

东北黑土区坡耕地地形因子对土壤水分和容重的影响

葛翠萍^{1,2}, 赵军¹, 王秀峰³, 李勇^{1,2}, 张兴义¹

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 黑龙江 哈尔滨 150081;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 北海道大学 大学院农学研究院, 日本 北海道 060-8589)

摘要: 以东北黑土区典型坡耕地——海伦市光荣小流域为研究区域, 通过田间采集土样, 并结合 GIS 空间分析、常规统计学和地统计学方法, 研究了区域坡耕地地形因子对土壤水分和容重的影响。结果表明, 坡度对两者的影响最大; 高程和坡位的相关性也达显著水平; 坡向影响则不显著。坡度表现为与两者均呈显著负相关, 高程和坡位则对土壤水分的影响达显著水平, 坡向对两者的影响均不显著。地统计学分析结果认为, 土壤水分、容重分别为中等程度自相关和强自相关。坡度对土壤水分和容重的影响大于其它地形因子, 同时对研究区域的水土流失具有较大的影响。

关键词: 黑土区; 坡耕地; 地形因子; 土壤水分; 容重

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)06-0016-04

中图分类号: S159, TP75

Influence of Topographic Factors on Soil Water and Bulk Density in A Typical Slope Land in the Black Soil Area of Northeast China

GE Cui-ping^{1,2}, ZHAO Jun¹, WANG Xiu-feng³, LI Yong^{1,2}, ZHANG Xing-yi¹

(1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin, Heilongjiang 150040, China; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Lab. of Environmental Informatics Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, N-9, W-9, Kitaku, Sapporo 060-8589, Japan)

Abstract: A typical slope land with black soil in Guangrong small watershed of Northeast China was taken as the study area. Soil water content and bulk density were measured from soil samples. Spatial analysis, classic statistics, and geostatistics were used to explore the effects of topographic factors on soil water and bulk density. Results show that slope has the first significant influence on soil water and bulk density and the correlations are significantly negative. Elevation and slope position have significant effects on soil water and slope aspect has no significant influence on soil water and bulk density. Result from geostatistics analysis demonstrates that soil water and bulk density have a median spatial heterogeneity and a strong spatial heterogeneity, respectively. Slope has the more important effect on soil water and bulk density than others and plays an important role in the control of soil and water loss in the study area.

Key words: black soil; slope land; topographic factors; soil water; bulk density

土壤水分是作物生长必不可少的因素,也是农业生产中决定作物产量的关键因素之一。土壤容重是土壤最基本的物理性质之一,衡量土壤肥力指标的辅助标准,也是评价坡耕地土壤抗侵蚀能力的重要指标。地形因子(坡度、坡向、坡位、坡长、高程等)是影响耕层土壤水分的重要因素,不同的降水、坡面光照、气温等使不同地形因子的土壤水分存在很大差异^[1-2],形成不同的土壤生物环境,进而由于植被等作用影响到容重的分布。目

前,大多数基于地形因子的土壤水分和容重研究主要在黄土区^[1,3-4],而在东北黑土区的研究相对较少。魏建兵^[5]等曾对通双小流域的土壤容重做过类似的研究。本研究选取东北黑土区典型坡耕地水土流失严重区前进小流域作为研究对象,研究该区域地形因子对土壤水分和容重的影响,以及主要地形因子与土壤水分、容重的空间分布关系,为东北黑土区坡耕地水土流失的调控和合理种植提供理论依据。

收稿日期:2008-03-04

修回日期:2008-08-28

资助项目:黑龙江省黑土生态实验室重点基金项目(HTST07); 国家科技基础条件平台建设项目(2006DKA32300-04)

作者简介:葛翠萍(1982—),女(汉族),山东省潍坊市人,在读硕士,研究方向为地理信息系统和土壤肥力。E-mail:gecuiping@yahoo.cn。

通信作者:赵军(1958—),女(汉族),黑龙江省哈尔滨市人,研究员,硕士,硕士生导师,主要从事信息农业技术、GIS和土壤水肥模拟模型等的研究。E-mail:zhaojun@neigae.hrb.ac.cn。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究区位于松嫩平原典型黑土区海伦市西南前进小流域,东经 $126^{\circ}49'47''$ — $126^{\circ}51'11''$,北纬 $47^{\circ}20'32''$ — $47^{\circ}22'42''$,占地面积 528.9 hm^2 ,地势丘陵起伏,90%为坡耕地,坡缓坡长,共有6条侵蚀沟,水土流失十分严重。该区域属于温带大陆性季风气候,冬季寒冷干燥,夏季温热多雨,雨热同期,年平均降雨量大约为 550 mm ,其中60%~70%集中在6—8月份,年均气温为 1.5 左右,主要耕作土壤类型为黑土和草甸土,主要种植作物为玉米和大豆。

