

# 三江平原典型湿地及其开垦后土壤中总硫变化的初步研究\*

郝庆菊\*\* 王起超 王其存 李志博

(中国科学院东北地理和农业生态研究所, 长春 130012)

**【摘要】** 以三江平原3种主要沼泽类型——小叶章(*Calamagrostis angustifolia*)沼泽、乌拉苔草(*Carex meyeriana*)沼泽、毛果苔草(*Carex lasiocarpa*)沼泽以及不同开垦年限的耕地为研究对象,对其土壤中总硫含量进行分析.3种沼泽中总硫量的顺序为小叶章沼泽( $622.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) < 乌拉苔草沼泽( $820.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )、毛果苔草沼泽( $1\,022.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). 挠力河、鸭绿河、别拉洪河及浓江流域土壤中总硫量的顺序为挠力河( $925.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) > 鸭绿河( $841.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) > 浓江( $636.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) > 别拉洪河( $520.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). 沼泽湿地及耕地土壤总硫量在层次上具有明显的规律性,即由表土层向下,含量逐渐降低.1980~2000年开垦的耕地土壤中总硫含量平均值为 $180.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,而未开垦湿地中的总硫含量平均值为 $735.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ .耕地中的总硫量显著低于湿地中的总硫量,并且开垦年限越长,土壤中的总硫量越低,表明湿地开垦导致土壤总硫明显流失.

**关键词** 三江平原 湿地 土壤 总硫

**文章编号** 1001-9332(2003)12-2191-04 **中图分类号** S143 **文献标识码** A

**Preliminary study on total sulfur in typical marsh wetland and arable soils in Sanjiang Plain.** HAO Qingju, WANG Qichao, WANG Qicun, LI Zhibo (Institute of Northeast Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2003, 14(12): 2191~2194.

Three primary marsh types including *Calamagrostis angustifolia* marsh, *Carex lasiocarpa* marsh and *Carex meyeriana* marsh and the arables land reclaimed in different years were selected as studying objects, and the total sulfur in these soils were analyzed. The results indicated that the mean total sulfur was  $622.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  in *Calamagrostis angustifolia* marsh soils,  $820.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  in *Carex meyeriana* marsh soils, and  $1\,022.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  in *Carex lasiocarpa* marsh soils. Naoli River, Bielahong River, Yalu River and Nongjiang River are the four typical rivers in Sanjiang Plain. The mean total sulfur was  $925 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  in Naoli Valley soils,  $708.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  in Bielahong Valley soils,  $841.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  in Yalu Valley, and  $636.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  in Nongjiang Valley. The total sulfur in both marshes and arable soils presented distinct regularity, namely it gradually decreased from surface soil to bottom. The average total sulfur in the arable land reclaimed between 1980 and 2000 was  $180.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , and it was  $735.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  in natural marsh soils. So the total sulfur in arable land was remarkably lower than that in the marshes, and the reclamation could result in sulfur loss.

**Key words** Sanjiang Plain, Wetland, Soil, Total sulfur.

## 1 引言

三江平原是我国最大的沼泽化低平原,沼泽分布广泛.沼泽作为一种处于水陆交错带的独特生态系统,其间各种营养元素特别是有关C、N、P的研究倍受人们重视.20世纪80年代以来,随着土壤缺硫现象的日益严重,我国学者对耕地土壤中的总S、总有机硫及有效硫进行了大量研究,但对沼泽湿地中S含量及人为活动对湿地S含量的影响研究,特别是对三江平原湿地中S的系统研究迄今尚未见报道.本文以三江平原主要沼泽类型及不同开垦年限的耕地为对象,研究了土壤中总S的分布规律以及人类活动对三江平原土壤S流失的影响,旨在为合理开发利用和保护湿地提供理论依据.

## 2 研究区域与研究方法

### 2.1 研究区域概况

三江平原位于我国黑龙江省东部,是由松花江、黑龙江和乌苏里江冲积而成的低平原,土地总面积 $10.89 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,是我国沼泽和沼泽化草甸分布最密集的区域之一.该区主要的沼泽类型为毛果苔草沼泽、漂筏苔草沼泽、芦苇沼泽、乌拉苔草-灰脉苔草沼泽和苔草-小叶章沼泽.别拉洪河、挠力河、鸭绿河和浓江是三江平原上比较有代表性的沼泽性河流,挠力河位于饶河、富锦和宝清县境内,河长596 km,沼泽面积为 $136\,700 \text{ km}^2$ ;别拉洪河位于三江平原腹地,自西向

国家自然科学基金项目(40071072)和中国科学院湿地创新资助项目(KZCX2-302).

