

# 高分辨率遥感影像 GeoEye-1 在黑河下游 柽柳生物量估算中的应用

张 华<sup>1,2</sup>, 赵传燕<sup>2</sup>, 张 勃<sup>1</sup>, 彭守璋<sup>2</sup>

(1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070;

2. 兰州大学干旱与草地生态教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:**以黑河下游绿洲柽柳为研究对象,利用高分辨率遥感影像 GeoEye-1 柽柳分类结果,基于典型样点生物学特性调查与生物量试验,建立柽柳冠幅面积与生物量关系模型,计算研究区柽柳地上部分的生物量,分析黑河 0~2、2~5、5~10 与 10~15 km 不同缓冲带柽柳生物量空间分布规律。结果显示:研究区柽柳总生物量为  $4.10 \times 10^5$  t,其中:0~2、2~5、5~10 与 10~15 km 缓冲带内柽柳生物量分别为  $2.34 \times 10^5$ 、 $1.07 \times 10^5$ 、 $6.35 \times 10^4$  和  $5.17 \times 10^3$  t。河流距离对柽柳生物量影响显著,单位面积柽柳生物量随着与河流距离的增加而减少,二者相关系数为-0.97。

**关键词:**GeoEye-1;高分辨率遥感影像;生物量;柽柳;黑河下游

**中图分类号:**TP 79 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2011)06-0713-06

**引用格式:**Zhang Hua, Zhao Chuanyan, Zhang Bo, *et al.* The Application of High Resolution Satellite Imagery GeoEye-1 on the Biomass Estimation of *Tamarix Ramosissima* in Lower Reaches of Heihe River Basin[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2011, 26(6): 713-718. [张华, 赵传燕, 张勃, 等. 高分辨率遥感影像 GeoEye-1 在黑河下游柽柳生物量估算中的应用 [J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(6): 713-718.]

## 1 引言

生物量是表征植被生态系统生产力的关键变量,是植物群落最重要的数量特征之一,它直接反映了生态系统生产者的物质生产量。生物量估算一直是生态学研究的基础和热点问题。传统的生物量研究一般采用实测法,其优点是精度较高,缺点是费时费力,有时对植被的破坏无法恢复,且仅代表实测点的状况,向大尺度推广时由于生态系统的空间异质性,精度问题成为其研究应用的瓶颈,因此只适合小尺度生物量研究。

近年来,遥感技术的发展推动了生物量研究,使其研究范围、研究精度和实时性都大大提高<sup>[1]</sup>。遥感技术估算植被生物量的一般原理是植被的反射光谱能提供冠层结构和叶绿素的信息,叶绿素因植物种类、发育阶段、健康状况等差别而有所不同,由遥

感数据近红外、红光等波段和反射率的线性或非线性组合得到的植被指数,可用于直接或间接估算绿色生物量<sup>[2]</sup>。遥感技术估算生物量的精度十分依赖于遥感影像的分辨率,由于高分辨率遥感影像获取成本高,多使用中低分辨率的遥感影像估算大范围生物量<sup>[3-4]</sup>。近年来,有学者通过高分辨率遥感影像对植被进行分类得到植被冠幅,然后根据野外实测数据建立生物量与冠幅关系模型,从而进行生物量估算。这方面相关研究非常少,仅有研究者利用 QuickBird 影像估算了黑河下游小范围单一植被的生物量<sup>[5]</sup>。

柽柳属(*Tamarix sp.*)是干旱区荒漠河岸林的主要灌木,经常形成单一的群落,但有时也和其他植物种共同生存<sup>[6]</sup>。分布于研究区的柽柳属种类以多枝柽柳(*Tamarix ramosissima*)为主,占研究区林地

收稿日期:2011-05-03;修订日期:2011-09-06

基金项目:国家自然科学基金项目(40961038;91025015),甘肃省青年科技基金计划(1107RJYA063),西北师范大学青年教师科研项目(NWNU-LKQN-09-24)资助。

