

兔粪尿-硫酸铵和土壤氮在水稻植株体上的分布

吴毅文 蔡大同 史瑞和

(南京农业大学土化系)

摘要

本文探讨了各种N源在水稻植株各器官上的分布情况,指出这是由于不同土壤和肥料之间供N特性的不同,土壤氮和肥料氮在不同时期以不同强度和速度交错进入植株“库”重新分配的结局。以稻谷N%dff(或dfs)值对稻草N%dff(或dfs)值的比率表示各种N“源”对稻谷N的贡献大小,结合肥料N在农田土壤生态系统中的平衡帐^[1],评价施肥技术具有实际意义。

施肥提高了植株对土壤氮的吸收量,改变原来的土壤供氮特性起了均衡增产的作用;然而“激发效应”也可能增加土壤氮的气态损失。

试验于1987年采用¹⁵N交叉标记法,以兔粪尿和硫酸铵分别作为有机、无机氮源,不同配合施用进行水稻盆栽试验。供试的两种供氮特性不同的土壤为:小粉浆土,水稻生长早期供氮能力较好,中后期容易脱力;勤粘土在早期供氮较差,中后期土壤矿化作用较强。有关试验方法和植株吸收利用各种氮源的结果已在前文^[2]详述,这里(表1)仅列出其中肥料处理与产量结果。

表1 试验处理与产量

Table 1 Treatments and rice yields

代号 No.	处 理* Treatment	稻谷产量(克/钵) Grain yield (g/pot)	
		小粉浆土 Periodically submerged loamy paddy soil	勤粘土 Degleyic silty clay paddy soil
I	未施氮肥	7.57	5.61
II	兔粪尿(N0.3446克)作基肥	17.34	15.21
III	处理 II 加硫酸铵(N0.0932克)作追肥	20.31	19.28
IV	兔粪尿(N 0.1723克)硫酸铵(N0.1385克) 混合基肥加硫酸铵(N 0.935克)作追肥	20.42	18.76

* 处理 III 有两个分处理,处理 IV 有三个分处理,采用¹⁵N交叉标记法。

本文进一步分析不同处理下,肥料和土壤氮源在水稻植株各个器官的分布与对稻谷氮的贡献;探讨不同N源的分配规律并对施肥技术进行评价,以及“激发效应”的后果。

一、有机-无机肥料和土壤不同氮源在水稻植株体内的分布与转化率

(一) 土壤氮

当未施氮肥时,土壤是唯一N源(非共生固氮问题暂不考虑),它在植株上的分配除了因作物或品种而异外,主要受土壤供N特性的支配。如表2处理I,土壤N分配于稻穗上的比率,小粉浆土高于勤粘土分别为60.2%和56.6%,而在茎秆上和根部则相反,分别为26.7%、29.1%和13.1%、14.3%。表明小粉浆土在水稻生长早期供氮能力较好,使水稻分蘖较早,而在中期增加新蘖不多,因而有较长时间使茎叶中的细胞液内含物充实,这部分含氮化合物的移动性较大,故在后期重新分配到穗部的转化率较高;勤粘土对水稻前期供氮较差,使植株分蘖较迟,到生长中期,由于土壤矿化作用增强,又增添较多的无效分蘖,有效穗数减少,氮的容纳量小,故土壤N在茎秆上的比率高转化率低。

施肥处理的土壤氮在植株上的分布与对照不同,表现在根部的比率明显的低,而在穗部则高,而且在茎秆上的比率也明显降低,尤其在勤粘土更显著。这说明施肥处理提高植

表2 不同肥料处理土壤N和激发N在水稻植株各器官吸收量(mg/钵)与分布(%)

Table 2 The effect of different treatments on the absorption (mg/pot) and distribution (%) of soil N and priming-N within parts of rice crop

