

基于熵权的亚太地区水安全评价

江红, 杨小柳

(北京大学城市与环境学院, 北京 100871)

摘要:采用熵权法确定亚洲—太平洋地区水安全评价指标体系中各指标的权重, 评估亚洲—太平洋47个国家的水安全状况。国家综合水安全包括生活水安全、经济水安全、城市水安全、环境水安全和水灾害抗御力五个方面, 权重比值约为34:19:14:22:11。其中, 生活水安全的国家间差异最大, 水灾害抗御力的国家间差异最小; 经济水安全的区域整体状况最好, 而水灾害抗御力的整体水平较不理想。综合水安全的评估结果显示, 在国家层面, 澳大利亚、新西兰、马来西亚和新加坡的水安全状况最佳, 基里巴斯的水安全状况最令人担忧; 在区域层面, 东亚及太平洋地区的水安全状况较之南亚、东南亚和中西亚为佳; 整体而言, 亚洲—太平洋地区的整体水安全状况亟待改善。

关键词:水安全; 评价指标体系; 熵权; 亚洲—太平洋地区

1 引言

20世纪70年代以来, 水安全一直是各国政府、有关学术界和民间团体关注的焦点。1972年, 联合国第一次环境与发展大会警示了全球性水危机; 1977年, 联合国再发警告, 水问题在不久将成为严重的社会危机(陈绍金, 2005); 2000年, 世界水周以“21世纪的水安全”为主题开展讨论, 水安全遂成为全球性热点(方子云, 2001)。近10多年来, 人们对水安全的认识逐渐丰富, 不但深化到资源、生态、灾害等层面(夏军等, 2002; Bakker, 2012), 还延伸至人类健康、经济发展、城市建设、生态系统健康、国家安全等领域(栾胜基等, 1998; 成建国等, 2004), 研究的地域范围也随之扩大。人们公认, 水安全与粮食、能源、气候、环境等因素紧密相关, 是关乎国家和地区发展的关键因素(王远坤等, 2007; Rosegrant et al, 2009; Wheeler et al, 2010; O'Neill et al, 2011; Hussey et al, 2012; Xia, 2012)。

水安全属非传统安全, 一经提出就受到各国政府的高度重视(Anderson, 1992)。评价水安全状况, 不但可揭示国家的潜在危机, 还在保障当前经济发展、促进环境保护、调整外交政策方面具有重要的

现实意义。近年来, 国内学者在市、省、流域等尺度上探讨了水安全问题(夏军, 2002; 韩宇平等, 2003; 金菊良等, 2008; 张戈丽等, 2008); 对国外的水安全研究则以中东、南亚和非洲等地区为案例(Shuval et al, 1992; Hope et al, 2012)。

2009-2013年间, 亚洲开发银行数次召集包括本文作者在内的10余位专家, 采用工作会议和通讯讨论的方式, 尝试性地建立了评价指标体系, 初步评价了亚洲和太平洋地区47个国家的水安全状况(Asian Development Bank, 2013)。评价过程中, 学者们在评价指标体系上基本达成一致意见, 但在权重的确定上争论颇多, 难成共识。故此, 2013年的报告采用了等权法。而本文尝试采用熵权法, 从新的视角充分考虑指标间的客观差异, 利用指标在不同样本(国家)间的差异大小确定其权重系数(罗军刚等, 2008; 张戈丽等, 2008), 并应用于亚洲—太平洋地区的水安全评价。

2 研究区域与方法

2.1 研究区概况

亚洲位于东半球的东北部, 是世界上最大的

收稿日期: 2014-10; 修订日期: 2015-01。

基金项目: 清华大学亚太水安全研究中心项目(20123000317)。

作者简介: 江红(1992-), 女, 贵州黔西人, 硕士研究生, 主要从事水安全研究, E-mail: 1301214608@pku.edu.cn。

通讯作者: 杨小柳(1958-), 男, 北京人, 教授, 主要从事流域综合管理研究, E-mail: xlyang@urban.pku.edu.cn。

引用格式: 江红, 杨小柳. 2015. 基于熵权的亚太地区水安全评价[J]. 地理科学进展, 34(3): 373-380. [Jiang H, Yang X L. 2015. Entropy weight-based water security assessment in Asia-Pacific[J]. Progress in Geography, 34(3): 373-380.]. DOI: 10.11820/dlkxjz.2015.03.012

洲。太平洋地区是指与亚洲邻近的大洋洲及太平洋岛屿,包括太平洋的西南部和赤道南北海域中间的一块大陆及数组呈弧状分布的岛屿。两者组成亚洲和太平洋地区,简称亚太地区(图1)。

