

松嫩平原黑土区不同养分循环结构农业经营制度比较研究*

刘鸿翔 王德禄 (中国科学院黑龙江农业现代化研究所, 哈尔滨 150040)

张素君 张岫岚 (中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110015)

【摘要】 采用模拟养分循环开展长期定位试验的方法对黑土区不同养分循环结构农业经营制度进行了比较研究, 结果表明, 有机-无机相结合的农业制度包括传统农业与“石油农业”两者之长, 是我国农业生产常久不衰、提高系统生产力和养分循环再利用的有效途径。

关键词 养分循环结构 农业经营制度 系统生产力

Comparative study on the agricultural management systems in black soil region of Songhua River-Nenjiang River Plain of Northeast China. Liu Hongxiang, Wang Delu (Heilongjiang Institute of Agricultural Modernization, Academia Sinica, Haerbin 150040), Zhang Shujun and Zhang Xiulan (Institute of Applied Ecology, Academia Sinica, Shenyang 110015). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 1994, 5(2): 148—151.

A comparative study on the agricultural management systems and their optimization in the black soil region of Northeast China was conducted. The simulation experiment results show that combining organic-inorganic agricultural management system has the common merits of traditional agriculture and petroleum one. It is a suitable management system for developing Chinese agriculture and improving system productivity and nutritional cycling structure.

Key words Nutritional cycling structure, Agricultural management system, System productivity.

1 引言

我国的农业经营制度所经历的变化和表现形式, 大体可归纳为移耕农业、有机农业(或传统农业)、“石油农业”和有机-无机相结合农业等几种基本类型^[1,2,5]. 本研究用模拟上述几种农业制度的养分循环, 开展了长期的实地试验, 以期探索不同经营制度对生产力发展、养分循环率以及对土壤环境的影响。

2 研究方法

2.1 试验地点

定位试验在中国科学院海伦农业生态实验站进行. 该站地处黑龙江省中部的海伦市西郊. 土壤为中厚黑土, 质地重壤, 有机 C3.13%, 全 N

0.30%, 全 P0.07%, 全 K1.96%, 碱解 N 234.08 mg · kg⁻¹, 速效 P25.78mg · kg⁻¹, 代换性 K190.82mg · kg⁻¹, 全年降雨量 500—600mm, 属于寒温带大陆性季风气候。

2.2 试验设计

田间试验处理设计为: I. 无肥区, 代表移耕农业模型; II. 无肥+循环区, 代表传统的有机农业模型; III. 化肥 N 区; IV. 化肥 N+循环区, 代表 50—60 年代过渡模型; V. 化肥 NP₁ 区; VI. 化肥 NP₁+循环区, 代表 70 年代过渡模型; VII. 化肥 NP₂ 区, 代表“石油农业”模型; VIII. 化肥 NP₂+循环区; IX. 化肥 NP₂K+循环区均代表有机-无机相结合模型。

供试化肥 N 每年用量为 107.2kgN · ha⁻¹; P₁ 为 18.6kgP · ha⁻¹; P₂ 每 6 年用量为 117.2kgP ·

* 中国科学院生态系统网络研究资助项目。

1991 年 10 月 23 日收到, 1993 年 5 月 12 日改回。

ha^{-1} , K 为 $187.5 \text{ kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$. 每个处理重复 3 次, 小区面积 224 m^2 , 供试作物为小麦、玉米、大豆 3 种作物轮作。

为了深入研究不同农业制度的农产品中养分经喂饲-堆腐回农田的循环率, 设 I、IV、VI、VII、IX 处理. 每年收获产品中籽实的 80% 和大豆、玉米、小麦秸秆的全部粉碎后, 用于喂猪和垫圈, 猪粪经堆腐后于翌年春季作基肥返回本处理。

2.3 分析方法

各小区产量单打单收, 籽实和秸秆产量分别

表 1 不同经营制度 3 种作物平均风干产量

Table 1 Average air-dried yield of three kinds of crops under different management systems ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

产 品 Product	处理号 Treatment No.	1985*	1986*	1987	1988	1989	1990	6 年平均 Average	以对照为 100 With control as 100
籽 实 Grain	I	2775	2535	3525	2280	2865	3311	2882	100
	II	2775	2535	3675	2310	3060	3729	3014	105
	III	3000	3420	3690	2850	3405	4122	3414	118
	IV	3000	3420	3900	3540	3720	4381	3660	127
	V	3015	3675	3855	3285	3465	4336	3605	125
	VI	3015	3675	4110	3600	3840	4470	3785	131
	VII	3630	3585	3900	3375	3530	4391	3735	130
	VIII	3630	3585	4155	3825	4035	4575	3967	138
	IX	3705	3765	4160	3405	3540	4261	3806	132
秸 秆 Stalk	I	3435	3498	3810	3540	3795	4282	3893	100
	II	3435	3498	5250	3680	4045	4503	4069	103
	III	3780	5353	5145	4155	4075	4867	4563	117
	IV	3780	5353	5855	5065	4970	5173	5033	129
	V	3880	5573	5820	4100	4795	4541	4768	123
	VI	3880	5573	5980	5400	5265	5073	5195	133
	VII	4715	5545	5715	4290	5245	5151	5110	131
	VIII	4715	5545	6295	5390	5590	5077	5435	140
	IX	5055	6120	6470	5660	5885	4933	5687	146

