

# 严重侵蚀退化黑土农田地力快速提升技术研究

张兴义<sup>1</sup>, 张少良<sup>1,2</sup>, 刘爽<sup>1,2</sup>, 李浩<sup>1,2</sup>, 许闯<sup>3</sup>

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 哈尔滨 150081; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 黑龙江大学, 哈尔滨 150080)

**摘 要:**在一块平均坡度为  $4.1^\circ$  顺坡垄作严重侵蚀破皮黄黑土农田上, 通过集成等高改垄、秋深耕、增施牛粪和种植高产大豆品种等技术, 构建严重侵蚀退化黑土农田地力快速提升技术。结果表明: 治理后, 水土流失得以有效遏止, 大豆产量由治理前的平均  $1\,335\text{ kg/hm}^2$  增加到  $2\,518\text{ kg/hm}^2$ , 全坡面平均增产  $89.7\%$ , 变幅  $19.7\%\sim 172.4\%$ , 当年实现由低产田一举上升为中高产田。土壤水分胁迫是导致严重侵蚀坡耕地地力低的主要障碍因素, 严重侵蚀黑土坡耕地保水措施是地力提升的关键。实施等高种植和深耕措施可有效地降低地表径流, 提高土壤耕层含水量和水分利用效率。地力快速提升技术可为黑土区域水土保持和粮食增产提供一定支撑。

**关键词:**黑土农田; 土壤侵蚀; 地力; 快速提升

中图分类号: S153.6; S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)04-0001-05

## Study on Technique to Fleetly Upgrade of Productivity of Serious Eroded Black Farmland

ZHANG Xing-yi<sup>1</sup>, ZHANG Shao-liang<sup>1,2</sup>, LIU Shuang<sup>1,2</sup>, LI Hao<sup>1,2</sup>, XU Chuang<sup>3</sup>

(1. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081, China;

2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Heilongjiang University,

Harbin 150080, China)

**Abstract:** A technique of fleetly upgrading productivity of serious eroded black farmland was studied in this paper. Contour planting, deep plowing, cattle manure applying and high yield soybean breed sowing were integrated in a slope steepness  $4.1^\circ$  serious eroded black farmland. The results showed that soil erosion was greatly decreased, soybean grain yield increased from  $1\,335\text{ kg/hm}^2$  to  $2\,518\text{ kg/hm}^2$ , mean increase rate was  $89.7\%$  percent, from  $19.7$  to  $172.4$  percent in the whole slope farmland compared with the former farmland which no soil and water conservational managements. The farmland became from low to high yield in one year. The key obstacle factor of low productivity in serious eroded black farmland was soil moisture intimidation. Hence, water conservation was the key measure to upgrade productivity of serious eroded black farmland. Runoff could be greatly reduced by contour planting and deep plowing, which might increase soil moisture and water use efficiency. This technique will be benefit to soil and water conservation and crop yield increase in the black soil area of northeast China.

**Key words:** black farmland; soil erosion; farmland productivity; fleetly upgrade

黑土侵蚀是导致黑土退化的主要驱动因素, 严重侵蚀坡耕地黑土层流失殆尽, 呈现“破皮黄”, 土壤肥力显著降低, 多沦为低产田<sup>[1-2]</sup>。严重侵蚀退化黑土是限制作物产量提高的主要障碍因素, 可归为由于大量雨水随地表径流流失而致使作物水分胁迫和肥沃表土流失而导致土壤养分供给能力显著降低两个方面<sup>[3-4]</sup>。作为我国主要商品粮基地的东北黑土区对保障国家粮食安全起着举足轻重的作用, 国家近期和中

期粮食发展规划将东北黑土区列为主要增产区域, 在新增千亿斤粮食工程中, 黑吉两省将承担新增 150 亿 kg 粮食的重任。在耕地后备资源有限的情况下, 增产的措施主要集中在中低产田的改造上。当前东北黑土区中低产田占  $60\%$  以上, 其中因侵蚀退化而成为中低产田的黑土耕地约占  $20\%$ <sup>[5]</sup>。因此, 开展退化黑土耕地保育, 提升作物生产力是实现粮食增产目标的重要举措。近些年来, 人们对坡耕地水土流失特

收稿日期: 2010-02-03

资助项目: 中国科学院知识创新工程重大基地项目(KSCX1-YW-09-09); 国家科技支撑项目(2009BADB3B04); 黑龙江省杰出青年基金项目(JC200718)

