

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第9期 Vol.31 No.9 **2011**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 9 期

2011 年 5 月 (半月刊)

目 次

EAM 会议专刊述评——气候变化下旱区农业生态系统的可持续性	李凤民, Kadambot H. M Siddique, Neil C Turner, 等 (I)
第二届生态系统评估与管理(EAM)国际会议综述	李朴芳, 赵旭喆, 程正国, 等 (2349)
应对全球气候变化的干旱农业生态系统研究——第二届 EAM 国际会议青年学者论坛综述	赵旭喆, 李朴芳, Kadambot H. M Siddique, 等 (2356)
微集雨模式与降雨变律对燕麦大田水生态过程的影响	强生才, 张恒嘉, 莫非, 等 (2365)
黑河中游春小麦需水量空间分布	王 瑶, 赵传燕, 田风霞, 等 (2374)
祁连山区青海云杉林蒸腾耗水估算	田风霞, 赵传燕, 冯兆东 (2383)
甘肃小陇山不同针叶林凋落物量、养分储量及持水特性	常雅军, 陈 琦, 曹 靖, 等 (2392)
灌水频率对河西走廊绿洲菊芋生活史对策及产量形成的影响	张恒嘉, 黄高宝, 杨 斌 (2401)
玛纳斯河流域水资源可持续利用评价方法	杨 广, 何新林, 李俊峰, 等 (2407)
西北旱寒区地理、地形因素与降雨量及平均温度的相关性——以甘肃省为例	杨 森, 孙国钧, 何文莹, 等 (2414)
黑河河岸植被与环境因子间的相互作用	许莎莎, 孙国钧, 刘慧明, 等 (2421)
干旱胁迫对高山柳和沙棘幼苗光合生理特征的影响	蔡海霞, 吴福忠, 杨万勤 (2430)
树锦鸡儿、柠条锦鸡儿、小叶锦鸡儿和鹰嘴豆干旱适应能力比较	方向文, 李凤民, 张海娜, 等 (2437)
胡杨异形叶绿素荧光特性对高温的响应	王海珍, 韩 路, 徐雅丽, 等 (2444)
柠条平茬处理后不同组织游离氨基酸含量	张海娜, 方向文, 蒋志荣, 等 (2454)
玛河流域扇缘带盐穗木土壤速效养分的“肥岛”特征	涂锦娜, 熊友才, 张 霞, 等 (2461)
摩西球囊霉对三叶鬼针草保护酶活性的影响	宋会兴, 钟章成, 杨万勤, 等 (2471)
燕麦属不同倍性种质资源抗旱性状评价及筛选	彭远英, 颜红海, 郭来春, 等 (2478)
光周期对燕麦生育时期和穗分化的影响	赵宝平, 张 娜, 任长忠, 等 (2492)
水肥条件对新老两个春小麦品种竞争能力和产量关系的影响	杜京旗, 魏盼盼, 袁自强, 等 (2501)
猪场沼液对蔬菜病原菌的抑制作用	尚 斌, 陈永杏, 陶秀萍, 等 (2509)
不同夏季填闲作物种植对设施菜地土壤无机氮残留和淋洗的影响	王芝义, 郭瑞英, 李凤民 (2516)
不同群体结构夏玉米灌浆期光合特征和产量变化	卫 丽, 熊友才, Baoluo Ma, 等 (2524)
脱硫废弃物对碱胁迫下油菜幼叶细胞钙分布及 Ca^{2+} -ATPase 活性的影响	毛桂莲, 许 兴, 郑国琦, 等 (2532)
过去 30a 玛纳斯河流域生态安全格局与农业生产力演变	王月健, 徐海量, 王 成, 等 (2539)
基于 RS 和转移矩阵的泾河流域生态承载力时空动态评价	岳东霞, 杜 军, 刘俊艳, 等 (2550)
毛乌素沙地农牧生态系统能值分析与耦合关系	胡兵辉, 廖允成 (2559)
民勤绿洲农田生态系统服务价值变化及其影响因子的回归分析	岳东霞, 杜 军, 巩 杰, 等 (2567)
青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务价值	张绪良, 徐宗军, 张朝晖, 等 (2576)
基于 3S 技术的祖厉河流域农村人均纯收入空间相关性分析	许宝泉, 施为群 (2585)
专论与综述	
全球变化下植物物候研究的关键问题	莫非, 赵 鸿, 王建永, 等 (2593)
区域气候变化统计降尺度研究进展	朱宏伟, 杨 森, 赵旭喆, 等 (2602)
干旱胁迫下植物根源化学信号研究进展	李冀南, 李朴芳, 孔海燕, 等 (2610)
山黧豆毒素 ODAP 的生物合成及与抗逆性关系研究进展	张大伟, 邢更妹, 熊友才, 等 (2621)
旱地小麦理想株型研究进展	李朴芳, 程正国, 赵 鸿, 等 (2631)
小麦干旱诱导蛋白及相关基因研究进展	张小丰, 孔海燕, 李朴芳, 等 (2641)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-05



封面图说: 覆膜-垄作燕麦种植——反映了雨水高效利用和农田水生态过程的优化(详见强生才 P2365)。

彩图提供: 兰州大学干旱与草地生态教育部重点实验室莫非 E-mail: mofei371@163.com

青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务价值

张绪良^{1,*}, 徐宗军², 张朝晖², 谷东起², 王立华³

(1. 青岛大学师范学院地理系, 青岛 266071; 2. 国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266061;

3. 青岛农业大学建筑工程学院, 青岛 266109)

摘要:在分析青岛市城市绿地空间分布及面积动态变化基础上,利用市场价值法、生产成本法、替代费用法等方法计算了1999—2009年各年度青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务价值。结果表明,1999—2009年青岛市城市绿地的环境净化服务价值由 1.587×10^8 元增至 3.491×10^8 元,人均城市绿地的环境净化服务价值由68.42元增至126.73元。11年间青岛市城市绿地的环境净化服务价值增加了 1.904×10^8 元,平均年增长率为10.91%。在青岛市城市绿地生态系统环境净化服务总价值构成中,其气体调节服务价值占总价值的49.81%—51.72%,而吸收有害气体和滞尘服务价值、减弱噪声服务价值占48.28%—50.19%。城市绿地的气体调节服务具有地域空间的可转移性,可以由城市以外的自然生态系统补偿;而其吸收有害气体和滞尘服务与减弱噪声服务则不具有地域空间的可转移性。加强城市绿地建设、提高城市绿化水平是改善青岛市城市环境和提高城市居民生活质量的有效措施。

关键词:城市绿地;生态系统;环境净化服务;价值评估;青岛市

Environment purification service value of urban green space ecosystem in Qingdao City

