

王 静,王允青,万水霞,等. 脲酶/硝化抑制剂对沿淮平原糯稻养分吸收利用的影响[J].江苏农业学报,2020,36(1):77-82.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2020.01.011

## 脲酶/硝化抑制剂对沿淮平原糯稻养分吸收利用的影响

王 静<sup>1,2,3</sup>, 王允青<sup>1,2</sup>, 万水霞<sup>1,2</sup>, 吴萍萍<sup>2</sup>, 叶 寅<sup>1,2</sup>, 郭熙盛<sup>2</sup>, 吕国安<sup>3</sup>

(1.农田生态保育与污染防控安徽省重点实验室,安徽 合肥 230036; 2.安徽省农业科学院土壤肥料研究所,安徽 合肥 230031; 3.华中农业大学资源与环境学院,湖北 武汉 430070)

**摘要:** 添加氮素抑制剂是减少氮素损失,提高水稻氮肥利用率的有效途径之一。本研究采用大田试验,研究脲酶抑制剂(*N*-丁基硫代磷酸三胺,NBPT)、硝化抑制剂(3,4-二甲基吡唑磷酸盐,DMPP)及其组合对沿淮平原糯稻生物量及氮、磷、钾吸收利用的影响。以常糯1号为材料,于2018年6-10月在安徽怀远县(沿淮平原典型水稻种植区)进行试验。试验设5个处理:①不施氮肥对照(CK);②施尿素(U);③施尿素+脲酶抑制剂(U+NBPT);④施尿素+硝化抑制剂(U+DMPP);⑤施尿素+脲酶抑制剂+硝化抑制剂(U+DMPP+NBPT)。研究结果表明,尿素配施NBPT或者NBPT+DMPP均显著提高了水稻生物量( $P<0.05$ ),U+NBPT和U+DMPP+NBPT处理较U处理的生物量分别增加7.02%和7.99%,而尿素单独配施DMPP虽然增加了水稻生物量(增加幅度3.1%),但差异未达显著水平( $P>0.05$ )。尿素配施NBPT/DMPP显著增加了水稻氮、磷吸收量( $P<0.05$ ),而钾素吸收量有降低的趋势,但差异未达显著水平( $P>0.05$ )。U+NBPT、U+DMPP和U+DMPP+NBPT处理植物地上部分氮累积量较U处理分别增加9.6%、6.5%和12.2%,吸磷量分别增加了9.2%、10.4%和14.4%,吸钾量则分别降低了2.6%、3.7%和4.4%。综上,在沿淮平原糯稻种植体系中,尿素配施NBPT/DMPP可以有效地增加水稻生物量,提高氮素、磷素利用效率,NBPT和DMPP表现出协同增效作用。

**关键词:** 脲酶抑制剂;硝化抑制剂;糯稻;生物量;养分吸收;沿淮平原

**中图分类号:** S143.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2020)01-0077-06

## Effects of urease/nitrification inhibitor on nutrient uptake of glutinous rice in plain along the Huaihe River

WANG Jing<sup>1,2,3</sup>, WANG Yun-qing<sup>1,2</sup>, WAN Shui-xia<sup>1,2</sup>, WU Ping-ping<sup>2</sup>, YE Yin<sup>1,2</sup>, GUO Xi-sheng<sup>2</sup>, LYU Guo-an<sup>3</sup>

(1.Provincial Key Lab of Nutrient Cycling, Resources and Environment, Hefei 230036, China; 2.Institute of Soil and Fertilizer, Anhui Academy of Agriculture Sciences, Hefei 230031, China; 3.College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

收稿日期:2019-09-05

**基金项目:**安徽省科技重大专项(17030701052);农田生态保育与污染防控安徽省重点实验室开放基金项目(FECP201701);国家水体污染控制与治理科技重大专项(2015ZX07204-007);国家青年科学基金项目(41401308)