处 理 Treatment	小粉浆土 Periodically submergic loamy paddy soil								勤 粘 土 Degleyic silty clay paddy soil							
	稻谷 Grain		穗部 Ear part		茎秆 Straw		根 Root		稻谷 Grain		穗部 Ear part		茎秆 Straw		根 Root	
	(mg)	(%)	(mg)	(%)	(mg)	(%)	(mg)	(%)	(mg)	(%)	(mg)	(%)	(mg)	(%)	(mg)	(%)
土 壤 N Soil-N																
I 未施N肥	79.7	54.5	88.1	60.2	39.1	26.7	19.1	13.1	57.1	52.3	61.8	56.6	31.7	29.1	15.6	14.3
II 基肥兔粪尿	125.4	58.4	135.8	63.2	56.6	26.4	22.3	10.4	108.4	56.2	120.4	62.5	49.4	25.6	22.9	11.9
III 基肥兔粪尿 追肥硫酸铵	133.5	55.7	147.5	61.6	65.2	27.2	26.9	11.2	120.2	55.5	135.6	62.6	58.0	26.8	23.0	10.6
IV 基肥兔粪尿和 硫酸铵追肥硫酸铵	135.1	57.5	149.1	63.5	59.4	25.3	26.3	11.2	117.3	55.3	131.9	62.2	55.4	26.1	24.7	11.6
激 发 N Priming-N																
II 基肥兔粪尿	45.8	67.0	47.7	69.8	17.5	25.6	3.1	4.6	51.3	61.3	58.6	70.1	17.7	21.2	7.3	8.7
III 基肥兔粪尿 追肥硫酸铵	53.8	57.6	59.5	63.6	26.2	28.0	7.8	8.3	63.1	58.8	73.7	68.7	26.3	24.4	7.4	6.9
IV 基肥兔粪尿和 硫酸铵追肥硫酸铵	55.4	62.6	61.0	68.9	20.3	22.9	7.2	8.2	60.2	58.5	70.1	68.1	23.7	23.1	9.1	8.8

注: 穗部为稻谷+空秕粒、穗梗,后者表上未列出;毫克为各器官吸收量,%为占全株的百分率。

株对土壤N的吸收量^[1],同时提高它在植株上的转化率。然而土壤之间或施肥处理之间,土壤N在各个器官上的相对分配率差别不大,如小粉浆土和勤粘土上穗部分别占全株的 $62.8 \pm 1.0\%$ 和 $62.4 \pm 0.7\%$,在蒿秆上分别为 $26.3 \pm 1.0\%$ 和 $26.2 \pm 0.6\%$,根部分别为 $10.9 \pm 0.5\%$ 和 $11.4 \pm 0.7\%$ 。从表2可见施肥缩小了植株氮在分配上土壤间的差别,显然是其中激发N转化率高的缘故;同年另一试验^[2]表明提高土壤N和激发N的转化率是兔粪尿的效果。

许多工作者注视“激发效应”问题,并对它的机制进行多方面探讨^[3],但是对于土壤N和激发N在植株上分布的研究很少。“激发效应”是施肥引起的一种现象,因此激发N在植株上的分布与肥料N有紧密的联系和相互的影响。

(二) 肥料N

植株对肥料N的利用因肥料形态、施用时期以及供氮强度和速度而不同,土壤供氮特性亦是一个重要因素。如表3处理II,二种土壤上单施基肥时兔粪尿N在植株上分布迥然不同。小粉浆土上在穗部的比率高于勤粘土,在蒿秆上和根部则相反;激发N则近似。

表3 肥料氮在水稻各器官上的吸收量(mg/钵)及其分布(%)

Table 3 The absorption (mg/pot) of fertilizer-N by the rice plant and its partitioning (%)

肥料氮源 Fertilizer-N source	处理号 Treatment No.	小粉浆土 Periodically submerged loamy paddy soil								勤粘土 Degleyic silty clay paddy soil							
		稻谷 Grain		穗部 Ear part		蒿秆 Straw		根 Root		稻谷 Grain		穗部 Ear part		蒿秆 Straw		根 Root	
		(mg)	(%)	(mg)	(%)	(mg)	(%)	(mg)	(%)	(mg)	(%)	(mg)	(%)	(mg)	(%)	(mg)	(%)
肥料总N	II	67.6	63.3	73.2	68.6	26.6	24.9	6.9	6.5	63.9	58.1	70.9	64.5	29.7	27.0	9.3	8.5
	III	104.9	62.1	115.1	68.1	41.9	24.8	12.0	7.1	108.0	60.8	117.2	66.0	46.6	26.3	13.7	7.7
	IV	108.7	59.5	119.9	65.6	48.3	26.4	14.7	8.0	109.0	57.9	122.2	64.9	49.5	26.3	16.6	8.8
其中: 基肥兔粪尿 基肥兔粪尿 基肥兔粪尿 硫酸铵	II	67.6	63.3	73.2	68.6	26.6	24.9	6.9	6.5	63.9	58.1	70.9	64.5	29.7	27.0	9.3	8.5
	III	72.9	62.5	80.0	68.5	28.5	24.4	8.2	7.1	79.4	62.7	84.3	66.6	32.1	25.3	10.2	8.1
	IV	36.6	58.0	40.5	64.3	17.9	28.4	4.6	7.3	41.4	57.5	46.8	65.0	19.0	26.4	6.2	8.6
	IV	39.7	60.2	43.9	66.5	16.3	24.6	5.8	8.9	39.9	58.0	44.6	64.8	17.9	26.1	6.2	9.1
追肥: 硫酸铵 硫酸铵	III	32.0	61.1	35.1	67.1	13.4	25.6	3.8	7.3	28.6	56.1	32.9	64.6	14.5	28.5	3.5	6.9
	IV	32.4	60.2	35.5	66.0	14.1	26.2	4.2	7.8	27.6	58.2	30.8	64.8	12.5	26.4	4.2	8.8

