

盘锦湿地芦苇 (*Phragmites communis*) 群落 蒸发散主导影响因子

于文颖¹, 周广胜^{1,2,*}, 迟道才^{3,*}, 周 莉², 何奇瑾⁴

(1. 中国气象局沈阳大气环境研究所, 沈阳 110016; 2. 中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室, 北京 100093;
3. 沈阳农业大学水利学院, 沈阳 110161; 4. 四川省人工影响天气办公室, 成都 610072)

摘要:利用 2005 年全年盘锦芦苇湿地梯度观测和涡动相关系统的监测数据,对芦苇群落的蒸发散变化规律及其主导影响因子分析表明,不同月份芦苇群落蒸发散日变化呈现出相同的变化趋势,即早晚低、中午高的单峰型曲线;芦苇群落蒸发散主要受当地气象因素、植被生长状况和生理生态特征的影响。相关分析表明,芦苇湿地蒸发散与净辐射、气温、地表温度、相对湿度、风速、土壤含水量等环境因素的变化都有很好的响应。回归分析表明影响生长季主要因素有:净辐射、土壤含水量、相对湿度、气温和地表温度;影响非生长季主要有:净辐射、地表温度和风速。同时,植被生长状况和生理生态特征对蒸发散也有显著影响,其中叶面积指数与气孔导度是芦苇群落蒸发散的主导影响因子。

关键词:芦苇群落;蒸发散;湿地;潜热通量;动态

文章编号:1000-0933(2008)09-4594-08 中图分类号:Q142, Q178, Q945, Q948 文献标识码:A

Evapotranspiration of *Phragmites communis* community in Panjin Wetland and its controlling factors

YU Wen-Ying¹, ZHOU Guang-Sheng^{1,2,*}, CHI Dao-Cai^{3,*}, ZHOU Li², HE Qi-Jin⁴

1 Institute of Atmospheric Environment, China Meteorological Administration, Shenyang 110016, China

2 Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

3 College of Water Conservancy, Shenyang Agriculture University, Shenyang 110161, China

4 Sichuan Provincial Weather Modification Office, Chengdu 610072, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(9): 4594 ~ 4601.

Abstract: Based on the data of the whole year in 2005, including the microclimate gradient observation data, eddy covariance observation data, and ecophysiological observation data in Panjin Wetland Ecosystem Research Station, Institute of Atmospheric Environment, China Meteorological Administration, the daily evapotranspiration variation and its controlling factors of *Phragmites communis* community was analyzed. The results showed that the daily evapotranspiration variation in different months could be expresses as a single peak curve that was lower in the morning and evening and higher around noon. meteorological factors and biological factors would affect the evapotranspiration. According to the correlative analysis,

基金项目:国家杰出青年基金资助项目(40625015);国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2004CB418507-1);中国气象局沈阳大气环境研究所科研启动资助项目;中央级公益性科研院所基本科研业务费专项基金资助项目

收稿日期:2006-10-10; **修订日期:**2008-06-30

作者简介:于文颖(1978 ~),女,天津人,博士,主要从事水汽通量研究. E-mail: ywywy20000@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gszhou@ibcas.ac.cn, daocaichi@vip.sina.com

Foundation item: The project was financially supported by project was financially supported by National Excellent Young Scientist Foundation of China (No. 40625015), National Key Basic Research and Development Project Plan (973 Plan) (No. 2004CB418507-01), Institute of Atmospheric Environment Science Start research Project and Basic Scientific and Business fund and Central Public research Project

Received date: 2006-10-10; **Accepted date:** 2008-06-30

Biography: YU Wen-Ying, Ph. D., mainly engaged in agricultural water and soil engineering. E-mail: ywywy20000@163.com

the evapotranspiration variation of *Phragmites communis* wetland has good responding to the environmental factor such as radiation, air temperature, surface temperature, relative humidity, wind speed and soil moisture. Regression analysis indicates, the major factors in growing season are: radiation, soil moisture, relative humidity, air temperature and surface temperature; the factors in non-growing season are: radiation, surface temperature and wind speed. At the same time, vegetation growth situation and biological characteristic had significant effects on the evapotranspiration of *Phragmites communis*, especially, leaf area index, leaf transpiration rate and leaf conductance.

