

应用同位素¹⁵N研究硝化抑制剂 对水稻的增产作用*

温贤芳 王宝忠 王福钧 彭根元

(中国农业科学院原子能利用研究所) (北京农业大学)

麦 鸿 逵

(河北省芦台农场)

一、引言

据国内外报道 (Goring Cleve 1962), 氮素化肥施入土壤中, 有相当一部分从土壤中损失, 一般作物只能利用 30—50%。施于土壤中氮肥损失的途径主要是氨的挥发, 硝态氮的流失, 硝态氮在嫌气条件下的反硝化作用, 以及亚硝酸盐的化学分解。因此, 减少土壤中氮肥损失, 提高其利用率, 使氮肥发挥最大的增产效果是重要的研究课题 (Черепков 1974; Бобрицкая, и др., 1975)。

几年来我国化工部门已经研制成多种硝化抑制剂, 并在一定面积上进行了小区及大田试验。试验结果表明, 施用合适时硝化抑制剂有一定的增产作用。硝化抑制剂与铵态氮肥或尿素混合施用后能抑制或杀死亚硝酸细菌, 使硝化作用难以进行, 从而减少土壤中硝态氮的含量, 提高铵态氮的利用率, 减少氮肥的损失。

为了弄清硝化抑制剂的增效作用, 我们通过田间小区试验研究了几种主要硝化抑制剂的增产作用, 并用 ¹⁵N 同位素示踪法研究了硝化抑制剂对水稻吸收肥料氮及土壤氮的影响, 测定了几种主要氮肥的氮素利用率。

二、试验材料和方法

1. 试验在河北省芦台农场一分场进行。
2. 供试作物: 水稻, 品种为“白金”。1977年5月29日插秧, 10月6日收割。
3. 供试土壤: 滨海盐渍浅色草甸土。基本特性: pH 为 7.5—7.6, 有机质 1.82%, 全氮 0.108%, 速效磷 (P_2O_5) 5.8ppm, 速效钾 (K_2O) 540.6ppm。
4. 测定方法: 有机质为丘林法, 全氮为凯氏定氮法, 速效磷为碳酸氢钠提取法, 速效钾为醋酸铵法, 由中国农业科学院综合分析室测定。
5. ¹⁵N 肥料: 碳铵丰度 11.8%, 硫铵丰度 12.4%, 硝铵 ($^{15}NH_4NO_3$) 丰度 13.2%, 尿

* 参加此项研究工作的还有刘心生、张庆茂。

素丰度 9.7%。

6. 硝化抑制剂: 2-氯-6(三氯甲基)吡啶 (CP), 脘基硫脲 (ASU), 4-氨基-1, 2, 4-三唑盐酸盐 (ATC), N-2, 5-二氯苯基琥珀酰胺酸 (DCS), 氯甲苯 (HCT), 2, 5 二氯硝基苯 (NB)。

7. ^{15}N 样本的制备和分析: 将水稻样本取回, 放在 80°C 烘箱中干燥, 用磨粉机磨碎过 80 目的筛, 分别取稻谷和稻草 0.6 克和 1 克按凯氏法测定含氮量。并在 MN-1305 质谱计上进行 ^{15}N 原子百分数的测定¹⁾(尤崇构等, 1965)。

8. 试验处理: 分小区试验和盆栽试验两组进行。小区试验共分 17 个处理, 除氯甲苯是 3 个重复外, 其它均为 4 个重复, 每个小区面积为 1 分地, 插秧的株距为 4 寸, 行距为 6 寸。处理如下:

(1) 碳铵对照(每亩施碳铵折合 12 斤 N), (2) 碳铵+1.5% CP, (3) 碳铵+3% ASU, (4) 碳铵高肥(每亩施碳铵折合 17 斤 N), (5) 碳铵造粒深施²⁾, (6) 碳铵造粒深施+1.5% CP²⁾, (7) 碳铵+3% ATC, (8) 尿素对照(每亩施尿素折合 12 斤 N), (9) 尿素+1.5% CP, (10) 尿素+3% ASU, (11) 尿素+2.5% NB, (12) 尿素+3% DCS, (13) 尿素+每亩 100 克 HCT, (14) 硫铵对照(每亩施硫铵折合 12 斤 N), (15) 硫铵+1.5% CP, (16) 硝铵对照(每亩施硝铵折合 12 斤 N), (17) 硝铵+1.5% CP。

盆栽试验 ^{15}N 肥料试验处理如下:

