

doi: 10.11838/sfsc.20160310

几种聚氨酯包膜尿素的氮素释放特征研究

赵 营¹, 赵天成¹, 刘汝亮¹, 纪立东¹, 张爱平^{2*}

(1. 宁夏回族自治区土壤与植物营养重点实验室, 宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 宁夏 银川 750002; 2. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 农业部农业环境重点实验室, 北京 100081)

摘 要: 以聚氨酯为主要包膜材料, 以石蜡、改性高岭土和双氰胺(氧化钙)为组合材料, 采用滚转包衣法制备了3种聚氨酯包膜尿素。通过静水浸泡和盆栽试验, 探讨了3种自研制聚氨酯包膜尿素的氮素释放特性, 在氮磷钾等养分供应下研究了6个施肥处理对春玉米生长发育和氮素吸收利用的影响。结果表明, 3种自研制聚氨酯包膜尿素在静水(25℃)中氮素累积释放比例的变化趋势基本一致, 其24 h初期释放率为2.04%~3.64%(≤15%), 28 d累积释放率为29.88%~34.80%(≤80%), 符合缓释肥料的国家标准要求。相对于NPK处理, 自研制聚氨酯包膜尿素能明显促进春玉米对氮素吸收利用, 其氮肥利用率达32.5%~40.0%, 但其与商品包膜尿素(19.5%)之间无显著差异。自研制聚氨酯包膜尿素和商品包膜尿素处理下土壤无机氮含量峰值分别出现在28和15 d前后, 其在土壤中氮素释放时间分别达70和60 d以上。春玉米全生育期内(91 d), 自研制聚氨酯包膜尿素处理下土壤无机氮含量都高于商品包膜尿素和NPK处理。因此, 与商品包膜尿素和NPK处理相比, 自研制聚氨酯包膜尿素的氮素释放时间长且氮素供应充足。

关键词: 聚氨酯包膜尿素; 氮素释放; 春玉米; 吸氮量; 氮肥利用率; 土壤硝态氮

中图分类号: S143.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-6257(2016)03-0060-07

20世纪90年代以来, 我国一直是世界上化肥需求最大的国家, 据2010年统计数据^[1], 我国化肥消费量达 $5\,561.7 \times 10^4$ t, 为世界化肥总消费量的34%, 其中氮肥约 $3\,200 \times 10^4$ t, 占化肥总消费近58%的比例。随着我国人口的不断增长, 为了保证粮食的需求, 需要连续大量施用氮肥, 近年来已造成一系列与氮素相关的生态环境问题, 诸如土壤酸化^[2]、水体污染^[3]和大气污染^[4]等。由此造成我国主要作物的氮肥利用率一般仅为30%~35%^[5], 而发达国家当季化肥利用率平均为50%~60%。大量不合理施用氮肥不仅导致氮肥利用率低, 经济效益下降, 更加剧了流域生态环境污染等^[6-7]。缓/控释肥料可根据作物养分吸收规律调整其养分供

应, 实现与作物吸收基本同步, 同时也可实现一次性施肥满足全生育期养分需求, 其具有肥效长、养分损失少、省时省工的特点^[8-10], 是今后新型肥料研发的主攻方向, 而包膜肥料又是目前缓/控释肥料的研究热点。

我国从事包膜肥料的研究起步较晚, 但研究特色鲜明, 先后在控释尿素的包膜材料、制备工艺、养分释放特性和田间施肥效应等方面做了很多的探讨^[8,10-14]。许多研究证实了包膜控释尿素可以分阶段的控制养分释放, 提高氮肥利用率, 减少养分淋洗损失和氮的反硝化损失^[8,15], 具有较高的产量效应和生态环境效应。由此可见, 包膜尿素等控释肥料正逐渐成为传统常规氮肥的重要替代产品。但同一控释肥料在不同介质中的溶出率和溶出模式有很大差异^[16], 尤其是不同类型土壤上其释放特性差异很大^[13,17]。宁夏引黄灌区由于特殊的灌溉耕作条件, 形成了包括灌淤土、潮土、淡灰钙土、盐渍土等多种类型土壤, 而包膜尿素在这些土壤中的氮素释放特性和施肥对作物生长发育的影响特征研究尚少。因此, 本文在宁夏引黄灌区, 利用自主研制的3种聚氨酯包膜尿素, 以商品包膜尿素和NPK平衡施肥

收稿日期: 2015-03-10; 最后修订日期: 2015-06-26

基金项目: 宁夏“十三五”重点科技项目子课题“农业废弃物利用与功能性生物制剂研发(NXZ-16)”; 宁夏农林科学院科技创新先导资金项目“水稻、玉米专用缓/控释肥的研制与示范应用(NKYG-15-15)”。

