

# 基于水足迹的贵州省平塘县农业用水与经济脱钩分析

易武英<sup>1,2</sup>, 苏维词<sup>2,3</sup>, 李威<sup>2</sup>, 张建利<sup>2</sup>, 邢丹<sup>4</sup>

(1. 贵州大学 生命科学学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州省山地资源研究所, 贵州 贵阳 550001;

3. 重庆师范大学 地理与旅游学院, 四川 重庆 400047; 4. 贵州省农科院 蚕业研究所, 贵州 贵阳 550006)

**摘要:** [目的] 从水足迹视角剖析平塘县农业经济增长与农业水资源利用耦合作用机理, 为喀斯特峰丛洼地生态治理提供参考资料。[方法] 利用联合国粮农组织推荐 CROPWAT 8.0 软件, 测算平塘县 2002—2015 年农业水足迹, 运用脱钩理论, 分析平塘县 2001—2015 年农业发展与农业水资源利用脱钩态势。[结果] ① 2002—2015 年平塘县水足迹与生产总值整体上呈波动上升趋势, 但其增长率波动性较大; ② 从 Tapio 脱钩弹性指数来看, 现阶段农业经济增长与农业水资源消耗关系尚不稳定, 农业水资源不可持续性利用状态仍存在; ③ 2007 年为脱钩关系较为理想年份, 其次是 2008 年, 协调状况最差是 2006, 2002—2015 年脱钩态势系整体上, 呈倒 U 形变化趋势; ④ 从面积来看, 研究时段弱脱钩面积比重范围为 0%~97.9% (2010 年最大, 2013 年其次, 2007 和 2011 年最小), 强脱钩面积比重范围为 0%~100% (2007 年最大, 2008 年其次, 2010 年最小), 衰退脱钩面积比重范围为 0%~49.7% (2011 年为 49.7%, 其他年份为 0)。[结论] 总体上, 平塘县农业经济增长与农业水资源利用协调状况不佳。

**关键词:** 脱钩分析; 农业水足迹; 经济农业经济增长; 协调发展; 喀斯特峰丛洼地; 平塘县

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)04-0295-06

中图分类号: TV23.9

**文献参数:** 易武英, 苏维词, 李威, 等. 基于水足迹的贵州省平塘县农业用水与经济脱钩分析[J]. 水土保持通报, 2018, 38(4):295-300. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2018.04.047. Yi Wuying, Su Weici, Li Wei, et al. Analysis of agricultural water use and economic decoupling in Pingtang County of Guizhou Province based on water footprint[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(4):295-300.

## Analysis of Agricultural Water Use and Economic Decoupling in Pingtang County of Guizhou Province Based on Water Footprint

YI Wuying<sup>1,2</sup>, SU Weici<sup>2,3</sup>, LI Wei<sup>2</sup>, ZHANG Jianli<sup>2</sup>, XING Dan<sup>4</sup>

(1. College of Life Science, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China; 2. Institute of Mountain Resources, Guizhou Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550001, China; 3. Geographic Science School of Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China; 4. Research Institute of Sericulture, Guizhou Academy of Agricultural Science, Guiyang, Guizhou 550006, China)

**Abstract:** [Objective] From the perspective of water footprint, the coupling mechanism between agricultural economic growth and utilization of agricultural water resources in Pingtang County of Guizhou Province was analyzed in order to provide reference materials for ecological management of karst peak cluster depression. [Methods] Using the CROPWAT 8.0 software recommended by the Food and Agriculture Organization of the United Nations, to calculate the agricultural water footprint of Pingtang County, and using decoupling theory to analyse the decoupling situation between agricultural development and utilization of agricultural water resources in Pingtang County from 2001 to 2015. [Results] ① The water footprint and GDP of Pingtang County from 2002 to 2015 fluctuated and increased, but its growth rate was volatile. ② From the perspective of tapioelasticity index, the relationship between agricultural economic growth and agricultural water consumption is still unstable at the present stage, unsustainable utilization of agricultural water

收稿日期: 2018-03-29

修回日期: 2018-04-09

资助项目: 贵州省科技计划项目“射电天文望远镜(FAST)石漠化区生态服务功能调控及洞穴再生资源开发利用与示范”(黔科合 SY 字[2015]3018); 贵州省科技计划项目“典型喀斯特峰丛洼地贫困农户生态效应与生计安全研究”(黔科合基础[2016]1528-3 号); 国家自然科学基金项目“石漠化地区桑树丛枝菌根真菌对宿主根系吸水的促进作用”(31460225)

第一作者: 易武英(1987—), 女(汉族), 湖南省邵阳市人, 博士研究生, 主要从事喀斯特生态环境与可持续发展研究。E-mail: yiwuyingsy@163.com.

resources still exists; ③ The ideal or optimistic year for decoupling was 2007, followed by 2008. The worst coordination was 2006 year, and the trend of decoupling showed a trend of inverted “U” shape as a whole from 2002 to 2015; ④ In terms of area, the specific gravity range of weak decoupling area during the study period was 0%~97.9% (the largest was 2010, the second largest was 2013, and the smallest was 2011), the specific gravity range of strong decoupling area was 0%~100% (the largest was 2007, the second largest was 2008, and the smallest was 2010), and recession decoupling area specific gravity range was 0%~49.7% (it was 49.7% in 2011, and other years was 0). [Conclusion] Overall, agricultural economic growth and agricultural water use coordination is not good in Pingtang County.

