

MODIS 数据的水浇地提取

董婷婷^{1, 2, 3}, 左丽君^{1, 2, 3}, 张增祥¹

1. 中国科学院 遥感应应用研究所, 北京 100101;

2. 农业部 资源与数字农业重点开放实验室, 北京 100081;

3. 中国科学院 研究生院, 北京 100039

摘 要: 水浇地是土地覆盖分类系统中的一个重要类型, 依据水分亏缺指数(WDI)与土壤水分的相关性, 计算了监测时间内 WDI 的变化情况, 用降雨资料去除了由于降雨引起的 WDI 的变化, 进而提取了研究区的水浇地分布。结果表明: (1)提取出的水浇地在数量上与统计资料相比, 除山西省偏差相对较大外, 其余各省偏差均小于 7%, 提取出的结果与统计资料具有可比性。(2)提取出的水浇地在空间上多成片出现在河流、湖泊、水库附近、灌区和绿洲上, 与已知的水浇地集中区一致。(3)利用 TM 影像对提取结果进行了初步判断, 其中山西省的正确率较低, 只有 64%, 其余各省正确率均在 70% 以上, 新疆的正确率最高为 92%。

关键词: 水浇地, 土地覆盖, 水分亏缺指数(WDI), MODIS 数据, HANTS 变换

中图分类号: TP79

文献标识码: A

1 引 言

水浇地是土地覆盖分类系统中的一个重要类型, 它是指有水源保证和灌溉设施, 在一般年景能正常灌溉的耕地。到目前为止, 利用遥感数据直接针对水浇地的影像识别、提取以及监测其动态变化的研究还不多见(吴凯等, 2006; 徐美等, 2006)。现有的研究主要集中在土地覆盖/土地利用和灌溉制图上, 将水浇地作为其中的一个类型, 主要采用目视解译、图像自动分类和基于物理特性的研究方法进行判定, 如 Defries(1994)采用时间序列的 AVHRR 数据, 利用决策树分类方法, 将全球土地利用覆盖分成了 17 类, 水浇地是其中的一类。Prasad 等(2005)采用 8d 合成的 MODIS 数据, 依据水浇地、水田、旱地在 band1 和 band2 形成的特征空间不同, 利用 modified Anderson classification 的 hierarchical classification 对 Ganges and Indus basin 进行了灌溉制图, 成功地识别了水田、旱地和水浇地, 分类的精度在 56%—100%。International water management institute (IWMI)(1999)采用每月合成的 NOAA AVHRR 的 band1, band 2, band 4 和 10d 合成的 NDVI SPOT VGT 数据以及一些辅助数据, 利用 K-MEAN 非监督

分类方法实现了全球灌溉面积制图, 提取出了水浇地, 分类结果高于联合国粮农组织(FAO)7%—12%。KAMTHONKIAT 等(2005)利用 10d 合成的 SPOT NDVI 数据、10d 合成的降雨量数据及一些辅助数据, 采用 “peak detector algorithm” 技术成功地对泰国 Suphanburi 地区的雨养水稻和灌溉水稻进行分离, 并用地面实测数据进行了检验, 分类精度在 89% 以上。

2 研究区概况

研究区选择西北干旱农业气候区的 3 个省 2 个自治区作为研究对象: 新疆维吾尔自治区、甘肃省、宁夏回族自治区、山西省和陕西省。统计资料显示, 2005 年底这 5 个省区分别有耕地: $3.46 \times 10^6 \text{hm}^2$, $3.42 \times 10^6 \text{hm}^2$, $1.11 \times 10^6 \text{hm}^2$, $3.26 \times 10^6 \text{hm}^2$, $2.79 \times 10^6 \text{hm}^2$, 水浇地的比重分别为: 90.69%, 27.65%, 26.8%, 33.28%, 36.22%。除新疆维吾尔自治区外, 水浇地所占的比例均小于 40%。这 5 个省区均处于干旱半干旱气候区, 降雨量小于蒸发量且降雨量年内分配不均, 农业旱情严重, 水浇地已成为保证农业稳产的必要条件。同时, 研究区生态环境脆弱, 土地荒漠化、退化、盐碱化和土壤侵蚀严重。因此, 选取这 5 个地区的水浇地进行研究具有现实意义。