1.2 研究方法

1.2.1 数据获取 采用 TDR (time-domain-reflectometry) 测量耕层 $0\text{--}20 \text{ cm}$ 的土壤水分,用环刀法测量土壤容重。为减小作物对土壤水分和容重的影响,本次采样时间为2007年秋收后10月上旬,无降雨,属正常年份,采样全部在玉米地内,集中在3 d内完成。在采样时考虑了不同坡位(坡上、坡中、坡下)、高程($189\text{--}223$, $>223 \text{ m}$),均匀采样,每隔 100 m 采集一个土样,采集5个土壤水分样点时,测定一个土壤容重,在地形变化剧烈区容重样点间距减小,剔出异常值后(包括信息模糊样点等),共计土壤水分样点150个,容重样点56个(同时测量土壤水分)。为了减少偶然误差对土壤水分的影响,对一个采样点3次重复采样,计算后取平均值。土壤水分和容重样点分布状况见图1。

1.2.2 数据处理与分析方法

(1) 将研究区地形图(黑龙江省测绘局 $1:100000$)扫描,在 ARCFINFORM 9.0 支持下,进行几何精纠正,用 R2V 进行矢量化,最后生成 DEM,在 ARCFINFORM 9.0 中根据 DEM 计算坡度、坡向,通过 reclassify 命令分为平缓坡($-1^{\circ}\text{--}0^{\circ}$)、阳坡($135^{\circ}\text{--}225^{\circ}$)、半阳坡($45^{\circ}\text{--}135^{\circ}$, $225^{\circ}\text{--}315^{\circ}$)和阴坡($0^{\circ}\text{--}45^{\circ}$, $315^{\circ}\text{--}360^{\circ}$)4个坡向等级,并结合采样点记录数据,得到坡位(坡上、坡中、坡下)和高程($189\text{--}223$, $>223 \text{ m}$)数据。

(2) 利用经典统计方法分析土壤水分和容重的常规统计学特征,并对不同地形上的土壤水分和容重数据进行单因素方差分析。

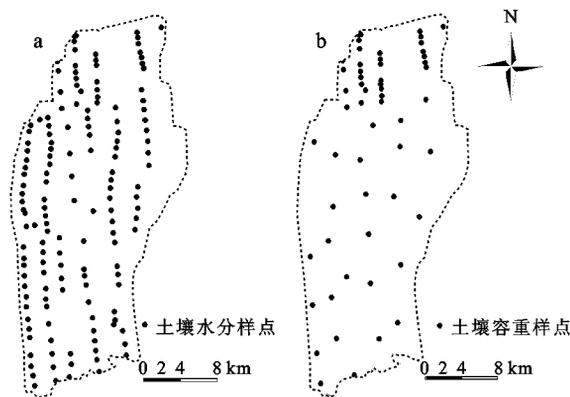


图1 土壤水分样点(a)、容重样点(b)分布图

(3) 采用地统计学方法分析土壤水分和容重的空间变异特征。地统计学的主要工具是半变异函数(也叫变异函数),其定义为区域变量 $z(x_i)$ 和 $z(x_i+h)$ 增量平方的数学期望,即区域化变量的方差^[6]。其公式为

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i+h)]^2$$

式中: $\gamma(h)$ ——半变异函数; h ——步长,即为了减少各样点组合对的空间距离个数而对其进行分类的样点空间间隔距离; $N(h)$ 为间隔距离为 h 时的样点对数; $z(x_i)$ 和 $z(x_i+h)$ ——变量 z 在空间位置 x_i 和 x_i+h 上的数值。

