应用生态学报 2017年10月 第28卷 第10期 http://www.cjae.net
Chinese Journal of Applied Ecology, Oct. 2017, **28**(10): 3378-3384 DOI: 10.13287/j.1001-9332.201710.022

基于综合承载力的吉林省适度人口分析

李秀霞* 孟 玫
(吉林师范大学旅游与地理科学学院, 吉林四平 136000)

摘 要 运用状态空间法构建区域适度人口模型,利用主成分分析求取权重,对2005—2014年吉林省适度人口进行测算,并探讨其形成原因,提出解决对策.结果表明: 2005—2014年,吉林省适度人口一直处于赤字状态,说明吉林省人口、资源与环境处于一种不协调状态;吉林省资源承载人口显著高于经济承载人口和生态承载人口,说明吉林省经济发展是以牺牲环境为代价;吉林省土地资源承载人口远高于水资源承载人口和能源承载人口,处于赤字状态,说明吉林省经济发展是以耗竭自身能源和水资源为基础.今后应因地制宜,提高水资源承载力;开发新能源,提高能源利用效率;由粗放型、消耗型资源利用方式向集约型、低碳型转变;改变人类的生产方式和消费模式,注重保护生态环境.

关键词 承载力; 状态空间法; 适度人口; 吉林省

Optimum population analysis of Jilin Province, China based on comprehensive carrying capacity. LI Xiu-xia*, MENG Mei (*College of Tourism and Geography Science, Jilin Normal University, Siping* 136000, *Jilin, China*).

Abstract: The regional moderate population model was constructed using state-space method, and the weights of relevant factors were obtained using principal component analysis. The optimum population of Jilin Province during 2005-2014 was calculated and the causes for its formation were discussed. The results showed that the optimum population of Jilin Province was in deficit from 2005-2014, and the imbalance existed between the population, resources and environment. The resources carrying population was significantly higher than the economic carrying and the ecological carrying population, indicating that the economic development of Jilin Province was established at the expense of destroying the environment. Moreover, the land resources carrying population was substantially higher than the water and energy carrying population, which was at a deficit, indicating that the economic development of Jilin Province was based on the depletion of energy and water resources. In the future, water resources carrying capacity should be improved according to the local conditions, the energy efficiency should be enhanced via the development of new energy sources, the extensive and consumption-based resource utilization should be transformed to the intensive and low-carbon type, and the production mode and consumption patterns should be changed to protect the ecological environment.

Key words: carrying capacity; state-space method; optimum population; Jilin Province.

适度人口一般指在一定目标和条件下区域能够供养的最优人口数量[1],其大小取决于区域各种自然经济承载力与区域人口对这些承载力的需求水平之间的平衡[2].在实施可持续发展战略过程中,确定该地区现有环境资源承载能力和经济社会发展水平基础上的适度人口容量具有十分重要的现实意义.

国外学者一般从经济承载力[3]、生态承载力[4]和社会承载力[5]等角度进行适度人口研究.国内学者对土地资源承载力[6]、水资源承载力[7]、生态资源承载力[8]和综合承载力[9-12]进行大量研究,但应用到适度人口中比较少,一般只从生态承载力、经济承载力、土地承载力等角度进行局部地区适度人口的计算,其结论对地方人口规划、社会经济发展具有一定的参考价值.李秀霞等[1]认为,适度人口不仅仅取决于单一要素的承载力,而是取决于生态、经济、

本文由吉林省社会科学基金项目(2017B53)资助 This work was supported by the Social Foundation of Jilin Province, China (2017B53).
2016-12-27 Received, 2017-08-03 Accepted.
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jykxzz@163.com