作者简介: 张兴义(1966—), 男, 博士, 研究员, 主要从事黑土农业生态方面研究工作。E-mail: xzyzhang1966@yahoo.com.cn

征研究较多,但对如何提升侵蚀退化黑土地力的研究较少。选取典型严重侵蚀退化黑土坡耕地,以水土流失防控和土壤培肥为目标,以技术集成为手段,开展侵蚀退化黑土地力快速提升试验,探讨退化黑土低产田的改造技术,旨在为建立黑土坡耕地水土流失的治理和粮食增产提供技术支撑。

## 1 试验材料和研究方法

### 1.1 试验区概况

试验田位于大豆主产区黑土中部区的黑龙江省海伦市前进乡光荣村,试验坡耕地东西跨度 78.5 m,南北长 235 m,总面积 1.42 hm<sup>2</sup>,北纬 47°20.493′—47°20.630′,东经 126°50.354′—126°50.405′。西侧为分水岭,东侧为侵蚀沟。地势西北略高,向东南倾斜。海拔高度在 186.7~205 m,1942 年由榛柴林开垦为农田,顺坡垄作(见图 1)。年平均气温 1.5℃,1 月平均 -23.5℃,7 月平均气温 21℃,年均降水量 550 mm,作物有效生长季为 120~130 d。

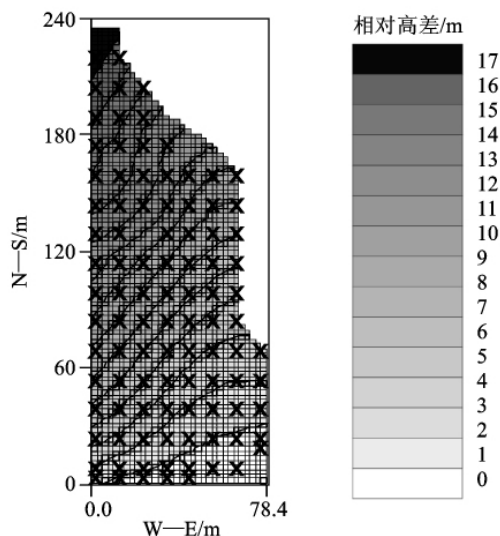


图 1 试验黑土坡耕地示意图(测产样点及等高线)

### 1.2 研究方法

1.2.1 试验处理 治理前管理措施:2003 年 10 月 11.03 kW 小型拖拉机秋旋 15 cm 起南北向垄,2004 年种植大豆,施种肥 N 107.2 kg/hm<sup>2</sup>,P 18.6 kg/hm<sup>2</sup>。

实施地力快速提升技术治理后的管理措施:2007 年 10 月秋施干牛粪 22.5 t/hm<sup>2</sup> 后,58.8 kW 大拖拉机秋旋 20 cm,沿等高线改垄,2008 年种植高产大豆品种北豆 14,施种肥 N 120 kg/hm<sup>2</sup>,P 24 kg/hm<sup>2</sup>。

1.2.2 试验测定 整块坡地采用标准栅格布点法,设置 102 个观测点,样点东西间距 10.5 m,南北间距 15 m(见图 1)。

(1)土壤性状的测定。采集每个样点耕层 0—20 cm 土壤样品,利用德国产元素分析仪 Elementar

VarioIII 测定土壤有机质和全氮含量;利用吸管法测定土壤机械组成。使用美国产型号为 CNC503B 的 TDR 测定垄台 0—15 cm 容积土壤含水量。

(2)产量测定。收获前一天分别测定处理前(2004 年)和治理后(2008 年)全坡面 102 个样点大豆产量,在每样点旁边采集两垄(垄距 0.7 m)长 3 m 小区大豆,测定籽实产量,转换为 14%含水量的籽实产量。

(3)高程测定。采用天津产型号 DS20 自动安平水准仪测定 102 个样点及整个地块最高最低点相对高程,以最低点为 0,计算出各点相对高程;同时测定 102 个样点南北各 2 m 处的相对高程,以此计算南北向样点坡度。

(4)水土流失观测。在试验田中建有 7 m × 7 m 径流观测小区和雨量计,全生育期观测地表径流量和土壤流失量。

样品的描述性分析采用 SPSS10.0 软件包,用美国 Gamma Design SoftWare 公司的地统计学软件 GS+5.3b 绘制各性状空间 Kriging 插值分布图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 严重侵蚀退化黑土农田地力快速提升技术大豆增产作用