**作者简介:**王 静(1982-),女,安徽萧县人,博士研究生,副研究员,主要从事农业面源污染防控研究。(Tel)18955187892;(E-mail)wangjinghf1982@163.com

**通讯作者:**郭熙盛,(E-mail)gxssfiaa@mail.hf.ah.cn;吕国安,(E-mail)lvguoanhzau@126.com

**Abstract:** Application of nitrogen inhibitor is an effective way of reducing nitrogen loss and improving fertilizer use efficiency of rice. In this study, field experiments were conducted to study the effects of urease inhibitor (*N*-n-butyl thiophosphoric triamide, NBPT) and nitrification inhibitor (3,4-dimethylpyrazole phosphate DMPP) on biomass and nutrient, phosphorus and potassium uptake of glutinous rice in plain along the Huaihe River. Using Changnuo 1 as test material, the experiment was conducted

in Huaiyuan County, Anhui province from June 2018 to October 2018. There were five treatments, including no nitrogen fertilizer (CK), urea only (U), urea plus NBPT (U+NBPT), urea plus DMPP (U+DMPP) and urea plus NBPT and DMPP (U+DMPP+NBPT). The results showed that the rice biomass increased significantly in the treatments of U+NBPT and U+DMPP+NBPT. Compared with U treatment, the rice biomass of U+NBPT and U+DMPP+NBPT treatment increased by 7.02% and 7.99%, respectively. The biomass of rice increased by 3.1% in the treatment of U+DMPP, but the difference was not significant ( $P>0.05$ ). Furthermore, urea combined with NBPT or DMPP significantly increased the nitrogen and phosphorus absorption of rice ( $P<0.05$ ), while reduced the potassium absorption to some extent ( $P>0.05$ ). Compared with U treatment, the nitrogen accumulation of U+NBPT, U+DMPP and U+NBPT+DMPP treatments increased by 9.6%, 6.5% and 12.2%, the phosphorus accumulation increased by 9.2%, 10.4% and 14.4%, while the potassium accumulation decreased by 2.6%, 3.7% and 4.4%, respectively. In summary, adding urease inhibitor NBPT or nitrification inhibitor DMPP into urea could effectively improve biomass and nitrogen and phosphorus absorption of glutinous rice in plain along the Huaihe River, and the effect of urea added with NPBT and DMPP was best.

**Key words:** urease inhibitor; nitrification inhibitor; glutinous rice; biomass; nutrient uptake; plain along the Huaihe River

水稻是中国最主要的粮食作物之一,其种植面积约占谷物种植面积的 1/3,产量约占谷物总产量的 37%,居世界第一位。研究表明,增施化肥尤其是化学氮肥是促进水稻生长并提高产量的有效途径。目前,中国已成为世界上最大的氮肥生产和消费国<sup>[1]</sup>,而氮肥利用率却较低,稻田氮肥损失率高达30%~70%,远高于旱地的20%~50%<sup>[2]</sup>,进而带来一系列的经济、生态和社会的负面效应。因此,如何有效提高水稻氮肥利用率,保证作物高产并降低环境风险,是水稻生产与环境保护迫切需要解决的问题。

农业生态系统中氮素循环、转化过程复杂,氮素损失不可能完全避免,但可以通过合理的农业措施有效降低其损失。目前针对减少氮素损失,提高氮肥利用率的措施主要基于2个途径,一是通过改善施肥技术及肥水管理模式实现,另一途径则是从肥料改良入手,施用缓释肥及生化抑制剂等<sup>[3]</sup>。脲酶抑制剂和硝化抑制剂通过延缓尿素水解或减缓铵态氮向硝态氮的转化,调控土壤供氮强度,减少氮素损失,提高氮肥利用率<sup>[4]</sup>。但抑制效果同时受到土壤质地、有机质含量、温度、水分、pH、氮肥种类和耕作制度等的影响<sup>[5]</sup>。氮、磷、钾是水稻生长发育过程中必不可少的三大营养元素,它的丰缺程度直接影响水稻的生化代谢、生理特性、养分间的协同吸收利用及最终产量的形成<sup>[6-7]</sup>。

沿淮平原地处南北过渡地带,光、热、水资源充足,是中国重要的粮食生产基地。迄今,在具有南北气候过渡带复杂区域生态特征的沿淮区,关于脲酶/

硝化抑制剂在沿淮糯稻上的应用效果研究较少,其对水稻氮、磷和钾吸收利用的影响如何尚不明确。鉴于此,本研究以目前应用较多的脲酶抑制剂 *N*-丁基硫代磷酸三胺(NBPT)和硝化抑制剂 3,4-二甲基吡唑磷酸盐(DMPP)为材料,研究其对中国沿淮平原糯稻产量、养分吸收利用等的影响,为优化沿淮稻田生态系统养分管理,减少农田面源污染提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