Key Words: *Phragmites communis*; Evapotranspiration; Wetland; Latent heat flux; Dynamic changes

蒸发散主要包括植物蒸腾和土壤蒸发量,它是 SPAC 系统水分运移的关键环节。实际蒸发散受气象因素、植物生理生态特性、下垫面条件等诸多因素影响,变化规律复杂。长期以来,植物蒸发散问题受到了水文学、气象学、自然地理、土壤学、生态学等多个学科领域的共同关注。芦苇群落的蒸发散是芦苇湿地水分损失的主要途径,研究其规律和影响因子,可增进对湿地水分平衡的理解,为湿地蒸发散的准确估算提供依据。

目前,蒸发散可通过实测或模型方法估算。蒸发散的实测法包括水文学法、风调室法、气孔计法、快速称重法、涡动相关法、热脉冲法、同位素示踪法和能量平衡法等。用于蒸发散估算的模型包括波文比-能量平衡法、空气动力学法、SPAC 法、经验公式法和遥感法等^[1]。在蒸发散测定的众多方法中,涡动相关法以其测量精度较高、理论假设条件较少的优势,成为确定大气和生态系统边界层间水汽交换的一种微气象学观测手段,所测定的数据被用于检验各种模型模拟或估算的精度^[2]。

本研究基于 2005 年盘锦野外生态系统观测站的小气候梯度观测系统和涡动相关系统的观测资料,以盘锦湿地芦苇群落为例,分析其蒸发散动态变化规律和主导影响因子。

1 研究地点与方法

研究地点位于中国气象局沈阳大气环境研究所盘锦湿地生态系统野外观测站,地理位置为 121°54'E, 41°08'N。该站位于我国东北辽河三角洲地区,地处辽东湾,属于暖温带季风气候:四季分明、雨热同季、温度适宜、光照充裕。年平均气温 8.6℃,无霜期 170d,年平均降雨量 627mm,年日照时间在 2700h 以上。地貌类型以冲积平原和潮滩为主。盘锦湿地是世界上保存比较完好的滨海湿地,成片苇田达 8 万 hm^2 ,是世界第二大芦苇分布区^[3]。

芦苇观测场配备有小气候梯度观测系统和涡动相关观测系统。涡动相关观测系统安装在 3m 高度,主要由三维超声风速仪(CSAT3, Campbell Scientific Inc, USA)、开路式 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 分析仪(Li-7500, Li-cor Inc, USA)和数据采集器(CR5000, CSI, USA)组成,采样频率为 10Hz。原始输出数据包括水平风速(U_x 、 U_y)、垂向风速(U_z)、二氧化碳绝对密度(CO_2)、水蒸汽绝对密度(H_2O)、超声虚温(T_s)和大气压力(pressure)。小气候梯度观测系统由 1 台 CR23X 数据采集器、1 个 AM16/32 扩展板和 2 个 HMP45C 温度/相对湿度传感器、1 个 014A 风速传感器、1 个 034B 风速/风向传感器、1 个 CNR1 净辐射仪、1 个 CS616 土壤水反射计、2 个 HFP01 热通量板等组成,观测量包括 2.5m 和 4m 高度的风速、温度和湿度,3.5m 高度的净辐射(R_n)、光合有效辐射(PAR)和太阳总辐射,5cm 土壤热通量(G)、不同深度的土壤体积含水量(10、20、30cm 和 50cm)。数据采样频率为 0.5h。

本研究所用资料包括盘锦湿地生态系统野外观测站 2005 年全年的小气候梯度数据与涡动相关系统的潜热通量数据,这些数据均为半小时的平均值。其中,涡动相关系统通量观测数据已经经过原始观测数据的噪声去除、三次坐标旋转, WPL 校正以及趋势去倾修正。

2 结果与分析

2.1 芦苇群落蒸发散日、季动态

芦苇群落潜热通量在生长季日变化表现为单峰曲线,凌晨蒸发散低,随着气温升高,蒸发散速率不断升高,到 12:00 和 14:00 左右出现峰值;而后,随着气温下降,蒸发散速率不断下降,夜间蒸发散下降到最低。不

