

稻田土壤供氮性能的研究*

II. 双季稻种植过程中施肥对土壤 供氮性能和水稻产量的影响

李实焯 王家玉 孔万根

(浙江省农科院土肥所)

由于土壤供氮、水稻需氮、施肥补氮三者之间的平衡协调关系,对水稻的良好生育及高产稳产有重要影响^[1],为此研究三者相互关系的演变规律,可为制订“因土施肥”最佳方案提供重要的基础资料。考虑到浙江省代表性的耕作制度系以双季稻为主的复种形式,本项研究工作是在初步了解某些典型稻田土壤供氮性能的基础上,进一步对种植双季稻时土壤供氮、早晚稻吸氮的基本特点以及施用化学氮肥或有机肥后的有关影响,进行了一些研究。现将所得结果,归纳如下。

一、研究方法

为了模拟生产实际情况而在相同的土壤条件下连续种植双季稻,以便系统地观察施肥对土壤供氮性能和水稻产量的影响,试验设在同一块田内,采取对半裂区的方式进行。当早稻在一半裂区内进行试验时,另一半裂区作为大田早稻繁殖生产。早稻收获后连作晚稻试验即在早稻繁殖生产的裂区内进行。

试验田土壤为杭州湾近代河口冲积物上发育的轻度潜育化小粉土,质地为粉砂粘壤土; pH5.8, 耕层有机质含量 2.14%, 全氮 0.11%, 全磷 (P) 0.131%, 碱解氮 10 毫克 N/100 克土 (1N NaOH 扩散法), 速效磷 50ppm (Al-abbas-P), 速效钾 57ppm K (1N NH₄Ac 提取,用火焰光度计测定)。试验田常年粮食亩产在 2000 斤左右。试验处理 5 个 (表 1), 重复 3 次,小区面积为 0.01 亩。

¹⁵N 标记硫酸铵的微区设在小区试验的对照区内,采用方形铁皮框 (38 × 38 × 33 厘米),埋入表土下 20 厘米。微区面积为 0.144 米²,相当于 0.000216 亩。同小区试验一样,微区处理也分 5 种,但另增设 2 个对照 (见表 1 注 2),共有 7 个微区。

早、晚稻品种分别为广陆矮四号和加湖四号。栽培管理按一般大田生产进行。各处理区的施肥方法是:猪厩肥(含氮 0.51%,湿基。早晚两季厩肥质量相近)作基肥,在插秧前一次施下。硫酸铵总量的 70% 作基肥底施,30% 在始蘖期(15%)和盛蘖期(15%)两次追肥面施。标记硫酸铵的 ¹⁵N 丰度为 11.13%。早、晚稻微区试验收获后,分别采集全株样本,考查分析,植株的 ¹⁵N 分析由上海化工研究院物化室质谱组协助进行。此外,根据早、晚

* 本文承俞展豫和周鸣铮两位教授详予审阅,谨致谢意。

表 1 田间试验(小区和微区)处理

Table 1 The treatments of field experiment (Plot and microplot)

处理代号 Treatment Symbol	处 理 Treatment
(1) CK	种稻不施肥(对照) No fertilizer (control)
(2) S ₇₅	硫酸 75 斤/亩 Ammonium sulphate (75jin/mu)
(3) F	猪厩肥 2000 斤/亩 Farmyard manure (2000jin/mu)
(4) S ₇₅ +F	硫酸 75 斤加猪厩肥 2000 斤/亩 Ammonium sulphate 75jin/mu+farmyard manure 2000jin/mu
(5) S ₁₂₅	硫酸 125 斤/亩 Ammonium sulphate 125jin/mu

注: 1. S 为硫酸, F 为猪厩肥; 2. 为了进行土壤铵态氮动态测定, 另增设 2 个对照微区, 即微区(6)代号 B 为不种稻不施肥的空白区; 微区(7)代号 B + S₁₂₅, 只施肥不种稻。

Note: 1. S-Ammonium sulphate, F-Farmyard manure. 2. Another two microplots (6) and (7) were laid out for the determination of soil ammoniacal nitrogen and microplots (6) and (7) were denoted by B(Blank) and B + S₁₂₅ (Blank + Fertilizer) respectively.

