

额济纳三角洲土地利用现状及其蒸散发量时空分异特征

刘 啸^{1,2}, 张一驰¹, 杜朝阳^{1,2}, 于静洁¹

(1. 中国科学院 地理科学与资源研究所 陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 根据 2010 年遥感反演得到的黑河流域蒸散发量以及土地利用数据进行土地利用重分类, 运用最邻近法对蒸散发数据进行了重采样, 统计了额济纳三角洲各土地利用类型各月以及年蒸散发量, 并分析了其时空分异特征。结果表明: 额济纳三角洲遥感分析面积为 8 073. 6 km², 依据水分耗散和补给特征, 土地利用类型可分为水域、农田、裸地、建设用地和林草绿洲等五类, 年蒸散发量大小排序为水域(815. 9 mm) > 农田(142. 8 mm) > 林草绿洲(103. 3 mm) > 建设用地(61. 6 mm) > 裸地(55. 6 mm)。2010 年蒸散水量为 5. 39 亿 m³, 裸地、林草绿洲、水域依次占 71. 6%、18. 5%、6. 9%。水域、农田、裸地、建设用地和林草绿洲的月最大蒸散发量分别出现在 6 月、8 月、6 月、6 月、6 月, 最小分别出现在 11 月、1 月、1 月、1 月、1 月, 极值比的最大、最小值分别为 223. 5(农田)、43. 5(水域)。6 月- 9 月各地类蒸散发量之和占全年的比例在 61. 3%(水域)~ 83. 9%(农田); 11 月- 次年 3 月蒸散发量之和占全年的比例在 2. 7%(农田)~ 7. 7%(水域)。同一土地利用类型的蒸散发量空间变异性也很显著, 各土地利用类型所属像元年蒸散发量极值比、标准差、变异系数的最大值分别为 30. 3、511. 5、0. 63(水域像元), 水域年蒸散发量空间分异性最大。

关键词: 额济纳三角洲; 土地利用现状; 蒸散发; 水分耗散和补给特征; 时空分异特征

中图分类号: P641. 7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)04-0609-05

Current land use situation and characteristics of temporal and spatial distribution of its evapotranspiration in the Ejina Delta

LIU Xiao^{1,2}, ZHANG Yi chi¹, DU Chaoyang^{1,2}, YU Jingjie¹

(1. Key Laboratory of Water Cycle & Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The land use was reclassified based on the evapotranspiration (ET) and land use data in 2010 obtained from remote sensing retrievals in the Heihe Watershed, the ET data were resampled using the nearest neighbors method, the monthly and yearly ET of each land use were calculated, and the characteristics of its temporal and spatial distribution were finally analyzed. The results showed that (1) the remote sensing analysis area of Ejina Delta is 8 073. 6 km²; (2) according to the characteristics of moisture dissipation and recharge, the land use can be reclassified into water, farmland, bare land, construction land, and forest oasis land, and the order of annual ET in each land use type in 2010 is water (815. 9 mm) > farmland (142. 8 mm) > forest oasis land (103. 3 mm) > construction land (61. 6 mm) > bare land (55. 6 mm); (3) the total ET of Ejina Delta is 5. 39 × 10⁸ m³ in 2010, and the ET of bare land, forest oasis land, and water accounts for 71. 6%, 18. 5%, and 6. 9% of the total ET, respectively; (4) the maximum monthly ET of water, farmland, bare land, construction land, and forest oasis land occurs in June, August, June, June, and June, respectively, while the minimum occurs in November, January, January, January, and January, respectively. The ration of maximum and minimum extreme values is 223. 5 (farmland) and 43. 5 (water); (5) the total ET from June to September accounts from 61. 3% (water) to 83. 9% (farmland), while the total ET from November to March of next year accounts from 2. 7% (farmland) to 7. 7% (water) of the annual ET; and (6) the spatial variability of ET of one land use type is remarkable. The maximum of extremes ratio, standard deviation, and coefficient of variation of pixel of all land use types

收稿日期: 2014-04-30 修回日期: 2015-05-22 网络出版时间: 2015-07-23
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150723.1651.015.html>
基金项目: 国家自然科学基金项目(41271049, 41371059)

作者简介: 刘 啸(1990), 男, 陕西汉中, 博士研究生, 主要从事水文水资源方面的研究。Email: tracyliuxiao@gmail.com

通讯作者: 于静洁(1964), 女, 吉林四平人, 研究员, 博士生导师, 主要从事流域水循环研究。Email: yujj@igsrr.ac.cn

are 30.3 (water), 511.5 (water), 0.63 (water), respectively, indicating that the spatial variability of annual ET for land use type of water is the greatest.

