

# 重庆市森林生态系统水源涵养功能研究

李莉<sup>1</sup>, 苏维词<sup>1,2</sup>, 葛银杰<sup>3</sup>

(1. 重庆师范大学 地理与旅游学院 重庆 400047; 2. 贵州省山地资源研究所, 贵阳 550001; 3. 浙江省地理信息中心, 杭州 310000)

**摘要:**以重庆市为研究区域,根据该区自然地理环境条件的差别,利用 2001—2010 年重庆市 MODIS 植被类型数据,划分为针叶林、阔叶林、针阔混交林、灌木林、草地、湿地和 5 个森林生态系统类型区域,利用年降水量,林冠截留率数据,结合气象观测数据,计量和评述了该地区 2001—2010 年间森林生态系统水源涵养能力及其变化。结果表明:总体格局空间上,东部巫溪、城口、酉阳等地区由于植被状况良好,其森林生态系统水源涵养能力较强;中西部渝中区、沙坪坝区、大足县等地区由于植被状况较差,是森林生态系统水源涵养能力的薄弱环节;东部森林生态系统水源涵养能力强,西部弱,巫溪县最强,渝中区最弱;其中渝东北生态涵养发展区森林生态系统水源涵养能力最强,都市功能核心区森林生态系统水源涵养能力最弱;三峡库区森林生态系统水源涵养能力较强,平均为 61 亿  $\text{m}^3$ ;2001—2010 年,重庆市森林生态系统水源涵养量呈逐渐上升的趋势,但受降水影响,各年差异明显,多年平均水源涵养量为 103 亿  $\text{m}^3$ ,2010 年森林生态系统水源涵养量最高为 129 亿  $\text{m}^3$ ,2006 年森林生态系统水源涵养量最低为 73 亿  $\text{m}^3$ 。

**关键词:**森林生态系统;水源涵养能力;空间格局变化;重庆市

中图分类号:S715

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)02-0096-05

## Analysis on Water Conservation Capacity of Forest Ecosystem in Chongqing

LI Li<sup>1</sup>, SU Weici<sup>1,2</sup>, GE Yinjie<sup>3</sup>

(1. College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China; 2. Guizhou Institute of Mountain Resources, Guiyang 550001, China; 3. Geographic Information Center of Zhejiang, Hangzhou 310000, China)

**Abstract:** In this paper, Chongqing was selected as research area. According to the difference of natural environment and the main MODIS vegetation type data of Chongqing from 2001 to 2010, forests in Chongqing were divided into coniferous forest, broadleaf forest, mixed conifer-broadleaf forest, shrubbery, meadow, wetland and five corresponding types of forest ecosystems. And then based on relevant indicators such as annual rainfall and crown cover rate of forest data, the water conservation capacity for different types of forest ecosystems and its development trends in the past ten years were calculated and assessed. The water conservation capacity of forest ecosystems is strong in east and weak in west, is the strongest in Wuxi County, and is the weakest in Yuzhong. Besides, the water conservation capacity of forest ecosystems is the strongest in the ecological conservation area in the northeast of Chongqing and is the weakest in the core area of city functions. The water conservation capacity of forest ecosystems in Three Gorges Reservoir is very strong, reaching up to 61 hundred million cubic meters in average. Overall, the Chongqing Municipal water conservation forest ecosystem in the decade showed a gradual upward trend, but was influenced by precipitation, significantly different each year, The annual average amount of water conserved through forest ecosystems within this region is about 103 hundred million cubic meters. The amount of water conservation for different types of forest ecosystems was the highest(129 hundred million cubic meters) in 2010 and the lowest(73 hundred million cubic meters) in 2006.

