

## 三江平原沼泽湿地开垦后的热量平衡变化\*

张 芸<sup>1</sup>, 吕宪国<sup>2</sup>, 朱 诚<sup>3</sup>

(1. 中国科学院北京植物所植被数量生态学开放实验室, 北京, 100093;

2. 中国科学院长春地理所, 长春, 130021; 3. 南京大学城市与资源学系, 南京, 210093)

**摘 要:** 三江平原沼泽湿地分布广泛且集中, 沼泽湿地局地冷湿效应显著, 但随着沼泽湿地开垦面积的增加, 导致区域热平衡发生一系列的变化, 最终会影响整个区域的生态环境. 1997 - 1999 年间, 以三江平原沼泽湿地生态试验站为研究基地, 从热平衡的角度出发, 采用小气候自动观测仪器采集数据, 研究区域沼泽湿地的热平衡状况. 主要观测要素有: 总辐射、净辐射、反射率等, 并与开垦后的农田进行对比, 探讨沼泽湿地生态系统演化的热平衡结构的变化规律. 研究结果表明: 沼泽湿地开垦后, 地表反射率减少了 16% 左右, 地表接受的太阳辐射增加了 8% ~ 10%, 地表显热交换活跃, 虽然这大大改善了土壤的热状况, 有利于农田作物的生长, 但明显改变了沼泽湿地原有的冷湿效应, 减弱沼泽湿地特有的环境效应, 随着湿地开垦面积的增加, 必然导致区域生态平衡的变化.

**关键词:** 三江平原, 热量平衡, 净辐射, 反射率**中图分类号:** P 422.4Heat Balance Change of the Reclaimed Mire-wetlands  
Ecosystem in the Sanjiang Plain, NE ChinaZhang Yun<sup>1</sup>, Lü Xianguo<sup>2</sup>, Zhu Cheng<sup>3</sup>

(1. Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany,

Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100093, China;

2. Changchun Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Changchun, 130021, China;

3. Department of Urban and Resources Sciences, Nanjing University, Nanjing, 210093, China)

**Abstract:** In the Sanjiang Plain, NE China, mires and wetlands distribute widely and have an obvious effect on the surrounding air by reducing temperature and raising humidity. With the increasing mire cultivation area, the regional heat balance has changed. From 1997 to 1999, the authors collected data by microclimate automatic observational instruments to study the heat balance state in this area. The major factors of heat balance are as follows: global radiation, net radiation, albedo ratio etc. By comparing it with farmland on heat balance, the authors obtained the change law of heat balance of controlling the evolution of wetland ecosystem. The result shows that after reclamation, the albedo ratio of mire reduces by 16%. It receives 8% ~ 10% more solar

\* 基金项目: 中国科学院重大项目 (KZ951 - B1 - 201)

收稿日期: 2001 - 08 - 05

radiation and heat change becomes more active. It can improve heat condition of the earth, and it contributes to crop production. But it can weaken the original effect on the surrounding air of mire-wetland. With the increasing cultivation area, it has resulted in the change in the regional ecological balance.

**Key words:** Sanjiang Plain, heat balance, net radiation, albedo

沼泽湿地(以下简称湿地)是由液相物质与固相物质相互作用而形成的一个既不同于水体又不同于陆体的特殊生态系统. 湿地在蓄洪防旱、调节气候、控制土壤侵蚀、促淤造陆、降解环境污染等方面有极其重要的作用. 我国东北三江平原, 湿地面积 1949 年为  $543.5 \text{ km}^2$ , 因开垦, 到 1995 年减少到  $197.7 \text{ km}^2$  [1], 导致环境的变化. 三江平原热量平衡的研究早在 20 世纪 80 年代, 刘兴土用野外直接观测的方法来初步研究了三江平原湿地的辐射平衡和小气候基本特征 [2]. 赵焕宸结合井排井灌改造湿地实验研究, 开展了湿地开垦后实施喷灌的小气候效应研究 [3]. 王学雷于 1987-1988 年间在三江站选择典型湿地类型以及开垦后的耕地进行小气候观测和野外调查, 并通过土壤热物理实验方法, 分析了湿地的土壤热学性质 [4]. 但三江平原湿地开垦后的热量平衡变化的研究甚少, 本文用热量平衡原理, 根据三江平原湿地生态试验站小气候观测资料, 研究三江平原湿地开垦前后热量平衡的变化.