同月份的蒸发散日动态呈现相同的变化趋势,即早晚低、中午高的单峰曲线型。而非生长季蒸发散虽然也呈现早晚低,中午高的趋势,但并不都是明显的单峰曲线(图1)。

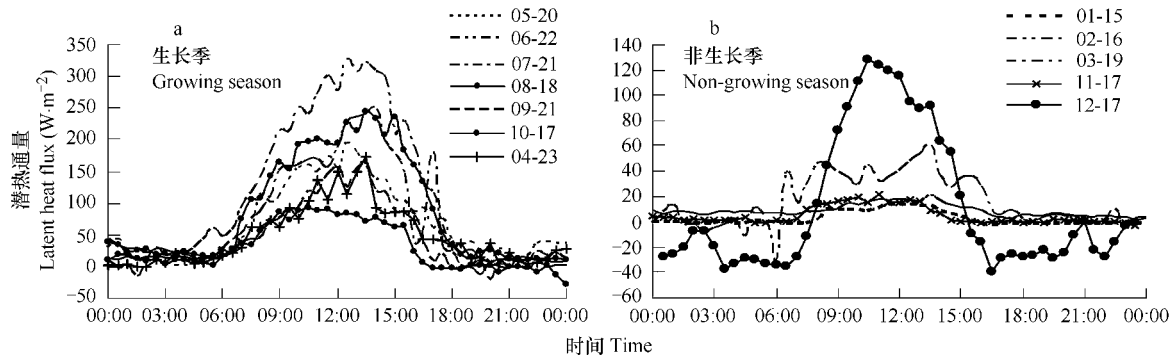


图1 芦苇群落蒸发散速率日动态

Fig. 1 Daily evapotranspiration dynamics of *Phragmites communis* community

图2给出了月累积蒸发散量的变化。芦苇生长季节(4~10月份)由于蒸腾耗水,蒸发散量非常大,其他月份由于气温低,没有作物生长,蒸发量很小。8月芦苇群落蒸发散量较小是由于8月份降雨影响导致部分时段数据缺失导致。

2.2 芦苇群落蒸发散影响因素分析

根据2005年全年的气象数据和芦苇生理生态数据分析了芦苇群落蒸发散的变化规律及其对环境因子的响应。

2.2.1 蒸发散与环境影响因子相关性分析

影响蒸发散的主要环境因素有:净辐射、相对湿度、气温、风速、土壤含水量、地表温度等。

(1) 净辐射对蒸发散的影响

图3给出了7月16日的蒸发散与净辐射的动态关系图。可以看出,一日内蒸发散与净辐射的变动趋势的一致性非常好。清晨,随着净辐射的增强,蒸发散量逐渐增大,11:30蒸发散达到峰值 $248.5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 12:30净辐射达到峰值 $332.3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$;午后,随着净辐射的减弱,蒸发散量也逐渐降低,到了夜晚,蒸发散降至最低。相关分析结果表明,蒸发散与净辐射呈现很好的正相关关系,相关系数分别为0.869。

图4给出了一日内蒸发散与净辐射之比变化图,从图中可以看出,夜晚净辐射值为负值,蒸发散与净辐射之比为负,在清晨和傍晚时分分别由负转正和正转负。在清晨和傍晚时分比值突然增大的原因可能与潮汐和露水有关。11:30蒸发散达到峰值时,蒸发散与净辐射之比达99.5%,几乎全部净辐射热量消耗于蒸发散,而12:30净辐射达到最大值时,蒸发散占净辐射的比例却仅为51.7%,这是由于叶片的“午休现象”部分气孔关闭,导致蒸发散相应降低,蒸发散与净辐射之比变小,但总的趋势为随着净辐射的降低,蒸发散随之降低,直至夜间至凌晨达到最低值。

图5给出了全年蒸发散日均值与净辐射日均值的关系。从图5中可以看出,两者的变化趋势大致相同。1月至3月份,净辐射很小,没有作物生长,地表蒸发也很小;4月末为生长季初期,太阳辐射较弱,蒸发散量较低,随着净辐射不断增强,蒸发散量不断增加,至7月份两者均达到最大值,8月份雨季旺盛,太阳辐射减弱,蒸发散量显著下降,8月份下旬,随着太阳辐射的增加,蒸发散量有所回升;9月份之后,植被逐渐进入凋萎期,太阳辐射也逐渐降低,蒸发散量也随之减少。11月份以后进入冬季,作物全部凋萎,蒸发散又仅为地表土壤蒸发,净辐射和蒸发散均很小。

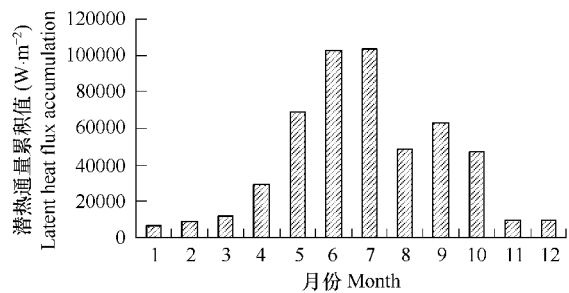


图2 芦苇群落蒸发散月累积量

Fig. 2 Seasonal evapotranspiration accumulation of *Phragmites communis* community

