

# 长效尿素的供氮过程及其在稻—麦 轮作下的生物学效应\*

孙秀廷 陈荣业 蒋佩弦

(中国科学院南京土壤研究所)

潘遵谱 陈全武 惠茂新

(江苏省苏州地区农科所)

## 摘 要

采用磷酸盐包膜工艺制成长效尿素 PCU, 含 N 33.8%, 全磷 (P) 5.15%, 有效磷 (P) 4.10%。同日本产品 SCU 和 IBDU 进行了盆栽和田间小区及微区试验, 发现: (1) PCU 作基肥穴施其供氮强度和供氮容量均高于 SCU 和 IBDU; (2) PCU 在红壤上对中稻的产量效应显著高于普通尿素分次施。但在黄泥土和白土上对单晚的肥效不及普通尿素分次施; (3) PCU 作基肥穴施在中稻上其氮素利用率最高, 达到 79%, 而 SCU 和 IBDU 作基肥混施以及普通尿素分次施的氮素利用率分别为 60%, 42% 和 34%; (4) 长效肥的后效与释放率呈反相关的趋势, 即释放率越低, 后效越长, 如释放率最低的 IBDU 的后效比 SCU 和 PCU 分别高 89% 和 47%。

长效肥的研究旨在使养分供应速率与作物不同生长阶段的生理需要相适应, 赖以减少养分损失, 充分发挥肥料的增产效益, 以及减少环境污染等。

自四十年代以后长效肥的研究在国际上逐渐活跃起来, 到了六十年代开始了大量的田间试验<sup>[1-3, 11]</sup>。

在化学合成的长效肥中, 包括有脲甲醛 (UF)、脲乙醛 (CDU)、异丁叉二脲 (IBDU)、草酰胺 (oxamide)、磷酸金属铵等<sup>[11-14]</sup>, 其中只有异丁叉二脲进行了较多的田间试验, 以日本<sup>[14]</sup>和菲律宾国际水稻研究所<sup>[15, 16]</sup>研究得较多。

在包膜肥料方面, 以美国的 TVA 公司研制的硫磺包膜尿素 (SCU) 比较成熟, 已在多种作物上进行了广泛的试验, 证明是一种有希望的长效氮肥<sup>[18]</sup>。据 1975—1977 年国际水稻土壤肥力和肥料评价纲 (INSFFER) 进行的 84 个试验平均, 有 25% 获得了增产<sup>[19]</sup>。Sanches 等发现<sup>[20]</sup>, 在秘鲁间歇灌溉条件下, 硫磺包膜尿素的用量仅为尿素的 40%, 而稻谷产量却相同, 对其他作物如玉米、甘蔗、蕃茄等的肥效也比较好<sup>[40, 18, 21, 22]</sup>。

也有不少研究者认为, 长效肥并不优于普通化肥分次施用。Dimitrova 等人发现<sup>[2]</sup>, 长效肥不比普通化肥一次施用好; Loeser 认为<sup>[2]</sup>, 化肥还是以液态施用的办法好; 美国 Westfall 发现<sup>[23]</sup>, 硫磺包膜尿素与普通尿素分次施用比较并未获得显著增产。

我们对长效碳铵作过一系列研究之后<sup>[4-6]</sup>, 于 1979 年起开始长效尿素的研究, 制得

\* 本工作在李庆远教授指导下进行。曹志洪、李阿荣和长沙农业现代化研究所王昌燎等同志参加部分试验工作; X-射线衍射分析、长效肥膜壳的微形态结构的鉴定和 <sup>15</sup>N 丰度的测定分别得到土壤研究所物化室、微形态组和质谱组的协助; 本文承鲁如坤教授、朱兆良副教授审阅, 并提出宝贵意见, 一并致谢。

了实验室产品,并且同日本三井东压化学株式会社提供的硫磺包膜尿素和三菱化成工业株式会社提供的异丁叉二脲进行了温室盆栽、田间小区和<sup>15</sup>N微区试验,以探索在不同土壤、气候条件下长效肥的供氮过程及其在稻—麦轮作的生物学效应。本文是1979—1982年长效肥工作的部分总结。

## 一、材料和方法

试验用的大粒尿素(USG)是将普通尿素用TDP型冲压机压制而成,粒重约0.8克,磷酸盐包膜尿素(PCU)是将尿素粒肥表面酸化,再用钙镁磷肥进行包膜,最后用熔融石蜡封面,即得到实验室产品。外观为灰褐色,初释放率为86.4%(见表1注释),膜壳平均厚度为0.58毫米,在高倍偏光显微镜下可见到直径为0.02—0.03毫米的孔隙,具有一定的通透性。经X-射线衍射分析,膜壳中含有CaHPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O、方解石、无定形钙镁磷酸盐、硅胶玻璃体等,但未见有磷酸镁铵的生成,而在长效碳铵的膜壳中却发现磷酸镁铵<sup>[1]</sup>。经化学分析,含全氮33.8%,膜壳含全磷(P)5.15%,有效磷(P)4.10%。硫磺包膜尿素和异丁叉二脲分别由日本三井东压化学株式会社和三菱化成工业株式会社提供,<sup>15</sup>N标记的PCU和SCU系本实验室自制产品。供试肥料的基本性质见表1。

