

1992-2015年中亚五国土地覆盖与蒸散发变化

阮宏威^{1,2}, 于静洁^{1,2}

(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 100190)

摘要: 1991年苏联解体, 中亚五国独立使得土地覆盖与蒸散发格局发生深刻变化。以中亚五国为研究区, 采用欧空局气候变化项目(CCI)土地覆盖和全球陆地数据同化系统(GLDAS)蒸散发数据, 分析1992-2015年土地覆盖与蒸散发时空变化特征, 进一步研究耕地蒸散耗水特征。结果表明: ① 中亚五国土地覆盖变化具有阶段性特征, 耕地扩张引起土地覆盖格局变化。1992-2003年耕地快速增加(1.1万 km²/a), 林地和草地大幅减少。2003-2015年耕地增速趋缓(0.3万 km²/a), 林地和草地有一定恢复, 裸地和水体持续减少, 城镇用地持续增长。耕地共增加12.3万 km², 林地和草地分别减少4.0万 km²和2.3万 km², 且集中于哈萨克斯坦中北部。裸地减少3.5万 km², 集中于哈萨克斯坦西南部, 水体减少3.1万 km², 集中在咸海湖泊。乌兹别克斯坦耕地减少、裸地增加, 吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦和土库曼斯坦土地覆盖变化幅度较小; ② 中亚五国蒸散发变化与土地覆盖格局基本一致。蒸散发总体呈增加态势(6 mm/a), 1992-2003年快速增加(11.3 mm/a), 2003-2015年缓慢上升(2.4 mm/a)。中亚五国年蒸散发达到276.8 mm, 东南部的吉尔吉斯斯坦(347.3 mm)和塔吉克斯坦(302.9 mm)最高, 中北部的哈萨克斯坦(297.9 mm)次之, 西南部的乌兹别克斯坦(211.0 mm)和土库曼斯坦(150.0 mm)最低; ③ 中亚五国蒸散耗水结构受耕地面积大小的影响。中亚五国耕地蒸散耗水的贡献由24.7%增至27.9%, 土库曼斯坦耕地蒸散耗水仅占本国的11%, 其他国家均超过25%。草地、林地和裸地的蒸散耗水贡献降低, 但哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦和塔吉克斯坦仍以草地和林地蒸散耗水为主(≥ 50%), 土库曼斯坦(61.3%)和乌兹别克斯坦(46.4%)的裸地蒸散耗水占绝对优势。本文明确了中亚五国土地覆盖连续动态变化过程, 细化各国土地覆盖与蒸散发特征及差异, 增强对土地覆盖与蒸散发现状的认识, 可为水土资源管理和生态环境保护提供数据参考。

关键词: 中亚五国; 土地覆盖; 蒸散发; 时空变化; 蒸散耗水结构

DOI: 10.11821/dlxb201907002

1 引言

土地覆盖是自然与人类对地表共同作用的结果, 蒸散发是土地覆盖与水资源状况的综合表征, 是水循环的主要形式, 是水资源管理的重要环节^[1-3]。Rosenberg等指出地表降水的70%以蒸散发形式回到大气中, 在干旱区该比例可达到90%^[4]; 且干旱区蒸散发对土地覆盖变化极为敏感, 土地覆盖的分布特征基本决定了蒸散发分布的格局^[5-6]。深入了解一个区域的土地覆盖变化与蒸散发变化, 以及二者之间的响应特征, 可为区域水土资源科学利用和管理提供科学参考^[7-10]。

收稿日期: 2018-05-14; 修订日期: 2019-06-07

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA20040302) [Foundation: Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, Grant No.XDA20040302]

作者简介: 阮宏威(1992-), 男, 安徽合肥人, 博士生, 研究方向为水文水资源。E-mail: ruanhw.17b@igsrr.ac.cn

通讯作者: 于静洁(1964-), 女, 吉林四平人, 研究员, 研究方向为水文水资源。E-mail: yujj@igsrr.ac.cn

1292-1304 页

中亚五国地处内陆干旱、半干旱区,地域辽阔且地形起伏大,各国水资源分布极不均衡^[11-13]。1991年苏联解体,中亚五国的独立使得区域的经济政策缺乏统一管理,水土资源过度开发利用^[14-16]。以耕地扩张为主导的人类活动,引起中亚土地覆盖以及蒸散发格局的深刻变化,加剧了区域的水资源危机,由此引发湖泊萎缩、土地退化等生态环境问题^[17-19]。受地面观测数据制约,20世纪末以来,众多学者以遥感反演产品为基本数据源,开展了大量的土地覆盖格局与蒸散发时空演变特征的研究。其中代表性的研究是:韩其飞等^[20]利用UMD、GLC和GlobCover等多期遥感数据集,分析了1981-2009年中亚土地覆盖的变化趋势,但因存在土地覆盖分类系统不一致的问题,不同时期的土地覆盖变化难以直接比较;Chen等^[21]基于SEBS模型反演中亚蒸散发时空分布格局,分析1980年、1990年和2005年中亚五国土地覆盖的蒸散发变化特征,典型时段的选取未考虑蒸散发实际变化过程;李超凡等^[22]利用多源土地覆盖和蒸散发数据,分析1990-2009年中亚蒸散发动态特征,土地覆盖数据时间尺度为10年,导致土地覆盖和蒸散发特征缺少详细的连续动态变化过程的描述,且侧重于区域宏观变化分析。由此可见,在国家尺度上对中亚地区的土地覆盖与蒸散发连续变化特征的研究还较为薄弱,特别是受人类活动影响显著的耕地变化及相应蒸散发的变化值得深入分析。

本文采用年尺度欧空局气候变化项目(Climatic Change Initiative, CCI)土地覆盖数据和全球陆地数据同化系统(Global Land Data Assimilation System, GLDAS)蒸散发数据,旨在分析1992-2015年中亚五国土地覆盖与蒸散发时空变化特征,进一步研究不同耕地类型的空间分布及蒸散发特征。研究成果可为中亚五国水土资源管理和生态环境保护提供数据参考。

2 数据收集

2.1 研究区域

中亚五国地处亚欧大陆中部,包括哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、土库曼斯坦和乌兹别克斯坦(图1)。中亚五国总面积约为397万km²,哈萨克斯坦面积最大

