

## 小流域尺度土壤物理特征时空差异及其对大豆初期生长影响

曾昭霞<sup>1</sup>, 刘孝利<sup>2</sup>, 姜红梅<sup>3</sup>

(1. 中国科学院 亚热带农业生态研究所/亚热带农业生态过程重点实验室, 湖南 长沙 410125; 2. 湖南农业大学 资源环境学院, 湖南 长沙 410128; 3. 兰州大学 资源环境学院, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 中国东北典型黑土区农业小流域的微地形特征对土壤物理特性、作物初期生长呈现显著影响。研究将东北黑土区典型农业小流域划分为3类典型景观地块: 坡顶高地、坡地和坡底洼地, 跟踪了流域内不同景观地块土壤物理性质时空差异及其对大豆(*Glycine max*)籽粒萌发和初期生长的影响。结果表明: 播种后洼地土壤耕作层土壤回温较慢, 大豆籽粒萌发和幼苗高度以及发芽率明显低于坡顶高地。流域内3类典型地块的土壤容重和土壤水分在时间和空间上存在显著差异( $P < 0.05$ )。研究结果可为流域尺度农田生态系统空间差异管理的理论框架提供数据支持。

**关键词:** 小流域尺度; 黑土区; 土壤物理性质; 大豆

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2013)02-0185-04

## Effects of Topographical Soil Physical Properties on Soybean Initial Stage Growth with Small Agricultural Watershed Scale

ZENG Zhao-xia<sup>1</sup>, LIU Xiao-li<sup>2</sup>, JIANG Hong-mei<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Agro-ecology/Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; 2. College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 3. College of Resources and Environment, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** Topographical micro-climate has significant effects on soil properties and crop growth in a small typical agricultural watershed of the Mollisol (fertile black soil) region located in the Northeast China. The quantitative characterization of spatio-temporal variability in soil properties and crop growth is an important component for successful precision-agriculture applications and optimization managements, and is essential to improve the resources utilization efficiency. This paper presented the spatial differences of soil physical properties, soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] seed germinations and the initial stage growth in the selected watershed. The watershed was divided into three parts including lowlands, slope-lands and highlands according to the terrain landscapes. Effects of the topographical micro-climate on soil properties and crop growth were significantly different in the study. The soil temperature and soil warms up in the lowlands was significantly lower and slowly than that in highlands and slopelands. Based on the research results, we discussed reasonable methods and agricultural management practices with temporal-spatial perspectives to improve the soil physical quality and water environment, and proposed a theory of spatial heterogeneity of differential management in agricultural ecosystems.

**Key words:** Small watershed scale; Black soil area; Soil physical properties; Soybean (*Glycine max*)

流域尺度地形特征对土壤特性、作物生长以及产量影响存在显著空间异质性<sup>[1-3]</sup>。土壤物理特征是影响作物籽粒萌发和幼苗生长的最重要因素, 尤其是土壤温度和水分, 播种后土壤温度低和水分含量过高都会影响籽粒萌发, 并阻碍幼苗生长<sup>[4]</sup>。土壤容重则是衡量土壤结实特征的最常用指标, 同时也被用于评估幼苗破土难易程度的大小<sup>[5]</sup>。土壤水分含量高会造成农田耕作管理活动允许压力下降, 农用机械压力同时造成水分条件较好的土壤犁底层形成, 是阻碍作物产量提高的重要因子<sup>[4]</sup>。

东北黑土区是我国大豆的主产区, 大豆播种面积和产量分别占全国的33%和44%<sup>[6]</sup>, 黑土区土壤肥沃, 但因属于冻土区导致播种期土壤温度过

低、水分含量过高, 加上粗放式的耕作管理, 造成资源利用效率低下、养分流失严重<sup>[7-8]</sup>。近年来因过度开垦及重用轻养导致黑土质量退化严重, 现试图通过黑土区小流域的微地形特征土壤特性、大豆生长的时空差异研究, 讨论流域尺度农业生产时空差异管理优化措施及其生态学意义。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验地概况

