

# 增效剂对稻田田面水氮素转化及水稻产量的影响

俞巧钢<sup>1</sup>, 胡若兰<sup>2</sup>, 叶静<sup>1</sup>, 马军伟<sup>1</sup>, 王强<sup>1</sup>, 孙万春<sup>1</sup>, 邹平<sup>1</sup>, 林辉<sup>1</sup>

(1.浙江省农业科学院环境资源与土壤肥料研究所, 杭州 310021; 2.长江大学农学院, 湖北 荆州 434023)

**摘要:** 采用田间试验的方法, 通过种植单季水稻“绍梗 18”, 研究施用添加聚天门冬氨酸、腐植酸、硝化抑制剂 DMPP(3,4—二甲基吡唑磷酸盐)等增效剂的肥料对水稻田面水氮素转化及其产量的影响。结果表明, 稻田施氮明显提高了田面水的可溶性总氮、铵态氮、硝态氮浓度。聚天门冬氨酸、DMPP、腐植酸等增效剂的施用, 水稻生育期田面水可溶性总氮平均浓度分别下降 14.1%, 15.8% 和 7.3%, 铵态氮增加 10.6%, 27.5% 和 8.6%, 硝态氮降低 31.8%, 46.7% 和 26.9%, 有助于降低氮素流失对水体环境造成的面源污染风险。增效剂聚天门冬氨酸、DMPP 和腐植酸可使水稻籽粒产量分别增加 6.2%, 7.8% 和 2.4%, 秸秆产量增加 10.8%, 6.1% 和 4.0%。添加增效剂的肥料较普通肥料可以降低田面水的总氮含量, 并且能更好地促进水稻生长, 提高水稻产量。

**关键词:** 田面水; 氮素转化; 腐植酸; 聚天门冬氨酸; DMPP

中图分类号: S143.1; S511

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)06-0288-05

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2019.06.040

## Effects of Synergist Addition on the Nitrogen Transformation of Surface Water and Rice Yield in Paddy Field

YU Qiaogang<sup>1</sup>, HU Ruolan<sup>2</sup>, YE Jing<sup>1</sup>, MA Junwei<sup>1</sup>,

WANG Qiang<sup>1</sup>, SUN Wanchun<sup>1</sup>, ZOU Ping<sup>1</sup>, LIN Hui<sup>1</sup>

(1. Institute of Environment Resource and Soil Fertilizer, Zhejiang Academy of Agricultural

Sciences, Hangzhou 310021; 2. Agricultural College, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434023)

**Abstract:** Field experiments were conducted to study the effects of synergetic addition in the fertilizers such as polyaspartic acid, humic acid, and nitrification inhibitor DMPP (3,4—dimethyl pyrazophosphate) on the nitrogen transformation of rice surface water and rice yield by planting single cropping rice “shaojing 18” in paddy field. The results showed that the total soluble nitrogen, ammonium nitrogen and nitrate nitrogen concentrations in the rice surface water were significantly increased by fertilization. With the application of synergists such as polyaspartic acid, DMPP, humic acid and so on, the average soluble total nitrogen concentration in the rice surface water decreased by 14.1%, 15.8%, and 7.3%, ammonium nitrogen increased by 10.6%, 27.5%, and 8.6%, and nitrate nitrogen declined by 31.8%, 46.7%, and 26.9%, respectively, which helped to reduce the risk of non-point source pollution caused by the nitrogen runoff loss to water environment. Polyaspartic acid, DMPP, and humic acid application increased rice grain yield by 6.2%, 7.8%, and 2.4%, and increased straw yield by 10.8%, 6.1%, and 4.0% respectively. Compared with common fertilizers, synergist addition in the fertilizers can reduce the total nitrogen content in the rice surface water, and better promote the growth of rice and increase the yield.

