

基于面向对象与替换法的遥感影像云检测与去除技术*

许章华¹ 龚从宏¹ 刘健^{1,2} 余坤勇¹ 赖日文¹ 李增禄²

(1. 福建农林大学林学院, 福州 350002; 2. 三明学院, 三明 365000)

摘要: 裁剪 20090716 和 20090730 两景 HJ-1 CCD 多光谱影像的部分作为试验区, 基于面向对象法实现了厚云、薄云及云影的检测, 进而利用替换法去除云和云影。对原影像、去云后影像的像元灰度均值、最大值、标准差、熵等指标进行了比较, 结果表明, 还原后的影像符合地面实际, 面向对象与替换法可作为 HJ-1 CCD 多光谱数据的云检测与去除的重要方法。

关键词: 遥感图像 多光谱数据 云检测 云去除 面向对象与替换法

中图分类号: TP79; P237 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)06-0210-05

Cloud Detection and Removal Technology in Remote Sensing Image Based on Object-oriented and Substitution Method

Xu Zhanghua¹ Gong Conghong¹ Liu Jian^{1,2} Yu Kunyong¹ Lai Riwen¹ Li Zenglu²

(1. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China

2. Sanming University, Sanming 365000, China)

Abstract: Parts of 20090716 and 20090730 HJ-1 CCD multi-spectral images were cut as the experimental areas. The thick cloud, thin cloud and cloud shadow were detected based on object-oriented method. And then, the substitution method was used to remove the cloud and cloud shadow. The comparison of pixel gray mean, maximum, standard deviation and entropy of original image and restored image indicated that the restored image accorded with the ground truth. The object-oriented and substitution could be an important method in the cloud detection and removal of HJ-1 CCD multi-spectral image.

Key words: Remote sensing image Multi-spectral data Cloud detection Cloud removal Object-oriented and substitution method

引言

无论是主动式还是被动式遥感, 卫星传感器均需要接收来自地面的辐射信息, 但受大气影响, 有云天气较为普遍, 当前仅有雷达传感器可以透过云层获取云下地面信息, 而对于其他传感器而言, 云体在影像中的存在大大降低了数据质量与可用性, 或厚或薄的云层取代了应有的丰富地表信息。在我国南方地区, 有云天气更为普遍, 要获取完全无云层覆盖的影像实有难度, 特别是对于时间分辨率较低的数据而言, 往往由于某一时段某一区域高质量的遥感

影像无法取得, 影响了研究的整体质量。近年来, 我国陆续发射了 CBERS-01、CBERS-02、CBERS-02B 等地球资源系列卫星及 HJ-1A/1B 等环境减灾系列卫星, 打破了我国资源环境卫星数据长期依赖欧、美、日等国家的状况; 环境系列双星结合, 可实现同一区域两天一次的扫描。这些国产卫星影像为资源环境遥感方面的研究提供了数据保障。

马尾松毛虫是周期性害虫, 一般于春夏交替间开始第一代幼虫的为害, 这也是利用遥感技术进行该虫害监测的重要窗口时间; 然而, 该时段我国南方山地丘陵区天气情况较差, 影像数据云层覆盖范围

收稿日期: 2012-12-10 修回日期: 2012-12-31

* 国家自然科学基金资助项目(30871965)和福建省科技计划重点资助项目(2011N0031)

作者简介: 许章华, 博士生, 主要从事 3S 技术在资源环境中的应用研究, E-mail: fafuzh@163.com

通讯作者: 刘健, 教授, 博士生导师, 主要从事森林经营管理与 3S 技术应用研究, E-mail: fjliujian@126.com

广、频率高,严重制约了虫害天基遥感监测的实现, HJ-1 CCD 多光谱数据的高时间分辨率优势受到极大限制。为此,探索一套适于国产 HJ-1 多光谱数据的去云技术实有必要。

国内外学者对去云技术作了许多探索^[1-6]。综观前人云去除的方法,基本上可以分为3类,即替换法、K-T变换法及同态滤波法。除马建文等^[7]、郭向前^[8]、郑玉凤等^[9]学者对国产资源环境卫星影像去云技术进行探索外,其他众多研究的对象均为国外卫星数据。HJ-1 多光谱数据具有极高的时间分辨率,采用替换法去除影像云及云影具有较高的可行性;在去云之前,对云及云影进行有效检测则是一项基础工作。基于此,本文研究 HJ-1 CCD 多光谱影像的去云技术,为开展马尾松毛虫害天基空间监测与预警提供良好的数据支持。

