2001—2020年澜湄流域热带地区土地覆被变化对蒸散发的影响

陈厚兵^{1,2},陈耀亮^{1,2}*,宋清海¹, Montri Sanwangsri^{3,4},

Nuttapon Khongdee³, 张 晶¹

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园热带森林生态学国家重点实验室, 勐腊 666303; 2. 福建师范大学福建省亚热带资源与环境重点实验室, 福州 350117; 3. Department of Highland Agriculture and Natural Resources, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand 50200; 4. Agriculture and Forestry Climate Change Research Center (AFCC), Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand 50200)

摘 要:准确量化土地覆被变化对蒸散发的影响是深刻理解全球变化背景下的水资源响应机理的重要前提。该研究基于 土地覆被产品 MCD12Q1、蒸散发产品 MOD16 及涡动相关等数据,通过构建剔除气候变化的动态分析方法,量化了 2001 一2020 年间澜湄流域热带地区土地覆被变化对蒸散发耗水量的动态影响。结果表明:1) MCD12Q1 与 MOD16 在该流域 的精度较高,其中 MCD12Q1 的总体精度为 82.3%, MOD16 在 8 d 以及月尺度上的 RMSE 仅略大于 1 mm/d;2) 2001— 2020 年研究区植被整体退化明显,其中森林转变为灌木和灌木转变为农田约占流域变化面积的 61.2%;3) 2001—2020 年期间主要土地覆被变化导致区域蒸散发耗水量减少约 278.87 亿 m³,主要土地覆被变化区气候差异导致蒸散发耗水量增 加 190.96 亿 m³。总体上,澜湄流热带地区植被整体呈现出退化的趋势,主要表现为森林转变为灌木和灌木转变为农田。 该地区土地覆被变化区域也使得其近 20 年内蒸散发耗水量减少,改变了土地覆被变化区域水资源循环过程。以上研究结 果可为澜湄流域热带地区水资源安全提供有效监测,对地区土水资源合理配置提供重要的科学参考依据。

关键词:土地利用;蒸散发;澜湄流域;水资源

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.22.012

中图分类号: S126 文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2022)-22-0113-10

陈厚兵,陈耀亮,宋清海,等. 2001—2020 年澜湄流域热带地区土地覆被变化对蒸散发的影响[J].农业工程学报, 2022, 38(22):113-122. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.22.012 http://www.tcsae.org Chen Houbing, Chen Yaoliang, Song Qinghai, et al. Effects of land cover change on evapotranspiration in the tropical Lancang-Mekong River Basin from 2001 to 2020[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2022, 38(22): 113-122. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.22.012 http://www.tcsae.org

0 引 言

蒸散发(Evapotranspiration, ET)是实现陆-气间水 汽交换的重要途径,在全球水循环和能量循环中具有不 可忽视的影响。然而,蒸散发也是各水文要素估算中不 确定性最大的成分之一,其不仅会受到气温、降水、风 速等气候因素的影响,而且对土地覆被的变化也极具敏 感性^[14]。在全球土地覆被变化(Land Use Change, LUC) 加剧背景下,蒸散发量变化的不确定性也在随之逐步增 加,这给水资源的精确估算带来了巨大挑战^[5-6]。因此, 准确量化土地覆被变化对蒸散发量变化的影响对于探究 全球变化背景下的水文循环响应机理和精准估算流域水 资源具有重要的科学意义。

探究土地覆被变化对蒸散发的影响可以分为基于研

收稿日期: 2022-08-30 修订日期: 2022-11-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41901124); 中国科学院热带森林 生态学重点实验室开放基金(20-CAS-TFE-01)

作者简介: 陈厚兵, 研究方向为土地覆被变化以及水文遥感研究。

※通信作者: 陈耀亮, 博士, 副教授, 研究方向为植被变化的碳水响应机理 及水文遥感研究。Email: chenyl@fjnu.edu.cn 究期端点土地覆被和蒸散发量变化的静态分析方法(简称"静态分析方法",下同)和基于动态土地覆被和蒸 散发量变化的分析方法(简称"动态分析方法",下同)。 静态分析方法可以直接对比研究期端点年份土地覆被和 蒸散发的变化以得到研究期蒸散发的变化,但忽视了土 地覆被动态变化造成的影响^[78]。动态分析方法又分为基 于动态情景的模型模拟变化的方法和基于产品动态分析 的方法。前者基于本地参数化模型模拟相同气候状态下 不同土地覆被的蒸散发情景以探究动态土地覆被变化对 蒸散发的影响^[69],后者则通过剔除气候变化对蒸散发的 影响以评估动态土地覆被变化对蒸散发的影响。

过去二十多年来强烈的人类活动使得热带地区的森林面积急剧减少且农田面积迅速扩张,植被格局发生了 剧烈变化,这也加速了区域生态-水文环境的变化。目前 已有大量研究聚焦热带地区的土地覆被变化^[10]、径流变 化^[11]、地表水资源变化及调控^[12],以及各覆被类型的生 态水文效应^[8]等方面,但是少有研究聚焦在热带地区土地 覆被变化的蒸散发耗水量影响方面^[13]。本研究聚焦的澜 沧江-湄公河流域热带地区近年来土地覆被类型发生了 巨大的变化,植被退化现象明显,这使得区域蒸散发过

Email: qsx20201145@student.fjnu.edu.cn

程发生相应改变,给该区域的水资源可持续利用带来了 一定的不确定性。本文通过动态分析方法量化了澜湄流 域土地覆被变化对蒸散发耗水量的影响,以期深化全球 变化背景下对澜湄流域热带地区水循环过程的认识。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

澜湄流域位于中南半岛地区,流域主干河流为澜沧 江-湄公河,长度为4880km,为亚洲重要的跨境河流。

D: 安南山脉Annan Mountain

其热带地区(图1)涵盖中国西双版纳和缅甸、老挝、越 南、泰国以及柬埔寨的部分区域。本研究根据地形特性 以及植被分布等特征,将该区域分成澜沧江下游、北部 高地、呵叻高原、安南山脉、洞里萨湖盆地以及湄公河 三角洲6个不同的地形区(图1)。在植被类型上,该区 域上游以常绿阔叶林和稀树草原(灌木)为主,下游以 农田和稀树草原(灌木)为主。研究区受到太平洋以及 印度洋季风的影响,常年降水充足,但具有明显的干湿 季,气温炎热。





