

小流域水源涵养林林木耗水基于 3S 技术的量化分析

石青¹, 景海涛¹, 余新晓¹, 杨爱荣², 有祥亮¹

(1. 北京林业大学, 北京 100083; 2. 水利部 牧区水利科学研究所, 内蒙古 呼和浩特 010010)

摘要: 通过对地面数字高程模型的分析, 基于 3 维地学模型的理论进行水源涵养林耗水量化分析和可视化模拟。根据不同时相的地面林斑、光照、温度、坡向、林分类型变化进行的水源涵养林耗水量的计算。小流域水源涵养林耗水量化分析对于水源涵养林的建设、保护水源、生态环境保护利用具有十分重要的意义。立足于 3S 技术应用的研究, 通过 GPS、RS 获取空间数据, 以 GIS 为分析平台, 建立数字高程模型 (DEM), 土地利用类型、水源涵养林分类型、土壤类型等矢量图层, 进行空间数据与属性数据连接、矢量数据运算等操作, 采用综合彭曼公式分析了研究区域的水源涵养林单木耗水量。

关键词: 水源涵养林; 耗水量; GPS; GIS; RS

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2005)01-0071-04

中图分类号: S157

3S Based Quantitative Analysis on Water Consumption of Water Conservancy Forestry at Watersheds of River Source

SHI Qing¹, JING Hai-tao¹, YU Xin-xiao¹, YANG Ai-rong², YOU Xiang-liang¹

(1. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Institute of Hydrology in

Pasture Region, Ministry of Water Resources, Huhhot 010010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: This article describes the use of a distance model, which is based on the 3S model theories of global positioning systems (GPS), geographical information systems (GIS) and remote sensing (RS). The distance model is used to analyse the amount of water consumed in real and simulated water conservation forestry. The quantitative analysis of water conservation forestry is useful to macro-decision making in relation to water consumption. Calculation of the amount of water consumed accounts for forestry plot conditions, forest type, slope direction, solar radiation incidence and temperature. The 3S based model utilises spatial information and a resulting digital elevation model to generate vector graphs for land use, water conservation, forest type and soil type. These are used with Penman-Monteith to calculate the water consumption of the research forest area.

Keywords: water conservation forest; water consumption; GPS; GIS; RS

随着计算机技术、信息技术的发展, 3S 技术已经在生态监测研究中发挥重要作用, 使生态需水量化研究方式方法及其实用程度有了更多更好更简便的信息技术可资应用。根据树木耗水的众多研究成果以及我们在密云水库水源涵养林区的实验测试结果得出树木的耗水与树种、光强、温度、降雨、土壤有关, 因此, 取林木耗水量的模型:

$$T = K \times L \times S \times C \times R \times P$$

式中: T —— 单位面积年平均水源涵养林耗水量; K —— 水源涵养林分耗水量因子; L —— 太阳光强因子; S —— 温度因子; C —— 坡向; R —— 降雨因子; P —— 土壤因子。其中 K 采用 Penman-Monteith 公式确定不同林分不同树种单木蒸腾量:

$$T = \frac{\frac{P_0}{P} \cdot \frac{\Delta}{\gamma} \cdot R_{np} + 86400 \left[\frac{\rho \cdot C_p}{\gamma} \cdot \frac{D}{\gamma_a} \right] \left[1 - f(L_{AI}) \right]}{L \left[\frac{P_0}{P} \cdot \frac{\Delta}{\gamma} + \left[1 + \frac{\gamma_{st}}{\gamma_a} \right] \right]}$$

式中: K —— 作物蒸腾量 (mm/d); C_p —— 干空气的定压比热 [1 012.0 J/(kg · K)]; P_0, P —— 海平面标准大气压和计算地点的实际大气压; Δ —— 饱和水汽压与温度关系曲线上的斜率; R_{np} —— 冠层截留的辐射量 [J/(m² · d)]; γ —— 湿度计常数; ρ —— 干空气的密度; D —— 空气饱和差; r_a —— 边界层动力学阻力; r_{st} —— 作物冠层气孔阻力; L —— 汽化潜热; L_{AI} —— 叶面积指数。其中, 冠层截留的辐射量 R_{np} 由下式确定:

收稿日期: 2004-05-17

资助项目: 国家“十五攻关”项目(2001BA510B02-02); 国家重大基础研究“973”计划课题(2002CB111502)

作者简介: 石青(1964-), 男(汉族), 博士生, 内蒙古人, 主要从事水利、水土保持科研工作。E-mail: shiqingshi@163.com。

$$R_{mp} = R_n(1 - e^{-k \cdot L_{AI}})$$

式中: K ——冠层消光系数(取 0.4); R_n ——冠层上方接受的太阳辐射 [$J/(m^2 \cdot d)$], 由下式计算

$$R_n = R_A(1 - \alpha) \cdot (a + b \frac{n}{N}) - \sigma T_k^4(0.56 - 0.079e_n) \cdot (0.1 + 0.9 \frac{n}{N})$$

$$R_A = \frac{I_0 T_d}{R^2 n} (W_0 \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \sin W_0)$$

式中: R_A ——大气上界的太阳辐射 [$J/(m^2 \cdot d)$]; I_0 ——太阳常数 [$8.36 \times 10^4 J/(m^2 \cdot min)$]; T_d ——1d 的时间(1440 min); φ ——计算地点的地理纬度($^\circ$); δ ——计算日的经度($^\circ$); R ——日地间的平均距离比; W_0 ——时角; α ——下垫面的反射系数(对于植物而言, 其反射系数 $\alpha = 0.25$); a, b ——为经验常数(对于河北平原而言, $a = 0.19, b = 0.54$); n ——为计算地点的实际日照时数(h); N ——天文上的日照时数(h); σ ——Stefan Boltzman 常数 [$4.863 \times 10^{-3} J/(m^2 \cdot d \cdot K^4)$]; T_k ——日平均气温(K, $T_k = 273 + T_a$); e_a ——空气水气压(hPa)。以上参数除了 L_{AI} 需要到田间实际测量外, 其它参数都可以通过相关公式或气象资料得到。

1 地表模型

地表模型有时也称为数字高程模型(DTM)。建立表面模型方法很多, 主要有基于点的建模, 基于三角形的建模, 基于格网的建模3种方法, 及将其中任意2种结合起来的混合建模等。各种建模方法的数学函数可用下面的多项式函数表示(表1)。

表1 各种建模方法的数学函数多项式函数表达式

独立项	项次	表面性质	项数
$z = a_0$	0	平面	1
$+ a_1 X + a_2 Y$	1	线性	2
$+ a_3 XY + a_4 X^2 + a_5 Y^2$	2	二次抛物面	3
$+ a_6 X^3 + a_7 Y^3 + a_8 XY^2 + a_9 X^2 Y$	3	三次曲面	4
$+ a_{10} X^4 + a_{11} Y^4 + a_{12} X^3 Y + a_{13} X^2 Y^2 + a_{14} XY^3$	4	四次曲面	5
$+ a_{15} X^5 \Delta \Delta$	5	五次曲面	6

某一特定建模程序在建立实际表面时, 一般只使用函数中的其中几项, 并不一定需要这个函数中的所有各项。由于正方形、矩形及其它任意形状的多边形都可以分解为一系列的三角形。由于三角形在形状

和大小方面有很大的灵活性, 所以这种建模方法也能容易地融合断裂线、构造线或其它任何数据。因此, 基于三角形的方法在地形表面建模中得到越来越多的注意, 已成为表面建模的主要方法。

1.1 基于矢量数据不规则三角网的形成

在数字地形建模中, 不规则三角网(TIN-Triangulated Irregular Network)通过从求规则分布的数据点生成的连续三角形来逼近地形表面。TIN的优点是它能以不同层次的分辨率来描述地形表面, 特别当地形包含有大量特征, 如断裂线、构造线时, 它能更好地顾及这些特征从而能更精确合理地表达地表形态。不规则三角网应基本满足下列特点:

(1) TIN 是惟一的; (2) 每个三角形应尽量接近等边三角形; (3) 三角形的边长之和最小(邻近的点构成三角形)。狄洛尼(Delaunay)三角网常被用于建立不规则三角网。狄洛尼三角网由对应 Voronoi 多边形共边的点连接而成。狄洛尼三角形由3个相邻点连接而成, 这3个相邻点对应的 Voronoi 多边形有一个公共的顶点, 此顶点同时也是狄洛尼三角形外接圆的圆心(图1)。

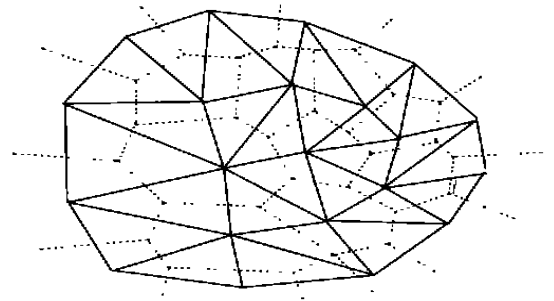


图1 TIN 三角网生成

1.2 数据获取与处理

根据实测地区林分类型、地形、地貌等特点, 建立一级永久控制点, 采用 GPS 或全站仪采集其三维坐标(可以是独立的), 即作为数字高程模型的原始数据, 又作为不同时相数据配准的依据。对于小流域来说, 采用电子仪器获取坐标数据既经济又较迅速。

有关因子的不同类型数据值可通过 GPS, RS 获取并利用 GIS(ArcView, WARC/INFO)进行空间处理及标准化。所涉及的因子中, 林分、土壤和地形比较稳定, 一般不会发生显著变化, 可认为是相对静态因子; 降雨、温度、光照强度则处于经常性变化之中, 属于动态因子。因子值的提取可以采用矢量数据结构和栅格数据结构。静态因子可通过数据的一次建库相对长期使用(有一定期限); 林分类型因子信息依靠遥

感或 GPS 手段快速获得;气候因子由遍布全国的气候观测网迅速提供。

1.3 专题类型图层

如果已经具备数字地形图可给以下工作带来方便。否则,以相应比例尺模拟地形图或 RS 图像为基本图件,采用扫描、校正、数字化等工作程序生成数字地形图。基于 GIS 建立数字高程模型,进而获取数字林斑图、坡向图,确定模型中的水源涵养林分、坡向因子。基于栅格数据结构坡度因子提取主要进行坡度方向判断和水源涵养林分计算。以数字地形图为基础,配准土壤类型图、林分类型图、土地利用图等各种图件,生成需要的矢量专题图。对专题图进行必要编码后结合 GIS 建立林分耗水属性数据库。

1.4 数据标准化(栅格化)

根据地形、土壤等自然条件的差异将宏观区域划分若干基本评价单元,成为水源涵养林分耗水量化分析的基础。各相关图层及不同类型空间数据首先应该进行标准化,即将矢量化图层或空间数据转化为栅格类型,为 GIS 的空间叠加分析做准备。

1.5 小流域水源涵养林木耗水评价技术路线

按小流域水源涵养林木耗水量化分析具体要求,建立和更新因子的数据值,利用 GIS 的空间分析功能将各因子的专题信息集成到相应的基本评价单元中,通过运算得出区域内各评价单元的水源涵养林木耗水量,绘制水源涵养林木耗水量强度见图 2。