稻不同生育阶段, 在微区内采集耕层(0—12 厘米)土样, 测定土壤铵态氮(用 10% NaCl 溶液浸提, 奈氏试剂显色, 光电比色计测定), 以观察不同施肥条件下土壤中铵态氮的变化以及对双季稻生育的影响。

二、结果与讨论

(一) 双季稻吸取土壤氮的基本特点

鉴于在不施肥情况下, 水稻从不同类型稻田土壤中吸取氮素的数量有较大的差别^[4], 因此从另一方面去了解在同一种土壤上连续种植双季稻时吸取氮素的基本规律是有参考

表 2 双季稻种植过程中早晚稻全株吸取土壤氮 (¹⁴N) 量的差别Table 2 The difference in uptake of soil nitrogen (¹⁴N) between early and late rice during the growing period

双季稻类型 Double-cropping rice	双季稻吸取土壤氮 (¹⁴ N) 量 毫克/框 The uptake of soil nitrogen (¹⁴ N) by double-cropping rice (mg/microplot)			
	CK	S ₇₅	S ₁₂₅	
早 稻 Early rice	914	977	1143	
晚 稻 Late rice	1273	1465	1314	
晚稻比早稻增吸土壤氮 (¹⁴ N) 量 The increase of ¹⁴ N absorbed by late rice	毫克/框 mg/microplot	359	488	171
	%	39.3	50.0	15.0

价值的。田间试验的结果显示,早稻吸取土壤氮的数量明显低于晚稻,晚稻吸取土壤氮的数量比早稻高 15—50% (表 2)。

在双季稻中,晚稻所以能比早稻普遍地吸收更多的土壤氮素,其原因除早、晚稻的品种差异等生物学因素外,由季节不同造成的土壤温度状况的差异,也可能是引起土壤供氮状况不同的一个重要原因。因为土壤氮素的矿化量与耕层土温是有直接联系的^[2],在水稻生育期间一般认为植株吸氮高峰在稻苗移栽后 2—3 周内^[3],而早稻和晚稻的吸氮高峰期间的气温和土温都是晚稻高于早稻。当然也有相反的情形,即在同样高温的气候条件下种植双季稻时,晚稻吸收的土壤氮量低于早稻^[4]。这可能是特定气候-土壤-植物之间错综复杂条件下的一种例外。根据试验的结果来看,在我国种植双季稻的广大地区,进一步明确土壤供氮是否是晚季大于早季将是今后值得探讨的一个问题。

(二) 双季稻对化学氮肥的利用率

双季稻对硫酸铵的利用率从 ¹⁵N 标记肥料的微区试验结果可以看出,早稻与晚稻之间没有多大差别,均在 28—31% 之间(表 3); 只有个别区的早稻,其利用率可达 35% 左右(表 3)。由此可以推论: 双季稻对氮肥的利用率主要受氮肥施用方法的影响,要提高氮肥利用率,就应从改进施肥方法着手。

表 3 双季稻对硫酸铵氮素的回收率

Table 3 Recovery rate of fertilizer nitrogen in double cropping rice

双季稻类型 Double-cropping rice	处理代号 Treatment symbol	¹⁵ N 标记肥料用量 (N 毫克/框) ¹⁵ N applied (N mg/microplot)	水稻吸收 ¹⁵ N 量* (N 毫克/框) ¹⁵ N absorbed by rice (N mg/microplot)	氮素回收率 Recovery rate (%)
早 稻 Early rice	S ₇₅	1624	467	28.8
	S ₁₂₅	2703	953	35.3
晚 稻 Late rice	S ₇₅	1624	507	31.2
	S ₁₂₅	2703	766	28.3

注: * 吸收 ¹⁵N 量是指水稻全株。

Note: The total accumulated nitrogen means that in the whole rice plant.

