

基于环境 CGE 模型的鄱阳湖流域氮磷排放 调控方案及影响模拟

吴 锋, 邓祥征*, 林英志

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 本文基于我国 2007 年投入产出表和引力模型假设条件下的中国多区域社会经济核算矩阵 (SAM) 数据库, 构建了可计算一般均衡理论和数学优化求解思想的环境 CGE (ECGE) 模型; 并以鄱阳湖流域为研究案例区, 设计了两种水质目标下的四种氮、磷营养盐排放调控方案, 分别探讨并综合比对了其对江西省及全国其他地区经济增长的影响, 为寻求实现鄱阳湖流域经济增长与入湖氮、磷营养盐减排达标的双重目标提供了决策参考信息。研究结果表明, 以 III 类水质为控制目标, 仅对氮、磷营养盐高排放产业实施减排调控的鄱阳湖流域氮、磷营养盐排放调控方案既能满足当地人们生活改善与区域经济增长的基本要求, 又能够通过排污外部成本内在化推动科技投入和生产工艺的改进以不断减少氮、磷营养盐的排放, 最终实现人与自然的和谐发展。

关键词: 富营养化; 环境 CGE 模型; 氮磷排放; 外部成本; 鄱阳湖流域

1 引言

水体富营养化已日渐凸显为从区域、国家到全球尺度均需关注的环境问题之一。我国几乎所有的江、河、湖、库及近海水域都面临着富营养化的威胁, 且尤以长江中、下游湖泊最为严重。作为长江中、下游典型浅水湖泊之一, 鄱阳湖水体富营养化程度相对较低, 但富营养化加重的威胁却不容忽视^[1-6]。湖泊水体富营养化状态与总氮 (TP)、总磷 (TN)、叶绿素 (chl-a)、透明度 (SD) 等水质参数直接相关。朱海虹等 (1988) 的研究表明, 鄱阳湖水体中 TN 和 TP 含量平均值分别为 0.076mg/L 和 0.684mg/L^[7]; 而李博 (1996) 的调查则显示, 1996 年鄱阳湖水体 TP 和 TN 含量最高分别达 0.148mg/L 和 2.38mg/L^[8]。可见, 随着鄱阳湖流域经济的快速增长, 鄱阳湖水体中 TN、TP 浓度也在不断上升。吕兰军 (1996) 研究表明, 鄱阳湖早在 20 世纪 90 年代初就已面临富营养化的

威胁, 全湖每年约有一半时间处于富营养化状态^[9-11]。在鄱阳湖流域谋求一条以排污收费为主要调控手段的入湖氮、磷营养盐源头控制路线已经成为该流域迫切需要解决的问题之一。

1972 年, 世界经济合作与发展组织提出了污染者付费原则, 即排污者应当承担污染控制的费用。截止目前, 排污收费已在众多国家实施, 但是具体措施略存差异 (表 1)。不少国家以排污外部成本内在化模型为理论依据制定排污收费的具体措施, 其基本思路是: 排污者排放污染物增加了外部成本, 将这种外部成本以征收排污费的形式内在化, 排污者就会通过改进生产工艺、调整生产规模以减少污染物排放量, 从而达到激励氮、磷营养盐削减的目的^[12]。氮、磷营养盐主要通过流域水循环进入邻近湖泊, 导致湖泊水体富营养化。因此, 本研究选择在流域尺度上探讨氮、磷营养盐削减与经济增长之间的协调关系并提炼湖泊富营养化应对策略。

收稿日期: 2009 - 10 - 24; 修回日期: 2010 - 01 - 06

基金项目: 国家科技支撑项目 (2006BAC08B03、2006BAC08B06、2008BAC43B01); 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2009ZX07106 - 001 - 003、2009ZX07106 - 001 - 007)。

作者简介: 吴锋 (1980 -), 男, 汉, 硕士, 助理研究员, 主要从事区域环境过程模型研发。E-mail: wuf.dls@gmail.com

*通讯作者: 邓祥征 (1971 -), 男, 博士, 副研究员, 研究方向为区域环境变化、土地系统变化与效应。

E-mail: dengxz_ccap@igsnrr.ac.cn

表 1 各国排污收费、排污权交易情况

Tab.1 Sewage charge and pollution-discharge right trade in some countries

国别	排污费	使用者收费	产品收费	行政费	税收区别	补贴	预付金返还	排污权交易	市场干预
中国	+							+	
美国	+	+	+			+		+	
澳大利亚	+	+		+					
比利时	+	+		+					
加拿大		+				+	+		
丹麦		+		+	+	+	+		
芬兰		+	+	+		+	+		+
日本	+	+							
法国	+	+	+	+		+			
德国	+	+	+	+	+	+			
意大利	+	+	+	+					
荷兰	+	+		+	+	+	+		+
挪威		+		+	+	+	+		
瑞典		+	+	+	+	+	+		
瑞士	+	+			+				
英国	+	+		+	+				