收稿日期: 2008-03-18; 修订日期: 2008-06-27

基金项目: 国家科技基础条件平台建设地球系统科学数据共享网-全国土地覆盖遥感制图(编号: 07H0510036)。

第一作者简介: 董婷婷(1980—), 女, 博士研究生。主要从事国土资源遥感研究。已发表文章 5 篇。E-mail: dongtingting8074@163.com。

3 数据源及研究方法

3.1 数据源

在查阅研究区农作物物候期后, 选用了 2005 年第 65—273 天的 MODIS 数据, 包括 1km 分辨率的 16d 合成的植被指数产品(NDVI)共 14 期, 1km 分辨率的 8d 合成的陆地表面温度产品(LST)共 27 期, 用于判断监测时间内土壤水分的变化。选用了研究区 2005 年土地利用数据库, 用于确定旱地和水浇地的界限。选用了研究区的 TM 影像, 用于提取结果的初步验证。

3.2 研究方法

本文利用 2005 年中国土地利用数据库, 在土地利用数据库中水浇地和旱地的范围内进行判断, 提取出水浇地。旱地上引起农作物土壤水分增加的主要原因是天然降雨, 水浇地上引起农作物土壤水分增加的主要原因是天然降雨和人工灌溉, 因此, 只要在农作物的生长季内判断出土壤水分增加的次数, 再利用气象资料排除由于降雨引起的土壤水分增加以后, 如果还有土壤水分的增加即可判断该地块有灌溉的发生即为水浇地。研究区农作物的熟制主要为一年一熟和一年两熟, 考虑到研究区的旱情以春旱为主, 因此, 对于一年两熟的农作物只判断第一茬作物在其生长季内土壤水分的变化情况, 如果此时判断其为水浇地, 即便第二茬不灌溉也认为该地块为水浇地。技术路线见图 1。

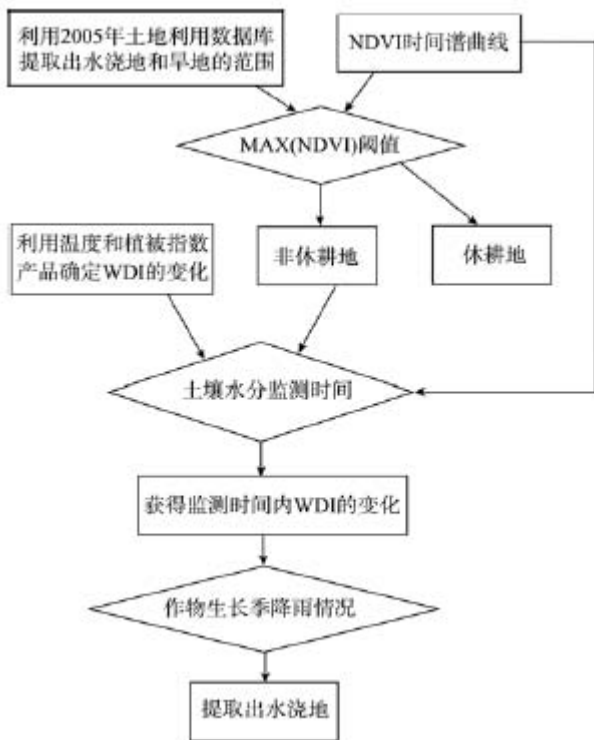


图1 水浇地提取的技术路线

4 水浇地的提取过程

4.1 对时间序列的植被指数数据进行 HANTS 变换

HANTS 变换的核心算法是傅里叶变换和最小二乘法拟合, 它将时间谱数据分解成有限个谐波, 从中选取若干个能反映影像时间序列特征的谐波进行矢量叠加, 去除噪声的同时重构时间序列影像(林忠辉等, 2006; 于信芳等, 2006)。本研究对 2005 年第 65—273 天的植被指数数据进行 HANTS 变换, 同时设置时间间隔为 8d, 进而生成 8d 合成的植被指数数据。图 2 列举了研究区内典型夏收作物冬小麦(甘肃境内)和秋收作物春玉米(宁夏境内)、春小麦(陕西境内)和棉花(新疆境内)HANTS 变换前后 NDVI 的对比。