## 1 三江平原及其湿地生态试验场自然地理概况

三江平原位于黑龙江省的东北部, 最北端为  $N 48^{\circ}27'56''$ , 最南端为  $N 45^{\circ}01'$ , 西部边缘为  $E 130^{\circ}13'$ , 东部到  $E 135^{\circ}05'26''$ , 平原总面积为  $513 \times 10^4 \text{ hm}^2$ . 本区气候类型为温带湿润、半湿润大陆性季风气候, 1 月均温  $< 1.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , 7 月均温  $21 \sim 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , 年降水量  $500 \sim 650 \text{ mm}$ , 主要集中在 5-9 月, 占全年降水的 80%. 本区土壤主要有 5 种类型: 棕壤、黑土、白浆土、草甸土和沼泽土. 本区植被种类组成属于长白植物种类, 以沼泽化草甸和沼泽植被为主, 共有植物 239 种, 隶属于 70 科, 分 3 个植被型, 3 个植被类型分别为沼泽化草甸、沼泽水生植被、沼泽植被 [5].

本项研究在中国科学院三江平原湿地生态试验站进行. 该站位于三江平原北部,  $E 133^{\circ}31'$ ,  $N 47^{\circ}35'$ , 所辖面积为  $100 \text{ hm}^2$ , 有小片旱田试验场, 属大陆性季风气候, 冬寒、夏热、秋多雨. 年平均气温  $1.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , 年降水量为  $60 \text{ mm} \pm$ , 雨量集中在 6-9 月, 占全年降水的 70%. 植物以漂筏苔草 (*Carex pseudocuraica*)、樟 (*Calamagrostis angustifolia*) 为主, 在地势稍高的地方, 发育了蒙古栎 (*Quercus mongolia*)、山杨 (*populus davidiana*) 为主的岛状林. 试验区土壤主要为典型的沼泽土和白浆土 [5,6]. 试验场的自然地理因素同三江平原较为相似, 具有代表性.

## 2 研究方法和观测数据

主要通过湿地与开垦后的农田热量的观测资料分析与比较, 探讨湿地的热状况及开垦后的热平衡结构的变化规律, 所采用的观测方法是: 1) 利用防风罩式辐射表、净辐射表观测湿地与农田中部的总辐射、净辐射、反射辐射; 2) 利用土壤热流板观测湿地与农田中部的土壤热通量; 3) 利用阿斯曼表观测 50 cm 和 150 cm 高度处的干球温度和湿球温度; 4) 用土钻法每隔 15 d 测湿地和农田土壤的含水量, 观察土壤的水分动态; 5) 中国机械部长春气象研

究所生产的 PD-500 小气候自动观测仪器首次在该区全面启动. 用这些仪器分别观测出湿地与开垦后农田的总辐射、净辐射、土壤热通量等数据, 并根据观测资料计算出湿地与农田的感热通量和潜热通量, 列于表 1.

表 1 三江平原湿地开垦前后热量平衡诸因素的观测资料  
Table 1 Observation data of various factors of heat balance of wetlands before and after reclamation in the Sanjiang Plain

