

城市化时期郊区土地利用结构信息熵上升的原因

王玉明, 王瑞康

(太原师范学院地理科学学院, 晋中 030619)

摘要: 本文认为, 此前一直被当作城市化地区的土地利用结构信息熵快速上升, 应是指城市化地区郊区的土地利用结构信息熵上升。城市化时期郊区土地利用结构向均衡化方向的明显变动, 引起了郊区土地利用结构信息熵的上升; 城市建成区的土地利用结构信息熵却未有上升, 其各种土地利用类型的面积占比在城市化时期基本稳定, 或向居民点及工矿用地、交通用地类型有所集中, 导致其土地利用结构信息熵基本不变或有所下降。郊区的局部城市化区域对郊区土地利用结构信息熵的上升有着主要贡献。数据分析显示, 城市化时期郊区的农用地较多较快地转化成了城市建设用地, 且后者的面积占比与土地利用结构信息熵之间具有高度正相关关系, 说明城市建设用地的快速增加是引起郊区土地利用结构信息熵上升的主要原因。熵变化分析表明, 城市化时期郊区系统的熵变化与郊区土地利用结构信息熵的变动方向一致, 均大于零, 表征了郊区的自然地理环境演化在此期间是向着有序性降低的方向发展的。

关键词: 土地利用结构; 城市化地区; 自然地理环境演化; 信息熵; 人地关系

DOI: 10.11821/dlxb201809003

1 引言

1978年以来中国经济的持续快速发展, 明显加快了国内许多地区的城市化速度, 一些城市的规模正在迅速扩大, 城市化地区的土地利用结构也发生了显著变化。这种变化对城市化地区的生态和自然地理环境演化有何重要影响? 是否会影响到城市化地区土地系统的可持续利用? 这些问题已经引起了土地科学、生态和环境科学等众多领域学者们的广泛关注。陈彦光等研究了郑州、广州等城市的土地利用结构变化, 总结出城市土地利用结构的信息熵值定律^[1], 并用均衡度概念反映土地利用结构特征^[2]; 谭永忠等从不同区域土地利用结构信息熵变化分析出发, 认为土地利用结构信息熵值可以反映土地利用系统的演化方向^[3]; 赵晶等运用信息论分析 1947-1996 年上海市中心城区土地利用结构及信息熵的变化情况, 揭示了城市土地利用结构与形态演变特征及这些特征的形成因素^[4]; 毛良祥等基于信息熵理论对中国六大经济区域的土地利用结构进行了研究, 分析了土地利用结构均衡化发展的主要诱因^[5]等。这些研究中, 土地利用结构信息熵被用作衡量一个区域土地利用系统有序程度及判别其演化方向的指标, 土地利用结构信息熵越高, 表示土地利用类型转换越快, 土地利用结构越趋于均衡, 土地利用系统向有序性降低的方向演化; 反之亦然。土地利用结构信息熵指标还被引入不同等级、不同类型区域土地利用系统的研究之中, 在城市化速度较快的地区的土地利用结构的研究之中更是得到了广泛

收稿日期: 2017-12-15; 修订日期: 2018-05-15

基金项目: 山西省软科学项目(2017041021-1) [Foundation: Shanxi Province Soft Science Project, No.2017041021-1]

作者简介: 王玉明(1962-), 男, 江苏金坛人, 博士, 教授, 硕士生导师, 中国地理学会会员(S110003114M), 主要从事自然地理学与旅游经济学等研究。E-mail: mrwangyuming@163.com

1647-1657 页

应用,大量研究案例给出的普遍性认识是:城市化地区的土地利用结构信息熵是快速上升的^[6-17]。

这就产生了一个至今尚未能得到很好解释的困惑:城市系统以及城市化地区系统均为有序的耗散结构系统,它们在城市发展过程中均应越来越有序,它们各自有着内在紧密联系的次一级子系统也应越来越有序,表征这些系统无序程度的熵值均应是逐步下降的,因而作为城市化地区系统次一级子系统的城市化地区土地利用系统,其熵值及城市化地区的土地利用结构信息熵也应是下降的;可是为什么已有的研究报道几乎一致地认为城市化地区的土地利用结构信息熵是上升的?本文试图解开这一疑惑。

中国已经进入到城市快速发展的中期阶段,城市化速度的选定将会深刻影响中国未来的经济社会发展进程^[18]。较快的城市化速度一般会在中短期内带来较为巨大的经济社会效益,但同时也可能相应产生显著的生态环境压力,只有选取合适的城市化速率才能保证中国的经济社会发展具有长远的可持续性前景。何种城市化速度才是最优的?判断的标准特别依赖于不同城市化速度下环境生态影响的评价结果。土地利用结构信息熵指标可能是评判环境生态影响的最佳指标,应予以深入研究。许多研究者虽已关注到研究区域的土地利用结构信息熵在快速城市化时期是快速上升的,却未能指明上升的原因及其对自然地理环境演化趋势的影响,甚至有学者把土地利用结构信息熵的上升归因于郊区耕地面积比例增加^[19],或认为信息熵值上升意味着该地区土地利用结构向着有序性升高的方向演化^[20]。本文拟在耦合土地利用结构信息熵和耗散结构理论的基础上,厘清此前普遍认为的所谓城市化地区土地利用结构信息熵上升的真实含义;查明城市化时期导致土地利用结构信息熵上升的主要原因;弄清楚土地利用结构信息熵的上升所表征的自然地理学含义。