**Keywords:** surface water of paddy field; nitrogen transformation; humic acid; polyaspartic acid; DMPP

水稻是我国主要粮食作物, 化肥的施用对水稻高产稳产起了关键的作用<sup>[1-2]</sup>。为了追求农作物的产量, 化肥施用过量的现象较为普遍, 不仅造成资源的浪费, 而且肥效低导致很多环境问题的发生<sup>[3-5]</sup>。因此, 为了提高肥料利用率, 减少农业环境污染, 人们通过在肥料中添加增效剂改善肥料的效能, 促进作物养

分吸收, 减少流失, 使农田氮磷养分流失造成的污染得到明显改善<sup>[6-9]</sup>。水稻的生长需要大量的灌溉用水, 同时氮素也是必不可少的一大营养元素, 氮肥施用是田面水中氮素的主要来源<sup>[10]</sup>。传统最常用的氮肥尿素, 氮转化迁移速度较快, 田面水中氮素流失的机率较大, 存在对环境造成的污染风险<sup>[10-11]</sup>。

收稿日期: 2019-06-19

资助项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0800500); 浙江省重大科技专项重点农业项目(2015C02013)

第一作者: 俞巧钢(1973—), 男, 副研究员, 博士, 主要从事农田碳氮循环与环境保护研究。E-mail: yqganhzzj@sina.com

通信作者: 马军伟(1972—), 男, 研究员, 主要从事新型肥料与废弃物资源化利用研究。E-mail: majw111@126.com

聚天门冬氨酸(PASP)是一种新型可生物降解的氨基酸聚合物,属于环境友好型高分子材料,天然存在于软体动物和蜗牛壳中,无毒无污染,其在环境中极易降解为二氧化碳和水<sup>[6,12]</sup>。自 19 世纪中叶以来,PASP 已经实现了第一次人工合成,并引起了世界各大化学公司的关注。PASP 相对分子质量为 2 000~10 000,其含有很多肽键、羧基等活性基团,可以把 N、P、K 及微量元素富集在作物根系附近<sup>[6]</sup>。PASP 具有螯合、缓蚀、阻垢、保湿和分散等多种功能,延长尿素养分的持效期和改善土壤结构,有效促进作物对养分的吸收利用和降低流失,促进作物生长<sup>[12-15]</sup>。尿素添加硝化抑制剂,可有效延缓氮素的氨氧化,通过土壤氮素的形态改变降低氮素流失,提高作物产量。硝化抑制剂 3,4-二甲基吡唑磷酸盐(DMPP)能有效抑制土壤氨氧化进程,通过延长土壤铵态氮的停留时间,减少硝态氮的地表径流流失,保护河流水体等生态环境。DMPP 添加量低,抑制作用效果优于其他硝化抑制剂品种,且对作物不良的危害性十分小,已受到日益广泛的关注<sup>[16-18]</sup>。腐植酸是动植物残体遗骸,在微生物的作用转化下,经过复杂的地球化学、物理变化后形成的一类褐色或黑色的无定形高分子胶态复合物,是土壤有机质的主要成分<sup>[6,19]</sup>。腐植酸为具有多种官能团的大分子有机弱酸混合物,含有芳环和脂环基本结构,环上连有羧基、羟基、羰基、醌基、甲氧基等官能团,且含有许多对植物生长具有重要作用的活性物质<sup>[6,19-20]</sup>。

化肥添加聚天门冬氨酸、DMPP、腐植酸等氮肥增效剂,在水稻、玉米、蔬菜上已开展一些研究,取得了较好效果<sup>[7,13,15,19]</sup>。但尿素添加增效剂,以水稻为对象研究其田面水氮素转化的相对较少,且大多是在室内盆栽试验条件下获得的结论,缺乏野外田间试验的相关验证。本研究选择浙江宁绍平原区域,通过野外大田试验,种植“绍梗-18”单季水稻品种,系统对比研究普通肥料与添加聚天门冬氨酸、DMPP 和腐植酸等增效剂的肥料,对水稻田田面水氮素形态迁移转化及水稻生物产量的影响,为农业生产上优化施肥管理以及推广应用添加增效剂的新型肥料提供关键科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

