

文章编号: 1008-2786-(2006)4-948-06

基于 RS和 GIS的青藏高原草地生态系统 土壤水分保持功能及其经济价值评估 ——以生长季为例

于 格^{1, 2}, 鲁春霞¹, 谢高地¹, 郭广猛^{1, 2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 根据生态系统服务功能理论, 利用 RS和 GIS技术, 以土壤含水量为基础因子, 对青藏高原区草地生态系统的土壤水分保持功能及其价值的动态变化过程进行有效评价, 以直接的货币形式反映出青藏高原主要草地类型的土壤水分保持功能的大小。通过计算和分析发现: (1) 由于草地类型分布面积、单位面积保持量的影响, 各种类型草地提供的土壤水分保持功能及其价值贡献率有较大差异, 按照大小依次为: 高寒草原类、高寒草甸类, 高寒荒漠类、高寒草甸草原类和温性山地草甸类; (2) 草地对土壤水分保持量及其价值呈现出较强的阶段性变化过程; (3) 由于各种草地类型所处地理区域不同、草地本身各种自然特点和整体生态功能的不同, 青藏高原草地生态系统提供的土壤水分保持功能及其经济价值呈现出明显的地域分布规律: 自西北至东南逐渐降低。应该说, 由于青藏高原地域、地理和独特气候等原因所致, 本文计算得出的青藏高原草地生态系统土壤水分保持功能及其价值的具体数值不一定十分准确, 但是能在一定程度上反映出土壤水分保持功能的强大及其在生长季中随时间变化的动态过程和基本规律(这种规律性结论与前人研究结论一致), 这是一种在区域尺度上揭示草地生态系统土壤水分保持功能及其价值动态变化过程的方法尝试, 这也是对动态评估生态服务功能的一种有益尝试。

关键词: 青藏高原; 草地生态系统; 土壤水分保持功能; 价值评估

中图分类号: Q948

文献标识码: A

青藏高原是地球上最大最高的高原, 其海拔高于 4 000 m 的地域面积就达 $120 \times 10^4 \text{ km}^2$, 被誉为地球的“第三极”。青藏高原以其独特的地理气候特征, 对亚洲甚至北半球的现代大气环流、气候和碳平衡等均产生重要影响^[1]。青藏高原是我国包括亚洲许多河流的发源地, 长江、黄河、布拉马普特拉河、恒河、印度河、湄公河、萨尔温江和塔里木河均发源于此。同时, 青藏高原还是世界上最大的高原湖泊分布区, 湖泊面积占 $30\,794 \text{ km}^2$, 占我国湖泊总面积的 38.4% ^[2]。

植被及其变化是影响区域水分平衡的一个重要因素, 很多研究表明, 植被覆盖与土壤水分之间具有显著的相关关系^[3-6]。多年来, 国内外学者对于土壤湿度的研究虽较多, 但很少涉及青藏高原高地区^[7]。根据对青藏高原高寒草甸土地覆盖与土壤含水量之间关系的测定试验^[8]发现关系, 尤其是在 20

cm 深度范围内土壤水分随植被覆盖度呈二次抛物线趋势增加。由此可见, 青藏高原草地生态系统具有良好的土壤水分保持功能。

青藏高原草地资源十分丰富, 占整个青藏高原总面积的 50%, 属于该区主要植被类型之一。而近年来由于人为活动的干扰, 草地生态系统受到严重破坏, 土壤水分保持功能逐渐减弱, 大江大河源头日渐干涸, 青藏高原自然生态环境呈现恶化的趋势。

如何正确评价青藏高原草地生态系统土壤水分保持作用, 对于人们正确认识草地生态系统的生态屏障作用和有效保护天然草场而言意义重大。本文将根据生态系统服务功能理论, 从大尺度范围着手, 利用 RS和 GIS技术, 以土壤含水量为基础因子, 对青藏高原草地生态系统的土壤水分保持功能及其价值的动态变化过程进行有效评价。

收稿日期 (Received date): 2005-11-11; 改回日期 (Accepted): 2006-01-21。

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金重点项目 (No 30230090) [National Science Foundation (No 30230090)]