\*\* 通讯联系人.

2001-09-21 收稿, 2002-04-10 接受.

东横贯整个抚远三角洲,河长 143 km,沼泽面积为 64 275 km<sup>2</sup>;鸭绿河和浓江相邻,位于三江平原北部,是两条比较短小的河流.鸭绿河沼泽位于同江市和抚远县境内,面积约为 9 000 km<sup>2</sup>;浓江沼泽也位于同江市和抚远县境内<sup>[9]</sup>.区内土壤成土母质多为粘土或亚粘土,在土壤形成过程中广泛发育成白浆土、草甸土、沼泽土、暗棕壤和黑土.

## 2.2 研究方法

供试土壤采自黑龙江省三江平原 3 种典型的沼泽类型——小叶章沼泽、毛果苔草沼泽和乌拉苔草沼泽,以及受人类活动干扰的小叶章草甸、乌拉苔草草甸和从 1980 年到 2000 年不同开垦年限的耕地土壤.毛果苔草沼泽分布地势较低,常年积水,小叶章沼泽分布地势较高,季节性积水,乌拉苔草沼泽是处于以上两种沼泽类型之间的过渡形态.小叶章草甸是湿地开垦多年后弃耕而恢复起来的湿地类型,乌拉苔草草甸则是由于火烧、开渠等各种原因发生退化的湿地类型.根据区域特点和流域特征,共选择了 21 个点位,采集 121 个样品(图 1).土壤样品的采集按照土壤的发生层次进行采样,采用 NZ 型泥炭钻进行采样,以防止各层之间的干扰.沼泽湿地和草甸分 3 个层次,耕地分 2 个层次进行采样.土样风干磨碎过 40 目筛,用 3:3:7 的 HClO<sub>4</sub>:HNO<sub>3</sub>:H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 消化, BaSO<sub>4</sub> 比浊法测定<sup>[7]</sup>,用环境标准样品(GSS-1)进行分析准确度检验,结果满意.采样时间为 2001 年 5 月底到 6 月初.

## 3 结果与讨论

### 3.1 三江平原不同沼泽类型

三江平原不同类型的沼泽湿地土壤中总 S 含量差异较大,小叶章沼泽总 S 含量的平均值为 622.4 mg·kg<sup>-1</sup>,乌拉苔草沼泽平均值为 820.5 mg·kg<sup>-1</sup>,毛果苔草沼泽平均值为 1 022.4 mg·kg<sup>-1</sup>.这主要是由于土壤质地和周围自然环境的不同造成的.

三江平原不同类型的沼泽分布在不同的地貌或同一地貌的不同部位,主要是由于水分条件的不同.各种沼泽洼地从中心到边缘,由于积水逐渐变浅,通常依次分布毛果苔草沼泽、乌拉苔草沼泽和小叶章沼泽.由表 1<sup>[8]</sup>可以看出,不同类型的沼泽下面发育了不同的土壤类型,各土壤类型的 pH 值相差不大,但有机质含量差别较大,其中毛果苔草沼泽土壤中有机质含量最高,小叶章沼泽土壤中有机质含量最

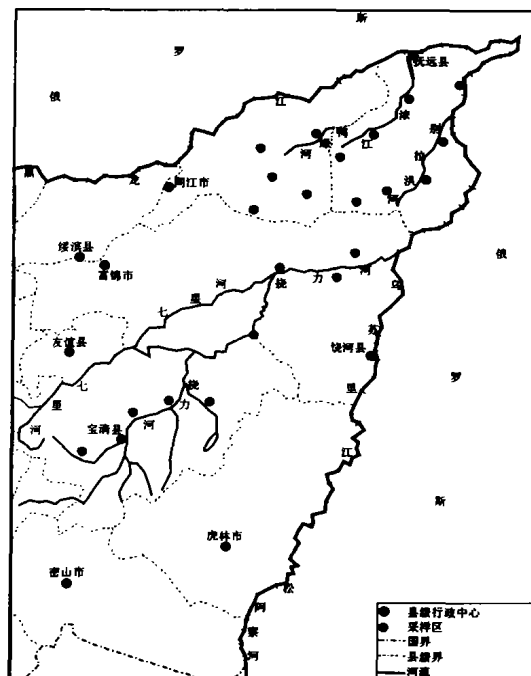


图 1 三江平原采样区分布图

Fig. 1 Sampling areas in Sanjiang Plain.

低,由于土壤全硫量水平取决于土壤有机质的含量和气候条件<sup>[6]</sup>,所以这 3 种沼泽土壤中总 S 含量为小叶章沼泽<乌拉苔草沼泽<毛果苔草沼泽,与有机质含量分布规律相一致.

