

# 长白山红松、水曲柳的能量与物质分析

张郁<sup>1</sup>, 秦丽杰<sup>1</sup>, 吴东辉<sup>2</sup>, 周密<sup>1</sup>

(1. 东北师范大学城市与环境科学学院, 吉林 长春 130024; 2. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061)

**摘 要:** 通过对长白山地区典型样地的调查、测定和分析, 以红松、水曲柳为代表树种, 对其进行了能量与物质研究, 得出红松和水曲柳的化学能模型以及物质含量变化图, 从而为揭示森林生态系统中物质与能量的运动规律提供了科学依据。

**关键词:** 化学能; 物质含量; 红松; 水曲柳

**中图分类号:** Q148

**文献标识码:** A

## 1 引 言

能量是生态系统的动力, 是一切生命活动的基础。生命界所呈现出的多样性, 无一不伴随着能量的变化和物质的交换。生态系统的主要功能就是通过绿色植物的光合作用, 利用太阳能与其他营养物质作为驱动力, 不断地做功, 通过各种食物链(网)的能量转换, 创造人类所需要的生物量与财富<sup>[1, 2]</sup>。能量流动与物质循环是现代生态学研究的主要内容。

关于长白山森林生态系统的研究, 前人已做了不少工作<sup>[3~6]</sup>, 但是, 对于长白山典型植被的化学能与物质含量研究较少, 本文的研究属于能量生态学范畴<sup>[7]</sup>。针阔混交林是长白山面积最大、经济价值最高的林型, 其中红松(*Pinus koraiensis*)是我国东北地区珍贵树种, 水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)是东北著名的三大硬阔之一。本文以红松和水曲柳为代表树种, 进行化学能和物质含量分析, 从而为合理开发利用森林资源提供科学依据。

## 2 研究区概况与研究方法

### 2.1 研究区概况

研究区位于长白山北坡 41°59'N ~ 44°1'N, 128°17'E ~ 131°18'E 之间, 大部分自然景观为温带针阔混交林。气候温和湿润, 年平均温度 0.9℃ ~

3.9℃, 年平均降水量 632.8mm ~ 782.4mm, 为受季风影响的温带大陆性山地气候。夏季温暖而多雨, 生长期约 100a ~ 150a<sup>[8]</sup>。红松、水曲柳分布在海拔 600m ~ 1400m 之间的山地上, 土壤为暗棕色森林土, 腐殖质多, 土层较厚, 排水良好, 土壤湿润, 肥力较高, 适于各种树木的生长。

### 2.2 样地调查

标准地设在汪清县金沟岭, 海拔 700m 的阴向缓坡, 选取样方为 100m × 50m, 测定的内容包括红松及水曲柳的胸径、高度及年龄, 并用 GR-3500 型氧弹式热量计测定热值, 用色谱仪测定物质含量。

### 2.3 研究方法

#### 2.3.1 化学能研究方法

森林生态系统中的能量流问题很复杂, 并受许多随机因素影响, 本研究用模拟法求解。所谓模拟, 就是一组联立差分方程的数学结果, 通过对一个系统的本质或行为作模拟试验或模仿, 从模拟的结果中抽取出现实系统中的本质, 但要超越现实。针对生态系统中能量流问题的复杂性和非线性, 故采用蒙特卡罗方法(Monte Carlo)。它是利用重复的统计实验去模拟复杂的问题, 而且模拟过程是用不同的随机数反复进行一种逻辑运算的过程, 因此最适合在计算机上进行, 具有其它计算方法所无法比拟的高精确度。该方法减小模型误差、提高模拟精度的主要途径是, 对于非线性模型, 即  $Y = \alpha_0 + \alpha_1 x_1^{\beta_1} +$