**Keywords:** forest ecosystem; water conservation; spatial pattern change; Chongqing City

森林生态系统水源涵养功能是指涵养土壤水分和补充地下水、森林拦蓄降水、调节河川流量功能。森林水源涵养功能是森林、降水、土壤等共同作用的结果<sup>[1]</sup>。近年来,森林资源不断减少,森林生态系统的多功能性的作用越来越重要<sup>[2]</sup>。自20世纪50年代,森林水文学主要向两个方向发展,其中一部分学者致力于森林水文机制和水文特征的研究,探讨森林中水分运动规律,包括降水截持、地被物截持、土壤渗透等。另一部分学者从生态系统水平研究水文系统的能量流动、物质循环和水质变化等,从宏观上阐明森林生态系统的基本功能与水文特征的相互关系。其中Guo等对我国湖北兴山县生态系统的服务功能进行了研究报道<sup>[3]</sup>,Hamid等利用评估方法对伊朗北部森林系统价值进行了研究探讨<sup>[4]</sup>。我国关于森林水文方面的研究起步较晚,但发展很快,近几年,我国学者也对森林生态系统的生态服务功能进行了研究评估<sup>[5-7]</sup>,研究证明,森林生态系统具有巨大的生态功能,包括涵养水源、调节径流等功能,同时,森林复杂的结构,能对降水层层拦截,并将地表径流更多的转化成地下径流<sup>[8]</sup>。

重庆市是我国典型的山水城市,地处全国二、三级地形阶梯的自然过渡地带,属于典型的生态脆弱区,三峡库区是我国重要的水源涵养区和长江上游重要的生态屏障,近年来随着工业化、城镇化和城乡一体化的推进,重庆市的森林生态系统及水源涵养功能均发生的较显著的变化,并直接影响三峡库区水质和生态安全,作为国家重点生态功能区,目前还缺乏系统研究,主要存在森林资源现状无统一结果、森林植被水源涵养功能主要集中少数植被类型上,因此尚无宏观尺度上的统一评价及其空间格局分析。开展重庆市森林生态系统结构与功能评价研究,特别是水源涵养功能研究,为森林生态系统预警提供科学依据,对指导三峡库区土地利用和植被建设具有重要的意义。

## 1 研究区概况

### 1.1 自然地理概况

重庆市属中亚热带湿润季风气候区,年均降水量为1 000 mm,雨量充沛,年降水分配不均,年平均气温在18℃左右,无霜期达300 d以上。在地貌上,以山地丘陵为主,地形起伏大(海拔高度最高为2 796.8 m,最低为73.1 m),地表切割破碎,生态环境极为脆弱,水土流失严重,流失面积高达4.35万km<sup>2</sup>,占幅员面积的52.8%。但由于重庆是三峡库区的中心所在,是长江流域重要的生态保护屏障和全国水资源战略储备宝库,生态地位重要,但目前重庆市森林生态

系统的质量、结构、空间分布格局及其生态功能与国家生态文明建设和三峡库区生态安全的需求尚存较大差距。

### 1.2 森林资源现状

重庆拥有十分丰富的森林资源,区域内植被丰富,植被特征主要有暖性针叶林、常绿阔叶林、竹林和常绿阔叶灌丛等,其中亚热带常绿阔叶林的表现特征最为明显。截至到2010年,其中林业用地面积是368.5万hm<sup>2</sup>,占土地面积的比率为44.39%,森林面积223.7万hm<sup>2</sup>,占林业用地面积的比率是61.5%,疏林地的面积是5.3万hm<sup>2</sup>,占林业用地的比率是1.45%,无立木林地面积是9万hm<sup>2</sup>,占林业用地的比率是2.46%,灌木林地面积是86万hm<sup>2</sup>,占林业用地的比率23.51%,苗圃地面积是0.16万hm<sup>2</sup>,占林业用地的比率是0.03%,宜林荒地面积是41.6万hm<sup>2</sup>,占林业用地的比率是11.4%。森林绿化率30.48%,森林覆盖率27.15%,活立木蓄积量为7 446万m<sup>3</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 数据源

森林水源涵养功能研究主要利用重庆市2001—2010年气象观测降水数据以及遥感数据,研究采用的遥感数据选择EOS/Terra卫星的MODIS植被数据,时间范围是2001年1月到2010年12月。MODIS即中分辨率成像光谱仪器(Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer)为美国宇航局研发制造的大型空间遥感仪器,用以了解全球气候的变化情况以及人类活动对气候的影响,最大空间分辨率可达250 m。MODIS的多波段数据可以同时提供反映陆地表面状况、云边界、云特性、海洋水色、浮游植物、生物地理、化学、大气中水汽、气溶胶、地表温度、云顶温度、大气温度、臭氧和云顶高度等特征的信息。可用于对陆表、生物圈、固态地球、大气和海洋进行长期全球观测。