1.2 研究数据

1.2.1 土地覆被数据

本研究采用美国国家宇航局开发的土地覆被产品 MODIS Land Cover(MCD12Q1),该产品的空间分辨率 为500 m,实现了全球覆盖,且逐年更新^[14]。MCD12Q1 该产品包含了 8 个分类标准,本研究采用的 IGBP (International Geosphere Biosphere Programme) 分类使用 最为广泛,该分类体系共有17个不同的土地覆被类型。

1.2.2 遥感蒸散发数据

本研究采用的蒸散发产品为 MOD16, 其空间分辨率为 500 m。MOD16 采用基于 Penman-Monteith (PM) 模型改 进的实际蒸散发算法,该算法相比前一版本的算法 (2008年),改进了植被覆盖度、阻抗等指标的计算,增加

了土壤热通量的计算,并且将土壤的表面分成饱和湿润表 面以及潮湿表面进行分析^[15-16]。但 MOD16 仅覆盖植被生长 区域,缺少水体以及城市等区域的蒸散发。PML-V2 中有水 体蒸散这一模块,能分别计算土壤蒸发、植被蒸腾以及冠 层截留蒸发,且耦合了水-碳交换过程,生态过程机理完 善^[17]。因此本文使用 PML-V2 对 MOD16 产品中的水体和 城市等蒸散发空值区域进行补充。

1.2.3 涡度相关数据

本研究使用 10 个站点的涡动相关数据对 MOD16 产 品的蒸散发进行评估。由于流域范围内仅有 3 个通量观 测站点观测数据可以获取,因此本文增加了一些在该流 域附近气候相似、植被类型相同的站点通量数据(如 表 1)。此外, FluxPro 的 4 个站点数据来自文献资料^[18-19],

时间尺度为月,其数据均经过质量控制。为统一涡动相 关数据与蒸散发产品的时间尺度,本研究将计算得到的 蒸散发量时间尺度上升至8d以及月。在进行时间升尺度 时,仅考虑白天的蒸散发(下行短波辐射大于10W/m²)。 针对能量不闭合的站点,本研究使用波文比校正法以实现能量平衡矫正^[20]。由于土壤热通量在 8 d 和月尺度上的变化量可以忽略不计^[17,21],本研究在能量平衡校正过程中不考虑土壤热通量。

	表1	本研究使用的各通量站点信息
Table 1	Info	rmation of the flux sites used in this study

站点名称 Site name	纬度 Latitude/(°)	经度 Longitude/(°)	高程 Elevation/m	植被类别 Vegetation type	时间 Time	尺度 Scale	来源 Source		
元江站 Yuanjiang	23.48	102.18	481	稀树灌草丛	2013-06-2015-12	30 min	CSData ^[22]		
SKR	14.49	101.92	543	常绿阔叶林	2002—2003	30 min	AISAFlux		
西双版纳热带雨林站 XSBN-Rain	21.96	101.21	750	常绿阔叶林	2003—2016	30 min	-		
哀牢山站 Ailaoshan	24.54	101.03	2505	常绿阔叶林	2009—2013	30 min	CSData ^[23]		
MKL	14.58	98.84	231	落叶阔叶林	2003—2004	30 min	AISAFlux		
西双版纳橡胶林站 XSBN-Rubber	21.91	101.27	580	落叶阔叶林	2010-07-2012-12、2016	30 min	-		
prt007	13.59	99.51	99	农田	2011-08-2017-07	月	FLUXPro ^[18-19]		
ctt007	16.90	99.43	129	农田	2012-01-2017-09	月	FLUXPro ^[18-19]		
pst007	17.06	99.70	59	农田	2004-07-2009-03	月	FLUXPro ^[18-19]		
dtt030	16.94	99.43	117	混合植被	2003-02-2016-02	月	FLUXPro ^[18-19]		

2 研究方法

2.1 土地覆被产品修正与评价

为实现土地覆被类型变化在时间序列上的合理性, 本研究对土地覆被产品进行了以下合理的修正:1)土地 覆被类型发生变化之后至少维持4a,若少于4a则调整 为变化之前的类型; 2)土地覆被类型变成水域以及建成 区之后不会再变为植被; 3) 假设 2001 年之前和 2020 年 之后的土地覆被类型不发生变化; 4) 根据 Google Earth 高空间分辨率影像分析发现 MCD12Q1 中研究区赤道气 候带的大部分草地都是种植在农田中的幼小经济林,并 非真实草地,因此将其修正为农田。其他少量草地主要 分布在澜湄流域的温带地区中,均在澜沧江下游区域内。 为减少 MCD12Q1 中因类型多而错分和漏分所产生的影 响,在对土地覆被产品进行修正的基础上,将该流域的 14 个土地覆被类型合并成 8 个土地覆被类型。将常绿阔 叶林、落叶阔叶林和混交林合并为森林,合并之后森林 面积为 30.65%; 将郁闭灌木、开放灌木、乔本稀树草原 (含未成熟人工林)和稀树草原合并为灌木,合并之后灌 木面积为 25.58%;将农田与农田/自然植被合并为农田, 合并之后农田面积为 40.33%; 草地、湿地、建成区、裸 土和水体则保持不变。此外,为了进一步评估合并后土 地覆被产品的精度评价,采用先分层后随机抽样的方式 选取了共 2 198 个样本点, 通过 Google Earth 的历史影像 进行目视解译进行验证(图1)。

2.2 蒸散发产品精度评价

使用皮尔逊相关系数(Pearson correlation coefficient, r)、均方根误差(Root Mean Square Error, RMSE)、 平均绝对偏差(Mean Absolute Error, MAE)以及平均相 对百分比偏差(Mean Residual Percentage Error, MRPE) 进行蒸散发产品的精度评价分析^[13],其中 MOD16 为与涡 动相关站点最近的 4 个 500 m×500 m 像元的平均蒸散发。 将各产品进行对比分析时,为降低不同植被类型验证数 据数量的不一致对验证结果的影响,本文以最少数据的 灌木类型为基准,所有类型在8d尺度上均随机选择122 个样本,月尺度上均随机选择31个样本进行评估。

2.3 土地覆被变化对蒸散发影响分析

本研究采用基于产品的动态分析方法定量土地覆被 变化对蒸散发的影响。由于动态的变化还包含气候变化 的影响,因此土地覆被变化导致的平均蒸散发差异 ET_{LUC} 可以表示为

$$ET_{LUC} = ET_{TC} - ET_{CC}$$
(1)