土地等多要素的综合承载力.毛汉英等[13]运用状态空间法构建了区域承载力模型,在此基础上,李秀霞[14]运用状态空间法构建了适度人口模型,对吉林省区域适度人口进行研究.与数理统计方法[15-17]、生产函数模型[18]、直接推算法[19]、生态足迹法[20-21]、多目标方法[22-23]、P-R-E 模型[24]、多目标规划方法[25]、可能-满意度(P-S)[26-27]、系统动力学[28-30]等方法相比,区域承载力模型是从经济、资源与环境相协调的角度构建了区域适度人口模型,为促进人口、经济、资源环境的空间均衡提供了科学依据.但目前还存在以下问题:一是在运用状态空间法求取三维空间承载人口权重时多用层次分析法或专家打分法,主观性较强,缺少客观分析方法;二是研究资源承载人口时仅侧重于土地单要素研究,缺少水、土、能源等综合资源承载人口的研究.为此,本文从综合承载力视角,运用状态空间法构建区域适度人口模型,利用主成分分析法求取权重,对吉林省 2005—2014 年的适度人口进行测算,并探讨其形成原因、提出解决对策,旨在为吉林省人口、资源和环境协调发展提供决策依据.

1　研究地区与研究方法

1.1　研究区概况

吉林省(40°52′—46°1′ N,121°38′—131°19′ E)位于中国东北地区中部,北邻黑龙江省,南接辽宁省,西邻内蒙古自治区,东与俄罗斯相接,以图们江、鸭绿江为东南分界线,朝鲜民主主义人民共和国与我国隔江相望.边境线长 1438.7 km,边境口岸 14 个.幅员面积 18.74×10^4 km^2,占全国总面积的 2%.该区属于温带大陆性季风气候,四季分明,雨热同季.吉林省是中国重要的工业基地和著名的商品粮基地,加工制造业比较发达,汽车与石化、农产品加工、医药、冶金、电子信息、建材等为支柱产业.2016 年,全省总人口为 2733.03 万,全省实现地区生产总值 14886.23 亿元,比上年增长 6.9%.三次产业的结构比例为 10.1∶48.0∶41.9,对经济增长的贡献率分别为 6.3%、43.8%和 49.9%.

1.2　数据来源

本文中的农作物播种面积、农业用水总量、原油生产量、第二产业增加值、人均地区生产总值、居民消费水平、生态用水量、废水排放总量、化学需氧量排放等数据来源于《中国统计年鉴 2006—2015》[31]、《吉林统计年鉴 2006—2015》[32]以及《中国农业统计年鉴 2006—2015》[33].

1.3　利用状态空间法求取区域适度人口

适度人口测算应综合考虑人口、资源、环境与发展之间的相互关系.本文利用空间状态法测算区域适度人口.

构建一个由区域自然资源、经济与环境三维状态轴的状态空间(图 1).在状态空间中,A、B、C 表示不同条件下特定区域所承载的适度人口数量.状态空间中的原点与系统状态点所构成的矢量模表示区域适度人口大小,即为原点与状态空间中任一点的空间距离.

特定区域、特定时期下的区域适度人口(RCC)的计算公式为:$RCC=\overrightarrow{OE}+\overrightarrow{OF}+\overrightarrow{OP}$.由于各要素对适度人口所起的作用不同,所以权重也不一样.因此,$RCC=W_1\overrightarrow{OE}+W_2\overrightarrow{OF}+W_3\overrightarrow{OP}$.其中,$W$ 为状态轴的权重.当 $RCC<RCS$ 时,为人口赤字状态,$RCC=RCS$ 为人口均衡状态,$RCC>RCS$ 为人口富余状态.

1.4　区域适度人口研究方法

1.4.1 基于生态足迹模型的区域生态承载人口测算方法　区域生态承载人口的计算公式如下:

$$C_{ra}=O_a/L_a$$

$$L_a=\sum_{i=1}^{n}\frac{C_i\times EQ_j}{EP_i\times N}=\sum_{i=1}^{n}\frac{(P_i+I_i-E_i)\times EQ_j}{EP_i\times N}$$

$$(i=1,2,3\cdots,n;\ j=1,2,3\cdots,6)$$

$$O_a=\sum_{j=1}^{6}EC_j\times EQ_j=\sum_{j=1}^{6}AA_j\times YF_j\times EQ_j$$

式中:C_{ra}为区域生态承载人口;O_a为研究区生态承载力;L_a为研究区人均生态足迹;i 为消费项目;j 为生产性土地类型;EP_i为商品粮i的土地生态生产力

