

台州市水资源承载能力评价

张自英¹, 尹志伟², 陈雨瑶² (1. 台州市职业技术学院, 浙江台州 318000; 2. 台州市水利局, 浙江台州 318000)

摘要 为了促进台州市水资源与经济的全面发展, 以 2010—2020 年为研究时间段, 2020 年为现状年, 使用负载指数法和主成分分析法评价台州市水资源承载力的时间和空间发展趋势, 结果表明: 社会经济发展水平是影响台州水资源承载力的主要因素, 同时台州市 9 个行政区水资源负载指数呈逐年上升, 台州市水资源压力越来越大, 水资源开发潜力普遍较低, 其中路桥区情况最为严重, 水资源负荷最大, 开发潜力最低; 天台县、仙居县的开发潜力相对较大, 可作为台州市水资源开发的重点区域。

关键词 水资源承载能力; 主成分分析; 水资源负载指数; 台州市

中图分类号 TV 213.4 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)10-0167-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.10.037

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Evaluation of Water Resources Carrying Capacity in Taizhou City

ZHANG Zi-ying¹, YIN Zhi-wei², CHEN Yu-yao² (1. Taizhou Vocational and Technical College, Taizhou, Zhejiang 318000; 2. Taizhou Bureau of Water Conservancy, Taizhou, Zhejiang 318000)

Abstract In order to promote the overall development of water resources and economy in Taizhou, taking 2010–2020 as the research period and 2020 as the status year, the load index method and principal component analysis method were used to evaluate the temporal and spatial development trend of water resources carrying capacity in Taizhou. Results showed that the social and economic development level are the main factors influencing Taizhou water resources carrying capacity, and Taizhou nine administrative region water resources load index has been rising year by year, Taizhou water pressure is more and more big, the water resources development potential is generally lower, the situation of Lu-qiao area is in the worst condition, water load is the biggest, development potential is the lowest; Tiantai County and Xianju County have relatively large development potential, which can be used as the key areas of water resources development in Taizhou City.

Key words Water resources carrying capacity; Principal component analysis; Water resource load index; Taizhou City

20 世纪 80 年代, 水资源承载力的概念被引入“社会-经济-生态环境”复合系统中^[1]; 随后水资源承载力在城市的发展规划和水资源评价与管理中得以应用^[2-3]; 2001 年, Varis 等^[4] 分析研究了工业化对我国长江水资源承载力的影响; 2016 年, Kuzdas 等^[5] 从空间布局的角度进行水资源承载力空间比较; 国内的研究最早出现于对新疆水资源承载能力和开发战略对策的研究^[6]; 开始时着重对概念和理论基础进行评价与研究; 随着研究的深入, 研究内容和方法逐渐完善, 2004 年龙腾锐等^[7] 提出应从社会经济、技术进步、时空间等多维度诠释水资源承载力的内涵; 2001 年惠泱河等^[8] 分析了水资源承载力的评价体系和评价方法; 2008 年王浩等^[9] 提出了水资源承载力评价指标体系的可比性、比例性、效率性和局限性原则。近 10 年的研究聚焦于水资源紧缺的地区, 如西北干旱地区(新疆、陕西^[10]等)和经济发达地区^[11-12]。

有关学者也对台州市的水资源和水环境进行了研究, 2012 年李垚奎等^[13] 利用 DRASTIC 模型和 Arcgis 软件对台州市地下水承载力进行评价; 2016 年陈林华等^[14] 利用层次分析法对台州市环境承载力进行计算与评价, 提出了提高水资源承载力的相关对策, 为今后研究打下了良好的基础。台州市作为我国重要的沿海经济城市, 近十几年来, 随着经济水平显著提高, 对水资源的需求也明显增加。因此, 迫切需

要对台州市水资源承载能力从时间和空间维度进行评价, 从而分析台州市水资源能否满足社会经济高速发展的需求。

1 研究区域概况

台州市位于浙江中部沿海, 土地面积 9 411 km², 台州市境内有大小河流(含干支流)700 余条, 其中流域面积大于 100 km² 的 25 条。台州市境内主要有椒江、金清两大河流域。椒江是境内最大河流, 金清水系横贯温黄平原中部, 流经温岭区, 为温黄平原主要排灌、航运水道。2020 年, 台州市水资源总量占浙江省的 5.89%, 共计 60.3 亿 m³。台州市包括椒江区、黄岩区、路桥区、临海市、温岭市、玉环市、天台县、仙居县、三门县 9 个各级行政区。2020 年台州市常住人口共计 662.7 万人, 城镇化率 61.98%, 实现国内生产总值 5 262.7 亿元, 固定资产投资 3 151.3 亿元, 居民人均可支配收入 5.02 万元, 全市产业结构为 5.6: 43.7: 50.7。

