基于 BP 神经网络的淮河流域水生态足迹分析与预测

安慧 范历娟 吴海林 杨雯晶[1]

(三峡大学 水利与环境学院，湖北 宜昌 443002)

【摘 要】: 运用水生态足迹理论和计算方法，测算出淮河流域水资源生态足迹和生态承载力，并在此基础上引入 5 个相关指标对淮河流域及其所属 5 省份的水资源时空变化进行系统分析，同时，采用具有自学习能力的 BP 神经网络预测出淮河流域 2017～2025 年的水资源生态足迹、承载力。研究表明:(1)淮河流域水资源生态足迹及承载力呈现总体上升的趋势，水资源生态赤字和生态压力均过大，水资源安全受到巨大威胁。(2)5 个省份水资源均处于赤字状态，生态压力指数均大于 1，水资源开发利用处于不可持续状态，其中，江苏省负载指数大，水资源开发潜力小，其他 4 省相对而言易于开发。(3)预测结果表明水资源生态压力较大，水资源大部分时间处于过度开发利用状态，水资源供给量小于流域内部经济发展的需求量，个别年份需要外部水量补充，万元 GDP 水资源利用率较低，水资源安全处于临界状态。

【关键词】: 水资源生态足迹 淮河流域 时空变化 BP 神经网络

【中图分类号】:TV211.1**【文献标识码】**:A**【文章编号】**:1004-8227(2021)05-1076-12

淮河流域地处东部，介于长江和黄河流域之间，该地区人口约为 1.78 亿左右，平均密度是全国的 4.5 倍[1]，但可利用水资源总量 445 亿 m^3，人均水资源占有量仅为全国人均水量的 1/5，属于严重缺水地区[2]，有研究表明该地区经济发展受到水资源短缺的严重制约[3]。然而城市化、工业化的快速推进使得淮河流域水资源的需求和污水排放量越来越大，截至 2018 年，淮河流域实测废污水入河排放量为 64.61 亿 t[4]，这使淮河流域十分有限的水资源更加拮据，严重破坏了水资源的可持续发展。

人口和经济的快速发展极大地消耗着十分有限的水资源，给水生态系统带来了巨大的压力。这种压力一旦超过了对应的承载力，就会严重影响地区水资源的可持续开发利用，进而影响地区经济社会可持续发展[5]。量化人口、经济对水资源的影响作用是改善水资源可持续发展利用的前提。

生态足迹是由加拿大生态经济学家 Wackernagel M 提出的一种量化资源利用、评判人类对生态系统产生的压力以及威胁生态状况的指标[6]。水生态足迹法以水产品、淡水资源和水污染为主要特征，将水资源相关消耗量折算成水域面积来评判一个国家和地区对水资源的消耗利用情况[7~9]。

从该方法的研究上看，Mathis 对生态足迹的计算方法进行发展，首次应用生态足迹测算方法对全球的生态空间和生态占用空间进行了测算[10]，在此基础上，刘子刚等[11]引入了水生态足迹和水生态承载力，建立水生态足迹模型对湖州市的生态承载力

[1]**作者简介**：安慧(1977～)，女，副教授，主要研究方向为水利水电工程项目管理与水资源管理. E-mail:anhui0504163.com
吴海林,E-mail:wuhailinwhl163.com
基金项目：国家社会科学基金重大项目(19ZDA089);三峡大学青年科学基金项目(KJ2019A001);水库移民研究中心湖北省高校人文社科重点研究基地开放基金(2020KF06)

进行研究。此外研究者们还借鉴该方法计算出陕北地区[12]、四川省[13]、疏勒河流[14]、重庆市[15]、宁波市[16]、广西省[17]的水资源承载力和水生态足迹，分析出相应地区的可持续发展状况。王刚毅等将水生态足迹模型进行改进，从宏观和微观层面构建模型，对区域经济发展作出研究[18]。

通过以上相关研究发现，学者通常采用水资源生态足迹赤字/盈余、水资源生态压力指数和万元 GDP 水资源生态足迹这 3 个指标评价一个区域的水资源可持续发展状况，但对水资源生态足迹的开发程度及潜力、生态系统的协调性和整体利用效率等方面缺乏分析，因此本研究新增了水资源负载指数和水资源生态协调系数分析了淮河流域的水资源生态足迹可持续发展时空演化特征。

对水资源生态足迹和承载力进行科学的预测可为水资源可持续利用提供前瞻性建议。从预测方法而言，郭荣中等[19]运用灰色预测模型对长沙市的发展趋势进行了预测分析，张振龙等[20]利用 ARIMA 模型对新疆干旱区水资源生态足迹、承载力及赤字情况进行了预测，对于新疆以后的发展方向提供了参考，郭晓娜等[21]运用 GRNN 模型对重庆市城乡人均水生态足迹和人均水资源承载力进行了预测。相较而言，具有自学习功能和自适应功能的 BP 神经网络能够进行更加科学、精确的预测[22,23]，故本文选用 BP 神经网络对水资源生态足迹和承载力进行预测。