ZHANG Xuliang^{1,*}, XU Zongjun², ZHANG Zhaohui², GU Dongqi², WANG Lihua³

1 Department of Geography, Normal College, Qingdao University, Qingdao 266071, China

2 The First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China

3 School of Architecture and Civil Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China

Abstract: Urban green space ecosystem has the functions of gas regulation, harmful gas and dust absorption, and noise reduction, playing an important role in improving urban environment and ensuring human health. These purification services also provide a basis for realizing urban sustainable development. The evaluation of the environment purification service value of urban green space ecosystem in Qingdao City, in combination with the analysis of green space distribution and its construction process under the situation of population increase, could provide a theoretical basis for the urban planning, ecological city construction, and urban green space construction of the City, and for the improvement of its urban environment as well as the sustainable development of the city ecosystem. From 1999 to 2009, the total urban green space in Qingdao had increased from 7005.4 hm^2 to 16002.8 hm^2 , with the green space per capita increased from 30.20 m^2 to 58.09 m^2 , public green space per capita increased from 7.35 m^2 to 14.54 m^2 , green coverage rate of built-up area increased from 35.90% to 43.20%, and the numbers of zoos and botanical gardens increased from 36 to 73. Both the population and the urban green space in Qingdao urban area in 2009 had the characteristics of spatially uneven distribution. Comparatively, the four urban districts (Shinan, Shibei, Sifang, and Licang) had a larger and denser population but a smaller green coverage rate of built-up area and smaller public green area; while the three suburb districts (Laoshan, Chengyang, and Huangdao) had a smaller and sparser population, but a larger green coverage rate of built-up area and

基金项目:国家海洋公益性行业科研专项经费项目(200805066, 200805080);山东省黄河三角洲生态环境重点实验室开放基金资助项目(2009KFJJ04)

收稿日期:2010-08-10; 修订日期:2010-12-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Geo_zhang@163.com

larger public green area per capita. Based on the spatiotemporal dynamics of green space in Qingdao from 1999 to 2009, the annual environment purification service value of urban green space ecosystem in the City was calculated by using market value method, production cost method, and displacement cost method, and the results indicated that in 1999—2009, the environment purification service value of urban green space ecosystem in the City increased dramatically from 1.587×10^8 yuan RMB to 3.491×10^8 yuan RMB, with the service value per capita increased from 68.42 yuan RMB to 126.73 yuan RMB. In the eleven years, the net increase of the service value was 1.904×10^8 yuan RMB, with the average annual increasing rate being 10.91%. In the total purification service value, the service value of gas regulation accounted for 49.81%—51.72%, and that of harmful gas and dust absorption and noise reduction accounted for 48.28%—50.19%. The gas regulation service of urban green space had the transferability in locality, which could be compensated by the natural ecosystems out from urban areas, while the service of harmful gas and dust absorption and noise reduction was the one which had no transferability in locality. To intensify the urban green space construction and to enhance the greening level would be the effective measures in improving the urban environment quality and human habitation standard of Qingdao. In methodological aspect, the indices yearly carbon-fixation and oxygen release amounts per unit area of urban green space adopted by Liu Yunlong et al. (2009) were modified, but there still had two aspects that should be modified. First, appropriate methods should be adopted to eliminate the influence of US Dollar exchange rate to RMB on the calculation of yearly carbon-fixation survive value, and the second, the environment purification service value of urban green space ecosystem should be calculated by using the areas of forestland, shrub land, and grassland, if the data could be provided, to obtain more accurate results.

Key Words: urban green space; ecosystem; environment purification service; value assessment; Qingdao City

生态系统服务是指生态系统及其生态过程所形成并维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用,以及对人类生存及提高生活质量有贡献的产品和功能,包括气体调节、气候调节、水分调节、水分供给、养分循环、食物生产等 17 个方面^[1-2]。生态系统服务价值评估是生态系统评价的主要内容之一,自 1997 年 Costanza 等对全球生态系统服务价值进行定量评价和 Daily 主编的 *Nature's Service: Societal Dependence on Natural Ecosystems* 出版以来,生态系统服务价值评估已经成为生态学、生态经济学等学科研究的热点和前沿^[2-3]。国内较早开展的生态系统服务价值研究是 1997 年薛达元对长白山自然保护区生态系统生物多样性的经济价值评估^[4]。此后国内该领域的研究在以下 5 个方面蓬勃发展:(1)生态系统服务价值评估方法比较。如对条件价值法、费用支出法与市场价值法的比较,对各种条件价值法的相互比较等^[5-6]。(2)对不同区域类型生态系统服务价值的评估。如对农牧交错带、海岸带、黄土高原、喀斯特地区、流域等自然地理区域,对城市、国家、省等不同等级行政区域的生态系统服务价值及其变化的评估^[7-9]。(3)对森林、海洋、湿地、草地、湖泊等不同类型生态系统服务价值的评估^[10-14]。(4)对生物多样性保护、土壤保持、环境净化等生态系统的单项服务价值评估^[4,15-16]。(5)对生态系统服务价值响应区域土地利用或景观格局变化的研究^[14,17]。近 10 多年来国内生态系统服务价值研究已从对国外研究的简单模仿逐渐转向对评估模型参数的修正、对技术方法的适应性集成与发展,研究对象从大尺度和单一生态系统逐渐转向中尺度区域,并开始关注生态系统服务价值的动态变化及其驱动机制^[18]。

在上述几个研究领域中,对城市生态系统服务价值的评估多属于对特定行政区域生态系统服务价值的评估,研究发展相对缓慢。国外尚未有这方面的专门研究,国内很少几个实证研究是以城市区域土地利用结构为基础,对城市所辖地域不同生态功能区生态系统服务总价值的评估,实质上是对城市所辖行政区域(包括建成区和非建成区)生态系统服务价值的评估^[7,19-21]。在此基础上的进一步研究仅有 2009 年柳云龙等对上海市建成区城市绿地的气体调节、吸收有害气体、滞尘和减弱噪声等几项生态系统环境净化服务价值的专门评估^[16],但柳云龙等评估城市绿地固碳释氧服务价值时选取的指标存在较大问题,需要改进。

城市是人口高度集中的居民点,现今快速的城市化过程带来了用地紧张、交通拥挤、污染加重等城市环境问题,这严重干扰了城市生态系统服务,使城市成为人为的生态脆弱带。随着城市经济的不断发展,城市居民对生活质量的需求已经从温饱提升到追求健康、舒适。城市绿地生态系统的气体调节、吸收有害气体、滞尘、减弱噪声等环境净化服务在改善城市环境、保障人体健康等方面有重要作用,也是实现城市可持续发展的基础^[16]。因此,运用生态经济学的原理、方法评估青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务价值,结合人口增长情况分析青岛市城市绿地的分布现状及建设进程,可以为青岛市的城市规划、生态城市建设和城市绿地建设,以及改善城市生态环境、促进城市生态系统持续健康发展等提供理论依据。