亚太地区地域辽阔,地形多变,水文条件复杂。域内分布着诸多著名的大河——长江、鄂毕河、叶尼塞河、勒拿河、湄公河、恒河等,其中不乏国际河流——额尔齐斯河—鄂毕河、黑龙江、澜沧江—湄公河、恒河—布拉马普特拉河等。

联合国环境署曾列举了亚太地区的八大环境问题:土地退化、森林锐减、水资源紧缺、大气污染、高速城市化、生物多样性降低、近岸海域退化、自然灾害,这些问题均与水密切相关。亚太地区的国家多为发展中国家,其中不乏极度贫困者,为全球贫困人口的主要聚居地,水资源短缺和水环境污染是困扰当地经济和社会发展的主因。

2.2 研究方法

2.2.1 水安全评价指标体系

本文沿用亚洲开发银行(Asian Development Bank, 2013)的指标体系,该体系由5个一级指标、12个二级指标、23个三级指标和16个四级指标构成,指标体系如图2所示。其中5个一级指标为:

(1) 生活水安全。满足居民生活用水及公共卫生需求。保障生活用水是经济发展和社会进步的基础,对亚太地区各国/地区来说,为本国/地区居民提供安全的饮用水及公共卫生服务应该是首要任务。

(2) 经济水安全。支撑农业、工业和能源产业的用水需求。在亚太经济快速发展的今天,水较之以往具有更加重要的经济意义。如何协调经济模式、政策调控方式和水资源分配管理,促进经济持续发展,是亚太发展的优先议题。

(3) 城市水安全。确保城市水系统的安全可

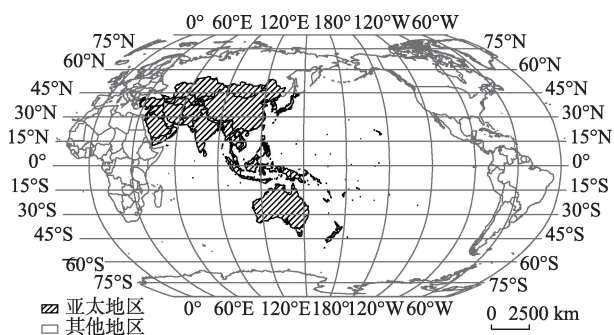


图1 亚洲—太平洋地区

Fig.1 Asia-Pacific Region

靠,妥善解决城市的供水、排水和排污等问题。20世纪,亚太国家经历了空前的城市化,人口不断从农村迁移到城市,使城市成为社会运转中最为重要的节点。加强城市水管理,建设宜居城市,维持城市活力,是亚太诸国共同面临的挑战。

(4) 环境水安全。保障水环境和生态的健康。经济的高速发展在亚太地区引发了大量的水环境和水生态问题,为此,敦促各国政府尽快向绿色的经济增长方式转变。

(5) 水灾害抗御力。抵抗水灾害的能力及灾后的恢复能力。亚太地区前所未有的经济开发和城市化进程,加之全球气候变化,会增加水灾害的风险。为降低风险,必须加强基础设施建设,提高管理水平,大力改善现有的抗灾防灾系统。

2.2.2 权重系数计算方法

熵是热力学概念,起初用于度量系统的无序程度,现在信息学中常用于度量数据所提供的有效信息量,当熵值越小时,表明信息量越大。熵权法依据指标体系中指标提供信息量的多寡,确定指标权重系数,提供信息多者权重大,少者权重小。熵权法具体步骤如下。

设有 m 个评价指标 (B_1, B_2, \dots, B_m) , n 个评价国家,指标 B_i 在 j 国家的指标值为 b_{ij} ,可得指标值矩阵 $(b_{ij})_{m \times n}$ 。熵权法的计算步骤如下:

(1) 指标值标准化。本文中所有原始指标值已转换为分值,均以大者为优。对于指标 B_i 的指标值 b_{ij} ,其标准化值 N_{ij} 按式(1)计算。

$$N_{ij} = \frac{b_{ij} - \min_j \{(b_{ij})_{m \times n}\}}{\max_j \{(b_{ij})_{m \times n}\} - \min_j \{(b_{ij})_{m \times n}\}} \quad (1)$$

若 B_i 的信息量较大,则一定有 $N_{ij} (j=1, 2, \dots, n)$ 之间的差别较大。

(2) 熵值计算。评价指标 B_i 的熵 $E(B_i)$ 按式(2)计算。

$$E(B_i) = -K \sum_{j=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \quad (2)$$

