

## 控释氮肥对稻油产量及氮肥利用的影响

袁嫚嫚<sup>1</sup>, 姜振升<sup>2</sup>, 孙义祥<sup>1</sup>, 叶舒娅<sup>1</sup>, 李敏<sup>1</sup>, 刘枫<sup>1\*</sup>

(1. 安徽省农业科学院土壤肥料研究所, 合肥 230031; 2. 国家缓控释肥工程技术研究中心, 临沂 276000)

**摘要:** 在 2009-2011 年连续 3 年 4 季田间试验条件下, 研究树脂包膜尿素和普通尿素不同掺混比例对水稻-油菜轮作系统中的作物产量和氮肥利用率的影响。结果表明, 与当地农民习惯施用普通尿素处理(N 180 kg·hm<sup>-2</sup>)相比, 等氮量下控释氮肥与普通尿素用量为 7:3 的控释氮肥处理水稻和油菜增产效果最好, 平均产量分别为 9 934 和 2 117 kg·hm<sup>-2</sup>, 增产 7.00% 和 17.03%; 控释氮肥处理水稻和油菜的氮肥吸收利用率平均分别增加 9.76 ~ 25.84 和 3.85 ~ 10.67 个百分点, 氮肥农学利用率和偏生产力也有显著增加。

**关键词:** 水稻; 油菜; 控释氮肥; 产量; 氮肥利用

中图分类号: S143.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2013)06-1028-06

### Effects of different mixture ratios of polyester resin-coated urea to prilled urea on yield and nitrogen efficiency under rice-rape rotation

YUAN Man-man<sup>1</sup>, JIANG Zhen-sheng<sup>2</sup>, SUN Yi-xiang<sup>1</sup>, YE Shu-ya<sup>1</sup>, LI Min<sup>1</sup>, LIU Feng<sup>1</sup>

(1. Institute of Soil and Fertilizer, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031;

2. National Engineering Technology Research Center for CRF, Linyi 276000)

**Abstract:** The effects of different mixture ratios of polyester resin-coated urea (PCU) to prilled urea (PU) on yield and nitrogen (N) efficiency under rice-rape rotation was investigated via field experiments during 2009 - 2011. The results showed that compared to the treatments of PU at the N application rate of 180 kg·hm<sup>-2</sup> as conventional management practices for local famers, the average yields of rice and rape were 9 934 and 2 117 kg·hm<sup>-2</sup> under the treatment of PCU mixed with PU (PCU: PU, 126: 54 kg·hm<sup>-2</sup>), which significantly increased by 7.00% and 17.03%, respectively. The application of PCU significantly increased N uptake efficiency for rice and rape by 9.76%-25.84% and 3.85%-10.67%, respectively, as compared to the conventional practices. These results indicated the N agronomy efficiency and N partial factor productivity were significantly improved with the mixed application of PCU.

**Key words:** rice; rape; controlled release fertilizer; yield; utilization of nitrogen

水稻-油菜轮作是我国江淮之间及以南地区主要的耕作方式。随着水稻和油菜产量不断提高, 化肥施用量也逐渐增加。尤其氮肥过量施用, 不仅造成资源浪费, 降低了氮肥利用率, 还会引起面源和地下水污染等环境问题<sup>[1-3]</sup>。

近年来, 控释氮肥等新型肥料的研究、应用成为国内外学者关注的热点。研究表明, 控释氮肥的应用效果受地域、土壤类型、作物和施肥方式等因素的影响<sup>[4]</sup>。适宜的控释氮肥用量可以增加小麦<sup>[5]</sup>、

水稻<sup>[6-7]</sup>和油菜<sup>[8]</sup>等作物产量, 提高了籽粒含氮量、氮素积累量和氮肥吸收利用率; 降低了对大气、土壤和水的环境压力<sup>[9]</sup>。国际上通用的氮肥利用率定量指标如氮肥吸收利用率、氮肥生理利用率、氮肥农学利用率和氮肥偏生产力<sup>[10]</sup>等从不同侧面描述了作物的氮肥利用效率。国内研究多关注氮肥吸收利用率或农学利用率<sup>[6-8]</sup>, 有关控释氮肥对水稻-油菜轮作系统中不同氮肥利用效率表征指标影响的报道较少。作者通过多年定位试验, 研究不同控释氮

收稿日期: 2013-03-06

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划(2011BAD11B02)资助。

作者简介: 袁嫚嫚, 女, 助理研究员。E-mail: mmyuan09@163.com

\* 通信作者: 刘枫, 男, 研究员。

肥用量、控释尿素与普通尿素运筹对水稻-油菜产量及氮肥利用效率的影响, 以期为长江中下游水旱轮作体系控释氮肥适宜用量与施用方式的确定提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试验地概况