本研究在数据统计分析中使用了 SPSS10.0; ArcGIS9.0 及 EXCEL 软件等。

2 结果与分析

2.1 土壤水分和容重的常规统计学特征

从表1可以看出,土壤水分介于 $5.57\% \sim 28.57\%$ 之间,平均为 16.48% ,变异系数为 0.27 ,属于中度变异,峰度系数为 -0.01 ,偏度系数分别为 -0.01 ;而容重介于 $0.78 \sim 1.18 \text{ g/cm}^3$,平均为 0.98 ,变异系数为 0.10 ,属于弱变异,峰度系数为 0.22 ,偏度系数为 0.31 ,表明两组数据均符合正态分布,同时 K-S 检验也说明两者均符合正态分布。

2.2 地形因子对土壤水分和容重的影响分析

2.2.1 高程对土壤水分和容重的影响分析 根据采样点的高程,将采样点分为2组,分别为 $189\text{--}223 \text{ m}$, $>223 \text{ m}$,对两组数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA)(表2),研究不同高程对土壤水分和容重的影响。

表1 土壤水分和容重的统计学特征

项目	样本数	最大值	最小值	平均值	中值	标准差	变异系数	峰度系数	偏度系数	K-S
土壤水分/%	150	28.57	5.57	16.48	16.47	4.49	0.27	-0.01	-0.01	0.749
容重/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	56	1.18	0.78	0.98	0.96	0.10	0.10	0.22	-0.31	0.474

表 2 表明,在 189 ~ 223 m 高程段上,土壤水分和容重的平均值均比 > 223 m 的高程段大。对于土壤水分来说,高程越低,土壤水分不易蒸发,从而使土壤水分含量相对较高;高程大的地方,一般坡度相对较大,春季更易受到风蚀和水蚀,水土流失比较严重,保水能力相对较弱,易流失水分^[7]。对于容重来说,高程高的地方较高程低的地方,容重较小,但二者相关性不显著。

方差分析结果表明,不同的高程组上土壤水分在 0.05 的水平上存在显著性差异 (sig. = 0.02 < 0.05),而容重则不存在显著性差异,说明在研究区内高程对土壤水分的影响较大,但不是影响容重空间分布差异的主要因素。

2.2.2 不同坡位对土壤水分和容重的影响分析 根据样点的位置以及采样时的调查数据将采样点分为坡上、坡中、坡下 3 组,按照不同坡位对土壤水分和容重进行单因素方差分析(表 3)。

表 3 表明,不同坡位上,土壤水分大小关系为:坡下部 > 坡上部 > 坡中部。这与徐学选研究黄土丘陵区土壤水分的空间差异^[8]的结论不同。徐学选认为土壤水分在不同坡位的关系为:坡下部 > 坡中部 > 坡上部,可能的原因是该区域坡长坡缓,水土流失严重,距坡上部越远,接收坡上来水越多,导致坡下土壤水分含量上升,而坡中部分由于坡长且缓,接受到的太阳辐射面大,风吹持久,导致土壤水分含量最低;容重的大小关系为:坡下部 > 坡中部 > 坡上部,与连刚在黄土区^[9]的研究结论一致,同时也与不同高程段对

容重的影响结论一致。不同坡位方差分析结果表明,土壤水分和容重均满足方差齐性 (sig. 值分别 0.08, 0.17, 均大于 0.05)。而单因素方差分析表明土壤水分在不同坡位上存在显著性差异 (sig. = 0.02 < 0.05),容重在不同坡位上则不存在显著性差异 (sig. = 0.61 > 0.05),这与魏建兵在拜泉通双小流域的研究结果不一致^[5],可能与研究尺度有很大关系。

2.2.3 不同坡度、坡向对土壤水分和容重的影响分析 该研究区内地形起伏变化剧烈,因此分析坡度与土壤水分和容重之间的关系时运用相关性分析,而分析坡向对其影响时运用单因素方差分析。由 DEM 进行坡度、坡向计算,获得该区的坡度、坡向分布图后,提取样点对应的坡度,进行土壤水分、容重与坡度的相关性分析,而根据坡向对样点进行分组进行单因素方差分析(表 4)。

土壤水分、容重与坡度的相关性分析表明,两者均与坡度分别在 0.01 和 0.05 的水平上呈显著负相关 (sig. 分别为 0.00, 0.04),说明随着坡度的增加土壤水分、容重均减小。这也说明,随着坡度的增加,降雨就地入渗率减少,径流量会增加,在相同的蒸发蒸腾潜力下,土壤中的含水量也就相应减少。