1 青岛市的城市特色及城市绿地建设

1.1 青岛市的自然环境特征及城市特色

青岛市($35^{\circ}35'—37^{\circ}09'N$, $119^{\circ}30'—121^{\circ}00'E$)位于山东半岛西南部,濒临黄海。青岛市的气候属暖温带大陆性季风气候,年平均气温 $12.2^{\circ}C$,年平均降水量 $691.9mm$,气候的基本特点为“春迟、夏凉、秋爽、冬长”。青岛市的地势受断块构造制约,东高西低、南北 2 侧隆起、中间低陷,地貌类型包括低山丘陵、平原和滨海低地等^[22]。

经过多年建设,青岛市已形成了鲜明的城市特色。1994 年 2 月青岛市被列为全国 15 个副省级城市之一,现为中国重要的经济中心城市、沿海开放城市和历史文化名城,也是中国最适宜人类居住的城市之一。近年来青岛市以建设生态城市为目标,城市绿化水平明显提高、人居环境显著改善。先后荣获“国家卫生城市”、“全国洁净城市”、“国家园林城市”、“国家优秀旅游城市”、“全国环境保护模范城市”等荣誉称号。2007 年青岛市又提出了“环湾保护、拥湾发展”战略,力争在 10—20a 内将青岛市的环胶州湾核心圈层建成国际化、生态化、花园式现代化新城区。

1.2 青岛市城市绿地的动态变化

城市绿地是城市生态系统的重要组成部分,包括公共绿地、居住区绿地、单位附属绿地、防护绿地、生产绿地及风景林地等 6 类。其中公共绿地是指供群众游憩观赏的各种公园、动物园、植物园、陵园以及小游园、街道广场的绿地,单位附属绿地是指机关、团体、学校、医院、部队等单位的绿化地,防护绿地是指城市中用于隔离、卫生、安全等防护目的的林带和绿地,生产绿地是指为城市园林绿化提供苗木、花草、种子的苗圃、花圃、草圃等。

1999—2009 年青岛市在城市绿地建设方面取得了显著成绩。11a 间青岛市的城市绿地总面积由 $7005.4hm^2$ 增至 $16002.8hm^2$,其中公共绿地面积由 $1704.8hm^2$ 增至 $4014.0hm^2$,人均绿地面积由 $30.20m^2$ 增至 $58.09m^2$ 、人均公共绿地面积由 $7.35m^2$ 增至 $14.54m^2$,城市建成区的绿化覆盖率由 35.90% 增至 43.20% ,公园(包括动物园、植物园)由 36 个增至 73 个。尤其是 2006—2007 年,为筹备 2008 年北京奥运会的帆船比赛,全市的绿地面积和公园数量更是大幅度增长(表 1)^[23-24]。

衡量一个城市的绿化水平主要看人均绿地面积。联合国生态与环境组织指出城市绿地达到人均 $60m^2$ 为最佳环境;英国规定人均公共绿地面积为 $28m^2$,人均绿地面积为 $42m^2$;法国规定人均绿地面积为 $30m^2$ ^[11]。1978 年国务院出台的《国务院关于加强城市建设的通知》中要求到 2005 年全国城市人均公共绿地面积要达到 $8m^2$ 以上,2010 年人均公共绿地面积达到 $10m^2$ 以上;我国的生态城市建设标准规定 2010 年城市市区的人均公共绿地面积要达到 $12m^2$ 。到 2009 年青岛市的人均绿地面积已经非常接近联合国生态与环境组织提出的最佳环境人均城市绿地面积标准,超过了英国、法国的标准;人均公共绿地面积超过了《国务院关于加强城市建设的通知》中的 2010 年标准和我国生态城市建设的 2010 年人均公共绿地面积标准;与国内的上海市相比,青岛市的人均绿地面积、人均公共绿地面积也较大^[16]。青岛市的城市绿化水平在国内大城市中较高,但人均公共绿地面积大致仅为英国人均公共绿地面积标准的 $1/2$,这说明由于城市人口数量过多,青岛市的人均公共绿地面积与英国等发达国家的城市人均公共绿地标准相比还有很大差距。1999—2009 年青岛市的建成区绿化覆盖率一直高于《城市绿化规划建设指标的规定》中的标准。

表 1 1999—2009 年青岛市城市绿地动态增长情况

Table 1 Dynamic variation of urban green space area in Qingdao City from 1999 to 2009

年份 Year	绿地总面积 Acreage of urban green space/hm ²	人均绿地面积 Acreage of urban green space per capita/m ²	公共绿地面积 Acreage of public green space/hm ²	人均公共绿地面积 Acreage of public green space per capita/m ²	公园数量 Number of gardens	建成区绿 化覆盖率 Green coverage rate of built-up area/%
1999	7005.4	30.20	1704.8	7.35	36	35.90
2000	7439.6	31.71	1994.1	8.50	37	37.00
2001	7703.0	32.42	2162.2	9.10	39	37.50
2002	7886.4	32.62	2417.4	10.00	41	38.00
2003	8829.0	35.78	2305.3	9.34	45	37.50
2004	10047.0	38.88	2842.0	11.00	48	38.00
2005	11137.0	41.96	3131.9	11.80	47	38.78
2006	11756.0	43.38	3198.0	11.80	47	39.20
2007	15369.0	55.78	3661.0	12.20	73	40.01
2008	15631.0	56.58	4014.0	14.53	77	41.50
2009	16002.8	58.09	4005.3	14.54	79	43.20

1.3 青岛市城市绿地的空间分布特征

青岛市市区的人口和城市绿地具有空间分布不均衡的特点。2009 年青岛市市区的面积为 1159km², 市区总人口 275.40 万人, 建成区总面积 272.87km², 建成区绿地面积 11797hm²(不包括居住区绿地和风景林地, 以下相同), 建成区绿化覆盖率 43.23%, 人均公共绿地 14.54m²。其中市内的市南区、市北区、四方区、李沧区 4 区人口 171.90 万人, 建成区面积 138.57km², 建成区绿地面积 4799.69hm², 绿化覆盖率 34.64%, 人均公共绿地 10.34m²; 郊区的崂山区、城阳区和黄岛区 3 区人口 103.50 万人, 建成区面积 134.30 km², 建成区绿地面积 6997.31hm², 绿化覆盖率 52.10%, 人均公共绿地 21.50m²(表 2)^[25]。相比较而言, 市内 4 区人口多、人口密度大、建成区绿化覆盖率低、人均公共绿地面积小, 郊区 3 区的人口少、人口密度小、建成区绿化覆盖率高、人均公共绿地面积大。

