三江平原毛果苔草湿地能量流动过程分析

何池全

(上海大学环境科学与工程系,200072 上海)

摘要:太阳辐射能在生长季内(4月30日至9月30日)到达毛果苔草湿地的太阳总辐射能为2673.06 MJ·m⁻²,以此为 100%进行分析计算;其中,有57.92%被植被层吸收,为1548.236 MJ·m⁻²;在被吸收的能量中,仅有2.55%的能量通 过植物的净光合作用固定下来成为毛果苔草湿地的净生产量,为68.24997 MJ·m⁻²;生物量年积累量占太阳总辐射能 的2.241%,为59.903 MJ·m⁻²;用于形成地上、地下不同器官的太阳辐射能分别为0.2642%和1.9768%。将上述过程 予以简化,形成该系统能流过程的分室模型,该模型将可以对毛果苔草湿地生态系统的季节性动态进行分析、模拟与预 测。

关键词:毛果苔草;湿地生态系统;能量流动,分室模型

The Analysis of Energy Flux Process of *Carex lasiocarpa* Wetland in Sanjiang Plain

HE Chi-Quan (Department of Environmental Science & Engineering, Shanghai University; Shanghai, 200072, China). Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(8):1350~1353.

Abstract: Carex lasiocarpa is a rhizomatous clonal species of mire wetlands in Northeastern of China. The fieldwork about physical process of Carex lasiocarpa wetlands was carried out in the Shangjiang Plain Mire Wetlands Ecological Experiment Station in Chinese Academy of Science in Northeastern of China (47°31' N, 133°31'E). The mire type, vegetation type and soil type in the experimental station are provided with representation to the Shangjiang Plain, where the micro-landforms is complex, which is made of different low-lying land, low land and flat ground, in which the low-lying land is perennial seeper, where wetland vegetation is dominant in this area, in which Cypereae and Gramineae herbs are dominant, including Carex lasiocarpa, Carex pseudocuraica, Glyceria spiculosa, low land and flat ground is dominant to Calamagrostis angustifolia, what form the special landscape which is dominated with Carex wetland in this district area. the field work was carried out in a typical Carex lasiocarpa wetlands, which areas is 200×450 m² and it can divided into three areola, namely the determined areola of biomass; the determined areola of wither biomass and its decompose areola, and then it was setup each other which was used to sampling and observation from May to October in 1998 \sim 1999, We gather the biomass every 30 days, each group consisted of three replicates. The plants were divided into different compartments, in which is leaf, sheath, rhizome, inflorescence, spike, radicula and dead standing sampling, and dried to constand weight at 80°C, after which they were ground and samples were taken for analysis. The dried plant sample (including each different component) was broken into piece, then each sample was weighed about 1g, 3

基金项目:中国科学院"九五"重大 B 资助项目(KZ951-B1-201);中国科学院百人计划资助项目;上海市高等学校青年基 金资助项目(01-QN-68);211 重点学科建设资助项目

收稿日期:2001-02-16;修订日期:2001-10-05

作者简介:何池全(1968~),男,江西省九江人,博士,副教授。主要从事环境生物学、环境污染控制、湿地工程设计及植物 化感研究。hecq@netease.com

times, which was determined by Parr type oxygen bomb calorimeter made in American. The atmosphere data come from automatism atmosphere observation station in Sanjiang Plain Wetlands Ecological Experiment Station in Ecosystem Net of Chinese Academy of Science.

In the view of the whole growth season (from April, 30, 1999 to September, 30, 1999), the whole sunshine radiant energy which reach *Carex lasiocarpa* wetland ecosystem is about 2673.06MJ \cdot m⁻² (100%), 57.92% of which is absorbed by vegetation, which is about 1548.236 MJ \cdot m⁻²; only 2.55% of which is used for net biomass that plant fixed by photosynthesis, which is about 68.24997 MJ \cdot m⁻²; 2.241% of which is used for biomass accumulation a year, which is 59.903 MJ \cdot m⁻²; 0.2642% and 1.9768% of which is used for biomass of aboveground and underground. Simplifying the process, it will form the collapsible model of energy flux process, which will analysis, simulate and forecast the seasonal dynamic process in the *Carex lasiocarpa* wetland ecosystem.

