

## 黑龙江垦区土壤肥力现状与大豆优化施肥研究

赵延风<sup>1,2</sup>, 王 鹏<sup>1</sup>, 孙振宁<sup>3</sup>

(1. 黑龙江八一农垦大学 农学院, 黑龙江 大庆 163319; 2. 黑龙江农垦九三管理局 水务局, 黑龙江 嫩江 161441; 3. 杭州绿城育华学校, 浙江 杭州 310012)

**摘要:** 土壤侵蚀导致东北黑土退化, 土地生产力下降。为确定黑龙江垦区的土壤肥力现状, 优化大豆施肥, 在黑龙江省农垦九三管理局鹤山农场选择轻度、中度、严重和极严重侵蚀 4 个样地, 设计了 8 个施肥处理的大豆盆栽试验。结果表明: 该区开垦后, 有机质、速效磷、速效钾含量减少, 碱解氮含量则呈增加趋势; 随侵蚀程度的加强, 有机质、碱解氮、速效钾含量逐渐减少, 而速效磷含量则先减少后增加。土壤供肥量处于中等水平, 其中土壤供氮量中等偏下, 土壤供磷量中等偏上; 随侵蚀程度的加强, 土壤供氮量和供钾量逐渐降低, 供磷量先降低后增加。该区大豆对钾肥利用率较高, 对氮、磷利用率较低; 随侵蚀程度增强, 大豆的氮肥利用率和钾肥利用率逐渐增加, 而磷肥利用率则先增加后减小。根据养分平衡法, 建议提高施肥总量为当地的 1.2~2.5 倍, 增加氮肥用量, 保证施肥配比。

**关键词:** 黑龙江垦区; 土壤肥力; 大豆; 优化施肥

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2014)02-0211-04

## Soil Fertility Status and Optimum Fertilization of Soybean in Heilongjiang Reclamation Area

ZHAO Yan-feng<sup>1,2</sup>, WANG Peng<sup>1</sup>, SUN Zhen-ning<sup>3</sup>

(1. Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China; 2. Administration of Heilongjiang Agricultural Reclamation Jiusan Water Authority, Nenjiang 161441, China; 3. Hangzhou Lucheng Primary School, Hangzhou 310012, China)

**Abstract:** Soil erosion leads to the degradation and productivity decline of black soil in Northeast China. In order to confirm soil fertility status of Heilongjiang reclamation region, and optimize fertilization of soybean planting, in Heshan Farm of Jiusan Reclamation Bureau, pot experiments were carried out to study the fertility of mild, moderate, serious and very serious erosion soil. The results showed that the content of organic matter, available P and available K content decreased but available N content increased after reclamation. With the strengthen of soil erosion, the content of organic matter, available N and available K content decreased, available P content decreased first and then increased. Supplying capacity of soil N and K decreased, but the supplying capacity of P decreased first and then increased. N and K use efficiencies increased gradually, while the P use efficiency increased first and then decreased. The estimated optimal fertilizer input amount according to nutrient balance method was as 1.2-2.5 times as the current field fertilizer.

**Key words:** Heilongjiang reclamation area; Soil fertility; Soybean; Optimum fertilization

东北地区是我国重要的商品粮生产基地, 产量约占全国商品粮总产量的 40%, 而垦区在商品粮生产中的地位尤为重要, 其中黑龙江省垦区耕地面积占东北地区耕地面积的 9.6%, 仅大豆产量就占全国大豆产量的 45% 左右, 机械化、规模化、商品化是本区农业生产的基本特征。由于该区黑土较厚, 在一定时期内忽视了土壤侵蚀导致黑土厚度降低的问题。黑土厚度已由开垦初期的 70~100 cm<sup>[1]</sup> 下降至 20 世纪 80 年代的 16~70 cm<sup>[2]</sup>, 有机质含量由 6%~15%<sup>[1]</sup> 降为 1.98%<sup>[2]</sup>, 黑土厚度的减少导致土壤肥力明显下降, 导致大量化肥的施用, 以弥补损失掉的土地生产力。对垦区而言, 集约化的生产方式需要更为准确的土壤肥力数据确定科学的施肥