2 郊区土地利用结构信息熵的计算依据

假定一个地区的用地面积总量为 A , 并根据职能分成 n 种类型, 每个职能类的面积为 A_i ($1, 2, \dots, n$), 则有: $\sum_{i=1}^n A_i = A$ 。据此可得各类土地面积的百分比为:

$$P_i = A_i / A = A_i / \sum_{i=1}^n A_i, \quad \sum_{i=1}^n P_i = 1 \quad (1)$$

因而 P_i 相当于事件的概率, 可按 Shannon 熵公式定义土地利用结构的信息熵为:

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i = - \sum_{i=1}^n \left(A_i / \sum_{i=1}^n A_i \right) \ln \left(A_i / \sum_{i=1}^n A_i \right) \quad (2)$$

土地利用结构信息熵反映了土地利用类型的多少和各类型土地面积分布的均匀程度。

在农村区域向城市建成区转变的过程中, 最明显的变化是城市建设用地的快速扩张, 与此同时, 蔬菜园地、果园等用地也相应增多。各土地利用类型面积占比的相差会快速变小, 土地利用结构信息熵会快速增大^[1]。理论上说, 当各种土地利用类型的面积变动到相等时 ($A_1 = A_2 = \dots = A_n$), 信息熵达到最大; 在实际应用时, 当城市建设用地面积增加到与某一个最主要的其他土地利用类型 (如耕地或园地) 面积相等时, 信息熵达到相对最大。此时该区域的城市化水平已达到一定程度, 可称之为半城市化区域。

用公式 (2) 算出的土地利用结构信息熵的大小及其所表征的自然地理学含义, 依赖于土地利用的职能分类标准, 因为正是土地利用类型发生了变动才导致土地利用结构信息熵发生相应变化, 而土地利用类型是否发生了变动以及变动了多少在一定程度上依赖

于所用的土地利用职能分类标准。参考前人研究^[6-17], 本文采用了1984年制定的《土地利用现状调查技术规程》划分标准, 将土地利用类型划分为耕地、园地、林地、牧草地、居民点及工矿用地、交通用地、水域、未利用土地8个一级类。

从土地利用结构信息熵计算公式可以看出, 在选定了某一套土地利用职能分类标准后, 任一地区的土地利用结构信息熵的变动值, 反映了在此土地利用职能分类标准下该地区内那些土地利用类型已发生了改变的区域其各自土地利用结构信息熵变动的加权平均值。该地区中那些土地利用类型未发生变动的集中成片区域, 对整个地区的土地利用结构信息熵的变动不会有影响。研究期始已建成的存量城市建成区就属于这种对研究期内土地利用结构信息熵的变动基本上没有影响的区域, 其对土地利用结构信息熵的上升没有贡献。

从图1可以看出, 存量城市建成区内各种土地利用类型的面积占比在当前的土地利用职能分类标准下基本上未发生什么变动: 存量城市建成区内在原有土地利用类型结构基础上进行的土地改进, 如城中村改造、工矿业外迁、修建道路、绿化等, 改进后的土地利用类型基本不变, 如城中村改造前后的土地利用类型均属于居民点及工矿用地类型; 工矿业外迁由原来的工矿业用地转变为商业住宅用地仍属于居民点及工矿用地类型; 修建道路大多是在原有的平面交通基础上修建立体交通也依旧属于交通用地类型; 绿化主要在居民点用地中的空闲处进行, 绿化后的土地仍属于居民点及工矿用地类型。可以认为, 存量城市建成区内的土地利用结构和功能已基本完善, 各土地利用类型的占比在进一步城市化过程中基本保持稳定, 不会对土地利用结构信息熵的上升有贡献; 不仅如此, 存量城市建成区内的土地利用结构在总体稳定基础上的稍有变化, 多为居民点及工矿用地或交通用地类型占去了城市建成区内公园园地、水域或森林等的一部分, 使土地利用结构向这些类型有所集中和均衡度有所降低, 导致了土地利用结构信息熵有所下降。可见, 城市建成区的土地利用结构信息熵在城市化时期不仅不会上升, 反倒可能是有所下降的。

郊区是新增城市建设用地的主要来源。郊区区域可划分为郊区农村、局部城市化区域和城市化水平已达到一定程度的半城市化区域。郊区农村的土地利用结构一般变动不

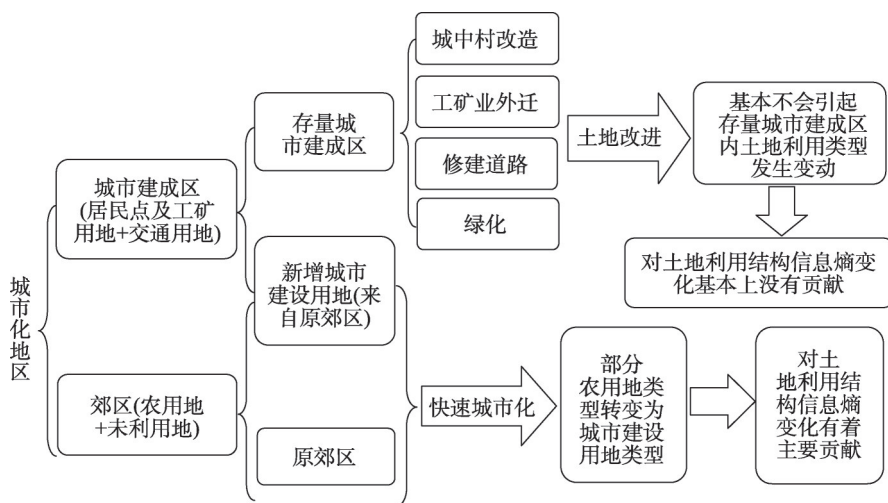


图1 城市化地区土地利用类型变化情况及对土地利用结构信息熵影响

Fig. 1 Changes of land use types in urbanized areas and influences on the information entropy of land use structure