式中 ET_{TC} 为土地覆被类型发生变化之后的平均蒸散发变 化量; ET_{CC} 为气候变化导致的平均蒸散发差异。

在研究区上对研究期所有像元进行分析时,假设:研究期为n年($n \in \mathbb{Z}^*$)、像元i在第s年($s \in \mathbb{Z}^*$,s < n)发生类型变化,此时土地覆被类型由A变为B,则土地覆被类型变化后蒸散发平均变化量($\operatorname{ET}_{i,\mathrm{TC}}$)为

$$\mathrm{ET}_{i,\mathrm{TC}} = \sum_{t=s}^{n} \left(\mathrm{ET}_{j,t} \left(B \right) - \mathrm{ET}_{i,s-1} \left(A \right) \right) / \left(n - s \right) \quad (2)$$

式中 ET_{*i*,*i*}(*B*)为像元 *i* 在第 *t* 年的蒸散发(*t*∈Z*, *t*<*n*,此时土地覆被类型为 *B*), ET_{*i*,*s*-1}(*A*)为像元 *i* 在第 *s*-1 年的蒸散发(此时土地覆被类型为 *A*)。

为剔除气候差异对蒸散发的影响,假设 10 km 范围 内气候较为稳定,通过寻找该范围内土地覆被类型从变 化年份前一年均为类型 B 的区域,即参考像元(设为 B'), 参考像元总量为 m (m≥20),假设参考像元为 j,则气 候差异导致的蒸散发变化总量(ET_{i,CC})为

$$\mathrm{ET}_{i,\mathrm{CC}} = \left(\sum_{j=1}^{m} \sum_{t=s}^{n} \frac{\mathrm{ET}_{j,t} \left(B' \right) - \mathrm{ET}_{j,s-1} \left(B' \right)}{n-s} \right) / m \quad (3)$$

式中 ET_{j,t}(**B**')为参考像元 j 第 t 年的蒸散发(土地覆被类 型为 **B**'), ET_{j,s-1}(**B**')为参考像元 j 第 s-1 年的蒸散发。

则区域像元 *i* 由土地覆被变化导致的平均蒸散发(ET_{*i*,LUC})为

$$ET_{i,LUC} = ET_{i,TC} - ET_{i,CC}$$
(4)

则气候差异和土地覆被变化对蒸散发的总影响 ET_{CC}和 ET_{LUC}分别为

$$ET_{CC} = \sum_{1}^{P} ET_{i,CC}$$
(5)

$$ET_{LUC} = \sum_{i}^{P} ET_{i,LUC}$$
(6)

式中 P 为全流域(或地形区)中发生变化类型的像元总数。

3 结果与分析

3.1 土地覆被与蒸散发产品精度评价结果分析

3.1.1 土地覆被产品精度分析

MCD12Q1的分类总体精度为82.3%,Kappa系数为 0.75。研究区内主要植被如森林、灌木以及农田的用户精 度均在69%以上,且森林的用户精度达到了90.5%。原始 MCD12Q1产品中的草地和农田在进行地类修正之后,农 田的用户精度从73.7%提升到89.4%。如图2所示,农田 与灌木之间有较为严重的错分现象,这主要是因为研究 区内的耕地中橡胶、油棕等人工林幼林较多。建成区、 草地和裸土在该区域的分类精度较低,主要是因为这几 种植被类型在该地区的面积占比较少,样本量较少,因 此精度存在一定不确定性。但本研究的主要变化区域为 植被覆盖区域,并且这类面积占比很低,因此其分类精 度对结果的影响不大。





3.1.2 蒸散发产品精度分析

总体上,MOD16在8d以及月尺度上的RMSE均仅略大于1mm/d(图3),与其在全球尺度上的精度相近^[17]。 MOD16在8d尺度以及月尺度上的精度有明显差异。一方面,在8d尺度上,其MRPE大于0,MOD16存在一定的高估。另一方面,时间尺度从8d上升至月后,r上升0.05,MAE与MRPE分别下降0.008mm/d和0.04%/d,这表明时间尺度的上升可以提升蒸散发产品的精度。从不同植被类型上看,MOD16在常绿阔叶林和落叶阔叶林上均存在一定的高估,其在8d的MRPE分别为10.0%和12.9%,在月尺度上的MRPE分别为4.6%和8.8%。MOD16在农田、灌木以及混合植被上存在一定的低估,其在月尺度上的MRPE分别为-18.3%、-24.8%和-29.4%。虽然MOD16在不同植被类型上存在不同程度的偏差,但在月尺度上森林、灌木和农田这3种研究区最主要的植被类型的MAE均低于1mm/d,表明该产品可用于研究区的



b. Monthly scale
 注: r 为相关系数; RMSE 为均方根误差; MAE 为平均绝对偏差; MRPE
 为平均相对百分比偏差; n 为样本数。

Note: r is correlation coefficient; RMSE is root mean square error; MAE is mean absolute error; MRPE is mean residual percentage error. n is sample number.

图 3 MOD16 基于涡动相关数据的精度评价

Fig.3 Accuracy evaluation between MOD16 and eddy covariance datasets

3.2 澜湄流域热带地区 20 年土地覆被变化分析

澜湄流域热带地区在2001—2020年间约有16.6万km² 的土地覆被类型发生了转变,占全流域面积的24.7%。最 主要的变化类型如图4所示,总面积约为14.3万km², 占流域变化总面积的86.3%。在6个地形区中,湄公河三 角洲区域在2001—2020年土地覆被面积变化最小,为 0.38万km²,洞里萨湖盆地区域的变化面积最大,为 4.23万km²。森林转变为灌木以及灌木转变为农田这两种 变化类型在研究区中分布最广,占流域变化面积的61.2%,

