

# $^{15}\text{N}$ 标记羊粪和稻草还田氮素的转化和效应的研究\*

廖先苓 周卫军 何电源

(中国科学院长沙农业现代化研究所, 410125)

## 摘 要

本工作通过田间微区试验,研究了  $^{15}\text{N}$  标记羊粪和稻草单独施用或分别与尿素配合施用作为水稻基肥时,肥料氮的命运及其对水稻产量的影响。结果表明,羊粪单施或与化肥 N 配合施用,稻谷回收的羊粪 N 分别为 7.9% 和 9.2%,相当于饲料稻草 N 的 2.2% 和 2.6%,若将羊体中回收的饲料稻草 N 量 (31.2%)<sup>[4]</sup> 计入,则羊体和稻谷共回收饲料稻草 N 分别为 33.4% 和 33.7%,明显高于稻草直接还田时稻谷对稻草 N 的回收率 (单施和与化肥配合施用时分别为 9.9% 和 14.5%)。稻草喂羊,再以其粪尿还田,其经济效益也明显高于稻草直接还田。

**关键词**  $^{15}\text{N}$  标记羊粪,稻草还田,N 素平衡账

稻草是我国稻作地区重要的秸秆资源。长期以来,虽有部分稻草用于喂牛和垫圈及部分直接还田作肥料,但大部分都作为生活用燃料。为探索稻草的合理利用途径,我们曾研究了  $^{15}\text{N}$  标记稻草喂山羊后稻草 N 的命运。结果表明,羊体平均回收饲料稻草  $^{15}\text{N}$  的 31.2%,羊粪回收 28.3%,羊尿回收 5.7%,N 的总回收率为 65.2%。此外,山羊对以稻草为主的饲料 C 的消化率约为 66.9%<sup>[6]</sup>。本文是前一项研究的继续。在本工作中,我们将上述  $^{15}\text{N}$  标记羊粪和稻草分别作为水稻的基肥,通过田间微区试验,研究这些肥料 N 的转化、去向及其对水稻生长和产量的影响,目的在于对稻草过腹还田和直接还田这两种稻草的利用方式作出综合评价,为合理利用稻草提供科学依据。

## 一、试验材料和方法

### (一) 试验材料

$^{15}\text{N}$  标记羊粪和非标记羊粪均为稻草喂羊试验时收集的<sup>[4]</sup>。供田间微区试验用的  $^{15}\text{N}$  标记稻草与喂羊用的稻草同时标记,但前者的  $^{15}\text{N}$  丰度较低;非标记稻草系采用大田的同一品种,其成分如表 1,供试尿素的  $^{15}\text{N}$  丰度为 9.521%。

### (二) 试验方法

\* 本项研究为中国科学院“土壤圈物质循环开放研究实验室”基金资助课题。  
土壤和植物样本的  $^{15}\text{N}$  丰度由中国科学院南京土壤研究所曹亚澄等同志测定;田间试验时,本所向万胜同志参加部分工作。

表1 有机肥的组成(风干样, g/kg)

Table 1 Chemical characteristics of organic manures used in microplot trial (On air dry basis, g/kg)

有机肥 Organic manure	有机碳 Organic C	N	C/N	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{K}_2\text{O}$	纤维素 Cellulose	木质素 Lignin	半纤维素 Semi- cellulose
$^{15}\text{N}$ 羊粪	360	16.6 (6.285) <sup>1)</sup>	21.7	12.5	7.18	181	109	222
$^{14}\text{N}$ 羊粪	337	16.5	20.4	8.41	19.6	169	138	188
$^{15}\text{N}$ 稻草	381	10.2 (7.792)	37.4	6.26	15.8	217	99	273
$^{14}\text{N}$ 稻草	351	8.2	42.8	2.00	25.8	194	106	224

