

肥料残留氮的有效性及其 与形态分布的关系

王岩 蔡大同 史瑞和

(南京农业大学土壤农化系, 210014)

摘要

本文应用同位素 ^{15}N 示踪法, 通过盆栽试验研究了有机肥兔粪尿和化肥硫酸铵的残留氮的有效性与其化学形态分布的关系。结果表明: 肥料残留氮的后效很低。小麦对兔粪尿残留氮的利用率在 3.6—4.8% 之间; 在土壤中的残留率为 82—89%, 损失率为 7—14%; 小麦对硫酸铵残留氮的利用率为 3.6—5.3%, 在土壤中的残留率为 69—76%, 损失率为 19—28%。二种肥料残留氮在氨基酸态氮和酸解性未知态氮二组分中的含量都相对地较高, 而硫酸铵残留氮在这二组分中的含量相对地又比兔粪尿残留氮的高得多。硫酸铵残留氮的矿化量约 95% 是来自这二组分的氮素, 而兔粪尿残留氮只有 66—84%。文章还讨论了 $^{15}\text{N}\%$ dff 值的意义与应用。

关键词 同位素 ^{15}N , 兔粪尿, $^{15}\text{N}\%$ dff 值

有机无机肥料配合施用是培育土壤取得高产稳产的传统农业措施。国内外对此进行了多方面的研究, 但有关厩肥的后效及其在土壤中转化的报道还很少。本文应用同位素 ^{15}N 示踪法, 研究兔粪尿和硫酸铵的残留氮的有效性及其与形态分布的关系。

一、材料与方 法

土壤: 为江苏省兴化县二种主要水稻土¹⁾, 分别为小粉浆土属小粉浆土(潜育型, 海湖相沉积物)和灰粘土属黏土(脱潜型, 湖相沉积物)。土壤农化性状见前文^[1]。

盆栽试验: 盆钵为 $\phi 15 \times 18\text{cm}$ 陶瓷钵, 每钵装风干土 2.5 kg。6月26日至10月8日种一季水稻, 结果已在前二文^[1,2]报道。本文的试验是继水稻收获后种植小麦, 研究兔粪尿和硫酸铵的后效, 试验分三个处理: I. 未施氮肥; II. 单施 ^{15}N 标记的兔粪尿(每钵 0.3446g N, 兔粪 ^{15}N 原子百分超为 8.80%, 兔尿为 5.25%, 前者称重加入, 后者用移液管加入, 兔粪尿加权平均 ^{15}N 原子百分超为 6.12%); III. 兔粪尿(0.3446gN) 同处理 II, 并用硫酸铵(0.0944gN) 追肥, 交叉标记的硫酸铵 ^{15}N 原子百分超为 12.31%。各重复 3 次, 二种土壤合计 24 钵。供试小麦为杨麦 5 号, 10 月 31 日播种, 每钵 6 株, 11 月 19 日各钵追施普通尿素溶液, 二种土壤上的用量相当每公斤土壤为 122.6 mg N (小粉浆土)和 127.7 mg N (黏土)。第二年 4 月 12 日初穗时全部收获。

分析方法: 各钵的植株和土壤样本的全 N 用半微量凯氏法, ^{15}N 用质谱仪测定, 土壤氮素分组采用 Bremner 法^[3]。为相互比较起见, 残留 ^{15}N 以每公斤土壤表示。

1) 按全国第二次土壤普查命名。

二、结果与讨论

(一) 有机无机肥残留氮在小麦-土壤系统中的平衡帐

许多报道指出^[3-6],化肥和绿肥残留氮的后效很低,本试验也得出同样结果(表1)。在二种土壤上兔粪尿残留¹⁵N对小麦的利用率,因处理不同而有一定差别,但平均数却相近,分别为4.1%和4.2%;追肥硫酸铵残留¹⁵N的利用率分别为5.3%和3.1%。兔粪尿¹⁵N的残留率较高为82—89%,硫酸铵较低为69—76%。损失率则相反,分别为7—14%和19—28%。莫淑勋等在研究紫云英和尿素残留氮的命运时也得到类似的结果^[4]。

