

# $^{15}\text{N}$ 标记绿肥喂猪后还田的转化 和效益的研究\*

何电源 廖先苓 周卫军

(中国科学院长沙农业现代化研究所, 410125)

## 摘 要

本文用  $^{15}\text{N}$  标记绿肥与无 N 淀粉配制成饲料喂猪, 猪体平均回收饲料  $^{15}\text{N}$  23.51%; 猪粪回收  $^{15}\text{N}$  23.85%, 猪尿回收  $^{15}\text{N}$  28.76%; 饲料绿肥 N 的总回收率为 76.12%。猪粪、尿还田, 水稻全株对 N 的回收分别相当于饲料绿肥 N 的 3.75% 和 7.25%。其中转化至稻谷的分别为 2.51% 和 4.82%。以经济产品计算, 猪体和稻谷共回收饲料绿肥  $^{15}\text{N}$  30.84%, 比  $^{15}\text{N}$  绿肥与尿素配施还田稻谷回收的绿肥 N (为 26.65%) 相对地高 15.7%。

**关键词**  $^{15}\text{N}$  标记绿肥喂猪, 猪粪尿还田, 绿肥还田

绿肥是我国南方稻田耕作的主要有机肥源, 尤以冬绿肥紫云英的面积最大。70 年代中期, 全国种植紫云英的面积达 1 亿亩。经南方一些省、区试种, 证明印度豇豆是一种生长繁茂, 营养价值高的夏季绿肥<sup>[1]</sup>。近十多年来, 由于化肥的生产和供应大量增加, 加之不少的农民追求冬种夏收的产值和高收入, 导致绿肥的种植面积和产量日益下降。为了发展高产、优质、高效农业, 必需保持耕地土壤肥力不断提高, 而施用足够的有机肥是使土壤肥力不断提高的重要措施。维持足够的绿肥种植面积和产量则是保证有机肥源的可靠途径。但要达到这些目标, 必需提高绿肥的利用价值和经济效益。

本项研究应用同位素  $^{15}\text{N}$  示踪法, 比较绿肥过腹还田和直接还田后  $^{15}\text{N}$  的转化及效益, 以探讨提高绿肥作物经济效益的途径。

## 一、试验材料和方法

### (一) 绿肥喂猪和 $^{15}\text{N}$ 标记猪粪尿的收集

用土培先后盆栽紫云英和印度豇豆, 施以  $^{15}\text{N}$  丰度为 56.7% 的尿素和 30.3% 的硫酸, 在盛花期收获, 再播油菜以吸取土壤中残留的  $^{15}\text{N}$ , 得混和绿肥供喂猪用, 其  $^{15}\text{N}$  丰度为 10.24%, C/N 值为 8.10。

将供试的两头猪分别置于室内的 Dracher 代谢笼内, 单笼饲养。在正式试验期 3 天内, 各喂以  $^{15}\text{N}$  标记绿肥饲料 1025g (饲料中  $^{15}\text{N}$  绿肥占 54.2%, 无 N 淀粉等占 41.7% 及少量盐和糖), 其  $^{15}\text{N}$  丰度为 10.10%; 再继续喂 5 天非标记绿肥饲料。在试验全过程中, 分期收集排出的粪、尿; 试验结束时, 将猪屠宰后立即取样, 测定猪体各组织器官的重量, 含 N 量和  $^{15}\text{N}$  丰度, 计算猪对饲料中氮、碳物质的消化和吸

\* 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:

向万胜同志参加部分试验工作;  $^{15}\text{N}$  丰度由河北省农林科学院物理生理生化研究所陈良等同志协助测定; 氨基酸由本所中心实验室潘亚非等同志测定; 纤维素由本所陈惠萍等同志测定。

收利用率。

## (二) 猪粪、尿和绿肥还田的微区试验

1. 试验材料  $^{15}\text{N}$  标记猪粪、尿均为用  $^{15}\text{N}$  绿肥喂猪时所收集; 直接还田用的  $^{15}\text{N}$  标记绿肥与喂猪的品种相同, 只是其  $^{15}\text{N}$  丰度较低; 非标记绿肥则是采自稻田或旱地上种植的紫云英或印度豇豆, 各种材料的成分见表 1。

表 1 微区试验不同有机肥的成分(风干样, g/kg)

Table 1 The composition of organic manures for micro-plot experiments (air-dried basis, g/kg)

