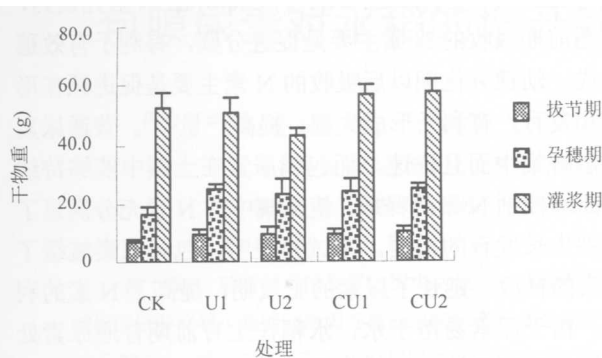


图 2 不同肥料处理下水稻的干物质重量

Fig. 2 Dry matter weights of the shoots of rice different in fertilizer treatment

不同肥料处理下水稻的谷草比分别为 0.892, 0.831, 0.764, 0.758, 0.658。高 N 水平下谷草比低于低 N 水平, 包膜尿素处理低于普通尿素 (图 3)。这是因为施肥增加了水稻植株的营养生长, 促进营养物质向籽粒的转移, 从而降低了谷草比。

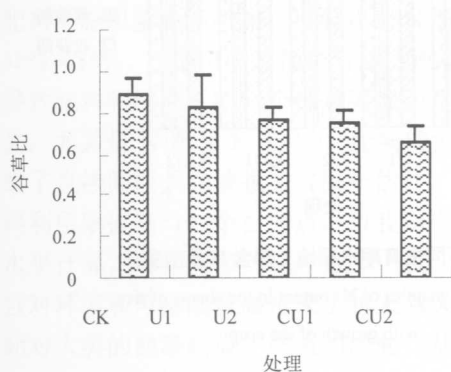


图 3 不同肥料处理下水稻的谷草比

Fig. 3 Grain/straw ratio of rice different in fertilizer treatment

2.3 不同施肥处理的水稻产量

试验结果 (图 4) 表明, 除 U1 处理外其他处理与 CK 相比, 增产效果显著, 增产幅度在 22% 以上。U2 处理的产量最高, 达到 6.89 t/hm², CU2 产量为 6.56 t/hm², 通过方差分析, CU1 比 U1 增加了 22.2%, 增产效果显著, U2, CU1, CU2 差异不显著, 究其原因可能是因为包膜尿素延长了肥效期, 由于 N 肥过于充足, 植株前期长势过旺, N 代谢难以转换, 水稻贪青, 营养生长时间较长, 茎秆内的养分没有完全运输到籽粒中, 而且该试验的土壤肥力较高, N 肥需求量较低,

致使 CU2 的产量和千粒重都较低 (表 1)。但从总体上看, 包膜尿素处理的产量高于普通尿素。说明在低 N 水平下, N、S 的交互作用就能够提高水稻的产量, 而且效果较好。

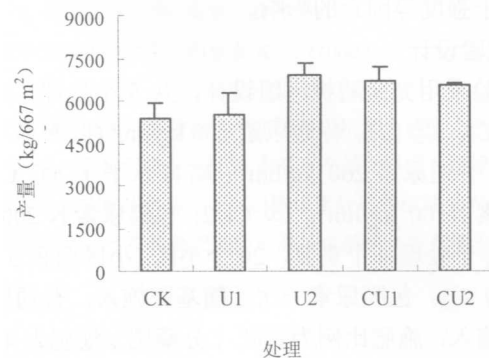


图 4 不同肥料处理下水稻的平均产量

Fig. 4 Average yield of rice different in fertilizer treatment

每穴的有效穗数与 CK 相比增幅在 24%~36% 之间 (除 U1 处理外)。每穗粒数和结实率无显著差异, 千粒重以 U1 最高, 在同一 N 水平, 无论是普通尿素还是包膜尿素低 N 处理的千粒重都高于高 N 处理。在施肥量低时, 包膜肥的效果更明显 (表 1)。刘光荣等^[13]和刘宛等^[14]于 2000 年晚稻试验研究结果表明, 增施 S 肥, 在无 N 条件下可提高结实率, 在无 N、低 N 下可提高千粒重, 在有 N 下明显降低结实率, 在高 N 下降降低千粒重。这是由于增施 N 肥和 S 肥, 植株长势旺盛, 透光性相对较差, 所以导致结实率明显下降; 在高 N 条件下, 随着施 S 量的增加, 千粒重也明显降低, 这就是影响 S 素进一步增产的主要因素。