通过实施以改垄等高种植水土保持技术、大拖拉机秋深耕整地技术、增施有机肥技术和种植高产大豆品种等构建的严重侵蚀退化黑土农田地力快速提升技术,治理后的全坡面大豆产量为 2 564.8 kg/hm<sup>2</sup>,治理前采用顺坡垄作、小型拖拉机耕作、未施有机肥的传统种植方式下的大豆产量为 1 353.0 kg/hm<sup>2</sup>(见图 2)。治理后较治理前全坡面平均增产 89.7%,不同位点增产幅度为 19.7%~172.4%,地力显著提升,当年实现了严重侵蚀退化低产黑土农田转变为中高产农田(见图 3)。

坡耕地由于地势的差异,造成土壤理化生物性状的空间异质性,进而导致大豆产量的空间异质性<sup>[6]</sup>。测定结果表明,治理前顺坡垄作大豆产量在整个坡面上,产量最低的区域分布在坡降最大的中部,以坡脚部位产量最高(图 2a),这和田间实际情况和他人的研究结果是一致的<sup>[7]</sup>。实施地力快速提升技术治理后大豆在整个坡面上产量,仍以坡脚最高,但坡中部位显著提高,以坡上和坡中过渡部位坡降较小处产量最低(图 2b)。对整个坡面而言,坡降最大的坡中部位侵蚀最严重,黑土层侵蚀殆尽,治理后产量增幅最大,坡降小且水肥条件相对较好的坡脚和坡上区域增产幅度较小(图 3),因此该地力快速提升集成技术对侵蚀越严重的农田愈适宜。

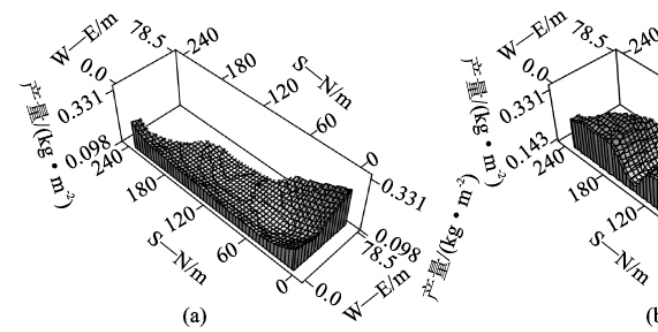


图 2 治理前顺坡垄作(a)和实施地力快速提升技术治理后(b)大豆产量及其全坡面空间分布特征

样本的标准差、变异系数、最大值、最小值表示数据的异质性程度,反映群体的变异性<sup>[8]</sup>。实施地力快速提升集成技术大豆产量、标准差、变异系数较治理前降低(表 1),表明增产的基础上,大豆产量在整个坡面的变异降低。

2.2 严重侵蚀退化黑土农田地力快速提升技术大豆增产因素分析

影响坡耕地作物产量的因子可归纳为土壤养分、土壤水分、坡度、垄向、土壤结构等。由于坡耕地存在严重的不均匀性,本试验不能采用传统的田间列区试

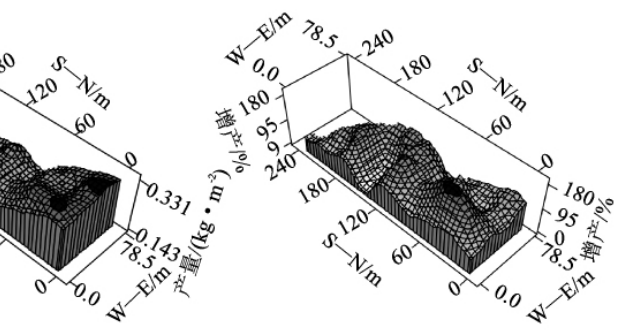


图 3 实施地力快速提升技术大豆增产作用及其全坡面空间分布特征

验来完成不同措施比较研究,而是在同一坡耕地上,采用大样点定位年际间治理前和治理后比较研究。通过比较治理前和治理后各样点性状的空间异质性的变化来阐明全坡面作物增产作用,通过各样点影响因子与作物产量空间相关性来揭示影响作物产量的机制。试验结果虽受年际间降雨和热量等差异的影响,但研究的目标是地力提升即作物增产作用,利用比较治理前后坡面产量变化以及影响作物产量因子作用变化来揭示地力提升技术的作用,可有效消除试验结果受年际间降雨和热量等差异的影响。

