

辽宁省不同土地利用类型的蒸散发特征

曹永强,高璐,郭明

(辽宁师范大学城市与环境学院,辽宁大连 116029)

摘要:基于辽宁省 2014 年 Landsat TM 遥感影像,通过对不同土地利用类型的实际蒸散发量的计算,结合 ArcGIS 软件中的离散功能,从时间和空间角度对不同土地利用类型的蒸散发特征进行了分析。结果表明:实际蒸散发受土地利用类型的影响较大,不同土地利用类型的实际蒸散发量年内变化特征不同;蒸散发贡献值的高低取决于土地利用类型的面积大小,同时其空间分布和土地利用类型的空间分布具有高度一致性,充分表明蒸散发和土地利用类型两者之间存在密切联系。

关键词:蒸散发;土地利用类型;离散处理;时空特征;辽宁省

中图分类号:P333.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2017)02-0014-06

Characteristics of evapotranspiration for different types of land use in Liaoning Province//CAO Yongqiang, GAO Lu, GUO Ming(*College of Urban and Environmental Science, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China*)

Abstract: Based on Landsat TM remote sensing images of Liaoning Province in 2014, the characteristics of evapotranspiration for different land use types from the perspectives of time and space were analyzed by calculating the actual evapotranspiration for different land use types and using the discretization function of the ArcGIS software. The results show that the actual evapotranspiration was significantly affected by the land use types, and the intra-annual variation characteristics of actual evapotranspiration varied for different land use types. The contribution of the evapotranspiration depends on the size of the land with a certain land-use type. There is a high degree of consistency between the spatial distribution of evapotranspiration and land use types, indicating that evapotranspiration is closely linked to land use types.

Key words: evapotranspiration; land use types; discretization processing; temporal and spatial characteristics; Liaoning Province

蒸散发是水量平衡和能量平衡的重要组成部分,它是水文循环的关键纽带^[1]。蒸散发过程有多重性,涉及土壤、植被和大气的多种复杂过程,是地表水量平衡、干旱监测及作物产量模拟的关键变量,同时也是水资源管理的一个重要参数^[2]。关于蒸散发理论、蒸散发变化趋势以及水文循环对气候变化的响应(或敏感性)的研究已成为当今水文科学领域的热点问题,也是未来水资源管理亟待解决的重要课题^[3]。由于土地利用/覆被变化(LUCC)直接关系到地表反照率、太阳辐射等参数,从而影响到能量平衡和成云致雨的过程^[4-6],最终引起区域蒸散发量的变化,甚至导致全球尺度水文循环的改变^[7-8]。王洁等^[9-10]研究发现蒸散发量的空间分布与土地利用/覆盖类型有关,土地利用类型基本控制了研究区域蒸散发量的分布特点,气候变化和土地利用变化共同影响蒸散的趋势变化。辽宁省位于我国的东北地区南部,地貌和地形条件较为多样、复杂,省内气候的分布具有很强的地域性。由于近几十年全球气候的不断变化,深入研究蒸散发的过程、机理和分布特征可以有助于辽宁省水资源的合理调度和评价工作的进行。本文在已有研究的基础上,选择 2014 年辽宁省 Landsat TM 遥感影像,利用 ArcGIS10.0 软件中 Create Fishnet 工具,对辽宁省潜在蒸散发量进行分析,系统剖析不同土地利用类型下的空间分布特征,以期对辽宁省蒸散发领域的相关研究打下基础。

1 研究资料与方法

1.1 数据来源

辽宁省 2014 年 Landsat TM 遥感影像(空间分

基金项目:国家自然科学基金(51579126);中国科学院农业水资源重点实验室 2016 年对外开放基金(KFKT201602);流域水循环模拟与调控国家重点实验室 2015 年开放研究基金(IWHR-SKL-201501)

作者简介:曹永强(1972—),男,教授,博士,主要从事水文水资源研究。E-mail:caoyongqiang@lnnu.edu.cn

辨率为 30 m), 来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据服务平台; 辽宁省 23 个气象站点 (图 1) 的地面基础气象数据, 包括站点经纬度、海拔高度、日最高/低气温、日平均气温、日平均风速 (2 m 高处)、日平均降水量及日照时数等气象数据, 来源于国家气象局共享服务网。

