

^{15}N 标记尿素施入湿地水稻土 中的去向和效应*

孙秀廷

(中国科学院南京土壤所)

尿素是一种优质合成氮肥,有效成分高,长期施用也不会对土壤产生破坏作用,因此深受种植者的欢迎。但如果施用方法不当,往往会引起氨挥发、反硝化和淋失,导致了氮素的严重损失,因而氮肥利用率很少超过40% [1-4],还可能造成环境污染。因此减少氮素损失,提高氮肥效应仍然是一个重要课题。

本研究采用 ^{15}N 同位素示踪技术,在菲律宾湿地水稻土上进行了田间微区试验,测定了 ^{15}N 标记尿素施入水田后的去向,并评价了不同形态的尿素和施用方法对水稻的增产效应。

试验材料和方法

田间试验于1983年早季和雨季在中吕宋菲律宾水稻研究和训练中心进行。供试土壤为玛利加亚粘土, pH5.7(H_2O),全氮0.1%(K氏法),有机质1.90%(Broadbent, 1965),阳离子代换量27毫克当量/100克土(醋酸铵法),有效磷3ppm P(olsen等,1965),代换性钾(K)0.34毫克当量/100克土(Jackson, 1958),有效锌1.09ppm Zn(VieTs等, 1965)。

表1 试验处理

处 理	肥 料 和 施 肥 方 法
1. 对 照	无 氮 肥
2. 尿 素 粒 肥 深 施	每四穴稻中央塞施一粒尿素粒肥,深10厘米,
3. 普 遍 尿 素 条 施	播秧后将水落干,隔行开沟,深10厘米,将普通尿素施入沟底,复土,灌水
4. 普 遍 尿 素 分 次 施	普通尿素2/3作基肥混施, 1/3在幼穗分化前5-7天撒施。
5. 普 遍 尿 素 当 地 农 民 习 惯 施 肥 法	普通尿素2/3在移栽后15天撒施, 1/3在孕穗期撒施。
6. 普 遍 尿 素 当 地 农 民 习 惯 施 肥 法 + PPD(早季)	将含有1%PPD的尿素2/3在移栽后15天撒施,其余1/3用普通尿素在孕穗期撒施。

注: 1. PPD即苯基胍二酰胺,是一种尿酶抑制剂。
2. 处理6雨季改为硫酸铵分次施,施肥方法同处理4。

试验设六个处理(表1),随机区组排列,四次重复。氮肥品种为尿素,施肥量:早季为87公斤N/公顷,雨季为58公斤N/公顷。此外每公顷施入30公斤 P_2O_5 (过磷酸钙),30公斤 K_2O (氯化钾)和10公斤Zn(硫酸锌)作底肥。

小区面积为 4.8×5.2 平方米,每个小区内设有两个微区,其面积为 1.2×1.2 平方米,它是由金属方框做成。供试水稻品种为IR58,秧龄20天。早季试验于1月6日插秧,3月30日收获,雨季试验于8月23日插秧,11月17日收获。水稻栽插密度,微区和小区相同,均为 20×20 厘米,每穴3-4株,每个微区36穴。微区内全部施 ^{15}N 标记的尿素,丰度为5.50%,小区内施非标记尿素。

* 本文系作者在国际水稻所进修时的部分工作总结,本研究得到迪达塔博士的指导,并得到农艺系和土化系同人的大力帮助,谨致谢忱。

土壤和植株样品的采集 土壤和植株样品的采集都在微区内进行，于插秧后30天和水稻收割时共采样两次。第一次采样时，先测量微区中的水深，并采集水样，立刻放入冰箱中，留待测定尿素态氮和铵态氮之用。然后将微区中的水抽干，取中央4穴稻株，用蒸馏水洗净，80℃烘至恒重，磨细，待测定全氮含量和 ^{15}N 原子百分超。植株样品取好后，立即采集土样，其方法如下：将特制的土壤取样器放在微区中央，垂直打入土中30厘米，将土取出，分成0—5，5—15，15—30厘米，再用土钻取30—50厘米的混合土样，分别装进塑料袋中，放入冰箱内，留作测定全氮、交换性铵、非交换性铵和 ^{15}N 原子百分超。第二次采样时，水稻已成熟。土壤中交换性铵已经很少，不必采新鲜土样，因此在收获前一个星期将水排干，按第一次采样方法采集分层土样，然后风干，粉碎过筛，测定全氮和 ^{15}N 原子百分超。植株同样取中央4穴，脱粒，分别测定谷、草烘干重、全氮含量和 ^{15}N 原子百分超。

