

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2013.02.017

基于水足迹的湿地生态需水保障对策

魏晓燕¹,毛旭锋²,吴燕红¹

(1. 中央民族大学生命与环境科学学院,北京 100081; 2. 中国林业科学研究院湿地研究所,北京 100091)

摘要:采用定额法核算白洋淀流域 2003 年、2007 年和 2011 年的水足迹,重点分析白洋淀流域内农业、工业和第三产业的水足迹结构。结果表明,白洋淀流域的虚拟水足迹从 2003 年的 83.86 亿 m³ 增加到 2007 年的 95.87 亿 m³, 2011 年的 108.21 亿 m³。从消费比例来看,农业用水所占比例最大,平均值达到 69%;第二产业用水占 24% 左右,第三产业用水占 7% 左右。提出解决白洋淀流域不同类型湿地生态需水的策略:调整流域种植结构,减少高污染、高耗水部门,提高农业灌溉效率和水资源重复利用率等,每年可节约 5.95 亿 m³ 的水量,可以保障白洋淀流域湿地生态系统基本的生态需水。

关键词:湿地;生态需水;水足迹;定额法;白洋淀流域

中图分类号:X171.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2013)02-0082-04

Safeguarding eco-environmental flows of Baiyangdian wetlands: A strategy based on water footprints

WEI Xiaoyan¹, MAO Xufeng², WU Yanhong¹

(1. College of Life and Environmental Science, Minzu University of China, Beijing 100081, China;
2. Institute of Wetland Research, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: The quota method was used to calculate the water footprints in the Baiyangdian Basin in 2003, 2007, and 2011. The structures of water footprints of agriculture, industry, and tertiary industry were analyzed. The results show that the virtual water footprints in the Baiyangdian Basin increased from 83.86 × 10⁸ m³ in 2003 to 95.87 × 10⁸ m³ in 2007 and 108.21 × 10⁸ m³ in 2011. Agricultural water use accounted for the largest proportion (about 69% on average), and secondary and tertiary industrial water use accounted for 24% and 7%, respectively, of the total water use. Several strategies were put forward for satisfying eco-environmental flow requirements of various types of wetlands in the Baiyangdian Basin. These strategies include the adjustment of planting structure, the reduction of highly water-consuming and water-polluted industries, and the improvement of agricultural irrigation efficiency and the water reuse ratio. Through implementation of the strategies, about 5.95 × 10⁸ m³ of water can be saved per year, which meets the basic eco-environmental flow requirements of wetland ecosystems in the basin.

Key words: wetland; eco-environmental flow requirement; water footprint; quota method; Baiyangdian Basin

湿地是重要的国土资源和自然资源,与人类的生存和发展息息相关,是自然界最富有生物多样性的生态景观,也是人类最重要的生存环境之一^[1]。

然而,当前世界面临人口、资源、环境、发展等一系列重大问题,如湿地受到污染,资源过度开发,成为全球最受威胁的生态系统之一^[2]。湿地的退化和丧

基金项目: 国家科技支撑项目(2011BAC02B03); 中央公益性科研院所专项(CAFINT2012C09); 国家林业公益性行业科研专项(201204201)

作者简介: 魏晓燕(1982—),女(蒙古族),博士研究生,从事生态系统评价与管理方面的研究。E-mail: weixiaoyan4477@163.com

通信作者: 毛旭锋,男,博士,助理研究员。E-mail: nanpishu1234@163.com

失已经严重影响了人类的生存,湿地类型和面积不断减小,生物多样性逐步丧失,湿地生产力和环境净化功能日趋下降^[3]。

湿地水文情势的改变是湿地退化的重要原因。要改变湿地退化的现状,就必须恢复湿地系统的水文情势,提供能够达到某种生态水平或者维持某种生态系统平衡所需要的水量,这部分水量就称为生态需水量^[4]。但是,如果要完全恢复湿地的水文情势,人类生产、生活用水就难以得到满足。如何在生产需水、生活需水及生态需水之间实现水资源的合理分配,是当前面临的一个重大问题。