作者简介: 赵营(1979-), 男, 河南项城人, 副研究员, 博士, 主要从事新型肥料研制、农田养分循环与环境研究。E-mail: tony029@126.com。

通讯作者: 张爱平, E-mail: apzhang0601@126.com。

为对照,通过静水浸泡和盆栽试验,探讨了几种包膜尿素的氮素释放特征,评价了其对于春玉米生长发育和氮素吸收利用的影响,以期对聚氨酯包膜尿素组合材料的优化筛选提供理论指导。

1 材料与amp;方法

1.1 试验原料与仪器设备

聚氨酯包膜尿素由宁夏农林科学院农业资源与环境研究所自主研制。采用的原材料有:1)大颗粒尿素:中国某公司生产的大颗粒尿素,粒径2.00~4.75 mm,含N量为46.4%;2)聚氨酯原料:聚氨酯是由多异氰酸酯和聚醚多元醇或聚酯多元醇及小分子多元醇、多元胺或水等扩链剂或交联剂等原料制成的聚合物,本试验采用的A料为醇类混合物,B料为含异氰酸酯混合物,材料由公司生产提供;3)石蜡:52号半精炼石蜡;4)改性高岭土:利用纳米技术对高岭土进行改性处理,可通过胶联、电荷吸附等使潮湿的土壤形成分子网格吸附、固定尿素分子;5)其它材料:如双氰胺和氧化钙,分析纯。

仪器设备:DHG-9245A型电热恒温鼓风干燥箱;BY300荸荠式包衣机;GXZ型智能生化培养箱;T6新世纪紫外可见分光光度计等。

1.2 包膜尿素的制备方法

聚氨酯包膜尿素1号产品的制备(CRF1):每次生产小试包膜尿素2.00 kg,将大颗粒尿素过2.00 mm以上筛,称取1 889.5 g过筛尿素,加热到80℃左右,在小型包衣机中分别加入B料10.0 g、石蜡2.0 g和改性高岭土0.1 g后转动2~3 min,转速设计为45 r/min左右,再加入A料10.0 g,70℃左右持续加热烘干;重复以上步骤5次包膜,形成包膜层质量分数为5.5%左右的聚氨酯包膜尿素。

聚氨酯包膜尿素2、3号产品的制备(CRF2和CRF3):每次生产小试包膜尿素2.00 kg,将大颗粒尿素过2.00 mm以上筛,称取1 820 g过筛尿素,加热到80℃左右,在小型包衣机中分别加入B料10.0 g、石蜡2.0 g、改性高岭土4.0 g和双氰胺(CRF2)或氧化钙(CRF3)4.0 g后转动2~3 min,转速设计为45 r/min左右,再加入A料10.0 g,70℃左右持续加热烘干;重复以上步骤6次包膜,形成包膜层质量分数为9.0%的聚氨酯系列包膜尿素。

1.3 氮素释放试验设计

1.3.1 静水浸泡试验

2014年6~9月于宁夏回族自治区土壤与植物

营养重点实验室进行,准确称取自研制聚氨酯包膜尿素CRF1~CRF3和商品包膜尿素CRF4肥料样品30 g(精确到0.01 g),置于250 mL小烧杯中,精确加入200 mL蒸馏水,将漂浮水面试料全部浸入水中,置于25℃恒温培养箱中,分别取样测定1、3、5、7、10、14、28、42、56、70、84 d的氮素累积释放比例与氮素释放速率。

1.3.2 盆栽试验

2014年6~9月在宁夏农林科学院芦花台园林场示范基地的网室中进行,该基地隶属宁夏引黄灌区,位于东经106°08'58",北纬38°39'01",海拔高度为1 115 m。该地年均降水量203 mm,无霜期185 d左右。供试土壤为淡灰钙土,0~20 cm土壤pH值8.26,全盐含量2.00 g/kg,有机质12.0 g/kg,全氮0.74 g/kg,无机氮($\text{NO}_3^- - \text{N} + \text{NH}_4^+ - \text{N}$)24.7 mg/kg,有效磷(P)22.8 mg/kg,速效钾(K)298.0 mg/kg。

