

城镇化进程中的江苏水资源承载力研究

—基于组合赋权和升 Γ 半型分布函数

马海良^{1, 2, 1} 施陈玲¹ 王 蕾¹

(1. 河海大学低碳经济研究所, 江苏常州 213022;

2. 江苏省“世界水谷”与水生态文明协同创新中心, 江苏南京 211100)

【摘要】：水资源承载力评价是把水资源利用和生态环境问题综合考虑的一种研究手段，其结果可以用来清晰判断一个区域经济社会的发展潜力。在层次分析法和变异系数法组合赋权的基础上，运用基于 PSO 优化的升半 Γ 型分布指数，对 2003~2013 年江苏省的水资源承载力进行评估。结果表明，太湖蓝藻事件爆发是促进江苏水资源承载力提高的重要转折点，2003~2008 年江苏水资源承载力处于 II 级承载力水平，均值为 0.414，2009 年起提升至 III 级水平，此后承载力水平虽略有波动，但始终处于 III 级的最高状态。对比江苏城镇化进程，认为注重两型社会和生态文明建设的城镇化进程可以较大幅度提升水资源的承载力。据此，提出通过供给侧改革转变经济发展模式、全员参与推进节水型社会建设以及统筹协调加强太湖流域管理等对策。

【关键词】：江苏；水资源承载力；组合赋权；升半 Γ 型分布函数

【中图分类号】：F062.1 **【文献标识码】**：A **【文章编号】**：1004-8227(2016)11-1697-07

DOI:10.11870/cjlyzyyhj201611008

纵观人类的发展史，水资源往往在人类社会的兴衰存亡历程中扮演着至关重要的角色。在现代社会，人类生活逐渐趋向以城市为中心，全面提高城镇化率成为人类社会的重要发展目标。然而，在城镇化发展的进程中，经济发展对水资源的负面效应

¹ 收稿日期：2016-02-23；修回日期：2016-05-14

基金项目：国家自然科学基金项目：绿色水资源利用效率的空间异质性及其与新型城镇化的耦合（41301620）[Natural science Foundation of China : the Coupling of Spatial Heterogeneity of Green Water Resources Utilization Efficiency and New Urbanization (41301620)]；国家自然科学基金项目：社会网络关系嵌入下小型农田水利农户参与供给研究（41501126）[Natural science Foundation of China : Research on the supply of small Water Conservancy Farmers Participation Under the social Network Relationship (41301620)]；中央高校业务基金项目：海绵城市建设的水资源安全保障研究（2016B09714）[Fundamental Research Fund for the central University : water Resources Security of sponge Urban Construction (2016B09714)]

作者简介：马海良（1979~），男，博士，副教授，主要研究方向为水资源经济与环境规制。E-mail:hihma@vip.sina.com

也日益凸显,城镇化发展与水资源保护之间的矛盾激化,成为制约可持续发展的重要因素之一。通过什么手段来保障城镇化过程中的水资源问题,对经济增长和社会发展具有重要意义^[1]。水资源承载力为在某一时期和某一区域(水域)内,所能维持的人口最大数量及对人类经济社会活动可持续发展的最大支撑能力,且这种能力可以体现为一个随经济社会、科学技术发展而变化的综合指标^[2,3]。因此,对区域水资源承载力的正确评估和研究,可以实现有效利用自然资源推进城镇化进程、从而实现水资源环境和城镇化的可持续发展。