作者简介 (Biography): 于格 (1977-), 女, 博士生, 主要从事生态系统服务功能问题研究。Email: yug@igsnr.ac.cn [Yu Ge, female, doctor candidate, born 1977, studying ecosystem services]

1 研究方法

1.1 数据来源

美国 Terra/EOS 卫星中搭载的中分辨率成像光谱仪 (MODIS) 于 1999-12 发射升空, 以其 36 个波段, 最大空间分辨率为 250 m, 时间分辨率为 1~2 d 而成为目前世界上最新、最全面的集成遥感数据获取平台。本文以国家科技基础条件平台建设示范项目“国家对地观测系统 MODIS 技术标准共享平台”提供的经过辐射纠正和地理纠正生成标准的 MODIS 1B 数据为基础数据来源。

波段选择: 本研究计算反照度时选取 MODIS 第 1 和 2 波段, 其波长范围分别为 620~670 nm 和 841~876 nm, 分辨率为 1 000 m (由 250 m 合成)。计算昼夜温差时选取 MODIS 第 31 波段, 其波长范围为 10.780~11.280 μm , 分辨率为 1 000 m, 投影方式为等积圆锥投影。

空间选择: 本文所能获取的遥感数据的范围, 基本涵盖青藏高原大部地区, 包括 84°~104°E, 25°~40°N 范围的地区。

时间选择: 为反映出土壤水分保持功能及其价值形成过程, 本研究以 2003 年为例, 数据获取日期为 04-15 05-13 06-02 07-20 08-30 09-24 各期昼、夜图像, 卫星过境时间大约为每天 10:30 和 23:00 左右, 时间范围上基本囊括青藏高原草地生态系统的生长季。

处理软件: ENV I 3.5 (镶嵌 MODIS 1B 数据处理模块) 和 ARCGIS 8.3

1.2 计算模型

土壤含水量是土地旱涝的基础, 是土壤体和土壤肥力的重要组成部分, 也是一切植物正常生活的重要因素。因此本文以土壤含水量作为评价的基本物理量因子。

土壤孔隙中分布有空气和水, 定义孔隙中水的质量与土粒质量之比为土壤的含水量, 即土壤中水的质量分数。由于天然土壤中都存有一定的水分, 所以在同样土粒密度的情况下, 由于含水量的不同, 土壤质量密度、比热容和热传导系数都会随之变化, 最终引起土壤真实热惯量的变化。因此对土壤含水量的反演可以通过利用土壤含水量和真实热惯量之间的关系获得。本研究采用马霭乃 (1996)^[9] 改进的土壤热惯量与土壤水分之间的复合指数统计模

型。

土壤热惯量是热传导系数和热扩散系数的函数, 如下

$$P = k / D_H^{1/2}$$

式中 P 为热惯量, k 为热传导系数, D_H 为热扩散系数。

而就热扩散系数与土壤水分之间的关系来看, 在水分少的地方, 其热扩散系数是随着水分的增加而增加的。因此在一定水分含量时表现为极大值, 当超过此水分含量时, 热扩散系数即减少。呈现极大热扩散系数的水分含量是因土壤而异的。热传导系数也呈现出相似的关系。根据以上关系以及前苏联农业物理学专家的实验公式, 马霭乃提出

$$P = \{ 2 \cdot 1 d_s (1.2 - 0.02 d_p \omega_{w,s}) \times \exp [- 0.007 (d_p \omega_{w,s} - 20)^2] + d_p (0.8 + 0.02 d_p \omega_{w,s}) \}^{1/2} \times (0.2 + d_p \omega_{w,s} / 100) d_p \times (1/1000)^{1/3}$$

式中 $d_p = (2.65)$ 为常数, 土壤热惯量 P 与土壤含水量分数 $\omega_{w,s}$ 、土壤相对密度 d_s 存在一一对应关系, 即每一组 $(\omega_{w,s}, d_s)$ 对应唯一的 P 。若 d_s 已知, 则可以建立 P 与 $\omega_{w,s}$ 的对应查找表, d_s 可以由分类识别, 并且由土壤性质确定其数值。将上式与土壤查找表结合起来, 即构成土壤含水量的遥感信息模型。

