

三江平原环型湿地土壤养分的空间分布规律*

刘吉平^{1,2} 吕宪国^{1†} 杨青¹ 郝敏¹

(1 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012)

(2 吉林师范大学旅游与地理科学学院, 吉林四平 136000)

摘要 以三江平原环型湿地作为研究对象,对其环带状植被区湿地土壤的有机碳、全氮、全磷和全钾的空间分布规律进行了初步研究。结果表明,环型湿地土壤有机碳、全氮、全磷和全钾具有明显的空间水平分异规律,有机质、全氮、全磷的含量由环型湿地中心向边缘逐渐减少,全钾的含量和碳氮比逐渐增加。土壤有机碳、全氮、全磷和全钾在垂直方向上具有明显的分层和富聚现象,自上而下,有机质的含量逐渐降低;全氮含量除漂筏苔草群落外,其他各群落土壤全氮含量呈先增加后减少的分布;大部分植物群落全磷含量呈先减后增的“V”型分布;全钾含量呈表层和底层较高、中间层较低的“中空”状分布。通过相关分析表明,环型湿地土壤有机碳与全氮具有相似的空间分布规律,全钾与有机碳、全氮具有相异的空间分布规律,而全磷具有自己独特的空间分布规律。环型湿地土壤的有机碳、全氮、全磷和全钾的空间分布主要受植物体元素含量、生物过程和水文地貌过程影响,它通过过程影响湿地的功能。研究环型湿地的有机碳、全氮、全磷和全钾的空间分布规律不仅有助于完善湿地土壤形成和发育的理论,探明湿地的生态过程和功能,而且为合理利用和保护湿地提供科学依据。

关键词 土壤养分;环型湿地;空间分布;三江平原
中图分类号 X53 **文献标识码** A

湿地土壤中的有机质、氮、磷、钾元素是湿地生态系统中极其重要的生态因子,显著影响湿地生态系统的生产力^[1]。其中有机质是气候变化的一种敏感指示物,它能够用来指示湿地对气候变化的响应^[2];氮素和磷素是引发江河湖泊等湿地发生富营养化的重要因子之一^[3];而钾素是植物的重要营养元素之一^[4]。湿地化学元素的含量也是湿地类型划分的重要依据^[5],因此研究湿地土壤的有机碳、全氮、全磷、全钾的空间分布规律具有重要意义。

三江平原是由黑龙江、松花江和乌苏里江汇流冲积而形成的沼泽化低平原,是我国最大的淡水湿地分布区之一,同时也是受人类活动影响天然湿地分布面积减少最快的区域之一^[6]。环型湿地是三江平原主要的湿地景观类型,是水陆相互作用的核心,多分布在高漫滩、低阶地及沼泽性平原河流的分水线上,具有面积小、生物多样性丰富、环境梯度变化较大、对环境变化反应敏感等特点^[7]。每个环型湿地,一般都以一个最低势能点(或最高势能点)为核

心而组合成的一种地貌组合单元,环型湿地两种地貌(碟型洼地和岛状林)的特点,形成了不同的热量区:高势能区为岛状林地,好氧高温区;低势能区为碟型洼地,厌氧低温区;两者之间为过渡区。地表面的植物群落呈环状从低到高(或从高到低)有规律分布,也有的呈多弧状或线状有规律的分布。这些不同的环境组合,形成了湿地独特的物质和能量结构,因此三江平原环型湿地是研究湿地土壤有机碳、全氮、全磷、全钾的空间分布规律很好的场所。

目前国内外对湿地土壤主要化学元素的空间分布规律已有一些研究^[8-15],但大多都是对永久性湿地化学元素空间分布的普遍规律以及背景值的揭示,而探讨干湿交替下环型湿地系统内不同植物群落下土壤化学元素的空间分布规律较少^[16],特别是对不同土壤发生层化学元素的空间分异研究的更少。本文研究了三江平原典型环型湿地土壤不同发生层有机碳、全氮、全磷和全钾的空间分布规律,并从生态过程分析这种空间分布规律产生的机理,为

* 中国科学院知识创新工程项目(KZCX3-SW-NA-01)资助

† 通信作者, Tel: 0431-5542216, E-mail: luxg@neigae.ac.cn

作者简介:刘吉平(1972~),男,山东省定陶县人,汉族,博士,主要从事湿地变化及其环境效应研究。E-mail: liujpjl@163.com

收稿日期:2005-02-08;收到修改稿日期:2005-09-09

湿地结构和功能、保护和管理的科学研究提供科学依据。

1 研究方法

1.1 观测样地的选择

观测样地选在三江平原的腹地,别拉洪河与浓江河分水线上的中国科学院三江平原沼泽湿地试验站内,其核心位置的地理坐标为东经 133°30'35",北纬 47°35'11"。观测样地的面积约 4 hm²,海拔高度在 55.4~56.0 m 之间,在其周围还有四个碟型洼地及岛状林地相连接(图 1)。