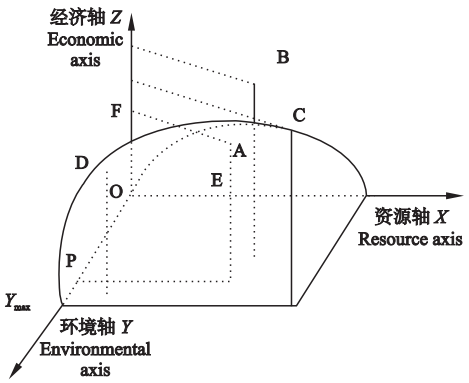


图 1　基于综合承载力的区域适度人口模型示意图

Fig.1　Schematic diagram of the mode of optimum population based on comprehensive carrying capacity.

$\overrightarrow{OE}$: 区域资源承载人口 Regional resource carrying population; $\overrightarrow{OF}$: 区域经济承载人口 Regional economic carrying population; $\overrightarrow{OP}$: 区域生态承载人口 Regional ecological carrying population.

(全球平均);C_i为产品 i 的消费量;P_i为资源生产量;E_i为资源出口量;I_i为资源进口量;EQ_j为均衡因子;N 为总人口数;AA_j为不同类型的生态生产性土地面积;YF_j为不同类型生态生产性土地产量调整系数,即产量因子.

1.4.2 基于经济承载力的区域经济承载人口测算方法 区域经济承载人口的计算公式如下:

$$C_{re}=I_e Q_e$$

$$I_e=Q_{pe}/Q_{le}$$

式中:C_{re}为区域经济承载力;I_e为经济承载指数;Q_{pe}为全国人口数量;Q_{le}为全国国内生产总值;Q_e为研究区国内生产总值.

1.4.3 基于资源承载力的区域资源承载人口测算方法 区域资源承载人口的计算公式如下:

$$C_{ri}=W_1C_1+W_wC_w+W_eC_e=W_1C_1+W_wC_w+(W_{rc}C_{rc}+W_pC_p+W_{wp}C_{wp})=W_1I_i\cdot Q_i+W_wI_j\cdot Q_j+W_eI_{en}\cdot Q_{en}$$

$$I_i=Q_{Pi}/Q_{li}$$

$$I_j=Q_{Pi}/Q_{lj}$$

$$I_{en}=Q_{Pi}/Q_{eno}$$

式中:C_{ri}为区域资源承载人口;W_1、W_w、W_e分别为土地资源、水资源、能源资源承载力的权重,本文假设三者各占 1/3;C_1、C_w、C_e分别为土地资源承载力、水资源承载力、能源承载力;I_i为土地资源承载指数;Q_{Pi}为全国人口数量;Q_{li}为全国耕地面积;Q_i为研究区耕地面积;I_j为水资源承载指数;Q_{lj}为全国水资源总量;Q_j为研究区水资源总量;I_{en}为能源承载指数;Q_{eno}为全国能源总量;Q_{en}为研究区能源总量.

1.4.4 基于综合承载力的区域适度人口测算方法 区域适度人口(RCC)的计算公式如下:

$$RCC=W_1C_{ra}+W_2C_{re}+W_3C_{ri}$$

式中:W_1、W_2、W_3分别为环境、经济和资源要素承载力的权重.

1.5 利用主成分分析法求取权重

主成分分析将多个有一定相关性的复杂指标(X_1,X_2,…,X_P)通过"降维"处理之后,转换成少数几个互不相关的综合指标.其数学模型为:

$$Z_1=\mu_{11}X_1+\mu_{12}X_2+\cdots+\mu_{1P}X_P$$

$$Z_2=\mu_{21}X_1+\mu_{22}X_2+\cdots+\mu_{2P}X_P$$

$$Z_P=\mu_{P1}X_1+\mu_{P2}X_2+\cdots+\mu_{PP}X_P$$

式中:Z_1、Z_2、…、Z_P为 P 个主成分;X_1、X_2、…、X_P为 P 个随机变量;μ_{i1}、μ_{i2}、…、μ_{iP}为相关矩阵 P 的第 i 个特征向量.