* 未开始循环 No cycling.

表 2 1985-1990 年不同经营制度小麦、玉米、大豆 6 年平均风干产量*

Table 2 Average air-dried yield of wheat, maize and soybean under different management systems in 1985-1990 ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

处理号 Treatment No.	小麦 Wheat		玉米 Maize		大豆 Soybean	
	籽实 Grain	秸秆 Stalk	籽实 Grain	秸秆 ¹⁾ Stalk	籽实 Grain	秸秆 Stalk
I	2198	2970	4448	6483	1867	2245
II	2325	3155	4888	7050	1962	2433
III	2850	3798	5293	7555	1913	2185
IV	2850	4303	6358	8458	1948	2490
V	2843	3943	5908	7800	1915	2528
VI	3031	4508	6580	8555	1900	2613
VII	3115	4448	5998	8253	1948	2398
VIII	3120	4823	7008	9053	1918	2655
IX	3005	4788	6515	9560	1898	2713

* 风干小麦、玉米、大豆的干率: 籽实 0.81, 0.79, 0.83; 秸秆 0.84, 0.64, 0.84. The proportion of baked-dried weight to air-dried weight of wheat, maize and soybean.

1) 包括玉米轴 Maize stalk contains maize axis.

计量, 另选取代表株用于测定籽实和秸秆的养分含量(以元素占烘干样品的百分率表示). 各项指标均用常规方法测定。

3 结果与讨论

3.1 作物产量

1985—1990 年不同处理每年 3 种作物平均产量和每种作物 6 年平均产量分别列于表 1、2。

由表 1、2 可见, 与移耕农业相比, 有机农业生产水平提高 5%; 70 年代起施用 N 肥和 P 肥, 生产力提高 27%; 80 年代施用 N、P、K 肥, 生产力提高 30%; N、P、K 化肥加有机营养循环的有机-无机相结合农业经营制度, 生产力提高 38%. 有机-无机相结合农业经营制度比“石油农业”增产 6%。

3.2 作物养分吸收量

不同结构的农业经营制度处理年收获 N、P、K 量之间的差异与作物产量之间的变化趋势基本一致, 但产量变化要比年收获养分量的变化小得多. 以化肥 NP_2 ——有机农业(处理 VIII)为例, 产量为移耕农业

(处理 I) 的 138%, 而年收获 K 量为移耕农业的 156%。这是因为 P 的供给量加大, 提高了作物产量, 以致产品中养分浓度相应提高。

3.3 化肥 N、P 的利用率、P 肥残效及土壤有效养分的转化

表 3 不同经营制度肥料 N 表现利用率

Table 3 Apparent utilization ratios of N fertilizer under different management systems

处理号 Treat- ment No.	1985	1986	1987	1988	1989	1990	平均值 Ave- rage
I *	0.14	0.15	0.15	0.07	0.27	0.37	0.19
N **	0.34	0.32	0.23	0.28	0.35	0.40	0.32
V *	0.15	0.28	0.24	0.19	0.27	0.32	0.24
VI **	0.13	0.32	0.24	0.34	0.39	0.35	0.30
VII **	0.24	0.21	0.23	0.20	0.34	0.42	0.27
VIII **	0.23	0.38	0.22	0.35	0.44	0.42	0.34
IX **	0.24	0.39	0.23	0.42	0.38	0.35	0.34

* 每年 $107.2\text{kgN} \cdot \text{ha}^{-1}$, 1987 年 $107.2\text{kgN} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$, 每年 $107.2\text{kgN} \cdot \text{ha}^{-1} + \text{循环}$ $107.2\text{kgN} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1} + \text{cycle}$.