注：+ 表示目前该国已经采取这一措施或政策

本研究构建了环境 CGE (ECGE)模型，以占鄱阳湖流域 97%的江西省为研究案例区，通过刻画经济增长与氮、磷营养盐调控措施之间的反馈关系，评估鄱阳湖流域不同氮、磷营养盐排放调控方案对江西省及其我国其他省份可能产生的影响。ECGE模型的建模环境为 GEMPACK软件平台，数据资料来源于我国 2007年投入产出表，以及 2007 年各省社会经济统计资料。

2 模型与方法

2.1 CGE模型

CGE 模型遵循生产者利润最大化和消费者效应最大化原则，在资源和预算约束下刻画各社会经济部门的决策行为，以及它们之间的联系。亦即，CGE模型通过一组具有约束条件的优化方程描述经济系统中的供给、需求以及供需均衡关系。经过半个多世纪的发展，CGE模型已经在众多领域得到推广应用，模型本身也从单期、单区域静态模型开始向多期、多区域动态模型演变，模型求解采用的专业语言 (如 GEMPACK、GAMS等)不断改进，建模效率不断提高^[13-14]。本研究构建的

ECGE模型，实质是一般 CGE 模型在环境领域应用方面的拓展。

2.2 ECGE模型

本研究通过构建 ECGE 模型研究鄱阳湖流域入湖氮、磷排放调控对经济增长的影响。该模型包含名义流方程、实物流方程、价格方程、均衡方程四组方程。其中，名义流方程主要用以描述各种经济变量之间的价值计量关系，包括收入、支出、税收等；实物流方程用以描述国内外、区域间的产品供需情况，以及产品间的替代与转换关系；价格方程用以描述联系实物流与名义流的价格关系，包括产品生产价格、贸易价格、购买使用价格等；均衡方程用以描述产品、要素、资本等的供需均衡关系。ECGE模型共包括 156类方程、152个公式、115个系数、149个变量 (表 2)。

ECGE模型的核心矩阵，基于投入产出表及各种年鉴数据建立，其他矩阵则通过变量间关系由核心矩阵推导而来。这些矩阵同时又是 SAM (Social Accounting Matrix)的内容，它们构成了 ECGE 模型中方程的系数和参数，并描述了模型的基本结构 (1 - 10)。

表 2 ECGE模型部分数据集描述表

Tab. 2 Summary of the dataset used in ECGE model

索引	数据集	描述	个数
C	COM	商品 * (来源于一、二、三产业)	135
S	SRC	商品来源 (国内生产为 1; 国外生产为 2)	2
M	MAR	边际商品 (服务于商品流通的贸易与运输)	8
R	ORG	商品生产/提供地 (国内 31个省 **)	31
D	DST	商品消费地 (国内 31个省 **)	31
P	PRD	边际商品生产/提供地 (国内 31个省 **)	31
F	FNDEM	最终消费者 (居民, 投资, 政府, 出口)	4
I	ND	产业 (分属一、二、三产业)	135
U	USER	消费者 (产业与最终消费者合计)	139
O	OCC	技术水平 (熟练为 1; 不熟练为 2)	2

