

# 黑土农田养分平衡与养分消长规律\*

王建国 刘鸿翔 王守宇 韩晓增

(中国科学院黑龙江农业现代化研究所, 哈尔滨 150040)

**摘 要** 通过 11 年的定位试验结果表明, 典型黑土农田 11 年不施 N 肥, N 素的自然供给力由 92% 下降到 50%~60%; 不施 P 肥, P 素的自然供给力由 98% 下降到 80%~90%; 不施钾肥, K 素的自然供给力也由 100% 缓慢下降接近 90%。农田养分平衡盈亏及其变化决定了土壤养分消长规律, 其中有效磷的消长与 P 素盈亏的相关模型为  $Y = 2.895 + 0.134x$ , 速效钾的消长与 K 素盈亏的相关模型为  $Y = 18.81 + 0.163x$ 。

**关键词** 自然供给力, 养分平衡, 养分消长

**中图分类号** S158

黑土主要分布于松嫩平原。总面积约  $5 \times 10^6 \text{ hm}^2$ , 其中耕地面积为  $4 \times 10^6 \text{ hm}^2$ , 素以盛产粮、豆而著名, 是我国重要的商品粮、甜菜、亚麻及畜产品基地。

试验地为典型黑土农田, 黑土层 30~60 cm, 第四纪形成的黄土状母质。垦种历史约 100 年, 有机质含量在开垦初期  $80 \sim 100 \text{ g kg}^{-1}$ , 由于长期用养失调、水土侵蚀, 目前下降到  $30 \sim 50 \text{ g kg}^{-1}$ , 耕层全氮含量  $1.5 \sim 0.3 \text{ g kg}^{-1}$ , 全磷含量  $0.6 \sim 0.9 \text{ g kg}^{-1}$ , 全钾含量  $19 \sim 26 \text{ g kg}^{-1}$ 。粮豆平均单产为  $3720 \text{ kg hm}^{-2}$ 。因此, 深入探讨黑土农田养分平衡与养分消长规律, 对于土壤肥力的培育, 促进区域农业持续发展有着重要的理论意义和实践意义。

## 1 材料和方法

试验地设在中国科学院海伦农业生态实验站。土壤基本理化性状见表 1。

表 1 试验地基本农化性状

Table 1 Basic agrochemical properties of soil in the experimental plots (0~20 cm top soil)

有机质 O. M. ( $\text{g kg}^{-1}$ )	全氮 Total N ( $\text{g kg}^{-1}$ )	全磷 Total P ( $\text{g kg}^{-1}$ )	全钾 Total K ( $\text{g kg}^{-1}$ )	速效氮 Available N ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	速效磷 Available P ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	速效钾 Available K ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	pH
48.2	2.2	0.7	25.2	239.7	17.9	190.8	7.02

试验处理: (1) 无肥区 (CK); (2) NP; (3) NK; (4) PK; (5) NPK; (6)  $\text{NP}_2\text{K}$ ; (7)  $\text{NPK}_2$ 。

化肥用量 ( $\text{kg hm}^{-2}$ ): N 玉米、小麦为 112.5, 大豆为 13.5; P ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) 玉米、小麦为 45.0, 大豆为 34.5; K ( $\text{K}_2\text{O}$ ) 三种作物均为 60.0;  $\text{P}_2(\text{P}_2\text{O}_5)$  玉米、小麦为 90.0, 大豆为 69.0;  $\text{K}_2(\text{K}_2\text{O})$  三种作物均为 120.0。

试验设计: 田间试验采用小区随机排列, 4 次重复。小区面积  $15 \text{ m} \times 4.2 \text{ m}$ 。

作物品种: 玉米(海育 6 号), 小麦(龙麦 19 号), 大豆(合丰 25 号)。

土壤 N、P、K 养分测定方法为常规法<sup>[1]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤养分自然供给力的变化

土壤养分自然供给力的概念是土壤在其它养分充分供应时, 不施某一养分, 土壤供给的养分能够使

\* 中国科学院知识创新项目(KZCX2-413-3)资助

收稿日期: 2001-07-02; 收到修改稿日期: 2002-03-29

作物产量达到全肥时产量的百分比, 也有学者称土壤养分依赖率<sup>[2]</sup>, 即

$$\text{土壤养分自然供给力} = \frac{\text{缺某元素时的产量}}{\text{全肥时的产量}} \times 100$$

通过这一概念能表示出土壤养分水平与作物产量(籽粒)存在的某种联系。根据长期定位试验的产量数据(表 2), 通过计算获得了农田黑土养分自然供给力的变化(表 3)。

表 2 各处理籽实平均产量

Table 2 Mean grain yields of different treatments (Dry matter, kg hm<sup>-2</sup>)