**Keywords:** decoupling analysis; agricultural water footprint; economic agriculture economic growth; coordinated development; karst peak cluster depression; Pingtang County

水是喀斯特地区可持续发展关键限制因子,协调水资源—经济发展—生态保护是实现喀斯特地区可持续发展症结所在<sup>[1-2]</sup>。农业生产对生态系统干扰破坏极大,严重威胁生态系统健康<sup>[3]</sup>,在喀斯特地区尤为突出。传统水资源研究方法,较多关注农业灌溉用水,农业用水估算也未涵盖农业生产过程中其他环节耗水(如:绿水、灰水),难以准确刻画农业生产真实水占有量,为此,有学者提出水足迹概念,水足迹是目前水科学研究热点之一,是多维综合客观测度用水量指标(涵养了用水量、用水类型、用水时间及用水地点等信息)<sup>[4-8]</sup>,从生产、消耗角度,核算人类生产生活活动对水资源占用量,建立了自然资源利用方式与社会生产方式联系<sup>[9-10]</sup>,开拓了水资源—社会经济发展研究新视角<sup>[11]</sup>。农产品是水资源密集型产品,农业水足迹指生产农产品所消耗水资源量,农业水足迹为农业用水研究提供了科学评判依据和新技术手段。但目前关于水足迹与社会经济发展协调关系研究较少,因此,开展水足迹与社会经济发展协调关系研究,在某种意义上,丰富了水足迹研究领域,能定量测度人类活动与水资源系统协调状况(脱钩指数是最佳测度指标)<sup>[12-13]</sup>。

水资源短缺问题是喀斯特峰丛洼地可持续发展亟待解决问题之一。喀斯特峰丛洼地地质地貌特征独特,具有多相复杂体系,农业生产极易受环境变化影响(土薄、水少、土被不连续,以石旮旯地为主,土壤调蓄功能极低,作农作物受土壤水分胁迫频繁<sup>[14-16]</sup>),其水文循环与生态过程特殊且复杂,喀斯特峰丛洼地如何高效利用地表有限水资源,是实现该地区自然社会经济可持续发展的基础。平塘县属于典型喀斯特地区农业县,农业耗水量占全县水资源用水量 80% 以上,本文在运用水足迹模型对 2002—2015 年平塘县水足迹进行测算的基础上,利用脱钩评价模型,定量分析平塘县农业水资源利用与农业经济增长的协调关系,以期为该地区水资源管理提供参与资料。

## 1 研究区概况及数据来源

### 1.1 研究区概况

平塘县位于黔南,地处东经 106°40′—107°27′,北纬 25°30′—26°07′,总面积 2 805 km<sup>2</sup>,地貌类型以山地为主,山地面积约占总面积 86%,喀斯特峰丛洼地广泛发育,水土资源匹配状况不佳,土地生产力低,人畜饮水困难。属于中亚热带季风湿润气候,年均降水量约 1 259 mm,但降水时空分配不均,旱涝灾害频繁,加剧该地区水资源短缺。社会经济欠发达,贫困人口庞大,国民经济以传统农业生产为主,农业人口约占总人口 80%,农业生产条件差(土层薄、土被破碎,旱地比重大、望天田土多、机械化水平,水利工程建设相对滞后。),农业生产效率低,经济发展缓慢,喀斯特式贫穷问题突出。

### 1.2 数据来源

水足迹计算所需数据:气象参数、土壤参数、作物参数和灌溉数据,结合实地调研,及模型模拟计算得到。计算所需的气象数据来自联合国粮农组织(FAO) ClimWat 数据库中黔南地区的 6 个气象站点数据。

主要农作物总产量、单位面积产量、耕种面积及化肥施用量数据及农业社会经济统计数据等来源于 2001—2015 年《平塘县统计年鉴》《2001 年黔南州水资源公报》《平塘县国民经济与社会发展统计公报》等,结合实地调研数据,部分指标缺失利用相近指标替代。为避免历年 GDP 产值受价格因素的影响,以 2002 年为基期年,采用平减指数法换算成可比价格后核算 GDP 年增长率。土壤数据结合当地土壤类型,并在 FAO 全球数据库中找到与此类型对应土壤信息。

## 2 研究方法

### 2.1 农业水足迹计算

本文从种植业、林业、禽畜养殖业三大产业核算农业水足迹,核算对象涵盖了平塘县主要农产品。利用联合国粮农组织所推荐的气候资料库 CLIMWAT

和农作物需水量计算软件 CROPWAT, 计算出平塘县主要农作物虚拟水含量。畜产品虚拟水含量采用学界最权威的 Chapagain 和 Hoekstra 2004 年研究成果<sup>[17]</sup>。本文采用“自下而上法”(即农产品产量乘以虚拟水含量来计算)估算平塘县农业用水。

