

贝美容,雷 菲,刘海林,等. 缓释氮肥在砖红壤中氮素转化研究[J]. 江苏农业科学,2018,46(20):300-303.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.20.075

# 缓释氮肥在砖红壤中氮素转化研究

贝美容<sup>1</sup>,雷 菲<sup>2</sup>,刘海林<sup>1</sup>,华元刚<sup>1</sup>,林清火<sup>1</sup>,茶正早<sup>1</sup>

(1. 中国热带农业科学院橡胶研究所/中国热带农业科学院土壤肥料中心,海南儋州 571737;

2. 海南省农业科学院农业环境与土壤研究所,海南海口 571100)

**摘要:**采用室内恒温好气培养法,以普通尿素为对照,研究缓释氮肥在4种砖红壤中的氮素转化情况。结果表明,与添加尿素相比,25℃下添加缓释氮肥的浅海沉积物砖红壤、花岗岩砖红壤、砂页岩砖红壤、玄武岩砖红壤中的铵态氮最大值分别减少52.38%、40.58%、38.47%、50.33%,硝态氮最大值分别减少52.06%、15.02%、26.01%、12.25%,相同培养时间同一砖红壤中缓释氮肥的供氮量显著小于尿素。温度升高能够促进缓释氮肥的氮素转化为铵态氮和硝态氮,加快缓释氮肥氮素的释放速率,增加缓释氮肥氮素供应量。表明,与尿素相比,缓释氮肥的养分供应更为缓慢,可延长养分供应时间,有利于减少氮素损失;另外,25、35℃条件下均以花岗岩砖红壤中缓释氮肥的供氮量最大,浅海沉积物砖红壤中缓释氮肥的供氮量最小。

**关键词:**缓释氮肥;砖红壤;氮素转化;铵态氮;硝态氮;供氮量

**中图分类号:**S143.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)20-0300-04

肥料在作物生产中发挥着不可替代的支撑作用,施肥可提高粮食单位面积产量的55%,总产量的30%<sup>[1]</sup>。我国肥料消费总量约占世界肥料消费总量的1/3<sup>[2-3]</sup>,然而在肥料投入量上升的同时我国肥料利用率却维持在相对较低的水平,并且养分流失严重。在我国农业中化肥氮当季利用率为35%,氨挥发损失为11%,硝化-反硝化损失为34%,淋洗损失为2%,径流损失为5%,其他途径损失为13%<sup>[4]</sup>。因此,采取技术措施提高肥料利用率,减轻施肥对环境造成的污染,是我国乃至世界农业的研究重点、热点之一。缓释肥料是指利用物理、化学和生物方法制备的能使肥料中养分在土壤中缓慢释放,使其作物有效性明显延长的肥料<sup>[4]</sup>,具有减少肥

料损失、提高肥料利用率等优点<sup>[5-9]</sup>。发展利用率高、损失少、环境友好的缓释肥料,在节约资源、实现农业生产与生态协调发展、节本增效和节能减排等方面均具有重要意义<sup>[10]</sup>。缓释肥料主要包括微溶性有机氮肥、包膜肥料、稳定性肥料,其中微溶性有机氮肥中的脲醛缓释肥料最早实现商业化<sup>[11]</sup>,它是由尿素与醛反应生成的聚合物,含有少量尿素、冷水不溶氮和热水不溶氮,包括速效氮和缓释氮部分。微溶性有机氮肥施入土壤后,缓释氮部分通过生物降解转化为铵态氮和硝态氮被作物吸收,该过程受土壤性质、温度和微生物活性等因素影响<sup>[12-13]</sup>。微溶性有机氮肥中的氮素在土壤中转化为铵态氮和硝态氮的速率决定了其肥效及供氮速率,是微溶性有机氮肥主要性质及其科学施用的主要参考指标。本研究所使用的微溶性有机氮肥是由尿素、腐植酸和醛类交联剂在一定条件下发生化学反应制备而成的,探讨其在不同砖红壤中的氮素转化特性,以期缓释氮肥在热区砖红壤中的科学施用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试肥料

供试肥料为普通尿素(U)和缓释氮肥(NF),其中缓释氮

收稿日期:2017-05-10

基金项目:中国热带农业科学院基本科研业务费专项资金(编号:1630022017007、1630022017005);现代农业产业技术体系建设专项(编号:CARS-34)。

作者简介:贝美容(1966—),女,海南琼中人,助理研究员,主要从事肥料检测与应用研究。E-mail:beimeirong@126.com。

通信作者:林清火,博士,副研究员,主要从事热带土壤与植物营养研究。E-mail:qinghuo@163.com。

support tool for China's re-vegetation program: simulating regional impacts of afforestation on average annual streamflow in the Loess Plateau[J]. Forest Ecology and Management, 2007, 251(1/2): 65-81.