本试验设在安徽省蚌埠市怀远县河溜镇罗新庄村(117°3'53"E, 32°58'58"N)。该区域位于黄淮海平原南缘,淮河中游,地貌以河间平原为主,兼有零星低丘、岗地。属于暖温带半湿润季风气候区,年平均气温 15.3℃,年均日较差 9.1℃,平均无霜期 218 d,年均降雨量 874.6 mm,年内降水分布不均匀,多集中分布在夏季(6~8月),年平均日照时数 2 206 h。供试土壤为水稻土,试验前0~20 cm 耕层土壤基本理化性质为:pH(水土质量比2.5:1.0) 6.46、有机质 13.9 g/kg、全氮 0.84 g/kg、碱解氮 55.3 mg/kg、全磷 0.42 g/kg、速效磷 16.9 mg/kg、全钾 13.5 g/kg、速效钾 77.1 mg/kg,土壤阳离子交换量 241.49 mmol/kg。

### 1.2 试验设计

试验共设5个处理:①不施氮肥(CK);②尿素(U);③尿素+硝化抑制剂(U+DMPP);④尿素+脲酶抑制剂(U+NBPT);⑤尿素+硝化抑制剂+脲酶抑制剂(U+NBPT+DMPP)。3次重复,完全随机区组

排列。每个小区面积  $26 \text{ m}^2$  ( $6.5 \text{ m} \times 4.0 \text{ m}$ ), 各小区以  $50 \text{ cm}$  的分隔行隔开, 且保持小区间的田埂高出土表上方  $30 \text{ cm}$ , 并用厚质农膜包裹田埂并压至犁底层以防止小区间相互串水串肥, 实现各小区单灌单排。试验中氮(N)、磷( $\text{P}_2\text{O}_5$ )、钾( $\text{K}_2\text{O}$ )的用量分别为  $225 \text{ kg/hm}^2$ 、 $90 \text{ kg/hm}^2$  和  $105 \text{ kg/hm}^2$ , 氮肥、磷肥、钾肥分别为尿素、过磷酸钙和氯化钾。氮肥分3次施用, 基肥: 分蘖肥: 穗肥 =  $4:3:3$  (质量比), 磷肥、钾肥作为基肥一次性施入。脲酶抑制剂为 *N*-丁基硫代磷酰三胺 (NBPT), 硝化抑制剂为 3,4-二甲基吡唑磷酸盐 (DMPP), 用量均按对应处理尿素纯氮量的 1% 添加, 与尿素混匀后施用。水稻品种为常糯 1 号, 2018 年 6 月 26 日移栽, 10 月 26 日收获, 栽培管理措施同当地农民的常规管理保持一致。

### 1.3 测定项目与方法

试验开始前采集  $0\sim 20 \text{ cm}$  耕层土样, 用于测定土壤 pH 以及有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷和速效钾含量。于水稻成熟期在各小区取代表性稻株 5 穴, 剪去根后, 烘干称质量并粉碎, 用于测定籽粒和秸秆的氮、磷和钾含量以及实收每小区产量。土壤 pH、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾和植株氮、磷、钾含量均采用常规方法测定<sup>[8]</sup>。

### 1.4 数据处理

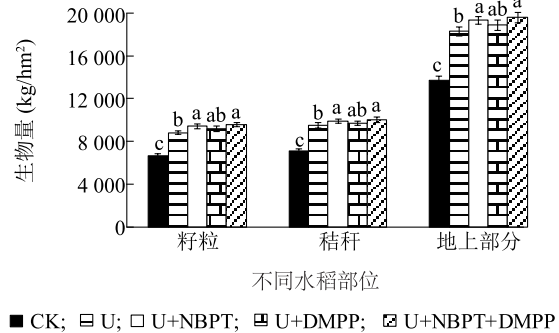
干物质量与养分含量的乘积为养分积累量。采用 Excel2010 和 SPSS19.0 进行数据处理分析, 并用 LSD (Least significant difference test) 进行样本平均数的差异显著性比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 脲酶/硝化抑制剂对水稻生物量的影响