试验于 2018 年 7—11 月在浙江省绍兴市(30°04'12.36"N,120°41'45.21"E)进行,该地区位于浙江省的东北部,钱塘江的南岸,宁绍平原的西部,属亚热带季风气候,四季分明,温暖湿润。供试试验地为低肥力青紫泥土壤地块,pH 5.68,有机质含量 30.2 g/kg,全氮含量 2.12 g/kg,有效磷含量 38.7 mg/kg,速效钾含量 76.8 mg/kg。供试水稻品种为“绍梗 18”,

为浙江省粳稻区广泛种植的典型单季稻。

### 1.2 试验设计

试验采用野外大田试验的方式,共设置 6 个处理,每个处理重复 3 次。试验处理为:不施氮(CK0);普通尿素(CK);添加分子量 10 000 聚天门冬氨酸尿素(PU);添加硝化抑制剂 DMPP 尿素(DP);腐植酸尿素(FU)。聚天门冬氨酸、DMPP 和腐植酸的添加量分别为 0.6%,1.0%和 0.2%。试验小区随机区组排列,面积均为 25 m<sup>2</sup>。2018 年 7 月 3 日上午施用基肥,下午进行水稻移栽;7 月 24 日进行追肥,11 月 16 日水稻收获。除不施氮处理外,其他处理施氮量相等,用量为 N 225 kg/hm<sup>2</sup>;各处理磷钾的投入量相等,用量为 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75 kg/hm<sup>2</sup>,K<sub>2</sub>O 150 kg/hm<sup>2</sup>。氮磷钾肥选用尿素、过磷酸钙、氯化钾,其中氮肥按基肥 50%和追肥 50%施用,磷肥和钾肥全部作基肥。

### 1.3 样品采集与分析方法

水稻施基肥后的第 1,3,5,7,10,15 天、追肥后第 1,3,5,7,10,15 天,每天上午 10:00 对水稻田面水进行取样。采取田面水样时小心避免扰动土层,然后取小区四周 5 处点位的上层田面水混匀后装于采样瓶中,装瓶前先用水样将采样瓶润洗 1 遍。水样过滤后测定可溶性总氮、硝态氮、铵态氮浓度及 pH。水稻收获时,测定水稻籽粒和秸秆的生物量。水样中可溶性总氮、硝态氮、铵态氮分别采用碱性过硫酸钾氧化比色法、紫外分光光度计法和靛酚蓝比色法测定。

### 1.4 数据分析

试验数据采用 SPSS 20.0 和 Microsoft Excel 2016 软件进行统计分析和绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理田面水 pH 变化

表 1 为水稻移栽后不同施肥处理稻田田面水 pH 的动态变化。不施氮处理田面水 pH 为 6.54~7.92,略高于试验前稻田耕层土壤 pH。施用肥料对稻田土壤 pH 有一定的影响,各处理在施用基肥和追肥后田面水 pH 增加,随着时间的延长总体表现为缓慢下降。CK0、CK、PU、DP 和 FU 处理水稻季田面水平均 pH 分别为 7.23,7.45,7.43,7.55,7.42,CK、PU、DP 和 FU 处理田面水的 pH 较 CK0 处理分别提高 0.22,0.20,0.32,0.19,田面水 pH 差异达到显著水平( $P<0.05$ ),说明施用氮肥时添加聚天门冬氨酸、腐植酸、DMPP 等增效剂使田面水 pH 的有所增加。

### 2.2 水稻田面水氮素浓度动态变化

从表 2 可以看出,施入氮肥的 CK、PU、DP 和 FU 处理,基肥施用后可溶性总氮的浓度在第 1 天达到较高浓度水平,随着时间的延长,可溶性总氮浓度发生快速下降,15 天后降为较低水平。在追肥施用后,CK、PU、DP 和