注: * 此处商品包含服务; ** 台湾、香港、澳门因数据缺乏暂不计算在内。

$$USE_{c, s, i, d} + TAX_{c, s, i, d} + FACTORS_{i, d} = VTOT_{i, d} \quad (1)$$

$$DELNRD_{c, s, r, d} = TRADE_{c, s, r, d} + TRADMAR_{c, s, m, r, d} \quad (2)$$

$$MAKE_{c, i, r} = TRADE_{i, ND} D_{c, dm, r} \quad (3)$$

$$MAKE_{i, m, p} = SUPPMAR_{RD_{m, p}} + TRADE_{D_{m, dm, p}} \quad (4)$$

$$SUPPMAR_{m, r, d, p} = SUPPMAR_{P_{m, r, d}} \quad (5)$$

$$TRADMAR_{CS_{m, r, d}} = SUPPMAR_{P_{m, r, d}} \quad (6)$$

$$MAKE_{c, i, d} + STOCKS_{i, d} = VTOT_{i, d} \quad (7)$$

$$USE_{U_{c, s, d}} = DELNRD_{R_{c, s, d}} \quad (8)$$

$$INVEST_{c, d} = PUR_{S_{c, Inv, d}} \quad (9)$$

$$PUR_{c, i, d} = USE_{c, i, d} + TAX_{c, i, d} \quad (10)$$

方程 (1)是对单区域投入产出表结构的表达。其左侧的 USE 表示 d 区域产业 i 生产过程中的中间商品投入; TAX 表示对应于 USE 的税收; $FACTORS$ 表示 d 区域产业 i 生产过程中的要素投入; 右侧的 $VTOT$ 表示 d 区域产业 i 的产出。方程 (2) 是对区域间商品贸易的表达。其左侧的 $DELNRD$ 表示 d 区域对 r 区域商品的需求; 右侧的 $TRADE$ 表示从 r 区域到 d 区域的商品贸易流; $TRADMAR$ 表示服务于从 r 区域到 d 区域的商品贸易流的边际商品总和。方程 (3) 是对一个区域间商品供需平衡的表达。其左侧表示 r 区域所有产业的产出; 右侧表示国内对 r 区域的产品需求总和。方程 (4) 描述

了边际商品的供需平衡。其左侧表示 p 区域边际商品 m 的总产出; 右侧描述 p 区域服务于商品流通的边际商品 m 的总需求。方程 (5) 为服务于从 r 区域到 d 区域商品流通的所有边际商品的加总计算公式。方程 (6) 表示服务于商品流通的边际商品等于所有区域边际商品的总产出。公式 (7) 表示商品产量与存货之和等于产业的总产出。其左侧 $MAKE$ 表示产业 i 的商品产量; $STOCKS$ 表示产业 i 的存货; $VTOT$ 表示产业 i 的产出。公式 (8) 描述了区域 d 中间投入和最终消费的全部商品 c 等于其它区域 (包括 d 区域) 运输到 d 区域的商品总量。公式 (9) 表示商品 c 作为投资要素时以 d 区域商品市场价格来核定投资额。公式 (10) 表示 d 区域产业 i 生产的商品 c 的市场价值为其使用价值与税收之和。

在 ECGE 模型中, 商品贸易矩阵 (TRADE) 和边际商品贸易矩阵 (TRADMAR) 是最关键的参数矩阵, 但由于省际贸易数据经常缺乏统计, 本研究采用引力模型假设对其进行构造。本研究构造的 TRADE 和 TRADMAR 矩阵均为 31×31 的方阵, 其中行代表商品的运出地, 列表示商品的消费地, 矩阵对角线元素表示了产品的本地使用 (消费)。

本研究在 TRADE 和 TRADMAR 矩阵构建时假定:

$$V(r, d) / V(*, d) = \sqrt{V(r, *)} / D(r, d)^k \quad r, d \quad (11)$$

其中, k 是与参与贸易的商品属性相关的参数, 表示商品区域间贸易的便利程度, 取值在 0.5 - 2 之间。 k 的值越大, 表示这类商品越难进行贸易。 $V(r, d)$ 表示从 r 区域到 d 区域的贸易价值流, 亦即本模型中需要推导而来的核心贸易矩阵 $TRADE(r, d)$ 。 $V(r, *)$ 表示 r 区域生产的商品在贸易过程中产生的价值 (贸易价值流) 的总和; $V(*, d)$ 表示 d 区域需求的商品的贸易价值流总和。

TRADE 和 TRADMAR 矩阵的对角线元素由以下公式来设定:

$$V(d, d) / V(d, *) = MN\{V(d, *) / V(*, d), 1\} \times F \quad (12)$$

其中, F 是与商品属性相关的参数, 表示该商品在区域内贸易的便利程度, 其值在 0.5 - 1 之间。某一商品在区域内需求越少并越难交易, F 的值就越接近于 1。

利用上述公式初始估计出 $V(r, d)$, 接着使用

RAS方法平衡,使其满足以下条件:

$$V(r, d) = V(*, d) \quad (13)$$

$$V(r, d) = V(r, *) \quad (14)$$

对于边际商品 (服务于普通商品贸易的特殊商品, 如铁路运输), 其贸易价值流与普通商品贸易价值流的比值正比于距离的平方:

$$T(r, d) / V(*, d) \propto \sqrt{D(r, *)} \quad (15)$$

此处, $T(r, d)$ 等同于模型中边际商品的贸易矩阵 $TRADMAR(r, d)$ 。

多区域 ECGE 模型通过贸易的嵌套结构描述了国内外、区域间商品的替代和边际商品的转换 (图 1)。每一层嵌套都伴随着价值流动, 这些价值流描述放在左侧矩形里。其中, 以小写字母 p 开头的表示价格, 以 x 开头的表示投入数量, 其后的字母表示了模型中部分价格及实物流变化率。