1 影像选择与预处理

马尾松毛虫是我国第一号森林害虫,危害马尾松、黑松、湿地松、火炬松等松种。该虫害具有典型的周期性,在福建省,一年发生2~3代;总体来看,夏季松毛虫食叶量最大,危害表征最为明显。除越冬代外,该时期是利用遥感方法检测、监测虫害状态的一个重要窗口时间。经中国资源卫星应用中心,选择了两景同一轨道号(453/84)、相近过境时间(2009年7月16日与2009年7月30日,代号分别为20090716和20090730)的HJ-1 CCD数据作为研究对象。两景影像上均有不同程度的云层覆盖,采用ERDAS的Blend功能,将两景影像叠加,以保证所选择的两景影像有云区域最大程度地错开。

所获取的影像为经粗校正过的2级产品,利用1:10 000地形对两景影像进行精校正,误差控制在0.5个像元内。为提高试验效率,裁剪了一小块作为试验区。该试验区位于福建省三明市,三明市是我国南方重点林区,也是开展马尾松毛虫害调查所设置的长期观测站点之一。预处理后的两景影像如图1所示。

观察试验区影像,可知20090716的影像中布有个别厚云及云影,而20090730的影像质量相对较差,不仅为厚云所覆盖,且影像中还有不小面积的薄云及云影。单独使用这两幅影像,无法实现地物信息的有效解译,亦不能满足开展马尾松毛虫害遥感监测的需要。

2 研究方法

2.1 面向对象的云及云影检测

云和云影检测是实现影像去云处理的重要基础

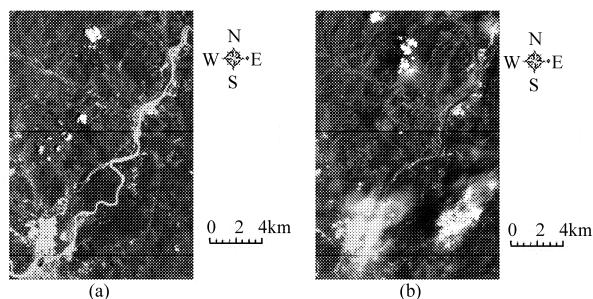


图1 预处理后的HJ-1多光谱影像

Fig. 1 Preprocessed HJ-1 multi-spectral image

(a) 20090716 (b) 20090730

工作,从根本上说,云检测就是对象识别与信息提取的过程。云层离地面有一定距离,卫星侧摆过境时,云影的低频信息在传感器上得以响应,传感器、云及云影可连接成一条与地表不垂直的直线。从光谱特征上看,厚云、薄云及云影存在较为悬殊的差异,因此在检测过程中将其认定为不同类对象是较为适宜的。许多学者对云检测进行了研究,提出了多种方法,也构建了一些检测模型^[10-12]。综观这些方法,均较繁琐,检测效率较低。针对此,本文引入近年来在遥感解译领域得以较广泛应用的面向对象方法,以此实现云及云影的检测。

面向对象法的处理机制是:将影像分割成具有一定意义的“对象”,这些对象可为一组特征所描述,通过建立对象与类结构的关系与差别规则,实现“对象”的“归类”。面向对象法可充分利用对象的色调、形状、纹理、层次以及类间邻近对象、子对象、父对象的相关特征,并通过利用多尺度信息,实现多尺度的影像分割^[13-14]。其算法流程如图2所示。

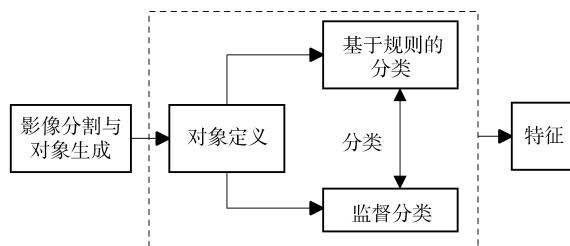


图2 面向对象算法流程图

Fig. 2 Flow chart of object-oriented method

根据影像特点及覆盖区状况,定义植被、水体、不透水面、厚云、薄云、云影和其他阴影等7个类别,利用ENVI FX特征提取模块,实现两幅影像云及阴影的提取。在我国南方地区,地貌以山地、丘陵为主,故影像上存在极为明显的明暗层次差异,某些阴影面(如山体阴影)极容易与云影混淆,不易区分,面向对象法可以实现二者的部分识别,为了更为有效地检测出云影,本文提出一种简易算法:

设两景影像中云影为 C_1 、 C_2 ，其他阴影为 M_1 、 M_2 ；卫星过境时保持一定的倾斜角度，既定区域相近时间的太阳高度角相对一致，因此可认为山体等的明亮面和阴影面是不变的；而云层及云影则表现为偶然性特点，出现区域极不固定，在选择影像时已通过目视叠加对比，最大程度地保证有云区域错开，则有

$$\begin{cases} C_1 - C_2 \neq 0 \\ M_1 - M_2 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

利用式(1)，可以有效地实现云影与其他阴影的甄别。这里需要注意的是，由于同一像元不同时间、不同环境下存在一定的灰度差，所以式(1)中0为近似值，具体的阈值范围视影像特征而定。

2.2 基于替换法的云及云影去除

替换法，即像元替换法，就是用其他影像的像元代替原影像相同位置像元的一种方法。这种方法去云效果佳，但是对于时间分辨率不高的数据而言，像元特征变化大，该方法不适宜。HJ-1 CCD 多光谱传感器可以实现两天一次的的对地扫描，像元替换法有着极好的理论可行性。为此，本文尝试利用替换法实现 HJ-1 多光谱数据云及云影的去除。根据影像云层覆盖度及研究需要，将 20090716 的影像设为主影像，20090730 的影像设为副影像。利用掩膜技术将主、副影像的云和云影从影像中剔除，在此基础上，建立云及云影去除规则：

设 I_1 、 I_2 分别为主影像、副影像， R_1 、 R_2 分别为主影像、副影像的云检测结果，则

If $R_1 = 0$ then I_1

If ($R_1 > 0$ and $R_2 = 0$) then I_2

在此规则下，绝大多数的云及云影像元的“面貌”将得以重现，但是若某一像元在主、副影像中均为云或云影覆盖，那么重构后的影像将出现 0 值像元。显然，需要进一步恢复这些 0 值像元的面貌。一般而言，邻近像元的灰度变化是一个渐变过程，据此，可以采用临近像元值对 0 值区域进行补偿，像元 0 值补偿利用 ENVI/IDL 算法实现。

2.3 面向对象与替换法组合方法流程

面向对象与替换法组合方法就是将面向对象、像元替换两种方法有效结合起来，利用面向对象法实现 HJ-1 多光谱影像云、云影的有效检测，在此基础上，对云及云影像元进行替换，恢复影像原有信息量。该方法适用于高时间分辨率的同一数据源时相近或准同步的若干个数据源云检测与去除处理。从像元灰度看，云的灰度较云影及非云区域普遍要高得多，通过去云前后的像元灰度指标对比，可以验证该方法的有效性。

3 结果与分析

3.1 云及云影检测

在 ENVI 面向对象模块支持下，经影像分割、合并分块、精炼分割、属性计算等环节实现了两幅影像的分类。20090716 影像中没有薄云，分成植被、水体、不透水面、厚云、云影及其他阴影等 6 类；而 20090730 的影像中云的覆盖率很高，更有不少薄云存在，故分成植被、水体、不透水面、厚云、薄云、云影和其他阴影等 7 类。此处需要说明的是，在影像中，其他阴影的种类较多，主要是山影和建筑阴影，而其覆盖的下垫面事实上可能隶属于植被、水体、不透水面等种类，为叙述方便，将其统称为其他阴影。经目视对比，认为该方法较有效地实现了云及云影的检测，将一些细碎像元进行归并与擦除处理，并将其他类别合并为非云区，得到两幅影像的云及云影第一次检测结果。前已述及，由于云影和其他阴影的光谱差异极小，容易混淆，故依据式(1)，设置阈值，剔除了其他阴影，得到两幅影像云检测的最终结果(图3)。从云检测结果可知，20090716 影像明显优于 20090730 影像，将前者设置为主影像是合适的。