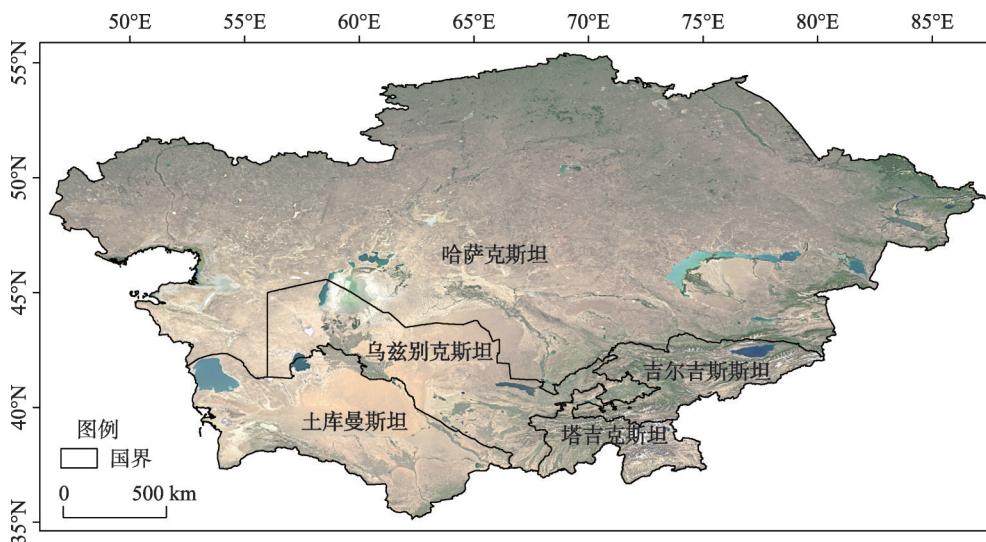


图1 中亚五国地理位置

Fig. 1 Geographic location of the five Central Asian countries

(271.2 万 km^2), 乌兹别克斯坦 (47.1 万 km^2) 和土库曼斯坦 (44.6 万 km^2) 次之, 吉尔吉斯斯坦 (19.9 万 km^2) 和塔吉克斯坦 (14.2 万 km^2) 面积最小。地势东南高, 西北低, 地形起伏较大, 气候空间异质性强^[23]。总体可分为 3 个地带: 中北部低山丘陵位于哈萨克斯坦境内, 耕地、林地和草地广布; 东南部高山区以塔吉克斯坦和吉尔吉斯斯坦为主, 分布有草地和林地; 西南部平原区的土库曼斯坦和乌兹别克斯坦, 以荒漠、沙漠为主^[24]。中亚属温带大陆性干旱、半干旱气候, 气温年较差较大, 冬季南部温暖, 北部寒冷^[25]。降水稀少, 蒸散发量大, 降水时空分布极不均匀。年平均降水量低于 300 mm, 高山区可达 500 mm 以上, 平原区普遍低于 200 mm^[26-27]。

2.2 土地覆盖数据

欧洲太空局 CCI 全球土地覆盖产品时间序列为 1992-2015 年, 时空分辨率分别为年尺度和 300 m \times 300 m (<https://www.esa-landcover-cci.org>)。与其他基于单年和单传感器方法的产品不同, CCI 土地覆盖产品包含了 AVHRR (1992-1999 年)、SPOT-VGT (2000-2013 年) 和 PROBA-V (2014-2015 年) 时间序列数据。在 1 km 尺度上监测土地覆盖的变化, 并重采样为 300 m \times 300 m 分辨率, 能够描述与 IPCC 土地分类相匹配的土地覆盖主要变化特征^[31-32]。CCI 土地覆盖产品经地面参考数据和替代传感器等独立数据验证, 总体准确率达到 74.4%, 具有较高的数据质量^[28, 30, 33-34]。该产品准确刻画了中亚地区湖泊面积的年度动态变化过程, 对耕地、林地、城镇、裸地、水体也达到了较高的精度^[32], Nowosad 等^[35]、Li 等^[28]和 Jin 等^[18]众多学者已利用 CCI 土地覆盖数据监测中亚地区耕地、草地等土地覆盖的动态变化过程。

CCI 土地覆盖数据包括 22 种土地覆盖类型。本文重点分析中亚五国主要土地覆盖类型的变化特征, 将 24 期土地覆盖数据重分类为耕地 (雨养、灌溉、混合)、林地、草地、裸地、水体和城镇 (表 1)。

2.3 蒸散发数据

GLDAS 是基于卫星、陆面模式和地面观测的数据同化系统 (<https://disc.gsfc.nasa.gov/hydrology>), 可提供全球范围 1979 年至今的陆面资料, 空间分辨率为 0.25 $^{\circ}$ \times 0.25 $^{\circ}$ 和 1 $^{\circ}$ \times 1 $^{\circ}$, 时间分辨率为 3 小时和月^[36-37]。GLDAS 采用的气象驱动数据来自于多源观测、再分析资料和大气同化产品, 共调用了 CLM、Noah、Mosaic 和 VIC 模型, 在区域研究中具有较高的适用性, 被广泛应用于气候、水资源等方面的研究^[38-40]。已经有 Singh 等^[41]、Li 等^[26]和 Kariyeva 等^[42]众多学者运用 GLDAS 数据, 分析中亚地区气候和水资源变化状况。本文采用 GLDAS 与 Noah 模式相结合的 v2.0 和 v2.1 蒸散发数据集, 时间序列分别为 1992-1999 年和 2000-2015 年, 空间分辨率为 0.25 $^{\circ}$ \times 0.25 $^{\circ}$, 采用最邻近内插法, 重采样为 300 m \times 300 m 分辨率, 以评估中亚五国土地覆盖的蒸散发年际变化特征。

3 研究结果

3.1 中亚五国土地覆盖变化

1991 年苏联解体后, 中亚五国耕地和城镇面积持续增加, 分别增加了 12.3 万 km^2 和 0.6 万 km^2 ; 林地、草地、裸地和水体总体呈下降态势, 分别减少了 4.0 万 km^2 、2.4 万 km^2 、3.5 万 km^2 、3.1 万 km^2 。中亚五国主要土地覆盖类型的面积变化具有明显的阶段性特征, 不同土地覆盖类型间的变化也具有明显的对应关系。1992-2003 年耕地快速增加 (1.1 万 km^2/a), 相应时期内的林地和草地大幅减少; 2003-2015 年耕地缓慢上升 (0.3 万 km^2/a), 林地和草地有一定的恢复; 2008 年后耕地小幅增加, 草地和裸地相应减少 (图 2)。

表1 土地覆盖重分类
Tab. 1 Reclassification of land cover

| 重分类 | | | CCI土地覆盖分类 |
|------|-------|-------------|--|
| 1 耕地 | 11 雨养 | 10、11、12 | 雨养耕地 |
| | 12 灌溉 | 20 | 灌溉或水淹耕地 |
| | 13 混合 | 30 | 耕地($\geq 50\%$)/天然植被($< 50\%$)镶嵌体 |
| | | 40 | 天然植被($\geq 50\%$)/耕地($< 50\%$)镶嵌体 |
| 2 林地 | | 50 | 郁闭或敞开($> 15\%$)常绿阔叶林 |
| | | 60、61 | 郁闭或敞开($> 15\%$)落叶阔叶林 |
| | | 70、71、72 | 郁闭或敞开($> 15\%$)常绿针叶林 |
| | | 80、81 | 郁闭或敞开($> 15\%$)落叶针叶林 |
| | | 90 | 针阔混交林 |
| | | 100 | 林地和灌丛($\geq 50\%$)/草地($< 50\%$)镶嵌体 |
| | | 160 | 淡水或咸水水淹林地 |
| | | 170 | 咸水水淹林地 |
| 3 草地 | | 120、122 | 灌木 |
| | | 150 | 稀疏植被(林地、灌木) |
| | | 110 | 草地($\geq 50\%$)/林地和灌丛($< 50\%$)镶嵌体 |
| | | 130 | 草地 |
| 4 裸地 | | 153 | 稀疏草地($< 15\%$) |
| | | 200、201、202 | 裸地 |
| 5 水体 | | 180 | 水淹或长期水浸草地 |
| | | 210 | 水体 |
| | | 220 | 永久冰雪 |
| 6 城镇 | | 190 | 城镇地区 |