作者简介:张 华(1978-),女,甘肃兰州人,博士,副教授,主要从事生态水文研究。E-mail:zhanghua2402@163.com。

面积的 72.3%，是维持额济纳绿洲生态系统的主要物种<sup>[7-8]</sup>。

干旱区景观斑块小而破碎，本研究利用的多光谱遥感影像 GeoEye-1，分辨率为 1.65 m，在提取斑块时显示了其优势，可将怪柳的分类具体到植被冠幅，极大地提高了植被分类的精度。利用高分辨率遥感影像估算植被生物量的研究在流域尺度上尚属首次。

2 研究区概况

黑河下游额济纳旗荒漠绿洲区，南与甘肃鼎新盆地相邻，西以马鬃山剥蚀山地东麓为限，东接巴丹吉林沙漠，北抵中蒙边界。地理坐标为 99°30′~102°00′E,40°20′~42°30′N。大的自然单元上属阿

拉善高原，行政区划主要隶属内蒙古自治区阿拉善盟额济纳旗。总面积  $3.0\times10^4\text{ km}^2$ ，占额济纳旗总面积的 36.18%。

黑河下游地下水波动范围主要在以河流为中心的 15 km 缓冲带内，在分水后地下水位上升最显著的西河西北部区域地下水位在 15 km 缓冲带外的变化基本稳定，波动性变小。在 15 km 缓冲带的其他方向上，地下水位基本都呈现下降的趋势。1990、1994、1998、2002、2006 和 2010 年，15 km 缓冲带内大部分区域地下水位均小于 3~4 m<sup>[9]</sup>，且根据 GeoEye-1 图像解译结果，黑河下游怪柳分布在 15 km 缓冲带内。因此，本文的研究范围为黑河下游河流两岸 15 km 缓冲带范围。总面积约为  $1.07\times10^4\text{ km}^2$ （图 1）。

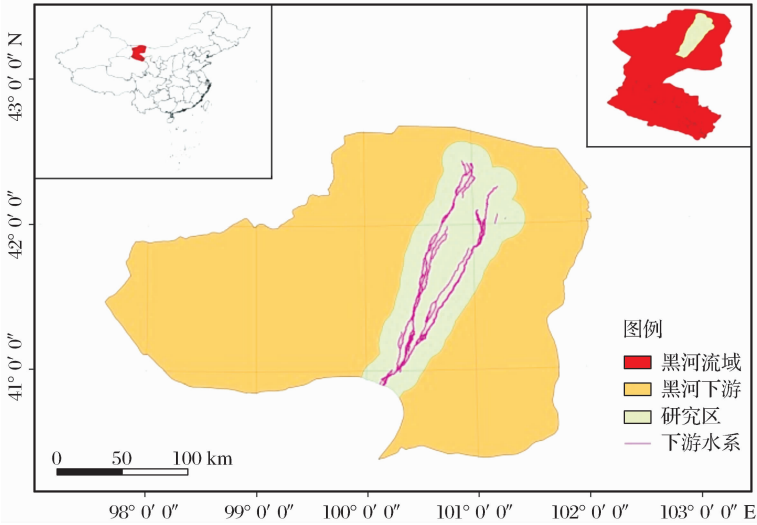


图 1 研究区位置图

Fig. 1 The location of study area

3 数据和方法

3.1 数据

遥感数据为美国 GeoEye 公司提供的研究区 2009 年 GeoEye-1 遥感卫星数据。

GeoEye-1 卫星于 2008 年 9 月发射，2009 年 2 月正式商业运作。GeoEye-1 是太阳同步轨道卫星，轨道高度 681 km，运行周期 98 min，是迄今技术最先进、分辨率最高的商业对地成像卫星。较 IKONOS 分辨率更高、卫星姿态更灵活、获取能力更强、内外精度更高。相比 QuickBird 与 IKONOS、GeoEye-1 影像数据量大幅增加<sup>[10]</sup>。