肥料 Manure	有机 C Organic C	N	C/N	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{K}_2\text{O}$	纤维素 Cellulose	半纤维素 Hemice- llulose	木质素 Ligmin	$^{15}\text{N}$ 丰度 (%) $^{15}\text{N}$ abundance
$^{15}\text{N}$ 猪粪	382	33.7	11.3	18.1	9.18	109	44	153	6.823
$^{14}\text{N}$ 猪粪	366	28.6	12.8	12.3	20.0	169	75	144	0.366
$^{15}\text{N}$ 绿肥	323	29.5	10.9	8.56	41.5	111	56	111	6.595
$^{14}\text{N}$ 绿肥	267	32.0	11.5	7.79	24.3	142	98	133	0.366
$^{15}\text{N}$ 猪尿 <sup>1)</sup>		3.73		0.416	8.29				5.610

<sup>1)</sup> 猪尿为液样, 单位 mg/mL。

2. 试验设计 设如下 7 个处理:

I	II		III		IV	V	VI	VII
	II(1)	II(2)	III(1)	III(2)				
不施肥 (对照)	$1/2^{15}\text{N}$ 猪粪N +	$1/2^{15}\text{N}$ 尿素N +	$1/2^{15}\text{N}$ 绿肥N +	$1/2^{15}\text{N}$ 尿素N +	$^{15}\text{N}$ 猪粪	$^{15}\text{N}$ 绿肥	$^{15}\text{N}$ 猪尿	$^{15}\text{N}$ 尿素
	$1/2^{14}\text{N}$ 尿素N	$1/2^{14}\text{N}$ 猪粪N	$1/2^{14}\text{N}$ 尿素N	$1/2^{14}\text{N}$ 猪粪N				

其中处理 II 和 III 采用交叉标记法, 各设两个分处理, 每个处理或分处理均重复 6 次(6 个微区), 随机排列, 每微区施肥量均为 1.0g N, 0.8g  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 1.0g  $\text{K}_2\text{O}$ , 各处理或分处理的有机肥用量均按每微区施 1g N, 并按表 1 中各种有机肥的含 N% 计算, 有机、无机肥各占 1/2N 的分处理, 则按各 0.5 gN 计算称量, 其中不足的 P、K 用量, 则用  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  或  $\text{KCl}$  补足。

3. 试验方法 1991 年 5 月初在第四纪红土母质发育的红黄泥田上进行早稻微区试验, 试验田土壤 pH 5.87, 有机质 18.8g/kg, 全 N 1.18g/kg, 全 P 0.973 g/kg, 全 K 11.9g/kg, 有效 P 8.38mg/kg, 速效 K 100mg/kg, CEC 8.25cmol/kg, <0.01mm 颗粒 608.6g/kg, <0.001mm 粘粒 288.8g/kg。微区取高约 33cm, 内径 29cm 的无底塑料筒, 在稻田耕耙后埋入土中并使其露出土面约 12cm。每个微区之间相隔 80cm。猪粪和绿肥风干粉碎后按各处理或分处理每个微区的肥料用量称重, 于插秧前 2 周在盆钵中分别加土沤制腐解。5 月 8 日将腐解后的肥料及猪尿、尿素和磷、钾肥(无机肥配成溶液)混施于微区土中, 随即插秧。每微区栽浙辐 7 号秧苗 4 穴, 每穴 5 株, 于 6 月 3 日(水稻分蘖末期), 6 月 17 日(水稻抽穗前)进行动态采样(每次一个微区); 7 月 15 日水稻成熟期收获(4 个微区)。样品按常规方法测定土壤及水稻根、茎叶, 稻谷等的含 N 量和  $^{15}\text{N}$  丰度。

## 二、结果和讨论

### (一) 绿肥喂猪后氮、碳物质的转化

$^{15}\text{N}$  标记绿肥喂猪后,经过消化器官的消化和吸收,饲料  $^{15}\text{N}$  即转化到各组织器官中,猪体各部分对饲料 N 的回收见表 2。由表可以看出,两头猪对饲料 N 的回收率分别为 25.63% 和 21.38%, 平均为 23.51%。如果将肠胃内容物中的  $^{15}\text{N}$  源都当作粪尿排出(实际上还可消化吸收一部分),则猪体对  $^{15}\text{N}$  的吸收量分别占饲料 N 的 24.85% 和 21.02%, 平均 22.94%,这是已直接形成经济产品的氮素。

表 2 猪体各组织器官对饲料绿肥 N 的吸收利用

Table 2 Distribution of  $^{15}\text{N}$  in different tissues and organs of pigs fed with  $^{15}\text{N}$ -labelled green manure