2 水资源承载能力评价方法

2.1 水资源负载指数评价法 水资源负载指数能够反映区域水资源承载负荷, 表明区域水资源的开发潜力和开发难易程度^[15], 计算公式为

$$C = K \times \sqrt{J \times G} / W \quad (1)$$

式中, K 为与降水有关的系数; J 为区域总人口, 万人; G 为区域年 GDP, 亿元; W 为区域所拥有的水资源总量, 亿 m³; C 为该区域的水资源负载指数。

K 取值公式为

$$K = \begin{cases} 1.0, & P \leq 200 \\ 1.0 - 0.1 \times (P - 200) / 200, & 200 < P \leq 400 \\ 0.9 - 0.2 \times (P - 400) / 400, & 400 < P \leq 800 \\ 0.7 - 0.2 \times (P - 800) / 800, & 800 < P \leq 1\ 600 \\ 0.5, & P > 1\ 600 \end{cases} \quad (2)$$

基金项目 浙江省台州市哲社规划“三台新秀”专项课题(21GHQ08); 浙江省软科学研究计划项目(2023C35029); 浙江省哲学社会科学规划课题(23NDJC417YBM); 台州市科技计划项目(21gya32)。

作者简介 张自英(1986—), 女, 浙江台州人, 副教授, 硕士, 从事环境资源优化与水文水资源研究。

收稿日期 2022-10-17; **修回日期** 2023-01-07

其中, P 为年降水量 (mm), $C > 10$ 时, 评价等级为 I, 地区水资源有着很高的开发利用程度, 开发潜力很小, 需要调节水资源; 当 $5 < C \leq 10$ 时, 评价等级为 II, 水资源开发利用程度较高, 开发潜力较小, 开发困难; 当 $2 < C \leq 5$ 时, 评价等级为 III, 水资源开发利用程度为中等, 开发潜力不大, 开发难度中等; 当 $1 < C \leq 2$ 时, 评价等级为 IV, 意味着水资源开发利用程度较低, 开发潜力大, 开发比较容易; 当 $0 < C \leq 1$ 时, 评价等级为 V, 水资源开发利用程度很低, 开发潜力很大, 开发容易; 当 $C = 0$ 时, 评价等级为 VI, 水资源未经开发利用, 开发利用很容易^[16]。

2.2 主成分分析法 主成分分析法能够比较客观全面地反映当地的水资源承载力。选用 X_1 总人口 (万人), X_2 城镇化率 (%), X_3 年 GDP (亿元), X_4 固定资产投资 (亿元), X_5 第三产业增加值 (亿元), X_6 人均用水量 (m^3), X_7 万元工业产值用水量 (m^3), X_8 居民人均可支配收入 (万元), X_9 工业需水量 (亿 m^3), X_{10} 生态环境用水量, X_{11} 水功能区达标率 (%), X_{12} 万元工业增加值用水 (m^3), X_{13} 供水量 (亿 m^3) 13 个指标, 对 2010—2020 年台州市和 2020 年台州市 9 个行政区水资源承载力进行主成分分析。

计算步骤:

(1) 对原始数据进行标准化处理。

$$Z_{ij} = (X_{ij} - X_{j0}) / S_j \quad (i=1, 2, \dots, 11; j=1, 2, \dots, 13) \quad (3)$$

式中, Z_{ij} 为标准化后的值, X_{ij} , X_{j0} , S_j 分别为第 j 个指标的第 i 个初始值、平均值和标准差。

(2) 计算相关系数矩阵及特征值 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_n \geq 0$, λ_i ($i=1, 2, \dots, n$), 单位特征向量为 $u_i = (u_{1i}, u_{2i}, \dots, u_{13i})$ 。

