

几种N¹⁵标记的氮肥对稻、麦不同施用方法的比较研究*

陈荣业 范钦桢 曹志洪 蒋佩弦

(中国科学院南京土壤研究所)

碳铵——挥发性铵态氮肥——合理施用的关键之一是深施。近年来，全国各地大量试验材料和一些地区大面积生产实践表明，将碳铵压制成粒，深施入土，是一种减少碳铵挥发、提高肥效、便于机械施用的好方法。它与通常的碳铵粉肥撒施比较，增产幅度一般达10—20%，肥效提高约三分之二，肥料利用率提高近一倍。广东、江苏、山东、陕西、天津等地的试验还表明，碳铵粒肥深施与当地一些粉肥深施方法比较，对稻、麦等作物也有一定增产效果，每斤粒肥比粉肥多收粮食一斤上下^[1,2,3,4]。

为了对推广碳铵压粒深施提供更充分的科学依据，我们应用稳定性同位素N¹⁵示踪技术，通过水稻、小麦的盆栽和田间试验，着重研究了碳铵粒肥、粉肥、长效肥和硫酸铵在不同施用条件下作物的吸收利用和肥料氮素平衡的情况。

材料和方法

1. 供试肥料和土壤

N¹⁵标记肥料采用上海化工研究院生产的N¹⁵H₄HCO₃(N¹⁵丰度11.61%)和(N¹⁵H₄)₂SO₄(N¹⁵丰度11.30%)。

碳铵粒肥是在TDP型单冲压片机上，每次称1.0克N¹⁵H₄HCO₃送入模内，用手摇压制成粒。

碳铵长效肥是以粒肥为基体，在少量磷酸参与下，用钙镁磷肥包膜制成^[5]。仅用于水稻试验。

在江苏省金坛县良种场布置了小麦和水稻的田间试验，同时也进行了小麦盆栽试验。试验土壤的母质是壤质湖积物，表土的基本农化性状如下：pH 7.0；有机质2.3%；全氮0.16%；全磷(P₂O₅)0.096%；全钾(K₂O)1.84%；速效磷(0.5M NaHCO₃提取)(P₂O₅)20.5ppm；有效钾(K₂O)8.5毫克/100克土。

水稻盆栽试验用土系采自南京郊县江宁的青泥土，其母质是下蜀黄土，质地较粘(轻粘土)；pH 6.5—7.0；含有机质2.2—2.6%；全氮0.15—0.17%；全

磷(P₂O₅)0.08—0.10%；全钾(K₂O)1.6%；代换量每百克土18—20毫克当量^[6]。

2. 试验的设计与经过

(1) 小麦盆栽试验 采用20×20盆钵，盆底不渗漏。每盆装风干土6公斤。试验处理分：1. 碳铵粉肥追肥表施；2. 碳铵粒肥追肥深施；3. 碳铵粉肥基肥混施；4. 碳铵粒肥基肥深施；5. 硫酸铵追肥表施。施肥量按纯N计每盆0.5克。作基肥的肥料在1976年1月2日装盆时拌入土内，作追肥的肥料在2月10日施用。试验重复四次。其中二个重复用N¹⁵标记肥料，另二个重复用普通肥料。

小麦品种扬麦一号，1975年12月31日浸种催芽，1976年1月2日播种，每盆24颗，1月16日定苗后每盆留基本苗16株，5月19日收获，全生育期139天。

(2) 小麦田间试验 1976年1月20日布置在金坛县良种场麦田上。微区面积1平方尺，用嵌入地里25厘米的塑料板方框保护。框内定苗44株，然后进行追肥处理。试验处理分：1. 碳铵粉肥表施；2. 碳铵粒肥深施；3. 硫酸铵表施。施肥量按纯N计每区0.3克(折合每亩3.6斤N)。试验重复四次。其中二个重复用N¹⁵标记肥料，另二个重复用普通肥料。

(3) 水稻盆栽试验 采用20×20盆钵，盆底不渗漏。每盆装风干土5.5公斤。试验处理分：1. 碳铵粉肥作基肥混施和追肥表施；2. 碳铵粉肥作基肥混施、粒肥作追肥深施；3. 碳铵粒肥作基肥和追肥深施；4. 碳铵长效肥作基肥深施；5. 硫酸铵作基肥混施和追肥表施。施肥量按纯N计每盆0.63克，基、追肥各半。基肥在1976年5月22日装盆时拌入土内，追肥在6月5日施用。试验重复六次。其中三个重复基肥用N¹⁵标记肥料，追肥用普通肥料，另三个重复追肥用N¹⁵标记肥料，基肥用普通肥料。

