

麦-稻两熟集约生产土壤养分平衡与调控研究

庄恒扬¹, 曹卫星¹, 沈新平², 陆建飞²

(1. 南京农业大学农学系, 南京 210095; 2. 扬州大学农学院农学系, 扬州 225009)

摘要:以兴化市钓鱼乡为例, 研究了麦-稻两熟集约生产的土壤有机质、养分的动态平衡以及调控途径。结果表明, 在不同管理模式, 高产农田有机物归还量比一般产量条件下高 14.22%~18.69%, 氮、磷盈余量、钾亏缺量分别为 380.0~432 kg/hm²、19.15~32.78 kg/hm²、99.1~174.0 kg/hm², 与一般产量条件下比较, 氮、磷盈余量提高, 而钾的亏缺量相近。提出了改善高产农田土壤肥力的主要措施。

关键词:集约生产; 麦-稻两熟; 养分平衡; 秸秆还田

Soil nutrient balance and adjustment under intensive wheat-rice double cropping

ZHUANG Heng-Yang¹, CAO Wei-Xing¹, SHEN Xin-Ping², LU Jian-Fei² (1. Department of Agron., Nanjing Agric. University, Nanjing 210095, China; 2. Department of Agron., Agric. College, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: Balance and adjustment of soil organic matter and nutrients under intensive wheat-rice double cropping were studied in Lixiahe region of Jiangsu Province. The results showed that the amount of returned organic material in high yielding fields is 14.22%~18.69% higher than that in normal yielding fields. N and P surpluses and K deficits in the soils under high yielding were 380.0~432.0 kg/hm², 19.15~32.78 kg/hm² and 99.1~174.0 kg/hm², respectively, N and P surplus being higher than and K deficit being about the same as those under medium yielding. Some key measures to improve soil fertility under intensive cropping conditions were suggested.

Key words: intensive cropping; wheat-rice double cropping; nutrient balance; straw manure

文章编号: 1000-0933(2000)05-0766-05 中图分类号: S154.1, S158 文献标识码: A

随着人口的增加和耕地的减少, 为满足人民的食物供应和生活水平进一步提高的要求, 必须不断地提高土地生产力。不断提高作物单产, 是实现这一目标的主要途径。作物高产是土壤、气候、栽培技术综合作用的结果。土壤肥力是高产的基础, 反过来在作物产量递增进程中, 土壤肥力也会发生一些变化^[1~3]。能否保持土壤生产力, 是作物生产可持续性的重要方面^[4], 本文对此作了初步探讨。

1 材料与方法

试验与调查在江苏兴化市钓鱼乡进行。所用品种小麦为扬麦 158, 由江苏里下河农业科学研究所育成, 水稻为常规粳稻品种 9516, 由江苏武进市农业科学研究所育成。

1.1 不同产量水平养分分投、土壤肥力测定

采用大田调查比较的方法。在麦-稻两熟高产示范田, 附近品种相同的一般大田各选定不同产量水平田各 5 块, 记载肥料投入的种类、数量、施肥时期。在成熟期测产、考种, 测定人工收割与机械收割的留茬量、秸秆归还量, 分籽粒与秸秆两部分测定氮、磷、钾含量。取 0~18cm 土层土样, 测定土壤有机质、全氮、速

基金项目: 国家计委“主要农作物超高产及其配套技术开发应用研究”项目。

收稿日期: 1998-09-26; 修订日期: 1999-07-27

试验与调查工作得到兴化市钓鱼乡农技站的大力支持, 谨致谢忱。

作者简介: 庄恒扬 (1957~), 男, 江苏泗阳人, 在读博士, 副教授。主要从事农田养分优化管理与农业生态工程研究。

效氮、磷、钾含量。植株与土壤养分测定均采用常规方法。

1.2 不同秸秆归还方式试验

在兴化市钓鱼乡高产田,设立:①小麦人工收割低留茬(留茬 5cm);②小麦机械收割留高茬(留茬 25cm);③小麦机械收割,秸秆全量还田 3 个处理,进行大区比较试验,观察水稻生育状况,测产并进行土壤肥力测定。

1.3 土壤有机质与土壤养分平衡分析

土壤有机质年平衡=有机物年归还量×腐殖化系数-耕层土壤有机质量×有机质年矿化率
土壤有机质动态模拟,采用刘多森等^[5]提出的方法:

$$OM_t=C_0e^{-kt}+X_t$$
$$X_t=\frac{(\varphi-\varphi^{t+1})}{1-\varphi}\cdot X_0;\quad \varphi=e^{-k};\quad X_0=\frac{R\cdot U}{W}$$