表1 有机、无机肥料残留N在小麦-土壤系统中平衡帐
Table 1 The balance sheet of organic and inorganic fertilizer residual N in the wheat-soil system

处理 Treatment	N源 N source	稻茬残留N Residual N after rice (mg/kg)	小麦吸收N N absorbed by wheat (mg/kg) (%)*		麦茬残留N Residual N after wheat (mg/kg) (%)*		N损失 Loss of N (mg/kg) (%)*	
小 粉 土								
兔粪尿	兔粪尿	62.5	2.6	4.2	55.5	88.8	4.4	7.0
兔粪尿+	兔粪尿	67.2	2.7	4.0	55.0	81.8	9.5	14.1
硫酸(追肥)	硫 铵	7.5	0.4	5.3	5.7	76.0	1.4	18.7
	合 计	74.7	3.1	4.1	60.7	81.3	10.9	14.6
勤 粘 土								
兔粪尿	兔粪尿	75.0	2.7	3.6	61.8	82.4	10.5	14.0
兔粪尿+	兔粪尿	73.3	3.5	4.8	60.8	82.9	9.0	12.3
硫酸(追肥)	硫 铵	8.3	0.3	3.6	5.7	68.7	2.3	27.7
	合 计	81.6	3.8	4.7	66.5	81.5	11.3	13.8

* 指占第一季作物收获后的残留N的百分率。

有机肥的氮素多为有机态,在土壤中易矿化部分在第一季作物上耗光,残留的多是些较难分解的有机化合物;来自硫酸铵的残留氮以生物固持态和粘土矿物固定态存在,再矿化的可能性较前者大,因此有机肥残留¹⁵N的矿化率较化肥低,这是普遍性结论。本试验的结果证明了这一点。兔粪尿残留¹⁵N在二种土壤上的矿化率,单施的分别为11.2%和17.6%,有化肥配施的分别为18.1%和17.1%;硫酸铵残留¹⁵N的矿化率分别为24.1%和31.3%。硫酸铵残留¹⁵N的矿化率虽高,但对小麦的利用率不高,可能是由于它较易矿化,而麦苗吸收能力尚弱,故大部分损失掉。

(二) 不同处理下土壤和肥料残留氮组分的变化

表2为各处理种植二季作物(水稻,小麦)的土壤和肥料残留氮形态分布。从土壤总氮量看,酸解氮约占全氮的4/5,其中氨基酸态氮为1/3,氨基糖加NH₄为1/4,酸解性未知态氮为1/5。土壤之间和处理之间的差别都不大,种植小麦前后各组分的比率增减也不

表 2 土壤和有机无机肥料残留N的形态变化

Table 2 The Transformation of the residual N both in the soil and from the organic and inorganic N fertilizers