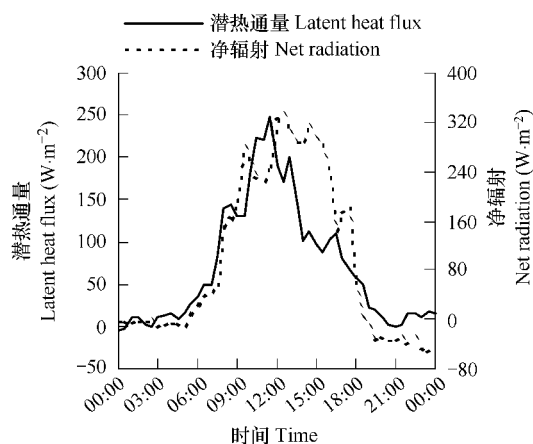


图3 净辐射与潜热通量关系

Fig. 3 Relationship between net radiation and latent heat flux

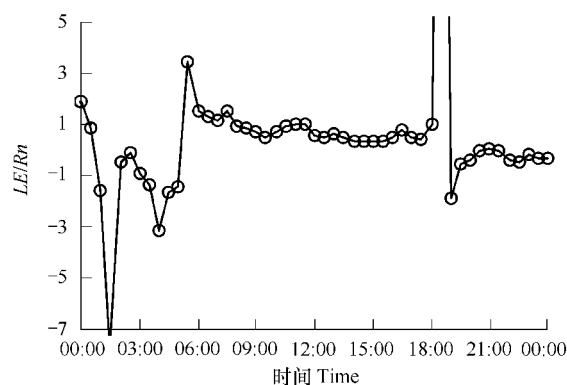


图4 潜热通量与净辐射比值

Fig. 4 Ratio between net radiation and latent heat flux

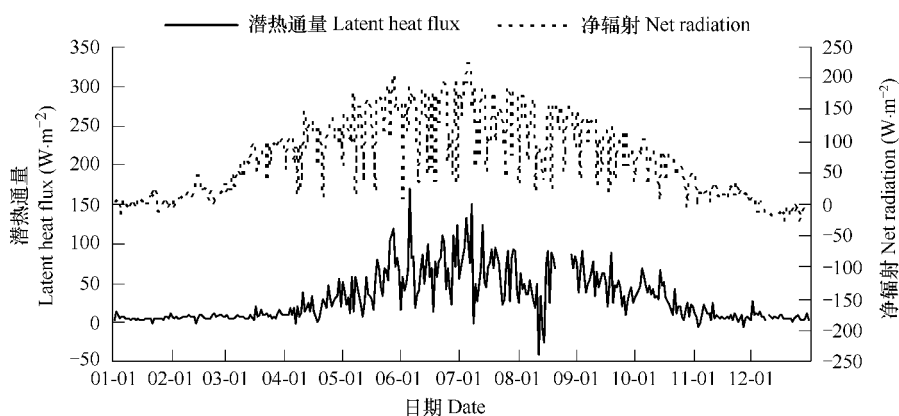


图5 芦苇群落净辐射日均值与潜热通量日均值关系

Fig. 5 Relationship between the daily net radiation and latent heat flux of *Phragmites communis* community

(2) 气温和地表温度对蒸发散的影响

图6给出了气温、地表温度与蒸发散的关系。气温、地表温度与蒸发散的日变化基本一致,气温越高,蒸发散越强,蒸发散随着气温的升高而增大。相关分析表明,7月16日蒸发散与气温之间的相关系数为0.693,与地表温度的相关系数0.314,说明芦苇群落蒸发散与其周围环境温度有很好的相关性。

(3) 相对湿度对蒸发散的影响

相对湿度反映了大气中的水汽饱和程度。图7给出了一日内湿地芦苇蒸发散与相对湿度的关系。清晨3:00~6:00相对湿度最高,此时蒸发散最低,随着气温的升高,相对湿度不断下降,蒸发散不断增强,午后相对湿度达到最低,蒸发散则达到最高点,而后相对湿度逐渐升高,而蒸发散则不断降低。相关分析表明,7月16日的相对湿度与蒸发散之间呈现负相关关系,相关系数