### 2.2 脱钩指数计算

脱钩是物理学概念(指 2 个或以上物理量间不存在依存关系), 目前已被广泛应用资源环境领域研究(主要集中于能源资源消耗与经济增长研究<sup>[18,19]</sup>)。脱钩理论认为, 资源环境压力与经济发展之间存在耦合(经济增长与资源环境压力呈正相关)与脱钩(经济增长与资源环境压力呈负相关)。水资源环境脱钩指数指水资源压力与经济增长相分离的程度, 用水足迹变化率衡量水资源环境的变量, 用 GDP 变化率来衡量经济发展的变量, 将 Vehmast 的脱钩指标模型扩展到第  $t$  期末的脱钩指数  $D_{jt}$ <sup>[20]</sup>。

$$D_{jt} = \frac{WF_t - WF_{t-1}}{WF_{t-1}} / \frac{GDP_t - GDP_{t-1}}{GDP_{t-1}} \quad (1)$$

式中:  $GDP_t, GDP_{t-1}$ ——第  $t$  期末和第  $t-1$  期末的当地经济问题;  $WF_t, WF_{t-1}$ ——第  $t$  期末和  $t-1$  期末的水足迹变量, 当  $D_{jt} > 0$  时, 说明此时为强脱钩的优质协调状态; 当  $D_{jt} < 0$  时, 说明当前该地区的经济发展与水资源环境未出现脱钩状态, 处于经济发展的不协调状态(表 1)。

表 1 Tapio 脱钩弹性值分类与评价标准

状态	$\Delta W$	$\Delta GDP$	$e$	
负脱钩	扩张性负脱钩( $A_1$ )	$>0$	$>0$	$e > 1.2$
	强负脱钩( $A_2$ )	$>0$	$<0$	$e < 0$
	弱负脱钩( $A_3$ )	$<0$	$<0$	$0 \leq e < 0.8$
脱钩	弱脱钩( $B_1$ )	$>0$	$>0$	$0 \leq e < 0.8$
	强脱钩( $B_2$ )	$<0$	$>0$	$e < 0$
	衰退脱钩( $B_3$ )	$<0$	$<0$	$e > 1.2$
连接	扩张连接( $C_1$ )	$>0$	$>0$	$0.8 \leq e \leq 1.2$
	衰退连接( $C_2$ )	$<0$	$<0$	$0.8 \leq e \leq 1.2$

注:  $\Delta W = WF_t - WF_{t-1}$ ;  $e = D_{jt}$ , 为脱钩指数。

## 3 结果与分析

### 3.1 平塘县各乡镇农业水足迹分析

由表 2 可知, 2002—2015 年平塘县农业生产用水量呈增加变化趋势, 主要由于种植结构调整、单位耕地面积农产品产出量增加, 农业投入增加(农药化肥施用量逐年递增, 导致灰水足迹增加)所致。从平均值来看, 通州镇农业生产用水量最大,  $1.21 \times 10^8 \text{ m}^3$ ; 其次是塘边镇,  $6.70 \times 10^7 \text{ m}^3$ ; 掌布乡最小,  $1.80 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。19 个乡镇均方差系数变化范围为  $3.26\% \sim 102.22\%$ , 通州镇均方差系数最大, 为  $102.22\%$ ; 其次是塘边镇, 为  $20.37\%$ ; 甘寨乡最小, 为  $3.26\%$ 。

表 2 平塘县 2002—2015 年农业生产用水量

$10^8 \text{ m}^3$

乡镇	农业生产用水量														平均值
	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	
平湖镇	0.36	0.30	0.35	0.33	0.40	0.37	0.35	0.41	0.42	0.36	0.42	0.43	0.44	0.45	0.38
牙舟镇	0.42	0.38	0.42	0.45	0.49	0.46	0.47	0.50	0.51	0.48	0.49	0.51	0.52	0.53	0.47
通州镇	4.96	0.68	0.70	0.84	0.90	0.88	0.85	1.14	1.18	1.15	1.25	1.31	0.85	0.79	1.21
克度镇	0.26	0.27	0.34	0.38	0.42	0.39	0.39	0.42	0.43	0.38	0.47	0.49	0.49	0.51	0.40
塘边镇	0.86	0.80	0.86	0.37	0.39	0.33	0.32	0.76	0.78	0.74	0.81	0.84	0.66	0.66	0.67
大塘镇	0.29	0.35	0.32	0.34	0.40	0.38	0.37	0.40	0.41	0.36	0.42	0.45	0.43	0.44	0.38
摆茹镇	0.51	0.52	0.57	0.60	0.64	0.61	0.61	0.66	0.66	0.67	0.72	0.74	0.75	0.77	0.64
者密镇	0.54	0.41	0.59	0.60	0.66	0.61	0.61	0.44	0.45	0.43	0.45	0.46	0.46	0.45	0.51
四寨镇	0.22	0.21	0.24	0.26	0.33	0.27	0.26	0.45	0.47	0.46	0.51	0.52	0.54	0.57	0.37
苗二河乡	0.17	0.19	0.19	0.22	0.26	0.23	0.24	0.25	0.25	0.47	0.24	0.26	0.33	0.35	0.25
卡蒲乡	0.15	0.17	0.20	0.18	0.23	0.19	0.19	0.24	0.26	0.25	0.25	0.25	0.27	0.28	0.22
白龙乡	0.22	0.25	0.28	0.26	0.33	0.29	0.26	0.39	0.39	0.38	0.42	0.43	0.45	0.47	0.34
甘寨乡	0.26	0.26	0.16	0.16	0.25	0.18	0.19	0.21	0.21	0.20	0.20	0.21	0.19	0.18	0.21
卡罗乡	0.19	0.20	0.22	0.20	0.27	0.22	0.22	0.27	0.28	0.25	0.28	0.29	0.29	0.30	0.25
谷硐乡	0.14	0.14	0.15	0.15	0.20	0.16	0.17	0.23	0.24	0.23	0.24	0.25	0.26	0.28	0.20
西凉乡	0.19	0.21	0.27	0.28	0.33	0.29	0.28	0.25	0.26	0.23	0.25	0.75	0.44	0.46	0.31
鼠场乡	0.39	0.55	0.58	0.55	0.59	0.58	0.58	0.64	0.66	0.65	0.70	0.23	0.60	0.61	0.55
新塘乡	0.13	0.13	0.16	0.17	0.22	0.19	0.19	0.22	0.22	0.20	0.22	0.23	0.25	0.26	0.19
掌布乡	0.07	0.08	0.12	0.17	0.28	0.19	0.19	0.21	0.21	0.18	0.19	0.19	0.24	0.25	0.18
全县	10.36	6.12	6.72	6.52	7.58	6.84	6.73	8.08	8.30	8.07	8.51	8.86	8.47	8.60	7.72