组织和器官 Tissue or organ	鲜重 (g) Fresh weight		$^{15}\text{N}$ 回收量 (mg) Recovery of $^{15}\text{N}$		$^{15}\text{N}$ 回收率 (%) Recovery rate of $^{15}\text{N}$	
	1 号猪	2 号猪	1 号猪	2 号猪	1 号猪	2 号猪
	Pig 1	Pig 2	Pig 1	Pig 2	Pig 1	Pig 2
瘦肉	4850.1	5187.7	201.3	79.5	8.59	3.39
肥肉和板油	915.3	2813.1	5.9	16.9	0.25	0.72
内脏	2407.0	2624.1	197.9	211.2	8.44	9.01
骨骼	3102.6	2799.6	138.8	121.2	5.92	5.17
脑髓	85.0	83.5	2.2	2.4	0.09	0.10
皮毛	2947.4	2405.2	10.6	13.4	0.45	0.57
血液	804.0	834.0	26.0	48.3	1.11	2.06
合计	15111.4	16747.0	582.7	492.9	24.85	21.02
肠胃内容物	1695.5	1070.0	18.3	8.5	0.78	0.36
总计	16806.9	17817.2	601.0	501.4	25.63	21.38

表 3 猪排出的粪尿及其对饲料绿肥  $^{15}\text{N}$  的回收

Table 3 The recovery rates of  $^{15}\text{N}$  labelled green manure  $^{15}\text{N}$  by excrements of pigs

试验猪号 Experiment pig No.	排鲜粪总量 (g) Fresh feces weight	粪中 $^{15}\text{N}$ 回收量 (mg) $^{15}\text{N}$ deposition in feces	粪回收 $^{15}\text{N}$ (%) Recovery rate of $^{15}\text{N}$ in feces	排尿总量 (g) Fresh urine weight	尿中回收 $^{15}\text{N}$ 量 (mg) $^{15}\text{N}$ deposition in urine	尿中回收 $^{15}\text{N}$ (%) $^{15}\text{N}$ recovery in urine
1	5733.9	566.0	24.14	7283.5	694.6	29.62
2	6308.2	552.2	23.55	8146.0	654.0	27.89
平均	6021.0	559.1	23.85	7714.8	674.3	28.76

注: (1) 每头猪分别喂  $^{15}\text{N}$  绿肥饲料 1025.0g, 其中  $^{15}\text{N}$  富集量 2344.7mg。

(2) 喂完  $^{15}\text{N}$  绿肥饲料后,在 5 天内每头猪还各喂非标记绿肥饲料 4400g (均为风干重),然后屠宰。

猪体不能消化吸收的饲料绿肥含 N 物质,以及新陈代谢的废物则通过粪、尿排出体外,其数量及  $^{15}\text{N}$  回收状况见表 3。由表可见,两头猪排出的粪分别回收饲料 N 24.14% 和 23.55%, 平均为 23.85%。尿分别回收饲料绿肥 N 29.62% 和 27.89%, 平均为 28.76%。应指出的是,猪尿对绿肥  $^{15}\text{N}$  的回收率平均比羊尿回收稻草  $^{15}\text{N}$  高 3.66 倍<sup>[7]</sup>。因此在生产上应注意猪尿的收集和保存,以减少 N 的损失。

根据表 2 和表 3 的数据可以算出,两头猪对饲料绿肥 N 的总回收率分别为 79.40% 和 72.82%, 平均为 76.12%, 亏缺率为 23.88%。

猪对饲料中含碳物质的消化率,按照动物饲养学上计算饲料消化率的公式,即饲料中某成分的消化率(%)=(1-粪中某成分的量/饲料中某成分量)×100,测定并计算出中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)和木质素(LIG)的消化率<sup>[9]</sup>(表4)。可以看出,两头猪对饲料中含碳物质的消化率分别为75.46%和75.80%,平均为75.63%。

## (二) 猪粪尿和绿肥还田对水稻的效应及 N 的转化

1. 不同肥料对水稻产量和N累积的效应 不同肥料种类或配合都对水稻的稻谷产量、生物量和N累积量具有明显的影响(表5),从表5看出,单施猪粪(IV)的稻谷产量极显著高于不施肥的处理(I),但却极显著低于单施绿肥的处理(V)。将<sup>15</sup>N猪粪或<sup>15</sup>N绿肥分别与尿素配施(II和III),其稻谷产量比单施绿肥分别高4.4%和9.3%,而比单施尿素(VII)分别低11%和6.9%,可见猪粪不宜单施,绿肥也应适当配施速效氮肥。

表4 猪对绿肥饲料中含碳物质的消化率(风干重,%)

