

粒径、包膜厚度及淋溶模式对控释肥氮素释放特性的影响

王浩^{1,2}, 樊小林², 张华^{2,3}

(1 仲恺农业技术学院 环境科学与工程系, 广东 广州 510225; 2 华南农业大学 资源环境学院, 广东 广州 510642;
3 广州珠江公园, 广东 广州 510627)

[摘要] 【目的】为正确评价包膜控释肥养分释放机理及降低控释肥制造成本提供理论依据。【方法】采用培养土柱淋溶试验, 探讨粒径($D_1=2.5\sim 3\text{ mm}$ 、 $D_2=4\sim 5\text{ mm}$)、包膜厚度($CTh_1=50\text{ g/m}^2$ 、 $CTh_2=70\text{ g/m}^2$)以及淋溶模式(干湿交替淋溶、常规间歇淋溶)对控释肥氮素释放特性的影响。【结果】在常规间歇淋溶模式下, 粒径大小对控释肥氮素累积释放率无明显影响。而同一粒径下, 包膜厚度对控释肥氮素累积释放率有影响, 培养5~54 d, 包膜厚度小(50 g/m^2)的控释肥氮素累积释放率基本上明显大于包膜厚度大(70 g/m^2)的控释肥, 前者平均是后者的1.25倍。淋溶模式影响控释肥氮素累积释放率, 常规间歇淋溶模式下控释肥氮素累积释放率大于干湿淋溶交替模式, 前者平均是后者的1.26倍。【结论】当粒径对控释肥氮素释放特性无明显影响时, 可采用大粒径核芯代替小粒径核芯制造相同厚度的控释肥, 既可以达到相似的肥效, 又降低了控释肥的生产成本。

[关键词] 粒径; 包膜厚度; 淋溶模式; 控释肥; 氮素释放率

[中图分类号] S14-33; S145.5

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2008)12-0095-06

Effect of granular diameter, coating thickness and leaching patterns on characteristics of nitrogen releasing of controlled release fertilizer

WANG Hao^{1,2}, FAN Xiao-lin², ZHANG Hua^{2,3}

(1 Department of Environment Science and Engineering, Zhongkai University of Agriculture and Technology, Guangzhou, Guangdong 510225, China; 2 College of Nature Resources and Environment Science, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China; 3 Guangzhou Pearl River Park, Guangzhou, Guangdong 510627, China)

Abstract: 【Objective】The study was done to provide a theoretical basis for correct assessment of controlled release fertilizer (CRF) which released mechanism and to reduce the cost of CRFs. 【Method】This paper studied the effects of granular diameter ($D_1=2.5-3\text{ mm}$, $D_2=4-5\text{ mm}$), the coating thickness ($CTh_1=50\text{ g/m}^2$, $CTh_2=70\text{ g/m}^2$) and leaching patterns (Dry-wetting alternation, Normal intermittent) on the nitrogen release rate of CRFs by soil column leaching experiment. 【Result】Granular diameter had little effect on the nitrogen accumulative release rate under the normal intermittent leaching patterns. Coating thickness had influence on the nitrogen accumulative release rate and the release rate of CTh_1 (50 g/m^2) was significantly higher than that of CTh_2 (70 g/m^2) during 5-54 d for the same diameter fertilizer. The release rate of the former was 1.25 folds higher than that of latter in average. Leaching patterns had influ-

* [收稿日期] 2007-12-09

[基金项目] 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD10B02); 国家自然科学基金项目(30270769; 30370820); 农业部科技成果转化项目(农计函[2005]300号); 广东省科技厅国际科技合作项目(2002C50406, 2004B50201015)

[作者简介] 王浩(1976—), 男, 湖北襄樊人, 助教, 硕士, 主要从事土壤肥力与控释肥研究。E-mail: haowang98@126.com

[通讯作者] 樊小林(1958—), 男, 陕西三原人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事肥料科学、植物营养与施肥研究。
E-mail: xlfan@scau.edu.cn

ence on the nitrogen accumulative release rate. The release rate of the normal intermittent leaching under constant soil moisture was significantly higher than that of the dry-wetting alternation leaching system. The leaching rate of the former was 1.26 folds higher than that of the latter in average. 【Conclusion】 When granular diameter had no clear effect on CRFs, big granular diameter may replace small granular diameter to manufacture controlled release fertilizer of the same thickness. This can achieve similar fertilizer efficiency, and reduce production costs of CRFs.