尤其是在北部高地、安南山脉、洞里萨湖盆地以及湄公 河三角洲区域,这表明这些区域的植被整体呈现出退化 趋势(图4)。在澜沧江下游区域主要变化类型为灌木变 森林和森林变灌木,但前者会比后者多 0.1 万 km²。这主 要是由该地区在本世纪初大量种植的橡胶林幼苗 (MCD12Q1 中视为灌木)的成熟与森林退化所导致。在 北部高地和安南山脉区域,最主要的变化类型均为森林 转变为灌木,占主要变化类型总面积的比例分别为52.2% 和48.1%,由植被自然退化以及森林砍伐后人工种植橡胶 林幼苗等现象所致。呵叻高原北部的人工林(油棕、橡 胶等)面积不断增加,且将大量幼小人工林种植在农田 中,这导致呵叻高原变化区域中约有40.1%的区域由农田 变成灌木。在洞里萨湖盆地区域, 植被退化明显, 尤其 是在洪泛区域,已研究表明东南亚地区洪泛区森林砍伐 面积(31%)要多于北部高地区域约 13%^[24]。森林转变 为灌木再转变为森林与灌木转变为森林再转变为灌木这 两种变化类型主要是因为该流域常年种植橡胶以及油棕 等人工林,当人工林在研究期内被砍伐,并再次种植幼 苗时,其幼苗的光谱特征与灌木相近,因此被识别为灌 木。少数地区存在农田转变为灌木再转变为农田这一变 化类型主要是因为该类地区存在将人工林种植在农田中 的这一情况。发生森林转变为灌木再转变为农田这一现 象则是由于植被自然退化之后,开垦为农田而被利用。



3.3 澜湄流域蒸散发及其耗水的空间格局分析

全流域多年平均蒸散发在1000 mm 左右(图5), 以山地为主的区域多年平均蒸散发较高,可达1200 mm, 但在以农田为主的呵叻高原(泰国东部)等地区年平均 蒸散量较低,约为700 mm。



Fig.5 Spatial distribution of average ET and ET change trend in the tropic LMRB during 2001-2020

通过Theil-Sen回归来分析发现流域2001-2020年蒸 散发正在以5 mm/a 的速度缓慢增加(图5)。然而年蒸 散发的变化趋势具有明显的空间异质性:研究区大部分 地区年蒸散发呈现增长的趋势,而豆蔻山脉、洞里萨湖 平原东侧以及波罗芬高原等地的年蒸散发则呈现着总体 缓慢下降的趋势。澜湄流域热带地区近20年蒸散发量总 体呈现缓慢上升的趋势,其中澜沧江下游和呵叻高原的 增长趋势最为明显,均在 10 mm/a 以上,而洞里萨湖盆 地的年均蒸散发量增长仅为 0.62 mm/a, 其增长速率明显 低于研究区其他区域。从澜湄流域热带地区近 20 年不同 植被覆盖区域的蒸散发来看,森林的年均蒸散发 (1254.49 mm)最高,农田的年均蒸散发最低(811.23 mm), 灌木的年均蒸散发(1103.56 mm)处于两者之间。水体 和湿地的年均蒸散发差异较大,而森林的年均蒸散发差 异较小。各地形区中,水体和湿地广泛分布的湄公河三 角洲的平均蒸散发最高,呵叻高原的年均蒸散发最低。

3.4 典型土地覆被类型变化的蒸散发差异

总体上,澜湄流域热带地区的土地覆被变化会导致 每年蒸散发减少133.48 mm,气候差异会导致每年蒸散发 增加101.25 mm。由于各地形区中主要植被变化类型为森 林转变为灌木以及灌木转变为农田,使得大部分区域中 土地覆被变化导致的蒸散发降低(表 2)。其中在洞里萨 湖盆地由森林转变为灌木再转变为农田的蒸散发降低最 多,为186.79 mm/a。与土地覆被变化导致研究区每年蒸 散发减少不同,气候差异使得研究区年蒸散发增加。澜 沧江下游、北部高地和呵叻高原的气候差异使得主要植 被变化类型蒸散发分别增加 9.99、2.39 和 5.31 mm/a (表 2)。但值得注意的是,并非每个地形区的气候差异 都导致蒸散发增加。例如,北部高地、安南山脉和洞里 萨湖盆地的气候影响在不同土地覆被变化类型区存在较 大差异。总体上,与土地覆被变化导致的蒸散发相比, 气候差异对蒸散发的影响较小,平均变化量在 50 mm/a 以内。由于本研究的"动态分析方法"使用不同年份蒸散 发进行比较,受各年份气候差异以及植被生长状况的影 响,同种植被类型在不同年份的蒸散发差异较大,因此土 地覆被类型变化导致的蒸散发变化波动较大(表 2、表 3)。

表 2	澜湄流域热带地区不同土地覆被变化类型以及气候差异对蒸散发的影响

	Table 2 Eff	ects of different land c	over change types	and climate dif	ferences on ET i	in the tropical LMRB	$(\mathbf{mm} \cdot \mathbf{a}^{-1})$
影响	土地覆被变化类型	澜沧江下游	北部高地	呵叻高原	安南山脉	洞里萨湖盆地	湄公河三角洲
Effects	Land cover change type	Lower of Lancang River	Northern Highlands	Khorat Basin	Annan Mountain	Tonle Sap Lake Basin	Mekong Delta
	森林→灌木	-12.62±106.89	8.95±83.54	-29.46±129.76	-39.16±123.21	-89.99±147.96	-
十抽覆被	灌木→农田	-	-112.43±158.94	-131.54±109.99	-109.52±132.15	-124.89 ± 162.00	-107.43±186.19
工地復被 变化 Land cover change	灌木→森林	53.14±134.90	-	114.45±134.95	-	-	-
	农田→灌木	-	-	136.64±132.50	-	-	-2.60 ± 219.60
	森林→灌木→森林	22.45±94.43	20.64 ± 85.05	-	-	-	-
	森林→灌木→农田	-	-	-	-	-186.79±144.44	-
	森林→灌木	18.23±74.49	-4.70±72.41	9.72±79.50	6.01±76.31	-4.76±96.16	-
气候差异 Climate differences	灌木→农田	-	-38.75±90.06	11.54±75.96	-22.49±73.49	-36.04±91.28	-8.97±91.07
	灌木→森林	32.73±70.58	-	45.89±87.74	-	-	-
	农田→灌木	-	-	35.07±51.55	-	-	-21.68±87.78
	森林→灌木→森林	25.44±73.95	10.91±65.82	-	-	-	-
	森林→灌木→农田	-	-	-	-	18.99±88.26	-

