

缓释尿素与普通尿素配施对氨挥发和土壤氮素动态变化过程的影响

徐久凯¹, 李絮花^{1*}, 李伟², 彭强³, 王洪飞¹

- (1. 土肥资源高效利用国家工程实验室, 山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安 271018;
2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081;
3. 山东省泗水县农业局, 山东 泗水 273200)

摘要: 通过室内模拟试验, 采用“静态吸收法”和“土壤培养法”, 研究了缓释尿素与普通尿素混施条件下, 氨挥发和土壤中氮素的动态变化特征。结果表明: 缓释掺混肥处理能减少氨挥发损失氮量; 与普通尿素处理 (SRU0) 相比, 25% 缓释尿素 + 75% 普通尿素 (SRU25)、45% 缓释尿素 + 55% 普通尿素 (SRU45)、65% 缓释尿素 + 35% 普通尿素 (SRU65)、100% 缓释尿素 (SRU100) 处理的氨挥发量分别降低 19.88%、25.94%、42.84% 和 46.13%。在培养前期, 普通尿素处理的土壤全氮、碱解氮和铵态氮含量明显高于缓释尿素处理, 随着培养时间延长, 普通尿素处理降低幅度最大, 缓释掺混肥处理的全氮、碱解氮和铵态氮含量明显高于普通尿素处理; 而硝态氮含量随培养时间延长逐渐升高。其中, 以 45% 缓释尿素 + 55% 普通尿素配比最佳, 既能满足植物全生育期对养分的需求, 又能减少氨挥发损失, 节省经济成本。

关键词: 缓释尿素; 混施; 氨挥发; 氮素动态变化

中图分类号: S153.6⁺1; S143.1

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2015) 06-0023-05

目前, 中国已经成为世界化肥生产和消费量最大的国家, 其中, 氮肥产量占我国化肥总产量的 80%, 占世界氮肥总产量的 1/3^[1-3]。氮肥的施用是保障我国农业高产的重要手段。但我国氮肥当季利用率仅为 30%~35%, 而损失率高达 52%~60%^[4]。除被土壤固定供植物吸收利用外, 大部分以各种氮素形态进入到空气和水环境中, 不仅导致氮肥的大量浪费, 而且对农业生态系统造成严重危害。其中, 氨挥发是损失的重要途径之一^[5]。

缓控释肥是解决氮肥利用率低的主要途径之一。其具有提高肥料的利用效率、改善作物品质以及保护环境等优点, 缓释肥料的 NO₃⁻-N 淋洗损失可减少 34%~49%, 氨挥发降低 80%^[6]。但是缓控释肥价格高, 不利于大田推广^[7]。近年来, 研究人员根据小麦、玉米等农作物需肥特点, 采用缓释尿素与

普通尿素配施发现作物产量、品质和氮素利用率比单施普通尿素显著提高^[8], 而且在种植过程中, 可以根据不同土壤和作物对养分的需求, 灵活地将缓释肥料和普通肥料按照不同的配比复配在一起, 使缓释肥的释放特性与作物需肥规律相匹配, 显著提高肥料利用率。这种施用方法操作简单, 价格低廉, 为缓释肥在大田作物上的普及提供了可能。

前人关于缓释肥及缓释掺混肥研究多集中在作物的生长、产量、品质、根系分布及氮素残留方面^[9-10]。但对缓释掺混肥在土壤中的养分动态变化鲜有报道。为此本研究以水溶性聚合物包裹的尿素为主要载体, 配以不同比例的普通尿素, 通过模拟土壤培养, 探讨不同掺混比例的缓释掺混肥在土壤中的养分释放及对氨挥发的影响, 并监测了硝、铵态氮、脲酶的变化过程, 为减少氨挥发、提高肥料利用率以及缓释掺混肥的推广提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤: 采自山东农业大学资源与环境学院试验基地 (2010 年), 土壤类型为棕壤, 土壤 pH 值 7.64,

收稿日期: 2014-09-22; 最后修订日期: 2015-02-10

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2011BAD11B05-18)。

作者简介: 徐久凯 (1990-), 男, 山东德州人, 硕士研究生, 主要从事植物营养机理与调控研究。E-mail: xujiukai2008@163.com。

通讯作者: 李絮花, E-mail: lixh@sda.u.edu.cn。

全氮 0.45 g/kg, 有机质 14.6 g/kg, 碱解氮 37.9 mg/kg, 有效磷 (P) 31.3 mg/kg, 速效钾 (K) 114 mg/kg。