收稿日期: 2002-02-28。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49471054)。

作者简介: 张郁(1969-), 女(汉族), 河北省徐水县人, 讲师, 吉林大学在读博士, 主要从事资源与环境的教学与科研工作。

$\alpha_2 x_2^{\beta_2} + \epsilon$ , 先将模型中每个方程的附加误差项和每个估计系数假定一个概率分布, 然后, 进行大量(比如, 成千上万次)的模拟。每次模拟时, 从相应的概率分布中随机选择附加误差项和估计系数的数值。对任一具体的内生变量, 模拟的结果产生的点描出了变量预测值的概率分布。而由此得到的预测对其均值的离散趋势可以用来确定预测的置信区间, 以此提高模拟的精度<sup>[8, 9]</sup>。

对化学能的分析, 是以红松和水曲柳为主要研究对象, 首先用弹式热量计测出其随树高和树龄变化的化学能, 然后, 应用蒙特卡罗模拟法, 在计算机上分别模拟一万次以上, 达到稳定程度, 使模拟值与实测值非常接近, 误差很小。

2.3.2 物质含量研究方法

对红松和水曲柳物质含量的测定, 是按树龄和树高不同部位分别取样, 然后测定其含水率、氢、氧、氮、灰分及其他微量元素的含量。

3 结果与分析

3.1 红松与水曲柳的化学能模型

通过采用蒙特卡罗模拟法, 以实测数据为基础, 绘出模拟图表(图 1~4, 表 1, 2)。由图表可知, 当模拟次数达到一万次以上, 其模拟值与实测值的误差很小。因此, 以实测值所做出来的红松与水曲柳化学能随树高和树龄变化的数学模型就具有区域代表性和典型性。其总的变化规律, 均可用三次和二次多项式来拟合红松与水曲柳的化学能模型(表 1, 表 2)

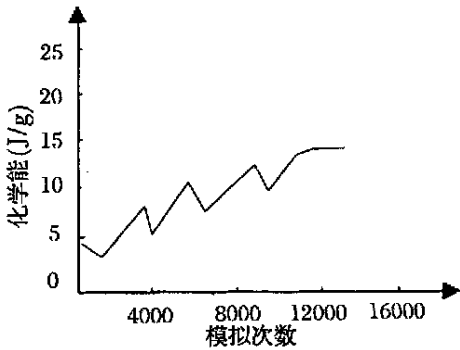


图 1 红松存储的化学能随树高变化的模拟图  
Fig. 1 Change of chemical energy stored in Pinus Koraiensis with the height

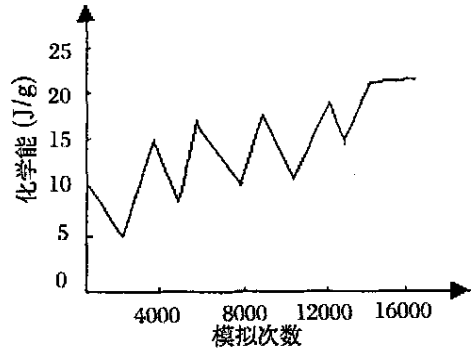


图 2 红松存储的化学能随树龄变化的模拟图  
Fig. 2 Change of chemical energy stored in Pinus Koraiensis with the age

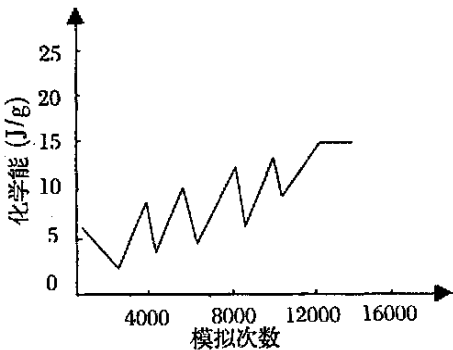


图 3 水曲柳存储的化学能随树高变化的模拟图  
Fig. 3 Change of chemical energy stored in Fraxinus mandshurica with the height