1) 括号内数字为  $^{15}\text{N}$  丰度(%)。

试验于 1990 年在湖南长沙市第四纪红土母质发育的红黄泥田上进行。供试作物为晚稻, 微区用高约 33cm、内径 29cm 的无底塑料筒埋入稻田土中约 20—22cm 作成。土壤基本性质: pH(水)为 6.18; 有机质为 7.24; 全 N 为 0.705, 全磷(P)为 0.453, 全钾(K)为 10.4 (单位均为 g/kg); 有效 P 为 1.52mg/kg, 速效 K 为 75.0mg/kg, <0.001mm 粘粒为 215 g/kg, CEC 为 8.32 cmol/kg。试验处理如下, 其中处理 II 和 III 均采用交叉标记。

I	II		III		IV	V	VI
不施肥 (对照)	1/2 羊粪 N + 1/2 尿素 N 1/2 Goat feces N + 1/2 Urea N		1/2 稻草 N + 1/2 尿素 N 1/2 Rice straw N + 1/2 Urea N		$^{15}\text{N}$ 羊粪	$^{15}\text{N}$ 稻草	$^{15}\text{N}$ 尿素
No fertilizer (CK)	II-1	II-2	III-1	III-2	$^{15}\text{N}$ Goat feces	$^{15}\text{N}$ Rice straw	$^{15}\text{N}$ Urea
	1/2 $^{15}\text{N}$ 羊粪 N + 1/2 $^{14}\text{N}$ 尿素 N	1/2 $^{14}\text{N}$ 羊粪 N + 1/2 $^{15}\text{N}$ 尿素 N	1/2 $^{15}\text{N}$ 稻草 N + 1/2 $^{14}\text{N}$ 尿素 N	1/2 $^{14}\text{N}$ 稻草 N + 1/2 $^{15}\text{N}$ 尿素 N			

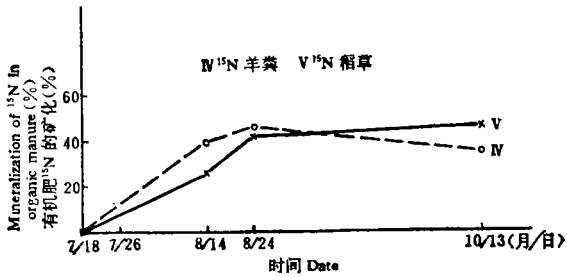
每微区面积约 660 cm<sup>2</sup>, 施入 1.0 g N, 0.7 g  $\text{P}_2\text{O}_5$  和 1.0 g  $\text{K}_2\text{O}$ , 有机肥中不足的 P、K 量用  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  和  $\text{KCl}$  补充。各处理均重复 6 次。有机肥于插秧前 8 天分别按各微区用量加土混合后先在盆钵中沤腐。7 月 26 日将各处理的肥料(无机肥制成溶液)与微区耕层土壤(约 18cm)混匀后, 随即插秧。品种为杂交稻威优 64, 秧龄 34 天, 每微区栽插 4 穴, 每穴 1 株带蘖苗。于 8 月 14 日(分蘖期), 8 月 24 日(孕穗期)及 9 月 10 日(抽穗期)采集水稻及土壤样本以测定养分动态。每次一个重复, 另三个重复在 10 月 13 日水稻成熟期收获采样。每次采样后按常规方法测定新鲜土的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , 土壤全 N 和水分含量, 以及水稻根、茎叶、稻谷的全 N 量及  $^{15}\text{N}$  丰度。

## 二、结果和讨论

### (一) 羊粪和稻草 N 在土壤中的矿化和土壤矿质态 N 及尿素 N 的生物固持

有机肥在 7 月高温沤腐期间, 虽经强烈地发酵分解, 但单施稻草的处理 (V) 由于稻草施用量过大(每微区施 98 克风干样, 约相当于每亩施风干稻草 980kg), 稻草在微生物强烈分解过程中不仅要消耗较多的土壤 N 素, 使 N 素供应不足, 而且产生较多的  $\text{Fe}^{++}$  和有机酸等有毒物质, 因而秧苗的返青和生长均受到了明显的抑制。单施羊粪的处理 (IV), 在水稻生长前期, 羊粪释出的矿质态 N 比稻草多。水稻生长中后期, 单施稻草的处理中稻草 N 的释出加快, 水稻吸收的稻草 N 也相应增多, 但羊粪释出的 N 量则不再增多(图