供试肥料: 水溶性聚合物缓释尿素 (SRU) 含氮量 44.6%, 缓释期 120 d; 普通尿素含氮量 46%。

1.2 试验方法

1.2.1 室内模拟氨挥发试验

氨挥发量的测定采用“静态吸收法”^[11], 试验设置 6 个处理, 分别为普通尿素 (SRU0)、25% 缓释尿素 + 75% 普通尿素 (SRU25)、45% 缓释尿素 + 55% 普通尿素 (SRU45)、65% 缓释尿素 + 35% 普通尿素 (SRU65)、纯缓释尿素 (SRU100) 和不施肥处理 (CK), 肥料的称量以 N 计, 每处理重复 3 次, 施肥量按 N 0.84 g/kg 施入, 称取过 1 mm 筛的土壤 500 g (以干土计), 土肥混合均匀, 放入规格为 15 cm × 8.5 cm × 17.5 cm 的塑料桶中, 调节其含水量为田间持水量的 60%, 用塑料封口膜封口, 桶内放入装有 10 mL 2% 硼酸的小杯, 以甲基红 - 溴甲酚绿作为指示剂。

置于智能人工气候箱中, 25℃ 条件下连续培养, 分别在培养后的第 1、2、3、5、7、14、21、28、42、56、70、98、121 d 时, 取出桶中吸收杯, 用 $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 0.02 \text{ mol/L}$ 滴定, 计算每次挥发出的氮量。

1.2.2 室内恒温土壤培养试验

试验处理、施肥量同 1.2.1, 按试验设置称取缓释尿素和普通尿素与 100 g 风干土装入 14 cm × 10 cm 的塑料封口袋中, 混合后调节土壤含水量为田间持水量的 60%, 在培养后的第 1、2、3、5、7、14、21、28、42、56、70、98、121 d 取土样^[12], 测定其硝态氮、铵态氮、全氮、碱解氮和脲酶含量。全氮采用凯氏定氮法, 碱解氮采用碱解扩散法^[13], 土壤脲酶采用苯酚一次氯酸钠比色法^[14], 土壤硝态氮、铵态氮采用流动注射分析仪测定^[15]。

1.3 数据处理与分析

试验数据采用 Excel 2003 和 Origin 8.0 软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 缓释尿素与普通尿素配施室内模拟氨挥发试验

2.1.1 缓释掺混肥处理的氨挥发量

不同施肥处理土壤的氨挥发累积量曲线如图 1

所示。肥料施入土壤后, 随着时间的延长, 各处理氨挥发累积量均逐渐增加; 而各处理之间, 氨挥发累积量随缓释尿素比例的增加表现出递减的趋势。第 21 d 时, SRU0、SRU25 和 SRU45 处理的氨挥发累积量呈现快速增长, 而 SRU65 和 SRU100 处理从培养第 28 d 才开始明显增加; SRU25 处理的氨挥发累积量在前 42 d 一直小于 SRU45 处理, 之后 SRU25 处理的氨挥发累积量缓慢超过 SRU45 处理。至培养结束, 不施肥处理 (CK) 氨挥发累积量为 0.38 mg, SRU0、SRU25、SRU45、SRU65、SRU100 处理的氨挥发累积量依次为 17.76、14.23、13.15、10.15、9.57 mg, 占施氮量的 2.22%、1.78%、1.64%、1.27%、1.20%, 缓释掺混肥处理较普通尿素的氨挥发累积量分别减少 19.88%、25.94%、42.84%、46.13%。

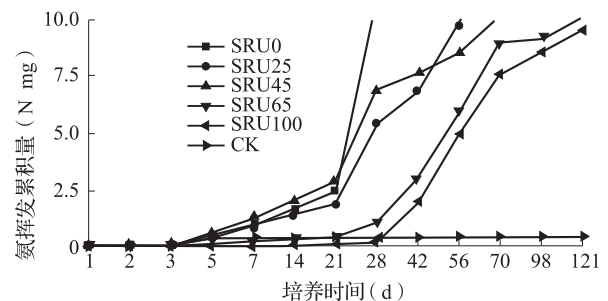


图 1 缓释掺混肥处理的氨累积挥发量

缓释掺混肥处理下, 土壤氨挥发动态曲线如图 2 所示。各施肥处理在培养第 3 d 开始测出氨的挥发, SRU0、SRU25 和 SRU45 处理下氨挥发量在第 28 d 达到最高峰, 且 SRU0 的氨挥发量远高于 SRU25 和 SRU45, 主要原因是普通尿素施入土壤后, 很快溶解并水解, 氨浓度提高, 导致氨挥发量的增加。而包膜尿素能有效控制养分的释放, 尿素溶出速度较慢, 在 28 d 时, SRU25 和 SRU45 处理的