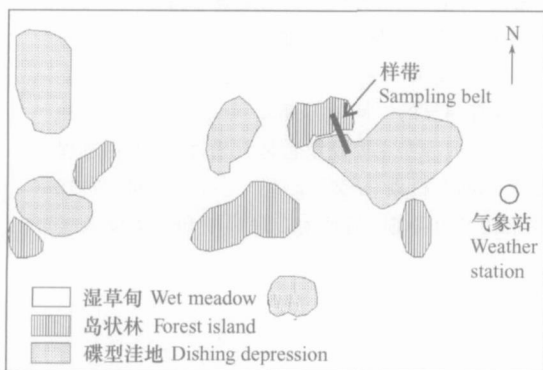


图 1 观测样带示意图

Fig. 1 Sketch map of the sampling belt

所选择的环型湿地中心部位是一个南北长 8 m、东西宽 6 m 的椭圆型水面,水中有沉水植物,如小狸藻(*Utricularia intermedia*)等,发育的土壤为泥炭土。围绕明水面由内向外由五个群落组成:第一个植物群落带为漂筏苔草群落(Ass. *Carex pseudocuraica*),这个带宽约 2 m,伴生植物有水蓼(*Polygonum hydropiper*)、东北沼荩菜(*Comarum palustre*)等,土壤为泥炭土;第二个植物群落带为大穗苔草群落(Ass. *Carex rhynchophysa*),宽约 3 m,伴生植物有睡菜(*Menyanthes trifoliata*)、漂筏苔草和水木贼(*Equisetum limosum*)等,是泥炭土和泥炭沼泽土的过渡地带;第三个植物群落带为毛果苔草群落(Ass. *Carex lasiocarpa*),宽约 8 m,伴生植物有燕子花(*Iris laevigata*)、睡菜(*Menyanthes trifoliata*)、水木贼(*Equisetum helocharis*)等,土壤为泥炭沼泽土;第四个植物群落带为乌拉苔草群落(Ass. *Carex meyeriana*),宽约 6 m,土壤为潜育草甸沼泽土;第五个植物群落带为沼柳-小叶樟群落(Ass. *Salix brachypoda*-*Calamagrostis angustifolia*),分布在环型湿地的边缘,宽约 8 m,是林地与草地的分界地带,土壤为潜育草甸白浆土^[7]。

1.2 样品的采集与分析

在观测研究样地的南北走向上,由环型湿地的中心到边缘选一条宽 5 m 的样带(图 1),根据不同的植物带来确定样方。取样时间在 2000 年 8 月上旬。每个样方根据土壤的发生层取垂直的土壤剖面样品,土壤样品运回实验室后,对风干土壤样品的有机碳、全氮、全磷和全钾进行分析测试。有机碳采用重铬酸钾-外加加热法测定,全氮采用凯氏定氮法测定,全磷采用钼锑抗比色法测定,全钾采用原子吸收光谱法测定。全部分析测试在中国科学院东北地理与农业生态研究所分析测试部完成。

2 结果与讨论

2.1 有机碳、全氮、全磷、全钾在环型湿地不同植物群落土壤中的空间分布规律

五个植物群落带内土壤有机碳的垂直分布规律基本上趋于一致(图 2),由表层向下逐渐减少,在母质层达到最小值,这与大多数土壤有机碳的垂直分布规律一致。除沼柳-小叶樟群落外,以泥炭层和腐泥层的有机碳的相对富集系数(相对富集系数指某一层元素的含量与其下层这一元素平均含量的比值)最大,其平均值分别为 1.69 和 2.35,说明有机碳

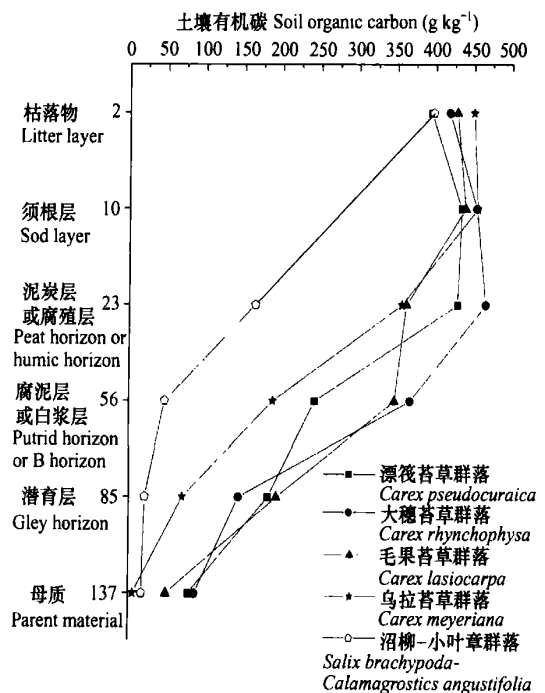


图 2 不同植物群落土壤剖面中有机碳的空间分布

Fig. 2 Distribution of soil organic carbon (SOC) in soil profiles under different vegetation communities

在此两层富集。沼柳-小叶章群落的相对富集系数最大值出现在枯落物层,为 1.12,其他各层都较小。在土壤表层(枯落物层和须根层),各群落之间水平分异不太明显,但有乌拉苔草 > 毛果苔草 > 大穗苔草 > 漂筏苔草群落带的趋势;在土壤下层(须根层以下),各群落之间的水平分异比较明显,漂筏苔草 > 大穗苔草 > 毛果苔草 > 乌拉苔草 > 沼柳-小叶章

群落(图 2),与土壤水分状况序列相一致。对五个群落土壤有机碳各层厚度加权平均值与距环型湿地中心的距离进行线性拟合(图 3),其拟合方程为 Y (有机碳含量) = $40.441 - 7.566X$ (距环型湿地中心的距离) ($R = -0.886$),在 0.05 水平上显著,表明五个植物群落下的土壤有机碳的含量,由环型湿地中心向外缘,随着距离的增加,有减少的趋势。