设6个施肥处理:①CK,不施氮肥,施用磷、钾肥;②自研制聚氨酯包膜尿素1-CRF1(N,43.5%);③自研制聚氨酯包膜尿素2-CRF2(N,41.9%);④自研制聚氨酯包膜尿素3-CRF3(N,41.9%);⑤商品包膜尿素-CRF4(N,40.0%),由日本提供,包膜材料为有机无机组合材料,30 d氮素累积释放比例在3%以下;⑥NPK平衡施肥-NPK,尿素(N 46%)、重过磷酸钙(P_2O_5 46%)和硫酸钾(K_2O 50%)平衡配施。每个施肥处理重复4次,随机区组排列。供试作物为春玉米('郑单958'),每盆播种5粒玉米,出苗后统一定植,保留3株,2014年6月5日播种,9月4日收获,全生育期共91 d。用塑料盆装土,每盆装过2 mm筛土样15.0 kg;装土后适当压实,根据宁夏引黄灌区田间春玉米推荐施肥量(N 225 kg/hm²、 P_2O_5 90 kg/hm²、 K_2O 120 kg/hm²),设计盆栽肥料用量按2倍田间推荐量施入0~5 cm土层,各施肥处理的氮、磷、钾养分用量都保持一致。然后播种、灌水,每次每盆用量杯灌水1 000 mL左右。春玉米生育前期每7 d灌水1次,生育中后期每3~5 d灌水1次。

1.4 样品采集与测定

1.4.1 静水浸泡水样采集与测定

定期取出全部浸提溶液,定容到250 mL,采用对二甲氨基苯甲醛显色分光光度法测定水样中尿素含量,然后折算氮素量;试验用商品纯净水作为蒸馏水。

1.4.2 土壤样品采集与测定

盆栽试验前,取试验装盆土样风干后,常规分析方法分析测定 pH 值、有机质、全氮、全磷、全钾、有效磷、速效钾等。春玉米生长期间,用小型土钻定期采集新鲜土样测定其 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量。采集的新鲜土壤样品立即带回实验室,1 mol/L KCl 溶液震荡浸提 30 min,采用全自动间断分析仪 Cleverchem 200 测定土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量。

1.4.3 植株样品采集与测定

盆栽春玉米生育期 91 d 后,收获每盆春玉米地上部植株和根系,根系用清水冲洗干净,取样统计地上部和根系生物量。地上部植株和根系样品烘干粉碎后,采用凯氏定氮法测定全氮含量。

1.5 计算公式与统计分析方法

氮素累积释放比例 (%) = $\sum (1 \text{ d} + 2 \text{ d} + 3 \text{ d} + \dots + 84 \text{ d} \text{ 氮素释放量}) (\text{g}) \times 100 / \text{肥料中总氮素量} (\text{g})$

氮素吸收量 (g/3 株) = 地上部干生物量 (g/3 株) \times 地上部全氮含量 (g/kg) + 根系干生物量 (g/3 株) \times 根系全氮含量 (g/kg)

氮肥利用率 (%) = $(\text{施肥处理吸氮量} - \text{不施氮处理吸氮量}) (\text{g/3 株}) \times 100 / \text{施氮量} (\text{g})$

文中图表数据采用 Excel 2007 及 DPS 7.05 进行统计分析,多重比较采用 LSD 法检验。

2 结果与分析

2.1 包膜尿素在静水中的氮素释放特征

不同包膜尿素在静水中的氮素累积释放比例曲线见图 1,可以看出,自研制包膜尿素和商品包膜尿素中氮素累积释放比例动态差异较大。CRF1、CRF2、CRF3 自研制聚氨酯包膜尿素的氮素累积释放比例的动态变化趋势基本一致,其初期释放率(24 h)分别为 2.37%、2.04%、3.64% (符合 GB/T 23348—2009 的要求,24 h 初期释放率 $\leq 15\%$),第 28 d 的氮素累积释放比例分别为 29.88%、30.16%、34.80% (符合 GB/T 23348—2009 的要求,28 d 累积释放率 $\leq 80\%$),CRF3 的释放比例相对较高,28 d 之后,肥料中氮素累积释放比例缓慢增加。由此可见,自研制聚氨酯包膜尿素的氮素初期释放率和 28 d 累积释放率都符合国家标准的要求,能够达到缓释效果。商品包膜尿素的初期释放率(24 h)仅为 0.15%,其在 28 d 内几

乎没有氮素释放,其 28 d 累积释放比例只有 0.85%,还不足 1%,42 d 才释放 3.94% 的氮素,之后呈倍数快速增加。总体来说,自研制聚氨酯系列包膜尿素在 84 d 内氮素累积释放率可达 38.40%~39.78%,而商品包膜尿素仅为 23.78%。

