

94, 14(2)
113-120

11522(1)

稻田土壤-作物-家畜系统中氮的循环研究*

何电源 廖先苓

(中国科学院长沙农业现代化研究所, 长沙, 410125)

S181

A

摘要 本文用 N^{15} 标记水稻和绿肥研究了稻田土壤-作物-家畜系统中氮的循环。 N^{15} 标记稻草喂羊, 羊体回收饲料稻草 N 31.16%, 羊粪 28.26%, 羊尿 5.72%, 总回收 65.14%, 损失 34.86%。将羊粪尿单施, 稻谷回收饲料稻草 N 3.19%, 水稻全株回收 4.82%, 土壤残留 19.00%, 损失 10.14%。故羊体、水稻及土壤残留共回收饲料稻草 N 54.98%。将羊粪与尿素配施, 则饲料稻草 N 的总回收率为 55.88%。 N^{15} 标记绿肥喂猪, 猪体回收饲料绿肥 N 23.51%, 猪粪 23.85%, 猪尿 28.76%, 总回收率 76.12%, 损失率 23.88%。将猪粪、尿还田, 稻谷回收饲料绿肥 N 6.69%, 水稻全株回收 10.05%, 土壤残留 19.17%, 故猪体、水稻和土壤残留共回收饲料绿肥 N 52.73%。将猪粪与尿素配施, 则饲料绿肥 N 的总回收率为 52.75%。

关键词: N^{15} , 氮循环, 稻田土壤-作物-家畜系统。稻田土壤; 作物; 家畜; 生态

稻田土壤-作物-家畜系统是我国南方农村常见的生态农业模式。国外学者对土壤-作物系统 N 的循环研究较多^[1-3]; 我国学者对家禽、家畜粪便进行多级利用也做了许多研究^[4]; 而应用 N^{15} 示踪技术研究稻田土壤-作物-家畜系统中 N 的循环则未见报道。本项研究应用高丰度的 N^{15} 无机肥料标记水稻和绿肥, 分别用所得 N^{15} 稻草和绿肥饲喂山羊和猪, 再将 N^{15} 标记的羊粪和猪粪尿, 以及稻草和绿肥还田, 研究 N 在稻田土壤-作物-家畜系统中的循环, 为农牧结合和 N 的良性循环提供科学依据。

1 试验材料和方法

1.1 N^{15} 标记水稻和绿肥 用低肥力土壤, 施以 N^{15} 丰度为 56.7% 和 12% 的尿素盆栽水稻, 成熟期收割, 得 N^{15} 丰度为 41.76% 和 7.79% 的稻草, 供喂羊和田间试验用, 在上述土壤上继续种植紫云英、印度豇豆和油菜, 分别施用 N^{15} 丰度为 56.7%、30.3% 和 12.01% 的尿素或硫酸铵, 在盛花期收割, 得到 N^{15} 丰度为 10.24% 和 6.59% 的混合绿肥, 供喂猪及还田试验用。

1.2 羊和猪的饲养和 N^{15} 标记羊、猪粪尿的收集 将供试羊和猪分别置于室内 Dracher 代谢笼内单笼饲养。试验分 3 个阶段: (1) 预试期(使牲畜适应试验条件); (2) 正式试验期(2-3d) 喂 N^{15} 标记饲料; (3) 试验后期继续收集粪、尿。在 (1) 和 (3) 期内饲喂基础日粮(按家畜营养标准配制)、或预试日粮(成分与试验日粮同)。羊的试验日粮成分: 玉米粉 4.7%, 玉米淀粉 37.0%, 豆饼 4.2%, 麸皮 3.0%, 贝壳粉 1.2% 及 N^{15} 标记稻草 49.9%, 其 N^{15} 丰度为 22.55%。猪的试验日粮成分: N^{15} 标记的紫云英占 4.63%, 印度豇豆 27.41%, 油菜 22.13%, 无氮淀粉 41.67% 和糖、食盐等 4.17%, 其 N^{15} 丰度为 10.10%。供试饲料成分见表 1。供试山羊为湘西马头羊, 第 1 次喂 1 号羊, 第 2 次为 2、3 号羊; 猪为 3 元杂种阉公猪, 2 只同时喂养。在饲养过程中分别定时