4.2 对温度数据补值

MODIS 陆地表面温度产品中地表温度是通过建立 31 和 32 通道亮温线形组合的劈窗算法计算获取的。但是, 在农作物生长季的某个时期可能由于天气的影响而无法获得与之对应的地表温度数据, 这样便造成了温度数据在植被生长季内间断, 影响计算土壤水分动态变化。如果某期温度数据没有像素值而与其相邻的两期数据均有像素值, 那么该像素值取两者的平均值。如果与其相邻的两期数据只有一期有像素值, 那么就用其值来代替。这样基本可以保证农作物生长季内 8d 合成的温度数据的连续性。

4.3 利用 NDVI 阈值法去除休耕地

研究区内土壤养分贫瘠, 受气候干旱、灌溉水源不足、荒漠化加剧以及农业生产性质的影响, 每年会有一些耕地出现休耕以恢复土壤肥力的情况。休耕地是不进行灌溉的, 这里为了减少数据量, 先利用阈值法将休耕地从中去除。休耕地的地上植被多以荒草为主, 与农作物相比 NDVI 的峰值很低。由于研究区范围较大, 这里以省、自治区为单位将研究区划分为 5 个区域, 通过反复试验, 确定休耕地 NDVI 峰值的阈值依次为: 新疆 0.35, 甘肃 0.25, 宁夏 0.30, 陕西 0.25, 山西 0.25。

4.4 确定第 65—273 天非休耕地的 WDI 变化情况

本研究在没有地面实时监测土壤含水量的情况下, 综合考虑各种指数的优缺点, 选择了与土壤水分密切相关的水分亏缺指数(WDI)来反映土壤水分的变化, WDI 越大表示土壤水分越低, WDI 越小表示

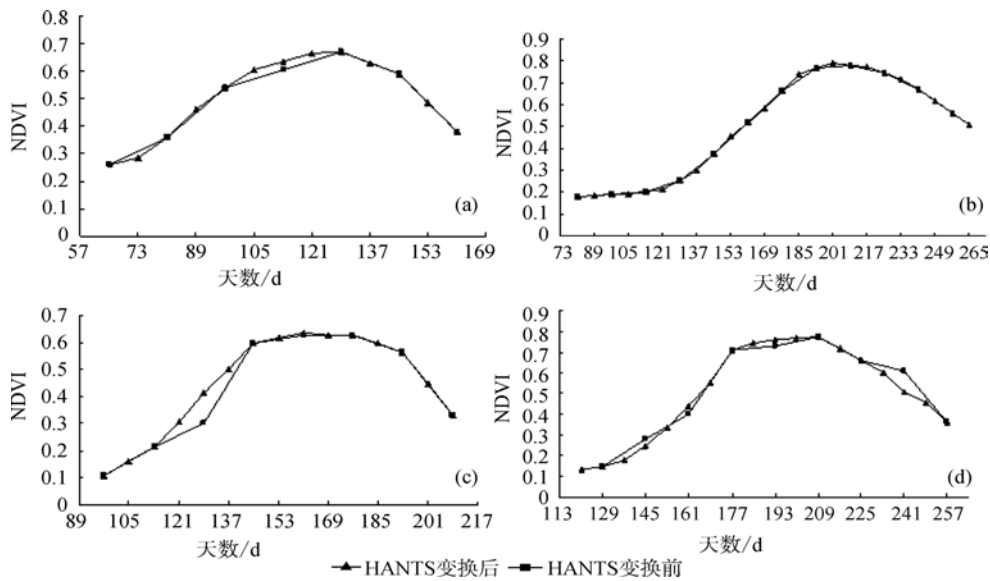


图2 HANTS 变换前后冬小麦、棉花、春小麦和春玉米生长季内 NDVI 曲线的对比

(a) 冬小麦生长季的 NDVI 曲线; (b) 棉花生长季的 NDVI 曲线; (c) 春小麦生长季的 NDVI 曲线; (d) 春玉米生长季的 NDVI 曲线