FU 处理的可溶性总氮的浓度在 1 天内快速增加,随着时间不断推移,浓度呈现逐渐下降的趋势,15 天后降至较低浓度水平。水稻移栽幼苗较小,氮素吸收较慢,而在追肥施用时光稻植株长势旺盛,根系较为发达,能快速吸收稻田施入的氮素,表现为追肥后田面水可溶性总氮的浓度较基肥期下降更快。在水稻生育期内,CK<sub>0</sub>、

CK、PU、DP 和 FU 处理田面水可溶性总氮浓度平均分别为 4.55,30.19,26.47,26.06,28.13 mg/L。与不施氮处理相比,施氮明显提高田面水的可溶性总氮浓度。与 CK 相比,水稻生育期 PU、DP 和 FU 处理田面水可溶性总氮平均浓度分别下降 14.1%,15.8% 和 7.3%,差异达到显著水平 ( $P < 0.05$ )。

表 1 2 次施肥后不同处理的田面水 pH 变化

处理	基肥						追肥					
	1 d	3 d	5 d	7 d	10 d	15 d	1 d	3 d	5 d	7 d	10 d	15 d
CK <sub>0</sub>	6.97d	7.16c	6.87c	7.31b	7.26b	6.54d	7.77d	7.54c	7.92a	7.61b	7.02b	6.84a
CK	7.22b	7.56a	7.15b	7.34ab	7.44a	6.85c	8.42b	7.87b	7.83a	7.75a	7.03b	6.94a
PU	7.04c	7.35b	7.08b	7.41a	7.43a	6.86c	8.46ab	8.07a	7.80ab	7.60b	7.10ab	6.98a
DP	7.63a	7.53a	7.37a	7.51a	7.37a	7.27a	8.68a	8.06a	7.65b	7.34c	7.27a	6.88a
FU	7.17bc	7.50a	7.31a	7.49a	7.49a	6.99b	8.23c	7.85b	7.57b	7.35c	7.18a	6.96a

注:同列数据后不同字母表示在  $P < 0.05$  水平差异显著。下同。

表 2 不同施肥处理田面水可溶性总氮变化

单位:mg/L

处理	基肥						追肥					
	1 d	3 d	5 d	7 d	10 d	15 d	1 d	3 d	5 d	7 d	10 d	15 d
CK <sub>0</sub>	11.54d	8.84d	6.36c	3.48c	4.51d	2.69b	3.72d	3.27d	2.97d	2.79e	2.53d	1.84c
CK	152.74a	35.29a	14.42b	7.91a	5.85c	2.82a	85.86a	25.83a	17.83a	6.89b	4.31b	2.48b
PU	132.52c	27.86c	13.97b	7.97a	6.37a	2.95a	76.21b	23.73b	15.88c	4.66d	3.69c	1.84c
DP	127.65c	25.74c	15.13a	7.24b	6.28a	2.85a	73.33c	21.39c	16.53b	7.49a	5.58a	3.52a
FU	144.33b	32.70b	15.18a	7.31b	5.98b	2.94a	78.60b	23.05b	16.05bc	5.78c	3.32c	2.36b

从表 3 可以看出,施入氮肥的 CK、PU、DP 和 FU 处理,基肥施用后的第 1 天铵态氮达到较高浓度,3 天后铵态氮浓度快速下降,15 天后降为较低水平。在追肥施用后,CK、PU、DP 和 FU 处理的铵态氮的浓度在 1 天内快速增加,随着时间不断推移,浓度呈现逐渐下降的趋势,15 天后降至较低浓度水平。在水稻生育期内,CK<sub>0</sub>、CK、PU、DP 和 FU 处理田面水铵态氮浓度平均分别为 1.33,11.15,12.34,14.22,