该卫星携带高分辨率的 CCD 相机，能提供全色 0.41 m 分辨率和多谱段 1.65 m 分辨率的超高分辨

率影像。GeoEye-1 卫星影像具有更高的内在精度，在仅利用卫星系统参数而无需地面控制点的情况下，立体或单片卫星影像的控制精度高达 3 m<sup>[11]</sup>。

野外试验数据为 2008、2009 和 2010 年研究区野外试验数据。采样时间为植被生长最为茂盛的 2008 年 7~9 月、2009 年 8~9 月、2010 年 8~9 月。首先将研究区划分为 5 km×5 km 的网格，共 390 个网格。沿河流垂直方向与平行方向在网格中随机进行样方(圆)布设，共布设怪柳样方(圆)22 个，单丛 5 个，胡杨、怪柳混合样方 23 个。

3.2 方法

对 GeoEye-1 影像进行分类，得到怪柳冠幅面积；然后根据野外调查得到的怪柳易测因子与生物量数据建立怪柳冠幅面积与生物量关系模型，根据

冠幅面积估算怪柳生物量,进而分析黑河不同缓冲带上的怪柳生物量,选择怪柳单支胸径、单枝高、丛冠幅面积和丛高作为易测因子。

3.2.1 GeoEye-1 影像分类

(1) 预处理

使用 6S 方法对 GeoEye-1 影像进行辐射校正。首先对遥感数据进行辐射订正,然后计算大气顶部反射率,最后推导地表的真实反射率,再将图像灰度值转换成具有辐射意义的亮度值。

野外调查时选择河流的拐弯点、道路的交叉点、桥梁的中部等作为地面控制点(GCP),使用差分 GPS 精确定位,用于几何纠正,具体操作在 ENVI4.6 中完成。

(2) 分类

使用决策树分类法对预处理后的 GeoEye-1 影像分类,根据野外调查获取的怪柳分布区,确定怪柳的 NDVI,根据 NDVI 提取怪柳冠幅。在 ArcGIS9.3 中计算怪柳冠幅面积,分类后得到的怪柳空间分布如图 2。

3.2.2 怪柳生物量估算

随机选取 93 枝不同生长状况与茎级的怪柳枝,测量基径、高和干重。选择 16 丛怪柳,将鱼眼照相机固定在伸缩塔尺上,提取冠幅面积;从伸缩塔尺上读取丛高,再测量每丛中所有枝的基径和高,另外选取不同高度级别的 62 丛怪柳进行测量。

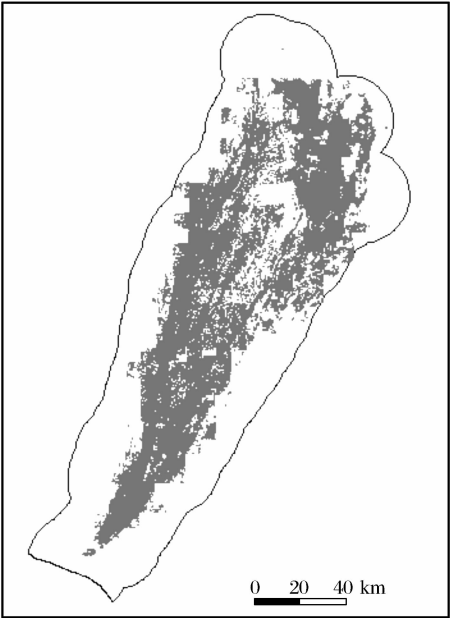


图 2 研究区怪柳空间分布  
Fig. 2 Spatial distribution of *Tamarix ramosissima* in study area

根据 93 枝单枝怪柳中的 76 枝的干重、基径和高,建立单枝怪柳生物量与胸径和高的拟合模型(图 3):

$$B_d = 23.97 + 0.048d^2h_c$$

$(R^2 = 0.892, F = 612.799)$

(1)

