

聊城市生态足迹分析与可持续发展对策

王彤^{1,2}, 赵兴云^{1,2*}

(1. 山东师范大学人口·资源环境学院, 山东济南 250038; 2. 临沂大学资源环境学院, 山东临沂 273400)

摘要 在介绍生态足迹的概念和计算方法的基础上, 利用《聊城统计年鉴 2007》, 对聊城市的生态足迹进行了实证研究, 最后提出了减缓聊城市生态赤字之对策。结果表明, 2006 年聊城市人均生态足迹为 2.641 7 hm², 可利用的人均生态承载力为 0.865 9 hm², 人均生态赤字为 1.775 8 hm²。较大的生态赤字反映出聊城市对生物生产性土地面积的需求量已经严重超过区域生态系统的承载力。

关键词 生态足迹; 生态承载力; 生态赤字; 可持续发展; 聊城市

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)11-04997-03

生态足迹也称生态占用, 是指特定数量人群, 按照某一种生活方式所消费的、自然生态系统提供的各种商品和服务功能, 以及在这一过程中所产生的废弃物需要的环境(生态系统)吸纳, 并以生物生产性土地或水域面积来表示的一种可操作的定量方法。生态足迹的研究方法最初是 1922 年由加拿大生态经济学家 William 提出, 1996 年由其学生 Wackernagel 加以完善而成。其核心观点是把人类对资源与环境的利用换算成对土地和水域面积的占用, 反映出资源消耗和废物吸收所需要的生产性土地面积^[1]。该方法新颖独特, 富有科学性, 一经提出, 得到国内外学者的广泛关注。我国于 1922 年引入了生态足迹分析理论模型, 很快就作为一种新方法应用于一些省市的可持续发展状态分析中^[2-6]。通过生态足迹与生态承载力进行比较, 即可定量地判断某一国家或地区目前可持续发展的状态, 以便对未来人类生存和社会经济发展做出科学规划性建议。计算中, 人们把使用的生物生产性土地面积分为 6 种类型: 耕地、森林、草地、水域、建筑用地和化石能源用地。笔者应用生态足迹分析方法, 分析了 2006 年聊城市的生态足迹与生态承载力, 从而为聊城市发展低碳经济, 实现区域经济社会可持续发展提供参考。

1 生态足迹模型

1.1 生态足迹的计算

$$EF = N * ef = N * r_j * \sum_{i=1}^n (aa_i) = N * r_j * \sum_{i=1}^n (C_i / P_i)$$

式中, EF 为区域生态系统的总生态足迹; N 为该区域总的人口数; ef 为人均生态足迹; r_j 为第 j 种生物生产性土地类型的均衡因子; aa_i 为第 i 种消费商品折算成的人均生物生产面积; C_i 为第 i 种商品的人均年消费量; P_i 为第 i 种商品的全球年平均生产能力; i 为消费品和投入的类型; j 为生物生产性土地类型。

由于单位面积耕地、森林、草地、水域、建筑用地、化石能源用地的生物生产性能力差异较大, 为了使结果转化为一个可比较的标准, 需要在每种生物生产面积前乘上一个均衡因子, 以转化为统一的、可比较的生物生产性土地面积。均衡因子的选取参考来自国际各国生态足迹报告^[2]。该研究中

均衡因子的取值如下: 耕地为 2.8, 建筑用地为 2.8, 森林为 1.1, 化石能源用地为 1.1, 草地为 0.5, 水域为 0.2。

1.2 生态承载力的计算 生态承载力是一个区域所能实际提供给人类的资源和产品折合为所有生物生产性土地面积的总和^[4], 其模型公式如下:

$$EC = N * ec = N * \sum_{j=1}^n (a_j r_j y_j) \quad (j=1, 2, \dots, 6)$$

式中, EC 为区域生态系统的总生态承载力; N 为区域总人口数; ec 为人均生态承载力; a_j 为实际人均占有的第 j 类生物生产性土地面积; r_j 为第 j 类生物生产性土地类型的均衡因子; y_j 为第 j 类生物生产性土地类型的产量因子。

