

苏南稻麦两熟制下土壤养分平衡与培肥的长期试验

曹志洪 朱永官 廖海秋 吴留松

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

在中国科学院常熟生态农业试验站进行的稻麦两熟制下的土壤养分平衡与培肥长期试验结果表明,不施肥的土壤养分逐年亏缺,稻麦产量低;施适量氮磷钾化肥的土壤产量尚未见受影响,土壤有机质略有提高,养分稍有盈余;在施适量氮磷钾化肥基础上再施适量秸秆的土壤,其有机质含量明显提高,养分盈余较多,土壤肥力有望不断改善。

随着人口的增长和农村城镇化的日益发展,非农用地占有量与日俱增,耕地数量锐减。据不完全统计,江苏省过去 45 年每年减少耕地 25—30 万亩左右,人均耕地从 1949 年的 2.4 亩下降到 1993 年的 0.98 亩,人地矛盾更加突出,乡镇工业发达的太湖流域(人均耕地 0.6 亩左右)尤其如此。由于可垦荒地很少,复垦面积有限,因此保护基本农田、维护和增加地力,提高单位面积产量便成为缓解人口—土地—粮食矛盾的主要出路。过度的土地利用,消耗了土壤有机质和矿质养分,破坏了土壤结构,导致地力衰退。因此,要保持土壤具有较高的肥力水平和持续的生产力,必须实行有机—无机肥的配合施用和合理的耕作管理。水稻是高产作物,对土壤养分的需求高。据估计,每生产 1000 千克稻谷,大约需要吸收氮(N)19 千克,磷(P_2O_5)10 千克和钾(K_2O)28 千克^[1]。由此可见,合理施肥和不断提高土壤肥力是以稻作为基础的土壤生态系统建设中的最主要的工程^[2,3]。

太湖流域是我国主要稻作区之一^[4]。70 年代末至 80 年代初,通过对长江下游耕作制度的讨论,逐渐淘汰了以“双三制”(麦—稻—稻)为主的不尽合理的种植制度,恢复和发展了“麦—稻”两熟为主的耕作制,从而适应了本区域的自然生态条件及社会发展状况^[3]。农村的部分劳动力,也得以从事乡镇工业及其他副业生产,使苏南经济实现了腾飞。例如,无锡县农村原来从事粮食生产的劳动力约占全部劳动力的 80%,恢复两熟制后下降到 20%,该县的工农业总产值 1992 年已达到 345 亿元,其中乡镇工业占 303 亿元;同年,江苏省苏州市工农业总产值达 1200 亿元,乡镇工业占 90%左右,但粮食的单产和总产都创造了历史最好水平。

表 1 供试土壤基本性质

处 理	pH (H_2O)	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	速效钾 (K_2O , mg/kg)	速效磷 (P_2O_5 , mg/kg)	水解氮 (mg/kg)	$CaCO_3$ (g/kg)	CEC (cmol/kg)
对照	8.09	34.0	1.98	92.0	5.67	115	5.5	19.6
NPK	8.05	35.9	2.02	93.7	5.43	122	5.4	20.2
NPK +1504 克稻草	7.95	37.3	2.03	96.7	4.73	118	4.7	20.1
NPK +3004 克稻草	7.92	36.7	2.10	94.7	6.53	113	3.7	20.1

农业劳动力投入的下降,农业现代化水平的大大提高,以稻麦两熟为主的规模经营和较高的农业集约化,是苏南农业持续发展的模式,长期观察和研究“稻麦两熟制”对土壤培肥和养分平衡的影响,便具有十分重要的科学价值和现实意义。

一、试验条件和方法

- (一)供试土壤 试验在江苏省常熟市中国科学院常熟农业生态试验站进行。供试土壤为泻湖相淀积物发育的乌栅土,基本性质见表 1。
- (二)自然条件 该区在北亚热带向南温带过渡地区,年日照数为 2202.9 小时,年太阳辐射总量为 118 千卡/cm²,年降雨量为 1000—1100mm。夏季炎热多雨,冬季寒冷且相对湿度较低。≥10℃的积温 4500℃。
- (三)试验设计 试验采用田间微区随区组法,小区面积为 20m²。小区之间用水泥板隔离。共设 4 个处理,分别为 1)对照 2)NPK 3)NPK+稻草 150 千克 4)NPK+稻草 300 千克,所有处理重复 3 次。N、P 和 K 的用量分别为 8、5 和 10 千克/亩,肥料品种为尿素,过磷酸钙和氯化钾,其中尿素 2/3 基施,1/3 作分蘖肥追施,耕作制为小麦和水稻的一年两熟轮作制,每季作物收获后记录产量,并按常规分析土壤和植株地上部分的 N、P、K 含量。有机质腐解试验采用砂滤管法,定期分析残留碳,并计算不同物料的腐殖化系数。