式中: $P_{ij} = \frac{N_{ij}}{\sum_{j=1}^n N_{ij}}$, $K = \frac{1}{\ln(n)}$ 。当 $P_{ij} = 0$, 令

$E(B_i) = 0$ 。可见,若信息量较大,则其熵值会较小。

(3) 权重系数计算。评价指标 B_i 的权重系数 λ_i 按式(3)计算。

$$\lambda_i = \frac{1 - E(B_i)}{m - \sum_{i=1}^m E(B_i)} \quad (3)$$

当 B_i 的熵值较小时,其权重系数会较大。

2.2.3 权重系数计算结果

水安全评价体系及各指标的权重系数见图2。与等权法不同,熵权法中各指标的重要性差异通过权重不同得以体现。在评价体系中,部分指标经过了中间处理,详见表1。

2.3 数据来源

表2列出了数据的来源。为统一数据格式,将各指标原始数据划分为5个等级,根据各等级所对

应情况,由专家小组讨论后确定各指标分级标准,赋予1~5的分值。用于评价的各指标值均为划分等级后的分值,分值高低表明所对应的水安全类型安全程度高低,分级情况见表3。

3 评价结果

3.1 亚太地区水安全总体情况

综合水安全指数低于2.00分的国家有13个,水安全受到较大限制,需得到重视。集中在2.00~2.99分的国家多达26个,亚太区域的整体状况较差。每个国家都有部分关键因子基本满足水安全需求,故