由于不同国家或地区的资源禀赋不同, 不仅单位面积不同类型生物生产土地生产力差异较大, 而且单位面积相同类型的生物土地生产力差异也很大。为使计算结果转化为可比较的标准, 就要在每种生物生产面积前乘上均衡因子的基础上, 再加乘一个“产量因子”。同时, 根据世界环境与发展委员会(WCED)的建议, 扣除 12% 的生态容量以保护生物多样性。因此, 在计算聊城市生态承载力时, 扣除了 12% 的生物多样性保护面积。

1.3 生态赤字/盈余的计算 生态赤字/盈余的计算模型为:

$$ED/ER = EF - EC$$

式中, ED 为生态赤字; ER 为生态盈余; EF 为生态足迹; EC 为生态承载力。如果区域内的生态足迹超过了该区域的生态承载力, 就会出现生态赤字, 表明该区域的人类负荷超过了其生态容量, 要满足其人口目前生活水平下的消费要求, 该地区要从地区之外引进欠缺的资源或者通过消耗自然资源以平衡生态足迹。相反, 如果区域内的生态足迹小于区域生态承载力, 则表现为生态盈余, 表明该区域生态容量足以支持其人类负荷。

2 聊城市生态足迹的计算

2.1 聊城市概况及数据来源 聊城市位于山东省最西部, 地处冀、豫、鲁 3 省的交界处, 有黄河过境。同时, 贯穿我国南北的京九铁路在此设有重要站口。聊城地区总面积 871 457 hm², 辖 1 市 6 县, 总人口 572.82 万。此地属温带半干旱大陆性季风气候区, 土地平坦, 适宜耕种。有关 2006 年聊城市生态足迹需求及生态承载力的数据均来自《聊城统计年鉴 2007》^[7], 有关国际性对应数据参照文献^[5-6]。

基金项目 国家自然科学基金(41072139)。

作者简介 王彤(1983-), 男, 山东滨州人, 硕士研究生, 研究方向: 树木年轮生态学, E-mail: synzyx@sina.com。* 通讯作者, 教授, 博士, 从事树木年轮学研究, E-mail: synzyx@sina.com。

收稿日期 2013-04-02

2.2 聊城市生态足迹的计算

2.2.1 生物资源生态足迹。该研究中,将聊城市生物资源消费分为农产品、动物产品、林产品、水产品和木材等五大类,包括 17 项指标。采用 2006 年联合国粮农组织生物资源的世界平均产量^[6],将 2006 年聊城市生物资源消费转化为提供这类消费需要的生物资源生产面积(表 1)。在计算过程中,由于《聊城统计年鉴 2007》中缺少棉花这一消费类型的年人均消耗量,只查得其年人均产量为 15 kg,因此运用一定的数学方法求得年人均消费量。首先通过检索《聊城统计年鉴 2007》,查得水果和油料作物这两类消费类型的人均产量与消费量的数值,分别计算出消费量占产量的比值,得出平均消费百分比,再根据已有数据,便可得出棉花的年人均消费量。

2.2.2 能源生态足迹。该研究中,将聊城市能源消费分为原煤、洗精煤、其他洗煤、焦炭、原油、汽油、柴油、煤油、天然气、燃料油、电力和热力 12 种。以世界上单位化石燃料的平均发热量为标准,利用折算系数,将聊城市各种能源消耗量折算成一定的化石能源用地和建筑用地面积。该计算过程与生物资源账户的主要区别在于消耗量要通过折算系数换算成单位面积能源产量,再进行计算(表 2)。