Key words: granular diameter; coating thickness; leaching pattern; controlled release fertilizer; release rate of nitrogen

大量研究资料表明,我国的当季肥料利用率较低,特别是氮肥,利用率仅为 30%~35%,远低于世界发达国家水平^[1]。缓释肥料、控释肥的出现,为解决化肥利用率低的问题提供了新的思路和解决途径^[2-3]。

从国内外缓释肥、控释肥研究和应用现状看,包膜控释肥代表了缓释肥料和控释肥的发展方向^[4]。包膜控释肥主要是通过自身包膜层上的微孔大小、数量、孔径曲折度等内部因素,调节养分从膜内向膜外扩散^[5-6],其中聚合物包膜控释肥的养分释放主要受包膜厚度和环境温度的影响。包膜厚度一方面受包膜材料用量的限制,另一方面还与包膜工艺等有关。包膜材料用量的多少不仅影响膜内核芯肥料的养分供应(释放),而且还直接影响包膜控释肥的制造成本。故如何有效地降低包膜材料用量,关系到包膜控释肥的质量和制造成本。有研究发现,粒径的大小直接影响肥料的比表面积,从而影响包膜材料的用量^[7-8]。但是能否通过改变肥料粒径的大小而降低包膜材料用量,还取决于同一包膜厚度下,不同粒径控释肥的养分释放特性是否具有差异,目前这方面的研究还比较少。

评价控释肥养分释放性能常用的方法有水中溶出率法和土柱淋溶法,前者虽然简单快速,但是该方法未考虑土壤因素,因此很难对包膜控释肥的养分控释性能做出较为全面正确的评价;后者可模拟“土壤—肥料—水”体系,其测定结果更接近大田实践。本试验采用常规土柱淋溶和间歇土柱淋溶模式,研究粒径、包膜厚度及其二者间相互作用对控释肥氮素释放特性的影响,拟筛选出适宜的粒径和包膜厚度,旨在为正确评价控释肥释放性能及降低控释肥的制造成本提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试肥料 供试 4 种包膜控释肥,均由三原

圃乐特控释肥有限公司采用华南农业大学肥料与平衡施肥研究室的技术制造。

1.1.2 供试土壤 水稻土(风干、过 0.5 cm 筛)与干净河砂的混合物(混合质量比为 1:2)。砂土混合物的基本理化性质:pH 6.46,电导率 EC 值 0.10 mS/cm,有机质 9.4 g/kg,全氮 0.32 g/kg,全磷 0.43 g/kg,矿质态氮(N_{min}) 24.2 mg/kg,有效磷 93.4 mg/kg,速效钾 35.9 mg/kg,田间最大持水量为 180 g/kg。

1.1.3 试验装置 淋溶装置如图 1 所示,由 PVC 塑料管(内径 10.5 cm,高 6 cm)、大漏斗、广口塑料瓶组成。PVC 塑料管一端用 0.149 mm 滤布封底,参照 Harafi 等^[9](2002)和 Huett 等^[10]的研究方法,将 400 g 土壤与 10 g 肥料均匀混合后按 1.54 g/cm³的土壤容重装入塑料管中。土柱表层覆盖一张滤纸以防止加蒸馏水时扰乱土层。土柱放在盛有干净河砂的漏斗上,漏斗下承接 1 000 mL 广口塑料瓶。最后将此淋溶装置放在(35±1)℃培养室内进行淋溶培养试验。培养时间为 54 d。