(三) 双季稻植株中不同给源氮素的含量

¹⁵N 标记硫酸铵的示踪试验证明,在各种施肥处理下,双季稻植株吸收的氮素大部分来自土壤(表 4)。双季稻植株积累氮素总量中土壤氮所占的比例,早稻为 54.5—67.7%,晚稻为 63.1—76.3%。这就是说,在双季稻生育过程中,无论早稻或晚稻,其氮素营养的主要给源是土壤氮。由此可见,强调培肥土壤以促使土壤提供充足的氮素是取得双季稻高产的一个重要基础。

从本试验的不同处理中还可以看出,随着化学氮肥用量的增加,双季稻植株中土壤氮所占的比例就会相应下降,而化肥氮的比例相应增高。在相同氮肥用量下,化肥氮的比例是早稻高于晚稻。

表 4 在双季稻植株积累氮总量中不同来源氮素所占的比例 (^{15}N 示踪法)

Table 4 The proportion of different nitrogen sources in the total accumulated N of rice plant

双季稻类型 Double cropping rice	处理代号 Treatment symbol	双季稻植株积累的氮素 Accumulated nitrogen in double cropping rice					
		积累氮总量 Total accumulated N		来自土壤 From soil		来自化学氮肥 From chemical fertilizer	
		N毫克/框 N mg/microplot	%	N毫克/框 N mg/microplot	%	N毫克/框 N mg/microplot	%
早 稻 Early rice	S ₇₅	1444	100	977	67.7	467	32.3
	S ₁₂₅	2096	100	1143	54.5	953	45.5
晚 稻 Late rice	S ₇₅	1920	100	1465	76.3	455	23.7
	S ₁₂₅	2079	100	1314	63.1	765	36.9

注: 积累氮总量是指水稻全株。

Note: The total accumulated nitrogen means that in the whole rice plant.

表 5 双季稻吸取不同来源氮的比例 (差值法)

Table 5 The proportion of N taken up from organic manure by double cropping rice (by difference method)

双季稻类型 Double cropping rice	处理代号 Treatment symbol	双季稻吸取不同氮源的数量 (N 毫克/框) N taken up from different N sources by double cropping rice (N mg/microplot)							
		总 氮 量 Total N		来自土壤 From soil		来自化肥 From chemical fertilizer		来自有机肥 From organic manure	
		N mg	%	N mg	%	N mg	%	N mg	%
早 稻 Early rice	CK	914	100	914	100	—	—	—	—
	F	1123	100	914	81.4	—	—	209	18.6
	S ₇₅ +F	1881	100	914	48.6	758	40.3	209	11.1
晚 稻 Late rice	CK	1273	100	1273	100	—	—	—	—
	F	1650	100	1273	77.2	—	—	377	22.8
	S ₇₅ +F	1925	100	1273	66.1	275	14.3	377	19.6

另外从差值法测定的结果中又能看到,在有机肥结合氮素化肥施用的情况下,双季稻吸取不同氮源的比例中,土壤氮同样占首位,为总吸氮量的 48.6—81.4%; 化肥氮次之为 14.3—40.3%; 有机氮最少为 11.1—19.6% (表 5)。

在此应该指出的是,尽管对两季水稻施用的有机肥的种类和数量相同,但由于晚季的土壤温度状况更适合于有机肥的矿化,因而晚稻吸取有机肥氮的数量和占总吸氮量的比例,都有所增加。晚季水稻吸取有机肥氮较多的现象在一定程度上启示了针对晚稻施用有机肥的必要性和实用意义。

从双季稻植株的整体来看,土壤氮占总积累氮量中的优势。但在双季稻植株的不同部位中,土壤氮所占的比例不尽相同。除个别情况外,一般的顺序是根>茎叶>穗。而肥料氮比例却是穗>茎叶>根。这就是说,植株中积累氮素的倾向是肥料氮在穗部的分配比例大,而土壤氮则在根部和茎叶中积累比例较大(表 6)。

表 6 不同给源氮素在双季稻植株不同部位的积累比例 (^{15}N 示踪法)

Table 6 The proportion of accumulated N from different sources in the various parts of rice plant

处理代号 Treatment symbol	不同给源氮素比例 Proportion of N from different nitrogen sources (%)	早 稻 Early rice			晚 稻 Late rice		
		根 Roots	茎 叶 Shoots	穗 Panicles	根 Roots	茎 叶 Shoots	穗 Panicles
S ₇₅	土 壤 氮 Soil N	70.1	72.5	65.3	78.2	76.5	76.0
	化 肥 氮 Fertilizer N	29.9	27.5	34.7	21.8	23.5	24.1
S ₁₂₅	土 壤 氮 Soil N	59.0	57.6	50.9	67.0	64.9	61.5
	化 肥 氮 Fertilizer N	41.0	42.4	49.1	33.1	35.1	38.5