本文利用主成分分析方法确定权重.首先构建影响区域适度人口权重的指标体系(表 1),利用《吉林统计年鉴 2006—2015》[32]、吉林省水资源公报等获取相关数据,对数据进行标准化处理.

表 1 影响区域适度人口权重的指标体系

Table 1 Index system affecting the weight of moderate population in the region

影响指标 Influence index	影响因子 Impact factor
自然资源承载力指标 Natural resource carrying capacity index	农作物总播种面积 Total sown area of crops ($\times10^3$ hm^2) 农业用水总量 Agricultural water consumption ($\times10^8$ m^3) 原油生产量 Crude oil production ($\times10^4$ t)
经济承载力指标 Economic carrying capacity index	第二产业增加值 Second industry increment ($\times10^8$ yuan) 人均地区生产总值 Per capita GDP (yuan · cap^{-1}) 居民消费水平 Consumption level (yuan)
环境承载力指标 Environmental carrying capacity index	生态用水总量 Ecological water consumption ($\times10^8$ m^3) 废水排放总量 Total wastewater discharge ($\times10^4$ t) 化学需氧量排放 COD emission ($\times10^4$ t)

1.6 数据处理

本文采用 Excel 2007 对文中的原始数据进行统计分析,测算资源承载人口、经济承载人口和生态承载人口.利用 SPSS 22 软件求取权重,其 KMO 和 Bartlett 的球形度检验结果为 0.81,得到 1 个特征根值大于 1、累计方差贡献率不小于 90%的主成分代替原有指标.因此,指标系数可以看成是以这个主成分方差贡献率为权重,其中,资源承载力的权重为 0.35,经济承载力的权重为 0.35,环境承载力的权重为 0.30 .

2 结果与分析

2.1 吉林省生态承载人口的变化

基于《中国统计年鉴 2006—2015》[31]、《吉林统计年鉴 2006—2015》[32] 以及《中国农业统计年鉴 2006—2015》[33] 的数据,计算吉林省 2005—2014 年的生态承载人口.在计算生态足迹时,生产性土地包括耕地、森林、草地、化石能源、建筑用地和水域,均衡因子分别为 5.25、0.21、0.09、0.21、5.25、0.14,产量因子分别为 1.23、0.91、0.39、0、1.23、1;建筑用地用电力代换,总生态承载力需扣除 12%用于生物多样性保护.

由表 2 可以看出,在 6 种土地类型的人均生态足迹变化中,林地和水域人均生态足迹所占比例较小,增长缓慢,草地人均生态足迹已经出现了下降趋

表 2　2005—2014 年吉林省各地类人均生态足迹的变化
Table 2　Change of ecological footprint per capita of Jilin Province during 2005-2014 ($hm^2 \cdot cap^{-1}$)

年份 Year	耕地 Cultivated land	林地 Forest land	草地 Grassland	水域 Water	化石燃料用地 Fossil fuel land	建设用地 Construction land	合计 Total
2005	0.31	0.09	0.80	0.03	1.32	0.46	3.01
2006	0.31	0.10	0.83	0.03	1.49	0.46	3.23
2007	0.31	0.09	0.91	0.04	1.60	0.48	3.42
2008	0.38	0.09	1.01	0.04	1.81	0.53	3.85
2009	0.38	0.09	0.64	0.04	1.73	0.73	3.60
2010	0.39	0.09	0.64	0.04	1.94	0.76	3.87
2011	0.40	0.09	0.66	0.04	2.28	0.78	4.26
2012	0.43	0.09	0.70	0.05	2.29	0.79	4.34
2013	0.46	0.09	0.71	0.05	2.20	0.83	4.33
2014	0.41	0.09	0.71	0.05	2.02	0.71	3.99

势，化石燃料用地和建设用地人均生态足迹所占比例较大，增长十分明显.说明吉林省的产业结构长期以石化和能源为主.

