

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第4期 Vol.32 No.4 2012

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报 (SHENTAI XUEBAO)

第32卷 第4期 2012年2月 (半月刊)

目 次

围垦对南江东滩湿地大型底栖动物的影响.....	马长安,徐霖林,田伟,等 (1007)
基于 ArcView-WOE 的下辽河平原地下水生态系统健康评价	孙才志,杨磊 (1016)
京郊典型集约化“农田-畜牧”生产系统氮素流动特征	侯勇,高志岭,马文奇,等 (1028)
不同辐射条件下苹果叶片净光合速率模拟.....	高照全,冯社章,张显川,等 (1037)
藏北高原典型植被样区物候变化及其对气候变化的响应.....	宋春桥,游松财,柯灵红,等 (1045)
祁连山中段林草交错带土壤水热特征及其对气象要素的响应	唐振兴,何志斌,刘鹤 (1056)
祁连山青海云杉林冠生态水文效应及其影响因素.....	田风霞,赵传燕,冯兆东,等 (1066)
呼伦贝尔沙地樟子松年轮生长对气候变化的响应.....	尚建勋,时忠杰,高吉喜,等 (1077)
结合激光雷达分析上海地区一次连续浮尘天气过程.....	马井会,顾松强,陈敏,等 (1085)
福建中部近海浮游动物数量分布与水团变化的关系	田丰歌,徐兆礼 (1097)
香港巨牡蛎和长牡蛎幼虫及稚贝的表型性状.....	张跃环,王昭萍,闫喜武,等 (1105)
东海原甲藻与中肋骨条藻的种间竞争特征.....	李慧,王江涛 (1115)
起始生物量比对3种海洋微藻种间竞争的影响.....	魏杰,赵文,杨为东,等 (1124)
不同磷条件下塔玛亚历山大藻氮的生态幅.....	文世勇,宋璐璐,龙华,等 (1133)
秦岭天然次生油松林冠层降雨再分配特征及延滞效应.....	陈书军,陈存根,邹伯才,等 (1142)
伊犁河谷北坡垂直分布格局及其与环境的关系——一种特殊的双峰分布格局.....	田中平,庄丽,李建贵 (1151)
濒危种四合木与其近缘种霸王水分关系参数和光合特性的比较.....	石松利,王迎春,周红兵,等 (1163)
干旱胁迫下黄土高原4种乡土禾草抗氧化特性	单长卷,韩蕊莲,梁宗锁 (1174)
施加角担子菌B6对连作西瓜土壤微环境和西瓜生长的影响	肖逸,王兴祥,王宏伟,等 (1185)
内蒙古典型草原区芨芨草群落适生生境.....	张翼飞,王炜,梁存柱,等 (1193)
盐渍化灌区土壤盐分的时空变异特征及其与地下水埋深的关系.....	管孝艳,王少丽,高占义,等 (1202)
黄土高原水蚀风蚀交错区坡地土壤剖面饱和导水率空间异质性.....	刘春利,胡伟,贾宏福,等 (1211)
松嫩平原玉米带农田土壤氮密度时空格局.....	张春华,王宗明,居为民,等 (1220)
小麦冬性强弱评价体系的建立.....	王鹏,张春庆,陈化榜,等 (1230)
唐家河自然保护区高山姬鼠和中华姬鼠夏季生境选择的比较.....	黎运喜,张泽钧,孙宜然,等 (1241)
西花蓟马在6种蔬菜寄主上的实验种群生命表	曹宇,郅军锐,孔译贤 (1249)
同位素富集-稀释法研究食性转变对鱼类不同组织N同位素转化率的影响	曾庆飞,谷孝鸿,毛志刚,等 (1257)
基于生态网络分析的南京主城区重要生态斑块识别.....	许文雯,孙翔,朱晓东,等 (1264)
珠三角城市绿地CO ₂ 通量的季节特征	孙春健,王春林,申双和,等 (1273)
污染场地地下水渗流场模拟与评价——以柘城县为例	吴以中,朱沁园,刘宁,等 (1283)
专论与综述	
湿地退化研究进展	韩大勇,杨永兴,杨杨,等 (1293)
绿洲农田氮素积累与淋溶研究述评	杨荣,苏永中,王雪峰 (1308)
问题讨论	
抗辐射菌 <i>Deinococcus radiodurans</i> 的多样性	屠振力,方俐晶,王家刚 (1318)
平茬措施对柠条生理特征及土壤水分的影响	杨永胜,卜崇峰,高国雄 (1327)
研究简报	
祁连山典型灌丛降雨截留特征	刘章文,陈仁升,宋耀选,等 (1337)
野生鸭儿芹种子休眠特性及破除方法	喻梅,周守标,吴晓艳,等 (1347)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 348 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-02	



封面图说: 遗鸥群飞来——遗鸥意即“遗落之鸥”(几乎是最后才被发现的新鸥种,因此得名)。1931年,瑞典动物学家隆伯格撰文记述在中国额济纳采到了标本。1987年,中国的鸟类学家在鄂尔多斯的桃力庙获得了一对遗鸥的标本。1990年春夏之交,发现了湖心各岛上大量的遗鸥种群。近年来的每年夏季,大约全球90%以上的遗鸥都会到陕西省神木县境内的沙漠淡水湖-红碱淖上聚集。遗鸥——国家一级重点保护、CITES附录一物种。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201012231834

张春华,王宗明,居为民,任春颖.松嫩平原玉米带农田土壤氮密度时空格局.生态学报,2012,32(4):1220-1229.

Zhang C H, Wang Z M, Ju W M, Ren C Y. Spatial and temporal variations of total nitrogen density in agricultural soils of the Songnen Plain Maize Belt. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(4): 1220-1229.

松嫩平原玉米带农田土壤氮密度时空格局

张春华¹, 王宗明², 居为民^{1,*}, 任春颖²

(1. 南京大学国际地球系统科学研究所,南京 210093; 2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所,长春 130012)

摘要: 基于1980年吉林省第二次全国土壤普查剖面资料和2003—2006年的实测数据,估算了松嫩平原玉米带不同土壤类型农田表层(0—20 cm)土壤氮密度和储量,分析了该地区土壤氮密度的25a时空变化特征及其原因。结果表明,两个时期松嫩平原玉米带农田土壤氮密度的空间分布格局基本一致,中部高、边缘低,平均土壤氮密度变化不大,均为0.31 kg/m²,但25 a间不同土壤类型和土地利用方式的土壤氮密度变化趋势存在差异,暗棕壤、水稻土和沼泽土的氮密度上升,其它类型土壤的氮密度不变或下降,旱田的氮密度不变,水田的氮密度明显下降,25 a间研究区内的农田土壤总氮储量每年减少7.6×10⁵ kg。25 a间土壤氮密度的变化与1980年的初始值负相关,土壤氮密度的新稳定状态值为0.32 kg/m²。如保持1980年的土地利用方式和栽培耕作措施不变,该地区农田土壤总固氮潜力为5.18×10⁶ kg/a。但实际上,与固氮潜力相比,2005年该区农田土壤总氮储量偏低了1.20×10⁸ kg。因此,今后该区应多注重肥料的合理施用,加强农田管理,尤其是旱田改水田的管理。

关键词: 氮密度; 时空变化; 农田土壤; 松嫩平原玉米带

Spatial and temporal variations of total nitrogen density in agricultural soils of the Songnen Plain Maize Belt

ZHANG Chunhua¹, WANG Zongming², JU Weimin^{1,*}, REN Chunying²

1 International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China

2 Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China

Abstract: Nitrogen is a major nutrient for all living organism on Earth and plays a central role in regulating the composition, structure, and function of ecosystems. Most nitrogen within terrestrial ecosystems is stored in soil organic matter. Total nitrogen in soils is mostly correlated with soil organic carbon content. The enrichment experiments of carbon dioxide further indicate that nitrogen limitation directly influences carbon sequestration by terrestrial ecosystems. Increased nitrogen availability normally increases productivity and biomass accumulation in ecosystems. However, few studies have been conducted to calculate soil nitrogen density and storage and to analyze its tempo-spatial variations in the Songnen Plain Maize Belt.