土壤水分越高(闫峰等, 2006; 李建龙等, 2003)。Moran 等在能量平衡双层模型的基础上, 假设陆地表面温度(T_s)是冠层温度与土壤表面温度线性加权及土壤与植被冠层之间不存在感热交换的情况下, 建立了地表温度(指植被和土壤的混合温度)和空气温度(T_a)的差值与地表植被覆盖度的关系, 即在任意植被覆盖度下陆气温差($T_s - T_a$)总是落在一个植被指数—温度关系(VIT 梯形)内(图 3)。梯形的 4 个顶点分别代表: 无水分胁迫的郁闭植被(G)、水分胁迫下的郁闭植被(F)、湿裸土(D)和干裸土(E)。事实上, 当研究区范围足够大, 假设研究区内存在各种植被覆盖和土壤水分情况, 可以由直角坐标系下的陆气温差和植被覆盖度的散点图确定 D 、 E 、 F 、 G 点的坐标值。这样 WDI 就可以由 VIT 中线段长度的比值计算获得, 即 $WDI = |AB|/|AC|$ 。很多研究表明在大区域范围内植被指数与植被覆盖度存在显著线性关系,

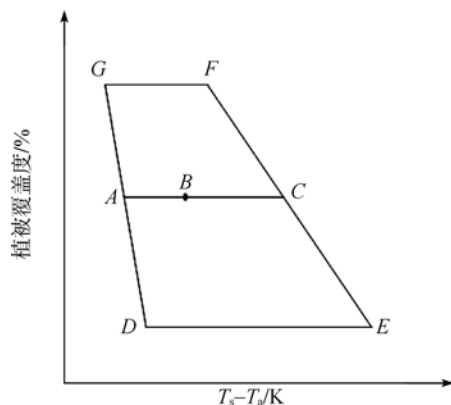


图3 WDI 示意图

通常用植被指数来代替植被覆盖度(申广荣, 1998; 韩丽娟等, 2005; Jackson 等, 1981; Moran 等, 1994; 卢远等, 2007)。本文利用第 65—273 天的 NDVI 和 $T_s - T_a$ 形成散点图, 而后拟合 GD 边和 FE 边, 最后确定任意一点到 GD 边和 FE 边的距离并求其比值即 $WDI = |AB|/|AC|$, 这样便获得了第 65—273 天非休耕地的 WDI 值。

WDI 表示研究区在某一时期的土壤相对含水量, 这使得不同时期的 WDI 不具有可比性, 考虑到 WDI 采用陆气温差反映生态系统中水汽驱动力大小, 在一定程度上克服了由于太阳辐射的纬度地带性和垂直地带性所引起的陆地表面温度地带性的影响。本研究将 8d 合成的植被指数数据和陆地表面温度数据在第 65—273 天内每两期相邻的数据形成一个 VIT 空间, 组合方式见图 4, 这样在同一个 VIT 空间中就可以比较同一像元在两个相邻时期上的 WDI 变化, 从而确定土壤水分的变化。WDI 变小表示土壤水分增加, WDI 增加表示土壤水分减少。本研究计算了非休耕地每个像元第 65—273 天的 WDI 变化情况。

