

近 20 a 来嫩江流域土壤退化的初步研究

王凌河^{1,2}, 胡东来^{2,3}, 严登华², 王刚²

(1. 大连理工大学 土木水利学院, 辽宁 大连 116023;

2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 3. 东华大学 环境科学与工程学院, 上海 200051)

摘要: 结合全国第二次土壤普查的数据和野外试验, 分析了嫩江流域近 20 a 的土壤质量变化。研究表明, 经过近 20 a 的演化, 土壤的质地发生变化, 土壤中粉粒成分占近 50%, 基本没有变化, 砂粒和黏粒的百分比发生变化, 砂粒减少了 22.95%, 黏粒增加了 50.09%。土壤质地主要以黏壤土和黏土为主, 所占面积百分比分别为 32.52% 和 66.51%。流域内壤土所占比例下降了 17.54%, 黏壤土和黏土分别增长了 9.34% 和 8.20%。嫩江流域土壤中的有机质含量范围 0.55% ~ 12.26%, 与普查数据比较呈下降趋势, 下游开发地区的土壤有机质含量下降趋势明显, 上游有机质含量增加了 27.14%, 下游有机质含量减少了 33.11%。嫩江流域未开发地区的土壤总体上未呈现严重的沙化趋势, 但是嫩江下游的土壤沙化程度较上游严重, 有机质的变化在流域空间分布上表现出明显的不同。

关键词: 嫩江流域; 土壤质地; 有机质; 退化; 变化

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)02-0070-05

中图分类号: X825

Soil Degradation in Nenjiang Basin During Recent Twenty Years

WANG Ling-he^{1,2}, HU Dong-lai^{2,3}, YAN Deng-hua², WANG Gang²

(1. School of Civil and Hydraulic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning 116023, China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

3. School of Environmental Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 200051, China)

Abstract: Based on the data of the second national soil survey and the field investigations, the change of soil granularity and soil organic matter in Nenjiang basin during recent twenty years was analyzed by the mathematical statistical method and with the aid of GIS technology. Result showed that soil texture had changed. The percentage of silt was nearly 50% and it had hardly any change during this period. However, the content of sand and clay were different from the survey result. Soil sand particle decreased by 22.95%, while clay particle increased by 50.09%. The soil texture was mainly clay loam and clay, with the area percentage being 32.52% and 66.51%, respectively. In Nenjiang basin, loam decreased by 17.45%, while clay loam and clay increased by 9.34% and 8.20%, respectively. Compared with the second national soil survey, soil organic matter showed a decreasing trend, in the range from 0.55% to 12.26%. The downward trend of soil organic matter in the lower Nenjiang basin was obviously reduced by 33.11%, but in the upper, soil organic matter increased by 27.14%. On the whole, the undeveloped soils in Nenjiang basin do not show serious desertification trend, but soil desertification in the lower region is more serious than in upper region. Soil organic matter has different results in different regions in Nenjiang basin.

Keywords: Nenjiang; soil texture; organic matter; degradation; change

在全球气候变化和高强度人类活动影响下, 世界范围内的土壤质量呈下降趋势, 土壤的退化影响到人类生活的基础生产资料^[1-2]。土壤退化在亚洲、非洲、南美洲表现较为严重, 这些地区的国家不仅要面对发展的问题, 还要面对环境恶化的局面^[3-4]。土壤的退化

表现为土壤侵蚀、土壤贫瘠化、土壤沙化、土壤污染、土壤酸化、土壤盐碱化等, 其中又以土壤侵蚀为主。自 20 世纪 70 年代提出“土壤退化”概念以来, 世界各国对这一命题都展开了积极的研究^[5-9]。我国研究学者对南方的红壤做了大量的研究, 提出了相应的治理措

收稿日期: 2009-07-21

修回日期: 2009-10-28

资助项目: 国家自然科学基金“嫩江流域水循环演变对湿地生态演化的作用机制研究”(50779075)

作者简介: 王凌河(1984—), 男(汉族), 湖北省当阳市人, 博士研究生, 主要研究方向生态水文模拟和水资源管理。E-mail: wang-linghe@163.com。