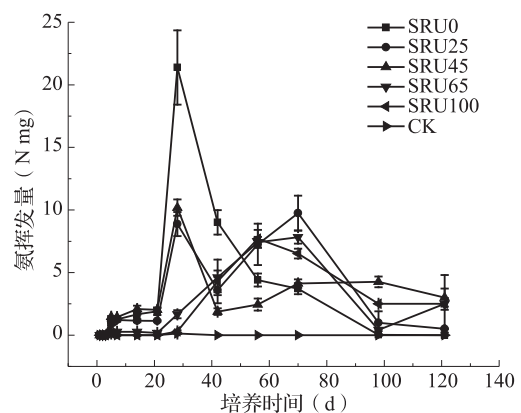


图 2 缓释掺混肥处理的氨挥发动态变化

氨挥发量主要来自普通尿素的溶解。而 SRU65 和 SRU100 由于包膜尿素的比例较高, 氨挥发的最高峰出现在 56 d, 主要原因是包膜尿素累积释放产生。

2.1.2 缓释掺混肥处理对土壤全氮含量的影响

土壤全氮含量可反映土壤的基础肥力。由图 3 看出, 施肥能增加土壤全氮含量。除 SRU100 处理外, 培养第 5 d, 施肥处理的全氮含量均高于不施肥处理, 说明缓释尿素能延缓尿素的释放。培养第 7 d 至培养结束, 普通尿素处理的土壤全氮含量呈下降趋势。土壤培养虽然没有植物吸收氮素, 但全氮含量却逐渐降低, 这可能与氨挥发、反硝化作用等过程中氮的损失有关。SRU25、SRU45 和 SRU65 全氮含量变化过程, 均呈现出先降低后升高的变化趋势, 至培养 56 d 保持平稳, 全氮含量分别为 1.26、1.31、1.37 g/kg。这主要是因为刚开始时普通尿素释放较快, 氮的损失也相对较高, 而随培养时间的延长, 缓释尿素释放加快, 全氮含量缓速上升, 最终达到相对平衡状态。而 SRU100 处理则一直升高, 至 56 d 后保持平稳, 为 1.38 g/kg。说明缓释肥对氮素养分的释放具有明显的控制作用, 能较好地减少氮素损失。

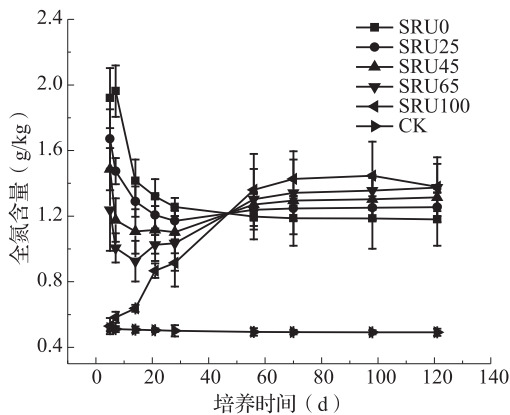


图 3 缓释掺混肥处理对土壤全氮含量的影响

2.1.3 缓释掺混肥处理对土壤碱解氮含量的影响

土壤的碱解氮量与作物生长密切相关, 在推荐施肥中意义重大。由图 4 可以看出, SRU0 处理的碱解氮含量一直下降, 至培养结束其碱解氮含量在施肥处理中最低, 为 72 mg/kg。而 SRU25、SRU45、SRU65 处理的碱解氮含量到 28 d 时降至最低, 分别为 116、86、81 mg/kg, 后又有升高趋势, 到培养 56 d 时开始下降。其主要原因是 28 d 后各处理中的缓释肥氮素释放开始迅速增加, 氮素释放增多, 而后期 56 d 之后, 又出现递减趋势, 可能是因为氮素的释放量小于氮素的挥发量, 所以呈现降低