### 2.2 数据处理

根据MODIS数据集,将重庆市2001—2010年土地覆被数据通过重分类分成7类,并进行空间重采样将分辨率改为500 m×500 m,根据重庆市2001—2010年每月各气象站点降水量,统计出各站点年降水量,通过反距离加权插值法得到每年降水的栅格数据(栅格大小为500 m×500 m);通过栅格计算器,计算出每个栅格的森林生态系统水源涵养量,再通过分区统计即可得到重庆市总森林生态系统水源涵养量。

### 2.3 森林生态系统年水源涵养量的估算方法

森林生态系统水源涵养量主要有两部分组成,一

部分是森林林冠层截留储量,另一部分是森林的土壤对水分的拦截、渗透与储藏雨水的数量总和。本文采用森林林冠层对降水的截留量来衡量森林生态系统的水源涵养能力。

森林林冠层对降水的截留量主要包含:附加截留量、树干截留量、林冠滴下雨量、冠下雨量、树干容水量、林冠截留储量。附加截留量是指由于表面张力和重力的均衡作用而被吸附或积蓄在枝、叶的分杈处的雨滴,这部分保留下来的雨水有一部分直接蒸发返回大气中。树干截留量是指顺着枝条、树干流到地面的雨滴。林冠滴下雨量是指随着保留雨量的增加导致表面张力和重力失去平衡,自然地或由于风吹动而从林冠滴下的雨滴。冠下雨量是指降落到森林中未接触到树体,直接穿过林冠间隙落到林地上的雨滴。树干容水量是指树体吸收比例很小的一部分雨量。林冠截留储量是指一次连续降雨终止时,被林冠拦截储留在枝叶上的那部分雨量,即林冠截留量是林冠截留储量、附加截留量与树干容水量三者之和。至于对降

雪的截留,其方式大致和降雨截留相同,因此森林生态系统对水源的涵养表现为林冠截留量<sup>[9]</sup>。林冠层对降雨的截留量占降雨的比重为林冠截留率。

水源涵养量即林冠层截留量可通过降雨量和林冠层对降雨的截留率关系式来计算。计算单位像元水源涵养量公式如下:

$$W_i = \sum S \times P_i \times L_i \times 0.001 \tag{1}$$

式中: $W_i$ ——研究区域的森林水源年涵养量( $\text{m}^3$ ); $S$ ——像元面积  $2.5\text{ m} \times 105\text{ m}$ ;  $P_i$ ——研究区域的年降雨量( $\text{mm}$ );  $L_i$ ——第  $I$  类森林的林冠截留率。

3 结果与分析

重庆市不同时期各类森林面积如表 1 所示,依据公式(1)和各年降水栅格数据以及各森林类型对降雨的截留率(表 2),经计算得到重庆市 10 a 来森林生态系统水源年涵养量栅格数据,通过分区统计,得到重庆市、五大生态功能区以及三峡库区 10 a 来水源涵养量,如表 3 所示。

表 1 重庆市不同时期各类森林面积 10<sup>3</sup> km<sup>2</sup>

年份	针叶林	灌木林	针阔混交林	阔叶林	草地	湿地	合计
2001	1.43	1.42	17.55	3.83	30.89	0.81	55.93
2002	1.13	0.56	18.58	2.10	27.36	0.40	50.13
2003	0.51	0.27	21.83	2.10	22.51	0.58	47.8
2004	0.50	0.11	21.96	2.32	20.34	0.90	46.13
2005	0.40	0.14	21.2	2.85	19.85	0.79	45.23
2006	0.36	0.15	19.99	2.64	19.11	0.66	42.91
2007	0.63	0.14	22.16	2.70	22.02	0.30	47.95
2008	0.72	0.15	24.31	2.75	22.24	0.38	50.55
2009	0.72	0.14	24.12	2.99	20.78	0.51	49.26
2010	0.42	0.06	38.78	1.12	16.87	0.99	58.24