综上，本研究在淮河流域 2001～2016 年相关数据的基础上，对淮河流域五省水资源生态足迹及承载力进行测算，并选用相关指标对该地区水资源可持续发展状况、开发程度及潜力、生态系统协调性及整体利用效率进行深入分析，进而用 BP 神经网络对淮河流域 2017～2025 年的人均水资源生态足迹及承载力进行预测，以期为淮河流域水资源可持续发展提供针对性建议。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

淮河流域流经湖北、河南、江苏、安徽和山东 5 省。流域面积约 27 万 km^2，是我国外流区七大水系之一，作为连接东、西部的重要枢纽，其水资源可持续发展情况尤为重要。

该地区耕地面积 1333 万 hm^2，在我国农业生产中占有重要位置;人口 1.78 亿，为我国人口最为密集的流域之一;但人均 GDP 略低于国内生产总值，由此可见还有巨大的发展空间。工业的急速发展，人口的急剧增长和向大城市的集聚，使得该地区对水资源的需求日益增大。

但是，淮河流域属于严重缺水地区，多年平均水资源总量 794 亿 m^3，可利用总量 445 亿 m^3，人均水资源量不到 500m^3，约为全国人均水量的 1/5。与此同时，废污水排放量也在逐年增加，在 2000、2004、2007、2008 和 2010 年等年均发生特大水污染事故。

淮河流域战略地位重要，但经济发展与水资源短缺矛盾突出，可持续发展受到很大影响。因此本研究选择淮河流域作为研究对象，对水资源生态足迹进行深入刻画与分析，以促进水资源可持续发展，进而为其他流域提供借鉴。

1.2 水资源生态足迹计算方法

水资源生态足迹模型参照生态足迹模型的思想建立，将不同账户所消耗的水资源转化成相对应的水资源用地，并进行均衡化处理，以此衡量水资源的可持续利用状况。

本文对水资源利用状况进行细分[24]，水资源生态足迹的计算公式为:

$$EF_w = N \times ef_w = r_w q_w / p_w \qquad (1)$$

式中:EF_w 表示水资源生态足迹(hm^3);N 表示区域总人口;ef_w 表示人均水资源生态足迹(hm^3/人);q_w 表示区域消耗水资源总量(m^3);r_w 表示水资源全球均衡因子，相关研究表明，从水资源生态足迹角度而言，地域的差异性对水资源全球均衡因子并没有特别显著，因此本文采取了 WWF(世界自然基金会)2000 年核算的水资源全球均衡因子 r_w 为 5.19[25];p_w 表示水资源世界平均生产能力(m^3/hm^3)，即为全球多年平均产水模数。综合多项研究结果，水资源全球平均生产能力一般采用 3140m^3/hm^2[26~28]。

1.3 水资源生态承载力计算方法

一个地区要保持生态环境的可持续发展，就需要对水资源的利用率进行限制。研究表明，水资源的利用率超过 60%，将导致生态环境的恶化[29]。所以本文在计算水资源生态承载力时，需要扣除 40%的水资源，用于维持基本的生态自我修复，保护生态环境。在淮河流域统计水资源总量时，分为地下水资源和地表水资源，在实际情况中二者会有重复计算，还应该扣除重复计算的部分。

水资源生态承载力的计算公式:

$$ES_w = N \times es_w = r_w \psi \{(1-0.6)\, Q/P_w\} \qquad (2)$$

式中:ES_w 表示水资源承载力(hm^2);es_w 表示人均水资源承载力;r_w 表示水资源均衡因子;P_w 表示全球水资源平均生产能力(m^3/hm^2);Q 表示水资源总量(m^3);ψ 表示水资源平均产量因子，相同类型的生产性土地，由于区域差异等原因，单位面积产水量也是不同的。同类型的土地也需要一个值作为中介，通过这个值相同类型不同地区的生产性土地可转化成可比面积，这个值就是产量因子。水域作为一种类型的生产性土地，所对应的产量因子就叫水资源产量因子，主要计算公式如下:

$$\psi = \frac{v}{v_g} \qquad (3)$$

式中:ψ 为水资源产量因子;v 为该区域单位面积产水量;v_g 为全球单位面积产水量。

1.4 5 个指标计算方法

本文采取 5 个指标综合分析淮河流域水资源可持续发展状况。

其中:水资源负载指数共有 5 个级别，分别对应了 5 种不同的开发潜力和现状[30]。

1.5 水资源生态足迹及承载力预测模型

本模型选用的是三层 BP 神经网络。

(1)隐含层数的设计

一个三层的 BP 神经网络就基本上可以完成任意从 n 维到 m 维的映射关系，因此本文在设计 BP 神经网络结构时，隐含层设定一层，即设计的 BP 神经网络分为三层，分别是输入层、隐含层和输出层。