水稻品种为两系超级杂交稻 88s/0293, 油菜品种为核油 46。供试控释氮肥为山东金正生态工程有限公司生产的树脂包膜尿素, 含氮量为 42%; 普通尿素含氮量为 46%。

试验于 2009 年 5 月至 2011 年 5 月在安徽省芜

湖县六郎镇东八村进行。供试土壤为河流冲积物发育形成的灰砂泥田。0~20 cm 土壤基本理化性质: 全氮 2.26 g·kg<sup>-1</sup>, 全磷 0.60 g·kg<sup>-1</sup>, 有机质 22.6 g·kg<sup>-1</sup>, 碱解氮 113.2 mg·kg<sup>-1</sup>, 速效磷 27.2 mg·kg<sup>-1</sup>, 速效钾 161.2 mg·kg<sup>-1</sup>, 缓效钾 329.5 mg·kg<sup>-1</sup>, pH 值 6.1。

### 1.2 试验设计

水稻-油菜定位轮作 3 年 4 季试验, 设置 7 个处理 (表 1), 每个试验处理 3 个重复小区, 小区面积 20 m<sup>2</sup>, 随机区组排列。每个试验处理 3 个重复小区的水稻和油菜采用相同的施肥量和施肥方式。水稻和油菜磷、钾肥全部基施, 磷肥 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 90 kg·hm<sup>-2</sup>, 钾肥 (K<sub>2</sub>O) 100 kg·hm<sup>-2</sup>。

表 1 试验设计及施肥  
Table 1 Scheme of experiment

处理代号 Treatment code	氮肥施用/kg·hm <sup>-2</sup> Nitrogen application
CK	对照, 不施氮肥
PM100%	一次性施肥, 施尿素, N 180, 基肥
PU100%	两次施肥, 当地农民习惯施肥方法, 施尿素 N 180, 基肥: 追肥 6:4
PCU70%	一次性施肥, 施控释氮肥, N 126, 基肥
PCU42%+PU28%	两次施肥, N 126, 基肥为控释氮肥, 氮量 75.6, 追肥为尿素, 氮量 50.4
PCU70%+PU30%	一次性施肥, N 180, 控释氮肥 N 126, 尿素 N 54, 掺混作为基肥
PCU50%+PU50%	一次性施肥, N 180, 控释氮肥 N 90, 尿素 N 90, 掺混作为基肥

水稻季: 2009 年 5 月 5 日播种, 6 月 9 日移栽同时施基肥, 6 月 20 日追分蘖肥, 9 月 20 日收获; 2010 年 5 月 8 日播种, 6 月 12 日移栽同时施基肥, 6 月 19 日施分蘖肥, 9 月 30 日收获。株距×行距为 17 cm×24 cm, 种植密度为 2.45×10<sup>5</sup> 穴·hm<sup>-2</sup>。

油菜季: 2009 年 10 月 12 日移栽施基肥, 2010 年 3 月 10 日追薹肥, 2010 年 6 月 2 日收获; 2010 年 10 月 8 日移栽施基肥, 2010 年 3 月 15 日追薹肥, 2011 年 5 月 27 日收获。种植密度为 5.7×10<sup>4</sup> 株·hm<sup>-2</sup>。

### 1.3 测定项目与方法

水稻和油菜成熟后, 收获小区全部籽粒测产, 同时取 500 g 收获的籽粒, 风干后测定含水量, 计算籽粒风干实际产量。每个小区采 3 穴水稻或 3 株油菜地上部进行考种, 65℃烘干, 分别称籽粒和秸秆干重后粉碎, 其中油菜籽粒脱粒后, 将果壳和秸秆混匀粉碎作为秸秆样品。粉碎后的作物样品用 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 消煮, 以流动分析仪 AAIII 测定其全氮含量。

### 1.4 数据处理与统计分析

通过以下公式计算作物库容量及氮肥利用率<sup>[10]</sup>关系:

库容量=单位土地面积穗数×每穗结实数

吸氮量=干物质重量×氮素含量

氮素收获指数=籽粒吸氮量/地上部吸氮量

氮肥吸收利用率(%)=(施氮处理地上部吸氮量-不施氮区地上部吸氮量)/施氮量×100

氮肥生理效率=(施氮区产量-不施氮区产量)/(施氮区吸氮量-不施氮区吸氮量)

氮肥农学效率=(施氮区产量-不施氮区产量)/施氮量

氮肥偏生产力=施氮处理产量/施氮量

应用 SPSS17.0 统计分析软件进行单因素 ANOVA 分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 控释氮肥对稻油产量及构成因素的影响