* 本项研究属中国科学院土壤圈物质循环开放研究实验室基金资助课题。参加本项研究的尚有本所邢廷统、周卫军、方热军、何烈华等同志, 向万胜参加部分田间试验工作。

本文于 1993 年 1 月 15 日收到, 修改稿于 1993 年 11 月 6 日收到。

收集粪和尿,试验结束后屠宰,采样和分析 N^{15} 。

表 1 供试羊和猪的饲料成分(风干样, g/kg)

Table 1 The components of the experimental feed of goat and pig (air dried basis)

饲料种类 Kind of feed	有机 C Organic C	N	C/N	纤维素 Cellulose	半纤维素 Hemicellulose	木质素 Lignin	N^{15} 丰度 N^{15} abundance (%)
羊基础日粮 Basal diet of goat	407.4	21.51	18.9	74.9	227.2	9.4	0.365
羊预试日粮 Pre-experimental diet of goat	410.0	8.64	47.5	191.6	226.9	43.5	0.365
羊试验日粮 N^{15} experimental diet of goat	416.7	9.50	43.9	146.9	220.4	42.7	22.55
猪基础日粮 Basal diet of pig	344.2	27.39	12.6	41.4	145.0	21.9	0.365
猪预试日粮 pre-experimental diet of pig	399.4	16.38	24.4	94.9	60.3	52.7	0.365
猪 N^{15} 试验日粮 N^{15} experimental diet of pig	390.0	23.50	16.6	87.3	113.0	37.7	10.10

1.3 田间试验 在湖南长沙市郊第四纪红土母质发育的两块红黄泥田上进行水稻微区试验,微区用高 33cm,内径 29cm 的无底塑料圆筒,埋入稻田土壤约 20—22cm。1990 年 7 月进行羊粪和稻草还田试验,供试品种为杂交稻威优 64,其处理如下:(1)不施肥(对照);(2)羊粪与尿素施肥:① $1/2 N^{15}$ 羊粪 N + $1/2 N^{14}$ 尿素 N, ② $1/2 N^{15}$ 尿素 N + $1/2 N^{14}$ 羊粪 N;(3)稻草与尿素施肥:① $1/2$ 为 N^{15} 稻草 N + $1/2 N^{14}$ 尿素 N, ② $1/2 N^{15}$ 尿素 N + $1/2 N^{14}$ 稻草 N;(4) N^{15} 羊粪;(5) N^{15} 稻草;(6) N^{15} 尿素。各处理重复 3 次。每个微区均施入 N 1.0g, P_2O_5 0.7g 和 K_2O 1.0g。有机肥均按其含 N 量计算重量,其中不足的 P、K 均用 KH_2PO_4 或 KCl 补足(下同)。1991 年 5 月进行猪粪、尿和绿肥还田试验,供试水稻品种浙辐 7 号,其处理如下: I、对照(不施肥); 1. 猪粪与尿素施肥:① $1/2 N^{15}$ 猪粪 N + $1/2 N^{14}$ 尿素 N, ② $1/2 N^{15}$ 尿素 N + $1/2 N^{14}$ 猪粪 N; II. 绿肥与尿素施肥:① $1/2 N^{15}$ 绿肥 N + $1/2 N^{14}$ 尿素 N; ② $1/2 N^{15}$ 尿素 N + $1/2 N^{14}$ 绿肥 N; III. N^{15} 猪粪; IV. N^{15} 绿肥; V. N^{15} 猪尿; VI. N^{15} 尿素。各处理重复 4 次。每一微区施 N 1.0g, P_2O_5 0.8g, K_2O 1.0g。有机肥中不足的 P、K 量用 KH_2PO_4 或 KCl 补足。供试的羊、猪粪、尿和稻草、绿肥的成分见表 2,水稻成熟后采集植株和土壤样品,称重、测定其 N 的含量及 N^{15} 丰度。