注: 同表2。

水稻在营养生长期表现茎蘖增殖,当分蘖发生到成长阶段,首先进入植株的N源主要被利用于形成茎蘖的细胞壁结构物质,随后吸取的N源则多贮备在茎蘖胞液内为含氮化合物,后一部分氮移动性大,在成熟时期则输出到稻穗表现其转化率较高。因此,小粉浆土在早期供氮较好,这部分土壤N为建立营养体结构物质的主要N源,兔粪尿供N较缓慢,则贮备在营养体内较多,故转化率高。勤粘土上早期分蘖很大程度上依赖于兔粪尿N

1) 倪娟娟,1988: 有机-无机¹⁵N在微型农-牧生态系统中的转移和循环及初步评价。南京农业大学,硕士生论文。

源,故其转化率低。由于植株对激发N吸收较肥料N迟缓^[3],因而其转化率都高。

处理 III 在移栽水稻后第32天追施硫酸铵,增加许多新蘖。同处理 II 比较,主要差别是激发N的转化率下降,小粉浆土更明显;勤粘土上追施N的转化率较低。追肥促进新蘖增殖,小粉浆土在水稻生长中期矿化作用较弱,大量激发N被利用于形成新蘖,追肥可能因基肥在土壤中生物固定量增加^[4],使追肥供N过程稳长而表现在转化率较高;勤粘土上基肥N在水稻生长早期消耗较多,新蘖成长主要依赖追肥N源和激发N源,故追肥转化率较低而激发N降低较少。

处理 IV 在基肥中兔粪尿用量减半而取替相当量的硫酸铵,由于有机-无机肥料的相互作用^[5],兔粪尿矿化速度加快并以较大强度进入植株,激发N相应地提前为植株利用,因此表现兔粪尿N转化率下降而激发N转化率则上升(同处理 III 比较),但因两种土壤供氮特性不同,所以表现也不完全相同。

综上所述,肥料和土壤是作物生产的二个主要“N源”,植物有机体可比喻为N接纳“库”,其中根部为养分吸收和转运器官(“库”),地上部营养体为N储备“库”,稻穗或稻谷为再生产的N囤积“库”。营养体增殖和成长过程中,建“库”初期输入的N“源”主要形成“库”结构物质,建“库”后期以至“库”形成后输入的N“源”则多为“库”内贮备物,其移动性大,故转化率高。由此可见,不同N“源”进入植物“库”不同步^[6],它们在各个组织内的浓度比必然不同,或者说:“库”对它们的用处也就不完全相同,因此表现植物在成熟过程对氮素重新分配的结局。

土壤是作物主要N“源”之一,因此合理施肥技术必须联系土壤供氮特性。从肥料N的经济效率出发,希望它的转化率高。根据这个试验结果看,提高肥料N转化率则以降低土壤氮转化率为代价,可能这对于保护土壤氮素肥力有一定意义。

二、不同氮源对稻谷氮的贡献

作物吸收的氮素在植株上各器官的分布,表示作物在成熟过程体内氮素重新分配的结局。谷类作物穗部的氮素大多是从营养体累积的氮转化来的,少量在成熟期继续吸收也经过营养体输入的;因此,稻穗(或稻谷)氮占植株总氮量的比率,以转化率表示氮的经济效益;用同位素¹⁵N示踪法可以分别计算各个N“源”的转化率。同位素研究中以¹⁵N% dff 值(或N% dfs 值)表示标记肥料N(或一般土壤N)占全氮的比率(百分数表示),它已经考虑到在其它氮源同时存在时一种¹⁵N源对总氮量的贡献。作者曾在分期施肥报告中^[7]提出以稻谷N% dff(或dfs)值对稻草N% dff(或dfs)值比率(以下简称谷草比率),结合氮肥平衡帐对施肥期进行综合评价。本试验含有二种不同特性土壤、二种形态肥料、三种配合方式,应用谷草比率分析比较不同土壤、不同肥料配合各个N源对稻谷N和稻草N的贡献大小及其转化率高程度更为简明实用。谷草比率大于1表示该种N源对稻谷N贡献大于对稻草N贡献,转化率也高;反之谷草比率小于1表示对稻草N贡献大转化率不高。