Table 4 Digestibilities of C-compounds in green manure by each pig (air-dried basis, %)

测试项目 Item	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF	木质素 LIG	全碳量 Total C
非标记饲料	20.79	14.76	5.27	39.94
<sup>15</sup> N 标记饲料	23.80	12.50	3.77	39.00
1号猪粪	41.59	33.67	11.05	37.60
2号猪粪	42.71	35.31	11.79	37.67
1号猪消化率	49.46	39.03	42.48	75.46
2号猪消化率	48.92	37.07	39.61	75.80
平均	49.19	38.05	41.05	75.63

注:测试方法见参考文献<sup>[8]</sup>;猪对饲料采食量及排粪量见表3。

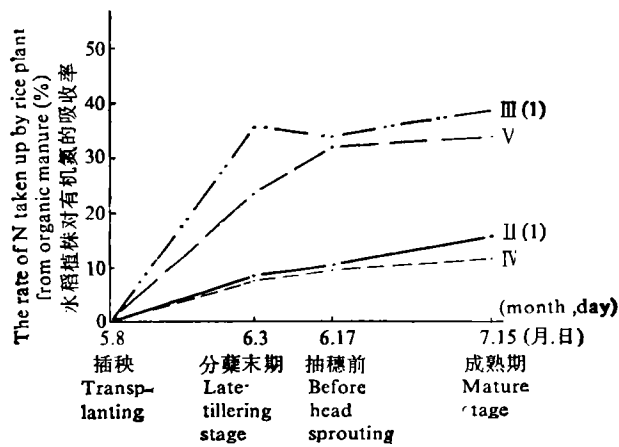
表5 不同肥料对水稻产量和N累积量的影响(1991年早稻成熟期,g/微区)

Table 5 Effects of different fertilizers applied on rice yield and N accumulation (Mature stage of early rice in 1991 g/microplot)

处 理 Treatment	稻谷 Rice grain		地上部分 Above-ground part		全株 Whole 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
I 对照	42.5	0.508	73.6	0.740	82.0	0.791
II 猪粪+尿素	70.9	0.805	117.2	1.113	127.8	1.180
III 绿肥+尿素	74.2	0.845	118.1	1.168	128.8	1.238
IV <sup>15</sup> N 猪粪	52.7	0.667	88.3	0.938	98.5	1.004
V <sup>15</sup> N 绿肥	67.9	0.835	114.9	1.176	126.8	1.257
VI <sup>15</sup> N 猪尿	63.0	0.728	105.1	1.034	118.1	1.120
VII <sup>15</sup> N 尿素	79.7	0.894	133.4	1.256	146.1	1.340
L.S.D 0.05	7.0	0.090	12.3	0.116	13.2	0.121
0.01	9.5	0.124	16.9	0.159	18.1	0.165

注:处理II和处理III均为二个分处理的平均值。

对稻谷产量、地上部分和全株干物质与N累积量进行相关统计,相关系数(*r*)分别为0.9866\*\*, 0.9801\*\*和0.9810\*\*,可见水稻的生物量和产量均与肥料和土壤的供氮状况密



II(1) 1/2 <sup>15</sup>N 标记猪粪 N(+1/2 尿素 N), IV <sup>15</sup>N 标记猪粪  
 III(1) 1/2 <sup>15</sup>N 标记绿肥 N(+1/2 尿素 N), V <sup>15</sup>N 标记绿肥

图1 水稻不同生育期吸收有机肥 N 的动态

Fig. 1 The dynamics of organic manure N taken up by rice plant at different growth stages

表6 不同肥料对糙米蛋白质和氨基酸的影响(风干糙米, g/kg)

Table 6 The effect of different fertilizers on the quality of brown rice and amino acid (air-dried weight, g/kg)

