

基于改进生态足迹模型的重庆市生态承载力研究^{*}

周 宁^{1,2,3}, 李月臣^{1,3}

(1. 重庆师范大学 地理与旅游学院 三峡生态环境遥感研究所, 重庆 401331; 2. 张家口市第一中学, 河北 张家口 075000;
3. 重庆市高校GIS应用研究重点实验室, 重庆 401331)

摘要:【目的】计算重庆市2000和2010年的生态足迹和生态承载力,研究2000—2010年土地利用类型转换情况,分析生态承载力变化原因,通过生态赤字/盈余分析重庆市生态可持续发展状况。【方法】引入水资源账户和环境负荷并结合重庆市实际调整均衡因子和产量因子改进传统生态足迹模型。【结果】2000—2010年除水资源用地、污染吸纳地和草地的生态足迹在降低,总生态足迹和其他生态足迹在升高;生态承载力方面除耕地降低外,总生态承载力和其他各类用地生态承载力在升高,原因是2000—2010年间耕地转为其他类型用地。【结论】林地、建设用地和水资源处于生态盈余状态,耕地、草地、水域处于生态超载状态,重庆市总体上处于生态超载状态。

关键词:生态足迹;生态承载力;水资源;环境负荷;重庆市

中图分类号:X144;F301

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2018)02-0056-08

生态承载力是指在特定环境条件下,生态系统所能支持的资源消耗程度、环境纳污程度、社会经济发展强度^[1]。国内外对于生态承载力的计算多用指标体系评价的方法,包括状态空间法、联合国可持续发展委员会制订的指标体系、资源与需求的差量方法、高吉喜生态承载力综合评判法和生态足迹(Ecological footprint, EF)模型^[2-5]。加拿大学者 Mathis 于 1992 年提出生态足迹模型^[6-7]被各国广泛应用于区域可持续发展状态的定量测度。2004 年 WWF(世界自然基金会)应用生态足迹测算并发布了 149 个国家的生态盈余(赤字)情况^[8],2006 年 Wiedmann 应用生态足迹分析了英国资源消耗对环境变化的影响^[9]。中国学者关于生态足迹的理论和研究方法涉及到国家^[10]、区域^[11]、城市^[12]、区县^[13]、乡镇^[14]各个层次。就重庆市而言,方建德等人^[15]对重庆市 1997—2005 年的人均生态足迹进行了时间序列的动态研究,并分析变化原因;董国仓等人^[13]基于 Arcgis 直观分析 2007 年重庆市县域生态足迹空间差异。上述研究提高了人们对生态足迹的认识,但对于重庆市生态足迹的研究则仍存在一些局限性:1) 均衡因子和产量因子分析法采用 Wackernagel 的全球平均均衡因子和中国土地平均产量因子,与重庆市实际不符;2) 在传统生态足迹模型中,对于水足迹的研究仅考虑了水域面积而不包含水资源量,也没有考虑污水处理增加的环境负荷;3) 在原因分析中仅考虑社会、经济发展等外在因素,没有考虑土地利用类型之间的转换。

重庆市地处长江上游,生态地位重要,对重庆市生态足迹和生态承载力(Ecological carrying capacity, EC)的研究具有重要理论与实践意义。本研究对重庆市生态足迹均衡因子和产量因子进行调整,对传统生态足迹模型进行改进,引入水资源账户和环境负荷,使结果更符合实际;采用生态十年土地利用数据,对 2000—2010 年的土地利用类型转换情况生成转移矩阵,分析生态承载力结构变化的内在原因,目的在于丰富重庆市生态足迹和生态承载力研究,为重庆市生态文明建设提供科学支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

重庆市地处中国西南地区,位于东经 105°11′~110°11′、北纬 28°10′~32°13′之间,总面积 8.24 万 km²。市内喀斯特

^{*} 收稿日期:2016-09-30 修回日期:2018-01-22 网络出版时间:2018-03-23 15:54

资助项目:国家自然科学基金(No.41571419)

第一作者简介:周宁,男,研究方向为遥感与地理信息系统应用, E-mail:1464203282@qq.com;通信作者:李月臣,教授, E-mail:liyuechen 2008@qq.com

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20180323.1553.018.html>

地貌广布,地形以山地、丘陵为主。气候属中亚热带湿润季风气候,年平均气温 16~18℃,冬季低温少雨,最冷月平均为 4~8℃,夏季高温多雨,最热月平均气温为 26~29℃以上,空气湿润,降水充沛,年降雨量为 1 000~1 350 mm。境内江河纵横,主要河流有长江、嘉陵江和乌江等。水资源丰富,年平均水资源总量 5 000 亿 m³。重庆湿润的气候和复杂的地形适宜多种动植物生长,现有栽培植物 560 多种,饲养动物 40 余种。2010 年重庆市森林盖率为 37%。

截至 2010 年末,重庆市常住人口 2 884.62 万人,城镇化率 53.00%。户籍总人口 3 303.45 万人,其中农业人口 2 196.45 万人。2010 年重庆市地区生产总值 7 925.58 亿元,其中工业总产值 3 697.83 亿元,农林牧渔业总产值 1 021.13 亿元。全年粮食种植面积 224.39 万 hm²,全年粮食总产量达 1 156.13 万 t。

1.2 数据来源

运用 Arcgis 10.1 软件平台,利用 2000 和 2010 年土地利用数据(见封三彩图 1,数据来源于《重庆生态环境十年变化(2000—2010 年)调查与评估》),结合重庆市统计年鉴和水资源公报,以及 2000 和 2010 年农、林、牧、水产品,水资源、能源消耗和污染物排放数据,分析评价重庆市 2000 和 2010 年的生态足迹和生态承载力。