1)。在整个生长期中,单施稻草对土壤有机N均产生明显的负激发效应(见表3),因而水稻吸收的土壤N量最低(见图3)。



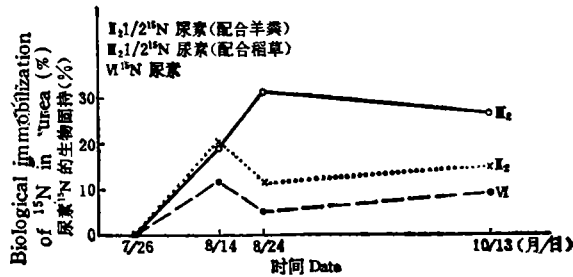
注: 矿化率(%) =  $\frac{N_p + N_i + N_a}{N} \times 100$

$N_p$ : 植物吸收施入的有机肥  $^{15}N$  量,  $N_i$ : 施入  $^{15}N$  的损失量,  $N_a$ : 土壤  $NH_4^+$ - $^{15}N$  量,  $N$ : 施入的有机肥  $^{15}N$  量

图1 有机肥N的矿化(1990年晚稻)

Fig. 1 Mineralization of organic manure N (late rice in 1990)

氮过程上的差异,主要是由于这些有机肥的化学组成不同所致。文启孝指出<sup>[4]</sup>,有机肥的C/N比值不同,不但氮素的利用率不同,而且氮素的供应过程也各异。此外,木质素含量也是另一个重要的影响因素。本试验用的稻草,其C/N比值为37.4—42.8,羊粪的C/N比值为20.4—21.7。二者的木质素含量则相近。配施稻草的处理中尿素N的生物固持量较配施羊粪处理高,看来是由于稻草中有效性能源物质较多,而含N量却较低所致。



注: 生物固持率(%) =  $\frac{N_r - N_a}{N} \times 100$

$N_r$ : 施入肥料  $^{15}N$  在土壤的残留量,  $N_a$ : 土壤中  $NH_4^+$ - $^{15}N$  量,  $N$ : 施入的矿质态肥料  $^{15}N$  量

图2 尿素N的生物固持(1990年晚稻)

Fig. 2 Biological immobilization of urea N (late rice in 1990)

羊粪和稻草的供氮特点还可以从水稻不同生育期的吸N动态得到说明。从图3可以看到,在水稻生长前期,单施稻草的处理,水稻吸收的肥料N和土壤N都比单施羊粪的处理少,这是由于稻草的矿化N量低于羊粪,而它在分解时所固持的土壤矿质态N量却可能比羊粪多。但到了水稻成熟期时,水稻吸收的稻草N较羊粪N多,说明稻草N矿化量增加(图1);然而由于稻草在分解过程中消耗了较多的土壤N,致使水稻吸收的土壤N仍比施羊粪的处理低得多。在水稻整个生育期内,其净吸收N量始终是单施羊粪的处理高于稻草的处理。虽然单施稻草的处理在水稻生长后期其净吸收N量赶上并超过了对照处理,但由于前期生长发育受到严重抑制,致使其生物产量明显低于对照。这充分说明了在生长前期供氮充足是水稻正常生长和高产稳产的基础。