施⁷⁻⁸。同时长江三角洲、东北黑土区、西北科尔沁草原和西南卡斯特等地区的土壤退化也有研究⁹⁻¹³。

嫩江是松花江的最大支流,嫩江流域土地肥沃,典型的黑土区域,为我国粮食安全提供有力的保障。但是随着经济的不断发展,人口增长与环境保护之间的矛盾越来越突出,出现了土壤的沙化现象。崔明等^[13]研究了黑土区地层地貌的发育历史、地层序列以及古气候变化,重建了黑土、黑钙土的发育历史以及发育所需的地貌、气候条件。杨新等^[14]根据 1951—2000 年的日平均风速、气温和降雨数据以及 1980—2000 年的沙尘暴数据,分析了东北典型黑土区的风蚀环境。结果表明,典型黑土区土壤风蚀环境在东北地区处于中等状态。这一研究指出了东北黑土当前所处的退化环境状态,但其并未对东北黑土的退化程度进行研究。周江红等^[15]对嫩江沙地荒漠化特征的研究,得出了土壤风蚀和荒漠化的风速阈值,并对部分区域提出了生态恢复性的措施。隋跃宇等^[16]对黑龙江典型县域的黑土土壤有机质现状进行了分析,李发鹏等^[10]对东北黑土区土壤退化及水土流失的现状进行了研究。国内研究者在研究东北以及嫩江流域的土壤特性时,往往是对局部的区域或是特定的土壤类型进行研究,对整个嫩江流域的土壤特性缺乏系统性和整体性的研究。

土壤的机械组成和有机质含量是评价土地生产能力的基本参数,通过对一定时间段内土壤的机械组成和有机质含量变化分析,进而可以判断土壤退化的程度。随着农业开发活动的加强和全球气候的变化,嫩江流域土壤呈退化趋势。本研究通过野外试验的方法,与历史数据比较,对嫩江流域的土壤退化的程度及其成因进行分析,为土壤的保育和生产提供依据。

1 研究区概况

嫩江流域位于我国东北地区中西部,西侧以大兴安岭分水岭为界,北侧以伊勒呼里山为界,南侧以霍林河南部的分水岭为界,东侧大部分以嫩江为界,地理坐标为 $119^{\circ}12' - 127^{\circ}54'$, 北纬 $44^{\circ}02' - 51^{\circ}42'$, 流域面积为 $2.91 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。嫩江流域北部、西部和南部三面地势较高,东南部与松花江平原连接,形成广阔的松嫩平原。嫩江流域地处北半球中纬度地带、欧亚大陆东部、大西洋西岸,属于寒温带半湿润大陆性气候,春季多风少雨干旱,夏季短促高温多雨,秋季降温急剧且常有霜冻,冬季漫长严寒干燥。嫩江气象水文要素在年内和年际及地区上的变化差异较大,最大降水量为 937.4 mm,最小降水量为 152.5 mm。嫩江流域由山区到平原分布着多种类型的土壤,其中以

暗棕壤土类及草甸土土类为主,分别为 28% 和 21%,其次分布较多的土壤类型有黑土土类、黑钙土土类、淡黑钙土土类、草甸风沙土土类、棕色针叶林土类、沼泽土土类、草甸黑钙土土类(附图 2)。由于气候、地形、土壤及所处海陆位置,该区地带性植被类型为靠近小兴安岭的主要是阔叶林和针叶林,中下游主要是草甸草原和栽培植物(附图 3)。在流域区域内部,由于在盐碱土上发育了盐生的耐盐碱植被,在沙丘地带带有沙生植被,而天然植被以草原植被类型为主。天然植被破坏后,土地垦为农田,1980 年和 2000 年流域内的土地利用状况详见表 1。

表 1 嫩江流域 1980 和 2000 年土地利用状况 %

| 土地利用类型 | 1980 年 | 2000 年 |
|--------|--------|--------|
| 有林地 | 29.52 | 28.25 |
| 灌木林 | 2.71 | 2.94 |
| 疏林地 | 3.25 | 3.28 |
| 高覆盖度草地 | 17.15 | 14.56 |
| 中覆盖度草地 | 4.69 | 5.15 |
| 低覆盖度草地 | 0.36 | 0.35 |
| 盐碱地 | 3.17 | 3.40 |
| 沼泽地 | 6.42 | 5.92 |
| 山地旱地 | 0.07 | 0.20 |
| 丘陵旱地 | 0.97 | 1.47 |
| 平原旱地 | 24.95 | 28.23 |

