

有机、无机态氮肥及施用方法对 水稻吸收土壤氮素的影响^{*}

黄志武

(土化系)

摘要 两年盆栽试验的结果表明, 1. 在淹水土壤中施用硝酸钾和尿素(1986), 均有促进水稻吸收土壤氮素的作用, 分别比不施肥的对照增加 3.4%~12.7% 和 13.0%~28.9%, 尿素的效果优于硝酸钾。这两者深施或混施的促进作用均对应优于其表面匀施。2. 施用尿素和豆科绿肥箭舌豌豆(1987)后, 水稻吸收的土壤氮素, 随生育期的进展而不断增加。从六叶期到完全成熟期, 水稻吸收的土壤氮占其吸收全氮的百分数, 施用尿素的从 21.9 增至 31.0, 施用箭舌豌豆的从 26.4 增至 40.8。3. 在整个生育期, 施用尿素和箭舌豌豆的水稻吸收土壤氮素的绝对量, 均高于不施肥的对照。箭舌豌豆促进水稻增加吸收土壤氮素的作用优于尿素。4. 淹水植稻, 不论有否施用化学氮肥或施用何种形态的氮, 都会发生土壤原始氮素的损失; 但合理施用有机肥料有利于土壤原始氮素的维持, 以及土壤的培肥。

关键词 水稻; 箭舌豌豆; 土壤氮素; 尿素; ^{15}N ; 水稻营养

合理施用化学氮肥或有机肥料, 由于能促进作物生长, 强壮根系, 以及增强根吸收养分的能力, 会使作物吸收更多的土壤氮素^[3,9]。

两年的盆栽试验, 对水稻分别施用了标记 ^{15}N 的尿素、硝酸钾, 以及豆科绿肥箭舌豌豆(Vetch)的秸秆。研究在淹水土壤中, 施用化学氮肥和有机肥料促进水稻吸收土壤氮素的作用, 并对化学氮肥的形态及不同施用方法的结果进行了比较。也研究了淹水植稻过程中土壤原始氮素的变化以及施用化学氮肥和豆科绿肥与土壤氮素平衡的关系。

1 材料和方法

水稻盆栽试验于 1986、1987 年在美国加利福尼亚大学戴维斯校进行。

1.1 土壤

供试土壤(粘土)都取自美国加利福尼亚州, 为 0~15 cm 的耕层土壤。1986 年的样本来自迈耶斯(Myers), pH6.6, 全氮 0.103%; 次年的地点为萨克拉曼多(Sacramento), pH7.7, 全氮 0.140%。

1.2 盆栽试验

1.2.1 1986 年 白塑料盆每盆装土 5 kg, 按试验方案分别施用标记 ^{15}N 的尿素和硝酸

* 本文合作导师为美国加利福尼亚大学戴维斯校 F. E. Broadbent 博士。

1989-09-20 收稿

钾 (^{15}N 原子百分超分别为 4.35% 和 4.43%) 肥料溶液, 用量都为 300 mgN/盆。

氮肥不同施用方法的处理为: (1) 对照 (不施肥); (2) 表面匀施; (3) 分期表面匀施; (4) 深施; (5) 混施 (均匀混合土壤)。每处理重复 4 次。

处理 (3) 的肥料, 分别于插秧前及幼穗分化期, 取用量一半表面匀施; 其余处理的肥料, 于插秧前一次施用完毕。深施的氮肥溶液, 施于土表下 5 cm。

肥料施用后马上灌水, 插植秧苗 (品种 M201), 秧龄 30 d, 每盆 3 穴, 每穴 3 株。

水稻生育期从 7 月 16 日到 11 月 10 日, 生长期盆内保持 5 cm 水层。

1.2.2 1987 年 白塑料盆每盆装土 3 kg。试验设 3 个处理: (1) 对照, 不施肥; (2) 尿素深施, 每盆施氮 600 mg; (3) 混施土重 1% 标记 ^{15}N 的箭舌豌豆秸秆 (本文中简称箭秸), 每盆实施氮 1260 mg。试验每处理重复 9 次。

试验用尿素的 ^{15}N 原子百分超为 8.9%。箭秸材料 (含全氮 4.2%) 的为 7.5%, 于 1986 年秋盆栽箭舌豌豆, 施用标记 ^{15}N 的硫酸铵, 以获得标记 ^{15}N 的箭秸材料供该试验使用。

