

洪泛区天然湿地土壤有机质及氮素空间分布特征

白军红, 邓伟, 张玉霞, 王国平(中国科学院长春地理研究所湿地过程与环境开放实验室, 长春 130021)

摘要:对二百方子洪泛区天然湿地土壤有机质及全氮的空间分布特征进行了研究. 结果表明洪泛区养分垂直变化趋势基本一致, 而表层水平分布差异显著. 最常遇洪水的洪泛区并不是养分含量最高的地带, 其有机质和全氮含量分别为 2.36% 和 2605.4 mg/kg; 而具有一定的淹水频率的洪泛区是养分含量最高地带. 一年一遇洪泛区和五年一遇洪泛区的有机质分别为 3.70% 和 3.92%, 全氮含量 3666.4 mg/kg 和 3125.6 mg/kg; 土壤碳氮比都相对较低(0~11); 湿地干湿交替周期、地下潜流、植被生长特征及 pH 值都是影响湿地土壤中有有机质及全氮空间分布的因子.

关键词:洪泛区; 天然湿地; 有机质; 氮素; 空间分布

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2002)02-05-0077

Spatial Distribution Characteristics of Soil Organic Matter and Nitrogen in the Natural Floodplain Wetland

Bai Junhong, Deng Wei, Zhang Yuxia, Wang Guoping (Lab for wetland process and environment, Changchun Institute of Geography, CAS, Changchun 130021, China)

Abstract: The spatial distribution characteristics of soil organic matter and nitrogen in the natural floodplain wetland were studied in this paper. The results showed that the vertical distributions of nutrients in floodplain wetland were very similar, and the horizontal distribution of them in surface soil were distinctly different. The highest concentration of nutrients was not in the frequently flooded floodplain wetland where the concentrations of soil organic matter and total nitrogen were 2.36% and 2605.4 mg/kg, but in the floodplain with a certain flood frequency. The concentrations of soil organic matter in the one-year floodplain wetland and five-year floodplain wetland were 3.70% and 3.92%, respectively; and the concentrations of total nitrogen were 3666.4 mg/kg and 3125.6 mg/kg, respectively. The ratios of carbon and nitrogen were relatively low. All the factors such as cycling of dry and wet, underground underflow, vegetation growth and pH values etc. influenced the distribution of soil organic matter and nitrogen in wetland.

Key words: flooded area; natural wetland; organic matter; nitrogen; spacial distribution

洪泛区是在洪水作用下通过一系列的物理过程、化学过程和生物过程形成的生物地球化学障碍带, 具有降低洪水流速、削减洪峰流量、减少输移泥沙、过滤营养成分和杂质等生态功能. FEMA 美国的洪泛区管理定义划定了洪泛区的边界范围, 即指可能被洪水淹没的海岸、湖岸或沿河低地, 100 年一遇洪水位以下地带^[1]. 有机质和氮素既是湿地土壤组成的重要部分, 又是湿地生态系统中极其重要的生态因子, 其含量直接影响着湿地生态系统的生产力^[2]. 湿地土壤有机质是气候变化的一种敏感指示物, 它能够用来指示对气候变化的响应^[3]; 而氮素则是引发江河湖泊等永久性湿地发生富营养化

的重要因子之一. 近年来国内外学者对湿地土壤中元素含量特征已有不少研究, 但对洪泛区天然湿地关键营养元素的空间分布规律尚无系统研究. 研究洪泛区天然湿地中关键元素的含量特征, 可为进一步研究洪泛区的净化效应、优化管理及可持续发展模式与对策提供科学依据.

1 试验区域概况

试验区域设在霍林河下游天然洪泛区的二

基金项目: 中国科学院湿地创新项目(ZKCX-302); 湖沼三期项目(ZKHZ-03-06); 中国科学院“百人计划”项目

作者简介: 白军红(1976~), 男, 博士研究生, 主要从事湿地生态及元素生物地球化学过程等研究.