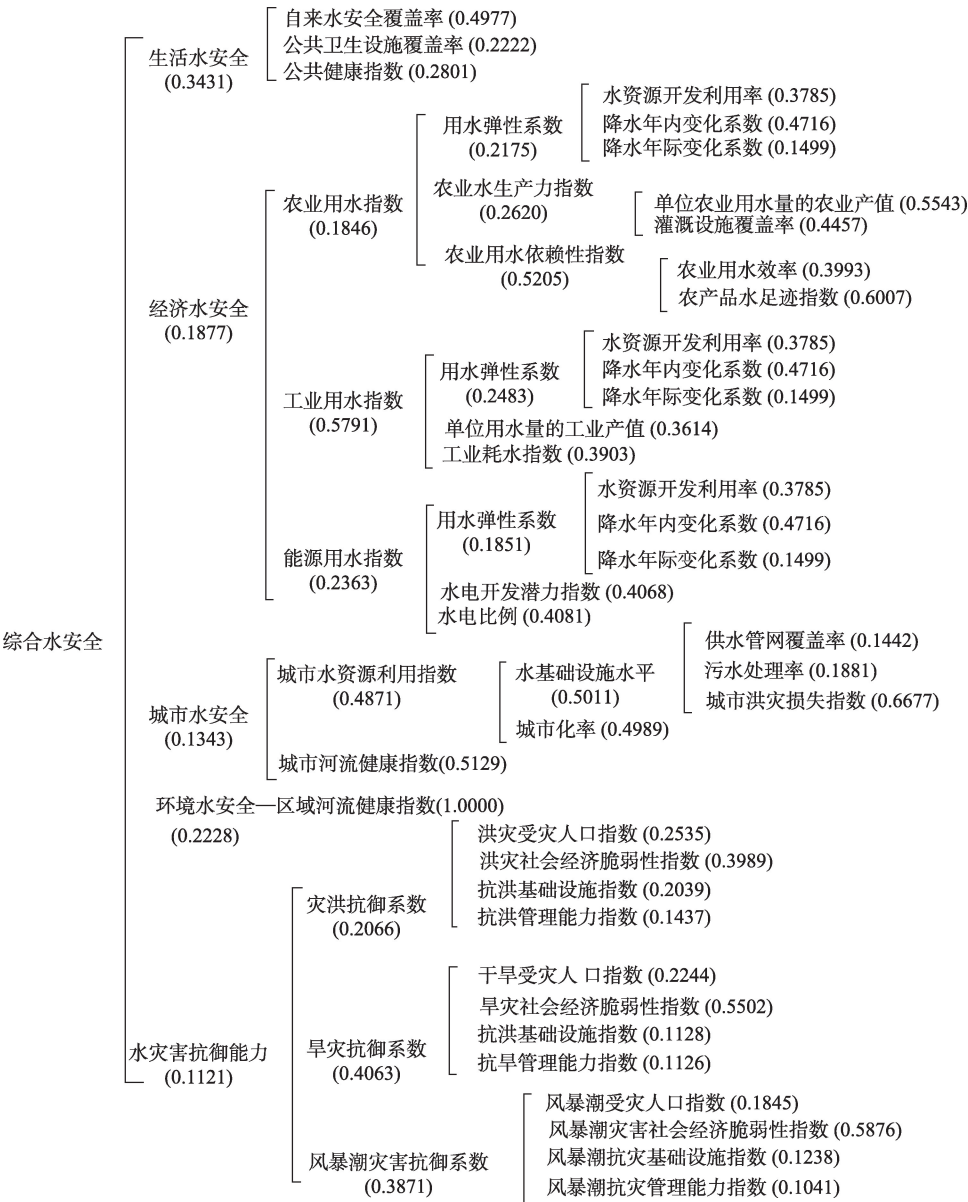


图2 水安全评价体系及指标权重

Fig.2 Indicator system and indicator weights of water security assessment

表1 部分指标计算说明

Tab.1 Indirect indicators and factors considered in their calculation

指标	原始数据
农业用水效率	水资源流失量、水资源总量
农产品水足迹指数	内部水足迹、外部水足迹、农业用水量
工业耗水指数	工业用水量、总用水量
水电开发潜力指数	可开发水电资源量、已开发水电资源量
河流健康指数	引自 Vörösmarty et al, 2010
洪灾受灾人口指数	人口密度、城市人口增长率、总人口增长率
洪灾社会经济脆弱性指数	清廉指数、贫困人口比例、官方援助系数、森林砍伐率、婴儿死亡率
抗洪基础设施指数	潜在投资密度、单位面积的库容
抗洪管理能力指数	识字率、入学率、电视网络覆盖率、移动电话覆盖率、国内储蓄总值比重
旱灾受灾人口指数	人口密度、城市人口增长率、总人口增长率
旱灾社会经济脆弱性指数	清廉截止指数、贫困人口比例、官方援助系数、农业生产总值比重、婴儿死亡率
抗旱基础设施指数	潜在投资密度、单位面积的库容
抗旱管理能力指数	识字率、入学率、电视网络覆盖率、移动电话覆盖率、国内储蓄总值比重
风暴潮受灾人口指数	人口密度、低地人口比例、总人口增长率
风暴潮社会经济脆弱性指数	清廉指数、贫困人口比例、官方援助系数、农业生产总值比重、婴儿死亡率
风暴潮抗灾基础设施指数	潜在投资密度、道路覆盖率
风暴潮抗灾管理能力指数	识字率、入学率、电视网络覆盖率、移动电话覆盖率、国内储蓄总值比重

表2 数据来源

Tab.2 Data sources

指标	数据来源
生活水安全	联合国亚洲及太平洋经济社会委员会(UN-ESCAP)、世界卫生组织(WHO)、联合国世界儿童救济基金会(UNICEF)
经济水安全	联合国亚洲及太平洋经济社会委员会(UN-ESCAP)、联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization)、世界能源理事会(World Energy Council)、国际能源机构(International Energy Agency)、相关文献(Hoekstra et al, 2007; International Commission on Large Dams, 2003; Tyndall Centre for Climate Change Research, 2005)
城市水安全	联合国亚洲及太平洋经济社会委员会(UN-ESCAP)、世界卫生组织(WHO)、联合国世界儿童救济基金会(UNICEF)、联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization)、世界银行(World Bank)、紧急灾难数据库(EM-DAT)、相关文献(Central Intelligence Agency, 2011)
环境水安全	相关文献(Vörösmarty et al, 2010)
水灾害抗御力	亚洲开发银行(Asian Development Bank)

表3 水安全分级

Tab.3 Water security classification

分值	等级名	水安全状态
1	危险	缺乏水资源及水环境方面的立法和政策,政府监管及执法水平低下,公共设施投入严重不足。
2	受限	水资源及水环境相关立法和政策得到政府支持,管理机构的设置及运转情况得到改善。公共设施的投入水平有所提高,但仍旧不足。
3	基本满足	政府行政能力加强,有更强的监管及执法力度,公共设施的投入明显提高,水和环境的相关议题在国家发展议程中排序较为优先。
4	有效管理	水安全的任务被列入重要的国家、城市和农村的总体规划中,公共设施投入达到较高的水平,政府的监管及执法十分有效,对公众意识和行为的提升得到政府重视。
5	模范	在诸多方面都达到可持续的水平,例如地方机构的设置和管理、用于保护管理水和环境的公共资金、公共用水方案的策划和实施等。政府开始实践水治理的新模式——支持先进技术,支持学术研究和创新,主动发起国际间合作关系。