其中: $B_d$  为单枝怪柳生物量,单位为 g, $d$  为单枝怪柳胸径,单位为 cm, $h_c$  为单枝怪柳高,单位为 cm。

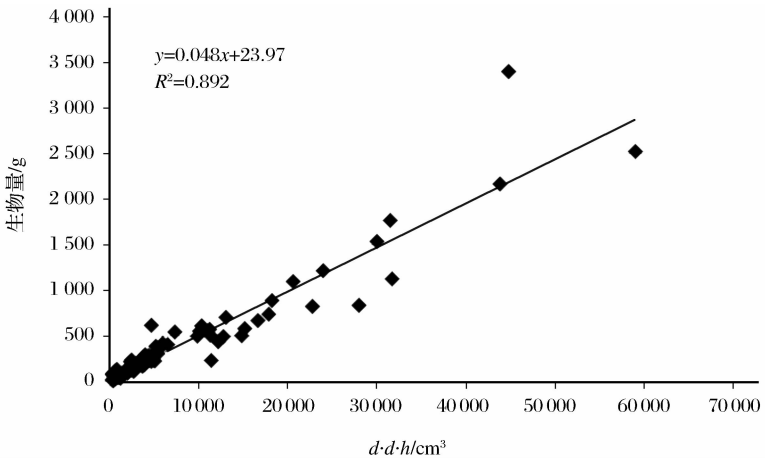


图 3 单枝怪柳生物量与胸径、高拟合模型

Fig. 3 Fitted model of biomass and diameter at breast height,height at branch level of *Tamarix ramosissima*

用剩余的 17 枝对模型 1 进行验证,采用均方根误差(RMSE)检验模型的有效性。均方根误差为 108.88,实测值与模拟值非常接近。

根据 62 丛怪柳所有单枝胸径和高数据,利用式(1)计算每丛生物量,利用其中 16 丛建立单丛生物量与丛高、冠幅面积关系模型(图 4),其模型为:

$$B_c = 0.099 + 0.661 \times P_c H_c$$

$(R^2 = 0.940, F = 221.884)$

(2)

其中: $B_c$  为单丛怪柳生物量,单位为 kg, $P_c$  为冠幅面积,单位为  $m^2$ , $H_c$  为丛高,单位为 m。

用其余有实测生物量的 6 丛数据对式(2)进行验证,RMSE 为 5.827,实测值与模拟值非常接近。

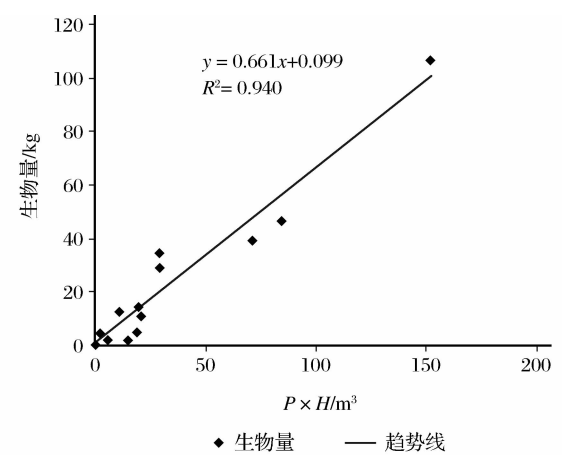


图 4 单丛桤柳生物量与冠幅面积、丛高拟合模型

Fig. 4 The fitted model of biomass and diameter at breast height,height at thicket level of *Tamarix ramosissima*

假设单丛桤柳为圆柱体,则体积为  $V = P_c \times H_c$ ,则式(2)中系数 0.661 为单位体积桤柳的生物量,即  $0.661 \text{ kg/m}^3$ 。在 62 丛桤柳中选取 40 丛,拟合出参数。得到桤柳冠幅面积与丛高关系式。得到的拟合模型为(图 5):

$H_c = 1.734P_c^{0.223} \quad (R^2 = 0.716, F = 47.500) \quad (3)$

用其余 22 丛桤柳丛高与冠幅面积数据对式(4)