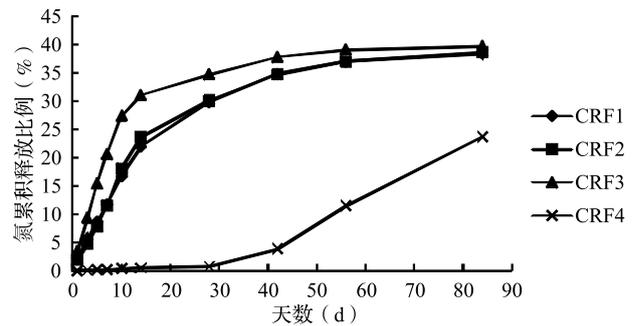


图 1 包膜尿素在静水中氮素累积释放比例动态

图 2 结果表明,3 种自研制聚氨酯包膜尿素在静水中的氮素释放速率峰值通常都在 10 d 之内。CRF1 和 CRF3 处理的峰值在 1 d 内,分别达 0.310 和 0.458 g/d;而 CRF2 出现两个释放高峰,分别在第 1 d 和 10 d,峰值分别为 0.257 和 0.271 g/d。商品包膜尿素在 28 d 内的氮素释放速率只有 0.002~0.018 g/d,之后释放速率逐渐加快,至 84 d 达到 0.105 g/d。因此,自研制聚氨酯包膜尿素的氮素释放速率在前 28 d 内较快,之后缓慢降低;而商品包膜尿素中氮素释放速率在 28 d 变化不大,之后呈增加趋势。考虑到自研制聚氨酯包膜尿素前期氮素释放速率相对较高,其包膜材料组合和工艺还需要进一步优化。

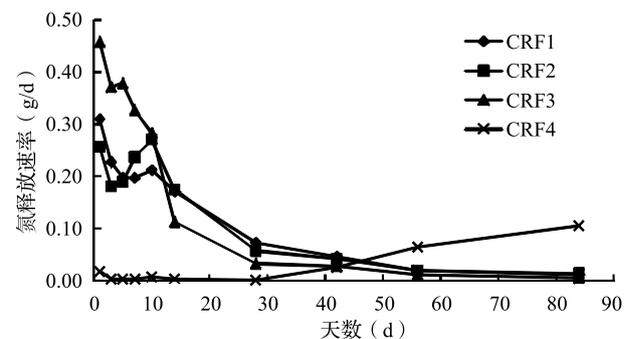


图 2 包膜尿素在静水中氮素释放速率变化动态

2.2 包膜尿素对春玉米生长发育和氮素吸收利用的影响

包膜尿素对春玉米株高和生物量的影响见表 1,可以看出,相对于 CK 处理,施用自研制聚氨酯包膜尿素 (CRF1、CRF2、CRF3) 和商品包膜尿素 (CRF4) 都能显著增加春玉米株高,而对春玉米地上生物量、根系生物量和总生物量的影响各有差

异。CRF2 和 CRF3 处理下春玉米地上生物量分别达 150.6 和 163.4 g/3 株, 显著高于 CK 处理的 110.5 g/3 株。值得注意的是, CRF4 处理有利于春玉米的根系生长发育, 其根系生物量达 33.0 g/3 株, 但与其与 3 个自研制聚氨酯包膜尿素、NPK 处理间均无显著差异。就总生物量而言, 与 CK 处

理相比, 只有 CRF3 处理具有显著提高作用, 但施肥处理间差异均未达显著水平。由此可见, 施用自研制聚氨酯包膜尿素和商品包膜尿素都明显提高春玉米株高, 但仅 CRF3 处理能显著增加春玉米地上生物量和总生物量, 而商品包膜尿素对春玉米根系生长更有利。

表 1 包膜尿素对春玉米株高和生物量的影响

处理	株高 (cm)	地上生物量 (g/3 株)	根系生物量 (g/3 株)	总生物量 (g/3 株)
CK	132.7 ± 25.3 b	110.5 ± 24.1 b	19.5 ± 4.4 b	130.0 ± 25.7 b
CRF1	159.1 ± 19.0 a	146.9 ± 32.2 ab	24.8 ± 2.5 ab	171.7 ± 30.8 ab
CRF2	168.4 ± 6.5 a	150.6 ± 20.2 a	22.5 ± 6.4 ab	173.1 ± 26.2 ab
CRF3	157.9 ± 22.9 a	163.4 ± 31.4 a	24.5 ± 6.6 ab	187.9 ± 36.8 a
CRF4	160.8 ± 10.1 a	128.7 ± 12.5 ab	33.0 ± 16.5 a	161.7 ± 26.7 ab
NPK	149.0 ± 11.9 ab	131.3 ± 16.4 ab	24.5 ± 5.7 ab	155.8 ± 21.3 ab

注: 表中同一列数据不同小写字母代表差异达 5% 显著水平, ± 后面数据为标准差。下同。

表 2 结果表明, 相对 CK 和 NPK 处理, CRF1、CRF2、CRF3 处理都能显著地提高春玉米地上部氮和总累积氮量 (地上部氮 + 根系氮), 其地上部氮和总累积氮量分别在 2.18 ~ 2.41 和 2.37 ~ 2.59 g/3 株之间。除 CRF2 处理外, 施用其它包膜尿素都能显著促进根系对氮素吸收累积, 其根系氮累积