2 结果和讨论

2.1 山羊和猪对稻草、绿肥 N 的吸收利用 羊饲喂 N^{15} 饲料 2—3d,再继续喂 N^{14} 饲料 6—7d 后屠宰,1 号羊共喂 N^{15} 稻草饲料 1200g (2d); 2、3 号羊分别喂 N^{15} 饲料 1293g 和 1285g (3d); 2 号羊未屠宰。1、3 号羊体平均回收饲料稻草 N 31.16%; 回收羊粪 28.26%; 回收羊尿 5.72%; 总回收率为 65.14%; 损失率为 34.86% (见表 3)。1 号羊体和羊尿回收稻草 N 分别比 3 号羊高 62% 和 108%, 但羊粪的差异却不大。造成差异的原因可能与羊的吸收能力及新陈代谢强弱有

① 邢廷铤,廖先琴等, N^{15} 标记绿肥喂猪 N 在基体内的转化和代谢规律的研究(待刊稿)。

关。关于氮素损失的原因, Denmed 等^[5]和 R. Dean 等^[7]认为有 12% 的氮是家畜在消化过程中以气态 N (如 N₂ 和 NH₃ 等) 逸散的。M. J. Frissel^[8]引用了这个结论, 并认为氮的损失有可能以 N₂O 或 NO 的形态散失。

表 2 供试肥料的成分(风干样, g/kg)

Table 2 The components of the experimental organic manures (air dried basis, g. kg⁻¹)

肥料种类 Kind of manure	有机 C Organic C	N	C/N	P ₂ O ₅	K ₂ O	纤维素 Cellulose	半纤维素 Hemicellulose	木质素 Lignin	N ¹⁵ 丰度 N ¹⁵ abundance (%)
N ¹⁵ 羊粪 N ¹⁵ goat feces	359.8	16.6	21.7	12.5	7.18	181	222	109	6.285
N ¹⁴ 羊粪 N ¹⁴ goat feces	336.7	16.5	20.4	8.41	19.6	169	188	138	0.366
N ¹⁵ 稻草 N ¹⁵ rice straw	381.2	10.2	37.4	6.26	15.8	217	273	99	7.790
N ¹⁴ 稻草 N ¹⁴ rice straw	351.3	8.21	42.8	2.00	25.8	194	224	106	0.366
N ¹⁵ 猪粪 N ¹⁵ pig feces	382	33.7	11.3	18.1	9.18	109	44	153	6.823
N ¹⁴ 猪粪 N ¹⁴ pig feces	366	28.6	12.8	12.3	20.0	169	75	144	0.366
N ¹⁵ 绿肥 N ¹⁵ green manure	323	29.5	10.9	8.56	41.5	111	56	111	6.595
N ¹⁴ 绿肥 N ¹⁴ green manure	367	32.0	11.5	7.79	24.3	142	98	133	0.366
N ¹⁵ 猪尿 ^{a)} N ¹⁵ pig urine	—	3.73	—	0.416	8.29	—	—	—	5.610

a) 单位为 mg/ml.

N¹⁵标记绿肥饲料喂猪 3d, 再喂 N¹⁴饲料 5d 后屠宰。1、2 号猪各喂 N¹⁵饲料 1025g。猪体对饲料绿肥 N¹⁵ 的平均回收率为 23.51%, 猪粪为 23.85%, 猪尿为 28.76%, 总回收率为 76.12%; 损失率为 23.88% (见表 3)。与山羊不同, 猪体和猪粪对饲料绿肥 N 的回收率均低于山羊对稻草饲料 N 的回收率; 而猪尿对饲料绿肥 N 的回收率却为羊尿回收率的 4.7 倍^[6]。形成这些差异的原因可能与猪和羊的营养生理等特性不同有关。

表 3 山羊和猪对稻草及绿肥 N¹⁵ 的利用回收率Table 3 The recovery rates of rice straw and green manure N¹⁵ by goats and pigs