(3) 计算主成分贡献率和累计贡献率, 在获得的 n 个主成分中, 一般取特征值 ≥ 1 , 累计贡献率 $\geq 90\%$ 的 m 个主成分用于主成分分析, 计算公式为:

$$e_i = \lambda_i / \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad i=1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$E_i = \sum_{j=1}^m \lambda_j / \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad j=1, 2, \dots, m \quad (5)$$

式中, e_i 对应第 i 个主成分的贡献率, λ_i 为第 i 个主成分的特征值, E_i 为所选 m 个主成分的累计贡献率, λ_j 为所选的 m 个主成分的第 j 个主成分的特征值。

(4) 将单位特征向量的分量与对应标准化处理后的各指标的值相乘, 得到各主成分表达式:

$$F_i = \sum_{j=1}^{13} (u_{ij} \times Z_j) \quad i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, 13 \quad (6)$$

式中, F_i 为第 i 个主成分, u_{ij} 为单位特征向量 u_i 的第 j 个分量, Z_j 为第 j 个指标标准化之后的值。

主成分综合得分计算公式为:

$$F = \sum_{i=1}^m (e_i \times F_i) \quad i=1, 2, \dots, m \quad (7)$$

式中, e_i 为选中的 m 个主成分中的第 i 个主成分的贡献率。

3 水资源承载力评价

3.1 水资源承载力时间评价 以 2010—2020 年为研究时间段, 研究台州市水资源承载力随时间的变化趋势。

3.1.1 负载指数时间评价。 将所得的台州市数据带入公式, 得到台州市水资源负载指数如表 1 所示。由表 1 可知, 水资源负载指数总体逐年上升, 说明台州市水资源的负载越来越大, 开发潜力逐年降低。除了 2010 年为 III, 2011、2017、2018、2020 年为 I 外, 其他时期均为 II 级, 说明台州市水资源开发潜力比较小, 对该区域未来发展起到一定的制约作用。

表 1 2010—2020 年台州市水资源负载指数

Table 1 Water resource load index of Taizhou City from 2010 to 2020

年份 Year	降雨量 Rainfall mm	K 值 K value	水资源总量 Total water resources//亿 m^3	总人口 Total population 万人	生产总值 Gross domestic product//亿元	水资源负载指数 Water resource load index	评价等级 Evaluation level
2010	2 166	0.500	140	597	2 452	4.3	III
2011	1 376	0.556	64	600	2 789	11.2	I
2012	2 094	0.500	130	601	2 944	5.1	II
2013	1 750	0.500	100	604	3 193	7.0	II
2014	1 989	0.500	112	601	3 410	6.4	II
2015	1 864	0.500	106	605	3 554	6.9	II
2016	1 766	0.500	100	608	3 899	7.7	II
2017	1 376	0.556	62	612	4 388	14.6	I
2018	1 650	0.500	78	649	4 875	11.4	I
2019	2 257	0.500	150	655	5 134	6.1	II
2020	1 378	0.556	60	663	5 263	17.2	I

3.1.2 主成分时间分析评价。 各指标初始数据如表 2 所示。相关系数矩阵见表 3, 该主成分分析相关系数绝大部分大于 0.7, 因此比较理想。选取特征值为 11.30 的主成分 1 与特征值为 1.16 的主成分 2, 贡献率分别为 87% 和 9%, 累计贡献率为 96%, 由此得到表 4。

第一主成分拥有 87% 的贡献率, 同时构成第一主成分的驱动因子有 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_8 , 相关系数均高于 95%, 5 个指

标因子均与第一主成分呈正相关, 因此社会经济因素是水资源承载力的主要影响因子。第二主成分占 9% 的权重, 构成第二主成分的主要因子是 X_{10} , 因此, 第二主成分反映水生态环境保护是水资源承载力的主要影响因子。将各指标标准化后的数据带入各主成分表达式, 得到表 5^[17]。综合得分越高, 说明水资源承载力越强, 水资源开发利用潜力越低, 水资源压力越大^[18]。