(2)输入层和输出层节点数设计

输入层是 2001～2016 年淮河流域的水资源生态足迹和水资源生态承载力，输出层是 2017～2025 年淮河流域的水资源生态足迹和水资源生态承载力。

(3)隐含层节点数设计

BP 神经网络的隐含层的节点数目多少会对 BP 神经网络预测精度有一定的影响，节点数过多，则训练时间会相应增加，网络容易出现过拟合;节点数过少，网络便不能很好的学习，则需要增加训练次数，并且训练的精度也会随之受到影响[31]。一般来说，最佳隐含层节点数的选择没有确定的公式来计算，但是可以参考以下公式:

$$l<n-1 \tag{4}$$

$$l<\sqrt{(m+n)}+a \tag{5}$$

$$l=\log_2^n \tag{6}$$

其中:n 为输入层的节点数目;l 为隐含层的节点数目;m 为输出层的节点数目;a 为(0,10)之间的常数。本文中，预测的输入变量是 16 个，输出变量是 9 个。综合上述公式，可取隐含层数为 6。

(4)初始权值和阈值设计

本文的初始权值和阈值选择的是[-1,1]之间的随机数。

(5)激活函数的选择

本文选择 tanh 函数作为激活函数，具体公式如下:

$$f_{(z)}=\tanh_{(z)}=\frac{e^{z}-e^{-z}}{e^{z}+e^{-z}} \tag{7}$$

(6)BP 运行参数设计

分别设置 BP 神经网络学习速率、训练精度、最大训练次数为 0.00001、0.000001、1000。

1.6 数据来源

关于 5 个指标计算中所需要的流域总人口、总面积、地区生产总值等数据来源于 2001～2016 年《安徽省统计年鉴》、《山东省统计年鉴》、《江苏省统计年鉴》、《湖北省统计年鉴》、《河南省统计年鉴》(http://www.stats.gov.cn/tjsj/);相关水资源总量、降水量等数据均来源于 2001～2016 年《淮河流域水资源公报》、《安徽省水资源公报》、《山东省水资源公报》、《江苏省水资

源公报》、《河南省水资源公报》、《湖北省水资源公报》(http://www.hrc.gov.cn/main/zfxxgkml/index.jhtml?channel_id=48)。

2 结果与分析

2.1 水资源生态足迹及水资源承载力分析

根据上述公式及数据计算得出淮河流域 2001～2016 年水资源生态足迹。在 2001～2016 年，淮河流域水产品消费、淡水资源和废水污染人均生态足迹总体呈上升的趋势，并且三者均在 2007 年达到一个峰值，2008 年以后逐渐呈现一个平稳的态势，结合水资源生态足迹的概念，可知淮河流域消纳和吸收人类活动所需要的水资源生物生产性面积在不断增长。

而淮河流域 2001～2016 年的国内生产总值(GDP)迅速增长，随着淮河流域的经济快速发展、人口逐渐增长使得淮河流域所需要负担的消纳废物和供给用水的责任越来越重;并且淮河流域水量充裕年份的水资源生态承载力明显大于水资源总量较少年份，水资源生态承载力和水资源总量存在着明显的正向线性关系。

淮河流域长时间处于生态赤字，仅 2003、2005 年为生态盈余。这也是因为当年的流域年均降水量丰富，整体水资源较为充足。生态压力指数仅 2003 和 2005 年小于 1,2007 和 2016 年约等于 1，其他时间淮河流域的水资源生态压力均过大。其水资源消耗量一直居高不下，特别是随着经济快速发展，用于水体维持水环境生态和消纳污水排放污染物的生态环境用水需水量越来越大的情况下，水资源生态承载力过于依赖流域内降水。

淮河流域人均万元 GDP 水资源生态足迹处于明显下降的趋势，虽然中间会有回升的趋势，但总体上仍在减少，说明在 2001～2016 年，淮河流域的万元 GDP 水资源利用率明显提高，其原因可能是随着淮河流域的经济快速发展，工业用水结构逐渐得到调整，农业灌溉水平得到提升，污水处理技术日益发展等。

在 2015 和 2016 年两年间，淮河流域的水资源负载指数突破 10，说明了淮河流域现有的水资源开发完成度已经很高，如果对水资源还有进一步需求，则要从外部进行水量补充。淮河流域的水资源利用程度逐渐提高，而开发潜力则恰好相反。在 21 世纪初，淮河流域的水资源开发程度处于中等水平，其开发潜力一般，但尚处于可以继续开发的阶段。随着淮河流域内部经济的快速发展，相关水利工程的兴建，淮河流域的水资源利用效率逐渐提高，开发程度也在提升，其开发潜力就越来越小。

淮河流域的水资源生态协调系数总体上呈现增长的趋势，说明淮河流域的水资源需求量与流域内部的水资源消耗量更加协调，但同时也反映了流域内的水资源逐渐得到了开发利用，但在后期淮河流域的水资源被过度开发。

2.2 5 省水资源生态足迹的时空变化分析

淮河流经湖北、河南、江苏、安徽和山东 5 个省份，为流域内的城市提供了工业、农业和城市生活用水。淮河的水环境是该流域社会、经济发展的重要影响因素，也是 5 个省份发展的重要支撑，故此本文对淮河流域流经的 5 个省份的水资源生态足迹、水资源生态承载力以及 5 个指标进行了分析。