与不施氮肥的 CK 相比, 施氮肥可显著提高水稻和油菜产量 (表 2)。

在 2009 年稻季, 施控释氮肥处理 (PCU70%、PCU42%+PU28%、PCU70%+PU30% 和 PCU50%+PU50%) 籽粒产量均显著高于一次性基施普通尿素处理 (PM100%), 分别比当地农民习惯施普通尿素处理 (PU100%) 增产 3.05%、0.50%、6.59% 和 8.11%。2010 年施控释氮肥处理 (PCU42%+PU28%、

PCU70%+PU30%和PCU50%+PU50%)籽粒产量,分别比PU100%增产0.76%、7.45%和1.72%,其中PCU70%+PU30%增产达显著水平。在相同氮肥用量和施用方式下,2010年水稻产量比2009年低,这可能与2010年水稻成熟期受“圆规”和“狮子山”等台风影响,部分水稻由于穗重倒伏,造成减产有关。

水稻控释氮肥处理比PM100%和PU100%提高了每穗实粒数,水稻穗数和千粒重则增加不明显。2009年水稻库容量表现为随产量增加而增加的趋势,2010年水稻群体库容量与籽粒产量呈显著正相关(相关系数为0.95)。因此,不同处理产量差异主要取决于库容量。

与CK、PM100%和PU100%相比,油菜PCU70%+PU30%和PCU50%+PU50%平均产量增幅为6.44%~188.74%。油菜PCU70%和PCU42%+PU28%平均产量低于PU100%。可能是油菜的生长期长,减少了氮肥用量,不能满足油菜生长需要。

油菜PCU70%+PU30%和PCU50%+PU50%比其他处理提高了油菜荚数;油菜每荚实粒数和千粒重各处间差异不大。油菜群体库容量与其籽粒产量呈显著性正相关(两季相关系数均为0.98)。因此,水稻和油菜产量均与库容量呈正相关,说明构成群体库容量的水稻穗数和穗粒数,油菜种植密度、荚数和每荚粒数是决定籽粒产量的主要因素。

表2 不同氮肥处理的稻油产量及构成因素

Table 2 Yield and its compositions of rice and rape with nitrogen fertilizer treatments