量达 0.18 ~ 0.19 g/3 株。CRF1、CRF2、CRF3 处理下氮肥利用率达 32.5% ~ 40.0%, 显著高于 NPK 处理的 7.7%, 但与 CRF4 处理 (19.5%) 间无显著差异。这表明, 自研制聚氨酯包膜尿素能明显促进春玉米对肥料氮的吸收利用, 从而提高其氮肥利用率。

表 2 包膜尿素对春玉米氮吸收利用的影响

处理	地上部氮 (g/3 株)	根系氮 (g/3 株)	总累积氮 (g/3 株)	氮肥利用率 (%)
CK	1.29 ± 0.24 b	0.10 ± 0.02 b	1.40 ± 0.25 b	—
CRF1	2.18 ± 0.73 a	0.19 ± 0.05 a	2.37 ± 0.74 a	32.5 ± 29.1 a
CRF2	2.41 ± 0.22 a	0.16 ± 0.03 ab	2.57 ± 0.22 a	39.1 ± 14.7 a
CRF3	2.40 ± 0.68 a	0.19 ± 0.05 a	2.59 ± 0.71 a	40.0 ± 31.8 a
CRF4	1.80 ± 0.23 ab	0.18 ± 0.07 a	1.98 ± 0.27 ab	19.5 ± 8.4 ab
NPK	1.50 ± 0.33 b	0.13 ± 0.03 ab	1.63 ± 0.35 b	7.7 ± 18.5 b

2.3 包膜尿素在土壤中的氮素释放特征

图 3 显示, 不同包膜尿素处理下土壤硝态氮含量都呈动态变化, 总体是先增加到某个峰值, 之后缓慢降低到接近水平。在 70 d 之前, 春玉米不同生育时期土壤硝态氮含量表现为自研制聚氨酯包膜尿素 (CRF1、CRF2、CRF3) > NPK > 商品包膜尿素 (CRF4) > CK。自研制聚氨酯包膜尿素和 NPK 处理下土壤硝态氮含量峰值出现在 28 d 前后, 峰值达 64.0 ~ 94.6 mg/kg, 而商品包膜尿素 (CRF4 处理) 峰值在 15 d 前后, 仅为 51.2 mg/kg; 之后不同施肥处理下土壤硝态氮含量都缓慢降低直至 60 ~ 70 d 左右, CRF4 和 NPK 处理降低较快 (60 d 前达较低水平), 但 70 d 后, 各施肥处理的土壤硝态氮含量在 10.0 mg/kg 左右。

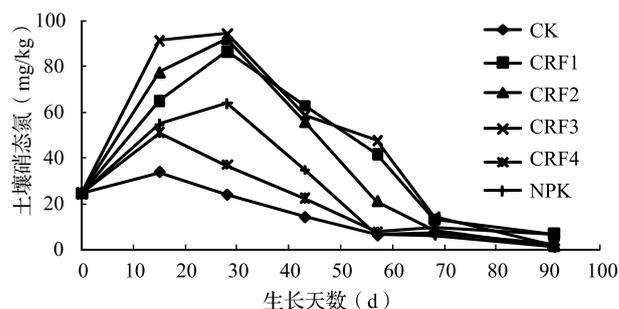


图 3 不同施肥处理下土壤硝态氮含量变化动态

图 4 更加直观地表示不同包膜尿素在土壤中的无机氮 (硝态氮 + 铵态氮) 含量动态, 可以看出, CRF4 处理下无机氮素释放峰值出现在 15 d 前后, 达 52.2 mg/kg, 而 CRF1、CRF2、CRF3 和 NPK 处理下无机氮释放峰值出现在 28 d 前后, 分别为

88.3、93.3、95.7 和 64.7 mg/kg。相对于 CK 处理, 自研制聚氨酯包膜尿素在土壤中的氮素持续释放时间达 70 d 以上, 之后各施肥处理间差异不大。