### 3.2 平塘县各乡镇农业水足迹增长率分析

由表 3 可知,2002—2015 年各乡镇农业水足迹增长率变化趋势明显,掌布乡农业水足迹平均值最大,

鼠场乡其次,甘寨乡最小,且为负值。除 2010 年各乡镇农业水足迹变化率均为正值外,其他各年份各乡镇均存在负值。

表 3 平塘县 2002—2015 年各乡镇农业水足迹变化率

%

乡镇	农业水足迹变化率														平均值
	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	
平湖镇	49.7	-14.4	15.4	-5.6	21.6	-8.8	-4.1	15.7	2.1	-12.7	14.6	3.0	2.8	2.9	5.9
牙舟镇	-2.2	-8.1	10.3	5.6	8.9	-6.3	2.4	6.6	2.8	-5.6	1.4	4.3	2.5	1.7	1.7
通山镇	-27.6	36.7	3.0	20.2	7.1	-2.2	-3.0	33.8	3.2	-2.8	9.3	4.9	-35.0	-6.9	2.9
克度镇	-16.5	2.3	25.7	11.7	11.0	-6.7	-0.6	8.2	2.5	-11.3	21.9	4.3	0.7	3.2	4.0
塘边镇	-4.0	-8.0	7.9	-56.6	5.9	-16.3	-4.5	140.6	2.8	-5.0	8.7	4.6	-21.8	-0.1	3.9
大塘镇	-21.6	20.7	-9.8	8.2	16.9	-4.8	-2.6	8.3	1.2	-12.2	16.1	7.5	-3.7	2.1	1.9
摆茹镇	1.1	2.0	8.4	5.7	6.5	-5.3	0.1	8.5	0.7	1.4	7.1	2.9	0.8	2.5	3.0
者密镇	2.1	-24.1	44.4	0.7	9.6	-7.2	-0.5	-27.8	3.7	-6.0	6.1	2.3	-0.4	-1.8	0.1
四寨镇	-1.4	-4.8	12.0	10.1	24.0	-16.9	-2.1	71.6	4.3	-2.3	9.3	2.1	4.8	5.3	8.3
苗二河乡	23.3	8.8	4.0	13.4	17.1	-9.1	0.4	4.3	2.6	84.8	-47.4	6.1	27.8	4.0	10.0
卡蒲乡	7.1	13.9	14.8	-10.4	28.6	-18.6	0.5	29.5	5.5	-4.4	1.3	2.4	7.4	3.4	5.8
白龙乡	4.1	13.2	10.9	-9.2	29.5	-13.0	-8.5	48.6	0.5	-3.4	9.9	3.8	2.8	4.1	6.7
甘寨乡	4.6	-1.9	-38.3	-2.7	58.1	-25.7	2.1	10.4	3.9	-7.6	1.1	3.1	-9.9	-1.7	-0.3
卡罗乡	-8.7	7.3	8.6	-8.1	33.5	-18.0	-1.3	24.5	1.9	-10.4	10.6	3.8	1.5	2.7	3.4
谷硐乡	24.0	-3.1	8.7	2.6	29.4	-18.0	1.6	36.9	3.2	-1.9	3.4	4.9	5.6	4.3	7.3
西凉乡	31.5	8.5	28.2	5.4	16.4	-10.9	-2.4	-10.1	3.1	-11.7	9.1	198.9	-41.7	5.0	16.4
鼠场乡	-0.7	42.3	4.4	-3.7	7.0	-1.7	-1.4	10.4	3.2	-0.9	7.0	-66.2	154.6	1.3	11.1
新塘乡	-3.7	4.6	24.5	2.8	33.7	-13.4	-2.8	15.4	1.6	-10.4	11.8	3.7	7.8	3.7	5.7
掌布乡	-1.8	11.1	50.8	41.5	58.5	-29.7	-1.5	7.2	3.3	-12.9	1.8	3.4	24.6	4.4	11.5