配比。

黑龙江省农垦九三管理局地处小兴安岭西南麓向松嫩平原过渡的漫川漫岗地带, 耕地坡度一般为 1°~3°, 坡长较长平均大于 200 m, 土壤侵蚀为轻度-中度侵蚀为主, 局部地区重度侵蚀。该地区属寒温带大陆性半湿润气候, 年平均气温 1~2℃, 最热月 7 月平均气温 20.8℃, 最冷月 1 月平均气温为 -22.5℃, 无霜期 110~120 d, 年降水量 450~550 mm, 集中在 6~8 月, 占全年的 64%<sup>[3]</sup>。20 世纪 50 年代开始大面积开垦, 目前耕地面积占土地总面积的 64.2%, 存在着较为严重的水土流失。

本研究在黑龙江省农垦九三管理局鹤山农场境内, 选取不同侵蚀程度的黑土, 进行大豆施肥的

收稿日期: 2013-12-12

第一作者简介: 赵延风 (1971-), 男, 在读硕士, 主要从事黑土土壤肥力方面的研究。E-mail: jsslyf@163.com。

通讯作者: 王鹏 (1962-), 男, 博士, 副教授, 主要从事烟草养分管理研究。E-mail: wangp.ycs@163.com。

盆栽试验,旨在通过养分平衡法确定不同侵蚀程度下该区黑土的肥力状况以及大豆优化施肥量。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

2006~2008年开展盆栽试验,试验用盆高43 cm,上口直径40 cm,下底直径30 cm。试验所用肥料为尿素(含N量为46%)、过磷酸钙(含 $P_2O_5$ 量为12%)、硫酸钾(含 $K_2O$ 量为50%)。供试大豆品种为当地主栽品种华疆3号。试验用土取自黑龙江省农垦总局九三分局鹤山农场鹤北小流域内的4个典型样地,黑土厚度分别为35,28,20和5 cm,分别代表轻度、中度、严重和极严重侵蚀。

对每个样地的土样,设计8种施肥处理(表1)每个处理3个重复,共计24盆:不施肥(CK),单施氮肥(N),单施磷肥(P),单施钾肥(K),同时施氮、磷肥(NP),同时施氮、钾肥(NK),同时施磷、钾肥(PK),同时施氮、磷、钾肥(NPK)。每盆种植大豆5株,施肥量参照当地大豆施肥水平:施纯肥 $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ , $N:P_2O_5:K_2O=1:1.3:0.3$ ,按照大田大豆种植密度 $450\,000\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,计算出每盆5株大豆施肥量,播种时一次性施入。试验盆栽组成盆栽小区,共4行,每行之间间隔0.35 m,每行代表一个样地。

盆栽装土,对确定的4个样地按照0~20 cm、20~30 cm、30~40 cm深度分层取土装盆,取土前先用环刀分层测定土壤湿容重,根据对应盆深度的体积,计算各层应装入的土量。大豆播种时,进行苗床处理,保证土壤湿润,播种后每日观察土壤湿度状况,定期浇水,并进行松土、除草、洒药等田间管理。

### 1.2 测定项目与方法

对于选取的4个样地,取耕作层土壤,进行理化性质分析。用沉降法测定机械组成,重铬酸钾-外加热法测定有机质含量,电位法测定pH,氢氧化钠-酸碱解扩散法测定碱解氮含量,碳酸氢钠浸提-比色法测定速效磷含量,乙酸铵浸提-火焰光度计法测定速效钾含量<sup>[4]</sup>。

大豆成熟后采用烘干法测产,将每盆大豆地上部分收割,装入样本袋后称量鲜重,置于烘箱,在 $105^\circ\text{C}$ 下烘干2 h,然后在 $80^\circ\text{C}$ 下烘干至恒重,称量地上生物量和籽粒重,并据此计算大豆籽粒在13%含水量下的产量。

### 1.3 数据分析

土壤供肥量采用下式计算<sup>[5]</sup>:

$$\text{土壤供肥量} = \frac{\text{不施肥产量}}{100} \times \text{百千克产量所需}$$

养分量

式中,不施肥产量指不施某一肥料下的产量,即NP、NK、PK施肥处理下的产量( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ),对应的土壤供肥量分别是土壤供钾量、供磷量和供氮量( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )。根据已有研究<sup>[5]</sup>,生产百千克大豆所需的养分量:需N量为2.4 kg,需 $P_2O_5$ 量为1.8 kg,需 $K_2O$ 量为4 kg。