1.2 数据处理

按照国土资源部土地分类标准解译辽宁省 2014 年一期 Landsat TM 遥感影像, 得到 2014 年辽宁省土地利用现状图, 并从中提取土地分类的基本信息, 一级类别的 6 种土地利用类型包括耕地、林地、草地、水域、城建用地和未利用地。本文对遥感影像进行离散处理, 处理步骤如下: 利用 ArcGIS10.0 软件把解译后的土地利用数据规范划分为 100 m × 100 m 的栅格数据, 再运用 Data Management Tools 模块提供的 Create Fishnet 工具对其进行离散, 已有研究表明, 选择不同尺度进行离散, 蒸散发量的差异很小^[11-13], 因此本文选择离散的网格尺度为 10 km × 10 km, 离散后经计算共分离出 1 677 个小网格覆盖整个辽宁省研究区。

1.3 研究方法

1.3.1 Penman-Monteith 法

Penman-Monteith 法是公认的单点计算潜在蒸散发量误差最小的方法, 其理论源于能量平衡和水汽扩散原理, 且充分考虑了植被的生理特征, 公式为

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{G_n}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + G_d u_2)} \tag{1}$$

式中: ET_0 为 Penman-Monteith 法计算的潜在蒸散发量, mm; R_n 为净辐射, MJ/(m² · d); T 为日平均温度, °C; G 为热通量密度, MJ/(m² · d); u_2 为 2 m 高处风速; e_s 为饱和空气水汽压, kPa; e_a 为空气水汽压, kPa; Δ 为饱和水汽压-温度曲线的梯度, kPa/°C; γ 为湿度计常数; G_n 、 G_d 为固定常数, 在估算逐日潜在蒸散发量时取值分别为 900 和 0.34。各参数的计算方法本文不再一一赘述, 具体可参见文献[14]。

1.3.2 实际蒸散发量

耕地、草地、水域和未利用地的实际蒸散发量 ET_1 采用 Penman-Monteith 法计算的潜在蒸散发量 ET_0 与相对应的作物系数乘积计算得到, 计算公式为

$$ET_1 = K_a ET_0 \tag{2}$$

由于辽宁省主要种植的粮食作物为玉米, 其种植面积占总面积 70% 左右, 所以耕地按照玉米地计算^[14], 未利用地按照裸地计算, 草地按种植牧草计算, 水域按特殊类计算, 相关作物系数取值参照文献[15]。