表 2 各指标初始数据

Table 2 Initial data of each indicator

年份 Year	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}
2010	597	55.5	2 452	950	992	286.3	80.9	2.2	5.7	2.62	32.3	49.9	19.5
2011	600	56.0	2 789	1 104	1 162	290.7	74.2	2.6	5.7	0.79	32.5	46.1	20.0
2012	601	57.3	2 944	1 243	1 291	319.3	68.1	2.7	5.7	0.63	36.5	44.1	19.2
2013	604	58.1	3 193	1 508	1 424	318.9	61.1	2.8	5.5	0.87	51.0	40.5	19.3
2014	601	58.3	3 410	1 766	1 583	307.8	59.6	3.1	5.4	1.05	56.5	37.0	20.0
2015	605	59.5	3 554	1 996	1 754	286.7	53.0	3.4	4.9	0.92	53.3	36.1	18.9
2016	608	60.7	3 899	2 273	1 943	273.7	43.2	3.7	4.2	0.95	67.0	29.9	16.6
2017	612	61.8	4 388	2 518	2 182	270.1	37.8	4.0	4.0	0.98	65.0	23.9	16.5
2018	649	63.0	4 875	2 732	2 428	252.0	31.7	4.4	3.6	1.03	69.4	19.0	15.4
2019	655	63.7	5 134	3 024	2 512	237.3	28.4	4.8	3.3	0.99	72.5	16.8	14.6
2020	663	62.0	5 263	3 151	2 670	213.5	26.9	5.1	2.5	1.16	74.0	13.0	14.1

表 3 相关系数矩阵

Table 3 Correlation coefficient matrix

指标 Index	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}
X_1	1												
X_2	0.821	1											
X_3	0.917	0.966	1										
X_4	0.873	0.971	0.991	1									
X_5	0.890	0.971	0.996	0.997	1								
X_6	-0.893	-0.753	-0.856	-0.844	-0.846	1							
X_7	-0.849	-0.985	-0.985	-0.993	-0.990	0.797	1						
X_8	0.916	0.949	0.994	0.991	0.990	-0.880	-0.979	1					
X_9	-0.915	-0.910	-0.970	-0.969	-0.970	0.934	0.951	-0.980	1				
X_{10}	-0.101	-0.309	-0.262	-0.253	-0.270	-0.109	0.323	-0.260	0.120	1			
X_{11}	0.767	0.949	0.937	0.964	0.952	-0.722	-0.968	0.930	-0.900	-0.269	1		
X_{12}	-0.900	-0.964	-0.998	-0.993	-0.998	0.854	0.989	-0.990	0.970	0.254	-0.949	1	
X_{13}	-0.914	-0.911	-0.949	-0.936	-0.943	0.910	0.930	-0.950	0.980	0.102	-0.861	0.949	1

表 4 主成分矩阵

Table 4 Principal component matrix

指标 Index	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}
F_1	0.914	0.963	0.997	0.993	0.996	-0.878	-0.986	0.996	-0.984	-0.231	0.941	-0.997	-0.964
F_2	0.174	-0.133	-0.035	-0.044	-0.053	-0.391	0.125	-0.022	-0.128	0.943	-0.122	0.033	-0.148

台州市综合得分保持逐年增长,由 2010 年的-3.57 递增至 2020 年的 4.61(表 5),水资源开发利用潜力逐渐减小,水资源压力越来越大。这说明台州市经济的不断发展提高了

水资源承载力。但同时也意味着人口增长和经济发展,使水资源的消耗与污水排放量增加,也使台州市面临的水资源负担加大,而水资源开发潜力逐渐降低。

表 5 2010—2020 年台州市主成分分量和综合评分

Table 5 Principal component analysis and comprehensive score of Taizhou City from 2010 to 2020

指标 Index	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
F_1	-4.39	-3.59	-3.13	-2.28	-1.75	-0.75	0.92	1.82	3.50	4.45	5.20
F_2	2.72	-0.46	-1.12	-0.88	-0.59	-0.52	-0.33	-0.30	0.16	0.29	1.02
F	-3.57	-3.16	-2.82	-2.06	-1.57	-0.70	0.77	1.56	3.05	3.90	4.61

3.2 水资源承载力空间评价

3.2.1 2020 年各行政区负载指数评价。以 2020 年为现状年,将台州市各行政区数据带入公式,得到水资源负载指数,如表 6 所示。由表 6 可知,除天台县为 II 级,仙居县为 III 级外,其他行政区均为 I 级,其中路桥区情况最为严重,说明台州市整体上处于水资源开发潜力较弱的困境,而天台县和仙居县的开发潜力相对较大,可作为台州市未来水资源开发的重点区域。

