



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2017.05.027

周秋文, 杨胜天, 蔡明勇. 雅鲁藏布江- 布拉马普特拉河流域 GDP 数据空间化估算与分析[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(5): 176-182. ZHOU Qiurwen, YANG Shengtian, CAI Mingyong. Estimation and analysis of spatialized gross domestic product data in Tsangpo Brahmaputra River basin[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(5): 176-182. (in Chinese)

雅鲁藏布江- 布拉马普特拉河流域 GDP 数据空间化估算与分析

周秋文^{1,2}, 杨胜天¹, 蔡明勇³

(1. 北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 遥感科学国家重点实验室, 环境遥感与数字城市北京市重点实验室, 北京 100875;
2. 贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵阳 550001; 3. 环境保护部卫星环境应用中心, 北京 100094)

摘要: 雅鲁藏布江- 布拉马普特拉河是重要的国际河流, 掌握该流域 GDP 数据空间分布状况及其变化信息, 有助于制定合理的国际河流管理政策, 维护区域稳定和发展。传统的 GDP 数据以行政区为统计单元, 不利于国际河流相关信息的统计分析。以土地利用数据为基础, 实现了雅江流域 GDP 数据空间化估算。结果表明, 印度、孟加拉国在 GDP 总量方面均有一定优势, 不丹和藏南的总量相对较小, 但是增速最快, 所有区域中第二产业所占比重均不大, 说明全流域整体工业发展水平不高, 而藏南主要经济来源是农业, 其它产业比重较小。

关键词: 国际河流; GDP; 空间化; 雅鲁藏布江

中图分类号: TP79 文献标识码: A 文章编号: 1672-1683(2017)05-0176-07

Estimation and analysis of spatialized gross domestic product data in Tsangpo-Brahmaputra River basin

ZHOU Qiurwen^{1,2}, YANG Shengtian¹, CAI Mingyong³

(1. School of Geography, State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Beijing Key Laboratory of Environmental Remote Sensing and Digital City, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;
2. School of Geography and Environment Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China;
3. Satellite Environment Center of MEP, Beijing 100094, China)

Abstract: The Tsangpo Brahmaputra River is an important international river. To obtain the spatial distribution and variation information of the gross domestic product (GDP) data in this basin is conducive to formulating reasonable international river management policies. However, traditional GDP data, taking administrative region as a statistical unit, is not suitable for statistical analysis of international rivers. Based on the land cover data, we estimated the spatial distribution data of GDP in Tsangpo Brahmaputra River basin. In Tsangpo Brahmaputra River basin, India and Bangladesh have a large GDP, while the South Tibetan region and Bhutan have a relatively small but the fastest growing GDP. The proportion of the secondary industry is small in all the regions, indicating that the industrial development level is not high throughout the basin. Agriculture is the primary source of income in South Tibet, while other industries only occupy a small proportion.

Key words: international river; gross domestic product; spatialization; Yarlung Tsangpo River

收稿日期: 2016-02-14 修回日期: 2016-10-24 网络出版时间: 2017-08-29

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20170829.1919.005.html>

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAK12B03); 贵州省科学技术基金(黔科合J字[2015]2118号)

Fund: National Science and Technology Support Program(2012BAK12B03); Guizhou Science and Technology Fund 黔科合J字[2015]2118号

作者简介: 周秋文(1986), 男, 广西桂林人, 博士, 主要从事水资源水环境遥感研究, Email: zouqiuwen@163.com

通讯作者: 杨胜天(1965), 男(彝族), 贵州贵阳人, 教授, 博士, 主要从事水文水资源遥感、环境遥感和地理信息系统研究。Yangshengtian@bnu.edu.cn

国内生产总值(GDP)能够全面反映全社会经济活动的总规模,是评价经济形势的重要综合指标,也是体现社会经济发展程度的重要指标之一^[1]。雅鲁藏布江-布拉马普特拉河(以下简称雅江)是我国的重要国际河流,流域涉及中国、印度、孟加拉国、不丹^[2]。该流域的安全对南亚地区稳定及流域相关国家关系协调发展都有重要影响^[3-5]。掌握雅江流域 GDP 空间分布状况及其变化信息,有助于国际河流相关各方制定合理的国际河流管理政策,维护区域稳定和发展。

雅江流域涉及多个国家,不仅难以获取境外 GDP 数据,且各国空间统计单元不一致,能获取到的数据通常是以一级行政区(省、邦)为单元。现有的经济统计数据不仅空间分辨率较粗,且行政单元边界与流域边界不一致,导致无法通过统计数据确切了解流域经济状况。因此,仅依靠现有的 GDP 统计数据,难以得到雅江流域的 GDP 总量数据、分区数据及其空间分布特征,这极大地阻碍了雅江流域社会经济状况分析工作。