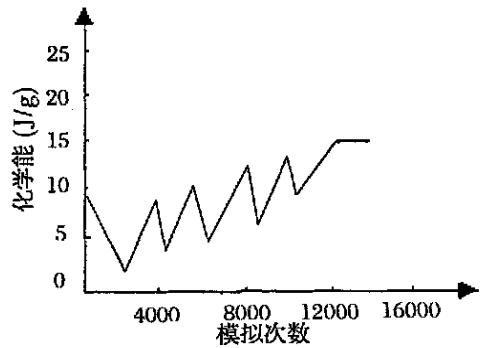


图 4 水曲柳存储的化学能随树龄变化的模拟图  
Fig. 1 Change of chemical energy stored in Fraxinus mandshurica with the age

表 1 红松和水曲柳存贮的化学能模拟结果(J/g)

Table 1 Table 1 Imitated results of chemical energy stored in *Pinus koraiensis* and *Fraxinus mandshurica*(J/g)

树种	红松( <i>Pinus koraiensis</i> )		水曲柳( <i>Fraxinus mandshurica</i> )	
	随树高变化	随树龄变化	随树高变化	随树龄变化
一次测定平均值	20. 21	20. 23	17. 62	17. 64
模拟平均值	20. 21	20. 26	17. 60	17. 63
模拟稳定次数	11 000	16 000	10 000	10 000

表 2 红松与水曲 柳存贮的化学能模型

Table 2 Models of chemical energy stored in *Pinus koraiensis* and *Fraxinus mandshurica*

项 目	模 型	相关系数
随树高变化的红松化学能	$y=5102.889-154.543x+17.741x^2-0.589x^3$	0.80
随树龄变化的红松化学能	$y=5325.758-44.280x+0.603x^2-0.002x^3$	0.97
随树高变化的水曲柳化学能	$y=4174.448+21.878x-0.954x^2$	0.85
随树龄变化的水曲柳化学能	$y=4211.814-4.662x+0.067x^2-0.002x^3$	0.91

由相关系数及相关性检验可知,红松及水曲柳所存贮的化学能与树龄因子间相关关系显著,与树高因子间相关关系稍差,并且同龄的红松比水曲柳所存贮的化学能要高一些。这一结论可从本研究的前期成果得到验证,即红松(地上部分)的生物量可达28.810kg/hm<sup>2</sup>,而水曲柳(地上部分)的生物量仅为4.352kg/hm<sup>2</sup>。

在生态系统中,能量流的起点是约有2%的太阳辐射能被绿色植物转变为化学能。化学能蕴藏在有机分子键内,是处于动态的能量,它代表着作功的能力和作功的可能性。生态系统内的能量转化过程,也服从热力学第一定律和第二定律<sup>[10]</sup>。绿色植物将光能合成为食物内的化学能,然后能量流动以食物链为主线,将绿色植物与消费者之间进行能量代谢的过程有机地联系在一起。绿色植物通过光合