从图 1 中可以看出，对于水资源生态足迹而言，波动较大的是安徽省和江苏省，其他三省的波动相对较小。其中，江苏省人均水资源生态足迹最高，绝多数年份处于 1hm^2/人以上，仅有 2003、2015 和 2016 年处于 1hm^2/人以下，在 2007 年达到峰值 1.195hm^2/人，但总体波动幅度不大。安徽省人均水资源生态足迹最高是 0.816hm^2/人，最低达到 0.377hm^2/人，总体波动幅度较大，特别是在 2015 与 2016 年之间，直接从 0.777hm^2/人降为 0.377hm^2/人，可能是因为安徽省人口在 2016 年剧增 3000 多万。

对于水资源生态承载力而言，上升最为明显的是湖北省和安徽省，湖北省人均水资源生态承载力在 2016 年高达 0.363hm^2/

人，在 2001 年低至 0.151hm²/人，两者相差 0.212hm²/人，且人均水资源承载力平均为 0.239hm²/人。而湖北省水资源总量在 2016 年达至 1498 亿 m³。在 2001 年最低为 596.7m³。这也进一步说明了水资源生态承载力的主要影响因素就是水资源总量，水资源总量多的年份，其生态承载力也高。

2001 到 2016 年，5 个省份水资源生态足迹大于生态承载力，水资源均处于生态赤字状态，这说明区域的水资源不能满足该区域生产生活的需要。而其中江苏省人均生态足迹赤字状况最为严重，人均水资源生态足迹赤字平均为 1.0016hm²;其次是湖北省人均生态足迹赤字最高为 0.6639hm²，最低为 0.4026hm²;最后是河南省与山东省人均生态足迹赤字处于 0.2205～0.4419hm²之间。由此可知，水资源生态赤字/盈余与水资源量密切相关，在区域年降水量丰富、水资源总量相对较高的年份，其水资源生态赤字/盈余情况也相对较好。

研究期内 5 省的人均万元 GDP 水资源生态足迹总体均处于逐渐下降的趋势，人均万元 GDP 水资源生态足迹的大小直观的反映了水资源的利用效率，数值越小代表利用效率越高，这说明五省份水资源利用效率逐渐提高。而从图中可以看出山东省水资源的利用效率相对较好，人均万元 GDP 水资源生态足迹在 2001 年达到 0.4097hm²，在 2016 年达到 0.0515hm²，相差 0.3582hm²，万元 GDP 水资源利用率在逐渐得到改善，其原因可能是经济的快速发展，工业用水结构的调整。