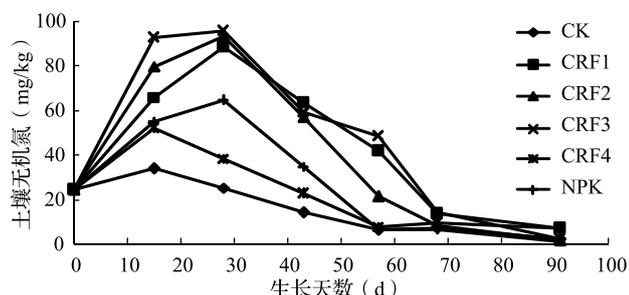


图4 不同施肥处理下土壤无机氮(硝态氮+铵态氮)含量变化动态

3 讨论

静水浸提是测定评价缓/控释肥养分释放率、释放期等释放特征最常用、最快速的方法^[18-19]。研究发现, 控释尿素在不同类型土壤中的养分表观释放率均与其在静水中的释放显著相关^[13]。包膜控释肥的养分累积释放曲线呈“S”形或“抛物线”状, 静水浸泡温度^[20]及包膜厚度^[21]、添加剂^[22]等是影响控释肥养分释放的关键因子, 提高静水浸提温度其养分释放速率明显加快, 增加包膜厚度其释放速率显著降低。本研究中, CRF1、CRF2、CRF3 自研制聚氨酯包膜尿素的氮素累积释放率的动态变化趋势基本一致, 都呈“抛物线”形状, 其 24 h 初期释放率为 2.04% ~ 3.64%, 28 d 的氮素累积释放率为 29.88% ~ 34.80%, 分别符合 GB/T 23348—2009 对 24 h 初期释放率 ≤ 15%, 28 d 累积释放率 ≤ 80% 的要求。但相对于商品包膜尿素, 自研制聚氨酯包膜尿素的氮素释放速率在前 28 d 内依然较快(图 2), 其包膜材料组合工艺还有很大优化空间。

有研究证实, 在田间条件下施用控释氮肥有助于提高玉米干物质积累, 从而提高玉米的产量, 较农民习惯施肥可增产 0.59% ~ 6.38%^[23], 类似结果也表明, 控释氮肥处理提高了玉米不同生育时期地上部干物质重, 也提高了玉米的茎粗、穗粒数, 降低了玉米秃尖长度, 但对百粒重影响不大^[14]。本试验条件下, 施用自研制聚氨酯包膜尿素和商品包膜尿素都能提高春玉米株高、地上部生物量及总生物量, 但仅 CRF3 处理达显著水平。有研究表明, 在氮、磷、钾施用量相同的条件下, 控释尿素处理

较普通复合肥处理可增加黄瓜产量 8.0% ~ 15.7%, 提高肥料中氮、磷、钾的利用率 9.6 ~ 23.7 个百分点^[9]。控释肥料与等养分量的常规化肥相比, 在不同地区不同类型土壤对玉米均有不同程度的增产, 提高化肥当季利用率 3.5% ~ 19.1%^[24]; 本研究条件下, 自研制聚氨酯包膜尿素也能明显促进春玉米对肥料氮的吸收利用, CRF1、CRF2、CRF3 处理下氮肥利用率达 32.5% ~ 40.0%, 分别较 NPK 处理提高了 24.8 ~ 32.3 个百分点。包膜控释氮肥与普通尿素按比例掺混也能提高氮肥利用率, 在 75%、50% 控释氮肥配比下, 基施控释尿素较基施普通尿素的氮肥表观利用率分别增加 6.2% 和 9.3%^[25]。这表明, 包膜控释肥不仅能提高作物产量, 也能大大提高肥料利用率, 从而降低施肥成本。

本研究证实, 无论是包膜尿素或是普通尿素在旱地土壤上释放转化的氮素以硝态氮形态为主。在 70 d 之内, 春玉米不同生育时期, 自研制聚氨酯包膜尿素 (CRF1、CRF2、CRF3) 在土壤中都能释放较高的氮素, 总体呈先增后降的趋势; 土壤硝态氮含量峰值出现在 28 d 前后, 峰值达 86.9 ~ 94.6 mg/kg, 而商品包膜尿素 (CRF4 处理) 峰值在 15 d 前后, 土壤硝态氮含量为 51.2 mg/kg。在大田条件下, 施用控释氮肥处理的土壤硝态氮和秸秆全氮含量随着玉米生育期的进行呈下降趋势, 在拔节期含量最高^[14]; 但在华北平原农田夏玉米种植下, 施用包膜尿素的土壤无机氮含量都较单施尿素处理的高^[15], 这可能与包膜尿素氮素释放特性和土壤类型差异等有关, 造成土壤无机氮累积峰值出现的时间也各有差异。在宁夏引黄灌区特殊的灌溉条件、土壤类型和水旱轮作种植模式下, 干湿交替对包膜尿素氮素释放特性的影响及包膜尿素施肥的产量效应和环境效应还需深入研究。

4 结论

自研制聚氨酯包膜尿素 (CRF1、CRF2、CRF3) 的氮素初期释放率 (24 h) 为 2.04% ~ 3.64% (≤ 15%), 28 d 的累积释放率为 29.88% ~ 34.80% (≤ 80%), 都符合国家标准 (GB/T 23348—2009) 对养分释放的要求。但相对于商品包膜尿素, 几种自研制聚氨酯包膜尿素在前期 (28 d 内) 的氮素释放速率较快, 其包膜材料组合工艺还需进一步优化。