由表 3 可见, 化肥 N (I) 6 年平均利用率仅仅是 19%; 化肥 NP_1 (V、VI) 由于 P 肥的配合, 利用率可达 24—27%; 有机-无机相结合农业 (N、VI、VIII、IX) 达 34%。

由表 4 可见, 小剂量 (V) 施 P, 当年利用率为 5%, 到第 6 年增加到 21%, 6 年平均利用率 17%。而大剂量 (VI) 施 P, 当年

表 4 不同经营制度肥料 P 表现利用率

表 5 1985—1990 年不同经营制度下土壤的养分变化

Table 5 Changes in soil nutrient under different management systems in 1985—1990

处理号 Treatment No.	有机 C (%) Organic carbon		全 量 Total (%)						速效量 Available ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)					
			N		P		K		N		P		K	
	1985*	1990	1985*	1990	1985*	1990	1985*	1990	1985*	1990	1985*	1990	1985*	1990
I	3.13	3.00	0.303	0.263	0.073	0.072	0.959	1.849	234.08	238.68	25.78	17.24	190.82	177.81
II	3.13	3.10	0.303	0.270	0.073	0.075	1.959	1.975	234.08	239.24	25.78	18.56	190.82	181.16
III	3.13	3.08	0.303	0.274	0.073	0.075	1.959	1.930	234.08	245.33	25.78	16.76	190.82	181.55
IV	3.13	3.20	0.303	0.283	0.073	0.078	1.959	2.022	234.08	247.59	25.78	18.52	190.82	184.80
V	3.13	3.04	0.303	0.274	0.073	0.078	1.959	1.939	234.08	248.38	25.78	26.63	190.82	189.36
VI	3.13	3.13	0.303	0.282	0.073	0.082	1.959	2.018	234.08	254.48	25.78	28.05	190.82	191.38
VII	3.13	3.12	0.303	0.280	0.073	0.079	1.959	1.957	234.08	249.34	25.78	30.93	190.82	181.32
VIII	3.13	3.25	0.303	0.290	0.073	0.080	1.959	2.100	234.08	251.49	25.78	29.02	190.82	197.91
IX	3.13	3.20	0.303	0.288	0.073	0.080	1.959	2.105	234.08	254.87	25.78	30.69	190.82	203.00

* 基础 Basic.

肥力都有所提高。

3.5 作物收获产品中养分在饲养-堆腐过

程中的循环率

不同结构农业经营制度喂饲-堆腐试

Table 4 Apparent utilization ratios of P fertilizer under different management systems

处理号 Treat- ment No.	1985	1986	1987	1988	1989	1990	平均值或 累加值 Average or total
V ³⁾	0.05	0.21	0.10	0.20	0.22	0.21	0.17 ¹⁾
VI ⁴⁾	0.07	0.27	0.18	0.30	0.29	0.24	0.23 ¹⁾
VII ⁵⁾	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.05	0.19 ²⁾
VIII ⁶⁾	0.04	0.05	0.03	0.05	0.04	0.03	0.24 ²⁾
IX ⁶⁾	0.04	0.06	0.02	0.04	0.04	0.04	0.24 ²⁾

1) 为 6 年平均值, 2) 为 6 年累加值, 3) 每年 $18.6\text{kgP} \cdot \text{ha}^{-1}$, 4) 每年 $18.6\text{kgP} \cdot \text{ha}^{-1} + \text{循环}$ $18.6\text{kgP} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1} + \text{cycle}$, 5) 6 年 $117.2\text{kgP} \cdot \text{ha}^{-1}$, 6) 6 年 $117.2\text{kgP} \cdot \text{ha}^{-1} + \text{循环}$ $117.2\text{kgP} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot 6\text{yr}^{-1} + \text{cycle}$.

利用率为 3%, 但 6 年累加的利用率达 19% 以上, 由此可见施 P 的残效及残效迭加作用^[3]. 而有机-无机相结合农业 (IX), 化肥 P 与收获产品中的养分循环再利用同样可以提高 P 肥利用率, 6 年累加的利用率可达 24%. 对 6 年试验作物收获后耕层土壤的有机 C, 全 N、P、K, 速效 N、P、K 含量进行了比较 (表 5)。

由表 5 可见, 移耕农业与有机农业 6 年试验后土壤肥力呈下降趋势; “石油农业”施 N、P 肥可以改善土壤 N 素质量, 速效 P 有明显提高; 有机-无机相结合, 有机物循环再利用的农田^[4], 土壤有机 C、土壤

表 6 投料经由喂饲-堆腐后的残留率

Table 6 Residual rate of organic mater in feed stuffs and bedding materials through a feeding composting cycle