[22] Wang Z J, Jiao J Y, Rayburg S, et al. Soil erosion resistance of "Grain for Green" vegetation types under extreme rainfall conditions on the Loess Plateau, China[J]. Catena, 2016, 141: 109-116.

[23] Zuazo V H D, Pleguezuelo C R R. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers: a review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2008, 28(1): 65-86.

[24] Zheng F L. Effect of vegetation changes on soil erosion on the Loess Plateau[J]. Pedosphere, 2006, 16(4): 420-427.

[25] Sun W Y, Shao Q Q, Liu J Y. Soil erosion and its response to the changes of precipitation and vegetation cover on the Loess Plateau[J]. Journal of Geographical Sciences, 2013, 23(6): 1091-1106.

[26] 崔晓临,雷 刚,王 涛,等. 退耕还林还草工程实施对洛河流域土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持研究, 2016, 23(5): 68-73.

[27] 中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准: SL190—2007[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007: 1-15.

[28] 谢红霞,李 锐,杨勤科,等. 退耕还林(草)和降雨变化对延河流域土壤侵蚀的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(2): 569-576.

[29] 汪邦稳,杨勤科,刘志红,等. 延河流域退耕前后土壤侵蚀强度的变化[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(4): 27-33.

肥由尿素、腐植酸和醛类交联剂在一定条件下发生化学反应制备而成,氮含量为 31.16%,pH 值为 8.96;普通尿素为对照。

1.2 供试土壤

供试砖红壤分别为浅海沉积物砖红壤(Q)、花岗岩砖红壤(H)、砂页岩砖红壤(S)、玄武岩砖红壤(X),土壤具体理化性质见表 1。

表 1 4 种成土母质发育砖红壤的理化性质

土壤类别	土壤理化性质				
	全氮含量(g/kg)	速效钾含量(mg/kg)	速效磷含量(mg/kg)	有机质含量(g/kg)	pH 值
浅海沉积物砖红壤	0.45	24.74	3.91	10.13	4.87
花岗岩砖红壤	0.83	64.01	4.23	20.74	4.75
砂页岩砖红壤	0.53	43.39	2.98	13.24	4.98
玄武岩砖红壤	1.18	38.37	20.10	26.69	4.95

1.3 缓释氮肥室内培养试验

采用室内恒温好气培养法进行缓释氮肥室内培养试验。试验共设 8 个处理,即将 2 种肥料(普通尿素和缓释氮肥)分别施入 4 类砖红壤(浅海沉积物砖红壤、花岗岩砖红壤、砂页岩砖红壤、玄武岩砖红壤)中。试验地点为中国热带农业科学院橡胶研究所土壤肥料研究实验室,培养时间为 2016 年 10—12 月,试验前按照 1 kg 土 300 mg 氮的比例称取供试肥料,并将其与供试土壤混合均匀,然后装入塑料培养杯中,每杯装土 100 g,浇水(土壤持水量的 60%),然后盖上具有 10 个透气孔的塑料盖,分别放置在 25、35℃ 的恒温培养箱中培养。分别于施肥后 1、3、7、14、21、35、49、70 d 进行破坏性取样,将每杯土壤混匀,取 10 g 鲜土,浸提,过滤,用连续流动分析仪(SEAL AutoAnalyzer3-AA3,德国生产)测定提取液中铵态氮、硝态氮含量。每次每个处理取 3 个重复。培养期间采用称质量法定期补充水分。

1.4 数据分析处理

采用 Excel 软件对原始数据进行整理计算并绘制图表,采用 SPSS 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 砖红壤铵态氮变化

由图 1 可知,25℃ 培养条件下,尿素和缓释氮肥施入土壤后,随着培养时间的增加,土壤中的铵态氮含量均表现为先增加后减小的变化趋势,且相同培养时间同一类型砖红壤中,施入尿素后土壤中的铵态氮含量大于缓释氮肥处理。添加尿素处理培养至施肥后 7 d 时,浅海沉积物砖红壤中的铵态氮