Key words:*Carex lasiocarpa*; wetland ecosystem; energy flux; the collapsible model 文章编号:1000-0933(2002)08-1350-04 中图分类号:Q948.1 文献标识码:A

生态系统的能量流动过程系指生态系统中,生物与环境之间、生物与生物之间的能量传递过程^[1]。能 量流动是生态系统最基本的功能之一,它直接影响到生态系统的结构和动态,影响到生态系统的物质循环 和信息传递^[2]。湿地环境系统的太阳辐射能不仅为生态系统的生存和繁衍提供动力并发挥多种效应,而且 也推动着环境系统各要素的变化和发展。生态系统生产力的形成过程是能量固定、积累和转化的过程,是 生态系统能量流动过程的主体,这方面的研究在国内外已有报道^[3~7]。笔者旨在分析、探讨毛果苔草湿地群 落通过净光合作用积累能量进而形成各种含能产品的能量流动过程。

1 研究地区及研究方法

(1)毛果苔草湿地的物理过程观测设在中国科学院三江平原沼泽湿地生态实验站内,本试验场内沼泽 类型、植被类型和土壤类型,在三江平原均具有代表性,本区微地貌复杂,有各种洼地、低平地和平地组成, 洼地常年积水,植物以毛果苔草(*Carex lasiocarpa*)、漂筏苔草(*Carex pseudocuraica*)、狭叶甜茅(*Glyceria spiculosa*)等为主,低平地或平地以小叶章(*Calamagrostis angustifolia*)等植被为主,构成本区特有的以苔 草湿地植被占优势的景观。在 1998~1999 两年间,在实验区内选取典型的毛果苔草湿地植物分布均匀的 样地,样地面积为 200×450m²,在样地内分 3 个小区(生物量测定区、凋落物测定区、凋落物分解实验区), 每小区分别设置不同的样区,用以采样和观测试验,每年 5~10 月份取样,每 30d1 次,样方面积 1×1m²,2 ~3 次重复。

(2)群落照度的测定 毛果苔草湿地不同层次照度采用照度计测定,选择不同天气类型,每月测定 5~ 8次,测定时,从群落的地表面开始。每 10cm 一层,直到群落的上表面,每层读取 3 个数值。

(3)植物热值的测定 在 80°C 干燥的植物样品(含各种不同的构件),粉碎后,分别称量约 1g 左右,平 行重复 3 次,用美国公司 Parr 型氧弹式热量计测定^[8]。

(4)该区气象数据来自中国科学院生态系统网络定位研究的三江平原湿地生态试验场自动气象观测站。

2 实验结果与分析

2.1 能量流动的基本过程

太阳辐射能穿过大气层到达毛果苔草湿地生态系统的上界面,当其进入毛果苔草湿地生态系统后,一部分被植被层反射回天空,一部分通过植被层直达土壤表面,余下的部分被毛果苔草湿地吸收,被植物吸收的能量一部分为植物的蒸腾作用所损耗,一部分用于植物体增温,余下的部分被植物通过光合作用所固定;被固定的能量又有一部分被植物的呼吸作用(光呼吸和暗呼吸)消耗掉,余下的能量以碳水化合物的形式积累于植物(分段)(我)。别成为植物不同器官或组织的一部分,与此同时,又有一部分能量以枯落物的形式逐渐释放到环境中,这就是太阳辐射能在毛果苔草湿地生态系统之植物亚系统中的流动过程。