处理 Treatment	1990 小麦 Wheat	1991 玉米 Maize	1992 小麦 Wheat	1993 小麦 Wheat	1994 玉米 Maize	1995 大豆 Soybean	1996 小麦 Wheat	1997 玉米 Maize	1998 大豆 Soybean	1999 小麦 Wheat	2000 玉米 Maize
CK	2 506	4 787	1 454	1 877	3 743	1 937	1 574	4 001	2 040	2 016	3 315
NP	3 281	5 343	3 326	2 951	5 931	1 832	2 101	5 310	2 274	3 231	6 124
NK	3 075	5 813	3 042	2 625	6 575	1 802	1 917	5 298	2 267	2 853	6 109
PK	2 885	4 281	1 413	1 866	3 999	1 919	1 661	4 045	2 222	2 367	3 592
NPK	3 135	5 870	3 581	3 149	7 145	2 075	2 241	5 966	2 304	3 528	6 537
NP <sub>2</sub> K	3 134	5 726	3 429	3 134	6 674	1 977	2 309	5 898	2 450	3 672	6 526
NPK <sub>2</sub>	3 083	5 730	3 329	3 111	6 054	1 980	2 124	5 991	2 480	3 321	6 560

表 3 黑土农田养分自然供给力的变化

Table 3 Changes in nutrient supplying capacity of soil (%)

年 份 Year	作 物 Crop	N Nitrogen	P Phosphorus	K Potassium
1990	小麦	92.0	98.1	100.0
1991	玉米	72.9	99.0	91.0
1992	小麦	39.5	85.0	92.8
1993	小麦	59.3	83.4	93.7
1994	玉米	56.0	92.0	83.0
1995	大豆 <sup>1)</sup>	92.5	86.8	88.0
1996	小麦	74.1	85.5	94.0
1997	玉米	67.8	88.5	89.0
1998	大豆	96.4	98.4	98.7
1999	小麦	67.1	80.9	91.6
2000	玉米	54.9	93.5	93.7

1) 其中包括豆科作物固氮能力

目前黑土农田土壤潜在肥力很高, 某一年不施 N, 能达到全肥产量的 90% 以上, 不施 P, 能达到全肥产量的 95% 以上, 而土壤 K 可以充分满足需要。但在连年不施肥的情况下, 黑土农田 N、P、K 养分的自然供给力将呈不同程度的下降趋势。海伦站 11 年定位试验表明, 11 年不施氮肥, N 素的自然供给力由 92% 下降到 50% ~ 60%; 不施磷肥, P 素的自然供给力由 98% 下降到 80% ~ 90%; 不施钾肥, K 素的自然供给力也缓慢下降接近 90% (表 3)。只是养分自然供给力的概念是通过产量予以表征的, 而作物产量受制于多种因素控制, 因而长期定位试验所提供养分自然供给力的表征数据并非呈直线平稳下降趋势。

## 2.2 不同处理农田养分收支平衡状况

支出量包括:作物吸收养分、N素损失;收入量包括:化肥投入、生物固氮、根茬及凋落物还田、种子、降水。

本项多年观测、研究获得的基本参数:作物养分吸收量(表4)。

表4 几种主要作物的养分含量  
Table 4 Nutrient contents of crops ( $\text{g kg}^{-1}$ )

作物 Crops	籽实 Grain			秸秆 Stalk			根茬 Roots		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
	小麦	20.4	4.0	3.7	4.1	0.6	8.5	5.6	0.9
玉米	13.4	3.8	4.1	6.0	1.0	7.1	5.6	0.6	4.4
大豆	61.7	5.9	14.8	7.2	0.7	7.4	5.8	0.5	1.7

N素损失<sup>[3]</sup>:小麦为48%,玉米为52%,大豆27%。大豆作物累计氮中来自共生固氮作用的比例按2/3计算。作物籽粒、茎叶和根茬(包括地上部留茬)干物质比例分别是:小麦为1:1.42:0.67;玉米为1:1.76:0.43;大豆为1:2.17:0.81(大豆茎叶包括凋落叶,秸秆为1.17,凋落叶为1.0)。平均每年降水中的含N量为 $4.65 \text{ kg hm}^{-2}$ ,P为 $0.61 \text{ kg hm}^{-2}$ ,K为 $3.22 \text{ kg hm}^{-2}$ 。多年观测结果表明,本项试验地地下水与土壤水没有交换过程。

根据上述养分循环平衡的基本参数,计算获得不同处理农田养分平衡状况(表5)。

表5 各处理10年(1990~1999)养分收支状况  
Table 5 Nutrient balance of different treatments in 10 years ( $\text{kg hm}^{-2}$ )