Based on the second national soil survey of Jilin Province conducted around 1980 and field measurements of nitrogen density taken in years from 2003 to 2006, this study was devoted to calculate the density and total storage of nitrogen in top soils (0—20 cm) of the Songnen Plain Maize Belt and investigate the spatial and temporal variations of nitrogen density and possible underlying factors during the period from 1980 to 2005, including land-use types, original nitrogen content, and soil organic carbon changes. The totals of soil nitrogen storage were (40.47 ± 1.67) × 10⁸ kg and (40.28 ± 1.35) × 10⁸ kg in 1980 and 2005, respectively. The spatial patterns of soil total nitrogen density were similar in 1980 and 2005, higher in

基金项目:全球变化研究重大科学计划(2010CB950702);江苏省研究生创新项目(CXZZ11_0033);国家自然科学基金项目(40930527, 40901096)

收稿日期:2010-12-23; 修订日期:2011-06-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: juweimin@nju.edu.cn

the centre and lower in the edge parts. The average of soil total nitrogen density over the entire study area changed only marginally in 25 years, about 0.31 kg/m^2 in 1980 and 2005. However, the changes of soil total nitrogen density in 25 years varied with soils and land use types. Soil total nitrogen density increased in dark brown, paddy, and boggy soils. It did not change or even decreased in other soil types. Soil total nitrogen density changed a little in dry lands while it decreased obviously in paddy lands. The annual decrease rate of total nitrogen storage in top soils was $7.6 \times 10^5 \text{ kg/a}$. The change of soil total nitrogen density in 25 years was negatively correlated with its initial value in 1980, but positively correlated with the change of soil organic carbon density. Soil nitrogen sequestration potential was generally defined as the difference between the equilibrium value of soil nitrogen storage and its initial value. The new equilibrium value of soil total nitrogen density was 0.32 kg/m^2 in the study area. Without changes in land use and management after 1980, the soils of croplands in the study area has a potential of annually sequestering nitrogen at the rate of $5.18 \times 10^6 \text{ kg/a}$. However, the total nitrogen storage in 2005 was $1.2 \times 10^8 \text{ kg}$ lower than the potential of nitrogen sequestration. Actually, the application of nitrogenous fertilizer increased in the past 25 years according to the census data of Jilin Province. Therefore, reasonable fertilization should be practiced in this area. The management of croplands should be enhanced, especially for paddy lands converted from uplands.

Key Words: soil total nitrogen density; spatial and temporal variations; agricultural soils; Songnen Plain Maize Belt

土壤全氮是土壤质量中重要的指标之一,也是陆地土壤氮库的重要组成部分,它不仅反映土壤肥力水平,也印证区域生态演变规律和生态建设的基本成果^[1]。有研究证明氮素的缺乏直接影响陆地生态系统碳的固定^[2-5]。陆地生态系统中的氮多数以有机质形式存储,它对人类活动、肥料、土地利用变化和气候变化尤其敏感^[6-9]。土壤氮储量的微小变化就能使生态系统发生氮“汇-源”或“源-汇”的转变,对全球生物地球化学循环产生重要影响^[10-12]。

松嫩平原玉米带位于吉林省中部,是东北地区乃至国家重要的玉米生产基地。多年来,大面积连种玉米,种植结构单一,土地退化严重,生态系统的能量转化和物质循环受到干扰。刘纪远等^[13]基于全国 2473 个土壤剖面资料,利用 IPCC 方法对东北地区农田土壤氮蓄积量研究发现,该区表层土壤(0—30 cm)氮蓄积量呈增加趋势。而杨学明等^[14]对吉林省长春、榆树、德惠、九台、双阳和公主岭等地 27 个样点的分析指出,1980—2002 年间土壤全氮含量有增有减,但平均水平无明显变化。然而,上述两者的研究中均存在一定的局限性,刘纪远等的研究尺度较大、精度偏低;而杨学明等的研究土壤采样点较少,同样致使精度不高。松嫩平原玉米带农田土壤氮储量过去 20 余年来到底发生了多大变化?其空间分布特征如何?在本地区的大气氮循环中是“源”还是“汇”?弄清这些问题,不仅能为松嫩平原玉米带土壤氮储量的精确估算提供详实的数据资料,而且为区域土壤氮源/汇分布图的绘制工作和土壤固氮能力的评估提供数据参考。

本文利用吉林省第二次土壤普查的省、县级农田土壤全氮含量数据和 2003—2006 年定位采样数据,分析松嫩平原玉米带农田土壤氮密度及其时空变化特征,并对其变化原因展开讨论。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

松嫩平原是北方春玉米的主要分布区,在这一带区域玉米种植主要分布在南起公主岭、长春、北起齐齐哈尔绥化一线,跨度约为北纬 43.0° — 47.0° ,是我国的重点粮食生产基地和商品粮基地,玉米种植面积占耕地面积的 80% 左右,成为我国主导玉米种植区,玉米种植也是该区域农民收入的主要来源。本文所选的松嫩平原玉米带位于北纬 $43^\circ 11' 27''$ — $44^\circ 55'$,东经 $124^\circ 10' 31''$ — $126^\circ 30'$ 之间,包括德惠、公主岭、九台、农安 4 个市县,土地总面积 16423 km^2 (图 1)。地带性土壤为黑土和黑钙土;年平均降水量为 480 — 600 mm , $>10^\circ\text{C}$ 积温 2850 — $3150 \text{ }^\circ\text{C}$,无霜期 130 — 150 d 。这里雨热同季,夏季高温湿润,昼夜温差大,光热资源丰富,土地平坦,土壤肥沃,非常适合玉米的生长发育,有利于玉米的高产稳产。如今,该地区已逐渐形成了以玉米为主的商品

粮基地,得天独厚的自然条件和先进的玉米科学技术造就了闻名于世的玉米带^[15-16]。

1.2 数据源

1.2.1 土壤普查数据

松嫩平原玉米带第二次全国土壤普查数据资料主要为20世纪80年代土壤普查办公室和90年代末吉林省土壤肥料总站出版或编制的书籍与手册,包括:《吉林土种志》^[17]、《吉林土壤》^[18]、《农安县土壤志》^[19]、《德惠县土壤志》^[20]、《九台县土壤志》^[21]、《公主岭市土壤志》^[22],共收集382个土壤剖面,其中农田土壤剖面点有334个(图2)。数据类型分为描述性指标和数值型指标,描述性指标有土壤类型名称、土地利用类型、土壤剖面代码、采样地点;数值型指标包括发生层深度(cm)、容重(g/cm^3)和全氮含量(%)。吉林省全国第二次土壤普查时间为1979—1982年,界定为1980年。

1.2.2 土壤样品采集与分析

本研究采用的近期土壤性质实测数据来源于吉林省土壤肥料总站于2003—2006年(界定为2005年)开展的县级耕地地力调查与质量评价项目工作成果。本研究选取了农安县、德惠市、九台市和公主岭市的土壤样本数据。研究中布点及采样方法遵循全国耕地地力调查与质量技术规程,为尽量避免施肥对样品的影响,统一在作物收获后取样。2003—2006年,在研究区的主要农业用地上,兼顾代表性和均匀性,原则上每10 km²取一个点,并参照全国第二次土壤普查农安县、德惠市、公主岭市和九台市土壤主剖面点位,选取了1460个采样点(图2)。旱田的采样深度为0—20 cm,水田的采样深度为0—15 cm。所有土壤样品在充分混合后,四分法留取1.5 kg装入袋中,采用环刀法测定土壤容重。土袋附带标签,在标签上填写样品类型、野外编号、采样地点、深度、时间、采样人等。回到室内,将土壤样