试验在黑龙江海伦地区距离中国科学院海伦生态实验站(N 47°26', E 126°38', 海拔240 m) 4 km的吴家屯小流域进行。海伦地区位于东北典型的

收稿日期: 2013-01-18

基金项目: 国家自然科学基金(31100329); 湖南农业大学青年基金(62020111031); 湖南省教育厅优秀青年基金(12B059)。

第一作者简介: 曾昭霞(1978-), 女, 博士, 主要从事土壤生态学研究。E-mail: elizeberth@163.com。

通讯作者: 刘孝利(1979-), 男, 博士, 讲师, 主要从事流域生态学、土壤生态学研究。E-mail: liuliu\_student@163.com。

黑土区,属于北温带大陆季风地区(冬季寒冷且冻期长,夏季高温多雨),近 10 余年(1995~2006)气象资料显示实验区年均降雨 530 mm,平均太阳辐射 2 600~2 800 h,总辐射能大约 113 MJ·cm<sup>-2</sup>,有效年均积温(≥10℃)2 450℃,无霜期 125 d 左右。所选小流域为黑土区典型的自然人文景观,村舍位于每个小流域的坡顶,小流域也是构成该区农业生产的基本地理单元,降雨不均加上人类管理粗放,雨季流域内农田水土流失严重。

## 1.2 试验设计

将所选小流域划分为 3 类典型景观地块,跟踪流域内 2007 年春季大豆播种前至播种后一段时间土壤物理特性及大豆籽粒萌发及生长的时空差异,选取分别距离村舍 100 m 的坡顶高地,200 m 的坡地,400 m 的洼地大豆田块(图 1)进行跟踪调研,每个位置选取 5 块大豆田块作为重复,以确保数据的科学性。根据调查,播种等田间管理基本同期,大豆种籽粒用量 60 kg·hm<sup>-2</sup>,通过千粒重的重复取样测定得出大豆籽粒播种密度约为 380 000 粒·hm<sup>-2</sup>。

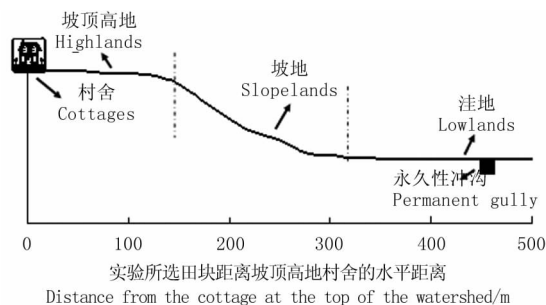


图 1 小流域农田 3 类典型地块划分示意图以及选取实验大豆田块距离村舍的水平距离

Fig.1 Depiction of the three typical topographical landscapes divided in the watershed

## 1.3 数据采集与统计分析

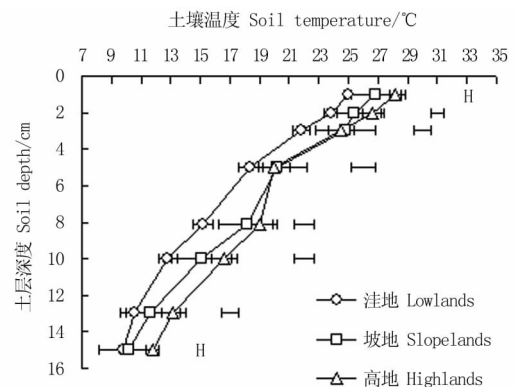
土壤样品用直径 8 cm 的土钻采集,土壤水分采用传统的烘干法测量。用灵敏地温计测定了播种后流域内 3 类不同地块 10 cm 耕层的土壤温度回温动态过程。大豆籽粒播种前土壤容重参照 Robertson 等<sup>[9]</sup>的方法测定。流域内 3 类典型田块大豆出苗后的幼苗密度动态用 1 m×1 m 的样方获取,同时跟踪播种后 35 d 大豆幼苗高度的空间差异。根据流域内所划分的 3 类典型地形,分别在每类地形带选取 5 块大豆田,每个田块 3 个重复进行数据监测。文中结果为 15 个数据的平均值±标准差。

数据采用 SPSS 11.0 统计软件包分析并统计数据组之间的显著性差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 流域尺度土壤物理特性的时空差异分析

由图 2 流域内 3 类典型地形的播种前耕层土壤剖面温度分布情况可见,洼地的土壤温度与坡地和坡顶高地土壤温度存在显著的空间差异( $P < 0.05$ )。同时,研究跟踪了播种后每天上午 10:00 耕层 10 cm 处土壤温度的回升动态,发现流域内洼地的土壤回温较慢,地温显著低于流域内坡顶高地的地温( $P < 0.05$ ),随着后期气温升高,这种差异呈逐渐减小趋势,但是高地和坡地的土壤温度仍略高于洼地(图 3)。



Error bars are the LSD at  $P < 0.05$ ; ns: no significant difference. The same below.