式中, t 为时间(a); OM_t 为第 t 年后的土壤有机质含量; C_0 为开始时土壤有机质含量; k 为土壤有机质年矿化率,取 0.045; X_t 为 t 年内由于人工归还有机物形成的土壤有机质含量; R 为每年有机物归还量; U 为有机物腐殖化系数,取 0.25^[6]; W 为土重,计算时耕层厚度取 18cm,容量取 1.35g/cm³^[7]。

土壤养分平衡=养分投入量-作物养分吸收量

2 结果与分析

2.1 不同产量水平土壤有机质的平衡与动态模拟

2.1.1 土壤有机质的年平衡 土壤有机质的归还途径主要是施用农家肥与秸秆还田。秸秆还田可分为自然归还(根茬、落叶、落花,在机械收获时还包括颖壳),人工归还(秸秆、饼粕等)。归还数量受到作物种类、产量水平与人工调控影响。同一作物生物量的分配随产量不同而变化。据测定,高产的经济系数比中高产有所提高,但相差不大,因此可根据平均经济系数与籽粒产量来估计非经济产品生物量。不同产量水平的生物量分配见表 1。据表 1,进一步分析不同归还模式的土壤有机质平衡(表 2)。从表 2 看出,不同模式的有机质归还量都随产量水平的提高而增加。高产与中高产水平相比,Ⅰ~Ⅴ等

表 1 同产量水平的生物量生产与分配 (kg/hm²)
Table 1 Partitioning of biomass under different yield levels

作物 Crop	产量 水平 Yield level	籽粒 Grain	茎叶			茬 Stubble	
			Culm and leaf	颖壳 Husk	根 Root	自然 留茬* Low cutting	高留 茬* High cutting
小麦 Wheat	高 产 ^①	7650	5661	1721	1071	1125	2540
	中高产 ^②	6750	4995	1518	945	992	2240
	中 产 ^③	5550	4170	1249	777	815	1841
水稻 Rice	高 产	10920	9934	—	2370	1310	3749
	中高产	9045	8231	—	1946	1085	3143
	中 产	8355	7603	—	1813	1003	2904

① High;②Fair;③Medium; * 自然留茬,指人工收割的留茬,高度约为 5cm;高留茬指机械收割的留茬,高度约为 25cm。生物量包含约 14%的自然含水量 For low cutting,crops are hand harvested with about 5cm-high stubble left and for high cutting,crops are machine harvested with 25cm-high stubble left. Biomass is dried weight.

5 种模式的有机质归还量分别增加 17.88%、18.69%、16.27%、17.20%、14.22%。在中高产条件下Ⅰ~Ⅴ等 5 种模式土壤有机质平衡值分别为-764、-313、-158、293、-372kg/hm²,第Ⅳ种模式大大盈余,而第Ⅱ、Ⅲ处理近于平衡,第Ⅰ、Ⅴ种模式有机质仍有较大的亏缺,说明对麦-稻两熟种植方式,即使在高产条件下,单靠有机物的自然归还和施少量有机肥,也不能保持土壤有机质的平衡。但在高产条件下,只要有一次实施机械收割留高茬还田,就可以维持土壤有机质的平衡。

2.1.2 土壤有机质的动态模拟 采用表 2 给出的基本参数对不同产量水平不同归还模式的土壤有机质进行动态模拟。3 种产量水平不同模式土壤有机质含量起点皆定为 17.0g/kg(高产田及当地大田测定平均值)。对于高产田,第Ⅰ~Ⅴ模式在 5a 后土壤有机质增减率分别为-6.4%、-0.71%、0.76%、6.53%、-2.35%;在中高产水平下,增减率分别为-8.57%、-3.71%、-2.11%、2.65%、-4.41%;在中产水平下增减分别为-9.88%、-5.47%、-4.65%、-0.17%、-5.7%。可见,土壤有机质平衡状况随产量水平的提高而改善

万方数据

2.2 不同产量水平的土壤养分平衡

在不同产量水平下的植株养分测定结果,小麦籽粒中氮、磷、钾含量有随产量提高而增加的趋势,高产、中高产、中产下籽粒含氮量分别为 21.45、20.45、19.96g/kg,含磷分别为 4.45、3.97、3.96g/kg。秸秆中,高产、中高产、中产下含氮分别为 4.26、4.34、4.80g/kg,含磷分别为 1.27、1.53、1.51g/kg,含钾分别为 20.00、22.19、17.90g/kg。对于水稻,高产的籽粒与秸秆中含氮、含钾与大田接近,但含磷量明显高于中产水平。由于中高产地测定样本较少,这个趋势有待进一步验证。