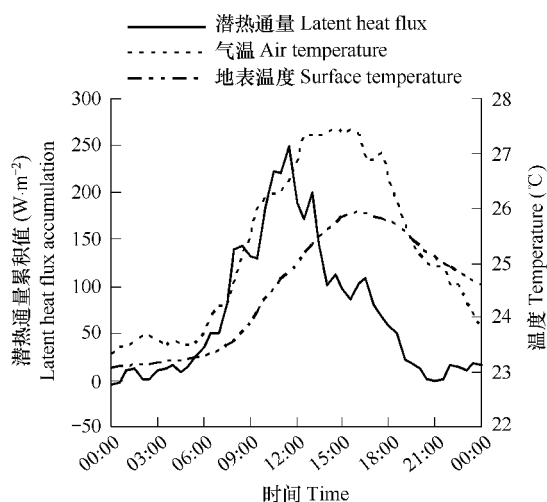


图6 芦苇群落气温、地表温度与潜热通量关系

Fig. 6 Relationship among air temperature, surface temperature and latent heat flux of *Phragmites communis* community

为 -0.637 , 说明蒸发散受相对湿度的影响也比较显著。

(4) 风速与蒸发散的关系

图 8 给出了风速与蒸发散的关系。清晨风速较低, 蒸发散也较低, 随着风速的增加, 蒸发散也逐渐加大, 午后风速不断减弱, 蒸发散也不断降低。相关分析表明, 7 月 16 日的蒸发散与风速之间的相关系数为 0.477 , 表明风速对芦苇群落蒸发散起着促进和加速作用。

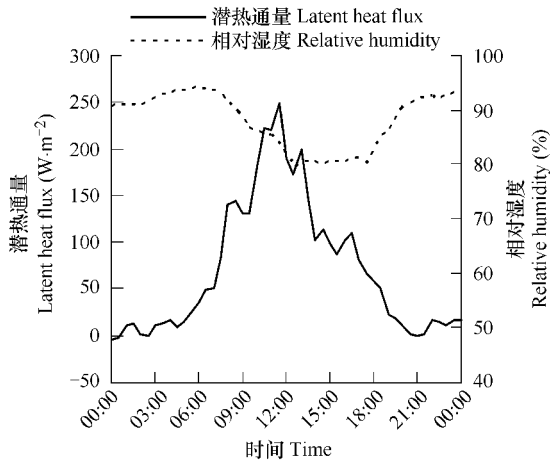


图 7 芦苇群落相对湿度与潜热通量关系

Fig. 7 Relationship between relative humidity and latent heat flux of *Phragmites communis* community

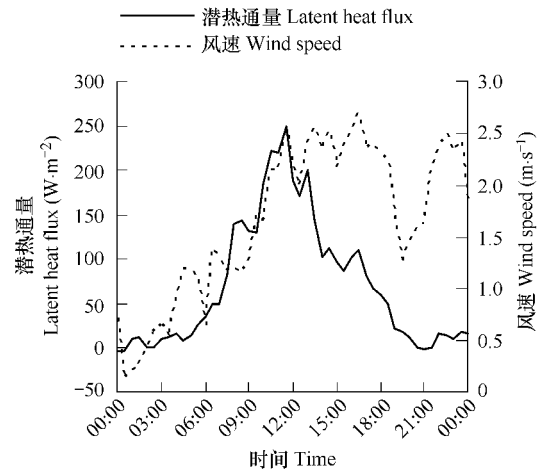


图 8 芦苇群落风速与潜热通量关系

Fig. 8 Relationship between wind speed and latent heat flux of *Phragmites communis* community

(5) 土壤含水量与蒸发散的关系

图 9 给出了蒸发散与土壤含水量的关系图。可以看出, 蒸发散与土壤含水量的变化在白天呈现大致相同的趋势。清晨至中午, 当土壤含水量升高的时候蒸发散强度也增大; 午后, 土壤含水量下降, 蒸发散呈大幅度下降的趋势。但在午夜至凌晨的一段时间内蒸发散与土壤含水量的变化并不太一致。对 7 月 16 日的土壤含水量和蒸发散进行相关分析得到相关系数为 0.378 , 说明土壤含水量对蒸发散有着一定的影响。前后两天零点的土壤含水量有较大差别可能是潮汐引起的, 因为在 7 月 15 日下午土壤含水量有突然增大的现象。

2.2.2 蒸发散与生态因子关系

(1) 蒸发散与芦苇叶片气孔导度的关系

芦苇群落蒸发散除受外界环境的物理因素影响外, 还受到植物自身因素的调节, 譬如植物的光合作用以及叶片的结构和气孔的特征等。图 10 给出了 6 月份芦苇群落蒸发散与芦苇气孔导度的关系。芦苇叶片的气孔导度和光合速率与蒸发散具有相似的变化趋势, 均为早晚低, 中午高。气孔导度和蒸发散的相关系数达 0.89 , 说明气孔导度是芦苇群落蒸发散的主导影响因子。