作用固定的太阳能虽然并不多,但正是这部分化学能,在生态系统中按林德曼定律在各级消费者、分解者间流动,构成了生态系统的动力和源泉。

3.2 红松与水曲柳物质含量分析

能量以物质为载体,同时又推动着物质的运动。森林生态系统中的物质流和能量流一起保持着生态系统的发生、演化的功能。物质流总是通过某一种循环途径在运动着、变化着。

本次研究不准备探讨生态系统的生物循环和景观地球化学循环,而是分析了本区红松和水曲柳有机体内,一克干物质中所存贮的主要物质含量,其单位为百分比。

经取样分析,本区红松和水曲柳有机体内,一克干物质中所贮存的主要物质含量如图5~8所示。

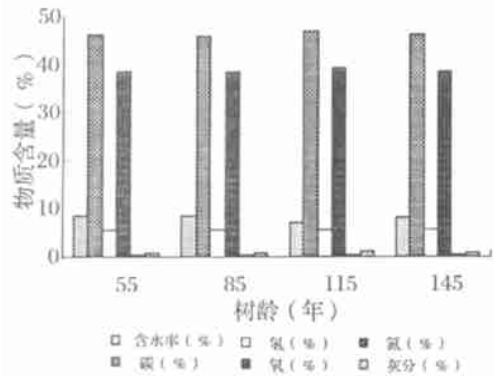


图 5 红松物质含量随树龄变化图

Fig. 5 Change of material content stored in *Pinus*

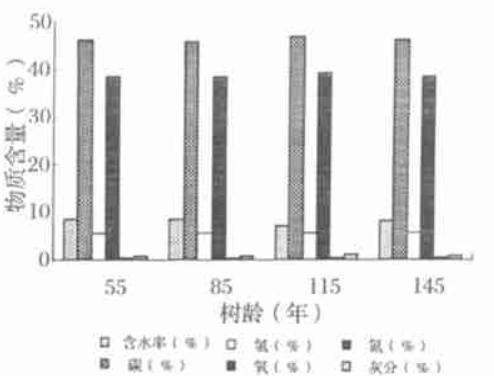


图 5 水曲柳物质含量随树龄变化图

Fig. 6 Change of material content stored in *Fraxinus*

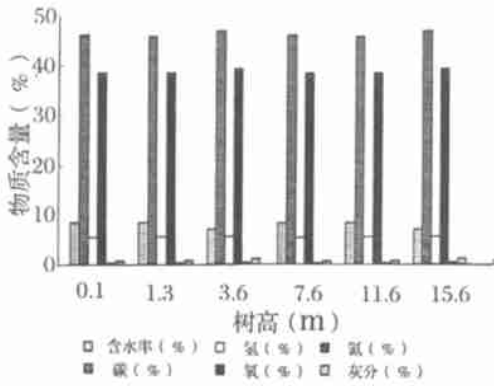


图 7 红松物质含量随树高变化图

Fig. 5 Change of material content stored in *Pinus koraiensis* with the height

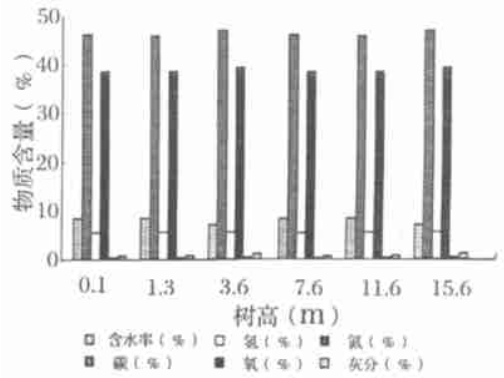


图 8 水曲柳物质含量随树高变化图

Fig. 6 Change of material content stored in *Fraxinus mandshurica* with the height

结果表明:红松和水曲柳各种主要物质含量随树龄的变化规律基本相似。其中含量最多的物质为碳和氧,分别占46%以上和38%以上;其次是含水率和氢,均占5%以上,灰分和氮的含量较少,分别占0.91%以上和0.52%以上。此外,通过比较分析可以得出,在115a时,红松的物质含量中碳、氢、氧、氮及灰分均达到峰值,而同期的水曲柳已呈衰退的趋势,这表明红松与水曲柳相比,红松的生长期更长,生产潜力更大,这与前述的红松存贮的化学能高于同龄的水曲柳这一结论是吻合的。而含水率在树皮中含量较高,这与水分布在有机体中的主要输送部位有关,水曲柳的平均含水率略高于红松。

红松和水曲柳各种主要物质含量随树高的分布规律,也大体相似,其中含量最多的物质仍是碳和氧,构成碳水化合物的元素约占90%左右,其中含水率最高的部位,一是出现在根部,一是出现在枝、叶部位,这一点也符合植物生理过程。此外,通过比较分析表明,在7.6m的高度,水曲柳的物质含量中碳、氢、氧、氮及灰分均达到峰值,而相同高度的红松仍处于快速生长阶段,这也是不同树种的生理特点的差异所造成的。