自 20 世纪 50 年代我国对三江平原大规模开荒起,人类活动对三江平原的干扰越来越大.在人为和自然因素的作用下,沼泽面貌发生了很大变化,表现在沼泽变干、面积缩小、沼泽类型演变等方面<sup>[2]</sup>.在二道河和前进农场的两个曾被开垦后又被撂荒的小叶章草甸中,设置多个样点采集土壤,计算其总 S 含量的平均值为 264.1 mg·kg<sup>-1</sup>.这与周围小叶章沼泽土壤中总 S 含量(361 mg·kg<sup>-1</sup>)相比,降低了 96.9 mg·kg<sup>-1</sup>.另外,在宝清挠力河和鸭绿河岸边的两个草甸中,都生长着乌拉苔草,前者夹杂着小叶章,后者夹杂着杂草.这两个草甸原来都是乌拉苔草沼泽,后来因为河流水量减少,以及人工排水和火烧使沼泽退化为草甸.两个草甸土壤中总 S 含量的平均值为 346.4 mg·kg<sup>-1</sup>,比周围乌拉苔草沼泽土壤

表 1 不同沼泽类型下的地貌、水文和土壤状况

Table 1 Geomorphology hydrology and soil status under the different kinds of marshes

沼泽类型 Marsh types	微地貌 Micro-geomorphy	积水深度 Water depth (cm)	pH	有机质 Organic matter (%)	植物遗体 层厚度 Plant residues (cm)	类型 Soil type
小叶章沼泽 <i>Calamagrostis angustifolia</i> marsh	洼地洼地边缘河漫滩	积水不稳定 0~15	5.3	32.5	18	草甸沼泽土 Meadow-boggy soil
乌拉苔草沼泽 <i>Carex meyeriana</i> marsh	浅洼地、洼地边缘	塔头间积水	5.5	33.3	11	腐殖质沼泽土 Humic-boggy soil
毛果苔草沼泽 <i>Carex lasiocarpa</i> marsh	浅洼地	14.2	5.5	36.1	10	同上
	深洼地	20	5.2	61.8	185	泥炭土 Peaty soil

中总 S 量( $1\,053.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )大大降低.因此在人类活动的干预下,沼泽退化,土壤有机质减少,从而导致土壤含 S 量迅速下降.

### 3.2 不同流域土壤中总硫量对比

别拉洪河、挠力河、鸭绿河和浓江是三江平原上比较有代表性的沼泽性河流,别拉洪河、鸭绿河及浓江发源于平原沼泽,又穿行于平原沼泽;挠力河发源于山区,穿行于平原沼泽.流域内沼泽广泛发育,山前倾斜平原主要是乌拉苔草-灰脉苔草沼泽,河流阶地主要是毛果苔草沼泽和苔草-小叶章沼泽,河漫滩主要是漂筏苔草沼泽和芦苇沼泽<sup>[1]</sup>.

分别沿 4 条河流布点采集土样,经分析,4 个流域土壤总 S 量的顺序为挠力河( $925\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )>鸭绿河( $841.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )>浓江( $636.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )>别拉洪河( $520.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),与土壤中有有机质的含量相一致:挠力河(30.3%)>鸭绿河(28.4%)>浓江(21.8%)>别拉洪河(16.8%).

### 3.3 土壤不同层次中总 S 含量的对比

沼泽湿地和耕地土壤中的总 S 含量在层次上都具有明显的规律性.从上到下,总 S 量呈递减趋势.

表 2 不同湿地类型土壤中总硫及有机质的含量

Table 2 Total sulfur and organic matter in the soils of different marshes

土壤类型 Soil types	层次 Soil layers	总硫 Total sulfur					有机质 Organic matter (%)
		最大值 Maximum ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	最小值 Minimum ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	平均值 Average ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	标准差 SD ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	变异系数 CV (%)	
小叶章沼泽	1	1416.0	595.6	995.7	356.3	35.8	25.1
<i>Calamagrostis angustifolia</i> marsh	2	1018.8	206.9	627.3	298.5	47.6	15.3
乌拉苔草沼泽	3	624.4	149.8	337.5	182.8	75.0	5.1
<i>Carex meyeriana</i> marsh	1	1337.3	1133.0	1256.9	108.9	8.7	39
毛果苔草沼泽	2	1122.9	831.2	941.6	158.3	16.8	33.3
<i>Carex lasiocarpa</i> marsh	3	763.2	138.0	470.0	314.4	66.9	26.5
毛果苔草沼泽	1	1629.8	795.8	1260.5	379.6	30.1	40.1
<i>Carex lasiocarpa</i> marsh	2	1581.9	446.3	1097.7	504.4	46.0	36.8
毛果苔草沼泽	3	1217.5	158.0	535.9	253.4	47.3	27.6