Goodchild 等认为社会经济数据的空间单元从点到连续面的转变,是未来的趋势^[6]。与行政区为单元的 GDP 统计数据相比,空间化后的 GDP 数据具有以下几点优势:(1)网格化的 GDP 空间数据能够反映统计区域内部的 GDP 水平差异,更能反映其区域空间分布特征;(2)具有空间信息的 GDP 公里格网的密度值在空间分析中具有更多的应用价值;(3)GDP 公里格网的数值不受行政区域变更的影响,有利于长期的持续研究^[7]。

目前,对国际河流的研究虽然较多,但多以理论分析为主^[8-9]。对雅江流域的研究,多是针对雅江流域水资源安全的分析,对流域经济状况分析较少^[10-11]。因此,本文通过国内、国外多种数据渠道获取 GDP 统计数据,选择目前应用广泛、且适宜的 GDP 数据空间化方法,从而实现雅江流域 GDP 数据空间化估算。进而基于 GDP 数据空间化估算结果,分析雅江流域 GDP 空间分布及其变化特征。

1 研究区概况

雅鲁藏布江发源于喜马拉雅山脉中段北麓的杰马央宗冰川,从藏南进入印度,在藏南巴昔卡附近与其他两河合流后始称布拉马普特拉河(印度境内),流经孟加拉国后称为贾木纳河,于瓜伦多卡德与恒河汇合,最后注入孟加拉湾,全长为 2 900 km。总流域面积约 52 万 km²,中国境内 33 万 km²(其中巴昔卡站控制流域面积约 24 万 km²),印度境内面积

12.6 万 km²,不丹全境面积 4 万 km² 均在雅江流域范围内,孟加拉国境内面积 2.3 万 km²。雅鲁藏布江是世界海拔最高的大河,平均海拔约 4 000 m 以上,总落差达 5 400 m,水能资源极为丰富。上游地区流域地貌类型为高原地貌,从进入西藏林芝地区开始逐渐过渡到高山峡谷地貌,从雅鲁藏布大拐弯到巴昔卡流出中国国境处,河床下降了 2 200 m,平均每公里下降 10 m 左右;进入印度后,主要地貌类型为低山丘陵,孟加拉国境内为洪泛平原。在接近流域出口的巴哈杜拉巴德(Bahadurabad)测站多年平均径流量为 6 180 亿 m³,年输沙量为 4.99 亿 t,流域内地下水蕴藏量为 279 亿 m³。雅江流域气候多样,在喜马拉雅山脉以北,属于高原气候,寒冷而干燥;在喜马拉雅山脉以南,气候温暖湿润,受西南季风和孟加拉湾气旋的影响,是世界上降雨量最多的地区,年均降雨量为 2 650 mm,60%~70% 的降雨发生在雨季的 6 月—9 月。

在喜马拉雅山脉以北地区,居民以藏人为主,从事畜牧业并耕耘河谷,灌溉用水取自该河及其支流。以林芝地区为例,2012 年实现地区生产总值 72.39 亿元,其中,第一产业占 10%,第二产业占 36%,第三产业占 54%;人口密度 2.6 人/km²。喜马拉雅山脉以南,人口密集,经济以农业为主。以印度阿萨姆邦为例,当地 53% 的劳动人口从事农业生产,根据 2011 年的人口普查报告,人口密度为 397 人/km²。

2 研究方法与数据获取

2.1 GDP 数据空间化方法选择

现有的 GDP 数据空间化方法根据其原理主要分为三种类型:面积-距离加权法^[12-14]、夜间灯光指数法^[15-17]、基于地表覆盖的空间化方法^[18-22]。面积-距离加权法优点是简单易用,但是实际上经济指标往往在空间上呈不均一分布,使得其结果与 GDP 实际空间分布状况不符,难以满足实际需要。夜间灯光指数法通过夜间灯光强度与 GDP 建立统计关系,其优点在于物理机制明显,计算得到的结果通常也较为合理;缺点在于,城市以外的地区由于夜间灯光强度较弱,GDP 的空间估算精度不高。基于地表覆盖的 GDP 数据空间化方法其原理在于,通过建立土地利用类型与 GDP 分布的统计关系,实现 GDP 数据空间化。其优点在于,能体现 GDP 各大组成部分的空间分布特征,并且能反映 GDP 数据在不同时间的空间分布变化,是目前较为常用的 GDP 数据空间化方法。本研究区大部分属于夜间灯光较弱甚至无灯光的地区,且需要反映雅江流域逐年的 GDP 空间变化,因此