其中, 在求取 WDI 的过程中需要计算陆气温差, 本研究采用 NDVI- T_s 空间法, 该方法利用 NDVI- T_s 空间中干边和湿边交点与像素(NDVI, T_s)在空间位置连线的方程计算 NDVI=0.86 时的 T_s 作为气温的估计值, 这种方法充分利用遥感数据, 几乎具有 T_s 数据能够得到相应的气温值。齐述华在其毕业论文中采用了这种方法, 并对其可行性进行了验证, 本研

究也采用这种方法, 分别计算了研究区第 65—273 天共 27 期 8d 间隔的陆气温差。

4.5 确定土壤水分的监测时间

农作物的物候期与植被指数的时间谱曲线有很好的对应关系。当作物处于返青期或出苗期时植被指数的增长速率到达最大。当作物处于抽穗、抽雄或开花期时, 植被指数将达到峰值。通过 IDL 编写程序, 提取每一地块农作物的返青或出苗期和抽

穗、抽雄或开花期。在实际灌溉中, 往往在作物的返青或出苗期之前进行一次灌溉, 这里将返青或出苗期前 8d 作为监测时间的开始。在植被指数达到峰值后抽穗、抽雄或开花期还会持续半个月左右才结束, 这期间通常还会进行一次灌溉, 这里将植被指数达到峰值时对应时间的后 16d 作为监测时间的结束。图 5 列举了冬小麦、棉花、春小麦和春玉米的监测时间。

