

稻秆(^{15}N)和尿素(^{15}N)单施或混施时,水稻对标记氮的吸收与 ^{15}N 的去向*

黄志武 卢仁骏 朱义贵** 李敏怀***

(华南农业大学植物营养研究室, 广州, 510642)

摘要 水稻盆栽试验表明, 稻秆或尿素做基肥, 单独施用时稻秆 ^{15}N 的当季利用率(<18.6%)低于尿素, 但有较高的土壤残留(>45.8%); 增加稻秆用量, 水稻对其 ^{15}N 的利用率无显著差异, 增加尿素用量则会显著增加水稻对其 ^{15}N 的吸收。在最高分蘖期, 水稻已吸收了其能利用的尿素氮的大部分和稻秆氮的一半左右。两种肥料混合的 C/N 比为 15 时, 尿素用量增加, 其 ^{15}N 水稻利用率变化不大。添加尿素使稻秆 ^{15}N 的利用率显著增大, 而它的土壤残留率和损失率则有所减少; 随混合肥料用量的增加, 稻秆 ^{15}N 的利用率没有显著的变化, 但其损失率则呈现显著下降的趋势。

关键词 水稻; 尿素; 稻秆; ^{15}N ; 氮的平衡

中图分类号 S141.4; S143.4

稻秆回田是培肥土壤的重要措施。但稻秆具有较高的碳氮比值, 分解时会影响作物吸收氮素, 进而影响作物的产量(刘经荣等, 1984; 黄东迈等, 1983; 程励励等, 1992; Huang et al, 1989; Norman et al, 1990), 这是实施稻秆回田时需注意的问题。

近期一些研究结果表明(吴敬民等, 1991; 黄志武, 1993), 稻秆与化学氮肥混合施用时, 肥料氮素的去向及其对作物的有效性, 与混合肥料的碳氮比有关。碳氮比合理时, 它们的混合不会对水稻的产量造成不利的影响。可见研究稻秆单施氮养分的分解及释放特性, 并在此基础上研究其与化学氮肥配合施用的合理碳氮比, 研究肥料单施或在一定 C/N 比下混施时氮素的去向, 对增加稻秆养分释放规律的认识, 并为稻秆回田提供理论依据是有现实意义的。

1 材料与方法

水稻盆栽试验于 1991 年晚季在华南农业大学土化系网室内进行。

1.1 供试土壤

赤红壤坡积物发育的水稻土, 中壤, 取自广州市石牌地区稻田的 0~15 cm 耕层。pH6.2, 有机质 1.0%, 全氮 0.055%, 全磷(P) 0.054%, 全钾(K) 0.450%, 有效氮, 磷(P_2O_5)和钾(K_2O)分别这 48.8, 66.8 和 31.0 mg/kg。

1.2 供试肥料

1993-12-22 收稿, 1994-12-28 收到修改稿

* 广东省科委科学基金资助项目;

** 现在广东省高明县复合肥厂工作; *** 现在广东省清远市农业局工作

非标记肥料: 尿素 (N 46%), 氯化钾 (K₂O 60%), 过磷酸钙 (P₂O₅ 12.6%), 稻秆 (含 N 1.17%, 含 C 50.1%)

标记 ¹⁵N 肥料: 尿素 (N 46%, ¹⁵N 原子百分超 5.13%), 稻秆 (含 N 0.678%, 含 C 42.8%; ¹⁵N 原子百分超 3.92%)。

1.3 试验设计与实施

1.3.1 处理 见表 1。

表 1 处理方案设计

序 号	处 理 ⁽¹⁾	第 盆 肥 料 施 用
1	0	不施氮肥和稻秆
2	¹⁵ N 稻秆 N 95 mg/盆 单施	¹⁵ N 稻秆 14 g
3	¹⁵ N 稻秆 N 95 mg/盆 混施	¹⁵ N 稻秆 14 g + 非 ¹⁵ N 尿素 N 300 mg
4	¹⁵ N 稻秆 N 217 mg/盆 单施	¹⁵ N 稻秆 32 g
5	¹⁵ N 稻秆 N 217 mg/盆 混施	¹⁵ N 稻秆 32 g + 非 ¹⁵ N 尿素 N 700 mg
6	¹⁵ N 尿素 N 300 mg/盆 单施	¹⁵ N 尿素 N 300 mg
7	¹⁵ N 尿素 N 300 mg/盆 混施	¹⁵ N 尿素 N 300 mg + 非 ¹⁵ N 稻秆 14
8	¹⁵ N 尿素 N 700 mg/盆 单施	¹⁵ N 尿素 N 700 mg
9	¹⁵ N 尿素 N 700 mg/盆 混施	¹⁵ N 尿素 N 700 mg + 非 ¹⁵ N 稻秆 32 g