施用有机肥料后, 所有处理土壤维持湿润状况 10 d 后才淹水, 直播稻种, 品种 M201。秧苗长出芽 4 片叶后定苗, 每盆苗数从 11 间至 7。

水稻生育期从 4 月 15 日至 8 月 24 日。生长期保持 4 cm 水层。

1.2.3 样本的收获和分析 水稻植株样本, 分稻秆和稻穗两部分收集。收集后, 样本分别烘干、称重。水稻收割后, 土壤一旦风干, 用取土钻收集全层土壤样本。

1986 年, 仅在水稻成熟后收集植株及土壤样本。1987 年, 分别在六叶期 (I), 幼穗分化期 (II) 和完全成熟期 (III) 收集植株和土壤样本各 1 次, 每次 3 个重复。

植物和土壤样本分别测定全氮和 ^{15}N [6]。

2 结果和讨论

2.1 无机氮肥及施用方法对水稻利用土壤氮素的影响

表 2 数据表明, 1986 年施用硝酸钾和尿素后, 水稻吸收的土壤氮素量比不施氮肥的对照分别增加 (%) 3.4~12.7 和 13.0~28.9。施用尿素促进水稻吸收土壤氮素的作用显著地高于施用硝酸钾, 特别是高于硝酸钾表面匀施时取得的结果。

表 1 数据表明, 尿素氮被水稻利用的百分率, 除表面匀施处理的较低 (21.0), 低于硝酸钾分期匀施处理的结果 (29.2) 以外, 其余几种方法的结果均在 35.0 以上, 都显著地高于硝酸钾所有处理的肥料氮被水稻利用的百分率。可见, 当以等氮量施用硝酸钾和尿素时, 水稻吸收利用的尿素氮较多。当较多的有效氮素 (尿素) 供给水稻时, 水稻一般会生长良好并且有较强壮的根系, 增强水稻对土壤氮素的吸收能力 [3]。

表1 淹水土壤中, 水稻对肥料氮素的利用

		施用量	水稻吸收量		损 失
		mg/盆	mg/盆	%	%
1986					
硝 酸 钾	表面匀施	300.0	12.6 ^f	4.2	63.2 ^a
	分期匀施	300.0	87.5 ^d	29.2	45.9 ^c
	深 施	300.0	3.5 ^a	1.2	94.9 ^a
	混 施	300.0	3.5 ^a	1.2	95.4 ^a
尿 素	表面匀施	300.0	63.0 ^a	21.0	41.1 ^c
	分期匀施	300.0	107.8 ^c	35.9	30.3 ^d
	深 施	300.0	150.9 ^a	50.3	13.5 ^a
	混 施	300.0	130.9 ^b	43.6	12.5 ^a
1987					
箭舌豌豆		1270.0	230.1	18.1	11.7
尿 素		600.0	140.6	23.4	18.7

百分数值经反正弦转换后才进行统计检验。

1986年数据中, 同一直行中, 右上角具有相同字母的数值差异不显著, 邓肯氏检验, $P=0.05$ 。

2.1.1 硝酸钾 表2的数据还表明, 硝酸钾表面匀施后, 水稻吸收的土壤氮量比对照的增加不大, 增加的百分率仅为3.0~4.0; 但其深施或混施的结果则显著地高于不施肥的对照, 增加的百分率分别为9.9和12.7。

已经知道, 淹水土壤中发生的反硝化作用^[1,6,7]会引起施用的硝态氮的严重损失, 本试验的结果也是一样。由于硝酸钾深施与混施后, 氮损失分别为施用量的94.9%和95.4%(表1), 这样, 水稻生长和发育所需氮营养只能大部分来源于土壤(>98.5%, 表2); 表面一次匀施的结果(94.6%)也是如此。就硝酸钾不同施用方法而言(表1), 肥料氮损失越多, 水稻吸收的肥料氮越少, 对土壤氮的依赖程度(水稻吸收土壤氮量, 表2)就越大。

如上所述, 在淹水土壤中施用硝态氮肥, 不论施用方法如何, 大部分肥料氮都因反硝化作用而损失, 但它们的施用仍有使水稻增加吸收土壤氮素的作用。

2.1.2 尿素 在淹水土壤中施用尿素(表2), 无论是表面匀施、深施或是全层混施, 水稻吸收土壤氮素的总量, 均显著地高于不施肥的对照(混施的为最高, 深施的次之); 而且还分别显著地高于上述4种方法施用硝酸钾的结果。但是, 施用尿素的水稻, 吸收的土壤原始氮量平均仅为其氮吸收总量的69.8%(63.0%~79.5%), 这些百分值比硝酸钾各处理的要低。

表 2 淹水土壤中,施用无机氮肥对土壤氮素平衡的影响(1986)