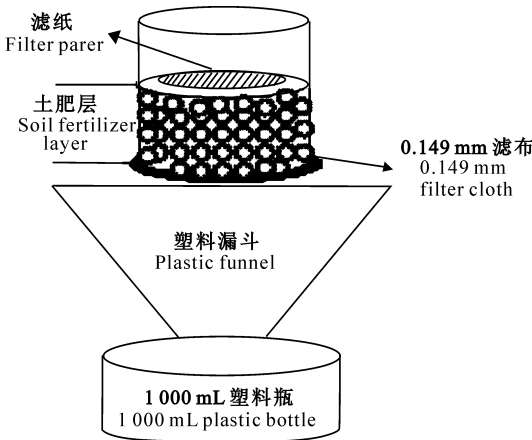


图 1 土柱淋溶试验的装置图

Fig. 1 Equipment of soil column leaching

1.2 试验设计

试验采用 2³ 析因设计,即 3 因素 2 水平完全方

案。试验因素及水平如下:粒径(D)2个水平: $D_1=2.5\sim3\text{ mm}$, $D_2=4\sim5\text{ mm}$ (经测定以上2粒径的比表面积分别为 $S_1=1.16\text{ m}^2/\text{kg}$ 、 $S_2=0.80\text{ m}^2/\text{kg}$);包膜厚度(CTh)(包膜厚度采用单位肥料表面积包膜的质量表示,单位为 g/m^2 ,简称比面重)^[11]2个水平: $CTh_1=50\text{ g}/\text{m}^2$ 、 $CTh_2=70\text{ g}/\text{m}^2$;淋溶模式为:常规间歇淋溶方式(控制土柱含水量保持在田间最大持水量的60%以上)和干湿交替淋溶方式(控制土柱水分含量从田间最大持水量的17%左右,定时补充水分至田间最大持水量)2种方式。另外2种淋溶模式下各设1个无肥对照,用于扣除土壤本身所含养分。共计10个处理,每处理设4个重复。

1.3 试验方法

常规间歇淋溶处理操作步骤:第一次向土柱中缓慢注入750 mL蒸馏水,收集淋溶液。此后每隔6 d向土柱中注入700 mL蒸馏水,收集淋溶液。每次淋洗完之后用刺有小针孔的塑料薄膜将PVC塑料管上口封闭,防止水分大量蒸发,使土柱的含水量保持在田间最大持水量的60%以上^[12]。

干湿交替淋溶处理操作步骤:第一次向土柱中缓慢注入750 mL蒸馏水。收集淋溶液后,土柱敞

口放置培养以便土柱内土壤干燥,并用称重法测定,当土柱的水分损失约80%(需48 h)时,向土柱缓慢注入60 mL蒸馏水,使土壤含水量达到田间最大持水量。以6 d为1个循环,期间干湿3次,第6天时先注入60 mL蒸馏水,再注入700 mL蒸馏水,收集淋溶液。此后按上述操作反复进行干湿淋溶,培养54 d。

1.4 测定项目与方法

淋溶液中矿质态氮含量采用BRAN+LU-EBBE公司生产的AA3连续流动自动分析仪测定。氮素累积释放率的计算公式为:

氮素累积释放率/% = $\frac{\text{氮素累积释放量(g)}}{\text{土柱中释放总量(g)}} \times 100\%$

1.5 数据处理

试验数据均采用Excel处理。

2 结果与分析

2.1 粒径对控释肥氮素累积释放率的影响

在不同包膜厚度和淋溶模式下,粒径对控释肥氮素累积释放率的影响如图2所示。

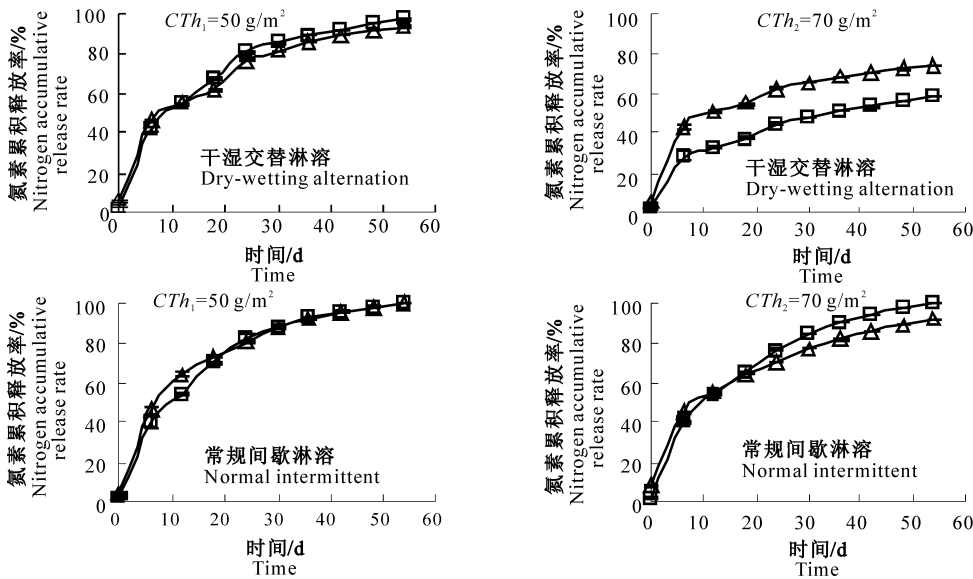


图2 粒径对控释肥氮素释放率的影响
—△—, $D_1=2.5\sim3\text{ mm}$; —□—, $D_2=4\sim5\text{ mm}$

Fig. 2 Effect of granular diameter on the nitrogen release rate of CRFs

由图2可知,在相同的包膜厚度及淋溶模式下,小粒径 D_1 和大粒径 D_2 控释肥的氮素累积释放率变化趋势相似,均随处理时间的延长而增加。其中当 $CTh_2=70\text{ g}/\text{m}^2$ 、干湿交替淋溶处理时,小粒径 D_1 和大粒径 D_2 控释肥的氮素累积释放曲线之间有

明显差异,但其氮素累积释放率在培养54 d后均小于70%;而其他包膜厚度和淋溶模式下,小粒径 D_1 和大粒径 D_2 控释肥的氮素累积释放曲线均相交且差异较小,但其氮素累积释放率在培养54 d后均可达90%以上。上述结果表明,在包膜厚度和淋溶模

式相同的条件下,粒径对氮素累积释放率影响较小,即小粒径 D_1 和大粒径 D_2 控释肥处理的氮素释放特性差异较小。由于大粒径肥料颗粒和小粒径肥料颗粒的比表面积分别为 $0.80 \text{ m}^2/\text{kg}$ 和 $1.16 \text{ m}^2/\text{kg}$,后者是前者的 1.45 倍,即在包膜厚度一致的条件下,单位质量小粒径肥料所需的包膜材料用量应该是大粒径肥料的 1.45 倍。可知用大粒径核芯代替小粒径核芯制造相同厚度的包膜控释肥,既可以达到相似的肥效,又能因大粒径肥料颗粒比小粒径的比表面积小而节省包膜材料用量,从而降低包膜控释肥的生产成本。

2.2 包膜厚度对控释肥氮素累积释放率的影响

由图 3 可见,在相同的粒径及淋溶模式下,随处理时间的延长,包膜厚度分别为 50 和 70 g/m^2 控释肥的氮素累积释放率均呈增加的趋势。除 $D_2=4\sim 5 \text{ mm}$ 、常规间歇淋溶模式下,包膜厚度分别为 50 和 70 g/m^2 控释肥的氮素累积释放率差异较小外,在其他粒径和淋溶模式下,包膜厚度 $CT_{H1}=50 \text{ g/m}^2$ 控释肥的氮素累积释放率均明显大于 $CT_{H2}=70 \text{ g/m}^2$ 控释肥(培养 5~54 d),即包膜厚度对控释肥