表1 供试肥料的基本性质

Table 1 The basic properties of fertilizers used in the experiments

肥料品种 Fertilizer	含 N(%)	粒径 (mm) Particle-size	初释放率(%) Rate of release in 24 hrs at 25°C in water	备注 Note
普通尿素 (U)	46.0	粉状	100	商品肥料
尿素粒肥 (USG)	46.0	11	100	自制
磷酸盐包膜尿素(PCU)	33.8	11	86.4	自制
硫磺包膜尿素(SCU)	34.0	2—5	42.0	日本三井东压化学株式会社产品
异丁叉二脲 (IBDU)	31.8	0.7—2	10.2*	日本三菱化成工业株式会社产品

\* IBDU 的初释放率是指在淹水密闭土壤中恒温培养(25°C)一周的矿化率。其氮素活度指数(AI)为81.3, AI值愈高,表明在土壤中矿化成可给态氮的速度愈快。

### (一) 温室盆栽试验

1. 长效肥供氮过程的研究 采用15×15[φ(直径)×H(高)厘米]盆钵,每盆装风干土2.5公斤,盆底不渗漏,供试土壤为苏州黄泥土,采自苏州地区农科所长效肥试验田。试验设6个处理:(1)对照,不施氮肥;(2)普通尿素(U)分次施:1/3基肥,1/3分蘖肥,1/3穗肥;(3)尿素粒肥(USG)一次基肥深施6厘米;(4)磷酸盐包膜尿素(PCU)一次基肥深施6厘米;(5)硫磺包膜尿素(SCU)与6厘米土层混施;(6)异丁叉二脲(IBDU)与6厘米土层混施。施氮量按每盆1克纯氮计,此外每盆施入1克KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>作为底肥。每一处理15个重复,分别在分蘖初期、分蘖盛期、拔节期、孕穗期和灌浆期进行采样,测定植株干物重、全氮和土壤NH<sub>4</sub>-N,采样时将水稻整株拔出,将土壤混匀,通过2毫米筛孔,留在筛中的根系和植株一起洗净,烘干称重,用半微量凯氏法测定植株全氮,土壤NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N采用2M KCl提取, MgO 蒸馏, 2%硼酸吸收,标准酸滴定,同时取样测定土壤水分,以100克烘干土中含NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N毫克数表示。

2. 长效肥对稻—麦轮作的产量效应的温室研究 采用20×20(φ×H厘米)盆钵,每盆装风干土6公斤,盆底不渗漏,处理和施肥方法同上,4次重复,氮肥用量为2克N/盆,底肥用量为1克

$\text{KH}_2\text{PO}_4$ /盆。供试肥料的基本性质见表 1。水稻收获后在原盆中播种小麦, 处理和施肥方法与水稻试验相同, 小麦收获后继续插秧, 不施氮肥, 以观察其后效。

### (二) 田间小区试验研究

1. 单晚—小麦轮作试验 于 1979—1980 年和 1981—1982 年分别在苏州地区农科所黄泥土上和江苏吴县望亭公社白土上进行。前一试验设 6 个处理, 4 次重复, 小区面积  $6 \times 4$  米<sup>2</sup>, 随机区组排列。稻—麦—稻 3 季试验均在同一小区连续进行, 第三季不施氮肥, 以观察后效。后一试验设 5 个处理, 3 次重复, 小区面积  $10 \times 5$  米<sup>2</sup>, 单列随机排列。第一季水稻收获后, 将小区一分为二, 播种小麦, 一半继续施入相应的肥料, 另一半不施氮肥, 观察后效。

2. 中稻—小麦轮作试验 1981—1982 年在湖南桃源县观山大队红壤上进行, 试验设 5 个处理, 3 次重复, 随机区组排列, 小区面积  $6 \times 4$  米<sup>2</sup>, 水稻收获后, 在原来小区上布置了小麦试验, 但因故未能得到结果。

上述 3 个小区试验的处理、供试肥料的基本性质和土壤的理化性质分别见表 3、表 1 和表 2。每季作物收获后分别测定谷、草产量及其含氮量。

### (三) 田间 <sup>15</sup>N 微区试验

微区是用无底塑料圆筒嵌入土中做成, 直径 30 厘米, 高 40 厘米, 打入土中 25 厘米, 露出地面 15 厘米。

1. 在苏州地区农科所内黄泥土上进行的稻—麦微区试验, 采用二种标记肥料: (1) 普通尿素肥分三次撒施: 基肥、分蘖肥和穗肥各 1/3, <sup>15</sup>N 交叉标记; (2) 尿素粒肥基肥深施, 在微区中央塞一粒, 深 6 厘米, <sup>15</sup>N 丰度为 5.47%。结果已载《土壤学报》<sup>[1]</sup>。

2. 在吴县望亭公社团结大队白土上进行的单晚—小麦轮作试验中, 每个小区设置两个微区, 处理和施肥方法与小区相同。水稻收获后播种小麦, 一个微区按原处理施肥, 另一微区不施氮肥, 用以测定后效, 标记肥料的 <sup>15</sup>N 丰度为 6.29%。

表 2 供试土壤的理化性质

Table 2 Chemical and physical properties of soils in the field experiments

试验地点 Locality	土壤名称 Soil	质地 Texture	pH	全 N(%)	有机质(%) O. M. (%)	代换量 (meq/100g) CEC
苏州地区农科所	黄泥土 Permeable paddy soil	粘壤土	6.7	0.151	2.58	21.37
江苏, 吴县	白土 Bleached paddy soil	粉砂质粘土	6.5	0.147	2.75	20.85
湖南, 桃源县	红壤 Red earth	粉砂质粘壤土	6.5	0.149	2.59	8.83