收稿日期: 2001-04-10; 修订日期: 2001-06-14

百方子境内,位于 $44^{\circ}56'12'' \sim 44^{\circ}56'22''$ N, $122^{\circ}10'35.2'' \sim 122^{\circ}10'43.3''$ E,地处北温带大陆性季风气候区的吉林省半干旱草原和农牧交错地带,春季多风干旱,夏季温暖,冬季严寒少雪,风沙较多,年均温 5.1°C ,年均降雨量 $408.2\text{mm}^{[4]}$ 。沼泽植被主要为芦苇(*Phragmites australis*),伴生种主要有委陵菜(*Potentilla*)、沼柳(*Salix brachypoda*)、泽泻(*Alisma plantago-aquatica*)、水韭菜(*Isoetes*)、车前(*Plantago asiatica*)等。除洪泛区外围部分地带已辟为农田外,土壤主要为潜育沼泽土壤。供试沼泽土的基本性质见表1。

表1 供试沼泽土的基本性质/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

Table 1 The Physico-chemical properties of marshy soil in experiment

层次	pH 值	全钾	速效钾	全磷	速效磷	有机磷
草根层	8.29	310.2	312.6	390.66	25.4	307.74
腐殖质层	8.47	296.4	297.5	238.96	21.8	171.65
潜育层	8.67	315.1	253.3	140.74	12.3	248.6

2 材料与方法

1999-05 在二百方子沿直线做系列剖面,选择百年一遇(沙堤带)、十年一遇、五年一遇、一年一遇以及常年淹水区与一年一遇交界地带5个典型区域,分别在各区域内随机布点,以每份多小区、多点混合的方法随机采集土壤样品。样品自然风干后,捡去石块、残根等杂物,用球磨机磨碎,过100目筛,装袋备用。

土壤有机质测定: $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 容量法-外加热法;土壤全氮测定:半微量凯氏法;pH值:电位法^[5]。

3 结果与讨论

3.1 洪泛区湿地土壤有机质空间分布特征

土壤有机质的含量取决于有机物的输入量和输出量。天然湿地土壤中的有机质主要来源于土壤原有机物的矿化和动植物残体的分解,有机质的输出量则主要包括分解和侵蚀损失,受各种生物和非生物条件的控制。图1为洪泛区湿地有机质在土壤中的垂直分布,表明除常年淹水与一年一遇洪泛区交界带外,一年一遇洪泛区,五年一遇洪泛区,十年一遇洪泛区及百年一遇洪泛区有机质空间变化趋势基本相似,

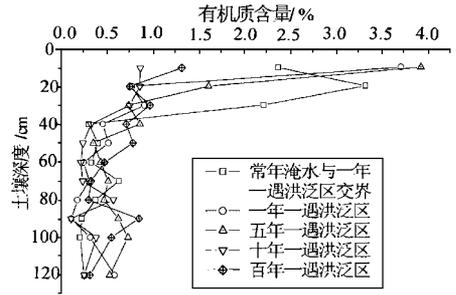


图1 洪泛区湿地土壤有机质的垂直分布

Fig.1 Vertical distribution of SOM in the floodplain wetland

都呈由上到下逐渐减少的趋势,这与动植物残体量由上向下依次减少相一致。常年淹水与一年一遇洪泛区交界带在20cm处产生一小累积峰,淹水的还原环境可能是导致此现象的主要原因,因为在淹水的条件下,有机物质不易矿化分解,易发生累积。这与 Reinrs 和 Reiners (1970) 在研究中报道的当土壤水分处于饱和时,几乎没有氧气的扩散,因而形成厌氧环境,在这种极端情况下,易形成土壤有机质的累积峰^[6]结论相一致。但淹水湿地生态系统也是大气甲烷的主要源,在还原环境下,累积层上层易厌氧发酵产生甲烷并释放到大气中造成碳损失,所以常年淹水与一年一遇洪泛区交界带表层有机质含量并不是最高值。在5个典型区域内,表层有机质含量水平变化趋势(图2):五年一遇洪泛区 > 一年一遇洪泛区 > 常年淹水与一年一遇洪泛区的交界带 > 百年一遇洪泛区 > 十年一遇洪泛区。这说明尽管洪水泛滥能够给洪泛区带来养分和泥沙的沉积,但最常遇洪水的洪泛区并不是养分含量最高的地带,而具有一定的淹水频率(五年一遇)的洪泛区其养分含量最高。4%等值线成为5种洪泛区有机质分布的分界线,十年一遇及百年一遇洪泛区明显较低。而位于沙堤带的百年一遇洪泛区有机质含量略高于十年一遇洪泛区令人费解,这很可能与洪泛区外围农田耕作及施肥有关。