的氮素累积释放率有显著影响。当粒径 D_1 为 $2.5\sim 3 \text{ mm}$ 时,干湿交替淋溶模式下培养 54 d 后, CT_{H1} 、 CT_{H2} 处理的控释肥氮素累积释放率别为 95.0% 和 74.0%,前者是后者的 1.27 倍;而常规间歇淋溶模式下培养 54 d 后, CT_{H1} 、 CT_{H2} 处理的控释肥氮素累积释放率分别为 100.0% 和 92.5%,前者是后者的 1.08 倍。当粒径 D_2 为 $4\sim 5 \text{ mm}$ 时,干湿交替淋溶模式下培养 54 d 后, CT_{H1} 、 CT_{H2} 处理的控释肥氮素累积释放率分别为 97.4% 和 58.8%,前者是后者的 1.66 倍;而常规间歇淋溶模式下培养 54 d 后, CT_{H1} 、 CT_{H2} 处理的控释肥氮素累积释放率分别为 98.4% 和 97.6%,前者是后者的 1.01 倍。上述结果表明,同一粒径下,包膜厚度对干湿交替淋溶处理模式下控释肥氮素累积释放率的影响大于常规间歇淋溶处理模式。由此可知,在干湿交替淋溶模式下能更好地反映包膜厚度对氮素累积释放率的影响;在同一粒径和淋溶模式下,包膜厚度 $CT_{H1}=50 \text{ g/m}^2$ 控释肥的氮素累积释放率均大于包膜厚度 $CT_{H2}=70 \text{ g/m}^2$ 控释肥。

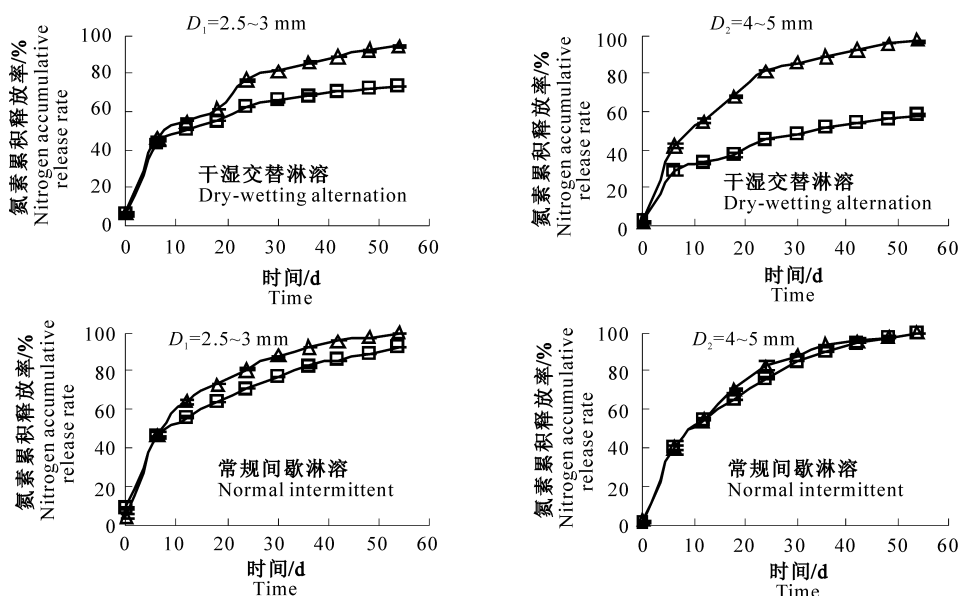


图 3 包膜厚度对控释肥氮素释放率的影响

—△—, $CT_{H1}=50 \text{ g/m}^2$; —□—, $CT_{H2}=70 \text{ g/m}^2$

Fig. 3 Effect of coating thickness on the nitrogen release rate of CRFs

2.3 淋溶模式对控释肥氮素累积释放率的影响

图 4 显示,当粒径为 $4\sim 5 \text{ mm}$ 、包膜厚度 $CT_{H1}=50 \text{ g/m}^2$ 时,常规间歇淋溶处理和干湿交替淋溶处理的控释肥氮素累积释放曲线吻合,说明常规间歇淋溶处理的氮素累积释放率与干湿交替淋溶处理的相近,淋溶模式对控释肥的氮素累积释放率