小区水样的采集 施肥后1—10天，每天采集小区内水样两次，上午7时一次，下午2时一次，同时测定水温和pH。每一小区取五点混合水样，充分混匀，从中吸取18毫升放进小塑料瓶中，加入2毫升50ppm的PMA(苯基醋酸汞，尿酶抑制剂)，放入冰箱中保存，以备测定全氮、尿素态氮和铵态氮之用。

稻谷产量的测定 为减少边际效应的影响，小区四周的植株不要，只收获小区中间5平方米的稻株，脱粒，扬净，晒干，折算成标准产量(含水率14%)。

^{15}N 的分析方法 植株和土壤 ^{15}N 丰度的测定采用国际肥料发展中心的分析方法，用国际水稻所分析室622型质谱仪测定。

结果和讨论

氮肥形态和施用方法对国际稻IR58产量的影响 各处理的产量结果列于表2。从表中可以看出，不论旱季或是雨季，所有施氮的处理，其稻谷产量均显著高于对照，其中以尿素粒肥深施的产量最高，旱季为958斤/亩，雨季为710斤/亩，与当地农民习惯施肥法相比，分别增产20%和12.7%，均达到统计上的显著。普通尿素2/3作基肥混施，1/3在幼穗分化前5—7天撒施，被称为科学的分次施肥法，在当地条件下，不论旱季和雨季，都获得与尿素粒肥深施同样高的产量。与当地习惯施肥法相比，增产效果也比较显著。当地农民一般只在插秧

后15天随水漫灌撒施一次尿素，有条件的在水稻孕穗时再撒一次，肥料流失颇为严重。因此，若能采用科学的施肥方法，无疑，水稻产量将会有大幅度的增长。从试验中还可看出，普通尿素加入1%的尿酶抑制剂PPD(苯基磷二酰胺)与不加PPD的处理之间没有显著差异。

田面水的pH和氨挥发 施用铵态氮肥(包括尿素)后田面水的pH值每增加一个单位，例如从8增加到9，水中 NH_3 的浓度大约增加10倍^[5]。田面水pH和氨挥发之间存在着显著的相关。此外，田面水pH还受藻类的光合作用和呼吸活动的影响而发生显著的

表2 不同氮肥形态和施用方法对IR58的产量效应

处 理	稻谷产量(斤/亩)	
	旱 季	雨 季
对 照(无氮肥)	472 c	515 c
尿素粒肥深施	958 a	710 a
普通尿素隔行条施	920 a	641 b
普通尿素2/3基肥1/3穗肥	915 a	691 ab
普通尿素当地农民习惯施肥法	799 b	631 b
加1%PPD的尿素当地农民习惯施肥法	804 b	—
硫酸2/3基肥1/3穗肥	—	693ab