3.2 洪泛区湿地土壤氮素空间分布特征

自然土壤中的氮素主要来源于动植物残体

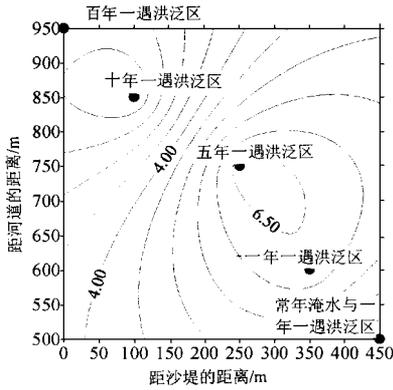


图 2 洪泛区湿地表层土壤有机质水平分布等值线图
Fig. 2 Contour map of horizontal distribution of SOM in surface soil of the floodplain wetland

和生物固氮,也有少量来源于大气降水.但洪泛区湿地土壤中氮素除以上来源外,河流洪泛作用也给洪泛区带来大量的氮素.土壤氮的输出主要是土壤中有机质的分解,分解后大部分被植物吸收利用,部分 NH_3 经过矿化(氨化)、硝化、反硝化作用以及氨挥发等生物过程而重返大气中^[3].由图 3 可知,土壤中全氮的消长趋势与有机质一致,除常年淹水与一年一遇洪泛区交界带外,其它洪泛带变化趋势也是由表层向下逐渐减少,其含量特征也受制于动植物残体量.由于 NO_3^- 离子不被带负电荷的土壤粒子所固定较易溶于溶液,所以氮素在湿地中主要通过地下潜流以硝态氮的形式输移流失,湿地土壤剖面中累积峰的出现也与此有关. Wiebe^[7] 的研究表明,溶液中的 NO_3^- 离子如果不能被植物或微生物快速吸收(同化硝酸盐的还原反应)或通过地下径流流失,就会发生异化氮氧化物的还原反应(脱氮作用)而损失到大气中. Reddy K. R.^[8]等在淹水土壤中有有机质矿化及氮素损失研究中还发现相当短的干湿周期有助于脱氮作用及有机物质的分解.所以在常年淹水区与一年一遇洪泛区交界土壤剖面上层出现一十分明显的累积峰.图 4 为全氮在 5 个典型区域内表层土壤中的水平分布等值线图,其变化趋势为一年一遇洪泛区 > 五年一遇洪泛区 > 常年淹

水区与一年一遇淹水区交界 > 十年一遇洪泛区 > 百年一遇洪泛区.这也表明常年淹水洪泛区并不是养分含量最高的地带,而具有干湿交替周期的洪泛区内全氮含量较高,如一年一遇洪泛区表层土壤全氮含量最高,但淹水频率过低又会导致洪水的洪泛作用减弱,全氮含量减少,如十年一遇洪泛区和百年一遇洪泛区, 2600 mg/kg 等值线成为 5 个典型区域的分界线.

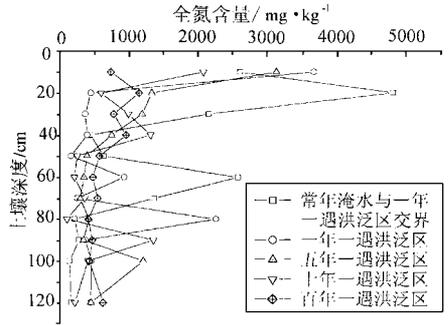


图 3 洪泛区湿地土壤全氮的垂直分布
Fig. 3 Vertical distribution of TN in soil of the floodplain wetland

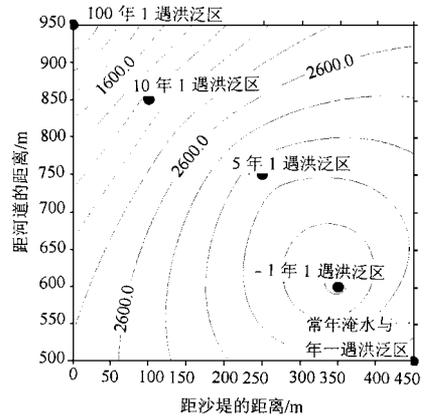


图 4 洪泛区湿地表层土壤全氮水平分布等值线图
Fig. 4 Contour map of horizontal distribution of TN in surface soil of the floodplain wetland

3.3 洪泛区湿地土壤碳氮比

洪泛区湿地土壤碳氮比相对较低,除少数异常值外均在 0~11 范围内(表 2),这表明土壤有机质的腐殖化程度高,而且有机氮更容易矿化;异常值的出现主要由氮素淋失所致.就表层