处理 Treatment	N 源 N source	全 N Total N		酸解总 N Total Hydrolyzable N		氨基酸态 N Amino acid N		氨基糖+铵态 N Aminosugar + NH ₄ -N		未知态 N Unknown N		非酸解 N Acid-insoluble N	
		水稻 Rice	小麦 Wheat	水稻 Rice	小麦 Wheat	水稻 Rice	小麦 Wheat	水稻 Rice	小麦 Wheat	水稻 Rice	小麦 Wheat	水稻 Rice	小麦 Wheat
小 粉 浆 土													
I	土壤总 N	1088 (100)	1063 (100)	868 (80)	824 (78)	365 (34)	352 (33)	264 (24)	251 (24)	238 (22)	221 (21)	220 (20)	239 (22)
II	土壤总 N	1107 (100)	1084 (100)	900 (81)	852 (79)	373 (34)	365 (34)	280 (25)	275 (25)	247 (22)	212 (20)	207 (19)	232 (21)
	兔粪尿 ¹⁵ N	62.5 (100)	55.5 (100)	52.8 (84)	44.0 (79)	21.3 (34)	17.9 (32)	14.5 (23)	12.8 (23)	17.0 (27)	13.3 (24)	9.7 (16)	11.5 (21)
III	土壤总 N	1093 (100)	1064 (100)	887 (81)	850 (80)	380 (35)	359 (34)	280 (26)	275 (26)	227 (21)	216 (20)	206 (19)	214 (20)
	兔粪尿 ¹⁵ N	67.2 (100)	55.0 (100)	55.7 (83)	43.8 (80)	22.7 (34)	17.4 (32)	14.7 (22)	13.0 (24)	18.3 (27)	13.4 (24)	11.5 (17)	11.2 (20)
	硫酸 ¹⁵ N	7.5 (100)	5.7 (100)	6.7 (89)	4.8 (85)	2.8 (37)	1.9 (34)	1.1 (15)	1.0 (18)	2.8 (37)	1.9 (33)	0.8 (11)	0.9 (15)
勤 粘 土													
I	土壤总 N	1479 (100)	1446 (100)	1162 (79)	1102 (76)	475 (32)	461 (32)	356 (24)	348 (24)	330 (22)	294 (20)	317 (21)	343 (24)
II	土壤总 N	1500 (100)	1455 (100)	1174 (78)	1137 (78)	483 (32)	470 (32)	377 (25)	372 (26)	315 (21)	295 (20)	326 (22)	318 (22)
	兔粪尿 ¹⁵ N	75.0 (100)	61.8 (100)	61.0 (81)	50.1 (81)	24.7 (33)	19.8 (32)	16.7 (22)	13.8 (22)	19.6 (26)	16.5 (27)	14.0 (19)	11.7 (19)
III	土壤总 N	1468 (100)	1423 (100)	1163 (79)	1123 (79)	488 (33)	471 (33)	373 (25)	373 (26)	302 (21)	278 (20)	305 (21)	300 (21)
	兔粪尿 ¹⁵ N	73.3 (100)	60.8 (100)	60.4 (82)	49.6 (82)	24.5 (33)	19.8 (33)	16.5 (23)	14.0 (23)	19.4 (26)	15.8 (26)	12.9 (18)	11.2 (18)
	硫酸 ¹⁵ N	8.3 (100)	5.7 (100)	7.3 (88)	4.8 (84)	3.0 (36)	1.9 (33)	1.1 (13)	1.0 (18)	3.2 (39)	1.9 (33)	1.0 (12)	0.9 (16)

注: 单位: mgN/kg 土, 括弧内数字表示百分比。

明显, 这与其他研究者¹⁵⁻¹⁷⁾的结果基本一致。

不同肥料残留¹⁵N 各组分的分布有所不同, 硫酸残留¹⁵N 中酸解性氮的相对含量高于兔粪尿¹⁵N, 其中酸解性未知态氮的相对含量明显地大于兔粪尿残留¹⁵N, 次为氨基酸态氮; 相反地是兔粪尿残留¹⁵N 中氨基糖加铵态氮和非酸解性氮二组分的相对含量都大于硫酸残留¹⁵N。种植小麦后, 不论是兔粪尿残留¹⁵N 或硫酸残留¹⁵N, 都是酸解性氮的相对含量下降较大, 其中酸解性未知态氮减少最多, 次为氨基酸态氮, 氨基糖加铵态氮及非酸解性氮则明显提高。可见残留¹⁵N 中酸解性未知态氮和氨基酸态氮是较有效的部分。

根据表 2 计算了肥料残留¹⁵N 各组分在种麦前后的消长量及其占残留¹⁵N 矿化量的

表 3 有机无机肥料残留 N 各组分的矿化量

Table 3 The quantity of N mineralized from the various components of residual N from the organic and inorganic N fertilizers