(二) 不同肥料对水稻产量和N素累积的效应

从表2可见,单施稻草的水稻产量、干物质重量和氮素累积量均最低,这可能是由于

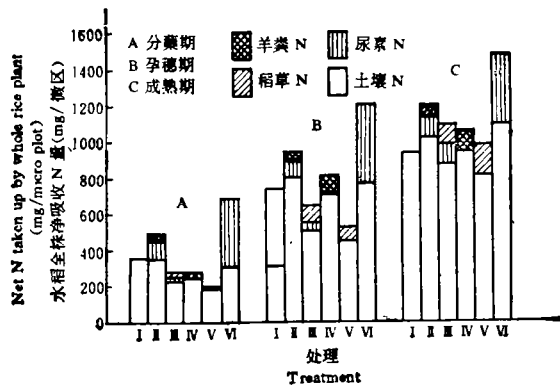


图3 水稻吸N动态

Fig. 3 Dynamics of N taken up by rice plant for different treatments

稻草用量过大,分解过程中产生了较多的有毒物质,严重地抑制了水稻前期的生长,同时也是由于大量稻草分解时使部分土壤矿质态N变为有机态N,致使可给态N量降低,因而水稻对氮素营养的要求得不到满足,以致水稻生长不良。单施羊粪的处理稻谷的氮累积量虽比对照高,但稻谷产量、地上部、全株的干物质量及全株N累积量均与对照无显著差异,说明羊粪矿化释出的N量较少,加以它分解的前期亦消耗了较多的土壤矿质态N量,因而单施羊粪不能满足水稻的N素营养需求。羊粪、稻草分别与尿素配施,既增加了速效N量,又促进了羊粪、稻草的分解,明显地改善了肥料和土壤对水稻的供氮状况,提高了水稻的吸氮量(图3),因而明显地提高了水稻的产量(表2)。处理II和处理III的稻谷产量分别为对照的119.0%和115.6%,全株的N素累积量分别为对照的125.3%和115.5%。但这两个处理的供氮仍不能满足水稻高产的需求。这从处理II和处理III的水稻全株累积N量只相当于单施尿素(处理VI)的81.6%和75.2%,稻谷产量只为81.3%和78.9%可以证实。看来,在低肥力的红壤性稻田上,羊粪或稻草施用量过多,虽然羊粪或稻草N按1:1的比例与尿素N配合作基肥,仍难于达到理想的产量。已有的研究指出,稻草还田在我国南方每亩以100—200kg为宜<sup>[2,3]</sup>。

表2 不同肥料对稻谷产量和N素吸收累积的影响(g/微区)

Table 2 Effects of different fertilizers on rice yield and N accumulation in rice plant (Maturing Stage, 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	49.9	0.570	97.4	0.857	116.6	1.015
II	59.4	0.749	112.4	1.113	134.5	1.272
III	57.7	0.709	104.0	1.013	124.2	1.172
IV	52.4	0.683	93.5	0.966	110.9	1.126
V	40.9	0.608	76.3	0.904	91.5	1.044
VI	73.1	0.866	145.7	1.351	173.1	1.558
L.S.D 0.05	6.9	0.089	13.3	0.149	17.5	0.187
0.01	9.6	0.127	18.5	0.212	24.2	0.266

### (三) 土壤和有机肥的矿化 N 量与稻谷产量的关系

为进一步阐明田间微区试验中土壤和有机肥的矿化 N 量与稻谷产量的关系。进行了淹水密闭培养的辅助试验。各处理不同时期的  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  量列于表 3。在培养 8 周之内,单施稻草的处理矿化 N 量最少,明显低于不施肥的土壤矿化 N 量,可见土壤微生物分解稻草时,还要消耗一部分土壤 N。单施羊粪的处理,二周和三周时的矿质态 N 量也略低于对照土壤的矿质态 N 量;羊粪与尿素配合的处理,在培养第二至四周内的矿质态 N 量均略低于单施尿素与对照两处理矿质态 N 量(之和)的一半。同样表明在羊粪分解的一定时期内,它也将固持小部分土壤 N 或尿素 N。稻草与尿素配合的处理在培养第 1—8 周内的矿质态 N 量,均明显的低于单施尿素及对照处理之和的一半,表明稻草分解时,不但几乎固持全部的土壤矿质态 N,还固持了部分尿素 N。培养试验各处理的结果虽然是在没有水稻吸收的情况下获得的,但与田间微区试验中相应处理的矿质态 N 的生物固持 N 的趋势是相似的(图 2)。