### 3.3 平塘县各乡镇农业 GDP 增长率分析

平塘县是典型喀斯特峰丛洼地农业县,由表 4 可知,2002—2015 年各乡镇农业产值整体上呈增加变化趋势,但农业 GDP 增长率变化趋势不明显,从农业

GDP 增长率平均值来看,掌布乡最大,为 14.4%,西凉乡其次,平湖镇最小。2011 年 90%以上乡镇农业 GDP 变化率呈负增长,其他各年份各乡镇农业 GDP 增长率总体上为正值。

表 4 平塘县 2002—2015 年各乡镇农业 GDP 变化率

%

乡镇	农业 GDP 变化率														平均值
	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	
平湖镇	9.9	4.7	10.6	13.4	3.5	13.1	1.0	16.3	19.2	-3.9	6.0	5.7	5.4	5.1	7.8
牙舟镇	9.3	11.0	12.2	-0.8	14.7	13.0	11.3	15.3	14.8	-2.3	6.6	6.2	5.8	5.5	8.8
通山镇	9.7	10.4	13.6	12.1	-0.5	19.5	18.1	10.9	19.4	-3.3	7.0	6.6	6.2	5.8	9.7
克度镇	3.3	26.5	14.1	5.2	2.9	21.1	12.4	8.2	22.2	-2.7	7.0	6.5	6.1	5.8	9.9
塘边镇	13.9	12.5	14.9	10.9	4.5	3.3	20.1	7.6	20.5	-2.6	6.5	6.1	5.8	5.5	9.2
大塘镇	16.1	2.4	17.5	0.4	10.3	15.8	8.6	10.8	20.3	-3.7	6.4	6.0	5.7	5.4	8.7
摆茹镇	2.2	9.8	18.7	15.1	1.7	9.0	11.1	11.6	13.2	0.6	6.3	6.0	5.6	5.3	8.3
者密镇	-0.1	9.7	18.2	19.2	-1.3	17.3	15.3	9.7	14.7	0.2	6.9	6.4	6.0	5.7	9.1
四寨镇	1.4	11.4	18.7	11.7	1.8	18.5	10.5	10.4	13.7	0.7	6.6	6.2	5.9	5.5	8.8
苗二河乡	12.8	0.6	18.7	12.6	-0.1	31.3	10.9	15.4	-1.1	8.0	6.9	6.4	6.0	5.7	9.6
卡蒲乡	14.0	13.2	18.0	15.8	-2.2	24.0	10.7	10.4	37.5	-8.8	7.6	7.0	6.6	6.2	11.4
白龙乡	7.5	11.7	19.9	10.8	2.4	20.6	14.3	7.6	11.7	2.9	6.9	6.4	6.1	5.7	9.6
甘寨乡	16.5	7.2	21.4	8.8	0.0	15.5	14.6	10.1	19.6	-2.4	6.8	6.4	6.0	5.6	9.7
卡罗乡	12.2	10.1	19.3	10.5	0.8	13.5	13.2	6.8	19.7	-1.4	6.5	6.1	5.8	5.5	9.2
谷硐乡	15.1	8.8	30.6	11.7	-4.1	20.9	12.4	9.5	29.9	-5.5	7.3	6.8	6.4	6.0	11.1
西凉乡	9.5	8.6	21.7	2.0	-7.5	55.1	16.2	10.5	22.2	-4.6	7.8	7.2	6.7	6.3	11.5
鼠场乡	11.7	11.8	19.9	14.7	-4.1	25.3	14.0	10.1	22.2	-3.0	7.3	6.8	6.4	6.0	10.6
新塘乡	4.7	16.7	21.6	12.9	-6.6	45.4	12.6	10.8	20.0	-1.8	7.8	7.3	6.8	6.3	11.7
掌布乡	5.9	1.9	15.9	7.9	3.3	80.2	24.6	12.1	22.8	-5.0	9.0	8.3	7.7	7.1	14.4

### 3.4 平塘县各乡镇农业水资源利用与农业经济增长脱钩指数

由表5可知,2002—2015年卡罗乡农业水资源利用与农业经济增长脱钩指数平均值最大,为3.9;掌布乡其次,为2.8;苗二河乡最小,为-6.6。2002—2015年各乡镇弱脱钩的年份占比为14.4%~71.4%,强脱钩的年份占比为7.1%~57.1%,衰退脱钩的年份占比为0%~7.1%。从脱钩的年份占比来看,由大到小排序为:牙舟镇(85.7%)>塘边镇、摆茹镇、者密镇、甘寨乡、卡罗乡(78.6%)>白龙乡(71.4%)>平湖镇、克度镇、大塘镇、谷硐乡、新塘乡(64.3%)>通乡镇、四寨镇、卡蒲乡、鼠场乡、掌布乡(57.1%)>西凉