在水资源日益短缺的背景下,虚拟水战略是解决水资源安全的一种新措施^[5-9]。虚拟水战略是从系统的角度出发,运用系统方法找寻与问题相关的不同影响因素,从而找出解决问题的策略;出口高效益水资源商品,进口本地没有足够水资源生产的粮食产品;调整本地的产业结构和贸易形式,解决水资源短缺和粮食安全问题,并将节约下来的有限实体水转向用于生态环境保护^[10]。虚拟水战略从社会经济系统出发,寻求通过社会化管理来缓解或解决水资源短缺问题,对保护水资源,改善或恢复湿地生态环境,实现地方经济、资源、环境的协调和可持续发展具有重要的理论指导意义和实际应用价值^[11]。

本研究以水资源严重短缺的白洋淀流域为例,核算该流域水足迹结构及其动态变化,重点分析该流域农业、工业和第三产业的水足迹结构,研究保障流域湿地生态需水的虚拟水策略,旨在为流域湿地的保护提供新的思路和方法。

1 研究区概况

白洋淀流域位于华北平原中部,面积 31 199 km²,典型的大陆性季风气候,年均气温随地势不同而介于 7.5~12.7℃之间,年均降雨量仅为 556 mm,且 80% 的降雨集中在 7—9 月^[16]。

白洋淀在维系华北地区生态系统平衡、调节河北平原乃至京津地区气候、补充地下水源、调蓄洪水以及保护生物多样性和珍稀物种资源等方面发挥着不可或缺的作用,被称为“华北之肾”。近年来,由于人口增长、粮食需求增大、工农业快速发展,白洋淀流域遭受了严重的水资源危机,人均水资源占有量仅仅为 311 m³^[12],远远超过了世界人均 1 000 m³ 的水资源严重短缺的警戒线^[13]。更为严重的是,由于从湿地生态系统抽取了过量的水资源,湿地的生态需水得不到保障,白洋淀的湿地生态功能不断退化,严重威胁着京津地区的环境安全,引起了党中央、国务院和地方政府的高度关注,拯救和恢复白洋

淀生态系统已迫在眉睫^[14-15]。2009 年,河北省提出将虚拟水作为重要的战略手段解决水资源危机,为流域湿地生态系统的保护和恢复提出了新方向。

为分析白洋淀流域的水足迹结构,本研究将流域范围内的 3 个市(保定、高碑店和定州)和 20 个县(阜平,曲阳,安国,博野,唐县,定兴,望都,顺平,满城,清苑,蠡县,高阳,安新,雄县,蓉城,徐水,易县,涞水,定县和涿州)纳入研究范围,重点分析流域内不同产业的虚拟水结构及其动态变化规律。

2 数据和方法

2.1 核算方法

水足迹是分析水资源消费方式的一种有效工具^[18]。为分析白洋淀流域的虚拟水足迹,本研究采用定额法进行核算。农作物虚拟水量的核算主要参考相关文献和资料数据^[8-9,17]。农产品的水足迹核算方法为:单位质量作物的虚拟水含量乘以产量;

工业产品的水足迹核算方法为:单位产品的虚拟水含量乘以产值;第三产业水足迹的核算方法为:单位产值虚拟水含量乘以产值^[19]。

2.2 数据来源

各类农作物单产的数据来自《河北省统计年鉴》《河北经济年鉴》《保定年鉴》《保定经济统计年鉴》《历年中国农业发展报告》等数据资料等,选取 2003 年,2007 年和 2011 年的数据分析虚拟水结果的动态变化情况。主要农产品分为 2 大类 11 小类:粮食类(水稻、小麦、玉米、大豆、薯类)及经济作物类(棉花、油料作物、甘蔗、甜菜、烟草、麻类、蚕、茶叶、水果)。保定市的工业部门主要考虑冶金业,化学工业,纺织业,服装业,电器、机械及通信设备制造业,交通运输设备制造业,电子仪表业,食品制造及烟草加工业,建筑业和其他工业等,第三产业主要考虑商业,运输业,住宿及餐饮业和其他服务业等。

3 结果与讨论

3.1 水足迹动态变化规律

图 1 描述了白洋淀流域 2003 年、2007 年和 2011 年的水足迹变化情况。总体看来,白洋淀流域的虚拟水足迹是不断增加的,从 2003 年的 83.86 亿 m³ 增加到 2007 年的 95.87 亿 m³,到 2011 年的 108.21 亿 m³。从消费比例来看,农业用水所占比例最大,达到了 69%;第二产业用水比例占 24% 左右,第三产业用水占为 7% 左右。