根据不同产量水平下的生物量与分配及各部分生物量的养分含量,计算得到不同产量水平的养分吸收量(表 3)。麦稻两熟高产下作物吸收氮、磷、钾量分别为 379.0、67.88、331.6kg/hm²,中高产下分别为 323.0、58.31、283.3kg/hm²,中产下分别为 283.4、50.42、247.6kg/hm²。由此进一步计算不同产量水平不同平衡模式的农田养分平衡(表 4)。高产田的化肥氮用量高达 759.0kg/hm²,总投氮量 750.0~811.0kg/hm²,氮素吸收效率 46.7%~49.93%,盈余量 380~432kg/hm²,5 种模式下,磷素皆有盈余,盈余量 19.15~32.78kg/hm²,钾素皆亏缺,亏缺量 99.1~174.0kg/hm²。在中高产水平下,氮素投入量 605.3~650.1kg/hm²,氮素吸收效率 49.69%~53.39%,盈余量在 282.0~326.8kg/hm² 之间,磷素在 5 种模式下皆为盈余,盈余量 3.07~16.70kg/hm²,钾素皆表现出亏缺,亏缺量在 107.2~173.3kg/hm²。由此看出,高产与中高产水平相比,氮素盈余量大大增加,吸收效率略有下降。磷素的平衡状况在高产下有所改善,而钾素在高产与中高产水平下皆严重亏缺,亏缺量相近。以上是不同产量水平下 5 种模式的分析结果,实际的总体效应则取决于 5 种模式在生产上采用的状况。调查表明,高产田的肥料投入表现出以下几个特点:①重视磷、钾肥施用。麦稻两季高效复合肥(15:15:15)施用量达 1200kg/hm²,而一般田只有 825kg/hm²,这是高产田磷素盈余较高的原因;②有机肥施用较普遍。在高产示范方上,施用猪厩肥的农户率达 78%,而一般大田只有 30%左右;③机械收割比例大,秸秆还田量大。所以,高产示范方的生产体系,较有利于土壤有机质累积与养分的平衡,从而对提高土壤肥力产生有利的影响。但高产田的氮素盈余量较大,可能增加氮素的淋失量,增加水体中的 NO₃⁻ 含量,对环境造成危害。

表 2 不同产量水平不同归还模式的土壤有机质平衡 (kg/hm²)

Table 2 Soil organic mttter budget under different yield levels and organic material returning models						
产量水平	项目	有机物归还模式 Organic material returning model				
Yield level	Item	I	II	III	IV	V
高产 High	有机物归还 ^①	5154	7333	7905	10084	6279
	新形成有机质 ^②	1288	1833	1976	2521	1681
	土壤有机质平衡 ^③	-570	-25	118	663	-177
中高产 Fair	有机物归还	4372	6178	6799	8604	5497
	新形成有机质	1093	1544	1699	2151	1486
	土壤有机质平衡	-764	-313	-158	293	-372
中产 Medium	有机物归还	3867	5534	5862	7530	4942
	新形成有机质	967	1383	1465	1882	1360
	土壤有机质平衡	-891	-475	-393	24	-498

① Returned organic material;②Newly formed O. M. ③Soil O. M. budget.; * 有机物归还模式 I:小麦、水稻人工收割,留茬 5cm;模式 II:小麦人工收割,水稻机械收割,留茬 25cm;模式 III:小麦机械收割,留茬 25cm,水稻人工收割;模式 IV:小麦、水稻机械收割;模式 V:小麦、水稻人工收割,年施优质猪厩肥 7500kg/hm²,含有机质 150g/kg,氮 6g/kg,磷 1.8g/kg,钾 3.3g/kg。Organic material returning model I:crops are hand harvested with 5cm-high stubble left;Model II:wheat is hand harvested with 5cm-high stubble left and rice is machine harvested with 25cm-high stubble left;Model III:wheat is machine harvested and rice is hand harvested;Model IV:Both are hand harvested;Model V:Both are hand harvested and pig manure of 7500kg/hm² is applied each year,which contains 150g/kg O. M.,6g/kg N,1.8 g/kg P and 3.3 g/kg K.