二、试验结果

(一)土壤有机质的消长状况 土壤有机质是决定土壤肥力水平高低的重要因素之一,通常水稻所吸收的氮素中约 45—50%来自土壤有机质,土壤中很大一部分磷素也存在于有机质中。土壤有机质是处于动态平衡之中,其含量决定于每年的形成和分解量的相对大小。田间试验表明,腐解 1 年后,9 种供试有机物料的腐殖化系数变动在 0.24—0.45 之间(表 2)。就一个特定地区的土壤而言,其有机物料的腐殖化系数主要决定于有机质的化学组成。由表 2 可以看出,稻根和麦根的腐殖化系数较高,这与植物地下部分的木质素含量较高有关。据测定,麦秆和麦根的平均木质素含量为 14.8%和 19.1%;稻秆和稻根的平均木质素含量为 12.4%和 17.8%^[5]。此外,猪粪是常见的农家有机肥料,其腐殖化系数也较高,对提高土壤有机质含量有较大的作用。

田间微区试验结果表明,经过 3 年施肥后,土壤有机质含量均有不同程度的提高(表 3)。单施化肥的处理,由于增加了水稻和小麦的根系生物量,明显的提高了土壤有机质含量。亩施稻草 150 千克和 300 千克,对土壤有机质的提高其效果主要是在今后的长期试验中表现出

表 2 不同有机物料的腐殖化系数*

有机物料	腐殖化系数
玉米秆	0.27
田 菁	0.33
稻 草	0.24
紫云英	0.24
麦 根	0.45
稻 根	0.43
麦 秆	0.27
猪 粪	0.44
人 粪	0.33

* 将砂滤管加入不同物料埋在水田里,定期测定植物残体。

表 3 施肥对土壤有机质含量的影响

处理	本底土壤	处理 3 年后	增加
	有机质	土壤有机质	
	g/kg		
无肥区	34.0	37.2	3.2
Npk	35.9	37.4	1.5
Npk+150 千克稻草	37.7	38.4	0.7
NPK+300 千克稻草	36.7	38.3	1.6

来^[8]。

(二)有机—无机肥配施的增产效应 田间微区试验结果表明,有机(稻草)—无机肥配施可以促进水稻和小麦的生长。表 4 结果表明,稻草处理区的产量比对照区增产 15% 以上。小麦增产 20% 以上。相关分析表明,土壤养分投入量与水稻、小麦的产量呈极显著正相关,相关方程如下(式中 y 为产量,x 为养分投入量)。小麦秸秆: $y=532.9+6.4x$ $r=0.9997^{**}$, $n=4$;小麦籽粒: $y=685.0+2.9x$ $r=0.9921^{**}$, $n=4$;小麦稻秸秆: $y=1279.2+6.6x$, $r=0.9953^{**}$, $n=4$;小稻籽粒: $y=1133.6+3.8x$, $r=0.9984^{**}$, $n=4$ 。

表 4 稻草—无机肥配施对作物产量的影响(kg/亩)

	处 理	3 年平均产量		谷粒比对照增产	
		秸秆	谷粒	(公斤/亩)	%
小 麦	对照	673	705	—	—
	NPK	871	822	39.3	16.7
	NPK+150 千克稻草	895	852	49.1	20.9
	NPK+300 千克稻草	909	862	52.5	22.3
水 稻	对照	1320	1158	—	—
	NPK	1643	1332	57.9	15.0
	NPK+150 千克稻草	1628	1338	60.0	15.5
	NPK+300 千克稻草	1674	1365	68.8	17.8