对比 3 年的虚拟水结构,可以发现水资源消耗的动态变化过程。农业虚拟水所占比例从 2003 年的 70.28% 上升到 2007 年 70.31%,又下降至 2011

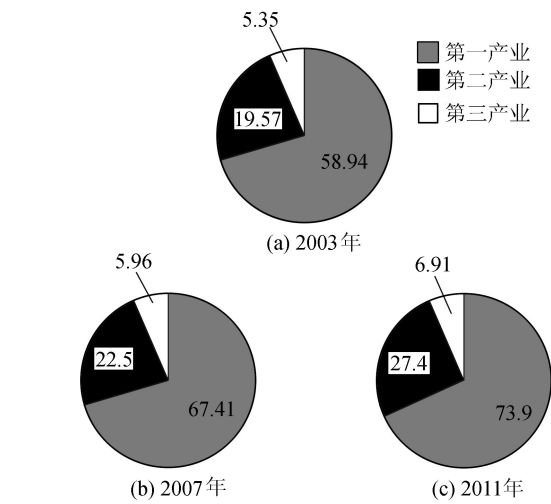


图1 白洋淀流域虚拟水结构(单位:亿 m³)

年的68.29%。虽然农业用水比例有所减小,但总量仍在持续增加,这说明农业节水的潜力巨大。工业虚拟水总量略有增长,但所占比例变化不大,分别为23.33%、23.46%和25.32%,说明白洋淀流域在控制工业用水的增长方面效果较好。这3年来,第三产业的虚拟水量分别为5.35亿 m³、5.96亿 m³和6.91亿 m³,虽然占用水总量的比例维持在6%左右,但用水量在持续增加。

表1是2003年、2007年和2011年白洋淀流域3大产业的不同部门的虚拟水核算结果。从表1可以发现,玉米和小麦的水资源使用量是农业用水中最多的,所占比例达到了80%左右。第二产业中造纸及文教用品、化学工业、金属矿采选业、金属冶炼及制品业以及燃气和水生产供应业的水资源使用量较大,达到了总使用量的50%以上。对比3年的虚拟水核算结果可以发现,农业部门除了种植大米所消耗的水量在减少以外,种植玉米、小麦和大豆等作物所消耗的水资源量在增加。第二产业中,各部门的水资源使用量均存在不同程度的增加。相同的趋势也出现在第三产业的各部门中,而且增加的趋势更为明显。

随着经济和社会的发展,白洋淀流域近10年的用水总量不断地上升,在流域降雨量减小的大趋势下,生态用水被大量占用,生态需水难以得到保障,这是导致白洋淀流域生态环境质量逐年退化甚至白洋淀干涸的重要原因^[20]。水资源短缺成为白洋淀流域长期面临的问题,仅靠实体水的转移,如南水北调工程等,不能从根本上解决白洋淀流域水资源短缺问题。只有从战略层面出发,通过改变用水结构,调整用水方式,才可能彻底解决白洋淀流域生产、生活和生态用水之间的矛盾。

3.2 保障流域湿地生态需水的虚拟水策略

从虚拟水核算结果来看,农业的节水潜力最大,

表1 白洋淀流域3大产业2003年、2007年和2011年的虚拟水核算结果				
		虚拟水核算结果		
		亿 m ³		
产业	部门	2003年	2007年	2011年
第一产业	玉米	19.89	21.38	23.11
	小麦	26.55	30.09	32.86
	大米	2.79	3.08	3.15
	大豆	3.46	4.08	4.55
	其他	6.25	7.78	8.23
第二产业	煤炭采选业	0.69	0.76	0.92
	石油和天然气开采业	0.65	0.73	0.89
	金属矿采选业	1.27	1.43	1.56
	非金属矿采选业	0.18	0.31	0.54
	食品制造和烟草加工业	1.02	1.37	1.68
	纺织业	0.99	1.13	1.36
	服装、皮革羽绒及纤维制品制造业	0.79	0.88	1.12
	木材加工及家具制造	0.58	0.78	1.09
	造纸及文教用品业	1.76	1.99	2.23
	石油加工业	1.25	1.44	1.78
	化学工业	1.99	2.22	2.66
	非金属矿物制品业	0.45	0.68	0.78
	金属冶炼及制品业	1.25	1.45	1.68
	通用专用设备制造业	0.16	0.26	0.37
	交通运输设备制造业	0.18	0.24	0.43
	电器、机械及通信设备制造业	0.29	0.38	0.55
	其他制造业	0.17	0.23	0.36
第三产业	电力、燃气和水生产供应业	4.69	4.99	5.51
	建筑业	1.21	1.43	1.89
	商业	0.35	0.42	0.75
	批发零售业	0.27	0.37	0.53
	交通运输业	0.57	0.66	0.89
	住宿及餐饮业	1.55	1.72	1.79
	其他服务业	2.61	2.79	2.95