(2) 蒸发散与植物生长特性的关系

图 11 和图 12 分别给出了不同月份芦苇群落蒸发散累积值与芦苇株高和叶面积指数的关系。4 月末为芦苇萌芽期, 芦苇开始萌生, 株高和叶面积指数都很小, 此时蒸腾量较低; 5 月份开始为展叶期, 随着气温不断升高, 芦苇不断生长, 株高增加, 叶面积指数增大, 蒸发散量开始明显增加, 至 7 月份叶面积指数和蒸发散量均达到最大值; 8 月中旬为开花期, 株高变化不大, 叶面积指数下降, 同时受阴雨天气影响, 蒸发散量减少; 9 月份芦苇开始结穗, 株高略有增加, 叶面积指数变化不大, 蒸发散量略有增加。株高和蒸发散累积量的相关系数达 0.502 , 而叶面积指数和蒸发散累积量的相关系数达 0.728 , 说明株高和叶面积指数强烈影响着芦苇群落蒸发散量。

2.2.3 蒸发散对环境因子的响应

(1) 单因子相关分析

以 2005 年生长季(4 月 20 日~10 月 24 日)、非生长季(1 月 1 日~4 月 19 日)为例,对蒸发散与环境因素的相关性进行分析,见表 1。可以看出,生长季节,芦苇群落净辐射、气温和相对湿度与蒸发散相关显著;而非生长季节,芦苇群落净辐射、气温和风速与蒸发散相关显著。

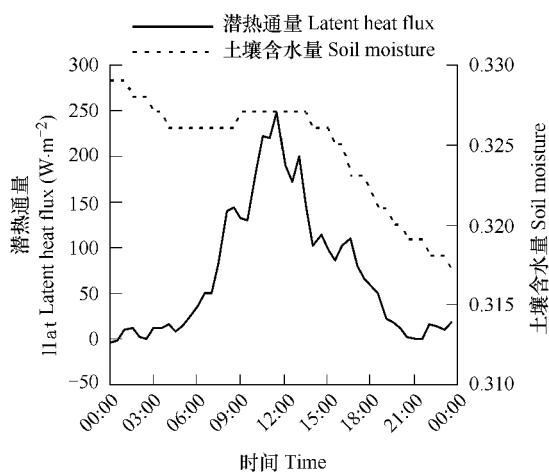


图 9 芦苇群落土壤含水量与潜热通量关系

Fig. 9 Relationship between the soil moisture and latent heat flux of *Phragmites communis* community

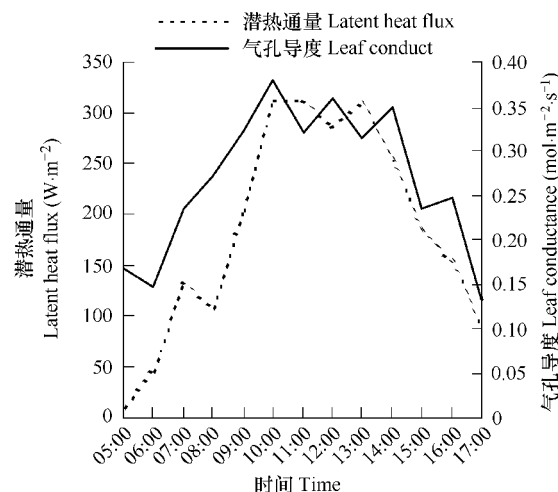


图 10 芦苇群落潜热通量与叶片气孔导度的关系

Fig. 10 Relationship between latent heat flux and leaf stomatal conductance of *Phragmites communis* community

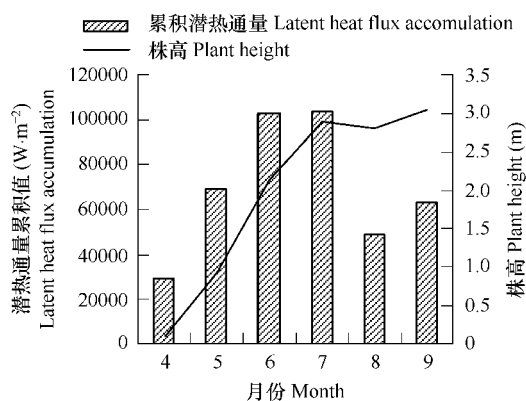


图 11 芦苇群落潜热通量累积值与株高的关系

Fig. 11 Relationship between latent heat flux accumulation and plant height of *Phragmites communis* community