作物秸秆和籽实中的养分水平受控于土壤养分状况。因此施肥对水稻和小麦地上部养分含量的影响是十分明显的。表 5 列出了 1993 年各处理下水稻及小麦地上部养分的平均含量。从表中可以看出:施肥处理的水稻和小麦地上部分 N、P、K 的含量比不施肥明显提高,表明在无肥情况下,土壤中的养分难以满足作物生长的需要。

表 5 施肥对水稻、小麦地上部养分含量的影响(g/kg)

处 理	水稻茎秆			水稻籽实			小麦茎秆			小麦籽实		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
对 照	5.0	0.6	1.3	12.5	3.5	2.2	2.7	1.1	1.3	1.9	8.2	4.0
NPK	6.3	1.3	1.9	13.6	5.5	2.8	4.1	1.2	1.6	2.2	9.2	4.4
NPK+150 千克稻草	6.6	1.4	2.0	14.1	5.7	2.8	4.1	1.2	1.6	2.1	8.9	4.3
NPK+300 千克稻草	5.9	1.3	1.9	14.2	5.4	2.8	4.0	1.2	1.7	2.2	9.6	4.5

(三)土壤养分平衡 土壤养分平衡是指单位面积土壤在一定时间内矿质养分的输入与输出之平衡。表 6 列出了不同处理下水稻和小麦每年从土壤中携出的氮、磷和钾的数量(以 1992 年和 1993 年两年为例)。结果表明,由于施肥增加了作物产量,养分的携出量随之增加。从表上还可以看出,籽粒中含有较多的 N 和 P,而 K 则主要集中在秸秆中。这一情况表明,秸秆还田在调节土壤钾素平衡上有着重要作用。

为了掌握土壤在利用过程中肥力变化的情况,了解不同轮作和施肥水平下土壤养分的平衡是极其重要的。表 7 是试验第 3 年第 6 季水稻收获后,土壤中养分的含量状况。数据表明,施肥区比对照土壤肥力有所提高,而有机—无机配合的作用主要体现在有机质,速效钾和缓效钾含量较高,从另一个侧面反映了秸秆还田对土壤有机质和钾素平衡的重要性,根据土壤每年

表 6 水稻和小麦每年从土壤中携出的养分数量(千克/亩) (1992 年)

处 理	水 稻						小 麦					
	N		P		K		N		P		K	
	S	G**	S	G	S	G	S	G	S	G	S	G
对 照	2.14	5.12	0.42	1.68	6.28	1.06	0.49	3.80	0.10	1.56	3.73	1.09
NPK	3.47	5.95	0.99	2.76	8.52	1.52	0.77	5.26	0.20	2.22	5.76	1.58
NPK+150 千克稻草	3.38	5.94	1.04	2.92	8.92	1.62	0.72	5.58	0.24	2.44	5.43	1.60
NPK+300 千克稻草	3.73	6.13	0.84	2.65	9.73	1.48	0.68	5.47	0.20	2.30	5.36	1.54
(1993 年)												
对 照	1.18	2.94	0.15	0.81	3.10	0.53	0.54	3.40	0.21	1.50	2.62	0.74
NPK	2.66	4.61	0.53	1.88	7.81	0.96	1.53	5.48	0.46	2.30	5.84	1.11
NPK+150 千克稻草	3.04	4.90	0.64	1.98	9.15	0.98	1.50	5.48	0.44	2.30	5.93	1.11
NPK+300 千克稻草	2.86	5.12	0.63	1.95	9.03	1.00	1.51	5.78	0.44	2.50	6.42	1.18

S* = 秸秆 G** = 籽粒

表 7 第六季水稻收获后土壤养分含量 (1993 年)

处 理	有机质	全氮	速效磷	速效钾	缓效钾	全磷	全钾
	g/kg		mg/kg		g/kg		
对 照	37.2	1.98	12.3	98.2	525	1.32	19.3
NPK	37.4	2.21	19.7	116	610	1.58	20.0
NPK+150 千克稻草	38.4	2.25	23.0	123	612	1.49	19.3
NPK+300 千克稻草	38.3	2.22	20.3	140	655	1.45	18.7