乡(50.0%)>苗二河乡(42.9%)。2002—2015年属于弱脱钩乡镇个数范围为4~18个,属于强脱钩乡镇个数范围为0~19个,属于衰退脱钩乡镇个数范围为0~10个,2002—2015年脱钩乡镇个数由大到小排序为:2007,2008(19个)年>2010年,2015年(18个)>2013年(16个)>2002年(15个)>2011年(13个)>2014年(12个)>2003年,2005年(11个)>2004年(10个)>2009年(7个)>2012年(6个)>2006年(1个)。2007年平塘县农业水足迹与农村经济增长协调关系最佳,其次是2008年,协调状况最差是2006年,2002—2015年协调关系整体上,呈由倒U形的变化趋势。

表5 平塘县2002—2015年各乡镇农业水资源利用与农业经济增长脱钩指数

乡镇	农业水资源利用与农业经济增长脱钩指数														
	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	平均值
平湖镇	5.0	-3.1	1.5	-0.4	6.2	-0.7	-4.3	1.0	0.1	3.2	2.4	0.5	0.5	0.6	0.9
牙舟镇	-0.2	-0.7	0.8	-7.2	0.6	-0.5	0.2	0.4	0.2	2.5	0.2	0.7	0.4	0.3	-0.2
通乡镇	-2.9	3.5	0.2	1.7	-14.6	-0.1	-0.2	3.1	0.2	0.8	1.3	0.7	-5.7	-1.2	-0.9
克度镇	-5.0	0.1	1.8	2.3	3.8	-0.3	-0.1	1.0	0.1	4.1	3.2	0.7	0.1	0.6	0.9
塘边镇	-0.3	-0.6	0.5	-5.2	1.3	-4.9	-0.2	18.4	0.1	1.9	1.3	0.8	-3.8	0.0	0.7
大塘镇	-1.4	8.6	-0.6	19.3	1.6	-0.3	-0.3	0.8	0.1	3.3	2.5	1.2	-0.7	0.4	2.5
摆茹镇	0.5	0.2	0.5	0.4	3.8	-0.6	0.0	0.7	0.1	2.6	1.1	0.5	0.2	0.5	0.7
者密镇	-32.7	-2.5	2.4	0.0	-7.6	-0.4	0.0	-2.9	0.3	-28.6	0.9	0.4	-0.1	-0.3	-5.1
四寨镇	-1.0	-0.4	0.6	0.9	13.3	-0.9	-0.2	6.9	0.3	-3.4	1.4	0.3	0.8	1.0	1.4
苗二河乡	1.8	15.4	0.2	1.1	-119.3	-0.3	0.0	0.3	-2.3	10.6	-6.9	0.9	4.6	0.7	-6.6
卡蒲乡	0.5	1.1	0.8	-0.7	-13.1	-0.8	0.1	2.8	0.2	0.5	0.2	0.3	1.1	0.6	-0.5
白龙乡	0.5	1.1	0.6	-0.9	12.4	-0.6	-0.6	6.4	0.0	-1.2	1.4	0.6	0.5	0.7	1.5
甘寨乡	0.3	-0.3	-1.8	-0.3	—	-1.7	0.2	1.0	0.2	3.1	0.2	0.5	-1.7	-0.3	0
卡罗乡	-0.7	0.7	0.4	-0.8	41.9	-1.3	-0.1	3.6	0.1	7.7	1.6	0.6	0.3	0.5	3.9
谷硐乡	1.6	-0.4	0.3	0.2	-7.1	-0.9	0.1	3.9	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.7	0.1
西凉乡	3.3	1.0	1.3	2.8	-2.2	-0.2	-0.2	-1.0	0.1	2.5	1.2	27.7	-6.2	0.8	2.2
鼠场乡	-0.1	3.6	0.2	-0.3	-1.7	-0.1	-0.1	1.0	0.1	0.3	1.0	-9.8	24.3	0.2	1.3
新塘乡	-0.8	0.3	1.1	0.2	-5.1	-0.3	-0.2	1.4	0.1	5.9	1.5	0.5	1.2	0.6	0.5
掌布乡	-0.3	5.9	3.2	5.2	17.7	-0.4	-0.1	0.6	0.1	2.6	0.2	0.4	3.2	0.6	2.8

由表6可知,2002—2015年从面积来看,弱脱钩面积比重范围为0%~97.9%(2010年最大,2013年其次,2007年,2011年最小),强脱钩面积比重范围为0%~100%(2007年最大,2008年其次,2010年最小),衰退脱钩面积比重范围为0%~49.7%(2011年为49.7%,其他年份为0),脱钩总面积(弱脱钩、强脱钩、衰退脱钩三者面积之和)由大到小排序为:2007=2008(100%)>2010(97.9%)>2015(94.2%)>2013(85.1%)>2002(84.7%)>2014(69.0%)>2011(67.8%)>2004(59.0%)>2003(53.6%)>2005(49.6%)>2009(41.1%)>2012年(26.9%)>2006年(7.8%)。利用ArcGIS绘制了2003,2007,2011年