12.11 mg/L。与不施氮处理相比,施氮明显提高了田面水的铵态氮浓度。与 CK 相比,水稻生育期 PU、DP 和 FU 处理田面水铵态氮平均浓度分别增加 10.6%,27.5% 和 8.6%,差异达到显著水平 ( $P < 0.05$ )。铵态氮浓度的增加,表现为田面水的 pH 有所升高,这与田面水 pH 的总体变化相一致。铵态氮是水稻氮素吸收的主要形态,铵态氮浓度的增加,有助于水稻对氮素的吸收利用。

表 3 不同施肥处理下田面水铵态氮浓度变化

单位:mg/L

处理	基肥						追肥					
	1 d	3 d	5 d	7 d	10 d	15 d	1 d	3 d	5 d	7 d	10 d	15 d
CK <sub>0</sub>	0.60d	5.81d	3.95d	1.58e	2.03d	0.22c	0.47d	0.40d	0.44d	0.21d	0.19d	0.11d
CK	15.80c	14.56c	7.67c	4.06d	3.51b	0.47b	57.60c	15.78c	11.49c	1.54c	1.02c	0.28c
PU	17.28b	16.43b	9.32a	5.08c	3.65b	0.57a	61.88b	18.06a	12.61b	1.69b	1.22bc	0.25c
DP	19.31a	19.03a	8.55b	6.86a	4.13a	0.51ab	69.32a	18.56a	14.03a	5.24a	3.99a	1.06a
FU	16.13c	15.95b	8.78ab	5.47b	3.01c	0.53a	63.21b	16.19b	12.28b	1.61b	1.53b	0.62b

由表 4 可知,田面水硝态氮浓度明显低于铵态氮浓度,表明铵态氮是稻田田面水氮素的主要形态。施氮后,田面水硝态氮的浓度有所增加,CK 处理硝态氮浓度在施肥后的 1~3 天达到较高浓度,之后变化平缓。整体来看,PU、DP 和 FU 处理的硝态氮浓度相对较低。在水稻生育期内,CK<sub>0</sub>、CK、PU、DP 和 FU 处理田面水硝态氮浓度平均分别为 1.75,3.09,2.34,2.11,2.43 mg/L。与不施氮处理相比,施氮明显提高田面水的硝态氮浓度。与 CK 相比,水稻

生育期 PU、DP 和 FU 处理田面水硝态氮平均浓度分别降低 31.8%,46.7% 和 26.9%,差异达到显著水平 ( $P < 0.05$ )。

田面水中铵态氮浓度变化与可溶性总氮浓度变化相似(表 1),同样是在 2 次施肥后的第 1 天达到较高浓度。水稻生长吸收、氨挥发、硝化、反硝化等过程的共同作用下,铵态氮浓度随时间的推移呈逐渐下降趋势。这表明田面水以铵态氮为形态的相对流失潜在在经历一个相对最大值后随时间逐渐降低,15 天

后降至较低浓度水平。施用追肥后第 1 天的浓度较基肥施用后的第 1 天明显偏高,这可能与施基肥后土壤进行芸田而追肥时直接撒于田面水表层有关。水

稻田为淹水状态,土壤中氧化还原电位较低,不利于土壤氮素硝化反应的进行,故田面水中硝态氮含量较低,铵态氮成为田面水氮素的主要形态。

表 4 不同施肥处理下田面水硝态氮浓度变化

单位:mg/L

处理	基肥						追肥					
	1 d	3 d	5 d	7 d	10 d	15 d	1 d	3 d	5 d	7 d	10 d	15 d
CK0	1.32d	1.45d	2.17c	1.63a	2.33ab	2.10bc	2.16e	1.75d	1.49d	1.57e	1.34c	1.72b
CK	2.43a	3.67a	2.65a	1.66a	2.28b	2.32a	5.96a	4.43a	3.17a	3.34a	3.15a	2.02a
PU	1.47d	2.31c	2.56b	1.51b	2.50a	2.33a	3.47d	3.13b	2.47bc	2.93b	2.09b	1.36c
DP	1.78c	2.35c	2.23c	1.52b	1.83c	2.18b	3.74c	2.04c	2.42c	2.19d	1.53c	1.47c
FU	1.91b	2.90b	2.47b	1.54ab	2.02c	2.08c	4.64b	3.14b	2.53b	2.68c	1.56c	1.73b