图 1 可以看出, 所有施氮处理的籽粒产量、秸秆生物量和地上部分生物量均显著高于未施氮对照 (CK) ( $P<0.05$ )。尿素配施 NBPT/DMPP 对水稻籽粒产量、秸秆生物量存在明显影响。与 U 处理相比, U+NBPT 和 U+DMPP+NBPT 处理的籽粒产量分别增加 6.8% 和 8.6%, 秸秆生物量分别增加 4.3% 和 5.5%, 地上部分生物量分别增加 7.02% 和 7.99%, 且差异达到显著水平 ( $P<0.05$ )。U+DMPP 处理较 U 处理的籽粒产量、秸秆生物量和地上部分生物量分别增加 4.3%、2.1% 和 3.1%, 但差异未达到显著水平 ( $P>0.05$ )。这说明, 尿素添加 NBPT 或者 DMPP+NBPT 对沿淮水稻生物量的提高均有显著促进作用, NBPT

和 DMPP 表现出协同增效作用。



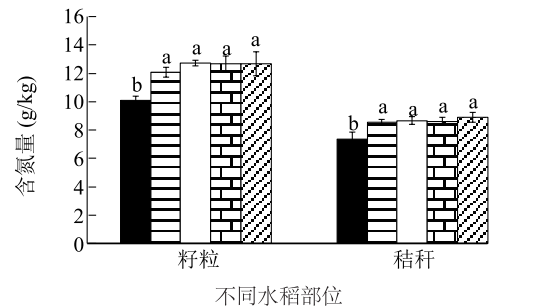
CK: 不施氮肥; U: 尿素; U+DMPP: 尿素+硝化抑制剂; U+NBPT: 尿素+脲酶抑制剂; U+NBPT+DMPP: 尿素+硝化抑制剂+脲酶抑制剂。不同小写字母表示处理间差异在 0.05 水平上显著。

图 1 不同处理的水稻籽粒产量、秸秆生物量和地上部分生物量

Fig.1 The grain yield, straw biomass and aboveground biomass of rice under different treatments

### 2.2 脲酶/硝化抑制剂对水稻植株含氮量和氮累积量的影响

由图 2 可以看出, 所有施氮处理的籽粒、秸秆的含氮量均显著高于未施氮对照 (CK) ( $P<0.05$ ), 这表明, 施氮能够促进水稻对氮素的吸收利用。与 U 处理相比, 尿素配施生化抑制剂, 其水稻籽粒、秸秆含氮量有增加的趋势, 但差异未达显著水平 ( $P>0.05$ )。



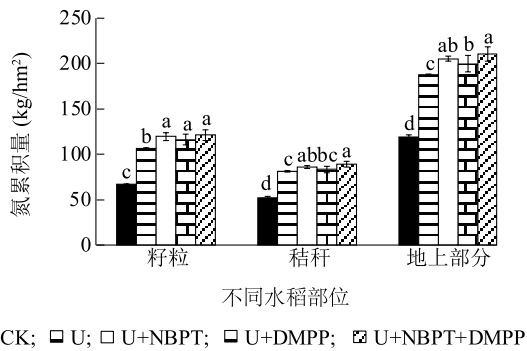
CK、U、U+DMPP、U+NBPT、U+NBPT+DMPP 处理见图 1 注。

图 2 不同处理水稻籽粒和秸秆含氮量

Fig.2 Nitrogen contents of rice grain and straw under different treatments

不同处理对水稻籽粒、秸秆和地上部分氮累积量存在明显影响 (图 3)。所有施氮处理的籽粒、秸秆和地上部分的氮累积量均显著高于不施氮对照 (CK) ( $P<0.05$ )。U 处理的籽粒、秸秆和地上部分氮累积量分别为  $106.3 \text{ kg/hm}^2$ 、 $81.1 \text{ kg/hm}^2$  和  $187.4 \text{ kg/hm}^2$ 。与 U 处理相比, U+NBPT、U+DMPP 和 U+DMPP+NBPT 处理籽粒氮累积量分别提高 12.6%、9.4% 和 14.1%, 秸秆氮