由表 3 可见，2005—2014 年，吉林省生态承载人口明显不足，只是现实人口的三分之一，且呈现下降趋势，而吉林省现实人口持续增长，导致人口赤字持续上升.究其原因，从表层上来看是由吉林省生态总承载力基本平稳、而生态足迹上升幅度较快所致，深层原因主要是人均化石燃料用地生态足迹和人均建设用地生态足迹所占比重过大，且增幅较大，加之吉林省的产业结构以传统的机械、石化、能源为主导，以及土地城市化快于人口城市化.因此，今后应由粗放型、消耗型资源利用方式向集约型、低碳型转变，优化产业结构，促进土地城市化与人口城市化协调发展，改变人类的生产方式和消费模式，注重保护生态环境，合理利用自然资源.

表 3　2005—2014 年吉林省生态承载人口的变化
Table 3　Change of ecological carrying population of Jilin Province during 2005-2014

年份 Year	现实总人口 Actual total population ($\times 10^4$)	生态承载人口 Ecological carrying population ($\times 10^4$)	人口赤字 Population deficit ($\times 10^4$)
2005	2669.40	969.31	-1700.09
2006	2679.50	923.02	-1756.48
2007	2696.10	885.59	-1810.51
2008	2710.50	817.74	-1892.76
2009	2719.50	911.36	-1808.14
2010	2723.80	878.56	-1845.24
2011	2726.50	847.76	-1878.74
2012	2750.40	851.19	-1899.21
2013	2751.30	857.77	-1893.53
2014	2752.40	934.64	-1817.76

2.2　吉林省经济承载人口的变化

由表 4 可见，2005—2014 年吉林省经济承载人口由赤字状态向富余状态转变，虽然 2009—2014 年经济承载人口只略多于现实人口，这也说明吉林省不断转变经济增长方式、优化产业结构导致经济增长的结果.

2.3　吉林省资源承载人口的变化

由表 5 可见，2005—2014 年吉林省资源承载人口一直处于富余状态.从资源承载力构成来看，吉林省土地资源承载人口>水资源承载人口>能源承载人口，土地资源承载人口相对富余，水资源承载力和能源承载力却明显不足，处于赤字状态，说明吉林省经济发展是以耗竭能源和水资源为基础的，水资源和能源是未来吉林省经济发展的主要限制因素.

2.4　基于综合承载力的适度人口变化

由表 6 可见，利用状态空间法测算的 2005—2014 年吉林省适度人口一直小于现实人口，处于赤字状态，且呈现出下降趋势，说明吉林省人口、资源与环境处于一种不协调状态，但不协调状态正在逐渐改善.

从适度人口构成来看，吉林省资源承载人口>经济承载人口>生态承载人口，资源承载人口相对富余，但经济和生态承载人口却明显不足，处于赤字状态.说明吉林省经济发展水平相对较低，是以牺牲环境为代价的，吉林省经济发展处于不可持续状态.

表 4　2005—2014 年吉林省经济承载人口的变化
Table 4　Change of economic carrying population of Jilin Province during 2005-2014

年份 Year	经济承载指数 I_e	现实总人口 Actual total population ($\times 10^4$)	GDP ($\times 10^8$ yuan)	经济承载人口 Economic carrying population ($\times 10^4$)	人口赤字 Population deficit ($\times 10^4$)
2005	0.70	2669.4	3620.27	2527.10	-142.31
2006	0.60	2679.5	4275.12	2560.88	-118.62
2007	0.49	2696.1	5284.69	2583.93	-112.17
2008	0.42	2710.5	6426.10	2670.92	-39.58
2009	0.38	2719.5	7278.75	2782.59	63.09
2010	0.32	2723.8	8667.58	2813.95	90.15
2011	0.28	2726.5	10568.83	2910.26	183.76
2012	0.25	2750.4	11939.24	2991.71	241.31
2013	0.23	2751.3	12981.46	2967.54	216.24
2014	0.21	2752.4	13803.81	2931.97	179.57

表 5 2005—2014 年吉林省资源承载人口的变化

Table 5 Change of the resource carrying population of Jilin Province during 2005-2014 ($\times 10^4$)