1.3 研究方法

1.3.1 改进的生态足迹模型 生态足迹是指一定数量人口所需消费资源及吸纳他们排放废弃物的生物生产性土地^[16-17]。生态足迹一般只核算耕地、林地、草地、水域、建设用地和化石燃料用地的生物生产性土地^[18-19]。其中水域仅体现了水资源生产功能,而未体现社会和生态功能。本研究在生态足迹模型中引入水资源和环境负荷,增加水资源用地用于描述水资源的生态和社会功能,增加污染吸纳地用以描述污染物的环境负荷^[20]。改进生态足迹模型包含生物资源生态足迹账户、水资源生态足迹账户、能源生态足迹账户和环境负荷生态足迹账户。各个账户的计算公式如下。

1) 生物资源生态足迹计算公式为:

$$F_{EF} = N \cdot F_{ef} = \sum_{j=1}^n r_j \cdot c_i / p_i \quad (1)$$

2) 水资源生态足迹计算公式为:

$$F_{EFw} = N \cdot F_{efw} = N \cdot r_w \cdot Q_{w1} / P_{w1} \quad (2)$$

3) 能源生态足迹计算公式为:

$$F_{EFE} = N \cdot F_{efe} = N \cdot Q_{w2} / P_{w2} \quad (3)$$

4) 环境负荷生态足迹计算公式为:

$$F_{EFp} = N \cdot F_{efp} = \sum_{j=1}^n r_j \cdot c_i \quad (4)$$

(1)~(4)式中: F_{EF} 、 F_{EFw} 、 F_{EFE} 和 F_{EFp} 分别为区域生物资源、水资源、能源消耗和环境负荷生态足迹; F_{ef} 、 F_{efw} 、 F_{efe} 和 F_{efp} 分别为人均生物资源、水资源、能源消耗和环境负荷生态足迹; c_i 为第*i*种消费品的人均消费量与第*i*种污染物的环境处理能力的比值; p_i 为第*i*种消费品的平均生产能力; Q_{w1} 为区域水资源消耗量; Q_{w2} 为区域能源消耗量; P_{w1} 为水资源全球平均生产能力; P_{w2} 为能源全球平均生产能力; N 为区域实际人口数; r_j 为均衡因子。

1.3.2 改进的生态承载力模型 生态承载力的计算随生态足迹模型的改进作相应改进。

生物资源和能源生态承载力计算公式为: $F_{EC} = N \cdot F_{ec} = N \cdot r_j \cdot y_j \cdot \sum_{j=1}^n a_j$ 。

水资源生态承载力计算公式为: $F_{ECw} = N \cdot F_{ecw} = N \cdot r_w \cdot y_w \cdot Q_{w3} / P_{w1}$ 。

上述两式中: F_{EC} 和 F_{ECw} 分别为区域生态承载力和水资源生态承载力; F_{ec} 和 F_{ecw} 分别为人均生态承载力和人均水资源生态承载力; r_j 为均衡因子; y_j 为产量因子; a_j 为人均生物生产面积; j 为生态生产性土地类型; r_w 为水资源全球均衡因子; y_w 为区域水资源产量因子; Q_{w3} 为区域水资源总量。

化石燃料用地是人类应该留出用于吸收 CO₂ 的土地,但事实上目前并未留出,所以忽略 CO₂ 吸收用地一项^[21]。由于自然环境消解、吸纳各类污染物的定量指标无法统一,与环境负荷相对应的生态承载力不再进行单独计算。

2 结果与分析

2.1 生态足迹计算结果分析

生态足迹计算划分为生物资源、水资源、能源和环境负荷共 4 类账户,如表 1 所示。

计算生物资源账户的生态足迹需要采用均衡因子对各种生态足迹进行修正,根据刘某承等人^[22]对均衡因子修正的结果,耕地和建设用地为 1.74,林地为 1.41,草地为 0.44,水域为 0.35。根据 Loh 等人^[23]对水资源均衡因子的修正,水资源均衡因子为 5.19。根据赖力等人^[24]的研究,污染物吸纳地均衡因子取 1.00。在环境负荷中,湿地对废水的处理能力为 $365\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$;废气的特征污染物包括 SO_2 和烟尘,林地对 SO_2 和烟尘的处理能力分别为 $0.72\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $10.11\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$;固体废弃物堆放一般占用建设用地,处理能力为

$1.2\times10^5\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。以上各土地面积之和即为污染吸纳地,作为衡量环境负荷的指标^[20]。全球生物资源平均生产能力采用 FAO1993 年的研究成果^[25],水资源全球平均生产能力($3\ 140\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)采用黄林楠等人^[26]研究成果,化石燃料生产土地面积的折算采用全球平均标准^[27],最后对重庆市各种生态生产性土地面积进行分类汇总。

利用(1)~(3)式分别计算重庆市生物资源生态足迹、水资源生态足迹、重庆市碳能源(煤炭、天然气、油料)消费产生的能源生态足迹。将电能消费所消耗的热量折算成一定建设用地面积,利用(4)式将废气、废水和废渣排放量折算成污染吸纳地,计算结果如表 2-5 所示。