3.2.2 2020 年各行政区主成分分析。2020 年各行政区主成分分析结果见表 7。2020 年台州市各行政区水资源承载力综合评分从低到高依次为仙居县、三门县、天台县、临海市、黄岩区、路桥区、玉环市、椒江区、温岭市。其中,仙居县、三门县、天台县综合评分小于-1,说明地区经济发展水平和水资源承载力低于平均水平,但水资源开发潜力也相对较大;临海市、黄岩区、路桥区、玉环市综合评分在-1~1,说明地区经济发展水平、水资源承载力和开发潜力均处于平均水平;

椒江区、温岭市综合评分大于1,说明地区经济发展水平、水资源承载力高于平均水平,开发潜力相对较小,尤其是评分最高的温岭市2020年GDP达到1 136.9亿元,远远高于其他行政区,但水资源开发利用潜力最低,未来需要外来调水。

同时,天台县、仙居县的水资源荷载等级在各行政区较优,说明水资源开发潜力高,是未来台州市开发利用水资源的重点区域。

表6 2020年台州市行政区水资源负载指数

Table 6 Water resource load index of Taizhou administrative region in 2020

序号 No.	行政区 Administrative district	降雨量 Rainfall mm	K值 K value	水资源总量 Total water resources//亿 m ³	总人口 Total population 万人	生产总值 Gross domestic product//亿元	水资源负载指数 Water resource load index	等级 Grade
1	椒江区	1 209.3	0.598	1.40	82.61	691.9	102.25	I
2	黄岩区	1 543.7	0.514	7.89	70.75	557.4	12.93	I
3	路桥区	1 071.1	0.632	1.01	62.89	669.4	129.06	I
4	临海市	1 410.7	0.547	14.23	111.41	738.5	11.03	I
5	温岭市	1 064.5	0.634	3.11	141.62	1 136.9	81.81	I
6	玉环市	1 071.5	0.632	1.35	64.40	632.6	94.41	I
7	天台县	1 414.7	0.546	9.36	47.47	301.7	6.99	II
8	仙居县	1 561.5	0.510	16.58	43.19	260.5	3.26	III
9	三门县	1 238.6	0.590	5.40	37.95	273.4	11.14	I

表7 2020年各行政区初始数据及主成分分析结果

Table 7 Initial data and principal component analysis results of each administrative region in 2020

序号 No.	行政区 Administrative district	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	F ₁	F ₂	F ₃	F
1	椒江区	0.27	0.89	0.38	1.37	0.67	-0.81	-0.71	0.87	1.66	0.08	-1.03	1.36	-0.01	2.15	-0.01	2.43	1.40
2	黄岩区	-0.08	0.34	-0.10	-0.32	-0.08	-0.30	-0.30	0.32	0.30	-0.10	0.09	-0.06	-0.15	0.12	-0.55	0.30	0.09
3	路桥区	-0.31	0.66	0.30	-0.61	0.64	0.04	-0.99	0.67	-0.91	0.18	-1.70	-1.32	-0.28	1.20	-1.86	-1.33	0.51
4	临海市	1.11	-1.28	0.55	0.08	0.48	1.13	1.07	-1.31	1.17	0.17	0.76	0.43	1.51	-0.13	3.28	-0.23	-0.08
5	温岭市	2.00	0.58	1.96	1.99	1.80	0.02	-0.21	0.59	0.74	2.39	-0.69	-0.79	1.86	4.55	2.09	-0.99	2.35
6	玉环市	-0.27	1.51	0.17	-0.60	-0.26	-2.13	-1.59	1.50	-0.54	-0.31	-0.36	-1.41	-0.77	1.34	-3.49	-0.13	0.70
7	天台县	-0.77	-0.87	-1.01	-0.36	-0.92	0.57	0.95	-0.87	-0.72	-0.79	0.98	0.70	-0.60	-2.81	0.37	0.14	-1.50
8	仙居县	-0.90	-1.00	-1.15	-0.82	-1.13	0.64	1.22	-0.99	-1.11	-0.49	0.98	0.05	-0.71	-3.18	0.14	-0.71	-1.78
9	三门县	-1.05	-0.81	-1.11	-0.73	-1.21	0.84	0.56	-0.79	-0.60	-1.12	0.98	1.05	-0.84	-3.24	0.03	0.52	-1.69