采用基于地表覆盖的 GDP 数据空间化方法^[23,24]。

2.2 基于地表覆盖的 GDP 数据空间化方法

国民经济由三大产业构成^[25], 相应地, GDP 分三次产业估算的总体公式(1):

$$GDP = GDP1 + GDP2 + GDP3 \quad (1)$$

式中: GDP 为国内生产总值; $GDP1$ 为第一产业增加值; $GDP2$ 为第二产业增加值; $GDP3$ 为第三产业增加值。

第一产业可以进一步细分为农、林、牧、渔四大行业, 因此第一产业增加值空间化的基本公式如下:

$$GDP1 = GDP11 + GDP12 + GDP13 + GDP14 \quad (2)$$

式中: $GDP11$ 至 $GDP14$ 分别为农、林、牧、渔四大行业增加值。

土地是各类国民经济活动的载体, 人类对土地资源的利用是 GDP 产生的基础。王建华和江东通过对 GDP 与土地利用之间的关系分析得出, 三次产业增加值与土地利用要素(土地利用格局)存在一定的对应关系, 并根据这种关系, 得到了 GDP- 土地利用格局的关系矩阵(表 1)^[24]。从 GDP- 土地利用格局的关系矩阵可以得出: 第一产业内部四大行业增加值的产生与耕地、林地、草地、水体有紧密的对应关系。通过该关系矩阵, 结合第一产业四大行业的增加值统计数据和土地利用数据, 便可得到各行政区单位面积上的第一产业四大行业的增加值, 然后将其分配到行政区内对应的耕地、林地、草地、水体等土地利用空间数据上, 最终实现第一产业增加值数据空间化。第二产业和第三产业增加值由工业、商业、服务业产生, 这些经济活动主要在居民地和城乡工矿用地开展, 因此将第二产业和第三产业增加值与城乡工矿用地建立对应关系, 实现 GDP 数据空间化。

表 1 GDP- 土地利用格局的关系矩阵

Tab.1 Correlation between gross domestic products and land use type

土地利用类型	农	林	牧	渔	二产	三产
耕地	1	0	0	0	0	0
林地	0	1	0	0	0	0
草地	0	0	1	0	0	0
水体	0	0	0	1	0	0
城乡工矿用地	0	0	0	0	1	1
未利用地	0	0	0	0	0	0

注: 关系矩阵中 1 表示密切相关, 0 表示无关或者相关性极弱。

相应地, 各产业或行业 GDP 密度空间化公式如下:

$$dg_i = GDP_i / S_i \quad (3)$$

式中: dg_i 表示第 i 个行政区 l 种土地利用类型(l 种产业或行业)每个栅格上的 GDP 密度(万美元/ km^2),

l 表示第一产业下的四大行业或第二、三产业, 及对应的第 j 种土地利用类型, GDP_i 为第 i 个行政区第 l 种产业或行业的增加值总额(万美元), S_i 为第 i 个行政区第 l 种土地利用的面积(km^2)。

2.3 数据来源与处理

(1) 经济统计数据。

西藏境内四个地区的 GDP 统计数据来源于西藏自治区统计年鉴^[26]。2011 年开始可能由于统计口径变化, 农业增加值显著下降。GDP 统计数据采用当期价格, 单位为万元, 将单位统一转换为万美元。

除西孟加拉邦外, 印度 GDP 统计数据来源于印度东北部数据库^[27], 原始数据中的三次产业和行业统计数据时间序列不全。缺失年份根据该年 GDP 乘以最近一年三次产业占各邦 GDP 的比例, 得到三次产业和各行业的 GDP。西孟加拉邦数据来源于印度统计年鉴^[28], 原始统计数据中只有各 GDP 总量, 没有区分三次产业和各大行业, 因此以全国 GDP 总量中各部分的比例, 划分出西孟加拉邦三次产业和各具体行业的 GDP 数量。此外, 由于印度全国统计年鉴和印度东北部数据库的分行业统计中, 都没有单独列出畜牧业, 因此本研究参考发展中国家的普遍水平, 将农业中划分出 20% 作为畜牧业。原 GDP 统计数据采用当期价格, 单位为印度卢比, 按 1 印度卢比 = 0.01738 美元换算, 将单位统一转换为万美元。不丹各年 GDP 数据来源于世界银行数据库^[29], 单位为万美元。GDP 分行业比例数据来源于不丹统计年鉴, 孟加拉国的 GDP 数据获取与处理也采用同样的方式。