注：产量结果采用新复全距法统计，字母相同者表示差异不显著。

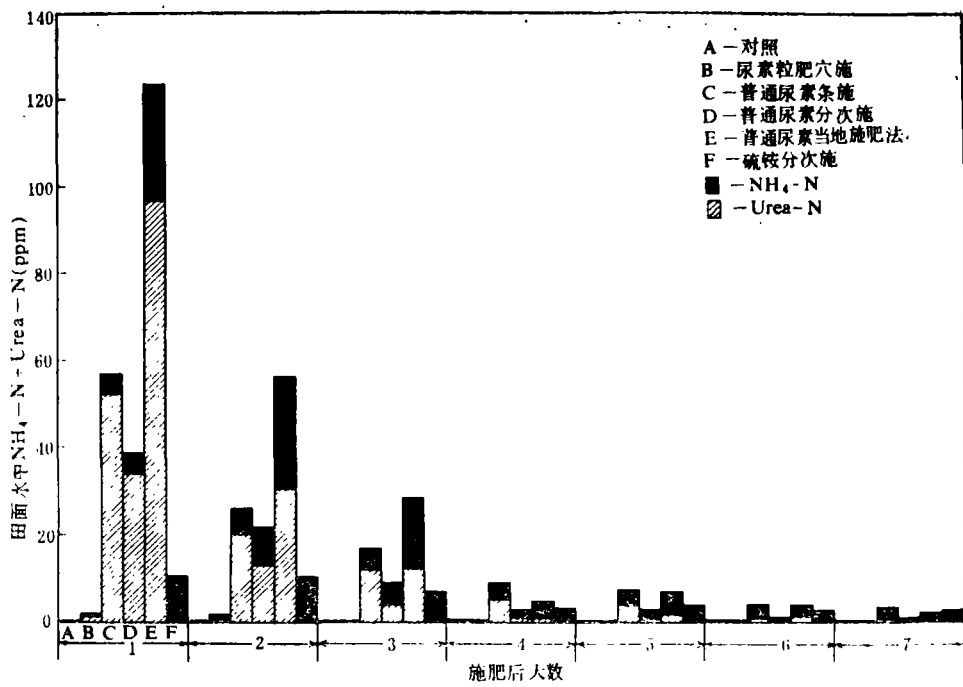


图1 不同氮肥形态和施肥方法对田面水中铵态氮和尿素态氮的影响

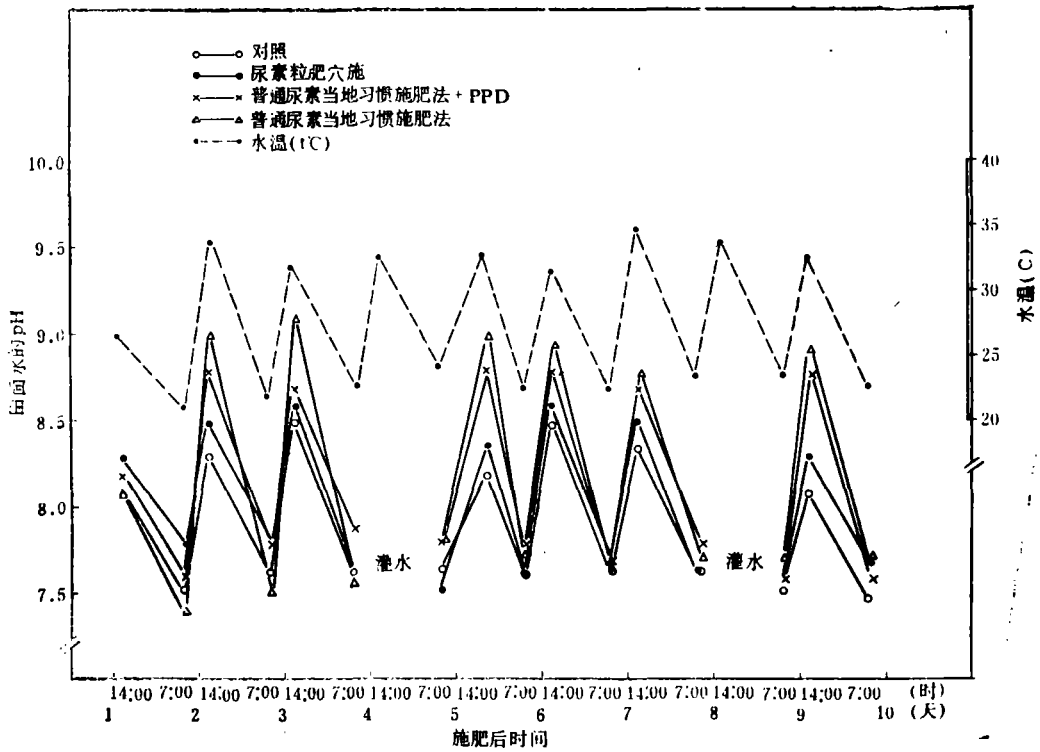


图2 氮肥形态、施肥方法和水温对田面水 pH 的影响

日变化^[5]。尿素的水解和藻类的生长提高了田面水的pH值，从而引起了氨的挥发损失。

氨挥发的趋势可以通过测定田面水中尿素态氮和铵态氮来估算。我们在旱季和雨季试验中均采用此法，施肥后连续测定10天。发现水中尿素态氮和铵态氮的浓度在不同处理之间有很大的差异，尿素粒肥深施处理的田面水中，其尿素态和铵态氮的浓度极微，接近于对照区（图1），可见尿素粒肥深施的氨挥发损失很小；而当地农民习惯施肥法，其田面水中尿素态氮和铵态氮的浓度很高（图1），氨的挥发损失是显而易见的。我们在试验中还观察到，田面水的pH按照一定的日变化模式而升降，早晚低，中午高，与水温的升降是一致的。同时还看到，当地农民习惯施肥法处理的pH变幅最大，而粒肥深施处理的pH变幅较小，与对照相近（图2）。