氨基酸 Amino acid	绿肥 Green manure	猪粪 Pig feces	猪尿 Pig urine	尿素 Urea	绿肥+尿素 Green manure + urea	猪粪+尿素 Pig feces + urea
全氮量	13.5	14.2	14.0	13.0	12.6	12.3
蛋白态N	13.2	14.2	13.2	12.7	12.6	11.9
天冬氨酸	7.20	7.65	8.38	6.57	6.79	6.75
苏氨酸	2.70	2.87	3.21	2.44	2.60	2.60
丝氨酸	3.07	3.07	3.19	2.46	3.02	2.83
谷氨酸	13.42	13.65	14.46	11.60	12.38	12.14
脯氨酸	0.97	3.93	1.20	3.35	0.76	0.90
甘氨酸	3.69	3.80	4.36	3.37	3.50	3.35
丙氨酸	4.84	5.22	5.69	4.49	4.62	4.63
缬氨酸	5.46	5.54	6.03	4.95	5.18	5.27
甲硫氨酸	0.99	1.25	1.33	1.14	0.99	1.16
异亮氨酸	3.47	3.73	3.98	3.15	3.44	3.33
亮氨酸	6.77	7.17	7.68	6.16	6.42	6.33
酪氨酸	1.24	1.83	2.10	1.49	1.75	1.54
苯丙氨酸	4.07	4.40	4.76	3.68	4.11	3.90
组氨酸	2.31	2.53	2.64	2.18	2.56	2.52
赖氨酸	3.39	3.48	3.88	3.18	3.38	3.88
精氨酸	5.26	6.00	5.93	5.10	5.30	5.26
氨基酸总量	68.85	76.12	78.82	65.31	66.80	66.39

切相关。图1表明:单施猪粪(IV),水稻从分蘖期—成熟期吸收的猪粪N只占其施入量的7.4—11.8%;猪粪与尿素配施[II(1)],水稻吸收的猪粪N可增加到8.2—15.6%,而且

使稻谷产量比猪粪单施高 34.5% (表 5)。说明猪粪与化学氮肥配施, 可改善其 N 的矿化供应状况并极显著地提高水稻产量。单施绿肥 (V), 水稻从分蘖期—成熟期吸收的绿肥 N 占其施入量的 23.4—33.8%; 绿肥与尿素配施 [III(1)], 水稻吸收的绿肥 N 增加到 35.9—38.7% (成熟期结果见表 9), 稻谷产量也增加了 9% (表 5)。可见施用绿肥时, 适当配施化学氮肥, 也可改善绿肥的矿化供 N 状况, 并使水稻增产。

2. 猪粪尿和绿肥对稻米品质的影响 从表 6 可看出, 猪粪尿和绿肥单施, 使糙米的含氮量及蛋白态 N 含量分别比施尿素的处理提高 3.8—9.2% 和 3.9—11.8%, 但绿肥和猪粪分别与尿素配施, 则这种作用不明显。

单施猪粪尿和绿肥, 可使糙米氨基酸总量和其中大多数氨基酸含量(脯氨酸、甲硫氨酸、酪氨酸除外)比单施尿素都有不同程度的提高, 其中以猪尿和猪粪的作用较大, 但猪粪和绿肥分别与尿素配施, 则与单施尿素的差异不显著。

3. 水稻吸收的肥料和土壤 N 量及分配比例 水稻各部分吸收的肥料 N 和土壤 N 量及分配比例在各处理之间有很大的差异, 但在同一处理中, 水稻全株、稻谷和茎叶吸收的肥料 N 和土壤 N 的比例都较相近(表 7)。表中还可看出, 单施猪粪 (IV) 的水稻全株吸收的肥料 N 只占其总吸收 N 的 11.7%, 而来自土壤的 N 则高达 88.3%。猪粪与尿素配施 (II), 水稻全株吸收的肥料 N 占总吸 N 量的比例提高到 21%, 但猪粪 N 占总吸 N 量的比例降为 6.6%。绿肥单施或与尿素配施, 水稻吸收的肥料 N 和土壤 N 的比例几乎一致。值得指出的是, 所有施用猪粪尿和绿肥的处理, 水稻吸收土壤 N 的比例都比单施尿素高, 表明

表 7 水稻吸收的肥料 N 和土壤 N 及其分配比例 (1991 年早稻成熟期 N mg/微区)

Table 7 The amounts and distribution ratios of fertilizer and soil N taken up by rice (Mature stage of early rice in 1991, Nmg/micr-plot)

处 理 Treatment		稻谷 Rice grain		茎叶 Rice straw		根系 Rice roots		全株 Whole plant	
		吸 N 量 N absorbed	比例 Ratio	吸 N 量 N absorbed	比例 Ratio	吸 N 量 N absorbed	比例 Ratio	吸 N 量 N absorbed	比例 Ratio
II	猪粪	53	6.6	20	6.5	5.0	7.4	78	6.6
	尿素	115	14.3	43	14.0	12	17.6	170	14.4
	土壤	637	79.1	244	79.5	51	75.0	932	79.0
III	绿肥	134	15.9	49	15.2	12	17.1	194	15.7
	尿素	93	11.0	34	10.5	10	14.3	137	11.1
	土壤	618	73.1	240	74.3	48	68.6	907	73.3
IV	猪粪	79	11.8	30	11.1	9	13.4	118	11.7
	土壤	588	88.2	241	88.9	58	86.6	887	88.3
V	绿肥	227	27.2	89	26.1	22	27.5	338	26.9
	土壤	608	72.8	252	73.9	58	72.5	918	73.1
VI	猪尿	169	23.2	68	22.2	17	19.8	254	22.7
	土壤	559	76.8	238	77.8	69	80.2	866	77.3
VII	尿素	260	29.1	112	30.9	29	34.1	401	29.9
	土壤	634	70.9	250	69.1	56	65.9	940	70.1