图 2 播种时(2007 年 5 月 3 日)流域内 3 类典型地块土壤剖面温度比较

Fig.2 Comparison of soil temperature in soil profiles at three typical topographic lands at sowing(3rd May 2007)

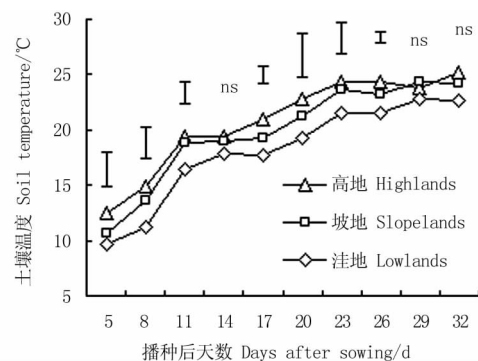


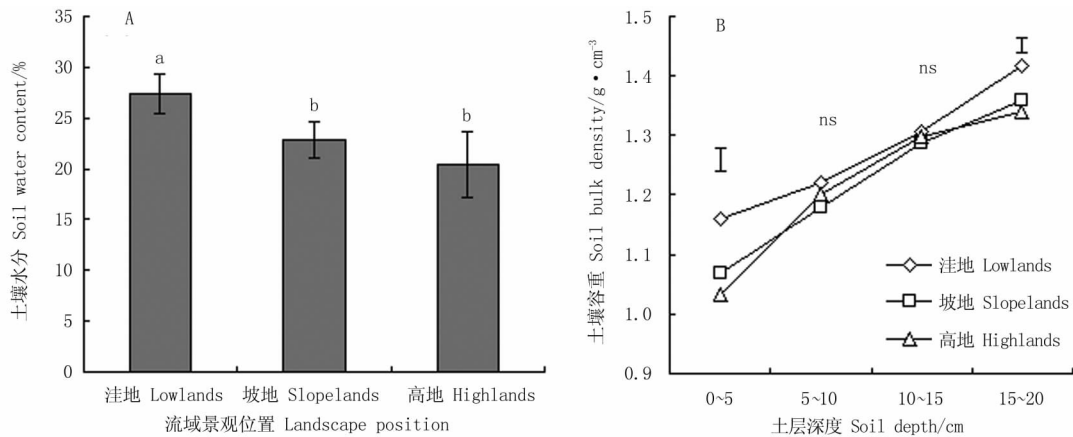
图 3 播种后流域内不同景观田块耕层土壤温度回升时空差异

Fig.3 Soil temperature in 10 cm depth warms up after sowing under different land topographic form in the watershed

播种时土壤表层 20 cm 土壤水分测定结果显示,流域内洼地的土壤水分含量显著高于坡地和坡顶高地,坡地和坡顶高地没有显著差异( $P < 0.05$ ),坡顶高地土壤水分含量最低,但是仍在 20% 以上(图 4A)。流域洼地土壤 0~5 cm 表土以及 15~20 cm 深

层土壤容重显著高于高地和坡地( $P < 0.05$ ),其他

土层差异不显著(图 4B)。



柱状图显示平均值  $\pm$  标准差,不同字母表示差异显著。下同。

Columns in (A) are mean  $\pm$  standard deviation, significant difference was represented with different lowercases. The same below.

图 4 播种时流域内不同景观田块土壤水分(A)与土壤容重(B)差异分析

Fig. 4 Soil water content (A) and soil bulk density (B) before sowing in spring under different topographical landform in the watershed

## 2.2 大豆籽粒萌发与初期生长的空间异质性

从图 5 可以看出,高地大豆籽粒萌发速度快,每次测量植株密度都与洼地呈显著性差异,洼地大豆籽粒萌发慢,且最终大豆植株密度仍显著低于坡地和高地(图 5A)。播种后 35 d 时大豆幼苗高度在空

间上仍然存在显著性差异,洼地幼苗高度最低,显著低于坡地和高地(图 5B)。大豆籽粒在流域内 3 类典型地形下萌发率存在显著性差异,高地大豆籽粒萌发率最高,显著高于洼地籽粒萌发率( $P < 0.05$ ),略高于坡地(图 6)。