(2) 土地利用数据。

土地利用数据来源于 MODIS 500m 分辨率土地利用产品(Land Cover data), 数据选取时段为 2001 年-2012 年。MODIS 土地覆盖类型产品包含五个数据集, 对应五个分类方案, 本研究土地类型划分基于美国马里兰大学分类体系^[30]。并以实际需要为依据进行了相应的土地利用类型归并, 最后将研究区土地利用类型划分为水域、耕地、林地、草地、城乡工矿用地、未利用地 6 类。本文中 GDP 数据空间化及相应的时空分析时间范围均为 2001 年-2012 年。

3 结果分析

3.1 雅江流域 GDP 数据空间化结果验证

社会经济数据空间化结果验证是研究的难点, 主要体现在, 社会经济要素是一种场分布, 它不同于

一般位置固定的地理要素,如植被、土壤、土地利用等,场分布要素可以无限细分。因此,社会经济数据空间化分辨率确定十分重要,空间分辨率过高,不仅数据难以获取,而且应用必要性不大;但如果分辨率过低,又难以反映社会经济要素在空间上的实际分布情况。社会经济数据空间化就是要以最适合的空间尺度体现社会经济要素实际空间分布,使得空间化的模型既可行,结果又具有一定的实际意义。因此,很难对社会经济要素空间化模型进行充分性检验,一般只能进行必要性检验^[31]。

雅江流域社会经济数据空间化结果验证分境内和境外两部分开展。受数据可获取性限制,境内部分选择流域涉及县的 2008 年统计 GDP 和第一产业、第二产业增加值数据进行验证。境外部分由于省级以下行政单元统计数据难以获取,因此选择数据相对完整的印度阿萨姆邦 2010 年区级 GDP 统计数据验证。

雅江流域 GDP 空间化数据的验证结果表明,境内部分 2008 年第一产业增加值统计和估算值的 R^2 为 0.76(图 1),第二产业增加值统计和估算值的 R^2 为 0.74(图 1),境外印度阿萨姆邦各区 2010 年统计与估算 GDP 的 R^2 为 0.68(图 2)。相比而言,境内部分的验证精度略高,该规律与 GDP 数据空间化的验证结果大体一致。总体而言,估算结果在可接受的范围内。

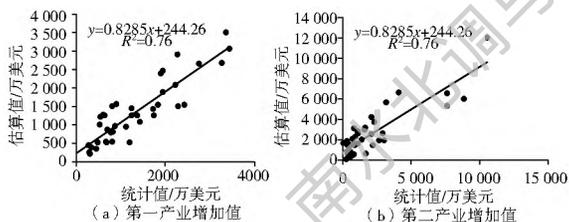


图 1 雅江流域境内部分县 2008 年第一、第二产业增加值数据空间化结果精度验证

Fig. 1 Validation of spatialized primary and secondary industry added value within China in the Tsangpo Brahmaputra River basin in 2008

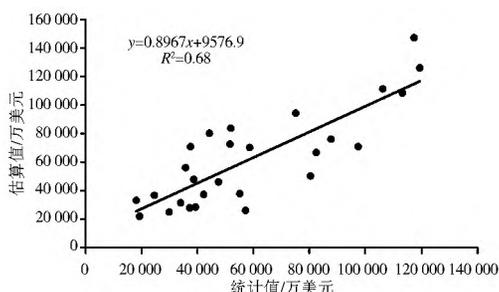


图 2 雅江流域印度阿萨姆邦各区 2010 年 GDP 数据空间化结果精度验证

Fig. 2 Validation of spatialized GDP within India in the Tsangpo Brahmaputra River basin in 2010

3.2 雅江流域第一产业增加值时空分布分析

雅江流域内第一产业增加值(多年平均)印度所占比重最大,占流域第一产业增加值的 60%,其次为孟加拉国,占全流域的 30%,境内(不含藏南,下同)占流域第一产业增加值的 5%,藏南和不丹分别占 2% 和 3%。雅江流域第一产业增加值密度最高的是孟加拉国,达到 1.8 万美元/ km^2 ,其次为印度,第一产业增加值密度最低的是境内,仅为 0.15 万美元/ km^2 。从 2001 年到 2012 年,第一产业增加值增长最快的区域是藏南地区,12 年间第一产业增加值增长了 24 124 万美元,年均增长率为 23.2%,其次为印度,12 年间第一产业增加值增长了 635 963 万美元,年均增长率为 19.5%,第一产业增加值增长最慢的区域为中国境内,年均增长率为 8%。从上述统计结果可得出,雅江流域第一产业增加值印度和孟加拉国最高,藏南虽然总量小,但是增长速度较快,境内第一产业增加值总量、密度和增长速度均较低。雅江流域第一产业增加值空间化结果见图 3。