累积量分别提高 5.6%、2.7% 和 9.8%, 地上部分氮累积量分别提高 9.6%、6.5% 和 12.2%, 其中除 U+DMPP 处理秸秆氮累积量与 U 处理差异未达显著水平之外 ( $P>0.05$ ), 其余差异均达显著水平 ( $P<0.05$ ), 这说明, 添加 NBPT/DMPP 能够提高水稻对氮素的同化和吸收能力, 为高产奠定基础。



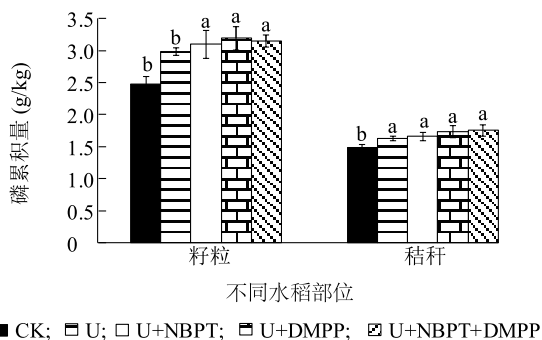
CK、U、U+DMPP、U+NBPT、U+NBPT+DMPP 处理见图 1 注。

图 3 不同处理水稻籽粒、秸秆和地上部分氮累积量

Fig. 3 Nitrogen accumulation of rice grain, straw and aboveground parts under different treatments

### 2.3 脲酶/硝化抑制剂对水稻植株含磷量和磷累积量的影响

由图 4 可以看出, 与氮素相类似, 所有施氮处理的籽粒、秸秆的含磷量均显著高于未施氮对照 (CK) ( $P<0.05$ ), 这说明, 施氮能够协同促进水稻对磷素的吸收利用。尿素配施 NBPT/DMPP, 其水稻籽粒、秸秆含磷量有增加的趋势, 但差异未达显著水平 ( $P>0.05$ )。



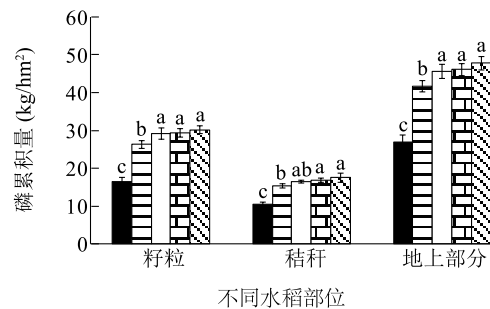
CK、U、U+DMPP、U+NBPT、U+NBPT+DMPP 处理见图 1 注。

图 4 不同处理水稻籽粒和秸秆含磷量

Fig. 4 Phosphorus contents of rice grain and straw under different treatments

不同处理对水稻籽粒、秸秆和地上部分磷累积量存在明显影响 (图 5)。所有施氮处理的籽粒、秸秆和地上部分的磷累积量均显著高于不施氮对照

(CK) ( $P<0.05$ )。U 处理的籽粒、秸秆和地上部分磷累积量分别为 26.3 kg/hm<sup>2</sup>、15.4 kg/hm<sup>2</sup> 和 41.7 kg/hm<sup>2</sup>。与 U 处理相比, U+NBPT、U+DMPP 和 U+NBPT+DMPP 处理籽粒磷累积量分别提高 10.9%、11.4% 和 14.7%, 秸秆磷累积量分别提高 6.5%、8.8% 和 13.8%, 地上部分磷累积量分别提高 9.2%、10.4% 和 14.4%, 其中除了 U+NBPT 处理的秸秆磷累积量与 U 处理之间的差异未达显著水平之外 ( $P>0.05$ ), 其余差异均达显著水平 ( $P<0.05$ ), 这说明, 添加 NBPT/DMPP 在提高水稻对氮素吸收的同时, 也有利于提高水稻对磷素的同化和吸收能力。



CK、U、U+DMPP、U+NBPT、U+NBPT+DMPP 处理见图 1 注。

图 5 不同处理水稻籽粒、秸秆和地上部分磷累积量

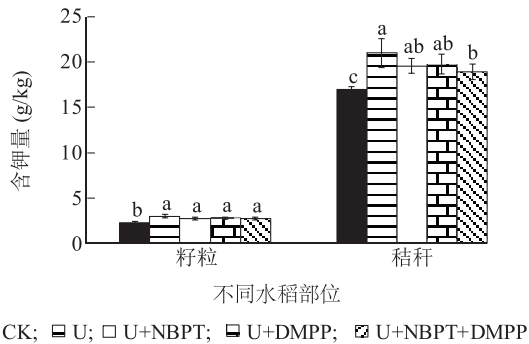
Fig. 5 Phosphorus accumulation of rice grain, straw and aboveground parts under different treatments