表 2 各森林类型林冠对降雨量的截留率<sup>[9-10]</sup>

项目	针叶林	灌木林	针阔混交林	阔叶林	草地	湿地	其他
截留率/%	29.9	19.6	27.8	31.2	15	38	0

表 3 重庆市不同时期各区域生态系统水源涵养量 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>

年份	重庆市	都市功能核心区	都市功能拓展区	城市发 展新区	渝东南生态 保护区	渝东北生态 涵养发展区	三峡 库区
2001	87.17	0.5	3.13	16.76	27.08	39.71	48.99
2002	107.78	0.47	3.29	21.96	36.17	45.9	61.16
2003	113.22	0.29	2.28	15.43	36.37	58.87	68.36
2004	109.93	0.36	2.09	15.81	40.83	50.84	64.23
2005	93.98	0.36	1.3	12.01	29.66	50.65	57.79
2006	72.62	0.33	1.04	9.55	24.85	36.85	44.38
2007	113.77	0.62	2.18	14.65	40	56.32	68.5
2008	112.65	0.52	2.38	15.53	37.58	56.63	67.63
2009	97.01	0.55	2.35	13.99	30.49	49.64	58.16
2010	128.91	0.35	2.83	18.39	50.43	56.91	69.49

由表3可知,2001年重庆市森林生态系统水源涵养量为87亿 $\text{m}^3$ ,2006年森林生态系统水源涵养量最低为73亿 $\text{m}^3$ ;产生这一现象的主要原因受降水量的影响,2006年气候异常,全国平均气温 $9.9^{\circ}\text{C}$ ,较常年偏高 $1.1^{\circ}\text{C}$ ,是自1951年有气象记录以来最暖的一年,全国平均年降水量较常年略偏少,重庆遭受特大高温伏旱,重庆平均气温达到同期历史最高值,持续时间长,暑热强度高,与此同时,重庆各地雨水非常少,大部分地区雨量不及常年的三分之一。江津、大足、璧山、万盛、合川、铜梁、南川、綦江、巴南9个区县降雨稀少突破有正式气象观测以来的历史纪录<sup>[11]</sup>;渝东北生态涵养发展区森林生态系统水源涵养能力最强,多年平均水源涵养量为50.23亿 $\text{m}^3$ ,渝东南生态保护发展区水源涵养能力排列第二为35.35亿 $\text{m}^3$ ;三峡库区地形复杂、物种丰富、群落多样,在重庆范围内覆盖21个区县,地跨东西部。三峡库区水源涵养能力较强,多年平均森林生态系统水源涵养量为60.86亿 $\text{m}^3$ ;同样的,由于受降水的影响,2006年森林生态系统水源涵养量最低为44.38亿 $\text{m}^3$ ;2010年森林生态系统水源涵养能力最高为69.50亿 $\text{m}^3$ ;森林生态系统2001—2006年呈恶化的趋势,森林面积减小,2006—2010年森林生态系统得到恢复,但由于水源涵养能力受降水影响较大,导致各年水源涵养能力变化大,变化趋势大体与降水一致。同时,三峡库区水源涵养能力分布不均,呈现下游强,上游弱的局面,下游的巫溪县、云阳县、奉节县高于上游的江津区、大渡口区。