平塘县农业水资源利用与经济增长脱钩指数空间分布图(附图6)。

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

喀斯特峰丛洼地地表起伏大,土被破碎,农业规模化经营受限,导致该地区农业生产中人力物力投入高,作物单产水平低,农业水足迹较高,农业经济效益低。如何高效利用有限水土资源已成为喀斯特峰丛洼地可持续发展需迫切解决的问题。利用水足迹方法对农业生产用水量量化受主观因素影响小,能较客观测度农业用水量,但本研究未涵养二、三产业,一

则,由于研究区水资源基本用于本地区内部经济发展,农产品基本用于本地区消费,对外贸易较少;再则,由于统计数据缺乏限制,本研究未考虑研究区与外部贸易虚拟水含量的计算。喀斯特峰丛洼地受水

资源刚性约束(地表水资源调蓄功能极差),在生产端提高水资源利用效率成为当地农业节水重要途径,通过种植结构优化,使有限水资源发挥最大经济效益、社会效益和生态效益。

表 6 平塘县 2001—2005 年各乡镇农业水资源利用与经济增长脱钩评价结果

乡 镇	农业水资源利用与经济增长脱钩评价结果													
	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
平湖镇	A <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>
牙舟镇	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>
通州镇	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>
克度镇	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>
塘边镇	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>
大塘镇	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>
摆茹镇	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>
者密镇	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>
四寨镇	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>
苗二河乡	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>
卡蒲乡	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>
白龙乡	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>
甘寨乡	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>
卡罗乡	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>
谷洞乡	A <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>
西凉乡	A <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>
鼠场乡	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>
新塘乡	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>
掌布乡	B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>

## 4.2 结 论

喀斯特峰丛洼地是喀斯特地区一特殊地貌类型,具有多相复杂体系,农业生产极易受环境变化影响,自然地理环境差异造就其独特人地地域关系。本文利用水足迹计算模型,核算了平塘县 2002—2015 年农业用水量,运用 Tapio 脱钩弹性指数模型,剖析平塘县农业水资源利用状况与农业经济增长间关系。

(1) 2002—2015 年平塘县水足迹与生产总值整体上呈波动上升趋势,但其增长率波动性较明显,不同年份对水资源消耗量起主要贡献作用的因素不同,从而导致农业水足迹波动较大。

(2) 从 Tapio 脱钩弹性指数来看,现阶段经济增长与水资源消耗关系尚不稳定,水资源不可持续性利用状态仍然存在,脱钩关系出现波动较大根本原因在于水资源消耗量和经济增长的不规律性变化幅度较大。

(3) 2007 年为脱钩关系较为理想或乐观的年份,其次是 2008 年,协调状况最差是 2006 年,2002—2015 年脱钩态势系整体上,呈倒 U 形变化趋势。

(4) 2002—2015 年从面积来看,弱脱钩面积比重范围为 0~97.9(2010 年最大,2013 年其次,2007 年,

2011 年最小),强脱钩面积比重范围为 0~100(2007 年最大,2008 年其次,2010 年最小),衰退脱钩面积比重范围为 0~49.7(2011 年为 49.7,其他年份为 0)。

## [参 考 文 献]

- [1] 孙艳芝,沈镭. 关于我国四大足迹理论研究变化的文献计量分析[J]. 自然资源学报, 2016, 31(9): 1463-1473.
- [2] 代稳,张美竹,秦趣,等. 六盘水市水资源安全的水足迹分析[J]. 水生态学杂志, 2013, 34(5): 38-42.
- [3] 胡婷婷,黄凯,金竹静,等. 滇池流域主要农业产品水足迹空间格局及其环境影响测度[J]. 环境科学学报, 2015, 35(11): 3719-3729.
- [4] Yang Zhongwen, Liu Hongli, Xu Xinyi, et al. Applying the water footprint and dynamic structural decomposition analysis on the growing water use in China during 1997—2007 [J]. Ecological Indicators, 2016, 60: 634-643.
- [5] 吴兆丹,赵敏,田泽,等. 多区域投入产出分析下中国水足迹地区间比较:基于“总量—相关指标—结构”分析框架[J]. 自然资源学报, 2017, 32(1): 76-87.
- [6] 李啸虎,杨德刚,夏富强. 干旱区城郊种植业水足迹分析与适宜耕地规模测算:以乌鲁木齐市为例[J]. 生态学报, 2015, 35(9): 2860-2869.