土壤 0~10cm 而言,土壤碳氮比大小序列为百年一遇洪泛区 > 五年一遇洪泛区 > 一年一遇洪泛区 > 常年淹水与一年一遇洪泛区交界 > 十年一遇洪泛区.百年一遇洪泛区碳氮比最高,显著不同于有机质及全氮的分布规律,其原因在于百年一遇洪泛区位于沙堤带,以沙土为主,氮素更易淋失.除十年一遇洪泛区外,湿地土壤碳氮比则呈现出随土壤湿度的增加而减小的趋势,这与耿远波^[10]在研究草原土壤碳氮含量时所

得结论相悖.5 月份洪泛区表层土壤有机氮矿化程度较低,有机质的腐殖化程度相对较高,植株对氮素吸收也相对较少,表层土壤碳的累积速度比氮要慢得多.而百年一遇洪泛区有机质腐殖化程度相对较低,氮素淋失也较多,表层土壤碳的累积速度比氮更快一些.有机氮约占全氮的 95% 以上,其含量的多少将直接影响着全氮的含量,所以洪泛区湿地表层土壤有机氮矿化对植物生长所需氮素供应起着主要作用.

表 2 洪泛区湿地土壤碳氮比

Table 2 The ratio of carbon and nitrogen in soil of the floodplain wetland

深度/cm	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	80~90	90~100	100~120
常年淹水与一年一遇交界	5.27	4.00	5.94	4.02	3.68	0.75	2.69	10.12	4.80	9.05	8.92
一年一遇	5.86	10.05	14.60	6.83	18.90	1.54	7.23	0.46	1.78	4.07	7.65
五年一遇	7.27	7.03	3.60	6.70	5.23	7.33	10.06	6.50	10.56	3.52	6.81
十年一遇	2.41	8.40	4.40	1.46	5.53	6.08	3.85	32.96	0.48	5.52	6.69
百年一遇	10.4	3.81	7.30	4.31	7.97	5.78	3.53	4.24	10.48	7.55	2.93

3.4 湿地植被特征对洪泛区湿地土壤有机质及氮素空间分布的动态影响

湿地植被特征也影响着湿地土壤中有机质及全氮空间分布的动态.除沉积作用及植物吸收作用外,植被生长特征也影响着湿地土壤中有机质及全氮的空间分布.植被对有机质及氮素的持留作用与地表径流和地下径流有关.对地表径流而言,植株密度的高低是影响其持留量的关键因子,高密度植被可减小水流速度,降低水的输送能力.而对于地下潜流,植被可通过改变土壤结构、组成及渗透能力来影响其持留量.此外湿地植被结构也可能影响着湿地土壤养分的动态.文献[9]在研究大型湿地植物对硝酸盐的持留作用中发现大型植被更有助于湿地对养分的持留.所以与其它洪泛区相比,百年一遇洪泛区无植被覆盖也是导致其养分含量最低的一主要原因,而十年一遇洪泛区因其植被以水韭菜、委陵菜、泽泻等低矮稀疏植被为主所以植被对养分的持留能力显著小于其它洪泛区大型湿地植被.

3.5 土壤 pH 值与洪泛区湿地土壤有机质及氮素空间分布的关系

土壤 pH 值常通过影响微生物的活动^[11]显著影响土壤有机质及全氮的含量及其空间分布,微生物最适宜在中性环境下活动,在强酸或强碱条件下其活动受到抑制.该洪泛区湿地土壤 pH 值变化范围为 7.83~9.83,所以对该区土壤有机质及全氮含量及分布影响较大.表 3 表明各洪泛区土壤 pH 值与有机质及全氮含量都呈负相关关系,即土壤有机质及全氮含量随土壤盐碱化程度的增加而减少.其中常年淹水与一年一遇洪泛区交界受土壤 pH 值影响最为显著,呈极显著负相关关系,相关系数分别为 -0.901 和 -0.849;五年一遇洪泛区及百年一遇洪泛区次之,呈显著负相关关系;一年一遇洪泛区及十年一遇洪泛区受土壤 pH 值影响最弱.