表 3 淹水密闭培养期中的矿质态 N 量 ( $\text{mg NH}_4^+-\text{N}/100\text{g}\pm$ )

Table 3 The amount of N mineralized during sealed anaerobed incubation ( $\text{mg NH}_4^+-\text{N}/100\text{g soil}$ )

处理 Treatment	1 周 1 Week	2 周 2 Weeks	3 周 3 Weeks	4 周 4 Weeks	6 周 6 Weeks	8 周 8 Weeks	10 周 10 Weeks
I	4.0	4.5	4.6	4.1	2.9	2.9	2.2
II	13.9	13.1	13.1	13.1	13.7	14.0	13.9
III	9.0	6.2	6.2	9.3	9.2	9.2	10.2
IV	5.2	3.5	3.7	4.4	5.3	4.0	6.0
V	0.6	0.1	0.2	0.4	0.7	0.9	2.7
VI	23.9	23.3	23.5	22.5	19.3	18.8	14.9

注: 每 10g 土加入 2mg 肥料 N (尿素配成溶液),混匀,加 10ml 蒸馏水,盖橡皮塞,在培养箱中  $30^\circ\text{C}\pm 1^\circ\text{C}$  培养,每处理定期取出 2 个重复测定  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 。

统计分析表明,各处理在 1—8 周内各时期的矿质态 N 量与稻谷产量及其累积 N 量,以及水稻全株干物质重量及其累积 N 量之间均呈极显著或显著相关;培养 10 周时的相关性虽略低,但也达到了显著相关水平。看来,可用培养 2 周的矿化  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  量来预测不同土壤和肥料的供氮性能。

### (四) 不同肥料对土壤 N 的激发效应和残留 N 量

关于肥料 N 和土壤 N 的相互作用, Jenkinson 等<sup>[7]</sup>进行了理论分析。本项研究表明,不同肥料的激发效应有明显的差异,单施稻草 (V) 的负激发量最大;稻草与尿素配施 (III) 时的负激发效应仍很明显(表 4);单施羊粪 (IV) 的负激发效应不明显;羊粪与尿素配施 (II) 时则表现为明显的正激发效应;单施  $^{15}\text{N}$  尿素的正激发量最大,而残留量则最小;净残留 N 量为负值(表 4)。虽然单施尿素的稻谷产量和累积 N 量最高,但并不利于提高土壤 N 素的储量。程励励等<sup>[3]</sup>的结果表明,只有单施稻草时为负激发效应,稻草与尿素或硫酸配合均为正激发效应。这和表 4 中处理 III 的结果不一致,显然这与稻草的施用量不同有关。吴珊眉等<sup>[4]</sup>的试验表明,兔粪尿单施与硫酸单施二者的正激发十分接近;兔粪尿与硫酸 N 各半的处理产生正激发;肥料 N 的净残留量则以单施兔粪尿的处理为最

表 4 不同肥料对土壤 N 储量的影响 (mgN/微区, 1990 年晚稻成熟期)

Table 4 Effects of different fertilizers on Soil-N reserve (Maturing stage, late rice in 1990, mg N/micro plot)

	II	III	IV	V	VI
水稻吸收土壤 N <sup>1)</sup>	1012	874	926	802	1092
激发 N 量	77	-61	-9	-133	157
肥料残留 N 量	374(290+84) <sup>3)</sup>	352(225+127) <sup>3)</sup>	642	540	95
净残留 N 量 <sup>2)</sup>	298	413	651	673	-62