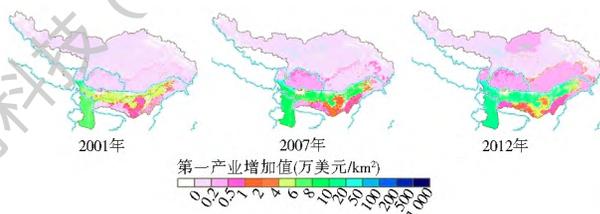


图 3 2001 年-2012 年雅江流域第一产业增加值空间分布
Fig. 3 Spatial distribution of primary industry added value in Tsangpo Brahmaputra River basin from 2001 to 2012

注:因篇幅所限,不列出逐年空间化结果,下同。

3.3 雅江流域第二产业增加值时空分布分析

雅江流域内第二产业增加值(多年平均)印度所占比重最大,占流域第二产业增加值的 47%,其次为孟加拉国,占全流域第二产业增加值的 39%,境内占流域第二产业增加值的 9%,藏南和不丹分别占 1% 和 4%。雅江流域第二产业增加值密度最高的是孟加拉国,达到 18.5 万美元/ km^2 ,其次为印度,第二产业增加值密度最低的是藏南,第二产业增加值密度仅为 0.13 万美元/ km^2 。从 2001 年到 2012 年,第二产业增加值增长最快的区域是境内,12 年间第二产业增加值增长了 262,219 万美元,年均增长率为 37.9%,其次为孟加拉国,8 年间第二产业增加值增长了 130,385 万美元,年均增长率为 27%,第二产业增加值增长最慢的区域为孟加拉国,年均增长率为 8%。从上述统计结果可知,雅江流域第二产业增加值中,印度和孟加拉国在总量和密

度方面都较高, 境内第二产业增加值虽然总量较小, 但是近年增长较快。雅江流域第二产业增加值空间化结果见图 4。

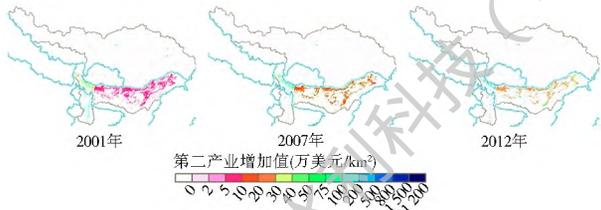


图 4 2001 年-2012 年雅江流域第二产业增加值空间分布
Fig. 4 Spatial distribution of the secondary industry added value in Tsangpo Brahmaputra River basin from 2001 to 2012

3.4 雅江流域第三产业增加值时空分布分析

雅江流域内印度第三产业增加值(多年平均)所占比重最大, 达到全流域的一半以上, 占流域第三产业增加值的 58%, 其次为孟加拉国, 占全流域第三产业增加值的 27%, 境内占流域第三产业增加值的比重为 12%, 藏南和不丹分别占 1% 和 2%。雅江流域第三产业增加值密度最高的是孟加拉国, 达到 18.6 万美元/ km^2 , 其次为印度, 第三产业增加值密度最低的是藏南, 仅为 0.16 万美元/ km^2 。从 2001 年到 2012 年, 第三产业增加值增长最快的区域是不丹, 12 年间增长了 39 717 万美元, 年均增长率为 24%, 其次为境内, 12 年间增长了 229 123 万美元, 年均增长率为 23.7%, 第三产业增加值增长最慢的区域为孟加拉国, 年均增长率为 13.5%。从上述统计结果可得出, 雅江流域第三产业增加值中, 印度和孟加拉国在总量方面占优势, 境内的总量也较大, 不丹第三产业增加值虽然总量较小, 但是近年发展较快, 藏南无论在总量和速度方面都处于劣势。雅江流域第三产业增加值空间化结果见图 5。

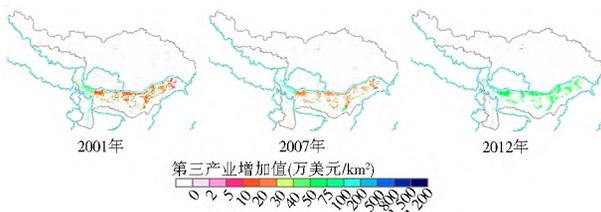


图 5 2001 年-2012 年雅江流域第三产业增加值空间分布
Fig. 5 Spatial distribution of the tertiary industry added value in Tsangpo Brahmaputra River basin from 2001 to 2012