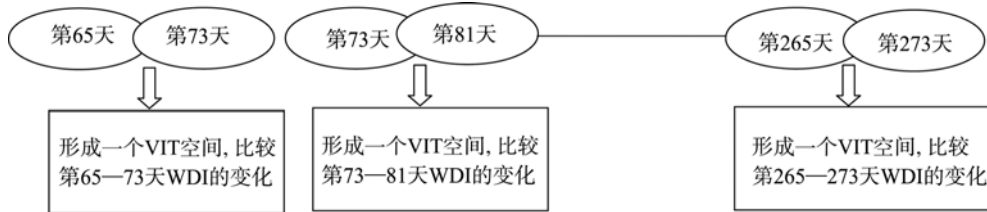


图4 VIT空间的组合方式

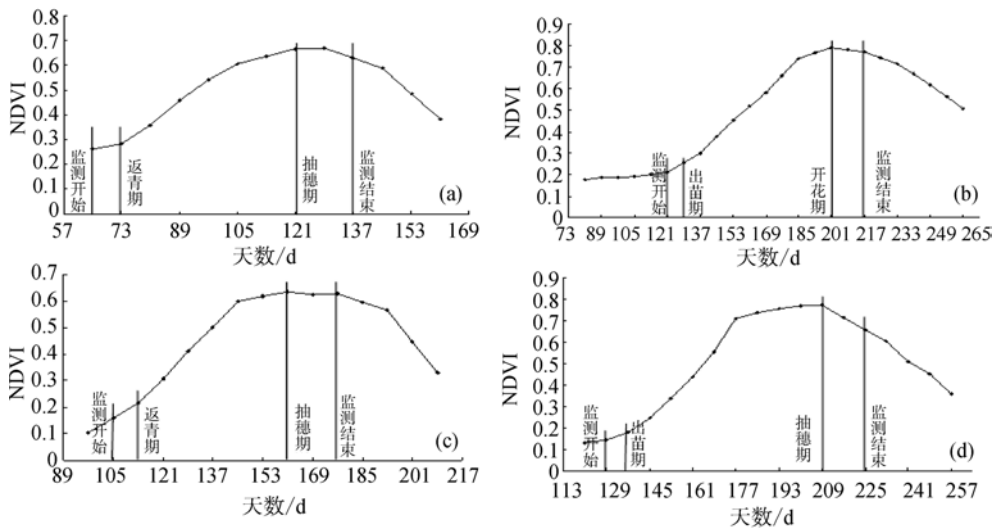


图5 冬小麦、棉花、春小麦和春玉米的监测时间

(a)冬小麦生长季的 NDVI 曲线; (b) 棉花生长季的 NDVI 曲线; (c)春小麦生长季的 NDVI 曲线; (d)春玉米生长季的 NDVI 曲线

4.6 利用降雨资料去除由降雨造成的 WDI 的变化

土壤水分的增加是判断水浇地的最有效方法, 由于降雨同样可以引起土壤水分的增加, 这就使得降雨成为判断水浇地的抑制因子, 必须将其去除。利用研究区内气象台站第 65—273 天逐日的降雨量资料, 将次降雨量大于 40mm 的降雨时间保留, 并将其栅格化。如果相邻的 2 个时间内 WDI 减小同时有次降雨量大于 40mm 的降雨发生, 则认为 WDI 的减小是由降雨引起的。如果相邻的 2 个时间内 WDI 减小但这期间没有次降雨量大于 40mm 的降雨发生, 则认为 WDI 的减小是由灌溉引起的。主要是依据当

地农民的灌溉习惯即次降雨量大于 40mm 时通常不进行灌溉, 带有一定的经验判断。从 WDI 变化中去除降雨影响的前后对比见图 6。

对比发现在冬小麦的监测时间内没有发生降雨, 返青水、拔节水和抽穗水为灌溉引起的水分变化, 判断此地块为水浇地。春小麦抽穗水和成熟水为天然降雨引起的水分变化, 返青水和两次拔节水为灌溉引起的水分变化, 判断此地块为水浇地。春玉米拔节水和抽雄水为天然降雨引起的水分变化, 判断此地块为旱地。

按照上面的技术路线编写程序, 提取了研究区内的水浇地。

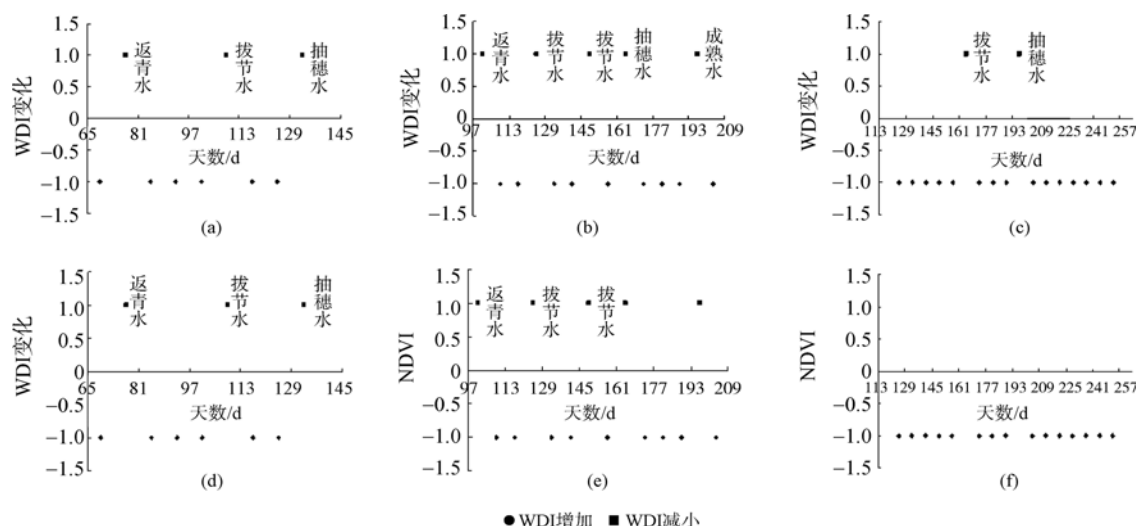


图6 从 WDI 变化中去除降雨影响的前后对比

(a) 冬小麦监测时间内 WDI 的变化; (b) 春小麦监测时间内 WDI 的变化; (c) 春玉米监测时间内 WDI 的变化; (d) 去除降雨影响后冬小麦监测时间内 WDI 的变化; (e) 去除降雨影响后春小麦监测时间内 WDI 的变化; (f) 去除降雨影响后春玉米监测时间内 WDI 的变化