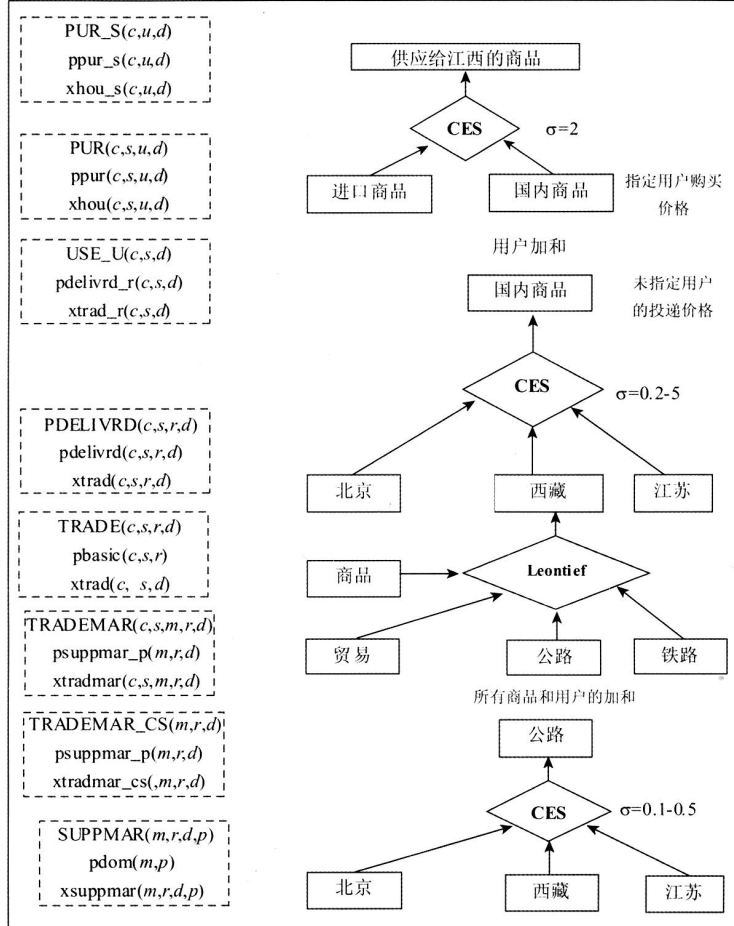


图 1 ECGE模型区际间商品流通过程

Fig. 1 Commodity flow within an ECGE model

ECGE模型设定消费者在选择进口和国内的商品时遵循 Armington假设。消费者对商品的需求依靠商品的市场价格来调节 (市场价格矩阵 PUR 为 USE 和 TAX 两矩阵之和)。模型中, 国内外商品替代使用了常替代弹性 ($\sigma = 2$)。整个区域的商品总需求是国内所有消费 (产业中间使用和最终消费) 需求之和, 用矩阵 USE_U 表示, 以贸易价格测算, 不含税收。

ECGE模型中, 最终消费在各个区域上的分配

依取决于 CES函数和 $PDELIVRD(c, s, r, d)$ 中 r (即运输到 d 区域的商品在 r 区域的贸易价格) 的值, 这个 CES函数替代弹性值在 0.2 - 5 之间。这意味着, 商品在一个区域生产花费比其他区域低的情况下, 会增加它在该区域市场上的份额。因此, 即使生产价格固定, 运输成本的改变也将影响商品的市场份额。

ECGE模型中, 商品贸易价格是其生产价格和为该商品贸易服务的边际商品价格的 Leontief函

数。图 1 中只展示了公路运输类边际商品的嵌套，其他类边际商品与之相似。考虑到公路运输公司一般倾向于在费用相对低廉的车站配送商品，此处替代弹性近似取值为 0.5。若对于很多此类的边际商品都直接来源于产品的生产地而非边际运输成本相对较低的区域，此处的替代弹性值则可取值为 0.1。

3 方案设计与模拟分析

本研究案例区鄱阳湖流域位于长江中游南岸，由五大河流（赣江、抚河、修水、饶河和信江）以及鄱阳湖组成，整个水系流域面积 16.22 万 km²，约占长江流域面积的 9%。鄱阳湖流域水系年均径流量为 1 525 亿 m³，约占长江流域年均径流量的 16.3%，是长江的重要补给水源，每年注入长江的水量超过黄河、淮河、海河三河水量的总和。鄱阳湖被誉为“长江之肾”、长江中下游的“天然调节器”，其水质直接关系到长江中下游地区乃至全国生态安全、粮食安全和用水安全。