## 二、结果和讨论

### (一) 长效尿素的供氮过程

长效肥的供氮速率主要取决于长效肥本身的释放速率, 而影响释放率的因子很多, 除包膜量、颗粒大小以外, 主要受环境温度的制约<sup>[3,6]</sup>。按照一定的释放模式来控制长效肥的供氮过程和作物的吸氮过程, 以满足作物不同生育期对养分的要求, 尚存在着一定的困难。为了研究长效肥的供氮过程和作物的吸氮过程, 以便找出二者间的协调关系, 这里

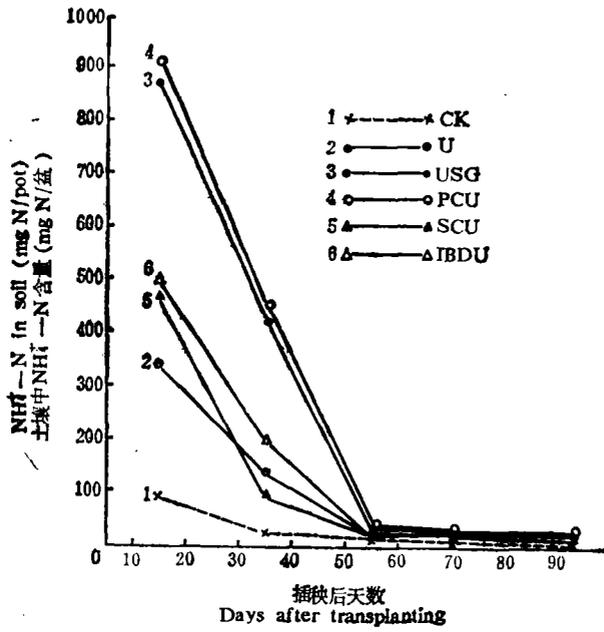


图 1 盆栽植稻条件下土壤 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的动态变化  
 Fig. 1 Dynamic variation of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N in soil in pot experiment for rice

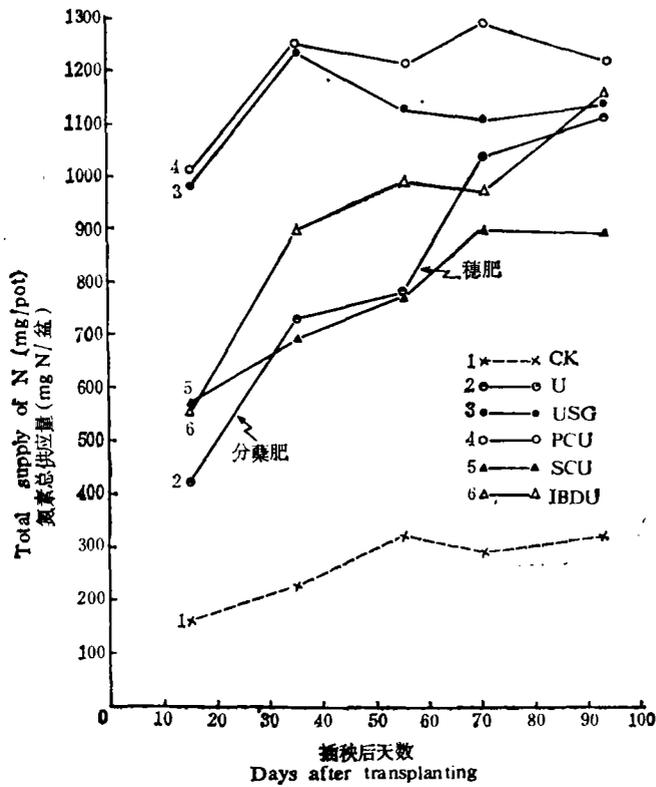


图 2 盆栽植稻条件下土壤 N 素总供应量的动态变化  
 Fig. 2 Dynamic variation of total supply of N in soil in pot experiment for rice

表 3 试验处理和设计\*  
Table 3 Treatment and design of the experiments

处理 Treatment	施肥方法 Application method
对照 (CK)	—
普通尿素分次施 (U)	1/3 基肥, 1/3 分蘖肥, 1/3 穗肥
尿素粒肥深施 (USG)	每四穴水稻中央基施一粒, 小麦上打洞穴施, 深 6cm
磷酸盐包膜尿素深施 (PCU)	与尿素粒肥相同
硫磺包膜尿素混施 (SCU)	与 6cm 土层混施
异丁叉二脲混施 (IBDU)	与 6cm 土层混施

\* 在苏州黄泥土, 白土和湖南红壤上每季氮肥用量分别为 15, 12, 10 斤 N/亩, 每季施过磷酸钙 40 斤/亩, KCl 20 斤/亩作底肥。

表 4 盆栽植稻条件下长效尿素对土壤氮素供应状况的影响 (mgN/盆)  
Table 4 Effect of slow-release urea on N supplying status in soil in pot experiment (mgN/pot)