水稻品种为广六早，1976年5月10日浸种催芽，5月12日播种，5月29日移栽，8月1日收获，全生育期94天。

(4) 水稻田间试验 在金坛县良种场稻田上进

* 参加本工作的还有刘光松、孙秀廷、蒋能慧、李阿荣等同志。

行。用直径28.5厘米、高50厘米的无底塑料圆筒作为微区。灌水前将筒体埋入田内35厘米，露出田面15厘米，再在每个筒内装入事先经过粉碎混匀的耕层土壤约25公斤，然后泡上水，使土体沉实，与田面齐平。试验处理分：1. 碳铵粉肥追肥表施；2. 碳铵粒肥追肥深施；3. 碳铵粉肥基肥混施；4. 碳铵粒肥基肥深施；5. 碳铵长效肥基肥深施；6. 硫酸铵追肥表施。施肥量按纯N计每区0.6克（折合每亩12.5斤N）。作基肥处理的碳铵粉肥，在插秧前混入10厘米土层，粒肥与长效肥施于10厘米深处；作追肥处理的肥料在插秧后7天施用。试验重复四次，均用N¹⁵标记肥料。

水稻品种为广陆矮四号，1976年4月24日播种，5月20日移栽，8月8日收获，全生育期106天。

为了保证磷、钾养分的供应，在水稻、小麦盆栽试验和水稻田间试验中，每盆（区）均施加2克化学纯KH₂PO₄作基肥。

3. 样本的采集、分析和结果计算

试验收获时，齐地面剪下各盆（区）植株，分籽粒和茎秆两部分烘干、称重计产，然后全部经过粗磨混匀，再从中取样细磨过40孔筛，用以测定全氮量和N¹⁵丰度。在盆栽试验中，还分别取出施有N¹⁵标记肥料的各盆土壤，充分混匀后从中取样进行风干，再从风干样中取样磨碎过100孔筛，用以测定全氮量和残留在土中的肥料氮量。各盆土壤取样后，稻根用筛留水洗法（其筛孔径20目左右即可）收集，单独烘干、称重，磨细取样测定全氮量和N¹⁵丰度；麦根用人工挑取，洗净后并入麦秆部分。

样本的全氮量测定按本所质谱组拟订的改良克氏法进行。N¹⁵丰度由本所质谱组用国产ZhT-1301质谱计分析。该仪器参考标准为0.369±0.003%。

根据样本的N¹⁵丰度，减去自然丰度后，即得样本的N¹⁵原子百分超。它与供试肥料的N¹⁵原子百分超的比值，即为样本中所含氮量来自肥料部分的百分数*。据此再运用每盆（区）植株各部分的全氮量和土壤全氮量的测定结果，计算出每盆（区）作物总积累氮中来自肥料的氮量及其在植株体内的分配、作物对肥料

N的利用率以及各种氮肥在不同施用条件下的氮素平衡。结果用试验重复的平均值表示。

结果和讨论

1. 氮肥的不同施用方法对作物吸收氮量和籽实产量的影响

试验中有关作物吸收的总氮量和来自肥料部分氮量所占的百分数以及籽实产量的结果列于表1。从表1可见，在土壤和施氮量相同的条件下，各种氮肥深施（碳铵粒肥、长效肥深施或碳铵粉肥、硫酸铵混施）与表施进行比较，在籽实产量和作物的总氮量上都有明显增加，同时作物总积累氮中来自肥料部分所占的比例也较大。两者的差异经统计大都达到了显著平准（P=0.05）或极显著平准（P=0.01）。而不同氮肥深施相互进行比较，在籽实产量和作物的总氮量上差异则不显著，惟作物总积累氮中来自肥料氮所占的比例有较明显的差异，在各个试验中，此值均以碳铵长效肥基肥深施和碳铵粒肥追肥深施的为高。

需要指出，试验设计的氮肥用量水平是较低的，施肥用方法的不同，虽然影响到了作物对氮素、特别是肥料氮素的吸收利用，但由于制约作物生长发育的因素错综复杂，加上生物试验本身的误差，这种影响并不一定都能反映到产量上来。因此，对氮肥不同施用方法的比较，主要似应放在作物对肥料氮素的吸收利用上。

2. 不同施用方法对稻、麦对碳铵粒肥、粉肥、长效肥和硫酸铵的吸收利用

表2列出了N¹⁵标记的几种氮肥用作稻、麦基肥或追肥时的氮素利用率及其在植株体内的分配。结果表明：用作稻、麦追肥时，碳铵粉肥表施的氮素利用率只有30%左右；硫酸铵表施的利用率在40%上下；碳铵粒肥深施的利用率达55—79%，它在各个试验中都相