(1) 碳铵对照(每盆施碳铵折合 0.2285 克 N), (2) 碳铵+1.5% CP, (3) 碳铵+3% ASU, (4) 碳铵高肥(每盆施碳铵折合 0.3231 克 N), (5) 碳铵造粒深施, (6) 碳铵造粒深施+1.5% CP, (7) 尿素对照(每盆施尿素折合 0.2607 克 N), (8) 尿素+1.5% CP, (9) 尿素+3% ASU, (10) 硫铵对照(每盆施硫铵折合 0.2607 克 N), (11) 硫铵+1.5% CP, (12) 硝铵对照(每盆施硝铵折合 0.2607 克 N)³⁾, (13) 硝铵+1.5% CP。

试验地的前茬是水稻, 插秧前每亩施中等质量厩肥 1500 斤, 过磷酸钙 100 斤(相当于 8 市斤 P_2O_5), 氮肥施用量按每亩 12 斤 N 计算, 分三次施肥, 第一次返青肥(6 月 6 日), 施量为总量的 30%; 第二次分蘖肥(6 月 20 日), 施量为总量的 40%; 第三次穗肥(7 月 16 日), 施量为总量的 30%。碳铵粒肥分两次施(6 月 6 日, 7 月 2 日), 施量各占 50%。有一个高肥处理, 每亩施 17 斤 N 素。除特别指出外, 每个试验处理的肥料均为表施。

同位素 ^{15}N 盆栽试验, 用聚丙烯塑料圆筒形无底盆, 内径为 18 厘米和 19.2 厘米, 高 29 厘米, 盆钵埋入土中 20 厘米, 在塑料盆离地面 1 厘米处打二个孔(ϕ 10 毫米)作进出水孔, 盆栽用土是从埋入盆钵的小区取 20 厘米土层, 过筛拌匀再装入盆内, 小盆和大盆均按体积装土, 小盆栽 1 穴(7 株), 大盆栽 1 穴(8 株), 单株营养面积相等。每次施肥时, 将盆上两个孔用橡皮塞塞紧, 防止 ^{15}N 肥料与外面交换, 一般经一星期后再打开孔塞。

同位素碳铵粒肥深施, 是把肥料称出后放入胶囊中。将所需硝化抑制剂 CP(溶于丙酮)按量加入胶囊肥料中, 这样能均匀地混在一起, 施肥时将玻璃管插入土内 10 厘米, 胶

1) 质谱分析由中国农业科学院原子能利用研究所质谱组进行。

2) 按施肥量及硝化抑制剂施用量, 取一定量的肥料加硝化抑制剂充分混合在球肥机上造粒, 手工施入小区中。另也进行了大田试验。

3) 硝铵中的含氮量按全氮含量计算。

囊从玻璃管内放入,胶囊可慢慢溶化(胶囊由淀粉制成,易溶于水)。

三、试验结果及讨论

1977年芦台农场水稻硝化抑制剂田间试验面积有1205亩,共增产稻谷84140斤。水稻试验总共有48例,增产37例,占77.1%,平产10例,占20.8%,减产1例,占2.1%。

(一) 小区试验结果

从表1看出,在本试验条件下,碳铵中添加硝化抑制剂CP, ASU, ATC,均有一定的增产效果,增产幅度在14.7—17.3%。其他氮肥添加硝化抑制剂CP均可增加产量,增产幅度在5.1—17.3%,其中尿素增产较少。

表1 不同氮肥添加不同硝化抑制剂对水稻产量的影响(小区试验)

处 理	亩产(斤)	增产(斤/亩)	增产(%)
碳铵对照	761		
碳铵+1.5% CP	873	112	14.7
碳铵+3% ASU	884	123	16.2
碳铵+3% ATC	893	132	17.3
尿素对照	842		
尿素+CP	885	43	5.1
尿素+ASU	850	8	1.0
尿素+NB	889	47	5.6
尿素+DCS	893	51	6.0
尿素+HCT	928	86	10.2
硫铵对照	896		
硫铵+CP	987	91	10.2
硝铵对照	729		
硝铵+CP	800	71	9.8

表2 碳铵加硝化抑制剂以及不同施肥方法对水稻产量的影响(小区试验)

处 理	亩产(斤)	增产(斤/亩)	增产(%)
碳铵对照表施	761		
碳铵高肥表施	965	204	26.9
碳铵粒肥深施	939	178	23.4
碳铵粒肥+CP 深施	962	201	26.5

从表2看出,对于碳铵,由于施肥方法不同,增产效果显著不同。将碳铵造粒深施,每亩可增产稻谷178斤,增产百分率为23.4%。根据表1的数据,每亩表施碳铵12斤氮素时,添加CP,比对照增产112斤,增产百分率为14.7%,增产幅度明显。比较表1及表2的结果可以看出,添加硝化抑制剂的增产效果不如碳铵造粒深施的增产效果明显(后者增产百分率达23.4%)。在碳铵造粒深施的情况下,再添加硝化抑制剂时增产效果就不明显了。