通过双季稻吸收标记肥料氮总量来推算穗部积累肥料氮从中所占的比例, 突出反映了双季稻利用的肥料氮总量中的 65% 左右都积累在穗部。由此可见, 在生产实践上, 以化学氮肥作穗肥施用往往显示较大的增产效果, 其机理与穗部积累肥料氮较多的倾向是否有关? 这是一个值得探讨的问题。

(四) 双季稻栽培过程中施肥对土壤供氮性能的影响

在双季稻栽培过程中, 除个别情况外, 在同一季水稻的不同施肥处理条件下, 其土壤供氮能力(A 值)差别不大。只有在不同季节的水稻中, A 值才有一定的差异(表 7)。晚

表 7 不同施肥方法对土壤供氮性能的影响

Table 7 The effects of fertilization methods on nitrogen supplying capability of soil

土壤供氮性能的有关指标 Some indexes of nitrogen supplying capability of soil	早 稻 Early rice		晚 稻 Late rice	
	S ₇₅	S ₁₂₅	S ₇₅	S ₁₂₅
A 值 (N, 斤/亩) A-value (N jin/mu)	31.4	30.1	42.0	42.8
化学氮肥的激发效应* Priming effect of chemical fertilizer (%)	6.89	25.1	15.1	3.2
种稻期间土壤铵态氮的平均浓度 The average concentration of soil $\text{NH}_4\text{-N}$ during the rice growing period	26	53	60	77
吸取土壤氮量/贮氮量** Absorbed N/Reserved N	2.7	3.2	4.2	3.7

注: * 氮肥区水稻吸取土壤氮量 - 对照区水稻吸取土壤氮量 $\times 100$ 。
对照区水稻吸取土壤氮量

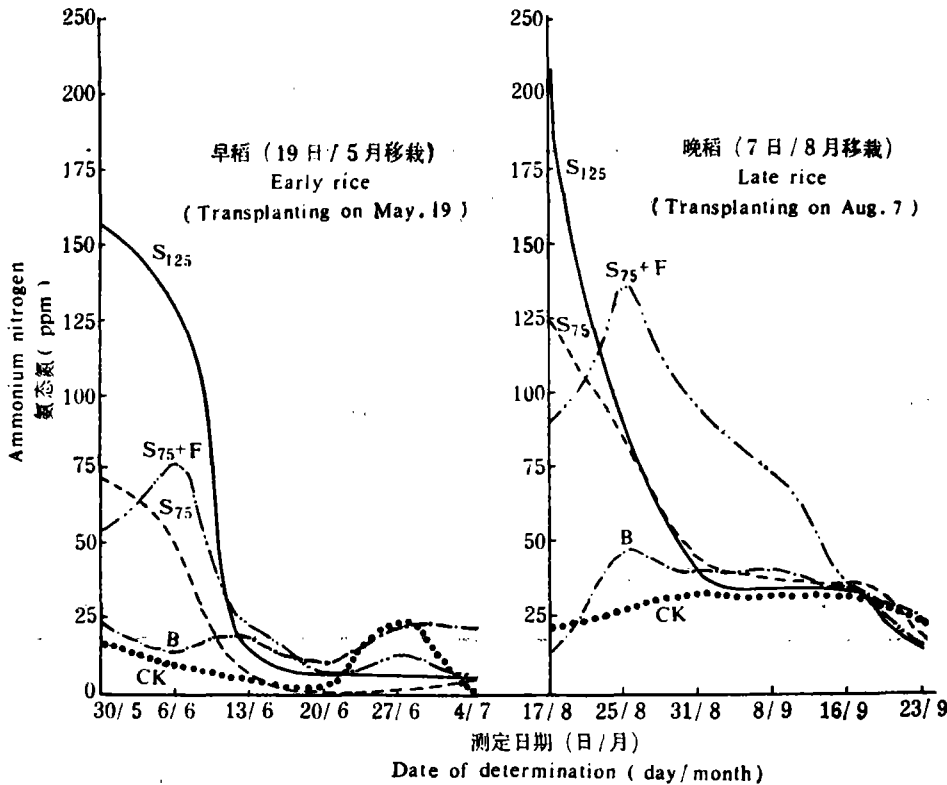
** 贮氮量系耕层土壤的全氮含量, 土重按每亩 30 万斤计算。

Note: * $\frac{\text{N taken up by rice in plot of applying N fertilizer} - \text{N taken up by rice in check plot}}{\text{N taken up by rice in check plot}} \times 100$.