的趋势。由此可以看出, 缓释掺混肥对氮的释放有一定的调控作用, 不仅能满足植物的前期需要, 而且后期供氮充足。

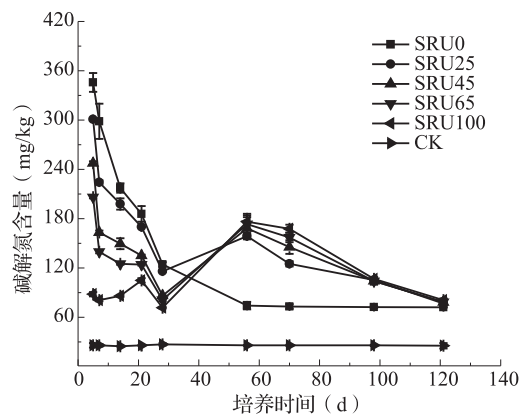


图 4 缓释掺混肥处理对土壤碱解氮含量的影响

2.1.4 缓释掺混肥处理对土壤硝态氮和铵态氮的影响

由图 5 看出, 施肥使土壤硝态氮含量升高。SRU0、SRU25、SRU45 处理的变化曲线基本一致, 变化趋势呈倒“L”型, 在培养第 98 d 含量基本平稳之前, 各处理硝态氮含量随缓释尿素比例的提高而减少。各施肥处理培养 5 d 时硝态氮含量分别为 33.13、29.67、2.59、19.10、13.15、13.02 mg/kg, 之后, 各处理硝态氮含量开始逐渐增加。在培养第 98 d 时含量同其它处理基本一致。

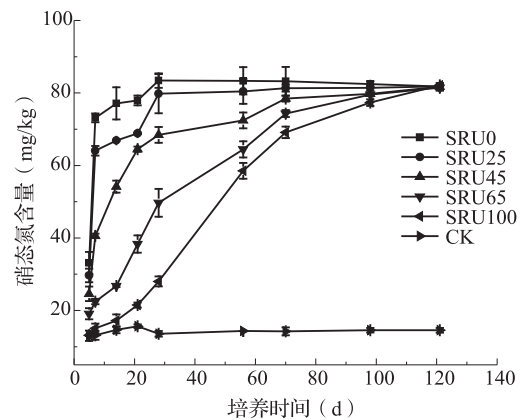


图 5 缓释掺混肥处理对土壤硝态氮含量的影响

由图 6 可以看出, 不施肥处理的铵态氮含量基本稳定。普通尿素处理在培养 3 d 后先升高, 从第 7 d 开始一直下降, 在培养 28 d 后含量低于其它施肥处理, SRU25、SRU45 从培养第 3 d 开始至培养第 70 d 铵态氮含量平稳下降, 之后下降速度加快, 在培养至 98 d 时又有不同幅度的增加; SRU65 呈现出先下降, 后升高趋势; SRU100 处理培养至 28 d 时铵态氮

含量陡然上升, 至 70 d 时含量基本保持稳定, 并在培养结束时保持了最高的铵态氮含量。各处理至培养结束, 铵态氮含量分别为 23.54、43.41、55.57、68.85、74.84、1.42 mg/kg。

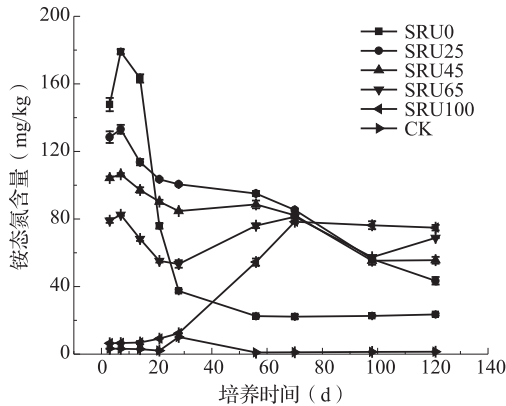


图 6 缓释掺混肥处理对土壤铵态氮含量的影响

由图 5 和图 6 还可以发现, 培养开始时, 土壤氮含量以铵态氮为主, 随时间延迟, 两者达到平衡, 到最后以硝态氮为主。这主要是尿素在脲酶的作用下转化为铵态氮后, 发生硝化作用, 迅速转化为硝态氮。同时, 全量缓释尿素处理在培养结束时铵态氮含量较高, 表明缓释尿素对氮素起到很好的缓释效果。

2.1.5 缓释掺混肥处理对土壤脲酶活性的影响

脲酶是直接参与尿素形态转化的土壤酶, 通常与微生物数量、土壤有机质、全氮和速效氮等因素有关。脲酶活性强弱直接影响土壤氮挥发损失^[16]。受尿素的激发, 脲酶活性可以提高。图 7 表明: 肥料施入土壤第 5 d, SRU25、SRU45、SRU65、SRU100 处理比普通尿素处理的土壤脲酶活性分别降低了 13.2%、14.1%、34.7%、36.1%, 之后缓释掺混肥处理较普通尿素处理的脲酶活性有所增加, 这可能与普通尿素氮素释放比较快而缓释尿素可使氮素平稳缓慢释放有关。