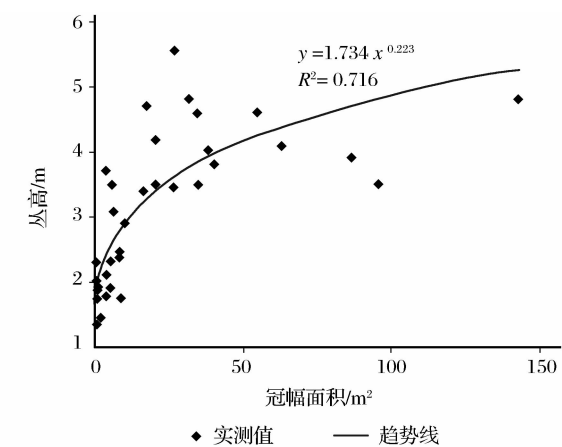


图 5 单丛桤柳丛高与冠幅面积关系模型

Fig. 5 Fitted model of height and crown area at thicket level of *Tamarix ramosissima*

进行验证, RMSE 为 0.385, 实测值与模拟值比较接近。

将式(3)代入式(2), 得到桤柳生物量与冠幅面积关系模型:

$B_c = 0.099 + 1.146P_c^{1.223} \quad (4)$

式(4)用来计算单丛桤柳生物量, 对于连片分布的桤柳, 采用式(6) 计算生物量:

$B_p = P_c \times H_p B_u \quad (5)$

其中:  $B_p$  为连片分布的桤柳生物量, 单位为  $\text{kg}$ ,  $P_c$  为桤柳连续分布时冠幅投影在地面所占的面积, 单位为  $\text{m}^2$ ,  $B_u$  为单位体积桤柳的生物量, 单位为  $\text{kg/m}^3$ , 由式(3), 其值为  $0.661 \text{ kg/m}^3$ 。  $H_p$  为样方中所有桤柳丛高的平均值 ( $2.38 \text{ m}$ )。 根据所有桤柳丛样品分析, 单丛桤柳平均冠幅面积约为  $20 \text{ m}^2$ , 因此, 当  $P < 20 \text{ m}^2$  时根据式(4)计算生物量, 当  $P > 20 \text{ m}^2$  时, 根据式(5)计算生物量。

4 结 语

计算得出研究区桤柳总生物量为  $4.10 \times 10^5 \text{ t}$ , 单株分布的桤柳总生物量为  $1.32 \times 10^5 \text{ t}$ , 成片分布的桤柳总生物量为  $2.78 \times 10^5 \text{ t}$ 。 单位面积桤柳生物量为  $38.35 \text{ t/km}^2$ 。  $0 \sim 2$ 、 $2 \sim 5$ 、 $5 \sim 10$  以及  $10 \sim 15 \text{ km}$  缓冲带内桤柳生物量分别为  $2.34 \times 10^5$ 、 $1.07 \times 10^5$ 、 $6.35 \times 10^4$  和  $5.17 \times 10^3 \text{ t}$ 。 其中单株分布的桤柳生物量分别为  $8.35 \times 10^4$ 、 $2.92 \times 10^4$ 、 $1.77 \times 10^4$  和  $1.85 \times 10^3 \text{ t}$ , 成片分布的桤柳生物量分别为  $1.50 \times 10^5$ 、 $7.79 \times 10^4$ 、 $4.58 \times 10^4$  和  $3.32 \times 10^3 \text{ t}$ , 单位面积桤柳生物量分别为  $81.67$ 、 $46.70$ 、 $20.36$  和  $2.15 \text{ t/km}^2$  (表 1、图 6)。

河流距离对桤柳生物量影响显著, 单位面积桤柳生物量随着与河流距离的增加而减少, 二者相关系数为  $-0.97$  (图 7)。 植被是环境的指示器, 桤柳作为研究区非地带性植被, 其生长状况直接反映了地下水位。 不同缓冲带桤柳单位面积生物量的变化表明, 黑河下游绿洲植被的生长主要依靠黑河侧向