处理 Treatment	支出量 Output			吸入量 Input			盈亏量 Balance			平衡 Balance(%)		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
	CK	1265	148	458	391	24	100	-874	-124	-358	-69	-84
NP	1546	204	641	1365	224	125	-181	20	-516	-12	10	-81
NK	1531	202	635	1350	27	221	-181	-175	-414	-12	-87	-65
PK	1298	153	480	406	221	203	-892	68	-277	-69	44	-58
NPK	1643	223	701	1378	227	232	-265	4	-469	-16	2	-67
NP <sub>2</sub> K	1579	210	628	1379	421	231	-200	211	-397	-13	100	-63
NPK <sub>2</sub>	1613	216	685	1382	226	331	-231	10	-354	-14	5	-52

11年定位试验表明,氮素平衡所有处理都是亏缺的,无N区一般赤字70%左右,施N区赤字在12%~16%;磷素平衡处理间相差很大,无P区一般赤字85%左右,凡是施P区都是盈余的;N和P配合区都是盈余的;N和P配合区P素收支平衡略有盈余,而无N施P区和加倍施P区P素盈余分别达到44%和100%;而钾素平衡所有处理都是亏缺的。

## 2.3 农田养分平衡与土壤养分消长规律

农田养分平衡盈亏及其变化,决定了土壤养分的消长规律。氮素平衡,10年中所有处理都是亏缺的。从土壤耕层(20 cm)分析结果看,全N含量呈缓慢减少的趋向,但由于测定方法的精确度不够,处理间差异不明显(表6)。速效氮的测定受制于不可控因素影响,没有反映出很好的规律性。农田磷素平衡盈亏与土壤全磷含量消长呈现良好的相关性,即磷素亏盈决定了土壤全磷含量的消长(表7)。钾素

亏盈也直接影响着土壤钾素的消长(表 8)。

表 6 不同处理氮素平衡与养分消长状况

Table 6 Nitrogen equilibrium, gain and loss in different treatments(1990~ 1999)

处理 Treatment	N 素平衡 N balance (%)	试验前全 N Total N in 1990 (g kg <sup>-1</sup> )	试验后全 N Total N in 1999 (g kg <sup>-1</sup> )	全 N 增减 Increase/ decrease of total N (+ , -)
CK	- 69	2.20	2.10	- 0.10
NP	- 12	2.20	2.20	0
NK	- 12	2.20	2.10	- 0.10
PK	- 69	2.20	2.10	- 0.10
NPK	- 16	2.20	2.10	- 0.10
NP <sub>2</sub> K	- 13	2.20	2.10	- 0.10
NPK <sub>2</sub>	- 14	2.20	2.20	0

表 7 不同处理磷素平衡与养分消长状况

Table 7 Equilibrium, gain and loss of phosphorus in different treatments(1990~ 1999)

处理 Treatment	P 素平衡 P balance (%)	试验前全 P Total P in 1990 (g kg <sup>-1</sup> )	试验后全 P Total P in 1999 (g kg <sup>-1</sup> )	全 P 增减 Increase/ decrease (g kg <sup>-1</sup> )	试验前速效 P Available P in 1990 (mg kg <sup>-1</sup> )	试验后速效 P Available P in 1999 (mg kg <sup>-1</sup> )	速效 P 增减 Increase/ decrease of available P (+ , -)
CK	- 84	0.70	0.66	- 0.04	17.9	14.1	- 3.8
NP	10	0.70	0.69	- 0.01	17.9	18.8	+ 0.9
NK	- 87	0.70	0.66	- 0.04	17.9	14.5	- 3.4
PK	44	0.70	0.75	+ 0.05	17.9	24.2	+ 6.3
NPK	2	0.70	0.72	+ 0.02	17.9	18.2	+ 0.3
NP <sub>2</sub> K	100	0.70	0.79	+ 0.09	17.9	38.2	+ 20.3
NPK <sub>2</sub>	5	0.70	0.74	+ 0.04	17.9	19.1	+ 1.2

表 8 不同处理钾素平衡与养分消长状况

Table 8 Equilibrium, gain and loss of potassium in different treatments(1990~ 1999)

处理 Treatment	K 素平衡 K balance (%)	试验前速效 K Available K in 1990 (mg kg <sup>-1</sup> )	试验后速效 K Available K in 1990 (mg kg <sup>-1</sup> )	速效 K 增减 Increase/decrease of available K (+ , -)
CK	- 78	190.8	180.1	- 10.7
NP	- 81	190.8	172.7	- 18.1
NK	- 65	190.8	180.0	- 10.8
PK	- 58	190.8	187.3	- 3.5
NPK	- 67	190.8	171.7	- 19.1
NP <sub>2</sub> K	- 63	190.8	177.1	- 13.7
NPK <sub>2</sub>	- 52	190.8	190.4	- 0.4