未来发展的潜力较大,具体评价结果见表4。

3.2 亚太地区水安全地理格局

生活水安全如图3所示。处在1.00~1.49之间的国家有阿富汗、孟加拉共和国、不丹、柬埔寨、印度、基里巴斯、老挝、蒙古、缅甸、尼泊尔、巴基斯坦、

巴布亚新几内亚、东帝汶,这些国家基础的居民生活用水及公共卫生安全方面得不到满足,相关政策调控及设施建设也处于较差状态。高于4.50分的国家有澳大利亚、文莱、库克群岛、日本、马来西亚、新西兰、韩国和新加坡(图3)。

表4 亚太水安全评价结果
Tab.4 Result of water security assessment in Asia-Pacific

国家	生活水安全	经济水安全	城市水安全	环境水安全	水灾害抗御力	综合水安全
阿富汗	1.00	2.00	2.35	2.00	1.00	1.59
亚美尼亚	4.44	2.85	2.30	1.00	1.25	2.73
澳大利亚	5.00	2.64	4.45	4.00	2.07	3.93
阿塞拜疆	1.67	2.60	2.17	1.00	2.00	1.80
孟加拉	1.00	2.61	1.73	1.00	2.27	1.54
不丹	1.00	2.78	3.03	3.00	2.00	2.17
文莱达鲁萨兰国	4.78	0.91	3.85	3.00	3.14	3.35
柬埔寨	1.00	2.37	2.32	2.00	3.02	1.88
库克群岛	4.72	1.01	3.18	3.00	3.24	3.27
密克罗尼西亚联邦	3.55	0.67	3.41	3.00	0.50	2.51
斐济	4.00	2.56	2.67	2.00	2.00	2.88
格鲁吉亚	3.16	1.79	3.14	2.00	3.00	2.63
印度	1.00	2.79	1.92	1.00	2.68	1.65
印度尼西亚	1.56	2.92	2.86	3.00	3.07	2.48
日本	5.00	3.07	3.43	2.00	2.34	3.46
哈萨克斯坦	1.89	3.09	2.73	2.00	3.00	2.38
基里巴斯	1.00	0.63	1.91	1.00	2.22	1.19
吉尔吉斯斯坦	1.89	2.59	2.76	2.00	0.57	1.99
老挝	1.22	2.79	2.75	3.00	2.22	2.23
马来西亚	4.72	3.19	3.37	3.00	2.00	3.56
马尔代夫	2.17	0.52	3.56	4.00	3.00	2.55
马绍尔群岛	1.72	0.52	3.57	4.00	2.95	2.39
蒙古	1.00	1.46	3.58	4.00	0.69	2.07
缅甸	1.44	2.88	2.88	3.00	1.00	2.20
瑙鲁	1.78	0.56	2.59	2.00	3.00	1.85
尼泊尔	1.00	2.71	2.35	2.00	1.42	1.77
新西兰	5.00	2.66	4.45	4.00	1.64	3.89
纽埃岛	3.01	1.00	3.80	4.00	2.00	2.85
巴基斯坦	1.00	3.48	1.83	1.00	1.97	1.69
帕劳	2.45	0.56	3.16	3.00	3.00	2.37
巴布亚新几内亚	1.00	3.00	3.47	4.00	1.58	2.44
中国	2.28	3.30	2.65	2.00	1.35	2.35
菲律宾	1.72	3.21	2.39	2.00	1.90	2.17
韩国	4.72	2.62	2.94	2.00	1.80	3.15
萨摩亚	3.94	1.01	2.73	2.00	2.46	2.63
新加坡	5.00	3.28	3.46	2.00	2.66	3.54
所罗门群岛	1.56	1.62	4.12	5.00	2.00	2.73
斯里兰卡	2.73	2.78	2.12	1.00	1.42	2.13
塔吉克斯坦	1.89	3.31	2.62	2.00	0.63	2.14
泰国	2.17	2.87	2.38	1.00	0.99	1.94
东帝汶	1.28	0.60	2.86	3.00	2.00	1.83
汤加	3.94	1.00	2.99	2.00	1.11	2.51
土库曼斯坦	2.22	2.74	2.52	2.00	1.35	2.21
图瓦卢	3.94	0.52	2.58	2.00	1.12	2.37
乌兹别克斯坦	1.89	2.45	2.76	2.00	2.00	2.15
瓦努阿图	1.56	1.12	4.09	5.00	1.66	2.60
越南	2.00	2.52	2.24	2.00	0.53	1.97