年份 Year	土地承载人口 Land carrying population	水资源承载人口 Water resource carrying population	能源承载人口 Energy carrying population	资源承载人口 Resources carrying population	人口赤字 Population deficit
2005	5262.47	2608.59	1541.86	3137.64	468.24
2006	5399.29	1835.13	1637.51	2957.31	277.81
2007	5430.16	1810.40	1672.12	2970.90	274.80
2008	4993.45	1607.14	1835.53	2812.04	101.54
2009	5291.19	1644.88	2096.75	3010.94	291.44
2010	5529.85	2979.33	2200.58	3569.92	846.12
2011	6149.81	1830.07	2151.61	3377.17	650.67
2012	6977.05	2111.62	2401.23	3829.97	1079.57
2013	7044.84	2956.24	1380.95	3794.01	1042.71
2014	7095.97	1535.17	1332.01	3321.05	568.65

土地承载人口、水资源承载人口和能源承载人口的权重均为 1/3 Weight was 1/3 for land carrying population, water resource carrying population and energy carrying population, respectively.

表 6 2005—2014 年吉林省区域适度人口的变化

Table 6 Change of the regional optimum population of Jilin Province during 2005-2014 ($\times 10^4$)

年份 Year	生态承载人口 Ecological carrying population	经济承载人口 Economic carrying population	资源承载人口 Resource carrying population	适度人口 Optimal population	现实人口 Actual population	人口赤字 Population deficit
2005	969.31	2527.09	3137.64	2273.45	2669.4	-395.95
2006	923.02	2560.88	2957.31	2208.27	2679.5	-471.23
2007	885.59	2583.93	2970.90	2209.87	2696.1	-486.23
2008	817.74	2670.92	2812.04	2164.36	2710.5	-546.14
2009	911.36	2782.59	3010.94	2301.14	2719.5	-418.36
2010	878.56	2813.95	3569.92	2497.92	2723.8	-225.88
2011	847.76	2910.26	3377.17	2454.93	2726.5	-271.57
2012	851.19	2991.71	3829.97	2642.94	2750.4	-107.46
2013	857.77	2967.54	3794.01	2623.87	2751.3	-127.43
2014	934.64	2931.97	3321.05	2468.95	2752.4	-283.45

生态承载人口、经济承载人口和资源承载人口的权重分别为 0.30、0.35 和 0.35 Weight of ecological carrying population, economic carrying population and resource carrying population was 0.30, 0.35 and 0.35, respectively.

3 结 论

适度人口是由经济因素、资源因素和环境因素共同确定的最优人口.适度人口是动态的,是生产力的函数,自然资源是适度人口的基础条件,生态环境是适度人口的限制条件,经济条件是适度人口的变化条件.

2005—2014 年,吉林省适度人口一直处于赤字状态,说明吉林省人口、资源与环境处于一种不协调状态.吉林省资源承载人口>经济承载人口>生态承载人口,且资源承载人口相对富余,但经济和生态承载人口却明显不足,处于赤字状态,说明吉林省经济发展是以牺牲环境为代价而发展的.吉林省土地资源承载人口>水资源承载人口>能源承载人口,且土地资源承载人口相对富余,但水资源承载力和能源承载力却明显不足,处于赤字状态,说明吉林省经济发展以耗竭能源和水资源为基础而发展的.以传统的机械、石化、能源为主导的产业结构和土地城市化快于人口城市化是导致吉林省生态人口赤字的主要原因,今后应由粗放型、消耗型资源利用方式向集约型、低碳型转变,优化产业结构,改变人类的生产方式和消费模式,注重保护生态环境.

运用状态空间法构建适度人口模型,利用主成分分析求取权重,能够从经济、资源与环境相协调的角度研究区域适度人口,做到主观和客观、定性分析和定量分析相结合.综合考虑区域的经济发展和土地、水、能源利用以及人们的消费水平,可以为有效测度区域适度人口提供一种新思路.

本文运用状态空间法构建适度人口模型,并未系统探讨经济、资源与环境之间的作用机理,而且在该模型中只考虑了人口数量,没有考虑人口质量、结构等因子对适度人口的影响,这是本模型的不足之

处,今后如何将状态空间法与系统动力学相结合构建适度人口模型,是未来努力的方向.