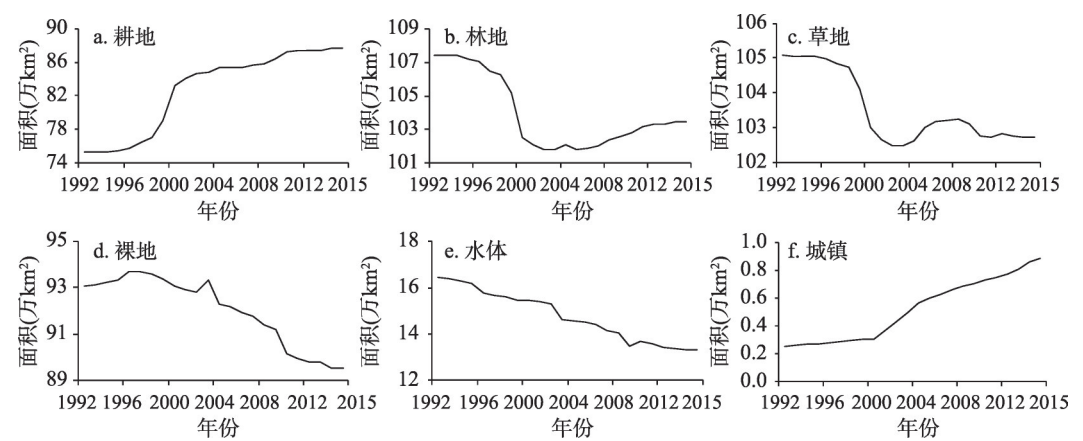


图2 1992-2015年中亚五国土地覆盖面积变化
Fig. 2 Land cover change in the five Central Asian countries from 1992 to 2015

中亚五国土地覆盖面积变化在2003年前后呈现不同的阶段性特征，以1992年、2003年和2015年为例，分析土地覆盖的空间分布特征（图3）。耕地分布于北部、东南部和咸海流域河岸带，林地和草地主要分布于中北部和东南部，裸地位于西南部，水体和城镇

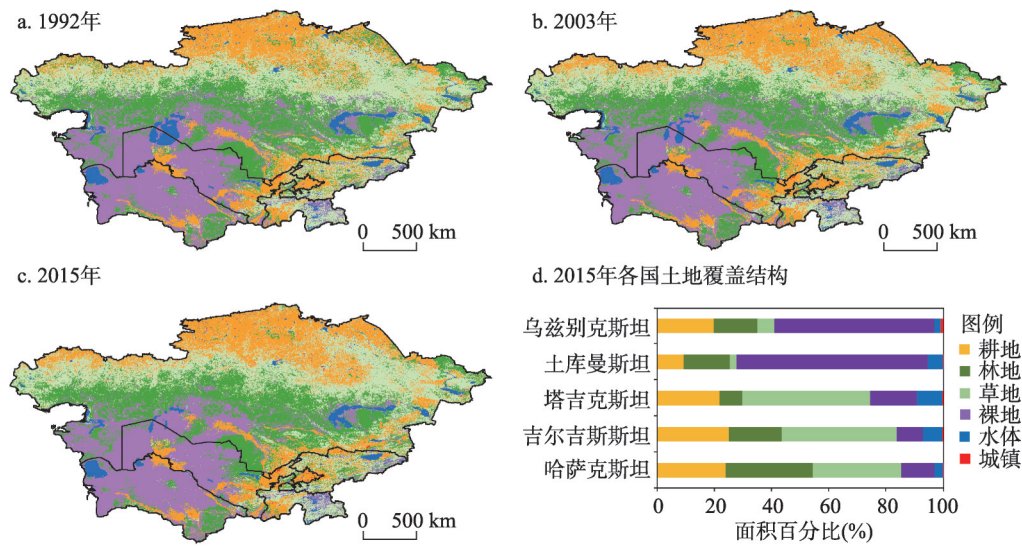


图3 中亚五国土地覆盖分布(a、b、c)及各国土地覆盖结构(d)

Fig. 3 Land cover spatial distribution (a, b, c) and structure (d) of the five Central Asian countries

相对分散(图3a~3c)。1992-2015年中亚五国北部的耕地明显增加,逐渐向中部扩展。东部耕地增加也较为明显,咸海流域内的耕地无明显变化。由于耕地扩张,中北部及东部的林地和草地大量减少。裸地分布于西南部,以咸海湖泊为主的水体面积大幅减少,使得裸地面积大量增加。

至2015年,中亚五国土地覆盖变化渐趋稳定。以2015年为例,分析中亚五国及各国土地覆盖的结构现状(图3d)。中亚五国耕地、林地、草地、裸地、水体和城镇面积比例分别为20.8%、26.2%、26%、23.2%、3.7%、0.1%。其中,哈萨克斯坦以草地、林地和耕地为主,各占本国面积的30.6%、30.4%和24.1%;吉尔吉斯斯坦以草地和耕地为主,各占40.2%和25.2%;塔吉克斯坦以草地和耕地为主,各占44.7%和21.9%;土库曼斯坦以裸地和林地为主,各占66.9%和16.0%;乌兹别克斯坦以裸地和耕地为主,各占56.0%和19.8%。

中亚五国耕地的扩张引起林地、草地和裸地等土地覆盖的变化,各土地覆盖类型之间存在明显的转移关系。1992-2015年中亚五国土地覆盖转移主要为林地和草地转移为耕地、裸地转移为林地和草地(表2)。8.2万km²林地和5.9万km²草地转移为耕地,同时有1.7万km²耕地转移为林地和草地。裸地主要转移为林地(4.5万km²)和草地(2.0万km²),3.0万km²水体转移为裸地,城镇主要来自耕地(0.5万km²)和草地(0.1万km²)的转移。其中,哈萨克斯坦耕地主要来自林地和草地的转移,部分裸地转移为林地和草地;吉尔吉斯斯坦和塔吉克斯坦耕地主要来自草地的转移;土库曼斯坦耕地主要来自裸地的转移;乌兹别克斯坦耕地多转移为林地、草地和城镇,大面积水体转移为裸地。

耕地、林地、草地、水体和城镇面积变化的阶段性特征与中亚五国整体一致,但裸地在2003-2015年变化更为明显(表3)。中亚各国的土地覆盖面积变化存在一定差异,中亚五国耕地总体持续增加、裸地持续减少,而乌兹别克斯坦出现耕地持续减少、裸地持续增加;哈萨克斯坦、塔吉克斯坦和土库曼斯坦在1992-2003年耕地增加明显,吉尔吉斯斯坦和乌兹别克斯坦耕地在2003-2015年变化更为明显;中亚五国林地和草地总体呈减少态势,塔吉克斯坦、乌兹别克斯坦和土库曼斯坦的林地和草地无明显变化;中亚五国