林地和城建用地的实际蒸散发量 ET_2 采用降水量与潜在蒸散发量关系得到, 计算公式^[16]为

$$ET_2 = 0.8 ET_0 + \alpha_1 P \tag{3}$$

式中: α_1 为林地截流损失率; P 为日降水量。

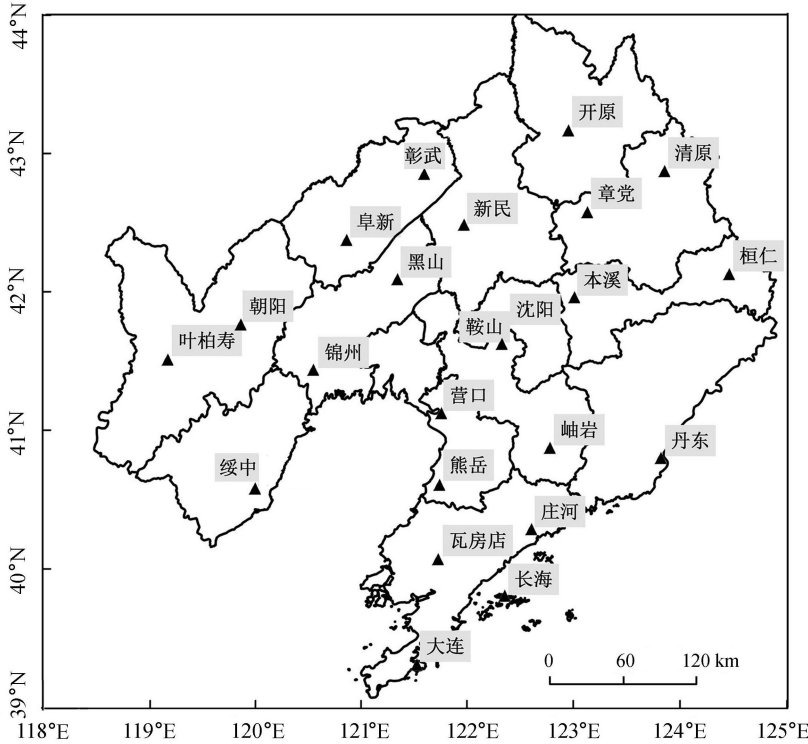


图 1 辽宁省气象站点空间分布

城建用地的实际蒸散发量 ET_3 的计算公式^[17-18]为

$$ET_3 = P_k n + \sum_{i=1}^m P_i \quad (4)$$

式中: P_k 为次降水临界蒸发指标; n 为月内日降水量 $P > P_k$ 的次数; P_i 为月内小于 P_k 的各次降水量; m 为月内小于 P_k 的降水量次数。

1.3.3 蒸散发贡献值

基于土地利用类型网格图层,叠加上 2014 年逐月 6 种土地利用类型的实际蒸散发插值网格图层,计算出每一个 10 km×10 km 小网格内 6 种土地利用类型的逐月蒸散发量。单位网格内不同土地利用类型的蒸散发贡献程度采用蒸散发贡献值表示,其定义为实际蒸散发量与土地利用类型面积百分比的乘积。

1.3.4 普通克里金插值法

克里金插值法又称空间局部插值法,是以变异函数理论和结构分析为基础,在有限区域内对区域化变量进行无偏最优估计的一种方法,普通克里金法是区域化变量的线性估计,插值过程类似于加权滑动平均,权重值的确定来自于空间数据分析。

基于 23 个气象站在辽宁省境内分布特点以及前人研究基础,在获得各个站点实际蒸散发量后借助 ArcGIS1 软件的普通克里金插值法进行空间插值,从而对其空间变化情况进行分析。

2 结果与分析

2.1 土地利用类型及现状

图 2 为土地利用分布图,可以清晰发现,耕地和水域主要分布在中部的辽河平原地区,林地主要分布在东部低山地区、辽东半岛丘陵区和西部低山丘陵地区,草地主要分布在西部地区,水域为中部的辽河及其 30 多条支流。辽宁省不同土地利用类型分布不均匀且面积存在着较大的差异,其中耕地 6.18 万 km²

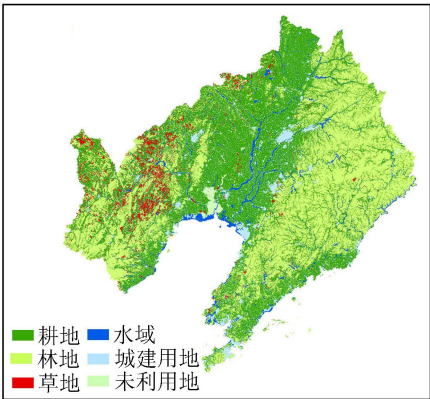


图 2 2014 年辽宁省土地利用分布

(42.10%), 林地 6.12 万 km² (41.74%), 草地 0.47 万 km² (3.23%), 水域 0.53 万 km² (3.60%), 城建用地 1.21 万 km² (8.24%), 未利用地 0.16 万 km² (1.09%), 耕地和林地是辽宁省主要的土地利用类型, 占全省总面积的 83.84%。

2.2 不同土地利用类型潜在蒸散发分析

2.2.1 季节分布

利用蒸散发公式(式(1)~(4)),分别计算出 6 种土地利用类型的日平均蒸散发量,按照春季为 3—5 月,夏季为 6—8 月,秋季为 9—11 月以及冬季为 12—2 月的四季划分方法,计算得到各季节蒸散发总量,其变化情况如图 3 所示。由图 3 可知实际蒸散发量季节变化规律表现为夏季最大,其次为春季和秋季,并且夏季的蒸散发量要远大于其他季节。由各个季节对比可知,实际蒸散发量受土地覆被类型的影响大,均呈现出明显的差异性;不同土地利用类型的蒸散发量四季变化幅度不同。相同时期不同作物的作物系数不同,导致蒸散发量不同;而相同作物在不同季节作物系数也存在差别,因此造成了蒸散发量的差异。夏季由于气温高、降水充沛、日照时数多、作物系数大等有利条件,使得蒸散发量最大;而过渡到冬季后作物基本处于枯萎期,作物系数变小,降水量减少,光照、气温等其他因素共同作用使蒸散发量最小,并且在不同土地利用类型之间的差异明显缩小。