5 结果与分析

本文对提取出的结果,与统计年鉴中的统计数据进行了对比,以验证其结果在数量上是否可行。与收集到的资料在空间上进行对比,从大范围上判断诸如灌区、绿洲这种明显的水浇地是否被准确判断,同时从像元的角度出发,利用高分辨率的影像,针对像元进行抽样判断,初步判断提取结果在空间上是否可行。

5.1 在数量上与统计数据进行对比分析

本研究收集了 2005 年研究区有关水浇地的资料。由于研究区以栅格为基本统计单元,如果将其转换成面积与统计资料相比会有偏差,因此,研究采用水浇地与(水浇地+旱地)的比值进行对比分析(表 1)。

表 1 水浇地的提取结果与统计资料在数量上的对比

	统计资料/%	提取结果/%
新疆	90.69	84.34
甘肃	27.65	28.68
宁夏	26.8	21.86
陕西	36.22	40.63
山西	33.28	19.54

通过分析可知,新疆、宁夏和山西这 3 个省区的提取结果均小于统计结果,依次相差 6.35%, 4.94%, 13.87%。通过分析发现,休耕地是导致提取结果偏小的主要原因,这几个地区的休耕地占旱地

的比重依次为 9.89%, 14.53%, 25.11%。由于休耕地在提取水浇地的前期处理中已经排除,而统计资料却不记载每年发生休耕的旱地数量,这样便使得提取的结果比统计结果偏低。其中山西省的结果偏差最大,利用 TM 影像对其原因进行分析发现,在山西引黄灌区以外的地区,由于地形破碎复杂,MODIS 数据的混合像元较多,NDVI 偏低极易被判断为休耕地,使得其结果偏差较大。此外近年来山西在耕地中种植果树的情况时有发生,由于果树种植间距大,植被的郁闭度低,这使得 NDVI 偏低,极易被判断为被休耕地,这两种主要原因导致了山西省水浇地提取结果偏低。甘肃省和陕西省的提取结果均高于统计结果,依次相差:0.97%, 4.41%, 休耕地所占旱地的比重较小依次为:1.18%和 0.34%,这是甘肃省和陕西省提取结果偏高的主要原因。除了山西省提取的结果与统计结果偏差较大外,其余均小于 7%,在遥感数据提取结果的基础上,在数量上用于研究分析。

5.2 在空间上对提取结果进行分析

由图 7 可见,研究区的水浇地分布与河流紧密相依,小范围成片出现,提取的结果在大范围上与已知的水浇地集中区一致。新疆引河水进行灌溉,用于灌溉的水源主要有纳斯河、塔里木河、巩乃斯河、阿克苏河、喀什噶尔河、叶尔羌河、艾比湖、额敏河和乌伦古河。提取出的水浇地成片出现在这些水源地附近,近年来塔里木河时常出现断流的情况,造成引其河水进行灌溉的地区得不到正常的灌溉,水浇地面积大大减少,塔里木河东西流向,但

统计资料具有可比性。

(4) 提取出的水浇地在空间上多成片的出现在河流、湖泊、水库附近和绿洲灌区上, 与已知的水浇地集中区一致, 对于一些近些年来变化明显的水浇地从分布图上可以准确发现。提取的结果在空间上与实际情况具有可比性。

(5) 利用 TM 影像建立研究区水浇地的判读标志, 对提取结果的正确率进行了初步判断, 其中山西省的正确率偏低, 只有 64%; 其余省/自治区正确率在 70% 以上; 新疆的正确率最高, 为 92%。