Key words: Ejina Delta; current land use situation; evapotranspiration; feature of moisture dissipation and recharge; characteristics of temporal and spatial variability

降水、蒸散发、径流是自然界水文循环的三大主要过程,其中蒸散发是水圈、大气圈和生物圈水分和能量交换的重要过程,它是干旱区内陆水循环过程中水分耗散的最终途径。干旱区蒸散发的时空变异性影响区域水量平衡,进而影响区域水资源的时空分布特征。干旱区水域、林草绿洲区的生态价值十分重要,在内陆地区荒漠化加剧的背景下,研究干旱区水域、林草绿洲区等的蒸散耗水量及其时空分异特征,对于理解干旱区水循环规律、开展生态修复以及高效合理利用水资源具有重要意义。

额济纳三角洲位于我国西北腹地的河西走廊,内蒙古自治区境内,处在黑河流域下游,三角洲南接甘肃省鼎新盆地,西与马鬃山剥蚀山地东麓相邻,东接巴丹吉林沙漠,北延伸至中蒙边界,属于典型的温带大陆性干旱气候区,降水量少、蒸发能力强。额济纳三角洲多年平均降水量 42 mm,年蒸发能力 3 755 mm^[1] (20 蒸发皿观测值),属于极端干旱区,结冰期为 11 月至次年 3 月。

目前,蒸散发量的估算方法主要包括区域水量均衡法、面积定额法、潜水蒸发法、改进后彭曼公式法、基于遥感与 GIS 技术的区域蒸散计算方法等^[2-7]。郭晓寅^[8]进行了黑河流域蒸散发的研究,赵捷等^[9]、占车生等^[10]讨论了流域蒸散发量时空变化的特征,刘文娟^[11]、韩惠^[12]、吴海涛^[13]进行了流域土地利用类型与蒸散发量关系的研究,周茅先等^[14]、侯兰功^[15]、马宁^[16]进行了额济纳绿洲蒸散发的相关研究,杨永民等^[17]运用 SEBS 模型和 MODIS 数据产品估算了黑河流域的蒸散发,结果表明遥感反演估算黑河流域蒸散精度较好。基于前人在蒸散发计算、流域蒸散发时空变异性以及流域土地利用类型与蒸散发关系等方面的研究,本文选择黑河下游流域额济纳三角洲作为研究区,依据遥感图像反演得到的 2010 年黑河流域日蒸散数据,并从水气耗散和补给特征出发,进行土地利用重分类,得到三角洲各土地利用类型对应的各月、全年蒸散值,并研究额济纳三角洲各土地利用类型的蒸散发量及其时空分异特征,为合理分配三角洲有限的水资源提供参考依据。

1 研究方法 & 数据源

1.1 研究方法

本次研究使用由遥感图像根据地表能量平衡方程反演得到的黑河流域 2010 年蒸散发量,以水分耗散和补给特征为依据进行额济纳三角洲土地利用类型的提取和重分类,运用最邻近插值法对蒸散数据进行重采样,获取各土地利用类型对应的 2010 年日蒸散数据,进而累加得到各月以及全年的蒸散发量,分析其逐月差异以及相应的统计特征值(平均值、标准差、变异系数),得到其时间分布和变化特征;研究同时段不同土地利用类型的蒸散发量及同一土地利用类型的蒸

散发量差异,得到三角洲蒸散发量的空间分布和变化特征。

1.2 数据源

本研究的数据源主要有:2010 年黑河流域土地利用数据、由遥感图像反演得到的流域蒸散数据(分辨率 1 km × 1 km,引自黑河计划数据管理中心提供的黑河流域地表蒸散发数据集)^[18-19],额济纳三角洲边界范围^[20]。

