

天津市滨海新区 1979—2013 年土地利用及土壤有机碳储量空间变化

李雪梅

(天津城建大学 经济与管理学院, 天津 300384)

摘要: [目的] 分析土地利用变化对土壤有机碳分布的影响, 为科学评估区域生态系统碳储量的变化提供依据。[方法] 利用遥感影像获取滨海新区 1979 与 2013 年土地利用变化数据, 针对不同土地利用类型均匀布设样点采集 2013 年表层土壤, 试验监测土壤有机碳含量。结合第二次土壤调查数据, 计算分析研究区 1979—2013 年土壤有机碳储量的变化及其空间分布变化。[结果] 研究期内土地利用变化明显, 耕地、滩涂、未利用地等土地利用类型大量转变为建设用地, 同时土壤有机碳密度和储量均相应降低, 其中土壤有机碳储量从 1979 年的 1.23×10^7 t 减少到 2013 年的 9.97×10^6 t。[结论] 随着人类对土地利用程度的加强, 碳储量空间分布由高碳储量分布为主转变为低碳储量分布为主的碳储量分布格局。

关键词: 土地利用变化; 土壤有机碳储量; 空间变化; 滨海新区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)03-0136-05

中图分类号: TP79, Q149

文献参数: 李雪梅. 天津滨海新区 1979—2013 年土地利用及土壤有机碳储量空间变化[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 136-140. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.03.025

Changes of Spatial Distribution of Soil Organic Carbon Storage and Land Use from 1979 to 2013 in Tianjin Binhai New Area

LI Xuemei

(School of Economics and Management, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China)

Abstract: [Objective] We analyze the impacts of land use change on the spatial distribution of soil organic carbon in order to assess the variation of carbon storage in regional ecosystem. [Methods] Land use data was derived from remote sensing image in the years of 1979 and 2013 in the Tianjin Binhai new area. Soil samples were collected in different land use types, and soil organic carbon was calculated. Combined with the second national soil survey data, variations of soil organic carbon were analyzed. [Results] Land use in the study area changed greatly during the study period, with a large area of cultivated land, tidal flat and unused land transformed into new construction land. Meanwhile, soil organic carbon storage changed from 1.23×10^7 to 9.98×10^6 t during the study period. [Conclusion] With the enhanced human land-use activities, the spatial distribution of soil organic carbon storage is degraded from high carbon into low carbon storage distribution pattern.

Keywords: land use change; soil organic carbon storage; spatial change; Tianjin Binhai new area

土壤碳库是陆地生态系统中最大的碳库^[1], 研究表明土壤碳库 1/100 的变化将导致大气圈 CO₂ 的浓度发生 1/100 万的变化^[2]。土地利用变化改变了地表生态系统, 如耕地、林地的减少, 建设用地的增加以及高生物质产量的植被转化为低生物质产量植被使

植被生物量减少等, 同时土地利用变化也改变了土壤的理化性质, 从而影响土壤有机碳的分解速率^[3], 改变土壤有机碳储量^[4-5], 土地利用的细微变化既可成为 CO₂ 的主要碳源, 又可成为减缓碳释放的途径^[6-9]。土地利用变化对土壤碳储量的影响远超过了

收稿日期: 2015-07-08

修回日期: 2015-09-25

资助项目: 国家自然科学基金青年基金“城市土地利用优化的碳排放效应及其调控机理研究”(41201581), “区域物质减量的低碳响应测度机理研究”(71303170); 教育部人文社科规划基金“基于主体动态关联分析的多元环保投融资机制研究”(12YJA630034); 教育部人文社科青年基金“农地城市流转适度规模及政策分析: 从外部性内化的视角”(13YJC630016); 天津市规划局科技项目(2013-kjg-5)

第一作者: 李雪梅(1976—), 女(汉族), 吉林省蛟河市人, 博士, 副教授, 主要从事土地利用变化与碳循环研究。E-mail: xuemei_321@163.com。