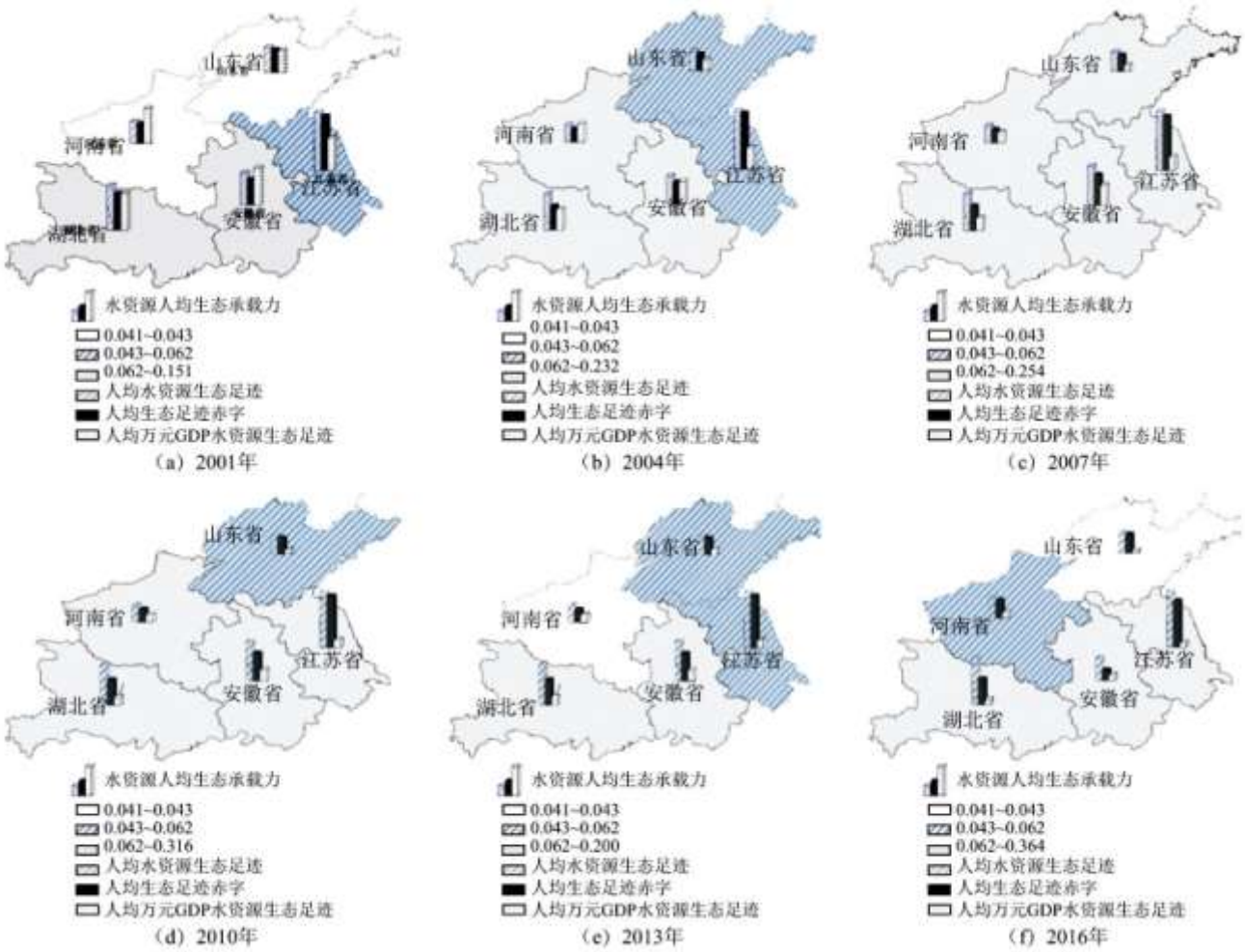

图 15 个省份时空分析图

从图 2 中可以看出，在 2001 年到 2016 年，5 省生态压力指数均大于 1，其中，生态压力指数最大的是江苏省，总体属于先上升后下降的趋势，在 2004 年高达 25.767，在 2016 年达到 6.1117，平均生态压力指数为 13.4987;相对生态压力指数较小的是安徽省，在 2016 年高达 2.2493，在 2013 年达到 1.2270，平均生态压力指数为 1.3830。生态压力指数大于 1，说明该区域水资源生态承载力小于水资源生态足迹，水资源生态压力过大。

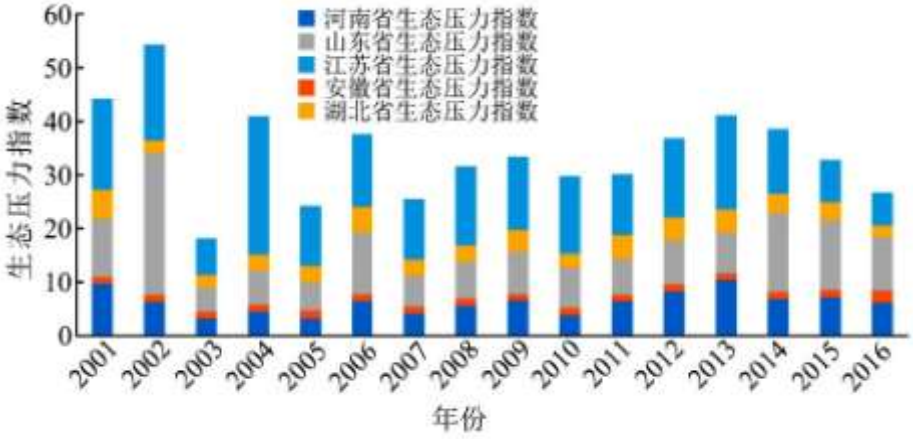

图 2 2001～2016 年各省水资源生态压力指数时空分析图

利用水资源负载指数可以进一步讨论水资源的开发程度和利用潜力，从图 3 中可以看出江苏省水资源负载指数大部分位于 5～10 之间，有部分年份超过 10，极少年份处于 2～5 之间，这说明江苏省水资源开发程度较高、潜力小，开发条件困难，如果对水资源有进一步的需求，则需要从外部进行水量补充;安徽省和湖北省水资源负载指数大部分位于 2～5 之间，极少年份超过 5 或低于 10;河南省和山东省水资源负载指数大部分处于 2 以下，这说明其他 4 省水资源开发程度较低、潜力大，相对而言易于开发。

2001～2016 年，5 个省份水资源生态足迹大于水资源生态承载力，其中湖北省、安徽省、河南省、山东省和江苏省平均水资源生态协调系数分别为 1.249、1.217、1.160、1.115 和 1.075。安徽省的水资源生态协调系数总体处于缓慢上升的趋势，其他 4 省均处于略微下降的趋势，说明安徽省水资源需求量与内部水资源消耗量更加协调，应加大对水资源发展的关注力度，严格控制水资源取用水总量，以防水资源被过度开发，出现不可持续的状态。