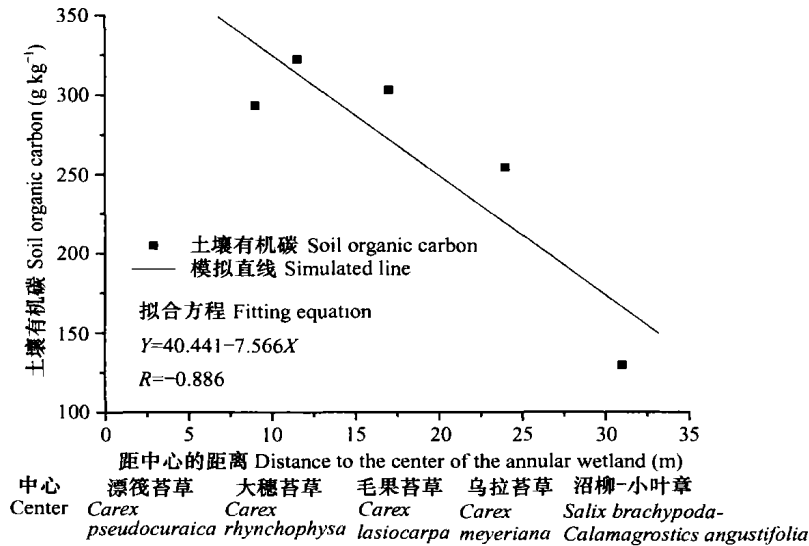


图 3 不同植物群落土壤中有有机碳的水平分异拟合

Fig. 3 Horizontal variations of SOC under different vegetation communities

由图 4 可以看出,除漂筏苔草群落土壤全氮含量由表层向下逐渐减少外,其他各群落土壤全氮含量自上而下呈先增加后减少的分布,最大值出现在泥炭层(腐殖质层)或腐泥层(白浆层)之中。各层相对富集系数计算表明,除沼柳-小叶章群落外,泥炭层(腐殖质层)和腐泥层的全氮的相对富集系数最大,其平均值分别为 1.15 和 2.08,说明全氮在此两层富集。从水平分异来看,由环型湿地中心到边缘,各层全氮含量都有逐渐降低的趋势。对五个群落土壤全氮各层厚度加权平均值与距环型湿地中心的距离进行线性拟合(图 5),其拟合方程为 Y (全氮含量) = $26.19 - 0.65X$ (距环型湿地中心的距离) ($R = -0.995$),在 0.01 水平上显著,表明由环型湿地中心向外,土壤平均全氮含量逐渐减少。

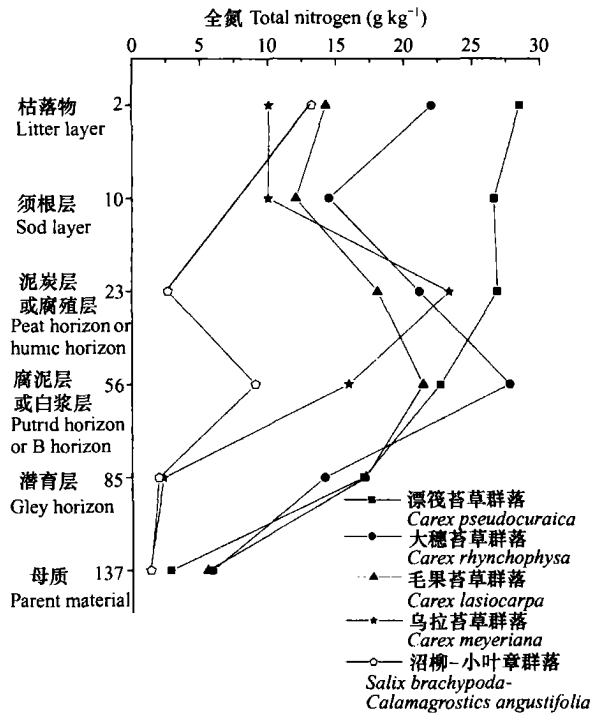


图 4 不同植物群落土壤剖面中全氮的空间分布

Fig. 4 Distribution of total nitrogen (TN) in soil profiles under different vegetation communities

有机物质组成的碳氮比(C/N)也具有明显的空间分布规律(图 6),从垂直方向上看,各群落碳氮比呈先增加后减少的趋势,在须根层达到最大值(沼柳-小叶章群落在腐殖层达到最大值)。从碳氮比的水平分异来看,除沼柳-小叶章群落变化较大外,各层的碳氮比表现为乌拉苔草 > 毛果苔草 > 大穗苔草 > 漂筏苔草,与有机碳与全氮的分布规律恰恰相反,

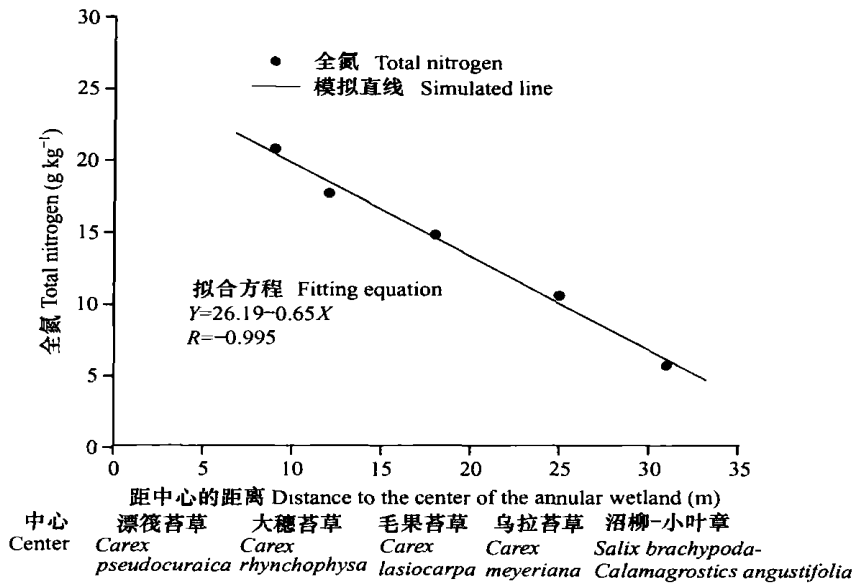


图 5 不同植物群落土壤中全氮的水平分异拟合图

Fig. 5 A fit map of horizontal variation of TN in soils under different vegetation communities