表2 1992-2015年中亚五国土地覆盖转移矩阵(万 km²)Tab. 2 Land cover transfer matrix of the five Central Asian countries from 1992 to 2015 (10⁴ km²)

| 1992年 | 2015年 | | | | | |
|---------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| | 耕地 | 林地 | 草地 | 裸地 | 水体 | 城镇 |
| 耕地 | 72.9 | 0.6 | 1.1 | 0.1 | 0.0 | 0.5 |
| 林地 | 8.2 | 96.6 | 2.2 | 0.2 | 0.1 | 0.0 |
| 草地 | 5.9 | 1.6 | 97.3 | 0.2 | 0.0 | 0.1 |
| 裸地 | 0.5 | 4.5 | 2.0 | 86.0 | 0.1 | 0.0 |
| 水体 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 3.0 | 13.0 | 0.0 |
| 城镇 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 |
| 合计 | 87.6 | 103.4 | 102.7 | 89.6 | 13.3 | 0.9 |
| 变化面积 | 12.3 | -4.0 | -2.4 | -3.5 | -3.1 | 0.6 |
| 变化比例(%) | 16.3 | -3.7 | -2.3 | -3.8 | -19.1 | 258.2 |

水体总体持续大幅减少, 吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦和土库曼斯坦水体无明显变化; 中亚各国城镇用地均持续快速增长, 城镇扩张集中在哈萨克斯坦和乌兹别克斯坦, 吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦和土库曼斯坦城镇用地净增量小, 但增长速率快。

3.2 中亚五国蒸散发变化

1992-2015年中亚五国年平均蒸散发为276.8 mm, 介于190~352 mm之间。各国年平均蒸散发依次为: 吉尔吉斯斯坦347.3 mm、塔吉克斯坦302.9 mm、哈萨克斯坦297.9 mm、乌兹别克斯坦211.0 mm、土库曼斯坦150.0 mm。蒸散发变化对土地覆盖的变化具有一定的响应特征, 因此以1992年、2003年和2015年为例, 分析蒸散发时空分布及变化趋势。高蒸散发区位于北部和东南部, 中部次之, 西南部最低, 高蒸散发区逐渐向中部扩展(图4a~4c)。1992-2015年中亚五国蒸散发呈增加态势(6 mm/a), 1992-2003年快速增加(11.3 mm/a), 2003-2015年缓慢上升(2.4 mm/a), 与主要土地覆盖类型的变化趋势基本一致。中北部、咸海湖泊附近及东南部分地区蒸散发增加明显, 西南部分地区呈减少态势, 大部分地区蒸散发变化趋势不明显(图4d)。中亚各国蒸散发均呈增加态势, 哈萨克斯坦蒸散发增加趋势最明显(7.3 mm/a), 乌兹别克斯坦(4.8 mm/a)和吉尔吉斯斯坦(4.3 mm/a)次之, 塔吉克斯坦(2.8 mm/a)和土库曼斯坦(2.4 mm/a)最低。

中亚五国主要土地覆盖类型中, 耕地(352.2 mm)和草地(322.1 mm)蒸散发明显高于林地(254.7 mm)和裸地(173.2 mm), 且耕地(7.5 mm/a)蒸散发增加趋势最高, 草地(6.8 mm/a)和林地(5.7 mm/a)次之, 裸地(3.9 mm/a)最低。中亚各国均呈耕地蒸散发最高, 裸地蒸散发最低, 但草地和林地蒸散发大小存在差异。哈萨克斯坦、土库曼斯坦和乌兹别克斯坦草地蒸散发高于林地, 而吉尔吉斯斯坦和塔吉克斯坦林地蒸散发高于草地。哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦和乌兹别克斯坦各土地覆盖蒸散发差异较大, 而塔吉克斯坦和土库曼斯坦各土地覆盖蒸散发差异较小(表3)。

中亚五国蒸散发在1992-2003年快速增加(11.3 mm/a), 2003-2015年缓慢上升(2.4 mm/a), 2015年蒸散发达到最大值352 mm。以2015年为例, 分析中亚各国蒸散发耗水结构的现状。中亚五国总蒸散发耗水达到13880亿 m³, 其中哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、土库曼斯坦、吉尔吉斯斯坦和塔吉克斯坦分别占75.4%、9.0%、6.1%、5.7%和3.8%。哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦和塔吉克斯坦的草地和林地蒸散发耗水均超过50%, 是主要的蒸散发耗水形式; 土库曼斯坦(61.3%)和乌兹别克斯坦(46.4%)的裸地在两国总蒸散发耗水中占较高比例; 土库曼斯坦耕地蒸散发耗水仅占11%, 其他国家耕地蒸散发耗水的贡献均高于25%, 耕地是各国总蒸散发耗水结构中的重要组成部分(图5)。

表 3 中亚各国土地覆盖及蒸散发变化

Tab. 3 Changes in land cover and evapotranspiration in the five Central Asian countries

| 国家 | 土地覆盖 | 面积(km ²) | | | 蒸散发(mm) | | |
|--------|------|----------------------|--------|--------|---------|--------|--------|
| | | 1992 年 | 2003 年 | 2015 年 | 1992 年 | 2003 年 | 2015 年 |
| 哈萨克斯坦 | 耕地 | 537044 | 628129 | 655091 | 283.0 | 440.9 | 467.1 |
| | 林地 | 870111 | 812106 | 826472 | 199.7 | 337.3 | 340.3 |
| | 草地 | 851852 | 829368 | 831988 | 246.5 | 393.6 | 405.8 |
| | 裸地 | 362886 | 360505 | 323120 | 148.5 | 283.3 | 272.6 |
| | 水体 | 92434 | 83110 | 75610 | 222.3 | 380.0 | 413.6 |
| | 城镇 | 1673 | 2780 | 3719 | 246.4 | 418.8 | 421.9 |
| 吉尔吉斯斯坦 | 耕地 | 48988 | 49042 | 50243 | 326.0 | 489.6 | 452.0 |
| | 林地 | 35618 | 37170 | 37087 | 306.0 | 446.4 | 420.0 |
| | 草地 | 83138 | 80949 | 80083 | 292.3 | 435.8 | 392.0 |
| | 裸地 | 18169 | 18475 | 17905 | 211.6 | 346.2 | 305.4 |
| | 水体 | 13338 | 13368 | 13347 | 219.3 | 344.1 | 321.2 |
| | 城镇 | 49 | 296 | 635 | 315.1 | 536.2 | 477.7 |
| 塔吉克斯坦 | 耕地 | 30872 | 31296 | 31203 | 429.9 | 464.2 | 493.3 |
| | 林地 | 10681 | 11162 | 11304 | 359.0 | 435.9 | 444.6 |
| | 草地 | 64328 | 64090 | 63607 | 265.6 | 306.5 | 337.2 |
| | 裸地 | 24074 | 23303 | 23377 | 211.3 | 288.3 | 302.6 |
| | 水体 | 12331 | 12339 | 12342 | 211.2 | 256.4 | 373.3 |
| | 城镇 | 114 | 209 | 567 | 458.2 | 465.5 | 517.0 |
| 土库曼斯坦 | 耕地 | 41929 | 43389 | 44398 | 159.7 | 224.2 | 209.6 |
| | 林地 | 74458 | 75221 | 75608 | 166.9 | 209.7 | 210.1 |
| | 草地 | 10951 | 10646 | 10889 | 185.3 | 230.2 | 217.6 |
| | 裸地 | 319482 | 317520 | 315574 | 127.6 | 187.3 | 164.4 |
| | 水体 | 24495 | 24453 | 24409 | 121.7 | 219.5 | 208.8 |
| | 城镇 | 84 | 172 | 521 | 156.2 | 226.3 | 187.0 |
| 乌兹别克斯坦 | 耕地 | 91290 | 90138 | 88236 | 282.9 | 397.1 | 380.4 |
| | 林地 | 65174 | 66969 | 67996 | 208.9 | 276.8 | 282.7 |
| | 草地 | 25793 | 25659 | 26479 | 312.4 | 385.8 | 373.9 |
| | 裸地 | 238410 | 246221 | 249733 | 129.9 | 233.5 | 231.8 |
| | 水体 | 24412 | 15118 | 9554 | 165.3 | 276.7 | 291.3 |
| | 城镇 | 621 | 1596 | 3702 | 287.4 | 388.3 | 390.8 |