表 1 重庆市 2000 和 2010 年生态足迹账户

Tab. 1 The accounts of ecological footprint of Chongqing city in 2000 and 2010

生态足迹 账户	项目	生态生产性 土地类型
生物资源账户	粮食、豆类、薯类、油料、麻类、甘蔗、烟叶、蔬菜	耕地
	茶叶、蚕茧、水果、蜂蜜	林地
	猪肉、牛肉、禽肉、兔肉、奶类、禽蛋	草地
	水产品	水域
	水产品	水域
水资源账户	水资源	水资源用地
能源消耗账户	煤炭、天然气、油料	化石燃料用地
	电力	建设用地
环境负荷账户	污水、 SO_2 、烟尘、固体废弃物	污染吸纳地

表 2 重庆市 2000 和 2010 年生物资源生态足迹计算结果

Tab. 2 The results of per capita ecological footprint of biological resources of Chongqing city in 2000 and 2010

生态用地类型	项目	全球平均生产能力/ $(\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2})$	区域生物产量/t		均衡因子	调整后人均 $F_{\text{EF}}/\text{hm}^2$	
			2000 年	2010 年		2000 年	2010 年
耕地	粮食	2 744	11 312 100	11 561 300	1.74	0.251 8	0.254 1
	豆类	1 856	246 000	419 300	1.74	0.008 1	0.013 6
	薯类	12 607	2 562 315	2 921 119	1.74	0.012 4	0.014 0
	油料	1 856	310 600	444 500	1.74	0.010 2	0.014 4
	麻类	1 500	8 406	14 700	1.74	0.000 3	0.000 6
	甘蔗	18 000	90 600	116 800	1.74	0.000 3	0.000 4
	烟叶	1 548	104 082	81 030	1.74	0.004 1	0.003 2
	蔬菜	18 000	7 754 156	13 454 555	1.74	0.026 3	0.045 1
合计						0.313 6	0.345 4
林地	茶叶	566	14 526	25 237	1.41	0.001 3	0.002 2
	蚕茧	1 000	29 098	20 321	1.41	0.001 4	0.001 0
	水果	3 500	816 800	2 384 700	1.41	0.011 6	0.033 3
	蜂蜜	50	4 437	11 915	1.41	0.004 4	0.011 6
合计						0.018 7	0.048 1
草地	猪肉	74	14 526	1 475 548	0.44	0.003 0	0.304 1
	牛肉	33	816 841	62 721	0.44	0.382 3	0.029 0
	禽肉	457	141 906	309 659	0.44	0.004 8	0.010 3
	兔肉	15	9 527	44 625	0.44	0.009 8	0.045 4
	奶类	502	55 989	79 820	0.44	0.001 7	0.002 4
	禽蛋	400	278 919	372 200	0.44	0.010 8	0.014 2
合计						0.412 4	0.405 5
水域	水产品	29	200 345	224 300	0.35	0.084 9	0.093 8

表 3 重庆市 2000 和 2010 年水资源生态足迹计算结果

Tab. 3 The results of per capita ecological footprint of water resources of Chongqing city in 2000 and 2010

生态用地类型	项目	全球平均生产 能力/($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	区域水资源消耗量/ 万m^3		均衡因子	调整后人均 $F_{\text{EFW}}/\text{hm}^2$	
			2000 年	2010 年		2000 年	2010 年
水资源用地	水资源	3 140	519 482	413 456	5.19	0.308 0	0.236 9

表 4 重庆市 2000 和 2010 年能源生态足迹计算结果

Tab. 4 The results of per capita energy ecological footprint of Chongqing city in 2000 and 2010

生态用地类型	项目	全球平均生产 能力/($\text{GJ} \cdot \text{hm}^{-2}$)	区域能源消费量(以标准煤计)/ 万t		折算系数/ ($\text{GJ} \cdot \text{t}^{-1}$)	调整后人均 $F_{\text{EFE}}/\text{hm}^2$	
			2000 年	2010 年		2000 年	2010 年
化石燃料用地	煤炭	55	1 600	4 858	20.93	0.213 7	0.641 0
	天然气	93	312	750	38.98	0.045 9	0.109 0
	油料	93	202	741	41.86	0.031 9	0.115 6
合计						0.268 8	0.865 6
建设用地	电力	1 000	297	768	11.84	0.001 2	0.003 2
合计						0.001 2	0.003 2

表 5 重庆市 2000 和 2010 年污染物生态足迹计算结果

Tab. 5 The results of per capita ecological footprint of pollutants of Chongqing city in 2000 and 2010

生态用地类型	项目	环境吸纳能力/ ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	区域污染物排放量/ 万t		均衡因子	调整后人均 $F_{\text{EFP}}/\text{hm}^2$	
			2000 年	2010 年		2000 年	2010 年
污染物吸纳地	污水	365	128 297	128 113	1.00	0.123 4	0.121 7
	SO_2	0.72	84	72	1.00	0.040 9	0.034 6
	烟尘	10.11	30	19	1.00	0.001 0	0.000 6
	固体废物	120 000	238	134	1.00	0.000 0	0.000 0
合计						0.165 3	0.157 0

注:固体废物的人均生态足迹在 2000 年和 2010 年分别为 0.64×10^{-6} 、 $0.39 \times 10^{-6} \text{ hm}^2$ 。

2000 年和 2010 年重庆市耕地、林地、草地、水域、建设用地、化石燃料用地、水资源用地和污染吸纳地的人均生态足迹如表 2-5 所示,人均生态足迹总量分别为 1.57 和 2.16 hm^2 。重庆市 2000 和 2010 年总生态足迹分别为 4 461.82 和 6 217.85 万 hm^2 。结果表明:重庆市 2010 年的总生态足迹在 2000 年的基础上增加了 1 756.03 万 hm^2 ,增幅为 39.36%,与经济发展和人们生活水平提高有关。各类人均生态足迹中耕地、林地、水域、建设用地和化石燃料用地在增加,水资源用地、污染吸纳地和草地在减少。耕地、林地、水域建设用地和化石燃料用地生态足迹增加是因人们对煤炭、天然气、石油、电力和林产品等需求量增加所导致。