含量达峰值,为 272.67 mg/kg;当培养至施肥后 14 d 时,花岗岩砖红壤、砂页岩砖红壤、玄武岩砖红壤中的铵态氮含量达到最大值,分别为 233.59、273.62、255.68 mg/kg,此时浅海沉积物砖红壤中的铵态氮含量为 272.29 mg/kg。通过比较添加尿素各土壤中的铵态氮含量最大值可知,花岗岩砖红壤与玄武岩砖红壤处理间相差不大,但浅海沉积物砖红壤、砂页岩砖红壤明显大于花岗岩砖红壤。添加缓释氮肥的土壤铵态氮含量峰值明显后移,当添加缓释氮肥处理培养至施肥后 21 d 时,浅海沉积物砖红壤、花岗岩砖红壤、玄武岩砖红壤中的铵态氮含量达最大值,分别为 129.84、138.79、127.00 mg/kg;培养至施肥后 35 d 时,砂页岩砖红壤中的铵态氮含量达最大值,为 168.36 mg/kg。与添加尿素处理相比,浅海沉积物砖红壤、花岗岩砖红壤、砂页岩砖红壤、玄武岩砖红壤中的铵态氮含量峰值分别减少 52.38%、40.58%、38.47%、50.33%。由此可知,与尿素相比,在砖红壤中添加缓释氮肥的氮素转化为铵态氮的速率较慢,有利于减少氮素损失。

由图 1 可知,35℃ 培养条件下,各处理土壤铵态氮含量变化趋势与 25℃ 培养下基本一致,培养前期土壤铵态氮含量逐渐增加,之后逐渐降低或持平。培养温度升高后,添加尿素处理的土壤铵态氮含量峰值前移至施肥后 7 d,且浅海沉积物砖红壤大于花岗岩砖红壤。在添加缓释氮肥处理中,浅海沉积物砖红壤、花岗岩砖红壤、砂页岩砖红壤、玄武岩砖红壤中的铵态氮含量最大值分别为 148.80、189.90、189.30、162.11 mg/kg,均大于 25℃ 培养下对应土壤中的铵态氮含量最大值。表明温度升高能够促进缓释氮肥中的氮素转化为铵态氮,加快缓释氮肥氮素的释放速率。

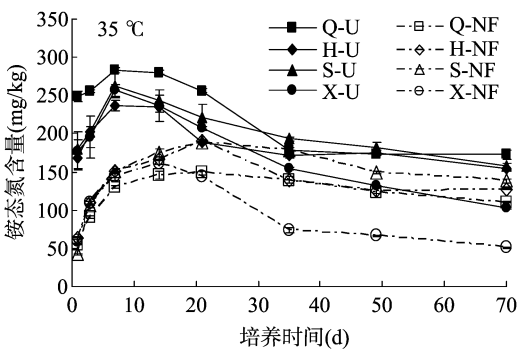
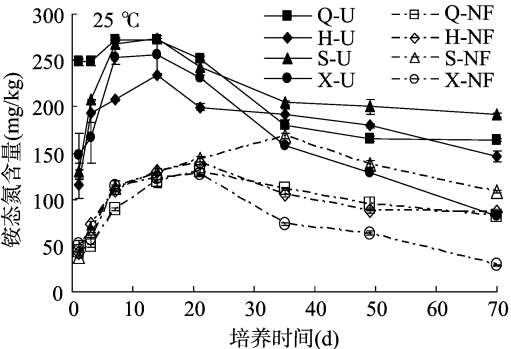


图 1 砖红壤铵态氮含量变化趋势

2.2 砖红壤硝态氮变化

由图 2 可知,添加尿素和缓释氮肥处理的土壤硝态氮含量均整体随着培养时间的增加而升高,培养前期土壤硝态氮含量维持在较低水平,培养中期土壤硝态氮含量快速增加。

在 25℃ 条件下培养至施肥后 70 d 时,添加尿素的浅海沉积物砖红壤、花岗岩砖红壤、砂页岩砖红壤、玄武岩砖红壤中的硝态氮含量分别为 135.62、178.84、103.46、234.41 mg/kg,添加缓释氮肥的各砖红壤硝态氮含量分别为 65.02、151.99、

76.55、205.69 mg/kg,此时同种土壤添加缓释氮肥处理的硝态氮含量整体小于添加尿素处理。在 35℃ 条件下培养至施肥后 70 d 时,添加尿素处理的各土壤硝态氮含量表现为浅海沉积物砖红壤 < 砂页岩砖红壤 < 花岗岩砖红壤 < 玄武岩砖红壤;而此时添加缓释氮肥处理的浅海沉积物砖红壤、砂页岩砖红壤、花岗岩砖红壤、玄武岩砖红壤硝态氮含量分别较添加尿