无影响;在其他粒径和包膜厚度条件下,常规间歇淋溶处理的控释肥氮素累积释放率明显大于干湿交替淋溶处理。当粒径 D_1 为 $2.5\sim 3 \text{ mm}$ 、包膜厚度 $CT_{H2}=70 \text{ g/m}^2$ 时,在常规间歇淋溶模式下培养 54 d 后控释肥的氮素累积释放率是干湿交替淋溶模式的 1.25 倍;当包膜厚度 $CT_{H1}=50 \text{ g/m}^2$,在常规间歇

淋溶模式下培养 54 d 后的控释肥氮素累积释放率只是干湿交替淋溶模式的 1.06 倍。当粒径 D_2 为 4~5 mm、包膜厚度 $CTh_2=70\text{ g/m}^2$ 时,在常规间歇淋溶模式下,培养 54 d 后,控释肥的氮素累积释放率是干湿交替淋溶模式的 1.66 倍,当包膜厚度 $CTh_1=50\text{ g/m}^2$ 时,在常规间歇淋溶模式下培养 54 d 后,控释肥氮素累积释放率是干湿交替淋溶模式

的 1.01 倍。这表明淋溶模式对包膜厚度 CTh_2 的影响大于包膜厚度 CTh_1 。

上述结果表明,淋溶模式对控释肥的氮素累积释放率有影响,且常规间歇淋溶模式的控释肥氮素累积释放率大于干湿交替淋溶模式,淋溶模式对包膜厚度大的控释肥氮素累积释放率的影响大于包膜厚度小的控释肥。