表 8 不同肥料对土壤 N 的“激发”效应及净残留 N 量(1991 年早稻成熟期, N mg/微区)

Table 8 The effect of different fertilizers on the amounts of priming soil N and net residual fertilizer N (Mature stage of early rice in 1991, mgN/microplot)

测试项目 Item	II			III			IV	V	VI	VII
	$^{15}\text{N}$ 猪粪 Pig feces	$^{15}\text{N}$ 尿素 Urea	平均 <sup>1)</sup> Mean	$^{15}\text{N}$ 绿肥 Green manure	$^{15}\text{N}$ 尿素 Urea	平均 <sup>1)</sup> Mean	猪粪 Pig feces	绿肥 Green manure	猪尿 Pig urine	尿素 urea
净吸收土壤 N 量 <sup>1)</sup>	893	884	889	962	762	865	843	875	822	897
其中“激发”N 量			142			118	96	127	75	150
肥料残留 N 量	279	117	414	133	105	237	599	402	171	112
净残留 N 量			272			119	503	275	96	-38

1) 对照处理净吸收土壤 N 量为 747mg/微区。

2) 为加权平均值。

表 9  $^{15}\text{N}$  标记材料 N 的回收率及 N 素平衡帐(1991 年早稻成熟期%)Table 9 The recovery rate and balance sheet of N in  $^{15}\text{N}$ -labelled fertilizers (Mature stage of early rice in 1991, %)

处理 Treatment	稻谷吸 N N absorbed in rice grain	地上部吸 N N absorbed in above ground part	全株吸 N N absorbed in whole plant	土壤残留 N Residual N in soil	N 总回收率 Total recovery of N	N 亏缺 Loss of N
II 猪粪	10.5	14.6	15.7	55.9	71.6	28.4
II 尿素	22.8	31.3	33.5	23.2	56.7	43.3
II 平均 <sup>1)</sup>	16.7	23.0	24.7	41.2	65.9	34.1
III 绿肥	26.7	36.4	38.7	26.5	65.2	34.8
III 尿素	19.0	26.0	28.0	21.4	49.4	50.6
III 平均 <sup>1)</sup>	22.7	31.0	33.2	23.9	57.1	42.9
IV 猪粪	7.9	10.9	11.7	59.8	71.6	28.4
V 绿肥	22.7	31.6	33.8	40.2	74.0	26.0
VI 猪尿	16.8	23.5	25.2	17.0	42.2	57.8
VII 尿素	27.9	38.9	41.8	11.1	52.8	47.2
L.S.D.	0.05	3.4	4.8	5.1	12.9	14.9
	0.01	4.6	6.6	6.9	17.6	20.3

1) 为加权平均值。

不同肥料对土壤供 N 和“激发效应”的影响均有所不同。

表 8 是不同肥料对土壤 N 的“激发效应”和肥料 N 的残留量。可以看出, 尿素对土壤 N 的“激发”量最高, 而净残留 N 则为负值; 单施猪粪和猪尿的“激发”量最低; 而以单施猪粪的净残留 N 量为最高。猪粪与尿素配施显著地提高了对土壤 N 的“激发”量, 而绿肥与尿素配施却与单施绿肥无显著差别。值得指出的是, 所有施有机肥或有机-无机配施的处理, 其净残留 N 量均为正值, 这再次说明长期施用有机肥对培育土壤肥力的作用。关于激发 N 在植株内的分布, 我们的结果与吴毅文等<sup>[2]</sup>的结果一致, 故未另作讨论。

4. 不同肥料N的回收率及N素平衡 田间微区栽培一季早稻后, 各种肥料N的回收率及N素平衡帐见表9。可以看出, 水稻植株对肥料N的吸收率是: 尿素>>单施绿肥≈(1/2 绿肥N + 1/2 尿素N) >> 猪尿≈(1/2 猪粪N + 1/2 尿素N) >> 单施猪粪。不同肥料处理N的总回收率是: 单施绿肥≈单施猪粪>(1/2 猪粪N + 1/2 尿素N) > (1/2 绿肥N + 1/2 尿素N) > 尿素>猪尿。