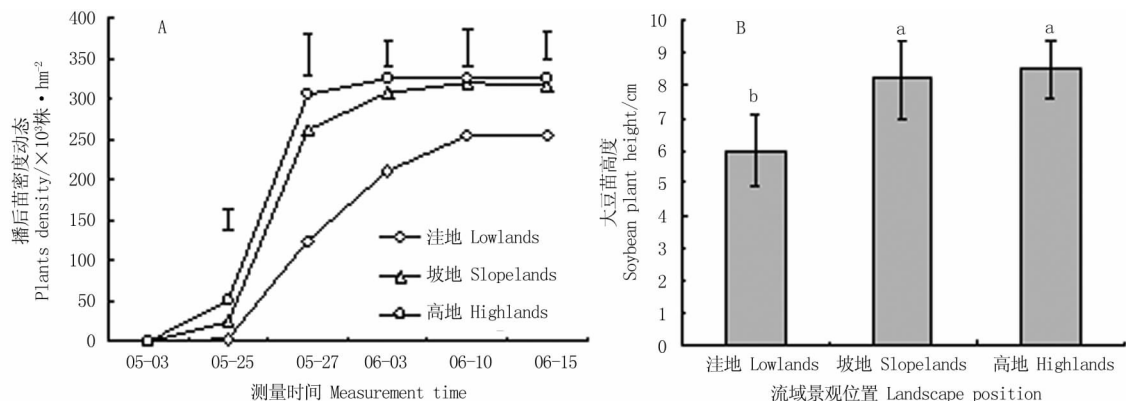


图 5 播种后大豆萌发动态(A)以及播种后 35 天时植株高度(B)空间差异比较

Fig. 5 Soybean seeds germination dynamics (A) and the seedlings height (B) 35 days after sowing

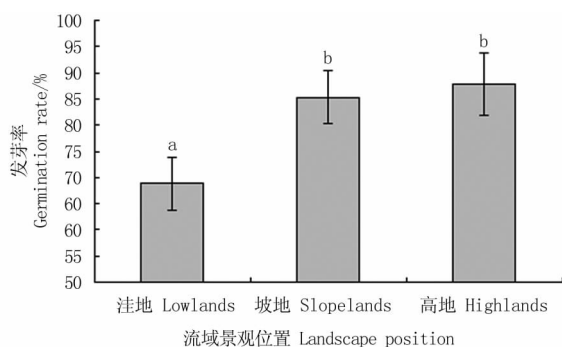


图 6 大豆籽粒最终萌发率比较

Fig. 6 Comparison on soybean seeds terminal germination rate

## 3 讨论

东北黑土区是我国大豆生产的主要基地,同时黑土是我国最肥沃的土壤类型,近年来由于重用轻养、大量化肥粗放投入和管理不当造成黑土肥力下降、养分面源流失日趋严重,因此稳定产量的同时达到农业水环境友好和资源利用效率较高的目标是东北黑土区农田生态系统可持续发展亟待解决的难题<sup>[8]</sup>。黑土区黑土资源近几年退化严重,产量不稳,土壤和水环境质量下降,保护黑土地已经刻不容缓<sup>[10]</sup>。东北黑土区的土壤侵蚀已经越来越严重,由水土流失带来的危害,已经严重威胁到了该区农业生产和社会的可持续发展<sup>[8]</sup>。

农业非点源污染是导致区域水环境恶化的重要原因之一,由于耕作模式、微气候特征、景观单元之间存在空间差异,导致非点源污染呈现地理空间不均匀性<sup>[11-12]</sup>,因此农业生产及管理存在小流域尺度上空间优化的必要,小流域内土壤及作物生长时间和空间异质性的定量研究,是提高流域内资源利用效率的有效途径,也是精确农业成功的基本要素,同时也是优化流域尺度水环境管理的理论基础<sup>[12-13]</sup>。

已有研究表明产量变异性的60%是由于土壤物理特性和地形特征引起的<sup>[14]</sup>,而且水土流失与农业面源污染均呈现流域尺度上的时空差异性<sup>[11-12,15]</sup>。本研究发现黑土农业小流域土壤特性和作物生长在时间和空间上均存在显著差异,播种流域内洼地土壤水分过高会由于农业机械压力造成土壤压实,同时研究发现洼地地温回升较慢,籽粒萌发率及幼苗生长受到显著影响。已有研究表明洼地农田面源污染负荷明显高于高地和坡耕地,且农业小流域尺度种植密度、施肥强度等管理的空间优化均可降低流域氮磷营养的流失,提高大豆产量<sup>[8,16]</sup>。

本研究结果表明,东北黑土区典型农业小流域内大豆籽粒萌发和初期生长受到土壤特征和流域地形特征的显著影响,农业管理存在流域尺度空间上优化调整的可能和必要。结合相关研究结果,对农业小流域尺度上的优化管理提出几点建议:1)流域内洼地播种时由于温度回升慢,土壤水分和土壤容重较高,应该适当提高洼地大豆籽粒的播种密度以确保苗密度;2)坡地和高地由于靠近村舍,可进行较高强度干扰,进一步提高单产,提高农业小流域水环境质量;3)农业生产活动,尤其是施肥,应该根据播种初期土壤物理特性与籽粒萌发初期生长的时空差异进行调整。