施用方法	原始总量 mg/盆	水稻吸收量**		残留量** mg/盆	回收总量** mg/盆	损失量** mg/盆	肥料氮残留量 mg/盆	植稻后总量 mg/盆	植稻后盈亏 mg/盆
		mg/盆(%)	增加百分值						
	5 150. 0	211. 6*(100. 0*)	—	4 875. 0	5 086. 6*	63. 4*	—	5 086. 6*	-63. 4'
				对 照					
				硝 酸 钾					
表面匀施	5 150. 0	220. 0*(94. 6*)	4. 0*	4 458. 5	4 678. 5*	471. 5*	97. 8*	4 556. 3*	-593. 7*
分期匀施	5 150. 0	218. 7*(71. 4*)	3. 4*	4 540. 7	4 759. 4*	390. 6*	74. 7*	4 615. 4*	-534. 6*
深 施	5 150. 0	232. 5*(98. 6*)	9. 9**	4 755. 3	4 987. 8**	162. 2*	11. 7*	4 767. 0**	-383. 0**
混 施	5 150. 0	238. 5*(98. 5*)	12. 7**	4 727. 1	4 965. 6**	184. 4**	10. 2*	4 737. 3**	-412. 7*
				尿 素					
表面匀施	5 150. 0	244. 9*(79. 5*)	15. 7**	4 739. 3	4 984. 2**	165. 8*	113. 7**	4 853. 0**	-297. 0*
分期匀施	5 150. 0	239. 0*(68. 9*)	13. 0**	4 704. 8	4 943. 8**	206. 2*	101. 4*	4 806. 2**	-343. 8**
深 施	5 150. 0	257. 1*(63. 0*)	21. 5**	4 853. 9	5 111. 0*	39. 0*	105. 6*	4 959. 5*	-190. 5*
混 施	5 150. 0	272. 8*(67. 6*)	28. 9*	4 874. 7	5 147. 5*	2. 5*	131. 7*	5 006. 4*	-143. 6*

* 表 2 和表 3 中,括号内的数值为水稻吸收土壤氮素占其吸收氮素总量(土壤+肥料)的百分数。百分数值经反正弦转换后才进行统计检验。用一直行中,右上角具有相同字母(或没有字母)的数值间差异不显著,邓肯氏检验, $P=0.05$ 。

** 与土壤原始氮素有关的参数。

就水稻吸收土壤氮素比对照增加的百分率而言, 混施与深施处理的分别为 28.9 与 21.5, 都高于其表面匀施或分期匀施的结果, 即 15.7 或 21.5 (表 2)。当尿素混施或深施时 (表 1), 肥料氮的损失仅在 13.5% 以下, 比尿素表面匀施或分期匀施的结果 41.4% 或 30.3% 要少; 而前两者水稻吸收的肥料氮分别为施用氮量的 43.6% 或 50.3%, 显著高于其表面匀施或分期匀施的 21.0% 或 35.9%。综上所述可知, 用不同的方法施用尿素, 当处理的肥料氮损失越少, 水稻吸收的肥料氮越多时 (如混施或深施处理), 水稻吸收的土壤原始氮量增加的百分率就越大。

可见, 施用硝酸钾和尿素, 均有使水稻增加吸收土壤原始氮素的作用; 两者深施或混施的作用均分别优于其表面匀施。尿素由于对水稻的生长和发育贡献更大, 从而比硝酸钾的效果更强, 更有效地刺激水稻吸收和利用土壤的原始氮素营养。

2.2 施用有机肥料对水稻利用土壤氮素的影响

施用标记 ^{15}N 的箭秸后 (表 3), 水稻收获物中来源于土壤的氮素, 随生育期的进展而不断增加, 从六叶期的 26.4% 增至完全成熟期的 40.8%, 这与黄东迈等^[3]的结果是一致的。此时, 深施尿素 (600 ppm N) 的水稻收获物中来源于土壤的氮素, 从六叶期的 21.9% 增至完全成熟期的 31.0%, 都相对地少于施用箭秸的同期所得。

就水稻对土壤氮素的绝对吸收量而言, (1) 混施箭秸的处理比不施肥的对照, 从六叶期的增长 1 倍多到完全成熟期的近 4 倍; (2) 而施用尿素的处理比不施肥的对照, 在六叶期仅增加 0.4%, 而在整个生育期的增加都不超过 1 倍。上述结果表明施用箭秸和尿素都有不断增加水稻吸收土壤氮素的作用, 但两者的作用结果间存在较大的差异。

箭秸处理的实际施氮量为尿素的 2 倍 (表 1), 水稻从箭秸吸收的氮量尽管高于尿素, 但不到 1 倍。综上所述可以推知, 箭秸增加水稻吸收土壤氮素的作用优于尿素。

