

苏南五种水稻土的肥力与作物的相互关系*

袁从祎 白纲义** 孙庚寅

(江苏省农业科学院)

不同类型的土壤具有各不相同的肥力,这对其上种植的各种作物产生不同的影响,最后构成不同的产量与品质。反过来,种植不同的作物也对土壤产生不同的影响。研究土壤与作物的这种相互关系是土壤肥力研究的重要内容,也是制定因土种植、合理利用和培养土壤的实际措施的重要依据。

一、研究方法

供试的江苏南部五种水稻土有:

1. 板浆白土(土壤代号 I, 以下均同), 采自溧阳竹簏的缓岗坡田上部, 发育自第四纪红棕色下蜀黄土的中度漂白水稻土。肥力极低, 多为水稻一熟利用方式。
2. 乌白土(土壤代号 II, 以下均同), 采自溧阳竹簏的近村庄缓岗岔冲田, 母质同 I, 表面有再沉积覆盖层, 并经过相当熟化的轻度漂白水稻土。肥力中等, 多为水稻一绿肥利用方式。
3. 马干土(土壤代号 III, 以下均同), 采自南京孝陵卫本院的缓岗冲田, 发育自下蜀黄土的潜育水稻土。宜稻宜麦宜豆, 一年二熟。肥力中上等。
4. 乌棚土(土壤代号 IV, 以下均同), 采自昆山正仪的低平田, 发育自冲积一湖积物的轻度潜育水稻土。稻麦两熟, 麦产量稍低。肥力中等。
5. 青泥土(土壤代号 V, 以下均同), 采自昆山巴城碟形洼地中的老涵田, 发育自静水湖积物的沼泽水稻土。水稻一熟, 肥力低。

五种水稻土的耕层土壤的基本肥力特性列于表 1。

土样晒干过筛, 每盆装土 6 公斤。第一季分别种植水稻、谷子、大豆, 重复 4 次, 未施肥。收获后, 根茬均归还土中, 大豆叶亦归还土中。后作各处理均种元麦, 冬季因冻害严重, 曾每盆施硫酸铵 1 克, 终因发育不良未能成熟, 仅测定地上植株干物重。根茬仍归还土中。第三季全部栽水稻, 未施肥。

每季取土样测定有机质(丘林法), 全氮(大量凯氏法), 碱解氮(0.5 N NaOH 蒸馏法), 氮矿化力(分别于淹水或 55% 饱和持水量下, 30℃ 培养 12—15 天, 以 10% NaCl 液浸提测定矿态氮), 土壤呼吸力(55% 饱和持水量下, 30℃ 培养 12 天, 以 Ba(OH)₂ 液吸收放出的 CO₂ 后滴定), 速效磷(0.002 N H₂SO₄ 浸提), 还原性铁锰(0.1M Al₂(SO₄)₃, pH 2.5 的

* 沈梓培先生对本研究进行指导, 并对本文审阅, 谨致深切谢意。

** 现在北京市海淀区农科所工作。

表 1 五种水稻土的基本肥力特性
Table 1 Analytical results concerning soil fertility in five paddy soils

土壤代号 Soil No.		I	II	III	IV	V
土壤类型 Soil type		板浆白土	乌白土	马干土	乌栅土	青泥土
pH	H ₂ O	5.44	6.41	6.58	6.16	6.90
	N KCl	4.56	4.93	5.39	5.38	6.20
有机质(%) Organic matter		0.99	1.72	1.60	3.39	3.75
全氮(%) Total N		0.061	0.096	0.104	0.182	0.209
C:N		9.4	10.4	8.9	10.8	10.4
碱解氮(mg/100g) Alkalihydrolyzable N		8.9	10.7	11.0	15.5	17.0
全磷(P ₂ O ₅ %) Total P ₂ O ₅		0.044	0.053	0.134	0.132	0.127
速效磷 ⁽¹⁾ (P ₂ O ₅ , ppm) Available P ₂ O ₅ ⁽¹⁾		7	4	80	100	90
速效磷 ⁽²⁾ (P ₂ O ₅ , ppm) Available P ₂ O ₅ ⁽²⁾		18	41	309	144	61
还原性铁锰(mg/100g) Reducible Fe + Mn		12.6	15.4	25.7	27.2	35.6
机械组成 Mechanical composition	<0.01mm%	37.1	42.8	49.8	56.2	57.0
	<0.001mm%	9.8	13.7	23.9	28.9	25.1
质地名称 Texture		中粘壤 Clayloam	中粘壤 Clayloam	重粘壤 Heavy clayloam	重粘壤 Heavy clayloam	重粘壤 Heavy clayloam

注: 1. 速效磷⁽¹⁾为风干土测定。

2. 速效磷⁽²⁾为淹水种稻中期测定, 据万传斌资料。

Note: 1. Available P₂O₅⁽¹⁾—determined in air-dried soil.