作物 Crop	处理 Treatment	籽粒产量 /kg·hm <sup>-2</sup> Yield	穗数(荚数) (×10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> ) Panicle number	每穗实粒数 (每荚实粒数) Filled grains per panicle	千粒重/g 1000-kernel weight	库容量 (×10 <sup>7</sup> /hm <sup>2</sup> ) Storage capacity
2009年稻季 Rice season in 2009	CK	8070±58 <sup>c</sup>	219.0±7.8 <sup>c</sup>	125.5±2.8 <sup>d</sup>	27.6±1.2 <sup>c</sup>	27.5±1.1 <sup>d</sup>
	PM100%	9701±50 <sup>b</sup>	242.6±3.5 <sup>bc</sup>	129.4±5.2 <sup>cd</sup>	29.0±1.2 <sup>b</sup>	31.4±1.7 <sup>c</sup>
	PU100%	9851±116 <sup>ab</sup>	226.5±1.6 <sup>de</sup>	138.2±4.6 <sup>c</sup>	27.8±1.1 <sup>c</sup>	31.3±1.3 <sup>c</sup>
	PCU70%	10151±256 <sup>ab</sup>	251.8±8.3 <sup>ab</sup>	139.5±6.3 <sup>c</sup>	30.2±1.3 <sup>a</sup>	35.2±2.7 <sup>b</sup>
	PCU42%+PU28%	9900±797 <sup>ab</sup>	239.8±7.3 <sup>c</sup>	150.7±13.1 <sup>b</sup>	27.1±1.1 <sup>c</sup>	36.2±3.9 <sup>b</sup>
	PCU70%+PU30%	10500±520 <sup>ab</sup>	229.8±3.8 <sup>d</sup>	164.9±2.5 <sup>a</sup>	27.1±1.1 <sup>c</sup>	37.9±1.2 <sup>b</sup>
PCU50%+PU50%	10650±116 <sup>a</sup>	260.6±9.3 <sup>a</sup>	166.1±2.6 <sup>a</sup>	29.0±1.1 <sup>b</sup>	43.3±2.0 <sup>a</sup>	
2009~2010年 油菜季 Rape season in 2009-2010	CK	1033±76 <sup>f</sup>	1739±117 <sup>d</sup>	16.8±1.2 <sup>c</sup>	2.8±0.1 <sup>b</sup>	29.3±3.7 <sup>d</sup>
	PM100%	1266±76 <sup>e</sup>	1986±160 <sup>d</sup>	23.4±1.7 <sup>a</sup>	3.0±0.1 <sup>ab</sup>	46.2±0.6 <sup>c</sup>
	PU100%	1700±87 <sup>bc</sup>	2968±157 <sup>c</sup>	19.8±1.6 <sup>b</sup>	3.2±0.3 <sup>ab</sup>	58.9±7.6 <sup>b</sup>
	PCU70%	1533±104 <sup>d</sup>	2898±126 <sup>c</sup>	19.4±1.1 <sup>bc</sup>	3.0±0.2 <sup>ab</sup>	56.2±3.2 <sup>bc</sup>
	PCU42%+PU28%	1583±29 <sup>cd</sup>	3083±194 <sup>bc</sup>	18.0±1.2 <sup>bc</sup>	3.2±0.2 <sup>a</sup>	55.7±6.9 <sup>bc</sup>
	PCU70%+PU30%	2100±50 <sup>a</sup>	3624±163 <sup>a</sup>	20.3±1.7 <sup>b</sup>	3.1±0.2 <sup>ab</sup>	73.6±7.3 <sup>a</sup>
PCU50%+PU50%	1800±50 <sup>b</sup>	3318±85 <sup>b</sup>	19.7±1.2 <sup>b</sup>	3.1±0.1 <sup>ab</sup>	65.5±5.5 <sup>ab</sup>	
2010年稻季 Rice season in 2010	CK	7183±29 <sup>d</sup>	207.3±8.6 <sup>c</sup>	131.9±8.5 <sup>e</sup>	26.4±0.4 <sup>a</sup>	27.3±2.1 <sup>e</sup>
	PM100%	8167±275 <sup>c</sup>	220.1±3.9 <sup>bc</sup>	146.3±7.0 <sup>d</sup>	27.0±0.3 <sup>a</sup>	32.2±1.7 <sup>d</sup>
	PU100%	8717±225 <sup>bc</sup>	251.0±14.9 <sup>a</sup>	150.0±5.3 <sup>cd</sup>	26.7±0.3 <sup>a</sup>	36.7±1.8 <sup>c</sup>
	PCU70%	8300±350 <sup>bc</sup>	239.3±9.2 <sup>a</sup>	157.8±6.7 <sup>bc</sup>	26.5±0.7 <sup>a</sup>	37.7±0.9 <sup>bc</sup>
	PCU42%+PU28%	8783±144 <sup>ab</sup>	236.4±12.2 <sup>ab</sup>	163.3±6.5 <sup>ab</sup>	27.0±1.4 <sup>a</sup>	38.7±3.5 <sup>abc</sup>
	PCU70%+PU30%	9367±558 <sup>a</sup>	247.3±5.9 <sup>a</sup>	171.4±6.5 <sup>a</sup>	27.6±1.1 <sup>a</sup>	42.4±2.6 <sup>a</sup>
PCU50%+PU50%	8867±247 <sup>ab</sup>	245.1±8.4 <sup>a</sup>	168.9±3.7 <sup>a</sup>	27.5±1.5 <sup>a</sup>	41.4±1.9 <sup>ab</sup>	
2010~2011 油菜季 Rape season in 2010-2011	CK	433±382 <sup>d</sup>	1473±495 <sup>c</sup>	16.47±0.84 <sup>a</sup>	2.9±0.1 <sup>c</sup>	24.0±7.2 <sup>b</sup>
	PM100%	1600±50 <sup>c</sup>	2782±80 <sup>b</sup>	21.40±4.20 <sup>a</sup>	2.9±0.1 <sup>bc</sup>	59.4±11.3 <sup>a</sup>
	PU100%	1917±126 <sup>abc</sup>	3437±74 <sup>a</sup>	18.93±1.94 <sup>a</sup>	3.0±0.1 <sup>abc</sup>	65.2±8.0 <sup>a</sup>
	PCU70%	1750±180 <sup>bc</sup>	3234±43 <sup>a</sup>	20.20±2.46 <sup>a</sup>	2.9±0.1 <sup>c</sup>	65.3±7.1 <sup>a</sup>
	PCU42%+PU28%	1867±76 <sup>abc</sup>	3494±168 <sup>a</sup>	17.53±3.50 <sup>a</sup>	2.8±0.2 <sup>c</sup>	61.2±12.0 <sup>a</sup>
	PCU70%+PU30%	2133±104 <sup>a</sup>	3545±255 <sup>a</sup>	19.87±2.23 <sup>a</sup>	3.1±0.1 <sup>ab</sup>	70.1±3.7 <sup>a</sup>
PCU50%+PU50%	2050±100 <sup>ab</sup>	3279±98 <sup>a</sup>	20.30±3.64 <sup>a</sup>	3.3±0.2 <sup>a</sup>	66.8±13.7 <sup>a</sup>	

注: 同列数值后不同字母表示5%差异显著水平。下同。

Note: Values followed by different letters within each column are significantly different at 5% probability level. The same below.