试验家畜 Experimental animal	畜体 Body			畜粪 Feces		畜尿 Urine		N ¹⁵ 总回收率 Rate of total N ¹⁵ recovery (%)	N ¹⁵ 损失率 Rate of total N ¹⁵ loss (%)
	A	B	C	B	C	B	C		
1号羊 Goat 1	17852.5	964.2	38.54	677.0	27.06	193.1	7.72	73.32	26.68
3号羊 Goat 3	11180.2	620.2	23.78	768.7	29.46	96.9	3.72	56.96	43.04
平均 Average	14516.4	792.3	31.16	722.4	28.26	145.0	5.72	65.14	34.86
1号猪 Pig 1	16806.9	601.0	25.62	566.0	24.14	694.6	29.63	79.39	20.61
2号猪 Pig 2	17817.2	501.4	21.39	552.2	23.55	654.0	27.89	72.82	27.18
平均 Average	17312.1	551.2	23.51	559.1	23.84	674.3	28.76	76.10	23.90

A: 鲜重 Fresh weight (g); B: N¹⁵回收量 Amount of N¹⁵ recovery (mg); C: N¹⁵回收率 Rate of N¹⁵ recovery (%).

2.2 山羊和猪对稻草、绿肥氨基酸的消化 在稻草和绿肥的含氮物质中, 含有一定量的各种氨基酸, 为探明羊和猪对氨基酸的消化率, 分析了饲料和畜粪中的氨基酸含量, 并分别计算了羊和猪对饲料中各种氨基酸的消化率 (表 4)。

由表 4 看出, 山羊对饲料稻草中各种氨基酸的平均消化率分别在 48.4%—73.1% 之间, 对氨基酸总量的消化率为 61.3%。猪对饲料绿肥中各种氨基酸的平均消化率分别在 21.7%—66.7% 之间, 其中以酪氨酸的消化率为最低。氨基酸总量的消化率为 60.2%, 与羊对稻草氨基酸总量的消化率相近。

表4 山羊和猪对N¹⁵稻草和N¹⁵绿肥饲料氨基酸的消化率*(%)
Table 4 The digestibilities of various amino acids in N¹⁵ rice straw and N¹⁵ green manure for goats and pigs

试验家畜 Experimental animal	天冬氨酸 Asp	苏氨酸 Thr	丝氨酸 Ser	谷氨酸 Glu	脯氨酸 Pro	甘氨酸 Gly	丙氨酸 Ala	缬氨酸 Val	甲硫氨酸 Met	异亮氨酸 Ile	亮氨酸 Leu	酪氨酸 Tyr	苯丙氨酸 Phe	组氨酸 His	赖氨酸 Lys	精氨酸 Arg	氨基酸 总量 Total of amino acid
1号羊 Goat 1	70.8	55.4	64.9	75.2	78.7	62.5	61.0	72.9	71.9	63.5	68.1	—	67.7	71.4	57.8	57.0	68.6
3号羊 Goat 3	58.4	41.4	53.4	59.6	67.6	46.9	37.4	54.8	57.6	48.6	51.2	—	53.5	62.0	40.3	52.1	54.0
平均 Average	64.6	48.4	59.2	67.4	73.1	54.7	49.2	63.9	64.7	56.0	59.6	—	60.6	66.7	49.0	54.6	61.3
1号猪 Pig 1	62.4	48.7	49.8	59.0	59.5	51.4	58.2	57.5	49.5	54.3	60.7	19.2	58.0	53.6	57.9	59.6	56.7
2号猪 Pig 2	67.5	56.7	55.1	66.3	66.1	55.1	63.0	65.4	59.4	61.7	66.9	24.1	62.9	62.1	68.7	73.8	63.7
平均 Average	65.0	52.7	52.5	62.7	62.8	53.3	60.2	61.5	54.5	58.0	63.8	21.7	60.5	57.9	63.3	66.7	60.2

* 消化率计算式: 饲料中某成分的消化率(%) = $\left(1 - \frac{\text{粪中某成分量}}{\text{饲料中某成分量}}\right) \times 100$.