1) 不施肥处理水稻吸收土壤 N 935mg/微区; 2) 为肥料残留 N 减激发 N; 3) 为两个分处理的加权平均值。

大; 硫铵单施的残留量与激发量大体相等; 这和表 4 的结果完全一致。说明有机肥单施或与化学氮肥配施有助于土壤 N 素储量的保持。

#### (五) 不同肥料的 N 素平衡账

水稻收获时不同肥料 N 的去向列于表 5。虽然水稻各器官对稻草 N 的回收率均较羊粪 N 的回收率高, 但单施羊粪处理的稻谷产量却极显著的高于单施稻草的处理; 稻谷累积 N 量占全株累积 N 量的百分率也是前者高于后者。稻草和羊粪分别与尿素配施, 水稻各器官对有机肥 N 的吸收率虽比单施时增加, 但是却降低了对尿素 N 的吸收率, 并提高了化肥 N 在土壤中的残留率。尿素单施, 水稻对其 N 的吸收利用率最高, 但尿素 N 在土壤中的残留率却最低。

表 5 不同施肥处理的 N 素平衡账 (%)

Table 5 Nitrogen balance sheet of different fertilized plots (%)

氮的去向 Fate of N	II			III			IV $^{15}\text{N}$ 羊粪 $^{15}\text{N}$ Goat feces	V $^{15}\text{N}$ 稻草 $^{15}\text{N}$ Rice straw	VI $^{15}\text{N}$ 尿素 $^{15}\text{N}$ Urea	L.S.D.	
	$\frac{1}{2}^{15}\text{N}$ 羊粪 $\frac{1}{2}^{15}\text{N}$ Goat feces	$\frac{1}{2}^{15}\text{N}$ 尿素 $\frac{1}{2}^{15}\text{N}$ Urea	平均 <sup>1)</sup> Mean	$\frac{1}{2}^{15}\text{N}$ 稻草 $\frac{1}{2}^{15}\text{N}$ Rice straw	$\frac{1}{2}^{15}\text{N}$ 尿素 $\frac{1}{2}^{15}\text{N}$ Urea	平均 <sup>1)</sup> Mean				0.05	0.01
稻谷吸收	9.22	12.60	11.09	14.47	13.06	13.85	7.88	9.93	23.06	2.52	3.73
地上部吸收	13.38	17.92	15.98	20.44	18.22	19.46	10.60	14.73	34.78	2.35	3.47
全株吸收	15.15	19.91	17.92	22.79	20.56	21.81	11.97	16.22	38.58	2.76	4.09
土壤残留	63.80	15.22	37.36	43.01	26.55	35.21	63.81	53.99	9.50	6.64	9.66
总回收	78.95	35.14	55.28	65.80	47.11	57.02	75.79	70.21	48.08	6.70	9.97
亏缺	21.05	64.86	44.72	34.20	52.89	42.98	24.21	29.79	51.92	6.70	9.97

1) 为加权平均值。

羊粪无论单施或与尿素配施, 其 N 素在土壤中的残留率及总回收率都是最高的。稻草单施或与尿素配施, 其 N 素在土壤中的残留率及总回收率也较高, 但只分别相当于羊粪单施的 84.6% 和 92.6%, 及配施的 67.4% 和 83.3%。羊粪 N 和稻草 N 的上述差异, 显然与二者中含氮组分的稳定性不同有关。羊粪是饲料经羊消化利用后的残余部分, 其含氮组分的稳定性自当较稻草等植物物质中的含 N 组分高。

有关稻草直接还田时,其N的命运已有较多的报道,何电源等<sup>[5]</sup>在潜育化稻田和非潜育化稻田的试验结果与本试验结果大体相近。程励励等<sup>[3]</sup>的结果由于是在盆栽条件下获得的,因而无论稻草单施或与尿素配施时,其稻草N的损失率均较本试验为少;而利用率和残留率则较本试验结果为高。关于羊粪单施或与化学氮肥配施后氮在土壤中的转化和去向,迄今未见有类似的报道。总的来看,本试验中各种肥料的亏缺都较大,其中有机肥氮的损失之所以较大,当与其在插秧前的发酵分解过程中已有一定量的损失有关。