自 20 世纪 90 年代水资源承载力概念提出至今,水资源承载力一直受到国内外学者的广泛关注,并已取得较大的研究进展。在国外,水资源承载力主要在一些可持续发展会议或环境专题研讨会中被加以讨论,而专门针对特定区域评估其水资源承载力的研究较少。相关的研究主要有美国陆军工程兵团和佛罗里达州社会事务所共同委托 URS 公司(1999)对佛罗里达 Keys 流域的承载力进行研究^[4];Reess^[5]基于城市规划和发展角度,从城市供水量方面研究了水环境的承载力;Duarte 等^[6]通过运用数学模型分析了沿海水域的承载能力对生物的影响。而我国由于经济快速发展导致水资源在较短时间内急剧恶化,引起了政府层面和理论研究层面较多的重视,因此研究手段和研究成果相对更为丰富。如刘树锋等通过构建基于神经网络的水资源承载力耦合模型,评估了惠州市的水资源承载力状况^[7];许朗等^[8]基于主成分分析,从时间和空间两个维度对江苏水资源承载力进行了分析比较;另外,很多学者从不同的视角对水资源的环境进行了分析。王金南等^[9]从预警分析的角度,运用压力-状态-响应(PSR)结构模型对长江三角洲(长三角)16 个城市水环境承载力进行分析等;刘瑶等^[10]从土地利用变化对水环境的影响切入,利用 3S 技术,通过 SWAT 模型定量分析了昌江流域的水环境污染负荷;焦雯裙等^[11]以水生态系统的供给能力为视角,探讨了在考虑或不考虑水质标准与环境功能分类的情况下,如何利用求并集法进行基于 ESEF 的水生态承载力评估。从目前文献来看,尽管有较多学者研究了水资源的承载力,但较少从城镇化角度来分析经济发展水平对水资源承载力的影响。江苏省作为全国经济最为发达、城镇化发展最为迅速的地区之一,强烈的经济社会发展需求必将对水环境造成越来越大的压力,同时也对水环境承载能力提出更高的要求。因此,本文基于城镇化视角,考虑经济发展对水资源承载力的影响,并采用较新颖的升半 Γ 型分布函数方法,以江苏为研究样本,希望通过研究为缓解城镇化系统和水资源系统之间的矛盾提供理论支持。

1 研究材料和方法

1.1 研究区域

江苏省位于我国东部沿海,长江、淮河下游,与山东、安徽、上海、浙江各省市毗邻,地跨东经 $116^{\circ} 18' \sim 121^{\circ} 57'$, 北纬 $30^{\circ} 45' \sim 35^{\circ} 20'$, 年平均气温为 $13 \sim 16^{\circ}\text{C}$, 年平均降水量为 $782 \sim 1150\text{mm}$ 。江苏境内水网密布,既有长江、淮河、太湖等主要江河湖泊,又有京杭大运河、通扬运河等多条人工运河。天然河流与人工河道交错,汇聚了大量的淡水资源。此外,亚热带向暖温带过渡的气候与独特的地理位置相结合,使得其水资源呈现出本地水资源量不足,过境水资源量丰沛;降水量大,产水率低;降水时空分布不均等特点^[12]。江苏省自古以来就是中国的经济中心之一。近年来,江苏 GDP 总量和人均 GDP 多年稳居全国前列,城镇化率则自 2010 年起便已达到 60% 以上。然而,城镇化快速发展所带来的水资源问题也日益显著。在发展速度类似的长江三角洲地区,2000~2011 年间,江苏省的万元 GDP 用水量的年平均值为 $176.57\text{m}^3/\text{万元}$,远高于上海和浙江,分别是上海和浙江的 2.01 倍和 1.86 倍,面临较大的水资源压力^[13]。此外,随着 2013 年江苏水生态文明城市建设试点的全面推进以及江苏省生态文明建设规划等一系列政策的出台,对水资源利用进行科学评估、从而保证城镇化的良性可持续发展,最终更好更快地实现江苏“两个率先”的使命显得尤为重要。

1.2 研究方法

1.2.1 组合赋权方法

层次分析法和变异系数法都是使用较为广泛的确定权重的方法。层次分析法是在评价者对不同因素进行重要性的两两互比的基础上,通过构建判断矩阵计算得到权重的方法。其重要程度的确定较大程度上依赖于主观判断。变异系数法则是直接利用

已获得的指标数据，通过计算变异系数进而求得权重值，是一种较为客观的赋权方法。采用层次分析法与变异系数法综合的组合赋权方式，主观赋权与客观赋权相结合，可以提高权重分配的科学性和合理性。

采用层次分析法确定权重是通过分析复杂问题所包含的因素及其相互关系，将问题分解为不同的要素，并将这些要素归并为不同的层次，从而形成多层次结构，在每一层次可按某一规定准则对该层元素进行逐对比较，建立判断矩阵，通过计算判断矩阵的最大特征值及对应的正交化特征向量，并进行一致性检验，得出该层要素对于准则的权重^[14]。由于其在权重分配中被广泛运用，此处就不列出具体的公式。