2 结果与分析

2.1 土地利用重分类

根据原始黑河流域土地利用数据和额济纳三角洲边界在 ArcGIS 软件上完成了三角洲土地利用数据的切割提取,主要土地利用类型有如下 14 类:草本湿地、湖泊、草原、稀疏林地、稀疏灌木、稀疏草地、落叶阔叶林、落叶灌木林、旱地、居住地、裸岩、裸土、沙地、盐碱地。基于水分耗散和补给特征对上述土地利用类型进行重分类,得到如下 5 类:水域、农田、裸地、建设用地、林草绿洲,见表 1、图 1。

表 1 额济纳三角洲土地利用类型

Tab. 1 The Land use types in the Ejina Delta

一级分类	二级分类	面积 / km ²	比例 (%)	水分耗散和补给特征
水域	草本湿地、湖泊	45.9	0.5	水面蒸发及无水季蒸散发、降水、河水补给
农田	旱地	110.0	1.4	农田生长季蒸散发,非生长季土壤蒸发;降水补给,地表河水及地下水灌溉补给
裸地	裸岩、裸土、沙地、盐碱地	6 947.1	86.0	地表蒸发;降水、地下水补给
建设用地	居住地	5.8	0.1	地表蒸发;降水补给
林草绿洲	草原、稀疏林地、稀疏灌木、稀疏草地、落叶阔叶林、落叶灌木林	964.8	12.0	林草蒸散发;降水、河水、地下水补给,不考虑灌溉补给

注:一级分类为土地利用重分类,二级分类为原始土地利用类型。

额济纳三角洲遥感分析面积为 8 073.6 km²,其中裸地面积占总面积的 86.0%,包括裸土、沙地、裸岩等,主要为地表蒸发耗水,补给源为降水、地下水;林草绿洲面积占总面积的 12.0%,是三角洲绿洲的核心,主要包括稀疏草地、落叶灌木林、草原等,呈现“两线一片”的分布形态,即沿东河、西河以及位于额济纳冲积平原分布,主要为林草蒸散发耗水,补给源为降水、地表水、地下水;水域面积占总面积的 0.5%,主要是三角洲出口东北角的东居延海,在林草绿洲片区中也零星散布一些水体、草本湿地,主要为水面蒸发耗水,补给源为降水、地表河水;农田面积占总面积的 1.4%,主要为灌溉旱地,分布在西河下游沿岸和林草绿洲片区内的额济纳旗周围,

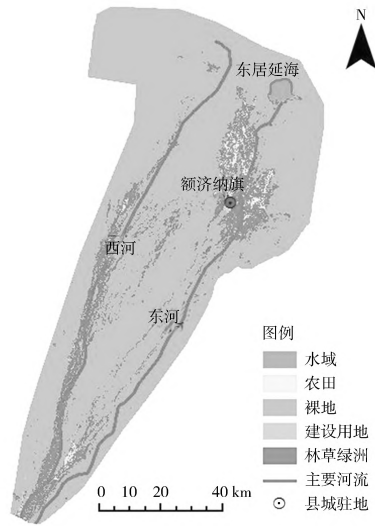


图1 额济纳三角洲区土地利用重分类分布

Fig.1 The distribution of land use reclassification in the Ejina Delta

主要为作物生长季蒸散发、非生长季土壤蒸发耗水, 补给源为降水、地表河水和地下水灌溉; 建设用地面积占总面积的0.1%, 主要是以额济纳旗政府为中心的居住用地、道路交通用地等, 主要为地表水蒸发耗水, 补给源为降水。