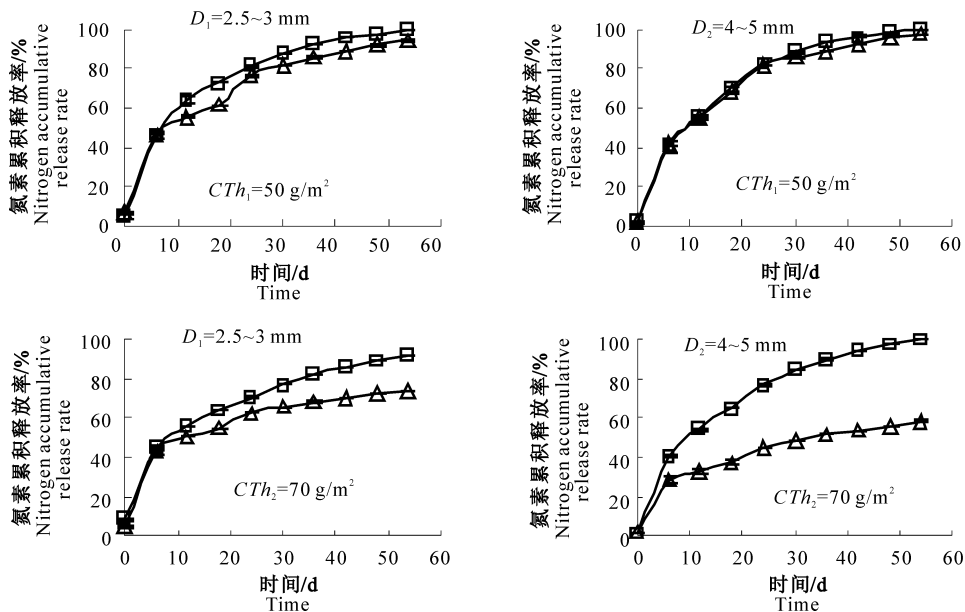


图 4 淋溶模式对控释肥氮素累积释放率的影响

—△—, 干湿交替淋溶; —□—, 常规间歇淋溶

Fig. 4 Effect of leaching patterns on the nitrogen release rate of CRFs

—△—, Dry-wetting alternation; —□—, Normal intermittent

3 讨论

有文献报道,采用土柱淋溶法评价控释肥养分释放的特性,相对于静态水中溶出率法更接近客观和大田实际^[13]。然而,依据以往的研究结果可知,目前即使采用土柱淋溶法,其结果也与实际情况有很大出入^[4]。因为大田处于不断的干湿交替淋溶之中,而常规间歇式土柱淋溶法却使土壤水分基本保持一致。与常规间歇淋溶法相比,采用干湿交替淋溶法更接近大田实际情况。本研究结果表明,淋溶模式对控释肥氮素累积释放率有影响,特别在包膜厚度较大的条件下,淋溶模式对控释肥氮素累积释放率有明显影响,且常规间歇淋溶模式下的控释肥氮素累积释放率大于干湿交替淋溶模式。这说明在大田条件下,包膜控释肥的实际释放期会大于实验室常规间歇淋溶条件下。因此,在选择包膜控释肥肥效期时,特别是对于包膜厚度厚的控释肥,应考虑到这一点。

本研究中,在淋溶方式和包膜厚度相同的条件下,粒径对控释肥氮素累积释放率影响较小,即小粒径控释肥的氮素累积释放率与大粒径控释肥无明显差异。此外,小粒径控释肥的比面积大于大粒径的控释肥,在包膜厚度相同的条件下,单位质量小粒径控释肥所需包被的膜材用量大于大粒径控释肥。故在生产实际中,可采用消耗包膜材料少的大粒径控释肥代替小粒径控释肥,既不影响释放特性,又节省了包膜材料用量,降低了控释肥的生产成本。

本研究中,在粒径和淋溶模式相同条件下,包膜厚度对控释肥氮素累积释放率有影响,且包膜厚度 $CTh_1=50\text{ g/m}^2$ 的控释肥氮素累积释放率明显大于包膜厚度 $CTh_2=70\text{ g/m}^2$ 的控释肥,与静态水中溶出率的试验结果完全一致^[7,14]。当粒径相同时,干湿交替淋溶模式下包膜厚度对控释肥氮素累积释放率的影响大于常规间歇淋溶模式。相对于粒径因素而言,包膜厚度是影响控释肥氮素释放特性的主要因素。

4 结 论

本研究探讨粒径、包膜厚度、淋溶模式 3 个因素对控释肥氮素释放特性的影响,得出以下结论:

(1)当粒径对控释肥氮素累积释放率影响较小时,可采用大粒径核芯代替小粒径核芯制造相同厚度的控释肥,既可以达到相似的肥效,又能降低控释肥的生产成本。

(2)包膜厚度对控释肥氮素累积释放率有影响,且在干湿交替淋溶模式下能更好地反映包膜厚度对控释肥氮素累积释放率的影响。

(3)淋溶模式对部分控释肥氮素累积释放率有影响,且对包膜厚度大的控释肥的影响大于包膜厚度小的控释肥。

[参考文献]