相对于 NPK 处理, 自研制聚氨酯包膜尿素和

商品包膜尿素都能控制氮素在土壤中的释放过程,促进春玉米生长发育和氮素吸收,从而提高氮肥利用率。自研制聚氨酯包膜尿素和商品包膜尿素在土壤中氮素释放时间分别可达 70 d 和 60 d 以上,土壤无机氮含量峰值分别出现在 28 d 和 15 d 前后。自研制聚氨酯包膜尿素处理下氮肥利用率达 32.5%~40.0%,明显高于 NPK 处理的 7.7%,但与其与商品包膜尿素处理(19.5%)间差异不显著。与商品包膜尿素和 NPK 处理相比,几种聚氨酯包膜尿素具有氮素养分释放时间长和氮素供应充足的特点。

参考文献:

- [1] 朱兆良,金继运.保障我国粮食安全的肥料问题[J].植物营养与肥料学报,2013,19(2):259-273.
- [2] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands [J]. Science, 2010, 327 (5968): 1008-1010.
- [3] 中华人民共和国环境保护部,中华人民共和国国家统计局,中华人民共和国农业部.第一次全国污染源普查公报[R].2010.
- [4] Liu X J, Zhang Y, Han W X, et al. Enhanced nitrogen deposition over China [J]. Nature, 2013, 494: 459-462.
- [5] 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.
- [6] Conley D J, Paerl H W, Howarth R W, et al. Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus [J]. Science, 2009, 323: 1014-1015.
- [7] Ju X T, Xing G X, Chen X P, et al. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems [J]. Proceedings of National Academy of Sciences USA (PNAS), 2009, 106: 3041-3046.
- [8] 石艳星,王宜伦,朱宝国,等.不同包膜控释肥施用对轮作作物养分利用效率的影响[J].土壤通报,2013,44(1):173-178.
- [9] 朱国梁,毕军,夏光利,等.不同缓释肥料对黄瓜产量、品质及养分利用率的影响[J].中国土壤与肥料,2013,(1):68-73.
- [10] 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.
- [11] 陈剑秋,张民,陈宏坤,等.腐植酸缓释控释肥的生产工艺及控释性能研究[J].化肥工业,2012,39(1):30-33.
- [12] 陈杰,程锐,曲均峰,等.聚氨酯包膜控释尿素制备工艺与养分释放特性研究[J].化肥工业,2014,41(2):11-15.
- [13] 王素萍,李小坤,鲁剑巍,等.控释尿素在水及不同类型土壤中的养分释放特征[J].植物营养与肥料学报,2014,20(3):636-641.
- [14] 朱宝国.控释氮肥对土壤硝态氮和玉米植株全氮含量及产量的影响[J].中国农学通报,2014,30(6):220-223.
- [15] 易镇邪,王璞,陈平平,等.包膜尿素在华北平原夏玉米上的应用[J].生态学报,2008,28(10):4919-4928.
- [16] 杜建军,廖宗文,毛小云,等.控/缓释肥在不同介质中的氮素释放特性及其肥效评价[J].植物营养与肥料学报,2003,9(2):165-169.
- [17] 王霞,崔键,周静.包膜尿素对旱地红壤氮素垂直迁移特征的影响[J].土壤,2011,43(3):382-387.
- [18] 隋小慧,韩晓日,高鸣,等.几种包膜缓释肥粒养分释放特征的研究[J].土壤通报,2008,39(4):858-860.
- [19] 崔静,谷思玉,李菊梅,等.缓/控释肥养分释放特性的评价方法概述[J].化肥工业,2009,36(1):23-27.
- [20] 陈剑秋,张民,杨越超.包膜控释肥养分释放特性的研究[J].化肥设计,2006,44(2):56-58,61.
- [21] 郝世雄,余祖孝,刘钟海.石蜡-松香包膜尿素的形貌及其释放行为的研究[J].中国土壤与肥料,2006,(6):23-28.
- [22] 朱鸿杰,陈天虎,彭书传.松香凹凸棒粘土包膜尿素的制备及缓释性能的研究[J].中国土壤与肥料,2011,(5):88-91.
- [23] 王友平,李宗新,张书良,等.不同类型玉米控释肥的应用效果研究[J].山东农业科学,2014,46(10):83-87.
- [24] 王宜伦,李潮海,王瑾,等.缓/控释肥在玉米生产中的应用与展望[J].中国农学通报,2009,25(24):254-257.
- [25] 郑雨,唐树梅,李玉影,等.控释尿素对黑龙江省玉米氮肥利用率及产量的影响[J].玉米科学,2014,22(1):127-131.