表 1 治理前后大豆产量和土壤水分分析结果

指标	处理	样本数	均值	最小值	最大值	标准差	变异系数
产量/(kg·m <sup>-2</sup> )	治理前	102	0.1353	0.0531	0.2589	0.0358	0.2642
	治理后	102	0.2565	0.1840	0.3910	0.0334	0.1301
土壤水分/%	治理前	102	28.1	21.2	35.9	3.26	0.116
	治理后	102	23.2	17.7	33.3	2.75	0.119

试验坡耕地土壤有机质和全氮具有极其相似的空间分布,空间相关系数高达 0.967。高值区出现在坡上部位,土壤有机质和全氮最大值分别为 52.6 g/kg 和 2.38 g/kg,低值区出现在坡降最大的坡中部位,最小值分别为 19.3 g/kg 和 0.95 g/kg。坡脚尽管黑土层厚达 1 m 以上,但由于表层土壤为坡中破皮

黄冲积下来的土壤所覆盖,有机质和全氮含量并不高(见图 4)。与大豆产量空间相关分析表明,治理前土壤有机质和全氮含量与大豆产量不存在显著相关关系,治理后却与大豆物产量呈极显著负相关关系(见表 2)。此结果说明该坡耕地土壤有机质和全氮对大豆产量影响较小,实施改垄等技术后其作用进一步减小。

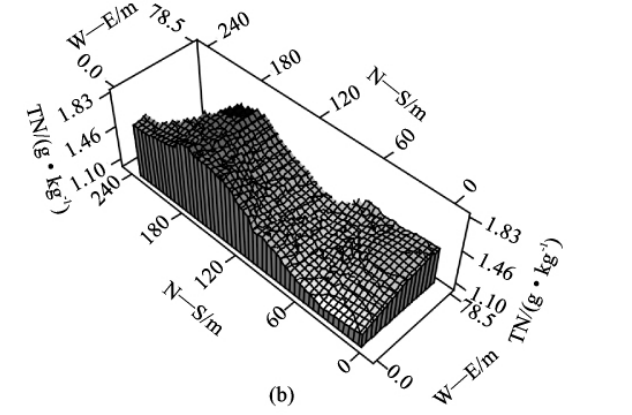
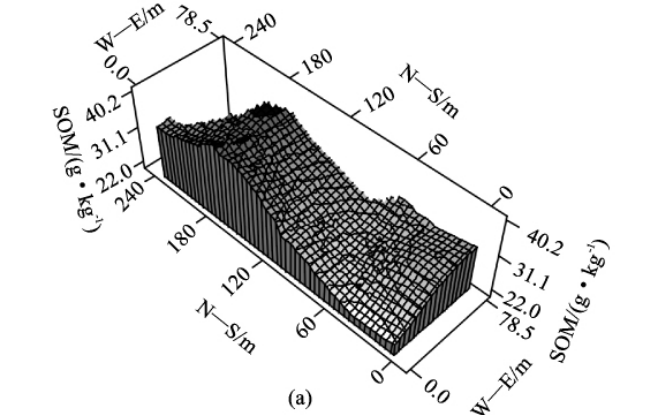


图 4 土壤有机质 SOM (a)和全氮 TN (b)全坡面空间分布特征

由于坡降的存在,降雨落在坡耕地地表后,常发生地表径流,导致雨水在坡耕地发生再分配,致使耕

层土壤含水量空间异质性增大,是导致作物产量空间异质性的主要原因之一。治理前,采用南北向顺坡垄作,水土流失严重,耕层土壤含水量空间分布特征总体为坡脚高,坡中低,与作物产量极显著相关(表 2),是限制作物产量的主要因子<sup>[3]</sup>。实施地力快速提升集成技术治理后,耕层土壤含水量全坡面区域变异性明显减小,与作物产量呈不显著相关(表 2)。主要是

由于实施深耕和改垄等高种植技术后沿垄向坡降明显降低,有效地遏止了地表径流的发生。据观测,2004 年径流量占全年降雨的 9.8%,土壤侵蚀量为 35.2 t/hm<sup>2</sup>。2008 年径流量仅占全年降雨的 0.48%,土壤侵蚀量为 0.43 t/hm<sup>2</sup>。因此遏止侵蚀坡耕地水土流失,显著改善土壤水分状况,是提升严重侵蚀黑土农田的前提<sup>[9]</sup>。