2.2 生态承载力计算结果分析

生态承载力计算时应扣除 12% 的生物多样性保护面积^[28],水资源承载力计算时应扣除至少 60% 用于维持生态环境^[29-30]。由于重庆市生态环境地位重要,计算水资源承载力时结合重庆市多年水资源利用率 15.15%,最后应扣除 84.85% 用于维持生态环境。采用改进生态承载力模型结合土地利用数据计算重庆市 2000 和 2010 年生态承载力。计算中采用刘某承等人^[31]对重庆市产量因子研究成果,耕地和建设用地为 0.94,林为地 0.85,草地为 2.25,水域为 2.25。水资源产量因子采用黄林楠等人^[26]对重庆市水足迹计算时的取值 2.04。计算结果如表 6-7。

表 6 重庆市 2000 和 2010 年生态承载力计算结果 I

Tab. 6 The results (I) of ecological carrying capacity of Chongqing city in 2000 and 2010

项目	总面积/ km^2		均衡因子	产量因子	扣除 12% 后人均 $F_{\text{EC}}/\text{hm}^2$	
	2000 年	2010 年			2000 年	2010 年
耕地	33 548.73	31 023.34	1.74	0.94	0.169 5	0.154 8
林地	44 086.97	45 644.22	1.41	0.85	0.163 2	0.166 9
草地	2 018.23	2 152.93	0.44	2.25	0.006 2	0.006 5
水域	1 148.05	1 473.26	0.35	2.25	0.002 8	0.003 5
建设用地	855.37	1 411.51	1.74	0.94	0.004 3	0.007 0

表 7 重庆市 2000 和 2010 年生态承载力计算结果 II

Tab. 7 The results (II) of ecological carrying capacity of Chongqing city in 2000 and 2010

项目	水资源总量/万 m^3		均衡因子	产量因子	扣除 84.85% 后人均 F_{ECW}/hm^2	
	2000 年	2010 年			2000 年	2010 年
水资源用地	332.50	464.30	5.19	2.04	1.070 4	0.822 2

结果表明:2000 到 2010 年耕地和水资源的生态承载力在降低,林地、草地、水域和建设用地的生态承载力在升高。2000 和 2010 年总生态承载力分别为 4 035.13 和 3 349.02 万 hm^2 。

运用 Arcgis 10.1 软件对 2000 和 2010 年土地利用状况做转移矩阵,结果如表 8 所示。2000 到 2010 年耕地转为其他类型用地最多,总计为 2 525.37 km^2 ,其中耕地转为林地 1 722.72 km^2 ,转为草地 267.61 km^2 ,转为水域 52.51 km^2 ,与 10 年间退耕还林还草环湖有关;耕地转为建设用地 457.16 km^2 ,与城镇化快速发展有关。这与表 6 中耕地承载力降低一致,耕地承载力主要转为林地、建设用地、草地和水域承载力。10 年间土地类型面积增加量依次为:林地 1 557.22 km^2 、建设用地 556.14 km^2 、水域 325.20 km^2 、草地 134.70 km^2 。这与表 6 中生态承载力升高量依次为林地、建设用地、水域、草地一致。

表 8 重庆市 2000 和 2010 年土地利用类型转换

Tab. 8 The transfer status of land use in Chongqing in 2000 and 2010

 km^2

2000 年 土地利用类型	2010 年土地利用类型						总计
	草地	耕地	建设用地	林地	水域	未利用地	
草地	0.00	2.58	1.64	12.69	128.07	0.20	145.17
耕地	270.18	0.00	464.37	1 811.20	56.56	33.79	2 636.09
建设用地	0.36	7.21	0.00	5.58	2.21	0.01	15.36
林地	8.98	88.48	101.75	0.00	99.98	2.67	301.85
水域	0.07	4.05	0.57	1.04	0.00	3.95	9.67
未利用地	0.29	8.41	3.17	28.58	48.07	0.00	88.52
总计	279.87	110.72	571.51	1 859.07	334.87	40.62	3 196.67

2.3 生态赤字/盈余分析

生态赤字指生态足迹大于生态承载力,表明该区域生态需求大于供给,该地区的生态系统是不可持续的,反之,则是可持续的。表 9 表明:10 年间耕地、草地、水域、化石燃料用地和污染吸纳地处于超载状态,其中,耕地、水域和化石燃料用地的超载水平在升高,草地和污染吸纳地的超载水平在降低;林地、建设用地和水资源处于盈余状态,其中,林地和水资源盈余水平降低,建设用地盈余水平在升高。10 年间总生态承载力小于总生态足迹,处于超载状态,且超载水平在升高。