2.3 羊、猪粪尿和稻草、绿肥还田对水稻产量和N累积量的影响 单施羊粪的稻谷产量比对照高5%,水稻全株累积N量比对照高10.9%;单施稻草的稻谷产量仅为对照的82%,全株累积N量则比对照高2.9%(表5),产量低的主要原因是由于稻草分解产生大量有机酸等有毒物质,同时在碳源供应充足时,土壤微生物大量固持有效态N,致使水稻前期生长受阻。羊粪和稻草分别与尿素配施,其稻谷产量分别比对照高19.0%和1.6%,水稻全株累积N量比对照高25.3%和15.5%。但由于在这种有机和无机肥的配比下,其供N量仍不能满足当季水稻高产对速效氮的需求,因此其稻谷产量仅分别为施等N量尿素的81.3%和78.9%;全株累积N量分别为尿素的81.6%和75.2%。

单施猪粪或绿肥,稻谷产量分别比对照高24%和59.8%,全株累积N量高26.9%和58.9%。猪粪或绿肥与尿素配施,其稻谷产量分别比对照高66.8%和74.6%;全株累积N量高49.2%和56.5%。由于猪粪或绿肥与尿素配施后明显地改善了有效N的供应,故其稻谷产量分别达等N量尿素的89%和93%;全株累积N量为尿素的88%和92%。猪尿N的有效性较高,易被水稻吸收,但在转化过程中N的损失较大,故单施猪尿的稻谷产量虽比对照高48%,但只相当于等N量尿素的79%,水稻全株累积的N量为尿素的83.6%。

综上所述,稻草喂羊后排出的粪便,其供N性能明显优于稻草。绿肥喂猪后排出的粪便,其矿化供氮速率明显低于绿肥直接还田。无论是羊粪或猪粪,其矿化供氮都较缓慢。因此在生产上必需与速效氮肥配施或在施用前使其充分腐熟,才能满足当季作物高产对氮的需求。

2.4 羊、猪粪尿和稻草、绿肥N在土壤-作物系统中的去向 羊粪单施,水稻对N的吸收率较尿素单施低69%;将羊粪与尿素配施则低61%。猪粪单施比尿素单施,其N的吸收率低72%;将猪粪与尿素配施,水稻对其N的吸收率比尿素单施低62%;但在土壤中的残留率则分别较施尿素高5.7倍及4.4或4.0倍;故其N的总回收率比尿素高58%或64%及35%或36%(表6)。虽然,水稻对稻草单施或与尿素配施的吸N率均高于羊粪的相应处理;但因稻草在分解前期产生大量的有机酸等,使水稻受害,故稻谷产量和累积N量均低于施羊粪的相应处理。绿肥

表 5 羊、猪粪尿及稻草绿肥对水稻产量和累积 N 量的影响(g/微区)

水稻 Rice plant	试验处理 Treatments	稻谷 Rice grain		茎叶 rice straw		全株 Whole rice plant	
		产量 Yield	N-累积量 N accumulated	干物重 Dry weight	N 累积量 N accumulated	干物重 Dry weight	N 累积量 N accumulated
1990 年 晚稻	1 对照 CK	49.9	0.577	47.5	0.287	116.6	1.015
	2 1/2 羊粪 N+1/2 尿素 N 1/2 goat feces N+1/2 urea N	59.4	0.749	53.3	0.364	134.5	1.272
Late rice	3 1/2 稻草 N+1/2 尿素 N 1/2 rice straw N+1/2 urea N	57.7	0.709	46.3	0.304	124.2	1.172
in 1990	4 N ¹⁵ 羊粪 N ¹⁵ goat feces	52.4	0.683	41.1	0.283	110.9	1.126
	5 N ¹⁵ 稻草 N ¹⁵ rice straw	40.9	0.608	35.4	0.296	91.5	1.044
	6 N ¹⁵ 尿素 N ¹⁵ urea	73.1	0.866	72.6	0.485	173.1	1.558
1991 年 早稻	1 对照 CK	42.5	0.508	31.1	0.232	82.0	0.791
Early rice	1 1/2 猪粪 N+1/2 尿素 N 1/2 pig feces N+1/2 urea N	70.9	0.805	46.3	0.308	127.8	1.180
in 1991	1 1/2 绿肥 N+1/2 尿素 N 1/2 green manure N+1/2 urea N	74.2	0.845	43.9	0.323	128.8	1.238
	II N ¹⁵ 猪粪 N ¹⁵ pig feces	52.7	0.667	35.6	0.271	98.5	1.004
	V N ¹⁵ 绿肥 N ¹⁵ green manure	67.9	0.835	47.0	0.341	126.8	1.257
	VI N ¹⁵ 猪尿 N ¹⁵ pig urine	63.0	0.728	42.1	0.306	118.1	1.120
	VII N ¹⁵ 尿素 N ¹⁵ urea	79.7	0.894	53.7	0.362	146.1	1.340