采用变异系数法对已知的指标数据进行权重确定。由于评价指标体系中的各个指标的量纲存在差异，难以对其直接进行比较，首先需要计算各个指标的变异系数，其公式如下：

$$V_i = \frac{\sigma_i}{\bar{x}_i} \quad (1)$$

式中： V_i 为第 i 项指标的变异系数； σ 指标的标准差； $\bar{x}_i$ 为第 i 项指标的平均数；指标的权重为：

$$W_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (2)$$

设采用层次分析法得到的第 i 个指标的权重为 W_{i1} ，采用变异系数法得到的第 i 个指标的权重为 W_{i2} ，则第 i 个指标的组合赋权权重的计算公式为：

$$W_i = \frac{W_{i1} W_{i2}}{\sum_{i=1}^n W_{i1} W_{i2}} \quad (3)$$

1.2.2 升半 Γ 型分布函数

各水资源指标数值与其对综合承载力的影响并不是线性关系。当指标值低于 I 级时，对综合承载力的影响很小，可忽略不计；当指标值大于 I 级且小于 III 级时，对综合承载力的影响随指标值的增大而增大；当指标值趋于 III 级时，对综合承载力的影响又逐渐减小，趋于饱和（图 1）。因此，采用升半 Γ 型分布指数公式能更准确地反映二者之间的关系，其具体公式如（4）所示。

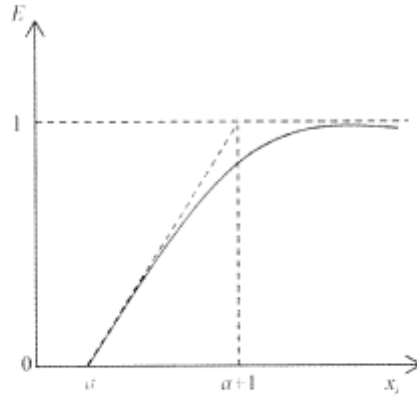


图 1 升半Γ型分布曲线

Fig.1 Curve of Half Liter of Γ Distribution Function

$$E_i = \begin{cases} 0 & 0 \leq x_i \leq a \\ 1 - e^{-k(x_i-a)} & x_i > a \end{cases} \quad (4)$$

式中： E_i 为第 i 个指标的承载度， x_i 为规范化处理后的水资源承载力指标值， a, k 为参数，可优化确定。采用粒子群算法对 a, k 进行优化，得到优化后的 $k=0.6827, a=0$ ，具体见公式（5）。改进后的升半 Γ 型分布指数公式和对评价指标体系的规范化处理，可以消除评价指标数目多少的限制和区域性评价指标各异性的限制，可以直接应用于水资源承载力的综合评价，且易于编程计算和理解，具有较强实用性和普适性^[14]。

$$E_i = \begin{cases} 0 & x_i \leq 0 \\ 1 - e^{-0.6827x_i} & x_i > 0 \end{cases} \quad (5)$$

则水资源中和承载力为：

$$E = \sum_{i=1}^n E_i \cdot W_i \quad (6)$$

式中： W_i 为各水资源承载力评价指标的标准化后的综合权重。

1.3 指标体系和数据来源

水资源承载力的影响因素来源于多个方面，需要从不同角度、不同层面选取评价指标来对其进行较为客观的评估。水资源本身的水资源总量、水质情况，对水资源承载能力的大小有着直接的影响。同时，水资源承载力的大小与经济社会的发展程度存在着密不可分的关系。充分的水资源量和较高的水体纳污能力能更好地促进经济社会发展^[15]，同时随着城镇化和经济社会的发展，资源必然被要求集约化和低碳化使用，产业结构的转变和消费方式的转变又间接提高了水资源的承载力。因此，水资源承载力评价指标体系的构建不仅要考虑水资源本身的因素，还要将经济社会发展情况纳入其中。综合各类影响因素，结合相关指标数据的科学性、可操作性，从水资源总量、水资源质量和经济社会发展这 3 个方面共选取了 15 项指标建立了水资源承载力评价指标体系，如图 2 所示。其中，水资源总量选取了年入境水量、年平均降雨量、人均水资源量、地均水资源量和产水系数这 5 项指标；水资源质量主要衡量水资源利用和污染情况，选取了万元工业产值氨氮排放量、万元工业产值 COD 排放量、工业