### 2.4 脲酶/硝化抑制剂对水稻植株含钾量和钾累积量的影响

由图 6 可以看出, 与氮、磷相类似, 所有施氮处理的籽粒、秸秆的含钾率均显著高于未施氮对照 (CK) ( $P<0.05$ ), 这表明, 施氮能够促进水稻对钾素的吸收利用。与氮、磷不同的是, 尿素配施 NBPT/DMPP, 其水稻籽粒、秸秆含钾量有下降的趋势, 其中 U+DMPP+NBPT 处理与 U 处理秸秆含钾量之间的差异达显著水平 ( $P<0.05$ )。

所有施氮处理的籽粒、秸秆和地上部分的钾累积量均显著高于不施氮对照 (CK) ( $P<0.05$ ) (图 7)。U 处理的籽粒、秸秆和植物钾累积量分别为 26.5 kg/hm<sup>2</sup>、198.8 kg/hm<sup>2</sup> 和 225.4 kg/hm<sup>2</sup>。与 U 处理相比, U+NBPT、U+DMPP 和 U+DMPP+NBPT 处理籽粒钾累积量分别降低了 1.8%、2.8% 和 3.6%, 秸秆钾累积量分别降低了 2.7%、3.8% 和 4.9%, 地上部分钾累积量分别降低了 2.6%、3.7% 和 4.4%, 但差异未达显著水平 ( $P>0.05$ )。

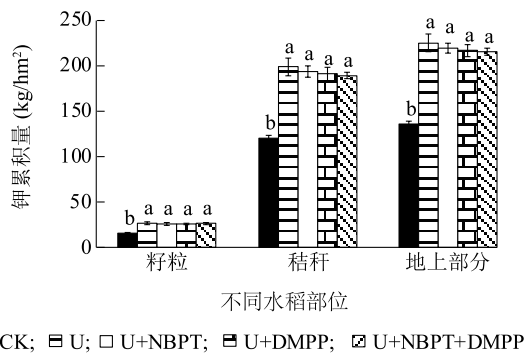




CK、U、U+DMPP、U+NBPT、U+NBPT+DMPP 处理见图 1 注。

图 6 不同处理水稻籽粒和秸秆含钾量

Fig.6 Potassium contents of rice grain and straw under different treatments



CK、U、U+DMPP、U+NBPT、U+NBPT+DMPP 处理见图 1 注。

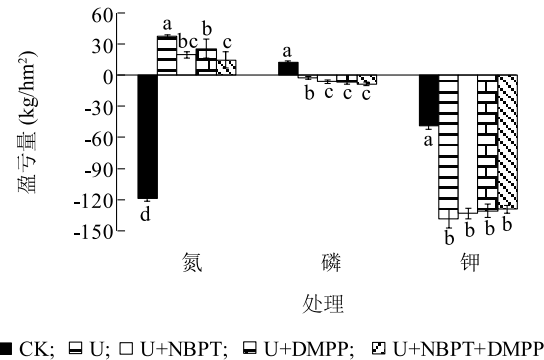
图 7 不同处理水稻籽粒、秸秆和地上部分钾累积量

Fig.7 Potassium accumulation of rice grain, straw and aboveground parts under different treatments