表 2 2009 年青岛市各区的人口及绿地分布

Table 2 Population, urban green space distribution of different Qingdao districts in 2009

区 District		人口 Population /10 ⁴	建成区总面积 Total built-up area/hm ²	人均公共绿地面积 Public green area per capita/m ²	建成区绿化覆盖率 Green coverage rate of built-up area/%
市区 Urban district	市南区	55.10	30.01	10.09	34.76
	市北区	48.50	28.30	8.07	28.40
	四方区	38.10	28.00	8.37	27.79
	李沧区	30.20	52.26	16.95	41.61
小计或平均 Subtotal or average		171.90	138.57	10.34	34.64
郊区 Suburb district	崂山	23.60	12.83	18.13	48.08
	城阳	48.30	41.37	21.71	41.82
	黄岛区	31.60	80.10	23.68	58.06
小计或平均 Subtotal or average		103.50	134.30	21.50	52.10
合计或平均 Total or average		275.40	272.87	14.54	43.23

上述青岛市城市绿地空间分布特征的形成主要是因为市内 4 区为老城区, 老城区早期的城市规划建设不够重视城市绿地建设, 并且长期的城市建设不断挤占原有的城市绿地; 郊区 3 区主要是近 30 多 a 建设的新城区, 新城区的城市绿地、特别是居住区绿地建设得到了足够重视, 此外风景林地也主要分布在郊区 3 区。如果包括居住区绿地和风景林地, 郊区 3 区的绿地总面积和人均绿地面积将比市内 4 区更大, 城市绿地空间分布

不均衡的特点表现的更加显著。

2 城市绿地生态系统的环境净化服务价值及计算方法

2.1 城市绿地的气体调节服务价值

绿色植物通过光合作用来吸收 CO_2 、释放 O_2 就是生态系统的气体调节服务,包括固碳服务和释氧服务 2 个方面。城市绿地的气体调节服务对维持城市大气的碳氧平衡、缓解大气中温室气体 CO_2 浓度的升高有重要作用。

(1) 城市绿地的固碳服务价值

计算绿地固碳服务价值的方法有碳税法(属于市场价值法)和造林成本法(属于生产成本法),造林成本法通常用于森林及林场的固碳释氧服务价值计算,计算时国内一般采用 260.9 元/ m^3 (1990 年的不变价格)做为造林成本,与国外类似研究相比计算结果偏低^[12,16]。这里采用碳税法和得到较多国家和环境经济学家认可的瑞典碳税率(150 美元/ tC)计算青岛市城市绿地的固碳服务价值,计算公式为:

$$V_c = S \times Q_c \times T_c$$

式中, V_c 为城市绿地的固碳服务价值, S 为城市绿地面积, Q_c 为单位面积城市绿地的年固碳量, T_c 为碳税率(150 美元/ tC)^[26],根据人民币对美元汇率的变化,换算为人民币后不同年份采用不同的数据,其中 1999—2004 年的人民币对美元汇平均汇率为 8.3:1,换算成人民币为 1245 元/ tC ,2005、2006、2007、2008、2009 年人民币对美元的平均汇率分别为 8.2:1、7.9:1、7.5:1、6.9:1 和 6.8:1,各年度的碳税率换算成人民币分别为 1230 元/ tC 、1185 元/ tC 、1125 元/ tC 、1035 元/ tC 和 1020 元/ tC 。

(2) 城市绿地的释氧服务价值

青岛市城市绿地的释氧服务价值采用工业制氧影子价格法计算,计算公式为:

$$V_{\text{O}_2} = S \times Q_{\text{O}_2} \times P_{\text{O}_2}$$

式中, V_{O_2} 为城市绿地的释氧服务价值, S 为城市绿地面积, Q_{O_2} 为单位面积城市绿地的 O_2 年释放量, P_{O_2} 为工业氧气价格,以我国近年来工业氧气的平均价格 700 元/ t 计算。

2009 年柳云龙等计算上海市城市绿地环境净化服务价值时采用的单位面积城市绿地年固碳量和释氧量指标为杜正清和赵阿奇 2006 年提出的每公顷城市绿地每天吸收 900 kgCO_2 、释放 600 kgO_2 ,折合纯固碳量 89.59 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 、释氧量 219 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[27]。将这个指标按照光合作用过程每形成 1g 干有机质需吸收 1.63 gCO_2 (即固碳 0.44g)、释放 1.19 gO_2 换算,单位面积城市绿地的净初级生产力为 184.03 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (即 18403 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$),比全球森林、草地的平均净初级生产力估算结果高很多,这显然不合理。

因此,以与青岛市生态环境比较近似的北京市市区林地和草地的净初级生产力作为替代指标,推算青岛市城市绿地的固碳量、释氧量。2007 年北京市市区(六环内)林地和草地的净初级生产力分别为 2.947 $\text{tC} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 、4.529 $\text{tC} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[28],取二者的算术平均值 3.738 $\text{tC} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 作为青岛市单位面积城市绿地的年固碳量,按比例计算单位面积城市绿地的年释氧量为 10.083 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

2.2 城市绿地的吸收有害气体、滞尘服务价值

SO_2 、 NO_x 和可吸入悬浮物是衡量城市大气环境质量的主要指标。对城市绿地吸收有害气体、滞尘服务价值的评估分别从吸收 SO_2 、吸收 NO_x 、滞留过滤降尘和飘尘 3 个方面计算,计算方法均采用替代费用法,即用人工治理环境污染措施的费用代替生态系统环境净化服务的价值,然后把这些费用与防止环境损失发生的费用对比,如果替代费用多于预防费用,那么环境破坏就可以避免^[13]。

(1) 城市绿地的吸收 SO_2 服务价值

城市绿地吸收 SO_2 服务价值的计算公式为:

$$V_{\text{SO}_2} = S \times Q_{\text{SO}_2} \times F_i$$

式中, V_{SO_2} 为城市绿地的吸收 SO_2 服务价值, S 为城市绿地面积, Q_{SO_2} 为单位面积阔叶林对 SO_2 的年吸收能力(88.65 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), F_i 是指工业治理 SO_2 费用(3000 元/ t)^[7]。