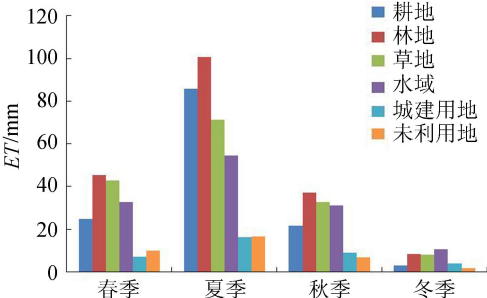


图 3 不同土地利用类型的实际蒸散发量四季变化

2.2.2 月分布

月实际蒸散发量变化趋势如图 4 所示。除城建用地外,其他土地利用类型月实际蒸散发量变化呈

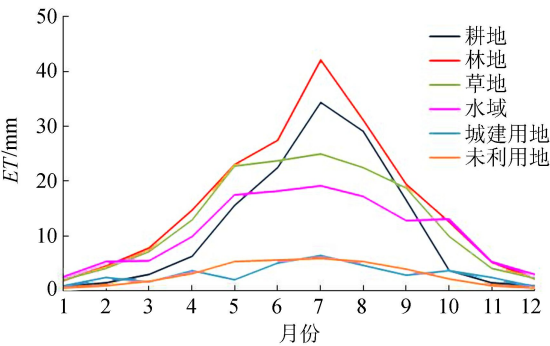


图 4 不同土地利用类型的月实际蒸散发量变化

现出典型的单峰型分布,且最大值出现在7月,最小值为1月。蒸散发量呈现的单峰格局主要受诸多气象要素和土地覆被作物系数的影响。而城建用地的蒸散发量呈现震荡变化,最高值同样出现在7月,但最低值出现在12月。这是因为月内日降水量和降水临界值的关系决定了城建用地的实际蒸散发量,7月的降水量大于临界降水量的次数较多,而12月基本不存在大于临界降水量的情况。

2.3 蒸散发贡献值分析

a. 耕地。耕地四季蒸散发贡献值空间分布如图5所示,由于中部的辽河平原为玉米集中种植区域,同时也是辽宁省主要的产粮基地,因此高值区主要分布于辽宁省中部地区,少部分分布于葫芦岛市和锦州市以及东部沿海边缘地区。夏季耕地对全年蒸散发的贡献值最大,是由于充分的日照以及降水,且此时玉米的作物系数达到最大。相反到了冬季,耕地对全年蒸散发的贡献值最小,其最大贡献值仅为37.43 mm。

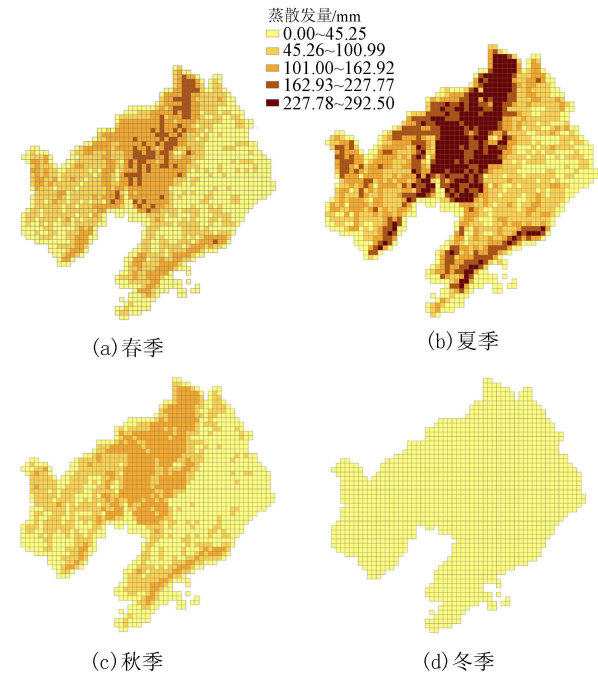


图5 耕地四季蒸散发贡献值空间分布

b. 林地。林地四季蒸散发贡献值空间分布特征显著(图6),存在两个高值区,一个是东部的山地,另一个是绥中等小部分的西部地区。由于夏季气温高、降水充沛、光照充足,此时植被覆盖度达到最大,是林地生长旺盛的阶段,所以一年中林地蒸散发贡献最高值出现在夏季;春季和秋季相比,前者对一年的蒸散发量贡献较多,而冬季(图6(d))仅在东部出现零星高值。