因此, 在淹水土壤中, 合理施用豆科绿肥箭秸, 有可能满足水稻生长发育需要的氮营养; 特别是它比化学氮肥更能促进土壤微生物的活动, 促进土壤有机质的分解, 释放更多的有效氮为作物吸收和利用^[2]。

2.3 淹水土壤植稻, 施用化学氮肥与土壤氮素平衡的关系

2.3.1 土壤原始氮素 表 2 和表 3 中, 对照处理土壤氮素的原始总量都大于其回收总量, 差值 (mg/盆) 分别为 63.4 (1986) 和 419.5 (1987), 为其对应土壤氮素原始总量的 1.2% 和 10.0%。这说明, 在淹水土壤不施肥植稻, 土壤原始氮素会产生不同程度的损失。

1986 年试验两种化学氮肥的所有处理, 土壤原始氮素的回收总量都低于其原始总量 (5150mg/盆), 低幅为 0.1%~9.2% (表 2), 以硝酸钾表面匀施两个处理的结果为最低。研究结果表明施用化学氮肥植稻亦会出现土壤原始氮素损失的现象^[4,5]。1987 年的数据 (表 3) 亦显示了同样的结果。可见, 在淹水植稻过程中, 不论有否施用化学氮肥或施用何种形态的化学氮肥, 都会发生土壤原始氮素的损失。

在淹水植稻过程中, 与土壤原始氮素的变化有关的因素是, 土壤有机质的分解、其有效氮的释放、维持和作物的吸收。表 2 数据表明, 施用氮肥后, 水稻吸收土壤氮素越多的处理, 植稻后土壤氮素的残留及回收总量就越大, 相应的土壤原始氮素的损失就越少。施用化学氮肥, 通过影响水稻对土壤原始氮素的吸收和维持, 从而影响土壤氮素的平衡。

表 3 淹水稻稻,施用豆科绿肥箭舌豌豆对土壤氮素平衡的影响(1987)

处 理	原始总量 mg/盆	水 稻 吸 收...					残 留 量...			
		mg/盆(%)					mg/盆			
		I	II	III	IV	V	I	II	III	IV
对 照	4 200.0	23.0(100.0)	32.7(100.0)	33.5(100.0)	—	—	4 014.0	3 929.4	3 947.0	
箭舌豌豆	4 200.0	52.4(26.4)	80.7(28.8)	158.8(40.8)	127.8	146.8	374.0	4 074.1	4 215.3	4 118.1
尿 素	4 200.0	23.1(21.9)	43.8(22.9)	63.2(31.0)	0.4	33.9	88.7	3 957.1	4 058.7	3 742.3
回收总量...		肥料氮残留量					植稻后总量			
		mg/盆					mg/盆			
I	I	II	III	IV	V	I	I	II	III	IV
对 照	4 037.0	3 962.1	3 980.5	—	—	4 037.0	3 962.1	3 980.5	—163.0	—237.9
箭舌豌豆	4 126.5	4 296.0	4 276.9	1 049.5	952.9	891.4	5 176.0	5 248.9	5 168.3	968.3
尿 素	3 980.2	4 102.5	3 805.5	489.4	339.8	347.2	4 469.6	4 442.3	4 152.7	269.6

* 见表 2 注释。
** I、II、III 分别表示水稻的生育期,即六叶期,幼穗分化期及完全成熟期。
土壤氮素原始总量与回收总量之差为植稻后土壤原始氮素损失量,在表未具体列出。
*** 与土壤原始氮素有关的参数。

2.3.2 土壤氮素植稻后总量 试验土壤氮素植稻后总量为该土壤的和所用肥料的残留氮量的总和。土壤氮素经植稻后的盈或亏,可以从植稻前后土壤氮素总量的差异算出。

在淹水土壤中(表2),两种化学氮肥处理的土壤氮素植稻后总量都比植稻前的要少。这说明,不论是施用硝酸钾还是尿素,植稻后残留在土壤的化肥氮量不足以弥补土壤原始氮素被取走的量(水稻吸收+损失),从而产生土壤氮素的亏损。

表2的数据还表明,植稻后,硝酸钾处理土壤氮素的亏损为土壤氮素原始总量的7.4%~11.5%,均大于尿素处理的数值(2.8%~6.7%)。而且,表面匀施硝酸钾和尿素处理土壤氮素的亏损都相应大于该种肥料深施或混施处理的结果。这些现象表明,化学氮肥的形态和施用方法直接影响氮素在土壤中的平衡。