(2) 城市绿地的吸收 NO_x 服务价值

城市绿地吸收 NO_x 服务价值的计算公式为:

$$V_{\text{NO}_x} = S \times Q_{\text{NO}_x} \times F_t$$

式中, V_{NO_x} 为城市绿地的吸收 NO_x 服务价值, S 为城市绿地面积, Q_{NO_x} 为单位面积阔叶林对 NO_x 的年吸收能力 ($0.38 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), F_t 指目前汽车尾气脱氮治理费用 (16000 元/t)^[7]。

(3) 城市绿地的滞尘服务价值

城市绿地滞尘服务价值的计算公式为:

$$V_D = S \times Q_D \times F_t$$

式中, V_D 为城市绿地的滞尘服务价值, S 为城市绿地面积, Q_D 为单位面积阔叶林年滞尘能力 ($10.11 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), F_t 是指工业削减粉尘的费用 (170 元/t)^[7]。

2.3 城市绿地的减弱噪声服务价值

绿色植物对声波有反射和吸收作用,因而城市绿地在减弱城市噪声方面有重要作用。当声波进入郁闭疏林、绿篱或结构复杂的乔灌木混交体系等城市绿地生态系统后往往经过吸收、反射、再吸收、再反射等多次反复过程,使噪声大大减弱^[7]。

目前计算城市绿地减弱噪声服务价值时大多采用造林成本法,其减弱噪声服务的价值以造林成本的 15% 计^[2,13],计算公式为:

$$V_N = S \times F \times C \times 0.15$$

式中, V_N 为城市绿地减弱噪声服务的价值, S 为城市绿地面积, F 为中国平均造林成本 (240.03 元/m^3), C 为单位面积成熟林木材蓄积量 ($80 \text{ m}^3/\text{hm}^2$)^[7]。

3 结果及分析

3.1 总价值及年际变化

将 1999—2009 年青岛市城市绿地总面积分别代入上述各城市绿地环境净化服务价值计算公式,得到计算结果(表 3)。其中 2009 年青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务总价值为 3.491×10^8 元,相当于 2008 年青岛市市区 GDP 的 0.14%^[23],单位面积城市绿地的环境净化服务价值高达 $2.181 \times 10^4 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

表 3 1999—2009 年各年度青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务价值 ($\times 10^8$ 元)

Table 3 Environment purification service value of urban green space in Qingdao from 1999 to 2009

年份 Year	固碳价值 Carbon fixation value	释氧价值 Oxygen release value	吸收 SO_2 价值 SO_2 absorption value	吸收 NO_x 价值 NO_x absorption value	滞尘价值 Dust retention value	减弱噪声价值 Weakening noise value	总价值 Total purification service value
1999	0.326	0.494	0.019	0.426	0.120	0.202	1.587
2000	0.346	0.525	0.020	0.452	0.128	0.214	1.685
2001	0.358	0.544	0.020	0.468	0.132	0.222	1.744
2002	0.367	0.557	0.021	0.479	0.136	0.227	1.787
2003	0.411	0.623	0.023	0.537	0.152	0.254	2.000
2004	0.468	0.709	0.027	0.611	0.173	0.289	2.277
2005	0.512	0.786	0.030	0.677	0.191	0.321	2.517
2006	0.521	0.830	0.031	0.715	0.202	0.339	2.638
2007	0.646	1.085	0.041	0.934	0.264	0.443	3.413
2008	0.605	1.103	0.042	0.950	0.269	0.450	3.419
2009	0.610	1.129	0.043	0.973	0.275	0.461	3.491

从青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务价值的年际变化看,1999—2009 年青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务总价值由 1.587×10^8 元增至 3.491×10^8 元,人均城市绿地的环境净化服务价值由 68.42 元

增至 126.73 元。11a 间青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务总价值增加了 1.904×10^8 元, 平均年增长率为 10.91%, 其中 2006—2007 年增长了 29.38%, 这主要是因为 2006—2007 年, 为筹备在青岛市举办的 2008 年北京奥运会帆船比赛, 青岛市加大了城市绿地建设的力度, 市区城市绿地面积连续 2a 大幅度增加。2007—2009 年虽然青岛市绿地总面积明显增加, 但因为占城市绿地环境净化服务总价值比重较高的固碳服务价值是分别按照各年度人民币对美元的汇率计算的, 而 2008、2009 年的人民币对美元汇率较 2007 年有大幅度下降, 所以 2008、2009 年青岛市城市绿地的固碳服务价值与 2007 年相比有一定幅度的下降, 这 3a 市区城市绿地环境净化服务总价值的增幅也小于同期市区城市绿地总面积的增幅。

3.2 城市绿地生态系统环境净化服务价值的构成

在青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务总价值构成中, 城市绿地生态系统的气体调节服务价值(固碳服务价值和释氧服务价值之和)所占比重最大, 占总价值的 49.81%—51.72%, 城市绿地的吸收有害气体和滞尘服务价值、减弱噪声服务价值之和占总价值的 48.28%—50.19%。但城市绿地生态系统的固碳释氧服务在地域空间上具有可转移性, 对城市大气的固碳释氧服务可以由城市外的自然生态系统代替实现。城市绿地的吸收有害气体、滞尘与减弱噪声的环境净化服务不具有空间的可转移性, 是非常重要的和不可替代的, 是城市建设与管理中必须依靠加强城市绿地建设来解决的生态任务^[15]。在青岛市未来城市建设过程中要加大城市绿地特别是公共绿地的建设力度, 合理地布局城市绿地, 以便利用城市绿地净化空气和削减噪声污染。

4 结论与讨论

4.1 结论

青岛市的绿化水平较高, 与国内其它大城市相比, 青岛市的人均绿地面积和人均公共绿地面积也较大。但由于人口密度大, 青岛市的人均公共绿地面积与英国等发达国家城市的人均公共绿地标准相比还有很大差距。此外, 青岛市的城市绿地还具有空间分布不均衡的特点。

城市绿地生态系统的环境净化服务价值由气体调节服务价值、吸收有害气体、滞尘服务价值和减弱噪声服务价值构成。随着城市化的发展, 1999—2009 年青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务总价值和人均价值都明显增长。

在青岛市城市绿地生态系统环境净化服务总价值构成中, 其气体调节服务价值占 49.81%—51.72%, 吸收有害气体和滞尘服务价值、减弱噪声服务价值占 48.28%—50.19%。但城市绿地的气体调节服务具有地域空间的可转移性, 可以由城市外的自然生态系统补偿。而城市绿地的吸收有害气体、滞尘服务与减弱噪声服务则不具有地域空间的可转移性, 所以城市绿地生态系统的吸收有害气体和滞尘服务、减弱噪声服务更加重要。因此加强城市绿地建设、提高城市绿化水平, 充分利用城市绿地的吸收有害气体和滞尘服务、减弱噪声服务是改善青岛市城市环境、提高城市居民生活质量的重要措施。