*这是根据 样本中所含N¹⁵量 = 样本中来自肥料的N¹⁵量 + 样本中来自土壤的N¹⁵量 推导出来的。
令 X代表样本中所含氮量来自肥料部分的百分数；

A、B、C分别代表样本的N¹⁵丰度、肥料的N¹⁵丰度和自然N¹⁵丰度；

M代表样本的全氮量；

则 样本中所含N¹⁵量 = M · A

样本总积累氮中来自肥料的N¹⁵量 = M · X · B

样本总积累氮中来自土壤的N¹⁵量 = M · (1-X) · C

M · A = M · X · B + M · (1-X) · C

解之得 X = $\frac{A - C}{B - C}$ ……样本的N¹⁵原子百分超
B - C ……肥料的N¹⁵原子百分超

表 1 氮肥的不同施用方法对作物吸收氮量和籽实产量的影响

试验项目	处理	作物总积累N量* 毫克/盆(区)	作物总积累氮中来 自肥料氮的%**	籽实产量 克/盆(区)
小麦 盆栽试验	碳铵粉肥追肥表施	412	43.8	18.5
	碳铵粒肥追肥深施	624	57.2	21.9
	碳铵粉肥基肥混施	613	46.9	23.7
	碳铵粒肥基肥深施	589	52.1	22.4
	硫酸铵追肥表施	577	53.8	22.7
	P = 0.05 L.S.D P = 0.01	38 52		1.4 1.9
小麦田间 试验***	碳铵粉肥追肥表施	972	5.8	38.3
	碳铵粒肥追肥深施	1137	14.8	42.3
	硫酸铵追肥表施	1097	9.7	41.4
水稻 盆栽试验	碳铵粉肥作基肥混施和追肥表施	1243	23.5	52.7
	碳铵粉肥作基肥混施、粒肥作追肥深施	1446	31.9	58.5
	碳铵粒肥作基肥和追肥深施	1479	33.4	59.4
	碳铵长效肥作基肥深施	1481	33.5	57.9
	硫酸铵作基肥混施和追肥表施	1275	26.4	53.0
	P = 0.05 L.S.D P = 0.01	96 159		3.9 5.3
水稻 田间试验	碳铵粉肥追肥表施	1542	12.1	71.7
	碳铵粒肥追肥深施	1690	19.4	81.0
	碳铵粉肥基肥混施	1652	15.1	79.7
	碳铵粒肥基肥深施	1699	18.2	78.1
	碳铵长效肥基肥深施	1646	21.7	74.0
	硫酸铵追肥表施 P = 0.05 L.S.D P = 0.01	1862 131 182	15.0 1.6 2.2	77.8 9.1 12.6

* 作物总积累氮量在盆栽试验中为籽实、茎叶和根所含氮量的总和，在田间试验中，根所含氮量没有计算在内。

** 作物总积累氮中来自肥料氮的%系根据植株各部分样本的N¹⁵丰度测定结果，先算出植株中来自肥料的N量，然后除以植株的总积累N量得到的数值。在小麦盆栽试验和水稻盆栽试验中，因只有二个重复的N¹⁵标记样本作了质谱分析，表内列出的是平均值，未作统计。

*** 小麦田间试验只取了一个重复的样本进行全氮分析和质谱分析，对结果未作统计。

应比碳铵粉肥表施的利用率提高了约一倍。这里需要说明的是，小麦对表施的碳铵和硫酸铵的利用率看来受到了土壤水分状况的影响，在每天浇水的盆栽条件下，表现出肥料的利用率稍高些，在田间条件下，因施肥时天旱，土壤墒情较差，肥料利用率就显著有所降低。用作稻、麦基肥时，碳铵粒肥深施的利用率较粉肥与土混施的也有所提高。在水稻上，提高了约20%。水稻对碳铵长效肥的利用率与对粒肥的进行比较，在盆栽中大致相同，在田间试验条件下，似乎碳铵长效肥的利用率略高些。