表 1 不同缓冲带桤柳生物量

Table 1 Biomass of *Tamarix ramosissima* in each buffer zones

缓冲带/km	缓冲带面积/km <sup>2</sup>	生物量			
		单株/kg	成片/kg	总/kg	平均/kg · km <sup>-2</sup>
0~2	2 861.50	83 450 273	150 249 986	233 700 259	81 670.52
2~5	2 294.77	29 236 575	77 919 807	107 156 381	46 695.97
5~10	3 120.75	17 738 234	45 799 565	63 537 799	20 359.78
10~15	2 402.80	1 846 690	3 324 724	5 171 414	2 152.24
0~15	10 679.82	132 271 772	277 294 081	409 565 853	38 349.51

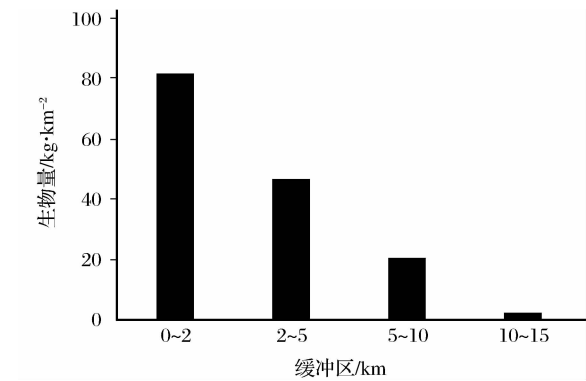


图 6 研究区不同缓冲带怪柳单位面积生物量  
Fig.6 The biomass of *Tamarix ramosissima* of unit area in each buffer zone in study area

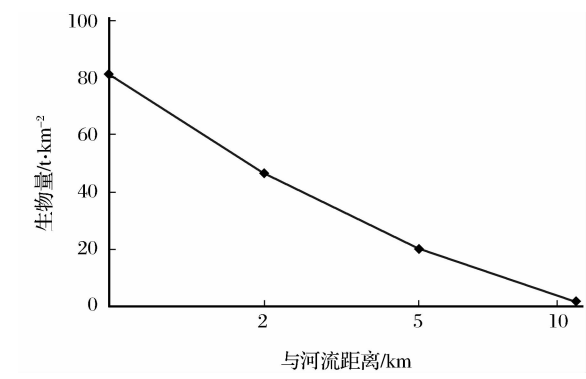


图 7 单位面积怪柳生物量随河流距离的变化  
Fig.7 The change of biomass of *Tamarix ramosissima* in unit area with distance to the river

补给地下水,因此正义峡下泄水量的多少对维持黑河下游绿洲功能与结构的稳定意义重大。

参考文献 (References):

[1] Xu H M, Jia H K, Hu Y M. A Simulation Model of Net Primary Production at Watershed Scale in Hilly Area of Loess Plateau[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(5): 1064-1074.

[2] Dai Xiaohua, Yu Shixiao. Advances in the Estimation of Vegetation Productivity and Biomass with the Aids of Remote Sensing[J]. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(4): 92-98. [戴小华, 余世孝. 遥感技术支持下的植被生产力与生物量研究进展[J]. 生态学杂志, 2004, 23(4): 92-98.]

[3] Wang Hongyan, Gao Zhihai, Wang Fengyu, et al. Estimation of Vegetation Biomass Using SPOT5 Satellite Images in Fengning Country, Hebei Province[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2010, 25(5): 639-646. [王红岩, 高志海, 王琤瑜, 等. 基于 SPOT5 遥感影像丰宁县植被地上生物量估测研究[J]. 遥感技术与应用, 2010, 25(5): 639-646.]

[4] Li Jinye, Wu Bingfang, Zhou Yuemin, et al. Biomass Estimation in Three Gorges Region with Remote Sensing[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2009, 24(6): 784-787. [李锦业, 吴炳方, 周月敏, 等. 三峡库区植被生物量遥感估算方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2009, 24(6): 784-787.]