不同坡向土壤水分、容重含量均有差异,其中平缓坡含量最高:土壤水分为 18.32%,容重为 1.06 g/cm³;半阳坡最低:土壤水分为 15.68%,容重为 0.96 g/cm³,单因素方差分析表明两者的差异未达到显著水平,说明在该区域坡向不是影响土壤水分和容重的主要因素。

表 2 不同高程条件下土壤水分、容重差异检验

项目	平均值		方差齐性检验		组间差异	
	189 ~ 223 m	> 223 m	F 值	sig.	F 值	sig.
土壤水分/ %	18.26	15.79	2.49	0.12	5.26	0.02 *
容重/ (g · cm ⁻³)	0.99	0.95	0.69	0.41	1.53	0.22

注: *表示在 0.05 的水平上显著相关, **表示在 0.01 的水平上显著相关(下同)。

表 3 不同坡位条件下土壤水分、容重差异检验

项目	平均值			方差齐性检验		单因素方差分析	
	坡上部	坡中部	坡下部	F 值	sig.	F 值	sig.
土壤水分/ %	16.26	15.08	17.32	2.56	0.08	3.84	0.02 *
容重/ (g · cm ⁻³)	0.97	0.98	1.01	1.87	0.17	0.49	0.61

表 4 坡度、坡向对土壤水分、容重的影响

项目	与坡度的相关分析		平均值			组间差异		
	Pearson 相关系数	sig. (双尾)	平缓坡	阳坡	半阳坡	阴坡	F 值	sig.
土壤水分/ %	- 0.296 **	0.00	18.32	16.96	15.68	17.19	1.72	0.17
容重/ (g · cm ⁻³)	- 0.281 *	0.04	1.06	1.04	0.96	1.02	2.41	0.08

2.3 土壤水分、容重的空间分布特征

运用地统计学方法对样点土壤水分数据和容重进行插值,对比克里格方法和其它方法,克里格方法的插值精度较高,其中土壤水分和容重模型参数及交互验证参数如表5所示,插值结果见附图2。

两者插值均满足如下条件:(1) 预测误差的平均值接近0;(2) 均方根越小越好;(3) 平均标准差接近均方根;(4) 标准化均方根接近1,插值精度较好。在模型参数中,基台值与块金值的比值 $C_0/C+C_0$ 可以表明该性状的空间相关程度,若该比值 $< 25\%$,说明该性状具有强烈的空间相关性,若该比值在 $25\% \sim 75\%$ 之间,说明该性状具有中等强度的自相关,若该比值 $> 75\%$,则说明该性状的空间自相关较弱。土壤水分、容重的基台值与块金值的比值 $C_0/C+C_0$ 分别为 51.45% 、 22.22% ,分别属于中等强度的空间自相关和较强的空

间自相关,说明土壤水分比容重更易受到随机因素的影响。由以上统计分析可知,坡度对土壤水分和容重的影响要比坡向的大,因此,将土壤水分和容重的插值结果与坡度空间分布进行对比分析,(如附图2a,2b,2c)。结果表明,土壤水分基本以研究区中央为分界线,界线以东土壤水分含量较高,界线以西,仅有一小部分地区土壤水分含量高,原因是该区东部坡度较低($0^\circ \sim 5^\circ$),海拔较低,这与以上的统计结论一致;而容重的空间分布规律性则不太明显,整体来说,区域东北和南部容重相对较大,在 $1.02 \sim 1.18 \text{ g/cm}^3$,与该区域坡度较小有很大关系,而在北部区域容重较低,在 $0.83 \sim 0.93 \text{ g/cm}^3$,容重相差悬殊也可能与耕作措施、田间管理方式等有一定关系。从坡度与容重的空间分布图上可以看出,容重的分布与坡度的变化呈现出一定的规律性,即在坡度变化大的中偏北部和南部容重也较大。

表5 土壤水分、容重克里格插值模型及交互验证参数

项目	模型	变程 a/mm	$C+C_0$	C_0	均值	均方根预测误差	平均标准误差	标准平均值	标准均方根预测误差
土壤水分	指数	349.80	15.35	7.90	-0.064	4.314	4.511	-0.0154	0.964
容重	指数	210.88	0.009	0.002	-0.004	0.098	0.106	-0.0350	0.948