自然变化对其影响的速率和程度^[10-13]。

确定土地利用变化与土壤有机碳储量的关系对正确认识陆地生态系统的碳收支有重要意义。目前国内外研究某一类土地利用类型的变化对土壤有机碳含量的影响较多,如农田变草地和草地变农田、林地变农田等^[15-19],这些研究多是研究某种土地利用方式对土壤有机碳含量的影响以及对典型生态系统下土壤碳通量的监测。而对区域土地利用变化对土壤碳库影响的研究中利用中国两次土壤普查资料或对某区域某一阶段土壤实测数据进行土壤碳库进行核算较多^[15,20],根据土地利用动态变化和变化前后土壤有机碳含量实测数据研究土壤有机碳储量时空变化则相对有限^[21],本文将利用实地监测数据结合第二次土壤普查资料,选择近年来土地利用格局变化巨大的天津市滨海新区为典型样本地区,深入分析土地利用变化对土壤有机碳储量以及其空间格局变化的影响。

1 研究区概况

天津滨海新区位于华北平原东北部,海河流域下游,濒临渤海,地理坐标位于 $38^{\circ}40'—39^{\circ}00'N$, $117^{\circ}20'—118^{\circ}00'E$ 。本文研究空间范围涉及天津市塘沽、汉沽、大港3个滨海区的全部用地 $2\,203\text{ km}^2$,东丽区无瑕街、津南区葛沽镇2个行政区部分用地 67 km^2 ,以及沿海岸5 m等深线范围内滩涂,共 $3\,414.77\text{ km}^2$ 。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

2.1.1 土壤有机碳数据来源 土壤有机碳含量采用中国第二次土壤调查天津数据和2013年1月天津滨海新区实地采样监测的土壤有机碳含量数据。天津市第二次土壤调查土壤样品分为表层(0—30 cm)和次层(30—100 cm)2个不同土壤深度,普查区域包括除沿海滩涂与河流、水库之外天津市市域土壤范围,本文研究对象为土壤表层(0—30 cm)的有机碳含量,因此对滨海新区2013年采集土壤样品为表层(0—30 cm)土壤。将2013年土壤采样分布矢量图与天津市第二次普查矢量数据叠加获取与2013年采样点相叠加的同一样本点的第二次土壤普查0—30 cm土壤有机碳数据,以保证时间序列上变化前后同一样本点土壤有机碳的可比性,并利用两次土壤监测数据和土地利用变化数据来进行对比分析研究区表层土壤有机碳储量的变化。土地利用类型选择滨海新区的耕地、林地、盐田、水域、未利用地和滩涂,而建设用

地由于表层被水泥等硬化,因此视其表层土壤碳储量为0,本研究中未针对建设用地布点采样检测其土壤有机碳含量。实地采样针对不同土地利用类型布设样点,对研究期内土地利用变化较大的土地利用类型和特征明显的土地利用类型,尽量选取对比1979年后土地利用类型没有发生变化的地块上均匀布点,以保证时间序列变化后的土壤性质变化可比性。共选择了74个采样点,其中未利用地9个样点、耕地14个样点、林地11个样点、盐田6个样点、水域(河流底泥与水库底泥)14个样点、滩涂(滩涂底泥)20个样点。采样深度为土壤表层0—30 cm,利用GPS记录采样点的地理坐标。土壤有机碳含量的测定试验采用Vario TOC仪器方法,使用Vario TOC select仪器检测,土壤容重的测定采用环刀法,实验室检测工作由天津市环境保护科学院环科检测技术有限公司承担。

2.1.2 土地利用变化数据来源 选择TM影像获取滨海新区1979年土地利用数据(天津市第二次土壤普查从1979年5月到1983年12月历时4.5 a^[22])。1979与2013年遥感影像分别经过辐射校正,在遥感分析软件ERDAS IMAGINE 9.0中进行解译。解译方法采取监督分类方法,将解译结果导入地理信息系统软件ARCGIS 9.3对解译结果进行目视更正。滨海新区濒临渤海,其主要土地利用类型有建设用地、盐田、耕地、沼泽地、盐碱地、河流、水库和滩涂等,结合土地利用现状分类标准(GB/T 21010-2007)和滨海新区土地利用现状,我们将研究区分为耕地、建设用地、水域(包括河流与水库)、盐田、未利用地(包括沼泽地、盐碱地与其他未利用土地)、林地和滩涂7类土地利用类型,两期滨海新区土地利用类型如附图3所示。

2.2 研究方法

根据实地采样监测的各类土地利用类型土壤有机碳含量、土壤容重结果,结合第二次土壤调查的各类土地利用类型土壤有机碳含量和土地容重以及各类土地利用类型面积,分别计算研究区土壤碳密度和土壤有机碳储量,分析不同时期不同土地利用类型变化情况及碳储量变化。土壤碳密度和土壤碳储量计算公式如下:

土壤碳密度计算公式^[15-16]为:

$$C_d = \sum_{i=1}^n H_i B_i Q_i \times (1 - \theta_i) / 10 \quad (1)$$

式中: C_d ——土壤有机碳密度(kg/m^2); H_i ——第*i*层土壤的厚度(cm); B_i ——*i*层土壤容重(g/cm^3); Q_i ——第*i*层土壤的有机碳含量(g/kg); θ_i ——*i*层 $>2\text{ mm}$ 砾石体积含量(%)。下同。

本文只研究土层为 30 cm 的土壤有机碳储量,因此公式(1)中 i 为 1。研究区土壤多为粘质,石砾含量很少,因此 θ_i 取 0。

土壤碳储量(SOC_t, kg)计算公式^[15]为:

$$S_{\text{SOC}_t} = \sum_{j=1}^n C_d S_j \quad (2)$$

式中: S_{SOC_t} ——土壤碳储量(kg); S_j ——第 j 类土地利用类型的面积(m^2)。

3 结果与分析

3.1 土地利用面积变化

1979—2013 年期间,滨海新区土地利用及土地覆被发生巨大变化(图 1)。其中耕地面积和建设用地面积变化最大,耕地面积迅速减少,由 1979 年的 776.92 km^2 减少至 2013 年的 456.7 km^2 ;建设用地面积则由 1979 年的 330.73 km^2 增加至 2013 年的 1348.32 km^2 ,建设用地面积的快速增长是研究区经济发展的一个印证;滩涂面积由 1144.77 km^2 减少到 803.24 km^2 ,减少的滩涂均被填海造地转变为建设用地,人工硬地的增加将间接导致自然生态系统中碳储量的减少。林地面积虽然变化不大,但是整体类型却从以 1979 年的盐生草地为主逐步转变为 2013 年的以林地为主,显示出滨海新区原生的植被生态系统逐渐被人工生态系统所取代;盐田面积由 1979 年的 571.46 km^2 减少至 2013 年的 246.78 km^2 。

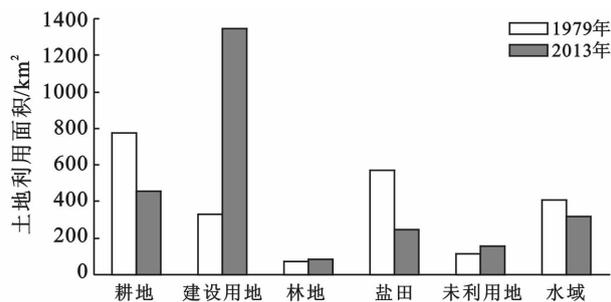


图 1 滨海新区 1979 与 2013 年各类土地利用面积

3.2 土壤容重变化

土壤容重是一定容积的土壤(包括土粒及粒间的孔隙)烘干后的重量与同容积水重的比值^[23]。土壤容重与土壤质地、压实状况、土壤颗粒密度、土壤有机质含量及各种土壤管理措施有关,土壤越疏松多孔,容重越小,土壤越紧实,容重越大^[23-25]。

如图 2 所示,与 1979 年相比,滨海新区 2013 年耕地与林地的土壤容重有所下降,耕地从 1979 年的 1.41 g/cm^3 降为 2013 年的 1.07 g/cm^3 ,林地从 1979 年的 1.4 g/cm^3 降为 1.18 g/cm^3 ,表明耕地与林地的

土地利用越来越精细化,土壤肥力越来越好。而未利用地与盐田 2 类土地的土壤容重较 1979 年比有所提高,未利用地由 1979 年的 1.25 g/cm^3 上升至 2013 年的 1.59 g/cm^3 ,盐田由 1979 年的 1.59 g/cm^3 上升至 2013 年的 1.82 g/cm^3 ,表明长时期的未开发利用导致土壤更加紧实,从而肥力降低。水域和滩涂由于第二次土壤普查没有相关数据,因此本文以 2013 年数据代替 1979 年土壤容重数据。