c. 草地。从辽宁省草地四季蒸散发贡献值空间分布图(图7)可以发现,辽宁省草地蒸散发贡献值

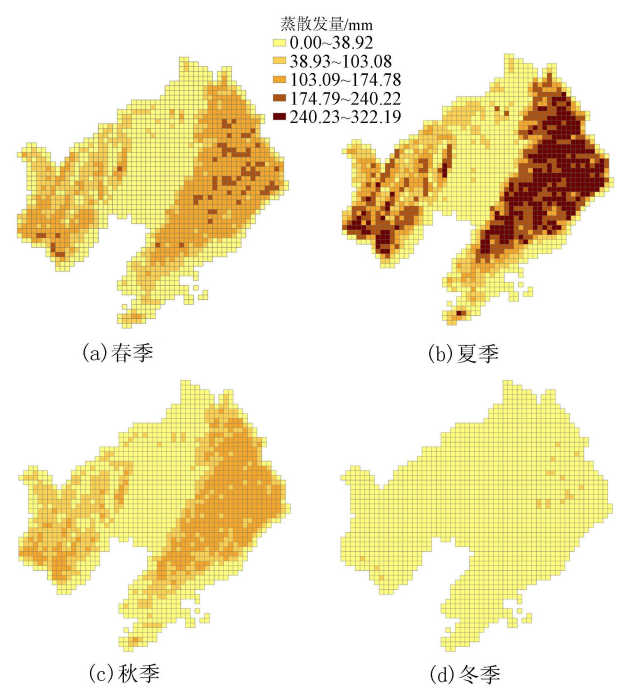


图6 林地四季蒸散发贡献值空间分布

存在一个高值区,分布于辽宁省西部地区,高值区的蒸散发贡献值从外围向中心逐渐升高。虽然近年来西部区域植被退化,但仍存在大面积的自然草甸草场,因此蒸散发量相比其他地方仍然处于较高的水平。

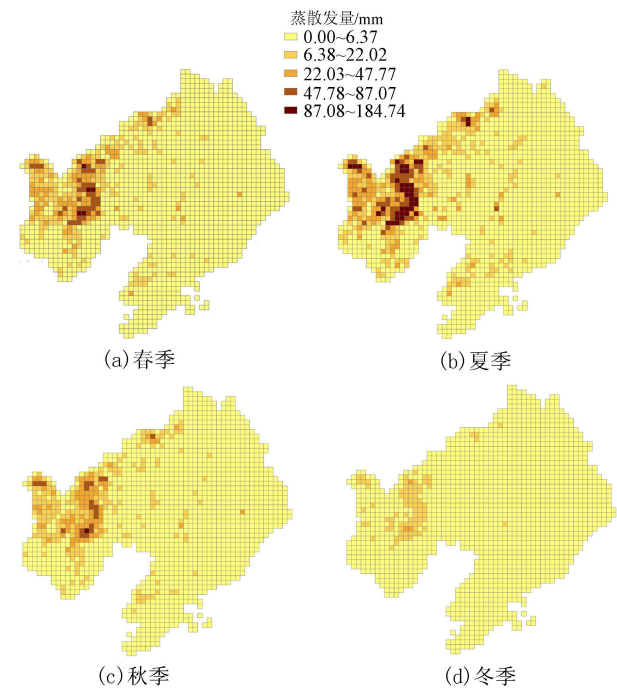


图7 草地四季蒸散发贡献值空间分布

d. 水域。辽宁省水域四季蒸散发贡献值空间分布如图8所示,水域蒸散发贡献值的分布与水域利用分布高度匹配。高值区位于由北向南纵贯辽宁省中部的辽河及其支流,以及大连、丹东边缘沿海沿江地区。同时从图中颜色深浅变化可以发现,由于上游的河道较窄,水量较中下游要少,因此呈现出下