从作物能够直接利用的有效态养分角度分析,应用速效态氮的测定方法我们目前尚未得出具有一定规律性的结果,但本项试验,有效磷的消长与土壤磷素的盈亏却呈直线回归的关系(表9)。

表9 土壤磷素平衡盈亏与有效磷消长规律

Table 9 Equilibrium, gain and loss of potassium and growth and decline of readily available potassium in soil(1990~1999)

处理 Treatment	磷素平衡 P balance (mg kg <sup>-1</sup> )	有效磷消长 Growth/ decline of available P (mg kg <sup>-1</sup> )
CK	- 51.7	- 3.8
NP	9.3	0.9
NK	- 80.2	- 3.4
PK	31.0	6.3
NPK	2.0	0.3
NP <sub>2</sub> K	96.5	20.3
NPK <sub>2</sub>	4.6	1.2

经统计分析,得出下列直线回归模型:  $Y = 2.895 + 0.134X$ ,  $r = 0.918$ ,  $n = 7$ , 式中:  $Y$  为土壤有效磷消长(P mg kg<sup>-1</sup>),  $X$  为土壤磷素盈亏(P mg kg<sup>-1</sup>)。

土壤速效钾的消长与土壤钾素的盈亏也呈现密切的相关关系(表10)。

表10 土壤钾素平衡盈亏与速效钾消长规律

Table 10 Equilibrium, gain and loss of potassium and growth and decline of readily available potassium in soil(1990~1999)

处理 Treatment	钾素平衡 K balance (mg kg <sup>-1</sup> )	有效钾消长 Growth/ decline of available K (mg kg <sup>-1</sup> )
CK	- 165	- 10.7
NP	- 236	- 18.1
NK	- 190	- 10.8
PK	- 126	- 3.5
NPK	- 215	- 19.1
NP <sub>2</sub> K	- 182	- 13.7
NPK <sub>2</sub>	- 162	- 0.4

经统计分析,得出下列直线回归模型:  $Y = 18.81 + 0.163X$ ,  $r = 0.847$ ,  $n = 7$ , 式中:  $Y$  为土壤速效钾消长(K mg kg<sup>-1</sup>),  $X$  为土壤钾素盈亏(K mg kg<sup>-1</sup>)。

上述回归方程均达到5%以上的显著相关。

但从表8看出,当钾素平衡赤字接近50%(相对值)时,土壤速效钾水平不再下降。

### 3 结论

1. 典型黑土农田11年不施氮肥,氮素的自然供给力由92%下降到50%~60%;不施磷肥,磷素的自然供给力由98%下降到80%~90%;不施钾肥,钾素的自然供给力也由100%缓慢下降接近90%。

2. 农田养分平衡盈亏及其变化,决定了土壤养分消长规律。即使是农田单产水平的逐步提高或投

入物质的增减,能够影响农田养分平衡盈亏的变化,而农田养分平衡盈亏变化决定土壤养分的消长规律却是不变的。尤其是有效磷、速效钾的消长相应与土壤磷、钾的盈亏呈直线回归关系,相关模型分别是: $Y=2.895+0.134X$ ;  $Y=18.81+0.163X$ ,其相关系数显著。利用上述模型,可以预报黑土农田有效磷和速效钾的发展趋向。

#### 参考文献

1. 中国科学院南京土壤研究所编. 土壤理化分析. 北京: 科学出版社, 1975
2. 鲁如坤, 等. 我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究 IV. 农田养分平衡的评价方法和原则. 土壤通报, 1996, 27(5): 198- 199
3. 王建国, 韩晓增. 黑土农田化肥氮素去向的研究. 生态学杂志, 1997, 16(5): 61~ 63

## LAW OF NUTRIENT EQUILIBRIUM, GAIN AND LOSS IN BLACK SOIL FARMLAND

Wang Jianguo Liu Hongxiang Wang Shouryu Han Xiaozeng

(Heilongjiang Institute of Agricultural Modernization, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150040, China)

### Summary

Results of an 11-year-fixed experiment indicated that the spontaneous nutrient supplying capacity of the typical black soil farmland tested varied in the following way, its N supplying capacity declined from 92% to 50% ~ 60% in the plot without nitrogenous fertilizer, its phosphorus supplying capacity decreased from 98% to 80% ~ 90% in the plot of no phosphorous fertilizer, and its potassium supplying capacity dropped slowly from 100% to about 90% in the plot of no potassium fertilizer. Nutrient equilibrium of the soil and its changes controlled nutrient gain or loss in the farmland. The correlation coefficient of the model between gain and loss of available phosphorus and of total phosphorus is  $Y=2.895+0.134X$ , the correlation coefficient of the model between gain and loss of readily available potassium and of total potassium is  $Y=18.81+0.163X$ .

**Key words** Spontaneous supplying capacity, Nutrient equilibrium, Nutrient gain and loss