草地生态系统保持土壤水分价值量的核算采用影子工程法。根据欧阳志云等^[10] 的算法, 植被保持土壤水分价值类似于水库蓄水, 通过建立蓄水量为 1 的水库影子工程的费用来估算保持土壤水分价值的价值。我国每建设 1 m^3 库容的成本花费为 0.67 元, 所以保持土壤水分价值的间接经济价值为 2.71 $\times 10^{11}$ 元/a。

1.3 计算步骤

1.3.1 数据预处理

首先, 由于经过辐射校正之后的 MODIS 1B 产品中存在着 bow-tie 现象, 即“蝴蝶结”现象, 表现为相邻两个扫描行之间有部分数据相同, 越向边缘重复数据越多。因此首先应该对数据进行 bow-tie 纠正。

其次, 选取地面控制点, 对经过 bow-tie 纠正的图像做几何精校正。

再次, 对分幅的图像进行图像拼接合成。

最后, 使用公式 $(DN - \text{offset}) \times \text{scale}$ 将原始 DN 值转变为反射率, 比例系数 (scale) 和偏移值 (offset) 可以在原始数据中找到。

1.3.2 土地覆被分类

对现有图像按照非监督分类 (isodata) 进行分

类,并结合青藏高原 1:400万植被图和 1:400万生态资产分布图,提取出温性山地草甸、高寒草甸类、高寒草原类、高寒草甸草原类、高寒荒漠类、亚热带硬叶常绿阔叶林、亚热带山地常绿针叶林、湖泊、沙漠戈壁等 9种地物类型(图 1)。

此处应该指出的是,由于图像分辨率和分类精度所限,所以分类出的结果都属于面积较大的地物类型,面积较小的已被合并。

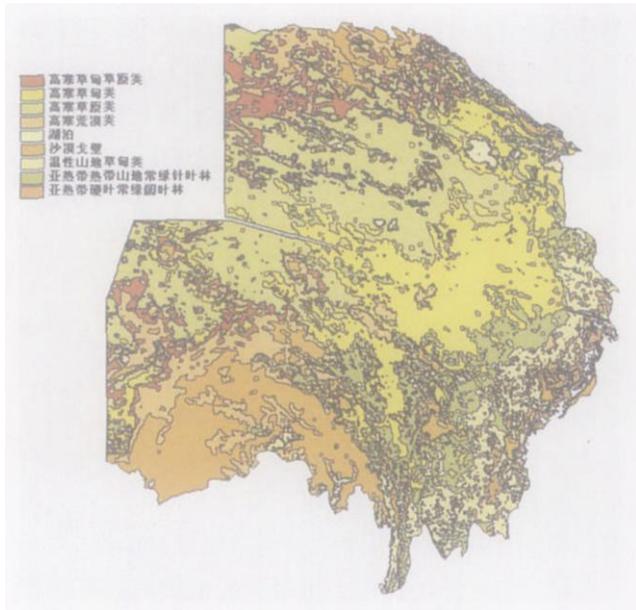


图 1 青藏高原主要植被类型

Fig. 1 Main vegetation types of Qinghai-Tibet Plateau

1.3.3 反照度 ABE

反照度是地物全波段的反射比,即各个波段的反射系数。

利用经过预处理的 MODIS 1 和 2 波段通道值,根据经验公式

$$ABE = 0.423 G_{ch_1} + 0.577 G_{ch_2}$$

计算出反照度。

1.3.4 昼夜温差

昼夜温差是在白天与黑夜的实际温度图配准的基础上,相减所得。经过马霭乃研究,辐射温度之差与实际温度之差十分接近,因此在本研究中昼夜真实温度之差以昼夜辐射温度之差近似代替:

$$\Delta T = T_{ch_{31, da}} - T_{ch_{31, ni}}$$

1.3.5 表观热惯量 ATI

表观热惯量 ATI 是波段比值,无量纲,计算方法如下

$$ATI = ABE / \Delta T$$

1.3.6 真实热惯量 $RTI(P)$

根据模型推倒,最后得出:

$$RTI(P) = [(2a^2 - B^2)^{1/2} - B] / (2\omega)^{1/2}$$

其中, $a = 2ATIS_0C_\tau A_1$

$$A_1 = 2 \sin\delta \sin\varphi_a \sin\psi / \pi + \cos\delta \cos\varphi_a (\sin 2\psi + 2\psi) / 2\pi$$