经济水安全如图4所示。文莱、密克罗尼西亚、基里巴斯、马尔代夫、马绍尔群岛、瑙鲁、帕劳、东帝汶、图瓦卢等岛国由于产业配比不全面,在此评价体系中经济水安全得分不足1.00分;这些国家中,水对工业、农业和能源产业的促进作用甚微。得分最高的国家有塔吉克斯坦、新加坡、菲律宾、中国、马来西亚、日本、哈萨克斯坦,分值处于3.50~4.00之间。在经济水安全方面达到高分值有两种可能:一是水资源及环境、经济模式和政策调控方式互相协调,能够促进经济持续发展;二是在水的分配管理上

侧重经济用水而忽视其他用水,水资源的调配及水环境的控制均以经济发展为前提条件。

城市水安全如图5所示,整体状况较好。低于2.00分的国家只有孟加拉共和国、印度、基里巴斯和巴基斯坦,在上述国家,水的基础设施建设情况并不令人满意,且遭受城市洪灾损失较大。

环境水安全指各国及地区内部河流健康状况,包括河流流量的稳定性、流域生态系统的健康状况及河流内部生态系统的健康状况等。河流健康水平低下的国家仍集中于南亚地区,紧接其后的是其他广大亚洲地区,太平洋地区的国家河流健康状况较为良好,详见图6。

水灾害抗御力未达到1.00分的国家有密克罗尼西亚、吉尔吉斯斯坦、蒙古、塔吉克斯坦、泰国和越南;未达到2.00分的国家多达21个,且分布区域广,亚太地区由于基础设施、防灾减灾能力建设相对滞后,受自然灾害影响的风险大。详见图7。

综合水安全如图8所示。澳大利亚、新西兰、马来西亚和新加坡水安全状况最佳,都超过3.50分;基里巴斯水安全状况未达到1.50分,最令人担忧。南亚、东南亚、中亚及太平洋小岛国分数较低,南太平洋地区分数较高,东亚地区较为复杂。