4.2 讨论

研究城市绿地生态系统环境净化服务价值有重要意义。但城市绿地生态系统的环境净化服务价值只是其生态系统服务总价值的一部分, 城市绿地还有气候调节服务价值、物质产出服务价值、净化水质服务价值、生物多样性保护价值、休闲娱乐服务价值、生态旅游服务价值、科研文化服务价值等生态系统服务价值。所以青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务价值比其可以实现的生态系统服务总价值要低。

计算城市绿地的固碳服务价值时利用了不同年份美元对人民币的汇率, 但近年来美元对人民币的汇率一直走低, 这影响了不同年份计算结果的可比性。今后类似研究应考虑采取适当方法消除美元对人民币汇率变化对计算结果可比性的影响。

由于森林、灌丛和草地的净初级生产力、吸收有害气体和滞尘能力有差别, 所以对乔、灌、草(包括草坪和花坛)等不类型的城市绿地, 分别按照不同的净初级生产力指标计算气体调节服务价值, 分别按照不同的吸收有害气体、滞尘能力指标计算吸收有害气体和滞尘服务价值、减弱噪声服务价值应该更精确。但青岛市园林局统计的 1999—2009 年各年度青岛市城市绿地面积数据没有林、灌、草的区分, 所以本文未能按照林、灌、

草 3 种绿地类型分别计算青岛市各年度的城市绿地环境净化服务价值。

根据 1999—2009 年青岛市城市绿地的林、灌、草面积构成比例变化可以定性分析本文的计算精度。1997—1999 年青岛市学习上海、大连等城市的绿化经验,为追求视觉上的美观效果和降低绿地建设成本而大力建设花坛、草坪,所以研究时段初期青岛市城市绿地特别是公共绿地中草坪和花坛面积比例较大;由于草坪和花坛净初级生产力较高、吸收有害气体、滞尘能力较低^[28],所以对研究初期城市绿地气体调节服务价值的计算结果比实际情况偏低,但对吸收有害气体、滞尘服务和减弱噪声服务价值的计算结果比实际情况偏高。因为草坪和花坛养护成本高、耗水量大,2000 年以后青岛市开始实施“大树进城”的城市绿化策略,城市绿地中花坛、草坪的面积比例逐步降低,乔木林的比例则逐步提高;由于乔木林的净初级生产力相对较低、而吸收有害气体、滞尘能力较高^[28],所以对研究时段后期青岛市城市绿地气体调节服务价值的计算结果比实际情况偏高,而对吸收有害气体、滞尘服务和减弱噪声服务价值的计算结果则比实际情况偏低。

由于城市绿地生态系统的吸收有害气体服务和滞尘服务不具有空间可转移性,所以今后青岛市应该按照《青岛市园林植物配置技术规范》的要求^[29],在城市绿地建设过程中优先发展吸收有害气体、滞尘和减弱噪声服务效率较高的乔木林绿地。

References:

- [1] Lu J J, He W S, Tong C F, Wang W. Wetland Ecology. Beijing: Higher Education Press, 2006: 207-210.
- [2] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of ecosystem service and natural capital in the world. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [3] Daily G C. Nature's Service: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington D C: Island Press, 1997: 1-78.
- [4] Xue D Y. Economic Valuation Assessment of Diversity — A Case Study of Changbaishan Mountain Natural Reserve. Beijing: China Environmental Science Press, 1997: 1-69.
- [5] Ouyang Z Y, Wang R S, Zhao J Z. Ecosystem services and their economic valuation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(5): 635-640.
- [6] Zhang Z Q, Xu Z M, Cheng G D, Su Z Y. Contingent valuation of the economic benefits of restoring ecosystem services of Zhangye prefecture of Heihe River Basin. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(6): 885-893.
- [7] Peng J, Wang Y L, Chen Y F, Li W F, Jiang Y Y. Economic value of urban ecosystem services: a case study in Shenzhen. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2005, 41(4): 594-604.
- [8] Zhang X L, Ye S Y, Yin P, Gu D Q. Ecosystem services value and its temporal change of coastal wetlands in southern Laizhou Bay. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(12): 2195-2202.
- [9] Zhang M Y, Wang K L, Liu H Y, Chen H S, Zhang C H, Yue Y M. Response of ecosystem service values to landscape pattern change in typical Karst area of northwest Guangxi, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(5): 1174-1179.
- [10] Xie G D, Zhang Y L, Lu C X, Zheng D, Cheng S K. Study on valuation of rangeland ecosystem services of China. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(1): 47-53.
- [11] Chen G Q, Kang X G. Valuation of eco-benefit value and adjustment in Wudaohe Forest Farm. *Journal of Beijing Forestry University*, 2001, 23(3): 56-59.
- [12] Zhang Z H, Lü J B, Ye S F, Zhu M Y. Values of marine ecosystem services in Sanggou Bay. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(11): 2540-2547.
- [13] Cui B S, Yang Z F. Benefit valuation of typical wetlands in Jilin province. *Resources Science*, 2001, 23(3): 55-61.
- [14] Pan W B, Tang T, Deng H B, Cai Q H. Lake ecosystem services and their ecological valuation — a case study of Baoan Lake in Hubei Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(10): 1315-1318.
- [15] Xiao H, Ouyang Z Y, Zhao J Z, Wang X K, Han Y S. The spatial distribution characteristics and eco-economic value of soil conservation service of ecosystems in Hainan Island by GIS. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(4): 552-558.
- [16] Liu Y L, Zhu J Q, Shi Z X, Lin W P, Gao J. Purification services and their value assessment of city green space in Shanghai. *China Population, Resources and Environment*, 2009, 19(5): 28-32.
- [17] Bai X F, Chen H W. The changes of ecosystem services and their values in various constructions of land use — a case study from Yijinhuluo County of Inner Mongolia. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2004, 12(1): 180-182.
- [18] Chen N W, Li H C, Wang L H. Reviews on ecosystem services: Connotation, valuation and GIS-based mapping. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(5): 1987-1994.
- [19] Zong Y G, Xu H Y, Tang Y B, Chen H C. The systematic analysis on value of urban ecosystem services. *Urban Environment & Urban Ecology*,