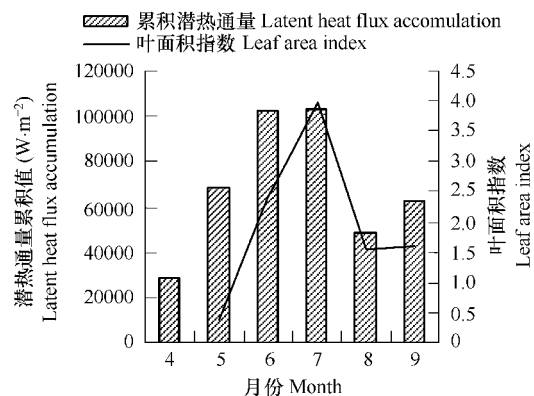


图 12 芦苇群落潜热通量累积值与叶面积指数的关系

Fig. 12 Relationship between latent heat flux accumulation and leaf area index of *Phragmites communis* community

表 1 芦苇湿地环境因素与蒸发散相关分析

Table 1 Correlative analysis between environmental factors and evapotranspiration of *Phragmites communis* community

环境因素 Meteorological factors	相关系数(生长季) Pearson correlation(growing season)	相关系数(非生长季) Pearson correlation(non-growing season)
净辐射 Net radiation	0.585	0.338
气温 Air temperature	0.298	0.210
地表温度 Surface temperature	0.220	0.187
土壤体积含水量 Soil moisture	0.076	0.141
风速 Wind speed	0.182	0.196
相对湿度 Relative humidity	-0.257	-0.151

(2) 蒸发散与主要环境因子的回归分析

单因子相关分析可以判断某个因子对蒸发散的作用性质,但每个因子不是独立作用的。为了更准确地分析环境因子与蒸发散的关系,需要进行多元逐步回归分析^[4~6]。以 2005 年生长季(4 月 20 日~10 月 24 日)和非生长季(1 月 1 日~4 月 19 日)为例,对芦苇群落蒸发散和环境因子进行回归分析(表 2)。

表 2 芦苇群落环境因素与蒸发散回归分析

Table 2 Regressive analysis between environmental factors and evapotranspiration of *Phragmites communis* community

	生长季 Growing season	非生长季 Non-growing season
主要影响因子 Controlling factors	净辐射、土壤含水量、相对湿度、气温和地表温度 Radiation, soil moisture, relative humidity, air temperature and surface temperature	净辐射、地表温度和风速 Radiation, surface temperature and wind speed
复相关系数 R	0.602	0.346
F	898.255	236.564
显著性概率 Sig.	0.000	0.000
回归方程 Regression equation	$LE = 0.273R_n + 60.202w + 0.263H_s + 2.036T_a - 1.609T_s - 21.733$	$LE = 0.043R_n + 0.277T_s + 0.391w + 5.829$

其中, LE 为蒸发散, R_n 为净辐射, w 为含水量, H_s 为相对湿度, T_a 为气温, T_s 为地表温度

逐步回归分析表明,生长季节芦苇群落蒸发散的主要影响因子有:净辐射、土壤含水量、相对湿度、气温和地表温度,复相关系数为 0.602, F 检验 ($F \leq 0.05$) 达显著水平,说明蒸发散与以上环境因子的综合变化密切相关,是芦苇湿地小气候的综合反映。非生长季节芦苇群落蒸发散的主要影响因子有:净辐射、地表温度和风速,复相关系数为 0.346, F 检验达到显著水平。逐步回归分析表明,净辐射是最主要的影响因子,影响程度大于其他环境因子。因此,净辐射是芦苇群落生长季和非生长季蒸发散的主导影响因子和驱动力。

3 结论与讨论

对 2005 年盘锦湿地芦苇群落涡动相关系统潜热通量分析表明,一日内芦苇群落蒸发散大致呈单峰曲线变化:夜晚到清晨,蒸发散很低,随着气温的升高,辐射逐渐增强,12:00~14:00 左右蒸发散达到最大,叶片的“午休现象”部分气孔关闭,导致午后蒸发散相应降低,但总的趋势为随着净辐射的降低,蒸发散随之降低,直至夜间至凌晨达到最低值。