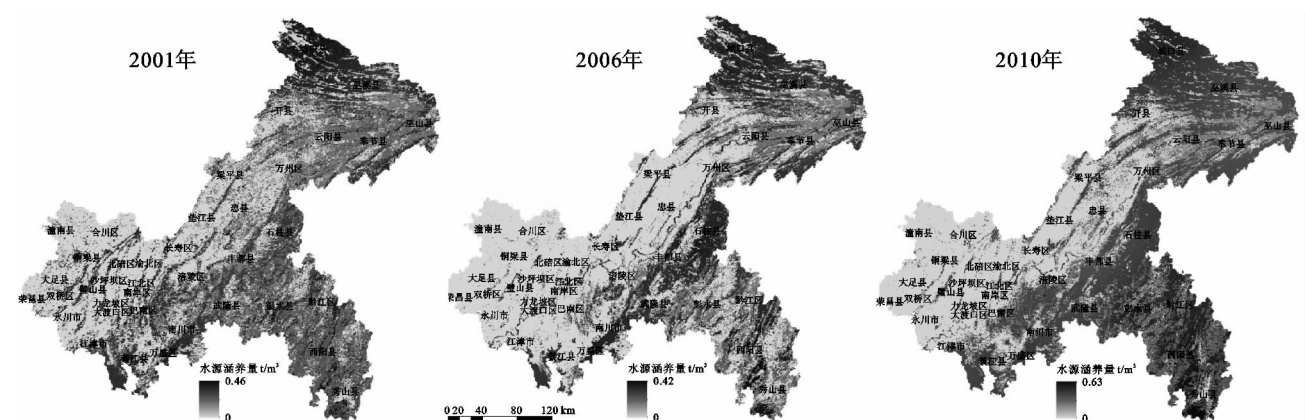


图1 重庆市不同年份森林生态系统水源涵养量

森林生态系统结构复杂,其蒸发、蒸腾过程极难直接测定<sup>[12]</sup>,并受树种、林龄、海拔、降水量等生物和非生物因子共同作用<sup>[13]</sup>。由于资料和费用的限制,本文在分析重庆市森林生态系统水源涵养能力时,只考虑了影响较大的降雨量与不同树种,即不同植被类型的截留率。但对于区域性的森林生态系统来说,并不妨碍其水源涵养功能的客观性评价。

图1分别为重庆市2001年,2006年,2010年森林生态系统水源涵养量,由图可知:2006年较2001年,森林受到严重的破坏,总面积减小23.3%,其中,水源涵养能力较强的湿地面积减小18.5%,阔叶林面积减小31.7%,针叶林面积减小74.8%,灌木林减小89.4%。2010年,水源涵养能力略有增强,主要是森林生态系统得到恢复,森林面积比2006年增大35.7%,涵养能力较强的湿地面积比2006年增大50%,针阔混交林面积较2006年增大94%,降水比2006年也有所增大。所以,2010年生态系统水源涵养能力略有增强,总体来说,2010年森林面积最大,且水源涵养能力强的面积增加,湿地和针阔混交林面积最大,虽然降水量不是最高,但是2010年水源涵养能力最强。同时,东北部城口县、巫溪县、巫山县、东南部的秀山县、酉阳县、彭水县、涵养能力较强,其中,巫溪县最强,中西部渝中区、沙坪坝区、大足县、潼南县相对较弱,其中,渝中区最弱,主要是由于东部生态区植被覆盖率高、森林面积大,而西部是主城区以及城从五大功能区来看,各区水源涵养变化趋势与总水源涵养变化趋势大体一致,由于2006年受特大干旱的影响,各区2006年涵养量最低,在图中出现明显的波谷,由于从2006—2010年,对森林生态系统的保护日益重视,森林面积增大,2006—2010年森林生态系统水源涵养能力呈逐渐增强的趋势,在2009年有一个转折,主要是受到森林面积的影响,城市发展新区排列第三为15.41亿 $\text{m}^3$ ;都市功能拓展区和都市功能核心区为主城九区,水源涵养能力较低,拓展区为2.29亿 $\text{m}^3$ ;核心区最低为0.43亿 $\text{m}^3$ 。

### 4 结论

重庆市森林生态系统水源涵养量10a呈逐渐上升的趋势,但受降水影响,各年差异明显,其中,由于2006年由于特大干旱,达到最低值。空间上,东部巫溪、城口、酉阳等地区由于植被状况良好,其森林生态系统水源涵养能力较强;中西部渝中区、沙坪坝区、大

足县等地区由于植被状况较差,是森林生态系统水源涵养能力的薄弱环节。

五大功能区中,南北两翼由于植被状况良好,森林面积广大,森林生态系统水源涵养能力较强,其中,北部最强,南部第二;中西部城区植被状况相对较弱,城市发展区排列第三、其次是都市功能拓展区,最弱的是都市功能核心区,三峡库区区位十分重要,森林生态系统水源涵养能力较强。上下游分布不均,上游较弱,下游较强;整体呈递增趋势,但是受降水影响较大,出现 2006 年的最低值。

综上,对于东部水源涵养能力较强的地区,应该加强生态环境保护;对于中西部水源涵养能力较弱的地区,应该加强生态环境的建设,禁止滥砍滥伐,加大植树造林力度。同时,若不考虑降水,森林生态系统水源涵养能力 10 a 来呈递增的趋势,但由于受降水的影响较大,且降水年际变化大,导致不同年份水源涵养能力差异明显;因此,森林生态系统水源涵养量是受降雨量和森林面积的双重影响。