表 6 羊、猪粪尿等施入稻田土壤中 N 的去向(%)

水稻 Rice plant	试验处理 Treatments	水稻对 N 的吸收率 Rate of N absorbed by rice plant			土壤残留率 Rate of N remaining in soil	总回收率 Rate of total N recovery	N 亏缺率 Rate of N loss
		稻谷 Rice grain	茎叶 rice straw	全株 Whole plant			
1990 年 晚稻	2 1/2 N ¹⁵ 羊粪+1/2 N ¹⁵ 尿素 N 1/2 N ¹⁵ goat feces+1/2 N ¹⁵ urea N	9.22	4.16	15.15	63.80	78.95	21.05
late rice	3 1/2 N ¹⁵ 稻草+1/2 N ¹⁵ 尿素 N 1/2 N ¹⁵ rice straw+1/2 N ¹⁵ urea N	14.47	5.97	22.79	43.01	65.80	34.20
in 1990	4 N ¹⁵ 羊粪 N ¹⁵ goat feces	7.88	2.72	11.97	63.81	75.79	24.21
	5 N ¹⁵ 稻草 N ¹⁵ rice straw	9.93	4.80	16.22	53.99	70.21	29.79
	6 N ¹⁵ 尿素 N ¹⁵ urea	23.06	11.72	38.58	9.50	48.08	51.92
1991 年 早稻	1 1/2 N ¹⁵ 猪粪+1/2 N ¹⁵ 尿素 N 1/2 N ¹⁵ pig feces+1/2 N ¹⁵ urea N	10.54	4.09	15.71	55.92	71.63	28.37
Early rice	1 1/2 N ¹⁵ 绿肥+1/2 N ¹⁵ 尿素 N 1/2 N ¹⁵ green manure+1/2 N ¹⁵ urea N	26.65	9.71	38.69	26.48	65.17	34.83
in 1991	II N ¹⁵ 猪粪 N ¹⁵ pig feces	7.86	3.02	11.74	59.83	71.57	28.43
	V N ¹⁵ 绿肥 N ¹⁵ green manure	22.70	8.92	33.81	40.16	73.97	26.03
	VI N ¹⁵ 猪尿 N ¹⁵ pig urine	16.76	6.73	25.21	17.03	42.24	57.76
	VII N ¹⁵ 尿素 N ¹⁵ urea	27.90	11.04	41.76	11.08	52.84	47.16

肥单施,水稻对其 N 的吸收率和总回收率都较高,只要在施用前期适当配施速效氮肥,其稻谷产量可与等 N 量的尿素相近。猪尿单施,水稻对其 N 的吸收率高于猪粪单施或与尿素配施,但其损失率最大,故宜采取适当措施以提高其利用率并减少其损失率。