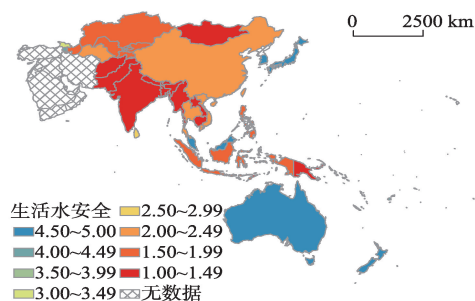


图3 亚太地区生活水安全

Fig.3 Household water security in Asia-Pacific

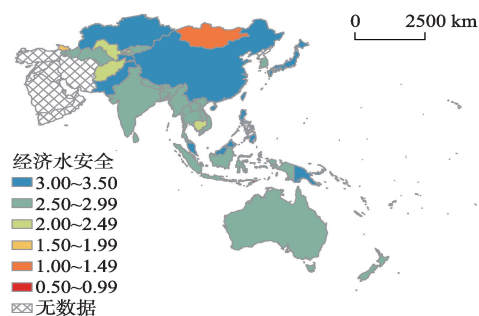


图4 亚太地区经济水安全

Fig.4 Economic water security in Asia-Pacific

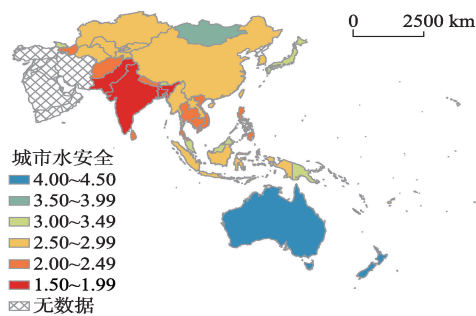


图5 亚太地区城市水安全

Fig.5 Urban water security in Asia-Pacific

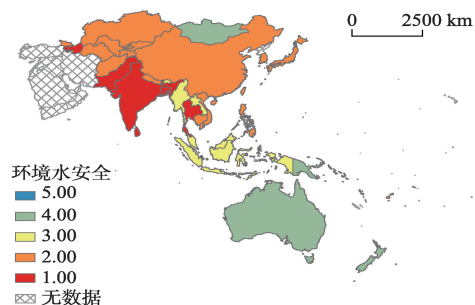


图6 亚太地区环境水安全

Fig.6 Environmental water security in Asia-Pacific

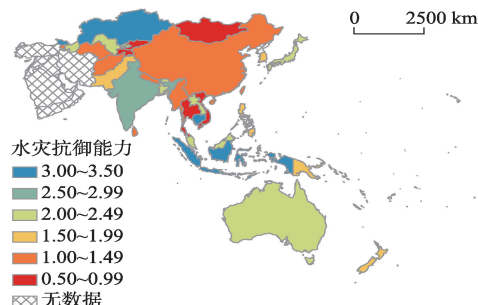


图7 亚太地区水灾害抗御力

Fig.7 Resilience to water-related disasters in Asia-Pacific

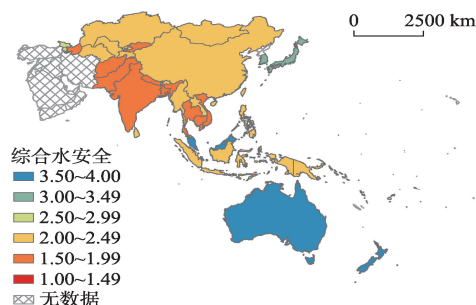


图8 亚太地区综合水安全

Fig.8 National water security in Asia-Pacific

4 结论与讨论

4.1 结论

①综合水安全由生活水安全、经济水安全、城市水安全、环境水安全、水灾抗御力构成,各自权重分别约为34:19:14:22:11。②生活水安全的国家差异较大,有8个国家得分超过4.50,而得分低于1.49的国家多达14个,主要差距出现在自来水覆盖率及公共卫生设施覆盖率方面。③经济水安全及城市水安全的国家间差异较小,且整体水平较高。④环境水安全在太平洋岛国的状况最好,而在南亚诸国的状况最差。⑤水灾害抗御力的整体水平堪忧,其中以太平洋诸岛国及中西亚诸国最为突出,主要原因在于抗灾防灾基础设施、社区管理人才和居民抗灾意识的缺乏。⑥综合水安全在国家间的差别明显,其中以南太平洋诸国为最佳,南亚地区诸国为最差。⑦比较而言,各区域突出的水安全问题不同,南亚地区亟待改进生活水安全和环境水安全状况;太平洋诸岛国及中西亚诸国需尽快提高抗灾能力。

4.2 讨论

熵权法确定指标权重系数的依据,是指标提供信息量的多寡。熵权法使权重的确定不但有理,而且有据,令确权过程具有了客观性。从本质上讲,熵权法重视的是差别,而不是主观上的重要性。当一个指标被认为很重要,在评价对象之间也存在很大的差异时,熵权法的结果是令人满意的。因此,对评价体系及其指标的充分认识,是采用熵权法的重要前提。

本文对亚洲—太平洋47个国家的水安全状况作了初步评价,然而,由于范围较大,对国家之间差异的关注尚有欠缺。根据国家间的尺度差异、自然差异、发展水平等因素,结合本文评价结果,更加全

面深入地了解国家水安全状况,分析其原因、态势和发展方向等问题,将会是未来的研究方向。

参考文献(References)

- 陈绍金. 2005. 水安全系统评价、预警与调控研究[D]. 南京: 河海大学. [Chen S J. 2005. Evaluation forecasting and regulation research in the water safety system[D]. Nanjing, China: Hohai University.]
- 成建国, 杨小柳, 魏传江, 等. 2004. 论水安全[J]. 中国水利, (1): 21-23. [Cheng J G, Yang X L, Wei C J, et al. 2004. Lun shui anquan[J]. China Water Resources, (1): 21-23.]
- 方子云. 2001. 提供水安全是21世纪现代水利的主要目标: 兼介斯德哥尔摩千年国际水会议及海牙部长级会议宣言[J]. 水利水电科技进展, 21(1): 9-10. [Fang Z Y. 2001. Water supply safety: the key goal of modern water service in the 21st century: introduction to 2000 international water conference, Stockholm and Hague ministers' conference declaration[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 21(1): 9-10.]
- 韩宇平, 阮本清. 2003. 区域水安全评价指标体系初步研究[J]. 环境科学学报, 23(2): 267-272. [Han Y P, Ruan B Q. 2003. Research on evaluation index system of water safety[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 23(2): 267-272.]
- 金菊良, 吴开亚, 魏一鸣, 等. 2008. 基于联系数的流域水安全评价模型[J]. 水利学报, 39(4): 401-409. [Jin J L, Wu K Y, Wei Y M. 2008. Connection number based assessment model for watershed water security[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 39(4): 401-409.]
- 栾胜基, 洪阳. 1998. 中国二十一世纪的水安全问题[J]. 中国环境管理, 4: 4-7. [Luan S J, Hong Y. 1998. Zhongguo 21 shiji de shui anquan wenti[J]. China Environment Management, 4: 4-7.]
- 罗军刚, 解建仓, 阮本清, 等. 2008. 基于熵权的水资源短缺风险模糊综合评价模型及应用[J]. 水利学报, 39(9): 1092-1097, 1104. [Luo J G, Xie J C, Ruan B Q, et al. 2008. Fuzzy comprehensive assessment model for water shortage risk based on entropy weight[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 39(9): 1092-1097, 1104.]
- 王远坤, 夏自强, 曹升乐, 等. 2007. 水安全综合评价方法研究[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 35(6): 618-621. [Wang Y K, Xia Z Q, Cao S L, et al. 2007. Comprehensive evaluation method for water security[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 35(6): 618-621.]
- 夏军. 2002. 华北地区水循环与水资源安全: 问题与挑战[J]. 地理科学进展, 21(6): 517-526. [Xia J. 2002. A perspective on hydrological base of water security problem and its application study in North China[J]. Progress in Geography, 21(6): 517-526.]