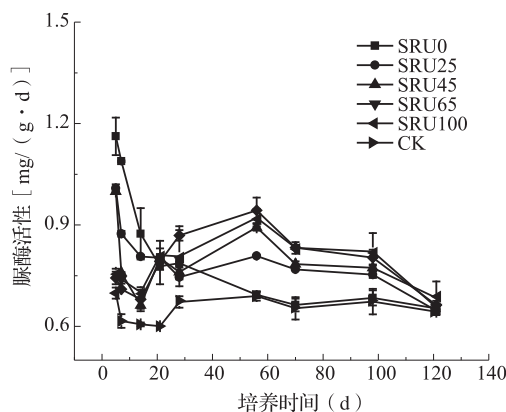


图 7 缓释掺混肥处理对土壤脲酶活性的影响

3 讨论

氮挥发是造成土壤氮素损失的一个重要途径, 不仅降低化学氮肥的利用率, 而且会导致严重的生态环境污染。本研究结果表明, 缓释氮肥可显著降低氮的氨挥发损失量, 而且缓释尿素比例越高, 氨挥发量越低; 与普通尿素相比, SRU25、SRU45、SRU65、SRU100 处理的氨挥发量分别减少 19.88%、25.94%、42.84%、46.13%。这与邓圣先等^[17]、刘丽颖等^[18]的研究结果相似。

本试验碱解氮和铵态氮含量变化有很好的一致性, 随培养时间延长各处理变化趋于一致。各施肥处理的土壤铵态氮含量呈先升高后降低的趋势。普通尿素处理的土壤铵态氮含量在短时间内达到最高, 后又急剧下降, 而缓释掺混肥处理则缓慢下降。这可能是由于缓释尿素能有效抑制土壤铵态氮向硝态氮的转化。说明缓释尿素对氮素有很好的缓释效果。硝态氮在土壤中的含量变化与施肥量、施肥时期、施肥种类、土壤类型等关系密切^[19-20]。各施肥处理均能增加土壤硝态氮含量, 普通尿素处理能在短时间内增加土壤硝态氮含量, 而缓释掺混肥处理则需较长时间才能提高土壤硝态氮含量, 并且土壤硝态氮含量达到最高值的时间随着缓释肥料比例的增加而增加。这可能是由于缓释氮肥能够延缓尿素向硝态氮的转化, 进而缓释掺混肥减弱了由于硝态氮的淋洗对环境产生的污染效应, 能够将有效氮较长时间的保持在土壤耕层中供植物吸收利用。脲酶是土壤中的主要酶类之一, 对尿素在土壤中的转化和肥效的发挥起着关键作用。Chu 等^[21]指出, 普通尿素施入土壤后, 在短期里对土壤脲酶活性有很大的影响, 而包膜尿素对脲酶活性的影响时间相对比较长。本试验结果与 Chu 等的研究一致, 在培养的第 3 d, 普通尿素处理的脲酶活性高于其他处理, 其后开始急剧下降, 至 7 d 后脲酶活性变化平缓, 而缓释掺混肥处理对脲酶影响时间相对较长, 在培养的 28 d 才出现峰值。

普通尿素与缓释尿素的配施是一种极具发展前景的施用方式, 本文对不同比例混施的掺混肥氨挥发和氮素动态变化研究表明, 以 45% 缓释尿素 + 55% 普通尿素配施效果最佳, 此处理不仅减少了氨挥发损失; 而且, 在土壤氮素动态变化过程中, 其全氮、碱解氮以及硝、铵态氮含量都处于中间状态, 低于普通尿素、25% 缓释尿素 + 75% 普通尿素

处理, 高于 65% 缓释尿素 + 35% 普通尿素和 100% 缓释尿素处理, 既能满足植物需要, 又能节约经济成本, 减少环境污染。

参考文献:

[1] 林葆, 林继雄. 长期施肥的作物产量和土壤肥力变化 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1996.

[2] Guo J H, Liu Q X, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands [J]. *Science*, 2010, 327: 1008 - 1010.

[3] 程存旺, 石嫣, 温铁军. 氮肥的真实成本 [J]. *绿叶*, 2013, 4: 77 - 88.