REFERENCES

- Defries R S and Townshend J R G. 1994. Global land cover: comparison of ground-based data sets to classifications with AVHRR data. New York: John Wiley and Sons
- Han L J, Wang X P, Wang J D and Liu S M. 2005. Researching on NDVI-Temperature feature space. *Science in China(Series D)*, **35**(4): 371—377
- Jackson R D, Idso D B, Reginato R J and Pinter P J. 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resource*, **17**(4): 1133—1138
- Kamthongkiet D, Handa K, Turra H, Tripathi and Wuwongse V. 2005. Discrimination of irrigated and rain-fed rice in a tropical agricultural system using SPOT vegetation NDVI and rainfall data. *International Journal of Remote Sensing*, **26**(12): 2527—2547
- Li J L, Liu P J and Zhu M. 2003. Soil water content analysis improvement with remote sensing technology. *Journal of Safety and Environment*, **3**(3): 3—6
- Lin Z H and Mo X G. 2006. Phenologies from harmonics analysis of AVHRR NDVI time series. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, **22**(12): 138—144
- Lu Y, Hua C and Wei Y F. 2007. Dynamic drought monitoring using MODIS product. *Geography and Geo-Information Science*, **23**(3): 55—58
- Moran M S, Clarke T R, Kustas, W P, et al. 1994. Evaluation of hydrologic parameters in semiarid rangeland using remote sensing spectral data. *Water Resource Research*, **30**(5): 1287—1297
- Prasad S, Thenkabail, Mitchell Schull and Hugh Turrall. 2005. Ganges and Indus river basin land use/land cover (LULC) and irrigated area mapping using continuous streams of MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, **95**(3): 317—341
- Shen G R and Tian G L. 1998. Drought monitoring with crop water stress index. *Agricultural Research in the Arid Areas*, **16**(1): 123—128
- Thenkabail P S, Biradar C M, Turrall H, Noojipady P, Li Y J, Vithanage J, Dheeravath V, Velpuri M, Schull M, Cai X L and Dutta R. 1999. An Irrigated Area Map of the World Derived from Remote Sensing. Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI)
- Wu K, Lu B and Yuan Z. 2006. The recent developments and the contribution of farmland irrigation to national grain safeness in China. *Journal of Irrigation and Drainage*, **25**(4): 7—10
- Xu M, Huang S F and Yao Y H. 2006. Application of RS in irrigated agriculture in arid and semiarid areas. *Arid Zone Research*, **23**(4): 592—597
- Yan F, Qin Z H, Li M S and Wang Y J. 2006. Progress in soil moisture estimation from remote sensing data for agricultural drought monitoring. *Journal of Natural Disasters*, **15**(6): 114—121
- Yu X F and Zhuang D F. 2006. Monitoring forest phenophases of northeast China based on MODIS NDVI data. *Resources Science*, **28**(4): 111—117

附中文参考文献

- 韩丽娟, 王鹏新, 王锦地, 刘绍民. 2005. 植被指数-地表温度构成的特征空间研究. *中国科学 D 辑地球科学*, **35**(4): 371—377
- 李建龙, 刘培君, 朱明. 2003. 利用遥感技术动态监测大面积农田土壤水分研究. *安全与环境学报*, **3**(3): 3—6
- 林忠辉, 莫兴国. 2006. NDVI 时间序列谐波分析与地表物候信息获取. *农业工程学报*, **22**(12): 138—144
- 卢远, 华瑾, 韦燕飞. 2007. 利用 MODIS 数据进行旱情动态监测研究. *地理与地理信息科学*, **23**(3): 55—58
- 申广荣, 田国良. 1998. 作物缺水指数监测旱情方法研究. *干旱地区农业研究*, **16**(1): 123—128
- 吴凯, 卢布, 袁璋. 2006. 我国农田灌溉发展近况及其对粮食安全的贡献. *灌溉排水学报*, **25**(4): 7—10
- 徐美, 黄诗峰, 姚永慧. 2006. 干旱半干旱地区灌溉农业中的遥感应用. *干旱区研究*, **23**(4): 592—597
- 闫峰, 覃志豪, 李茂松, 王艳姣. 2006. 农业旱灾监测中土壤水分遥感反演研究进展. *自然灾害学报*, **15**(6): 114—121
- 于信芳, 庄大方. 2006. 基于 MODIS/NDVI 数据的东北森林物候期监测. *资源科学*, **28**(4): 111—117