表 9 重庆市 2000 和 2010 年土地利用类型转换

Tab. 9 The transfer status of land use in Chongqing in 2000 and 2010

万 hm^2

生物生产性土地类型	人均 F_{EF}		人均 F_E		人均生态赤字/盈余	
	2000 年	2010 年	2000 年	2010 年	2000 年	2010 年
耕地	0.313 6	0.345 4	0.169 5	0.154 8	-0.144 1	-0.190 6
林地	0.018 7	0.048 1	0.163 2	0.166 9	0.144 6	0.118 8
草地	0.412 4	0.405 5	0.006 2	0.006 5	-0.406 3	-0.399 0
水域	0.084 9	0.093 8	0.002 8	0.003 5	-0.082 1	-0.090 3
建设用地	0.001 1	0.003 2	0.004 3	0.007 0	0.003 2	0.003 9
化石燃料用地	0.268 8	0.865 6	—	—	-0.268 8	-0.865 6
水资源	0.301 4	0.236 9	1.070 4	0.822 2	0.769 0	0.585 3
污染吸纳地	0.165 3	0.157 0	—	—	-0.165 3	-0.157 0
总计	1.566 2	2.155 5	1.416 4	1.161 0	-0.149 8	-0.994 5

注:负数为赤字,正数为盈余。

3 结论与讨论

分析改进模型计算的8类生物生产性土地的生态足迹、生态承载力和生态赤字/盈余的结果,得出以下结论:1)重庆市2000—2010年各类生态足迹中耕地、林地、水域、建设用地和化石燃料用地在增加,水资源用地、污染吸纳地和草地在减少。总生态足迹增加了1 756.03万 hm^2 ,增幅为39.36%。2)重庆市各类土地的生态承载力2000—2010年耕地和水资源的生态承载力在降低,林地、草地、水域和建设用地的生态承载力在升高,总生态承载力减少了686.12万 hm^2 ,减幅为20.49%。3)2000—2010年耕地、草地、水域、化石燃料用地和污染吸纳地处于超载状态,林地、建设用地和水资源处于盈余状态,总体上处于超载状态,且超载水平在升高,说明重庆市的可持续发展水平在降低。

本文通过生态足迹强度指数EFI(Ecological footprint intensity index, $F_{\text{EFI}} = F_{\text{EF}}/F_{\text{EC}}$)对比改进模型和传统模型, F_{EFI} 越大表明区域生态压力越大,可持续性水平越低。传统模型2000和2010年的 F_{EFI} 分别为3.18和5.20,改进模型2000和2010年的 F_{EFI} 分别为1.11和1.86。重庆市2000—2010年水资源处于生态盈余状态,使生态压力相对缓解,改进模型比传统模型的 F_{EFI} 低表明了这一点。但改进模型与传统模型 F_{EFI} 的变化趋势一致且都在升高,这表明重庆市可持续发展水平在降低。改进模型对于结果起到了优化作用,使结果更符合重庆市实际情况,更具科学性,更能全面地反映重庆市生态足迹的供需状况和可持续发展程度。但本研究也存在不足,改进模型虽增加了水资源账户和环境负荷账户,就该模型合理性和深入性有待进一步研究,各均衡因子需根据重庆实际情况作更进一步调整。

参考文献:

- [1] WIEDMAN N T, BARRET T J. A review of the ecological footprint indicator-perceptions and methods[J]. Sustainability, 2010, 2(6): 1645-1693.
- [2] KISSINGER M. Approaches for calculating a nation's food ecological footprint-the case of Canada[J]. Ecological Indicators, 2013, 24(1): 366-374.
- [3] 许联芳, 杨勋林, 王克林, 等. 生态承载力研究进展[J]. 生态环境, 2006, 15(5): 1111-1116.
XU L F, YANG X L, WANG K L, et al. Advances in research on ecological carrying capacity[J]. Ecological Environment, 2006, 15(5): 1111-1116.
- [4] 高鹭, 张宏业. 生态承载力的国内外研究进展[J]. 中国人口资源与环境, 2007, 17(2): 19-26.
GAO L, ZHANG H Y. Research progress of ecological carrying capacity at home and abroad[J]. China's Population Resources and Environment, 2007, 17(2): 19-26.
- [5] 周李磊, 杨华, 刘睿. 三峡库区(重庆段)生态足迹研究综述[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2016, 33(2): 49-56.
ZHOU L L, YANG H, LIU R. Research on ecological footprint of the Three Gorges reservoir area (Chongqing section)[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2016, 33(2): 49-56.
- [6] WACKERNAGEL M, REES W E, TESTEMALE P. Our ecological footprint: reducing human impact on the earth[M]. Gabriola Island: New Society Publisher, 1996.
- [7] 王书华, 毛汉英, 王忠静. 生态足迹研究的国内外近期进展[J]. 自然资源学报, 2002, 17(6): 776-782.
- [8] WANG S H, MAO H Y, WANG Z J. Recent advances in ecological footprint studies at home and abroad[J]. Journal of Natural Resources, 2002, 17(6): 776-782.
- [9] World-Wide Fund for Nature International. Living planet report 2004[M]. Gland, Switzerland: WWF, 2004.
- [10] WIEDMAN N, MIN X, BARRET T, et al. Allocating ecological footprints to final consumption categories with input-output analysis[J]. Ecological Economics, 2006, 56(20): 28-48.
- [11] 张可云, 傅帅雄, 张文彬. 基于改进生态足迹模型的中国31省级区域生态承载力实证研究[J]. 地理科学, 2011, 31(9): 1084-1089.
ZHANG K Y, FU S X, ZHANG W B. Empirical study on ecological carrying capacity of 31 provincial regions in China based on improved ecological footprint model[J]. Geography Science, 2011, 31(9): 1084-1089.
- [12] 陈东景, 徐中民, 程国栋, 等. 中国西北地区的生态足迹[J]. 冰川冻土, 2001, 23(2): 164-169.
CHEN D J, XU Z M, CHENG G D, et al. Ecological footprint in Northwest China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2001, 23(2): 164-169.
- [13] 杨庆媛, 王兆林, 鲁春阳, 等. 生态足迹研究方法在土地资源可持续利用评价中应用—以重庆市为例[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2007, 29(8): 134-138.
YANG Q Y, WANG Z L, LU C Y, et al. Application of ecological footprint method in the evaluation of sustainable land use: a case study of Chongqing[J]. Journal of South-