2. Available P₂O₅⁽²⁾—determined in pot, rice planted.

溶液浸提后分别比色测定)。

每季作物分别测定籽实、秸秆、根茬(大豆还搜集落叶)的干物重和氮、磷含量。

二、研究结果

(一) 土壤养分含量与作物生长的关系

1. 土壤养分含量与作物产量的关系。五种水稻土第一季分别种植水稻、谷子、大豆的生长情况及产量均表现不一致。产量结果见表 2。

表 2 五种水稻土第一季三种作物的产量 (克/盆)
Table 2 Yields of first crops in five paddy soils (g/pot)

作 物 Crop		土壤代号 Soil No.				
		I	II	III	IV	V
水 稻 Rice	谷 粒 Grain	17.25	38.00	20.34	33.76	49.25
	秸 秆 Straw	17.58	41.03	21.38	32.07	54.78
	根 茬 Roots and stubble	5.08	10.20	6.72	6.98	9.28
	谷粒: 秸秆 Grain: Straw	0.981	0.926	0.951	1.053	0.899
	地上部: 地下部 Tops: Roots	6.87	7.74	6.21	9.50	11.2
谷 子 Millet	谷 粒 Grain	1.83	5.88	5.59	6.80	4.51
	秸 秆 Straw	1.35	5.38	7.74	5.44	3.36
	根 茬 Roots and stubble	0.43	1.04	1.82	1.28	0.84
	谷粒: 秸秆 Grain: Straw	1.36	1.09	0.722	1.25	1.34
	地上部: 地下部 Tops: Roots	7.39	10.8	7.32	9.56	9.37
大 豆 Soybean	豆 粒 Bean	4.61	9.36	11.37	11.20	5.32
	秸 秆 Straw	8.84	19.95	21.91	21.22	9.66
	叶 Leaf	11.98	25.00	35.29	29.73	16.00
	根 茬 Roots and stubble	10.00	18.80	14.75	13.02	7.65
	豆: 秸秆+叶 Bean: Straw + leaf	0.196	0.183	0.179	0.194	0.185
	地上部: 地下部 Tops: Roots	3.33	3.22	5.08	5.30	4.36

五种水稻土上稻谷产量的顺序为: V > II > IV > III > I。谷子产量的顺序为: IV > II > III > V > I。大豆产量的顺序为: III > IV > II > V > I。可见土壤生产力在不同作物上的表现是很不一致的。本试验中,青泥土的水稻产量最高,而谷子和大豆的产量则很低。马干土的水稻产量较低,谷子产量中等,但大豆产量最高。只有板浆白土上三种作物的产量均居末位。此外,不同土壤上同一作物的籽粒与秸秆的比值,地上部与地下部干物重的比值也是不一样的。这说明不同的土壤肥力对于作物产量(包括经济产量和生

物产量)产生的不同后果。

我们计算了在本试验中加以研究的几项土壤养分含量与三种作物产量的相关系数。尽管在土壤矿化氮与稻谷产量之间,在土壤速效磷与谷子、大豆产量之间存在一定的相关性,但都达不到统计上的显著程度,这似乎表明作物产量是由多种因素决定的,而单一的土壤养分含量与作物产量之间很难找到显著的相关性,但可能也与标本极少有关。

2. 作物养分组成与土壤养分含量的相关性。土壤对作物的影响,除产量外还可能表现在养分的含量上。但是,相关统计表明,只有稻根含磷量与土壤速效磷相关极显著($r = 0.97^{**}$, $P < 0.01$)。大豆的氮、磷含量与土壤氮、磷含量的相关性远不如水稻,谷子

表 3 三季作物的产量结果 (克/盆)
Table 3 Total yield of three crops (g/pot)