## 2.5 脲酶/硝化抑制剂对水稻-土壤体系中氮、磷、钾养分表观平衡的影响

肥料施入到土壤后会发生土壤吸附固定、作物吸收、以及径流和淋溶损失等复杂过程,本研究仅从作物土壤系统的养分投入与带走上简单计算肥料养分的表观平衡,即不考虑肥料养分挥发、径流和淋溶等损失,也不考虑沉降和灌水等其他途径带入的养分。如图 8 所示,当地常规施肥条件下 ( $N\ 225\text{ kg/hm}^2$ 、 $P_2O_5\ 90\text{ kg/hm}^2$ 、 $K_2O\ 105\text{ kg/hm}^2$ ),氮、磷、钾的盈余量分别为  $37.6\text{ kg/hm}^2$ 、 $-2.4\text{ kg/hm}^2$  和  $-138.2\text{ kg/hm}^2$ 。相比于常规施肥 U 处理,配施抑制剂的 3 个处理 U+NBPT、U+DMPP 和 U+DMPP+NBPT 氮素盈余量分别减少了  $17.9\text{ kg/hm}^2$ 、 $12.3\text{ kg/hm}^2$  和  $22.9\text{ kg/hm}^2$  ( $P<0.05$ ),磷素盈余量分别减少  $3.9\text{ kg/hm}^2$ 、 $4.4\text{ kg/hm}^2$  和  $6.0\text{ kg/hm}^2$  ( $P<0.05$ ),而钾素盈余量分别增加了  $4.9\text{ kg/hm}^2$ 、 $7.4$

$\text{kg/hm}^2$  和  $8.9\text{ kg/hm}^2$  ( $P>0.05$ )。因此,尿素配施 NBPT/DMPP 显著提高了水稻氮的带走量,降低了其在土壤中的盈余,同时也显著加大了水稻对磷素的吸收带走量,而水稻对钾素吸收无显著影响。



CK、U、U+DMPP、U+NBPT、U+NBPT+DMPP 处理见图 1 注。

图 8 不同处理水稻-土壤体系中养分盈亏量

Fig.8 Nutrient balance of rice under different treatments

## 3 讨论

尿素配施脲酶/硝化抑制剂,其主要作用是减少氮素损失,提高肥料利用率。尿素施入水田后,在脲酶的作用下经氨基酸水解生成  $NH_3$  的过程非常迅速,大概在 2~10 d 完全完成<sup>[9]</sup>,导致田面水中  $NH_3$  含量迅速上升,造成严重的氨挥发损失,损失率可达施入氮量的 9%~42%<sup>[10]</sup>。脲酶抑制剂与尿素一起施用延长了施肥点处尿素的扩散时间,并延缓了酰胺态氮向  $NH_4^+-N$  的转化进程,从而降低土壤溶液中  $NH_4^+-N$  和  $NH_3$  的浓度,减少尿素对作物幼苗的毒性及  $NH_3$  的挥发损失<sup>[11]</sup>,这对尿素氮养分释放速率与水稻氮养分需求的耦合起到有效调控作用<sup>[12]</sup>,从而促进水稻生长和氮素吸收利用。硝化抑制剂与氮肥配合施用可以抑制硝化细菌的活性,使施入土壤中的氮较长时间以  $NH_4^+-N$  的形态存在<sup>[13]</sup>,由于水稻是典型的喜铵作物,所以能促进水稻对氮素的吸收利用和生物量的形成。鲁艳红等<sup>[12]</sup>在湖南典型双季稻区的研究结果表明,脲酶抑制剂 NBPT 和硝化抑制剂双氰胺 (DCD) 均有利于提高早、晚稻产量、植株氮吸收量和氮素利用效率。周旋等<sup>[14]</sup>在南方黄泥田地区水稻的研究结果表明,不同施肥模式下,配施抑制剂组合促进抽穗后干物质生产和氮素积累,提高籽粒中的养分分配比例及氮素利用效率。与上述研究结果一致,在沿淮糯稻种植地区,尿素配施 NBPT/DMPP 均增加了水稻生物

量和植株吸氮量,促进了水稻对氮素的吸收利用,提高了氮肥利用效率。

磷素营养是水稻生长发育不可缺少的重要因素,它既是构成水稻许多重要有机化合物的组成成分,同时又以多种方式参与水稻体内的代谢过程,对促进水稻生长发育和生理代谢,促进早熟、高产与优质都起着重要作用<sup>[15]</sup>。本研究结果表明,尿素配施 NBPT/DMPP 在促进水稻对氮素吸收的同时,显著增加了对磷素的吸收利用。这与前人的研究结果<sup>[14]</sup>相一致,其原因可能是,一方面,NBPT/DMPP 通过调控氮素转化速率及氮素形态,促进了水稻根系的生长,增强了根系吸收利用养分的能力;另一方面,NBPT/DMPP 能够增加土壤中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量并在一定时间内保持较高水平,水稻是喜铵作物,其根系在吸收  $\text{NH}_4^+$  时,向外排出质子以保持根系的电荷平衡,导致了根际周围 pH 值的下降,造成根际的酸化环境<sup>[13]</sup>,从而提高了土壤中固定态磷的有效性。