参考文献

[1] Li X-X (李秀霞), Liu C-Y (刘春燕). Research on regional optimum population the base of comprehensive carrying capacity. *Journal of Arid Land Resources and Environment* (干旱区资源与环境), 2008, **22**(5): 6-10 (in Chinese)

[2] Tang X-L (唐湘玲), Lyu X (吕　新), Xue F (薛峰). The optimum population in Xinjiang based on ecological footprint. *Journal of Arid Land Resources and Environment* (干旱区资源与环境), 2012, **26**(7): 160-164 (in Chinese)

[3] Samuelson PA. Economics. New York: McGrow-Hill, 1970

[4] Ehrlich PR, Holdren JP. Impact of population growth. *Science*, 1971, **171**: 1212-1217

[5] Hogan TD. A note on empirical estimation of optimum population. *Nebraska Journal of Economics & Business*, 1974, **13**: 70-73

[6] Fu S-F (傅世锋), Zhang P (张　平), Jiang J-L (蒋金龙). Evaluation of land resources carrying capacity of development zone based on planning environment impact assessment. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2012, **23**(2): 459-467 (in Chinese)

[7] Guo Q (郭　倩), Wang J-Y (汪嘉杨), Zhang B (张碧). Comprehensive evaluation of the water resource carrying capacity based on DPSIRM. *Journal of Natural Resources* (自然资源学报), 2017, **32**(3): 484-493 (in Chinese)

[8] Wang K-Y (王开运), Zou C-J (邹春静), Kong Z-H (孔正红). Ecological carrying capacity and Chongming Island's ecological construction. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005, **16**(12): 2447-2453 (in Chinese)

[9] Sun Y-Y (孙燕英), Li Y-J (李元杰), Kang A (康艾). Evaluation of comprehensive carrying capacity of resources and environment in Ordos Basin (Inner Mongolia). *Journal of Arid Land Resources and Environment* (干旱区资源与环境), 2017, **31**(2): 56-62 (in Chinese)

[10] Li W-L (李文龙), Ren Y (任　圆). Research on system dynamics simulation model urban comprehensive carrying capacity. *Ecological Economy* (生态经济), 2017, **33**(2): 78-81 (in Chinese)

[11] Song Y-C (宋艳春), Yu D (余　敦). Evaluation of comprehensive capacity of resources and environments in Poyang Lake Eco-economic Zone. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2014, **25**(10): 2975-2984 (in Chinese)

[12] Zhu X-Z (祝秀芝), Li X-W (李宪文), Jia K-J (贾克敬). A study on system dynamics of land comprehensive carrying capacity in Shanghai City. *China Land Sciences* (中国土地科学), 2014, **28**(2): 90-96 (in Chinese)

[13] Mao H-Y (毛汉英), Yu D-L (余丹林). A study on the quantitative research of regional carrying capacity. *Advance in Earth Sciences* (地球科学进展), 2001, **16**(4): 549-555 (in Chinese)

[14] Li X-X (李秀霞). Research on the Optimum Population based on the Comprehensive Carrying Capacity in Jilin Province. PhD Thesis. Changchun: Jilin University, 2009 (in Chinese)

[15] Zhang Q-H (张庆红). Optimum population studies in Xinjiang under the comprehensive carrying capacity perspective. *Ecological Economy* (生态经济), 2016, **32**(4): 199-202 (in Chinese)

[16] Guo H-H (郭欢欢), Zhang X-C (张孝成), Li S-C (李仕川). Improvement of the method to standardize moderate indicators in the evaluation of intensive land use: Population density as an example. *Scientia Geographica Sinica* (地理科学), 2016, **36**(3): 367-373 (in Chinese)

[17] Cheng G-B (程广斌), Shen L-J (申立敬), Long W (龙　文). Comparative research on comprehensive capacity of urban agglomerations along silk road economic belt in Northwest China. *Economic Geography* (经济地理), 2015, **35**(8): 98-103 (in Chinese)

[18] Dasgupta S. On the concept of optimum population. *Global Aspects of the Environment*, 1999, **2**: 343-366