土壤代号 Soil No.	第 一 季 1st crop			第二季: 元麦 2nd crop: barley Dry wt. of tops	第三季: 水稻 3rd crop: rice		三季作物地上 部干物总重 Sum of dry wt. of 3 crops (tops)
	作 物 Crop	籽 粒 Grain	地上部干物重 Dry wt. of tops		籽 粒 Grain	地上部干物重 Dry wt. of tops	
I	水 稻 Rice	17.25	34.83	4.38	9.80	21.26	60.47
	谷 子 Millet	1.83	3.18	5.94	9.41	21.27	30.39
	大 豆 Soybean	4.64	38.33	1.26	19.35	39.08	78.67
II	水 稻 Rice	38.00	78.03	6.49	10.63	23.82	108.34
	谷 子 Millet	5.88	11.26	9.34	16.35	32.08	52.68
	大 豆 Soybean	9.36	79.19	2.39	25.72	52.07	133.65
III	水 稻 Rice	20.34	41.72	7.39	14.52	30.29	79.40
	谷 子 Millet	5.59	13.33	8.83	14.36	31.57	53.73
	大 豆 Soybean	11.37	89.76	7.96	22.75	53.32	151.04
IV	水 稻 Rice	33.76	65.83	6.83	14.13	29.44	102.10
	谷 子 Millet	6.80	12.24	10.58	12.70	30.67	53.49
	大 豆 Soybean	11.20	81.88	3.68	26.25	52.15	137.71
V	水 稻 Rice	49.25	104.03	1.68	9.05	18.45	124.16
	谷 子 Millet	4.51	7.87	9.62	10.73	22.45	39.94
	大 豆 Soybean	5.33	42.04	3.36	15.30	29.50	74.90

则更差。由此看来,土壤养分含量对于作物氮、磷含量可能产生一定影响,而这种影响也和对于作物产量的影响一样,是相当复杂的。

再补充一个有趣的事实。本试验所用的谷种自徐州引进,其全氮为 1.71%、全磷为 0.81%。但在本试验所收获的谷子中全氮为 1.50—2.14%, 平均值 1.88%; 全磷 0.57—0.73%, 平均值 0.63%。即含氮率提高了,而含磷率则降低了。这说明在作物引种过程中,由于环境条件的改变,作物收获物的养分含量也可能发生一定的变化。

(二) 不同作物轮换种植的效果及其与土壤类型的关系

在五种水稻土上设计了三种不同的轮作方式: 稻—麦—稻, 谷—麦—稻, 豆—麦—稻, 三季作物的产量结果列于表 3。第一季种植稻、谷、豆的结果已经讨论过,第二季元麦因冻害而生长发育不良,现着重讨论第三季水稻的试验结果。

稻—麦—稻轮种方式中第三季水稻的产量与第一季水稻很不一致。第三季的产量普遍降低,原来产量高的青泥土、乌白土、乌栅土降低得更多。青泥土甚至低于板浆白土,由原来的首位降到了末位。这种变化可以从两方面来解释。首先,第一季水稻产量充分反映了干土效应,而干土效应在腐殖质含量高的沼泽土上最为强烈^[1]。第三季种植未经干土处理,情况也就不同了。其次,在不施肥条件下,经过稻麦两季收获后,土壤的有效肥力大大降低。青泥土是没有很好熟化的土壤,乌白土是仅经过短期培肥的土壤,它们在第一季虽然都表现出较高的有效肥力,但经不起两季作物的消耗,因而第三季的产量也就大幅度下降。而乌干土和乌栅土是经过多年培肥的土壤,其肥力较为稳长,第一季产量虽不突出,

表 4 第一季种植的氮素平衡帐 (N 毫克/盆)

Table 4 The N balance sheet in 1st crop (N mg/pot)

作物 Crop	土壤代号 Soil No.	收获物含氮量 N uptake by crop	种苗带入氮量 N added from seed or seedling	净消耗氮量 Net N consum- ption by crop	土壤氮增减 Change of N in soil	差 值 Balance*
水 稻 Rice	I	316	15	301	-170	+131
	II	695	15	680	-290	+390
	III	390	15	375	-50	+325
	IV	583	15	568	-390	+178
	V	849	15	834	-400	+434
谷 子 Millet	I	57	1	56	-50	+6
	II	167	1	166	-290	+124
	III	149	1	148	-50	+98
	IV	192	1	191	-280	-89
	V	150	1	149	-60	-311
大 豆 Soybean	I	744	29	715	0	+715
	II	1488	29	1459	+130	+1589
	III	1828	29	1799	+350	+2149
	IV	1619	29	1590	+170	+1760
	V	792	29	763	+60	+823

* 注: 由于根茬(大豆还包括叶子)归还土壤,故未计入收支双方。

Note: Since roots and stubble (including leaves of soybean) returned to soil, they are not accounted in balance.