2 材料与方法

2.1 数据来源

本研究采用的历史资料是全国第二次土壤普查数据,采用分层的土壤机械组成以及有机质数据。对于分层的数据,采用加权平均的方法,使得普查数据与试验数据具有相同的深度。

2.2 样点布设

采样的时间为 2008 年 4 月 25 至 5 月 8 日,样点布设的基本原则是:保证在各支流上都有样点的存在,并且样点所在土壤区域为该支流区域的主要土壤特征区域,尽可能满足河流的左右岸均有样点。采取土壤剖面的混合样,采集的混合样一般约 0.5 kg,装入密封袋送验,分机械组成和有机质两种采样,贴上标签编码。采集的土壤剖面深度一般在 0—80 cm,个别达到 120 cm,总共采集了 33 个土壤样品,样点分布图见附图 2。

2.3 样品测试

全国第二次土壤普查机械组成的测试方法采用的是沉降法—吸管法,本次样品的粒度采用沉降法测量,粒度测量范围 $2 \sim 0.001 \text{ mm}$,测量结果以百分比

含量表示。为了与土种志上的分级统一,对测量的结果进行处理,分成 2~0.2 mm, 0.2~0.02 mm, 0.02~0.002 mm, 小于 0.002 mm 共 4 个等级。土壤质地分类标准采用国际制:砂粒 2~0.02 mm, 粉砂粒 0.02~0.002 mm, 黏粒<0.002 mm, 类别为砂土类、壤土类、黏壤土。

有机质依据 LY/T1238-1999 测量,结果以百分比表示。同时在有机质的测试过程中做了 4 个样点的平行样。对有机质的测量还进行了加标回收实验,以检验方法的准确度。在有机质测量的加标回收试验中,回收率满足 85%~110%的要求。对有机质进行的 4 次平行样的测定,相对标准差的平均值 5.6%。

2.4 统计分析

采用 ArcGIS 9.0 软件空间插值土壤粒度的分布,获取砂粒、粉粒、黏粒在流域内分布的 ASCII 文件,作为程序的输入文件,Fortran 90 编程计算土壤质地的分布,输出土壤质地分布的 ASCII 文件,然后在 ArcGIS 中进行统计和作图。利用 Origin 6.0 软件对数据进行统计分析。

3 结果与讨论

3.1 土壤总体概况

表 2 统计结果表明,在嫩江上游区域的土壤中,黏粒的平均含量最高,占 46.44%;而在中下游的支流中砂粒平均含量最高,占 49.11%,粉粒在整个流域的平均含量比较稳定,占 25%左右。整个流域的不同粒度的变异系数在 23%~55%,属中等变异,其中上游的砂粒变异系数和中下游的黏粒变异系数比较大,分别为 47%和 55%。按照国际土壤质地分类标准,嫩江上游流域属黏土类,而中下游属于黏壤土类。利用 ArcGIS 插值后,嫩江流域内土壤质地的总体分布是壤土类占 0.97%,黏壤土类占 32.52%,黏土类占 66.51%。

3.2 土壤粒度的变化

3.2.1 嫩江流域土壤粒度的变化 与第二次全国普

查的结果比较(表 3)。砂粒所占百分比有所减小,平均下降 22.95%,粉粒百分比中有 17 个样点呈下降趋势,平均下降 12.63%,另外 16 个样点的粉粒百分比有所增长,平均增长 14.82%,黏粒百分比的趋势与砂粒的结果相反,样点的黏粒百分比多数增长,平均增长 50.09%。在显著性水平 $\alpha=0.05$ 下,对砂粒、粉粒和黏粒做差异显著性检验,用 F 检验方法检验两次粒径的差异。经检验,砂粒和黏粒前后两次的差异显著,粉粒差异不显著。

表 2 研究区土壤粒度的均值及变异系数

| 河流 | 参数 | 砂粒/ % | 粉粒/ % | 黏粒/ % |
|------|------|-------|-------|-------|
| 嫩江上游 | 均值 | 27.23 | 26.33 | 46.44 |
| 甘河 | 变异系数 | 47 | 23 | 28 |
| 讷河 | 均值 | 49.11 | 25.37 | 25.52 |
| 诺敏河 | 变异系数 | 35 | 32 | 55 |
| 乌裕尔河 | 均值 | 49.11 | 25.37 | 25.52 |
| 雅鲁河 | 变异系数 | 35 | 32 | 55 |
| 绰尔河 | 均值 | 49.11 | 25.37 | 25.52 |
| 洮儿河 | 变异系数 | 35 | 32 | 55 |
| 霍林河 | 均值 | 49.11 | 25.37 | 25.52 |