从表4可见,各个N源在不同施肥条件(土壤、肥料配合与施肥期)下,植株或各器官的¹⁵N% dff(或N% dfs)值不同,指出各个N源对于植株器官N的贡献不同;当¹⁵N% dff

表 4 不同氮源对稻谷氮的贡献 ($^{15}\text{N}\%$ dff 值或 $\text{N}\%$ dfs 值)*
 Table 4 The contributions of different N sources to therice grain-N

氮源 N source	处理代号 Treatment No.	小粉浆土 Periodically submergic loamy paddy soil						勤粘土 Degleyic silty clay paddy soil					
		稻谷 Grain	青空穗粒秕梗 Spike without grain	蒿禾秆 Straw	根 Root	全株(合计) Total	谷:秆**比 Grain to straw ratio	稻谷 Grain	青空穗粒秕梗 Spike without grain	蒿禾秆 Straw	根 Root	全株(合计) Total	谷:秆**比 Grain to straw ratio
基肥: 兔粪尿 兔粪尿 兔粪尿 硫酸铵	II	35.0	35.3	32.0	23.6	33.2	1.09	37.1	36.7	37.5	29.0	36.3	0.99
	III	30.6	29.0	26.6	21.0	28.5	1.15	34.8	20.0	30.7	27.9	32.1	1.13
	IV	15.0	15.7	16.6	11.3	15.1	0.90	18.3	19.6	18.1	15.0	18.0	1.01
	IV	16.3	16.4	15.1	14.3	15.8	1.08	17.6	16.8	17.1	15.1	17.2	1.03
追肥: 硫酸铵 硫酸铵	III	13.4	12.9	12.5	9.8	12.8	1.07	12.5	17.6	13.9	9.5	12.9	0.90
	IV	13.3	12.4	13.1	10.2	12.9	1.02	12.2	11.2	12.0	10.1	11.9	1.02
肥料总N (基肥+追肥)	II	35.0	35.3	32.0	23.6	33.2	1.09	37.1	36.7	37.5	29.0	36.3	0.99
	III	44.0	41.9	39.1	30.8	41.3	1.13	47.3	37.6	44.6	37.4	45.1	1.06
	IV	44.6	44.5	44.8	35.8	43.8	1.00	48.1	47.7	47.2	40.2	47.0	1.02
土壤N	II	65.0	64.7	68.0	76.4	66.8	0.96	62.9	63.3	62.5	71.0	63.7	1.01
	III	56.0	58.1	60.9	69.2	58.7	0.92	52.7	62.4	55.4	62.6	54.9	0.95
	IV	55.4	55.5	55.2	64.3	56.2	1.00	51.9	52.3	52.8	59.8	53.0	0.98
激发N	II	23.7	12.2	21.0	10.7	21.3	1.13	29.8	38.7	22.4	22.6	27.6	1.33
	III	22.6	23.4	24.4	20.0	22.9	0.93	27.7	43.2	25.1	20.1	27.3	1.10
	IV	22.7	22.2	18.9	17.6	21.2	1.20	26.6	35.4	22.6	22.0	25.7	1.18

* dff 表示来自肥料N的百分数;

dfs 表示来自土壤N的百分数;

** 谷:秆比:表示谷草的 dff 或 dfs 的比值。

值大时 $\text{N}\%$ dfs 值则小,表示肥料N对植株或器官N的贡献大于土壤N,反之则土壤N贡献大。从表4中肥料总N栏看,稻谷 $^{15}\text{N}\%$ dff 值都大于全株平均值,而根部则小于平均值,表明肥料N是稻谷N重要的给源,而根部则依赖于土壤N。一般地说,稻谷产量与稻谷含氮量有密切关系,从本试验资料统计二者相关系数很高为 0.9980 ($n=8$),所以肥料N占稻谷N多对产量的作用可能较大。不过这只能是泛谈,作物有多种N源,对于不同N源的吸收量不完全相同,而且在植株体内分配受许多因素影响,因此相互比较或评价施肥技术较困难。