- 夏军, 朱一中. 2002. 水资源安全的度量: 水资源承载力的研究与挑战[J]. 自然资源学报, 17(3): 262-269. [Xia J, Zhu Y Z. 2002. The measurement of water resources security: a study and challenge on water resources carrying capacity[J]. *Journal of Natural Resources*, 17(3): 262-269.]
- 张戈丽, 王立本, 董金玮, 等. 2008. 基于熵权法的济南市水安全时间序列研究[J]. 水土保持研究, 15(1): 131-134. [Zhang G L, Wang L B, Dong J W, et al. 2008. Time-series analysis in water security assessment of Ji'nan City based on entropy weight[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 15(1): 131-134.]
- Anderson E W. 1992. The political and strategic significance of water[J]. *Outlook on Agriculture*, 21(4): 247-253.
- Asian Development Bank. 2013. Asian water development outlook 2013: measuring water security in Asia and Pacific [R]. Mandaluyong, Philippines: Asian Development Bank.
- Bakker K. 2012. Water security: research challenges and opportunities[J]. *Science*, 337: 914-915.
- Central Intelligence Agency. 2011. The world factbook[DB/OL]. 2012-10-02[2014-03-06]. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>.
- Hoekstra A Y, Chapagain A K. 2007. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern[J]. *Water Resources Management*, 21: 35-48.
- Hope R, Foster T, Thomson P. 2012. Reducing risks to rural water security in Africa[J]. *AMBIO*, 41(7): 773-776.
- Hussey K, Pittock J. 2012. The energy-water nexus: managing the links between energy and water for a sustainable future[J]. *Ecology and Society*, 17(1): 31.
- International Commission on Large Dams. 2003. World register of large dams[M]. Paris, France: International Commission on Large Dams.
- O'Neill M P, Dobrowolski J P. 2011. Water and Agriculture in a Changing Climate[J]. *Hortscience*, 46(2): 155-157.
- Rosegrant M W, Ringler C, Zhu T J. 2009. Water for agriculture: maintaining food security under growing scarcity [J]. *Annual Review of Environment and Resources*, 34: 205-222.
- Shuval H I. 1992. Approaches to resolving the water conflicts between israel and her neighbors: a regional water-for-peace plan[J]. *Water International*, 17(3): 133-143.
- Tyndall Centre for Climate Change Research. 2005. Coefficient of variation data[M]. Norwich, England: Tyndall Centre for Climate Change Research.
- Vörösmarty C J, McIntyre P B, Gessner M O, et al. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity[J]. *Nature*, 467: 555-561.
- Wheeler T, Kay M. 2010. Food crop production, water and climate change in the developing world[J]. *Outlook on Agriculture*, 39(4): 239-243.
- Xia J. 2012. Special issue: climate change impact on water security & adaptive management in china introduction[J]. *Water International*, 37(5): 509-511.

Entropy weight-based water security assessment in Asia-Pacific

JIANG Hong, YANG Xiaoliu

(College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: In this study the entropy method was adopted to calculate the indicator weights of the water security indicator system and the water security status of the 47 countries in the Asia-Pacific region were then assessed. National water security consists of 5 dimensions—household water security, economic water security, urban water security, environmental water security, and resilience to water-related disasters. The regional disparity of household water security is most significant, while the minimum value of regional disparity is found in resilience to water-related disasters. Regional economic water security is relatively satisfactory in Asia-Pacific; however, compared to other dimensions, resilience to water-related disasters is less satisfactory. The assessment reveals the actual water security status of countries and the result indicates that Australia, New-Zealand, and Malaysia are the most favorable countries in terms of national water security, but Kiribati is the worst country; countries in East Asia and the Pacific are in a much better condition than those in South Asia, Southeast Asia, and Central-West Asia. The overall water security situation in Asia and the Pacific region urgently needs improvement.

Key words: water security; assessment indicator system; entropy weight; Asia-Pacific