热量平衡诸因素	单位	时间	沼泽湿地		
			开垦前	开垦后	
辐 射 平 衡	总辐射( $Q_{总}$ )	J/m <sup>2</sup>	7月	427.7×10 <sup>6</sup>	—
		J/m <sup>2</sup>	9月	353.2×10 <sup>6</sup>	—
	净辐射( $R_g$ )	J/m <sup>2</sup>	7月	248.7×10 <sup>6</sup>	287.1×10 <sup>6</sup>
		J/m <sup>2</sup>	9月	243.7×10 <sup>6</sup>	—
	反射率( $\delta$ )		7月	0.18~0.26	0.23~0.27
			9月	0.11~0.20	0.13~0.17
	波文比( $\beta$ )		7月	0.01~0.20	0.02~0.25
土壤热通量( $A$ )	J/m <sup>2</sup>		7月	4.26×10 <sup>6</sup>	4.73×10 <sup>6</sup>
	J/m <sup>2</sup>		9月	9.39×10 <sup>6</sup>	—
潜热通量( $LE$ )	J/m <sup>2</sup>		7月(计算值)	192.9×10 <sup>6</sup>	164.6×10 <sup>6</sup>
	J/m <sup>2</sup>		9月(计算值)	186.9×10 <sup>6</sup>	157.8×10 <sup>6</sup>
感热通量( $P$ )	J/m <sup>2</sup>		7月(计算值)	62.9×10 <sup>6</sup>	98.2×10 <sup>6</sup>
	J/m <sup>2</sup>		9月(计算值)	42.0×10 <sup>6</sup>	102.3×10 <sup>6</sup>

### 3 结果和分析

热量平衡是由于地表辐射差额引起地面热量的盈余与亏损, 可用下列方程式表示<sup>[7]</sup>:

$$R_g - (LE + P + A) = 0 \quad (1)$$

式中  $R_g$ : 净辐射(J/m<sup>2</sup>),  $LE$ : 蒸发潜热通量(J/m<sup>2</sup>),  $P$ : 感热通量(J/m<sup>2</sup>),  $A$ : 土壤热通量(J/m<sup>2</sup>).

根据观测资料, 绘制图 1, 从中可以比较湿地与农田的土壤热通量与蒸发潜热通量及感热通量之间的差异.

#### 3.1 辐射平衡

3.1.1 总辐射 总辐射指到达地表水平面上的直接太阳辐射和天空散射辐射之和(J/m<sup>2</sup>), 它与太阳高度角有直接关系. 据以往资料和试验站小气候自动观测数据以及野外观测结果, 分析可知全年总辐射一般为  $5\ 184.9 \times 10^6$  J/m<sup>2</sup><sup>[5]</sup>, 由表 1 可知 1998 年夏季观测年份(7 月份)总辐射达  $427.7 \times 10^6$  J/m<sup>2</sup>. 秋季观测年份(9 月份)总辐射量为  $353.2 \times 10^6$  J/m<sup>2</sup>, 比夏季少 14.6%. 这是因为雨季集中于秋季, 云量多, 日照少.

3.1.2 净辐射 净辐射是地表面所吸收的到达其上的短波太阳总辐射与其向上射出的长波有效辐射之差. 它主要与纬度有关, 但在某一地区与云量、空气温度和地面性质有关<sup>[5]</sup>.

(1) 由表 1 可知, 湿地净辐射夏季与秋季的净辐射分别为  $248.7 \times 10^6$  J/m<sup>2</sup> 和  $243.7 \times 10^6$  J/m<sup>2</sup>. 两者差异的原因是秋季气温较低, 雨量较大, 空气相对湿度和绝对湿度均大, 日平

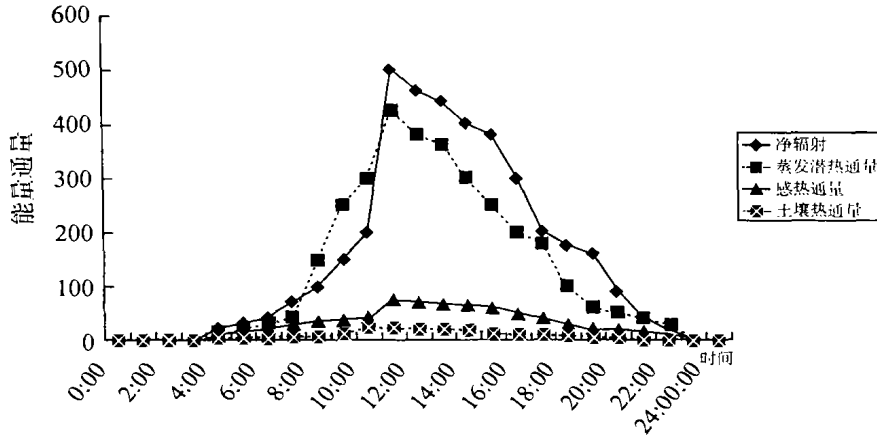


图 1 三江平原生态试验站湿地热平衡图(1998 年 7 月 22 日)