在我们的试验条件下,增加氮肥施用量可显著提高产量。与碳铵用量每亩12斤的对

照,氮素用量提高到 17 斤,增产百分率达 26.9%,将碳铵(每亩 12 斤氮素)做成粒肥深施增产 23.4%,将粒肥深施并添加 CP 时,可增产达 26.5%,而接近于 17 斤氮素碳铵表施的结果。

(二) 盆栽试验结果

不同品种氮肥添加硝化抑制剂后,盆栽水稻的产量结果与小区试验产量的结果基本一致。除硫酸铵外,各种氮肥添加硝化抑制剂 CP 均有一定的增产作用,增产幅度为 8.0—19.6%。从表 3 可以看出,不同硝化抑制剂的作用是不同的,而以 CP 的效果最好。

表 3 各种氮肥添加不同硝化抑制剂对水稻产量的影响(盆栽)

处 理	每盆籽粒重(克)	每盆稻草重(克)	每盆重(克)	籽粒增产(%)
碳铵对照	24.2	26.5	50.7	
碳铵+CP	26.6	27.4	54.0	10.0
碳铵+ASU	24.0	26.2	50.2	-0.7
尿素对照	27.6	31.7	59.3	
尿素+CP	29.8	32.5	62.3	8.0
尿素+ASU	30.5	32.6	63.1	10.5
硫酸铵对照	27.9	29.7	57.6	
硫酸铵+CP	28.5	36.4	64.9	2.0
硝铵对照	24.3	29.2	53.5	
硝铵+CP	29.1	31.6	60.7	19.6

有关碳铵添加硝化抑制剂,以及不同施肥方法对水稻产量影响的数据列于表 4,表 4 说明,碳铵粒肥深施比表施增产 34%,增产效果明显。碳铵粒肥深施添加硝化抑制剂比粒肥深施不加硝化抑制剂增产 8.6%,比碳铵表施增产 46%。对于碳铵,无论表施面肥或粒肥深施时添加硝化抑制剂均有一定的增产作用,分别为 10.0% 及 8.6%。在盆栽试验条件下,碳铵高肥表施(相当于每亩施 17 斤氮)的增产百分率仅仅是 13%,显著地低于碳铵低肥(相当于每亩施 12 斤氮)造粒深施的处理。试验结果经 F 测验 ($F=10.73$, $F_{0.05}=2.57$, $F_{0.01}=3.81$) 非常显著。

表 4 碳铵添加硝化抑制剂 CP 以及不同施肥方法对水稻产量的影响(盆栽)

处 理	籽粒重/盆 (克)	稻草重/盆 (克)	总重/盆 (克)	籽粒增产 (%)
碳铵表施	24.2	26.5	50.7	
碳铵高肥表施	27.3	28.1	55.4	13.0
碳铵造粒深施	32.4	39.3	71.7	34.0
碳铵造粒深施+CP	35.2	42.1	77.3	46.0

关于碳铵及尿素添加硝化抑制剂对水稻地上部分吸收氮素影响的数据列于表 5。这些数据表明,碳铵添加 CP 及 ASU 时,水稻对碳铵的氮素利用率有所提高,但经 F 值测验 (F 值为 0.67, $F_{0.05}=5.4$) 差异不显著。尿素添加 CP 及 ASU 时,水稻对其氮素的利用率也有提高,但经 F 值测验 (F 值 2.65, $F_{0.05}=5.14$) 氮素利用率的差异也不显著。根据我们 1976 年的试验,碳铵添加硝化抑制剂 CP 及 ASU 时水稻对其氮素的利用率比对照分别提高了 36.6% 及 10.8% (相对比较,占对照的%)。从二年的试验结果来看硝化抑制剂

表 5 碳铵及尿素添加不同硝化抑制剂对水稻吸肥的影响

处 理	植株总氮量		水稻吸收 ¹⁵ N 量 (毫克/盆)			氮素利用率 (%)			水稻吸收土壤氮量 (毫克/盆)		
	毫克/盆	增减%	谷粒	稻草	总计	谷粒	稻草	总计	谷粒	稻草	总计
碳铵对照	366.7		51.60	24.88	76.48	22.5	10.8	33.3	194.4	95.8	290.2
碳铵+CP	377.7	3.0	66.55	25.50	92.05	31.2	11.1	42.3	192.4	93.28	285.7
碳铵+ASU	376.1	2.6	57.70	27.86	85.56	25.2	12.2	37.4	189.5	100.5	290.0
尿素对照	425.5		81.48	41.02	122.05	31.3	15.7	47.0	196.3	106.5	302.8
尿素+CP	455.5	7.1	92.47	49.94	142.4	35.5	19.2	54.7	204.5	108.6	313.1
尿素+ASU	456.9	7.4	90.95	47.47	138.4	34.9	18.7	53.6	209.6	108.9	318.5