表 3 不同氮肥处理的稻油吸氮量及氮素分布  
Table 3 Nitrogen uptake and harvesting index under rice and rape with nitrogen treatments

作物 Crop	处理 Treatment	籽粒吸氮量/kg·hm <sup>-2</sup> N uptake of grain	秸秆吸氮量/kg·hm <sup>-2</sup> N uptake of straw	地上部吸氮量/kg·hm <sup>-2</sup> N uptake of shoot	氮素收获指数 N harvesting index
2009 年稻季 Rice season in 2009	CK	71.0±0.5 <sup>c</sup>	37.5±1.2 <sup>a</sup>	108.5±0.9 <sup>c</sup>	0.65±0.01 <sup>c</sup>
	PM100%	109.2±0.6 <sup>b</sup>	39.7±0.7 <sup>a</sup>	148.9±1.0 <sup>b</sup>	0.73±0.01 <sup>b</sup>
	PU100%	109.2±1.3 <sup>b</sup>	38.7±1.4 <sup>a</sup>	147.9±1.2 <sup>b</sup>	0.74±0.01 <sup>b</sup>
	PCU70%	126.7±2.8 <sup>a</sup>	37.9±2.1 <sup>a</sup>	164.6±0.9 <sup>a</sup>	0.77±0.01 <sup>ab</sup>
	PCU42%+PU28%	122.0±9.8 <sup>a</sup>	36.0±3.9 <sup>a</sup>	157.9±9.2 <sup>a</sup>	0.77±0.03 <sup>a</sup>
	PCU70%+PU30%	128.1±6.3 <sup>a</sup>	37.2±3.3 <sup>a</sup>	165.3±6.7 <sup>a</sup>	0.78±0.02 <sup>a</sup>
	PCU50%+PU50%	123.7±1.3 <sup>a</sup>	38.3±2.0 <sup>a</sup>	162.1±2.7 <sup>a</sup>	0.76±0.01 <sup>ab</sup>
2009~2010 年 油菜季 Rape season in 2009-2010	CK	25.7±1.1 <sup>e</sup>	12.0±1.5 <sup>f</sup>	37.7±2.1 <sup>e</sup>	0.68±0.03 <sup>a</sup>
	PM100%	37.7±2.1 <sup>d</sup>	20.4±3.0 <sup>e</sup>	58.1±2.5 <sup>d</sup>	0.65±0.04 <sup>a</sup>
	PU100%	51.1±3.9 <sup>bc</sup>	27.0±0.9 <sup>bc</sup>	78.1±4.3 <sup>b</sup>	0.65±0.02 <sup>a</sup>
	PCU70%	47.1±6.1 <sup>c</sup>	24.3±1.8 <sup>cd</sup>	71.4±6.7 <sup>c</sup>	0.66±0.03 <sup>a</sup>
	PCU42%+PU28%	47.8±1.0 <sup>c</sup>	23.0±0.4 <sup>de</sup>	70.8±1.2 <sup>c</sup>	0.68±0.01 <sup>a</sup>
	PCU70%+PU30%	63.6±2.3 <sup>a</sup>	32.1±1.9 <sup>a</sup>	95.8±0.5 <sup>a</sup>	0.66±0.02 <sup>a</sup>
	PCU50%+PU50%	54.3±0.9 <sup>b</sup>	29.5±3.0 <sup>ab</sup>	83.9±2.7 <sup>b</sup>	0.65±0.03 <sup>a</sup>
2010 年稻季 Rice season in 2010	CK	107.9±0.4 <sup>c</sup>	49.3±0.1 <sup>c</sup>	157.2±0.4 <sup>f</sup>	0.69±0.01 <sup>bc</sup>
	PM100%	130.6±4.4 <sup>b</sup>	49.3±1.5 <sup>c</sup>	179.9±4.3 <sup>e</sup>	0.73±0.01 <sup>a</sup>
	PU100%	128.8±3.3 <sup>b</sup>	61.5±0.9 <sup>b</sup>	190.3±3.4 <sup>d</sup>	0.68±0.01 <sup>c</sup>
	PCU70%	131.5±5.5 <sup>b</sup>	69.7±1.7 <sup>a</sup>	201.2±4.1 <sup>c</sup>	0.65±0.02 <sup>d</sup>
	PCU42%+PU28%	151.1±2.5 <sup>a</sup>	72.6±1.1 <sup>a</sup>	223.6±2.5 <sup>a</sup>	0.68±0.01 <sup>c</sup>
	PCU70%+PU30%	155.7±9.3 <sup>a</sup>	60.9±3.4 <sup>b</sup>	216.6±7.4 <sup>ab</sup>	0.72±0.02 <sup>a</sup>
	PCU50%+PU50%	150.1±4.2 <sup>a</sup>	61.0±1.4 <sup>b</sup>	211.1±4.2 <sup>b</sup>	0.71±0.01 <sup>ab</sup>
2010~2011 油菜季 Rape season in 2010-2011	CK	10.7±8.1 <sup>c</sup>	8.6±1.2 <sup>d</sup>	16.1±10.4 <sup>d</sup>	0.66±0.14 <sup>a</sup>
	PM100%	42.1±6.3 <sup>b</sup>	19.9±1.8 <sup>c</sup>	62.1±6.8 <sup>c</sup>	0.68±0.05 <sup>a</sup>
	PU100%	56.8±3.6 <sup>a</sup>	30.6±2.7 <sup>a</sup>	83.9±3.7 <sup>ab</sup>	0.68±0.02 <sup>a</sup>
	PCU70%	50.6±4.3 <sup>ab</sup>	25.2±4.1 <sup>b</sup>	74.7±4.3 <sup>b</sup>	0.68±0.03 <sup>a</sup>
	PCU42%+PU28%	58.0±2.5 <sup>a</sup>	28.6±2.2 <sup>ab</sup>	85.7±3.0 <sup>ab</sup>	0.68±0.01 <sup>a</sup>
	PCU70%+PU30%	65.6±13.2 <sup>a</sup>	32.1±2.7 <sup>a</sup>	96.9±19.5 <sup>a</sup>	0.68±0.01 <sup>a</sup>
	PCU50%+PU50%	62.3±7.8 <sup>a</sup>	30.6±0.7 <sup>a</sup>	92.0±11.4 <sup>a</sup>	0.68±0.02 <sup>a</sup>