表 1 2006 年聊城市生物资源生态足迹

消费类型	全球平均产量 //kg/hm ²	年人均消费量 //kg	土地类型	均衡因子	人均生态足迹 //hm ²
酒	490.0	12.24	耕地	2.8	0.069 9
糖	4 964.1	1.06	耕地	2.8	0.000 6
猪肉	457.0	6.32	耕地	2.8	0.038 7
禽类	33.0	4.12	耕地	2.8	0.349 6
蛋类	400.0	11.25	耕地	2.8	0.078 8
谷物	2 744.0	226.71	耕地	2.8	0.231 3
蔬菜	14 647.0	55.23	耕地	2.8	0.010 6
瓜类	14 647.0	7.68	耕地	2.8	0.001 5
油料作物	508.0	8.54	耕地	2.8	0.047 1
烟叶	1 637.0	0.14	耕地	2.8	0.000 2
棉花	1 000.0	2.98	耕地	2.8	0.008 3
牛羊肉	33.0	0.75	草地	0.5	0.011 4
牛奶	502.0	2.78	草地	0.5	0.002 8
水果	9 541.0	9.48	森林	1.1	0.001 1
坚果	1 378.4	1.23	森林	1.1	0.001 0
木材	2.0 [*]	0.04	森林	1.1	0.022 1
水产品	29.0	1.83	水域	0.2	0.012 6

注:“*”表示单位为 m³/hm²;年人均消费量数据均来自《聊城统计年鉴 2007》;酒、糖、坚果、水产品的全球平均产量参照文献[4];其余消费类型的全球平均产量参照文献[5]。

表 2 2006 年聊城市的能源生态足迹

类型	全球平均能量 //GJ/hm ²	折算系数 GJ/t	年总消费量 //t	人均消费量 //t	土地类型	均衡因子	人均生态足迹 //hm ²
原煤	55	20.934	15 953 987	2.785 2	化石能源用地	1.1	1.166 1
洗精煤	55	26.343	645 263	0.112 6	化石能源用地	1.1	0.059 3
其他洗煤	55	3.274	10 723	0.001 9	化石能源用地	1.1	0.000 1
焦炭	55	28.470	281 454	0.041 9	化石能源用地	1.1	0.027 8
原油	93	41.868	14 617	0.002 6	化石能源用地	1.1	0.001 3
汽油	93	43.124	9 167	0.001 6	化石能源用地	1.1	0.000 8
柴油	93	42.705	24 289	0.004 2	化石能源用地	1.1	0.002 1
煤油	93	43.124	775	0.000 1	化石能源用地	1.1	0.000 1
天然气	71	39.978 ^a	29 356 ^b	0.005 1 ^b	化石能源用地	1.1	0.003 2
燃料油	71	41.868	144 230	0.025 2	化石能源用地	1.1	0.016 3
电力	1 000	11.840 ^c	1 381 513 ^d	0.241 2	建筑用地	2.8	0.000 8
热力	1 000	29.344	33 197 118 ^e	5.795 5	建筑用地	2.8	0.476 2

注:“a”表示单位为 GJ/×10⁴ m³;“b”表示单位为 m³;“c”表示单位为 GJ/(kW·h);“d”表示单位为 kW·h;“e”表示单位为 GJ。年总消费量数据均来自《聊城统计年鉴 2007》;人均消费量由已知人口总数通过计算得到;全球平均能量与相应折算系数均参照文献[5]。

2.3 聊城市生态承载力的计算

2.3.1 产量因子的计算。将聊城市每种生物生产性土地产量与该类型土地的世界土地产量进行比较,得出产量因子。其中,耕地采用谷物产量,森林采用原木产量,水域采用水产品产量,因建筑用地都是占用生产力较高的耕地面积,所以采用耕地的产量因子。由于聊城市无大面积的牧草场分布,故对草地产量暂不考虑。生态足迹中的化石能源用地,在生态承载力中表现为 CO₂ 的吸收用地。同时,聊城市无留出的专供吸收 CO₂ 的土地,所以该项也暂不考虑。各类型的产量值参照《聊城统计年鉴 2007》,世界平均产量参照文献[5](表 3)。