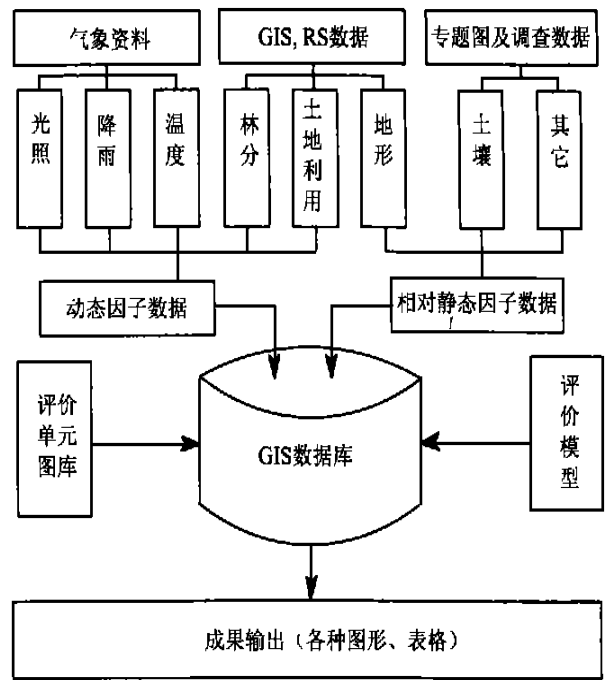


图 2 林分耗水技术路线

2 分析

水源涵养林木耗水量化分析应包括林木耗水量、林木耗水量强度等级分析,水源涵养林木耗水量与土地利用类型分析,水源涵养林木耗水量与树种分析以及不同水源涵养林木与水源涵养林木耗水量结果分析。某小流域分析结果见下表 2—4。

表 2 研究小流域林分耗水等级

林分类型	林分耗水模数/ (mm·km ⁻² ·a ⁻¹)	栅格数/ 个	面积/ hm ²	平均耗水强度/ (mm·hm ⁻² ·a ⁻¹)	耗水总量/ (mm·a ⁻¹)	面积比例/ %	耗水量比例/ %
荆条	< 200	177 361	7 094.4	1.705 5	12 099.5	63.2	12.9
油松林	200~ 500	81 094	3 243.8	11.531 1	37 404.6	28.8	39.8
侧柏	500~ 600	16 203	648.1	34.153 2	22 134.7	5.8	23.6
刺槐林	600~ 800	3 959	158.4	61.455 2	9 734.5	1.4	10.4
杨树	800~ 1 000	1 396	55.8	103.463 2	5 773.2	0.5	6.1
合计	—	2 807 032	11 229.3	8.359 5	93 882.4	100	100

表 3 研究小流域土地利用与林分耗水量

土地类型	面积/hm ²	平均耗水量	最大耗水量	耗水总量
油松林地	5 961.7	3.402 2	308.484 6	20 282.9
荆条灌木地	532.5	8.713 7	254.897 8	4 640.0
刺槐林地	310.3	29.380 2	160.624 6	9 116.7
水域	101.8	0.046 4	19.559 4	4.7
牧地	70.8	34.657 6	206.363 7	2 453.8
侧柏林地	12.6	5.070 7	29.007 4	63.9
杨树地	15.8	13.031 3	35.843 4	205.9
农地	3 968.2	13.489 7	705.115 8	53 529.8
居民地	224.3	5.659 9	87.502 5	1 269.5
裸地	1.8	18.891 8	46.178 4	34.0

表 4 研究小流域林分密度与耗水量

林分密度/ 度/%	面积/ hm ²	平均 耗水量	最大 耗水量	总耗水量
0~ 5	2 754. 2	0. 310	16. 677	853. 802
5~ 15	3 507. 1	6. 463	115. 877	22 668. 140
15~ 25	3 196. 0	11. 045	226. 796	35 302. 057
25~ 35	1 300. 6	16. 960	355. 576	22 058. 826
35~ 45	389. 6	24. 853	496. 153	9 683. 040
> 45	81. 7	40. 499	705. 115	3 308. 784