3.5 雅江流域 GDP 时空分布分析

雅江流域内印度 GDP(多年平均)所占比重最大, 达到全流域的一半以上, 占流域 GDP 的 56%, 其次为孟加拉国, 占全流域 GDP 的 31%, 境内占流域 GDP 的比重为 9%, 藏南和不丹分别占 1% 和

3%。雅江流域 GDP 密度最高的是孟加拉国, 达到 48 万美元/ km^2 , 其次为印度, GDP 密度最低的是藏南, 仅为 0.5 万美元/ km^2 。三次产业中, 第三产业 GDP 所占比重最大的是境内, 第二产业所占比重最大的是不丹, 第一产业所占比重最大的是藏南(图 6)。从 2001 年到 2012 年, GDP 增长最快的区域是不丹, 12 年间 GDP 增长了 130 207 万美元, 年均增长率为 24%, 其次为藏南, 12 年间 GDP 增长了 44 644 万美元, 年均增长率为 23.4%; GDP 增速最慢的区域为孟加拉国, 年均增长率为 13.4%。雅江流域 GDP 空间化结果见图 7。

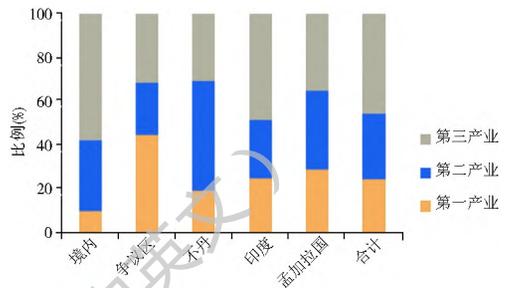


图 6 雅江流域涉及各区域 GDP 的三次产业比例
Fig. 6 Proportions of the three industries in the regions in Tsangpo Brahmaputra River basin

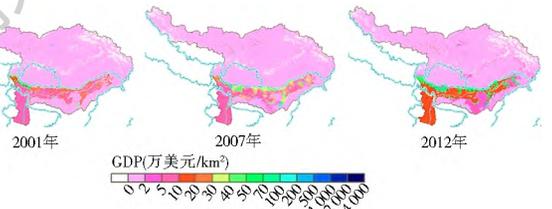


图 7 2001 年-2012 年雅江流域 GDP 空间分布
Fig. 7 Spatial distribution of GDP in Tsangpo Brahmaputra River basin from 2001 to 2012

4 结论

研究表明, 基于土地利用的 GDP 数据空间化方法适用于雅江流域, 精度验证结果境内外的 R^2 都在 0.6 以上, 总体估算精度较好, 境内精度略高。雅江流域 2001 年-2012 年 GDP 数据空间化的结果表明, 在雅江流域范围内, 印度、孟加拉国在 GDP 总量方面均有一定优势, 不丹和藏南的总量相对较小, 但是增速最快; 所有区域中第一产业所占比重最大, 第二产业所占比重小, 说明全流域整体工业发展水平不高。采用 GDP 数据空间化的方法, 可以获得时空连续的 GDP 分布数据, 克服了传统 GDP 数据以行政区为统计单元的问题。该方法为国际河流地区社会经济分析、水资源管理等领域提供有效的信息与技术支撑。

参考文献(References):