实验年度 Year	处理号 Treat- ment No.	投料干重 Stuff and ma- terial(kg, D. W.)	猪圈粪干重 Pig manure(kg, D. W.)	有机物 残留率 Residual rate (%)	有机物 腐解率 Decom- position rate(%)
1986—	I	320	117	0.36	0.64
1987	IV	426	146	0.35	0.65
	VI	430	143	0.33	0.67
	VII	440	147	0.33	0.67
	K	440	151	0.34	0.66
1987—	I	399	124	0.31	0.69
1988	IV	445	138	0.31	0.69
	VI	454	136	0.30	0.70
	VII	474	145	0.31	0.69
	K	478	148	0.31	0.69
1988—	I	293	113	0.38	0.62
1989	IV	413	147	0.36	0.64
	VI	424	144	0.34	0.66
	VII	441	151	0.34	0.66
	K	428	157	0.37	0.63
1989—	I	342	112	0.33	0.67
1990	IV	413	137	0.33	0.67
	VI	437	133	0.30	0.70
	VII	458	146	0.32	0.68
	K	443	162	0.37	0.63

表 7 投料中养分经由喂饲-堆腐过程的损失率

Table 7 Loss rate of nutrients contained in feed stuffs and bedding material through a feeding-composting cycle

实验年度 Year	处理号 Treat- ment No.	投料养分 Nutrient in stuffs and mate- rials(kg)		猪圈粪养分 Nutrient in pig manure (kg)		养分损失率 Loss rate of nutrient (%)	
		N	P	N	P	N	P
1986—	I	4.92	0.67	2.76	0.57	43.90	14.67
1987	IV	7.71	0.93	2.62	0.40	66.01	57.04
	VI	7.45	1.01	1.77	0.43	76.24	59.04
	VII	7.48	1.01	1.77	0.85	46.12	19.17
	K	7.01	0.99	2.98	0.82	59.23	17.18
1987—	I	6.01	0.84	2.31	0.49	61.56	41.67
1988	IV	5.79	0.79	3.66	0.82	36.78	—
	VI	6.37	0.80	4.17	0.87	34.54	—
	VII	5.79	0.85	3.27	0.79	43.52	7.59
	K	6.28	0.91	3.28	0.88	47.77	3.30
1988—	I	3.49	0.48	1.36	0.40	61.03	16.67
1989	IV	6.30	0.73	1.90	0.63	69.84	13.70
	VI	6.54	0.76	2.49	0.67	61.93	11.84
	VII	6.38	0.80	3.22	1.04	49.53	—
	K	6.64	0.74	2.99	0.79	54.97	—
1989—	I	5.53	0.72	3.12	0.29	43.58	59.72
1990	IV	7.21	0.88	3.05	0.85	57.70	8.59
	VI	7.60	1.07	2.75	0.38	63.82	64.49
	VII	7.98	1.01	3.19	0.64	60.03	36.63
	K	7.07	0.89	3.42	0.72	51.63	19.10

验结果列于表 6、7。由表 6、7 可见,不同结

构农业经营制度喂饲-堆腐后的残留率大致为 0.34,腐解率 0.66。在 6 年 4 次循环试验中,N 的损失率平均为 53.9%,变动范围 34—70%,P 的损失率为 28.2%,变动范围 8—65%。

4 结 语

4.1 移耕农业系统生产力很低。传统农业系统生产力较低,土壤速效养分库脆弱。

4.2 “石油农业”与移耕农业相比较生产力提高 18—30%。N 肥可以改善土壤 N 素质量,P、K 肥的施用能提高土壤速效 P、K 的供应量。

4.3 有机-无机相结合农业制度与移耕农业相比,系统生产力提高 27—38%,N 素利用率提高 30—34%,P 素利用率提高 23—24%。连续 6 年的试验结果表明,土壤全量的、速效的 N、P、K 都有所增长。

4.4 P 肥残效和贮备性施 P 的试验结果表明,贮备性施 P 的残效可维持 2—3 年。每年小剂量和 6 年大剂量施 P 方式的作物增产效果十分近似,但对改善土壤速效 P 的状况,则以每年小剂量施 P 为优。

4.5 6 年试验,设 80%产品经喂饲-堆腐后还田,堆腐的残留率为 34%,利用率为 66%,P 素损失为 28.2%,N 素损失较大。

致谢 承蒙沈善敏研究员热情指导。参加本项研究的还有张希凡、崔云旺同志。谨致谢意。

参考文献

- [1] 许旭日. 1985. 旱作农业中合理施肥及生理学基础. 干旱地区农业研究, (2): 47—51.
- [2] 陈子明. 1987. 美国玛洛试验地的种植制度和施肥措施对土壤理化性状和产量的影响. 土壤学报, (1): 86—92.
- [3] 沈善敏. 1985. 论我国 P 肥生产与应用对策. 土壤通报, (3): 97—103.
- [4] 赵强基等. 1983. 江苏太湖地区几种种植制度的物质循环状况. 土壤通报, (3): 1—5.
- [5] 高亮之. 1981. 国际作物生产力研究动态和展望. 世界农业, (11): 32—34.