- west University (Natural Science Edition), 2007, 29(8): 134-138.
- [13] 董国仓, 罗有贤, 翁才银, 等. 基于 ARCGIS 的重庆市县域生态足迹差异分析[J]. 经济地理, 2009, 29(11): 1885-1889.
- DONG G C, LUO Y X, WENG C Y, et al. Analysis on the differences of ecological footprint in the county of Chongqing city based on ARCGIS[J]. Economic Geography, 2009, 29(11): 1885-1889.
- [14] 杨海林, 宁丰收, 游霞. 小城镇发展可持续性定量测度的生态足迹方法[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2005, 22(3): 253-256.
- YANG H L, NING F S, YOU X. Ecological footprint method for quantitative measurement of sustainable development of small cities and towns[J]. Journal of Industrial and Commercial University of Chongqing (Natural Science), 2005, 22(3): 253-256.
- [15] 方建德, 杨扬, 叶堤, 等. 重庆市生态足迹时间序列动态特征及其驱动因子分析[J]. 生态环境学报, 2009, 18(4): 1337-1341.
- FANG J D, YANG Y, YE D, et al. Dynamic characteristics and driving factors of ecological footprint time series in Chongqing[J]. Journal of Ecological Environment, 2009, 18(4): 1337-1341.
- [16] 周涛, 王云鹏, 龚健周, 等. 生态足迹的模型修正与方法改进述评[J]. 生态学报, 2015, 35(14): 4592-4603.
- ZHOU T, WANG Y P, GONG J Z, et al. Review on the model updating and improvement of ecological footprint[J]. Ecological Journal, 2015, 35(14): 4592-4603.
- [17] 杨建军, 洪辉, 付娜, 等. 水资源生态足迹消费账户及其计算模型—以西安市为例[J]. 安全与环境学报, 2010, 10(1): 122-126.
- YANG J J, HONG H, FU N, et al. Consumption account of ecological footprint of water resources and its calculation model-taking Xi'an city as an example[J]. Journal of safety and environment, 2010, 10(1): 122-126.
- [18] 王洪波. 基于改进型生态足迹模型的北京市生态足迹分析与评价[D]. 北京: 首都经济贸易大学, 2013.
- WANG H T. Analysis and evaluation of ecological footprint of Beijing city based on improved ecological footprint model[D]. Beijing: Capital University of Economics and Business, 2013.
- [19] 刘乐冕. 炎陵县生态足迹动态分析与变化趋势研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2009.
- LIU L M. Dynamic analysis and change trend of ecological footprint in Yanling County[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2009.
- [20] 张玉龙, 葛继稳, 张志祥. 改进生态足迹模型在湖北省可持续发展研究中的应用[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2009, 9(3): 44-49.
- ZHANG Y L, GE J W, ZHANG Z X. Application of improved ecological footprint model in the research of sustainable development in Hubei province[J]. Journal of China University of Geosciences (Social Science), 2009, 9(3): 44-49.
- [21] 毛靓. 生态生产性土地视角下的辽西地区村落生态基础设施研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.
- MAO J. Study on infrastructure in the west of Liaoning village ecological productive land Perspective[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012.
- [22] 刘某承, 李文华. 基于净初级生产力的中国生态足迹均衡因子测算[J]. 自然资源学报, 2009, 24(9): 1550-1559.
- LIU M C, LI W H. Balance factor of ecological footprint in China based on net primary productivity[J]. Journal of Natural Resources, 2009, 24(9): 1550-1559.
- [23] LOH J, GOLDFINGER S. Living planet report 2006[R/OL]. (2006-10-24) [2017-03-13]. http://wwf.panda.org/about_our_earth/all_publications/living_planet_report_timeline/lpr_2006.
- [24] 赖力, 黄贤金. 全国土地利用总体规划目标的生态足迹评价研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(2): 66-71.
- LAI L, HUANG X J. Ecological footprint evaluation of the overall land use planning in China[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2005, 21(2): 66-71.
- [25] LOH J. Living planet report 2000[M]. Gland, Switzerland: WWF, 2000.
- [26] 黄林楠, 张伟新, 姜翠玲, 等. 水资源生态足迹计算方法[J]. 生态学报, 2008, 28(3): 1279-1286.
- HUANG L N, ZHANG W X, JIANG C L, et al. Calculation method of ecological footprint of water resources[J]. Ecological Journal, 2008, 28(3): 1279-1286.
- [27] WACKERNAGEL M, ONISTO L, BELLO P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept[J]. Ecological economics, 1999, 29(3): 375-390.
- [28] WACKERNAGEL M, ONISTO L, BELLO P. Ecological footprints of nations[C]//International council for local environmental initiatives. Toronto, [s.n.], 1997: 10-21.
- [29] 张岳. 中国水资源与可持续发展[M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 2000.
- ZHANG Y. Water resources and sustainable development in China[M]. Nanning: Guangxi Science and Technology Publishing House, 2000.
- [30] 王文国, 龚久平, 青鹏, 等. 重庆市水资源生态足迹与生态承载力分析[J]. 生态经济, 2011(7): 159-162.
- WANG W G, GONG J P, QING P, et al. Analysis of eco-

logical footprint and ecological carrying capacity of water resources in Chongqing[J]. Ecological economy, 2011(7): 159-162.