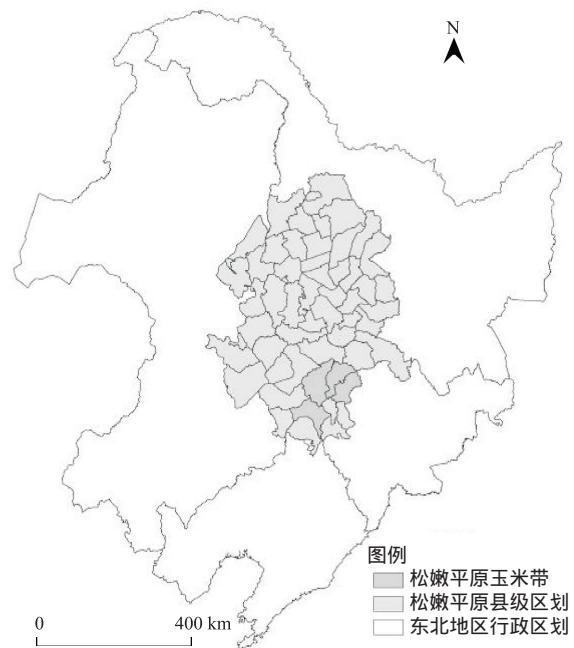


图1 松嫩平原玉米带在东北地区的位置图

Fig. 1 Location of Songnen Plain Maize Belt in Northeast China

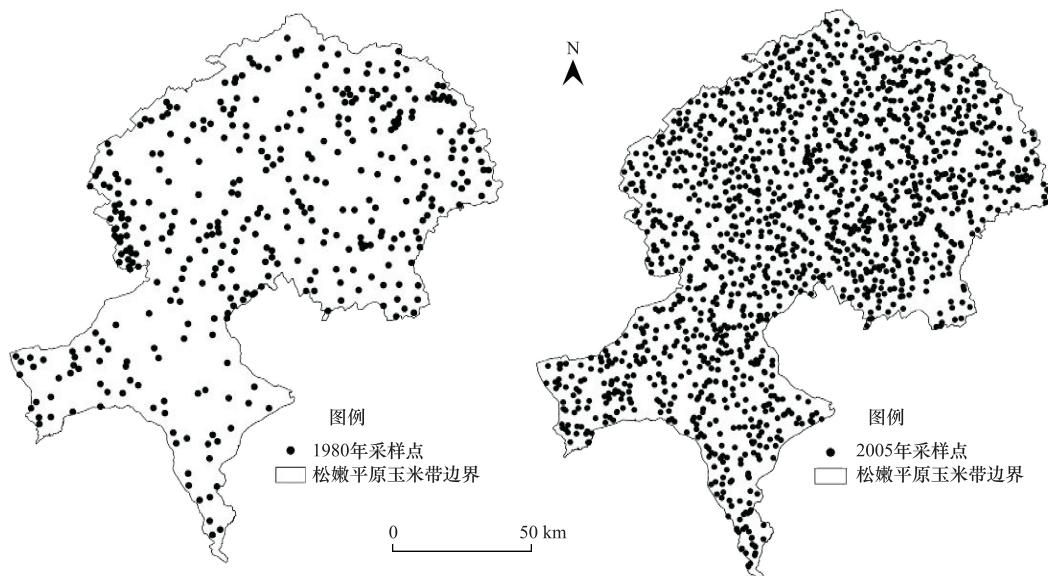


图2 松嫩平原玉米带1980年和2005年农田土壤剖面点分布图

Fig. 2 Distribution maps of agricultural soil sampling sites in 1980 and 2005

品进行风干、研磨、过100目筛。采用凯氏法测定土壤全氮含量。

1.2.3 土壤空间数据

土壤专题图形数据为1:50万吉林省土壤图(源自《吉林省国土资源地图集》),此图生成于80年代末吉林省土壤普查,其分类系统是对照《全国第二次土壤普查分类系统》经多次修改,制定了《吉林省土壤分类系统》。首先将图集中的吉林省土壤类型图扫描输入计算机,然后用松嫩平原玉米带边界切出研究区土壤类型图,最后以1:50万的松嫩平原玉米带行政区图为底图,对该区土壤类型图进行投影转换和几何校正,再利用ERDAS IMAGINE软件对其进行矢量化。经拓扑重建和人工修改,形成coverage格式文件,为该文件建立新的属性,对照原图进行属性赋值,从而形成玉米带土壤类型矢量图,如图3所示。根据土壤普查成果和松嫩平原玉米带土壤类型图,该区土壤共包括13个土类、27个亚类和202个土种。

1.2.4 土地利用类型图

考虑到土壤理化性质的获取时间为1980年和2005年,拟选择这两个年代作为土地利用变化分析的起止时间,但由于缺少1980年的遥感影像数据,本研究改用东北地区1986年的土地利用矢量数据,该数据来自中国科学院资源环境科学数据中心沼泽湿地与东北数据分中心,源数据采自TM卫星遥感影像,空间分辨率为30 m。2005年源数据为中巴卫星遥感数据,从中国资源卫星应用中心网站下载(<http://www.cresda.com/>),分辨率为20 m。需要6景影像拼接覆盖整个松嫩平原玉米带,轨道号分别为365/50、365/51、366/50、366/51、367/50、367/51。影像的获取时间为2005年9月,影像上基本无云覆盖,清晰度较高。

通过对遥感影像进行预处理、几何纠正、图像镶嵌拼接和裁剪等工作,根据研究区特点和分析精度的要求,参照《土地利用现状调查技术规程》^[23]和《中国资源环境遥感宏观调查与动态研究》^[24],将研究区土地利用类型分为农田、林地、草地、水域、居民工矿用地和未利用地等六大类,其中农田分为旱田和水田,并建立土地利用数据库,数据以Coverage格式存储。

1.3 土壤氮密度及储量估算

目前关于土壤氮储量的估算方法有两种:一是C/N比转化方法,即通过给定C/N比的有机碳储量计算氮储量^[25];二是用测定的土壤剖面全氮含量估算土壤氮储量^[26-30]。鉴于数据限制,本研究选用后一种方法,对20 cm土层深度的全氮分析。由于松嫩平原玉米带为平原区,表层土壤>2 mm粒径的颗粒可以忽略不计。土壤表层氮密度及储量的估算模型如下:

$$N_d = H \times B \times TN/10 \quad (1)$$

$$N_s = \sum_{i=1}^n S_i \times N_{di} \quad (2)$$

式中, N_d 为土壤氮密度(kg/m^2); H 为土层厚度(20 cm); B 为容重(g/cm^3); TN 为全氮含量(%); N_s 为土壤氮储量(kg); S_i 为第*i*个土壤亚类的面积;*n*为土壤亚类数; N_{di} 为第*i*个土壤亚类的氮密度。

由于第二次土壤普查数据按照土壤发生层深度取样,2005年实测数据基于不同土地利用方式采样,为使两期土壤有机碳估算结果之间进行对比和分析,研究时将土层深度归一化为20 cm。对于>20 cm的部分,可以直接不予计算;对于<20 cm的部分,取20 cm的所有土层的加权属性数值,2005年水田土壤氮密度直接用