嫩江流域属松嫩平原,土壤具有东北土壤的特性,以黑土、棕壤土、黑钙土、栗钙土较多。采样大多是处于原始状态的土壤,尽量避免在农田附近。从采样的数据比较来看,嫩江流域未遭到人类影响的区域,土壤的沙化扩大的趋势并没有得到数据支持,反而这些区域的土壤质地朝有利的方向发展。在嫩江干流的西侧的确存在化严重的区域,白城经洮南到向海湿地方向存在大片的沙地。东北的黑土区土壤风蚀环境处于中等状态,嫩江的大风日数自 1980 年以来比 1950—1960 年偏多,土壤的风蚀环境趋于严重^[14]。农业开发使得部分土壤的利用方式发生改变,人为扰动也加快了土壤的退化。这些因素的综合作用导致部分区域土壤退化严重,而在嫩江整个流域的土壤退化的迹象并不十分明显。

表 3 嫩江各支流土壤粒度比较

| 河流 | 砂粒/ % | | | 粉粒/ % | | | 黏粒/ % | | |
|------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| | 试验数据 | 普查数据 | 增值/ % | 普查数据 | 试验数据 | 增值/ % | 普查数据 | 试验数据 | 增值/ % |
| 嫩江上游 | 43.14 | 13.02 | -30.12 | 28.39 | 28.96 | 0.57 | 28.48 | 58.02 | 29.54 |
| 甘河 | 35.14 | 31.48 | -3.66 | 40.32 | 24.82 | -15.50 | 24.53 | 43.70 | 19.17 |
| 讷河 | 38.92 | 36.12 | -2.80 | 28.60 | 25.62 | -2.98 | 32.48 | 38.27 | 5.79 |
| 乌裕尔河 | 69.97 | 55.09 | -14.88 | 12.86 | 20.27 | 7.41 | 17.16 | 24.64 | 7.48 |
| 雅鲁河 | 34.24 | 32.70 | -1.54 | 46.17 | 22.10 | -24.07 | 19.59 | 45.19 | 25.60 |
| 绰尔河 | 59.42 | 59.29 | -0.13 | 20.68 | 28.21 | 7.53 | 19.90 | 12.50 | -7.40 |
| 洮儿河 | 64.69 | 47.55 | -17.14 | 15.07 | 27.78 | 12.71 | 20.24 | 24.68 | 4.44 |

3.2.2 嫩江流域土壤质地的变化 利用 ArcGIS 软件对采样点的粒度进行插值, 获得历史数据和试验数据在流域内的砂粒、粉粒、黏粒的整体分布。程序计算后分析获得土壤质地的变化(表 4)。分析可知, 砂土类和壤土类的比例减少, 黏壤土和黏土类比例增大, 其中壤土类减少 17.54%, 黏壤土类增加 9.34%, 黏土类增加 8.20%。土壤的中黏土成分增加, 砂土类和壤土类减少, 并且壤土的下降比例相对较大。

据统计, 嫩江流域土壤沙化较严重的城市是白城地区, 土壤质地的变化在嫩江流域表现的比较显著。流域内气候条件的恶化也是土壤退化的一个主要因素, 1962—2007 年, 嫩江流域的部分县市平均降雨量 386.2~559.7 mm, 而蒸发量平均量 1 434.7~1 789.8 mm, 而且近 10 a 的气候变化有恶化的趋势, 这无疑加剧了土壤的沙化程度。嫩江流域土壤的黏土类增加意味着土壤的黏化作用的增强, 这在嫩江中上游表现显著。这与嫩江上游的植被覆盖度良好有关, 大小兴安岭和农业防护林的建设支持这一变化。

3.2.3 嫩江各支流上土壤粒度变化 嫩江流域各支流上土壤粒度的变化在局部上与嫩江流域土壤粒度整体上的变化有一些差异(表 3)。比较这 7 条支流上土壤的粒度变化, 各支流上的土壤砂粒百分比下降, 黏粒百分比增大, 这与嫩江流域整体上土壤粒度的变化是一致的。对粉粒百分比的变化, 则是在不同的支