### 2.3 不同施肥处理水稻产量

从图 1 可以看出,不施氮处理籽粒和秸秆产量最低。施用肥料则明显增加水稻籽粒和秸秆的产量。与 CK 处理相比,DP 处理籽粒和秸秆产量分别增产 7.8% 和 10.8%,达到显著水平( $P < 0.05$ )。PU 处理籽粒与秸秆产量较 CK 处理分别提高 6.2% 和 6.1%,达到显著水平( $P < 0.05$ )。FU 处理籽粒与秸秆产量较 CK 处理分别提高 2.4% 和 4.0%。施肥处理中,DP 处理的籽粒与秸秆产量最高,其次是 PU 和 FU 处理。

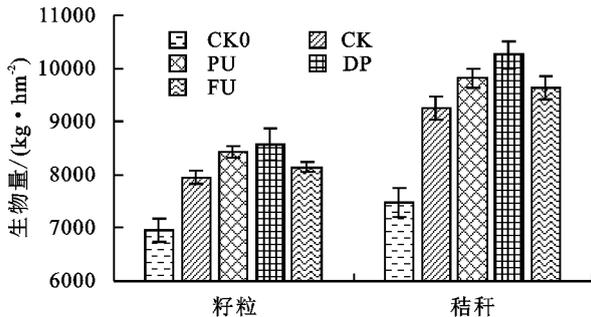


图 1 水稻籽粒与秸秆产量

## 3 讨论

稻田施氮可以显著提高田面水氮素含量,尤其是铵态氮和可溶性总氮含量。施氮后田面水铵态氮和可溶性总氮含量快速增加,并随时间的推移逐渐下降,硝态氮含量的变化存在一定的滞后性。尿素施入土壤后,在脲酶作用下发生水解转化为铵态氮,之后通过硝化作用形成硝态氮。本研究发现,施肥的后 5 天内,尤其是在基肥施入后的时期,田面水可溶性总氮含量较高,是控制田面水氮素流失的关键时期。这是因为水稻在苗期植株较小,根系尚未发育完全,对氮素的需求量也较小,田面水氮素含量高而流失潜能较大<sup>[2,5,10]</sup>。较普通尿素处理,添加聚天门冬氨酸、DMPP、腐植酸等增效剂,均可以有效降低稻田田面水氮素含量,降低氮素流失的风险。

本研究表明,稻田施用添加聚天门冬氨酸增效剂的尿素,可以有效增加铵态氮含量,降低硝态氮含量,延缓氨氧化的进行,降低稻田田面水可溶性总氮含

量。其原因可能与聚天门冬氨酸的作用有关:聚天门冬氨酸施入到土壤后,能够有效抑制土壤中铵态氮向硝态氮的转化,提高土壤对硝态氮与铵态氮的固持能力<sup>[7,14]</sup>;聚天门冬氨酸可以与位于铵氧化酶活性位点的铜离子相结合而降低其活性,且其含有的羧基基团可进一步与铵根离子发生螯合作用,减缓铵的氧化作用,从而抑制铵态氮向硝态氮的转化<sup>[7]</sup>;含有的氨基与羧基基团使其具有较强的阴离子与阳离子结合作用,施入到土壤后可以螯合土壤中的铵根离子与硝酸根离子,降低土壤硝态氮与铵态氮向田面水体的迁移释放,进而使田面水中总氮含量降低<sup>[7,12-13]</sup>。