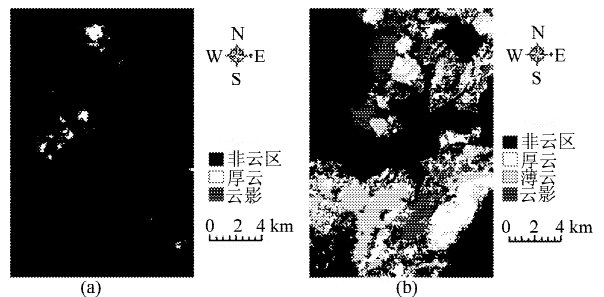


图3 影像云检测结果

Fig.3 Cloud detection result of images

(a) 20090716 (b) 20090730

3.2 云、云影去除及影像还原

利用云及云影去除规则，在 ERDAS 平台实现了 20090716 影像云去除及影像的初步还原。在此基础上，采用 ENVI/IDL 算法实现尚存在的部分 0 值像元的补偿，由此，得影像最终还原结果图(图4)。为判定去云结果的合理性，对原影像、去云后影像的像元灰度均值、最大值、标准差、熵等指标进行比较，见表1。熵指的是体系内的混乱程度，可以用于衡量影像信息的丰富程度，熵越大，表征影像中携带的信息量越丰富^[15-16]。

云的反射率往往远高于地物反射率，云影则相反，本文选择的影像中云影所占面积远小于云的面积，因此还原后的影像灰度整体上应当低于原影像。从均值对比结果看，还原前后极为接近，后者略低于前者，这与郑文武等^[10]去除 TM 影像云和阴影所得

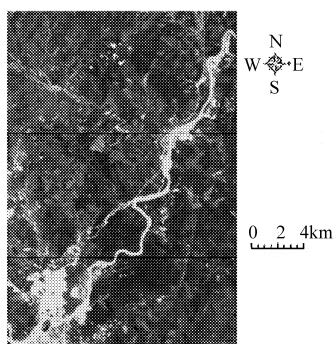


Fig. 4 HJ-1 多光谱影像还原结果

Fig. 4 Restored result of HJ-1 multi-spectral image

表1 去云前后影像像元灰度指标对比

Tab.1 DN indices comparison of images before and after cloud removal

对比指标	影像	波段1	波段2	波段3	波段4
最大值	去云前	170	144	161	131
	去云后	94	96	119	147
均值	去云前	29.569	20.040	15.863	61.183
	去云后	29.188	19.765	15.535	61.182
标准差	去云前	6.656	6.657	9.505	10.260
	去云后	4.721	5.344	8.251	10.113
熵	去云前	0.766	0.956	1.041	1.801
	去云后	1.080	1.228	1.189	1.709

结果一致;从最大值对比结果看,波段1、2、3的值亦说明去云结果接近实际,惟波段4还原后影像略高于原影像,这是由于去云后原本被云层覆盖的地物被显现,而林地是试验区的主要地物,在植被冠层光谱曲线中,近红外处反射率陡峭上升,使得还原后影像的近红外波段的最大值有所增大。标准差反映了

影像各像元灰度偏离均值的大小,标准差越大,表示灰度级分布越分散,去云后影像各像元之间的灰度差距缩小,故标准差相应变小,试验所得结果符合这一规律。与TM等其他多光谱数据一样,国产HJ-1多光谱影像第4波段熵值最大,所含信息量最为丰富;从去云前后的对比结果看,除第4波段的信息量略有损失外,其他波段的熵值都有不同程度的增大,说明本文对HJ-1 CCD多光谱数据的去云试验较好地实现了影像信息的增强,去云结果较为理想。

在本文研究过程中,对个别0值区域采用了补偿处理,不难知晓,只要基础数据许可,可以设置更多数量的副影像,避免0值的出现。此外,薄云像元中仍存在较为丰富的下垫面信息,本文对这些区域予以简单去除,显然丢失了不少信息,也使还原后的影像存在接缝连续性较差问题;一些学者在去云研究中提出了改进方法^[17-18],这些方法是否可在本文方法体系内发挥积极作用,可以在未来进一步试验。

4 结束语

本文将面向对象法与替换法相结合,对HJ-1 CCD多光谱数据进行检验。结果表明,面向对象法可以较为有效地检测HJ-1多光谱数据中的厚云、薄云及云影信息,替换法还原后的影像极接近于地面实际;二者结合可作为云检测与去除的重要方法。去云后的影像可以填补开展马尾松毛虫害天基空间监测与预警工作中某些重要窗口时间影像数据的空缺。