2.3 淮河流域水资源可持续发展趋势预测

本文中选用 BP 神经网络，对淮河流域未来的水资源可持续发展趋势进行预测。

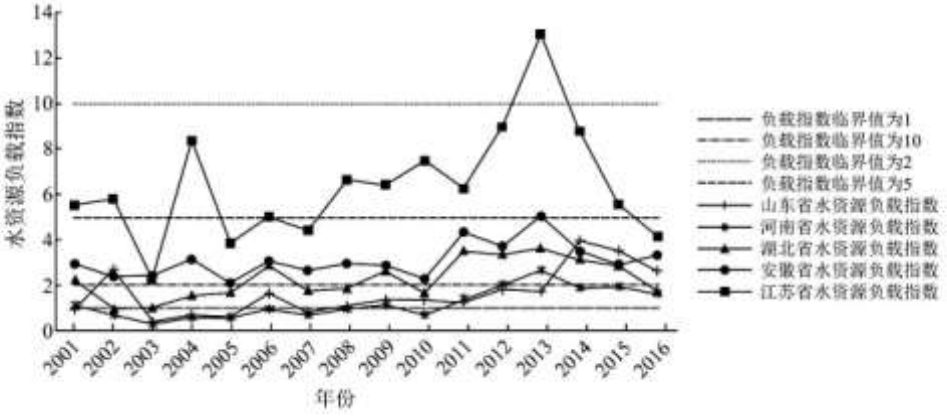

图 3 2001～2016 年各省水资源负载指数时空分析图(注:负载指数越高，水资源开发程度越高)

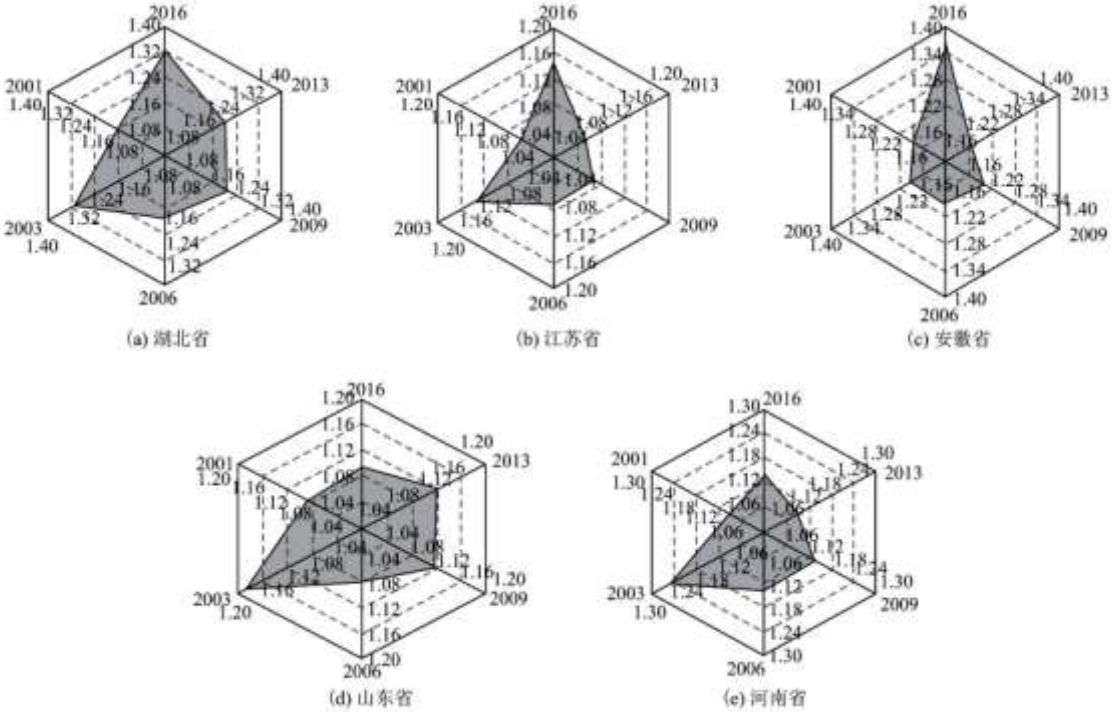

图 4 各省水资源生态协调系数时空分析图

可以看出，在 2017 到 2025 年淮河流域水资源生态足迹和水资源生态承载力均处于稳步上升的趋势，这说明，随着淮河流域经济的快速增长，淮河流域需要承担消纳的废物和供水的任务越来越重。淮河流域生态赤字/盈余在 2017～2019 年小于 0,2020～2025 年大于 0，这说明淮河流域水资源在前 3 年处于生态盈余状态，该区域水资源可以保证良好的生态环境，也可以满足生产生活的需要。

在后六年处于生态赤字状态;在 2017 到 2019 年，水资源压力指数小于 1，这说明水资源生态承载力大于水资源生态足迹，水资源开发利用处于较安全状态，2020 年，水资源生态压力指数接近于 1，这说明流域水资源供需较平衡，水资源安全处于临界状态，而从 2021 到 2025 年，生态压力指数明显大于 1，且处于逐渐上升的趋势，这说明水资源开发利用处于不可持续状态。

在前 3 年，水资源生态足迹小于水资源生态承载力，且水资源生态协调系数接近 1.414，这说明此时淮河流域生态协调性高，水资源的利用较为充分，但在后 6 年，水资源生态足迹大于水资源生态承载力且水资源生态协调系数接近 1.414，这说明淮河流域水资源消耗大于水资源供给，水资源被过度开发;水资源负载指数大部分处于 5～10 之间，某些年份甚至大于 10，且呈现逐渐上升的趋势，这说明淮河流域水资源开发程度较高，开发潜力一般;万元 GDP 水资源利用率较低，水资源处于不可持续发展或弱可持续状态。