若以作物对肥料利用率的高低来比较衡量几种氮肥不同施用方法的效果，则得到下面这样的顺序：碳

铵长效肥、碳铵粒肥深施>碳铵粉肥、硫酸铵混施>硫酸铵表施>碳铵粉肥表施。

至于作物吸收的肥料氮素在植株体内的分配，在同一试验不同处理间看不出有明显的差异。视试验条件的不同，大体上有2/3至4/5的肥料氮素集中分配在植株的籽实部分。

3. N¹⁵标记的几种氮肥在稻、麦盆栽试验中的氮素平衡

氮素平衡的计算结果列于表3。关于作物对不同施用方法的几种氮肥的吸收利用情况，上面已作讨论，

表 2 N^{15} 标记的碳铵粒肥、粉肥、长效肥和硫酸铵作稻、麦基肥或追肥时的氮素利用率及其在植株体内的分配

试验项目	处 理	N^{15} 标记的肥料用量 N 毫克/盆(区)	作物吸收 N^{15} 标记的肥料 量N 毫克/盆(区)	氮 素 利 用 率 %	N ¹⁵ 在植株体内的分配%		
					籽 粒	茎 叶	根
小麦 盆栽试验	碳铵粉肥追肥表施	500	181	36	82.3	17.7	并入茎叶部分
	碳铵粒肥追肥深施	500	357	71	85.5	14.5	"
	碳铵粉肥基肥混施	500	288	58	80.8	19.2	"
	碳铵粒肥基肥深施	500	307	61	82.0	18.0	"
	硫酸铵追肥表施	500	311	62	83.8	16.2	"
小麦 田间试验	碳铵粉肥追肥表施	300	56	19	73.6	26.4	未计
	碳铵粒肥追肥深施	300	169	56	76.1	23.9	"
	硫酸铵追肥表施	300	107	36	74.7	25.3	"
水稻 盆栽试验	碳铵粉肥追肥表施	314	88	28	62.9	27.1	10.9
	碳铵粒肥追肥深施	314	248	79	67.0	28.3	4.7
	硫酸铵追肥表施	314	128	41	64.3	28.6	7.1
	碳铵粉肥基肥混施	314	209	67	65.7	27.9	6.4
	碳铵粒肥基肥深施	314	246	78	69.9	25.7	4.4
	硫酸铵基肥混施	314	208	66	67.3	27.1	5.6
	碳铵长效肥基肥深施	627	496	79	69.3	28.4	4.3
水稻 田间试验	碳铵粉肥追肥表施	598	187	31	73.8	26.2	未计
	碳铵粒肥追肥深施	598	327	55	76.5	23.5	"
	碳铵粉肥基肥混施	598	249	42	76.1	23.9	"
	碳铵粒肥基肥深施	598	309	52	73.9	26.1	"
	碳铵长效肥基肥深施	600	357	60	75.1	24.9	"
	硫酸铵追肥表施	602	234	39	77.4	22.6	"

这里主要是联系肥料在土壤中的残留量和亏缺率资料，再作一些分析。

从表 3 可见，不同处理的肥料，在种植一季小麦或水稻后，残留在土壤中的比例是不同的。同一肥料进行比较，深施的肥料残留比例比表施的高，用作基肥的比用作追肥的高；同是深施用作基肥的不同肥料进行比较，则粉肥混施的要比粒肥深施的高。看来，在同一土壤中，在有作物吸收利用的情况下，水溶性速效氮肥施入土壤后残留比例的高低似乎与它接触土壤面积的大小有一定关系。肥料与土壤接触面积较大的，它在土壤中的残留比例就较高。粒肥深施由于做到了集中施肥，它与土壤接触的面积相对较小，有可能减少了肥料在土壤中的化学固定和生物固定，因而它在土壤中的残留量比粉肥混施的低些。不过，在本试验中，由于氮肥用量水平较低，不同处理间肥料在土壤中残留的比例并不大($<30\%$)，它们之间的差异对作物吸收利用肥料的影响可能并不是主要的，决定氮肥利用率高低的主要部分是不同处理间的肥料亏缺比例。

在我们的试验中，施肥方法对肥料亏缺率的影响

表 3 氮肥的不同施用方法对肥料氮素平衡的影响(盆栽试验)

作物	肥 料	处 理	作物吸收 %	土壤残 %	亏 缺 %
小 麦	碳铵粒肥	基肥深施	61	21	15
		追肥深施	71	16	13
	碳铵粉肥	基肥混施	58	30	12
		追肥表施	36	14	50
水 稻	硫酸铵	追肥表施	62	20	18
	碳铵粒肥	基肥深施	78	22	0
		追肥深施	79	13	8
	碳铵粉肥	基肥混施	66	30	4
		追肥表施	28	10	62
稻	碳铵长效肥	基肥深施	79	16	5
	硫酸铵	基肥混施	66	25	9
		追肥表施	41	10	49

很大，其中尤以水稻上表现得最为突出。凡深施的肥料，无论是碳铵粒肥、长效肥集中穴施，还是碳铵粉肥和硫酸铵全层混施，它们的亏缺率都不到10%，而表施的碳铵粉肥和硫酸铵的亏缺分别达到了62%和49%。