## 2.2 控释氮肥对稻油吸氮量及氮素分布的影响

从表 3 知, 施氮肥提高了水稻和油菜的籽粒、秸秆和地上部吸氮量。

与 PU100% 相比, 水稻 PCU70%、PCU42%+PU28%、PCU70%+PU30% 和 PCU50%+PU50% 平均地上部吸氮量分别提高了 8.16%、12.81% 和 10.33%。水稻氮素收获指数各处理差异不大, CK 最小。水稻籽粒吸氮量与地上部吸氮量呈正显著相关 (两季相关系数分别为 0.99 和 0.95)。

比 PM100% 相比, 控释氮肥处理显著提高了油菜的籽粒、秸秆和地上部吸氮量, 平均增幅分别为 22.48%~61.89%, 22.85%~59.37% 和 21.59%~60.30%。与 PU100% 相比, PCU70%+PU30% 和 PCU50%+PU50% 提高了油菜籽粒、秸秆和地上部吸氮量, 平均增幅分别为 8.62%~20.34%、4.38%~

11.46% 和 8.54%~18.89%; PCU70% 和 PCU42%+PU28% 没有增加。说明减少了施氮量, 影响到油菜的籽粒和秸秆氮素积累。油菜氮素收获指数处理间差异不大; 油菜籽粒吸氮量和地上部吸氮量呈显著相关 (两季相关系数均为 1), 同水稻相似。

## 2.3 控释氮肥对稻油氮肥利用率的影响

不同氮肥处理对水稻和油菜的吸收利用率、生理效率、农学效率和偏生产力影响显著 (表 4)。

水稻施 N 126 kg·hm<sup>-2</sup> 的控释氮肥处理平均氮肥吸收利用率最高, 施 N 180 kg·hm<sup>-2</sup> 的控释氮肥处理次之, 普通尿素处理最低。与 PU100% 相比, PCU70%、PCU42%+PU28%、PCU70%+PU30% 和 PCU50%+PU50% 平均氮肥吸收利用率分别提高了 19.57%、25.84%、12.15% 和 9.72% 个百分点。水稻氮肥农学效率和偏生产力结果与氮肥吸收利用率相似。在

2009年稻季, 氮肥生理效率处理间不显著; 在2010年稻季, 可能因成熟期遇到自然灾害, 影响了控释氮肥后期养分释放, 造成控释氮肥处理氮肥生理利用率下降。

油菜平均氮肥吸收利用率为18.48%~40.75%, PCU42%+PU28%最高, PM100%最低; 油菜氮肥农

学效率和偏生产力结果与氮肥吸收利用率相似。与PU100%相比, PCU70%、PCU42%+PU28%、PCU70%+PU30%和PCU50%+PU50%平均氮肥偏生产力分别增加29.65%、36.22%、17.01%和6.42%。氮肥生理效率处理间差异不大, 为16.21~19.98 kg·kg<sup>-1</sup>。

表4 不同氮肥处理的稻油氮肥利用率  
Table 4 Nitrogen use efficiency of rice and rape under nitrogen treatments