参 考 文 献

- Richter R. Atmospheric correction of satellite data with haze removal including a haze/clear transition region[J]. *Comput Geosci*, 1996(22): 675 ~ 681.
- Zhang Y, Guindon B, Cihlar J. An image transform to characterize and compensate for spatial variations in thin cloud contamination of Landsat images[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 82(2~3): 173 ~ 187.
- Maaouf A, Carre P, Augereau B, et al. Bandelet-based inpainting technique for clouds removal from remotely sensed images[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Science*, 2009, 47(7): 2363 ~ 2371.
- Paudel K P, Andersen P. Monitoring snow cover variability in an agropastoral area in the Trans Himalayan region of Nepal using MODIS data with improved cloud removal methodology[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(5): 1234 ~ 1246.
- 郑晓燕, 张艳红, 刘万崧. 扎龙湿地水体遥感提取过程中云阴影去除方法研究[J]. *湿地科学*, 2010, 8(1): 21 ~ 27. Zheng Xiaoyan, Zhang Yanhong, Liu Wansong. Method on cloud shadow removing from water bodies in the process of remote sensing extraction in Zhalong wetlands[J]. *Wetland Science*, 2010, 8(1): 21 ~ 27. (in Chinese)
- 赵忠明, 朱重光. 遥感图象中薄云的去除方法[J]. *环境遥感*, 1998, 11(3): 195 ~ 199. Zhao Zhongming, Zhu Chongguang. Approach to removing cloud cover from satellite imagery[J]. *Remote Sensing of Environment China*, 1998, 11(3): 195 ~ 199. (in Chinese)
- 马建文, 顾行发, 冯春, 等. CBERS-02 卫星图像薄云的去除方法研究[J]. *中国科学 E 辑: 信息科学*, 2005, 35(增刊1): 89 ~ 96. Ma Jianwen, Gu Xingfa, Feng Chun, et al. Cloud removal method with CBERS-02 satellite[J]. *Science in China Ser. E: Information Sciences*, 2005, 35(Supp. 1): 89 ~ 96. (in Chinese)
- 郭向前. 基于小波变换的 CBERS-02 图像薄云薄雾去除的方法研究[J]. *测绘科学*, 2008, 33(增刊): 57 ~ 59. Guo Xiangqian. The study of removal of thin cloud in CBERS-02 CCD based on the wavelet transform[J]. *Science of Surveying*

- and Mapping, 2008, 33(Supp.): 57~59. (in Chinese)
- 9 郑玉凤, 李海涛, 顾海燕. 基于环境卫星 CCD 影像的薄云去除研究[J]. 遥感信息, 2011(3): 77~81.
Zheng Yufeng, Li Haitao, Gu Haiyan. Research on haze removal from HJ satellite CCD images[J]. Remote Sensing Information, 2011(3): 77~81. (in Chinese)
- 10 郑文武, 邓运员. 基于 LSMA 的 TM 影像云和阴影的检测与去除方法[J]. 测绘科学, 2010, 25(3): 62~65.
Zheng Wenwu, Deng Yunyuan. Detecting and removing cloud and shade on TM imagery based on LSMA [J]. Science of Surveying and Mapping, 2010, 25(3): 62~65. (in Chinese)
- 11 李微, 方圣辉, 佃袁勇, 等. 基于光谱分析的 MODIS 云检测算法研究[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2005, 30(5): 435~438, 443.
Li Wei, Fang Shenghui, Dian Yuanyong, et al. Cloud detection in MODIS data based on spectrum analysis[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2005, 30(5): 435~438, 443. (in Chinese)
- 12 田养军, 薛春纪. 遥感影像云团和云影检测与去除[J]. 地球科学与环境学报, 2007, 29(3): 300~303.
Tian Yangjun, Xue Chunji. Detection and removal of clouds and their shadows from remote sensing images[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2007, 29(3): 300~303. (in Chinese)
- 13 余坤勇, 许章华, 刘健, 等. “基于片层一面向类”的竹林信息提取算法与应用分析[J]. 中山大学学报:自然科学版, 2012, 51(1): 89~95.
Yu Kunyong, Xu Zhanghua, Liu Jian, et al. Algorithm and application analysis of film-based & class-oriented for bamboo forest information extraction[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2012, 51(1): 89~95. (in Chinese)
- 14 高海燕, 吴波. 结合像元形状特征分割的高分辨率影像面向对象分类[J]. 遥感信息, 2010(6): 67~72.
Gao Haiyan, Wu Bo. Object-oriented classification of high spatial resolution remote sensing imagery based on image segmentation with pixel shape feature[J]. Remote Sensing Information, 2010(6): 67~72. (in Chinese)
- 15 余坤勇, 刘健, 许章华, 等. 南方地区竹资源专题信息提取研究[J]. 遥感技术与应用, 2009, 24(4): 449~455.
Yu Kunyong, Liu Jian, Xu Zhanghua, et al. Study on bamboo resources thematic information extraction in the south of China[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2009, 24(4): 449~455. (in Chinese)
- 16 沈文水, 周新志. 一种基于 ENVI 二次开发的遥感薄云去除方法的改进[J]. 计算机与数学工程, 2009, 37(5): 127~129.
Shen Wenshui, Zhou Xinshi. An improved approach to remove cloud in RS image based on the second exploitation of ENVI[J]. Computer & Digital Engineering, 2009, 37(5): 127~129. (in Chinese)
- 17 董保根, 秦志远, 杨安红. 基于多时相遥感影像去除朵云及阴影的改进方法[J]. 测绘通报, 2010(12): 13~16, 57.
Dong Baogeng, Qin Zhiyuan, Yang Anhong. The improved method of cirrus and shadows removal based on multi-temporal remote sensing images[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2010(12): 13~16, 57. (in Chinese)
- 18 武坚, 江洪, 张峡辉, 等. 图像替换去云的接缝消除研究[J]. 测绘科学与工程, 2010, 30(2): 24~27.
Wu Jian, Jiang Hong, Zhang Xiahui, et al. Image exchange seam smoothing in cloud removal[J]. Geomatic Science and Engineering, 2010, 30(2): 24~27. (in Chinese)