表 3 澜湄流域热带地区不同变化类型静态/动态变化分析对蒸 散发的影响

Table 3 Comparison of ET change between static and dynami

analyzing method in the tr	opical LMRB	$(\text{mm} \cdot a^{-1})$
土地覆被变化类型	动态分析 Demomio opolyzia	静态分析 Statia analysia
Land cover change type	Dynamic analysis	Static analysis
森林→灌木 Forests→Shrubs	-34.06±124.63	-56.51±159.50
灌木→农田 Shrubs→Croplands	-117.99±151.98	-142.31±165.41
灌木→森林 Shrubs→Forests	60.09±136.09	107.42±177.17
农田→灌木 Croplands→Shrubs	118.07±156.53	169.06±184.38
森林→灌木→森林 Forests→Shrubs→Forests	3.31±107.31	-
森林→灌木→农田 Forests→Shrubs→Croplands	-158.38±150.89	-238.12±187.81
灌木→森林→灌木 Shrubs→Forests→Shrubs	53.34±112.91	-
灌木→农田→灌木 Shrubs→Croplands→Shrubs	-72.73±159.46	-

基于动态分析方法与静态分析方法下的蒸散发量变 化趋势并没有方向性的差异,但是蒸散发量变化量级会 明显缩小。在动态分析方法下,研究区主要植被类型变 化使得年平均蒸散发量减少约 39.55 mm,低于静态分析 方法下的年平均蒸散发量变化量(142.68 mm)(表 3)。 此外,由森林转变为灌木以及灌木转变为农田这两种变 化类型会使得区域蒸散发分别减少(34.06±124.63)和 (117.99±151.98) mm,且两种类型的连续变化会使得蒸散发量变化更为剧烈,如由森林转变为灌木再转变为农田会使得蒸散发量减少(158.38±150.89) mm,要明显多于前两者的蒸散发量变化总和。

从蒸散发耗水量角度看,土地覆被变化使研究区近 20 年的蒸散发耗水量减少约 278.87 亿 m³, 气候差异使 得耗水量增加约 190.96 亿 m³。在澜沧江下游,北部高地, 安南山脉以及湄公河三角洲地区中,土地覆被变化使得 蒸散发耗水量减少,而气候差异使得蒸散发耗水量增加。 在洞里萨湖盆地区域,近20年气候差异使得该区域的蒸 散发耗水量减少约 43.82 亿 m³,这可能与该区域近年干 旱事件频发密切相关。从不同土地变化类型看,森林转 变为灌木以及森林转变为灌木再转变为农田对研究区耗 水量贡献度较大,其占比分别达到 48.01%和 41.69% (表4)。在呵叻高原,其土地覆被变化会导致蒸散发耗 水量的增加,这是由大面积的农田转变为灌木以及灌木 转变为森林所致。值得注意的是,洞里萨湖盆地区域的 蒸散发耗水量减少163.06 亿 m³,占全研究区蒸散发减少 量的 58.47%, 这主要是森林转变为灌木再转变为农田、 森林转变为灌木、灌木转变为农田三种变化类型所致。

表 4	不同区域各主要土地覆被变化类型	型导致的耗水量变	£化
-----	-----------------	----------	----

Table 4 Changes in	water consumption	on caused by majo	or land cover	r change ty	pes in each regi	on	(12 m^3)
土地覆被变化类型 Land cover change type	澜沧江下游 Lower of Lancang River	北部高地 Northern Highlands	呵叻高原 Khorat Basin	安南山脉 Annan Mountain	洞里萨湖盆地 Tonle Sap Lake Basin	湄公河三角洲 Mekong Delta	合计 Total
森林→灌木 Forests→Shrubs	-9.83	-42.25	-2.73	-35.47	-43.80	0.00	-134.07
灌木→农田 Shrubs→Croplands	-0.16	-12.20	-9.25	-16.87	-44.12	-5.58	-88.18
灌木→森林 Shrubs→Forests	8.75	5.67	6.13	4.19	4.28	0.01	29.03
农田→灌木 Croplands→Shrubs	-0.37	7.29	12.06	2.41	5.27	-0.97	25.70
森林→灌木→森林 Forests→Shrubs→Forests	-2.44	0.01	1.04	0.19	-1.29	0.08	-2.41
森林→灌木→农田 Forests→Shrubs→Croplands	-0.17	-10.40	-2.83	-16.22	-85.02	-1.63	-116.27
灌木→森林→灌木 Shrubs→Forests→Shrubs	0.30	1.69	0.38	0.82	1.43	0.00	4.62
灌木→农田→灌木 Shrubs→Croplands→Shrubs	-0.16	1.21	0.35	-0.37	0.19	1.49	2.72
合计 Total	-4.07	-48.97	5.14	-61.31	-163.06	-6.60	-278.87

4 讨 论

4.1 产品不确定性分析

4.1.1 土地覆被产品导致的不确定性

在缺少真实地类样本时,基于遥感影像数据对土地 覆被产品进行精度评价是进行验证的有效方式之一,但 使用该方法有一定的不确定性^[25]。一方面,MCD12Q1 空间分辨率低,各像元内的植被类型仅能以主要植被确 定。在东南亚地区,灌木与农田的植被组成较为复杂, 灌木中包含稀树草原、郁闭灌木、开放灌木和未成熟人 工林等多种植被类型,农田中不仅有各种水稻等农作物, 还有橡胶和油棕等人工林。另一方面,受云层分布和气 候等因素影响,产品每年的偏差不完全一致,这给产品 的精度带来一定的不确定性。

为量化分类误差导致的土地覆被变化的不确定性,本 文采用 Cochran 提出的不确定性分析方法^[26],通过精度验证 数据得到不同置信水平下的各地类的偏差程度对各个土地

覆被类型在 95%置信水平下的不确定性进行求和,得到最 大不确定性比例以及由土地覆被产品不确定性导致的蒸散 发耗水量变化不确定性[27](表5)。结果发现仅考虑土地覆 被变化对耗水量不确定性影响时,各主要变化类型所导致 的耗水量最大标准差不确定性均在 15%以内,因此在置信 度为 95%内认为流域由土地覆被变化导致的耗水量偏差不 会超过 73.32 亿 m³。从变化次数上看,多年内发生两次变 化导致的不确定性明显会多于一次,这说明变化次数的增 加会增加土地覆被变化分析的不确定性,导致耗水量不确 定性变大。在各地形区中,洞里萨湖盆地的耗水量不确定 性最大,为 36.44 亿 m³,为全流域耗水量不确定性的 50%。 在主要植被变化类型中,灌木转变为森林再转变为灌木与 森林转变为灌木再转变为森林的最大不确定性比例高于其 他变化类型,均为14.6%,其对研究区总体耗水量不确定性 贡献并不高。而森林转变为灌木再转变为农田面积虽然占 比并不高,但是其蒸散发量变化较大,其导致的耗水量不 确定性达到 31.1 亿 m³,占总体不确定性的 42%。