图 1 毛果苔草湿地生态系统能量流动过程分室模型

Fig. 1 The compartment model of energy flux process in Carex lasiocarpa wetland

2.2 能量流动过程的系统动态分析

从图 1 中可以看出,太阳辐射能在生长季内(4月 30 日至 9月 30 日)到达毛果苔草湿地的太阳总辐 射能为 2673.06 MJ·m⁻²,以此为 100%进行分析计算;其中,21.92%被毛果苔草湿地反射掉,为 585.85 MJ•m⁻²;有 20.16%穿过植被层透射到湿地表面,为 538.88 MJ•m⁻²;有 57.92%被植被层吸收,为 $1548.236 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$: 在被吸收的能量中,有 55.37%被植被层的蒸腾作用、呼吸作用及植被层的增温所消 耗,为 857.258 MJ • m⁻²;仅有 2.55%的能量通过植物的净光合作用固定下来成为毛果苔草湿地的净生 产量,为 68. 24997 MJ·m⁻²;至毛果苔草湿地生态系统地上生物量达极大值时(7 月中旬)止,地上和地下 的枯死的叶及根中共含能量为 8.31 M · m⁻²:占太阳总辐射能的 0.309%,生物量年积累量占太阳总辐 射能的 2.241 %,为 59.903 MI • m⁻²;用于形成地上、地下不同器官的太阳辐射能分别为 0.2642 %和 1.9768%。由上述分析可见: 毛果苔草湿地生态系统仅利用了生长季节中太阳总辐射能的 2.241%, 用于 净初级生产,而97.76%的能量都损耗于能量流动过程之中,然而,小叶章草地生态系统太阳总辐射能利 用率仅为 1.36 % [9], 说明毛果苔草湿地生态系统的太阳辐射能利用率比小叶章草地生态系统高。同时, 损 耗的能量也是在一定程度上为毛果苔草湿地的初级生产创造了必不可少的生境条件,如果没有这些蒸腾 耗热使植物叶片降温,呼吸作用为植物的生长、发育提供能量等必需的"耗能"过程,植物的光合作用也无 法完成,两者是相辅相成的。同时,毛果苔草湿地的同松嫩平原羊草草原中羊草草地生态系统太阳辐射能 利用率也高區,说明湿地生态系统太阳辐射能利用率较草地或草原生态系统高,这是与湿地生态系统的水 分条件充足,更利于初级生产过程有关。

为了分析方便,将上述过程予以简化,并考虑到毛果苔草湿地在生长季末完全枯死,形成该系统能 流过程的分室模型。

分室模型中 Xi 及 fij(i=1,2,3; j=0,1,2,3,4) 分别表示状态变量和速率变量;状态变量的单位为 MJ·m⁻²;符号意义是:X₁,表示输入到系统的太阳辐 射能;X₂,表示植物亚系统吸收的太阳辐射能;X₃,表 示植物亚系统净固定的能量,即净初级生产量。速率变 量各符号的**序 为数据**,到达毛果苔草湿地生态系统 上界面的太阳辐射能(Q_0)输入到系统内的比率;设其



图 2 毛果苔草湿地生态系统能流过程的分室模型 Fig. 2 The compartment model of energy flux process in *Carex lasiocarpa* wetland ecosystem

等于 1,表示即到达该系统上界面的太阳辐射能能全部进入系统内; f_{10} ,植物亚系统透射、反射太阳辐射能的比率; f_{12} ,植物亚系统吸收太阳辐射能的比率; f_{20} ,植物亚系统以蒸腾、呼吸及植物叶面降温等形式 损耗的能量; f_{23} ,植物亚系统净固定其吸收能量的比率; f_{30} ,植物亚系统以枯死、凋落等形式损失的能量; f_{34} ,净初级生产量中以生物量增量的形式积累的能量的比率。依据图中所示模式,可得出微分方程:

$$dX_1/dt = f_{01} * Q_0 - (f_{10} + f_{12})X_1$$
(1)

$$dX_2/dt = f_{12} * X_1 - (f_{20} + f_{23})X_2$$
(2)

$$dX_3/dt = f_{23} * X_2 - (f_{30} + f_{34})X_3$$
(3)