随着周边地区经济的快速增长，鄱阳湖出现了富营养化趋势。据统计，2007 年江西省全省排放废水 14.13 ×10⁸ t，其中工业废水 7.14 ×10⁸ t，化学需氧量排放量 11.14 ×10⁴ t，氨氮排放量 0.84 ×10⁴ t，排放达标率为 93.89%；城镇生活污水 6.99 ×10⁸ t，化学需氧量排放量 35.74 ×10⁴ t，氨氮排放量 2.87 ×10⁴ t，处理率为 26.02%。据江西省生态环境现状调查协调组办公室编写的“江西省生态环境现状调查报告”，鄱阳湖入湖 TP、TN 主要由面源污染产生，所占比例分别为 80.5%与 66.4%。

3.1 方案设计

本研究收集并整理了鄱阳湖流域在不同水质控制目标下的氮、磷纳污现状、水环境容量及超排量信息（表 3），并基于全国第一次污染源普查数据，对投入产出表中 135 个产业的生产工艺进行了概算，计算了各个产业的氮、磷营养盐综合排放比例。为了提高模型运行速度，本研究将 135 个产业合并为 7 个综合性的产业，并对依据 135 个产业的排放比例数据对合并生成的 7 个产业的排污系数进行折算，获得了 2007 年江西省 7 个产业氮、磷营养盐综合排放比例（表 4）。

表 3 鄱阳湖流域 TN、TP 不同控制目标下的水环境容量

Tab. 3 Carrying Capacity of the aquatic environment under various control targets for TN and TP in Poyang Lake Basin

时间	控制目标	TP (t/d)			TN (t/d)		
		现状 纳污量	水环境 容量	超排量	现状 纳污量	水环境 容量	超排量
全年	II类水质	22.6	9.2	13.4	424.3	192.0	232.3
	III类水质	22.6	21.0	1.6	424.3	384.0	40.3
丰水期	II类水质	10.7	14.8	0	425.2	269.0	156.2
	III类水质	10.7	29.6	0	539.8	539.8	0.0
枯水期	II类水质	10.9	9.9	1.0	393.6	180.5	213.1
	III类水质	10.9	19.8	8.9	393.6	361.0	32.6

注：据方豫等（2008）与余进祥等（2009）^[15-16]，有删改。

表 4 鄱阳湖流域 2007 年各产业氮、磷营养盐综合排放比例

Tab. 4 Share of nitrogen and phosphorus emissions by sector in Poyang Lake Basin in 2007

产业	氮、磷综合排放比例（%）
种植业	31.04
畜牧业	33.93
采矿业	6.42
制造业	18.9
建筑业	2.77
服务业	1.46
其它产业	5.48

根据对鄱阳湖流域入湖氮、磷营养盐的源解析，本研究设定了如下四种氮、磷营养盐排放调控方案（表 5）。

表 5 鄱阳湖流域氮、磷营养盐排放调控方案设计

Tab. 5 Scenarios for emission control of nitrogen and phosphorus in Poyang Lake Basin

调控方案	产量/产值削减（%）			
	种植业	畜牧业	采矿业	制造业
调控方案一	20.00	40.00	-	-
调控方案二	10.00	20.00	10.00	20.00
调控方案三	3.30	6.70	-	-
调控方案四	1.70	3.30	1.70	3.30

调控方案一：以 II 类水质为控制目标，仅对氮、磷营养盐高排放产业实施减排调控。具体为，种植业削减 20.00%，畜牧业削减 40.00%。

调控方案二：以 II 类水质为控制目标，对氮、磷营养盐主要排放产业实施减排调控。具体为，

种植业削减 10.00%，畜牧业削减 20.00%，采矿业 10.00%，制造业 20.00%。

调控方案三：以 III类水质为控制目标，仅对氮、磷营养盐高排放产业实施减排调控。具体为，种植业削减 3.30%，畜牧业削减 6.70%。

调控方案四：以 III类水质为控制目标，对氮、磷营养盐主要排放产业实施减排调控。具体为，种植业削减 1.70%，畜牧业削减 3.30%，采矿业 1.70%，制造业 3.30%。

3.2 模拟结果

在模拟过程中，本研究把鄱阳湖流域与氮、磷排放相关产业的产量作为外生变量，税收作为内生变量，对污染企业依据总产出收税。此处，总产出以产量（如种植业）或者产值（如服务业）计。模拟结果表明，在调控方案一中，为了使鄱阳湖水质达到 II类，种植业的产量减少 20.00%，畜牧业的产量减少 40.00%，而其他产业产量（或产值）均有所提高（表 6）。究其原因，主要是在调控方案一的设定情景下，种植业和畜牧业的部分劳动力、资本要素流向了其他产业，并提高了这些产业产品的市场占有率。从全国范围来看，这样调控方案一的总体效果是使江西省 GDP 减少了 5.54%，同时使其他省份的 GDP 呈小幅增长。同时，由于各省产业结构差异且生产要素的可流动性不同，调控方案一对其 GDP 的影响也存在显著的空间分异（图 2a）。例如，调控方案一对二、三产业发达的东部地区的影响相比对中西部地区要弱。究其原因，可能是由于江西省农村剩余劳动力主要流向东部沿海工业发达城市，而此时国家层次的农业基础设施建设投资和农产品的需求则偏向中西部地区。另外，模拟结果还显示，资本流动及产品需求变动对 GDP 的影响要大于劳动力要素的流动。