表 5	不同区域土地覆被变化导致的耗水量变化不确定性
表 5	不同区域土地覆被变化导致的耗水量变化不确定性

Table 5	Uncertainty of ET water	consumption caused b	y land cover change in each region	(亿 m³)

土地覆被变化类型 Land cover change type	最大不确定性比例 Ratio of maximum uncertainty/%	澜沧江下游 Lower of Lancang River	北部高地 Northern Highlands	呵叻高原 Khorat Basin	安南山脉 Annan Mountain	洞里萨湖盆地 Tonle Sap Lake Basin	湄公河三角洲 Mekong Delta	合计 Total
森林→灌木 Forests→Shrubs	7.3	1.43	6.15	0.40	5.16	6.37	0.00	19.59
灌木→农田 Shrubs→Croplands	6.0	0.02	1.47	1.12	2.04	5.33	0.67	10.71
灌木→森林 Shrubs→Forests	7.3	1.27	0.82	0.89	0.61	0.62	0.00	4.30
农田→灌木 Croplands→Shrubs	6.0	0.04	0.88	1.46	0.29	0.64	0.12	3.49
森林→灌木→森林 Forests→Shrubs→Forests	14.6	0.71	0.00	0.30	0.06	0.38	0.02	1.62
森林→灌木→农田 Forests→Shrubs→Croplands	13.3	0.04	2.77	0.75	4.32	22.64	0.43	31.10
灌木→森林→灌木 Shrubs→Forests→Shrubs	14.6	0.09	0.49	0.11	0.24	0.42	0.00	1.49
灌木→农田→灌木 Shrubs→Croplands→Shrubs	12.1	0.04	0.29	0.08	0.09	0.05	0.36	1.03
合计 Total	-	3.65	12.88	5.11	12.80	36.44	1.61	73.32

4.1.2 蒸散发产品导致的不确定性

尽管 MOD16 在全球范围内被广泛应用,但不可忽略 该产品的算法缺陷而带来的不确定性: 1) MOD16 没有 考虑二氧化碳浓度以及碳水耦合过程,而缺失碳水耦合 过程可能割裂植被蒸腾作用与光合作用的关系。当植被 受到环境压力 (例如干旱、高温等)时, 植被蒸腾作用 与光合作用过程会通过叶片气孔相互约束^[17]; 2) MOD16 在计算气孔导度时是通过气温和大气压的经验方程对其 进行约束,而经验方程在不同地区的适用性存在差异^[28]。 相比其他全球蒸散发产品,本文使用的 MOD16 具有以下 三点明显的优势: 1) MOD16 在模型构建时,依据不同 植被功能类型选择相应的叶片气孔、水汽压差等影响因 子的生物群落特征值阈值,因此可以量化不同植被功能 类型的蒸散发差异; 2) MOD16 计算蒸散发时采用了与 MCD12Q1 相一致的植被功能类型蒸散发特征参数,这大 大增加了本研究结果的可靠性; 3)本研究结果表明 MOD16 总体上可以刻画出区域蒸散发的空间分布及年 际变化。尽管现有遥感蒸散发产品已经取得了较大发展,

但受限制于输入产品精度不高,现有估算方法有限以及 观测技术不足等多方面原因,短时间遥感蒸散发产品精 度较难提升。随着时间尺度上升,由于蒸散发产品在部 分时间上会存在高估或者低估,因此随着时间尺度的上 升,有相当一部分误差会被平均掉,其精度也会逐渐上 升。此外,流域通量观测设备多为采购的国外设备,精 度较为可靠。最后,本研究使用的 AISAFlux (http://asiaflux.net/)和 ChinaFLUX (http://www.chinaflux. org/)为成熟的观测通量联合体系,具有相对一致的技术 处理规范。在对蒸散发产品验证时,使用的涡动相关观 测系统有开路式和闭路式,两者在观测上有一定的差异, 但总体上对结果影响较小^[29]。

4.2 分析方法的不确定性

蒸散发量不仅会受到土地覆被变化的影响,还会受 到气温、降水等气象因子的影响,因此分析土地覆被变 化对蒸散发的影响时应充分考虑气候变化差异^[30-31]。本 研究通过分析邻近参考像元的蒸散发量变化得到其受气 候变化的影响,进而得到实际像元在气候变化前后的蒸 散发差异。这种方式可以在对缺少资料地区分析蒸散发 量变化时剔除气候变化分析,分离出土地覆被变化与气 候变化对蒸散发的影响,具有简单且可行性高的优点。 但也存在一些不足之处,主要表现在:1)在计算动态气 候变化时,虽然实际像元与参考像元的温度、降水、辐 射以及风速等气象条件都近乎相同,但两者的土壤质地、 水分、养分等要素往往存在较大差异,这会给评估气候 差异的影响带来误差;2)本研究将土地覆被类型发生变 化前一年的气候条件作为气候差异的对照,但在区域尺 度上看,像元上土地覆被类型发生变化前一年的气候与 区域尺度上气候存在差异;3)相比于基于情景的模型模 拟方法,基于产品的动态分析方法无法实现气温、降水 以及风速等关键要素的分离:4)本研究方法未考虑农田 人为活动的影响。农田的蒸散发会因农作物种植类型、 管理方式以及灌溉方式等因素存在较大差异。

4.3 气候变化与土地覆被变化对蒸散发的影响

本文研究结果表明土地覆被变化区域的土地覆被变 化导致蒸散发减少量为 278.87 亿 m³, 气候变化导致蒸散 发耗水增加量为 190.96 亿 m³, 表明在变化区域土地覆被 变化的影响要大于气候变化。由于土地覆被变化导致减 少的蒸散发大于气候变化导致增加的蒸散发, 土地覆被 变化区域总体蒸散发呈减少态势。从水量平衡角度看, 这会增加变化区域的径流量, 因此在雨季变化区域要注 意径流激增带来的风险灾害。尽管土地覆被变化区域蒸 散发量总体下降, 但由于变化区域的范围仅占流域总面 积的 25%左右, 因此土地覆被变化区域导致的蒸散发减 少量并没有影响整个研究区由于气候变化导致蒸散发量 增加的趋势。