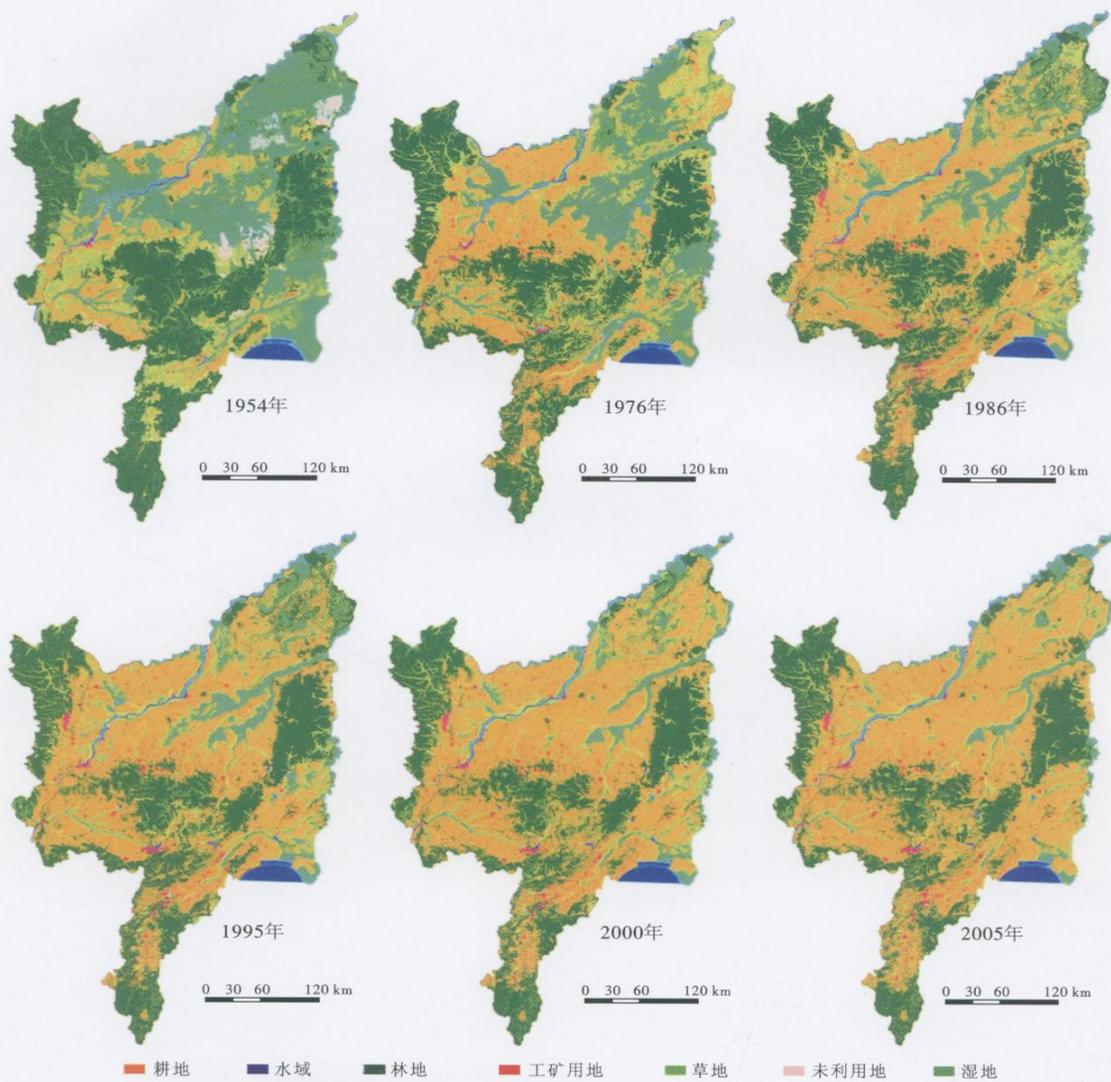
3 结论

地形因子对土壤水分和容重的常规统计学分析结果表明,坡度对两者的影响最为突出,高程和坡位对土壤水分的影响较容重大,而坡向对两者则均没有明显的影响。而地统计学对土壤水分和容重的分析表明,土壤水分具有中等的空间自相关现象,自相关距离为 349.8 m ,容重具有较强的空间自相关现象,自相关距离为 210.8 m ,人为干扰等随机性因素对土壤水分的影响比对容重的影响大;土壤水分的空间分布特征较容重的有规律,且在坡度变化大的地方,两者均变化剧烈,这与常规统计学的结论一致,即坡度对土壤水分、容重等具有重要的影响,同时也是影响该区域水土流失的最重要的因素之一。