在调控方案二中，种植业和畜牧业减产的幅度做了微调，排污许可额度在几个重点产业做分配，采矿业和制造业进行了适度的生产控制，其结果造成本江西省 GDP 下跌幅度较大，建筑业及其他产业产量或产值有一定幅度上升，而服务业产值略有衰减（表 6）。相对于调控方案一，调控方案二对于其他各省 GDP 提高的贡献有所加强（图 2b）。对于工业发达的东部省份，江西省剩余劳动力的流入增加了其劳动力市场的供给，在一定程度上降低

了东部省份的制造业生产成本，在客观上又进一步对江西省制造业产生一定的削减效应。

表 6 基于 ECGE模拟的鄱阳湖流域氮、磷排放
调控对江西省各产业影响

Tab. 6 Impacts of emission control of nitrogen and phosphorus in Poyang Lake Basin on the sectors of Jiangxi Province

产业	产量/值变化（%）			
	调控方案一	调控方案二	调控方案三	调控方案四
种植业	- 20.00	- 10.00	- 3.30	- 1.70
畜牧业	- 40.00	- 20.00	- 6.70	- 3.30
采矿业	3.62	- 10.00	0.65	- 1.70
制造业	1.98	- 20.00	0.37	- 3.30
建筑业	1.89	0.68	0.33	0.14
服务业	0.33	- 0.73	0.08	- 0.09
其他产业	5.06	7.53	0.89	1.33

调控方案三与调控方案四是在鄱阳湖水质满足 III类水的控制目标下进行的情景模拟，对产业和区域造成的影响与前面两个方案类似，但较调控方案一和调控方案二模拟的江西省 GDP 的变化幅度为小，分别为 0.84%与 1.55%。同时，调控方案三与调控方案四造成了相邻东部发达地区各省 GDP 的轻微下跌，幅度在 0.001%左右（图 2c, 2d）。究其原因，主要是由于江西产业结构与相邻地区具有互补性，削减的重点产业为发达地区提供工业原料。其中，调控方案三的模拟结果表明，除受调控产业在江西省氮、磷营养盐减排的条件下产量（或产值）有所缩减以外，江西省其他产业均小幅上涨。而在调控方案四情景下的江西省大多数产业均出现产量或产值的缩减（表 6）。另外，调控方案三对其他省份的影响不大，且大都为正。

综合对比四个调控方案，在特定的经济发展和用水标准前提下，调控方案三不失为一种可取方案。产业减排策略之所以会对一地区造成经济影响，主要是因为一个地区各产业生产过程中所排放的污染物数量与许多生产因素有关。诸如工艺技术、产量、产品特性、以及原料品质等，为此，执行产业减排策略，必然直接影响污染性产业产品产量与价格，而后再经产业之间的“投入产出”关系，以及市场运作机制，间接影响非污染性产业，以及其他经济活动、消费、储蓄及投资等。来自于各产业间多个层面的影响，有时集中体现为对经济增长的抑制效应。综合各调控方案对经济增长的影响，本研究发现，调控方案三