[5] Peng Shouzhong, Zhao Chuanyan, Peng Huanhua, et al. Spatial Distribution of *Tamarix Ramosissima* Aboveground Biomass and Water Consumption in the Lower Reaches of Heihe River, Northwest China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(8): 1940-1946. [彭守璋, 赵传燕, 彭焕华, 等. 黑河下游怪柳种群地上生物量及耗水量的空间分布[J]. 应用生态学报, 2010, 21(8): 1940-1946.]

[6] Busch D E, Smith S D. Mechanisms Associated with Decline of Woody Species in Riparian Ecosystems of the Southern US [J]. Ecological Monographs, 1995, 65: 347-370.

[7] Zhao Xue, Zhang Xiaoyou, Li Qisen, et al. Influence of Sandy Desertification on *Tamarix* Community in Ejin Oasis[J]. Journal of Desert Research, 2004, 24(4): 467-472. [赵雪, 张小由, 李启森, 等. 额济纳绿洲沙漠化对怪柳群落影响的研究[J]. 中国沙漠, 2004, 24(4): 467-472.]

[8] Xiao Shengchun, Xiao Honglang, Si Jianhua, et al. Growth Characteristics of *Tamarix Ramosissima* in Arid Regions of China[J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2005, 25(5): 1012-1016. [肖生春, 肖洪浪, 司建华, 等. 干旱区多枝怪柳的生长特性[J]. 西北植物学报, 2005, 25(5): 1012-1016.]

[9] Li Shoubo. GIS Assisted Modeling Groundwater Level in Fluctuant Zone of Lower Reaches of Heihe River [D]. Lanzhou: Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, 2007. [李守波. 黑河下游地下水波动带地下水时空动态 GIS 辅助模拟研究[D]. 兰州: 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 2007.]

[10] GeoEye Inc. , Imagery Source Eye-1[EB/OL]. <http://www.geoeye.com/CorpSite/products-and-services/imagery-sources/Default.aspx>, 2011.

[11] GeoEye Inc. , About GeoEye-1[EB/OL]. <http://launch.geoeye.com/LaunchSite/>, 2011.

The Application of High Resolution Satellite Imagery GeoEye-1 on the Biomass Estimation of *Tamarix Ramosissima* in Lower Reaches of Heihe River Basin

Zhang Hua<sup>1,2</sup>, Zhao Chuanyan<sup>2</sup>, Zhang Bo<sup>1</sup>, Peng Shouzhong<sup>2</sup>

(1. Geography and Environment College of Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;

2. Key Laboratory of Arid and Grassland Agroecology at Lanzhou University, Ministry of Education, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** The research object of this paper is *Tamarix ramosissima*, which are the vegetation dominant species in lower reaches of Heihe river basin. Ecology, Geobotany, Statistics theories and remote sense technology were applied. The spatial distributions of *Tamarix ramosissima* was obtained from high resolution satellite imagery GeoEye-1. Biological characteristics of typical samples survey and biomass test of *Tamarix ramosissima* were made. Then the model of *Tamarix ramosissima* canopy area with biomass was built. The over ground part biomass of *Tamarix ramosissima* was estimated. Finally, the spatial distribution patterns of biomass in the different buffer zones of 0~2, 2~5, 5~10 and 10~15 km was analyzed. The results showed: The total biomass of *Tamarix ramosissima* is  $4.10 \times 10^5$  t. The biomass of 0~2, 2~5, 5~10 and 10~15 km buffer zones were  $2.34 \times 10^5$ ,  $1.07 \times 10^5$ ,  $6.35 \times 10^4$  and  $5.17 \times 10^3$  t separately. The distance to river has significant effect on biomass of *Tamarix ramosissima*. The biomass of unit area increases with the distance reduced. The correlation coefficient of them is -0.97.

**Key words:** GeoEye-1; High resolution satellite imagery; Biomass; *Tamarix ramosissima*; Lower reaches of Heihe river basin