在旱季试验中，尿酶抑制剂并未表现出增产效果，因此雨季试验时改为硫酸分次施，发现该处理的田面水pH最低，早晨为4.7—6.0，下午最高时只有7.2。很显然这是由于硫酸的生理酸性所致。

关于尿酶抑制剂 尿素施入水田后，在高温情况下迅速水解，容易引起氨的挥发损失，于是便提出用尿酶抑制剂降低尿素水解速率以减少氨挥发损失的设想。Bundy和Bremner^[6]曾经证明对位苯醌是一种有效的土壤尿酶抑制剂。在本试验中，我们发现施用含有1%PPD的尿素，田面水中铵态氮的浓度在施肥后1—5天，比不加PPD的要低，而尿素的浓度则比较高（图3）。这表明PPD对尿素的水解在初期能起到一定的抑制作用，但5天以后这种作用便逐

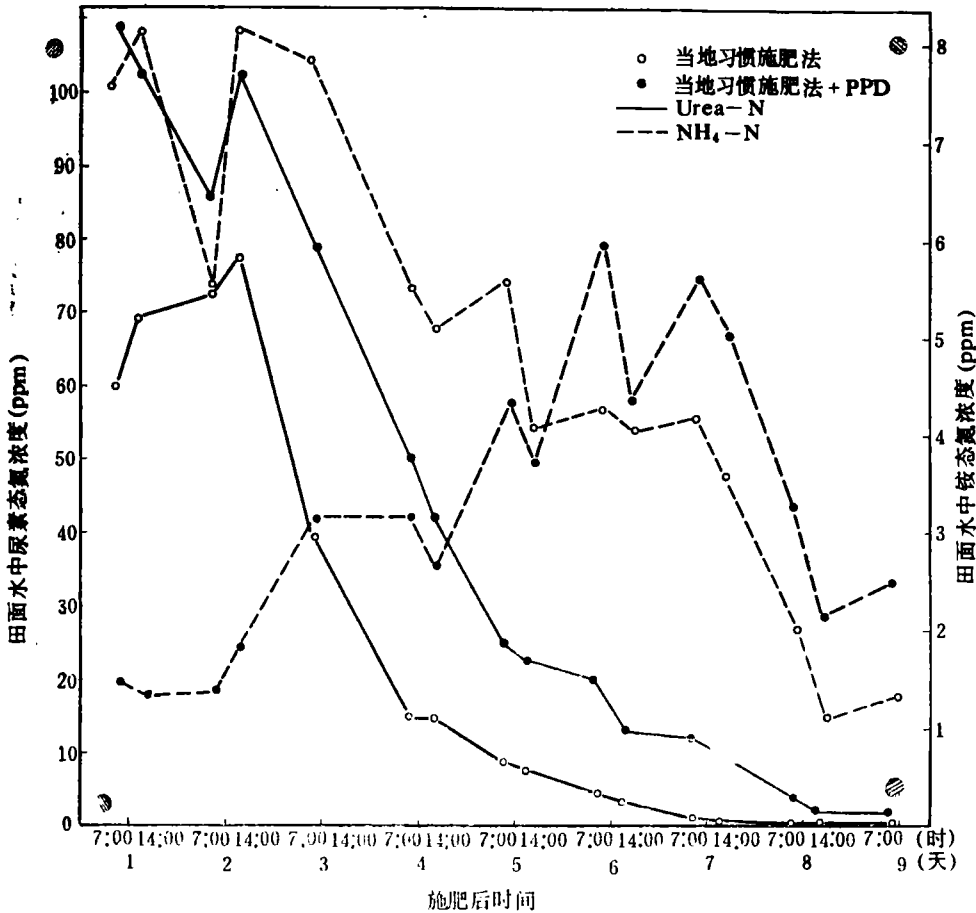


图3 尿酶抑制剂 PPD 对田面水中尿素水解的抑制

渐消失了。在稻谷产量上，两个处理之间并无明显差异。这或许是由于土壤对尿素的吸附作用很弱，当尿素水解缓慢时淋溶和径流的损失增加了的缘故。看来，尿酶抑制剂在热带地区的有效施用条件还值得进一步研究。