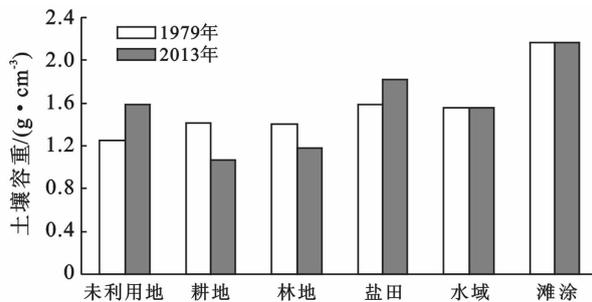


图 2 滨海新区 1979 与 2013 年各类土地土壤容重

3.3 土壤有机碳密度变化

3.3.1 各地类土壤有机碳实测含量 检测结果表明:耕地、林地和盐田的监测点值中位数位于中间以下的位置,未利用地、滩涂和河流监测点值中位数位于中间以上的位置,其中林地和河流分别有一个样点数据异常,林地异常样点过低,河流异常样点过高,这 2 个异常样点在后面计算中被剔除,剔除 2 个变异样点后,我们得到 2013 年滨海新区各类用地土壤有机碳平均含量(表 1)

表 1 2013 年滨海新区各类土地利用类型土壤有机碳含量

变量	不同土地类型土壤有机碳含量/%					
	未利用地	耕地	林地	盐田	河流	滩涂
标准方差	0.56	0.49	0.39	0.04	0.39	0.07
平均值	1.15	1.50	2.52	0.50	1.26	0.69
变异系数	0.49	0.33	0.15	0.07	0.31	0.11

3.3.2 各地类土壤有机碳密度变化 根据公式(1)分别计算得到 1979 与 2013 年 2 次调查土壤碳密度(图 3)。由于 1979 年土壤调查中没有河流和滩涂两类用地类型的调查数据,因此本文 1979 年河流和滩涂有机碳含量采用 2013 年实测数据。研究期内土壤碳密度变化最大的是林地,由 1979 年的 2.48 kg/m^2 上升至 2013 年的 8.92 kg/m^2 ,这是由于滨海新区在 1979 年时尚未大面积开发建设,林地面积很少,多数是盐碱草地,随着滨海新区的发展和城市建设的完善,到 2013 年人工林地已经是林地的主要土地利用类型,而林地土壤有机碳含量远大于草地土壤有机碳

含量,因此2013年林地土壤有机碳密度高于1979年。其次是未利用地(本文滨海新区未利用地主要指盐碱地和沼泽地),土壤碳密度由 1.71 kg/m^2 增加至 5.04 kg/m^2 ,是与经过治理的盐碱地转变为芦苇地等湿地利用类型,因此未利用地的土壤碳密度相较于1979年有所增加。耕地碳密度的增加与研究区30 a多来严格实施耕地保护制度,促进耕地集约利用,加强耕地的精耕细作有一定关系。

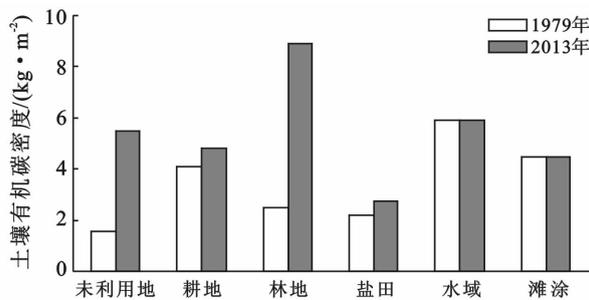


图3 滨海新区1979—2013年土壤碳密度变化

3.4 土壤有机碳储量变化

经计算公式(2)研究区1979年各类土地利用类型总碳储量为 $1.23 \times 10^7 \text{ t}$,2013年各类土地利用类型总碳储量为 $9.97 \times 10^6 \text{ t}$,总碳储量减少 $2.36 \times 10^6 \text{ t}$ (图4)。各类土地利用类型中除林地和未利用地2013年碳储量较1979年增加外,其他土地利用类型碳储量均有所减少。未利用地经过环境治理由以低碳密度的盐碱地为主要土地类型转变为以高碳密度的芦苇地等土地利用类型,由此碳储量由1979年的 $1.75 \times 10^5 \text{ t}$ 增加至2013年的 $8.43 \times 10^5 \text{ t}$;林地是由于在城市建设中林地面积逐渐成为林地的主导用地面积,导致碳储量由1979年的 $1.71 \times 10^5 \text{ t}$ 增长至2013年的 $7.72 \times 10^5 \text{ t}$ 。