2.4 施用豆科绿肥对土壤氮素平衡的影响

施用豆科绿肥对土壤氮素平衡的影响与施用化学氮肥的有不同。用表3数据比较施用箭秸处理土壤氮素的原始总量和回收总量以阐述施用豆科绿肥箭秸后土壤原始氮素的平衡状况,没有发现它在植稻后有明显的损失,这与黄东迈等人研究施肥对土壤氮损失影响的结果是一致的^[4]。施用箭秸处理土壤原始氮素的回收总量亦高于施用尿素的处理,可能的原因是,已表现出的箭秸处理水稻较强的吸收土壤氮素的能力;以及秸秆材料对土壤有效氮的固定^[5],减少了土壤有效氮损失的机会。从而表现出植稻后较高的土壤原始氮素的残留量,数值为原始总量的98.1%。可见,合理地施用豆科绿肥植稻会有利于土壤原始氮素的维持,有利于水稻利用土壤氮素及维护土壤氮的肥力水平。

就土壤氮素的植稻后总量而言,表3的结果还说明,施用箭秸处理在水稻生长期间的所有数值都高于植稻前土壤氮素的原始总量。这说明,施用箭秸能使土壤氮素在植稻过程中一直保持盈余(但施用尿素处理的土壤氮素在水稻完全成熟期仍出现亏损)。结果表明,施用豆科绿肥还可以补充或增加土壤以有机质或有机态氮,使土壤氮素出现盈余,表现出有培肥土壤的作用。就提高土壤肥力的结果而言,本试验施用绿肥的结果与蔡大同等人^[5]的结论是一致的。

综合上述化学氮肥与豆科绿肥的施用与土壤氮素平衡关系的结果,说明只施用化学氮肥有使土壤氮素减少的趋向,增施有机肥料能补偿或增加土壤的有机质和氮素,达到维护或提高土壤肥力的目的。

参 考 文 献

- 1 陈荣业,朱兆良.氮肥去向的研究 I.稻田土壤中氮肥的去向.土壤学报,1982,19(2):122~129
- 2 莫淑勤,钱菊芳.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,1983,20(1):12~21
- 3 黄东迈等.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,1981,18(2):107~121
- 4 黄东迈等.氮素在农田生态系统中的转化与应用.南京:江苏省农科院土肥所土肥室,1985.23~62

- 5 蔡大同等. 有机肥料在农业生态系统中的转化与提高土壤肥力的作用. 土壤—植物—动物体系中氮素转化研究论文集 (1986~1990), 南京农业大学植物营养与施肥研究室, 1990. 68~73
- 6 廖先苓等. 淹水种稻条件下化肥氮的硝化—反硝化损失的初步研究. 土壤学报, 1982, 19 (3): 257~263
- 7 Broadbent F E and Tusneem M E. Losses of nitrogen from some flooded soils in tracer experiments. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. , 1971, 35: 922~926
- 8 Cheng H H and Bremner J M. 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. , 1966, 30: 450~452
- 9 Savant N K and De Datta S K. Nitrogen transformations in wetland rice soils. Adv. Agron. , 1982, 35: 241~302

EFFECT OF ORGANIC, INORGANIC FERTILIZERS AND PLACEMENT ON THE SOIL-N UPTAKE BY RICE

Huang Zhiwu

(Soil and Agrochemistry Department)

Abstract A two-year greenhouse pot experiment was carried out by planting rice with ^{15}N labeled fertilizers, urea, KNO_3 and leguminous green manure (vetch) .

The results are as follows

1. Application of inorganic fertilizers in flooded soil (1986), whether urea or KNO_3 , led to increase of soil-N uptake by rice, the percentage increase over the control were 3.4-12.7 or 13.0-28.9 respectively when applying KNO_3 or urea. For such effect, (1) Urea was superior to KNO_3 ; (2) Deep or mixed application of each fertilizer was also correspondingly superior to the two surface placements done with each fertilizer.
2. Rice plant-N derived from soil, which continuously increased throughout the whole growth period, was 21.9% to 31.0% (urea) and 26.4% to 40.8% (vetch) from the six-leaf to the fully mature period.
3. As to increasing soil-N uptake by rice, vetch material performed better than urea, while the total soil-N uptake by rice with application of urea or ground vetch material was higher than that of the unfertilized control during the whole growing season of 1987.
4. Whether chemical N fertilizers were applied or not, or no matter what forms of chemical N were applied, loss of original soil-N inevitably occurred when planting rice in flooded soil. The proper application of organic fertilizers was favourable to the maintenance of original soil-N, as well as the increase of soil fertility.

Key words Rice; Vetch; Soil Nitrogen; Urea; ^{15}N ; Rice Nutrition