- [1] 张建伟, 苗长虹, 姜海宁. 中国 GDP 偏离度的空间计量经济分析[J]. 地理科学, 2015, 35(5): 515-520. (ZHANG Jianwei, MIAO Changhong, JIANG Haining. A Spatial econometric analysis of China's GDP deviation degree[J]. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(5): 515-520. (in Chinese))
- [2] 樊基仓, 李英改, 李斌, 等. 印度对布拉马普特拉河的开发及其跨境影响[J]. 世界地理研究, 2010, 19(4): 84-90. (FAN Jichang, LI Yinggai, LI Bin, et al. India's projects on Brahmaputra and its transboundary effects[J]. World Regional Studies, 2010, 19(4): 84-90. (in Chinese))
- [3] 孙静, 贾绍凤, 吕爱峰. 喜马拉雅地区国际河流信息提取与分析[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(3): 33-38. (Sun Jing, JIA Shaofeng, LY Aifeng. Information extraction and analysis of the Himalayan international rivers[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2011, 9(3): 33-38. (in Chinese))
- [4] 周秋文, 杨胜天, 蔡明勇, 等. 基于事件数据的雅鲁藏布江-布拉马普特拉河国际河流安全分析[J]. 世界地理研究, 2013, 22(4): 127-133. (ZHOU Qiwen, YANG Shengtian, CAI Mingyong, et al. Security analysis of international river based on event data of the Yarlung zangbo - Brahmaputra River[J]. World Regional Studies, 2013, 22(4): 127-133. (in Chinese))
- [5] 李志斐. 中印领土争端中的水资源安全问题[J]. 南亚研究季刊, 2013(4): 29-34. (Li Zhi fei. Water resources security involved in China-India territorial disputes[J]. South Asian Studies Quarterly, 2013(4): 29-34. (in Chinese))
- [6] Goodchild M F, Anselin L, Dieckmann U. A framework for the areal interpolation of socioeconomic data[J]. Environmental and Planning A, 1993(25): 383-397.
- [7] 李飞, 张树文, 杨久春, 等. 社会经济数据空间化研究进展[J]. 地理与地理信息科学, 2014, 30(4): 102-107. (LI Fei, ZHANG Shuwen, YANG Jiuchun, et al. A review on research about spatialization of socioeconomic data[J]. Geography and Geo-Information Science, 2014, 30(4): 102-107. (in Chinese))
- [8] 何大明, 刘昌明, 杨志峰. 中国国际河流可持续发展研究[J]. 地理学报, 1999(51): 1-10. (HE Daming, LIU Changming, YANG Zhifeng. Study for the sustainability of international rivers in China[J]. Acta Geographica Sinica, 1999(51): 1-10. (in Chinese))
- [9] 丁俊明, 严华东, 薛松, 等. 东南亚国际河流水资源合作开发的需求研究[J]. 水资源与水工程学报, 2015(2): 97-102. (DING Junming, YANG Huadong, XUE Song, et al. Study on cooperative development of water resources for international rivers in Southeast Asia[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2015(2): 97-102. (in Chinese))
- [10] 单婕, 周祥林, 郝红升, 等. 国际水条约对我国西南国际河流开发保护的影响[J]. 人民长江, 2016, 47(4): 9-11. (SHAN Jie, ZHOU Xianglin, HAO Hongsheng, et al. Influence of international water treaty on development and protection of international rivers in Southwest China[J]. Yangtze River, 2016, 47(4): 9-11. (in Chinese))
- [11] 刘阳. 雅鲁藏布江/布拉马普特拉河沿岸国跨界水合作的法律分析[D]. 厦门: 厦门大学, 2015. (LIU Yang. Legal Analysis on Transboundary Water Cooperation of Riparian States of Yarlung Zangbo/Brahmaputra River[D]. Xiamen: Xiamen University, 2015. (in Chinese))
- [12] 钟凯文, 黎景良, 张晓东. 土地可持续利用评价中 GDP 数据空间化方法的研究[J]. 测绘信息与工程, 2007, 32(3): 10-12. (ZHONG Kaiwen, LI Jingliang, ZHANG Xiaodong. GDP spatialization in land sustainable use assessment[J]. Journal of Geomatics, 2007, 32(3): 10-12. (in Chinese))
- [13] 黄莹, 包安明, 陈曦, 等. 基于绿洲土地利用的区域 GDP 公里格网化研究[J]. 冰川冻土, 2009, 31(1): 159-160. (HUANG Ying, BAO Anming, Chen Xi, et al. Studying the GDP in 1 km square Grid cells based on oasis land use[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2009, 31(1): 159-160. (in Chinese))
- [14] 闰庆武, 卞正富. 基于 GIS 的社会统计数据空间化处理方法[J]. 云南地理环境研究, 2007, 19(2): 92-97. (YAN Qingwu, BIAN Zhengfu. Method of pixelizing social statistical data based on the GIS[J]. Yunnan Geographic Environment Research, 2007, 19(2): 92-97. (in Chinese))
- [15] 梁友嘉, 徐中民. 基于夜间灯光辐射数据的张掖市甘州区 GDP 空间分布建模[J]. 冰川冻土, 2013, 35(1): 249-254. (LIANG Youjia, XU Zhongmin. Modeling the spatial distribution of GDP based on night light radiation: A case study in Ganzhou District, Zhangye Municipality[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(1): 249-254. (in Chinese))
- [16] 韩向娣, 周艺, 王世新, 等. 基于夜间灯光和土地利用数据的 GDP 空间化[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(3): 396-405. (HAN Xiangdi, ZHOU Yi, WANG Shixin, et al. GDP spatialization based on DMSP/OLS data and land use data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2012, 27(3): 396-405. (in Chinese))
- [17] 杨妮, 吴良林, 邓树林, 等. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的省域 GDP 统计数据空间化方法——以广西壮族自治区为例[J]. 地理与地理信息科学, 2014, 30(4): 108-111. (YANG Ni, WU Lianglin, DENG Shulin, et al. Spatialization method of provincial statistical GDP data based on DMSP/OLS night lighting data: A case study of Guangxi Zhuang Autonomous Region[J]. Geography and Geo-Information Science, 2014, 30(4): 108-111. (in Chinese))
- [18] 刘红辉, 江东, 杨小唤, 等. 基于遥感的全国 GDP 1 km 格网的空间化表达[J]. 地球信息科学, 2005, 7(2): 120-123. (LIU Honghui, JIANG Dong, YANG Xiaohuan, et al. Spatialization approach to 1 km grid GDP supported by remote sensing[J]. Geo-Information Science, 2005, 7(2): 120-123. (in Chinese))
- [19] 赵军, 杨东辉, 潘尧虎. 基于空间化技术和土地利用的兰州市 GDP 空间格局研究[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2010, 46(5): 92-102. (ZHAO Jun, YANG Donghui, PAN