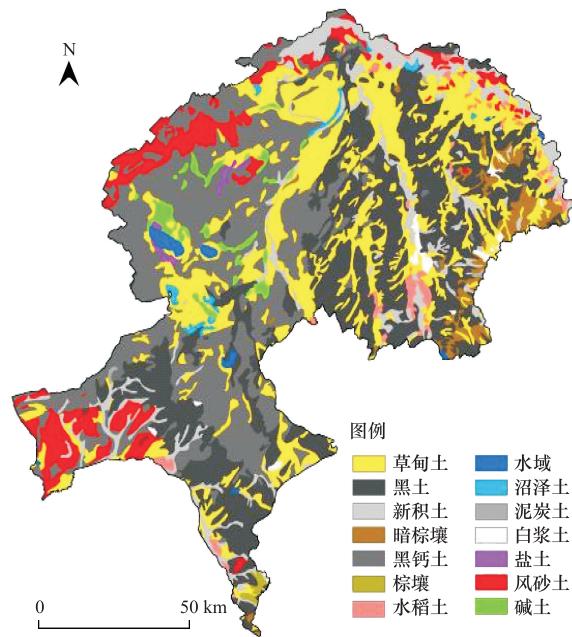


图3 松嫩平原玉米带土壤类型图

Fig. 3 Soil types map of the Songnen Plain Maize Belt

15 cm 深度进行计算。至于土壤容重数据的处理,采用解宪丽等^[31]的方法。

25 a 间土壤氮密度的变化可用相对变化量表示,其计算公式为:

$$\Delta SND_{\text{相对}} = \frac{SND_{(B)} - SND_{(A)}}{SND_{(A)}} \times 100\% \quad (3)$$

式中, $SND_{(A)}$ 和 $SND_{(B)}$ 分别为 1980 年和 2005 年土壤氮密度。

1.4 数据统计与空间分析

空间数据处理与分析用 ArcGIS9.2 进行空间叠加、代数运算、面积统计和制图。对 1980 年和 2005 年土壤采样点的氮密度用 SPSS13.0 软件进行基本统计分析和单因素方差分析(One-Way ANOVA)。用 ArcGIS9.2 软件分析土壤氮密度的时空分布,首先从两期土地利用类型图上将农田土地利用类型提取出来,然后分别与土壤类型图进行叠加,获得两期农田土壤图,然后用估算出的氮密度,代表农田土壤图上相应图斑单元(即土种)的氮密度,在 GIS 软件支持下,绘制 1980 年和 2005 年土壤氮密度分布图,然后将两期土壤氮密度分布图进行叠加,再通过土壤氮密度相对变化量公式(3)进行计算,获得近 25 a 农田表层土壤氮密度相对变化图。

2 结果与分析

2.1 土壤氮密度及储量估算

在估算土壤氮密度及储量时,由于某些土类采样点太少,因此进行土类的归并,将白浆土归入草甸土、碱土归入盐土、泥炭土归入沼泽土,棕壤归入暗棕壤。土类包括 9 种:暗棕壤、草甸土、风沙土、黑钙土、黑土、水稻土、新积土、盐土、沼泽土。利用 1:50 万土壤图统计的松嫩平原玉米带农田土壤分布面积为 12961.32 km²,根据土壤类型法估算 1980 年和 2005 年土壤氮储量分别 $(40.47 \pm 1.67) \times 10^8 \text{ kg}$ 和 $(40.28 \pm 1.35) \times 10^8 \text{ kg}$,面积加权平均氮密度均为 $(0.31 \pm 0.01) \text{ kg/m}^2$ (表 1)。各土壤类型中,草甸土、风砂土和盐土的氮密度有所降低,黑钙土、黑土和新积土基本未变,暗棕壤、水稻土和沼泽土有所增加,其中以沼泽土增加幅度较大,达 28%。总体而言,松嫩平原玉米带耕层土壤氮储量是减少的,每年减少 $7.6 \times 10^5 \text{ kg}$,说明近 25 a 来,该区耕层土壤起到了弱氮源功能。

表 1 不同时期各土壤类型氮密度和储量

Table 1 Soil total nitrogen density and storage of different soil types in 1980 and 2005

土壤类型 Soil group	面积 Area /km ²	1980			2005		
		样点 Number	密度 Density /(kg/m ²)	储量 Storage /(×10 ⁸ kg)	样点 Number	密度 Density /(kg/m ²)	储量 Storage /(×10 ⁸ kg)
暗棕壤 Dark-brown earths	205.36 ^a	8	0.26±0.01 ^b	0.53±0.02	29	0.32±0.01	0.66±0.02
草甸土 Meadow soils	2999.24	99	0.33±0.01	9.90±0.31	348	0.32±0.01	9.60±0.30
风砂土 Aeolian soils	903.59	19	0.28±0.02	2.53±0.18	101	0.27±0.01	2.44±0.09
黑钙土 Chernozems	3600.06	82	0.31±0.01	11.16±0.36	389	0.31±0.01	11.16±0.36
黑土 Black soils	3749.11	89	0.31±0.01	11.62±0.37	412	0.31±0.01	11.62±0.37
水稻土 Paddy soils	192.55	13	0.33±0.04	0.64±0.08	29	0.35±0.02	0.67±0.04
新积土 Alluvial soils	1037.37	18	0.31±0.02	3.22±0.21	125	0.31±0.01	3.22±0.10
盐土 Solonchaks	175.40	3	0.34±0.06	0.60±0.11	21	0.32±0.03	0.56±0.05
沼泽土 Bog soils	98.63	3	0.28±0.04	0.28±0.04	6	0.36±0.01	0.36±0.01
合计 Total	12961.32	334	0.31±0.01	40.47±1.67	1460	0.31±0.01	40.28±1.35

a: 通过 1:50 万土壤图获得; b: 土壤氮密度±SE

松嫩平原玉米带 9 个土类中,黑土、黑钙土和草甸土占整个研究区土壤总面积的 79.84%,1980 年和 2005 年土壤氮储量分别占研究区农田土壤氮储量的 81.13% 和 80%,但其密度均不是最大的,这主要与土壤类型分布面积有关。除此外,新积土因具有较大的氮密度和分布面积,其氮储量也较大,分别为 $(3.22 \pm 0.21) \times 10^8 \text{ kg}$ 和 $(3.22 \pm 0.10) \times 10^8 \text{ kg}$,占整个研究区氮储量的 7.99% 和 7.96%,与其面积所占百分比基本一致。暗棕壤、水稻土、沼泽土和盐土因其分布面积较小,其土壤氮储量较小。通过以上分析可知,松嫩平原玉米带不同土壤类型氮储量的变化趋势基本一致,在土壤氮密度变化不大的情况下,土壤氮储量大小主要受其分布面积

影响。

2.2 土壤氮密度时空分布

图4是1980、2005年农田土壤氮密度分级图和近25 a来土壤氮密度相对变化量图。可以看出,1980年土壤氮密度分布在0.20—0.30 kg/m²和0.30—0.40 kg/m²范围内的比例最大,分别占松嫩平原玉米带农田土壤总面积的30.21%和51.39%;分布在0.50—0.75 kg/m²范围内的比例最小,仅占3.15%,沿伊通河分布。与1980年相似,2005年分布在0.20—0.30 kg/m²和0.30—0.40 kg/m²范围内的比例最大,分别占研究区农田土壤总面积的37.39%和42.15%;分布在0.50—0.85 kg/m²范围内的比例最小,仅为2.00%,沿伊通河零星分布,在公主岭市南部也有分布。2005年土壤氮密度的空间分布状况与1980年的格局基本相似,总体上保持中部地区较高、边缘地区较低的分布特征。从25 a的相对变化可以直观地看出有大多数(56.20%)的农田土壤氮密度呈减少趋势。