** The amount of reserved N is the total content of N in plough layer of the soil, which is calculated by 300,000 jin/mu.

稻期间土壤供氮能力所以大于早稻,进一步说明不同土壤温度状况不仅与双季稻吸取土壤氮量有关,还对土壤供氮能力有直接影响。

作为稻田土壤有效氮主要形态的铵态氮,其数量和浓度的变化,在一定程度上反映了土壤中氮素营养平衡的动向。双季稻生育期间连续(从始蘖到齐穗,每隔7天采一次土样)采集表层(0—12厘米)土样分析的结果得出,晚稻期间土壤铵态氮的平均浓度(6期测定平均值),明显地高于早稻(表7)。这一结果可以作为晚稻期间土壤供氮状况优于早稻的佐证。土壤中铵态氮浓度还直接受到施肥的影响,特别与化学氮肥的用量有正相关的倾向(图1)。



注: 1.图中处理代号见表1。 2.土壤 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量为表土(0—12厘米),并折算为风干土含量。

图1 双季稻生育期间土壤铵态氮浓度的变化

Fig. 1 The variation of soil ammoniacal nitrogen concentration in the growing period of double cropping rice

施用化学氮肥后土壤中铵态氮的浓度,10天内就达到高峰。但早稻在移栽后25天又下降到较低水平,与无肥区不相上下;而晚稻则在移栽40天后才下降。可见,在早稻和晚稻生育期间土壤铵态氮的动态变化各有其特点。化肥结合有机肥施用的处理中,土壤铵态氮的浓度逐步上升,高峰的出现要比化肥区迟5—7天,这种趋势在早稻和晚稻中是基本一致的。土壤铵态氮高峰出现的早迟,必然会对双季稻产量有深刻的影响。因此,化肥结合有机肥施用后,土壤中铵态氮高峰出现较迟,这与该区双季稻获得较高的产量,可能存在较密切的联系。这是一个值得深思的问题。

对照区 (CK) 的土壤铵态氮浓度, 往往低于不施肥、不种稻的空白区 (B), 这是否说明在不施化学氮肥而种植水稻的情况下, 土壤铵态氮被水稻消耗而产生的必然现象。

就土壤的耕层全氮量来说, 双季稻中每一季稻可以利用其中的 2.7—4.2%, 而晚稻的利用程度高于早稻。

(五) 不同施肥方法对双季稻产量的影响

在不施肥、种植双季稻的情况下, 由于不同季节的土壤温度状况影响着土壤的供氮能力, 以及不同类型水稻对氮素吸收代谢的功能有差别, 从而使早稻和晚稻的产量出现较大的差距 (表 8)。

表 8 不同施肥方法对双季稻产量的影响

Table 8 The effect of fertilization methods on the grain yields of double cropping rice

双季稻类型 Double cropping rice		CK	S ₇₅	F	S ₇₅ +F	S ₁₂₅	LSD (斤/亩, jin/mu)	
							0.05	0.01
早稻 Early rice	斤/亩 jin/mu	464.4	831.1	601.1	872.2	837.8	57.3	83.4
	%	100	179.0	129.4	187.8	180.4		
晚稻 Late rice	斤/亩 jin/mu	603.0	797.8	720.0	902.2	773.6	95.7	139.2
	%	100	132.3	119.4	149.6	128.8		

如表 8 所示, 同样是对照区, 晚稻亩产可达 603.0 斤, 而早稻亩产只有 464.4 斤, 两者相差 138.6 斤, 前者比后者增产 29.8%。这一现象说明土壤供氮能力对双季稻产量有直接影响。

在不同施肥处理中, 有机肥结合化肥施用的, 无论在早稻和晚稻, 都是产量最高的一区。这个处理所以能获得高产的原因之一, 是否在于有机肥与化肥结合施用后可以较好地协调双季稻对氮素营养的吸收, 使植株中积累的不同氮素给源, 有个适当的配比。也就是说, 土壤氮与有机肥氮占优势比例, 而化肥氮却占较少的比例。