- [1] 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 and Environmental Sciences, 2000, 9(1):1-6. (in Chinese)
- [2] 樊小林, 廖宗文. 控释肥与平衡施肥和提高肥料利用率 [J]. 植物营养与肥科学报, 1998, 4(3):219-223.
Fan X L, Liao Z W. Increasing fertilizer use efficiency by means of controlled release fertilizer (CRF) production according to theory and techniques of balanced fertilization [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998, 4(3):219-223. (in Chinese)
- [3] 张 民, 史衍玺, 杨守祥, 等. 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 M, Shi Y X, Yang S X, et al. Status quo of study of controlled-release and slow-release fertilizers and progress made in this respect [J]. Journal of The Chemical fertilizer Industry, 2001, 28 (5):27-30. (in Chinese)
- [4] 田吉林, 诸海焘, 廖宗文, 等. 包膜尿素的养分释放特征及其肥效 [J]. 水土保持学报, 2006, 20(6):128-132.
Tian J L, Zhu H T, Liao Z W, et al. Nutrient release characteristic of coated urea and its efficiency on rice [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(6):128-132. (in Chinese)
- [5] 张海军, 武志杰, 陈利军, 等. 聚合物包膜尿素溶出动力学特征及其与包膜层通透性的关系 [J]. 中国农业科学, 2003, 36(10):1177-1183.
Zhang H J, Wu Z J, Chen L J, et al. Release kinetics of polymer coated urea and its relationship with the penetrability of coating layer [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36(10):1177-1183. (in Chinese)
- [6] 李方敏, 樊小林, 张 桥, 等. 控释肥的制造工艺及包膜的结构特征 [J]. 磷肥与复肥, 2005, 20(5):47-48.
Li F M, Fan X L, Zhang Q, et al. Manufacture technology of controlled release fertilizers(CRFs)and its structural characteristics of coating [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2005, 20(5):47-48. (in Chinese)
- [7] 樊小林, 王 浩, 喻建刚. 粒径膜厚与控释肥的氮素养分释放特性 [J]. 植物营养与肥科学报, 2005, 11(3):327-333.
Fan X L, Wang H, Yu J G. Effect of granule size and coating thickness on nitrogen release characteristics of controlled release fertilizers (CRFs) [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(3):327-333. (in Chinese)
- [8] 戴建军, 樊小林, 喻建刚. 颗粒肥料比表面积快速测定法在控释肥研制中的应用 [J]. 磷肥与复肥, 2006, 21(1):67-68.
Dai J J, Fan X L, Yu J G. Application of rapid determination method for specific surface area of granulated fertilizer in study on controlled release fertilizer [J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2006, 21(1):67-68. (in Chinese)
- [9] Harafi M M, Eltaib S M, Ahmad M B, et al. Evaluation of controlled-release compound fertilizers in soil [J]. Commun Soil Science Plant Analecta, 2002, 33(7/8):1139-1156.
- [10] Huett D O, Gogel D J. Longevities and nitrogen, phosphorus and potassium release patterns of polymer-coated controlled-release fertilizers at 30 °C and 40 °C [J]. Commun Soil Science Plant Analecta, 2000, 31(7/8):959-973.
- [11] 张玉凤, 曹一平, 陈 凯. 膜材料及其构成对调节控释肥养分释放特性的影响 [J]. 植物营养与肥科学报, 2003, 9(2):170-173.
Zhang Y F, Cao Y P, Chen K. The effect of coated materials and its structure on the release properties of controlled release fertilizers [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(2):170-173. (in Chinese)
- [12] 熊又升, 陈明亮, 喻永熹, 等. 间歇淋洗干湿交替条件下氮肥的氮行为研究 [J]. 植物营养与肥科学报, 2001, 7(2):153-158.
Xiong Y S, Chen M L, Yu Y X, et al. The fate of nitrogen forms of nitrogen fertilizers under alternate leaching and drying conditions [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2001, 7(2):153-158. (in Chinese)
- [13] 陈剑慧, 曹一平, 许 涵, 等. 有机高聚物包膜控释肥氮释放特性的测定与农业评价 [J]. 植物营与肥科学报, 2002, 8(1):44-47.
Chen J H, Cao Y P, Xu H, et al. Appraisal of nitrogen releasing characteristics of organic polymer coating controlled-release fertilizer [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2002, 8(1):44-47. (in Chinese)
- [14] 王 浩, 樊小林, 杜建军, 等. 粒径和包膜厚度对控释肥氮素释放特性的影响 [J]. 水土保持学报, 2007, 21(5):86-89.
Wang H, Fan X L, Du J J, et al. Effect of granular diameter and coating thickness on characteristics of nitrogen release of controlled release fertilize [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21(5):86-89. (in Chinese)