[31] 刘某承, 李文华, 谢高地. 基于净初级生产力的中国生态足

迹产量因子测算[J]. 生态学杂志, 2010, 29(3): 592-597.

LIU M C, LI W H, XIE G D. Production factor calculation of ecological footprint in China based on net primary productivity[J]. Journal of Ecology, 2010, 29(3): 592-597.

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

Study on the Ecological Carrying Capacity of Chongqing City Based on the Ecological Footprint Improved Model

ZHOU Ning^{1,2,3}, LI Yuechen^{1,3}

(1. Institute of Eco-Environment Remote Sensing in Three Gorges Reservoir, College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 401331;

2. Zhangjiakou No. 1 Middle School, Zhangjiakou Hebei 075000;

3. Chongqing Key Laboratory of GIS Application, Chongqing 401331, China)

Abstract: [Purposes] To calculation the ecological footprint and ecological carrying capacity of Chongqing city in 2000 and 2010, study the land use type conversion in 2000—2010, analysis the change cause of ecological carrying capacity and analysis the ecological sustainable development in Chongqing by ecological deficit/surplus. [Methods] Improve the traditional ecological footprint model by introducing the water resources accounts and environmental loads, and adjust the equilibrium factor and yield factor combined with the actual situations in Chongqing. [Findings] The results showed that 2000—2010 in addition to water resource use, pollution from ecological footprint and grassland in the reduction of the total ecological footprint and ecological footprint in increased; the ecological carrying capacity in farmland decrease, the total ecological carrying capacity and other types of land ecological carrying capacity on the rise, the reason is that the 10 years of farmland to other the type of land. [Conclusions] The present study showed that forest land, construction land and water resources are in a state of ecological surplus, cultivated land, but grassland and water area are in a state of ecological overload, overall, Chongqing is in a state of ecological overload.

Keywords: ecological footprint; ecological carrying capacity; water resource; environmental load; Chongqing

(责任编辑 许 甲)

(接正文36页)