处理 Treatment	分蘖初期 (插秧后15天) Initial tillering stage (15DAT*)	分蘖盛期 (插秧后35天) Maximum tillering stage (35DAT)	拔节期 (插秧后55天) Elongation stage (55DAT)	孕穗期 (插秧后70天) Booting stage (70DAT)	灌浆期 (插秧后93天) Milky ripening stage (93DAT)
土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in soil					
CK	85.6±12.8	25.1±1.2	9.8±0.3	8.9±0.3	8.0±0.3
U	341.3±6.3	141.7±7.5	15.6±0.2	18.2±0.4	12.5±0.4
USG	874.6±14.2	424.2±26.8	32.2±1.8	24.9±0.4	18.3±0.6
PCU	907.2±10.5	452.1±19.2	26.1±0.7	22.6±0.6	26.9±1.3
SCU	471.6±3.3	94.7±10.3	13.7±0.8	15.2±0.4	13.1±0.4
IBDU	501.3±8.6	200.4±11.1	15.4±0.3	16.8±0.5	19.9±1.0
水稻植株吸收积累的 N 量(地上部+根部) N accumulated in rice plants (aerial parts + roots)					
CK	80.6	206.1	317.1	282.7	319.9
U	90.5	590.2	764.2	1020.4	1094.1
USG	113.5	811.8	1096.4	1076.9	1117.6
PCU	103.0	794.2	1184.9	1168.8	1195.2
SCU	99.8	601.1	761.2	882.4	879.1
IBDU	66.4	693.5	970.1	956.1	1136.9
氮素总供应量(土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ + 水稻吸收积累的 N 量) Total amount of N supply ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in soil + N accumulated in rice plants)					
CK	166.2	231.2	326.9	291.6	327.0
U	431.8	731.9	779.8	1038.6	1106.6
USG	988.1	1236.1	1128.6	1101.8	1135.9
PCU	1010.2	1246.3	1211.0	1291.4	1222.1
SCU	571.4	695.8	774.9	897.6	892.2
IBDU	567.7	893.9	985.5	972.9	1156.8

\* DAT = Days After Transplanting.

需引入氮素供应容量和供应强度的概念。所谓氮素供应容量是指土壤中矿质氮和能在短期内矿化的氮素总量,而用土壤  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量即可作为土壤氮素供应强度的指标<sup>[7]</sup>。

1. 长效尿素对土壤氮素供应状况的影响 用碱解法测得的土壤有效氮量主要包括  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和水解氮,前者的主要来源是施入的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  肥,后者是以微生物新陈代谢的同化、异化氮为主,将土壤有效氮量减去相应的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  量,发现同一采样期得到的差值相差无几。因此各施肥处理对植稻土壤氮素供应能力贡献的大小,主要是取决于它们对土壤  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  量的贡献,而不是水解氮这部分<sup>[6]</sup>。从表 4 和图 1 可以看出,3 种长效肥以 PCU 对土壤  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的贡献最大,从分蘖初期到分蘖盛期,PCU 比 SCU 和 IBDU 要高出一倍以上,说明氮素供应强度最大,直到施肥后 55 天,即进入拔节期,水稻吸收积累了大量氮素,这时土壤中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量均已很低,此后水稻所吸收的氮主要来自土壤矿化氮。

土壤中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  量加上水稻吸收积累的氮量得到氮素总供应量,将施肥区各处理的氮素总供应量减去对照,即为来自肥料的氮素总供应量,绘成图 2。从图中可以看出,PCU 的氮素供应容量比 SCU 和 IBDU 高得多,直至插秧后 3 个月,水稻进入灌浆期,仍一直保持在较高的水平,IBDU 在初期和 SCU 差不多,到分蘖盛期超过了 SCU,到灌浆期

表 5 盆栽条件下长效尿素对水稻生长的影响

Table 5 Effect of slow-release urea on rice growth in pot experiment

处理 Treatment	分蘖初期 (插秧后15天) Initial tillering stage (15DAT*)	分蘖盛期 (插秧后35天) Maximum ti- llering stage (35DAT)	拔节期 (插秧后55天) Elonggation stage (55DAT)	孕穗期 (插秧后70天) Booting stage (70DAT)	灌浆期 (插秧后93天) Milky ripening stage (93DAT)
植株含氮量(%) N% in rice plant					
CK	2.74	1.39	0.90	0.75	0.67
U	3.22	2.72	1.37	1.55	1.22
USG	3.29	3.06	1.87	1.54	1.19
PCU	3.69	3.10	2.05	1.67	1.26
SCU	3.55	2.60	1.44	1.28	1.01
IBDU	3.59	3.32	1.69	1.42	1.23
干物重(克/盆) Dry matter (g/pot)					
CK	2.94	14.83	35.23	37.69	47.75
U	2.81	21.70	55.78	65.83	89.68
USG	3.41	26.53	58.63	69.93	93.92
PCU	2.79	25.62	57.80	69.99	94.86
SCU	2.81	23.12	52.86	68.94	87.04
IBDU	1.85	20.89	57.40	67.33	92.43
分蘖数 Tiller number					
CK	16.3	22.0	26.0	25.3	—
U	19.7	37.7	40.3	40.3	—
USG	21.7	47.7	49.3	44.3	—
PCU	18.0	53.3	57.7	49.7	—
SCU	17.7	42.0	43.3	42.7	—
IBDU	10.0	51.0	55.2	49.3	—

\* DAT = Day: After Transplanting.

接近了 PCU, 而 SCU 则一直处于较低的水平。将 3 种长效肥同速效肥普通尿素和尿素粒肥作一比较, 可以看出: (1) 尿素粒肥深施的氮素总供应量, 在水稻拔节期之前与 PCU 相同, 以后逐渐降低, 但仍高于其他处理; (2) 普通尿素作基肥的用量只有 1/3, 所以前期的氮素总供应量最低; 追施分蘖肥后至分蘖盛期采样测定, 其氮素总供应量与 SCU 相近, 直至拔节期二者一直保持在相等的水平; 追施穗肥后两周, 即孕穗期采样测定, 已超过

表 6 稻—麦轮作条件下长效尿素的产量效应\*

Table 6 Rice wheat grain yield as affected by N source and a application method under rice-wheat rotation system