3.3 中亚五国耕地蒸散耗水现状

中亚五国耕地快速扩张引起土地覆盖与蒸散发格局的变化,明晰不同耕地类型的蒸散耗水特征,对水土资源管理具有重要意义。本文中的耕地包括雨养、灌溉和混合型。1992-2015年中亚五国耕地增加主要为雨养和混合耕地,1998-2003年是快速增长期,混合耕地在2008年后出现小幅增加,灌溉耕地无明显变化(图6)。至2015年,耕地面积达到最大值87.6万km²,其中雨养耕地、混合耕地和灌溉耕地分别占43.1%、32.2%和24.7%。

中亚五国雨养和混合耕地集中分布于北部和东南部,灌溉耕地分布于东南部和咸海流域河岸带(图7a)。2015年耕地总蒸散耗水达3910亿m³,占中亚五国总蒸散耗水的

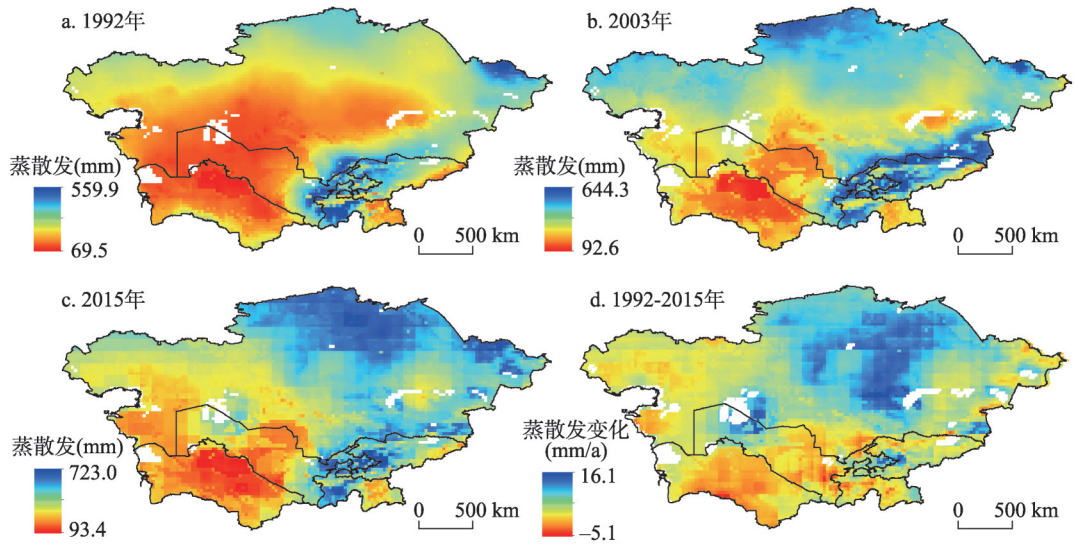


图4 中亚五国蒸散发(a、b、c)及变化趋势(d)空间分布
Fig. 4 Evapotranspiration spatial distribution (a, b, c) and change trend (d) of the five Central Asian countries

27.9%，较1992年提升了3.2%。哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦和土库曼斯坦的耕地蒸散耗水分别占总蒸散耗水的78.2%、8.6%、5.8%、3.9%和2.4%。其中，哈萨克斯坦以雨养和混合耕地蒸散耗水为主，吉尔吉斯斯坦以灌溉和混合耕地蒸散耗水为主，塔吉克斯坦雨养、灌溉和混合耕地蒸散耗水均占较高比重，土库曼斯坦和乌兹别克斯坦的灌溉耕地蒸散耗水占绝对优势（图7b）。

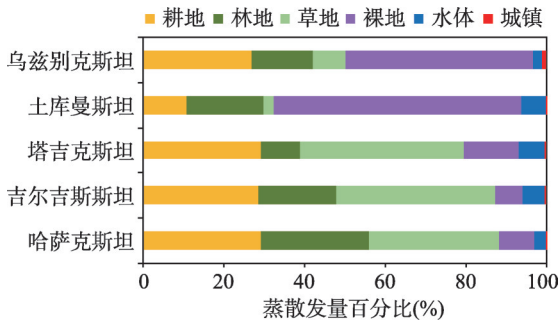


图5 2015年中亚各国土地覆盖蒸散耗水结构
Fig. 5 The structure of land cover evapotranspiration water consumption of the five Central Asian countries in 2015

4 讨论

4.1 中亚五国土地覆盖及蒸散发变化

1992-2015年中亚五国耕地持续扩张，1992-2003年快速增加，2003-2015年缓慢上升，林地、草地和裸地相应减少。受1991年苏联解体影响，中亚各国由计划经济转为市场经济，伴随人口快速增长，人类活动对自然环境的影响日益加深^[43-45]，以耕地扩张为主的人类活动引起了中亚五国土地覆盖变化并呈现了明显的阶段性特征。中亚五国耕地扩张集中在哈萨克斯坦北部，该区域是低山丘陵及平原地带，由于局地气候条件的改善^[11-21]，促

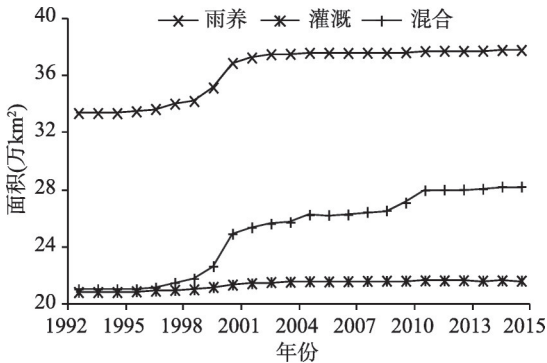


图6 1992-2015年中亚五国耕地面积变化
Fig. 6 Cropland area change in the five Central Asian countries from 1992 to 2015

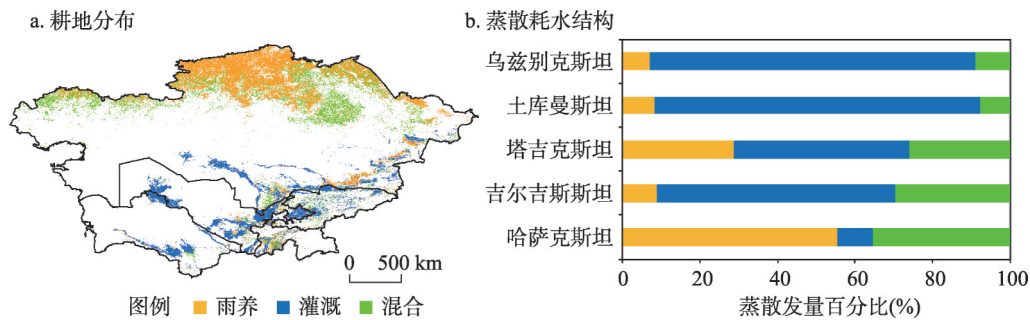


图7 2015年中亚五国耕地分布(a)及蒸散耗水结构(b)
Fig. 7 Cropland spatial distribution and evapotranspiration water consumption structure of the five Central Asian countries in 2015