5 结 论

本研究构建动态分析方法量化了澜湄流域热带地区 土地覆被变化对蒸散发的影响,结果表明:

1) MCD12Q1 与 MOD16 可用于土地覆被变化与蒸 散发量变化研究,其中 MCD12Q1 的总体精度为 82.3%, MOD16 在 8 d 以及月尺度上的均方根误差仅略大于 1 mm/d;

2)2001—2020年间,研究区植被整体退化明显,其 中森林转变为灌木和灌木转变为农田约占流域变化面积 的 61.2%;主要土地覆被变化导致区域蒸散发耗水量减少 约 278.87亿 m³,而蒸散发对气候差异的响应导致耗水量 增加 190.96 亿 m³。

本研究结果有助于增进对区域水文循环过程的了 解,为澜湄流域水资源可持续利用提供科学的参考依据。

致谢:感谢黄鑫毅和 Boonsiri Sawasdchai 在澜湄 流域热带地区土地覆被类型验证及蒸散发量分析过程中 的帮助。

[参考文献]

- Lettenmaier D P, Famiglietti J S. Hydrology Water from on high[J]. Nature, 2006. 444(7119): 562-563.
- [2] Michel D, Jiménez C, Miralles D G, et al. The

WACMOS-ET project-Part 1: Tower-scale evaluation of four remote-sensing-based evapotranspiration algorithms[J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2016. 20(2): 803-822.

- [3] Chen Y, Wang S, Ren Z, et al. Increased evapotranspiration from land cover changes intensified water crisis in an arid river basin in northwest China[J]. Journal of Hydrology, 2019, 574: 383-397.
- [4] 郭雯雯,黄生志,赵静,等. 渭河流域潜在蒸散发时空演
 变与驱动力量化分析[J]. 农业工程学报,2021,37(3):
 81-89.

Guo Wenwen, Huang Shengzhi, Zhao Jing, et al. Spatio-temporal dynamics and driving forces of potential evapotranspiration in the Wei River Basin[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2021, 37(3): 81-89. (in Chinese with English abstract)

- [5] Grimm N B, Faeth S H, Golubiewski N E, et al. Global change and the ecology of cities[J]. Science, 2008, 319: 756-760.
- [6] 张永强,孔冬冬,张选泽,等.2003—2017年植被变化对 全球陆面蒸散发的影响[J].地理学报,2021,76(3): 584-594.

Zhang Yongqiang, Kong Dongdong, Zhang Xuanze, et al. Impacts of vegetation changes on global evapotranspiration in the period 2003-2017[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(3): 584-594. (in Chinese with English abstract)

 [7] 张殿君,张学霞,武鹏飞.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 Pengfei. 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 with English abstract)

- [8] 宫兆宁,陆丽,金点点,等.土地利用/覆被变化扎龙湿地蒸散发量及生态需水量的遥感估算[J].生态学报,2021,41(9):3572-3587.
 Gong Zhaoning, Lu Li, Jin Diandian, et al. Remote sensing estimation of evapotranspiration and ecological water demand in Zhalong wetland under land use /cover change[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(9): 3572-3587. (in Chinese
- with English abstract)
 [9] 杨肖丽,李文婷,任立良,等. 渭河流域蓝绿水对土地利 用变化的响应模拟[J]. 农业工程学报,2021,37(11): 268-276.

Yang Xiaoli, Li Wenting, Ren Liliang, et al. Simulation of the response of blue and green water to land use change in the Weihe River Basin[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2021, 37(11): 268-276. (in Chinese with English abstract)

[10] Feng Y, Zeng Z, Searchinger T D, et al. Doubling of annual forest carbon loss over the tropics during the early twenty-first century[J]. Nature Sustainability, 2022, 5: 444-451

121

 [11] 徐静,华健,闫中月.土地覆被变化对河源区小流域径流 模拟影响分析研究[J].南京大学学报(自然科学),2016, 52(1): 142-148.

Xu Jing, Hua Jian, Yan Zhongyue. Study on effects of land cover change on runoff simulation result in a headstream watershed[J]. Journal of Nanjing University (Natural Science), 2016, 52(1): 142-148. (in Chinese with English abstract)

- [12] 岳思羽,李怀恩,赵丽. 气候和土地利用变化对渭河流域 水资源短缺的影响[J]. 水土保持研究,2021,28(5):95-101.
 Yue Siyu, Li Huaien, Zhao Li. Impacts of climate and land use changes on water scarcity in the Wei River Basin[J].
 Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(5): 95-101. (in Chinese with English abstract)
- [13] Chen H, Gnanamoorthy P, Chen Y, et al. Assessment and inter-comparison of multi-source high spatial resolution evapotranspiration products over Lancang-Mekong River Basin, Southeast Asia[J]. Remote Sensing, 2022, 14(3): 479.
- [14] Sulla-Menashe D, Gray J M, Abercrombie S P, et al. Hierarchical mapping of annual global land cover 2001 to present: The MODIS Collection 6 Land Cover product[J]. Remote Sensing of Environment, 2019, 222: 183-194.
- [15] 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: 519-536.
- [16] Mu Q, Zhao M, Running S W. Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm[J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115: 1781-1800.
- [17] Zhang Y, Kong D, Gan R, et al. Coupled estimation of 500 m and 8-day resolution global evapotranspiration and gross primary production in 2002-2017[J]. Remote Sensing of Environment, 2019, 222: 165-182.
- [18] Kim W, Miyata A, Ashraf A, et al. FluxPro as a realtime monitoring and surveilling system for eddy covariance flux measurement[J]. Journal of Agricultural Meteorology, 2015. 71: 32-50.
- [19] Kim W, Seo H, Komori D, et al. Characteristics of the relative sampling error and its application to flux aggregation in eddy covariance measurements[J]. Journal of Agricultural Meteorology, 2020. 76: 89-95.
- [20] Wohlfahrt G, Haslwanter A, Hörtnagl L, et al. On the consequences of the energy imbalance for calculating surface conductance to water vapour[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2009, 149: 1556-1559.
- [21] Leuning R, Zhang Y, Rajaud A, et al. A simple surface conductance model to estimate regional evaporation using MODIS leaf area index and the Penman-Monteith equation[J]. Water Resources Research, 2008, 44(10): W10419.
- [22] 起德花,杨大新,宋清海,等. 2013 2015 年元江干热河谷生态站碳水通量观测数据集[J].中国科学数据,2021,6(1):110-122.
 Qi Dehua, Yang Daxin, Song Qinghai, et al. An observation

dataset of carbon and water fluxes at Yuanjiang Dry-hot

Valley Ecological Station (2013 – 2015)[J]. China Scientific Data, 2021, 6(1): 110-122. (in Chinese with English abstract)