[4] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992. 171 - 249.

[5] 杨淑莉, 朱安宁, 张佳宝, 等. 不同施氮量和施氮方式下田间氨挥发损失及其影响因素 [J]. *干旱区研究*, 2010, 27 (3): 415 - 421.

[6] 朱保国, 张春峰, 于忠和. 缓释尿素与普通尿素混施对大豆农艺性状及产量和品质的影响 [J]. *大豆科学*, 2012, 36 (2): 281 - 283.

[7] 樊小林, 刘芳, 廖照源, 等. 我国控释肥研究的现状和展望 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15 (2): 463 - 473.

[8] 祝丽香, 王建华, 高先涛. 缓释尿素与普通尿素配施对菊花生理指标及产量和质量的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2012, 18 (2): 483 - 490.

[9] 衣文平, 孙哲, 武良, 等. 包膜尿素与普通尿素配施对冬小麦生长发育及土壤硝态氮的影响 [J]. *应用生态学报*, 2011, 22 (3): 687 - 693.

[10] 祝丽香, 毕建杰, 王建华, 等. 控释尿素与普通尿素配施对抗白菊产量和氮肥利用率的影响 [J]. *园艺学报*,

2013, 40 (4): 782 - 790.

[11] 凌莉, 李世清, 李生秀. 石灰性土壤氨挥发损失的研究 [J]. *水土保持学报*, 1999, 5 (6): 119 - 122.

[12] 段路路, 张民, 刘刚, 等. 热塑性包膜尿素微观结构特征及养分释放机理研究 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15 (5): 1170 - 1178.

[13] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.

[14] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1983.

[15] Kimball B A, Morris C F, Pinter P J, et al. Wheat grain quality as affected by elevated CO₂, drought, and soil nitrogen [J]. *New Phytologist*, 2001, 150: 295 - 303.

[16] 邱业先, 彭任, 陈文荣, 等. 红壤稻田脲酶消长规律研究 [J]. *江西农业大学学报*, 1999, 21 (3): 311 - 313.

[17] 郑圣先, 刘德林, 聂军, 等. 缓释氮肥在淹水稻田土壤上的去向及利用率 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10 (2): 137 - 142.

[18] 刘丽颖, 曹彦圣, 田玉华, 等. 太湖地区冬小麦季土壤氨挥发与一氧化氮排放研究 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19 (6): 1420 - 1427.

[19] 彭强, 李絮花, 王克安. 减量缓释氮肥对大棚甜椒产量及土壤硝态氮、铵态氮分布的影响 [J]. *水土保持学报*, 2012, 26 (12): 106 - 110.

[20] 黄昌勇. 土壤学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 192 - 198.

[21] Chu H Y, Hosen Y, Yagi K, et al. Soil microbial biomass and activities in Japanese Andisol as affected by controlled and application depth of urea [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2005, 42 (2): 89 - 96.

Effects of mixture of slow-release urea and conventional urea on ammonia volatilization and soil nitrogen dynamic change

XU Jiu-kai¹, LI Xu-hua^{1*}, LI Wei², PENG Qiang³, WANG Hong-fei¹ (1. National Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resources, College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Taian Shandong 271018; 2. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; 3. Shandong Sishui Agricultural Bureau, Sishui Shandong 273200)

Abstract: Soil simulation experiment by static absorption and soil-culture methods was conducted to study the nitrogen release and ammonia volatilization decrease from different amounts of slow release coated urea combined with conventional urea. The results showed that the mixing treatments i. e. SRU25, SRU45, SRU65, SRU100 with 25%, 45%, 65%, 100% of slow release nitrogen ratio respectively, reduced the amount of ammonia volatilization by 19.88%, 25.94%, 42.84%, 46.13% respectively compared with treatment of urea used only (SRU0). In the prophase of cultivation, the content of total nitrogen, available nitrogen and ammonium nitrogen for SRU0 was higher than slow release urea treatments. With the prolongation of culture time, total nitrogen, available nitrogen and ammonium nitrogen of SRU0 reduced more sharply than slow released urea treatments, and these three nitrogen parameters were higher under slow release urea treatments. Nitrate nitrogen gradually increased with time. 45% slow release urea + 55% conventional urea (SRU45) was the best treatment, which not only supplied a prescribed amount of necessary nutrients, but also decreased the ammonia volatilization, and saved the economic costs.

Key words: slow-release urea; mixture application; ammonia volatilization; dynamic change of nitrogen