处 理 Treatment	N 源 N source	总 N ¹⁾ Total N (mg) (%)	酸解总 N ¹⁾ Total hy- drolyzable N (mg) (%)	氨基酸态 N ¹⁾ Amino acid-N (mg) (%)	氨基糖加 铵 N ¹⁾ Amino su- gar-N+NH ₄ ⁺ (mg) (%)	未知态 N ¹⁾ Unknown-N (mg) (%)	非酸解 N ¹⁾ Acidinsolu- ble N (mg) (%)						
小 粉 浆 土													
II	兔粪尿	7.0	100	8.8	125.7	3.4	48.6	1.7	24.3	3.7	52.8	-1.8	-25.7
III	兔粪尿+	12.2	100	11.9	97.5	5.3	43.4	1.7	13.9	4.9	40.2	0.3	2.5
	硫酸铵	1.80	100	1.86	103.3	0.83	46.1	0.12	6.7	0.91	50.5	-0.06	-3.3
勤 粘 土													
II	兔粪尿	13.2	100	10.9	82.6	5.0	37.9	2.80	21.2	3.1	23.5	2.3	17.4
III	兔粪尿+	12.5	100	10.7	85.6	4.7	37.6	2.50	20.0	3.5	28.0	1.7	13.6
	硫酸铵	2.65	100	2.54	95.8	1.07	40.3	0.07	2.6	1.40	52.8	0.11	4.2

1) N 指 ¹⁵N。

百分率(见表 3)。结果表明:有机无机肥料配施下,硫酸铵残留 ¹⁵N 在种植小麦期间矿化释出的氮 95%左右来自酸解性未知态氮和氨基酸态氮,而兔粪尿残留 ¹⁵N 的相应数值只有 66—84%,土壤之间差别很明显。在单施兔粪尿的残留 ¹⁵N 中,小粉浆土上有一部分酸解氮转化为非酸解氮(25.7%),而勤粘土上兔粪尿残留 ¹⁵N 由非酸解氮释放出来的相对率(13.6%)与配施的(17.4%)相似或稍低。不同土壤间为何存在着上述差异原因还不清楚。

(三) 有机无机肥料残留氮对土壤氮各组分的贡献

在同位素示踪法中, dff 是一个重要数值,它表示标记物渗入研究体所占的分量,常用 ¹⁵N dff 值表述肥料氮对植物吸收的总 N 量的贡献^[2]。表 4 列入兔粪尿和硫酸铵残留氮在种植小麦前后各组分的 ¹⁵N dff 值,以及各组分 dff 的比值。

由表可见,种植小麦后的肥料残留氮(总 ¹⁵N)占土壤全氮的百分率都比种前的降低,硫酸铵残留氮降低尤为明显。在小粉浆土上,硫酸铵残留氮占土壤全氮的百分率从种麦前的 0.69%降低至 0.54%,减少 21.7%,兔粪尿残留氮从 6.11%降低至 5.17%,减少 15.4%;勤粘土上相应数值分别减少为 29.8%和 14.4%。这说明二种肥料残留氮的矿化率均相对地高于土壤氮,而硫酸铵残留氮矿化率又高于兔粪尿残留氮。酸解性(总)氮及其各组分同样的都减少。硫酸铵残留氮在酸解性未知态氮和氨基酸态氮组分减少都相对地大于兔粪尿残留氮相应的组分,而氨基糖加铵态氮组分减小则较少;兔粪尿残留氮在二种土壤上的氨基糖加铵态氮组分减少表现不一致,小粉浆土上这组分减少相对地较小,而勤粘土上减少比酸解性未知氮和态氨基酸态氮组分为大,这说明兔粪尿残留氮组分在勤粘土上较在小粉浆土上易于释放出来。非酸解氮减少较小,而在小粉浆土上单施兔粪尿的残留氮和配施处理的硫酸铵残留氮,它们的非酸解氮还有增高现象,这是由于种麦后其残留氮从酸解性氮组分向非酸解氮组分转化(表 3)。