毛果苔草湿地生态系统中各生态因子的季节性动态变化均影响着系统的能量流动过程,使其亦表现 出明显的季节性动态规律;依实测的模型中各速率变量的季节性动态变化值,构造出太阳总辐射能(Q₀) 的季节动态模拟方程(式中,*t* 为生长天数):

$$Q_0 = -0.0332t^2 + 5.9521t + 341.55 \qquad R^2 = 0.9724 \tag{4}$$

相应的速率变量季节动态方程,其形式为:

$$f_{10} = 0.00002t^2 - 0.0044t + 0.6064 \qquad R_2 = 0.9369 \tag{5}$$

$$f_{12} = -0.00002t^2 + 0.0044t + 0.3936 \qquad R_2 = 0.9369 \tag{6}$$

$$f_{20} = -0.00000003t^4 + 0.00001t^3 - 0.0001t^2 + 0.0051t + 0.9221 \qquad R_2 = 0.7175 \qquad (7)$$

 $f_{23} = 0.00000003t^4 - 0.00001t^3 + 0.0001t^2 - 0.0051t + 0.0779 \qquad R_2 = 0.7175 \tag{8}$

$$f_{30} = -0.0000001t^4 + 0.000004t^3 - 0.0005t^2 + 0.0174t + 0.055 \qquad R_2 = 0.9546 \tag{9}$$

$$f_{34} = 0.0000001t^4 - 0.000004t^3 + 0.0005t^2 - 0.0174t + 0.945 \qquad R_2 = 0.9546 \tag{10}$$

将式4至式10代入式1至式3,得毛果苔草湿地生态系统植物亚系统能量流动模型:

$$dX_1/dt = -0.0332t^2 + 5.9521t + 341.55 - X_1$$
(11)

$$dX_2/dt = (-0.00002t^2 + 0.0044t + 0.3936)X(X_1 - X_2)$$
(12)

$$dX_{3}/dt = (-0.00000003t^{4} - 0.00001t^{3} + 0.0001t^{2} - 0.0051t + 0.0779)X(X_{2} - X_{3})$$
(13)

通过该模型将可以对毛果苔草湿地生态系统的季节性动态进行分析、模拟与预测。以上仅是在3分室 进行系统分析,并且参数都是由观测数据拟合得来的,因而有它的局限性,而实际的生态系统并非如此简 单,对一个生态系统真正有应用价值的模型往往是很复杂的,这种模型还有待于进一步深入研究,不断地 构建、调试,并进行灵敏度分析,以便对每一个参数进行更精确的估算。

参考文献

- [1] Zhu T C(祝廷成). Energy flux and material cycle in ecosystem(in Chinese). Chinese Ecology Institute, Science promulgation publish, Beijing, 1984. 33~44.
- [2] He C Q (何池全), Zhao K Y (赵魁义). The allelopathic effect and its use in wetlands study. Chinese Journal of ecology(in Chinese)(生态学杂志), 1999, 18(4):46~51.
- [3] Huang D M(黄大明). The collapsible mould study of energy flux in Artemisia feddei meadow. Acta Ecologica Sinica(in Chinese)(生态学报),1992,12(2):119~124.
- [4] Zu Y G(祖元刚), Zhu T C(祝廷成). The energy flux and its stabilization analysis in *Leymus chinensis* population. *Acta Botanica Sinica*(in Chinese)(植物学报), 1987, **29**(1):95~103.
- [5] He C Q(何池全), Zhao K Y(赵魁义), Yu G Y(余国营). The advance of wetland eclogical process. Advance of geoscience(in Chinese)(地理科学进展),2000,15(2):165~171.
- [6] Pitelka IF. Energy allocation in annual and perennial lupines (Lupinus; Leguminosae). Ecology. 1977,58:1055~ 1065.
- [7] Sims P L. The structure and function of ten Western Notth American grasslands II , Net primary productions turnover and efficiencies of energy capture and water use. J. Ecol. 1978,66:573~597.
- [8] Zu Y G(祖元刚). Some technologic question in the plant caloric value assaying. *Chinese Journal of Ecology*(in Chinese)(生态学杂志), 1986.5(4):53~56.
- [9] Ma K **内 功売**知告tudy on the structure and function of calamagrostis angustifolia grassland ecosystem N: the fix and distribute of energy. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese)(生态学报),1995,**15**(1):23~31.