白军红对内蒙古乌兰泡湿地的研究也得出类似的结论^[16]。环型湿地不同植物群落土壤碳氮比的平均值主要集中在 15~22 之间,表明土壤有机质的腐殖化程度高。

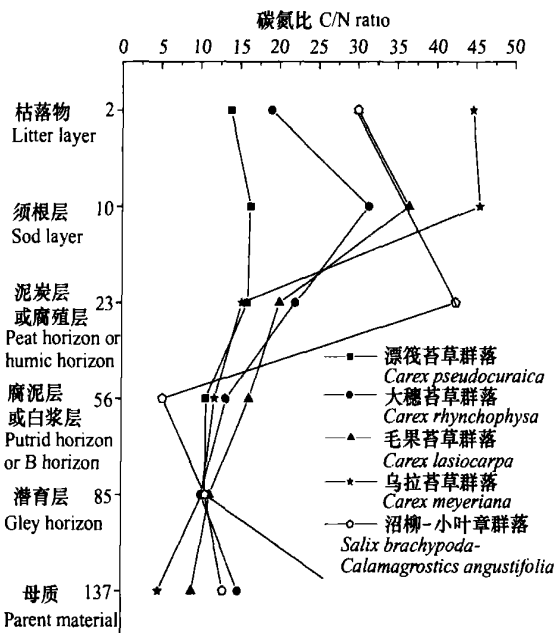


图 6 不同植物群落土壤剖面中碳氮比的空间分布

Fig. 6 Distribution of C/N ratio in soil profiles under different vegetation communities

在湿地土壤中磷具有以无机和有机形式存在的溶解态和不溶态,湿地植物通过土壤吸收磷,同时植

物将无机磷转化成有机磷又储存在土壤有机质中,矿化后再循环或被迁出湿地。全磷在环型湿地不同植物群落土壤中的空间分布规律比较复杂,由图 7 可以看出,从土壤的垂直分异来看,漂筏苔草群落、大穗苔草群落和毛果苔草群落土壤全磷含量,是自上到下呈先减后增的“V”型分布,在须根层或泥炭层中达到最小值,沼柳-小叶章群落呈逐渐下降的

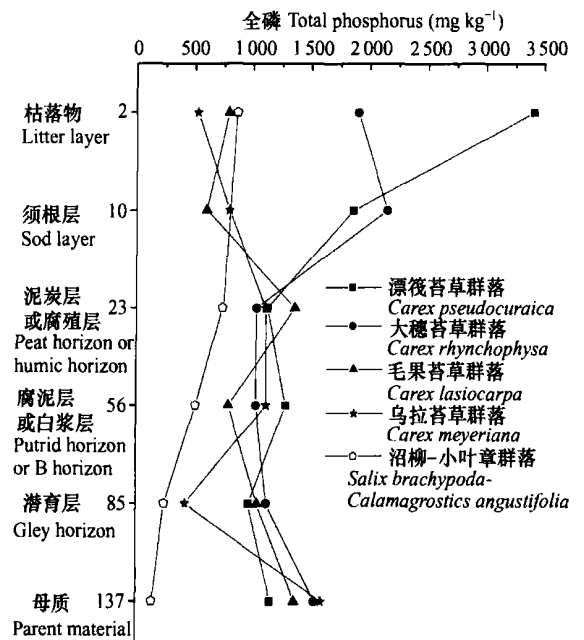


图 7 不同植物群落土壤剖面中全磷的空间分异

Fig. 7 Distribution of total phosphorus (TP) in soil profiles under different vegetation communities

趋势,而乌拉苔草较复杂,呈先增后减再增的趋势。各植物群落土壤相对富集系数最大值出现的层次各不相同,漂筏苔草群落、大穗苔草群落、毛果苔草群落、乌拉苔草群落最大相对富集系数分别出现在枯落物层、须根层、泥炭层、腐泥层和潜育层中,分别为 2.34、1.71、1.62 和 1.68,具有由环型湿地中心向边缘富集系数最大值出现的层次逐渐降低的趋势。从

土壤的水平分布来看,全磷含量由环型湿地中心向边缘有减少的趋势。对五个群落土壤全磷含量各层厚度加权平均值与距环型湿地中心的距离进行线性拟合(图 8),其拟合方程为 $Y(\text{全磷含量}) = 2\,030.842 - 41.228X(\text{距环型湿地中心的距离})$ ($R = -0.959$),在 0.01 水平上显著,表明由环型湿地中心向外,全磷含量逐渐减少。

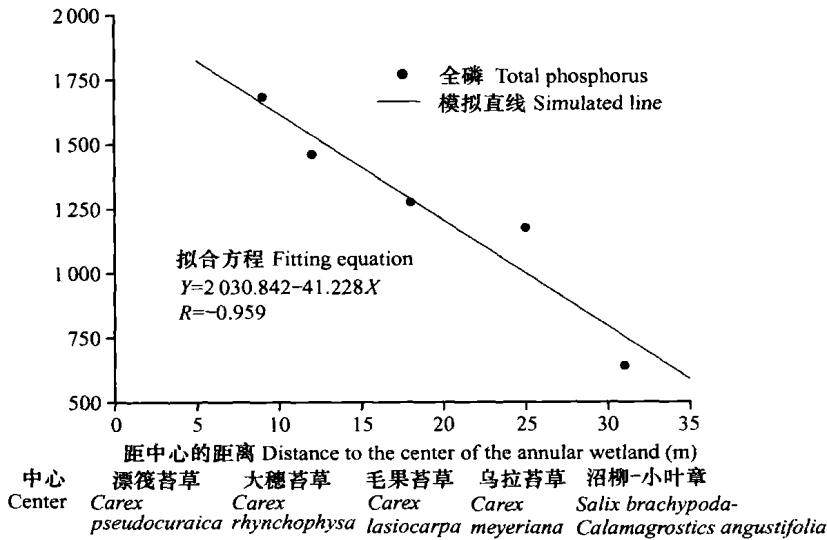


图 8 不同植物群落土壤中全磷的水平分异拟合图

Fig. 8 A fit map of horizontal variation of TP in soils under different vegetation communities