三江平原沼泽湿地各层次土壤中总 S 量(表 2)自上而下递减,与刘全友<sup>[5]</sup>报道的海河流域土壤中总 S 量自上而下递增的趋势相反,可能是区域地理条件、人类开发强度等多方面影响所致.三江平原地处黑龙江东北部,由三江汇流而成,地表经常处于过湿状态,再加上降水充沛、蒸发小等原因,使得该区沼泽土、草甸土、白浆土、棕壤和黑土广泛发育,棕壤表层为枯枝落叶层,其下为腐殖质层,再下是淀积层;沼泽土、草甸土、白浆土和黑土的表层为草根层,亚表层为腐殖质层,再下为潜育层;三江平原还零星分布着少量泥炭土,表层为草根层,其下为泥炭层,再下为腐殖质层.这些土壤都具有自上而下各土层

的有机质含量呈递减趋势(表 2);耕地各层次土壤中总 S 含量也是自上而下呈递减趋势(图 2).这与黄运湘<sup>[4]</sup>对湖南省稻田土壤总 S 在剖面上的分布的研究一致.因为耕地是由沼泽和草甸开垦而形成的,故表层有机质含量仍高于底层(图 2).由图 3 可以看出,土壤总 S 与有机质呈显著正相关, $r = 0.9413 > P_{0.01}$ ,有机质含量高,土壤总 S 含量也高,反之亦然,所以自上而下土壤总 S 量呈递减趋势.

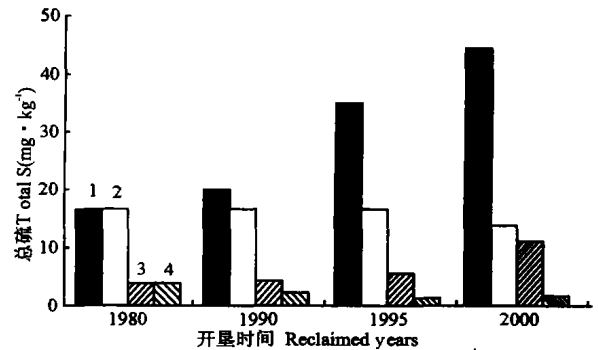


图 2 耕地土壤上下土层中总硫与有机质含量

Fig. 2 Total sulfur and organic matter in farmlands reclaimed in different years.

1, 3) 总硫 Total sulfur/10; 2, 4) 有机质 Organic matter.

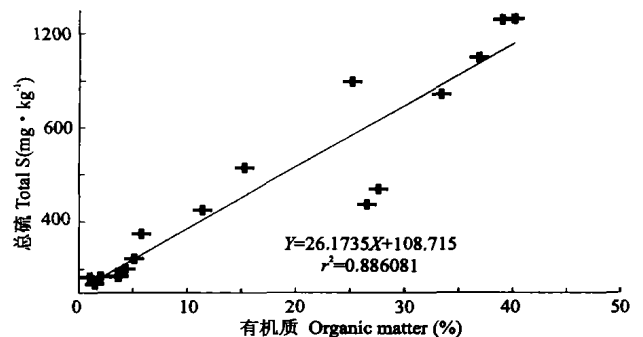


图 3 土壤有机质与总硫量相关性

Fig. 3 Relationship between the total sulfur and organic matter in soils.

### 3.4 湿地开垦前后土壤中总 S 量对比

湿地开垦前土壤总 S 含量的平均值为  $735.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 比刘全友<sup>[5]</sup>报道的海河流域土壤中总 S 含量的平均值( $688\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )稍高, 从 1980 年到 2000 年开垦的耕地土壤总 S 含量平均值为  $180.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 湿地开垦后土壤总 S 量显著下降. 这些耕地耕层土壤总 S 含量的范围在  $150.7\sim 447.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  之间, 平均值为  $280.9\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 比郭亚芬<sup>[3]</sup>报道的黑龙省主要耕作土壤总 S 平均值  $374.29\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  要低. 这主要是由于采样区域及土壤类型不一致, 本研究采集的耕地土壤主要取自于佳木斯市洪河农场, 土壤类型为沼泽土, 无含 S 高的水稻土.