但是, 单施硫酸铵 (S₇₅) 对双季稻的增产效果却大大超过单施猪厩肥 (F) 的处理区, 在早稻中这种倾向尤为明显。不过, 施用多量化肥 (S₁₂₅) 则并不能获得增肥增产的效果。在单施有机肥的处理区, 早、晚稻之间的产量也有差别。例如在施用等量有机肥的情况下, 晚稻产量比早稻高出 19.8%。

综上所述, 可以认为双季稻的产量直接受土壤供氮能力的影响, 而土壤供氮能力的大小和化学氮肥及有机肥的增产效果也有密切关系。由此推论, 土壤的供氮能力可以看作是影响双季稻产量的一个主导因素。这个论点是否恰当, 则有待进一步探讨。

参 考 文 献

- [1] 李实焯等, 1981: 稻田土壤供氮性能的研究 I. 不同类型稻田土壤供氮性能的初步观察。土壤学报, 18 卷, 1 期, 50—57 页。

- [2] 鬼敬丰等, 1971: 稻作期における土壤窒素の有效化过程。日土肥誌, 46 卷, 7 期, 255—259 頁。
- [3] 冨坂邦等, 1978: 双季稻吸肥高峰与挥发性氮肥全层施肥法研究。土壤学报, 15 卷, 2 期, 113—125 頁。
- [4] Takeo Koyama, Chittana Cuammek and Natee Niamsrichand, 1972: Soil-plant nutrition studies on tropical rice. IV. The effect of double-cropping in a rainy season upon the plant growth and soil fertility status of nitrogen in the Bangkhen paddy soil. Soil Science & Plant Nutrition Vol. 18, No. 1, 23—29.
- [5] Chang, S. C., 1976: The fertility of paddy soil and fertilizer application for rice. ASPAC, Taiwan, China.

STUDIES ON THE CHARACTERISTICS OF NITROGEN SUPPLY IN PADDY SOILS

II. EFFECT OF FERTILIZATION ON THE SOIL NITROGEN SUPPLY AND GRAIN YIELD OF DOUBLE CROPPING-RICE

Li Shi-ye, Wang Jia-yu and Kong Van-geng

(*Institute of Soil and Fertilizer, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences*)

Summary

Field trials and micro-plot experiments using ^{15}N -labelled ammonium sulfate were conducted on a silty clay paddy soil developed on alluvial deposits of the Hangzhou Bay.

The experiments with same design for the early rice and late rice were laid out separately in the same field for comparative investigation. The results obtained are summarized as follows:

(1). The A-value of the soil and the amount of soil N assimilated by the late rice were considerably higher than that of the early rice, which may mainly be due to the difference in temperature regime between the two growing seasons. The amount of N taken up by the late rice was 3.66—4.18% of the total N content in the plowed layer, and was only 2.69—3.21% for the early rice. Correspondingly, the grain yield of the late rice in the control plot was much higher than that of the early rice.

(2). Soil N was the predominant source of the total N accumulated in either early rice or late rice. In the treatments of organic manure and chemical fertilizer, the percentage of soil-derived N in the total assimilated N of the double-cropping rice ranged from 48.6—81.4%, while the fertilizer-N and manure-N were 14.3—40.3% and 11.1—19.6% respectively.

(3). The percentage of soil-derived N in the total N accumulation in different organs tended to decrease in the order of roots, shoots and panicles, and the reverse was true for the fertilizer-N.

(4). Under the same method of application of nitrogen fertilizer, there was no significant difference in N recovery from ^{15}N -labelled ammonium sulfate by early rice or late rice, their recovery percentages were 28.8—35.3% and 28.3—31.2% respectively. However, the efficiency of the fertilizer on increasing the grain yield of early

rice was much lower than that of late rice, this may be due to the different soil N supplying capacity in different growing seasons. Around 65% of the assimilated fertilizer-N was distributed in panicles which might be related to the higher efficiency of nitrogen fertilizer applied at the panicle formation stage.

(5). Under the same method and rate of application of pig manure, the N recovery by late rice was higher than that by early rice. And the highest grain yield of early rice and late rice was obtained in the treatment of the application of pig manure in combination with ammonium sulfate, which may imply the consistency of nitrogen supplying status in the soil of this treatment with the demand of the rice.