- [11] 常伟. 基于像元二分模型的枯落层盖度反演研究[D]. 陕西 西安:西北大学,2017.
- [12] Zhang Xianfeng, Liao Chunhua, Li jonathan, et al. Fractional vegetation cover estimation in arid and semi-arid environments using HJ-1 satellite hyperspectral data[J]. *International Journal of Applied Earth Observations & Geoinformation*, 2013, 21(1):506-512.
- [13] 王新军,赵成义,杨瑞红,等. 基于像元二分法的沙地植被景观格局特征变化分析[J]. *农业工程学报*,2016,32(3):285-294.
- [14] 李苗苗,吴炳方,颜长珍,等. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J]. *资源科学*,2004,26(4):153-159.
- [15] Qian Yuguo, Zhou Weiqi, Li Weifeng, et al. Understanding the dynamic of greenspace in the urbanized area of Beijing based on high resolution satellite images [J]. *Urban Forestry&Urban Greening*, 2015, 14(1): 39-47.
- [16] 李培先,郑江华,刘萍. 2000—2014年乌鲁木齐市植被覆盖度时空变化分析[J]. *林业资源管理*,2016(4): 88-95.
- [17] 贾宝全,邱尔发,张红旗. 基于归一化植被指数的西安市域植被变化[J]. *林业科学*,2012,48(10):6-12.
- [18] 穆少杰,李建龙,陈奕兆,等. 2001—2010年内蒙古植被覆盖度时空变化特征[J]. *地理学报*,2012,67(9):1255-1268.
- [19] 张丽,何晓旭,魏鸣. 基于 NDVI 的淮河流域植被覆盖度动态变化[J]. *长江流域资源与环境*,2012,21(S1): 51-56.
- [20] 甘春英,王兮之,李保生,等. 连江流域近 18 年来植被覆盖度变化分析[J]. *地理科学*,2011,31(8): 1019-1024.
- [21] 张飞,塔西甫拉提·特依拜,丁建丽,等. 新疆典型盐渍区植被覆盖度遥感动态监测:以渭干河—库车河三角洲绿洲为例[J]. *林业科学*,2011,47(7):27-35.
- [22] 阳小琼,朱文泉,潘耀忠,等. 基于修正的亚像元模型的植被覆盖度估算[J]. *应用生态学报*,2008,19(8):1860-1864.
- [23] 毛留喜,侯英雨,钱拴,等. 牧草产量的遥感估算与载畜能力研究[J]. *农业工程学报*,2008,24(8):147-151.
- [24] 牛宝茹,刘俊蓉,王政伟. 干旱半干旱地区植被覆盖度遥感信息提取研究[J]. *武汉大学学报:信息科学版*, 2005,30(1):27-30.
- [25] 熊友胜,何丙辉. 运用 RS 和 GIS 进行植被覆盖分级研究:以重庆合川市为例[J]. *西南农业大学学报*,2003,25(2):168-171.
- [26] 章文波,符素华,刘宝元. 目估法测量植被覆盖度的精度分析[J]. *北京师范大学学报:自然科学版*,2001,37(3):402-408.
- [27] 胡玉福,邓良基,刘宇,等. 基于 RS 和 GIS 的大渡河上游植被覆盖时空变化[J]. *林业科学*,2015,51(7):49-59.

(上接第 300 页)

- [7] 宋永永,米文宝,杨丽娜. 基于水足迹理论的宁夏水资源安全评价[J]. *中国农村水利水电*,2015(5):58-62.
- [8] 刘梅,许新宜,王红瑞,等. 基于虚拟水理论的河北省水足迹时空差异分析[J]. *自然资源学报*,2012,27(6): 1022-1034.
- [9] 赵良仕,孙才志,邹玮. 基于空间效应的中国省际经济增长与水足迹强度收敛关系分析[J]. *资源科学*,2013,35(11):2224-2231.
- [10] 谷学明,王远,赵卉卉,等. 江苏省水资源利用与经济增长关系研究[J]. *中国环境科学*,2012,32(2):351-358.
- [11] 潘安娥,陈丽. 湖北省水资源利用与经济协调发展脱钩分析:基于水足迹视角[J]. *资源科学*,2014,36(2):328-333.
- [12] 余灏哲,韩美. 基于水足迹的山东省水资源可持续利用时空分析[J]. *自然资源学报*,2017,32(3):474-483.
- [13] 高凡,李玉中,郭家选,等. 农产品水足迹评价研究进展[J]. *中国生态农业学报*,2017,25(7):1071-1080.
- [14] Qin Luoyi, Bai Xiaoyong, Wang Shijie, et al. Major problems and solutions on surface water resource utilisation in karst mountainous areas[J]. *Agricultural Water Management*, 2015,159:55-65.
- [15] He Zhonghua, Liang Hong, Yang Chaohui, et al. Temporal-spatial evolution of the hydrologic drought characteristics of the karst drainage basins in South China[J]. *International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation*, 2018,64:22-30.
- [16] 熊康宁,李晋,龙明忠. 典型喀斯特石漠化治理区水土流失特征与关键问题[J]. *地理学报*,2012,67(7):878-888.
- [17] 赵晨,王远,谷学明,等. 基于数据包络分析的江苏省水资源利用效率[J]. *生态学报*,2013,33(5):1636-1644.
- [18] Wu Ya, Zhu Qianwen, Zhu Bangzhu. Comparisons of decoupling trends of global economic growth and energy consumption between developed and developing countries[J]. *Energ Policy*, 2018,116:30-38.
- [19] Zhang M, Bai C, Zhou M. Decomposition analysis for assessing the progress in decoupling relationship between coal consumption and economic growth in China [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2018, 129:454-462.
- [20] 吴丹. 中国经济发展与水资源利用脱钩态势评价与展望[J]. *自然资源学报*,2014,29(1):46-54.