大,土地利用结构信息熵也只应有少量增加。局部城市化区域的农用地在城市化时期较多较快地转化成了城市建设用地,并有一些耕地转变成了蔬菜园地、果园、景观林地和景观水域等,区域内各种土地利用类型的面积占比发生了显著变动,导致土地利用结构的均衡度和信息熵明显增大,对整个郊区的土地利用结构信息熵上升有着主要贡献。半城市化区域是一个特别的区域,区域内城市建设用地的进一步增加会导致土地利用结构向城市建设用地类型集中,使其土地利用结构的均衡度及信息熵不升反降,并对整个郊区的土地利用结构信息熵上升有抑制甚至抵消作用。在快速城市化阶段,城市建设用地出现了大规模的快速扩张,它们主要发生在郊区的局部城市化区域和半城市化区域,在郊区农村也会有一定的反映,这就会引起局部城市化区域土地利用结构的均衡度和信息熵明显上升,并推高整个郊区的土地利用结构信息熵。在此阶段,郊区农村区域的土地利用结构信息熵也会有一些上升,半城市化区域城市建设用地的进一步快速增加则会引起该区域土地利用结构信息熵的明显下降,其对整个郊区土地利用结构信息熵上升的抑制或抵消作用也明显增强。

郊区的土地利用结构信息熵是局部城市化区域、半城市化区域和郊区农村3个区域的土地利用结构信息熵按各自面积占比为权重的加权平均值,综上所述可以看出,其在城市化时期是上升的,在快速城市化阶段有较快上升。

城市化地区的土地利用结构信息熵是城市建成区、局部城市化区域、半城市化区域和郊区农村4个区域的土地利用结构信息熵以各自面积占比为权重的加权平均值。虽然局部城市化区域的土地利用结构信息熵是上升的,但是半城市化区域及城市建成区对信息熵的上升有抵消甚至反转作用。在城市化时期的早期阶段,前者由于城市建设用地快速增加而有明显上升,后者由于同样的原因也会增强,且还有着远大于局部城市化区域的面积占比及权重;在城市化时期的中晚期阶段,局部城市化区域的土地利用结构信息熵上升已不太显著,城市建成区和半城市化区域的面积占比及权重却仍然有持续的增加。综合起来考虑可以认为,整个城市化地区的土地利用结构信息熵在城市化时期应是下降的。

因此,在当前的土地利用类型划分标准下计算得到的土地利用结构信息熵快速上升,并不是此前学者们普遍认为的整个城市化地区的土地利用结构信息熵的快速上升,而是指城市化地区郊区的土地利用结构信息熵上升。

3 城市化时期导致郊区土地利用结构信息熵上升的主要原因

陆地表层在未受到大规模人类活动干扰之前,具有有序的自然生态格局^[21-22]。大规模人类活动介入后,原本有序性较好的自然生态系统受到不同强度人地作用的影响^[22]。这种影响现时突出表现在城市化地区的土地利用类型转化上,大量郊区耕地转化成了城市建设用地,城市建设用地面积占比在城市化阶段快速增加,郊区耕地面积所占比例则快速减少(表1~表3,图2~图7),这种转化模式已成为中国城市化地区的普遍现象^[23]。

选取西安市、衡阳市和苏(州)(无)锡常(州)地区为案例区,应用SPSS软件对三地的城市建设用地面积占比和耕地面积占比数据(表1~表3)进行的相关性分析显示,三地的城市建设用地面积占比与耕地面积占比之间均呈高度负相关,相关系数分别为-0.992、-0.962、-0.969。在城市化地区早期的土地利用结构中,耕地面积应占绝对比重;随着城市化过程中城市建设用地的不断增多,郊区的耕地面积会不断减少,二者面积占比之差值会缩小,土地利用类型的面积分布会向均衡化方向发展,土地利用结构信

表1 1996-2007年西安市城市建设用地、耕地面积占比与郊区的土地利用结构信息熵值^[6]

Tab. 1 Proportions of urban construction land and cultivated land as well as information entropy of suburban land use structure in Xi'an City from 1996 to 2007 (Reference [6])												
年份	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
城市建设用地面积占比(%)	10.13	10.23	10.34	10.43	10.61	10.78	11.03	11.31	11.74	11.92	12.28	12.43
耕地面积占比(%)	34.08	33.86	33.79	33.74	33.5	33.35	32.84	32.22	31.48	31.35	31.08	31
土地利用结构信息熵值	1.4406	1.4611	1.4625	1.4637	1.4671	1.4696	1.4744	1.483	1.4825	1.4834	1.4859	1.4869

表2 1996-2006年衡阳市城市建设用地、耕地面积占比与郊区的土地利用结构信息熵值^[9]