土壤全钾含量的空间分布较复杂。由图 9 可以看出,从土壤的垂直分异来看,从上到下,沼柳-小叶章群落土壤全钾含量逐渐升高,而乌拉苔草群落、毛果苔草群落和大穗苔草群落土壤全钾含量呈先减后增的“V”型分布,在泥炭层(或腐殖层)达到最小值。漂筏苔草群落垂直变异较大,呈先减后增再减再增的“W”型分布,在腐泥层和母质层达到最大值。各层相对富集系数计算表明,漂筏苔草群落以枯落物层全钾的相对富集系数最大,为 1.32,大穗苔草群落、毛果苔草群落、乌拉苔草群落和沼柳-小叶章群落的最大相对富集系数均出现在须根层(沼柳-小叶章群落为腐殖层)中,分别为 2.01、1.91、1.48 和 1.20,说明全钾在此层富集。从土壤的水平分布来看,由环型湿地中心向边缘有增加的趋势。对五个群落土壤各层全钾含量平均值与距环型湿地中心的距离进行线性拟合(图 10),其拟合方程为 $Y(\text{全钾含量}) = 2\,428.510 + 52.953X(\text{距环型湿地中心的距离})$ ($R = 0.889$),在 0.05 水平上显著,表明由环型湿地中心向外,全钾含量逐渐增加。

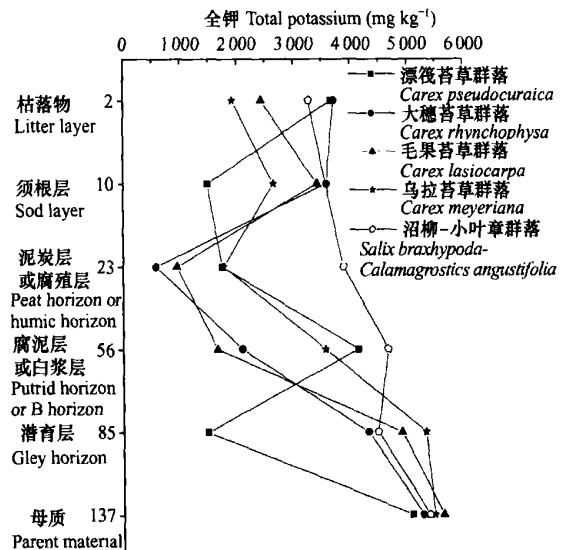


图 9 不同植物群落土壤剖面中全钾的空间分异

Fig. 9 Distribution of total potassium (TK) in soil profiles under different vegetation communities

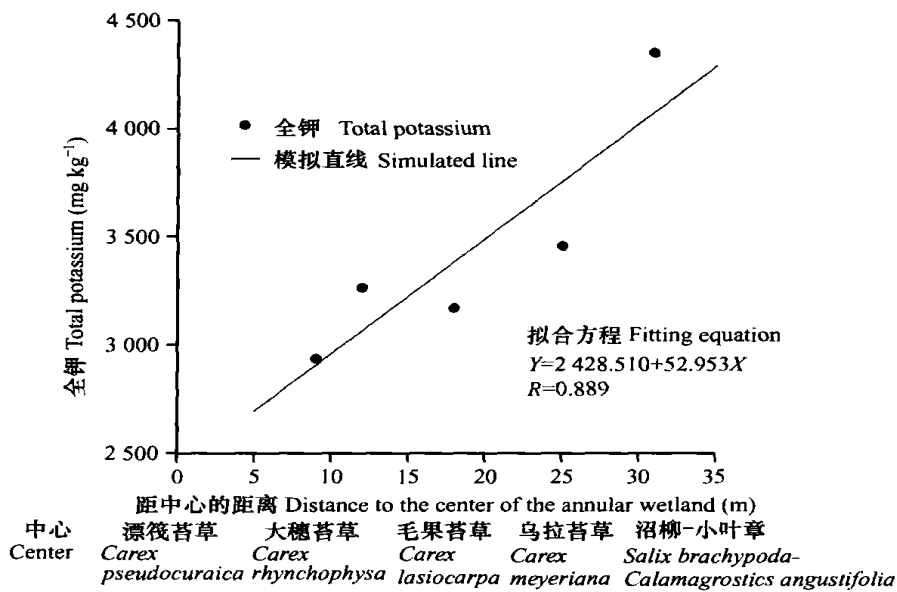


图 10 不同植物群落土壤中全钾的水平分异拟合图

Fig. 10 A fit map of horizontal variation of TK in soils under different vegetation communities

2.2 土壤有机碳、全氮、全磷和全钾空间分布的相互关系

对五个湿地植物群落土壤各层有机碳、全氮、全磷和全钾进行相关分析(表 1)。结果表明,有机碳与全氮相关系数较大,在 0.01 水平上显著,说明有机碳与全氮具有相似的空间分布规律,这是因为土壤全氮含量常常与有机质消涨趋势相一致,二者相

关性较强,其空间分异规律也表现出一定的相似性;全钾与有机碳、全氮具有较大的负的相关系数,表明全钾与有机碳、全氮具有相异的空间分布规律,即全钾含量高的土壤部位或层次,有机碳和全氮含量一般较低;全磷与全钾、有机碳相关系数较小,且不显著,说明全磷有自己独特的空间分布规律,与其他元素的空间分布规律差异较大。