作物 Crop	处理 Treatment	氮肥吸收利用率/% N recovery efficiency	氮肥生理效率 /kg·kg <sup>-1</sup> N physiological efficiency	氮肥农学效率 /kg·kg <sup>-1</sup> N agronomy use efficiency	氮肥偏生产力 /kg·kg <sup>-1</sup> N partial factor productivity
2009年稻季 Rice season in 2009	PM100%	22.43±0.97 <sup>c</sup>	41.78±2.43 <sup>a</sup>	9.35±0.16 <sup>b</sup>	54.17±0.28 <sup>b</sup>
	PU100%	21.87±0.71 <sup>c</sup>	44.23±6.07 <sup>a</sup>	9.81±0.85 <sup>b</sup>	54.63±0.64 <sup>b</sup>
	PCU70%	44.52±0.58 <sup>a</sup>	40.49±2.98 <sup>a</sup>	16.40±2.19 <sup>a</sup>	80.42±1.79 <sup>a</sup>
	PCU42%+PU28%	39.23±7.02 <sup>a</sup>	39.77±20.46 <sup>a</sup>	14.68±6.24 <sup>ab</sup>	78.70±6.33 <sup>a</sup>
	PCU70%+PU30%	31.54±3.70 <sup>b</sup>	48.32±14.31 <sup>a</sup>	13.52±3.06 <sup>ab</sup>	58.33±2.89 <sup>b</sup>
	PCU50%+PU50%	29.76±1.04 <sup>b</sup>	52.18±6.23 <sup>a</sup>	14.44±0.56 <sup>ab</sup>	59.26±0.64 <sup>b</sup>
2009~2010年 油菜季 Rape season in 2009-2010	PM100%	11.35±1.15 <sup>c</sup>	11.45±5.77 <sup>b</sup>	1.30±0.64 <sup>c</sup>	7.04±0.42 <sup>c</sup>
	PU100%	22.49±3.33 <sup>b</sup>	16.47±1.02 <sup>a</sup>	3.70±0.58 <sup>b</sup>	9.44±0.48 <sup>b</sup>
	PCU70%	26.80±5.81 <sup>b</sup>	14.55±1.76 <sup>ab</sup>	3.97±1.37 <sup>b</sup>	12.17±0.83 <sup>a</sup>
	PCU42%+PU28%	26.29±2.47 <sup>b</sup>	16.61±2.00 <sup>a</sup>	4.37±0.69 <sup>b</sup>	12.57±0.23 <sup>a</sup>
	PCU70%+PU30%	32.28±1.11 <sup>a</sup>	18.35±0.46 <sup>a</sup>	5.93±0.32 <sup>a</sup>	11.67±0.28 <sup>a</sup>
	PCU50%+PU50%	25.68±1.49 <sup>b</sup>	16.56±0.79 <sup>a</sup>	4.26±0.42 <sup>b</sup>	10.00±0.28 <sup>b</sup>
2010年稻季 Rice season in 2010	PM100%	12.61±2.18 <sup>d</sup>	42.97±5.25 <sup>ab</sup>	5.46±1.37 <sup>c</sup>	45.37±1.53 <sup>c</sup>
	PU100%	18.40±1.79 <sup>c</sup>	46.21±2.23 <sup>a</sup>	8.52±1.12 <sup>bc</sup>	48.43±1.25 <sup>bc</sup>
	PCU70%	34.90±3.41 <sup>b</sup>	25.03±5.73 <sup>d</sup>	8.86±2.79 <sup>bc</sup>	65.87±2.78 <sup>a</sup>
	PCU42%+PU28%	52.73±2.27 <sup>a</sup>	24.04±1.63 <sup>d</sup>	12.70±1.37 <sup>ab</sup>	69.71±1.15 <sup>a</sup>
	PCU70%+PU30%	33.03±3.90 <sup>b</sup>	36.41±4.96 <sup>bc</sup>	17.33±4.28 <sup>a</sup>	52.04±3.10 <sup>b</sup>
	PCU50%+PU50%	29.96±2.54 <sup>b</sup>	31.09±2.58 <sup>cd</sup>	9.35±1.53 <sup>bc</sup>	49.26±1.37 <sup>bc</sup>
2010~2011 油菜季 Rape season in 2010-2011	PM100%	25.60±4.30 <sup>c</sup>	25.74±9.03 <sup>a</sup>	6.48±2.23 <sup>d</sup>	8.89±0.28 <sup>c</sup>
	PU100%	37.67±4.22 <sup>b</sup>	21.82±3.12 <sup>ab</sup>	8.24±1.67 <sup>c</sup>	10.65±0.70 <sup>b</sup>
	PCU70%	46.53±3.62 <sup>ab</sup>	17.86±4.19 <sup>b</sup>	10.71±1.98 <sup>a</sup>	13.89±1.43 <sup>a</sup>
	PCU42%+PU28%	55.20±6.50 <sup>a</sup>	20.57±3.45 <sup>ab</sup>	11.38±2.42 <sup>a</sup>	14.81±0.61 <sup>a</sup>
	PCU70%+PU30%	44.89±16.47 <sup>ab</sup>	21.61±4.58 <sup>ab</sup>	9.44±2.65 <sup>b</sup>	11.85±0.58 <sup>b</sup>
	PCU50%+PU50%	42.17±10.80 <sup>b</sup>	21.13±0.98 <sup>ab</sup>	8.98±2.67 <sup>bc</sup>	11.39±0.56 <sup>b</sup>