在1979—2013年30 a多的经济发展中,大量耕地转变为建设用地,滩涂也随着经济发展对建设用地的需求大量被填海造地转变为建设用地,由此滩涂和耕地的碳储量迅速减少,耕地由1979年的 $3.18 \times 10^6 \text{ t}$ 减少至2013年的 $2.19 \times 10^6 \text{ t}$,滩涂由1979年的 $5.14 \times 10^6 \text{ t}$ 减少至2013年的 $3.60 \times 10^6 \text{ t}$ 。

3.5 研究区土地利用变化与土壤有机碳储量空间变化

基于ArcGIS9.3,以2期遥感解译矢量图图斑为对象计算其土壤有机碳储量,得到研究期内滨海新区土壤有机碳储量空间分布格局(附图4),1979—2013年研究区土壤碳储量空间分布最明显的变化是低碳储量($0 \sim 60 \text{ t}$)代替高碳储量($60 \sim 5200 \text{ t}$)成为主要空间格局。

2013年研究区碳储量为0的区域相对1979年

扩张明显,且其扩张模式几乎都是在原有碳储量为0的区域向外蔓延式扩张,土地利用数据显示在1979—2013年,研究区建设用地面积迅速增长,大量耕地、滩涂、盐田等转变为建设用地,由原来有机碳含量高的土地利用方式转为有机碳含量低甚至转变为碳储量为0的钢筋水泥等硬化地面的建设用地,这是造成滨海新区土壤有机碳储量减少的主要原因,因此,引导建设用地有序扩张是控制研究区土壤有机碳储量减少的有效途径之一。

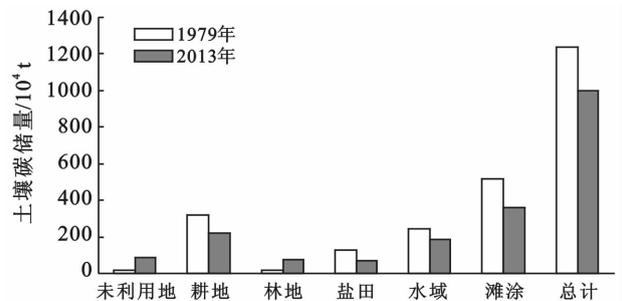


图4 1979—2013年滨海新区各类土地利用类型土壤碳储量变化

研究区在1979年土壤碳储量空间格局分布以储量在60 t以上的区域为主,而2013年则转变为以储量在60 t以下的区域为主要空间分布格局,土壤碳储量在200 t以上的区域集中于滩涂和耕地2种土地利用类型,这两类土地类型面积也大幅减少。这表明随着研究区30 a来社会经济发展和人口的增长,对土地尤其是建设用地需求量迅猛增加,而土地利用也由粗放式、成片利用转变为现在的集约化、破碎化利用。土地利用的破碎化导致单位图斑土壤碳储量的降低,从而在空间上呈现出低碳储量为主的分布格局。

4 结论

(1) 不同土地利用类型下土壤的有机碳密度不同,而土地利用类型的变化是直接影响土壤有机碳密度和土壤有机碳储量的主要因素。1979—2013年期间,研究区城市化进程的加快和经济的迅速发展带来对建设用地需求量的增加,建设用地的来源之一是通过转变耕地、盐田、滩涂等土地利用类型为新增建设用地,土地利用的变化直接导致土壤有机碳储量的减少;林地土地利用方式从1979年的以天然盐碱草地为主转换为2013年以人工林地为主后土壤有机碳密度和碳储量增加,滩涂被大量开发利用转变为建设用地后土壤碳储量也随之大量减少。

(2) 土地利用破碎化导致单位图斑土壤碳储量

的降低,从而使研究区碳储量空间格局由高碳储量分布为主转变为低碳储量分布为主。随着技术手段的提高,人类对土地开发利用程度也更加剧烈,直接加深了土地利用破碎化程度,人类干扰土地利用的同时也改变了土壤碳储量的空间分布格局。人类活动一方面改变了土地利用类型,另一方面也改变了土地利用方式,林地中草地转为林地、未利用地中盐碱地转为芦苇地都改变了土壤的有机碳密度从而改变土壤有机碳含量,更加深入细致的研究同一土地类型下不同土地利用方式对土壤碳储量的影响是研究区土壤碳储量日后的研究方向。

(3) 本研究出于数据限制,1979 年河流与滩涂土壤有机碳含量用 2013 年数据代替,导致这两类土壤有机碳密度在研究期内没有变化,建设用地由于难以剥离其中包含的小面积绿地面积(比如居民区中的绿化用地等),均以硬地地面计算其碳储量为 0,使碳储量计算结果偏小,而如何准确确定建设用地有机碳储量也是未来应深入研究的内容之一。

[参 考 文 献]

[1] 张俊华,李国栋,南忠仁,等. 黑河中游不同土地利用类型下土壤碳储量及其空间变化[J]. 地理科学,2011,31(8):982-988.