流显出不同的结果, 嫩江上游、乌裕尔河、绰尔河以及洮儿河上的土壤粉粒百分比有所增大, 而其它支流的土壤的粉粒百分比减小。绰尔河流域内的黏粒百分比减小了 7.4%, 这与其它支流和整个流域的变化趋势不同。

表 4 嫩江流域土壤质地的变化 %

| 类别 | 普查数据 | 试验数据 | 增长百分比 |
|------|-------|-------|--------|
| 砂土类 | 0.02 | 0 | -0.02 |
| 壤土类 | 18.50 | 0.962 | -17.54 |
| 黏壤土类 | 23.18 | 32.52 | 9.34 |
| 黏土类 | 58.31 | 66.51 | 8.20 |

3.3 土壤有机质变化

表 5 给出了流域内的土壤有机质含量普查结果和试验结果的比较。有机质含量的范围 0.55%~12.26%, 有机质含量最大的是在龙丰三队的样品, 土壤未遭人类开发, 周围都是约 40 cm 苔草, 形成塔头, 导致有机质含量高。有机质含量最小在科尔沁中旗, 属草原风沙土, 虽然没有太多的人类活动, 但在自然力的驱动下, 导致了现在的境况。有机质含量在嫩江中上游的明显高于嫩江中下游的有机质含量, 试验数据显示中上游的有机质含量平均值为 4.71%, 而下游的有机质含量平均值为 1.74%, 这与人类对土地的开发活动有关。

表 5 嫩江流域土壤有机质

| 样点位置 | 有机质/% | | 样点位置 | 有机质/% | | 样点位置 | 有机质/% | |
|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| | 试验数据 | 普查数据 | | 试验数据 | 普查数据 | | 试验数据 | 普查数据 |
| 嫩江河滩 | 2.56 | 6.98 | 五大连池 | 5.23 | 3.31 | 朝鲜屯 | 2.08 | 2.41 |
| 科洛河 | 3.08 | 5.07 | 龙丰三队 | 12.26 | 32.13 | 朝鲜屯 | 0.74 | 1.04 |
| 联兴 | 6.35 | 3.47 | 扎龙 | 3.96 | 1.97 | 胜利林场 | 1.27 | 1.78 |
| 嫩北农场 | 5.31 | 1.25 | 特勒 | 2.10 | 1.01 | 公主岭 | 1.77 | 3.70 |
| 嘎仙 | 7.39 | 5.78 | 林屯 | 0.63 | 0.69 | 何家屯 | 1.98 | 3.44 |
| 嘎仙 | 0.73 | 0.64 | 林屯 | 0.94 | 1.09 | 居力很 | 1.43 | 2.66 |
| 吉文 | 5.81 | 4.19 | 林甸 | 1.71 | 1.73 | 前立屯 | 2.08 | 1.43 |
| 索图罕林场 | 5.82 | 3.41 | 门口子 | 4.24 | 5.95 | 张家店 | 1.26 | 1.46 |
| 吉峰 | 7.38 | 5.08 | 姜家沟 | 2.56 | 2.84 | 科尔沁中旗 | 0.55 | 2.99 |
| 讷河 | 1.24 | 2.21 | 中立山 | 3.37 | 4.61 | 安广镇 | 0.96 | 0.91 |
| 小伯尔科 | 1.54 | 1.64 | 七家子 | 2.13 | 7.37 | 新平安镇 | 1.65 | 0.77 |

与第二次全国土壤普查数据的相比, 流域中上游有机质含量整体有所增加, 增加百分比为 27.14%, 嫩江下游的土壤有机质在减少, 降低百分比为 33.11%。总体而言, 经过近 20 a 的演化, 土壤有机质在嫩江流域的变化显示了空间上的差异, 下游的变化较之上游要大, 中上游的有机质含量在区域上增加, 而下游有机质含量减少。中上游的区域主要在大兴

安岭和小兴安岭区域, 采样点也是位于此区域, 人类的活动相较下游要小, 草地和山地较多, 有机质消耗不是很大。下游的城镇化明显较上游显著, 农田较多, 山地较少, 草地大部分也被开发, 剩下的是暂时不太适宜开发的草地, 多为盐碱地。部分湿地也通过挖排水沟开发成农田, 虽然能增加粮食的增产, 但对于区域的生态环境来说, 这是一种破坏。