试验地点 Locality	处理 Treatment	稻谷产量** Rice grain	小麦产量** Wheat grain
南京土壤研究所 (盆栽试验)	CK	43.87±0.71	5.75±0.44f
	U	74.36±1.76abcd	21.22±0.79bcd
	USG	81.77±0.84a	22.94±1.03abc
	PCU	78.00±2.38ab	24.49±0.50a
	SCU	72.10±1.06abcde	23.35±1.33ab
	IBDU	75.99±2.00abc	19.71±0.30de
	苏州地区农科所 (小区试验)	CK	954±4c
U		1048±6a	633±11a
USG		984±11bc	561±31cde
PCU		993±11abc	628±3ab
SCU		1034±10ab	589±14c
IBDU		1003±9abc	564±8cd
江苏省吴县 (小区试验)		CK	548±42abc
	U	599±27a	370±2a
	USG	506±29c	314±17bc
	PCU	539±42bc	322±23b
	SCU	562±15ab	295±15cd
	IBDU	—	—
湖南省桃源县 (小区试验)	CK	736±31e	
	U	779±21bcd	
	USG	806±15ab	
	PCU	825±28a	
	SCU	795±35abc	
	IBDU	—	
江苏省吴县 (微区试验)	CK	18.68±1.55d	10.84±1.31e
	U	34.28±1.66a	20.45±1.86ab
	USG	29.66±3.11ab	21.58±1.64a
	PCU	26.09±7.05bc	20.30±1.59abc
	SCU	25.19±2.47bcd	19.65±1.72abcd

\* 产量结果均为烘干重, 表中数据为  $\bar{x} \pm S_x$ 。

\*\* 采用 Duncan 氏新复全距统计方法, 相同字母表示差异不显著。

SCU 和 IBDU,但仍低于 PCU。这说明用磷酸盐作为包膜材料制成长效尿素,作基肥一次施用,就氮素供应状况来讲,优于普通尿素分次施用。

2. 长效尿素对水稻生长的影响 水稻植株的生长状况如分蘖数、干物重和含氮量(见表 5)与氮素供应容量和强度有密切的关系,凡是氮素供应容量和强度大、维持时间长的,(如 PCU 和 USG) 其分蘖数、干物重和含氮量都比较高;反之, SCU 和 IBDU 的氮素供应容量和强度都较低。其分蘖数、干物重以及含氮量均较低。这说明 PCU 深施的供氮过程与水稻的需肥特性比起 SCU 和 IBDU 混施较为协调。从下面的产量效应和氮素利用率也可以说明这一点。

### (二) 稻—麦轮作下长效尿素的产量效应

将盆栽、小区和微区试验结果汇于表 6。在盆栽条件下,各施肥处理对水稻的产量效应与无氮区相比,都达到统计上的极显著,说明氮肥效果十分明显;而各施肥处理之间并无显著差异。在湖南桃源县红壤上的小区试验表明, PCU 一次深施对中稻的效果较好,显著的高于普通尿素分次施用,而从苏州黄泥土和白土上的试验来看,长效肥对单晚并未表现出明显的效果。

在盆栽条件下,长效肥对小麦的产量效应比在水稻上要明显,如 PCU 一次深施比普通尿素分次施增产 15% 左右, SCU 混施比普通尿素分次施增产 10%, 均达到显著平准 ( $P = 5\%$ ); 但 IBDU 混施则效果较差。在田间条件下,长效肥对小麦的效应不及普通尿素分次施用。

### (三) 长效肥的后效

由于长效肥具有缓慢释放养分的特性,因此当季作物收获以后,往往还有一部分养分残留在土壤中<sup>[4,5]</sup>,可被后作吸收利用,这就是后效。后效的大小与释放率成反相关,即释放率愈低,残留在土壤中的养分愈多,后效也愈大。表 7 的盆栽结果表明, IBDU 的后效最大,其稻谷产量等于对照的 2.7 倍,而 SCU 和 PCU 比对照分别高 84% 和 44%, 都达到统计上的极显著水平 ( $P = 1\%$ )。在田间条件下长效肥对水稻的后效不及盆栽那样明显,例如后效最大的 IBDU, 其产量比对照只高 9%。造成这种情况的原因可能是由于盆

表 7 稻—麦轮作下长效肥的后效\*

Table 7 Residual effect of slow-release fertilizer on grain yield under rice-wheat rotation system

处理 Treatment	稻谷产量** Rice grain				小麦产量** Wheat grain			
	盆栽试验 pot experiment		小区试验 plot experiment		15N 微区试验 microplot experiment		小区试验 plot experiment	
	克/盆 g/pot	相对肥效 %	斤/亩 jin/mu	相对肥效 %	克/筒 g/microplot	相对肥效 %	斤/亩 jin/mu	相对肥效 %
CK	20.14±0.17f	100	625±11c	100	11.06±0.86b	100	170±2c	100
U	26.91±0.28cde	133.6	647±3c	103.6	10.24±0.64b	92.6	177±21bc	104.1
USG	28.54±1.32ca	141.7	639±8c	102.2	14.31±0.96a	129.4	224±30a	131.8
PCU	28.93±0.77c	143.6	653±11abc	104.4	12.86±2.84ab	116.3	204±11ab	120.0
SCU	37.03±1.11b	183.9	675±3ab	108.0	11.71±1.53ab	105.9	194±11abc	114.1
IBDU	54.55±1.59a	270.9	681±11a	108.9	—	—	—	—