关于<sup>15</sup>N 绿肥直接还田的研究, 国内已有不少报道<sup>13-16</sup>。本项研究中绿肥单施及与尿素配施的两种处理, 水稻对绿肥N的吸收率分别为 33.8% 和 38.7%, 均高于莫淑勋等<sup>14</sup>所得的结果, 但土壤残留N较低, 而损失率则较高。

关于<sup>15</sup>N 标记猪粪尿还田的氮素利用、回收率, 目前尚未见有类似的报道。从本项研究中可看出, <sup>15</sup>N 猪粪的木质素含量和 C/N 值都较<sup>15</sup>N 绿肥高(表1), 猪粪的矿化供氮和水稻在不同生育期的吸N量都较低(图1), 单独施用猪粪难于满足作物高产、优质、高效对氮素营养的需求, 必需适时、适量配施速效氮肥。

交叉标记的处理(II 和 III) 结果表明, 无论猪粪或绿肥分别与尿素配施, 都明显地提高了水稻对猪粪或绿肥N的吸收率, 但都相应地降低了对尿素N的利用率, 这与黄东迈等<sup>14,17</sup>的研究结果是一致的。

(三) 绿肥两种利用方式的评价

为便于评价绿肥两种利用方式的效益, 兹将绿肥喂猪, 猪粪尿还田与绿肥直接还田N的去向绘成图2。根据图2及表9的有关数据可算出, 猪粪尿单施, 猪体和稻谷共回收饲

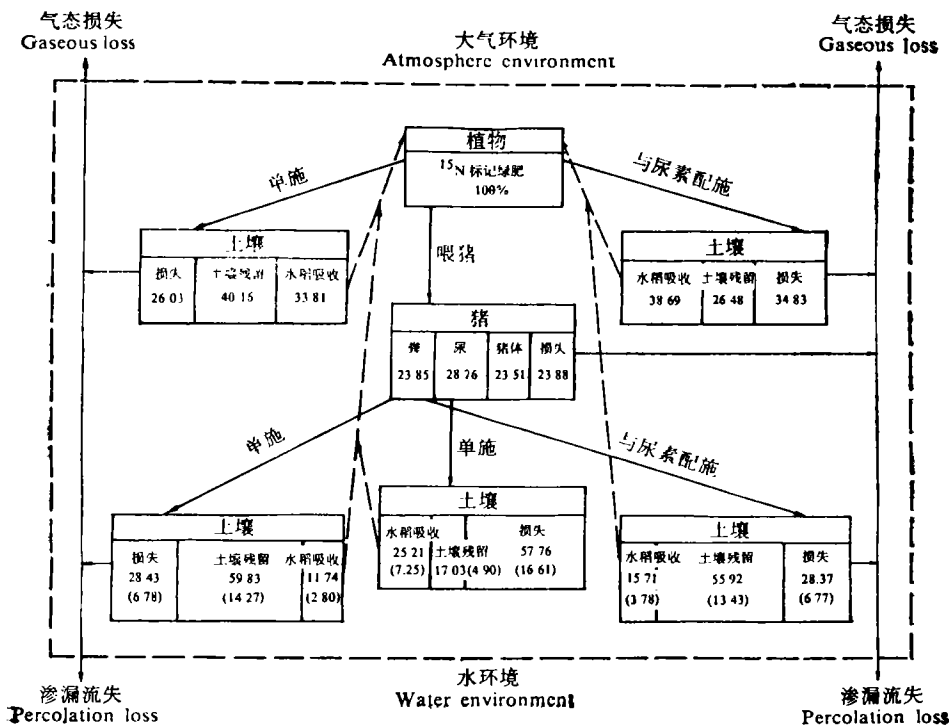


图2 绿肥两种利用方式下N的去向(括号内为折算成饲料绿肥N%)

Fig. 2 Fate of N in green manure used by two ways of application (Figures in the brackets are the percentages of feed green manure N)



料绿肥  $^{15}\text{N}$  30.2%, 比绿肥直接还田的稻谷回收绿肥  $^{15}\text{N}$  高 33.0% (相对%)。若将猪粪与尿素配施, 则猪体和稻谷共回收饲料绿肥  $^{15}\text{N}$  30.84%, 比绿肥与尿素配施稻谷对绿肥  $^{15}\text{N}$  的回收率(26.65%)高 15.7%。说明绿肥喂猪, 其含 N 物质转化为经济产品的比例显著高于绿肥还田。然而, 由于绿肥喂猪时已损失 N 23.88%; 猪粪尿还田种稻时, 仅猪尿单施即损失饲料绿肥 N 16.6%, 总损失达 23.4%; 因此饲料绿肥 N 的总回收率显著低于绿肥直接还田。但是, 即使用其它饲料喂猪, 猪的新陈代谢所损失的 N 也是不可避免的。至于猪尿还田损失的大量氮素, 则可在贮存和施用采取适当的措施以减少之。