4 结论

(1) 洪泛区湿地有机质在土壤中的垂直分布变化趋势基本相似,呈由上到下逐渐减少的趋势,这与动植物残体分布相一致,全氮垂直分布的消长趋势与有机质一致,其分布特征也受制于动植物残体量.常年淹水区与一年一遇洪泛区交界土壤剖面上层累积峰的形成则与湿地

干湿交替周期、养分淋滤以及地下潜流有关。

表 3 洪泛区湿地土壤 pH 值、有机质及全氮的相关系数矩阵

Table 3 Matrix of correlation coefficient between pH values, SOM and TN in soil of the floodplain wetland

参数	pH 值	有机质	全氮
常年淹水与一年一遇洪泛区交界			
pH 值	1.000	-0.901**	-0.849**
有机质	-0.901**	1.000	0.867**
全氮	-0.849**	0.867**	1.000
一年一遇洪泛区			
pH 值	1.000	-0.331	-0.552
有机质	-0.331	1.000	0.768**
全氮	-0.552	0.768**	1.000
五年一遇洪泛区			
pH 值	1.000	-0.731*	-0.719*
有机质	-0.731*	1.000	0.951**
全氮	-0.719*	0.951**	1.000
十年一遇洪泛区			
pH 值	1.000	-0.512	-0.392
有机质	-0.512	1.000	0.367
全氮	-0.392	0.367	1.000
百年一遇洪泛区			
pH 值	1.000	-0.629*	-0.772*
有机质	-0.629*	1.000	0.401
全氮	-0.772*	0.401	1.000

* 显著相关 ** 极显著相关

(2) 洪泛区湿地表层有机质含量水平以 4% 等值线为界, 变化趋势为: 五年一遇洪泛区 > 一年一遇洪泛区 > 常年淹水与一年一遇洪泛区的交界带 > 百年一遇洪泛区 > 十年一遇洪泛区。表层土壤中全氮的水平分布以 2600 mg/kg 等值线为分界线, 其变化趋势为: 一年一遇洪泛区 > 五年一遇洪泛区 > 常年淹水区与一年一遇淹水区交界 > 十年一遇洪泛区 > 百年一遇洪泛区。这表明尽管洪水泛滥都能够给洪泛区带来养分和泥沙的沉积, 但最常遇洪水的洪泛区并不是养分含量最高的地带, 而具有一定的淹水频率的洪泛区其养分含量最高, 但百年一遇洪泛区有机质含量略高于十年一遇洪泛区的原因还有待澄清。

(3) 洪泛区土壤 pH 值与有机质及全氮含量都呈负相关关系, 其中常年淹水与一年一遇洪泛区交界受土壤 pH 值影响最为显著, 五年一遇洪泛区及百年一遇洪泛区次之, 一年一遇洪泛区及十年一遇洪泛区受土壤 pH 值影响最弱。

(4) 洪泛区湿地土壤碳氮比都较低, 表层土壤碳氮比大小序列为百年一遇洪泛区 > 五年一遇洪泛区 > 一年一遇洪泛区 > 常年淹水与一年一遇洪泛区交界 > 十年一遇洪泛区。表层土壤碳的累积速度比氮要慢得多, 但百年一遇洪泛区表层土壤碳的累积速度比氮更快一些。湿地土壤与草原土壤碳氮比对土壤湿度的响应存在显著差异。

参考文献:

- 1 陆德福译. 美国 21 世纪洪泛区管理. 济南: 黄河水利出版社, 1999. 60 ~ 62.
- 2 William J Mitsch et al. Wetlands. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc., 1986. 89 ~ 125.
- 3 Xiao Huilin. Climate Change in Relation to Soil Organic Matter. 土壤与环境, 1999, 8(4): 300 ~ 304.
- 4 赵魁义. 中国沼泽志. 北京: 科学出版社, 1999. 255 ~ 260.
- 5 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. 107 ~ 147.
- 6 黄建辉, 韩兴国. 森林生态系统的生物地球化学循环: 理论和方法. 植物学通报, 1995, 12(专刊): 195 ~ 223.
- 7 Wiebe W J et al. Anaerobic respiration and fermentation, in: The Ecology of a Salt Marsh, L R Pomeroy and R G Wiegert eds. New York: Springer, Verlag Press, 1981. 137 ~ 159.
- 8 Reddy K R, Patrick W H. Effect of alternate aerobic and anaerobic conditions on redox potential, organic matter decomposition and nitrogen loss in a flooded soil. Soil Biol. Biochem., 1975, 7: 87 ~ 94.
- 9 Stefan E B Weisner, Peder G Eriksson, Wilhelm Graneli et al. 大型植物对湿地中硝酸盐的持留作用. 人类环境杂志 (AMBIO), 1994, 23(6): 363 ~ 366.
- 10 耿远波, 章申, 董云社等. 草原土壤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.
- 11 黄瑞农. 环境土壤学. 北京: 高等教育出版社, 1994. 145 ~ 146.