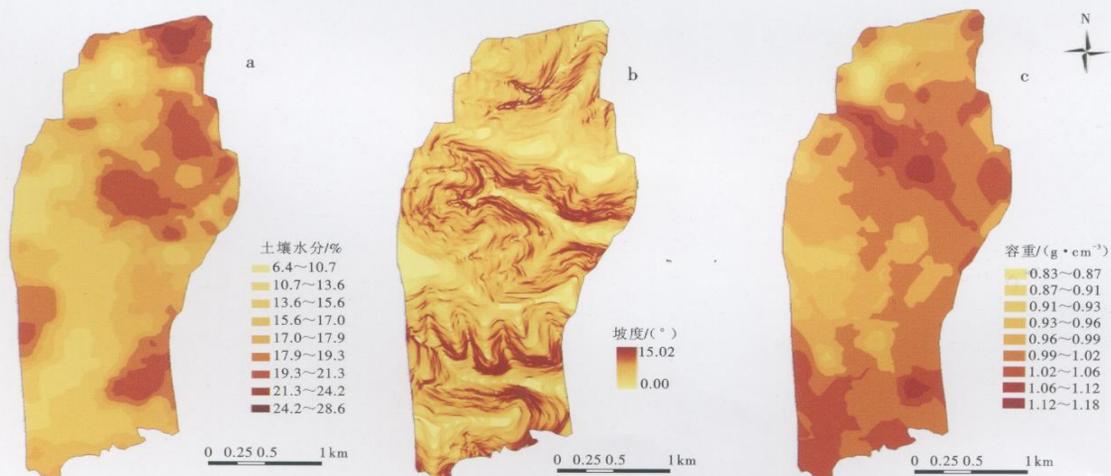
在同一地理位置上,土壤水分和容重虽然受坡度影响最大,但是坡向、坡位、高程和植被类型也都对其有一定的影响,因此,在坡耕地区域应考虑土壤水分的空间分布特征,采取合理的水土保持措施和改进田间管理方式,合理种植。

[参 考 文 献]

- [1] 刘鑫,毕华兴,李笑吟,等. 晋西黄土区基于地形因子的土壤水分分异规律研究[J]. 土壤学报,2007,44(3):411—417.
- [2] 刘梅,蒋定生,黄国俊. 不同坡面位置土壤水分差异规律分析[J]. 水土保持通报,1990,10(2):16—20.
- [3] 何福红,黄明斌,党廷辉. 黄土高原沟壑区小流域土壤水分空间分布特征[J]. 水土保持通报,2002,22(4):6—9.
- [4] 郑纪勇,邵明安,张兴昌. 黄土区坡面表层土壤容重和饱和导水率空间变异特征[J]. 水土保持学报,2006,18(3):53—56.
- [5] 魏建兵,肖笃宁,张兴义. 侵蚀黑土容重空间分异与地形和土地利用的关系[J]. 水土保持学报,2006,20(3):118—122.
- [6] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用[M]. 北京:科学出版社,1999:65—66.
- [7] 杨新,刘宝元,刘洪鸽. 东北黑土区丘陵漫岗夏季坡面土壤水分差异分析[J]. 水土保持通报,2006,26(2):37—40.
- [8] 徐学选,刘文兆,高鹏,等. 黄土丘陵区土壤水分空间分布差异性探讨[J]. 生态环境,2003,12(1):52—55.
- [9] 连纲,郭旭东,傅伯杰,等. 黄土高原小流域土壤容重及水空间变异特征[J]. 生态学报,2006,26(3):647—654.



附图1 三江平原土地利用覆被的空间格局 (1954—2005)



附图2 东北黑土区海伦市前进小流域土壤水(a)、容重(c)与坡度(b)的空间分布图