素处理减少 23.39%、26.51%、12.48%、1.34%。另外,添加缓释氮肥的 4 种砖红壤培养至施肥后 70 d 时,同种土壤 35℃ 培养下的硝态氮含量均大于 25℃ 培养。由此可知,与尿素相比,在不同砖红壤中缓释氮肥均可减小肥料中氮素转化为硝态氮的速率,减少肥料氮素损失,而温度升高会加快缓释氮肥中的氮素转化为硝态氮。

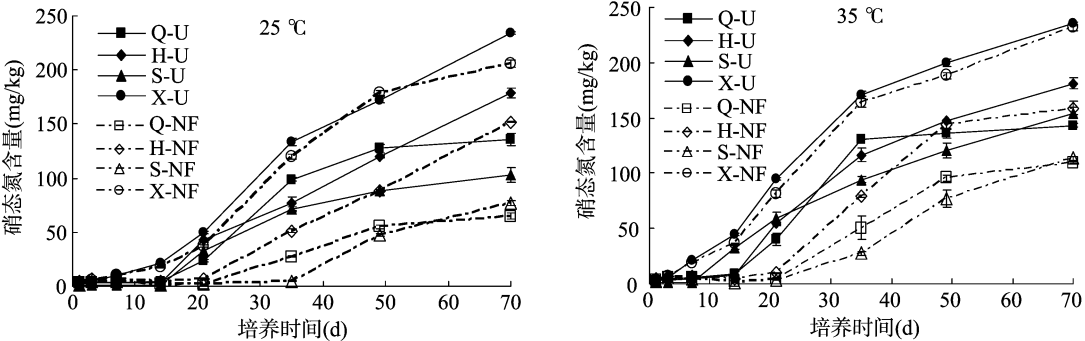


图2 砖红壤硝态氮含量变化趋势

2.3 缓释氮肥在砖红壤中的供氮特性

缓释氮肥可供作物吸收的氮(供氮量)是指在土壤中由有机态氮转化的铵态氮和硝态氮减去土壤自身矿化的铵态氮和硝态氮,供氮曲线可直观反映缓释氮肥不同阶段的氮素供量和供氮特性。由图 3 可知,在 25、35℃ 培养条件下,各处理在培养前期供氮率迅速增加,后期趋于平缓,且除施肥后 1 d 外,在整个培养期间,缓释氮肥供氮率均小于尿素。对培养至施肥后 70 d 时的各处理供氮量进行统计分析,由表 2 可知,25、35℃ 培养下,添加尿素的各砖红壤处理的供氮量差异不显著,且在同一砖红壤中缓释氮肥的供氮量显著小于尿素;

在 25℃ 培养条件下,花岗岩砖红壤和玄武岩砖红壤中缓释氮肥的供氮量分别为 195.92、195.76 mg/kg,显著大于浅海沉积物砖红壤、砂页岩砖红壤中缓释氮肥供氮量;在 35℃ 培养条件下,花岗岩砖红壤中缓释氮肥的供氮量最大,为 240.99 mg/kg,与玄武岩砖红壤差异不显著,但显著大于浅海沉积物砖红壤、砂页岩砖红壤。另外,同一砖红壤中缓释氮肥在 35℃ 培养条件下的供氮量均显著大于 25℃ 培养条件下。在不同砖红壤中,缓释氮肥养分供应均较尿素更为缓慢,有利于作物吸收利用,且温度升高可增加缓释氮肥氮素供应量,增加氮素供应速率。