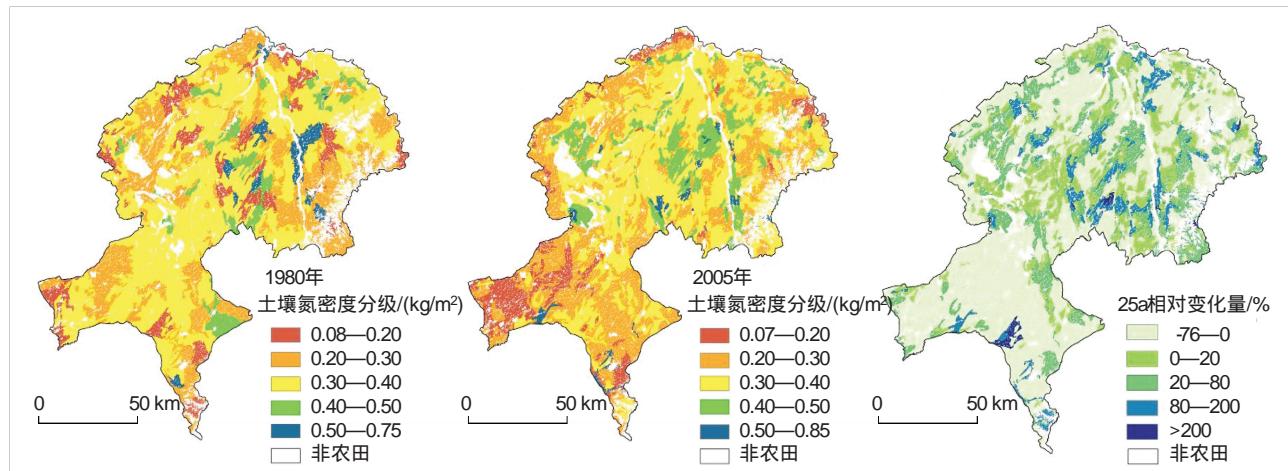


图4 1980年和2005年农田土壤氮密度分级图和25 a来相对变化量图

Fig.4 Spatial distribution maps of soil total nitrogen density in 1980 and 2005 and relative changes

3 讨论

3.1 氮密度变化与农田用地类型的关系

土壤中全氮包括可供作物直接吸收利用的矿物质氮、易矿化有机氮和不易矿化的有机氮及晶格固定的铵^[32]。由于1980年和2005年土壤采集时,绝大多数都记录了样点的土地利用方式,对没有记录土地利用方式的,将两期采样点分布图与相应时期的土地利用类型图叠加获得。为避免不同土地利用类型斑块面积对土壤氮密度的影响,本研究采用算术平均值作为旱田和水田土壤的氮密度。1980年和2005年旱田和水田土壤的氮密度方差分析表明(表2),2005年农田土壤氮密度较1980年变化不显著($P<0.05$),旱田土壤氮密度未发生显著变化,而水田土壤氮密度显著减少。自20世纪80年代以来,该区化肥使用量增加,作物秸秆还田,使旱田土壤氮密度维持在一个相对高的水平。水田土壤氮密度的降低,一方面是由于2005年水田土壤取样深度为15 cm,致使估算出的土壤氮密度偏低;另一方面可能与过去低洼地以旱田为主,改水田后,土壤氮积累需要一段时间^[33-34]。

表2 旱田和水田土壤氮密度方差分析

Table 2 Variance analysis of soil total nitrogen density of various farmlands/(kg/m²)

年份 Year	旱田 Uplands	水田 Paddy lands	平均 Mean
1980	0.31	0.41	0.31
2005	0.31	0.34	0.31
F	0.206	4.405	0.020
Sig.	0.650	0.040	0.889

$P<0.05$

3.2 氮密度变化和初始值的关系

土壤氮的变化除了受外界环境的影响外,还与其自身性质密切相关。土壤氮密度初始值是影响其变化趋势的重要因素之一。从图5可以看出,近25 a来松嫩平原玉米带土壤氮密度的变化与1980年氮密度的初始值呈相反变化,即初始值越高时,氮损失越大;初始值越低时,其增加潜力越大。这种特征与松嫩平原玉米带农田土壤氮密度变化的空间分布相一致,即在公主岭市西部和东部、德惠市中部氮密度高的区域下降,而在土壤氮密度较低的农安县西部、德惠市中部则上升。这可能与土壤贫瘠地区往往需要投入更多的肥料和更加精细的管理以提高产量有关;而本底值高的地区人们更依赖于土地原始较高的地力而轻视了投资与投入,致使土壤养分流失^[35]。

当初始值达到某一值时,年变化量为零,此时土壤氮密度达到一个动态平衡,该值为平衡值,即在一定条件下土壤氮素达到了饱和状态。当初始值高出平衡值时,土壤氮密度出现负增长。同定义土壤固碳潜力相似^[1, 36-38],将土壤氮库的平衡值和其初始值之差定为固氮潜力。从图5中可以获得土壤氮损失量为零时的氮密度为0.32 kg/m²,也就是松嫩平原玉米带农田土壤氮密度可以达到的新稳定状态时的值。由表1知,松嫩平原玉米带1980年农田土壤氮密度为0.31 kg/m²,农田土壤面积为12961.32 km²。因此,该区农田土壤的氮汇潜力为5.18×10⁶kg/a。但实际估算的1980年和2005年的总土壤氮储量分别为(40.47±1.67)×10⁸kg和(40.28±1.35)×10⁸kg,这意味着在1980年的气候条件和栽培耕作措施下,到2005年松嫩平原玉米带农田土壤要增加氮素1.20×10⁸kg才能达到一种相对稳定的平衡状态。

3.3 碳密度变化和氮密度变化的关系

土壤有机碳与全氮有密切关系^[39-40]。松嫩平原玉米带农田土壤有机碳密度的时空变化见文献^[41],从1980年(334个)和2005年(1460个)土壤采样点数据中选择234个样点进行配对,分析近25 a的土壤有机碳密度变化和氮密度变化之间的关系,得出如图6所示的回归直线。从图中可以看出,过去25 a来松嫩平原玉米带土壤氮密度变化量与其有机碳密度变化量呈显著正相关($r=0.751^{**}, P<0.01$),即随着土壤有机碳密度的增加,土壤氮密度也呈现明显的上升趋势。这是因为土壤氮素大多保存于土壤有机质中,肥料施用、耕作、轮作方式和农田管理措施等的变化在影响土壤有机碳的同时,也必然引起土壤氮的变化。在上述土壤氮密度及储量估算过程中,该区农田土壤氮密度变化不大,而氮储量有减少趋势。另一方面,通过搜集松嫩平原玉米带氮肥施用量数据可以发现(图7),过去25 a来,该区氮肥施用量呈增加趋势。这说明施用的氮肥并没有被作物完全吸收,而成为可淋失氮素^[14, 42],淋失氮素会污染地下水。因此,应当在适宜的生长期和气候条件下进行施肥,既要满足作物生长的基本需求,又要维护生态系统的可持续发展。

4 结论

根据建立的松嫩平原玉米带1:50万土壤剖面数据库,该区1980年和2005年农田土壤氮储量分别为(40.47±1.67)×10⁸kg和(40.28±1.35)×10⁸kg,面积加权平均氮密度均为(0.31±0.01)kg/m²。有56.20%的农田土壤氮密度呈减少趋势。在空间上,两个时期土壤氮密度的空间分布格局基本相似,总体上保持着中部地区较高、边缘地区较低的分布特征。土壤氮密度变化与农田用地类型的关系表明,旱田土壤氮密度变化不明显,水田有所减少。对土壤氮密度变化量与其初始值进行拟合分析,得出松嫩平原玉米带农田土壤氮密度达到新的稳定状态时的值为0.32 kg/m²,农田土壤的氮汇潜力为5.18×10⁶kg/a。而实际上该区农田土壤氮