上述结果说明,羊粪单施或与尿素配施,无论从稻谷的增产量,N素效率;还是肥料N的残留率和总回收率来看,都分别优于稻草单施或与尿素配施。若就稻草喂羊后羊粪尿还田与稻草直接还田的效益进行比较,则羊体已回收饲料稻草N的31.2%<sup>[6]</sup>,加上羊粪还田通过稻谷回收饲料稻草N的2.6%(按羊粪与尿素配施处理结果计算),即羊体加稻谷共回收饲料稻草N的33.7%;这比稻田直接还田通过稻谷回收N14.5%(见表5处理III)高得多。此外,羊对饲料有机C的消化率为66.9%<sup>[6]</sup>(对其中稻草C的消化率约为43%),这为羊的增重提供了碳源和能源。而稻草直接还田时,其中的含碳物质并不能为作物直接利用。可见,与直接还田相比,过腹还田是一条较经济有效的利用方式。

### 参 考 文 献

1. 文启孝, 1989: 我国土壤有机质和有机肥料研究现状。土壤学报,第26卷3期,255—261页。
2. 刘经荣,刘永厚,张德远,郭成志, 1984: 稻草还田对水田土壤肥力和水稻生长的影响。土壤通报,第19卷2期,49—53页。
3. 程励励,文启孝, 1992: 稻草还田对土壤氮素及水稻产量的影响。土壤,第24卷5期,234—238页。
4. 吴珊眉,倪苗娟, 1990: 有机—无机态氮肥在微型农业生态系统中的转移和循环研究。应用生态学报,第1卷1期,67—74页。
5. 何电源,王昌熾,邓世林,王凯荣,朱应远,廖先苓, 1984: 潜育化水稻土中有机物的矿化特性及杂交水稻对氮素的利用特点。农业现代化研究,第5卷2期,39—44页。
6. He, D. Y., Xing, T.X., Zhou, W.J., He, L. H. and Liao, X.L. 1992: Fate and Transformation of Nitrogen from <sup>15</sup>N-labelled Rice Straw After Feeding Goat. *Pedosphere*, 2(2): 161—170.
7. Jenkinson, D. S., R. H. Fox and J.H. Rayner, 1985: Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen—the so-called 'priming' effect. *J. of Soil Sci.* 36(3): 425—444.

## COMPARISON OF N TRANSFORMATION AND ITS EFFECT ON RICE YIELD BETWEEN DIRECT APPLICATION OF $^{15}\text{N}$ -LABELLED RICE STRAW AND APPLICATION OF GOAT FECES AFTER FEEDING GOAT WITH RICE STRAW

Liao Xianling, Zhou Weijun and He Dianyuan

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

### Summary

Microplot experiment was used in a paddy field to study the fate of nitrogen and its effect on rice yield when  $^{15}\text{N}$ -labelled goat feces and rice straw were applied alone or in combination with urea as basic fertilizer. The results showed that  $^{15}\text{N}$  recovery from goat feces by rice grain accounted for 7.9% and 9.2%, respectively, being equivalent to 2.2% and 2.6% of  $^{15}\text{N}$  in the feed-rice straw respectively. By using rice straw to feed goats and returning the goat feces to the field,  $^{15}\text{N}$  recovery by goat body and rice grain was 33.4% and 33.7% respectively, which was higher than  $^{15}\text{N}$  recovery from rice straw by rice grain (9.9% and 14.5% respectively) as rice straw was applied directly to the soils.

**Key words**  $^{15}\text{N}$ -labelled goat feces, Returning rice straw to soil, Nitrogen balance sheet