肥料利用率采用下式计算<sup>[5]</sup>:

$$\text{肥料利用率}(\%) =$$

$$\frac{\text{施肥区大豆吸收养分量} - \text{缺肥区大豆吸收养分量}}{\text{肥料施用量} \times \text{肥料养分含量}} \times 100$$

式中,施肥区大豆吸收养分量分别指单施氮磷钾肥,即N、P、K处理下的产量( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )形成所吸收的养分量,缺肥区大豆吸收养分量是指不施肥,即CK处理下的作物产量( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )形成所吸收的养分量。

根据养分平衡法,施肥量采用下式计算<sup>[5]</sup>:

最优施肥量 =

$$\frac{\text{计划产量所需养分量} - \text{土壤供肥量}}{\text{肥料利用率}}$$

式中,最优施肥量是指达到计划产量所需施用的N、 $P_2O_5$ 和 $K_2O$ 量,计划产量所需养分量是达到计划产量( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )所需的N、 $P_2O_5$ 和 $K_2O$ 养分量。

## 2 结果与分析

### 2.1 垦区土壤养分现状

开垦后的黑土,有机质、速效磷、速效钾含量减少,下降最大幅度分别为83.5%、61.5%、77.5%,碱解氮含量则呈增加趋势,最大增幅达到146.0%。随着侵蚀程度的加强,有机质、碱解氮、速效钾含量逐渐减少,而速效磷含量则先减少后增加(表1)。

### 2.2 土壤供肥量和肥料利用率

通过养分平衡法计算的供试土壤供氮量为 $66.5\sim 51.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,平均为 $57.9\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,供磷量 $53.5\sim 45.3\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,平均为 $48.4\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,供钾量 $109.9\sim 92.4\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,平均为 $100.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (表2)。通常土壤对作物的供氮量为 $34.5\sim 126.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ <sup>[7]</sup>,供磷量 $15\sim 60\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ <sup>[8]</sup>,可见垦区供氮水平属于中等偏下,供磷水平属于中等偏上;从表2中还可看出,随侵蚀程度的加强,土壤供氮量和供钾量减少,供磷量先减少后增加。因此说明黑龙江垦区土壤供肥处于中等水平,随侵蚀程度的增加,其供肥能力逐渐下降。

表 1 黑龙江垦区土壤肥力现状

Table 1 The soil fertility status of reclamation region in Heilongjiang province

侵蚀程度 Erosion intensity	黑土厚度 Black soil depth/cm	母质层深度 Parent material depth/cm	有机质含量 Organic matter/%	碱解氮含量 Alkali-hydrolyzable N/ mg·kg <sup>-1</sup>	速效磷含量 Available P/ mg·kg <sup>-1</sup>	速效钾含量 Available K/ mg·kg <sup>-1</sup>
未开垦 <sup>[6]</sup> Unreclamation	-	-	11.20	92.3	75.0	240.0
轻度 Mild	35	60	4.69	227.0	26.9	125.8
中度 Moderate	28	35	4.29	188.8	15.1	70.1
严重 Serious	20	30	2.56	135.7	23.4	74.1
极严重 Very serious	5	30	1.85	90.0	28.9	54.1

表 2 土壤供肥量及肥料利用率

Table 2 Soil fertilizer consumption and utilization rate

侵蚀程度 Erosion intensity	土壤供氮量 N supply/ kg·hm <sup>-2</sup>	土壤供磷量 P supply/ kg·hm <sup>-2</sup>	土壤供钾量 K supply/ kg·hm <sup>-2</sup>	氮肥利用率 N utilization efficiency/%	磷肥利用率 P utilization efficiency/%	钾肥利用率 K utilization efficiency/%
轻度 Mild	66.5	53.5	109.9	8.0	3.8	62.0
中度 Moderate	59.4	45.3	104.3	10.0	10.2	67.3
严重 Serious	54.1	46.9	95.5	14.7	7.7	80.1
极严重 Very serious	51.5	47.7	92.4	24.3	3.6	84.6
平均 Average	57.9	48.4	100.5	14.3	6.3	73.5