2.2 不同土地类型蒸散发量的时间变异性

2010年额济纳三角洲各土地利用类型的逐月蒸散发量见图2、表2。

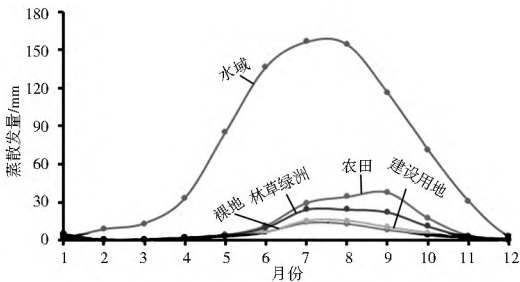


图2 2010年额济纳三角洲各土地利用类型的月蒸散发量

Fig.2 The monthly ET of each land use type in the Ejina Delta in 2010

表2 2010年额济纳三角洲各土地利用类型蒸散发量的时间分布

Tab.2 The temporal distribution of ET of each land use type in the Ejina Delta in 2010

土地利用类型	年蒸散发量/mm	日平均蒸散发量/mm	6月-9月		11月-次年3月	
			蒸散发量/mm	占全年 (%)	蒸散发量/mm	占全年 (%)
水域	815.9	2.24	499.9	61.3	63.0	7.7
农田	142.8	0.39	119.8	83.9	3.9	2.7
裸地	55.6	0.15	39.8	71.6	3.7	6.7
建设用地	61.6	0.17	47.3	76.8	3.2	5.2
林草绿洲	103.3	0.28	82.1	79.5	4.1	3.9

由表3可知, 2010年三角洲各土地利用类型月最大蒸散发量出现在6月(水域, 156.6 mm), 水域的各月蒸散发量明显高于其他土地利用类型的月蒸散发量。6月-9月(夏季, 绿色植物生长旺盛期)各地类的蒸散发量较大, 占全年蒸散发量的比例在61.3% - 83.9%, 农田此时段内的蒸散发量总量最大, 占全年总量的83.9%, 林草绿洲此时段的蒸散发量

占79.3%, 这与植物夏天蒸腾作用非常旺盛直接相关; 11月-次年3月(冬季封冻期)的蒸散发量相对较小, 占全年总蒸散发量的比例在2.7% - 7.7%, 这与封冻期温度低、植物生长活动弱、蒸散作用较弱有关, 此时段内水域的蒸散发量最大, 占全年总量的8.1%, 农田的蒸散发量最少, 占全年总量的2.4%。此外, 裸地与建设用地各月蒸散发量相差很小, 季节变化规律也基本一致。

表3 2010年额济纳三角洲各土地利用类型月蒸散发量统计特征值

Tab.3 The statistical characteristics of monthly ET of each land use in the Ejina Delta in 2010

土地利用类型	年蒸散发量/mm	月最大值/mm(月份)	月最小值/mm(月份)	极值比	标准差	变异系数
水域	815.9	156.6(6)	3.6(11)	43.5	59.93	0.89
农田	142.8	38.0(8)	0.17(1)	223.5	16.80	1.24
裸地	55.6	14.1(6)	0.16(1)	88.1	4.97	1.07
建设用地	61.6	15.3(6)	0.17(1)	90.0	6.24	1.13
林草绿洲	103.3	24.4(6)	0.17(1)	143.5	9.71	1.14

此外, 分析各土地利用类型的逐月、全年蒸散发量可以发现, 除农田外, 水域、裸地、建设用地和林草绿洲全年月最大蒸散发量都出现在6月; 除水域外, 农田、裸地、建设用地和林草绿洲全年月最小蒸散发量都出现在1月。各土地类型全年月最大值与最小值的比(极值比)最大的是农田(223.5), 林草绿洲次之(143.5), 最小的是水域(43.5)。各土地利用类型月蒸散发量年内的变异性很大, 全年各月蒸散发量的标准差(S_d)最大的是水域(59.93), 最小的是裸地(4.97), 变异系数(C_v)最大的是农田(1.24), 最小的是水域(0.89), 综合比较各统计特征值发现, 水域和农田的蒸散发量年内变异性较大, 裸地的年内变异性较小。