2.3 高产的土壤肥力与调控

2.3.1 高产的土壤肥力 不同产量水平下,由于投入水平与耕作栽培措施的不同,会对土壤肥力产生一定的影响,观测其数据需要较长时间的跟踪或定位试验。为此,在兴化钓鱼乡进行了原高产示范方(1997 年麦季及以前,该田作为高产示范田有 10 余年历史)与附近大田土壤肥力的对比测定,以近似地反映长期高

产栽培引起的土壤肥力变化(表 5)。5 块高产田有机质、全氮、速效氮、磷、钾平均含量分别为 16.74 g/kg、0.899g/kg、98.8mg/kg、12.80mg/kg、120.8mg/kg,高产田有机质、速效钾含量比大田略高,速效氮、速效磷与大田相近。

表 3 不同产量水平的养分吸收量 * (kg/hm²)
Table 3 Nutrient uptake by crops under different yield levels

产量水平 Yield level	作物 Crop	氮 N			磷 P			钾 K		
		籽粒	秸秆	总	籽粒	秸秆	总	籽粒	秸秆	总
		Grain	Straw	Total	Grain	Straw	Total	Grain	Straw	Total
高产 High	小麦 Wheat	138.8	28.9	167.7	29.18	9.28	38.46	28.3	129.8	157.8
	水稻 Rice	119.1	92.2	211.3	18.31	11.13	29.44	27.1	146.7	173.8
	合计 Sum	257.9	121.1	379.0	47.49	20.41	67.88	55.4	276.5	331.6
中高产 Fair	小麦 Wheat	122.4	25.5	147.9	25.75	8.17	33.92	24.9	114.5	139.4
	水稻 Rice	98.7	76.4	175.1	15.17	9.22	24.39	22.4	121.5	143.9
	合计 Sum	221.1	101.9	323.0	40.92	17.39	58.31	47.33	236.0	283.3
中产 Medium	小麦 Wheat	100.7	21.0	121.7	21.17	6.73	27.90	20.5	94.1	114.6
	水稻 Rice	91.1	70.6	161.7	14.00	8.52	22.52	20.8	122.1	133.0
	合计 Sum	191.8	91.6	283.4	35.20	15.25	50.42	41.3	206.3	247.6

* 不包括根系、茬 Root and stubble are not included

表 4 不同产量水平的农田养分平衡 * (kg/hm²)
Table 4 Soil nutrient balance under different yield levels

产量水平 Yield level	平衡模式 Balance model	化肥投入			有机肥与秸秆投入			平衡(投入-产出)		
		Fertilizer input			Manure and straw input			Balance(input-output)		
		氮 N	磷 P	钾 K	氮 N	磷 P	钾 K	氮 N	磷 P	钾 K
高产 High	I	759.0	87.03	157.5	0.0	0.00	0.0	380.0	19.15	−174.0
	II	759.0	87.03	157.5	35.9	4.63	56.7	415.9	2.78	−117.3
	III	759.0	87.03	157.5	16.7	5.35	74.9	396.7	24.50	−99.1
	IV	759.0	87.03	157.5	52.6	9.98	131.6	432.6	29.13	−42.4
	V	759.0	87.03	157.5	42.0	13.63	27.5	422.0	32.78	−146.5
中高产 Fair	I	605.3	61.38	110.6	0.0	0.00	0.0	282.0	3.07	−173.3
	II	605.3	61.38	10.6	30.1	3.89	47.7	312.1	6.96	−125.6
	III	605.3	61.38	110.6	14.7	4.72	66.1	296.7	7.79	−107.2
	IV	605.3	61.38	110.6	44.8	8.61	113.8	326.8	11.68	−59.5
	V	605.3	61.38	110.6	42.0	13.63	27.5	324.0	16.70	−145.5
中产 Medium	I	492.1	50.28	79.8	0.0	0.00	0.0	209.0	−0.14	−167.8
	II	492.1	50.28	79.8	27.8	3.59	44.0	236.8	3.45	−123.8
	III	492.1	50.28	79.8	12.1	3.98	54.3	221.1	3.84	−113.5
	IV	492.1	50.28	79.8	39.9	7.57	98.3	248.9	7.43	−69.5
	V	492.1	50.28	79.8	42.0	13.63	27.5	251.0	13.49	−140.3

* 产出与投入均不包括根茬(自然留茬部分)Root and stubble are not included in input and output

2.3.2 不同秸秆还田方式的效果 秸秆还田是补充土壤有机质与钾素的重要途径。高产条件下,秸秆的生产量也随之大量增加。这既可以成为农民的负担,但也可以作为增加的资源。近几年,稻麦收获机械化发展很快,采用中型联合收割机收获的比例越来越大。机械收获后,将大量的秸秆留在田里。农民为了省工和方便,往往采用火烧的方法,这种作法既浪费了资源又污染了环境。因此,有必要探讨机械收获秸秆还田的适合方式。万勇等[10]的试验结果表明(表 6),由于在小麦的高产条件下,小麦秸秆全量还田量高达 7500 kg/hm² 以上,秸秆翻埋与水稻栽插都比较困难,栽插深度难以控制,栽后一段时间秧苗下沉,使分蘖