研究区大豆的氮肥利用率与土壤供肥量相比,则表现出相反的特征,氮肥利用率随侵蚀程度的加强而增加,其变化幅度为8.0%~24.3%,平均为14.3%;磷肥利用率随侵蚀程度呈现出先增加后减少的趋势,变幅为3.8%~10.2%,平均为6.3%,钾肥利用率随侵蚀程度的增加而增加,变幅为62.0%~84.6%,平均为73.5%(表3)。根据已有研究,氮肥利用率一般在9%~72%<sup>[9]</sup>,磷肥的利用率一般在5%~20%<sup>[8]</sup>,钾肥利用率一般在40%以上<sup>[8]</sup>,因此,本研究区氮肥利用率偏低,磷肥利用率偏低,钾肥利用率较高。可以看出,研究区大豆对氮、磷利用率较低,对钾肥利用率较高。研究区肥料利用率的高低,除与土壤供肥量有关以外,与施肥深度、施肥方式、肥料性状等也有较大关系,需要做进一步研究。

### 2.3 大豆优化施肥量

当前黑龙江垦区大豆纯肥施用量为120 kg·hm<sup>-2</sup>,略高于黑龙江省农田纯肥施用量,低于东北地区平均施用量,只有全国平均施肥量的41%<sup>[10]</sup>。施氮量略低于黑龙江省,只有东北地区施氮量的42%,是全国施氮量的24%;从施磷量看,约为黑龙江省的2倍,东北地区的2.5倍,接近全国施磷量;施钾量与黑龙江省接近,为东北地区的64%,全国水平的32%(表4)。因此可以看出,该地区施肥量与其他地区相比施肥总量偏低。根据施肥的配比情况,施磷水平偏高,施氮和施钾量偏低,需要进行优化。施肥量的区域差异,除与当地的农艺管理水平有关外,还与所处区域的土壤状况、气候状况、作物类型等存在较大关系。

表 3 九三大豆施肥量与其它地区对比

Table 3 Comparing soybean fertilizing amount of Jiusan with other regions'

地区 Region	施肥量 Fertilizing amount/kg·hm <sup>-2</sup>	N/kg·hm <sup>-2</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / kg·hm <sup>-2</sup>	K <sub>2</sub> O/ kg·hm <sup>-2</sup>	N:P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :K <sub>2</sub> O
九三 Jiusan	120	46	60	14	1:1.3:0.3
黑龙江 <sup>[10]</sup> Heilongjiang	108	56	33	19	1:0.6:0.3
东北 <sup>[10]</sup> Northeast China	156	110	24	22	1:0.2:0.2
全国 <sup>[10]</sup> China	296	189	63	44	1:0.3:0.2

以各样地各施肥处理平均产量的 1.15 倍作为计划产量,采用养分平衡法计算施肥量及配比(表 4)。得出,垦区不同土壤条件下,需要增加施肥量,建议纯肥施入量为 142.9~302.6 kg·hm<sup>-2</sup>,平均为 220.6 kg·hm<sup>-2</sup>,是当前纯肥施入量的 1.2~2.5 倍;计算出的施 N 量为 61.9~168.2 kg·hm<sup>-2</sup>,平均 113.2 kg·hm<sup>-2</sup>,是当前量的 1.4~3.7 倍;施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的

量为 39.0~122.6 kg·hm<sup>-2</sup>,平均为 81.9 kg·hm<sup>-2</sup>,是当前量的 0.7~2.0 倍;建议施 K<sub>2</sub>O 的量为 19.3~31.2 kg·hm<sup>-2</sup>,平均为 25.5 kg·hm<sup>-2</sup>,是当前量的 1.4~2.2 倍。通过不同肥料的施入量,计算施肥配比,施氮比例均明显高于当地,施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 比例均明显低于当地,施 K<sub>2</sub>O 比例则差异不大。当地大豆施肥量及配比需要进行优化,提高施氮量,保证施肥配比。

表 4 黑龙江垦区优化施肥量及配比

Table 4 Optimal amount and ratio of fertilizer in Heilongjiang reclamation region