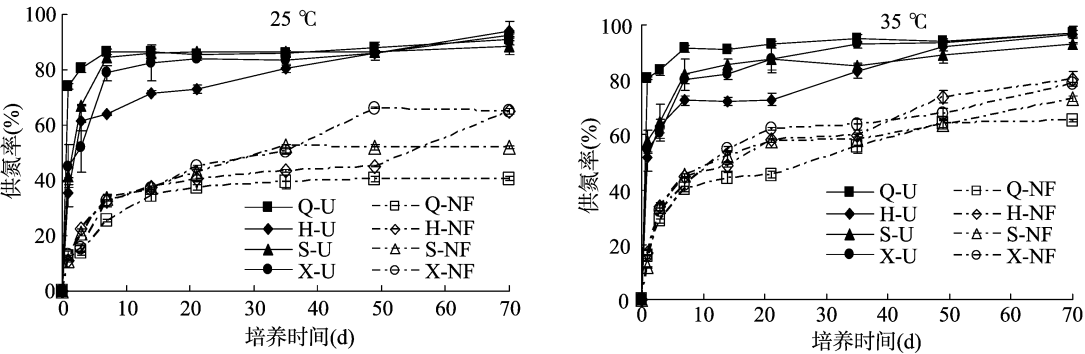


图3 缓释氮肥在不同砖红壤中的供氮曲线

表 2 缓释氮肥在砖红壤中的供氮量差异分析

温度(℃)	肥料	供氮量(mg/kg)			
		浅海沉积物砖红壤	花岗岩砖红壤	砂页岩砖红壤	玄武岩砖红壤
25	尿素	273.74 ± 6.10a(b)	281.56 ± 10.54a(a)	265.06 ± 9.06a(a)	277.26 ± 1.46a(b)
	缓释氮肥	120.53 ± 3.20c(d)	195.92 ± 2.52a(c)	156.48 ± 2.26b(c)	195.76 ± 3.69a(d)
35	尿素	291.78 ± 6.37a(a)	289.68 ± 3.98a(a)	279.84 ± 0.59a(a)	290.86 ± 3.72a(a)
	缓释氮肥	197.70 ± 1.36c(c)	240.99 ± 7.96a(b)	219.57 ± 2.74b(b)	235.46 ± 2.28a(c)

注:括号内不同小写字母表示同列处理间差异显著(P<0.05),括号外不同小写字母表示同行处理间差异显著(P<0.05)。

3 结论与讨论

微溶性有机氮肥是指尿素与醛类(甲醛、丙醛、异丁醛等)反应得到的脲甲醛、丁烯叉二脲、异丁叉二脲等含氮化合物,这类化合物在水中溶解度小,转化为有效态氮的速度较

慢,因此具有缓慢释放氮素的特性,其中应用最为广泛的为脲甲醛,它是一种速效与缓效结合的氮肥,缓效氮部分必须经过微生物的分解、转化才能形成被作物吸收利用的氮素形态<sup>[14]</sup>。本研究使用的缓释氮肥是由尿素、腐植酸和醛类交联剂在一定条件下发生化学反应制备而成的,与脲醛缓释氮肥

同属于微溶性有机氮肥料,而且本研究的缓释氮肥还含有一定量腐植酸,具有缓释增效双功能。许多研究表明,脲醛缓释氮肥的氮素释放缓慢,能够减少氮素损失,延长氮素供应时间,可在较长时间内为作物提供速效养分<sup>[15-19]</sup>。本研究中缓释氮肥在不同砖红壤中的氮素转化及供氮特性结果与上述结论一致。与添加尿素相比,25℃培养条件下添加缓释氮肥的浅海沉积物砖红壤、花岗岩砖红壤、砂页岩砖红壤、玄武岩砖红壤中的铵态氮含量最大值分别减少 52.38%、40.58%、38.47%、50.33%,硝态氮最大值分别减少 52.06%、15.02%、26.01%、12.25%;整个培养期间,相同培养时间同一砖红壤中缓释氮肥的供氮量小于尿素。表明缓释氮肥在 4 种砖红壤中氮素转化为铵态氮和硝态氮的速率均较尿素慢,养分供应更为缓慢,延长了养分供应时间,有利于减少氮素损失。