4 结论与建议

(1)台州市水资源负载指数长期处于较低等级,负载指数评分总体呈逐年上升,说明台州市水资源的负载越来越大,水资源压力不断增大,台州市水资源开发潜力也逐年降低。

(2)通过主成分分析,台州市水资源承载能力一直处于逐年上升状态,尤其是2016年之后一直高于自身平均水平,但这也进一步反映了台州市水资源压力越来越大的问题。水资源承载力的主要影响因素是社会经济因素,其次是生态环境保护因素。

(3)2020年台州市水资源利用率为23.4%,高于全省同年平均水资源开发率16.0%,水资源荷载指数评价为I级,主成分分析评分为近10年来最高的4.64,说明台州市水资源开发利用程度达到很高程度,开发潜力较低,水资源对该地区的未来发展起到制约作用。

(4)现状年水资源承载力相对较高,水资源开发潜力较大的天台县,三门县和仙居县在未来可作为台州市水资源开发的重点区域;中等水平的临海市、黄岩区、路桥区、玉环市维持水资源平衡;温岭市、椒江区可能需要外来调水。同时,台州市水资源时空分布不均匀,应当兴建新的水利设施进行水资源调配,实现不同地区的水资源共享与互补。

参考文献

- [1] UNESCO & FAO. Carrying capacity assessment with a pilot study of Kenya: A resource accounting methodology for sustainable development[R]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1985.
- [2] JOARDAR S D. Carrying capacities and standards as bases towards urban infrastructure planning in India: A case of urban water supply and sanitation[J]. Habitat international, 1998, 22(3): 327-337.
- [3] RIJSBERMAN M A, VAN DE VEN F H M. Different approaches to assessment of design and management of sustainable urban water systems[J]. Environment impact assessment review, 2000, 20(3): 333-345.
- [4] VARIS O, VAKKILAINEN P. China's 8 challenges to water resources management in the first quarter of the 21st century[J]. Geomorphology, 2001, 41(2/3): 93-104.
- [5] KUZDAS C, WARNER B P, WIEK A, et al. Sustainability assessment of water governance alternatives: The case of Guanacaste Costa Rica[J]. Sustainability science, 2016, 11(2): 231-247.
- [6] 新疆水资源软科学课题组. 新疆水资源及其承载能力和开发战略对策[J]. 水利水电技术, 1989, 20(6): 2-9.
- [7] 龙腾锐, 姜文超, 何强. 水资源承载力内涵的新认识[J]. 水利学报, 2004, 35(1): 38-45.
- [8] 惠泱河, 蒋晓辉, 黄强, 等. 水资源承载力评价指标体系研究[J]. 水土保持通报, 2001, 21(1): 30-34.
- [9] 王浩, 秦大庸, 王建华, 等. 西北内陆干旱区水资源承载能力研究[J]. 自然资源学报, 2004, 19(2): 151-159.
- [10] 肖杰, 郑国璋, 郭鹏军, 等. 基于主成分分析的关中: 天水经济区水资源承载力评价[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(7): 159-167.