进了雨养和混合耕地的扩张。吉尔吉斯斯坦和塔吉克斯坦位于咸海流域上游山区，水资源条件优越，灌溉耕地发达。但受高山地形限制，耕地开发难度大，耕地变化幅度较小。荒漠区的土库曼斯坦和乌兹别克斯坦降水稀少，耕地发展依赖引水灌溉，多沿河分布。但区域水资源总体匮乏，灌溉耕地发展受到限制。水体减少集中在咸海湖泊，咸海流域中上游流经重要的农业区及核心城市，水资源消耗巨大，使得入湖水量减少、水质变差^[17]，咸海湖泊萎缩严重。

中亚五国土地覆盖分布及变化决定了蒸散发的基本格局。中亚五国高蒸散发区位于北部的哈萨克斯坦和东南部的吉尔吉斯斯坦和塔吉克斯坦，以耕地和草地为主；中部为林地和草地，蒸散发次之；西南部的乌兹别克斯坦和土库曼斯坦主要为裸地，蒸散发最低。随着耕地扩张及林地、草地和裸地的相应减少，中亚五国年蒸散发逐渐提高，并呈现出先快速增加后缓慢上升的变化趋势，与土地覆盖变化的阶段性特征一致。

中亚五国蒸散耗水结构受耕地面积大小的影响。耕地蒸散发高且面积增加明显，对中亚五国总蒸散耗水的贡献持续增加，对区域蒸散耗水结构的影响占有重要地位。草地、林地和裸地蒸散发相对较低，且面积总体呈下降态势，对区域蒸散耗水的贡献逐渐下降。但草地、林地和裸地占中亚五国面积的比重高，仍是区域主要的蒸散耗水方式。中亚五国土地覆盖多由林地和草地转移为耕地，裸地转移为林地和草地。这种由低蒸散耗水土地覆盖类型向高蒸散耗水土地覆盖类型的转变，增加了水资源消耗。

4.2 土地覆盖及蒸散发不确定性分析

中亚土地覆盖研究多基于5~10年尺度数据，对土地覆盖连续动态变化过程的认识不足，难以表征土地覆盖变化的实际状况。已有研究成果中，耕地自20世纪90年代以来，先迅速下降后缓慢上升^[20, 22, 46]。本文中，耕地自1992年来总体呈持续增长态势，1998-2003年是高速增长期，2003年后缓慢上升。前者采用的土地覆盖数据时间分辨率较低，且同时采用不同分类体系的土地覆盖数据，经重分类处理后的土地覆盖数据在不同年际间仍存在一定的误差。本文采用年尺度CCI土地覆盖数据，以原土地覆盖分类为基础，重新分类得到中亚五国主要土地覆盖类型的逐年动态变化过程，增强了对中亚五国土地覆盖变化特征的认识。

GLDAS蒸散发数据是基于Noah模式输出，受模型结构、输入数据质量等的影响，对湖泊和人类活动频繁地区的蒸散发刻画不足。完善数据质量评估和采用卫星遥感等多源数据和方法，以准确估算蒸散发是中亚五国水土资源科学管理研究的重要内容。耕地是中亚五国经济发展的重要支柱，也是引起土地覆盖变化、加剧水资源消耗的重要因

素。CCI土地覆盖数据中的耕地包括雨养、灌溉和混合型,由于分辨率相对较低(300 m),混合耕地为耕地与植被的混合像元。同时,中亚五国地域跨度大,地形、气候条件迥异,棉花、小麦和水稻等农作物的分布和蒸散发差异较大^[37]。进一步精细化中亚五国农作物的分布及蒸散耗水特征,有利于优化水土资源利用效率。

5 结论

基于CCI土地覆盖和GLDAS蒸散发数据,分析1992-2015年中亚五国土地覆盖与蒸散发时空变化特征,进一步研究耕地蒸散耗水特征。采用年尺度土地覆盖数据,明确中亚五国土地覆盖的连续动态变化过程;将研究的时间序列延伸至2015年,增强对中亚五国土地覆盖与蒸散发现状的认识;将中亚五国土地覆盖与蒸散发的宏观认识细化到国家尺度上,明确中亚各国土地覆盖与蒸散发变化特征及差异。研究成果可为中亚五国水土资源管理和生态环境保护提供数据参考。主要结论如下:

(1) 中亚五国土地覆盖变化具有明显的阶段性特征,耕地扩张是影响土地覆盖格局的主要因素。1992-2015年中亚五国耕地和城镇用地持续增长,林地、草地、裸地和水体总体呈下降态势。其中,1992-2003年耕地快速增长,林地、草地和裸地大幅下降;2003-2015年耕地缓慢上升,林地和草地有一定的恢复。土地覆盖转移主要为林地和草地转移为耕地、裸地转移为林地和草地。耕地扩张集中于哈萨克斯坦北部,咸海流域耕地无明显变化。林地和草地减少集中于哈萨克斯坦中北部,乌兹别克斯坦出现耕地减少、裸地增加,水体减少集中在哈萨克斯坦和乌兹别克斯坦,吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦和土库曼斯坦土地覆盖变化幅度相对较小。

(2) 中亚五国蒸散发变化特征与土地覆盖格局变化基本一致。高蒸散发区位于北部和东南部,中部次之,西南部最低,高蒸散发区逐渐向中部扩展。1992-2015年中亚五国蒸散发呈先快速增加后缓慢上升的态势。其中,哈萨克斯坦蒸散发增加明显,乌兹别克斯坦和吉尔吉斯斯坦次之,塔吉克斯坦和土库曼斯坦最小。中亚各国耕地蒸散发最高,裸地蒸散发最低,但草地和林地蒸散发特征存在差异。

(3) 中亚五国蒸散耗水结构受耕地面积大小的影响。中亚五国耕地蒸散发高且面积增加明显,对总蒸散耗水的贡献由24.7%增加到27.9%。草地、林地和裸地蒸散发量次之,且面积持续减少,对总蒸散耗水的贡献持续降低。哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦和塔吉克斯坦以草地和林地蒸散耗水为主,土库曼斯坦和乌兹别克斯坦的裸地蒸散耗水占绝对优势。土库曼斯坦耕地蒸散耗水仅占11%,其他国家均超过25%。

中亚地区数据资料相对匮乏,继续完善数据质量评估和采用卫星遥感等多源数据和方法,进一步细化中亚农作物的分布及蒸散耗水特征,增强对中亚五国土地覆盖与蒸散发时空变化特征的认识,是未来重要的研究方向。

致谢:感谢中国科学院地理科学与资源研究所王平副研究员、张一驰助理研究员和杜朝阳助理研究员对本文的积极建议。

参考文献(References)

- [1] Zhu Mingming, Hou Xiyong, Ying Lanlan, et al. Study on evapotranspiration and its response to land use/cover change in Yellow River Delta. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2011, 22(2): 25-30. [朱明明, 侯西勇, 应兰兰, 等. 黄河三角洲湿地蒸发蒸腾及其对土地利用/覆被变化的响应特征研究. *水资源与水工程学报*, 2011, 22(2): 25-30.]