2.4 不同处理对 N 素利用率的影响

当 N 素水平在 N 0, 100, 200 kg/hm² 时, 成熟期植株含 N 量在 N 86.16~161.65 kg/hm² 之间, N 素利用率在 19.91%~76.88% 之间。符建荣^[16]的田间试验探讨了树脂包膜类包膜 N 肥基施与尿素对单季稻的增产效应; 应用 ¹⁵N 示踪法研究了不同施肥处理水稻的肥料利用率, 从水稻全生育期看, 移栽稻的 N 总回收率在 45.3%~52.7% 之间 (施 N 量为 N 100 kg/hm²)。本试验的包膜尿素处理的 N 肥利用率分别为 76.88% 和 37.75% (图 6), 显著高于普通尿素。由于试验地区土壤肥力较高, 故在两个 N 肥处理中, 施 N 量在 N 100 kg/hm² 的 N 素利用率高于施 N 量为 N 200 kg/hm² 的处理。

表 1 不同施肥处理对水稻产量及产量构成性状的影响

Table 1 Yield and yield composition of rice different in fertilizer treatment

处理	产量 (kg/hm ²)	产量构成性状				
		每穴穗数	每穗粒数	每穗实粒数	结实率 (%)	千粒重
CK	5389.2 b	9.98 b	103.59 a	100.83 a	97.3 a	24.08 a
U1	5500.35 ab	11.35 ab	102.10 a	99.63 a	97.6 a	24.14 a
U2	6889.2 a	13.40 a	103.25 a	99.24 a	96.1 a	23.17 a
CU1	6722.55 ab	12.35 a	102.62 a	99.90 a	97.4 a	23.92 a
CU2	6555.9 ab	13.55 a	88.10 b	84.73 b	96.2 a	22.55 a

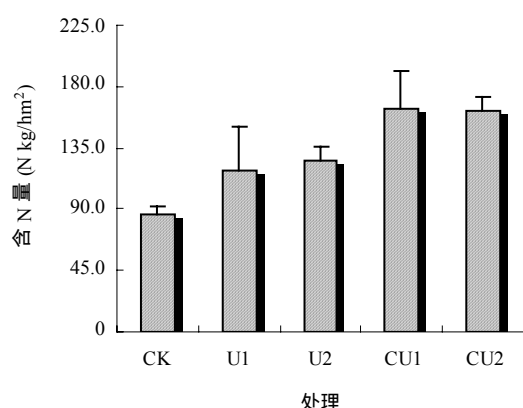


图 5 不同肥料处理下植株含 N 量

Fig. 5 N content rice plants different in fertilizer treatment

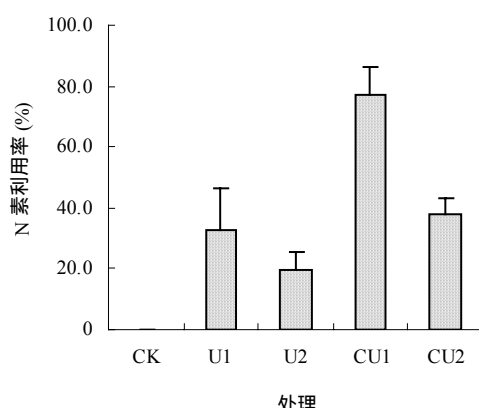


图 6 不同肥料处理下 N 素的利用率

Fig. 6 N recovery of rice different in fertilizer treatment

3 结论

包膜尿素作为包膜 N 肥施入土壤，提高了水稻的产量，包膜尿素做底肥一次性使用，不用追肥，既防止烧苗，又节省用工，节约劳动力，同时尿素外层的包膜克服了尿素的结块现象，避免因施用不均而造成的浪费，有利于机械化施肥。

不同肥料处理对水稻植株生物量影响的差异不显著，在高 N 水平处理下，包膜尿素处理的生物量比普通尿素处理高。

包膜尿素 N 素的释放与水稻生长发育所需营养同步，使水稻各生育时期对 N 素的吸收分配合理，增加水稻产量，减少 N 素的损失，提高了肥料的利用效率。水稻生育前期的吸 N 量对产量形成具有重要意义。