- sinica, 2011, 36(2): 315-320.
- [8] 邓裕亮, 李志红, 白永华, 等. 老挝中北部地区果实蝇属 (*Bactrocera*) 害虫种类初步调查[J]. 植物检疫, 2010, 24(1): 52-53.
- [9] LIN M G, YANG Z J, WANG X J. A taxonomic study of the subfamily Dacinae (Diptera: Tephritidae) from Hainan, China[J]. Acta entomologica sinica, 2006, 49(2): 310-314.
- [10] 张慧, 张玉波, 王祝祝, 等. 蠓科昆虫网络检索鉴定系统的设计与实现[J]. 中国国境卫生检疫杂志, 2017, 40(5): 334-337.
- [11] 邢震, 张启翔, 刘灏, 等. 西藏园林植物资源数据库检索系统的构建[J]. 北京林业大学学报, 2012, 34(1): 105-109.
- [12] 汪露, 黄丽莉, 杨慧勇, 等. 果实蝇属昆虫图像识别系统的开发与测试[J]. 植物检疫, 2013, 27(5): 29-36.
- [13] 娄丽霞. 基于 Android 的高风险果实蝇图像识别系统研究与实现[D]. 南昌: 江西农业大学, 2015.
- [14] 彭莹琼, 廖牧鑫, 邓泓, 等. 果实蝇离线快速辨识系统的研究与实现[J]. 科技创新导报, 2018, 15(27): 160-161.
- [15] 应新新. 基于支持向量机的果实蝇图像的自动识别系统研究与实现[D]. 南昌: 江西农业大学, 2018.
- [16] 陈小琳, 侯新文, 刘成林, 等. “检疫性果实蝇自动鉴定系统”的初步研究[C]//生物入侵与生态安全: “第一届全国生物入侵学术研讨会”论文集要集[出版地不详]: [出版者不详], 2007: 201.
- [17] 邓忠勇, 李震, 洪添胜, 等. 数学形态学在果实蝇分类上的应用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2019, 47(7): 139-146.
- [18] 陈乃中, 沈佐锐. 一种计算机昆虫检索系统的制作方法[J]. 植物检疫, 2003, 17(1): 20-21.
- [19] DREW R A I. The tropical fruit flies (Diptera: Tephritidae; Dacinae) of the Australasian and Oceanian regions [J]. Memoirs of the queensland museum, 1989, 26: 1-521.
- [20] WHITE I M, WANG X J. Taxonomic notes on some dacine (Diptera: Tephritidae) fruit flies associated with citrus, olives and cucurbits [J]. Bulletin of entomological research, 1992, 82(2): 275-279.
- [21] HARDY D E, ADACHI M S. Studies in the fruit flies of the philippine islands, Indonesia, and Malaya part 1. Dacini (Tephritidae-Diptera) [J]. Pac Sci, 1954, 8: 147-204.
- [22] HARDY D E, DELFINADO M D. Family Tephritidae (Trypetidae, Trupaeidae) [M]//DELFINADO M D, HARDY D E. A catalog of the Diptera of the Oriental region; Vol. III; Suborder Cyclorrhapha (excluding Division Aschiza). Honolulu: The University Press of Hawaii, 1977: 44-234.
- [23] WANG X J. Notes on six new species of the genus *Callantra* from China (Diptera: Tephritidae) [J]. Acta zootaxonomica sinica, 1990, 15(1): 67-76.
- [24] HEBERT P D N, RATNASINGHAM S, DE WAARD J R. Barcoding animal life: Cytochrome *c* oxidase subunit I divergences among closely related species [J]. Proceedings of the royal society B: Biological sciences, 2003, 270(S1): S96-S99.
- [25] 黄振, 黄可辉, 林阳武, 等. 南瓜实蝇检疫鉴定方法 SN/T 4176—2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-13.
- [26] 黄振, 黄可辉, 蒋小龙, 等. 辣椒果实蝇检疫鉴定方法 SN/T 4172—2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-13.
- [27] 黄振, 梁帆, 谢婧, 等. 八种果实蝇检疫鉴定方法: SN/T 4796—2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 1-20.
- [28] WANG X J. The fruit flies (Diptera: Tephritidae) of the East Asian region [J]. Acta zootaxonomica sinica, 1996, 21(S1): 1-338.
- [29] WANG X J, XIAO S, CHEN X L, et al. Two new species of the genus *Bactrocera* Macquart (Diptera, Tephritidae) from Yunnan, China [J]. Acta entomologica sinica, 2008, 33(1): 73-76.
- [30] 席庆奎, 丁锦华. 计算机在昆虫分类检索上的应用[J]. 昆虫知识, 1998, 35(4): 238-239.
- [31] 邱荣洲, 翁启勇, 池美香, 等. 基于 3G 通讯的移动农业专家系统开发平台研究[J]. 福建农业学报, 2011, 26(6): 1081-1085.
- [32] 邱荣洲, 赵健, 池美香, 等. 枇杷害虫辅助诊断专家系统[J]. 热带农业工程, 2011, 35(2): 31-35.
- [33] 黄振. 果实蝇属重要种类检索专家系统(登记号: 2021SR1075481) [Z]. 国家版权局, 计算机软件著作权登记中心, 2021.