2.3.2 生态承载力的计算。查阅《聊城市统计年鉴 2007》,

得到 2006 年聊城市 6 种生物生产性土地面积,再根据聊城地区的总人口数,便可得到人均实际面积,从而计算出人均生态承载力。

表 3 聊城市不同土地类型的产量因子

土地类型	聊城市产量 kg/hm ²	世界平均产量 kg/hm ²	产量因子
耕地	6 608.00	2 744.00	2.41
森林	3.71	1.99	1.86
水域	1 103.46	29.00	38.05
建筑用地			2.41

2.4 聊城市生态足迹与生态承载力分析 2006 年,聊城市的人均生态足迹为 2.641 7 hm²,处于慎重考虑,在计算聊省

市生态承载力时扣除了 12% 的生物多样性保护面积 $0.118\ 08\ \text{hm}^2$, 所以得到的实际可利用的人均生态承载力为 $0.865\ 9\ \text{hm}^2$, 可知聊城市生态系统出现生态赤字 $1.775\ 8\ \text{hm}^2$ 。2006 年聊城市人均生态足迹赤字是实际可利用人均生态承载力的 2.05 倍。假如不考虑 12% 的生物多样性保护面积, 人均生态足迹赤字仍是其人均生态承载力的 1.80 倍。即至少还需要相当于 1.80 个聊城市版图大的全球平均空间的生物生产性面积, 才能基本维持聊城市的生态平衡。由此可见, 随着经济的发展和人民生活水平的不断提高, 聊城市生物资源生产土地面积需求量, 已经超过了区域生态系统的承载力, 生态系统处于一种生态赤字状态, 表明聊城的发展模式处于一种不可持续的状态, 应当引起重视。由表 4 可知, 在人均生态足迹中, 化石能源用地所占比例最大, 为 48.34%; 其次是耕地, 为 31.67%; 水域所占比例最小, 仅 0.48%。这表明聊城市对化石能源用地和耕地的需求量较大, 随着工业生产的迅速发展和人民生活消费水平的提高, 对能源的需求量也增加, 从而出现较高的比例。而聊城市本身的能源不能满足其较高的消费, 这就需要从其他地区输入一定量的能源, 来维持其本身的发展。聊城市正处于发展中状态, 日后对化石能源的需求会越来越高。此外, 森林、草地和水域在人均生态足迹中所占比例较小, 说明人们对木材、牛羊肉、水产品的需求量较少, 民众的生活水平还处在较低的状态。从另一方面来看, 这有利于对森林、草地和水域的保护。

表 4 2006 年聊城市生态足迹

土地类型	人均面积 hm^2	均衡因子	人均均衡面积// hm^2	所占比例//%
耕地	0.298 8	2.8	0.836 6	31.67
森林	0.022 0	1.1	0.024 2	0.92
草地	0.028 4	0.5	0.014 2	0.54
水域	0.063 0	0.2	0.012 6	0.48
化石能源用地	1.161 0	1.1	1.277 1	48.34
建筑用地	0.170 4	2.8	0.477 0	18.06
合计			2.641 7	

由表 5 可知, 在人均生态承载力的构成中, 耕地占据较大的份额, 为 67.66%, 说明种植业在农业经济结构中所占比例较大。聊城以农耕为主, 随着人们生活水平的提高, 人们对肉、奶、水产品的消费会增大, 而较少的草地资源会使产品出现供给不平衡, 因此要加大牧草场的建设。聊城地处平原地区, 地形平坦, 土壤肥沃, 便于农耕, 且有利于交通联系和节省建筑投资, 是人口集中分布和城市发育最理想的地区, 将来有望发展成为人口密集型大都市。因此, 应采取相应措施, 减轻聊城市生态系统的生态足迹, 并适当地采取措施提高生态承载力, 以减缓聊城城市生态系统的生态赤字, 使聊城走持续稳定发展的道路。通过对比 2006 年聊城市生态足迹与生态承载力, 可得出聊城市生态系统出现赤字的来源。聊城市生态赤字的产生, 主要是化石能源的大量需求使用造成的。其次, 耕地和建筑用地出现相对较大的赤字, 这