工业部门次之,第三产业的用水量增长较快,是水资源节约的关键点。第一产业可通过调整种植结构来减少水资源消耗量。例如,小麦和玉米是白洋淀流域种植面积最大的两种作物,水资源使用量最大,但种植的经济效益又偏低,减少这两种作物的种植面积,引入耗水低、经济价值高的经济作物,通过向邻近省市进口粮食来弥补水资源需求缺口,从而一定程度上缓解水资源压力,保证地方粮食安全。对于第二产业,首先应减少高耗水和高污染产业,如造纸业和化工业,这些产业一方面会消耗大量的淡水,另一方面会产生大量的污水,进一步加剧生态用水短缺问题,并严重影响流域的水环境质量;同时,应引入高科技产业,提高水资源使用效率和水资源的重复利用率,实现工业增长的同时降低水资源使用量。而第三产业应提高水资源的重复使用率。目前白洋淀流域水资源重复使用率仅为30%,还有很大的提升潜力。基于2011年的虚拟水核算结果,提出基于虚拟水核算的水资源策略,见表2。

表 2 基于虚拟水核算的最低生态需水
保障措施与节水效果

产 业	生态需水保障措施	节水量/ 亿 m ³	生态需 水等级
第一产业	小麦和玉米的种植面积减少 5% ,提高 5% 的水资源灌溉效率	4. 26	Ⅲ
第二产业	调整产业结构,减少造纸业等耗水大、污染重的行业比例,提高水资源重复使用率至 90%	1. 12	Ⅲ
第三产业	水资源重复利用率提升至 35%	0. 87	Ⅲ

通过上述虚拟水策略,完全可以满足湿地第Ⅲ等级的生态需水量。

4 结 论

在对白洋淀流域 2003 年、2007 年和 2011 年各产业虚拟水足迹进行核算的基础上,全面考察了近 10 年流域内不同产业的真实用水量。结果显示,白洋淀流域近 10 年来虚拟水足迹是不断增加的,从 2003 年的 83. 86 亿 m³ 增加到 2011 年的 108. 21 亿 m³,增加的比例达到 29%。从水资源消耗比例来看,农业用水所占比例最大,达到了 69% ,第二产业用水占 24% 左右,第三产业用水占 7% 左右。通过调整流域种植结构,减少高污染、高耗水部门,以及提高水资源灌溉效率和水资源重复利用率等方法,每年可节约 5. 95 亿 m³ 水量。

5 建 议

虚拟水核算可以全面衡量流域内不同产业的真实用水量,为流域水资源的分配和利用提供参考。从核算结果可以看到,白洋淀流域不同产业的虚拟水用水量逐渐增加,用水结构不太合理。笔者提出以下几点建议:

- a. 减少种植面积大、效益低、耗水多的粮食作物,同时,采用相应的技术手段提高水资源利用效率;
- b. 大力推进循环经济,采用污水重复利用技术,进行产业结构调整等,以提高水资源利用效率,遏制用水量逐年增加的趋势;
- c. 注重工业结构的调整,提高高耗水、高污染产业的准入门槛,以改善水质,节约用水,从而保证生态用水安全。

参考文献:

[1] 陈宜瑜. 中国湿地研究[M]. 长春: 吉林科学技术出版社,1995.
[2] 杨志峰,刘静玲,孙涛,等. 流域生态需水规律[M]. 北京:北京科学出版社,2006.
[3] 刘大庆. 基于水循环模拟的沼泽湿地生态需水研究