3 讨论

(1)根据计算结果，淮河流域水资源生态足迹从 0.464hm^2/人增加到 0.582hm^2/人，呈现上升的趋势，并且淡水资源生态足迹占水资源生态足迹的比重最大，对总人均生态足迹的影响具有决定性的影响。而水资源承载力从 0.281hm^2/人上升到 0.587hm^2/人，增长幅度略大于水资源生态足迹。

但整体而言，淮河流域仅 2003、2005、2007 和 2016 年处于生态盈余，这对该区域的可持续发展存在极大的威胁，若按照目前的发展状况，随着农业、工业和生活用水的不断增加，水资源生态赤字可能还会进一步增加，淮河流域水安全会受到更大的威胁，合理有效利用水资源成为了淮河流域可持续发展的必经之路。

流域的水问题大多是经济发展与可持续发展之间矛盾。水生态足迹模型是用来评价区域水资源可持续利用的重要工具。而水资源承载力能力则是水安全的基本度量，其大小是决定社会经济发展速度和规模的条件之一。淮河流域在 2001 到 2016 年总人口从 16240.8 万人增长至 17624.8 万人，人均 GDP 从 7100 元增加至 16000 元，人口和经济的迅速增长带来了对水资源的大量需求。

而淡水生态足迹在淮河流域占绝对优势，其次是废水生态足迹。根据水资源生态足迹的含义，社会发展对水资源的需求量越大，人均水资源生态足迹就越高，所需负担的消纳废物和供给用水的责任就越大。故在淮河流域应当适量减少农业、工业生产，特别是减少耗水量较多的农作物种植，提高农业用水经济效率，做到以水定产，同时需要重视水污染情况，尽量使用清洁能源，避免加重水污染现状。

(2)从 5 个省份时空分析来看，水资源生态足迹西南向东北方向递增，水资源承载力由西南向东北方向递减，绝大部分地区基本能支撑各自水资源消费水平，总体来说，淮河流域西南部地区水资源生态安全程度较高，水资源利用效率各省根据存在着不同程度的提高。

位于淮河流域东北方向的江苏省，水资源生态足迹明显高于其他四省，但其水资源生态承载力较低，水资源生态足迹长期处于赤字状况，生态压力指数均大于 1，水资源开发利用处于不可持续状态，生态压力过大。

并且在 2001 到 2016 年，江苏省人口从 7359 万增长至 7999 万人，人均 GDP 从 12882 元增至 96887 元，随着人口、经济的快速增长，江苏省水资源供需给之间的矛盾越来越大，水安全受到更大威胁。

但就五省份整体而言，水问题依旧是制约经济发展的关键因素。五省份关于水资源的管理可以效仿借鉴浙江省“五水共治”，从治污水、防洪水、排涝水、保供水和抓节水出发，根据各省份的水资源特点现状提出新的治水、管水政策。

4 建议

国家“十三五”规划强调“实行最严格的水资源管理制度，以水定产，以水定城，建设节水型社会”。水资源可持续的问题已经成为了焦点。对于淮河流域水资源现状，主要提出了以下几点建议:

(1)合理用水规划，优化用水结构。淮河流域的水资源生态承载力主要依靠其本身的水资源拥有量，而流域内部的降水量每年都在变化，无法准确预估，需要提前规划。2016 年淮河流域地表水资源量 452.67 亿 m^3，淮河流域地表水资源量约为地下水资源量的 2.3 倍，应优先开发利用地表水，淮河流域地下水资源较为丰富，具有开发便捷、供水可靠等优点，适宜作为枯水期调节水源和特殊干旱期应急水源。合理开发利用地下水还可以降低地下水位，防止土壤次生盐碱化。

同时为了实现淮河流域水资源可持续发展，还应该采取优化用水结构的措施。在农业方面，淮河流域农业用水比例每年都在 70%以上，农田灌溉用水比例在 90%以上，节约灌溉用水的措施是关键，主要采用管道输水，喷滴灌等。在工业方面，淮河流域工业用水仅次于农业用水，节约用水的措施主要有推进循环用水和再生水重复利用，推广节水、高效、低耗、低排放的新设备、新工艺、新材料等。

(2)加强水资源开发利用控制红线管理，严格实行用取水总量控制。淮河流域是一个人口密度大、资源禀赋丰富的流域，水资源用取水的控制管理不容小觑。对此，合理分水，管住用水，以水定需，量水而行。根据水资源总量、水资源承载能力来确定水资源的需求量，严格控制流域和区域取用水总量，进一步探索以生态优先、绿色发展为导向的新发展路子。对于达到或超过用水总量的情况进行水资源需求是否合理的论证，从规划决策的源头落实控制红线管理。

(3)淮河流域及 5 省份的未来发展需要符合我国整体发展的大方向，近年来，我国坚持人与自然和谐共生的基本方略，践行绿水青山就是金山银山的发展理念，要考虑生态环境与经济发展齐头并进。截止 2016 年，淮河流域劣Ⅴ类水河长 3607.60km，占比 17.5%，流域内水资源的生态问题是一个很大的挑战。

2015 年出台的《水污染防治行动计划》中提出:“以改善水环境质量为核心，按照“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”原则，贯彻“安全、清洁、健康”方针，强化源头控制，水陆统筹、河海兼顾，对江河湖海实施分流域、分区域、分阶段科学治理，系统推进水污染防治、水生态保护和水资源管理。”对此，需要加强对污染源头的控制，对于工业污水的排放，制定更加严格的政策，实施达标排放许可制度，大力研究运用清洁能源，严格保护水源水质。

参考文献：

[1]谭炳卿，吴培任，宋国君．论淮河流域水污染及其防治[J]．水资源保护，2005,21(6):8-14.