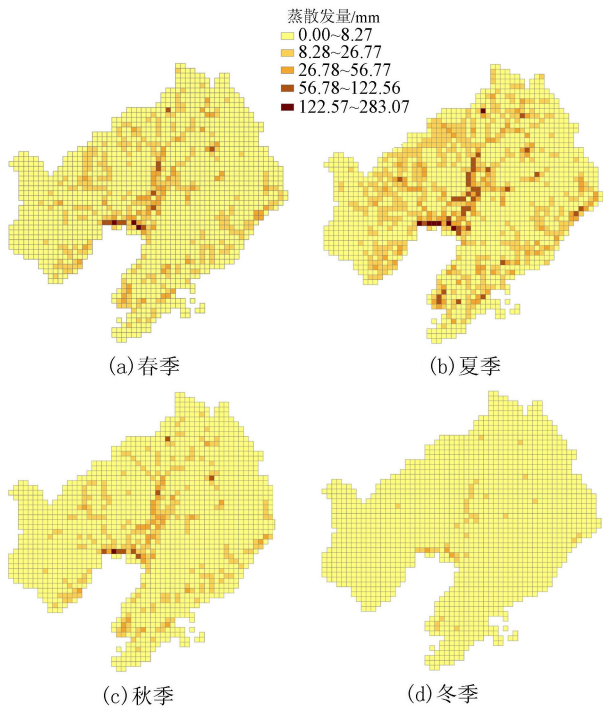


图8 水域四季蒸散发贡献值空间分布

游的蒸散发贡献值大于上游的现象。

e. 城建用地。辽宁省城建用地四季蒸散发贡献值(图9)的高值区主要分布于中部地区的辽河平原、东南部沿海城市和辽宁中部城市群。辽宁省中部地区的蒸散发贡献值分布规律表现为由南向北逐渐降低。虽然城建用地土地利用面积较大,但由于城建用地的蒸散发强度较弱,使得实际所提供的贡献值较小,因此蒸散发强度对蒸散发的影响要大于土地利用面积百分比的影响。

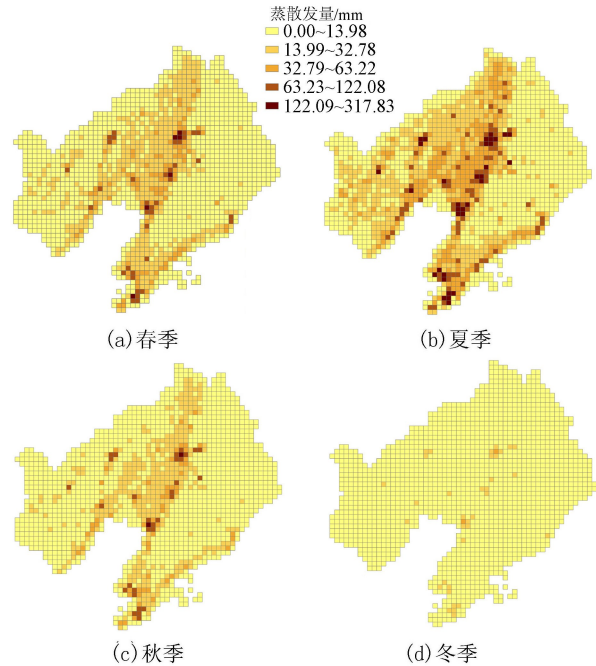


图9 城建用地四季蒸散发贡献值空间分布

f. 未利用地。由未利用地四季蒸散发贡献值空间分布情况(图10)可知,辽宁省未利用地蒸散发贡献值的高值区主要分布于盘锦、营口北部和沈阳中部地区。虽然未利用地分布的范围小,但由于土地分布集中使得其对整体区域存在一定的贡献。