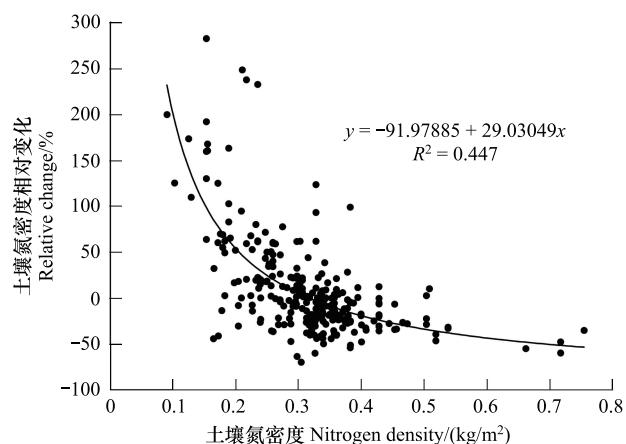


图5 近25 a间土壤氮密度相对于1980年的变化

Fig. 5 Empirical relationships between the relative changes in soil total nitrogen density and its original value in 1980

储量是减少的,这意味着在1980年的气候条件和栽培耕作措施下,在过去25 a松嫩平原玉米带农田土壤增加氮素 $1.20 \times 10^8 \text{ kg}$ 。

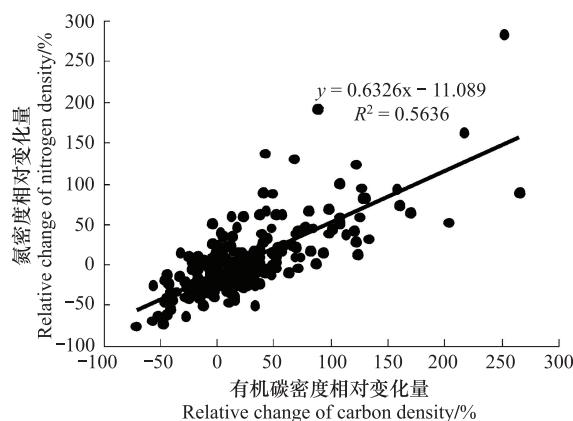


图6 土壤氮密度变化与其碳密度变化之间的关系

Fig. 6 Relationship between changes of soil total nitrogen density and its carbon density

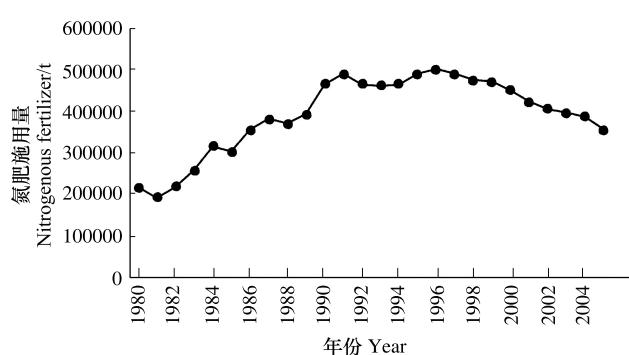


图7 1980—2005年松嫩平原玉米带氮肥施用量

Fig. 7 The application amount of nitrogenous fertilizer from 1980 to 2005 in Songnen Plain Maize Belt

由于土壤氮循环的复杂性,缺乏土壤容重数据和足够的土壤剖面数据(1980年)、土壤氮储量估算方法不同,以及成土母质、植被、土地利用和农田管理等因素影响,土壤氮储量估算还存在极大的不确定性。本文仅从全氮含量角度分析了土壤氮密度及其储量情况,至于土壤氮素包括有效氮、碱解氮等多种形式,而且农田管理、土壤微生物活动等会对土壤氮素产生影响,因此对松嫩平原玉米带农田土壤氮的估算还有待进一步深入研究。通过研究发现,土壤氮密度变化不大,而土壤氮密度的稳定值为 0.32 kg/m^2 ,说明土壤氮密度还有增长的空间。1980—2005年间氮肥施用量是增加的,而估算出的氮储量呈减少趋势,说明施用的氮素并没有被作物完全吸收,部分氮素出现淋失,污染地下水。因此,今后该区应多注重肥料的合理施用,尽量实施秸秆还田和土壤测土配方技术,既能满足作物生长的需要,又能保持生态系统稳定发展。

References:

- [1] Tan Z X, Lal R. Carbon sequestration potential estimates with changes in land use and tillage practice in Ohio, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2005, 111(1/4):140-152.
- [2] Lutze J L, Gifford R M. Nitrogen accumulation and distribution in *Danthonia richardsonii* swards in response to CO₂ and nitrogen supply over four years of growth. *Global Change Biology*, 2000, 6(1): 1-12.
- [3] Oren R, Ellsworth D S, Johnsen K H, Phillips N, Ewers B E, Maier C, Schäfer K V R, McCarthy H, Hendrey G, McNulty S G, Katul G G. Soil fertility limits carbon sequestration by forest ecosystems in a CO₂-enriched atmosphere. *Nature*, 2001, 411(6836): 469-472.
- [4] Hu S, Chapin F S III, Firestone M K, Field C B, Chiariello N R. Nitrogen limitation of microbial decomposition in grassland under elevated CO₂. *Nature*, 2001, 409(6817): 188-191.
- [5] Schlesinger W H, Lichter J. Limited carbon storage in soil and litter of experimental forest plots under increased atmospheric CO₂. *Nature*, 2001, 411(6836): 466-469.
- [6] Batjes N H, Dijkshoorn J A. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon Region. *Geoderma*, 1999, 89(3/4): 273-286.
- [7] Ellis E C, Li R G, Yang L Z, Cheng X. Changes in village scale nitrogen storage in China's Tai Lake region. *Ecological Applications*, 2000, 10(4): 1074-1089.
- [8] Parfitt R L, Scott N A, Ross D J, Sait G J, Tate K R. Land-use change effects on soil C and N transformations in soils of high N status: comparisons under indigenous forest, pasture and pine plantation. *Biogeochemistry*, 2003, 66(3): 203-221.
- [9] Wang G X, Ma H Y, Qian J, Chang J. Impact of land use changes on soil carbon, nitrogen and phosphorus and water pollution in an arid region of northwest China. *Soil Use and Management*, 2004, 20(1): 32-39.
- [10] Galloway J N, Cowling E B. Reactive nitrogen and the world: 200 years of change. *Ambio*, 2002, 31(2): 67-71.