- 1999, 12(4): 19-22.
- [20] Zong Y G, Chen H C, Guo R H, Xu H Y. The systematic analysis on value of regional ecosystem services — a case study of Lingwu City. *Geographical Research*, 2000, 19(2): 148-155.
- [21] Xia L H, Song M. Study of city ecosystem services in economically developed region. *Journal of Guangzhou University: Natural Science Edition*, 2002, 1(3): 71-74.
- [22] History and Annals office of Qingdao. *History and Annals of Qingdao•Land/Earthquake Annals*. Beijing: Xinhua Press, 1999: 1-32.
- [23] Statistics Bureau of Qingdao. *Qingdao Statistics Almanac (2000—2009)* [2010-04-20]. <http://www.stats-qd.gov.cn/statsqd/index/index.shtml>.
- [24] Statistics Bureau of Qingdao. *Statistics Bulletin of Economy and Society Development of Qingdao City in 2009*. [2010-04-20]. <http://www.stats-qd.gov.cn/statsqd/news/201021110332353175.asp?typeid=990&videos>.
- [25] Garden Bureau of Qingdao. *Statistical table of urban garden and green space area in Qingdao City in 2009*. Qingdao: Garden Bureau of Qingdao, 2010.
- [26] Anderson D. Carbon emissions and carbon fixing from an economic perspective // *Forestry Economics Research Conference*. Canada: York University, 1990: 26-54.
- [27] Du Z Q, Zhao A Q. Research on ecosystem services and economic valuation. *Economics*, 2006, (5): 23-24.
- [28] Song G B, Pan Y Z, Zhang S Z, Zhu W Q. Measurement and analysis for net primary productivity from remote sensing in Beijing City. *Resources Science*, 2009, 31(9): 1568-1572.
- [29] Quality and Technology Supervising Bureau of Qingdao. *Standards of Plant Arrangement Technology of Urban Garden and Green Space*. (2005-05-18) [2010-04-20]. http://www.qdylzj.com/show_biaozhun.asp?toid=17.

参考文献:

- [1] 陆健健, 何文珊, 童春富, 王伟. 湿地生态学. 北京: 高等教育出版社, 2006: 207-210.
- [4] 薛达元. 生物多样性经济价值评估: 长白山自然保护区案例研究. 北京: 中国环境科学出版社, 1997: 1-69.
- [5] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价. *应用生态学报*, 1999, 10(5): 635-640.
- [6] 张志强, 徐中民, 程国栋, 苏志勇. 黑河流域张掖地区生态系统服务恢复的条件价值评估. *生态学报*, 2002, 22(6): 885-893.
- [7] 彭建, 王仰麟, 陈燕飞, 李卫锋, 蒋依依. 城市生态系统服务功能价值评估初探——以深圳市为例. *北京大学学报: 自然科学版*, 2005, 41(4): 594-604.
- [8] 张绪良, 叶思源, 印萍, 谷东起. 莱州湾南岸滨海湿地的生态系统服务价值及变化. *生态学杂志*, 2008, 27(12): 2195-2202.
- [9] 张明阳, 王克林, 刘会玉, 陈洪松, 章春华, 岳跃民. 桂西北典型喀斯特区生态系统服务价值对景观格局变化的响应. *应用生态学报*, 2010, 21(5): 1174-1179.
- [10] 谢高地, 张钰铨, 鲁春霞, 郑度, 成升魁. 中国自然草地生态系统服务价值. *自然资源学报*, 2001, 16(1): 47-53.
- [11] 陈光清, 亢新刚. 五道河林场森林生态效益价值评估及调整. *北京林业大学学报*, 2001, 23(3): 56-59.
- [12] 张朝晖, 吕吉斌, 叶属峰, 朱明远. 桑沟湾海洋生态系统的服务价值. *应用生态学报*, 2007, 18(11): 2540-2547.
- [13] 崔保山, 杨志峰. 吉林省典型湿地资源效益评价研究. *资源科学*, 2001, 23(3): 55-61.
- [14] 潘文斌, 唐涛, 邓红兵, 蔡庆华. 湖泊生态系统服务功能评估初探——以湖北保安湖为例. *应用生态学报*, 2002, 13(10): 1315-1318.
- [15] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱, 王效科, 韩艺师. 海南岛生态系统土壤保持空间分布特征及生态经济价值的经济价值. *生态学报*, 2000, 20(4): 552-558.
- [16] 柳云龙, 朱建青, 施振香, 林文鹏, 高峻. 上海城市绿地净化服务功能及其价值评估. *中国人口·资源与环境*, 2009, 19(5): 28-32.
- [17] 白晓飞, 陈焕伟. 不同土地利用结构生态系统服务功能价值的变化研究——以内蒙古自治区伊金霍洛旗为例. *中国生态农业学报*, 2004, 12(1): 180-182.
- [18] 陈能汪, 李焕承, 王莉红. 生态系统服务内涵、价值评估与 GIS 表达. *生态环境学报*, 2009, 18(5): 1987-1994.
- [19] 宗跃光, 徐宏彦, 汤艳冰, 陈红春. 城市生态系统服务功能的价值结构分析. *城市环境与城市生态*, 1999, 12(4): 19-22.
- [20] 宗跃光, 陈红春, 郭瑞华, 徐宏彦. 地域生态系统服务功能的价值结构分析——以宁夏灵武市为例. *地理研究*, 2000, 19(2): 148-155.
- [21] 夏丽华, 宋梦. 经济发达地区城市生态服务功能的研究. *广州大学学报: 自然科学版*, 2002, 1(3): 71-74.
- [22] 青岛市史志办公室. *青岛市志·土地志/地震志*. 北京: 新华出版社, 1999: 1-32.
- [23] 青岛市统计局. *青岛统计年鉴(2000—2009)*. [2010-04-20]. <http://www.stats-qd.gov.cn/statsqd/index/index.shtml>.
- [24] 青岛市统计局. *青岛市 2009 年国民经济和社会发展统计公报*. [2010-04-20]. <http://www.stats-qd.gov.cn/statsqd/news/201021110332353175.asp?typeid=990&videos>.
- [25] 青岛市园林局. *2009 年青岛市城市园林绿地统计表*. 青岛: 青岛市园林局, 2010.
- [27] 杜正清, 赵阿奇. 城市森林的生态服务功能及经济价值研究. *经济师*, 2006, (5): 23-24.
- [28] 宋国宝, 潘耀忠, 张树深, 朱文泉. 北京市植被净生产力遥感测量与分析. *资源科学*, 2009, 31(9): 1568-1572.
- [29] 青岛市质量技术监督局. *青岛市园林植物配置技术规范*. (2005-05-18) [2010-04-20]. http://www.qdylzj.com/show_biaozhun.asp?toid=17.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 9 May, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Guest Editorial from EAM Workshop—Sustainability of agricultural ecosystems in arid regions in response to climate change	
..... LI Fengmin, Kadambot H. M Siddique, Neil C Turner, et al (I)	
Overview on the 2 nd international workshop on ecosystem assessment and management (EAM)	
..... LI Pufang, ZHAO Xuzhe, CHENG Zhengguo, et al (2349)	
Arid agricultural ecology in response to global change: Overview on Young Scholar Forum of the 2 nd International Workshop on	
EAM	ZHAO Xuzhe, LI Pufang, Kadambot H. M Siddique, et al (2356)
The effects of micro-rainwater harvesting pattern and rainfall variability on water ecological stoichiometry in oat (<i>Avena sativa</i> L.)	
field	QIANG Shengcai, ZHANG Hengjia, MO Fei, et al (2365)
Spatial variation of water requirement for spring wheat in the middle reaches of Heihe River basin	
..... WANG Yao, ZHAO Chuanyan, TIAN Fengxia, et al (2374)	
Model-based estimation of the canopy transpiration of Qinghai spruce (<i>Picea crassifolia</i>) forest in the Qilian Mountains	
..... TIAN Fengxia, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong (2383)	
Litter amount and its nutrient storage and water holding characteristics under different coniferous forest types in Xiaolong Mountain,	
Gansu Province	CHANG Yajun, CHEN Qi, CAO Jing, et al (2392)
Effect of irrigation frequency on life history strategy and yield formation in Jerusalem artichoke (<i>Helianthus tuberosus</i> L.) in oasis	
of Hexi Corridor	ZHANG Hengjia, HUANG Gaobao, YANG Bin (2401)
The evaluation method of water resources sustainable utilization in Manas River Basin	
..... YANG Guang, HE Xinlin, LI Junfeng, et al (2407)	
Correlation of topographic factors with precipitation and surface temperature in arid and cold region of Northwest China: a case	
study in Gansu Province	YANG Sen, SUN Guojun, HE Wenying, et al (2414)
The relationship between riparian vegetation and environmental factors in Heihe River Basin	
..... XU Shasha, SUN Guojun, LIU Huiming, et al (2421)	
Effects of drought stress on the photosynthesis of <i>Salix paraqulesia</i> and <i>Hippophae rhamnoides</i> seedlings	
..... CAI Haixia, WU Fuzhong, YANG Wanqin (2430)	
The comparison of drought resistance between <i>Caragana species</i> (<i>Caragana arborescens</i> , <i>C. korshinskii</i> , <i>C. microphylla</i>) and two	
chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) cultivars	FANG Xiangwen, LI Fengmin, ZHANG Haina, et al (2437)
Response of chlorophyll fluorescence characteristics of <i>Populus euphratica</i> heteromorphic Leaves to high temperature	
..... WANG Haizhen, HAN Lu, XU Yali, et al (2444)	
Free amino acid content in different tissues of <i>Caragana korshinskii</i> following all shoot removal	
..... ZHANG Haina, FANG Xiangwen, JIANG Zhirong, et al (2454)	
“Fertile Island” features of soil available nutrients around <i>Halostachys caspica</i> shrub in the alluvial fan area of Manas River watershed	
..... TU Jinna, XIONG Youcai, ZHANG Xia, et al (2461)	
Analysis of the activities of protective enzymes in <i>Bidens pilosa</i> L. inoculated with <i>Glomus mosseae</i> under drought stress	
..... SONG Huixing, ZHONG Zhangcheng, YANG Wanqin, et al (2471)	
Evaluation and selection on drought-resistance of germplasm resources of <i>Avena</i> species with different types of ploidy	
..... PENG Yuanying, YAN Honghai, GUO Laichun, et al (2478)	
Ecophysiological mechanism of photoperiod affecting phenological period and spike differentiation in oat (<i>Avena nuda</i> L.)	
..... ZHAO Baoping, ZHANG Na, REN Changzhong, et al (2492)	
Effects of water and fertilization on relationship between competitive ability and seed yield of modern and old spring wheat varieties	
..... DU Jingqi, WEI Panpan, YUAN Ziqiang, et al (2501)	