Fig. 1 Heat balance of mire-wetland of the Sanjiang Ecological Test Station on July 22, 1998

均云量多,而秋季的总辐射又少. 农田夏季净辐射达  $287.1 \times 10^6 \text{ J/m}^2$ , 比湿地夏季的值高 13.4%. 这是因为湿地地表相对湿度比农田高,由阿斯曼表测得湿地相对湿度一般在 80%~90%,所以在雨量、总辐射、云量基本相同的条件下,湿地的净辐射日平均值比农田低. 另外,湿地植被的覆盖率高,反射率大于农田,故净辐射小.

(2)观测资料(略)表明,湿地净辐射一般白天为正,晚上为负值,夏季 5:00 即转为正值,秋季推迟 1 h,但两个季节均在 11:00 达最大,这与总辐射在该时达最大有关. 夏天夜晚净辐射绝对值一般高于秋季,这是因为夏季地温高于秋季,地表长波辐射量最大. 同样地,白天净辐射值夏季多于秋季,这是与夏季太阳高度角大、接收太阳辐射量较多有关. 湿地夏季白天净辐射转为正值时间迟于农田,农田为早晨 4:00. 这是因为夏季农田土壤比热小,温度上升很快. 同样的道理,湿地夏季净辐射最大值低于农田.

3.1.3 反射率 土壤-湿地植被系统反射率是土壤反射率和植物叶片反射率的综合反映,它随着土壤含水量、叶面积指数、冠层叶片的衰老程度等变化而变化. 根据观测资料,得出湿地与农田的反射率(表 2),由此可知本区反射率特征为:

表 2 三江平原生态试验站湿地与农田反射率值(1998 年)

Table 2 Albedo ratios of wetland and farm land of the Sanjiang Ecological Test Station (1998)

	6月8日	6月9日	6月15日	8月10日		9月27日		10月11日	
				上午	下午	上午	下午	上午	下午
湿地	0.17	0.16	0.20	0.24	0.28	0.17	0.16	0.17	0.30
农田	0.23	0.20	0.27	0.33	0.34	0.13	0.14	0.14	0.17

(1)一般湿地反射率高于农田,但在观测年份 6~8 月份,即 8 月 24 日以前,雨量少,农田土壤极度干燥,而此时农田植被盖度较小,所以农田的反射率有所上升.

(2)夏季观测年份湿地反射率一般为 0.18~0.26 之间,最大值为 0.33,而秋季反射率一般在 0.11~0.20 之间,最大值为 0.25.

(3)由图 2 可知湿地夏季上午反射率高,日出之前 6:00 即达最大 0.25,后逐渐下降,15:00 以前保持在 0.19~0.25 之间,日落之后下降更快.秋季与夏季呈现同样的变化趋势,只是秋季反射率小于夏季.但是,如果凌晨开始下雨,且降雨持续时间较长,则凌晨及上午的反射率很低,如 9 月 3 日凌晨 3:00 下雨,降雨持续了 10 h,则 5:00 的反射率很低,为 0.15,后逐渐上升,到 11:00 达最大,而后逐渐下降,最大值也只为 0.18,整个 24 h 的反射率线比较平缓,这是因为下雨期间,一方面土壤含水量高,另一方面地表相对温度和绝对温度高且变化不大.