分析这个试验三个施肥处理的肥料总N的谷草比率得出:处理III在二种土壤上比其它处理都佳,分别为 1.13(小粉浆土)和 1.06(勤粘土),同时表明这个处理在小粉浆土更适宜。从各个肥料N的谷草比率看,兔粪尿分别为 1.15 和 1.13 比其他处理大;追肥在小粉浆土上 1.07 大于其它处理,而勤粘土为 0.9 小于其它处理;进一步指出有机肥料基肥的重要意义,尤其在勤粘土上,但其追肥N的经济效率低,对于施用时期或施用数量是值得重新研究的问题。

土壤N的稻草比率都在1甚至小于1,处理 III 在同一土壤上都为最低值,分别为0.92和0.95;激发N的稻草比率也是处理 III 最低,分别为0.93和1.10,其他处理在1.13—1.33。说明土壤N对稻草贡献较大转化率低;激发N在处理 III 同土壤N一样对稻谷N贡献最小,转化率最低。

根据上述肥料的稻草比率联系¹⁵N肥在土壤生态系统中的去向^[1]得出:有机肥料(兔粪尿)-无机肥料(硫酸铵)和基肥-追肥配合施用,比较符合水稻氮素营养规律,尤其在小粉浆土上也与土壤供氮特性相适应,肥料的利用率和转化率,以及在土壤中残留率都高,损失量少;勤粘土上基追肥比例或施肥时间有待改进。

三、“激发效应”的后果问题

激发N转化率(表2)和对稻谷N贡献(表4)都高于土壤,尤其是在勤粘土上。前面已指出,“激发效应”有调节土壤供氮的作用,它起了均衡增产的效果。关于“激发效应”对土壤N损失问题历来不像对肥料N问题引起重视。

许多研究工作者指出,水稻吸收基施无机氮肥主要时期在15—35天之间,同时也是N损失的主要时期;不论用收获前后的土壤N差值或以植株的吸收量计算土壤N的消耗量都表明:施肥处理土壤N的损失比对照大,尤其化学氮肥比绿肥处理的损失更大^[4]。作者研究淹水条件下作物吸收不同N源过程^[3],发现激发N供氮强度高峰期比化学氮肥或绿肥的供氮强度高峰期滞后。这些结果似乎表明土壤矿化N和肥料无机N,都可能因植株吸收能力较弱而渗漏¹⁾,或气态逸失。在有机-无机肥料配比试验²⁾中收集渗漏液,测出硫酸铵N的渗漏量为兔粪尿N的一倍,土壤N又为肥料N的1—2倍,激发N占土壤N的65—72%;淋失的N有60%发生在最初半个月,约40%在后半个月。

因此推测“激发效应”也有可能增加土壤N以气态形态逸失,所以要提高或维护土壤肥力,增施有机肥料才能补偿或增加土壤氮和土壤有机质。

参 考 文 献

- [1] 蔡大同、吴毅文、史瑞和,1989: 兔粪尿和硫酸铵在不同土壤上的肥效和¹⁵N去向。南京农业大学学报,第2期,60—72页。
- [2] 蔡大同、付汤桂,1985: 同位素¹⁵N研究水稻分期施肥的效果。南京农业大学学报,第2期,82—88页。
- [3] 蔡大同,1982: 用生物方法研究淹水土壤和不同肥料的氮素供应过程。南京农业大学学报,第2期,60—68页。
- [4] 黄东迈等,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—120页。
- [5] Campbell C. A., 1978: Soil Organic Carbon, Nitrogen and Fertilizer. p. 213—220 (“Priming effect”), Edited by M. Schnitzer and S. U. Kham.

1) 朱培立,黄东迈,1985: 土壤不同水湿状况和肥料碳氮比对稻田氮素转化的影响。土壤肥力研究论文集之一,江苏省农科院土壤肥料研究所土壤肥力研究室,55—66页。

2) 同第163页1)。

PARTITIONING OF N FROM RABBIT'S EXCRETA AND AMMONIUM SULFATE AND SOIL-N WITHIN RICE CROP

Wu Yiwen, Cai Datong and Shi Ruihe

(Section of Agricultural Chemistry, Nanjing Agri. Univ.)

Summary

The partitioning of N from various sources within different parts of rice plant was studied. The result indicates the different N-supply characteristics of soils and fertilizers and the redistribution of soil- and fertilizer-N, which went into the plant "pool" in different times with different speed and intensity. The evaluation of fertilizing techniques are of practical meaning when the ratio of grain N% dff (or dfs) values to straw dff/dfs values which show the magnitude of contribution from different N sources to the rice grain, and the fertilizer N balance in the agricultural ecology were concerned. Fertilization increases both soil-N uptake and crop yield by changing the soil N supply characteristics. However, the "priming effect" may augment the soil N loss through volatilization.