侵蚀程度 Erosion intensity	计划产量 Planned production/ t·hm <sup>-2</sup>	纯肥总量 Fertilizing amount/ kg·hm <sup>-2</sup>	N /kg·hm <sup>-2</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg·hm <sup>-2</sup>	K <sub>2</sub> O /kg·hm <sup>-2</sup>	N:P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :K <sub>2</sub> O
轻度 Mild	2.82	291.7	137.9	122.6	31.2	1:0.89:0.23
中度 Moderate	2.70	302.6	168.2	104.6	29.8	1:0.62:0.18
严重 Serious	2.43	142.9	84.7	39.0	19.3	1:0.46:0.23
极严重 Very serious	2.39	145.1	61.9	61.4	21.8	1:0.99:0.35
平均 Average	2.60	220.6	113.2	81.9	25.5	

### 3 结论

本研究通过在黑龙江省九三农垦管理局鹤山农场选择样地,采集土样,开展土壤肥力的盆栽试验,得出该区开垦后的黑土,土壤养分发生显著变化,有机质含量、速效磷含量、速效钾含量减少,碱解氮含量则呈增加趋势。随侵蚀程度的增加,有机质、碱解氮、速效钾含量逐渐减少,速效磷含量则先减少后增加。研究区土壤供肥量处于中等水平,其中土壤供氮量中等偏下,供磷量中等偏上。开垦后的农地,随侵蚀程度的增加,土壤供氮量和供钾量逐渐降低,供磷量先降低后增加。大豆对钾肥利用率较高,对氮、磷利用率较低。随侵蚀程度增强,大豆的氮肥利用率和钾肥利用率逐渐增加,而磷肥利用率则先增加后减小。根据试验结果,建议提高施肥总量为当地的 1.2~2.5 倍,增加氮肥用量,保证施肥配比。

### 参考文献

[1] 熊毅,李庆逵. 中国土壤[M]. 北京:科学出版社,1987:117-121. (Xiong Y, Li Q K. China soil[M]. Beijing: Science Press, 1987:117-121.)

[2] 全国土壤普查办公室. 中国土种志(第二卷)[M]. 北京:中国农业出版社,1994:276-286. (National soil survey office. Annals of China soil species(Volume 2)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1994:276-286.)

[3] 胡刚,伍永秋,刘宝元,等. 东北漫岗黑土区切沟侵蚀发育特征[J]. 地理学报,2007,62(11):1165-1173. (Hu G, Wu Y Q, Liu B Y, et al. The growth characteristics of gully erosion over rolling

hilly black soil area of Northeast China[J]. Acta Geographica Sinica, 2007, 62(11): 1165-1173.)

[4] 林大仪. 土壤学实验指导[M]. 北京:中国林业出版社,2004:100-120. (Lin D Y. Soil science experiment guidance[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2004:100-120.)

[5] 谭金芳. 作物施肥原理与技术[M]. 北京:中国农业大学出版社,2003:46-47. (Tan J F. Crop fertilization principle and technology[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2003: 46-47.)

[6] 宋秀丽,谷思玉,郭爱玲,等. 九三农场不同开垦年限农田黑土养分分析[J]. 东北农业大学学报,2010,41(2):66-69. (Song X L, Gu S Y, Guo A L, et al. Analysis on nutrient content in black soil with different reclamation ages in Jiusan farm[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2010, 42(2): 66-69.)

[7] 朱兆良. 土壤氮素的矿化和土壤氮素有效性指标的评价[M]//朱兆良,文启孝. 中国土壤氮素. 南京:江苏科学技术出版社,1992:37-59. (Zhu Z L. Soil nitrogen mineralization and soil nitrogen availability indexes of evaluation[M]//Zhu Z L, Wen Q X. Soil nitrogen in China. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1992:37-59.)

[8] 沈善敏. 中国土壤肥力[M]. 北京:中国农业出版社,1999:230-307. (Shen S M. Soil fertility in China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999:230-307.)

[9] 朱兆良. 农田生态系统中化肥氮的去向和氮素管理[M]//朱兆良,文启孝. 中国土壤氮素. 南京:江苏科学技术出版社,1992:213-249. (Zhu Z L. Fertilizer nitrogen in the farmland ecosystem's whereabouts and nitrogen management[M]//Zhu Z L, Wen Q X. Soil nitrogen in China. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1992:213-249.)

[10] 国家统计局农村社会经济统计司. 中国农村统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2008:39. (The National Bureau of Statistics of Rural Social and Economic Statistics Division. Yearbook of China rural statistics[M]. Beijing: China Statistics Press, 2008:39.)