## 4 结 语

森林生态系统的能量研究是很复杂的,而应用蒙特卡罗方法对长白山北坡红松、水曲柳存贮的化学能进行模拟分析及相关性检验,可以得到比较理想的效果,即红松、水曲柳的化学能存贮量与树龄因子相关性显著,可分别用定量化模型  $y = 5325.758$

$-44.280x + 0.603x^2 - 0.002x^3$  及  $y = 4211.814 - 4.662x + 0.067x^2 - 0.002x^3$  来表示,并且由于该结果具有区域性特点,对长白山北坡的典型植被针阔混交林适用,为进一步进行森林生态系统的生物量及食物链研究提供了科学依据。

此外,通过对红松和水曲柳的物质含量分析,结果表明红松的寿命较水曲柳长,而且进一步验证了红松存贮的化学能高于同龄的水曲柳这一结论的正确性,这对于合理开发利用长白山环境资源也具有重要的实践意义。

致谢:本文承蒙杨秉廉教授、李惠明教授、殷秀琴教授的帮助和指导,特此感谢!

## 参考文献:

- [1] 蔡晓明,等.普通生态学[M].北京:北京大学出版社,1995.
- [2] 李博,等.生态学[M].高等教育出版社,2000.
- [3] 侯向阳,等.长白山红松林干扰节律研究[J].生态学报,2000(5),409~411.
- [4] 代力民,等.阔叶红松林倒木贮量的变化规律研究[J].生态学报,2000(5),412~416.
- [5] 中科院长白山森林生态系统定位站.森林生态系统研究[M].3~5卷,北京:中国林业出版社,1983~1985.
- [6] 吴正方等.东北阔叶红松林全球气候变化响应的研究[J].地理学报,1996,12(51)增刊,81~91.
- [7] 倪穗,等.能量生态学研究概述[J].科技通报,1999,12(5),105~110.
- [8] 杨耀臣.蒙特卡罗方法与人口仿真学[M].合肥:中国科学技术大学出版社,1999.
- [9] 罗伯特S·平狄克.计量经济模型与经济预测[M].机械工业出版社,1999.
- [10] 东北林学院.森林生态学[M].中国林业科学出版社,1982.

# Energy and Material Analysis on *Pinus koraiensis* and *Fraxinus mandshurica* in Changbai Mountains

ZHANG Yu<sup>1</sup>, QIN Li-jie<sup>1</sup>, WU Dong-hui<sup>2</sup> and ZHOU Mi<sup>1</sup>

(1. School of Urban and Environmental Science, Northeast Normal University, Changchun, 130024 China)

(2. School of Earth Science, Jilin University, Changchun, 130061 China)

**Abstract:** Through investigation, titration and analysis on typical sampling sites in Changbai Mountains, the paper takes *Pinus koraiensis* and *Fraxinus mandshurica* as examples, analyzes their chemical energy and material content. In accordance with complication and illinearity of energy current in ecosystem, the approach of Monte Carlo is adopted. Through imitation on computers over 10 000 times, the imitated results come to stable level and they are very close to the real investigated results. Furthermore, the models of chemical energy stored in *Pinus koraiensis* and *Fraxinus mandshurica* are built. Through the relative coefficient test and relativity test, it shows that changes of chemical energy stored in both two trees are outstanding with age changes. For material content analysis of both two trees, through titration four figures show their change laws. Both energy and material analysis all show that the chemical energy stored in *Pinus koraiensis* is more than that in *Fraxinus mandshurica*, therefore the former's lifespan is longer than the latter's. The research results put forward scientific basis for discoursing on the law of motion of energy and material in forest ecosystem.

**Key words:** chemical energy; material content; *Pinus koraiensis*; *Fraxinus mandshurica*