- [23] 起德花,费学海,宋清海,等. 2009 2013 年哀牢山亚热带常绿阔叶林碳水通量观测数据集[J]. 中国科学数据,2021,6(1): 87-97.
 Qi Dehua, Fei Xuehai, Song Qinghai, et al. A dataset of carbon and water fluxes observation in subtropical evergreen broad-leaved forest in Ailao Shan from 2009 to 2013[J]. China Scientific Data, 2021, 6(1): 87-97. (in Chinese with
- English abstract)
 [24] Lohani S, Dilts T E, Weisberg P J, et al. Rapidly accelerating deforestation in Cambodia's Mekong River Basin: A comparative analysis of spatial patterns and drivers[J]. Water, 2020, 12(8): 2191.
- [25] 刘琼欢,张镱锂,刘林山,等. 七套土地覆被数据在羌塘 高原的精度评价[J]. 地理研究, 2017, 36(11): 2061-2074. Liu Qionghuan, Zhang Yili, Liu Linshan, et al. Accuracy evaluation of the seven land cover data in Qiangtang Plateau[J]. Geographical Research, 2017, 36(11): 2061-2074. (in Chinese with English abstract)
- [26] Cochran W G. Sampling Techniques[M]. New York: Wiley, 1977.
- [27] Olofsson P, Foody G M, Stehman S V, et al. Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation[J]. Remote Sensing of Environment, 2013, 129: 122-131.
- [28] Ryu Y, Baldocchi D D, Kobayashi H, et al. Integration of MODIS land and atmosphere products with a coupled-process model to estimate gross primary productivity and evapotranspiration from 1 km to global scales[J]. Global Biogeochemical Cycles, 2011, 25(4): GB4017.
- [29] Liu S, Xu Z, Wang W, et al. A comparison of eddy-covariance and large aperture scintillometer measurements with respect to the energy balance closure problem[J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2011, 15(4): 1291-1306.
- [30] 王凯利,王志慧,肖培青,等. 气候与下垫面变化对黄土 高原蒸散发变化的影响评估[J]. 水土保持学报,2022. 36(3): 166-172, 180.
 Wang Kaili, Wang Zhihui, Xiao Peiqing, et al. Assessment on the impact of climate and the changes of underlying surface on the evapotranspiration in the Loess Plateau[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2022, 36(3): 166-172, 180. (in Chinese with English abstract)
- [31] 黎云云,畅建霞,樊晶晶,等. 气候和土地利用变化下黄 河流域农业干旱时空演变及驱动机制[J]. 农业工程学报, 2021, 37(19): 84-93.
 Li Yunyun, Chang Jianxia, Fan Jingjing, et al. Agricultural

drought evolution characteristics and driving mechanisms in the Yellow River Basin under climate and land use changes[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2021, 37(19): 84-93. (in Chinese with English abstract)

Effects of land cover change on evapotranspiration in the tropical Lancang-Mekong River Basin from 2001 to 2020

Chen Houbing^{1,2}, Chen Yaoliang^{1,2*}, Song Qinghai¹, Montri Sanwangsri^{3,4}, Nuttapon Khongdee³, Zhang Jing¹

(1. CAS Key Laboratory of Tropical Forest Ecology, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla 666303, China; 2. Fujian Provincial Key Laboratory of Subtropical Resources and Environment, Fujian Normal University, Fuzhou 350117, China; 3. Department of Highland Agriculture and Natural Resources, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand; 4. Agriculture and Forestry Climate Change Research Center (AFCC), Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand)

Abstract: Land cover types have changed dramatically in the tropics as human activity is ever increasing in recent years. These changes can cause great impacts on regional water security. Therefore, it is a high demand to accurately quantify the effect of land cover change on evapotranspiration (ET) for a better understanding of the mechanism of the water cycle under global warming. This study aims to investigate the effects of land cover change on the ET in the tropical Lancang-Mekong River Basin (LMRB) from 2001 to 2020. Firstly, the land cover data was reclassified and we corrected the unreasonable change types. The land cover product (MCD12Q1) was then evaluated using high spatial resolution images with Google Earth Pro. Secondly, the ET product (MOD16) was assessed using a total of 10 eddy covariance observation sites. Pearson's correlation coefficient (r), Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), and Mean Relative Percentage Error (MRPE) were also used to analyze the land cover changes and ET trends in this region. Finally, a dynamic analysis was developed to accurately quantify the effect of land cover changes on ET water consumption, where the impacts of climate change were excluded. The results show that: 1) The MCD12Q1 performed better with an overall accuracy beyond 82%, the forests and cropland of which were 90.5% and 89.4%, respectively. The RMSE values of MOD16 on the 8-day and monthly scales were only slightly larger than 1 mm/day. Therefore, the two products (land cover and ET) can be expected to analyze the ET changes in the study area. 2) The changing area accounted for 24.7% of the total. There was a degradation trend of the overall vegetation, where the conversion areas of the forest to shrubs and shrubs to cropland accounted for 61.2% of the changing area. 3) The trend analysis showed that there was an increasing average ET of 5 mm/a in the entire region. 4) A significant difference was observed in the annual average ET of each land cover type. Generally, the annual average ET of the forest was higher than that of shrubs, and the annual average ET of shrubs was higher than that of cropland. 5) The major types of land cover change caused a total decrease of 27.89 billion m³ of water consumption, whereas, climate change led to an increase of 19.10 billion m³ of ET water consumption. 6) Although there was a decrease of ET in the land cover change area, there was no significant influence of the land cover change area on the increasing ET. In general, the vegetation degradation resulted in a decrease in ET and water consumption, indicating the conversion of forests to shrubs and shrubs to cropland from 2001 to 2020. A better understanding of the water cycle response to global change can provide useful knowledge to effectively monitor the water resources security and the allocation of land and water resources in the tropical LMRB. Keywords: land use; evapotranspiration; Lancang-Mekong River Basin; water resource