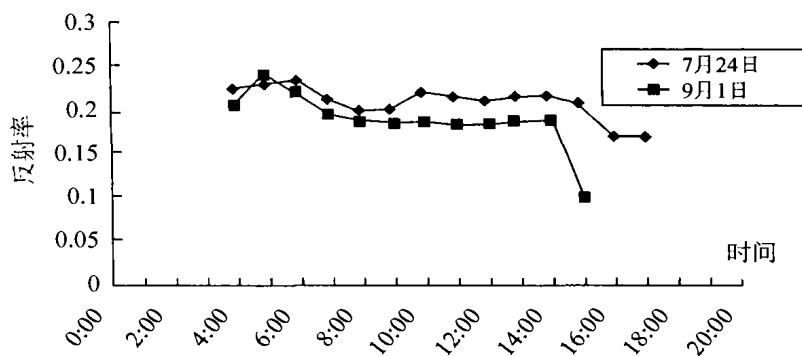


图 2 三江平原生态试验站湿地反射率日变曲线

Fig. 2 Diurnal variations of albedo of wetland of the Sanjiang Ecological Test Station

(4)根据观测资料计算出夏季湿地月平均反射辐射与月平均总辐射之比为 0.256,农田的为 0.220,秋季湿地月平均反射辐射与月平均总辐射之比为 0.245,农田的为 0.210,因此湿地开垦后,其反射率会减少了 12%~14%.

### 3.2 土壤热通量

土壤热通量(A)是指地面与下层间的热传输量与平流输送热量之和,它一方面受到土壤热学性质(土壤热容量、土壤导温率、土壤导热率)的制约,另一方面受到影响土壤温度梯度因素的制约,诸如太阳辐射、天气、地面覆被状况等.

图 1 表明该区土壤热通量特征为:湿地夏季 0:00~8:00 土壤热通量全为负值,这是因为土壤深层热量流向地表.3:00~4:00 绝对值最大,此时是日出之前,地温最低.8:00 开始变为正值,地表接受太阳辐射,地表温度高于地表深处,地表热量向地层深处传播.到下午 13:00~14:00 土壤热通量达最大,这与此时地表温度最大是一致的.14:00 之后虽然太阳总辐射逐渐减少,但地表积累的热量较多,一般到 22:00 才消耗完毕,然后地层深处热量向地表传输.

由表 1 可知湿地秋季土壤热通量绝对值比夏季高,秋季值为  $9.39 \times 10^6 \text{ J/m}^2$ ,夏季为  $4.26 \times 10^6 \text{ J/m}^2$ ,主要原因是因为秋季地面温度随气温迅速下降,此时土壤垂直温度梯度和导热系数大,湿地土壤负值热交换大.

夏季湿地月平均土壤热通量为  $4.26 \times 10^6 \text{ J/m}^2$ ,而农田夏季月平均值为  $4.73 \times 10^6 \text{ J/m}^2$ .说明湿地开垦后,夏季月平均热通量增加了 9.9%.

3.3 潜热通量与感热通量 潜热通量( $LE$ )是指地面与大气间的潜热交换,感热通量( $P$ )是指地面与大气间的湍流交换,可用下式表示<sup>[7]</sup>.

$$LE = (R_g - A) / (1 + P) \quad (2)$$

$$P = R_g - A - LE = P \cdot (R_g - A) / (1 + P)$$

根据波文比可以计算出潜热通量与感热通量<sup>[7]</sup>,因此可以得到四组数据:湿地与农田的夏季月平均  $LE$ 、月平均  $P$ ,秋季月平均  $LE$ 、月平均  $P$ . 计算结果列于表 1(计算结果与实测结果一致),由表 1 可知湿地夏季  $LE$  为  $192.9 \times 10^6 \text{ J/m}^2$ ,高于秋季  $186.9 \times 10^6 \text{ J/m}^2$ ,农田夏季  $LE$  为  $164.6 \times 10^6 \text{ J/m}^2$ ,也高于秋季  $157.8 \times 10^6 \text{ J/m}^2$ ,由于夏季湿地、农田蒸发均高于秋季,湿地夏季蒸发高于农田,秋季蒸发低于农田,所以夏季湿地、农田  $LE$  均高于秋季而湿地夏季  $LE$  值比农田的高,秋季低于农田. 夏季与秋季湿地的感热通量分别为  $62.9 \times 10^6 \text{ J/m}^2$  和  $42.0 \times 10^6 \text{ J/m}^2$ ,农田分别为  $98.2 \times 10^6 \text{ J/m}^2$  和  $102.3 \times 10^6 \text{ J/m}^2$ ,夏季与秋季湿地的  $P$  值分别比农田低 36.0% 与 59.0%,这与夏季地温较高是一致的,湿地和农田相比,不管是夏季还是秋季,湿地的感热通量都低于农田.