(上接第 127 页)

- 16 毛建华, 王正祥, 刘太祥, 等. 资源节约环境友好的滨海盐土改良与绿化创新技术[J]. 中国农学通报, 2009, 25(11): 169~172.
Mao Jianhua, Wang Zhengxiang, Liu Taixiang, et al. A resource-saving and environment-friendly innovative technology for modifying saline soil and greening in the coastal region[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(11): 169~172. (in Chinese)
- 17 张天. 天津滨海盐渍土区水盐监测及盐土改良工程模拟实验分析[D]. 北京: 中国农业大学, 2010.
Zhang Tian. Monitoring of water and salt movement in Tianjin coastal saline soil area and investigating of the simulated saline soil reclamation projects[D]. Beijing: China Agricultural University, 2010. (in Chinese)
- 18 冯永军, 陈为峰, 张蕾娜, 等. 滨海盐渍土水盐运动室内实验研究及治理对策[J]. 农业工程学报, 2000, 16(3): 38~42.
Feng Yongjun, Chen Weifeng, Zhang Leina, et al. Experimental study on salt and water movement of seashore saline soil in laboratory and harnessing measures [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2000, 16(3): 38~42. (in Chinese)
- 19 李法虎. 土壤物理化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- 20 刘太祥, 马履一. 节水型盐碱滩地物理-化学-生态综合改良及植被构建方法: 中国, ZL 2004 1 0072547.9[P]. 2006-05-03.
Liu Taixiang, Ma Lüyi. A water-saving technology to improve saline alkali marshes and build vegetation by integrating physical-chemical-ecological methods; China, ZL 2004 1 0072547.9[P]. 2006-05-03. (in Chinese)
- 21 Ahmad Niaz, Awan Usman Khalid, Saeed Amir. Effect of controlled drainage on wheat water use efficiency and soil salinity—a lysimeter study[J]. International Agricultural Engineering Journal, 2005, 14(4): 215~224.
- 22 Johannes Hendrikus Barnard, Leon Daniel van Rensburg, Alan Thomas Peter Bennie. Leaching irrigated saline sandy to sandy loam apedal soils with water of a constant salinity[J]. Irrigation Science, 2010, 28(2): 191~201.
- 23 刘虎, 魏占民, 黄明勇, 等. 稳定流条件下曹妃甸地区吹填土脱盐过程[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 62~68.
Liu Hu, Wei Zhanmin, Huang Mingyong, et al. Desalination process by dredger fill under steady flow in Caoheidian area[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(9): 62~68. (in Chinese)