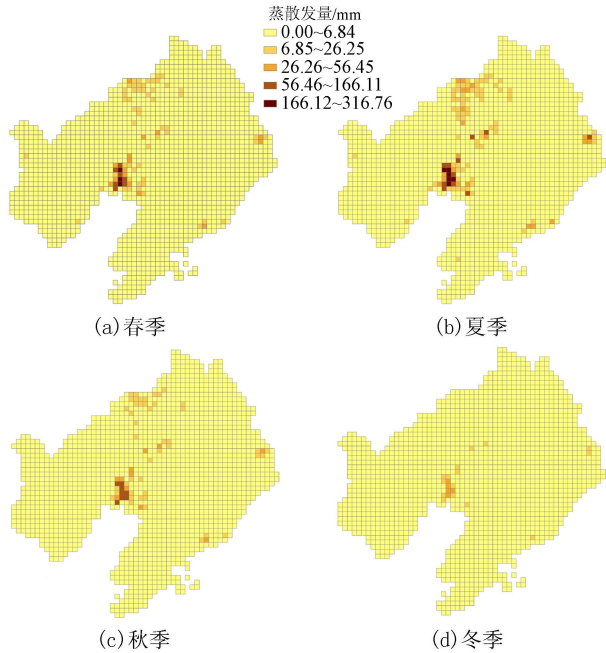


图10 未利用地四季蒸散贡献值空间分布

综上,对比不同土地利用类型蒸散发贡献值发现,由于城市不断发展,耕地和林地的土地面积不断减少,削弱了耕地和林地对全年蒸散发的贡献,但由于耕地和林地比其他土地利用类型面积大,因此其对蒸散发的贡献量仍占据重要地位;虽然水域单位面积的蒸散发量最大,但贡献值却不大,这是因为水域所占的面积较小;城建用地面积近年来增长较多,因此其蒸散发贡献值也相对有所增加;草地和未利用地由于分布范围集中,仍对整体区域存在一定的贡献。不同土地利用类型之间面积差异的影响要远大于蒸散发差异的影响,所以蒸散发贡献值的高低在很大程度上取决于前者,同时蒸散发贡献值的空间分布和土地利用类型的空间分布具有高度一致性,土地利用类型基本上决定了潜在蒸散发的分布,这表明蒸散发和土地利用类型两者有着密切的联系。

3 结 论

a. 辽宁省6种土地利用类型所占比例不均匀且存在着较大的差异。

b. 实际蒸散发四季变化规律表现为夏季最大、其次为春季、秋季,冬季最小。

c. 蒸散发受土地利用类型的影响很大,呈现明显的差异性,不同土地利用类型的实际蒸散发量四季变化幅度不同。除城建用地外,其他土地利用类

型月实际蒸散发量变化呈现单峰型分布,而城建用地呈现震荡波动趋势。

d. 土地利用类型的面积差异对蒸散发贡献值的高低影响较大,同时蒸散发贡献值的空间分布和土地利用类型的空间分布具有高度一致性,表明蒸散发和土地利用类型两者有着密切的联系。

参考文献:

[1] 张淑杰,张玉书,隋东,等. 东北地区参考蒸散量的变化特征及其成因分析[J]. 自然资源学报,2010,25(10): 1750-1761. (ZHANG Sunjie, ZHANG Yushu, SUI Dong, et al. Changes in reference evapotranspiration and its causes in Northeast China [J]. Jouranl of Natural Resources,2010,25(10):1750-1761. (in Chinese))

[2] 赵玲玲,夏军,王忠根,等. 北京潜在蒸散发量年内-年际的气候变化特征及成因辨识[J]. 自然资源学报,2013,28(11): 1911-1921. (ZHAO Lingling, XIA Jun, WANG Zhonggen, et al. The inter-intra annual climatic pattern of potential evaporation in Beijing and attribution [J]. Jouranl of Natural Resources,2013,28(11): 1911-1921. (in Chinese))

[3] 孙福宝. 基于 Budyko 水热耦合平衡假设的流域蒸散发研究[D]. 北京:清华大学,2007.

[4] 何明轩. 三峡库区土地利用/覆被与地表蒸散发动态变化及二者关系研究[D]. 重庆:西南大学,2013.