表 1 土壤有机碳、全氮、全磷和全钾相关系数¹⁾

Table 1 Correlation coefficient of SOC, TN, TP and TK

相关系数 Correlation coefficient	土壤有机碳 Soil organic carbon	全氮 Total nitrogen	全磷 Total phosphorus	全钾 Total potassium
土壤有机碳 Soil organic carbon	1	0.699 **	0.263	- 0.772 **
全氮 Total nitrogen	0.699 **	1	0.435 *	- 0.674 **
全磷 Total phosphorus	0.263	0.435 *	1	- 0.024
全钾 Total potassium	- 0.772 **	- 0.674 **	- 0.024	1

1) **表示相关系数在 0.01 水平上显著, *表示在 0.05 水平上显著 ** correlation coefficient on 0.01 level, * correlation coefficient on 0.05 level

2.3 环型湿地土壤有机碳、全氮、全磷和全钾空间分布的影响因素分析

2.3.1 植物体元素的含量 土壤有机碳、全氮、全磷的空间分布受植物体元素的含量影响较大。土壤表层(枯落物层和须根层)有机碳的含量受地上植物有机碳的含量影响较大,由于各群落地上植物有机碳含量由中心向边缘逐渐升高(表 2),而土壤表层的有机碳主要来自植物残体,因此表层土壤中有机碳含量由环型湿地中心到边缘逐渐升高;由环型湿地中心到边缘,地上植物全氮含量逐渐降低,造成

各类型土壤全氮平均含量由环型湿地中心到边缘逐渐降低;由环型湿地中心到边缘地上植物全磷含量逐渐降低(表 2),同时从环型湿地边缘向中心侧向淋溶部分可溶性磷,形成了全磷含量由环型湿地中心向边缘逐渐减少的分布规律。

2.3.2 水文地貌过程 地形^[17]、水循环^[18]对环型湿地土壤有机碳、全氮影响巨大。由环型湿地中心到边缘,淹水时间逐渐变短,淹水频率逐渐减少,水位逐渐降低以至消失,土壤含水量逐渐降低,通气性逐渐增强,土壤由还原环境逐渐变为氧化环境,而

土壤含水量越低、通气性越好,有机碳含量越低^[19],因此由环型湿地中心到边缘,越来越不利于有机碳

的积累,造成由环型湿地中心向边缘土壤下层(须根层以下)和各层土壤平均有机碳含量逐渐降低。

表 2 不同植物有机碳、全氮、全磷和全钾的平均含量

Table 2 Average contents of organic carbon, TN, TP and TK in different plants

植物 Plant	有机碳 Organic carbon (g kg ⁻¹)	全氮 Total nitrogen (g kg ⁻¹)	全磷 Total phosphorus (mg kg ⁻¹)	全钾 Total potassium (mg kg ⁻¹)
漂筏苔草 <i>Carex pseudocuraica</i>	401.3	31	4 088	10 087
大穗苔草 <i>Carex rhynchophysa</i>	412.4	13.5	2 097	14 437
毛果苔草 <i>Carex lasiocarpa</i>	422.1	12.4	1 515	11 494
乌拉苔草 <i>Carex meyeriana</i>	444.7	16.6	1 218	14 304
沼柳-小叶章 <i>Salix brachypoda</i> <i>Calamagrostis angustifolia</i>	454.8	11.6	989	4 314

干湿交替是产生全氮水平分异的主要原因,湿地土壤在干湿交替作用下,相当短的干湿交替周期有利于湿地脱氮,而长期淹水或较长干湿交替周期不利于湿地脱氮^[20,21]。由环型湿地中心到边缘,淹水时间逐渐变短,淹水频率逐渐减少,干湿交替周期逐渐变短,同时地表植物的固氮量逐渐降低(表 2),因此由环型湿地中心向外,土壤全氮含量逐渐减少。由于 NO₃⁻ 离子不被带负电荷的土壤粒子所固定而易溶于溶液,所以全氮在湿地中主要通过地下潜流以硝态氮的形式输移流失,这是湿地土壤剖面中出现累积峰的一个主要原因^[22],同时也是造成由环型湿地中心向外边缘全氮含量减少的直接原因。另外与其他层次相比,泥炭层或腐泥层中粘粒含量高,粘粒含量高的土壤层含氮量比粗质地土壤层高,它能吸附有机氮化合物,与阳离子、有机化合物反应,增强其稳定性^[23],这也是在泥炭层或腐泥层全氮出现累积峰的主要原因。

2.3.3 生物过程 土壤是固态地球表面具有生命活动、处于生物与环境间进行物质循环和能量交换的疏松表层,它即是生命活动的条件,也是生命活动的产物^[24],因此,生物制约和控制着湿地土壤元素的空间分布规律。环型湿地土壤元素的空间分布正是生物与环境长期相互作用的结果,一些生物过程决定着土壤的元素的空间分布规律。如环型湿地土壤全磷的垂直分异主要受植物生命活动的影响,泥炭土和泥炭沼泽土全磷的垂直分异主要受植物根系吸收的影响,中部的泥炭层和腐泥层是植物根系活跃生长的区间,磷素因植物根系的吸收而减少,枯落物层和草根层可以得到上部植物养分的补充,潜育层和母质层因植物根系不能到达,被吸收的养分也较少,因此土壤上层和底层全磷含量较高。而潜