4 结论

(1) 嫩江流域未开发的土壤粒度其上游部分的土壤主要以黏粒为主, 而中下游以砂粒为主, 粉粒在整个流域上的含量差异不大, 主成分接近 50%, 其余的两部分的含量则比较接近。土壤质地主要以黏壤土和黏土为主, 面积百分比分别为 32.52% 和 66.51%。

(2) 嫩江流域的土壤有机质的含量范围为 0.55% ~ 12.26%, 在沙地区的有机质含量较低, 在苔草地和湿地的有机质含量较高。

(3) 与第二次全国土壤普查的数据比较, 嫩江流域和各支流上的土壤粒度表明, 整体上嫩江流域土壤是砂粒百分比减小 22.95%, 黏粒百分比增大 50.09%。支流上的粒度变化与流域整体的变化趋同, 粉粒的变化则在不同的子流域变化不同。土壤质地也随之变化, 壤土下降 17.54%, 黏壤土和黏土增长 9.34% 和 8.20%。嫩江上游, 中游土壤的黏化作用加重, 下游土壤的表层沙化较重。

(4) 与第二次全国土壤普查的数据比较, 嫩江流域的土壤有机质的变化比较显著。其中, 中上游土壤有机质增加了 27.14%, 下游土壤有机质百分比减小了 33.11%。苔草地和湿地区的有机质含量较多, 沙地的有机质含量较少, 农田扩张也导致了嫩江下游的土壤有机质含量的减少。

[参 考 文 献]

- [1] Raleigh C, Urdal H. Climate change, environmental degradation and armed conflict [J]. *Political Geography*, 2007, 26(6): 674-694.
- [2] Lal R. Managing world soils for food security and environmental quality [J]. *Advances in Agronomy*, 2001, 74: 155-192.
- [3] Koning N, Eric S. Environmental crisis or ' lie of the land ' ? The debate on soil degradation in Africa [J]. *Land Use Policy*, 2005, 22(1): 3-11.
- [4] Turkelboom F, Poesen J, Trébuil G. The multiple land degradation effects caused by land-use intensification in tropical steppes: A catchment study from northern Thailand [J]. *Catena*, 2008, 75(1): 102-116.
- [5] 宫阿都, 何毓容. 土壤退化研究的进展及展望 [J]. *世界科技研究与发展*, 2001, 23(2): 18-20.
- [6] 张桃林, 王兴祥. 土壤退化研究的进展与趋势 [J]. *自然资源学报*, 2000, 15(3): 280-284.
- [7] 赵其国. 中国东部红壤地区土壤退化的时空变化、机理与调控 [M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [8] 张桃林. 中国红壤退化机制与防治 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [9] 周红艺, 熊东红, 杨忠, 等. 长江上游典型地区的土壤退化评价 [J]. *水土保持通报*, 2005, 25(6): 70-73.
- [10] 李发鹏, 李景玉, 徐宗学. 东北黑土区土壤退化及水土流失研究现状 [J]. *水土保持研究*, 2006, 13(3): 50-54.
- [11] 赵中秋, 蔡云龙, 付梅臣, 等. 典型喀斯特地区土壤退化机理探讨: 不同土地利用类型土壤水分性能比较 [J]. *生态环境*, 2008, 17(1): 393-396.
- [12] 苏永中, 赵哈林, 张铜会, 等. 科尔沁沙地旱作农田土壤退化的过程和特征 [J]. *水土保持学报*, 2002, 16(1): 25-28.
- [13] 崔明, 张旭东, 蔡国强, 等. 东北典型黑土区气候、地貌演化与黑土发育的关系 [J]. *地理研究*, 2008, 27(3): 527-535.
- [14] 杨新, 郭江峰, 刘鸿鹤, 等. 东北典型黑土区土壤风蚀环境研究 [J]. *地理科学*, 2006, 26(4): 443-448.
- [15] 周江红, 陈棣, 孟令钦, 等. 嫩江沙地荒漠化特征与生态修复对策的研究 [J]. *农业系统科学与综合研究*, 2005, 21(4): 302-304.
- [16] 隋跃宇, 张兴义, 张少良, 等. 黑龙江典型县域农田黑土土壤有机质现状分析 [J]. *土壤通报*, 2008, 39(1): 186-188.