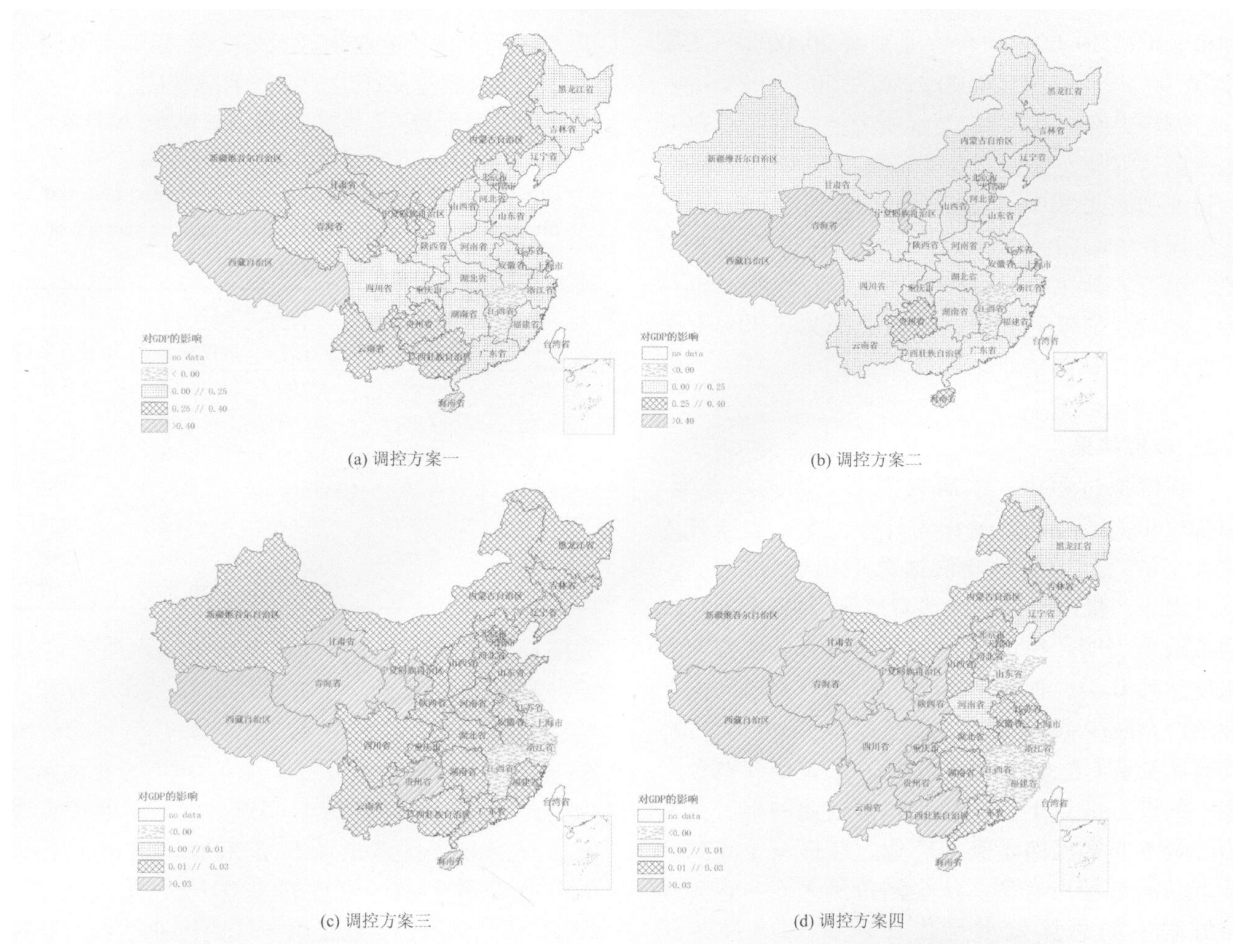


图 2 鄱阳湖流域氮、磷营养盐排放调控对我国各省份 GDP 的影响的空间分异图

Fig. 2 Spatial variation of the impacts of emission control of nitrogen and phosphorus in Poyang Lake Basin on economic growth for each province in China

不失为一种调节经济增长与入湖氮、磷排放调控关系的可选策略。

4 结论与讨论

本研究基于可计算一般均衡理论与数学优化求解思想，构建了包含名义流方程、实物流方程、价格方程、均衡方程的 ECGE 模型，用以探索鄱阳湖流域入湖氮、磷营养盐减排调控与经济增长之间的关系，并模拟不同氮、磷营养盐调控方案对江西省及其他地区经济增长的影响。研究在流域尺度上依据江西省产业结构特征及湖泊富营养化特征，综合鄱阳湖水环境容量与全国第一次污染源普查的污染物产排污系数，设计了四种不同水质目标的氮、磷营养盐排放调控方案，应用 ECGE 模型模拟了不同氮、磷营养盐排放调控方案，对江西省及国内其他地区经济增长的影响。

研究结果表明，以满足用水要求的 III 类水质为控制目标、采取征收排污税收政策削减重点排污产业排放量来实现源头控制的调控方案三，实施对江西省及国内其他地区经济增长影响最小的目标，不失为一种协调鄱阳湖流域经济增长与水体富营养化控制的可选策略。该研究结论将为环保部门制订各产业氮、磷营养盐减排方案提供决策参考信息。

需要说明的是，本研究所用模型的部分参数直接引用了他人研究结果，所得结果尚需在应用中进一步验证。本研究依据 2007 年各省统计年鉴对 2007 年投入产出表的部分生产与消费数据进行修正，修正过程中难免出现误差，并对模拟结果造成影响。尽管如此，本研究构建并应用的 ECGE 模型为相关专题的研究提供了方法论借鉴，形成的关于鄱阳湖流域氮、磷营养盐排放调控方案对经济增长影响的基本结论，将服务于当地入湖氮、磷营养盐减排达标与经济增长双重目标的实现。