与人口数量过多、增长速度过快有关。再次, 森林和草地也出现一定的赤字, 需要人们注意对森林、草地资源的建设与保护。同时, 通过合理的安排规划, 可以相应的提高两者的生态承载力。水域出现盈余, 这在全国来说, 难能可贵。随着生活水平的提高, 未来民众对水产品的需求量会增加, 水域生态自己会相应增大, 应对水域实施合理作息, 预防赤字的发生。

表 5 2006 年聊城市生态承载力

土地类型	生产性土地面积 hm^2	人均实际面积 hm^2	均衡因子	产量因子	校正后的人均面积// hm^2	所占比例/%
耕地	565 226	0.098 67	2.8	2.41	0.665 8	67.66
森林	63 145	0.011 02	1.1	1.86	0.022 5	2.29
CO ₂ 吸收用地	0 0		-	0	0	0
草地	0 0		0.5	0	0	0
水域	63 580	0.011 10	0.2	38.05	0.084 5	8.59
建筑用地	179 296	0.031 30	2.8	2.41	0.211 2	21.46
合计					0.984 0	

3 减缓聊城市生态赤字的对策

3.1 开发新能源 传统化石能源储量有限, 对区域经济发展的贡献率越来越低, 而其在燃烧过程释放大量温室气体和有害气体是全球变暖 and 环境污染的重要因素。聊城市有丰富的地热资源, 只要充分开发利用, 可以大大减少对化石能源的使用; 太阳能的开发利用在聊城市也刚刚起步, 具有广阔的前景; 而作为农业为主的地区, 聊城市各种作物秸秆的利用率非常低, 如果用来开发生物能源, 将与前两种能源一起共同开辟聊城市低碳经济的广阔新天地。

3.2 发展循环经济 资源短缺不仅由于资源总量有限, 而且在于资源利用率低, 浪费严重, 同时带来环境的污染和破坏。循环经济将有限资源的利用最大化, 垃圾废物最低化。循环经济就是低碳经济, 它在农业领域的表现就是生态农业、设施农业, 在工业领域是通过建设生态工业园, 将相关生产企业通过产业链联系起来, 一个生产过程的废物成为下一生产过程的原料, 降低单位产值的能耗, 缓解生态赤字压力。

3.3 加强生态文明建设 良好的生态环境是人类生存发展的基础, 也是全球生态系统安全稳定的保证。环境污染带来资源的浪费, 影响人们身体健康、生活幸福, 增加社会发展的负担。党的十七大提出, 生态文明建设, 就是要求人类摆正自己在生态系统中的位置, 人类是生态系统的一个组成成分, 而不是生态系统的主宰。珍惜包括土地资源、水资源在内的各种资源, 处理好资源开发与环境保护的关系, 不断提高生态承载力。

3.4 增加科技投入 科学技术是第一生产力。无论是新能源的开发, 还是低碳经济的发展都离不开科学技术的进步。增加研发投入, 加强研发队伍建设是实现经济社会可持续发展的重要动力。山东省淡水资源短缺, 通过增加科技投入, 发展海水淡化技术, 可以有效缓解水资源在区域经济发展过程中的压力, 为山东省的可持续发展增加动力。

2 水动力对藻类的间接作用

2.1 沉积物悬浮情况对藻类生长的影响 在天然水体中,大强度的水体扰动势必会引起沉积物的再次悬浮,悬浮物中的一些氮磷营养元素释放到水体中,使得水体中 TN、TP 的浓度处于较高的水平,是影响藻类生长的原因之一^[16-18]。朱光伟等^[16]通过对强弱风浪之后太湖梅梁湾一浅水区悬浮物及营养盐的观察和分析,认为水体扰动引起的沉积物中营养盐的释放可以成为水体生态系统中营养盐的主要来源。但是,悬浮物的再次沉降对藻类有掩埋和卷带作用,胶体沉降物能使微囊藻失去浮力而沉降^[19]。