(1) 所有混施处理, 肥料混合后的 C/N 比均为 15。

1.3.2 重复, 排列 重复 7 次, 随机排列。

1.3.3 试验实施 每一塑料小桶装土 2 kg, 即按每公斤土施用过磷酸钙 1.0 g 和氯化钾 0.5 g, 再按试验设计添加稻秆和尿素, 充分混匀。施肥后, 淹水 14 d。其后移植水稻 (品种: 汕优 45, 秧龄 24 d), 每盆 2 穴, 每穴 3 株。水稻最高分蘖期和齐穗期各收获 2 个重复。其余 3 个重复在成熟期收获, 都采集植株和土壤样本。植株样本 (收获时则为稻秆和谷粒两部分) 经烘干后称重。

分析土壤和水稻样本的全 N 和 ¹⁵N (Christianson et al, 1991; Cheng et al, 1966)。

2 结果与讨论

2.1 水稻不同生育期对肥料 ¹⁵N 的吸收

从表 2 数据可以看出, 在最高分蘖期, 单施尿素处理水稻吸收的 ¹⁵N 占整个生长期 ¹⁵N 被吸收总量的比例 (LNR, 即 Labeled - N ratio, 下同) 为 90%; 单施稻秆, 水稻此时吸收的 ¹⁵N 则为其全生长期吸收的 50% 左右, 显然是由于稻秆碳氮比值较高 (王维敏, 1986), 不易分解, 其养分需要逐步分解释放之故。至齐穗期, 包括稻秆单施在内的各施肥处理 LNR 均达 90%。成熟时, 约 70% 被吸收的 ¹⁵N 分布在谷粒中。

两种肥料混施 (C/N 比值 15), 在水稻的全生育期, 1. 添加尿素都有增加稻秆的 ¹⁵N 被水稻吸收和 LNR 的趋势, 肥料用量高的处理增幅更大, 这明显的与添加氮素营养调节了微生物的活性 (Alexander, 1976), 从而促进稻秆的分解有关; 2. 添加稻秆则会降低尿素 ¹⁵N 被水稻的吸收, 肥料用量大的减幅更高, 但试验中稻秆仅在肥料低用量时才会降低尿

表 2 水稻地上部不同生育期对尿素, 稻秆 ¹⁵N 的吸收⁽¹⁾

处 理	最高分蘖期		齐穗期		成熟期			
					稻 秆		谷 粒	
	mg/盆	%	mg/盆	%	mg/盆	%	mg/盆	%
¹⁵ N 稻秆 N 单施	9.4	9.9	16.6	17.5	4.5	4.8e ^f	13.1	13.8 ^e
95 mg/盆 混施	14.7	15.5	22.3	23.5	5.6	5.9 ^{de}	18.1	19.1 ^d
¹⁵ N 稻秆 N 单施	16.4	7.5	29.0	13.2	9.7	4.4 ^f	23.2	10.6 ^f
217 mg/盆 混施	40.7	18.6	59.6	27.2	14.4	6.6 ^d	48.6	22.2 ^d
¹⁵ N 尿素 N 单施	160.8	53.6	163.8	54.6	42.9	14.3 ^e	123.8	41.3 ^b
300 mg/盆 混施	114.9	38.3	125.1	41.7	39.4	13.1 ^e	97.4	32.5 ^e
¹⁵ N 尿素 N 单施	408.4	58.3	473.4	67.6	141.4	20.2 ^a	321.4	45.9 ^a
700 mg/盆 混施	280.4	40.1	329.9	47.1	104.2	14.9 ^b	209.4	29.9 ^e

(1)表2和表3中,最高分蘖期次2次重复,成熟期为3次重复平均数;%为吸收或残留的¹⁵N占施用¹⁵N总量的百分率,右上角字母为邓肯氏多重比较(P=0.05),纵行有字母相同的表示差异不显著。

素的 LNR,这有可能归因于该混施处理有较高的稻秆相对用量。

2.2 肥料 N 在土壤中的残留状况

表 3 数据表明,单施稻秆或尿素做基肥,植稻一季后,尿素 ¹⁵N 在土壤中的残留较低(<13.2%),而稻秆在土壤中有较高的 ¹⁵N 残留率(>45.8%),这可能与稻秆氮素较难释放而导致水稻吸收比率较少(表 4)有关。稻秆用量高的处理有更大的稻秆 ¹⁵N 残留比例,但增加尿素用量并没有显著增加尿素 ¹⁵N 在土壤中的残留。除此以外,这两者均在最高分蘖期有最大的 ¹⁵N 残留比例。可见,供试土壤对稻秆或尿素作基肥时的¹⁵N 表观固定作用在水稻的生长前期已达到高峰,在生长中后期因吸收或损失等因素则有所削弱。