\* 产量均为 80℃ 烘干重,表中数据为  $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$ 。

\*\* 采用 DUNCAN 氏新复全距统计法,相同字母表示差异不显著。

栽的施肥量大,以及田间条件下氮素损失比盆栽严重。至于长效肥对小麦的后效,从小区和<sup>15</sup>N微区试验结果来看,比水稻明显。

#### (四) 稻—麦轮作下长效尿素的氮素利用率和生产效率

表 8 列出了稻—麦轮作下作物地上部吸收的氮量,每季作物对不同肥料的氮素利用率以及生产效率。从施肥区作物吸收的总氮量中减去无氮区作物吸收的总氮量(即来自土壤的氮量)所得差值即为来自肥料的氮量,与植株吸收的总氮量之比即为肥料氮占总氮量的百分率。在盆栽条件下,这个比率比在田间条件下要大得多,说明盆栽作物对肥料的依赖性比大田条件下要大。比较两种作物,不论盆栽、微区或小区试验,小麦对肥料的依赖性比水稻要大。

三种长效肥对稻、麦提供的氮量,均以 PCU 一次基肥深施为最高,氮素利用率也最高。如在盆栽中,当季水稻对 PCU 的氮素利用率为 74%,在小麦上为 63%,SCU 和 IBDU 混施在水稻上分别为 50% 和 62%;在小麦上分别为 57% 和 30%。在田间条件下,氮素利用率比盆栽低得多,如在苏州黄泥土上所做的试验,三种长效肥的氮素利用率在单晚上为 28—31%,在小麦上为 33—48%;在望亭白土上得到的结果是,单晚对三种长效肥的利用率为 32—43%,在小麦上只有 16—23%。De Datta 等<sup>[24]</sup>用<sup>15</sup>N 证明,盆栽的氮素利用率比田间高。Bartholomew<sup>[25]</sup>在旱作上也观察到了这种差异。盆栽的氮素利用率比田间高的原因,据 Oertli 认为<sup>[2]</sup>,大概是由于盆栽的反硝化损失较少的缘故。事实上,在盆栽条件下,作物根系密集,与土壤肥料广泛接触,对肥料的吸收利用必然高。

我们在湖南桃源县红壤上的试验发现,中稻对长效尿素 PCU 深施的氮素利用率最高,达到 79%。1975 年我们在盐城地区中稻上进行的长效肥试验也取得了较好的结果。看来,长效肥对中稻的生产潜力可能会更大些。

表 8 表示氮素生产效率,由表 6 换算得来(见表 8 注释)。从表 8 中可以看出,在不同土壤、不同作物上氮的生产效率有明显的不同。在植稻情况下,黄泥土的氮素生产效率高于白土,而在种麦的土壤上却呈现相反的趋势,即白土高于黄泥土;而肥料之间的差异却不明显,但似乎可以看到尿素粒肥和长效尿素深施对水稻的氮素生产效率比分次施肥有降低的趋势。陈荣业等在苏州地区双季稻、单季晚稻上所做的试验也得到了类似的结果<sup>[9]</sup>。

#### (五) 长效肥的制备和施用要因地、因作物制宜

从以上试验结果来看,长效尿素 PCU 作基肥深施对中稻的产量效应较好,氮素利用率较高,而对单晚和小麦的效果则较差。就土壤类型来讲,在黄泥土上效果欠佳,看来主要是由于黄泥土的肥力较高的缘故。从无氮区作物的吸氮量来看,第一季水稻吸收氮素 15.8 斤,第二季小麦吸收氮素 9.7 斤,第三季水稻吸收氮素 10.8 斤,三季作物共吸收土壤氮素 36.3 斤,平均每季吸收氮素 12.1 斤,占耕层土壤氮素总贮量的 2.7% 左右,这说明土壤供氮能力很强,在一次施用 15 斤氮/亩的施肥水平下,引起了不同程度的倒伏,尤以粒肥为甚,从而降低了肥效和氮素利用率。因此在肥力水平高、供氮能力强的土壤上,尿素粒肥和长效尿素的用量应适当控制。

在本试验稻—麦轮作条件下,三种长效肥以释放较快的 PCU 作基肥深施的供氮过程与水稻的需肥特性较为协调,产量效应和氮素利用率也较高。而 SCU 和 IBDU 与土