受到了一定的抑制。留高茬半量还田,既可达到较高的秸秆还田量,农事操作也比较方便,产量与对照持平,比全量还田高 5.2%,是高产条件下比较理想的秸秆还田方式。

表 5 长期高产栽培条件下土壤肥力变化 *

Table 5 Soil fertility change as affected by long-term high yielding cultivation

田块类型	统计参数	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	速效氮(mg/kg)	速效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
Field type	Statistic parameter	O. M.	Total N	Available-N	Available-P	Available-K
高产田	$\bar{X}(n=5)$	17.05	0.899	99.8	12.80	120.8
High yielding	CV(%)	12.39	10.03	12.41	6.85	16.49
中高产田(大田)	$\bar{X}(n=5)$	15.07	1.034	103.7	14.51	95.3
Medium yielding	CV(%)	18.48	21.35	4.97	34.78	15.88

* 1997 小麦收获后测定 Tested after wheat harvest in 1997

表 6 秸秆不同还田量对水稻生长与产量的影响

Table 6 Effects of different amounts of retruned straw on rice growth and yield

秸秆还田量(kg/hm ²)	栽后 20d 茎蘖数(10 ⁴ /hm ²)	穗数(10 ⁴ /hm ²)	穗总粒数	结实率(%)	千粒重(g)	产量(kg/hm ²)
Returned straw	Tiller No. at 20 days after transplanting	Panicle No.	Spikelet No.	Filled percentage	1000-grain weight	Yield
0	354.0	343.5	123.9	92.2	28.8	11301
3750	334.5	322.5	132.1	92.9	29.1	11517
7500	316.5	313.5	129.8	92.8	29.0	10947

3 讨论

随着产量水平的提高,必然要从土壤中吸收较多的营养元素,因而引起人们对高产可能造成土壤肥力下降的担心,强调在高产的过程中要注意用养结合,防止剥夺地力。但是,从农田生态系统物质循环的角度考虑,土壤养分库的变化,不仅要看投入多少,而且要看产出多少。无论是低产还是高产,入不敷出都会降低土壤肥力。从模拟分析看,在目前采用的栽培技术下高产有利于土壤有机质的平衡与增加,氮素盈余量较大,而钾亏缺量仍然比较高,这导致土壤钾库的下降。土壤养分的不断亏损,不可能长期维持高产土壤持续生产力。所以,应适当地增加钾化肥的使用,同时应尽可能地扩大内部的物质循环水平。高产为有机质的高量归还与养分元素的高通量循环提供了潜在的有利条件,但还需要可行的技术将其变为现实。稻、麦机械收割留茬还田,秸秆还田量可达 8000kg/hm²·a,是一种高效可行的秸秆还田途径,应大力提倡。此外,由于麦稻两熟下连续少免耕会使土壤下耕层变紧实,穿透阻力增加,影响根系下扎,也可能影响到土壤养分的释放^[7]。所以,应将秸秆还田与轮耕有机结合,小麦采用旋耕机条播,水稻旋耕或耕翻,从而为高产创造一个良好的土壤环境条件。

参考文献

[1] 金耀青,张中原. 配方施肥方法及其应用. 沈阳:辽宁科技出版社,1993. 12~14.

[2] 牟正国,李建国. 高产种植模式及其效益分析. 牟正国主编. 持续高产高效种植模式的理论与实践. 北京:中国农业出版社,1995. 60~78.

[3] 崔玉亭,韩纯儒,龙牧华. 小麦玉米集约高产条件下土壤有机质培肥目标探讨. 中国农业大学学报,1997,2(5):25~29.

[4] 陈 阜,蒋建平,魏炳传,等. 种植业的可持续发展及其评价. 农业系统科学与综合研究,1996,12(1):25~28.

[5] 刘多森,曾志远. 土壤和环境研究中的数学方法与建模. 北京:农业出版社,1987. 375~382.

[6] 郑建初,赵强基,赵国良,等. 苏南稻田持续生产力与种植制度关系. 农村生态环境,1997,13(2):16~20.

[7] 袁汉根,蔡射霞. 里下河农区土壤合理耕法配套模式的研究. 见:黄细喜主编. 新型耕作技术及理论. 南京:东南大学出版社,1994. 4~74.