- Jing hu. A study on spatial pattern of GDP in Lanzhou City based on spatialization and land utilization [J]. Journal of Northwest Normal University (Natural Science), 2010, 46(5): 92-102. (in Chinese)
- [20] 胡云峰, 王倩倩, 刘越, 等. 国家尺度社会经济数据格网化原理和方法[J]. 地球信息科学学报, 2011, 13(5): 573-578. (HU Yurong, WANG Qianqian, LIU Yue, et al. Index system and transferring methods to build the national society and economy grid database [J]. Journal of Geoinformation Science, 2011, 13(5): 573-578. (in Chinese))
- [21] 熊俊楠, 韦方强, 苏鹏程, 等. 基于多源数据的四川省 GDP 公里格网化研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2013, 21(2): 318-328. (XIONG Junnan, WEI Fangqiang, SU Pengcheng, et al. Research on GDP spatialization approach of Sichuan Province supported by multi-source data[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2013, 21(2): 318-328. (in Chinese))
- [22] 梁大圣, 赵荣, 刘兴万, 等. 格网 GDP 空间分布更新模型研究[J]. 测绘科学, 2010, 35(5): 155-157. (LIANG Dasheng, ZHAO Rong, LIU Xingwan, et al. Updating model for the spatial distribution of the grid-based GDP[J]. Science of Surveying and Mapping, 2010, 35(5): 155-157. (in Chinese))
- [23] 刘红辉, 江东, 杨小映, 等. 基于遥感的全国 GDP 1km 格网的空间化表达[J]. 地球信息科学, 2005, 7(2): 120-123. (LIU Honghui, JIANG Dong, YANG Xiaoying, et al. Spatialization Approach to 1km Grid GDP Supported by Remote Sensing [J]. Geoinformation Science, 2005, 7(2): 120-123. (in Chinese))
- [24] 王建华, 江东. 黄河流域二元水循环要素遥感反演研究[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 107. (WANG Jianhua, JIANG Dong. Parameter retrieval of binary water cycle using remote sensing in the Yellow River Basin [M]. Beijing: Science Press, 2006: 107. (in Chinese))
- [24] GB/T 4754 2002, 国民经济行业分类[S]. (GB/T 4754 2002, Classification of national economy industry[S]. (in Chinese))
- [26] 西藏自治区统计局. 西藏统计年鉴[J]. 北京: 中国统计出版社, 2002~ 2013. (The Tibet autonomous region bureau of statistics. Tibet statistical yearbook [J]. Beijing: China statistics press, Beijing, 2002~ 2013. (in Chinese))
- [27] North Eastern Development Finance Corporation Ltd., India. NEDFi databank [EB/OL]. [2013-03-17]. <http://databank.nedfi.com/>.
- [28] Ministry of Statistics and Programme Implementation, India. India Statistical Yearbook [EB/OL]. [2013-04-20]. <http://mospi.nic.in/>.
- [29] World Bank Group. World Bank Open Data [EB/OL]. 2013-04-13. <http://data.worldbank.org/>.
- [30] 周秋文, 杨胜天, 罗娅, 等. 2001 年-2009 年中国及周边国家土地利用/覆盖变化分析[J]. 世界地理研究, 2012, 21(2): 64-79. (ZHOU Qiwen, YANG Shengtian, LUO Ya, et al. Land use and cover change in China and the neighboring countries in recent 10 years [J]. World Regional Studies, 2012, 21(2): 64-79. (in Chinese))
- [31] 廖顺宝, 秦耀辰. 草地理论载畜量调查数据空间化方法及应用[J]. 地理研究, 2014, 33(1): 179-190. (LIAO Shunbao, QIN Yaochen. A spatialization method for survey data of theoretical stock carrying capacity of grassland in China and its application [J]. Geographical Research, 2014, 33(1): 179-190. (in Chinese))