表 3 标记 ¹⁵N 稻秆和尿素 N 在土壤中的残留状况

处 理	最高分蘖期		齐 穗 期		成 熟 期	
	mg/盆	%	mg/盆	%	mg/盆	%
¹⁵ N 稻秆 N 单施	52.2	55.0	50.6	53.3	43.5	45.8 ^b
95 mg/盆 混施	49.3	51.9	40.2	42.4	41.8	44.0 ^b
¹⁵ N 稻秆 N 单施	152.3	69.5	139.9	63.9	137.3	62.7 ^a
217 mg/盆 混施	160.6	73.3	110.7	50.5	112.7	51.4 ^b
¹⁵ N 尿素 N 单施	44.3	14.8	40.6	13.5	39.7	13.2 ^d
300 mg/盆 混施	82.6	27.5	73.1	24.4	64.3	21.4 ^c
¹⁵ N 尿素 N 单施	169.0	24.1	81.5	11.6	83.3	11.9 ^d
700 mg/盆 混施	260.8	37.3	162.0	23.1	153.4	21.9 ^c

调节 C/N 比值至 15 混合施用肥料,添加稻秆在整个水稻生长期间都引起尿素 N 在土壤中的残留增加,肥料用量高的处理增幅亦高。可以认为,这和稻秆在淹水土壤中分解,对肥料和土壤产生的影响有关(李庆远,1992;吴敬民等,1991; Lynch et al, 1985; Yoshida et al, 1975),从而有可能使尿素的氮效率下降。与此同时,稻秆 ¹⁵N 的土壤残留则有因尿素的添

表4 标记稻秆, 尿素单施或混施植稻¹⁵N的平衡账⁽¹⁾

处 理	水 稻 吸 收		土 壤 残 留		损 失	
	mg/盆	%	mg/盆	%	mg/盆	%
¹⁵ N 稻秆 N 单施	17.7	18.6 ^c	43.5	45.8 ^b	33.8	35.6 ^a
95 mg/盆 混施	23.7	25.0 ^d	41.8	44.0 ^b	29.4	30.9 ^b
¹⁵ N 稻秆 N 单施	32.9	15.0 ^c	137.3	62.7 ^a	48.8	22.3 ^c
217 mg/盆 混施	63.0	28.8 ^d	112.7	51.4 ^b	43.4	19.8 ^c
¹⁵ N 尿素 N 单施	166.7	55.6 ^b	39.7	13.2 ^d	89.5	29.8 ^b
300 mg/盆 混施	136.8	45.6 ^c	64.3	21.4 ^c	94.7	31.6 ^b
¹⁵ N 尿素 N 单施	462.8	66.1 ^a	83.3	11.9 ^d	144.0	20.6 ^c
700 mg/盆 混施	313.6	44.8 ^c	153.4	21.9 ^c	223.1	31.9 ^b

(1) % 为该项目¹⁵N中施用¹⁵N总量的百分率, 右上角字母为邓肯氏多重比较($P=0.05$), 纵行有相同字母的表示差异不显著。

加而减少的趋势, 肥料用量高的处理稻秆氮的残留在齐穗期后减少越甚。这一现象说明, 除了和稻秆养分分解释放的特性有关外, 添加尿素促进了与其混合的稻秆的分解和氮素的释放, 以及水稻吸收的增加(表1), 从而引起其氮素在土壤残留的减少, 这有可能提高稻秆的氮效率。

2.3 稻秆、尿素单施或混施植稻¹⁵N的去向

从表4可以看出: (1) 稻秆单施做基肥, 低用量时¹⁵N利用率为18.6%, 施用量增加差异不明显, 但有下降的趋势; 低用量时土壤残留率为45.8%, 施用量增加残留率明显增高; 损失百分数, 低用量时达35.6%, 施用量增加则损失率显著减少; (2) 尿素单施做基肥, 低用量时利用率达55.6%, 显著地高于稻秆; 残留率只有13.2%, 明显地比稻秆低, 损失率29.8%, 也少于稻秆(低用量)。增加尿素用量, 尿素¹⁵N土壤残留率无显著差别, 但水稻的吸收显著增加, 而其¹⁵N损失率则明显下降。