表3上的亏缺部分是由气态损失造成的，因为试验盆底不渗漏，排除了肥料通过淋失的可能。肥料通过气态损失的途径，主要是氨挥发和反硝化作用。对碳铵说来，因它性质不稳定，易分解，估计表施时有相当部分是属于氨挥发损失。硫酸铵是酸性肥料，加之施在中性土壤上，不会有明显的氨挥发产生，它的损失可以认为主要是通过反硝化作用产生的。

比较硫酸铵表施在水稻和小麦上的肥料亏缺率，发现前者为49%，后者只有18%，由此可见水田中的反硝化作用要比旱地强烈得多，也足以提醒我们，即使是硫酸铵这样的非挥发性氮肥，表施时的损失也是十分可观的。

氮肥深施早被证明是一项减少肥料损失、提高肥效的有效措施。其理论依据是铵态氮肥深施在土壤里，可以利用土壤的吸铵保氮性能，一方面减少它的挥发和流失，另方面铵态氮在还原层内较为稳定，也减少了它被氧化成硝酸态，继而被还原成一氧化二氮(N_2O)和氮气(N_2)的“脱氮”损失。

最后, 根据碳铵粒肥深施和粉肥混施的氮素平衡结果, 简要地对两者作一比较。从表 3 可见, 作物对碳铵粒肥深施的氮素利用率较粉肥混施的为高, 而残留在土壤中的氮量, 则是粒肥深施较粉肥混施者低, 说明粒肥深施能增进作物对肥料氮素的吸收利用, 减少

肥料在土壤中的化学固定和生物固定，这是粒肥做到了集中施肥带来的好处。

必须指出，试验中的碳铵粉肥混施处理，是将肥料与全部盆栽用土充分混匀，这在实际生产中是做不到的。目前生产上应用的将碳铵施后立即耕耙或耘耥的办法，只能使肥料达到部分深施。而粒肥不结块，散落性好，无论水田或旱地，作基肥或追肥，都容易用人工或简单的机具实现完全深施。因此可以预计，在大田生产条件下，碳铵粒肥深施与粉肥深施比较，在作物对肥料的吸收利用和肥料损失的数量方面，将存在有比较明显的差异。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤研究所长效肥工作组, 碳酸氢铵粒肥的肥效和机械造粒, 土壤, 3, 91—96, 1974。
- [2] 广东省农科院土壤肥料研究所, 碳酸氢铵粒肥对水稻的增产效果与施用技术, 广东农业科学, 4, 34—38, 1977。
- [3] 山东省土壤肥料研究所, 碳铵粒肥、复合粒肥的施用效果, 土壤肥料, 4, 21—26, 1977。
- [4] 西北水土保持生物土壤研究所, 碳铵粒肥在黄土区的肥效, 农业科技通讯, 1, 29, 1977。
- [5] 中国科学院南京土壤研究所长效肥工作组, 长效性碳酸氢铵的研制, 土壤, 3, 97—102, 1974。
- [6] 感惠林等, 江苏省江宁县黄土丘陵地区的土壤性质、作物品种和磷肥肥效的关系, 土壤学报, 13(4), 456—458, 1965。

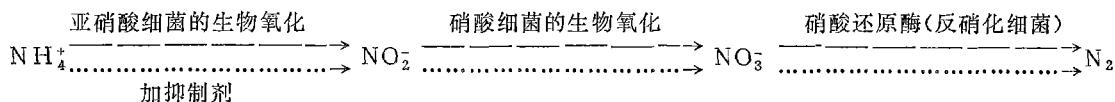
氮肥增效剂(硫脲)对小麦的增产效果

过维钩 刘茂林

(江苏省吴县农业科学研究所)

氮素是作物营养的主要成份，作物吸收氮素的量总是大大超过土壤直接供应的量，施用氮肥是农作物增产的重要手段，随着化学工业的发展，化肥使用量逐步增加，但由于施入土壤的氮素化肥受土壤微生物的作用，转化为土壤难于保蓄的硝态氮或气态氮化合物，造成氮素的损失，这个过程亦称为土壤的脱氮作用。据报道，作物施用氮素的利用率一般只有30—

50%，近年来，国内外试验在氮肥中增添少量硝化抑制剂混合使用，以期改变亚硝酸细菌的生态条件，抑制和杀死亚硝酸细菌，使硝化作用和反硝化作用难以进行，因而有可能使施入土壤的铵态氮肥在较长时间内以铵盐形态存在，不断供给植物吸收，减少损失，提高氮肥利用率。故硝化抑制剂又称为氮肥增效剂。其过程可用下列图式表示。



(虚线表示加入了抑制剂,抑制了亚硝酸细菌,减弱了硝化过程)