δ 为太阳赤纬; ω 是地球自传的角速度,即周日的角频率,且 $\omega = 2\pi / (24 \times 3600) s^{-1}$; φ_a 是当地纬度; $\psi = \arcsin(\tan\delta \tan\varphi_a)$; 大气透射率 C_τ 取 0.760; B 取 $9.6558667 J / (m \cdot s \cdot K)$ 。

1.3.7 土壤含水量

根据计算出的土壤真实热惯量值,并根据各种不同类型地物获取土壤相对密度,查表获取土壤含水量的质量分数。

1.3.8 涵养水源质量和价值

以计算出的土壤含水量的质量分数,土壤厚度取 10 cm(表层厚度)和 $0.32 \text{ cm}^3 / \text{cm}^3$ 的容积含水量三者的乘积,得出草地生态系统涵养水源的质量,并按照不同草地类型进行分类。并通过影子工程法,估算出各种草地类型涵养水源的经济价值。

2 草地生态系统土壤水分保持功能及其经济价值评估

应当指出的是,由于接收到的遥感图像范围的限制,本文的研究区未能包含青藏高原全部区域,因此以下得出的结论也仅能代表本研究区的范围。

2.1 主要草地类型土壤水分保持功能物理量

2.1.1 物理量

由于不同草地类型具有不同的生物群落结构,因而提供的土壤水分保持功能亦有较大差异。在研究区中,通过对整个生长季主要类型草地类型单位面积上土壤水分保持功能物理量的估算表明,不同草地类型提供的土壤水分保持能力差异较大,最高为高寒草原类,达 $65 \text{ kg} / \text{km}^3$,最低为温性山地草甸类,仅为 $41 \text{ kg} / \text{km}^3$ 。高寒草甸类、高寒荒漠类和高寒草甸草原类价值大体相近,分别为 62, 57 和 $55 \text{ kg} / \text{km}^3$ 。

青藏高原研究区中,天然草地生态系统一个生长季提供的土壤水分保持总量为 $60.448 \times 10^6 \text{ t}$,受草地类型分布面积、单位面积保持量的影响,各种类型草地提供的土壤水分保持功能贡献率也有较大差异。其中,高寒草原类贡献率最高,其土壤水分保持量为 $20.144 \times 10^6 \text{ t}$; 剩余依次为高寒草甸类,高寒荒

漠类。高寒草甸草原类和温性山地草甸类贡献率较低, 低于 $10\,000 \times 10^6$ t(表 1)。

表 1 青藏高原研究区主要草地类型土壤水分保持量

Table 1 Soilwater holding capacity of main grasslands in study area

主要草地类型	面积 (10^6 km^2)	单位面积 保持量 (kg/km^2)	土壤水分 保持量 (10^6 t)	贡献率 (%)
高寒草甸草原类	107 738	57	6 104	10.1
高寒草甸类	296 444	62	18 314	30.3
高寒草原类	310 681	65	20 144	33.32
高寒荒漠类	202 940	55	11 226	18.57
温性山地草甸类	113 888	41	4 660	7.71

2.1.2 形成过程

通过计算发现, 在生长季内草地对土壤水分保持量呈现出较强的阶段性变化过程。在第一个阶段(4~7月), 土壤水分保持量在维持正值的基础上逐渐下降, 而在第二阶段(7~9月), 草地对土壤水分的保持量开始逐步回升, 至 9月达到第二阶段的极大值。在不同草地类型中, 两阶段变化特征最明显的是高寒草原类, 其次依次是高寒草甸类、高寒荒漠类、高寒草甸草原类和温性山地草甸类。

这种阶段性变化过程, 主要与青藏高原地区季节变化和草地植物生长的耗水性规律关系有关。当草地植物由返青期进入到生长旺盛期后, 由于蒸腾蒸发作用, 自身耗水量增加, 进而导致对土壤水分保持量功能的相对减弱, 但是自 7月之后, 当植物由生长旺盛期逐渐进入到成熟期和枯黄期后, 自身对水分需求下降, 因而土壤水分保持功能开始逐渐上升。这种规律性在前人研究工作中也得到过有效验证^[11-13]。其中, 高寒草原类土壤水分保持的阶段性最为明显的原因在于, 高寒草原分布于高海拔区域, 其太阳辐射相对更强, 因此在生长旺盛期对水分需求较大。