(上接第 170 页)

- [11] 徐志青, 刘雪瑜, 尚书虎, 等. 珠江三角洲地区水环境承载力评价及障碍因素研究[J]. 环境工程学报, 2019, 9(1): 44-52.
- [12] 封志明, 刘登伟. 京津冀地区水资源供需平衡及其水资源承载力[J]. 自然资源学报, 2006, 21(5): 689-699.
- [13] 李焱奎, 张征, 姜华君, 等. 台州地区地下水环境承载力评价研究[J]. 安全与环境学报, 2012, 12(5): 151-154.
- [14] 陈林华, 林星, 胡庆年. 台州市流域水环境承载力研究[J]. 环境科学与管理, 2016, 41(12): 149-153.
- [15] 卫孟茹, 霍军军, 姚立强, 等. 长江经济带水资源空间均衡性分析[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(15): 6291-6300.
- [16] 张丹, 封志明, 刘登伟. 基于负载指数的中国水资源三级流域分区开发潜力评价[J]. 资源科学, 2008, 30(10): 1471-1477.
- [17] 李坤峰, 谢世友. 基于主成分分析重庆水资源承载力影响因素评价[J]. 水科学与工程, 2008(S2): 38-41.
- [18] 路民, 周天宇, 杨周伟. 主成分分析法在水资源承载力评价中的应用[J]. 科技风, 2016(21): 149.

(上接第 185 页)

- [3] 龙祖坤, 刘长庚. 基于 Shapley 值法的农业产业链中经济主体的利益分配[J]. 宏观经济研究, 2008(6): 55-57.
- [4] 孟枫平. 联盟博弈在农业产业链合作问题中的应用[J]. 农业经济问题, 2004, 25(5): 53-55.
- [5] 梁鹏, 李江. 基于 Shapley 值法的农产品供应链联盟利益分配机制研究[J]. 商业研究, 2013(8): 191-194, 216.
- [6] 张瑜, 王岳龙, 杨伟民. 农民专业合作组织的联盟博弈分析: 基于 Shapley 值法的农户对接利益分配[J]. 学习与实践, 2010(4): 45-49.
- [7] 陈吉铭, 王琛, 何忠伟, 等. 北京奶牛产业链利润分配机制研究[J]. 中国畜牧杂志, 2016, 52(20): 6-11.
- [8] 于海龙, 李秉龙. 基于产业链的我国奶业利益分配关系分析[J]. 云南财经大学学报, 2011, 27(6): 56-62.
- [9] 张磊, 王娜, 谭向勇. 猪肉价格形成过程及产业链各环节成本收益分析: 以北京市为例[J]. 中国农村经济, 2008(12): 14-26.
- [10] 秦富, 李先德, 吕新业, 等. 河南小麦产业链各环节成本收益研究[J]. 农业经济问题, 2008, 29(5): 13-19.
- [11] 牛婷婷, 窦学诚, 龚大鑫. 小米产业链各环节发展现状及成本收益分析: 以甘肃会宁县为例[J]. 湖南农业科学, 2010(13): 135-139.
- [12] 程燕, 李先德. 我国啤酒大麦产业链成本收益分析: 基于豫鄂蒙新四省区的调研数据[J]. 农业技术经济, 2014(8): 84-92.
- [13] 张欣. 苹果产业价值链价值增值研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [14] 陈耀庭, 戴俊玉. 不同流通模式下农产品流通成本构成与利润分配: 基于漳州香蕉的实证研究[J]. 中国流通经济, 2014, 28(10): 121-128.
- [15] 黄祖辉, 张静, 陈志钢. 中国梨果产业价值链分析[J]. 中国农村经济, 2008(7): 63-72.
- [16] 欧阳儒彬, 辛翔飞, 崔妮, 等. 不同价格背景下肉鸡产业链主体利益优化研究[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(8): 20-28.
- [17] 张贺. 基于 Shapley 值法的肉牛产业链利益分配研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2018(24): 31-36.
- [18] 舒坤良, 马云霞, 孙奇, 等. 基于 Shapley 值法的玉米产业链合作博弈与利益分配研究[J]. 玉米科学, 2020, 28(2): 178-183.
- [19] 高振祥, 朱海民, 史燕翔. 基于 Shapley 值法的煤炭产运销供应链利润分配机制研究[J]. 煤炭工程, 2020, 52(9): 177-182.