2.2 水动力对藻类营养盐吸收的影响 颜润润等^[18]通过观察底泥的悬浮状态确定扰动转速,模拟自然条件下的不同风浪强度,研究贫富营养情况下,扰动对藻类的生长影响。在贫营养的情况下,相当于太湖风速 4.0 m/s 的 120 r/min 扰动强度最有利于铜绿微囊藻生长;藻类的比增长率和最大生物量随转速的提高先增大后减小。结果表明,在磷受限时,铜绿微囊藻的生长会降低培养液中的磷浓度,磷浓度较低时,扩散速度也随之减慢。扰动可以重新分配营养盐分布,而且可以降低细胞周围次级代谢产物的浓度,不仅有利于藻细胞对营养物质的吸收,而且可以提高营养物质的利用率;不破坏生长环境又有利于营养盐吸收的小扰动对铜绿微囊藻生长有明显的促进作用,然而强度增大到一定程度时,扰动对藻类生长环境的影响更加显著,因此不利于藻类的生长。

2.3 水动力对藻类碳源吸收的影响 藻类属于典型的自养型生物,以无机碳(CO₂)作为主要碳源。在碳源不充足的水环境中,扰动可以增加水体中 CO₂ 的浓度,影响藻类的生长。江林燕等^[20]采用搅拌器设置 0 和 300 r/min 两种转速,研究 CO₂ 对铜绿微囊藻生长的影响。结果表明,带有胶塞的试验组,铜绿微囊藻在静止和扰动两种情况下生长趋势基本没有差别;没有胶塞的试验组,扰动组的生长情况明显好于静止组。因此在控制 CO₂ 含量的情况下,扰动对铜绿微囊藻生长的影响作用并不明显,说明扰动为铜绿微囊藻的光合作用提供更多的 CO₂ 是促进藻类生长的间接原因之一。

3 结语

自然条件下,所有水系都存在不同程度和不同形式的水动力情况,与室内模拟的单纯环境相比较,天然水体环境要更复杂而多变,除光照、温度、pH、浊度、营养物质等环境因子外还有多样的生物群体。所以扰动对藻类生长的影响应该是多方面因素的叠加效应。水动力对藻类生长有影响作用

虽然被普遍认可,但是抑制和促进藻类生长的方式以及临界阈值仍没有得到统一的结论,影响藻类的最主要作用仍需进一步研究。如果可以根据自然水体的风浪、江湖河流关系引起的水动力情况治理藻类水华现象,不仅可以减少经济投入,而且也可以避免外加因素对水环境的破坏和污染。