废水排放达标率、耗水率和水功能区水质达标率这 5 项指标。这里万元工业产值氨氮排放量、万元工业产值 COD 排放量等指标可以较好反映太湖区域的蓝藻治理情况。社会经济发展方面除了选取城镇化率、城镇居民恩格尔系数、人均 GDP 和第三产业产值占 GDP 比重指标衡量经济发展和人民生活水平提高的状况，还选取了城镇人均生活用水量来衡量区域节水情况，符合节水型社会发展的要求。

在运用升半 Γ 型分布指数公式进行评价时，由于各指标量纲不一致，难以进行比较和处理，因此按照汪嘉杨^[16]的思路，通过为每一个评价指标设定一个既定的“参考值” Z_{i0} ，通过公式将各个评价指标值和每一类指标的 I 级和 II 级核算标准分别进行规范化处理，使得处理后的各级核算标准大小相近，因而各个指标可视为统一的规范指标的规范值，可以消除指标个数的影响。其中，对于指标数值越大效果越差的逆向指标，采取公式(7)中的前 3 种处理方式；对于指标数值越大效果越好的正向指标，采取公式(7)中的后两种处理方式，最后通过公式(8)进行处理。

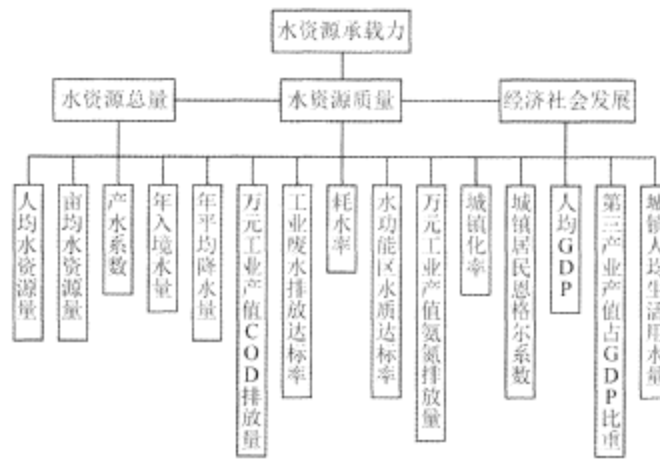


图2 水资源承载力评价指标体系

Fig.2 Evaluation Index System of Water Environmental Carrying Capacity

$$x'_i = \begin{cases} z_{i0}/z_i & \text{指标7, 10} \\ \sqrt{z_{i0}/z_i} & \text{指标5} \\ (z_{i0}/z_i)^2 & \text{指标3} \\ z_i/z_{i0} & \text{指标1, 2, 6} \\ (z_i/z_{i0})^2 & \text{指标4, 8, 9, 12} \end{cases} \quad (7)$$

$$x_i = \frac{1}{5} \ln x'_i \quad (8)$$

如果没有特别说明，所有原始数据来源于《江苏省统计年鉴》（2003~2013 年）和《江苏水资源公报》等相关资料。

2 结果与分析

2.1 组合权重的计算

根据各指标之间的相对重要性，构造判断矩阵，得到使用层次分析法确定的各指标权重值，结果如表 1 中 W_{i1} 所示。根据公式（1）和（2），采用变异系数法计算各项指标的权重，结果见表 1 中 W_{i2} 所示。将层次分析法和变异系数法得到的指标权重值代入公式（3），计算得到最终的各项水资源承载力评价指标的组合赋权值域，如表 1 所示。

表 1 组合赋权确定的水资源承载力评价指标权重分配

Tab.1 Weight Distribution of Water Resource Carrying Capacity by Combination of Empowerment