- [2] Liu Rong, Wen Jun, Wang Xin. Spatial-temporal variation and abrupt analysis of evapotranspiration over the Yellow River source region. *Climatic and Environmental Research*, 2016, 21(5): 503-511. [刘蓉, 文军, 王欣. 黄河源区蒸散发量时空变化趋势及突变分析. *气候与环境研究*, 2016, 21(5): 503-511.]
- [3] Zhou Ti, Peng Zhiqing, Xin Xiaozhou, et al. Remote sensing research of evapotranspiration over heterogeneous surfaces: A review. *Journal of Remote Sensing*, 2016, 20(2): 257-277. [周倜, 彭志晴, 辛晓洲, 等. 非均匀地表蒸散发遥感研究综述. *遥感学报*, 2016, 20(2): 257-277.]
- [4] Rosenberg N J, Blaine L B, et al. *Microclimate: The Biological Environment*. John Wiley & Sons, 1983.
- [5] Wang Liming, Zhou Yunxuan, Wang Qinjun. The relationship of land surface evapotranspiration and land use/cover change in the west Jilin Province. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2009, 39(5): 907-912. [王黎明, 周云轩, 王钦军. 吉林省西部地表蒸散与土地利用/覆盖变化关系. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2009, 39(5): 907-912.]
- [6] Wang Jie, Dong Gang, Zhang Feng. Effects of climatic and land use/cover change on evapotranspiration in the western Songnen Plain of Northeast China. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2015, 38(2): 375-384. [王洁, 董刚, 张峰. 松嫩平原西部气候和土地利用变化对蒸散的影响. *山西大学学报(自然科学版)*, 2015, 38(2): 375-384.]
- [7] Jin Cui, Zhang Bai, Song Kaishan, et al. RS-based analysis on the effect of land use/cover change on regional evapotranspiration: A case study in Qian an county, Jilin province. *Arid Zone Research*, 2009, 39(5): 734-743. [金翠, 张柏, 宋开山, 等. 土地利用/覆被变化对区域蒸散发影响的遥感分析: 以吉林省乾安县为例. *干旱区研究*, 2009, 39(5): 734-743.]
- [8] Zhang Dianjun. SEBAL model improved and study on the relationship between ET and LUCC [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2011. [张殿君. SEBAL 模型区域优化及蒸散量与土地利用/覆被变化关系研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.]
- [9] Jilili Abuduwalli, Mubareke Ayoupu, Liu Dongwei, et al. Comparative analysis of the land water resources exploitation and its safety in the five countries of Central Asia. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2009, 31(5): 960-968. [吉力力 阿不都外力, 木巴热克 阿尤普, 刘东伟, 等. 中亚五国水土资源开发及其安全性对比分析. *冰川冻土*, 2009, 31(5): 960-968.]
- [10] Yao Haijiao, Zhou Hongfei, Su Fengchun. Water problems based on spatial matching patterns of water and land resources in Central Asia. *Arid Zone Research*, 2013, 30(3): 391-395. [姚海娇, 周宏飞, 苏凤春. 从水土资源匹配关系看中亚地区水问题. *干旱区研究*, 2013, 30(3): 391-395.]
- [11] Deng Mingjiang, Ling Aihua, Zhang Yi, et al. Assessment of water resources development and utilization in the Five Central Asia countries. *Advances in Earth Science*, 2010, 25(12): 1347-1356. [邓铭江, 龙爱华, 章毅, 等. 中亚五国水资源及其开发利用评价. *地球科学进展*, 2010, 25(12): 1347-1356.]
- [12] Deng Mingjiang, Long Aihua. Water resources issue among the Central Asian countries around the Aral Sea: Conflict and cooperation. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2011, 33(6): 1376-1390. [邓铭江, 龙爱华. 中亚各国在咸海流域水资源问题上的冲突与合作. *冰川冻土*, 2011, 33(6): 1376-1390.]
- [13] Yao Haijiao, Zhou Hongfei. Game analysis of water resources strategy among the Central Asia Countries around the Aral Sea Basin. *Arid Land Geography*, 2013, 36(4): 764-771. [姚海娇, 周宏飞. 中亚五国咸海流域水资源策略的博弈分析. *干旱区地理*, 2013, 36(4): 764-771.]
- [14] Deng Mingjiang, Long Aihua, Li Xiangquan, et al. An analysis of the exploitation cooperation and problems of trans-boundary water resources in the five Central Asian countries. *Advances in Earth Sciences*, 2010, 25(12): 1337-1346. [邓铭江, 龙爱华, 李湘权, 等. 中亚五国跨界水资源开发利用与合作及其问题分析. *地球科学进展*, 2010, 25(12): 1337-1346.]
- [15] Yang Shengtian, Yu Xinyi, Ding Jiangli, et al. A review of water issues research in Central Asia. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 79-93. [杨胜天, 于心怡, 丁建丽, 等. 中亚地区水问题研究综述. *地理学报*, 2017, 72(1): 79-93.]
- [16] Zou Jie, Ding Jianli, Yang Shengtian. Spatial and temporal variation analysis of ecosystem water use efficiency in Central Asia and Xinjiang in recent 15 years. *Geographical Research*, 2017, 36(9): 1742-1754. [邹杰, 丁建丽, 杨胜天. 近 15 年中亚及新疆生态系统水分利用效率时空变化分析. *地理研究*, 2017, 36(9): 1742-1754.]
- [17] Karthe D, Chalov S, Borchardt D. Water resources and their management in central Asia in the early twenty first century: status, challenges and future prospects. *Environmental Earth Sciences*, 2015, 73(2): 487-499.
- [18] Jin Q, Wei J, Yang Z, et al. Irrigation-induced environmental changes around the Aral Sea: An integrated view from multiple satellite observations. *Remote Sensing*, 2017, 9(9): 900.
- [19] Cheng Weiming, Zhou Chenghu, Liu Haijiang. Oasis expansion and ecological environment evolution of the Manas River basin in 50 years. *Chinese Science: D Series*. 2005, 35(11): 1074-1086. [程维明, 周成虎, 刘海江, 等. 玛纳斯河流域 50 年绿洲扩张及生态环境演变研究. *中国科学: D 辑*, 2005, 35(11): 1074-1086.]