硝化抑制剂施入土壤后,能显著抑制土壤中亚硝化、硝化和反硝化进程,使土壤铵态氮向硝态氮和亚硝态氮的转化过程受阻<sup>[16]</sup>。已有研究<sup>[8,16]</sup>表明,旱地施用硝化抑制剂可使土壤中较长时间保持较高的铵态氮含量,减少硝态氮的累积,进而使硝态氮的反硝化与淋溶损失明显减少。此外,土壤胶体能有效吸附固定正电荷的铵态氮,而对负电荷的硝态氮难以吸附而起排斥作用。本研究结果与此相似,稻田施用硝化抑制剂 DMPP,可通过抑制硝化反应的进程明显提升田面水的铵态氮含量,降低田面水的硝态氮含量,氮素流失潜能下降。应用硝化抑制剂,降低土壤硝化率,有利于降低稻田土壤氮素向田面水体的释放迁移,减轻氮素径流流失风险<sup>[17]</sup>。

本试验表明,添加腐植酸增效剂的尿素施用于稻田,对田面水铵态氮与硝态氮的存在形态发生影响,提高铵态氮含量,减少硝态氮含量。这可能是因为腐植酸含有的羧基、酚羟基等官能团能有效固定吸附氮素,氧化降解后的含硝基腐植酸,还可抑制脲酶活性,降低氮素向田面水体的迁移释放,进而减少稻田土壤氮素的径流与挥发损失<sup>[20-22]</sup>。腐植酸还可促进土壤微生物的生长,进而增强土壤微生物对氮素的固定能力,促使更多氮素固定于土壤,减弱其向水体的迁移释放和流失<sup>[22]</sup>。此外,腐植酸含有多种活性功能物质,可增强作物体内过氧化氢酶和多酚氧化酶的活性;刺激水稻作物生理代谢,根系分裂生长加强,使水稻吸收养分

能力增加,降低田面水中的氮素含量<sup>[9,20]</sup>。

田间试验结果表明,较普通尿素处理,各增效剂的添加施用均可促进水稻生长,在一定程度上提高水稻籽粒、秸秆的产量。这是因为水稻为喜铵作物,铵态氮是其氮素吸收的主要形态,DMPP 可有效抑制土壤氨氧化进程,提高铵态氮含量,促进水稻对铵态氮的吸收,提高其产量<sup>[16-17]</sup>。聚天门冬氨酸含有肽键和羧基等活性物质,可以把氮磷钾及微量元素富集水稻根系附近,促进水稻对氮素的吸收利用和生长发育,从而增加产量<sup>[7,14]</sup>。腐植酸含有多种官能团和许多活性物质,能有效吸附固定土壤铵态氮,提高水稻对氮素的吸收和生长发育,在活化土壤养分、促进作物生长发育、提高作物产量和肥料利用率等方面具有较好效果<sup>[22]</sup>。

## 4 结论

稻田施肥明显提高田面水的可溶性总氮、铵态氮、硝态氮含量,施肥后的 5 天内是氮素流失的高风险时期。稻田施用添加聚天门冬氨酸、DMPP、腐植酸等增效剂的尿素,水稻生育期田面水可溶性总氮平均浓度分别下降 14.1%,15.8%和 7.3%,铵态氮平均浓度分别增加 10.6%,27.5%和 8.6%,硝态氮平均浓度分别降低 31.8%,46.7%和 26.9%,有助于降低总无机氮素流失的风险,减轻氮素径流损失对水体环境造成的面源污染。与常规尿素处理相比,添加天门冬氨酸、DMPP 和腐植酸可使水稻籽粒产量分别增加 6.2%,7.8%和 2.4%,秸秆产量增加 10.8%,6.1%和 4.0%。聚天门冬氨酸、DMPP 和腐植酸等增效剂的施用,可一定程度提高水稻生物产量。