[2]张文锦．淮河流域生态环境可持续发展思考[J]．环境保护，2011,39(4):41-42.

[3]前川孝昭，宋豫秦，程必定，等．淮河流域可持续发展研究的重点问题[J]．中国人口·资源与环境，2002(4):79-82.

[4]向东，凌江，黄小赠．淮河流域水污染防治工作的现状和几点建议[J]．环境保护，2005(6):54-56.

[5]金昌盛，邓仁健，刘俞希，等.长江经济带水资源生态足迹时空分析及预测[J].水资源与水工程学报，2018,29(4):59-66.

[7]吴丹．流域水利发展水平评价方法研究——以淮河流域为例[J]．资源科学，2016,38(7):1323-1335.

[8]童国平，陈岩．淮河流域水环境-社会-经济系统协调发展研究[J]．资源开发与市场，2018,34 (8):1086-1092.

[9]孙天华，李贵宝，傅桦，等．水环境标准与水资源的可持续发展[J]．水资源保护，2006(1):53-56.

[11]刘子刚，郑瑜．基于生态足迹法的区域水生态承载力研究——以浙江省湖州市为例[J]．资源科学，2011,33(6):1083-

1088.

[12]邢清枝，任志远，王丽霞，等.基于生态足迹法的陕北地区水资源可持续利用评价[J].干旱区研究，2009,26(6):793-798.

[13]王文国，何明雄，潘科，等.四川省水资源生态足迹与生态承载力的时空分析[J].自然资源学报，2011,26(9):1555-1565.

[14]张军，张仁陟，周冬梅．基于生态足迹法的疏勒河流域水资源承载力评价[J]．草业学报，2012,21(4):267-274.

[15]张倩，谢世友．基于水生态足迹模型的重庆市水资源可持续利用分析与评价[J]．灌溉排水学报，2019,38(2):93-100.

[16]董朝阳，伍磊，童亿勤．生态足迹视角下的宁波市水资源可持续利用评价[J]．农业现代化研究，2014,35(3):349-352.

[17]张义，张合平，李丰生，等．基于改进模型的广西水资源生态足迹动态分析[J]．资源科学，2013,35(8):1601-1610.

[18]王刚毅，刘杰．基于改进水生态足迹的水资源环境与经济发展协调性评价——以中原城市群为例[J]．长江流域资源与环境，2019,28(1):80-90.

[19]郭荣中，申海建，杨敏华.基于灰色模型的长沙市生态足迹与生态承载力预测分析[J].水土保持研究，2015,22(4):195-200.

[20]张振龙，孙慧，苏洋．新疆干旱区水资源生态足迹与承载力的动态特征与预测[J]．环境科学研究，2017,30(12):1880-1888.

[21]郭晓娜，苏维词，杨振华，等．城乡统筹背景下重庆市水生态足迹分析及预测[J]．灌溉排水学报，2017,36(2):69-75.

[22]卯光宪，谭伟，柴宗政，等．基于BP神经网络的马尾松人工林胸径-树高模型预测[J]．浙江农林大学学报，2020:1-9.

[23]曹洁，沈钧珥，张红，等．优化的BP神经网络短时交通流预测方法[J]．传感器与微系统，2020,39(5):58-60.

[24]黄林楠，张伟新，姜翠玲，等．水资源生态足迹计算方法[J]．生态学报，2008(3):1279-1286.

[25]张义．基于生态系统服务的水生态足迹初步研究[J]．长江流域资源与环境，2013,22(4):502-508.

[26]于冰，徐琳瑜．城市水生态系统可持续发展评价——以大连市为例[J]．资源科学，2014,36(12):2578-2583.

[27]郭慧，董士伟，吴迪，等.基于生态系统服务价值的生态足迹模型均衡因子及产量因子测算[J].生态学报，2020,40(4):1405-1412.

[28]张智雄，孙才志．中国人均灰水生态足迹变化驱动效应测度及时空分异[J]．生态学报，2018,38(13):4596-4608.

[29]马琼，苏美玲．基于生态足迹的塔里木盆地人口与水土资源协调发展研究[J]．干旱区资源与环境，2014,28(3):31-36.

[30]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(5):689-699.

[31]瞿英,王冕,董文旭,等.基于BP神经网络的农田大气氨浓度预测[J].中国生态农业学报(中英文),2019,27(4):519-528.