[D]. 大连:大连理工大学,2008.
[4] 杨志峰,崔保山,刘静玲,等. 生态环境需水量理论、方法和实践[M]. 北京:科学出版社,2003:16-25.
[5] 程国栋. 虚拟水:中国水资源安全战略的新思路[J]. 中国科学院院刊,2003 (4) :260-265. (CHENG Guodong. Virtual water: a strategic instrument to achieve water security[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2003 (4) :260-265. (in Chinese))
[6] 刘梅,许新宜,王红瑞,等. 基于虚拟水理论的河北省水足迹时空差异分析[J]. 自然资源学报,2012,27 (6) :1022-1034. (LIU Mei, XU Xinyi, WANG Hongrui, et al. Water footprint and spatial-temporal analysis of Hebei Province based on virtual water theory [J]. Journal of Natural Resources, 2012, 27 (6) : 1022-1034. (in Chinese))
[7] CAO Y Q, JIANG L, ZHANG W N, et al. Case study of virtual water for agricultural products in Beijing-Tianjin-Hebei region of Haihe River basin [J]. Journal of Economics of Water Resource,2010,28 (5) :11-14.
[8] CHAPAGAIN A K, HOEKSTRA A Y. Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products, value of water research report series No. 13[R]. Delft, the Netherlands: UNESCO-IHE, 2003.
[9] YANG H, WANG L, ABBASPOUR KC, et al. Virtual water trade: an assessment of water use efficiency in the international food trade [J]. Hydrology and Earth System Science, 2006 (10) :443-454.
[10] 程国栋,赵传燕. 西北干旱区生态需水研究[J]. 地球科学进展, 2009, 31 (1) :84-93. (CHENG Guodong, ZHAO Chuanyan. Study on ecological water demand in arid area of Northwestern China [J]. Advances in Earth Science, 2009, 31 (1) :84-93. (in Chinese))
[11] 桂东伟,吕光辉,秦艳. 用虚拟水理论探讨干旱区生态用水问题[J]. 干旱区研究, 2007, 24 (4) :466-469. (GUI Dongwei, LV Guanghui, QIN Yan. Study on water consumption for the ecology in arid land in xinjiang with virtual water theory [J]. Arid Zone Research, 2007, 24 (4) :466-469. (in Chinese))
[12] 李国正,苏晓虹,简明凯. 河北省“非常规水资源”现状、潜力分析及对策[J]. 水资源保护, 2005, 21 (3) :58-60. (LI Guozheng, SU Xiaohong, JIAN Mingkai. Current situation, potential analysis and countermeasures of non-ordinary water resources in Hebei Province [J]. Water Resources Protection, 2005, 21 (3) :58-60. (in Chinese))
[13] ENGELMAN R, LEROY P. Sustaining water: population and the future of renewable water supplies [R]. Washington D C: Population and Environment Program, 1993.
[14] 张婷,刘静玲,王雪梅. 白洋淀水质时空变化及影响因子评价与分析[J]. 环境科学学报, 2010, 30 (2) :261-267. (ZHANG Ting, LIU Jingling, WANG Xuemei. Causal analysis of the spatial-temporal variation of water quality in Baiyangdian Lake [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2010, 30 (2) :261-267. (in Chinese))