CP 及 ASU 使用适当,似有提高氮肥利用率的趋势。

根据表 6,碳铵不加 CP 表施时,其氮素利用率只有 33.3—36.3%。采用粒肥深施其利用率可达 58.8%。氮素利用率比表施(均相当于每亩施 12 斤氮素)相对提高了 76%。

表 6 碳铵添加硝化抑制剂以及不同施肥方法对水稻吸肥的影响

处 理	植株总氮量		水稻吸收 ¹⁵ N 量 (毫克/盆)			氮素利用率 (%)			水稻吸收土壤氮量 (毫克/盆)		
	毫克/盆	增减%	谷粒	稻草	总计	谷粒	稻草	总计	谷粒	稻草	总计
碳铵对照表施	366.7		51.60	24.88	76.48	22.5	10.8	33.3	194.4	95.80	290.2
碳铵高肥表施	399.7	8.98	80.99	36.68	117.7	25.0	11.3	36.3	190.5	91.45	282.0
碳铵粒肥深施	471.4	28.6	92.89	41.85	134.8	40.5	18.3	58.8	221.8	115.4	336.6
碳铵粒肥深施+CP	520.9	42.1	94.85	45.21	140.1	41.4	19.7	61.1	254.1	126.8	380.9

据中国农业科学院土肥所 1978 年报道(中国农科院土肥所肥料室,1978)碳铵表施,水稻当年对碳铵氮素的利用率为 15.2%。将碳铵做成粒肥深施 3 寸,其氮素利用率可达 54.7%,田间试验结果和我们一致。我们的试验还表明,碳铵做成粒肥,添加硝化抑制剂 CP 深施,其利用率可达 61.1%。

根据表 6 的数据,碳铵做成粒肥,添加 CP 深施的氮素利用率(61.1%)比表施碳铵(每亩 12 斤氮)的氮素利用率(33.3%)相对提高了 84%,比碳铵高肥表施的氮素利用率(36.3%)相对提高了 68%。经 F 值测验(F 值为 36.47, $F_{0.05}=3.86$)氮素利用率的差异非常显著。

测定氮素利用率的试验结果与盆栽试验中籽粒产量及田间小区产量的结果基本上相吻合。碳铵造粒深施并添加硝化抑制剂不仅明显地促进了水稻对肥料氮的吸收利用,而且也促进了对土壤氮的吸收(表 7),有利于水稻增产。增产效果大于高肥处理,又比高肥处理少施一次肥,所以这种施肥方法有一定的实践意义。

从表 7 看出,在芦台农场的试验条件下,表施尿素、硫酸铵、碳铵及硝铵时,水稻地上部分对这些肥料的氮素利用率依次为 47.0%、40.7%、33.3% 及 15.6%,尿素的利用率 > 硫酸铵 > 碳铵 > 硝铵。添加硝化抑制剂时,碳铵及尿素的氮素利用率明显提高。

表 7 各种氮肥添加 CP 对水稻吸收氮素的影响

处 理	植株总氮量		水稻吸收 ^{15}N 量		氮素利用率		水稻吸收土壤氮量	
	毫克/盆	增减%	毫克/盆	增减%	%	增减%	毫克/盆	增减%
硫铵对照	339.6		106.1		40.7		293.5	
硫铵+CP	432.9	8.3	109.2	2.9	41.9	2.9	323.7	10.3
硝铵对照	378.8		40.91		15.6*		337.0	
硝铵+CP	408.6	7.9	40.31	-1.5	15.5	-1.0	368.3	8.95
碳铵对照	366.7		76.48		33.3		290.2	
碳铵+CP	377.7	3.0	92.05	20.4	42.3	27.0	285.7	-1.5
尿素对照	425.3		122.5		47.0		302.8	
尿素+CP	455.5	7.1	142.4	16.3	54.7	16.2	313.1	3.6

* 硝铵的氮素利用率指铵态氮部分,因施用的硝铵只标记了铵态氮,即 $^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$, 故结果偏低。