湿地水稻土上氮肥的生产效率和氮素利用率 De Datta等^[7] 1968年用¹⁵N标记的尿素和硫酸铵进行试验证明，氮肥深施的生产效率比其他施用方法都要高，每斤肥料氮生产稻谷46斤。曹志洪等^[8] 1981年在国际水稻所农场进行的旱季和雨季试验，尿素粒肥深施每斤肥料氮的生产效率分别为51斤和40斤稻谷。而我们在中吕宋湿地水稻土上所得到的结果远比上述结果要低，旱季为42斤稻谷/斤氮，而雨季只有25斤稻谷/斤氮。

雨季的水稻产量和氮肥生产效率比旱季要低得多，其原因除了氮肥用量不同和淋失外，主要是由于太阳辐射强度的不同，雨季多阴雨天，太阳辐射强度比旱季要弱得多。De Datta和Zarate^[9]的早期工作已证明，水稻产量和太阳辐射之间存在着高度的相关。

氮的回收率 表3和表4分别代表水稻移栽后30天和收获时¹⁵N标记尿素的回收率。结

表3 水稻移栽后30天¹⁵N的回收率(%)

处 理	植 株			土 壤										植 株 + 土 壤
	地 上 部	根 部	合 计	交 换 性 铵					非 交 换 性 铵					
				0-5	5-15	15-30	30-50	合 计	0-5	5-15	15-30	30-50	合 计	
尿素粒肥深施	14.8	1.24	16.0	20.2	30.4	0.05	0	50.6	15.6	18.1	0.87	0	34.5	101
普通尿素条施	18.8	1.40	20.2	19.4	12.1	0.06	0	31.5	23.4	11.4	1.24	0	36.0	87.7
普通尿素分次施	30.4	2.73	33.2	1.79	0.52	0	0	2.31	30.6	3.31	1.82	0	35.8	71.2
普通尿素当地农民习惯施	33.5	3.07	36.6	9.24	0.24	0	0	9.48	22.8	1.53	1.27	0	25.6	71.7
普通尿素+PPD当地农民习惯施	28.0	3.00	31.0	22.0	1.09	0.01	0	23.1	24.9	1.98	1.88	0	28.9	83.0

注：(1) 0-5, 5-15, 15-30, 30-50为采样深度(厘米)。(2) 有机¹⁵N未测定，下同。

表4 水稻收获时¹⁵N回收率(%)

处 理	植 株				土 壤 非 交 换 性 铵					植 株 + 土 壤
	稻 谷	稻 草	根 部	合 计	0-5	5-15	15-30	30-50	合 计	
尿素粒肥深施	53.4	23.4	1.04	77.8	14.7	7.67	1.03	0.03	23.4	101
普通尿素条施	42.2	19.6	0.99	62.8	24.8	5.31	1.48	0.03	31.7	94.4
普通尿素分次施	41.7	13.8	0.97	56.4	32.3	4.87	1.37	0.10	38.6	95.0
普通尿素当地农民习惯施	43.0	15.4	0.98	59.4	25.1	2.35	1.33	0	28.9	88.2
普通尿素+PPD当地农民习惯施	47.8	16.1	1.10	65.0	22.8	3.16	1.36	0	27.3	92.3

果表明，施肥后30天，水稻从尿素粒肥吸收的¹⁵N仅为16%，远远低于其他各处理，但到收获时，尿素粒肥深施的氮素利用率最高，达到78%，而其他各处理只在56—65%之间。笔者^[3]在湖南省桃源县红壤性水稻土上用差值法所做的试验表明，尿素粒肥深施的氮素利用率为60%，而普通尿素分次施的为34%。曹志洪等^[8] (1981)在伊利(IRRI)农场应用标记法进行的试验结果是，尿素粒肥深施和普通尿素分次施的氮素利用率分别为73%和33%；陈荣业和朱兆良(1982)^[10]在国内不同土壤上所得到的结果为：尿素粒肥深施的利用率为55—75%，而