2.3 土地利用类型的蒸散发量空间变异性

2.3.1 不同土地利用类型的蒸散发量空间变异性

依据土地利用的一级分类及其蒸散发量, 绘制了图3所示的各地类全年蒸散发量空间分布图3(a)和蒸散耗水量分配图3(b)。

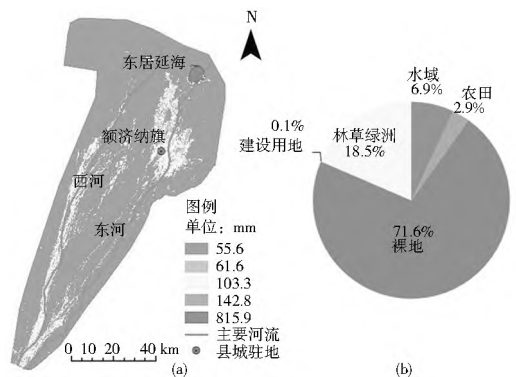


图3 2010年额济纳三角洲各土地利用类型的蒸散发量分布(a)及其蒸散耗水量分配(b)

Fig.3 The spatial distribution of ET of each land use type(a) and water consumption percentage in the Ejina Delta in 2010(b)

2010年额济纳三角洲蒸散耗水总量为5.39亿 m^3 , 大部分区域年平均蒸散发量为55.6 mm, 属于裸地, 面积约为

6 947.1 km²,年蒸散耗水量3 86亿 m³,占总量的71.6%,为三角洲内蒸散耗水量最大的土地利用类型。下游出口处的东居延海湖面年蒸散量最大,达到了815.9 mm,水域的面积约为45.9 km²,年蒸散耗水量为0.374亿 m³,占总量的6.9%。东河、西河河岸带蒸散量依次为103.3 mm、142.8 mm,属于林草绿洲和农田,面积分别为964.8 km²、110.0 km²,蒸散耗水量依次为0.997亿 m³、0.157亿 m³,占总量的18.5%、2.9%。

2.3.2 同一土地利用类型的蒸散量空间变异性

根据最邻近插值法重采样得到的额济纳三角洲研究区范围内的像元数共8 753个,分析各土地利用类型像元的年蒸散量统计学特征见表4。

表4 2010年额济纳三角洲各土地利用类型像元年蒸散量统计特征值

Tab. 4 The statistical characteristics of ET of image element of each land use in the Ejina Delta in 2010

一级分类	像元数	像元年蒸散量/mm		极值比	标准差	变异系数
		最大值	最小值			
水域	51	1252.8	41.4	30.3	511.5	0.63
农田	117	357.7	53.5	6.7	63.18	0.44
裸地	7557	401.5	32.3	12.4	15.55	0.28
建设用地	6	81.6	46.4	1.8	13.57	0.22
林草绿洲	1022	345.7	39.4	8.8	53.69	0.52

2010年研究区各土地利用类型所属像元的年蒸散量变异性很大,像元的年蒸散量最大、最小分别出现在水域(1 252.8 mm)、裸地(32.3 mm)所属像元中,极值比为38.8;各像元极值比最大为30.3(水域),最小为1.8(建设用地);标准差最大、最小值分别为511.5(水域)、13.57(建设用地),变异系数最大、最小值分别为0.63(水域)、0.22(建设用地)。水域所属各像元的年蒸散量的统计特征值都较大,反映了水域年蒸散量的空间变异性较大;相应的,建设用地各统计特征值都较小,反应了其年蒸散量的空间变异性较小。

3 结论

(1) 额济纳三角洲研究区面积8 073.6 km²,从水分耗散和补给特征角度,将现状土地类型划分为水域、农田、裸地、建设用地、林草绿洲五类,其中,裸地为研究区内最主要的景观类型,分布面积最大,占总面积的86%,具有生态功能的林草绿洲和水域的分布面积则很小,占总面积的12.5%,研究区脆弱的生态环境与植被分布稀疏、裸地分布广阔有密切关系。

(2) 各土地利用类型的蒸散量空间分异性显著,水域的年蒸散量最大(815.9 mm),裸地的最小(55.6 mm),2010年研究区蒸散耗水量为5.39亿 m³,裸地的年蒸散耗水量最大(3.83亿 m³,占71.6%),建设用地的最小(0.005亿 m³,占0.1%)。同一土地利用类型的空间分布不同决定了温度、光照等气候因素及蒸散量来源不同,进而决定了蒸散量的差异:裸地虽蒸散量较小,但由于分布面积大,刚性水量消耗不