Tab. 2 Proportions of urban construction land and cultivated land as well as information entropy of suburban land use structure in Hengyang City from 1996 to 2006 (Reference [9])											
年份	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
城市建设用地面积占比(%)	7.81	7.81	7.9	7.96	8.02	8.06	8.14	8.19	8.25	8.26	8.53
耕地面积占比(%)	24.56	24.56	24.48	24.43	24.31	24.39	24.36	24.25	24.24	24.24	24.12
土地利用结构信息熵值	1.4868	1.4867	1.4895	1.4911	1.4922	1.4921	1.4934	1.4924	1.4924	1.4926	1.4952

表3 1996-2007年苏锡常地区城市建设用地、耕地面积占比与郊区的土地利用结构信息熵值^[8]

Tab. 3 Proportions of urban construction land and cultivated land as well as information entropy of suburban land use structure in Taihu Lake Rim from 1996 to 2007 (Reference [8])												
年份	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
城市建设用地面积占比(%)	13.23	16.03	16.24	16.38	16.72	17.09	17.83	18.77	20.57	21.12	22.11	22.96
耕地面积占比(%)	40.08	39.02	38.91	38.88	38.71	38.31	37.03	36.24	32.41	31.58	30.28	29.88
土地利用结构信息熵值	1.6013	1.7167	1.7207	1.7269	1.7389	1.7516	1.7626	1.7823	1.8536	1.8678	1.8929	1.9026

息熵则增大，如苏锡常地区1996年耕地面积占比与城市建设用地面积占比的差值多达26.85%，2007年降为6.92%，郊区的土地利用结构信息熵则增加了18.82%^[8]。

应用SPSS软件对西安市、衡阳市和苏锡常地区的城市建设用地面积占比和郊区土地利用结构信息熵数据（表1~表3）进行的相关性分析显示，城市建设用地面积占比与郊区土地利用结构信息熵之间均呈高度正相关（图2、图4和图6），相关性系数分别为0.893、0.894、0.996。据此，并考虑到已有研究^[6-17]中所指的城市化地区的土地利用结构信息熵实际上均应是指城市化地区的郊区的土地利用结构信息熵，可以认为：城市建设用地面积占比的迅速增加或耕地面积占比的迅速减少，是引起城市化时期郊区土地利用结构信息熵上升的主要原因。显然，若把上述讨论中的耕地面积换作农用地面积，结论同样成立。

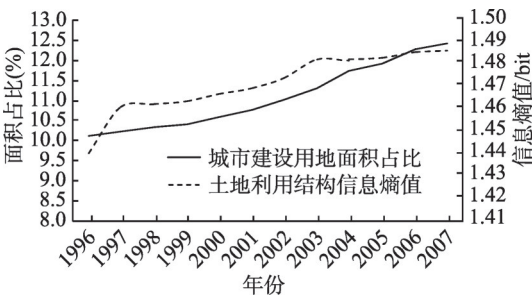


图2 1996-2007年西安市郊区的土地利用结构信息熵值及城市建设用地面积占比变化趋势

Fig. 2 Diagram for the change trend of information entropy of suburban land use structure and proportion of urban construction land in Xi'an City from 1996 to 2007

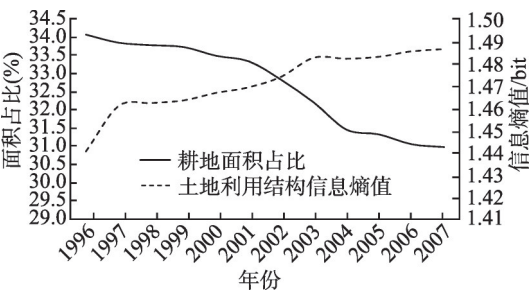


图3 1996-2007年西安市郊区的土地利用结构信息熵值及耕地面积占比变化趋势

Fig. 3 Diagram for the change trend of information entropy of suburban land use structure and proportion of cultivated land in Xi'an City from 1996 to 2007

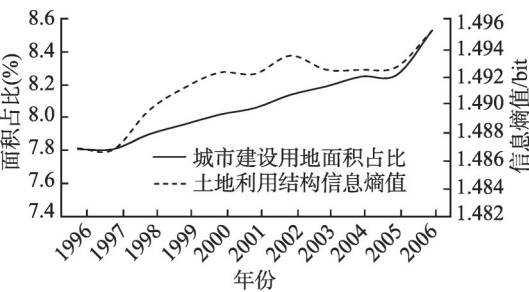


图4 1996-2006年衡阳市郊区的土地利用结构信息熵值及城市建设用地面积占比变化趋势

Fig. 4 Diagram for the change trend of information entropy of suburban land use structure and proportion of urban construction land in Hengyang City from 1996 to 2006

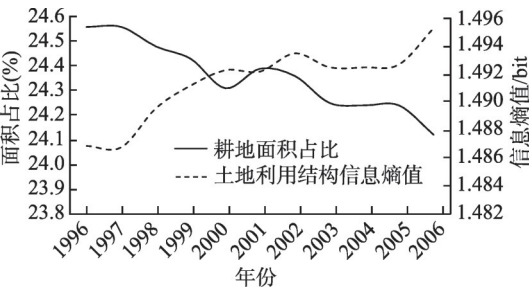


图5 1996-2006年衡阳市郊区的土地利用结构信息熵值及耕地面积占比变化趋势

Fig. 5 Diagram for the change trend of information entropy of suburban land use structure and proportion of cultivated land in Hengyang City from 1996 to 2006