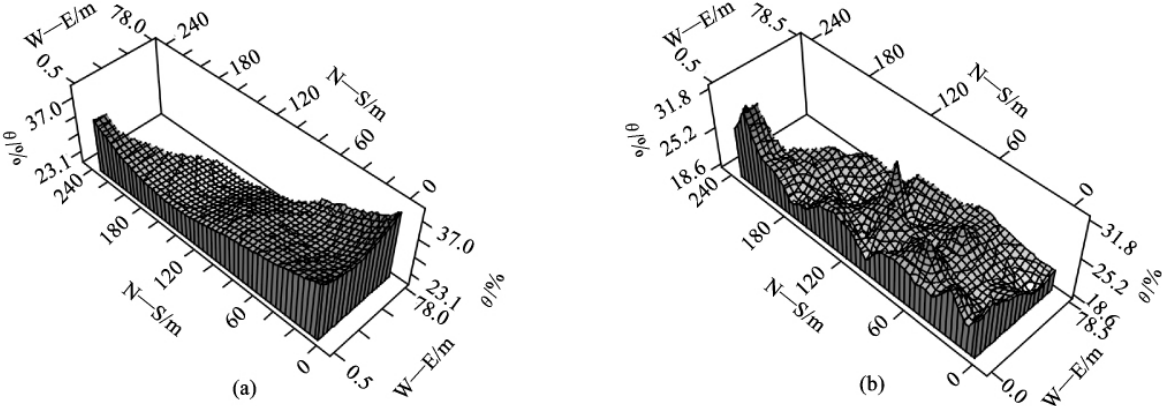


图 5 治理前(a)和治理后(b)土壤容积含水量(θ)全坡面空间分布特征

表 2 大豆产量与土壤水分和相对高程的空间相关性分析

项 目	治理前 产量	治理后 产量	治理前 土壤含水量	治理后 土壤含水量	土壤 有机质	土壤 全氮	南北 坡度	土壤 黏粒含量
治理前产量	1							
治理后产量	0.400**	1						
治理前土壤含水量	0.463**		1					
治理后土壤含水量		0.013	0.142	1				
土壤有机质	0.051	0.271**	-0.461**	-0.069	1			
土壤全氮	-0.011	-0.281**	-0.418**	-0.025	0.967**	1		
南北坡度	-0.151	0.032	-0.228*	0.094	-0.407**	-0.380**	1	
土壤黏粒含量	-0.234*	-0.013	0.133	0.111	-0.498**	-0.464**	0.491**	1

注:样本数 102 个,\* $p<0.05$ ,\*\* $p<0.01$ 。

坡度是决定水土流失量的重要因素,因此也是影响大豆产量的主要因素。治理前南北向顺坡垄作,南北向坡度与大豆产量呈不显著负相关,相关系数为-0.151,但与土壤有机质和全氮呈显著负相关,相关系数分别为-0.407和-0.380。实施地力快速提升技术,改南北垄为沿等高线起西南-东北向垄,沿垄向坡降小于 1.0°。雨水降落到农田后,由于坡降降低,沿垄沟冲刷力显著降低,地表径流量显著减少,雨水入渗进入土壤量增加,提高了土壤含水量,进而增加了降雨利用效率,提高作物产量(见图 6a)。

由于坡面发生水土流失,致使表层土壤黏粒含量(<0.002 mm)空间发生变异,在多数土壤上研究表明,侵蚀愈严重,表层土壤黏粒含量越大<sup>[10]</sup>,即黏粒含量可反映侵蚀程度,因此也与产量空间差异有关。测定结果显示,耕层土壤黏粒含量与南北向坡度呈极显著正相关,而与耕层土壤有机质和全氮含量呈极显著

负相关,这与平地结果相反,是由严重侵蚀所造成的;与治理前的大豆产量呈显著负相关,但与治理后的大豆产量相关不显著,说明实施地力提升技术,可有效消除一些坡耕地生产力的障碍因素。

3 结 论

通过集成水土保持技术、土壤耕作技术、培肥地力技术、附以种植高产作物品种,构建严重侵蚀地力快速提升技术,可当年实现严重侵蚀黑土坡耕地由低产田向中高产田的转变。实施水土保持技术,使水土流失得以基本遏止是地力提升的前提。通过深耕秋整地可改变坡耕地土壤结构,打破犁底层,增加农田土壤蓄水能力。通过施用有机肥,即可增加土壤有效养分,又可改善土壤结构。种植高产品种也是提升严重侵蚀黑土农田的一项重要措施。