参考文献

- [1] 朱广伟. 太湖富营养化现状及原因分析[J]. 湖泊科学, 2008, 20(1): 21-26.
- [2] 范天瑜, 吴青文, 胡柯, 等. 城市湖泊富营养化治理的新思路[C]//中国环境科学学会. 中国环境科学学会学术年会论文集. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009: 38-41.
- [3] 董昌华. 水体富营养化发生的原因分析及植物修复机理的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
- [4] 陈伟明, 陈宇炜, 秦伯强, 等. 模拟水动力对湖泊生物群落岩体演变的试验[J]. 湖泊科学, 2000, 12(4): 343-353.
- [5] 孔繁翔, 高光. 大型浅水富营养化湖泊中蓝藻水华形成机理的思考[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 589-595.
- [6] 吴晓辉, 李其军. 水动力条件对藻类影响的研究进展[J]. 生态环境学报, 2010, 19(7): 1732-1738.
- [7] YAMAMOTO T, HASHIMOTO T, TARUTANI K, et al. Effects of winds, tides and river water runoff on the formation and disappearance of the *Alexandrium tamarense* bloom in Hiroshima Bay, Japan [J]. Harmful Algae, 2002, 1: 301-312.
- [8] YANG Z J, LIU D F. Influence of the impounding process of the Three Gorges Reservoir up to water level 172. 5 m on water eutrophication in the Xiangxi Bay [J]. Technological Sciences, 2010, 53(4): 1114-1125.
- [9] FERRIS J A, LEHAMN J T. Interannual variation in diatom bloom dynamics: Roles of hydrology, nutrient limitation, sinking, and whole lake manipulation [J]. Water Research, 2007, 41(12): 2551-2562.
- [10] 廖平安, 胡秀琳. 流速对藻类生长影响的试验研究[J]. 北京水利, 2005(2): 12-15.
- [11] 曹巧丽. 水动力条件下蓝藻水华生消的模拟实验研究与探讨[J]. 灾害与防治工程, 2008, 64(1): 67-71.
- [12] 高月香, 张毅敏, 张永春. 流速对太湖铜绿微囊藻生长的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2007, 23(2): 57-60.
- [13] 焦世珺. 三峡库区低流速河段流速对藻类生长的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2007: 12-55.
- [14] 王培丽. 水动力和营养角度探讨汉江硅藻水华发生机制的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.
- [15] 金相如, 李兆春, 郑朔方. 铜绿微囊藻生长特性研究[J]. 环境科学研究, 2004, 17(S1): 52-54.
- [16] 朱广伟, 秦伯强, 高光. 强弱风浪扰动下太湖的营养盐垂向分布特征[J]. 水科学进展, 2004, 15(6): 775-780.
- [17] 朱广伟, 秦伯强, 张路, 等. 太湖底泥悬浮中营养盐释放的波浪水槽试验[J]. 湖泊科学, 2005, 17(1): 61-68.
- [18] 颜润润, 逢勇, 陈晓峰, 等. 不同风等级扰动对贫富营养下铜绿微囊藻生长的影响[J]. 环境科学, 2008, 29(10): 2749-2753.
- [19] ROBERT E L. Phycology [M]. Second edition. London: Cambridge Univ Press, 1985.
- [20] 江林燕, 江成, 周伟, 等. 水体扰动对铜绿微囊藻生长影响的规律及原因[J]. 环境化学, 2012, 31(2): 216-220.

- [21] GUAN S C, LI Y X, WANG G, et al. Seawater acclimation of *Spirulina* [J]. Agricultural Science & Technology, 2012, 13(7): 1595-1597, 1615.
- [22] 谢林伸, 莫妙兴. 富营养条件下水质对伊乐藻与菹草生物物质腐烂速率的影响[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(30): 14630-14632.
- [23] 王培丽, 王成, 周伟, 等. 水动力对铜绿微囊藻生长的影响[J]. 水土保持研究, 2008, 15(4): 138-141.
- [24] 张秋花, 薛惠锋, 寇晓东, 等. 西安市 2004 年生态足迹分析[J]. 西北农林科技大学学报, 2007, 35(10): 110-114.
- [25] 尹力军, 张新峰, 郝瑞彬. 2006 年唐山市生态足迹研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(14): 5993-5995.
- [26] 叶田, 杨海真. 上海市 2003 年生态足迹计算与分析[J]. 四川环境, 2005, 24(3): 15-18.
- [27] 聊城市统计局. 聊城统计年鉴 2007 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2007.

(上接第 4999 页)

参考文献

- [1] WACKERNAGEL M, ONISTO L, BELL P, et al. Ecological footprints of nations [R]. Toronto: International Council for Local Environmental Initiatives, 1997: 10-21.
- [2] 张志强, 徐中民, 程国栋, 等. 中国西部 12 省(区、市)的生态足迹[J]. 地理学报, 2001, 56(5): 599-610.
- [3] 刘富刚. 基于生态足迹的鲁西北生态经济可持续发展研究——以德州