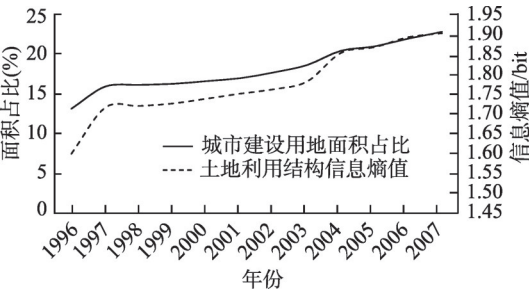


图6 1996-2007年苏锡常地区郊区的土地利用结构信息熵值及城市建设用地面积占比变化趋势

Fig. 6 Diagram for the change trend of information entropy of suburban land use structure and proportion of urban construction land in Taihu Lake Rim from 1996 to 2007

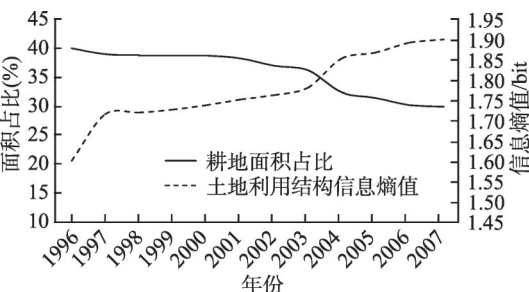


图7 1996-2007年苏锡常地区郊区的土地利用结构信息熵值及耕地面积占比变化趋势

Fig. 7 Diagram for the change trend of information entropy of suburban land use structure and proportion of cultivated land in Taihu Lake Rim from 1996 to 2007

注：城市建设用地主要由土地利用结构类型中的居民点及工矿用地，交通建设用地所组成，由于苏锡常地区的交通建设用地面积占比数据资料不全，由其居民点及工矿用地组成城市建设用地。

以黑龙江省为代表的东北地区的土地利用结构信息熵的变动情况，从另一个侧面很好地支持了上述认识：黑龙江省1996年的城市化率为53.8%，高于30.48%的全国城市化率；到2008年，黑龙江省的城市化率为55.4%，全国的为45.68%，黑龙江省城市化增长速率平均每年为0.13%，远远低于全国的1.27%^[24]；1990年以来，由于国家对粮食需求的大量增加，作为中国粮食基地的黑龙省增加了农田开垦，耕地面积不降反升^[25]，保证了耕地在土地利用结构中的优势度，土地利用结构信息熵从1996年的1.4243降低到2008年的1.4095^[26]。在中国的六大经济区域中，东北地区的城市化速度逐年减慢，耕地面积是六大区域中

唯一增加的地区,也是土地利用结构信息熵唯一持续下降的区域^[5]。在全国城市化加速以及土地利用结构信息熵普遍增加的大背景下,以黑龙江省为代表的东北地区的土地利用结构信息熵反而是下降的。这也说明,城市建设用地面积占比的增加或耕地(农用地)面积占比的减少是引起土地利用结构信息熵上升的主要原因。

4 郊区土地利用结构信息熵上升所表征的自然地理学含义

城市是一个典型的耗散结构系统^[27],整个城市化地区作为一个系统也是耗散结构系统。表征耗散结构系统无序化程度的指标是熵,熵值越大,系统的有序性越低;熵值越小,系统的有序性越高。熵增加原理与负熵概念的结合形成了一般熵理论,它可以阐明一个与外界有着广泛物质、能量和信息交流的开放系统也即耗散结构系统的演化趋势^[28]。

耗散结构系统通过开放交流从外界引入负熵流(有利于降低系统熵值和提升系统有序性的物质、能量与信息流;正熵流则相反),会使系统的演化趋势向有序性升高的方向发展^[29]。城市建成区作为一个有序的耗散结构系统^[27],其规模扩大、结构完善和等级提升都是有序性增加的表现^[32]。不过这种有序化发展过程并非以创造负熵为主要目标,而是依靠郊区及更远地区向城市建成区转移和集中负熵流。城市建成区的熵变化:

$$ds_{\text{城市建成区}} = d_i s_{\text{城市建成区}} + d_e s_{\text{城市建成区}} \quad (3)$$

式中: $ds_{\text{城市建成区}}$ 表示城市建成区常规运行过程中排出的正熵数量,或维持城市建成区正常运行需消耗的负熵数量,恒有: $ds_{\text{城市建成区}} > 0$; $d_e s_{\text{城市建成区}}$ 是城市建成区与外部环境之间的熵交流,在正常的生态环境下,社会和市场从外部环境向城市建成区源源不断地供给充足的负熵流以抵消城市建成区常规运行所产生的内部熵增^[22],并可保证其进一步的有序化发展,故有: $d_e s_{\text{城市建成区}} < 0$ 。基于最低成本原理,这种熵交流首先发生在城市建成区与郊区之间,当郊区的负熵流满足不了需要或成本太高时,更远地区的负熵流会被充分引入,因而在城市常规运行及城市化时期,总能够引入数量多于 $ds_{\text{城市建成区}}$ 的足够充分的负熵流 $d_e s_{\text{城市建成区}}$,以满足 $ds_{\text{城市建成区}} < 0$ ^[30],故城市建成区的熵值是下降的。这种机制不难推广到整个城市化地区,所以有:城市化地区的熵变化 $ds_{\text{城市化地区}} < 0$,即整个城市化地区的熵值也是下降的。