表 8 稻—麦轮作下长效尿素  
Table 8 Utilization rate of fertilizer N and efficiency

试验地点和土壤 Locality and soil	处理 Treatment	植株吸收 N 量 N absorbed by plants				来自肥料 N 量 N from fertilizer			
		稻 rice	麦 wheat	稻 rice	合计 total	稻 rice	麦 wheat	稻 rice	合计 total
南京土壤所黄泥土 Permeable paddy soil	CK	0.77	0.12	0.29	1.18	0	0	0	0
	U	2.43	0.87	0.41	3.71	1.66	0.75	0.12	2.53
	USG	2.64	0.91	0.43	3.98	1.87	0.79	0.14	2.80
	PCU	2.54	0.94	0.43	3.91	1.77	0.82	0.14	2.73
	SCU	1.97	0.86	0.63	3.46	1.20	0.74	0.34	2.28
	IBDU	2.26	0.51	0.88	3.65	1.49	0.39	0.59	2.47
苏州地区农科所黄泥土 Permeable paddy soil	CK	15.8	9.7	10.8	36.3	0	0	0	0
	U	21.4	18.6	11.7	51.7	5.6	8.9	0.9	15.4
	USG	20.5	15.0	11.1	46.6	4.7	5.3	0.3	10.3
	PCU	20.5	16.9	11.9	49.3	4.7	7.2	1.1	13.0
	SCU	20.4	16.1	12.5	49.0	4.6	6.4	1.7	12.7
	IBDU	20.0	14.7	13.1	47.8	4.2	5.0	2.3	11.5
江省吴县白土 Bleached paddy soil	CK	11.1	4.8	—	15.9	0	0	—	0
	U	15.2	9.1	—	24.3	4.1	4.3	—	8.4
	USG	16.2	7.0	—	23.2	5.1	2.2	—	7.3
	PCU	16.3	7.7	—	24.0	5.2	2.8	—	8.0
	SCU	14.9	6.8	—	21.7	3.8	2.0	—	5.8
湖南桃源红壤 Red earth	CK	12.5	—	—	—	0	—	—	—
	U	15.9	—	—	—	3.4	—	—	—
	USG	18.5	—	—	—	6.0	—	—	—
	PCU	20.4	—	—	—	7.9	—	—	—
	SCU	16.7	—	—	—	4.2	—	—	—
江苏吴县白土 Bleached paddy soil	U	1003.3	224.6	—	1227.9	163.9	206.1	—	370.0
	USG	1016.3	278.2	—	1294.5	253.4	243.2	—	496.6
	PCU	1059.8	247.1	—	1306.9	256.7	229.7	—	486.4
	SCU	924.2	207.4	—	1131.6	136.8	174.0	—	310.8

\* 将烘干重乘以 1.14, 再除以地上部分吸收的总氮量即得氮素生产效率。

壤混施对稻、麦的产量效应和氮素利用率随着释放率降低而降低。Welles 等<sup>[27]</sup>也发现释放较快的 SCU 效果较好。由此看来, 长效肥的合理施用不应片面强调长效, 而是要因地、因作物制宜。无疑, 如果能够研制出根据作物的生理需要来释放养分的长效肥, 将是肥力管理方面的一项重要改革。

## 的氮素利用率及氮素生产效率

of N for grain yields under rice-wheat rotation system

肥料N量占总N量(%) N from fertilizer in terms of N accumulated				氮素利用率(%) Utilization rate of fertilizer N			氮素生产效率(斤籽/斤 N)* Efficiency of N for grain production(jin grain/jin N)	
稻 rice	麦 wheat	稻 rice	合计 total	稻 rice	麦 wheat	合计 total	稻 rice	麦 wheat
g N/盆 g N/pot								
0	0	0	0	—	—	—	66.3	55.4
68.3	86.2	29.3	68.2	69.6	57.7	68.4	35.6	28.2
70.8	86.8	32.6	70.4	77.9	60.8	75.7	36.1	29.1
69.7	87.2	32.6	69.8	74.2	63.1	73.8	35.7	30.2
60.9	86.0	54.0	65.9	50.0	56.9	61.6	42.6	31.4
65.9	76.5	67.0	67.7	62.1	30.0	66.8	39.1	44.6
斤 N/亩 jin N/mu								
0	0	0	0	—	—	—	70.2	46.4
26.5	47.8	7.7	29.9	38.0	59.3	51.7	57.0	39.3
23.0	35.3	2.8	22.1	31.4	35.3	34.4	55.8	43.2
23.0	42.6	9.3	26.4	31.4	48.0	43.4	56.3	43.0
22.5	39.3	13.6	25.8	30.7	42.0	42.0	59.0	42.3
21.0	34.0	17.6	24.1	28.0	33.3	38.4	58.4	44.4
0	0	—	0	0	0	0	57.5	48.0
27.0	46.8	—	34.4	34.2	35.4	34.8	45.8	47.0
31.5	31.3	—	31.4	42.5	18.3	30.4	36.3	51.6
31.9	36.7	—	33.4	43.3	23.4	33.4	38.5	48.7
25.5	28.5	—	26.4	31.7	16.1	23.9	43.8	50.4
0				0			68.6	
21.6				34.3			57.0	
32.6	—			60.3	—		50.6	—
38.8				79.0			47.1	
25.3				42.3			55.4	
mg N/筒 mg N/microplot								
16.3	44.7	—	30.1	27.3	34.4	30.8	34.2	91.1
24.9	47.2	—	38.4	42.3	40.5	41.4	29.2	77.6
24.2	47.5	—	37.2	42.8	38.3	40.5	24.6	82.2
14.8	39.2	—	27.5	22.5	29.0	25.9	27.3	94.7

## 参 考 文 献

- [1] 李庆远, 1976: 长效肥简介。土壤农化参考资料, 第2期, 1—19页。
- [2] Oertli, J. J., (孙秀廷译, 1982), 1980: 长效肥。土壤学进展, 第2期, 13—22页。
- [3] 孙秀廷, 1983: 国内外长效肥研究概况。土壤养分、植物营养与合理施肥—中国土壤学会农业化学专业会议论文选集, 265—278页, 农业出版社。
- [4] 中国科学院南京土壤研究所长效肥组, 1974: 长效碳铵的研制。土壤, 第3期, 97—102页。
- [5] 曹志洪、孙秀廷、蒋佩弦、李阿荣、李庆远, 1980: 长效碳酸氢铵的研究。土壤学报, 第17卷2期, 131—144页。
- [6] 孙秀廷、蒋佩弦、李阿荣、曹志洪, 1980: 长效碳铵的制造工艺、释放特性及其肥效的研究。山东化工, 第2期, 27—31页。