表 4 已说明, 猪对饲料有机碳的消化率为 7.65%, 按一般淀粉的消化率为 90% 左右计算, 则饲料中绿肥碳的消化率为 58.9% 左右。紫云英的干草率一般为 12% 左右<sup>[4]</sup>, 本项研究所用绿肥平均含 C 35.6%, 500kg 饲料鲜绿肥含有机碳约为 21.4kg, 则有约 12.5 kgC 被猪消化作为猪体增重的能量。但是, 绿肥直接还田, 水稻却不能利用这部分有机碳。当然, 500kg 绿肥直接还田时, 给土壤提供的有机碳比等量绿肥过腹后以猪粪还田要高些, 但绝不可能抵消绿肥喂猪时有机碳被猪消化利用的效益。

据试验<sup>[1]</sup>, 用紫云英饲养 1 头 10kg 左右的断乳仔猪至 75kg 左右, 可节约近 30—40% 的糠料和精料, 同时提供 1500kg 以上的猪粪尿, 其效益是显著的。

综上所述, 可以认为, 绿肥喂猪, 猪粪尿还田, 能显著提高绿肥利用的经济、生态效益, 值得提倡。

### 参 考 文 献

1. 焦彬主编, 1986: 中国绿肥。291—342 页, 557—559 页, 农业出版社。
2. 吴毅文等, 1991: 兔粪尿—硫酸铵和土壤氮在水稻植株上的分布。土壤学报, 第 28 卷 2 期, 161—167 页。
3. 施书莲等, 1980: 绿肥植物的化学组成对氮素有效性的影响。土壤学报, 第 17 卷 3 期, 240—246 页。
4. 黄连迈等, 1981: 有机—无机肥料氮在水稻—土壤系统中的转化与分配。土壤学报, 第 18 卷 2 期, 107—121 页。
5. 黄连迈等, 1983: 水稻对有机、无机氮和土壤氮的吸收利用探讨。土壤学报, 第 20 卷 1 期, 1—10 页。
6. 莫淑勋等, 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, 11—22 页。
7. He Dian-yuan, Xing Ting-xian et al, 1992: Fate and Transformation of Nitrogen from  $^{15}\text{N}$ -labelled Rice Straw After Feeding Goat, Pedosphere, 2(2): p. 161—170.
8. Goering, H. K and Van Soest, 1972: Forage Fibre Analysis, USDA, Agric. Handbook, 379.

## EFFICIENCY AND TRANSFORMATION OF $^{15}\text{N}$ -LABELLED GREEN MANURE AFTER FEEDING PIG AND APPLYING TO PADDY FIELD

He Dianyuan, Liao Xianling and Zhou Weijun

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

### Summary

$^{15}\text{N}$ -labelled green manure mixed with nitrogen-free starch was used to feed pigs in the study. The results showed that the amount of  $^{15}\text{N}$  transformed into the bodies of the two slaughtered pigs accounted for 23.51% on average, of the total amount of  $^{15}\text{N}$  deposition in the experimental diet taken by each pig. The  $^{15}\text{N}$  excreted through the feces and urine of the two pigs accounted for 23.85% and 28.76%, respectively, of the total amount of  $^{15}\text{N}$  deposition in the feed (green manure) of pigs. The average recovery of total  $^{15}\text{N}$  for the two pigs was 76.12%. At the same time, the mean digestibilities of carbohydrates for two pigs was 75.63%. The results of rice micro-plot experiment showed that the amount of  $^{15}\text{N}$  transformed from pig feces and urine into whole rice plant accounted for 3.75% and 7.25% of the total amount of  $^{15}\text{N}$  deposition of the feed-green manure respectively, of which 2.51% and 4.82% of the total  $^{15}\text{N}$  were transformed into rice grain, respectively. The pig bodies and rice grain recovered altogether 30.84% of the feed-green manure N, being 15.7% relatively higher than that in the plot of combined application of green manure and urea where rice grain recovered 26.65% of the  $^{15}\text{N}$ -labelled green manure N.

**Key words**  $^{15}\text{N}$ -labelled green manure to feed pigs, Pig excrements returning to paddy field, Green manure returning to paddy field