一级指标	二级指标	层次分析法的权重(W_{i1})	变异系数法的权重(W_{i2})	综合权重(W_i)
水资源总量	人均水资源量(m^3 /人)	0.110	0.078	0.109
	地均水资源量(m^3/hm^2)	0.032	0.094	0.038
	年入境水量($亿m^3$)	0.089	0.050	0.056
	产水系数	0.044	0.057	0.032
	年平均降雨量(mm)	0.059	0.043	0.032
水资源质量	万元工业产值氨氮排放量(kg/万元)	0.086	0.138	0.150
	万元工业产值COD排放量(kg/万元)	0.104	0.155	0.204
	工业废水排放达标率(%)	0.049	0.002	0.002
	耗水率(%)	0.046	0.026	0.015
	水功能区水质达标率(%)	0.048	0.108	0.065
经济社会发展	城镇化率(%)	0.092	0.038	0.044
	城镇居民恩格尔系数(%)	0.056	0.014	0.010
	人均GDP(元)	0.111	0.160	0.226
	第三产业产值占GDP比重(%)	0.032	0.030	0.012
	城镇人均生活用水量(L/d)	0.042	0.009	0.005

2.2 评价指标的核算标准

在查询《全国人民小康生活水平的基本标准》、《国家级生态县、生态市、生态省建设指标》、《全国水生态文明城市评价指标体系》（试行）、《江苏基本实现现代化指标体系（试行）》等文件以及其他专家的现有研究成果的基础上，综合近年江苏的社会和经济发展实况，并咨询相关专家的建议，最终确定了各项评价指标的 I 级、II 级和 III 级的核算标准。具体如表 2 所示。另外还需注意的是，表 2 中的参考值并不是分级的分界点，而是如公式（7）所表明的一個类比标准，其作用使各指标经过转换后形成差异很小的规范值。

表 2 水资源承载力评价指标核算标准及参考值

Tab.2 Accounting Standards and Reference Values of Water Resource Carrying Capacity Evaluation

序号	指标	I (低)	II (中)	III (高)	参考值 z_0
1	人均水资源量(m^3 /人)	≤ 500	500~1 700	$\geq 1 700$	150
2	地均水资源量(m^3/hm^2)	$\leq 11 994$	11 994~29 985	$\geq 29 985$	3 748
3	年入境水量($亿m^3$)	$\leq 2 000$	2 000~4 000	$\geq 4 000$	1 300
4	产水系数	≤ 0.33	0.33~0.6	≥ 0.6	0.18
5	年平均降雨量(mm)	≤ 400	400~800	≥ 800	231
6	万元工业产值氨氮排放量(kg/万元)	≥ 0.2	0.03~0.2	≤ 0.03	2.5
7	万元工业产值COD排放量(kg/万元)	≥ 3.5	0.5~3.5	≤ 0.5	41
8	工业废水排放达标率(%)	$\leq 30\%$	30%~95%	95%	10%
9	耗水率(%)	$\geq 60\%$	20%~60%	$\leq 20\%$	200%
10	水功能区水质达标率(%)	$\leq 60\%$	60%~90%	$\geq 90\%$	31%
11	城镇化率(%)	$\leq 30\%$	30%~55%	$\geq 55\%$	17%
12	城镇居民恩格尔系数(%)	$\geq 50\%$	20%~50%	$\leq 20\%$	170%
13	人均GDP(元)	$\leq 1 000$	1 000~3 000	$\geq 3 000$	300
14	第三产业产值占GDP比重(%)	$\leq 30\%$	30%~60%	60%	18%
15	城镇人均生活用水量(L/d)	≥ 180	120~180	≤ 120	355

2.3 江苏水资源承载力计算分析

将水资源承载力评价指标核算标准中的相关数据依次代入式（7）、（8）、（5）、（6）中，计算得到水资源承载力分级评价标准： $EI=0.241$, $EII=0.455$, 即 I 级（低级） $\in (0, 0.241]$, II 级（中级） $\in (0.241, 0.455]$, III 级（高级） $\in (0.455, 1]$ 。同理，将 2003~2013 年《江苏省统计年鉴》和《江苏水资源公报》中查询到的相关数据分别代入式（7）、（8）、（5）、（6）中，得到 2003~2013 年江苏省水资源承载力值（表 5）以及其发展趋势折线图（图 3）。