稻秆与尿素混合施用后, (1) 添加尿素, 无论在试验的低用量或高用量的条件下, 都显著地增加了稻秆¹⁵N被水稻吸收的量, 高施用量时增幅更大, 几达1倍; 稻秆¹⁵N残留土中的量, 低施用量时无显著变化; 高施用量时则比单施稻秆的显著减少; 稻秆¹⁵N的损失量在低用量时, 显著减少, 而高用量时的减少不显著。说明按C/N比值15向稻秆配施尿素, 既可显著提高稻秆的氮效率, 也不会增大氮的损失, 该C/N比指标是恰当的。(2) 添加稻秆, 无论在用量高或低的处理均显著地降低水稻对尿素¹⁵N的利用率, 高用量时尤甚; 同时也显著地增加了尿素¹⁵N在土壤中的残留率, 尿素¹⁵N的损失率则有所增加, 但仅在肥料高用量时有显著差异。说明按C/N比值15向尿素配施稻秆, 既会降低尿素氮被当季水稻的利用, 也增大其损失(高用量时)。可见若仅考虑尿素氮平衡帐, 该C/N指标是不恰当的, 必须进一步研究予以解决。

表4数据还表明, 稻秆与尿素混合做基肥, 若混合肥料的C/N比值不变, 则其中稻秆¹⁵N或尿素¹⁵N的利用率, 在本试验中没有因肥料施用量的增加而有明显的差异。可见, 在一定用量范围内, C/N比是影响肥料利用率的主要因素。而稻秆¹⁵N的损失率则因肥料施用量的增加而显著下降。

参 考 文 献

- 王维敏. 1986. 麦秸、氮肥与土壤混合培养时氮素的固定、矿化与麦秸的分解. 土壤学报, 23(2): 97~105
- 刘经荣, 刘永厚, 张德远, 等. 1984. 稻草还田对水田土壤肥力和水稻生长的影响. 土壤通报, 15(2): 49~53
- 李庆逵主编. 1992. 中国水稻土. 北京: 科技出版社, 235~237
- 吴敬民, 许民元, 董百舒, 等. 1991. 秸秆还田效果及其在土壤培肥中的地位. 土壤通报, 22(5): 211~215
- 黄东迈, 高家骅, 朱培立, 等. 1983. 水稻对有机、无机态肥料氮和土壤氮的吸收利用探讨. 土壤学报, 20(1): 1~10
- 黄志武. 1993. 秸秆与标记¹⁵N硫酸铵配合施用对硫酸铵氮素有效性和水稻生产的影响. 土壤学报, 30(2): 224~228
- 程励励, 文启孝, 李 洪, 等. 1992. 稻草还田对土壤氮素和水稻产量的影响. 土壤, 24(5): 234~238
- Alexander M. 1976. Introduction to soil microbiology. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons Inc press, 136~137
- Christianson C B. 1991. Use of a peroxide digestion procedure for the determination of the ¹⁵N content of plant tissue. Communications in Soil Sci and Plant Analysis, 22: 3~4, 299~303
- Cheng H H, Bremner J M. 1966. Denitrification and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soil: 2, A simplified procedure for isotope-ratio analysis of soil nitrogen. Soil Sci Soc Amer Proc, 30: 450~452
- Huang Z W, Broadbent F E. 1989. The influence of organic residues on utilization of urea ¹⁵N by rice. Fertilizer Research, 18: 213~220
- Lynch J M, Harper S H T. 1985. The microbial upgrading of straw for agricultural use. Philosophical transaction of the Royal Society of London Ser B, 310: 221~226
- Norman R J. 1990. Mineralization of nitrogen-15 labeled residues and utilization by rice. Soil Sci Soc Am J, 54: 1351~1356
- Yoshida T, Pardre B C Jr. 1975. Effect of fertilizer nitrogen in a Philippine soil. Soil Sci Plant Nutr, 21: 281~292

^{15}N ABSORPTION BY RICE AND NITROGEN BALANCE SHEET WHEN SINGLY OR MIXEDLY APPLYING RICE STRAW(^{15}N)AND UREA(^{15}N)

Huang Zhiwu Lu Renjum Zhu Yigui Li Minhuai

(Lab. of Plant Nutrition, South China Agr. Univ., Guangzhou, 510642)

Abstract

A rice pot experiment showed when ^{15}N -labeled rice straw or urea was singly applied before seedlings transporting, 1. lower ^{15}N utilization efficiency (NUE, <18.6%) but higher ^{15}N residual effect in soil (>45.8%) of applied rice straw than those of corresponding values for urea were observed; 2. the increase of rice straw did not significantly change its own ^{15}N uptake by rice, but contrary result was obtained by increasing urea application; 3. before maximum tillering stage, most of the urea ^{15}N and about half of the rice straw ^{15}N it could utilize would already have been absorbed by the rice plant. When both fertilizers were mixed and basely applied in a C/N ratio 15, the NUE of urea did not change much with the increase of urea application while maintaining the fixed C/N ratio; added urea enabled more absorption of rice straw ^{15}N by rice, but less remained in soil or was lost. Increase of mixed fertilizer did not change the rice straw NUE much, but ^{15}N loss tend to be lower.

Key words rice; urea; rice straw; nitrogen balance sheet ^{15}N