芦苇生长季节(4 月~10 月份)由于植物蒸腾作用耗水,蒸发散量非常大,而非生长季节由于气温低,没有植物生长,蒸发散主要为土壤蒸发,蒸发量很小。芦苇湿地日均蒸发散呈明显的季节变化。1 月至 4 月初,蒸发散很小。4 月份芦苇开始萌生,蒸发散量较低,随着气温不断升高,芦苇不断生长,芦苇蒸发散量开始明显增加,至 7 月份达到最大值。8 月份雨季旺盛,受阴雨天气的影响,芦苇蒸发散量显著下降,8 月下旬,随着太阳辐射的增加,蒸发散量有所回升;9 月之后,芦苇逐渐进入凋萎期,气温逐渐降低,蒸发散量也随之减少;11 月份以后芦苇全部凋萎,进入冬季,蒸发散仅为土壤表面蒸发,蒸发速率很小。

单因子相关分析表明,芦苇湿地蒸发散与净辐射、气温、地表温度、相对湿度、风速、土壤含水量等环境因素的变化都有很好的响应。生长季节,芦苇群落净辐射、气温和相对湿度与蒸发散相关显著;而非生长季节,芦苇群落净辐射、气温和风速与蒸发散相关显著。净辐射是芦苇群落蒸发散的主导影响因子和驱动力。

土壤含水量是干旱半干旱区作物蒸发散的主要限制因子,湿地处于潮湿环境下,在生长季,土壤含水量对蒸发散影响程度低于辐射强度,而在非生长季,土壤含水量对蒸发散的影响不显著。在干旱地区,作物蒸发散受风速的影响非常显著,而盘锦湿地的芦苇群落在芦苇生长季节,风速影响很小,在非生长季节,由于蒸发散主要由土壤表面蒸发组成,风速影响较大。

逐步回归分析表明芦苇生长季和非生长季影响因子的入选因素不同,生长季主要有:净辐射、土壤含水量、相对湿度、气温和地表温度;非生长季主要有:净辐射、地表温度和风速。气象条件在很大程度上制约着蒸发散的变化,以净辐射和气温的影响最大。

研究亦表明,植被生长状况及其光合生理生态特性均对蒸发散量的影响较为显著,芦苇群落的叶面积指数、叶片的气孔导度均是芦苇群落蒸发散的主导影响因子。

References:

- [1] Si J H, Feng Q, Zhang X Y, *et al.* Research progress on surveying and calculation of evapotranspiration of plants and its prospects. *Advances In Water Science*. 2005,16(3):450—459.
- [2] Qin Z, Yu Q, Xu S H, *et al.* Characteristics and Simulation of North China Plain Field water flux and Crop water use efficiency. *Science in China, Ser. D, Earth Science*, 2004,34 (Supplement II):183—192.
- [3] Yang Y F, Li J D. Biomass allocation and growth analysis on the ramets of *Phragmites communis* populations in different habitats in the Songnen Plains of China. *Chinese Journal of Applied Ecology*. 2003,14(1):30—34.
- [4] Zhao Y, Zhang B, Zhao H C, *et al.* Transpiration of *Choerospondias axillaris* in agro-forestral system and its affecting factors. *Chinese Journal of Applied Ecology*. 2005,16(11):2035—2040.
- [5] Duan H P, Xie X L, Wang K R. A study on tea plant transpiration and its influencing factors in slop lands of red soil regions. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*. 2004,12(1):117—119.
- [6] Zhang J C, Zhao M, Zhang Y C, *et al.* A Research Between Photosynthetic, Transpiration Characteristics and Impact of Irrigated Vegetation of *Haloxylon ammodendron* and *Nitraria tangutorum*. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*. 2005,25(1):70—76.

参考文献:

- [1] 司建华,冯起,张小由,等.植物蒸散耗水量测定方法研究进展. *水科学进展*. 2005,16(3):450~459.
- [2] 秦钟,于强,许守华,等.华北平原农田水热通量与作物水分利用效率的特征与模拟. *中国科学 D 辑,地球科学*. 2004,34(增刊 II):183~192.
- [3] 杨允菲,李建东.松嫩平原不同生境芦苇种群分株的生物量分配与生长分析. *应用生态学报*,2003,14(1):30~34.
- [4] 赵英,张斌一,赵华春,等.农林复合系统中南酸枣蒸腾特征及影响因子. *应用生态学报*,2005 年,16(11):2035~2040.
- [5] 段华平,谢小立,王凯荣.红壤坡地茶园蒸腾速率及其环境影响因子的研究. *中国生态农业学报*,2004,12(1):117~119.
- [6] 张锦春,赵明,张应昌,等.灌溉植被梭梭、白刺光合蒸腾特性及影响因素研究. *西北植物学报*,2005,25(1):70~76.