## 4 结 论

湿地开垦为农田,地表热量平衡发生了显著的变化,首先地表反射的太阳光一般比原来的减少了 12%~14%,净辐射一般比原来的增加了 13.4%,其次开垦后土壤月平均热通量增加了 9.9%,潜热通量减少了 14.7%~15.6%,感热通量却增加了 36%~59%. 虽然开垦前后总辐射相当,但湿地地表反射的太阳光一般比农田多,地表的热状况不如农田. 同时蒸发量大,夏季净辐射中蒸发潜热的支出占主要部分,蒸发耗热较多,并且,地表相对湿度与绝对湿度均高于农田,开垦后,反射率变小,地表接受的太阳辐射与土壤热通量均增多,地表显热交换非常活跃,土壤热通量在净辐射中所占比例相对于湿地多. 因此大大改善了土壤热状况,有利于农田作物的生长. 因此湿地开垦后,原有的冷湿的小气候和局地气候类型将发生较大的改变,导致区域生态平衡的变化. 三江平原沼泽湿地东部多,西部少,抚远县位于东北角,富锦县位于东部偏西,前者代表沼泽湿地集中分布区,后者代表沼泽湿地大量开发区,两地年平均温度分别为 2.2℃ 和 2.6℃,前者比后者低 0.4℃. 从农业播种期看,前者比后者晚 10~15 d,大于 10℃ 的有效积温,前者为 2 455℃,后者为 2 577.4℃<sup>[8]</sup>,这就是沼泽湿地开垦后热量变化所引起的小气候方面的变化. 另外,沼泽湿地大量开垦后,其原有的环境效应将显著减弱. 比如,沼泽湿地对河川径流的年内分配有均化洪水作用,对多年变化有加大变差作用,沼泽植被有吸附粉尘、净化污水的作用,这些作用将发生显著变化.

致 谢 本文承林承坤教授审阅并提出修改意见,中国科学院三江平原沼泽湿地生态试验站全体工作人员帮助野外观测,在此一并致以诚挚的感谢.

### References

- [1] Ma Xuehui, Liu Xingtu. Environment and evolution method of wetland in China. *Sci Geogr Sin*, 1997 (suppl):401~408(in Chinese).
- [2] Liu Xingtu. Radiation balance and basic microclimate features of Sanjiang Plain. *Research on the Swamp of China*. Beijing:Sci Press,1988,120~124(in Chinese).
- [3] Zhao Huanchen. Sprinkling irrigation effects on microclimate in reclaimed marshes of the Sanjiang Plain. *Research on the swamp of China*. Beijing:Sci Press,1988,415~424(in Chinese).
- [4] Wang Xuelei. A study on the heat property of mire soil. *Research on the swamp of Sanjiang Plain*. Beijing:Sci Press,1996,12~15(in Chinese).
- [5] Department of Swamp Research, Changchun Institute of Geography. *The Swamp of Sanjing Plain*. Beijing: Sci Press,1983,1~13(in Chinese).
- [6] Yang Qing, Lü Xianguo. Kinds of soil and their characteristics in the Ecological Experimental area of mire-wetlands. *Research on the swamp of Sanjiang Plain*. Beijing: Sci Press,1996,15~26(in Chinese).
- [7] Zhou Shuzhen. *Meteorology and climatology*. Beijing:High Education Press, 1984, 10~170(in Chinese).
- [8] Chen Gangqi, Niu Huanguang, Lü Xianguo, *et al.* Mire-wetlands and its agricultural reclamation in the Sanjiang Plain. *Research on the swamp of Sanjiang Plain*. Beijing:Sci Press,1996,152~158(in Chinese).