- [11] Galloway J N, Dentener F J, Capone D G, Boyer E W, Howarth R W, Seitzinger S P, Asner G P, Cleveland C C, Green P A, Holland E A, Karl D M, Michaels A F, Porter J H, Townsend A R, Vörösmarty C J. Nitrogen cycles: past, present, and future. *Biogeochemistry*, 2004, 70(2) : 153-226.
- [12] Holland E A, Guenther A, Lee-Taylor J, Bertman S B, Carroll M A, Shepson P B, Sparks J P. U.S. nitrogen science plan focuses collaborative efforts. *Eos Transactions, American Geophysical Union*, 2005, 86(27) : 253-256.
- [13] Liu J Y, Wang S Q, Chen J M, Liu M L, Zhuang D F. Storages of soil organic carbon and nitrogen and land use changes in China: 1990—2000. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(4) : 483-496.
- [14] Yang X M, Zhang X P, Fang H J, Liang A Z. Changes in organic matter and total nitrogen of black soils in Jilin Province over the past two decades. *Scientia Geographica Sinica*, 2004, 24(6) : 710-714.
- [15] Chorography Compile Committee of Jilin Province. *The Annals of Jilin Province (Volume 4—Physical Geography)*. Changchun: The Peoples Press of Jilin Province, 1992.
- [16] Qi X N, Wang Y, Wang Q C, Liu Z Y, Bao Q. The situation and developing prospect of Corn Zone in Jilin Province. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(3) : 379-384.
- [17] Soil Fertilizer Station of Jilin Province. *Soil Species of Jilin Province*. Changchun: Jilin Science and Technology Press, 1997.
- [18] Soil Fertilizer Station of Jilin Province. *The Soils of Jilin Province*. Beijing: China Agriculture Press, 1998.
- [19] Leading Group for a Pilot Agricultural Zoning of Nongan County, Jilin Province. *The Soils of Nongan County*. 1980.
- [20] Soil Survey Office of Dehui County. *The Soils of Dehui County*. 1984.
- [21] Soil Survey Office of Jiutai County. *The Soils of Jiutai County*. 1985.
- [22] Agricultural Zoning Office of Gongzhuling City. *The Soils of Gongzhuling City*. 1985.
- [23] GB/T7929—1995 land use survey technical specification.
- [24] Liu J Y. Chinese Resources and Environment Remote Sensing Macro Survey and Dynamic Study. Beijing: Science and Technology of China Press, 1996.
- [25] McElroy M B. Global change: A Biogeochemical Perspective Pasadena. Jet Propulsion Laboratory, 1983.
- [26] Batjes N H, Dijkshoorn J A. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon region. *Geoderma*, 1999, 89(3/4) : 273-286.
- [27] Batjes N H. Carbon and nitrogen stocks in the soils of Central and Eastern Europe. *Soil Use and Management*, 2002, 18(4) : 324-329.
- [28] Zhang C N. *Study on Terrestrial Soil Nitrogen Pools in China [D]*. Chongqing: Southwest Agricultural University, 2004.
- [29] Tian H Q, Wang S Q, Liu J Y, Pan S F, Chen H, Zhang C, Shi X Z. Patterns of soil nitrogen storage in China. *Global Biogeochemical Cycles*, 2006, 20(1) : GB1001, doi: 10.1029/2005GB002464.
- [30] Yang Y H, Ma W H, Mohammat A, Fang J Y. Storage, patterns and controls of soil nitrogen in China. *Pedosphere*, 2007, 17(6) : 776-785.
- [31] Xie X L, Sun B, Zhou H Z, Li Z P, Li A B. Organic carbon density and storage in soils of China and spatial analysis. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(1) : 35-43.
- [32] Peng C, Zhu P, Gao H J, Liu S H. The report on long term monitoring fertility of black earth in controlled sites I . The transform of OM and N nutrition in black earth. *Journal of Jilin Agricultural Sciences*, 2004, 29(5) : 29-33.
- [33] Zhang C H, Wang Z M, Ren C Y, Song K S, Zhang B, Liu D W. Spatial characteristics of soil organic carbon and nitrogen storages in Songnen Plain maize belt. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(3) : 631-639.
- [34] Zhang C H, Wang Z M, Ren C Y, Zhang B, Song K S, Liu D W. Temporal and spatial variations of soil organic and total nitrogen in the Songnen Plain maize belt. *Geographical Research*, 2011, 30(2) : 2-14.
- [35] Yu H, Huang J K, Rozelle S, Brandt L. Soil fertility changes of cultivated land in Eastern China. *Geographical Research*, 2003, 22 (3) : 380-388.
- [36] Jin L, Li Y E, Gao Q Z, Liu Y T, Wan Y F, Qin X B, Shi F. Estimate of carbon sequestration under cropland management in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(3) : 734-743.
- [37] Han B, Wang X K, Lu F, Duan X N, Ouyang Z Y. Soil carbon sequestration and its potential by cropland ecosystems in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2) : 612-619.
- [38] West T O, Post W M. Soil organic carbon sequestration by till-age and crop rotation: a global data analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, 66(6) : 1930-1946.
- [39] Bai J H, Den W, Zhang Y X. Spatial distribution of soil organic matter and nitrogen in soil of circular-zonary vegetation areas in Wulanpao wetland, Inner Mongolia. *Journal of Lake Sciences*, 2002, 14(2) : 145-151.
- [40] Geng Y B, Zhang S, Dong Y S, Meng W Q, Qi Y C, Chen Z Z, Wang Y F. The content of soil organic carbon and total nitrogen and correll ativity between their content and fluxes of CO₂, N₂O and CH₄ in Xilin River Basin Steppe. *Aata Geographica Sinica*, 2001, 56(1) : 44-53.

- [41] Zhang C H, Wang Z M, Ren C Y, Song K S, Zhang B, Liu D W. Spatial and temporal changes of organic carbon in agricultural soils of Songnen Plain maize belt. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(S1): 300-307.
- [42] Wang Z M, Zhang B, Song K S, Liu D W, Li J P, Huang J, Zhang H L. Analysis of related factors for soil nutrients in croplands of typical agricultural county, Northeast Plain, China. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(2): 73-77.

参考文献:

- [13] 刘纪远,王绍强,陈镜明,刘明亮,庄大方. 1990—2000年中国土壤碳氮蓄积量与土地利用变化. *地理学报*, 2004, 59(4): 483-496.
- [14] 杨学明,张晓平,方华军,梁爱珍. 20年来部分黑土耕层有机质和全氮含量的变化. *地理科学*, 2004, 24(6): 710-714.
- [15] 吉林省地方志编纂委员会. 吉林省志(卷四·自然地理卷). 长春: 吉林人民出版社, 1992.
- [16] 齐晓宁,王洋,王其存,刘兆永,鲍强. 吉林玉米带的地位与发展前景. *地理科学*, 2002, 22(3): 379-384.
- [17] 吉林省土壤肥料总站. 吉林土种志. 长春: 吉林科学技术出版社, 1997.
- [18] 吉林省土壤肥料总站. 吉林土壤. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [19] 吉林省农安县农业区划试点领导小组. 农安县土壤志. 1980.
- [20] 德惠县土壤普查办公室. 德惠县土壤志. 1984.
- [21] 九台县土壤普查办公室. 九台县土壤志. 1985.
- [22] 公主岭市农业区划办. 公主岭土壤志. 1985.
- [23] GB/T7929—1995 土地利用现状调查技术规程.
- [24] 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.
- [28] 张春娜. 中国陆地土壤氮库研究 [D]. 重庆: 西南农业大学, 2004.
- [31] 解宪丽,孙波,周慧珍,李忠配,李安波. 中国土壤有机碳密度和储量的估算与空间分布分析. *土壤学报*, 2004, 41(1): 35-43.
- [32] 彭畅,朱平,高洪军,刘淑环. 长期定位监测黑土土壤肥力的研究 I. 黑土耕层有机质与氮素转化. *吉林农业科学*, 2004, 29(5): 29-33.
- [33] 张春华,王宗明,任春颖,宋开山,张柏,刘殿伟. 松嫩平原玉米带土壤碳氮储量的空间特征. *应用生态学报*, 2010, 21(3): 631-639.
- [34] 张春华,王宗明,任春颖,张柏,宋开山,刘殿伟. 松嫩平原玉米带土壤有机质和全氮的时空变异特征. *地理研究*, 2011, 30(2): 2-14.
- [35] 俞海,黄季焜,Rozelle S,Brandt L. 中国东部地区耕地土壤肥力变化趋势研究. *地理研究*, 2003, 22(3): 380-388.
- [36] 金琳,李玉娥,高清竹,刘运通,万运帆,秦晓波,石锋. 中国农田管理土壤碳汇估算. *中国农业科学*, 2008, 41(3): 734-743.
- [37] 韩冰,王效科,逯飞,段晓男,欧阳志云. 中国农田土壤生态系统固碳现状和潜力. *生态学报*, 2008, 28(2): 612-619.
- [39] 白军红,邓伟,张玉霞. 内蒙古乌兰泡湿地环带状植被区土壤有机质及全氮空间分异规律. *湖泊科学*, 2002, 14(2): 145-151.
- [40] 耿远波,章申,董云社,孟维奇,齐玉春,陈佐忠,王艳芬. 草原土壤的碳氮含量及其与温室气体通量的相关性. *地理学报*, 2001, 56(1): 44-53.
- [41] 张春华,王宗明,任春颖,宋开山,张柏,刘殿伟. 松嫩平原玉米带农田土壤有机碳时空格局. *农业工程学报*, 2010, 26(增刊1): 300-307.
- [42] 王宗明,张柏,宋开山,刘殿伟,李建平,黄健,张惠琳. 东北平原典型农业县农田土壤养分空间分布影响因素分析. *水土保持学报*, 2007, 21(2): 73-77.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 4 February, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