2.1.3 空间分布

通过运用 ARCNFO 软件计算发现, 由于各种草地类型所处地理区域不同、草地本身各种自然特点和整体生态功能的不同, 青藏高原草地生态系统提供的土壤水分保持功能呈现出明显的地域分布规律: 自西北至东南逐渐降低。

草地植被土壤水分保持功能呈现以上地域分布规律主要源于太阳辐射的地域分布特点。众所周知, 太阳辐射是影响植物生长的主要因子之一, 青藏

高原直接辐射年总量在 $3\,000 \sim 6\,000 \text{ MJ}/\text{m}^2$ 之间, 与同纬度平原地区相比较高出 $2\,000 \sim 3\,000 \text{ MJ}/\text{m}^2$ 。就其空间分布来看, 呈现自西北向东南依次降低的趋势, 藏东南为低值区, 青海的柴达木盆地、藏北高原和阿里地区为高值区。

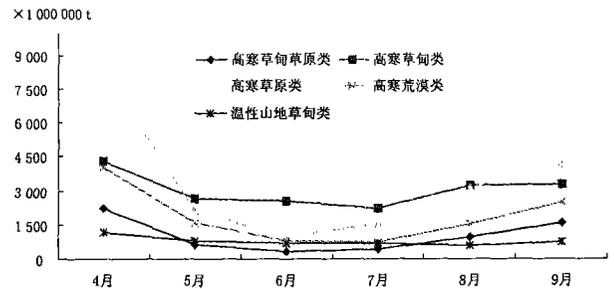


图 2 青藏高原主要草地类型土壤水分保持量动态变化过程图

Fig 2 Monthly change of soil water holding capacity of main grasslands in Qinghai-Tibet Plateau

2.2 主要草地类型土壤水分保持功能的价值评估

本文使用影子工程法, 对主要草地类型土壤水分保持功能进行价值评估。

从单位面积服务价值来看, 最高为高寒草原类, 达 $3.05 \text{ 元}/\text{km}^3$, 最低为温性山地草甸类, 仅为 $1.94 \text{ 元}/\text{km}^3$ 。高寒草甸类、高寒荒漠类和高寒草甸草原类价值大体相近, 分别为 2.80 、 2.63 和 $2.55 \text{ 元}/\text{km}^3$ 。从总价值来看, 青藏高原研究区中天然草地生态系统一个生长季提供的土壤水分保持的总价值为 $2\,805\,155 \times 10^6 \text{ 元}$ 。其中, 高寒草原类贡献率最高, 其土壤水分保持价值为 $947\,781 \times 10^6 \text{ 元}$, 剩余依次为高寒草甸类, 高寒荒漠类, 高寒草甸草原类和温性山地草甸类(表 2 表 3)。

表 2 青藏高原研究区主要草地类型土壤水分保持价值量

Table 2 Service values of soilwater holding capacity of main grasslands in Qinghai-Tibet Plateau

主要草地类型	面积 (10^6 km^2)	单位面积服务价值 ($\text{元}/\text{km}^3$)	服务价值 (10^6 元)	贡献率 (%)
高寒草甸草原类	107 738	2.55	274 569	10.1
高寒草甸类	296 444	2.80	828 571	30.3
高寒草原类	310 681	3.05	947 781	33.32
高寒荒漠类	202 940	2.63	533 180	18.57
温性山地草甸类	113 888	1.94	221 054	7.71

表 3 青藏高原研究区主要草地类型土壤
水分保持价值量动态变化 ($\times 10^6$ 元)

Table 3 Dynamic service values of soil water holding capacity
of main grasslands in Qinghai-Tibet Plateau ($\times 10^6$ yuan)