- Inhibitory effect of biogas slurry from swine farm on some vegetable pathogen SHANG Bin, CHEN Yongxing, TAO Xiuping, et al (2509)
- Effects of different summer catch crops planting on soil inorganic N residue and leaching in greenhouse vegetable cropping system WANG Zhiyi, GUO Ruiying, LI Fengmin (2516)
- Photosynthetic characterization and yield of summer corn (*Zea mays* L.) during grain filling stage under different planting pattern and population densities WEI Li, XIONG Youcai, Baoluo Ma, et al (2524)
- Effects of desulfurization waste treatment on calcium distribution and calcium ATPase activity in oil-sunflower seedlings under alkaline stress MAO Guilian, XU Xing, ZHENG Guoqi, et al (2532)
- The evolution between ecological security pattern and agricultural productive force in Manas River Basin for the past 30 years WANG Yuejian, XU Hailiang, WANG Cheng, et al (2539)
- Spatio-temporal analysis of ecological carrying capacity in Jinghe Watershed based on Remote Sensing and Transfer Matrix YUE Dongxia, DU Jun, LIU Junyan, et al (2550)
- The coupling relationship and emergy analysis of farming and grazing ecosystems in Mu Us sandland HU Binghui, LIAO Yuncheng (2559)
- Dynamic analysis of farmland ecosystem service value and multiple regression analysis of the influence factors in Minqin Oasis YUE Dongxia, DU Jun, GONG Jie, et al (2567)
- Environment purification service value of urban green space ecosystem in Qingdao City ZHANG Xuliang, XU Zongjun, ZHANG Zhaohui, et al (2576)
- The spatial relationship analysis of rural per capital revenue based on GIS in Zulihe River basin, Gansu Province XU Baoquan, SHI Weiqun (2585)

Review and Monograph

- The key issues on plant phenology under global change MO Fei, ZHAO Hong, WANG Jianyong, et al (2593)
- Recent advances on regional climate change by statistical downscaling methods ZHU Hongwei, YANG Sen, ZHAO Xuzhe, et al (2602)
- Current progress in eco-physiology of root-sourced chemical signal in plant under drought stress LI Jinan, LI Pufang, KONG Haiyan, et al (2610)
- ODAP biosynthesis: recent developments and its response to plant stress in grass pea (*Lathyrus sativus* L.) ZHANG Dawei, XING Gengmei, XIONG Youcai, et al (2621)
- Current progress in plant ideotype research of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) LI Pufang, CHENG Zhengguo, ZHAO Hong, et al (2631)
- Recent advances in research on drought-induced proteins and the related genes in wheat (*Triticum aestivum* L.) ZHANG Xiaofeng, KONG Haiyan, LI Pufang, et al (2641)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

客座编辑 Guest Editors LI Fengmin XIONG Youcai Neil Turner Kadambot Siddique

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 31 卷 第 9 期 (2011 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 9 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元