The influence of a reclamation project on the macrobenthos of an East Nanhui tidal flat	MA Chang'an, XU Linlin, TIAN Wei, et al (1007)
Ecological health assessment of groundwater in the lower Liaohe River Plain using an ArcView-WOE technique	SUN Caizhi, YANG Lei (1016)
Nitrogen flows in intensive “crop-livestock” production systems typically for the peri-urban area of Beijing	HOU Yong, GAO Zhiling, MA Wenqi, et al (1028)
The simulation of leaf net photosynthetic rates in different radiation in apple canopy	GAO Zhaoquan, FENG Shezhang, ZHANG Xianchuan, et al (1037)
Phenological variation of typical vegetation types in northern Tibet and its response to climate changes	SONG Chunqiao, YOU Songcai, KE Linghong, et al (1045)
Soil moisture and temperature characteristics of forest-grassland ecotone in middle Qilian Mountains and the responses to meteorological factors	TANG Zhenxing, HE Zhibin, LIU Hu (1056)
Eco-hydrological effects of Qinghai spruce (<i>Picea crassifolia</i>) canopy and its influence factors in the Qilian Mountains	TIAN Fengxia, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong, et al (1066)
Response of tree-ring width of <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> to climate change in Hulunbuir sand land, China	SHANG Jianxun, SHI Zhongjie, GAO Jixi, et al (1077)
Analysis of a dust case using lidar in Shanghai	MA Jinghui, GU Songqiang, CHEN Min, et al (1085)
Relating the distribution of zooplankton abundance in the coastal waters of central Fujian Province to the seasonal variation of water masses	TIAN Fengge, XU Zhaoli (1097)
Phenotypic traits of both larvae and juvenile <i>Crasstrea hongkongensis</i> and <i>C. gigas</i>	ZHANG Yuehuan, WANG Zhaoping, YAN Xiwu, et al (1105)
Inter-specific competition between <i>Prorocentrum donghaiense</i> and <i>Skeletonema costatum</i>	LI Hui, WANG Jiangtao (1115)
Effects of initial biomass ratio on the interspecific competition outcome between three marine microalgae species	WEI Jie, ZHAO Wen, YANG Weidong, et al (1124)
On the ecological amplitude of nitrate of <i>Alexandrium tamarensis</i> at different initial phosphate concentrations in laboratory cultures	WEN Shiyong, SONG Lili, LONG Hua, et al (1133)
Time lag effects and rainfall redistribution traits of the canopy of natural secondary <i>Pinus tabulaeformis</i> on precipitation in the Qinling Mountains, China	CHEN Shujun, CHEN Cungen, ZOU Bocai, et al (1142)
The vertical distribution of vegetation patterns and its relationship with environment factors at the northern slope of Ili River Valley: a bimodal distribution pattern	TIAN Zhongping, ZHUANG Li, LI Jiangui (1151)
Comparative analysis of water related parameters and photosynthetic characteristics in the endangered plant <i>Tetraena mongolica</i> Maxim. and the closely related <i>Zygophyllum xanthoxylon</i> (Bunge) Maxim.	SHI Songli, WANG Yingchun, ZHOU Hongbing, et al (1163)
Antioxidant properties of four native grasses in Loess Plateau under drought stress	SHAN Changjuan, HAN Ruilan, LIANG Zongsuo (1174)
The effects of the addition of <i>Ceratobasidium stevensii</i> B6 and its growth on the soil microflora at a continuously cropped water-melon (<i>Citrullus lanatus</i>) site in China	XIAO Yi, WANG Xingxiang, WANG Hongwei, et al (1185)
Suitable habitat for the <i>Achnatherum splendens</i> community in typical steppe region of Inner Mongolia	ZHANG Yifei, WANG Wei, LIANG Cunzhu, et al (1193)
Spatio-temporal variability of soil salinity and its relationship with the depth to groundwater in salinization irrigation district	GUAN Xiaoyan, WANG Shaoli, GAO Zhanyi, et al (1202)
Spatial heterogeneity of soil saturated hydraulic conductivity on a slope of the wind-water erosion crisscross region on the Loess Plateau	LIU Chunli, HU Wei, JIA Hongfu, et al (1211)
Spatial and temporal variations of total nitrogen density in agricultural soils of the Songnen Plain Maize Belt	ZHANG Chunhua, WANG Zongming, JU Weimin, et al (1220)
The evaluation system of strength of winterness in wheat	WANG Peng, ZHANG Chunqing, CHEN Huabang, et al (1230)
A comparison of summer habitats selected by sympatric <i>Apodemus chevrieri</i> and <i>Apodemus draco</i> in Tiangjiahe Nature Reserve, China	LI Yunxi, ZHANG Zejun, SUN Yiran, et al (1241)
Life tables for experimental populations of <i>Frankliniella occidentalis</i> on 6 vegetable host plants	CAO Yu, ZHI Junrui, KONG Yixian (1249)
Effect of diet switch on turnover rates of tissue nitrogen stable isotopes in fish based on the enrichment-dilution approach	ZENG Qingfei, GU Xiaohong, MAO Zhigang, et al (1257)
Recognition of important ecological nodes based on ecological networks analysis: A case study of urban district of Nanjing	XU Wenwen, SUN Xiang, ZHU Xiaodong, et al (1264)
Seasonal characteristics of CO ₂ fluxes above urban green space in the Pearl River Delta, China	SUN Chunjian, WANG Chunlin, SHEN Shuanghe, et al (1273)
Simulation and evaluation of groundwater seepage in contaminated sites: case study of Tuocheng County	WU Yizhong, ZHU Qinyuan, LIU Ning, LU Genfa, DAI Mingzhoet al (1283)
Review and Monograph	
Recent advances in wetland degradation research	HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang, LI Ke (1293)
A review concerning nitrogen accumulation and leaching in agro-ecosystems of oasis	YANG Rong, SU Yongzhong, WANG Xuefeng (1308)
Discussion	
The diversity of the radio-resistant bacteria <i>Deinococcus radiodurans</i>	TU Zhenli, FANG Lijing, WANG Jiagang (1318)
Effect of pruning measure on physiology character and soil waters of <i>Caragana korshinskii</i>	YANG Yongsheng, BU Chongfeng, GAO Guoxiong (1327)
Scientific Note	
Characteristics of rainfall interception for four typical shrubs in Qilian Mountain	LIU Zhangwen, CHEN Rensheng, SONG Yaoxuan, et al (1337)
Dormancy break approaches and property of dormant seeds of wild <i>Cryptotaenia japonica</i>	YU Mei, ZHOU Shoubiao, WU Xiaoyan, et al (1347)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 4 期 (2012 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 4 2012

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:1000717

印 刷 北京北林印刷厂
行 销 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

广告经营 许可证 京海工商广字第 8013 号

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel:(010)62941099
www.ecologica.cn
Shengtaixuebao@rcees.ac.cn

Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China

ISSN 1000-0933
9 771000093125
0 4 >