普通尿素分次施为22—45%。Craswell等(1983)^①报导了尿素粒肥深施和普通尿素分次施的氮素利用率范围分别为48—75%和21—51%。这些结果充分地说明了尿素粒肥深施是提高氮素利用率的好方法。

本试验还对尿素在土壤中的转化情况作了初步研究(表3,表4)。结果表明,施肥后30天,大约有1/4—1/3¹⁵N标记的尿素态氮以非交换性铵的形态被固定在土壤中,其中尿素粒肥深施、普通尿素条施和分次施三个处理被土壤固定的氮(未包括有机固定部分)都在35%左右。这比Broadbent等^[11]曾报道过的施入土壤中的氮约40%被固定在粘土矿物的晶格中的结果较为接近。而当地农民习惯施肥法则较低,约为26%,加入尿酶抑制剂后使土壤中非交换性铵略有增加。水稻成熟时,固定在土壤中的非交换性铵,除尿素粒肥深施的从35%降低到23%外,其余各处理均变化不大。Keerthisinghe等^②(1981)在中吕宋湿地水稻土中观测到,水稻生长前期土壤中非交换性铵都减少,而后减少则不明显。在水稻生长初期,当土壤中存在大量交换性铵时,为什么水稻还会吸收被固定的非交换性铵?在我们的试验中还发现,只有尿素粒肥深施处理的非交换性铵后期比前期减少显著,而其余各处理均变化不大,其原因何在?这些问题都有待进一步研究。

土壤中交换性铵的含量,移栽后30天第一次采样时,各处理之间存在着明显的差异,尿素粒肥深施和普通尿素条施两个处理分别为51%和32%,几乎全部集中在0—15厘米土层中,而普通尿素分次施和当地农民习惯施肥法两个处理都在10%以下,并且都集中在0—5厘米土层中(见表8)。这个结果表明,尿素粒肥深施,在土壤中能较长时间保持着比较稳定的状态,因此肥效缓而长。

结 语

试验采用¹⁵N同位素示踪技术,研究了不同形态氮肥和施用方法对国际稻IR58的产量效应以及氮肥在土壤—作物—田面水体系中的分布和转化。结果表明,尿素粒肥深施能显著降低田面水中氮的含量从而减少挥发损失,同时尿素粒肥深施还能起到集中施肥从而减少土壤固定的作用。因此尿素粒肥深施的氮素利用率和增产效应都高于其他几种施肥方法。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤所, 碳酸氢铵粒肥的肥效和机械造粒。土壤, 3: 91-96, 1974.
- [2] 朱兆良、陈荣业等, 苏州地区平田黄泥土氮素供应过程的特点及其与氮肥施用方法的关系。土壤学报, 16(3): 218-234, 1979.
- [3] 孙秀廷、陈荣业等, 长效尿素的供氮过程及其稻—麦轮作下的生物学效应。土壤学报, 23(1): 17-29, 1986.
- [4] Li, C. K. and Chen, R. Y., Fertilizer Research, 1:125-136, 1980.
- [5] Mikkelsen, D. S. and S. K. De Datta, Nitrogen and Rice, IRRI. 135-150. 1979.
- [6] Bundy, L. G. and J. M. Bremner, Soil Sci. Soc. Am J., 43:352-358, 1979.
- [7] De Datta, S. K., et al., in IV Trans. 9th Soil Sci. Congr., 67-76, Adelaide, Australia, 1968.
- [8] 曹志洪、S.K. 迪达塔, 深施氮肥(¹⁵N标记尿素)对稻田水层化学性质的影响及水稻对深施氮肥的回收率。土壤学报, 20(3): 253-261, 1983.
- [9] De Datta, S. K., Principles and Practices of Rice Production, 12-14, New York: John Wiley & Sons, 1981.
- [10] Chen, R. Y. and Zhu, Z. L., Fertilizer Research, 3:63-71, 1982.
- [11] Broadbent, F. E. and T. Nakashima, Soil Sci. Soc. Am. Proc., 34:218-221, 1970.

① Craswell, E. T. et al, IRRI Research Paper Series, 1983.

② Keerthisinghe, et al, IRRI Saturday Seminar Papers, 1-20, 1981.