表 4 有机无机肥料残留 N 各组分 ¹⁵N dff 值
Table 4 The ¹⁵N dff values of various components of residual-N from the organic and inorganic N fertilizers

处理与 ¹⁵ N 源 Treatment and ¹⁵ N source	总 ¹⁵ N Total- ¹⁵ N (0)	酸解性总 ¹⁵ N Total hydro- lyzable- ¹⁵ N (1)	氨基酸态 ¹⁵ N amino acid- ¹⁵ N (2)	氨基糖胺 态 ¹⁵ N Amino surg- ar+NH ₄ - ¹⁵ N (3)	未知态 ¹⁵ N Unknown- ¹⁵ N (4)	非酸解 ¹⁵ N Acid-insol- uble- ¹⁵ N (5)	不同 N 组分的 dff 比值 Specific dff value of different N components (1)/(0) (2)/(0) (3)/(0) (4)/(0) (5)/(0) (1)/(5)					
小 粉 浆 土												
II 兔粪尿 [1]	5.65	5.87	5.72	5.18	6.88	4.67	1.04	1.01	0.92	1.22	0.83	1.26
[2]	5.12	5.17	4.90	4.67	6.28	4.95	1.01	0.96	0.91	1.23	0.97	1.04
III 兔粪尿 [1]	6.11	6.28	5.98	5.23	8.08	5.60	1.03	0.98	0.86	1.32	0.92	1.11
[2]	5.17	5.15	4.83	4.72	6.23	5.25	1.00	0.93	0.91	1.20	1.01	0.98
硫酸铵 [1]	0.69	0.75	0.73	0.41	1.22	0.39	1.09	1.06	0.59	1.77	0.57	1.92
[2]	0.54	0.57	0.54	0.37	0.86	0.41	1.06	1.00	0.68	1.59	0.76	1.37
动 粘 土												
II 兔粪尿 [1]	5.00	5.19	5.13	4.43	6.22	4.30	1.04	1.03	0.89	1.24	0.86	1.21
[2]	4.25	4.40	4.21	3.72	5.58	3.68	1.04	0.99	0.88	1.31	0.87	1.20
III 兔粪尿 [1]	4.99	5.19	5.03	4.42	6.40	4.24	1.04	1.01	0.89	1.28	0.85	1.22
[2]	4.27	4.42	4.20	3.45	5.69	3.73	1.03	0.98	0.81	1.33	0.87	1.18
硫酸铵 [1]	0.57	0.63	0.62	0.29	1.07	0.34	1.11	1.09	0.51	1.88	0.66	1.85
[2]	0.40	0.43	0.41	0.27	0.66	0.31	1.07	1.02	0.67	1.65	0.77	1.39

注：[1]为水稻茬，[2]为小麦茬。

表 4 列出的肥料残留氮各组分 dff 值与残留(总)氮 dff 值的比,表示肥料残留氮和土壤氮在各个组分的分配比率大小。这个比值等于 1 时,说明分配于该组分的肥料残留氮与土壤氮成比例;比值大于 1,说明肥料残留氮高于土壤氮,或者说肥料残留氮对该组分的氮素贡献较大;比值小于 1 则相反,表示肥料残留氮对该组分的氮素贡献较小。上述的意义归纳于下式:

$$\frac{\text{各个组分的肥料残留 N 量}}{\text{肥料残留 N 总量}} \sim \frac{\text{各个组分的土壤 N}}{\text{土壤全 N}}$$

从上表可见,肥料残留氮在酸解性组分 dff(1) 与它在总氮 dff(0) 的比值都大于 1,说明肥料残留氮分配于酸解性氮组分的比率大于土壤氮,即肥料残留氮对土壤酸解性氮的贡献较大,硫酸残留氮的贡献又大于兔粪尿残留氮。在酸解性氮中,肥料残留氮对未知态氮组分的贡献最大[(4)/(0)],次为氨基酸态氮组分[(2)/(0)],这二组分的硫酸残留氮的比率都明显地高于兔粪尿残留氮。相反的是肥料残留氮分配于氨基糖加铵态氮组分[(3)/(0)]和分配于非酸解氮组分[(5)/(0)]的都低于土壤氮,尤其是硫酸残留氮对这二组分的氮素贡献都很小。