第三季产量却上升为第一、二位。

谷一麦一稻轮种方式下的水稻产量与以上相近,但由于谷子产量远低于水稻,对地力的消耗也小,因而第三季的产量较稻一麦一稻的第三季产量略高一些。

豆一麦一稻轮种方式下的水稻产量比以上两者增长一倍左右,表明了种植大豆对后作水稻的有利影响。这对于实际生产是很有意义的。

从三季作物总产来看,尽管籽粒产量,即经济产量以稻一麦一稻为最高,这主要是由于水稻的丰产性能及其谷草比例较高所造成,但以地上部干物质总量,即生物学产量来比较,却以豆一麦一稻最高(青泥土由于大豆生长太差而例外)。

对于不同轮种方式下作物的氮、磷组成也进行了分析,但未看出什么规律性。

(三) 种植不同作物对土壤肥力的影响

1. 全氮和有机质的变化。土壤在试验前后的全氮及有机质均作过仔细的分析。第一季收获后,土壤全氮及有机质的变化趋势是:稻茬及谷茬均略有减少,而豆茬则有所增加。第三季收获后,这种差异相当明显,由于第一季收获后将豆叶归还土中,增加的氮量相当可观。

根据以上的分析结果,进行了概略的氮素平衡计算,从中可看出一定的趋势,第一季种植的计算结果列于表4。作物体中总含氮量(细根因无法拣出而未计入)减去随作物种苗带入的氮,即为净消耗氮。此值与土壤在种植前后全氮量的变化并不相等。从供试的五种土壤的共同趋势来看,种大豆的处理,氮素平衡帐中出现明显的正值,种水稻者,虽也都为正值,但比之大豆处理则要少得多,种谷子的处理,则似乎并无明显的增加或减少。这

表5 三季种植的氮素平衡帐 (N 毫克/盆)
Table 5 N balance sheet in three crops (N mg/pot)

作物轮换 Rotation of crops	土壤 代号 Soil No.	收获物含氮量 N uptake by crop				施入氮量 Added N		净消耗氮量 Net N consumption by crop	土壤氮增减 Change of N in soil	差值 Balance
		第一季 1st crop	第二季 2nd crop	第三季 3rd crop	合计 Sum	种 苗 Seed or seedling	化 肥 Fertilizer			
稻一麦一稻 Rice—bar- ley—rice	I	284	104	168	556	36	208	312	-60	+252
	II	623	124	199	946	36	208	702	-350	+352
	III	347	76	230	653	36	208	409	-50	+359
	IV	530	120	241	891	36	208	647	+60	+707
	V	779	45	149	973	36	208	729	-560	+169
谷一麦一稻 Millet— barley— rice	I	53	122	177	352	21	208	123	+120	+243
	II	158	134	252	544	21	208	315	-350	-35
	III	138	111	239	488	21	208	259	-220	+39
	IV	181	152	251	584	21	208	355	-390	-35
	V	142	143	163	448	21	208	219	-560	-341
豆一麦一稻 Soybean— barley— rice	I	422	16	310	748	50	208	490	+1000	+1490
	II	846	67	395	1308	50	208	1050	+420	+1470
	III	948	101	439	1488	50	208	1230	+640	+1870
	IV	1005	85	404	1494	50	208	1236	+670	+1906
	V	444	83	212	729	50	208	471	+640	+1111

些现象是不难理解的,稻田的固氮作用比旱作土壤中的要强烈。种大豆期间的大量氮素补给,则无疑是由于共生固氮作用的结果。

三季种植后的氮素平衡帐(表5)进一步证实了上述趋势。

2. 土壤其它性状的变化。经过三季作物种植后,土壤碱解氮、矿化氮、呼吸力均大幅度下降,在不同土壤和不同作物茬口之间没有明显差异。说明在不施肥条件下,反映土壤有效肥力的这几项指标,均随着作物利用而迅速降低。速效磷的变化则不大,这一点与速效氮很不相同。