稻田土壤中 N 的损失受土壤 pH 值的影响很大。朱兆良证明⁽⁹⁾,尿素施于 pH5.2—5.4 的

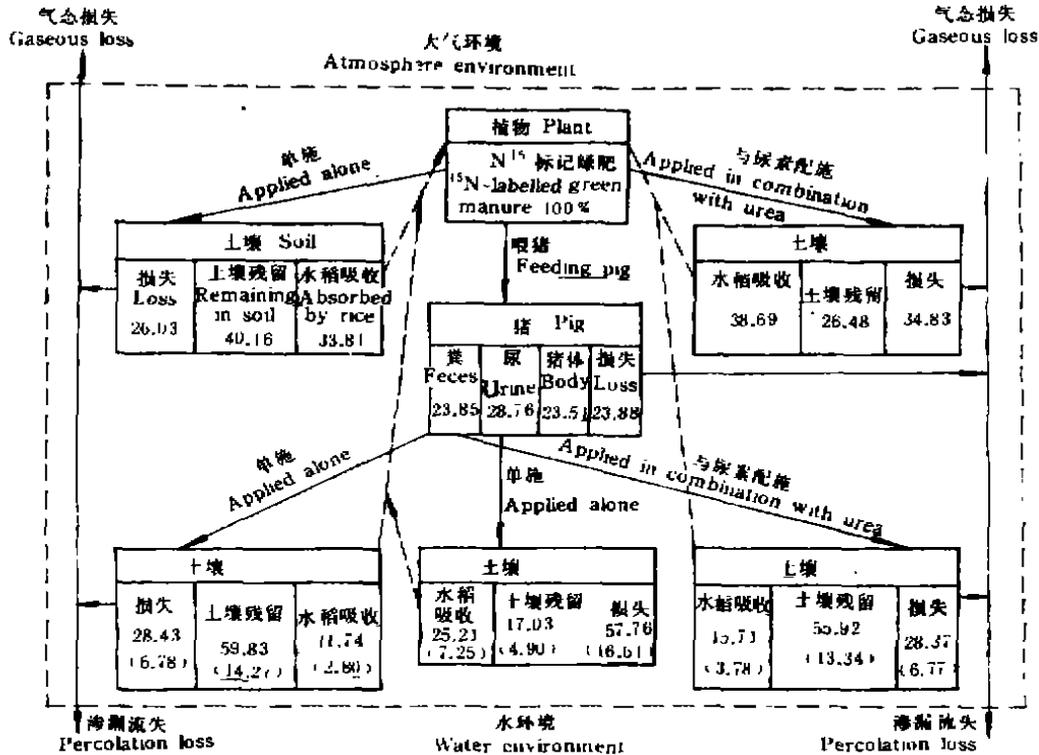


图 1 绿肥两种利用方式下 N 的去向(括号为折算成饲料绿肥 N%)

Fig. 1 Fate of N in green manure used by two kinds of application. Data in the brackets are the percentage of feed green manure N

稻田中,以 NH_3 挥发损失的 N 占 9%,反硝化损失占 37%;尿素施入 pH8.8 的稻田中,以 NH_3 挥发损失的 N 为 30%,反硝化损失为 33%。本研究中各种肥料 N 的损失率为 24%至 58%。

2.5 稻田土壤-作物-家畜系统中氮的循环模式

2.5.1 绿肥-猪-土壤-水稻及绿肥-土壤-水稻系统中 N 的循环模式 (见图 1) N^{15} 标记绿肥饲料喂猪后,猪体及粪尿对饲料绿肥 N 的总回收率为 76.12%,损失率 23.88%,以猪粪单施还田,稻谷回收的 N^{15} 折合成饲料绿肥 N 的 1.87%,水稻全株回收为 2.80%,土壤残留 14.27%,损失为 6.78%。猪尿单施,稻谷回收饲料绿肥 N 4.82%,水稻全株回收 7.25%,土壤残留 4.90%,损失 16.61%。在这种模式中,猪体和稻谷共回收饲料绿肥 N 30.20%,比绿肥直接还田单施时稻谷对 N 的回收率高 33%;N 的总回收率(包括猪体,水稻全株和土壤残留 N)为 52.73%,比绿肥直接还田低 28.71%。将猪粪与尿素配施,则猪体和稻谷共回收饲料绿肥 N 30.84%,比绿肥与尿素配施时稻谷对绿肥 N 的回收率相对高 15.72%,N 的总回收率为 52.75%,比绿肥、尿素配施时绿肥 N 的总回收率低 19.06%。可见绿肥喂猪,其经济产品(猪体和稻谷)对绿肥 N 的回收率显著高于绿肥直接还田。

2.5.2 稻草-山羊-土壤-水稻及稻草-土壤-水稻系统 N 的循环模式 N^{15} 稻草喂羊后,羊体对稻草 N 的回收率为 31.16%。将羊粪单施,稻谷回收的 N 折合成饲料稻草 N 2.23%,水稻全株回收为 3.38%,土壤残留 N 18.03%,损失 6.84%,因为羊尿太少,未做田间试验,故按猪尿的结果计算羊尿还田的 N 素回收率。这种模式羊体和稻谷共回收饲料稻草 N 34.35%,比稻草直