同理比较肥料残留氮和土壤氮分配于酸解性(总)氮组分与非酸解氮组分的比率 [(1)/(5)]:

$$\frac{\text{酸解性的肥料残留 N 量}}{\text{非酸解肥料残留 N 量}} \sim \frac{\text{酸解性土壤 N 量}}{\text{非酸解土壤 N 量}}$$

从表上结果,阐明了肥料残留氮进入土壤酸解性氮大于进入非酸解氮,因此肥料残留氮的矿化率相对地高于土壤氮,硫酸残留氮矿化率又高于兔粪尿残留氮的矿化率。同理可以对其它氮组分相互比较,这里不再赘述。

参 考 文 献

1. 蔡大同、吴毅文、史瑞和, 1989: 兔粪尿和硫酸铵在不同土壤上的肥效和¹⁵N去向。南京农业大学学报, 2: 65—72。
2. 吴毅文、蔡大同、史瑞和, 1991: 兔粪尿和硫酸铵和土壤氮在水稻植株体的分布。土壤学报, 第 28 卷 2 期, 161—167 页。
3. 黄东迈、朱培元、高家骅, 1981: 有机无机态肥料氮在水田和旱地的残留效应。中国科学 (B 辑), 10: 907—912。
4. 莫淑勋、钱菊芳, 1983: 红壤地区紫云英中氮素的转化及其对水稻有效性的研究。土壤学报, 第 20 卷 1 期, 12—22 页。
5. Broadbent, F. E., 1980: Residual Effect of Labeled N in Field Trials. Agron. J. 12: 305—327.
6. Westerman, R. L. and Kurtz, L. T. 1972: Residual Effects of ¹⁵N labeled fertilizer in a field study. SSSAP, 36(1): 91—94.
7. Stevenson, F. J. 1982: Organic Forms of Soil Nitrogen. In Nitrogen in Agricultural Soils, p. 67—122, Am. Soc. Agron. Crop. Sci. Soc. Am., and Soil Sci. Am., Madison Wisconsin.
8. Bremner, J. M. 1965: Organic forms of Nitrogen In methods of soil Analysis, C. A. Black (ed) Agron. 9: 1148—1178, Am. Soc Agron. Madison Wisconsin.

AVAILABILITY OF FERTILIZER RESIDUAL-N AND ITS RELATIONSHIP WITH DISTRIBUTION OF RESIDUAL N FRACTIONS

Wang Yan, Cai Datong and Shi Ruihe

(*Nanjing Agricultural University, Nanjing, 210014*)

Summary

The pot experiments were carried out to investigate the availability of the residual N from rabbit excreta and ammonium sulfate and its relationship with the residual N components by using the isotopic ^{15}N tracer technique. The results indicated that the residual effect of fertilizer N was low. The residual N from rabbit excreta utilized by wheat plant was 3.6—4.8%. Most of the residual N (82—89%) was left in the soil and 7—14% of the residual N was lost; while the corresponding values for the residual N from ammonium sulfate were 3.6—5.3%, 69—76% and 19—28% respectively. The amounts of amino acid-N and acid hydrolyzed-unidentified N fractions from these two fertilizers were relatively high. However, the residual N from ammonium sulfate in these two fractions was much more than that from rabbit excreta. Ninety-five percent of the mineralized N from the ammonium sulfate left in the soil came from these two N components while that for rabbit excreta was only 66—84%.

In the paper the significance and application of the $^{15}\text{N}\%$ dff value are also discussed.

Key words Isotopic ^{15}N , Rabbit excreta, $^{15}\text{N}\%$ dff value