微溶性有机氮肥的养分释放速率主要受温度、土壤性质和微生物活性等环境因素影响。研究表明,脲醛缓释氮肥的供氮特性符合一级动力学方程,且速率常数随着温度的升高而增大<sup>[12,20]</sup>。本研究结果发现,在 35℃培养条件下,添加缓释氮肥的浅海沉积物砖红壤、花岗岩砖红壤、砂页岩砖红壤、玄武岩砖红壤铵态氮最大值分别为 148.80、189.90、189.30、162.11 mg/kg,均大于 25℃培养条件下;添加缓释氮肥的 4 种砖红壤培养至施肥后 70 d 时,同种土壤在 35℃培养条件下的硝态氮含量均大于 25℃培养条件下,且除花岗岩砖红壤外,其他砖红壤均差异明显,缓释氮肥在同一砖红壤中 35℃培养下的供氮率均显著大于 25℃培养下。可见,温度升高能够促进缓释氮肥中的氮素转化为铵态氮和硝态氮,加快缓释氮肥中的氮素释放速率,增加缓释氮肥氮素供应量。而土壤氮素矿化是受土壤微生物控制的反应过程<sup>[21]</sup>。Groffman 等研究发现,土壤类型影响土壤微生物群落结构,进而影响微生物量和微生物活性<sup>[22]</sup>。本研究通过比较 4 种土壤培养至施肥后 70 d 时的土壤供氮量可以发现,在 25℃培养条件下,花岗岩砖红壤中的缓释氮肥供氮量最大,为 195.92 mg/kg,显著大于浅海沉积物砖红壤、砂页岩砖红壤,但与玄武岩砖红壤差异不显著;在 35℃培养条件下,仍是花岗岩砖红壤中缓释氮肥供氮量最大,为 240.99 mg/kg,与玄武岩砖红壤差异不显著,但显著大于浅海沉积物砖红壤、砂页岩砖红壤中的缓释氮肥供氮量。可见,在 25、35℃培养条件下,均以花岗岩砖红壤中缓释氮肥的供氮量最大,浅海沉积物砖红壤中缓释氮肥的供氮量最小。

#### 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] 崔海信,姜建芳,刘琪. 论植物营养智能化递释系统与精准施肥[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(2):494-499.
- [3] Yan X, Jin J Y, He P, et al. Recent advances on the technologies to

- increase fertilizer use efficiency[J]. Agricultural Sciences in China, 2008,7(4):469-479.
- [4] 樊小林,刘芳,廖照源,等. 我国控释肥料研究的现状和展望[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(2):463-473.
- [5] 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):27-30,63.
- [6] Shaviv A, Mikkelsen R L. Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation: a review[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1993, 35(1/2): 1-12.
- [7] Morgan K T, Cushman K E, Sato S. Release mechanisms for slow- and controlled-release fertilizers and strategies for their use in vegetable production[J]. Hort Technology, 2009, 19(1): 10-12.
- [8] Al-Zahrani S M. Controlled-release of fertilizers: modelling and simulation[J]. International Journal of Engineering Science, 1999, 37(10): 1299-1307.
- [9] Azeem B, KuShaari K, Man Z B, et al. Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer[J]. Journal of Controlled Release, 2014, 181: 11-21.
- [10] 赵秉强,许秀成. 加快建设中国特色缓释肥料技术体系,推动缓释肥料产业健康发展[J]. 磷肥与复肥, 2010, 25(4): 11-13.
- [11] 吕云峰. 脲甲醛缓释肥料[J]. 磷肥与复肥, 2009, 24(6): 8-10.
- [12] Sasson P. Evaluation of ureaform activity in soil[J]. Soil Science, 1979, 128(5): 285-290.
- [13] Jahns T, Kaltwasser H. Mechanism of microbial degradation of slow-release fertilizers[J]. Journal of Polymers and the Environment, 2000, 8(1): 11-16.
- [14] Christianson C B, Carter M F, Holt L S. Mineralization and nitrification of ureaform fertilizers[J]. Fertilizer Research, 1988, 17(1): 85-95.
- [15] 段路路,范宾,王寅,等. 脲醛缓释肥料红外光谱分析及养分释放特性研究[J]. 化肥工业, 2010, 37(3): 16-22.
- [16] 曲均峰. 脲醛肥料研究现状[J]. 化肥工业, 2013, 40(5): 24-27.
- [17] 张文辉,丁巍巍,张勇,等. 脲甲醛缓释肥料的研究进展[J]. 化工进展, 2011, 30(增刊1): 437-441.
- [18] 黄丽娜,魏守兴. 脲甲醛肥料合成及应用研究现状[J]. 农学学报, 2015, 5(7): 76-80.
- [19] 张景振. 脲甲醛肥料研制及效果研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2013.
- [20] Hadas A, Kafkafi U. Kinetics of the mineralization of ureaform as influenced by temperature[J]. Soil Science, 1974, 118(1): 16-21.
- [21] 彭显龙,刘洋,于彩莲,等. 寒地稻田土壤氮素矿化特征的研究[J]. 中国农业科学, 2014, 47(4): 702-709.
- [22] Groffman P M, Eagan P, Sullivan W M, et al. Grass species and soil type effects on microbial biomass and activity[J]. Plant and Soil, 1996, 183(1): 61-67.