接还田时稻谷对稻草 N 的回收率高 2.46 倍;饲料稻草 N 的总回收率为 54.98%,比稻草直接还田低 21.65%。将羊粪与尿素配施,则羊体和稻谷共回收饲料稻草 N 34.73%,较稻草与尿素配施时稻谷对稻草 N 的回收率高 1.4 倍;羊体、水稻和土壤残留 N 对饲料稻草 N 的总回收率为 55.88%;比稻草与尿素配施时对稻草 N 的回收率低 15.08%。可见稻草喂羊后,将羊粪尿还田,其经济产品(羊体和稻谷)回收的饲料稻草 N 远高于稻草直接还田。

参 考 文 献

- (1) Jenkinson D S. Nitrogen in UK arable agriculture. *Journal of the RASE*. 1987, 178—189
- (2) Powlson D S *et al.* The nitrogen cycle in the Broadbalk wheat experiment. Recovery and losses of N^{15} -labelled fertilizer applied in spring and inputs of nitrogen from the atmosphere. *J. Agric. Sci. Camb* 1986, 107:591—609
- (3) Shen S M *et al.* The nitrogen cycle in the Broadbalk wheat experiment. N^{15} -labelled fertilizer residues in the soil and in the soil microbial biomass. *Soil Biol Biochem.* 1989, 21(4):529—533
- (4) 马世骏. 生态工程在农业持续发展中的作用. 高技术新技术农业应用研究. 北京:中国科学技术出版社, 1991, 733—736
- (5) Denmed O T *et al.* Ammonia flux into the atmosphere from a grazed *Pasture Science*. 1974, 185:609—610
- (6) He Dianyuan *et al.* Fate and transformation of nitrogen from N^{15} -labelled rice straw after feeding goat *PEDOSPHERE*. 1992, 2(2):161—170
- (7) Dean R *et al.* Nutrient removal by cattle from a shortgrass prairie *J. Appl Ecol.* 1975, 12:25—29
- (8) Frissel M J. Cycling of mineral nutrient in agricultural ecosystems. developments in *Agricultural and Manage-forest Ecology*. 1978, 3:300—303
- (9) Zhu Zhaoliang. Efficient management of nitrogen fertilizers for flooded rice in relation to nitrogen transformations in flooded soils *PEDOSPHERE*. 1992, 2(2):97—114

CYCLING OF NITROGEN IN THE PADDY SOIL-CROPS-DOMESTIC ANIMALS SYSTEM

He Dianyuan Liao Xianling

(Changsha Institute of Agricultural Modernization, Academia Sinica, Changsha, Hunan, 410125)

This paper deals with the use of N^{15} -labelled rice straw and green manure to study the cycle of N in the crops-domestic animal-paddy soil system. When a N^{15} -labelled rice straw was used to feed goats, the total N recovery was 65.14%, including 31.16% in bodies, 28.26% in feces and 5.72% in goat urine. Then the goat feces and urine were returned to paddy field and 4.82% of N^{15} was recovered in whole rice plants, including 3.19% in rice grain, 19.0% of N remained in soil, and 10.14% of N was lost. In the two processes of feeding goats and planting rice, a total 54.98% of N were recovered, including those in goat bodies, uptake by rice and remainder in soil. If goat feces were applied in combination with urea to rice field a total 55.88% of N would be recovered. When N^{15} -labelled green manure was used to feed pigs, 23.51% of the fed green manure N were recovered in pig bodies, 23.85% in feces and 28.76% in urine, with a total N recovery of 76.12% and a N loss of 23.88%. In the case of applying pig feces and urine alone to rice field, 6.69% of the fed

green manure N was recovered in rice grain, 10.05% was recovered in whole rice plant (including grain), 19.17% remained in soil and 23.39% was lost during rice growing and the total N recovery was 52.73%. Under the condition of applying pig feces in combination with urea, the total N recovery of this model was 52.75%.

Key words: N^{15} , nitrogen cycle, paddy soil-crops-domestic animals system.