钾素是作物需要最多的阳离子营养元素之一,它能够促进植物光合作用及其产物的运输,并参与细胞渗透调节及有机酸的代谢。前人关于脲酶/硝化抑制剂对作物对钾素吸收的影响的研究结果并不完全一致<sup>[14,16]</sup>。周旋等<sup>[14]</sup>研究发现,不同施肥模式下,配施抑制剂组合能显著增加水稻钾吸收量;而许超等<sup>[16]</sup>研究却发现,含硝化抑制剂 DMPP 的氮肥降低了小白菜对  $\text{K}^+$  吸收。本研究结果则显示,尿素配施 NBPT/DMPP 有降低水稻对钾素吸收利用的趋势,但差异未达显著水平。其原因可能是,在抑制剂 NBPT/DMPP 作用下,土壤溶液中  $\text{NH}_4^+$  保持较高水平,而  $\text{K}^+$  与  $\text{NH}_4^+$  因具有相同的化合价及离子半径,在作物吸收上具有拮抗作用,较多的  $\text{NH}_4^+$  存在抑制了水稻对  $\text{K}^+$  的吸收<sup>[17]</sup>。

沿淮平原糯稻种植体系中,尿素配施纯氮量 1% 的脲酶抑制剂(NBPT)或硝化抑制剂(DMPP)有利于提高水稻生物量,增加水稻氮、磷吸收量,减少其在土壤中的盈余,从而有利于提高氮、磷利用效率,NBPT 效果优于 DMPP,联合施用效果最为理想,表现出协同增效作用。

#### 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.

- [2] 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.
- [3] 周 卉,田光明,李 华,等. DMPP 减少稻田土壤氮素损失的研究进展[J]. 土壤, 2013, 45(6): 964-969.
- [4] TIAN Z, WANG J J, LIU S, et al. Application effects of coated urea and urease and nitrification inhibitors on ammonia and greenhouse gas emissions from a subtropical cotton field of the Mississippi delta region[J]. Science of the Total Environment, 2015, 533: 329-338.
- [5] 刘建涛,许 靖,孙志梅,等. 氮素调控剂对不同类型土壤氮素转化的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(10): 2901-2906.
- [6] 孙永健,孙园园,徐 徽,等. 水氮管理模式与磷钾肥配施对杂交水稻冈优 725 养分吸收的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(7): 1335-1346.
- [7] SUN Y J, SUN Y Y, XU H, et al. Effects of fertilizer levels on the absorption, translocation, and distribution of phosphorus and potassium in rice cultivars with different nitrogen-use efficiencies[J]. Journal of Agricultural Science, 2016, 8(11): 38-50.
- [8] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [9] TRENKEL M E. Slow-and controlled- release stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agricultures[M]. Paris: International Fertilizer Industry Association (IFA), 2010: 56.
- [10] 苏成国,尹 斌,朱兆良,等. 稻田氮肥的氨挥发损失与稻季大气氮的湿沉降[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 1884-1888.
- [11] 王小彬, BAILEY L D, GRANT C A. 关于几种脲酶抑制剂的作用条件[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(3): 211-218.
- [12] 鲁艳红,聂 军,廖玉林,等. 氮素抑制剂对双季稻产量、氮素利用效率及土壤氮平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(1): 95-104.
- [13] 孙爱文,石元亮,张德生,等. 硝化/脲酶抑制剂在农业中的应用[J]. 土壤通报, 2004, 35(3): 357-361.
- [14] 周 旋,吴良欢,戴 锋. 生化抑制剂组合与施肥模式对黄泥田水稻养分累积及利用率的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(10): 1495-1507.
- [15] 刘传雪,潘国君,张淑华,等. 磷营养对梗稻根部性状的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(9): 178-183.
- [16] 许 超,吴良欢,张立民,等. 含硝化抑制剂 DMPP 氮肥对小白菜硝酸盐累积和营养品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 137-139.
- [17] 燕金香,李福明,徐春梅,等. 水稻氮钾吸收的交互作用研究[J]. 中国稻米, 2017, 23(2): 1-4.

(责任编辑:陈海霞)