### 3 讨论

在水稻和油菜试验中, 与PU100%相比, PCU70%和PCU42%+PU28%减少N 54 kg/hm<sup>2</sup>籽粒产量不减少, PCU70%+PU30%和PCU50%+PU50%施氮量相同增产显著。与张小翠等<sup>[6]</sup>研究结果一致。有机聚合物包膜的控释氮肥养分释放过程可简单分成滞后阶段、稳定阶段和衰退阶段, 具有长效性, 但前期易出现缺肥现象<sup>[11]</sup>, 普通尿素具有速效性, 后期容易出现脱肥现象。因此, 控释氮肥与普通尿素按照一定氮素比例掺混可以更好的发挥控释氮肥

的长效性和普通尿素的速效性, 使水稻和油菜产量增加。

水稻和油菜产量的提高不是由单一因素决定的。陈贤友等<sup>[8]</sup>研究认为穗数和粒数与水稻产量关系最直接。本研究水稻和油菜籽粒产量与群体库容量呈正相关, 即由穗数和粒数共同决定。控释氮肥则能提高水稻和油菜群体库容量, 从而提高其产量。

付建荣<sup>[12]</sup>研究认为评价一种肥料在特定施用条件下的肥料利用率, 不仅要视其较高氮肥吸收利用率, 还应有较高的生理效率或农学效率。本研究结果, PCU70%和PCU42%+PU28%的氮肥利用指标

比 PCU70%+PU30% 和 PCU50%+PU50% 高, 主要因前者比后者减少 N 54 kg·hm<sup>-2</sup> 造成; PCU70%+PU30% 和 PCU50%+PU50% 又高于 PM100% 和 PU100%, 主要由控释氮肥的长效性影响。PCU70%+PU30% 氮肥利用指标结果高于 PCU50%+PU50%, 这与前人不尽一致<sup>[13]</sup>。可能由品种特性、土壤肥力、气候环境和田间管理等造成。

#### 4 结论

与 PU100% 相比, 控释氮肥处理促进了水稻和油菜产量及其构成的提高, 增加了籽粒和秸秆吸氮量, 提高了氮肥利用率, 效果显著。减少用氮量, 控释氮肥处理水稻产量不减产。PCU70%+PU30% 水稻和油菜产量最高, 能保证较高的氮肥利用率, 既能满足水稻和油菜生长需要, 又能减轻农田施肥对环境的压力。

#### 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. 中国土壤氮素研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 778-783.
- [3] 金洁, 杨京平. 高肥力稻田分次施氮对氮素淋失的影响[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 98-101.
- [4] Grant C A. Wu R. Selles F. et al. Crop yield and nitrogen concentration with controlled release urea and split applications of nitrogen as compared to non-coated urea applied at seeding [J]. Field Crop Res, 2012, 127(2): 170-180.
- [5] Yang Y C. Zhang M. Zheng L. et al. Controlled release urea improved nitrogen use efficiency, yield, and quality of wheat [J]. Agron J, 2011, 103(2): 479-485.
- [6] 张小翠, 戴其根, 胡星星, 等. 不同质地土壤下缓释尿素与常规尿素配施对水稻产量及其生长发育的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(8): 1494-1503.
- [7] 陈贤友, 吴良欢, 韩科峰, 等. 包膜尿素和普通尿素不同掺混比例对水稻产量与氮肥利用率的影响[J]. 植物营养学报, 2010, 16(4): 918-923.
- [8] 李银水, 鲁剑巍, 廖星, 等. 氮肥用量对油菜产量及氮素利用效率的影响[J]. 中国油料作物学报, 2011, 33(4): 379-383.
- [9] Davidson D. Gu F X. Materials for sustained and controlled release of nutrients and molecules to support plant growth [J]. J Agric Food Chem, 2012, 60(4): 870-876.
- [10] Novoa R. Loomis R S. Nitrogen and plant production [J]. Plant Soil, 1981, 58:177-204.
- [11] 张海军, 武志杰, 梁文举, 等. 包膜肥料养分控释机理研究进展[J]. 应用生态学报, 2003, 14(12): 2337-2341.
- [12] 符建荣. 控释氮肥对水稻的增产效应及提高肥料利用率的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(2): 145-152.
- [13] 李庆逵. 中国农业持续发展中的肥料问题[M]. 江西: 江西科学技术出版社, 1997.