郊区的农业区域是一个主要通过绿色植物的光合作用直接或间接地创造和保存负熵流的自然生态系统,郊区农用地上生长的粮食类作物通过固定和累积太阳能而直接或间接地生产人类生存和发展必需的重要负熵流——农牧业产品^[28],其总量显然正比于郊区农用地(有时也可用耕地)的面积。郊区的存量民居、公共设施、交通道路及工矿企业等满足了人们在居住、交通、生活等方面的需要或是具有生产商品及生产资料的功能,是人类生存和发展必需的另一类重要负熵流或其重要源泉,这一类负熵流的总量与存量城市建设用地面积有一定的正相关关系。郊区系统在一段时间内创造出的负熵流总量是上述两类负熵流数量乘以各自权重系数的加权总值,这在概念上类似于郊区的绿色GDP总量。

城市化时期郊区系统的熵值,随着输入其中的正熵量增加而上升,随着郊区系统自身创造的负熵流数量增加而下降,后者则又与郊区的农用地面积以及存量城市建设用地面积呈一定的正相关关系。不过,郊区的新增城市建设用地在由农用地转化而来的最初相当长一段时间内是不创造负熵流的,它们既不再用于生产粮食,其上处于建设周期内的建筑和设施一时又不能发挥供人们居住、交通、生活或生产商品及生产资料的功能。城市化时期总有一定比例的新增城市建设用地处于建设周期内,它们在此期间不再创造

负熵, 相当于是损失了原本可以生产的农牧业产品负熵, 所占比例越大则损失的负熵越多, 由此会导致郊区系统的熵变化在城市化时期(快速城市化时期尤为显著)为正值, 即 $ds_{\text{郊区}} > 0$, 使郊区熵值相对上升。这表明郊区熵值与郊区农用地面积比例负相关。这个结论相近于耕地面积比例与土地利用结构信息熵之间的高度负相关关系(图3、图5、图7, 相关系数分别为-0.896、-0.911、-0.945), 显示郊区的土地利用结构信息熵与郊区的熵值正相关, 二者的含义也就应当相近。上述讨论说明, 城市建设用地的增加或农用地(耕地)面积的减少是引起郊区土地利用结构信息熵及郊区熵值上升的主要原因。

特别是在快速城市化时期, 不仅有大量的郊区农用地转化成了城市建设用地^[31], 而且在快速城市化时期的早期阶段, 这些新增城市建设用地高比例地处于建设周期内, 造成了郊区负熵存量迅速减少。快速城市化过程中工矿业的发展还会向郊区排放大量“三废”及废热等正熵流和消耗郊区大量的原材料、能源等负熵流, 从而造成郊区熵值较快上升和生态环境质量明显下降, 在此期间郊区的自然地理环境演化是向着有序性降低的方向发展的。且在靠近城市建成区的近郊区域, 土地利用类型转化剧烈, 负熵存量减少明显, 接收的正熵流数量巨大, 熵值也有显著增加, 对整个郊区的熵值上升有着主要贡献^[32]。

可见, 城市化时期城市建设用地的迅速增加导致了郊区熵值的较快上升, 使郊区的熵变化 $ds_{\text{郊区}} > 0$; 郊区的土地利用结构信息熵上升与一般熵理论中的熵值上升具有相近的含义, 表示郊区的自然地理环境演化在城市化时期是向着有序性降低的方向发展的。

5 结论

城市化时期城市建成区内各种土地利用类型的面积占比基本稳定, 或向居民点及工矿用地、交通用地两种类型有所集中, 使其土地利用结构信息熵基本不变或有所下降; 郊区各种土地利用类型的面积占比在城市化时期发生了向均衡化方向的明显变动, 引起了郊区土地利用结构信息熵的上升; 郊区的局部城市化区域的各种土地利用类型面积占比发生了显著变动, 引起了该区域土地利用结构信息熵的明显上升, 并推高了整个郊区的土地利用结构信息熵。一直以来被当作是整个城市化地区的土地利用结构信息熵快速上升, 应是指城市化地区郊区的土地利用结构信息熵上升。

导致郊区土地利用结构信息熵上升的主要原因, 是城市化时期郊区新增城市建设用地面积的快速增长和由此引起的郊区农用地或耕地面积的快速减少, 使郊区的土地利用结构向均衡化方向快速发展, 致使郊区的土地利用结构均衡度及信息熵明显升高。为防止郊区土地利用结构信息熵的过快增加, 城市建设应走内涵挖潜之路, 着力于提升城市建设用地的集约化利用水平。

城市化时期郊区的大量新增城市建设用地处于建设周期内, 不能创造负熵, 相当于是损失了用作农用地时可以创造的负熵, 导致了郊区的负熵存量减少, 城市化过程中向郊区排放的大量正熵又推升了郊区的熵值, 二者的叠加作用加大了郊区系统正的熵变化, 降低了郊区系统自然地理环境的有序性。城市化过程中应竭力减少排向郊区的正熵, 并向郊区系统大力补充负熵, 以促使郊区的自然地理环境演化尽快回归到有序性升高的方向。

参考文献(References)

- [1] Chen Yanguang, Liu Minghua. The basic laws of the Shannon entropy values of urban land-use composition. Human