- [2] 程晨健,李天文,王超,等. 利用 WASP 模型和 GIS 可视化集成的水质监测与模拟[J]. 地下水,2011,33(2): 52-55. (CHENG Chenjian, LI Tianwen, WANG Chao, et al. The water quality monitoring and simulation based on WASP method and GIS visualization in the lower reach of Weihe River[J]. Ground water,2011,33(2):52-55. (in Chinese))
- [3] 黄燕菊,王立林. 于桥水库水质信息管理系统方案研究[J]. 水利水电技术,2005,36(11):133-139. (WANG Yanju, WANG Lilin. Study on scheme of water quality information management system for Yuqiao Reservoir[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2005,36(11):133-139. (in Chinese))
- [4] 葛从兵,陈剑. 水库信息化探讨[J]. 水利建设与管理, 2006(4):54-56. (GE Congbing, CHEN Jian. Discussion on informatization of reservoir[J]. Water Resources Development and Management, 2006(4):54-56. (in Chinese))
- [5] 罗玉华,左军,李岩. 虚拟现实技术及其应用[J]. 科技信息,2010(1):52-53. (LUO Yuhua, ZUO Jun, LI Yan. Virtual reality technology and its application[J]. Science and Technology Information, 2010(1):52-53. (in Chinese))
- [6] CALEB B, OLIVER O, GUSTAVIOUS P W, et al. Dynamic multidimensional visualization for water quality data in rivers[C]//American Society of Civil Engineers. Bearing Knowledge for Sustainability. Palm Springs, CA, U S: [s. n.],2011: 4811-4819.
- [7] 张海明. Flex 在水质监控与预警可视化中的应用[J]. 中国建设信息,2010(11):38-42. (ZHANG Haiming. Applications of Flex in water quality monitoring and early warning visualization [J]. Information of China Construction,2010(11):38-42. (in Chinese))
- [8] CASSANDRA M, PAUL H, ZHANG Huajun, et al. Web-based decision support and visualization tools for water quality management in the Chesapeake Bay Watershed [C]//IEEE Computer Society. Proceedings of 2009 17th International Conference on Geoinformatics. Fairfax, VA, U S: [s. n.],2009: 1-6.
- [9] 张忠贵,杨之江. 水质信息管理系统及可视化平台搭建技术研究[J]. 建设科技,2012(5):86-87. (ZHANG Zhonggui, YANG Zhijiang. Research on the technology of water quality information management system and visualization platform [J]. Construction Science and Technology,2012(5):86-87. (in Chinese))
- [10] 张晨,刘万宏,高学平,等. 模糊数学在水库水质综合评价中的应用[J]. 安全与环境学报,2009,9(1):90-92. (ZHANG Chen, LIU Wanhong, GAO Xueping, et al. Application of fuzzy mathematics in the evaluation of the water quality of reservoirs [J]. Journal of Safety and Environment,2009,9(1):90-92. (in Chinese))
- [11] 尹海龙,徐祖信. 我国单因子水质评价方法改进探讨[J]. 净水技术,2008,27(2):1-3. (YI Hailong, XU Zuxin. Discussion on China's single-factor water quality assessment method [J]. Water Purification Technology, 2008,27(2):1-3. (in Chinese))
- [12] 韩路跃,杜行检. 基于 MATLAB 的时间序列建模与预测[J]. 计算机仿真,2005,22(4):105-108. (HAN Luyue, DU Xingjian. Modeling and prediction of time series based on Matlab[J]. Computer Simulation,2005,22(4):105-108. (in Chinese))
- (收稿日期:2012-09-21 编辑:徐 娟)

+++++
(上接第 85 页)

- [15] 乔光建,孙梅英,王斌. 河北省平原湿地减少原因分析[J]. 水资源保护,2010,26(3):33-37. (QIAO Guangjian, SUN Meiyang, WANG Bin. Analysis of cause of sharp decrease of wetlands in Hebei Plain[J]. Water Resources Protection,2010,26(3):33-37. (in Chinese))
- [16] 董娜. 白洋淀湿地生态干旱及两库联通补水分析[D]. 保定:河北农业大学. 2009.
- [17] 孙才志,张蕾. 中国农产品虚拟水-耕地资源区域时空差异演变[J]. 资源科学,2009,31(1):84-93. (SUN Caizhi, ZHANG Lei. Changes in spatial and temporal differences of agricultural product virtual water versus cultivated land in China[J]. Resources Science,2009,31(1):84-93. (in Chinese))
- [18] PETRESCU D C, BRAN F, PETRESCU MAG R M. The water footprint and its impact on sustainable water consumption [J]. Metalurgia International,2010,15:81-86.
- [19] 赵旭,杨志峰,陈彬. 基于投入产出分析技术的中国虚拟水贸易及消费研究[J]. 自然资源学报,2009,24(2):286-293. (ZHAO Xu, YANG Zhifeng, CHEN Bin. Study on Chinese virtual water trade and consumption in an input-output framework [J]. Journal of Natural Resources,2009,24(2):286-293. (in Chinese))
- [20] YANG Z F, MAO X F. Wetland system network analysis for environmental flow allocations in the Baiyangdian Basin, China [J]. Ecological Modelling,2011,222:3785-3794.
- (收稿日期:2012-06-28 编辑:彭桃英)