- [7] 朱兆良、汪祖强、徐银华, 1963: 土壤氮素供应状况的研究: II 硫酸铵在植稻土壤中的转化及其对土壤氮素供应状况的影响。土壤学报, 第11卷2期, 185—195页。
- [8] 陈荣业、范钦楨, 1978: 碳铵粒肥在非石灰性水稻土上深施的氮素供应状况。土壤学报, 第15卷1期, 75—82页。
- [9] 陈荣业、孙秀廷、李阿荣、潘遵谱、陈全武、惠茂新, 1983: 苏州高产稻区氮肥的经济施用。土壤学报, 第20卷4期, 373—386页。
- [10] Engelstad, O. P. and D. A. Russel, (鲁如坤译, 1978), 1975: 热带地区的施肥。土壤农化参考资料, 第5期, 1—12页。
- [11] Araten, Y., 1968: New Fertilizer Materials. Noyes Development Corporation, N. Y. USA.
- [12] Lonting-Lasting nitrogen fertilizer-IBDU. Mitsubishi Chemical Industries Limited. Tokyo, Japan.
- [13] Bridger, G. L. and M. L. Salutsky, 1962: Metal ammonium phosphate as fertilizer. Agri. Food Che., 10(3): 181—192.
- [14] Hamamoto, M. 1966: Isobutylidene diurea as slow-acting nitrogen fertilizer and the studies in this field in Japan. Proc. Fert. Soc., London, 90: 64p.
- [15] International Rice Research Institute (IRRI), 1973: Annual Report for 1972. Los Baños, Philippines, 246p.
- [16] Prasad, R., and S. K. DE Datta, 1979: Increasing fertilizer nitrogen efficiency in wetland rice. in "Nitrogen and Rice", pp. 465—484, Los Baños, Philippines.
- [17] Wells, B. R., and P. A. Shockley, 1975: Conventional and controlled-release N sources for rice. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 39: 549—551.
- [18] Dalal, R. C., 1975: The use of urea and sulfur coated urea for corn production in a tropical soil. Pro. Soil Sci. Soc. Amer., 39: 1004—1005.
- [19] International Rice Research Institute (IRRI), 1978: Summary report on the first and second International trials on nitrogen fertilizer efficiency in rice (1975—1977), Revised. Los Baños, Philippines. 36p.
- [20] Sanches, P. A., A. O. Gavidia, G. E. Ramirez, R. Vergara and F. Minquillo, 1973: Performance of Sulfur-coated urea under intermittently flooded rice culture in Peru. Soil Sci. Soc. Am., Proc. 37: 789—792.
- [21] Cascho, G. J., and G. H. Synder., 1976: Sulfur-coated urea. Soil Sci. Soc. Amer. J., 40: 119—122.
- [22] Shelton, J. E., 1976: Evaluation of Sulfur-coated urea as a preplant total season nitrogen supply for trellised tomatoes. Soil Sci. Soc. Amer. J., 40(1): 126—129.
- [23] De Datta, S. K., 1981: Mineral nutrition and fertilizer management of rice. Pages 348—419 in Principles and Practices of Rice Production. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- [24] De Datta, S. K., C. P. Magnaye, and J. C. Moomaw, 1968: Efficiency of fertilizer nitrogen (<sup>15</sup>N-labelled) for flooded rice. 9th International Congr. Soil Sci. Trans., 4: 67—76.
- [25] Bartholomew, W. V., 1971: <sup>15</sup>N in research on the availability and crop use of nitrogen. in "Nitrogen-15 in Soil-Plant Studies", pp. 1—20, International Atomic Energy Agency Vienna.

## SUPPLYING PROCESS AND EFFECT OF THE NITROGEN FROM SLOW-RELEASE UREA APPLIED IN SOIL UNDER RICE-WHEAT ROTATION SYSTEM

Sun Siuting, Chen Rongye and Jiang Peixuan

*(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)*

Pan Zunpu, Chen Quanwu and Hui Maoxin

*(Suzhou Institute of Agricultural Sciences)*

### Summary

Phosphate coated urea (PCU) with a total N content of 33.8%, total P content of 5.15% and available P content of 4.10% was prepared and used in pot and field experiments in comparison with the commercial slow-release fertilizers including sulfur coated urea (SCU), isobutylidene diurea (IBDU) and urea supergranule (USG) under rice-wheat rotation system. The results obtained are summarized as follows:

(1) PCU and USG applied in holes as basal fertilizer in pot experiment was markedly higher in supplying intensity and capacity of N than SCU and-IBDU mixed with soil as basal fertilizer during the growing period from transplanting to milky ripening stage of rice, which indicates that the supplying process of N from PCU applied in hole as basal fertilizer well coincides with the requirement of N by rice plant in different growing stages.

(2) Effect of PCU deeply applied as basal fertilizer on the yield of middle rice was significantly higher than that of common urea by split application, but it on the yield of single late rice on permeable and bleached paddy soils was lower than that of common urea of split application. The effect of slow-release fertilizer on wheat yield in pot experiment was more significant than that on rice yield, but no difference was found in field experiment.

(3) PCU applied in holes as basal fertilizer for middle rice on red earth was the highest in recovery rate of N, amounting to 79%; and the recovery rates of N from USG, SCU and common urea were 60%, 42% and 34% respectively. The recovery rates of N from the slow-release fertilizers by single late rice were lower, while that by wheat was higher than that by rice; and the results obtained in pot experiment was higher than those in field experiment.

(4) The residual effect of IBDU with the lowest release rate of N was higher by 89% and 47% than those of PCU and SCU respectively, which implies that the residual effect of the fertilizers is related with the release rate of the fertilizers. It was also found that the residual effect of the fertilizers in pot experiment was significantly higher than that obtained in field experiment.