主要草地类型	4月	5月	6月	7月	8月	9月
高寒草甸草原类	148 236	42 606	20 509	8 795	20 724	33 699
高寒草甸类	289 417	179 748	171 990	47 330	69 177	70 909
高寒草原类	553 273	142 537	62 934	32 588	66 711	89 738
高寒荒漠类	271 764	105 956	52 517	16 166	33 495	53 282
温性山地草甸类	77 929	54 219	45 963	14 842	12 443	15 658

价值量的时空变化特征与物理量类似,均呈现出时间上先下降后上升,空间上自西北至东南依次降低的趋势,原因亦相同,在此不再赘述。

3 结论及讨论

青藏高原是我国乃至亚洲众多大江大河的发源地,作为青藏高原重要生态屏障的草地生态系统具有较强的土壤水分保持功能。本文通过对青藏高原天然草地生态系统土壤水分保持功能的价值评估,以直接的货币形式反映出青藏高原主要草地类型土壤水分保持功能的大小。通过计算和分析,我们认为: 1. 草地生态系统的土壤水分保持功能较强,但是由于不同类型分布面积、单位面积保持量的影响,各种类型草地提供的土壤水分保持功能贡献率也有较大差异。按照大小依次为: 高寒草原类、高寒草甸类,高寒荒漠类、高寒草甸草原类和温性山地草甸类。 2. 草地对土壤水分保持量呈现出较强的阶段性动态变化过程: 在生长季(4~9月)中亦呈现出先下降后上升之势。 3. 由于各种草地类型所处地理区域不同、草地本身各种自然特点和整体生态功能的不同,青藏高原草地生态系统提供的土壤水分保持功能及其经济价值呈现出明显的地域分布规律: 自西北至东南逐渐降低。

应当指出的是,由于土壤水分状况与地表环境有着复杂的关系,在使用遥感数据进行分析时,通常应当辅以样地数据进行有效验证。但是由于青藏高原地域广泛,地形气候条件复杂,很难在整个青藏高原进行布点验证。同时,在查阅了青藏高原现有 60 个气象台站现有数据和前人相关研究后发现,目前鲜有在整个青藏高原范围内对土壤含水量进行大范围测定的相关实验。基于以上原因,本文无法就具

遥感获取的具体数值进行有效验证。

同时由于所能获取数据精度的限制,虽然本文计算出的青藏高原草地生态系统服务功能价值的具体数值不一定十分准确,但是能在一定程度上反映出青藏高原草地生态系统为人类提供的土壤水分保持服务功能之强大。同时通过计算结果我们也可以看出,土壤水分保持功能在生长季中随时间变化的动态过程及其基本规律(这种规律性结论与前人研究结论一致),这是一种在区域尺度上揭示草地生态系统土壤水分保持功能及其价值动态变化过程的方法尝试,这也是对于动态性评估生态服务功能是一种有益的尝试。

致谢: 在研究过程中受到中国科学院地理科学与资源研究所冷允法研究员和王菱研究员的大力帮助,特此致谢。

参考文献 (References)

- [1] Zhou Caiping, Ouyang Hua, Wang Qinxue, et al. Estimation of net primary production in Tibetan Plateau [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(1): 74~79 [周才平, 欧阳华, 王勤学, 等. 青藏高原主要生态系统净初级生产力的估算 [J]. *地理学报*, 2004, 59(1): 74~79]
- [2] Shen Dajun, Chen Chuanyou. Water resources of the Qinghai-Xizang Plateau and its exploitation [J]. *Journal of Natural Resources*, 1996, 11(1): 8~14 [沈大军, 陈传友. 青藏高原水资源及其开发利用 [J]. *自然资源学报*, 1996, 11(1): 8~14]
- [3] Zhu Zixi, Niu Xianqun, Hou Jianxin. Water status dynamic analysis and drought forecast of winter wheat [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1988, 46(2): 203~209 [朱自玺, 牛现群, 侯建新. 冬小麦水分动态分析和干旱预报 [J]. *气象学报*, 1988, 46(2): 203~209]
- [4] Kang S. Z. Research of dynamic simulation of soil water [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1990, 27(1): 17~24 [康绍忠. 土壤水分动态的随机模拟研究 [J]. *土壤学报*, 1990, 27(1): 17~24]
- [5] Qiu Huanlin, Deng Zhenyong, Fang Debiao. Rule of soil water in rainfed agricultural region in Gansu province [J]. *Plateau Meteorology*, 1994, 15(3): 334~341 [仇化民, 邓振镛, 方德彪. 甘肃省东部旱作区土壤水分变化规律的研究 [J]. *高原气象*, 1994, 15(3): 334~341]
- [6] Li Yingnian, Zhao Xinquan, Zhao Liang, et al. Analysis of vegetation succession and climate change in Haibei alpine marsh in Qilian Mountain [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, 25(3): 243~249 [李英年, 赵新全, 赵亮, 等. 祁连山海拔高寒湿地气候变化及植被演替分析 [J]. *冰川冻土*, 2003, 25(3): 243~249]
- [7] Li Yingnian, Shen Zhenxi, Zhou Huakun. The corresponding analysis between soil moisture and main vegetation types of mat cryic cambisols at different topographic position in Haibei area [J]. *Journal of Mountain Science*, 2004, 19(3): 220~225 [李英年, 沈振西, 周华坤. 寒冻锥形土不同地形部位土壤湿度及其与主要植被类型的