4 讨论

本试验通过分析植株含 N 量来研究 N 素的利用率，采样只采取了地上部分的植株，没有对水稻根的含 N 量进行采样分析。要做进一步的研究，还需对不

同肥料处理的土壤进行采样分析，总结包膜尿素的动态释放规律，更好的服务于农业生产。使用包膜尿素可增加水稻的经济效益，特别是施用在中等肥力稻田上获得的经济效益较大^[8]。至今对包膜尿素的成本核算仍具有一些差异，因此，生产低成本的包膜尿素，更好的服务于农业生产仍是我们今后努力的方向。

包膜肥料与速效肥料以适当比例配合，水稻产量最高^[9]；樊小林等^[10]和符建荣等^[16]研究表明，水稻采用包膜肥料与速效肥料按 1:1 组合，稻谷产量与全部施用包膜肥料无差异，N 素用量比常规施肥减少 25% ~ 50%。因此，探索适宜的施用方法，提高 N 素的利用率，减少 N 素流失和环境污染仍是今后研究的重要课题。

参考文献：

- [1] Zhu ZL, Cai GX, Xu YH. Ammonia volatilization and its significance to the losses of fertilizer nitrogen to paddy soil. Acta Pedologica Sinica, 1985, 122 (4): 320-328
- [2] 朱兆良. 我国氮肥的使用现状、存在问题和对策//李庆逵, 朱兆

- 良, 于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题. 南昌: 江西科学技术出版社, 1997: 38-51
- [3] 叶雪珠, 马军伟, 何念祖, 俞巧钢. 新型包膜尿素的氮释放动态研究. 浙江大学学报 (农业与生命科学版), 2000, 26(1): 114-118
- [4] 宋付鹏, 张民, 史衍玺, 胡莹莹. 控释氮肥的氮素释放特征及其对水稻的增产效应. 土壤学报, 2005, 42(4): 619-627
- [5] 杜昌文, 周健民. 控释肥料的研制及其进展. 土壤, 2002, 34(3): 127-133
- [6] Shaviv A, Mikkelsen RL. Controlled release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation—A review. Fertilizer Research, 1993, 35: 1-2
- [7] Martin ET. Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. Paris: Published by The International Fertilizer Industry Association, 1997
- [8] 黄科延, 戴平安. 早稻施用包膜氮肥的效果. 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2002, 28(1): 12-15
- [9] Li JY, Hua QX, Tan JF, Zhou JM, Hou YL. Mineral coated fertilizer effect on nitrogen-use efficiency and yield of wheat. Pedosphere, 2005, 15(4): 526-531,
- [10] 樊小林, 廖宗文. 包膜肥料与平衡施肥和提高肥料利用率. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(3): 219-223
- [11] 刘德林, 聂军, 肖剑. ^{15}N 标记水稻包膜氮肥对提高氮素利用效率的研究. 激光生物学报, 2002, 11(2): 87-92
- [12] 戴平安, 郑圣先, 袁迪仁. 水稻包膜氮肥对晚稻的施用效应及经济效益分析. 湖南农业科学, 2002, (5): 21-24
- [13] 刘光荣, 袁福生, 李祖章, 刘益仁, 罗奇祥. 氮硫配施对水稻的效应研究. 江西农业学报, 2001, 13(2): 1-7
- [14] 刘宛, 徐正进, 陈温福, 张龙步, 李磊鑫, 宋桂云. 氮素水平对不同穗型水稻品种植株衰老和产量的影响. 沈阳农业大学学报, 2001, 32(4): 243-246
- [15] 符建荣. 包膜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

Effects of Coating of Urea on Yield and Nitrogen Recovery of Rice

SUN Yong-hong^{1,2}, FAN Xiao-hui¹, GAO Yu-ru³, WU Qin³, ZHANG Min⁴, SUN Hong-xia³

(1 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2 College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 3 Nanjing Yuhua District Agriculture Bureau, Nanjing 210012, China; 4 College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271000, China)

Abstract: For its advantages of easy handling and long availability, coated fertilizer finds tremendous potential of application in China. Field experiments were conducted to compare polypropylene-coated urea with common urea in yield-increasing effect on rice. Results showed that yield of the crop was increased by 22.22% in the low urea treatments; nitrogen use efficiency of the coated urea and common urea treatments was 76.88% and 37.75%, respectively; and N content shoots of the rice in coated urea treatments was 24.09% and 20.03% higher than that in common urea treatments. Coating controlled N release and one application was enough to meet the nutrient requirements of the crop throughout its life cycle. Moreover, it saved much labor and gained considerable economic benefit at a lower N application rate.

Key Words: Coated urea, Nitrogen fertilizer, Yields, Nitrogen use efficiency