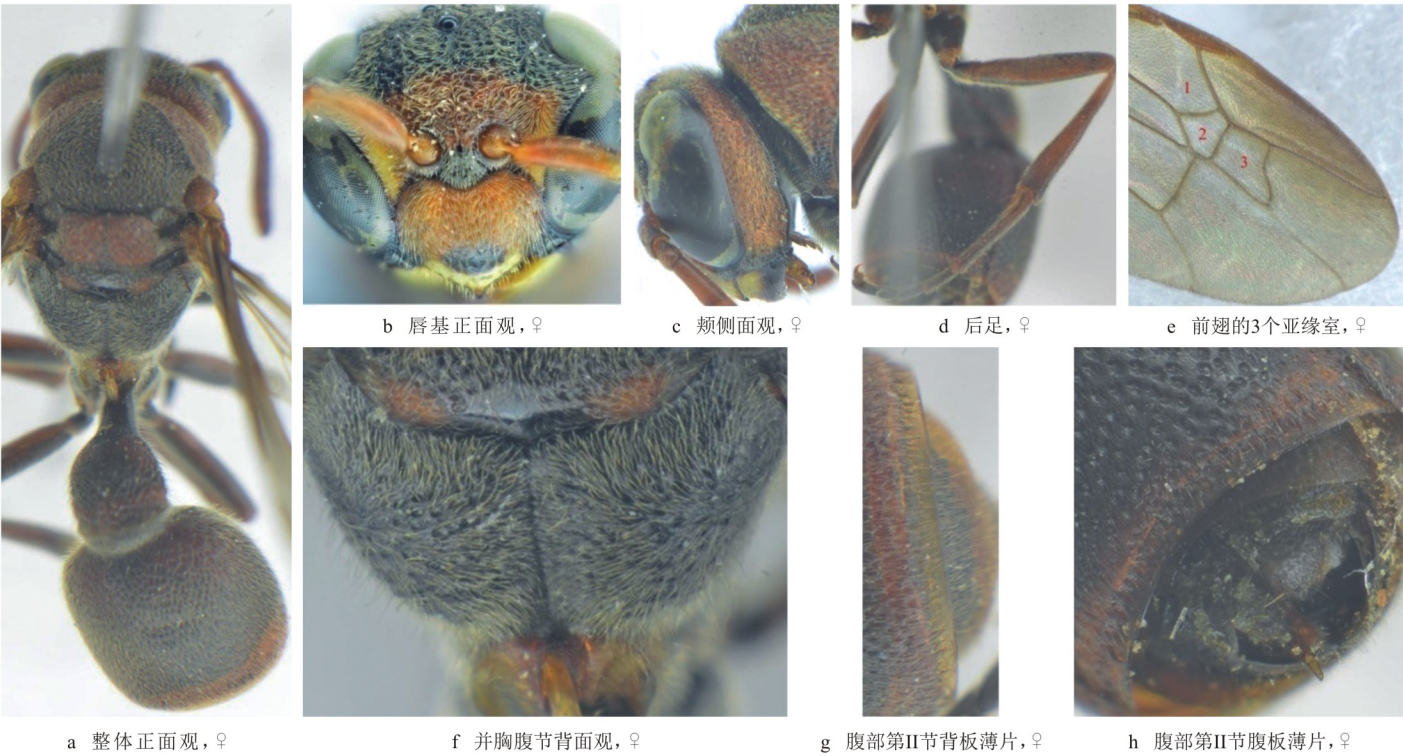


图3 刻点铃腹胡蜂

Fig. 3 *Ropalidia sculpturata* Gusenleitner, 2001

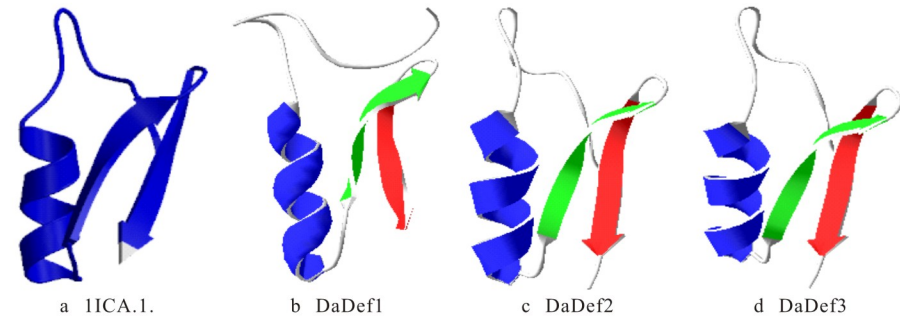
(接正文41页)

	信号肽	前导肽
Dmdef1	...MKFFVLV...AIAFALLACVAQAQPVSDVDFIPEDHVLVHEDAHQEV	
Dmdef2	...MKFFVLV...AIAFALLACVAQAQPVSDVDFIPEDHVLVHEDAHQEV	
Mddef	MPICKMKYFTVLYMFAFFVAVCYISQSSASAPKE...EANFVHGADALKQL	
DaDef3	...MKFFMAF...AVIFCLAVCFASQSLAFPAEGAEQAQLVDSLEA...V	
Ptdef	...MKFFMV...VVTFC LAVCFVSQSLAIPADAANDAHFVDGVQALKEI	
DaDef1	...MKFFVVF...AVAFCLAVCFASQSLASPAE...ESQFVDGLEALKKEV	
DaDef2	...MKFFMV...AVIFCLAVCFASQSLAIPAEAEQAQLVDSLEALKKEI	

	成熟肽
Dmdef1	LQ...HSRQKRATCDLLSKWNWNHTACAGHCIAKGFKGGYCNDAKAVCVCRN
Dmdef2	LQ...HSRQKRATCDLLSKWNWNHTACAGHCIAKGFKGGYCNDAKAVCVCRN
Mddef	PELHGRYKRATCDLLSGTGVGHSACAAHCLLRGNRGGYCNDAKAVCVCRN
DaDef3	PELHGRYKRATCDLLSAFGVNDACAAHCLLRGNRGGYCNDAKAVCVCRN
Ptdef	PELHGRYKRATCDLLSGTGINHSACAAHCLLRGNRGGYCNDAKAVCVCRN
DaDef1	PELHGRYKRATCDLLSGTGINHSACAAHCLLRGNRGGYCNDAKAVCVCRN
DaDef2	PELHGRYKRATCDLLSGKGVNHSACAAHCLLRGNRGGYCNDAKAVCVCRN

注: Dmdef1, Dmdef2为黑腹果蝇防御素成熟肽; Mddef为家蝇防御素成熟肽; DaDef1, DaDef2和DaDef3为葱蝇防御素成熟肽; Ptdef为新陆原伏蝇防御素成熟肽。

图2 黑腹果蝇、家蝇、葱蝇和新陆原伏蝇防御素多肽氨基酸序列比对以及二硫键分布
Fig. 2 Multiple amino acid sequences alignment of defensins of *D. melanogaster*, *M. domestica*, *D. antiqua*, and *P. terraenovae* and disulfide bonds distributions



注: IICA. 1.: 新陆原伏蝇防御素A成熟肽; DaDef1, DaDef2和DaDef3: 葱蝇防御素成熟肽。

图3 葱蝇防御素成熟肽的三维结构图模型

Fig. 3 Models of three dimensional structures of mature defensins of *D. antiqua*

(接正文57页)

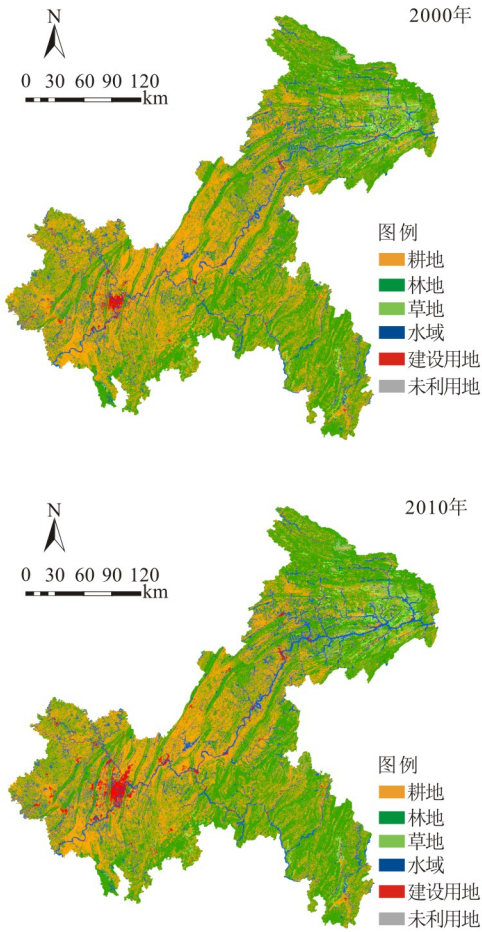


图1 重庆市2000, 2010年土地利用类型图
Fig. 1 The land use map of 2000 and 2010 in Chongqing city