## 参考文献

- [1] 李玉凤,刘红玉,郝敬锋,等.农村小流域景观结构与水质耦合关系分析——以仪征市陈集镇为例[J].生态与农村环境学报,2010,26(1):15-19. (Li F Y, Liu H Y, Hao J F, et al. Relationship between landscape structure and water environment in small rural watersheds[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2010, 26(1): 15-19. )
- [2] 赵海霞,李波,刘颖慧,等.皇甫川流域不同尺度景观分异下的土壤性状[J].生态学报,2005,25(8):2010-2018. (Zhao H X, Li B, Liu Y H, et al. The soil properties along landscape heterogeneity on different scales in Huangfuchuan Watershed [J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(8): 2010-2018. )
- [3] Kravchenko A N, Bullock D G. Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties[J]. Agronomy Journal, 2000, 92(1): 75-83.
- [4] Le Bissonnais Y, Bruand A. Crust micromorphology and runoff generation on silty soil materials during different seasons[J]. Catena Supplement, 1993, 24: 1-16.
- [5] Panayiotopoulos K P, Papadopolou C P, Hatjioannidou A. Compaction and penetration resistance of an Alfisol and Entisol and their influence on root growth of maize seedlings[J]. Soil and Tillage Research, 1994, 31(4): 323-337.
- [6] Liu X B, Jin J, Herbert S J, et al. Yield components, dry matter, LAI and LAD of soybeans in Northeast China[J]. Field Crops Research, 2005, 93(1): 85-93.
- [7] 张晓平,方华军,杨学明,等.免耕对黑土春夏季节温度和水分的影响[J].土壤通报,2005,36(3):313-316. (Zhang X P, Fang H J, Yang X M, et al. Effects of no-tillage practices on temperature and moisture of a black soil in the spring and early summer[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2005, 36(3): 313-316. )
- [8] 曾昭霞,刘孝利,王克林,等.农业小流域粮食产量稳定与水环境质量提高途径研究[J].环境科学,2010,31(8):1784-1788. (Zeng Z X, Liu X L, Wang K L, et al. Strategy of grain yield stability cooperated with harmonious water environment quality of small agricultural watershed[J]. Environmental Science, 2010, 31(8): 1784-1788. )
- [9] Robertson G P, Bledsoe C S, Coleman D C, et al. Standard soil methods for long-term ecological research[M]. New York: Oxford University Press, 1999: 75-77.
- [10] 胡刚,伍永秋,刘宝元,等.东北漫岗黑土区浅沟侵蚀发育特征[J].地理科学,2009,29(4):545-549. (Hu G, Wu Y Q, Liu B Y, et al. Growth characteristics of ephemeral gully in rolling hills of black soils in Northeast China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2009, 29(4): 545-549. )
- [11] Wang X H, Yin C Q, Shan B Q. The role of diversified landscape buffer structures for water quality improvement in an agricultural watershed, North China[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2005, 107(4): 381-396.
- [12] 王夏晖,陆军,张庆忠,等.基于流域尺度的农业非点源污染物空间排放特征与总量控制研究[J].环境科学,2011,32(9):2554-2561. (Wang X H, Lu J, Zhang Q Z, et al. Spatial discharge characteristics and total load control of non-point source pollutants based on the catchment scale[J]. Environmental Science, 2011, 32(9): 2554-2561. )
- [13] 吕一河,刘国华,冯晓明.土壤水蚀的环境效应:影响因素、研究热点与评价指标的评述[J].生态与农村环境学报,2011,27(1):93-99. (Lyu Y H, Liu G H, Feng X M. Environmental impacts of soil water erosion: a review of influencing factors, hot research topics and evaluation indices[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2011, 27(1): 93-99. )
- [14] Hao X M, Thelen K, Gao J. Effects of soil and topographic properties on spatial variability of corn grain ethanol yield[J]. Agronomy Journal, 2010, 102(3): 998-1006.
- [15] 魏建兵,肖笃宁,李秀珍,等.东北黑土区小流域农业景观结构与土壤侵蚀的关系[J].生态学报,2006,26(8):2608-2615. (Wei J B, Xiao D N, Li X Z, et al. Relationship between landscape and soil erosion of an agricultural watershed in the Mollisols region of Northeastern China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(8): 2608-2615. )
- [16] 张艳,佟斌,吴晓秋,等.肥密处理对不同大豆品种产量和品质的影响[J].大豆科学,2010,29(3):444-447. (Zhang Y, Tong B, Wu X Q, et al. Effects of different fertilizer level and planting density on yield and quality of soybean[J]. Soybean Science, 2010, 29(3): 444-447. )