育草甸白浆土剖面各层磷素主要受枯落物分解后补充的影响,植物根系集中在上层,因此上部土层含量较高^[25]。

从环型湿地边缘到中心积水愈来愈深,表层土壤与底层土壤的距离越来越大,而钾素是主要从矿质土壤中得到补充的元素,它越来越难以由植物根系从矿质土壤中吸取上来,因此植物体中钾素的含量也愈贫乏(表 2),当这些植物死亡以后的残体归还给土壤并主要由它们形成表层土壤时就形成全钾在环型湿地不同植物群落土壤中的水平分布规律。随着植物残体在土壤表层的积累,那些存在于植物残体中的钾素难以释放出来,使得钾素在土壤表层积累。在适宜的条件下,植物残体和草根层逐渐加厚并经泥炭化过程而形成泥炭,随着泥炭堆积层的加厚,湿地植物的根系愈来愈难以到达矿质土壤层,此时,植物钾素的主要来源是根系所能达到的矿质层以上的泥炭层和溶液中所溶的物质。由于泥炭层和溶液中的钾素相对比较贫乏,因此造成乌拉苔草群落、毛果苔草群落和大穗苔草群落土壤剖面中全钾含量呈上层和底层较高、中间层较低的“中空”状分布。漂筏苔草群落土壤剖面中在腐泥层出现一个累积高峰,主要是由于漂筏苔草群落地处位置较低,从环型湿地边缘侧向淋溶的钾素,沿着腐泥层汇集到漂筏苔草群落土壤剖面中的腐泥层中。

3 结 论

1) 湿地土壤有机碳、全氮、全磷的含量由环型湿地中心向边缘逐渐减少,全钾的含量和碳氮比由环型湿地中心向边缘逐渐增加;通过相关分析表明,有机碳与全氮具有相似的空间分布规律,全钾与有

机碳、全氮具有相异的空间分布规律,而全磷具有自己独特的空间分布规律。

2) 环型湿地不同植物群落下土壤有机碳、全氮、全磷、全钾的含量在垂直方向上具有明显的分层和富聚现象。自上而下,有机碳的含量逐渐降低;全氮含量除漂筏苔草群落下土壤由表层向下逐渐减少外,其他各群落土壤全氮含量呈先增加后减少的分布;全磷含量漂筏苔草群落、大穗苔草群落和毛果苔草群落下的土壤自上到下,全磷含量是呈先减后增的“V”型分布,沼柳-小叶章群落呈逐渐下降的趋势,乌拉苔草呈先增后减再增的分布;沼柳-小叶章群落土壤全钾含量逐渐升高,而乌拉苔草群落、毛果苔草群落和大穗苔草群落呈先减后增的“V”型分布,漂筏苔草群落垂直变异较大,呈先减后增再减再增的“W”型分布。

3) 环型湿地土壤的有机碳、全氮、全磷、全钾的空间分布主要受植物体元素含量、生物过程和水文地貌过程影响,它通过过程影响湿地的功能。研究环型湿地的土壤有机碳、全氮、全磷、全钾的空间分布规律不仅有助于完善湿地土壤形成和发育的理论,探明湿地的生态过程和功能,而且为合理的利用和保护湿地提供科学依据。

参考文献

- [1] Mitsch W J , Gosselin K J G. Wetlands. New York: John Wiley & Sons, 2000. 155 ~ 204
- [2] Moore T R , Roulet N T , Waddington J M. Uncertainty in predicting the effect of climatic change on the carbon cycling of Canadian peatlands. *Climatic Change*, 1998, 40:229 ~ 245
- [3] Judith M S , Jeffery C. Cornwell nitrogen, phosphorus and sulfur dynamics in a low salinity marsh system dominated by *Spartina alterniflora*. *Wetland*, 2001, 21(4):629 ~ 638
- [4] Peterbingskill A V , Nikiforova I P. Nutrient balance and soil productivity in the Sverre-Osetian. *Soviet Agricultural Science*, 1981, (6): 32 ~ 34
- [5] Harris A G , McMurray S C , Uhlig P W , et al. Field Guide to the Wetland Ecosystem Classification for Northwestern Ontario, NWST Field Guide FG01. Ontario, 1996
- [6] 刘红玉,张世奎,吕宪国. 三江平原湿地景观结构的时空变化. *地理学报*, 2004, 59(3):391 ~ 400. Liu H Y, Zhang S K, Lu X G. Wetland landscape structure and the spatial-temporal changes in 50 years in the Sanjiang Plain (In Chinese). *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(3):391 ~ 400
- [7] 杨青,刘吉平,吕宪国,等. 三江平原典型环型湿地土壤-植被-动物系统的结构及功能研究. *生态学杂志*, 2004, 23(4): 72 ~ 77. Yang Q, Liu J P, Lu X G, et al. Study on the structures and functions of soil-vegetation-animal system of annular wetlands in the Sanjiang Plain (In Chinese). *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(4):72 ~ 77
- [8] Vaithyanathan P, Richardson C J. Biogeochemical characteristics of the everglades sloughs. *Journal of Environmental Quality*, 1998, 27: 1 439 ~ 1 450
- [9] Schwesig D, Matzner E. Mercury and methyl mercury in upland and wetland acid forest soils of watershed in NE-Bavaria Germany. *Water, Air, Soil Pollution*, 1999, 105:141 ~ 154
- [10] Juichi O. On the relation between the chemical contents of peat soils and moor vegetations. In: *Proceedings of International Conference on Wetland Environment and Peatland Utilization*. Changchun: Jilin People's Publishing House, 1994. 256 ~ 267
- [11] 林鹏,郑文教,李振基,等. 深圳白骨壤林钾、钠、钙和镁的累积和分布. 见:郎惠卿,林鹏,陆健健主编. *中国湿地研究与保护*. 上海:华东师范大学出版社, 1998. 273 ~ 277. Lin P, Zheng W J, Li Z J, et al. Accumulation and distribution of K, Na, Ca and Mg in *Avicennia marina* mangrove community in Shenzhen (In Chinese). In: Lang H Q, Lin P, Lu J J. eds. *Conservation & Research of Wetlands in China*. Shanghai: East China Normal University Press, 1998. 273 ~ 277
- [12] 刘景双,于君宝,王金达. 淡水沼泽湿地泥炭沉积中氮素分布特征. *环境科学*, 2003, 24(2):41 ~ 45. Liu J S, Yu J B, Wang J D. Characteristics of nitrogen distribution in peat deposit of freshwater marsh wetland (In Chinese). *Environmental Science*, 2003, 24(2):41 ~ 45
- [13] 杨永兴,王世岩,何太蓉. 三江平原湿地生态系统 P、K 分布特征及季节动态研究. *应用生态学报*, 2001, 12(4):522 ~ 526. Yang Y X, Wang S Y, He T R. Distribution characteristics and seasonal dynamics of phosphorus and potassium in wetland ecosystem in the Sanjiang Plain (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(4):522 ~ 526
- [14] 张心昱, Desmon E W, 王秋兵, 等. 英国 Culm 河河漫滩沉积物中磷素时空变化研究. *土壤学报*, 2005, 42(3):390 ~ 396. Zhang X Y, Desmon E W, Wang Q B, et al. Spatio-temporal variation of the accumulations of sediment-associated phosphorus on the floodplain of the River Culm, Devon, UK (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(3):390 ~ 396
- [15] 郝庆菊,王起超,王跃思. 三江平原典型湿地土壤中硫的分布特征. *土壤通报*, 2004, 35(3):331 ~ 335. Hao Q J, Wang Q C, Wang Y S. The distribution of sulfur in typical wetland soils in the Sanjiang Plain (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35(3):331 ~ 335
- [16] 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. Bai J H, Deng W, Zhang Y X. Spatial distribution of soil organic matter and nitrogen in soil of circular-zonary vegetation areas in Wulanpao Wetland, Inner Mongolia (In Chinese). *Journal of Lake Sciences*, 2002, 14(2):145 ~ 151
- [17] Graniero P A, Price J S. Distribution of bog and heath in a new-foundland blanket bog complex: Topographic limits on the hydrologic processes governing blanket bog development. *Hydrology and Earth System Sciences*, 1999, 3:223 ~ 232
- [18] Devito K J, Hill A R. Sulphate dynamics in relation to groundwater