- [20] Han Qifei, Luo Geping, Bai Jie, et al. Characteristics of land use and cover change in Central Asia in recent 30 years. *Arid Land Geography*, 2012, 35(6): 909-918. [韩其飞, 罗格平, 白洁, 等. 基于多期数据集的中亚五国土地利用—覆盖变化分析. 干旱区地理, 2012, 35(6): 909-918.]
- [21] Chen X, Li B, Li Q, et al. Spatio-temporal pattern and changes of evapotranspiration in arid Central Asia and Xinjiang of China. *Journal of Arid Land*, 2012, 4(1): 105-112.
- [22] Li Chaofan, Luo Geping, Li Junli, et al. Net primary productivity and actual evapotranspiration of Central Asia in recent 20 years. *Arid Land Geography*, 2012, 35(6): 65-73. [李超凡, 罗格平, 李均力, 等. 近20a中亚净初级生产力与实际蒸散发特征分析. 干旱区地理, 2012, 35(6): 65-73.]
- [23] De Beurs K, Henebry G, Owsley B, et al. Using multiple remote sensing perspectives to identify and attribute land surface dynamics in Central Asia 2001-2013. *Remote Sensing of Environment*, 2015, 170: 48-61.
- [24] Chen Xi, Bai Jie, Li Xiaoyu, et al. Changes in land use/land cover and ecosystem services in Central Asia during 1990-2009. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2013, 5(1): 116-127.
- [25] Zhou Kefa, Zhang Qing, Chen Xi, et al. The characteristics and trends of ecological environment changes in arid regions of central Asia. *Chinese Science: D Series*, 2006, 36(S2): 133-139. [周可法, 张清, 陈曦, 等. 中亚干旱区生态环境变化的特点和趋势. 中国科学: D辑, 2006, 36(S2): 133-139.]
- [26] Li Z, Chen Y, Li W, et al. Potential impacts of climate change on vegetation dynamics in Central Asia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2015, 120(24): 12345-12356.
- [27] Yao Junqiang, Yang Qin, Mao Weiyi, et al. Evaluation of the impacts of climate change and human activities on the hydrological environment in Central Asia. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2016, 38(1): 222-230. [姚俊强, 杨青, 毛炜峰, 等. 气候变化和人类活动对中亚地区水文环境的影响评估. 冰川冻土, 2016, 38(1): 222-230.]
- [28] Li W, MacBean N, Ciais P, et al. Gross and net land cover changes in the main plant functional types derived from the annual ESA CCI land cover maps (1992-2015). *Earth System Science Data*, 2018, 10(1): 119-234.
- [29] Pérez-Hoyos A, Rembold F, Kerdiles H, et al. Comparison of Global Land Cover Datasets for cropland monitoring. *Remote Sensing*, 2017, 9(11): 1118.
- [30] Meier J, Zabel F, Mauser W. A global approach to estimate irrigated areas: A comparison between different data and statistics. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2018, 22(2): 1-16.
- [31] Defourny P, Bontemps C, Lamarche C, et al. Land Cover CCI: Product User Guide Version 2.0. 2017.
- [32] Defourny P, Schouten S, Bartalev S, et al. Accuracy Assessment of a 300 M Global Land Cover Map: The GlobCover Experience. Stresa, Italy: 33rd International Symposium on Remote Sensing of Environment (ISRSE), 2009, May 4-8.
- [33] Tsendbazar N, Bruin S, Fritz S, et al. Spatial accuracy assessment and integration of global land cover datasets. *Remote Sensing*, 2015, 7: 15804-15821.
- [34] Yang Y, Xiao P, Feng X, et al. Accuracy assessment of seven global land cover datasets over China, ISPRS J. Photogramm. *Remote Sensing*, 2017, 125: 156-173.
- [35] Nowosad J, Stepsinski T, Netzel P. Global mapping of changes in landscapes and coverages of vegetation types from the ESA land cover 1992-2015 time series. 2018.
- [36] Wang F, Wang L, Koike T, et al. Evaluation and application of a fine-resolution global data set in a semiarid mesoscale river basin with a distributed biosphere hydrological model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2011, 116 (D21108). DOI: 10.1029/2011JD015990.
- [37] Rodell M, Houser P R, Jambor U, et al. The global land data assimilation system. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2004, 85(3): 381-394.
- [38] Yang K, Wang C, Bao H. Contribution of soil moisture variability to summer precipitation in the Northern Hemisphere. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2016, 121(20): 108-124.
- [39] Ji M, Huang J, Xie Y, et al. Comparison of dryland climate change in observations and CMIP5 simulations. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2015, 32(11): 1565-1574.
- [40] Ji L, Senay G B, Verdin J. Evaluation of the Global Land Data Assimilation System (GLDAS) air temperature data products. *Journal of Hydrometeorology*, 2015, 16(6): 2463-2480.
- [41] Singh A, Behrangi A, Fisher J B, et al. On the desiccation of the South Aral Sea observed from spaceborne missions. *Remote Sensing*, 2018, 10(5): 793.
- [42] Kariyeva J, van Leeuwen W J, Woodhouse C A. Impacts of climate gradients on the vegetation phenology of major land use types in Central Asia (1981-2008). *Frontiers of Earth Science*, 2012, 6(2): 206-225.
- [43] Yang Shu, Tian Bao. A review on the ecological environment in Central Asia. *Eastern European and Central Asian Research*, 2002, 6(5): 51-55. [杨恕, 田宝. 中亚地区生态环境问题述评. 东欧中亚研究, 2002, 6(5): 51-55.]

- [44] Baumann M, Kuemmerle M, Elbakidze M, et al. Patterns and drivers of post-socialist farmland abandonment in Western Ukraine. *Land Use Policy*, 2011, 28(3): 552-562.
- [45] Kuemmerle T, Hostert P, Radeloff V, et al. Cross-border comparison of post-socialist farmland abandonment in the Carpathians. *Ecosystems*, 2008, 11(4): 614.
- [46] Fan Binbin, Luo Geping, Hu Zengyun. Land resource development and utilization in Central Asia. *Arid Land Geography*, 2012, 35(6): 928-937. [范彬彬, 罗格平, 胡增运, 等. 中亚土地资源开发与利用分析. *干旱区地理*, 2012, 35(6): 928-937.]

Changes in land cover and evapotranspiration in the five Central Asian countries from 1992 to 2015

RUAN Hongwei^{1,2}, YU Jingjie^{1,2}

(1. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Process, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: In 1991, the collapse of the Soviet Union and the independence of the five Central Asian countries led to profound changes in land cover and evapotranspiration pattern. This study used the five Central Asian countries as target areas. European Space Agency Climate Change Initiative and Global Land Data Assimilation System data were utilised to analyse the spatio-temporal variation of land cover and evapotranspiration from 1992 to 2015 and to further study the cropland evapotranspiration water consumption. This study investigated the continuous change of land cover, specified the characteristics of and differences in land cover and evapotranspiration, strengthened the understanding of land cover and evapotranspiration in the current situation, and provided data references for water and soil resource management and environmental protection. Results show that the changes in land cover in the five countries were characterised by stages, and cropland expansion modified the land cover pattern. From 1992 to 2003, cropland increased rapidly ($1.1 \times 10^4 \text{ km}^2$), whereas forest land and grassland decreased. From 2003 to 2015, cropland increased slowly ($0.3 \times 10^4 \text{ km}^2$), whereas forest land and grassland increased slightly. Bare land and water bodies continued to decrease, whereas settlements continued to increase; the annual evapotranspiration was 276.8 mm. Evapotranspiration increased rapidly from 1992 to 2003 (11.3 mm/a) and then slowly from 2003 to 2015 (2.4 mm/a). The evapotranspiration of cropland (352.2 mm) and grassland (322.1 mm) was significantly higher than that of forest land (254.7 mm) and bare land (173.2 mm). The evapotranspiration changes in the five Central Asian countries were consistent with the land cover patterns; the evapotranspiration water consumption of the five countries was affected by the cropland area. From 1992 to 2015, the water consumption of cropland evapotranspiration increased by 3.2%, and the contributions of grassland, forest land and bare land continued to decrease. The cropland of Turkmenistan accounted for only 11% of the total evapotranspiration water consumption, whereas that of the other countries accounted for more than 25%.

Keywords: the five Central Asian countries; land cover; evapotranspiration; spatio-temporal variation; evapotranspiration water consumption structure