容忽视,遏制荒漠化进程可以有效控制无效耗水量的增大;农田虽蒸散耗水总量不大,但蒸散量较大(仅次于水域),必须严格控制其分布面积;水域的蒸散量最大,为了减少水分耗散量,必须维持合理的水域面积。

(3) 各土地利用类型蒸散量的时间差异性明显,月蒸发量最大、最小值分别出现在6月(水域,156.6 mm)、1月(裸地,0.16 mm);同一土地利用类型的月蒸散量年内变化也很明显,农田的年内蒸散量变化最大(极值比223.5)、水域的年内蒸散量变化最小(极值比43.5);各土地利用类型的蒸散量在植物生长期(6月-9月)所占全年比例很大(超过61%),在封冻期(11月-3月)占比例很小(不足8%)。林草绿洲和农田的蒸散量呈现很强的季节性,夏季较多、冬季较少;裸地和建设用地全年持续向大气输送水分,蒸散量四季变化不大,这与建设用地面积权重小、硬化不透水与非硬化不透水地面共存有关;水域的水分消耗途径主要为水面蒸发,集中在非冻期(4月-10月)。

本论文主要研究了额济纳三角洲各土地利用现状及其蒸散量时空分异特征,林草绿洲和水域是三角洲生态修复和保护的重点,掌握其蒸散耗水量的时空分异性有利于进行水资源的按时、按需分配,可以为三角洲生态修复计划的制定和实施提供参考依据。

参考文献(References):

- [1] WANG P, YU J, Pozdniakov S P, et al. Shallow Groundwater Dynamics and Its Driving Forces in Extremely Arid Areas: A Case Study of the Lower Heihe River in Northwestern China[J]. Hydrological Processes, 2014, 28(3): 1539-1553.
- [2] 张守平,蒲强,李丽琴,等.基于可控蒸散发的狭义水资源配置[J].水资源保护,2012,28(5): 13-18. (ZHANG Shou ping, PU Qiang, LI Li qin, et al. Special water resources allocation based on controllable ET[J]. Water Resources Protection, 2012, 28(5): 13-18. (in Chinese))
- [3] 马宏伟,王乃昂,朱金峰,等.石羊河流域主要生态类型现状耗水分析[J].水电能源科学,2011,29(10): 15-18. (MA Hong wei, WANG Nai ang, ZHU Jin feng, et al. Analysis of ecological water consumption in Shiyang River Basin[J]. Water Resources and Power, 2011, 29(10): 15-18. (in Chinese))
- [4] 甄婷婷,徐宗学,程磊,等.蓝水绿水资源量估算方法及时空分布规律研究—以卢氏流域为例[J].资源科学,2010(6): 1177-1183. (ZHEN Ting ting, XU Zong xue, CHENG Lei, et al. Spatiotemporal distributions of blue and green water resources: A case study on the Lushi Watershed[J]. Resources Science, 2010(6): 1177-1183. (in Chinese))
- [5] 王国华,赵文智.遥感技术估算干旱区蒸散发研究进展[J].地球科学进展,2011,26(8): 848-858. (WANG Guo hua, ZHAO Wen zhi. Advances in the application of remote sensing to evapotranspiration research in arid regions[J]. Advances in Earth Science, 2011, 26(8): 848-858. (in Chinese))
- [6] 吴洪涛,武春友,郝芳华,等.绿水的多角度评估及其在碧流河上游地区的应用[J].资源科学,2009,31(3): 420-428. (WU Hong tao, WU Chun you, HAO Fang hua, et al. Assessment of green water from multi-angle view at catchment scale[J]. Resources Science, 2009, 31(3): 420-428. (in Chinese))