- Geography, 2001, 16(4): 20-24. [陈彦光, 刘明华. 城市土地利用结构的熵值定律. 人文地理, 2001, 16(4): 20-24.]
- [2] Chen Yanguang, Liu Jisheng. An index of equilibrium of urban land-use structure and information dimension of urban form. *Geographical Research*, 2001, 20(2): 146-152. [陈彦光, 刘继生. 城市土地利用结构和形态的定量描述: 从信息熵到分数维. 地理研究, 2001, 20(2): 146-152.]
- [3] Tan Yongzhong, Wu Cifang. The laws of the information entropy values of land use composition. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(1): 112-117. [谭永忠, 吴次芳. 区域土地利用结构的信息熵分异规律研究. 自然资源学报, 2003, 18(1): 112-117.]
- [4] Zhao Jing, Xu Jianhua, Mei Anxin, et al. A study on the information entropy and fractal dimension of land use structure and form in Shanghai. *Geographical Research*, 2004, 23(2): 137-146. [赵晶, 徐建华, 梅安新, 等. 上海市土地利用结构和形态演变的信息熵与分维分析. 地理研究, 2004, 23(2): 137-146.]
- [5] Mao Liangxiang, Lin Yanhua. Research on land use change structure of China based on information entropy. *Scientific and Technological Management of Land and Resources*, 2008, 25(6): 48-51. [毛良祥, 林燕华. 基于信息熵的我国土地利用结构动态变化研究. 国土资源科技管理, 2008, 25(6): 48-51.]
- [6] Tan Jianjun. Analysis on dynamic change of information entropy of land use structure in Xi'an city and its driving forces [D]. Xi'an: Chang'an University, 2009. [谈建军. 西安市土地利用结构信息熵变化及驱动力分析[D]. 西安: 长安大学, 2009.]
- [7] Ren Qian. Study on land use structure and optimization of Baoding [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2012. [任倩. 保定市土地利用及结构优化研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2012.]
- [8] Li Min, Sun Zaihong, Yang Sujing, et al. The analysis of land use change and driving forces of Taihu Lake Rim. *Geo-Information Science*, 2008, 10(2): 136-141. [李闽, 孙在宏, 杨素静, 等. 江苏省环太湖地区土地利用结构演变与驱动力分析. 地球信息科学, 2008, 10(2): 136-141.]
- [9] Wang Peng, Liu Yan. Study on dynamic changes and space differentiation of information entropy of land use structure: A case study of Hengyang City. *Journal of Hengyang Normal University*, 2007, 28(3): 116-121. [王鹏, 刘彦. 城镇化背景下区域土地利用结构的时空变化研究: 以衡阳市为例. 衡阳师范学院学报, 2007, 28(3): 116-121.]
- [10] Li Dongmei, Pu Lijie, Han Shucheng, et al. Inducement of information entropy of Wujiang land-use structure. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2008, 37(4): 415-419. [李冬梅, 濮励杰, 韩书成, 等. 吴江土地利用结构信息熵变化诱因. 福建农林大学学报(自然科学版), 2008, 37(4): 415-419.]
- [11] Zhu Xiaoyi, Liu Yongmei. Analysis of land use structure of Nanjing based on information entropy. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2010, 16(15): 16-18. [朱晓熠, 刘咏梅. 基于信息熵的南京市土地利用结构分析. 安徽农学通报, 2010, 16(15): 16-18.]
- [12] Mei Yan, Liang Liutao, Sun Huasheng, et al. Study on spatial and temporal evolution of land use structure in eastern developed area: Taking Jiangsu province as an example. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2013, 17(1): 86-90. [梅艳, 梁流涛, 孙华生, 等. 东部发达地区土地利用结构的时空演变研究: 以江苏省为例. 河北农业科学, 2013, 17(1): 86-90.]
- [13] Lu Bo, Jin Yongzhang. Information entropy and driving force of land utilization structure in Changsha city. *Resources & Industries*, 2008, 10(6): 19-21. [卢波, 金勇章. 长沙市土地利用结构信息熵及驱动力研究. 资源与产业, 2008, 10(6): 19-21.]
- [14] Zhou Ziyang, Duan Jiannan, Liang Chunfeng. Temporal-spatial changes analysis of land use structure in Changsha city based on information entropy. *Economic Geography*, 2012, 32(4): 124-129. [周子英, 段建南, 梁春风. 长沙市土地利用结构信息熵时空变化研究. 经济地理, 2012, 32(4): 124-129.]
- [15] Wang Yong. Temporal-spatial changes analysis of land use structure based on information entropy in rapid urbanization area: A case study of Dalian. *Territory & Natural Resources Study*, 2015(1): 14-17. [王勇. 快速城市化地区土地利用结构信息熵的时空变化研究: 以大连市为例. 国土与自然资源研究, 2015(1): 14-17.]
- [16] Gao Yongnian, Liu Youzhao. Dynamic change in information entropy of land use composition in economically developed regions and its motivating actors: A case study of Kunshan city. *Soils*, 2004, 36(5): 527-531. [高永年, 刘友兆. 经济快速发展地区土地利用结构信息熵变化及其动因分析: 以昆山市为例. 土壤, 2004, 36(5): 527-531.]
- [17] Lin Zhenming, Xia Bin, Dong Wujuan. Analysis on temporal-spatial changes of land-use structure in Guangdong province based on information entropy. *Tropical Geography*, 2011, 31(3): 266-271. [林珍铭, 夏斌, 董武娟. 基于信息熵的广东省土地利用结构时空变化分析. 热带地理, 2011, 31(3): 266-271.]
- [18] Fang Chuanglin, Zhou Chenghu, Gu Chaolin, et al. Theoretical analysis of interactive coupled effects between urbanization and eco-environment in mega-urban agglomerations. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(4): 531-550. [方