3 结 论

由于在一些小流域水源涵养林木耗水量实验观察单木耗水过程中受许多客观条件限制,如资金不足、技术力量相对薄弱等,没有能力购买高性能的设备、计算机软、硬件及高分辨率的遥感影像。通过常规测绘仪器获取数据,开发独立的系统软件,可以降低成本。水源涵养林木耗水量是林分类型、温度、光照、土壤及降雨等因子综合作用的结果。利用 3S 技术,结合现有的水源涵养林单木耗水量基础,在科学、规范的评价方法指导下,可以实现区域水源涵养林木

(上接第 70 页)

敏感类型的面积最大,达 82 515. 67 km², 占全省陆域总面积的 67. 97%, 集中分布于闽西大山带、闽中大山带西麓和东麓的丘陵低山地区。轻度敏感类型占全省陆域总面积的 20. 13%, 集中分布于福州以南的沿海平原台地地区, 山区的河谷、盆地也有分布。不敏感类型主要是各类水体, 包括河流、湖泊、水库、沿海围垦水面等水域, 面积最小, 仅 452. 56 km², 主要分布于福州、莆田、泉州等设区市的沿海县市。

(3) 如果将福建省土壤侵蚀敏感性分布图与 2000 年遥感调查生成的土壤侵蚀图进行比较, 可以看出土壤侵蚀敏感性高的地区, 基本上是目前土壤侵蚀严重(强度、极强度)的地区。这表明区域土壤侵蚀受自然因素的影响很大。但在沿海地区属于轻度敏感类型的地区, 由于人为活动, 如坡地开垦、城镇和开发区建设、交通设施建设等, 使局部地区植被破坏导致土壤侵蚀; 相反, 在闽北的武夷山、光泽、邵武、建阳等县市以及福州市辖的尤溪县, 虽然属于土壤侵蚀敏感性高(高度敏感和极敏感)的地区, 但由于植被保护较好, 森林覆盖率高, 目前土壤侵蚀并不严重。

耗水量的快速调查和定量评价。要将此方法普及到任意流域, 还存在一些问题有待解决。如分析模型的适用性及模型本身的一些缺陷。

[参 考 文 献]

- [1] 余新晓, 于志民, 等. 水源保护林培育经营管理评价[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001. 10—165.
- [2] Liewellyn D W, Shaffer G P. A decision support system for prioritizing restoration sites on the Mississippi river alluvial plain[J]. Conservation Biology, 1996, 10(5): 1446—1455.
- [3] Reynolds K M, Jensen M, Jensen M. Knowledge-based assessment of watershed condition[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 27: 315—333.
- [4] 李志林, 朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 2000. 125—158.
- [5] Burrough P A. Dynamic Modeling and Geo-computation in environmental modeling[M]. Faculty of Geographical Sciences, 1998.
- [6] 戴吾蛟, 邹峥嵘. 基于体素的三维 GIS 数据模型的研究[J]. 矿山测量, 2001. 3.

[参 考 文 献]

- [1] 王效科, 欧阳志云, 肖寒, 等. 中国水土流失敏感性分布规律及其区划研究[J]. 生态学报, 2001, 21(1): 14—19.
- [2] 黄炎和, 林敬兰, 蔡志发, 等. 影响福建省水土流失主导因子的研究[J]. 水土保持学报, 2000(14): 36—40.
- [3] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RULSE), Agricultural Handbook No. 537, United States Department of Agriculture, Washington: 1997.
- [4] 周伏建, 陈明华, 林福兴, 等. 福建省降雨侵蚀力指标 R 值[J]. 水土保持学报, 1995, 9(1): 13—18.
- [5] 刘新华, 杨勤科, 汤国安. 中国地形起伏度的提取及在土壤侵蚀评价中的应用[J]. 水土保持通报, 2001, 21(1): 57—62.
- [6] 马晓微, 杨勤科. 基于 GIS 的中国潜在土壤侵蚀评价指标研究[J]. 水土保持通报, 2001, 21(2): 41—44.
- [7] 曾从盛, 汤小华, 等. 福建省生态环境现状调查报告[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2003.
- [8] 福建省土壤普查办公室. 福建省土壤[M]. 福建科学技术出版社, 1991.