[5] 张新荣,刘林萍,方石,等. 土地利用、覆被变化(LUCC)与环境变化关系研究进展[J]. 生态环境学报,2014,23(12): 2013-2021. (ZHANG Xinrong, LIU Linping, FANG Shi, et al. Research advances on the relationship between land use/cover change and environmental change [J]. Ecology and Environmental Sciences,2014,23(12): 2013-2021. (in Chinese))

[6] 张殿君,张学霞,武腾飞. 黄土高原典型流域土地利用变化对蒸散发影响研究[J]. 干旱区地理,2011,34(3): 400-408. (ZHANG Dianjun, ZHANG Xuexia, WU Tengfei. Relationship between *ET* and LUCC in a typical watershed of Loess Plateau over the past 20 years[J]. Arid Land Geography,2011,34(3): 400-408. (in Chinese))

[7] 史晓亮,杨志勇,严登华,等. 滦河流域土地利用/覆被变化的水文响应[J]. 水科学进展,2014,25(1): 21-27. (SHI Xiaoliang, YANG Zhiyong, YAN Denghua, et al. On hydrological response to land-use/cover change in Luanhe River Basin [J]. Advances in Water Science,2014,25(1): 21-27. (in Chinese))

[8] 曾思栋,夏军,杜鸿,等. 气候变化、土地利用/覆被变化及 CO₂ 浓度升高对滦河流域径流的影响[J]. 水科学进展,2014,25(1): 10-20. (ZENG Sidong, XIA Jun, DU Hong, et al. Effects of climate change, land use and cover change and CO₂ enrichment on runoff: a case study of the Luanhe River basin [J]. Advances in Water Science,2014,25(1): 10-20. (in Chinese))

[9] 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[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2015, 38(2): 375-384. (WANG Jie, DONG Gang, ZHANG Feng. Effects of climatic change and land use/cover change on evapotranspiration in the Western Songnen Plain of Northeast China [J]. Journal of Shanxi University(Natural Science Edition), 2015, 38(2): 375-384. (in Chinese))

[10] 刘朝顺,高志强,高炜. 基于遥感的蒸散发及地表温度对 LUCC 响应的研究[J]. 农业工程学报,2007,23(8): 1-8. (LIU Chaoshun, GAO Zhiqiang, GAO Wei. Retrieval evapotranspiration and land surface temperature in response to land use/cover change based on remote sensing data [J]. Transactions of the CSAE,2007,23(8): 1-8. (in Chinese))

[11] 叶许春,张奇. 网格大小选择对大尺度分布式水文模型水文过程模拟的影响[J]. 水土保持通报,2010,30(3): 112-116. (YE Xunchun, ZHANG Qi. Effects of grid size on hydrological process modeling as a distributed hydrological model at large scale [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation,2010,30(3): 112-116. (in Chinese))

[12] 高超,刘青,苏布达,等. 不同尺度和数据基础的水文模型适用性评估研究:淮河流域为例[J]. 自然资源学报,2013,28(10): 1765-1777. (GAO Chao, LIU Qing, SU Buda, et al. The applicability assessment of hydrological models with different resolution and database in the Huaihe River Basin, China [J]. Jouranl of Natural Resources,2013,28(10): 1765-1777. (in Chinese))

[13] 张晓琳,熊立华,林琳,等. 五种潜在蒸散发公式在汉江流域的应用[J]. 干旱区地理,2012,35(2): 230-231. (ZHANG Xiaolin, XIONG Lihua, LIN Lin, et al. Application of five potential evapotranspiration equations in Hanjing Basin [J]. Arid Land Geography,2012,35(2): 230-231. (in Chinese))

[14] 纪瑞鹏. 辽宁地区玉米作物系数的确定[J]. 中国农学通报,2004,20(3): 246-248. (JI Ruipeng. Ascertainment of crop coefficients of maize in Liaoning Area [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2004,20(3): 246-248. (in Chinese))

[15] ALLEN R G, PEREIRA L S, RAES D, et al. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements: irrigation drainage paper No. 56 [R]. Rome:FAO,1998.

[16] XU C Y, SINGH V P. Evaluation and generalization of temperature-based methods for calculating evaporation [J]. Hydrological Processes,2001,15: 305-319.

[17] 郭伟,刘洪福. 佳木斯市城市蒸散发量计算[J]. 黑龙江水专学报,1998,25(3): 50-52. (GUO Wei, LIU Hongfu. Evaporation calculation for Jiamusi City [J]. Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering College, 1998, 25(3): 50-52. (in Chinese))

[18] MAIDMENT D R. Handbook of hydrology[M]. New York: McGraw-Hill,1993.

(收稿日期:2016-05-13 编辑:熊水斌)