一般说来, 耕地开垦年限越长, 土壤中总 S 含量

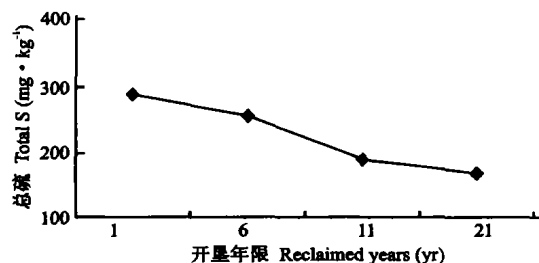


图4 不同开垦年限的耕地土壤中总S量

Fig.4 Total sulfur in farmlands reclaimed in different year.

越低.由图2和图4可以清楚地观察到这种变化,图2显示出不同时间开垦的耕地其耕层土壤总S随开垦时间的变化趋势,图4显示出耕地土壤总S随开垦年限的变化趋势.开垦时间越早,开垦年限越长,含S量越低,主要是由于有机质在好氧环境下快速分解及作物逐年吸收使得含量不断降低所致.在采样点,耕地土壤主要施二胺和尿素,除草剂为丁草胺.这些都不含S素,而且当地耕地一般不施有机肥,再加上水土流失比较严重,所以随着开垦年限的增加,土壤中的S含量越来越少,湿地开垦20年后,土壤中总S量下降了大约50%.由图2还可以看出1980年与1990年开垦的耕地其耕层土壤中总S差异并不很大,其原因可能与耕地开垦前的湿地类型有关.耕地下层土壤中总S含量变化不大,范围为138~167.3 mg·kg<sup>-1</sup>,平均值为156.8 mg·kg<sup>-1</sup>,耕地周围的沼泽和草甸其下层土壤中总S变化范围为149.8~169.6 mg·kg<sup>-1</sup>,平均值为158.8 mg·kg<sup>-1</sup>,非常接近,说明湿地开垦前后土壤下层总S含量保持一致.

自1958年大规模开发以来,三江平原大面积的沼泽湿地、草甸被开垦为耕地,至今,三江平原已开荒约 $3.0 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>(其中沼泽 $2.2 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>),耕地面积比1949年扩大12倍多<sup>[9]</sup>.虽然垦荒的成绩是

巨大的,为国家提供了大量商品粮,但也造成了许多负面影响.湿地开垦后,由于地表植被遭到破坏,风蚀水蚀加剧,引起局部沙化现象和水土流失现象,使土壤中S的流失严重,导致土壤S素缺乏.所以在三江平原应控制开荒面积,保护一定面积的湿地.

致谢 中国科学院三江平原沼泽湿地生态试验站和洪河自然保护区为样品的采集给予大力支持.

#### 参考文献

- 1 Chen G-Q(陈刚起), Zhang W-F(张文芬). 1988. A preliminary approach to the influence of marshes in the Sanjiang Plain on river runoff. In: Study of Marsh in China. Beijing: Science Press. 110~120 (in Chinese)
- 2 Department of Marsh Research in Changchun Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences. 1988. A preliminary study on change of natural environment after current large-scale reclamation in the Sanjiang Plain. In: Study of Marsh in China. Beijing: Science Press. 440~451 (in Chinese)
- 3 Guo Y-F(郭亚芬). 1995. Studies on sulphur fraction and availability of main soils in Heilongjiang Province. *J Northeast Agric Univ* (东北农业大学学报), 26(1): 27~33 (in Chinese)
- 4 Huang Y-X(黄运湘). 2000. Study on the sulphur status in some paddy soils of Hunan Province. *Soil Environ Sci* (土壤与环境), 9(3): 235~238 (in Chinese)
- 5 Liu Q-Y(刘全友). 1993. Distribution characterization sulphur in Haihe River Valley. *Environ Chem* (环境化学), 12(2): 132~138 (in Chinese)
- 6 Menger K, Kebier EA. 1976. Trans. Zhang Y-C(张宜春), Liu T-C(刘同仇). 1987. Theory of Botanical Nutriology. Beijing: Agricultural Press. 381~399 (in Chinese)
- 7 Peiji AL, Milei RH. 1985. Trans. Min J-K(闵九康). 1991. Soil Analytical Methods. Beijing: China Agricultural Press. (in Chinese)
- 8 Yang Y-X(杨永兴). 1988. Ecological classification of marsh in the Sanjiang Plain. In: Study of Marsh in China. Beijing: Science Press. 81~88 (in Chinese)
- 9 Zhao K-Y(赵魁义). 1999. Mire of China. Beijing: Science Press. 159~160 (in Chinese)

作者简介 郝庆菊,女,1976年生,博士生,主要从事大气物理与大气环境方面的研究,发表论文数篇. Tel: 010-62369578, E-mail: haoqj1976@netease.com