- [7] 李宝富,陈亚宁,李卫红,等.基于遥感和 SEBAL 模型的塔里木河干流区蒸散发估算[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(9): 1230-1238. (LI Bao fu, CHEN Ya ning, LI Wei hong, et al. Remote sensing and the sebal model for estimating evapotranspiration in the tarim river[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(9): 1230-1238. (in Chinese))
- [8] 郭晓寅.黑河流域蒸散发分布的遥感研究[J]. *自然科学进展*, 2005, 15(10): 1266-1270. (GUO Xiaoyin. Remote sensing research of the distribution of evapotranspiration in Heihe river basin[J]. *Progress in Natural Science*, 2005, 15(10): 1266-1270. (in Chinese))
- [9] 赵捷,徐宗学,左德鹏.黑河流域潜在蒸散发量时空变化特征分析[J]. *北京师范大学学报:自然科学版*, 2013, 49(2/3): 164-169. (ZHAO Jie, XU Zongxue, ZUO Depeng. Spatiotemporal variation of potential evapotranspiration in the Heihe river basin[J]. *Journal of Beijing Normal University: Natural Science*, 2013, 49(2/3): 164-169. (in Chinese))
- [10] 占车生,李玲,王会肖,等.台湾地区蒸散发的遥感估算与时空分析[J]. *遥感技术与应用*, 2011, 26(4): 405-412. (ZHAN Chesheng, LI Ling, WANG Hui xiao, et al. Estimation and time space analysis of the regional evapotranspiration using quantitative remote sensing in Taiwan Area[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2011, 26(4): 405-412. (in Chinese))
- [11] 刘文娟.应用遥感方法估算区域实际蒸散量的时空变异性[D]. 咸阳:西北农林科技大学, 2011. (LIU Wenjuan. Estimating spatiotemporal variation of regional actual evapotranspiration using remote sensing approach[D]. Xi'an: Northwest A&F University, 2011. (in Chinese))
- [12] 韩惠.基于遥感技术的祖厉河流域土地利用/土地覆盖变化与蒸散发研究[D]. 兰州:兰州大学, 2006. (HAN Hui. Investigation of LUCC and ET in Zuli river basin of the loess plateau using remotely sensed data[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2006. (in Chinese))
- [13] 吴海涛.海河流域下垫面蒸散发研究[D]. 南京:河海大学, 2007. (WU Haitao. Evapotranspiration Research of the underlying surface in Haihe River Basin[D]. Hohai University, 2007. (in Chinese))
- [14] 周茅先,肖洪浪,张小由,等.额济纳绿洲柽柳群落蒸散发特征的初步分析[J]. *中国沙漠*, 2004, 24(4): 479-483. (ZHOU Maoxian, XIAO Honglang, ZHANG Xiaoyou, et al. Preliminary analysis on evapotranspiration of tamarix community in ejina oasis[J]. *Journal of Desert Research*, 2004, 24(4): 479-483. (in Chinese))
- [15] 侯兰功,肖洪浪.额济纳绿洲草地蒸散系数研究[J]. *水土保持研究*, 2012, 19(5): 126-129. (HOU Langong, XIAO Honglang. Study on evapotranspiration coefficient of grassland during the growing season in the Ejina Oasis[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2012, 19(5): 126-129. (in Chinese))
- [16] 马宁,王乃昂,王鹏龙,等.黑河流域参考蒸散量的时空变化特征及影响因素的定量分析[J]. *自然资源学报*, 2012, 27(6): 975-989. (MA Ning, WANG Na'ang, WANG Penglong, et al. Temporal and spatial variation characteristics and quantification of the affect factors for reference evapotranspiration in Heihe river basin[J]. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(6): 975-989. (in Chinese))
- [17] 杨永民,冯兆东,周剑.基于 SEBS 模型的黑河流域蒸散发[J]. *兰州大学学报:自然科学版*, 2008(5): 1-6. (YANG Yongmin, FENG Zhaodong, ZHOU Jian. Evapotranspiration in Heihe river basin based on sebs model[J]. *Journal of Lanzhou University: Natural Sciences*, 2008(5): 1-6. (in Chinese))
- [18] Mu Q, Heinsch F A, Zhao M, et al. Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 111(4): 519-536.
- [19] Mu Q, Zhao M, Running S W. Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(8): 1781-1800.
- [20] Yichi Zhang, Jingjie Yu, Ping Wang, et al. Vegetation responses to integrated water management in the Ejina basin, northwest China[J]. *Hydrological Processes*, 2011, 25(22): 3448-3461.