表 8 稻麦轮作制下土壤养分平衡概况(kg/亩)*

处 理		对照	NPK	NPK+150 千克稻草	NPK+300 千克稻草
N	收入项	4.1	20.1	21.0	21.9
	支出项	12.4	16.3	16.5	16.9
	盈 亏	-8.29	3.81	4.54	5.05
P	收入项	0	10	10.3	10.5
	支出项	3.76	6.17	6.64	5.99
	盈 亏	-3.76	3.83	3.63	4.55
K	收入项	2.22	22.2	24.6	27.0
	支出项	13.3	18.5	18.7	19.2
	盈 亏	-11.0	3.75	5.92	7.8

* 化学氮肥的利用率按 50%计, 秸秆还田氮素损失忽略不计。

收入和支出的养分数量,可算出不同处理下土壤养分的平衡概况(表 8)。从表中可以看出在不施肥情况下,土壤养分等严重亏缺状态,有机一无机肥的合理配施均可使土壤养分出现盈余。值得指出的是,有机一无机肥料施入土壤后,其中残留的养分都将经历一系列的形态转化过程。因此研究养分的转化机制,区分各种形态的数量,对于长期试验中研究养分平衡和土壤肥力的变化是至关重要的。

(下转第 93 页)

参 考 文 献

- [1] Vicente Gentil, 11th International Corrosion Congress, Proceedings 5: (5)163~166, 1990.
- [2] W. V. 贝克曼, W. 施文克著(胡士信等译), 阴极保护手册, 人民邮电出版社, 1990.
- [3] 徐乃欣, 腐蚀与防护, 10(1): 19~23, 1989.
- [4] 沈行素等, 中国腐蚀与防护学报, 3(1): 16~20, 1983.

~~~~~  
(上接第 63 页)

## 三、讨 论

太湖流域地处长江中下游经济发达带,是我国农村城镇化程度较高的地区之一。该区的农业生产一直处在全国的重要位置,近年来,由于土壤的粗放经营和非农业耕地占有的增加,土壤肥力有退化趋势,农业生产也出现了一定程度的萎缩现象。如何协调农业经营与乡镇企业发展,如何保护基本农田及维持和提高可耕地肥力水平,已日益受到许多有识之士的关注。本项田间试验的结果再次清楚地表明,土壤种植作物显著地降低了土壤肥力水平和消耗土壤有机质,若在实际生产中不注意土地的用养结合,土壤理化性质的恶化和土壤肥力贫瘠化将是在所难免的。

土壤始终是农业生产的基础,土壤肥力的提高和维持是农业持续发展的关键。从土壤—植物系统中养分循环的特点来看,如果把地上部分的收获物全部携出,单纯依靠作物根系以及土壤微生物等的残体,是无法补偿土壤肥力的下降和有机质的消耗的,因为在这一过程中养分的损失是不可避免的。本试验的研究结果表明,稻麦两熟轮作制下,化肥加秸秆粉碎还田(有机—无机肥的配合施用)可以有效地促进土壤养分的积累,维持土壤有机质的平衡,并且增加作物的产量。因此,必须尽可能增施有机肥和提倡秸秆返田,同时也要合理、平衡地施用化肥,两者缺一不可。土壤有机质与作物高产和稳定关系密切,它是生态系统中碳素循环的中间环节,又是植物养分的来源之一。本项研究还表明,使用化肥可以增加根系生物量,从而增加土壤有机质的贮量。有机—无机肥料的配合施用是合理利用资源,更好地保持和提高土壤肥力的施肥制度。此外,有机肥料与化学氮肥的配合施用可协调化学氮肥的供肥过程,减少氮素损失,提高氮肥的利用率。

## 参 考 文 献

- [1] 鲁如坤, 农业化学手册, 科学出版社, 1982.
- [4] 徐 琪, 中国太湖地区水稻土, 上海科技出版社, 1980.
- [2] 熊 毅, 对苏南地区耕作制度的看法与建议, 人民日报, 1月13日, 1979.
- [3] 曹志洪, Rice based Ecological Agriculture Systems in Tai Lake Valley China. Proceeding, International Symposium on Paddy Soil September 15—19, 1990.
- [5] 林心雄, 绿肥和藁秆等在苏南地区土壤中的分解特征, 土壤学报, 17(4): 319—327, 1980.
- [6] Oluf Chr. Bockman et al; Agriculture and Fertilizers, Chapter Soil organic matter in pages 98—103. published by: Agro. Group Norsk Hydne as Oslo Norway, 1990.