#### 参考文献:

- [1] 邓坤枚,石培礼,谢高地. 长江上游森林生态系统水源涵养量与价值的研究[J]. 资源科学,2002,24(6):68-73.
- [2] 满正闯,苏春江,徐云,等. 岷江上游森林涵养水源的能力变化分析[J]. 水土保持研究,2007,14(3):223-225.
- [3] Guo Z, Xiao X, Gan Y, et al. Ecosystem functions, services and their values: a case study in Xingshan County of China[J]. Ecological Economics,2001,38(1):141-154.
- [4] Amirnejad H, Khalilian S, Assareh M H, et al. Estimating the existence value of north forests of Iran by using a contingent valuation method[J]. Ecological Economics,2006,58(4):665-675.
- [5] 欧阳志云,王效科. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报,1999,19(5):607-613.
- [6] 肖寒,欧阳志云,赵景柱. 森林生态系统服务功能及其生态经济价值评估初探:以海南岛尖峰岭热带森林为例[J]. 应用生态学报,2000,11(4):481-484.
- [7] 张文广,胡远满,张晶,等. 岷江上游地区近 30 年森林生态系统水源涵养量与价值变化[J]. 生态学杂志,2007,26(7):1063-1067.
- [8] 王春菊,汤小华. GIS 支持下的水源涵养功能评价研究[J]. 水土保持研究,2008,15(2):215-216.
- [9] 潘兆宇,王玉峰. 芦山地震灾后重建的资金支持研究:以四川省宝兴县为例[J]. 农村经济,2014(008):73-76.
- [10] 赵同谦,欧阳志云,王效科,等. 中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 自然资源学报,2003,18(4):443-452.
- [11] 王凌,叶殿秀,孙家民. 2006 年中国气候回顾[J]. 气候变化研究进展,2007,3(2):111-113.
- [12] 周晓峰,赵惠勋,孙慧珍. 正确评价森林水文效应[J]. 自然资源学报,2001,16(5):420-426.
- [13] 刘世荣,孙鹏森,王金锡,等. 长江上游森林植被水文功能研究[J]. 自然资源学报,2001,16(5):451-456.
- [12] Weyhenmeyer C E, Burns S J, Waber H N, et al. Isotope study of moisture sources, recharge areas, and groundwater flow paths within the eastern Batinah coastal plain, Sultanate of Oman[J]. Water Resources Research, 2002,38(10): 2-22.
- [13] Scholl M A, Ingebritsen S E, Janik C J, et al. Use of precipitation and groundwater isotopes to interpret regional hydrology on a tropical volcanic island: Kilauea volcano area, Hawaii[J]. Water Resources Research, 1996,32(12):3525-3537.
- [14] Guglielmi Y, Mudry J. Estimation of spatial and temporal variability of recharge fluxes to an alluvial aquifer in a fore land area by water chemistry and isotopes[J]. Groundwater, 1996,34(6):1017-1023.
- [15] 田级生. 柳江盆地岩溶水富水规律剖析[J]. 石家庄经济学院学报,1985,8(4):21-24.
- [16] 李晖,蒋忠诚,王月,等. 新疆地区大气降水中稳定同位素的变化特征[J]. 水土保持研究,2009,16(5):157-161.
- [17] 郭晓军,苏凤洹,洪勇,等. 蒋家沟流域雨季降水中氢氧同位素特征分析[J]. 水土保持研究,2012,19(2):82-85.
- [18] 阮桂色. 电感耦合等离子体原子发射光谱(ICP—AES)技术的应用进展[J]. 中国无机分析化学,2012,1(4):15-18.
- [19] 杜涛,王莹,高超,等. 离子色谱法测定饮用水中无机阴离子[J]. 沈阳师范大学学报:自然科学版,2011,29(2):260-263.
- [20] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [21] 黄一民. 洞庭湖流域水循环中稳定同位素的变化特征及其影响机制研究[D]. 长沙:湖南师范大学,2013.
- [22] 张应华,仵彦卿,丁建强,等. 运用氧稳定同位素研究黑河中游盆地地下水与河水转化[J]. 冰川冻土,2005,27(1):106-110.

(上接第 95 页)