Study on N releasing characteristics of several coated urea by polyurethane

ZHAO Ying¹, ZHAO Tian-cheng¹, LIU Ru-liang¹, JI Li-dong¹, ZHANG Ai-ping^{2*} (1. Key Laboratory of Soil and Plant Nutrition of Ningxia Hui Autonomous Region, Institute of Agricultural Resources and Environment, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan Ningxia 750002; 2. China Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, China Academy of Agricultural Science/Key Laboratory of Agriculture Environment and Climate Change, Ministry of Agriculture, Beijing 100081)

Abstract: The turnable pan coating method was used to produce three kinds of coated urea by polyurethane, taking polyurethane as the main coating ingredient, and paraffin wax, modified kaolin, dicyandiamide (calcium oxide) as the mixture ingredients. A water immersion test and pot experiment was carried out to study on N releasing characteristics of three kinds of

independent development of coated urea by polyurethane, respectively; and the effects of six fertilizer treatments on the growth, N uptake and utilization of spring maize under the same N, P, K nutrients input were investigated. The results indicated that there were very similar tendencies of accumulative N releasing ratio of three kinds of independent development of coated urea by polyurethane in water (25°C). The initial releasing rate in 24 h were 2.04% ~ 3.64% ($\leq 15\%$), and accumulative N releasing ratios in 28 d were 29.88% ~ 34.80% ($\leq 80\%$), which were accorded with national standards of slow release fertilizers. N uptake and utilization of spring maize in treatments independent development of coated urea by polyurethane was significantly improved compared to treatment NPK. N use efficiencies of these coated urea by polyurethane were ranged from 32.5% ~ 40.0%. there was no significant difference from commodity coated urea (19.5%). The peaks of soil mineral N content in treatments independent development of coated urea by polyurethane and commodity coated urea were happened before and after 28 and 15 d, and the corresponding N releasing periods were greater than 70 and 60 d, respectively. During the growing period of spring maize (within 91 d), soil mineral N content in treatments independent development of coated urea by polyurethane was always higher than those in treatments commodity coated urea and NPK. Therefore, in contrast to commodity coated urea and NPK fertilizers, N releasing days was even longer and N supplying was rather enough during the early growing period of spring maize in these independent development of coated urea by polyurethane.

Key words: coated urea by polyurethane; N releasing; spring maize; N uptake; N use efficiency; soil nitrate

[上接第 53 页]

- [10] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [11] 叶文虎, 栾胜基. 环境质量评价学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1997.
- [12] 王笑峰, 蔡体久, 张思冲, 等. 不同类型工矿废弃地基质肥力与重金属污染特征及其评价 [J]. 水土保持学报, 2009, 23 (2): 157-161, 218.
- [13] 北京林学院. 土壤学 (上册) [M]. 北京: 中国林业出版社, 1982.
- [14] 全国第二次土壤普查养分分级标准 [EB/OL]. (2012-12-21). <http://www.docin.com/p-559477295.html>.
- [15] 王笑峰, 蔡体久. 鸡西矿区矽石山基质改良研究 [J]. 水土保持学报, 2008, 22 (5): 134-137, 216.

Characteristics and evaluation of matrix fertilities of the waste lands after construction of Ha-Tong expressway

WANG Li-gang¹, ZHAO Ling¹, ZHANG Jian-bin¹, WANG Xue-gang² (1. Academy of Forest and Environment of Heilongjiang Province, Qiqihar 161005; 2. Wanrenhuan Forest Farm in the Binxian County of Heilongjiang Province, Harbin 150424)

Abstract: By measuring and analyzing the physical and chemical properties of the wastelands along the both sides of Ha-Tong expressway, in the study the lands were divided into 7 types, i. e. land for materials of sands and stones (LSS), land of rock slope (LRS), land of decayed rocks (LDR), quicksand slope land (LQS), waste land of quarry (LWQ), waste hill land (LWH) and loamy slope land (LLS) and comprehensive fertilities for each type of matrices were also evaluated. The result showed that LSS, LRS, LDR and LWQ were compact sandy soil with more gravel and less moisture, while LQS, LWH and LLS were loamy soil with less gravel and higher soil moisture. Except for LLS, the other matrices were lack or seriously lack of organic matter, total N, available N and available P, but rich of available K. Fertilities of matrices in proper order were: LLS > LQS > LWH > LDR > LSS > LRS > LWQ. The content of organic matter, content of total N and natural moisture content were the main factors affecting the fertility of different lands.

Key words: slopland of road sides; waste land of road construction; matrix fertility; evaluation