[19] Cao M-K (曹明奎). Potential productivity and population carrying capacity of China's agro-ecosystem. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 1993, **13**(1): 83-90 (in Chinese)

[20] Peng X-Z (彭希哲), Liu Y-H (刘宇辉). Ecological footprint and regional eco-optimum population: Take China's western provinces as an example. *Market and Demographic Analysis* (市场与人口分析), 2004, **10**(4): 9-16 (in Chinese)

[21] Xie W-X (谢文瑄), Huang Q-X (黄庆旭), He C-Y (何春阳). Urban expansion modes and regional ecological footprints in the Shandong peninsula urban agglomeration. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2017, **37**(3): 969-978 (in Chinese)

[22] Wang A-M (王爱民), Yin X-D (尹向东). Research on optimum population under multiple goals restraining in urbanization region: A case study in Shenzhen. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* (中山大学学报:自然科学版), 2006, **45**(1): 116-120 (in Chinese)

[23] Wei W (魏　玮), Wu B-W (伍博炜), Wang Q (王强). Land resources carrying of urban agglomeration of the western coast of Taiwan Strait based on biological immunology. *Resources Science* (资源科学), 2015, **37**(10): 2019-2029 (in Chinese)

[24] Liu Y (刘　雁), Liu C-Y (刘春燕). Research on regional moderate population based on P-R-E model. *Social Sciences Front* (社会科学战线), 2009(11): 271-273 (in Chinese)

[25] Wang Y (王　颖), Huang J (黄　进), Zhao J-Y (赵娟莹). The estimation of optimum population of China under multiple goals restrain. *Population Journal* (人口

学刊), 2011, **35**(4): 21-29 (in Chinese)
[26] Tong Y-F (童玉芬), Wang J-W (王静文), Liang Z (梁 钊). China's optimum population: An environmental perspective. *Population Research* (人口学刊), 2016, **40**(2): 3-11 (in Chinese)
[27] Xiang Y-B (向云波), Xie B-G (谢炳庚), Deng C-X (邓楚雄). Evaluation and comparison of urban population ecological civilization: A case of 24 cities in China. *Nothwest Population* (西北人口), 2013, **34**(3): 53-57 (in Chinese)
[28] Chen S (陈 爽), Wang D (王 丹), Li G-Y (李广宇). Application of carrying capacity assessment in spatial allocation of regional population: A case of Changzhou City of East China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2012, **23**(2): 483-490 (in Chinese)
[29] Zhang H (张 红), Li L-J (李林峻), Zhang Y (张洋). Land comprehensive carrying capacity of island cities and its trend evaluation based on correction system dynamics model: Taking Zhoushan as an example. *Ecological Economy* (生态经济), 2016, **32**(7): 178-182 (in Chinese)
[30] Yu H (于 航), Tao L (陶 磊), Bai J-F (白景峰). Research on comprehensive carrying capacity prediction of Binhai new area based on system dynamics. *China Population, Resources and Environment* (中国人口·资源与环境), 2012, **22**(5): 297-300 (in Chinese)
[31] China Statiscal Yearbook Editorial Committee (中国统计年鉴编委会). China Statistical Yearbook. Beijing: China Statistics Press, 2006-2015 (in Chinese)
[32] Comilation Commtittee of Jilin Statistical Yearbook (吉林统计年鉴编委会). Jilin Statistical Yearbook, 2006-2015. Beijing: China Statistics Press, 2006-2015 (in Chinese)
[33] China Agricultural Statistical Yearbook Editorial Committee (中国农业年鉴编辑委会). China Agriculture Statistical Yearbook. Beijing: China Agriculture Press, 2006-2015 (in Chinese)

作者简介 李秀霞, 女, 1964 年生, 博士. 主要从事人口、资源与环境经济学研究. E-mail: jykxzz@163.com

责任编辑 杨 弘

李秀霞, 孟玫. 基于综合承载力的吉林省适度人口分析. 应用生态学报, 2017, **28**(10): 3378-3384
Li X-X, Meng M. Optimum population analysis of Jilin Province, China based on comprehensive carrying capacity. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, **28**(10): 3378-3384 (in Chinese)