从表 5 和图 3 中可以发现，2003 年至 2013 年江苏省的水资源承载力经历了小幅波动增长的发展阶段，由 2003 年的 0.396 逐渐增长至 2013 年的 0.461，并保持在 III 级的高水平的稳定阶段。2003 年至 2008 年，江苏水资源承载力处于 II 级，2009 年起提升至 III 级水平，此后承载力水平虽略有波动，但始终处于 III 级的最高状态。显然，2007 年太湖蓝藻事件是江苏水资源承载力转变的一个重要因素。2007 年蓝藻事件给政府部门和社会公众极大的震惊，开始采取严厉的措施对水污染进行治理并加强对水资源的管理。在这过程中，制定下发了许多重要政策文件，如 2008 年分别出台了《江苏省地表水（环境）功能区划》、《江苏省地表水（环境）功能区纳污能力和限制排污总量意见》等，为更科学、高效地治理区域水问题、改善水质提供了更多指导。同时，实施了一批重要的水利工程项目，如 2014 年《江苏省水资源管理信息系统一期工程》项目顺利启用，水资源管理信息化进程大幅度提高，确保了河湖管理的科学性和实时性，搭起河湖健康生态的信息保护平台；同时节水型社会建设试点工作全面开展，节水减污在企业、社区、高校中取得明显成效等^[12]。同时，水功能区水质达标率指标和万元工业产值 COD 排放量指标提升明显，分别由 2003 年的 30.23% 和 1.98kg / 万元提高到 2013 年的 56.1% 和 0.63kg / 万元，对比江苏城镇化进程，可以认为江苏通过两型社会和生态文明建设，较大幅度提升了水资源的承载力。

表 3 2003~2013 年江苏省水资源承载力

Tab.3 Water Resource Carrying Capacity of Jiangsu Province from 2003 to 2013

年份	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
水资源承载力	0.396	0.384	0.409	0.411	0.439	0.446	0.468	0.484	0.466	0.471	0.461
所属级别	II	II	II	II	II	II	III	III	III	III	III

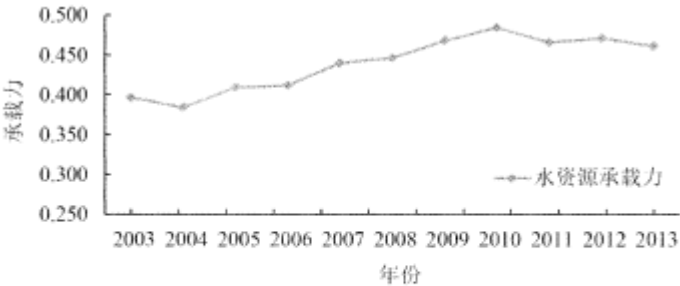


图 3 2003~2013 年江苏省水资源承载力趋势图

Fig.3 Trend of Water Resource Carrying Capacity of Jiangsu Province from 2003 to 2013

3 结论及建议

3.1 结论

在层次分析法和变异系数法组合赋权的基础上，运用基于 PSO 优化的升半 Γ 型分布指数公式，对 2003~2013 年江苏省的水资源承载力进行评估。结果表明，2003~2013 年江苏省的水资源承载力经历了小幅波动增长的发展阶段，2003~2008 年处于 II 级（中级）承载力水平，2009 年起提升至 III 级（高级）承载力水平，并随后保持在 III 级的较高水平的稳定阶段。2007 年的

太湖蓝藻事件对江苏提升水资源的综合管理水平提供了一个重要契机，在随后的城镇化过程中，江苏通过“资源节约型、环境友好型”社会和生态文明建设，大大提升了水资源的承载力。

3.2 建议

从总体水平看，尽管自 2003 年以来，江苏省的水资源承载力得到小幅度提升，并且目前已经处于 III 级的较高水平，且仍有较大的改善需求和空间。此外，区域水污染情况仍不稳定，水资源承载力自 2010 年以来已出现波动下降的趋势，因此仍然需要高度重视对水资源的综合治理。从各项评价指标来看，水资源质量和社会经济发展的相关指标取得明显改善，但水资源总量方面，指标值普遍低于 I 级，始终在较低水平无法得到改善，这极大地限制了整个水资源承载力的提升。随着城镇化的继续发展，人口数量继续增多，水资源消耗数量将会面临更大的压力，水资源污染问题也将更为棘手，进而影响整个水资源承载力。针对江苏省的实际情况，提出以下 3 条提升水资源承载力的措施：