北京师范大学生物系在试验小区内取不同生育期水稻样品进行生化分析¹⁾, 试验结果表明在水稻返青至抽穗期, 添加硝化抑制剂的处理水稻功能叶片中叶绿素的含量普遍有所提高, 其增加的百分率是: 碳铵加 CP 为 3.0—39.0%, 硫铵加 CP 为 1.2—57.8%, 尿素加 CP 为 3.7—14.6% 硝铵加 CP 为 0.4—50.2%。

根据上述试验可以看出施用硝化抑制剂还促进了水稻吸收氮素, 从而有利于水稻累积干物质, 增加产量。

综上所述, 各种铵态氮肥添加硝化抑制剂, 只是施用得当, 一般可以提高肥料的氮素利用率, 增加产量。但其效果则与化肥品种、施肥方法、硝化抑制剂的种类等各种因素有关。因此, 只有因地制宜, 采取综合措施才能充分发挥硝化抑制剂的作用, 减少氮素损失, 提高其利用率, 增加作物的产量。

四、结 束 语

通过 ^{15}N 盆栽试验及田间小区试验得出以下初步结果:

1. 在本试验条件下, 表面撒施尿素、硫铵、碳铵和硝铵, 小区的平均亩产分别是 842、896、761 及 729 斤。水稻地上部分对这些肥料的氮素利用率分别为 47.0%、40.7%、33.3% 及 15.6%。

2. 对上述四种氮肥添加 1.5% 的 CP 时, 均有不同程度的增产作用, 其氮素利用率也有一定的提高。田间小区试验的结果是尿素、硫铵、碳铵及硝铵添加硝化抑制剂时, 增产百分率分别是 5.1%、10.2%、14.7% 及 9.8%。其中碳铵加硝化抑制剂的增产效果比较明显。添加硝化抑制剂时, 尿素、硫铵及碳铵的氮素利用率分别提高到 54.6%、41.9% 及 40.2%, 其中也以碳铵的氮素利用率提高的最明显, 比不施硝化抑制剂的对照处理氮素利用率相对提高了 18.7%。

3. 碳铵做成粒肥深施比碳铵粉肥表施增产 23.4%, 碳铵粒肥深施添加硝化抑制剂时,

1) 北京师范大学生物系 1978: 氮肥增效剂对作物叶绿素、全氮量和籽粒粗蛋白质含量的影响。

增产 26.5% (小区试验结果)。而碳铵粉肥表施的氮素利用率只有 33.3%。碳铵粒肥深施的氮素利用率提高到 58.8%，碳铵粒肥深施添加硝化抑制剂时，氮素利用率为 61.1%。粒肥深施还明显地促进了水稻对土壤氮素的利用。在碳铵粒肥深施的情况下，添加硝化抑制剂的作用和效果尚待进一步研究。

参 考 文 献

- 尤崇杓等, 1965: 生物样本中 ^{15}N 的质谱分析。原子能, 第 6 期 69—76 页。
 中国农科院土肥所肥料室, 1978: 应用 ^{15}N 研究提高氮肥利用率的试验结果。土壤肥料, 第 4 期 28—29 页。
 Goring Cleve A. I., 1962: Control of Nitrification by 2-Chloro-6-(Trichloromethyl) Pyridine. Soil Sci., 93(3). 211—218.
 Бобрицкая М. А., Москаленко Н. Н. и Бойко Т. А., 1975: Пути превращения азотных удобрений в темно-серых лесных почвах. Агрохимия, № 7, 3—13.
 Черепков Н. И., 1974: Агрохимические исследования с применением изотопа ^{15}N биоцикл азота в системе почва-удобрение-растения-воздух. Агрохимия, № 1, 148—155.

STUDY OF THE EFFECT OF NITROFICATION INHIBITORS ON THE RICE YIELD APPLIED WITH ISOTOPE ^{15}N

Wen Xian-fang and Wang Bao-zhong

(*Institute of Utilisation of Atomic Energy, Chinese Academy of Agricultural Science*)

Wang Fu-jun and Peng Gen-yuan

(*Beijing University of Agricultural*)

Mai Hong-kui

(*Lutai Farm, Hobei Province*)

Summary

The effect of certain nitrofication inhibitors, such as 2-chloro-6(trichloromethyl) pyridine and 1-amino-2-thiourea, on the absorption rate of urea, ammonium carbonate, ammonium sulphate and ammonium nitrate by the rice variety Bai-Jin was studied.

The rice plant tested was grown in the field plots on a saline light color meadow soil or in bottomless pots filled with the same soil. It was found that the utilization rate of the fertilizer nitrogen by the rice plants and the yield of rice grains were increased to different extent due to the application of nitrofication inhibitors.