- 对应关系 [J]. 山地学报, 2004, 19(3): 220~ 225]
- [8] Wang Genxu, Shen Yongpin, Qian Ju, *et al.* Study on the influence of vegetation change on soil moisture cycle in Alpine meadow [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, 25(6): 653~ 659 [王根绪, 沈永平, 钱鞠, 等. 高寒草地植被覆盖变化对土壤水分循环影响研究 [J]. 冰川冻土, 2003, 25(6): 653~ 659]
- [9] Ma A. N. Model of Remote Sensing [M]. Beijing: Peking University Press, 1997. [马霏乃. 遥感信息模型 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1997.]
- [10] Ouyang Zhiyun, Wang Xiaoke, Miao Hong. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological economic values [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(5): 608~ 613 [欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 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): 608~ 613]
- [11] Li Yingnian, Wang Qiji, Zhou Xingmin, *et al.* The environment characteristic analysis of plant community at alpine meadow [J]. *Alpine zone Research*, 1998, 15(1): 54~ 58 [李英年, 王启基, 周兴民, 等. 高寒草甸植物群落的环境特征分析 [J]. 干旱区研究, 1998, 15(1): 54~ 58]
- [12] Li Yingnian, Zhao Xinquan, Wang Qinxue, *et al.* The comparison of community biomass and environmental condition of five vegetation type in alpine meadow of Hubei Qinghai province [J]. *Journal of Mountain Science*, 2003, 21(3): 257~ 264 [李英年, 赵新全, 王勤学, 等. 青海海北高寒草甸五种植物生物量及其环境条件比较 [J]. 山地学报, 2003, 21(3): 257~ 264]
- [13] Meixue Yang, Tandong Yao, Xiaohua Gou, *et al.* The soil moisture distribution, thawing-freezing processes and their effects on the seasonal transition on the Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2003, 21: 457~ 465

Water Holding Capacity of Grassland Ecosystem and Their Economic Valuation in Qinghai-Tibetan Plateau Based on RS and GIS

YU GE^{1, 2}, LIU Chunxia¹, XIE Gaodi¹, Guo Guangmeng^{1, 2}

(1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2 Graduated School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract Based on the theory of ecosystem services, this article evaluates the capacity of water holding capacity of grassland ecosystem in Qinghai-Tibetan Plateau by using RS and GIS with the factor of water moisture. From the calculation and analysis we can conclude that (1) the capacities of holding water and their values vary with the area and unit value, they are as following: Alpine steppe, Alpine meadow, Alpine desert, Alpine meadow steppe and Temperate montane meadow; (2) the capacities of holding water and their values vary with growing season and present staggered characters; (3) the capacities of holding water and their values vary with physical geographical conditions. In general they decrease from the northwest to the southeast gradually. Although this article cannot evaluate all types of grassland with the limitation of data, yet we can say that this method can reveal the value of water holding capacity of grassland in regional scale, and maybe this can be a kind of helpful attempt to the dynamics research of ecosystem services.

Key words Qinghai-Tibetan Plateau, grassland, holding water capacity, economic valuation