(1) 通过供给侧改革转变经济发展模式。通过严格限制排污总量，加大对高污染、高能耗、违规排放废水的企业的惩治力度迫使其进行生产工艺改进。推动传统农业生产方式向绿色、环保的生态农业转型和农业废弃物资源化，减少农业面源污染。实现从粗放的经济 development 方式到循环经济的过渡。

(2) 全员参与推进节水型社会建设。从生产、生活的各个方面着手，合理开发、利用水资源，全面提高水资源的利用效率，减少水资源的浪费。加强节水环保教育，使生态、环保意识深入组织，深入企业，深入高校，深入社区，号召全社会节水、减污，共同推进节水型社会的建设。建立健全节水管理和立法制度，推动相关政策的出台和落实。对节水型社会建设城市进行严格的跟进、监督、检查，并逐步扩大试点城市覆盖面，保证节水型社会建设的有序进行。

(3) 统筹协调加强太湖流域管理。太湖流域的水体富营养化一直是江苏水资源面临的主要问题，也是影响水资源质量承载力提高的重要因素之一。对太湖的管理要截污、清污、防控并行。严格限制排污口和排污量，定期清理蓝藻，同时积极寻求与太湖周边其他城市的合作，建立完善、全方位的监测机制，提高防控和预警能力。

参考文献：

- [1] 马海良，徐佳，王普查．中国城镇化进程中的水资源利用研究[J]．资源科学，2014, 36(2):334-341.
- [2] 侯丽敏，岳强，王彤．我国水环境承载力研究进展与展望[J]．环境保护科学，2015, 41(4):104-108.
- [3] 施雅风，曲耀光．乌鲁木齐河流域水资源承载力及其合理利用[M]．北京：科学出版社，1992.
- [4] National Research Council. A review of the Florida keys carrying capacity study [M]. Washington, DC: National Academy Press, 2002.
- [5] REES W E. Revisiting carrying capacity: area-based indicators of sustainability [J] Population and Environment, 1996, 17(3):195-215.
- [6] DUARTE P, MENESES R, HAWKINS A J S, et al. Mathematical modeling to assess the carrying capacity for multi-species culture within coastal waters [J]. Ecological Modelling, 2003, 168(1/2):109-143.
- [7] 刘树锋，陈俊合．基于神经网络理论的水资源承载力研究[J]．资源科学，2007, 29(1):99-105.

-
- [8] 许朗, 黄莺, 刘爱军. 基于主成分分析的江苏省水资源承载力研究[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(12):1468-1474.
- [9] 王金南, 于雷, 万军, 等. 长江三角洲地区城市水环境承载力评估[J]. 中国环境科学, 2013, 33(6):1147-1151.
- [10] 刘瑶, 江辉, 方玉杰, 等. 基于 SWAT 模型的昌江流域土地利用变化对水环境的影响研究[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(6):937-942.
- [11] 焦雯裙, 闵庆文, 李文华, 等. 基于 ESEF 的水生态承载力评估-以太湖流域湖州市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(1):147-155.
- [12] 吕振霖. 江苏水资源管理与保护的对策思考[J]. 水资源保护, 2008, 24(4):78-82.
- [13] 岳书敬, 许耀, 胡姚雨. 长三角地区行业间水资源消耗差异性分析[J]. 资源科学, 2014, 36(10):2003~2011.
- [14] 李恺. 层次分析法在生态环境综合评价中的应用[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(2):183-185.
- [15] 杨维, 刘萍, 郭海霞. 水环境承载力研究进展[J]. 中国农村水利水电, 2008(12):66-69
- [16] 汪嘉杨, 李祚泳, 余静. 水资源承载力评价的升半 Γ 型分布指数公式[J]. 自然资源学报, 2014, 29(5):868-874.