[2] Eswaran H E, Vanden Berg E V, Reich P. Organic carbon in soils of the world[J]. Soil Science Society of America Journal, 1993,57(1):192-194.

[3] 揣小伟,黄贤金,赖力,等. 基于 GIS 的土壤有机碳储量核算及其对土地利用变化的响应[J]. 农业工程学报,2011,27(9):1-6.

[4] 谷家川,邓洁,林玉标,等. 基于 GIS 与 RS 的皖江城市带 LUCC 对植被碳储量的影响[J]. 石家庄学院学报,2014(3):64-72.

[5] 谢红霞,任志远,李锐. 陕北黄土高原土地利用:土地覆被变化中植被固碳释氧功能价值变化[J]. 生态学杂志,2007,26(3):319-322.

[6] 张金屯. 全球气候变化对自然土壤碳氮循环的影响[J]. 地理科学,1998,18(5):463-471.

[7] 葛全胜,戴君虎,何凡能,等. 过去 300 年中国土地利用土地覆被变化与碳循环研究[J]. 中国科学:D 辑(地球科学),2008,38(2):197-210.

[8] 张金波,宋长春,杨文燕. 沼泽湿地垦殖对土壤碳动态的影响[J]. 地理科学,2006,26(3):340-344.

[9] 刘子刚,张坤民. 黑龙江省三江平原湿地土壤碳储量变化[J]. 清华大学学报:自然科学版,2005,45(6):788-791.

[10] 刘子刚. 湿地生态系统碳储存和温室气体排放研究[J]. 地理科学,2004,24(5):634-639.

[11] 周涛,史培军. 土地利用变化对中国土壤碳储量变化的间接影响[J]. 地球科学进展,2006,21(2):138-143.

[12] Terrestrial Carbon Working Group. The terrestrial carbon cycle: Implications for the Kyoto protocol[J]. Science, 1998,280(5368):1393-1394.

[13] 吴俊喜,程序,焦家国,等. 1940—2002 年长江中下游平原乡村景观区域中土地利用覆被及其土壤有机碳储量变化[J]. 生态学报,2010,30(6):1397-1411.

[14] 谢双玉,王亚玲,黄涛,等. 武汉市主城区土地利用/覆被变化及其对土壤有机碳储量的影响[J]. 华中师范大学学报:自然科学版,2014,48(3):442-447.

[15] 王绍强,周陈虎,李克让,等. 中国土壤有机碳及空间分布特征分析[J]. 地理学报,2000,55(5):533-544.

[16] 杨学名,张晓平,方化军. 农业土壤固碳对缓解全球变暖的意义[J]. 地理科学,2003,23(1):101-106.

[17] 王存龙,刘华峰,王红晋,等. 山东黄河下游流域土壤碳储量及时空变化研究[J]. 地球与环境,2014,42(2):228-237.

[18] 包承宇,曾和平,张梦妍,等. 云南省土壤有机碳储量估算及空间分布[J]. 水土保持通报,2014,34(6):260-266.

[19] Hughes R, Kauffman F J B, Jaramillo V J. Ecosystem-scale impacts of deforestation and land use in a humid tropical region of Mexico[J]. Ecological, 2000,10(2):515-527.

[20] 李凌浩,刘先华,陈佐忠. 内蒙古锡林河流域羊草草原生态系统碳素循环研究[J]. 植物学报,1998,40(10):955-961.

[21] 汤杰,毛子龙,王晨野,等. 基于碳平衡的区域土地利用结构优化:以吉林省通榆县为例[J]. 资源科学,2009,31(1):130-135.

[22] 天津市土壤普查办公室. 天津市土壤普查工作[J]. 中国农业资源与区划,1984(1):41-44.

[23] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,1999.

[24] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京:中国标准出版社,1996.

[25] 刘凤芝,马锦秋. 土壤监测分析实用手册[M]. 北京:化学工业出版社,2012.