### 参考文献:

- [1] 姚单君,张爱华,杨爽,等.新型氮肥对水稻产量养分积累及吸收利用的影响[J].西南农业学报,2018,31(10):2121-2126.
- [2] 肖雪玉,朱文博,杨丹,等.施用控释氮肥对早稻田面水氮素动态变化和产量影响[J].生态环境学报,2018,27(12):2252-2257.
- [3] Huang J, Xu C C, Ridoutt B G, et al. Nitrogen and phosphorus losses and eutrophication potential associated with fertilizer application to cropland in China[J]. Journal of Cleaner Production,2017,159:171-179.
- [4] 俞巧钢,叶静,马军伟,等.不同施氮水平下油菜地土壤氮素径流流失特征研究[J].水土保持学报,2011,25(3):22-25.
- [5] 吕亚敏,吴玉红,李洪达,等.减肥措施对稻田田面水氮、磷动态变化特征的影响[J].生态与农村环境学报,2018,34(4):349-355.
- [6] 杨晋辉,刘泰,陈艳雪,等.聚天门冬氨酸/盐的合成、改性及应用研究进展[J].材料导报,2018,32(11):1852-1862.
- [7] 陈秉翼.聚天门冬氨酸/盐(PASP)尿素与改性尿素对农作物增效机制研究[D].石家庄:石家庄铁道大学,2016.
- [8] 俞巧钢,陈英旭,张秋玲,等.DMPP 对菜地土壤氮素流失的影响研究[J].水土保持学报,2006,20(4):40-43.
- [9] Pavlovich L B, Strakhov V M. Effect of humic fertilizers from brown coal on the mineral composition of vegetable crops[J].Solid Fuel Chemistry,2018,52(3):206-210.
- [10] 柳玉龙,卢小遮,龚峰景,等.稻田施肥后面面水氮素动态变化特征[J].江苏农业科学,2017,45(21):268-271.
- [11] 陈亚宇.不同施肥深度对水稻氮磷钾动态变化及生长和产量的影响[D].长沙:湖南农业大学,2015.
- [12] 孙克刚,和爱玲,张运红,等.聚天门冬氨酸包裹尿素对冬小麦增产效果研究[J].中国土壤与肥料,2015(4):128-131.
- [13] Deng F, Wang L, Mei X F, et al. Polyaspartic acid (PASP)-urea and optimised nitrogen management increase the grain nitrogen concentration of rice[J].Scientific Reports,2019,9:313-324.
- [14] 董世杰,鲁屹,唐婉莹,等.聚天门冬氨酸钙盐对水稻田面水中三氮动态变化的影响[J].水土保持学报,2018,32(6):208-213, 221.
- [15] 唐会会,许艳丽,王庆燕,等.聚天门冬氨酸螯合氮肥减量基肥对东北春玉米的增效机制[J].作物学报,2019,45(3):431-442.
- [16] Zerulla W, Barth T, Dressel J, et al. 3,4-dimethylpyrazole phosphate a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture[J].Biology and Fertility of Soils,2001,34:118-125.
- [17] Yu Q G, Ma J W, Sun W C, et al. Influences of nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate on heavy metals and inorganic nitrogen transformation in the rice field surface water[J].Water, Air, and Soil Pollution,2017,228:126-136.
- [18] 殷建祯,俞巧钢,符建荣,等.不同 DMPP 添加水平对土壤有机氮素转化的影响[J].水土保持学报,2012,26(6):111-115.
- [19] 王乐,康建宏,梁熠,等.控释/普通尿素配施对春玉米籽粒灌浆特性及产量的影响[J].核农学报,2018,32(10):2054-2061.
- [20] Lorenc-Grabowska E, Gryglewicz G. Adsorption of lignite-derived humic acids on coal-based mesoporous activated carbons[J].Journal of Colloid and Interface Science,2005,284(2):416-423.
- [21] Dong L, Córdova-Kreylos A L, Yang J, et al. Humic acids buffer the effects of urea on soil ammonia oxidizers and potential nitrification[J].Soil Biology and Biochemistry,2009,41(8):1612-1621.
- [22] 张水勤,袁亮,林治安,等.腐植酸促进植物生长的机理研究进展[J].植物营养与肥料学报,2017,23(4):1065-1076.