- surface water interactions in headwater wetlands of the Southern Canadian shield. *Hydrological Processes*, 1997, 11:485 ~ 500
- [19] Burke I C, Yonker C M, Ponton W J, *et al.* Texture, climate, and cultivation effects on soil organic matter content in U. S. grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1989, 53:800 ~ 805
- [20] Smith C M, Tiedje J M. Phases of denitrification following oxygen depletion in soil. *Biol. Biochem.*, 1979, 11:261 ~ 267
- [21] Verhoeven J A, Whigham D F, Kerkhoven M Y. Comparative study of nutrient-related processes in geographically separated wetlands: Towards a science base for functional assessment procedure. *In*: William J M. *Global Wetlands: Old World and New*. Columbus: Elsevier Press, 1994. 91 ~ 106
- [22] 翟金良,何岩,邓伟. 向海洪泛湿地土壤对氮和磷的滤过截留作用及影响因素分析. *土壤*, 2003, 35(4):314 ~ 319. Zhai J L, He Y, Deng W. N and P interception function of flooding wetland soil in Xianghai and their influencing factors (In Chinese). *Soils*, 2003, 35(4):314 ~ 319
- [23] 李学垣. *土壤化学*. 北京:高等教育出版社, 2001. 15 ~ 19. Li X H. *Soil Chemistry* (In Chinese). Beijing: Higher Education Press, 2001. 15 ~ 19
- [24] Singer M J, Munns D N. *Soils, An Introduction*. 4th Ed. New Jersey: Prentice-hall, Inc., 1999
- [25] 何太蓉,李贤达,杨达源,等. 三江平原草甸白浆土剖面 P、K 养分分布特征及影响因素分析. *环境科学*, 2004, 25(1):133 ~ 137. He T R, Li X D, Yang D Y, *et al.* The P and K concentration characteristics and their effect factors in the meadow albic bleached soil in the Sanjiang Plain (In Chinese). *Environmental Science*, 2004, 25(1):133 ~ 137

SOIL NUTRIENT DISTRIBUTION OF ANNULAR WETLANDS IN SANJIANG PLAIN

Liu Jiping^{1,2} Lu Xianguo^{1†} Yang Qing¹ Xi Min¹

(1 *Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Changchun 130012, China*)

(2 *College of Geography and Tourism, Jilin Normal University, Siping, Jilin 136000, China*)

Abstract Through field sampling and investigation, spatial distribution of soil organic carbon, total nitrogen, total phosphorus and total potassium in annular wetlands of the Sanjiang Plain was studied preliminarily. The results showed that horizontally it varied sharply, but followed a certain law, that is, soil organic matter, total nitrogen and total phosphorus gradually decreased in content, but total potassium content and C/N ratio gradually increased along the direction from center to edge of the wetlands. Vertically these soil chemical elements also varied, showing obvious stratification and enrichment. In a soil profile, organic matter declined in content with the depth; soil organic carbon under all the five vegetation communities gradually decreased; soil total nitrogen increased first and then decreased under all the vegetation communities except under *Ass. Carex pseudocuraica*; total phosphorus and total potassium under most vegetation communities decreased first and then increased. The results of correlation analysis between soil organic matter, total nitrogen, total phosphorus and total potassium suggest that soil organic carbon and total nitrogen showed a similar pattern in distribution; the spatial distribution pattern of total potassium was completely different from that of soil organic carbon and total nitrogen; and total phosphorus had its own unique pattern of distribution. The distribution law of soil organic carbon, total nitrogen, total phosphorus and total potassium of the wetlands was mainly impacted by element contents of the plants, biological processes and hydro-geomorphological processes. The study on the distribution laws of soil organic carbon, total nitrogen, total phosphorus and total potassium of the annular wetlands is not only helpful in perfecting the theory of wetland soil formation and development, and proving up ecological processes and function of wetlands, but also provides scientific basis for reasonable exploitation and protection of the wetland resources.

Key words Soil nutrient; Annular wetlands; Spatial distribution; Sanjiang Plain