三、讨 论

1. 土壤肥力是土壤满足植物生长需要的能力。从养分的角度可分为潜在肥力和有效潜力两个概念。这两者可能是一致的,也可能是不一致的。以本研究的对象为例:乌栅土为冲积——湖积母质,又经多年精耕细作培育,潜在肥力及有效肥力均较高。其肥力较稳长,适种作物较广,四种作物均能获较高产量,三季种植的产量也较稳定,属于稳产高产土壤肥力类型。马干土为下蜀黄土母质,其熟化程度较高,肥力特点与乌栅土相近。不同之处在于磷的供应充足,但速效氮较差,故第一季种植中水稻产量不高,而大豆产量最高,第三季产量则跃升前列。乌白土是经过短期熟化形成的土壤,潜在肥力不高,但有效肥力尚可,第一季稻、谷产量均高,而由于磷的供应不足,大豆产量不高,第三季产量则急剧下降,表明其肥力猛短而不稳长。青泥土是沼泽型土壤,潜在肥力虽高但熟化程度低,有效肥力不高,适种作物也有很大局限性,第一季在干土情况下,暂时释放出一部分有效氮,水稻产量得居首位,但第三季却降为末位,谷子和大豆的产量均不高,它属于一种有障碍因素但具有潜力的土壤。至于板浆白土则潜在肥力和有效肥力均低,属于低产土壤^[2,3]。查明各个土壤的潜在肥力及有效肥力的不同特点,对于因土种植、管理和改良是很有帮助的。

2. 由于不同作物对土壤肥力的要求不同,因而很难找到一个普遍适用的土壤肥力指标。而在制定土壤的综合肥力指标时,可能要选取在该土壤上最普遍种植的几种主要作物的肥力指标,以适当的数学形式表达出来,这当是一个相当复杂的问题。

3. 众所周知,各种土壤有其不同的作物适种性,通称为“土宜”。此外,土壤肥力也同样影响到作物的品质。如某种土壤上生产的稻米糯软可口,某种土壤上生产的果品风味特佳,某种土壤上生产的药材效力最好等。这些都具有更加深刻的內容,需要进一步研究。

4. 生产实践早已明确因土轮作的重要作用,如水田较旱地利用易于保持土壤肥力,种植豆科作物能增进土壤肥力^[4]。土壤工作者在这方面还有许多工作要做。

参 考 文 献

- [1] 沈梓培等, 1959: 水稻土晒干措施的增产效果及其与土壤性质的关系。土壤学报, 第7卷3—4期, 124—134页。
- [2] 袁从祚等, 1963: 板浆白土的肥力条件与施用磷肥的关系。江苏农学报, 第2卷4期, 105—113页。
- [3] 袁从祚等, 1963: 板浆白土的改良途径。中国农业科学, 第8期, 44—48页。
- [4] Virtanen, A. J., et. al. 1958: The quantitative determination of molecular nitrogen fixed by pea plants in pot cultures and in field experiments. Acta Chem. Fenn. B31, 98—102.

THE FERTILITY OF FIVE PADDY SOILS IN RELATION TO THE GROWTH OF CROPS IN THE SOUTHERN PART OF JIANGSU PROVINCE

Yuan Cong-yi, Bai Gang-yi and Sun Geng-yin
(*Agricultural Academy of Jiangsu Province*)

Summary

Studies on the interrelation between soil fertility and crop growth of five paddy soils collected from the southern part of Jiangsu province were conducted in pot experiment. Rice, millet and soybean were used as first crop, each followed by bare—barley as the second crop, and the third crop was rice.

The result obtained indicated that potential fertility of soils quite differed from their available fertility, and each soil had their own characteristics.

Even though the yields of three crops were not only correlated with total nitrogen, alkali-hydrolyzable nitrogen, mineralizable nitrogen or available phosphorus content in soils, but also with the nitrogen content or phosphorus content in those plants to some extent, the results obtained were not significant statistically. Thus it seems that the yields of crops or nutrient composition of plants were determined by many factors.

Nitrogen balance sheet showed that the amount of uptake by plant at harvest time was not equal to the consumption in soil. For rice, a difference ranged from +131 to +434 mg. N/6 kg. soil, indicating an increase of N from additional sources. As for millet, the difference value varied from -311 to +98 mg. N/6 kg. soil, indicating N-loss through some ways unknown. The difference value for soybean was +715 to +2149 mg. N/6 kg. soil, and this case was undoubtedly due to the symbiotic N-fixation.

Among the multiple cropping system, the rice—barley—rice gave the highest economic output; the soybean—barley—rice showed the highest biomass production; while the millet—barley—rice had the lowest in both economic value and yield.