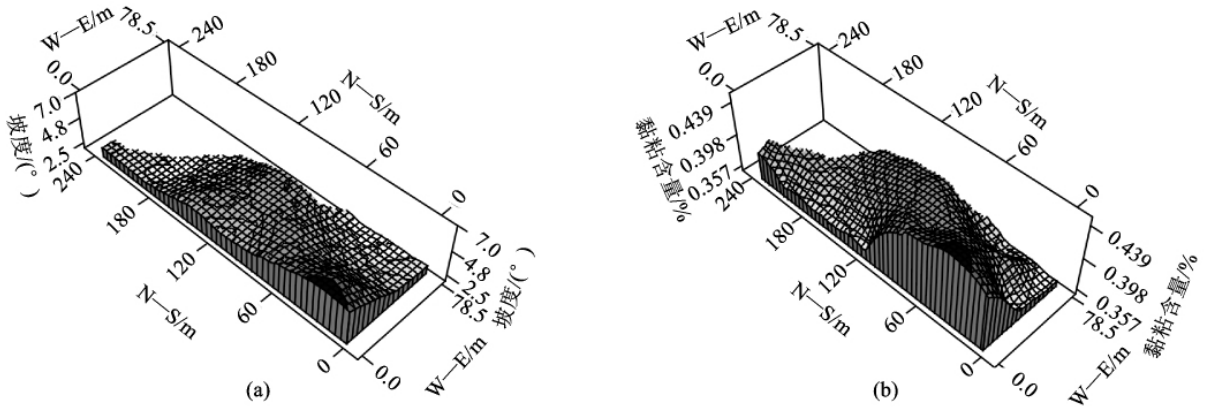


图 6 南北向坡度 (a) 和耕层土壤黏粒含量 (b) 全坡面空间分布特征

影响严重侵蚀黑土坡耕地大豆产量的主要因子是土壤水分,而土壤水分又受沿垄向的坡降显著影响,改垄不但可显著降低水土流失,又可显著提高土壤含水量,进而提高降雨水分利用效率。严重侵蚀黑土农田地力提升技术对侵蚀最严重产量最低的坡中位置增产作用最大,主要是该坡位大豆水分和养分胁迫最严重,土壤结构最差。以往文献多报道黑土农田由于水土流失导致黑土层变薄,甚至出现破皮黄,土壤有机质含量显著降低,土壤供肥能力降低,农田生产力严重下降,这是不争的事实。本试验结果表明,侵蚀导致黑土层变薄,黑土有机质下降并不是导致作物产量低的直接原因,最关键的是由于部分降雨随地表径流流失,而这部分流失掉的水是作物产量形成的有效水,故而坡耕地产量下降。因此如何降低水土流失,提高水分利用效率才是严重侵蚀退化黑土农田地力提升的关键所在。

侵蚀退化黑土坡耕地占黑土总耕地 50% 以上,严重侵蚀黑土农田地力提升技术可为黑土坡耕地粮食生产能力的提升提供一定支撑。

#### 参考文献:

[1] 刘宝元,阎百兴,沈波,等. 东北黑土区农地水土流失现状与综合治理对策[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(1): 1-8.

[2] 阎百兴,沈波,刘宝元. 东北黑土区水土流失与生态安全研究[M]. 北京: 科学出版社, 2009.

[3] 张兴义,王其存,隋跃宇,等. 大豆坡耕地土壤湿度时空演变及其与产量的空间相关性分析[J]. 土壤, 2005, 38(4): 410-416.

[4] 张兴义,刘晓冰,隋跃宇,等. 黑土水土流失对大豆生长发育的影响[J]. 大豆科学, 2006, 25(2): 123-126.

[5] 刘兴土,武志杰. 东北地区粮食生产潜力的分析与预测[J]. 地理科学, 1998, 18(6): 501-509.

[6] Shaffer M J, Schumacher T E. Simulating the effects of erosion on corn productivity[J]. Soil Science Society of America Journal, 1995, 59: 672-679.

[7] Cotching W E, Hawkins K, Sparrow L A, et al. Crop yields and soil properties on eroded slopes of red ferrosols in northwest Tasmania[J]. Aust. J. Soil Res., 2002, 40: 625-642.

[8] Goovaerts P. Geostatistics in soil science: State-of-the art and perspectives[J]. Geoderma, 1999, 89: 1-45.

[9] Nyborg M. Soil erosion-crop productivity relationships for six Alberta soils[J]. Journal of Soil and Water Conservation 1995, 50: 87-91.

[10] Miller M P, Sunger M J, Nielsen D R. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills[J]. Soil Society of America Journal, 1988, 52: 1133-1134.