参考文献:

- [1] 赵亮,魏皓,冯士祚. 渤海氮磷营养盐的循环和收支 [J]. 环境科学, 2002, 23 (1): 78 - 81.
- [2] 黄文钰,吴延根. 中国主要湖泊水库的水环境问题与防治建议 [J]. 湖泊科学, 1998, 10 (3): 83 - 90.
- [3] Yan W J, Zhang S, Sun P, et al How do Nitrogen Inputs to the Changjiang Basin Impact the Changjiang River Nitrate: A Temporal Analysis for 1968 - 1997 [J]. Global Biogeochemistry Cycles, 2003, 17 (4): 1091.
- [4] 秦伯强. 长江中下游浅水湖泊富营养化发生机制与控制途径初探 [J]. 湖泊科学, 2002, 14 (3): 193 - 202.
- [5] 成小英,李世杰. 长江中下游典型湖泊富营养化演变过程及其特征分析 [J]. 科学通报, 2006, 51 (7): 848 - 855.
- [6] 金相灿,叶春,颜昌宙,等. 太湖重点污染控制区综合治理方案研究 [J]. 环境科学研究, 1999, 12 (5): 1 - 5.
- [7] 朱海虹,张本. 鄱阳湖: 水文、生物、沉积、湿地、开发整治 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1997.
- [8] 李博之. 鄱阳湖水体污染现状与水质预测、规划研究 [J]. 长江流域资源与环境, 1996, 59 (1): 60 - 66.
- [9] 吕兰军. 鄱阳湖富营养化调查与评价 [J]. 湖泊科学, 1996, 8 (3): 241 - 247.
- [10] 吕兰军. 鄱阳湖富营养化评价 [J]. 水资源保护, 1994, (3): 47 - 52.
- [11] 王毛兰,周文斌,胡春华. 鄱阳湖区水体氮、磷污染状况分析 [J]. 湖泊科学, 2008, 20 (3): 334 - 338.
- [12] 邓禾. 环境税制比较研究及其对中国的借鉴 [J]. 税务与经济, 2007, 152 (3): 95 - 100.
- [13] Horridge M, Madden J, Wittwer G. The Impact of the 2002 - 2003 Drought on Australia [J]. Journal of Policy Modeling, 2005, 27 (3): 285 - 308.
- [14] Higgs P J, Pamenter B R, Rimmer R J. A Hybrid Top-down, Bottoms-up Regional Computable General Equilibrium Model [J]. International Regional Science Review, 1988, 11 (3): 317 - 328.
- [15] 方豫,邢久生,谭胤静. 鄱阳湖水环境容量及水环境管理研究 [J]. 江西科学, 2008, 26 (6): 977 - 981.
- [16] 余进祥,刘娅菲,钟小兰. 鄱阳湖水环境承载力及主要污染源研究 [J]. 江西农业学报, 2009, 21 (3): 90 - 93.

Controlling Strategies on Nitrogen and Phosphorus Emissions in Poyang Lake Basin Based on ECGE Model

WU Feng, DENG Xiangzheng, L N Yingzhi

(Institute of Geographical Sciences and National Resources Research, China Academy of Science, Beijing 100101, China)

Abstract: With economic growth, eutrophication has become one of the most severe environment problems, including in lake areas. Currently, couples of lakes urgently need decision-making information for the coordination between economic growth and nitrogen and phosphorus emissions controlling. This paper introduces the framework of a multi-regional environmental computable general equilibrium (ECGE) model which is based on the theory of mathematical optimization solution to explore the relationship between economic growth and controlling of nitrogen and phosphorus emissions. A social accounting matrix (SAM) database is created based on the input-output table of 2007 for mainland China and an inter-regional trade matrix is built in terms of the gravity model assumption to support the ECGE model. A case study in Poyang Lake Basin is conducted to extract decision making information for nitrogen and phosphorus emissions controlling in order to avoid the broken out of eutrophication as well as to spur economic growth. Four scenarios are designed based on water environmental capacity and emission factors of each sectors of Poyang Lake Basin and simulated by ECGE model one by one. The simulation results show that the scenario, aiming at the Grade III water quality standards and reducing nitrogen and phosphorus emissions from those sectors with high emission, is the most efficient one among all of the four scenarios in coordinating economic development and eutrophication control. The internalization of external environmental costs under this scenario will reduce nitrogen and phosphorus emissions via increasing of science and technology input and improving on processing technique with economic growth of Jiangxi Province as well as other regions.

Key words: eutrophication; ECGE; nitrogen and phosphorus emissions; external costs; Poyang Lake Basin