- 创琳,周成虎,顾朝林,等.特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应解析的理论框架及技术路径.地理学报,2016,71(4): 531-550.]
- [19] Yan Peilu. Study on the land use structure based on information entropy and gray prediction in Jiuquan city. Journal of Gansu Agricultural University, 2011, 46(6): 129-134. [闫沛禄. 基于信息熵的酒泉市土地利用结构分析及其灰色预测. 甘肃农业大学学报, 2011, 46(6): 129-134.]
- [20] Zhu Dashuai, Ren Zhian. Analysis on correlation between dynamic changes of information entropy of land-use structure based on information entropy and social economic development in Hefei city. Journal of Suzhou University, 2016, 31(1): 5-8. [朱大帅,任志安. 合肥市土地利用结构熵时序变化与社会经济发展关联分析. 宿州学院学报, 2016, 31(1): 5-8.]
- [21] Fan Jie. Frontier approach of the sustainable process and pattern of human-environment system. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(8): 1060-1068. [樊杰. 人地系统可持续过程、格局的前沿探索. 地理学报, 2014, 69(8): 1060-1068.]
- [22] Wang Yuming. The analysis of entropy changes on the evolutionary tendency of geographical environment. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(11): 1508-1517. [王玉明. 地理环境演化趋势的熵变化分析. 地理学报, 2011, 66(11): 1508-1517.]
- [23] He Yanbing, Huang Xiaojun, Zhai Lingxin, et al. Assessment and influencing factors of social vulnerability to rapid urbanization in urban fringe: A case study of Xi'an. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(8): 1315-1328. [何艳冰, 黄晓军, 翟令鑫, 等. 西安快速城市化边缘区社会脆弱性评价与影响因素. 地理学报, 2016, 71(8): 1315-1328.]
- [24] Wang Hongmei, Wang Xiaoyu, Li Hong. Land utilization situation in Heilongjiang Province based on quantitative geography model. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(7): 70-74. [王红梅, 王小雨, 李宏. 基于计量地理模型的黑龙江省土地利用状况分析. 农业工程学报, 2006, 22(7): 70-74.]
- [25] Lu Zhongjun. Space-time characteristic analysis of the land use status in the Sanjiang Plain. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2011(6): 131-133. [陆忠军. 三江平原土地利用状况的时空特征分析. 黑龙江农业科学, 2011(6): 131-134.]
- [26] Ni Weiqiu. An analysis of structure evolution of Heilongjiang Province land utilization based on information entropy. Territory & Natural Resources Study, 2011(5): 11-12. [倪维秋. 基于信息熵的黑龙江省土地利用结构分析. 国土与自然资源研究, 2011(5): 11-12.]
- [27] Chen Yanguang. Self-organized characteristics and criteria of the development of Chinese cities. City Planning Review, 2006, 30(8): 24-30. [陈彦光. 中国城市发展的自组织特征与判据: 为什么说所有城市都是自组织的? 城市规划, 2006, 30(8): 24-30.]
- [28] Zhang Dong, Zhang Ning. A study on entropy theory in physics and its application. Journal of Beijing Union University (Natural Sciences), 2007, 21(1): 4-8. [张东, 张宁. 物理学中的熵理论及其应用研究. 北京联合大学学报(自然科学版), 2007, 21(1): 4-8.]
- [29] Xu Jianhua, Gao Yujing. The self-organizing way, influencing factors and entropy change of geographical system evolution. Journal of Systemic Dialectics, 2001, 9(3): 53-57. [徐建华, 高玉景. 地理系统演化的自组织途径, 影响因素及熵标志. 系统辩证学学报, 2001, 9(3): 53-57.]
- [30] Chen Zhi. Analysis of the evolvement in information entropy of land-use structure and its driving forces in Wuhan. Journal of Hubei University (Natural Science), 2006, 28(3): 317-320. [陈志. 武汉市土地利用结构信息熵演变及动力分析. 湖北大学学报(自然科学版), 2006, 28(3): 317-320.]
- [31] Yang Wu, Tong Xiaohua, Liu Miaolong, et al. Analysis of pattern change of entropy based land use. Journal of Tongji University (Natural Science), 2007, 35(3): 422-426. [杨武, 童小华, 刘妙龙. 土地利用结构熵变化分析. 同济大学学报(自然科学版), 2007, 35(3): 422-426.]
- [32] Hu Xisheng, Hong Wei, Wu Chengzhen, et al. Analysis of the land use configuration based on the ecosystem service function: A case study of Fuzhou city. Journal of Safety and Environment, 2015, 15(5): 361-366. [胡喜生, 洪伟, 吴承祯, 等. 基于生态服务功能的土地利用结构分析: 以福州市为例. 安全与环境学报, 2015, 15(5): 361-366.]

Reasons for the increasing information entropy of suburban land use structure during the period of urbanization

WANG Yuming, WANG Ruikang

(College of Geography Science, Taiyuan Normal University, Jinzhong 030619, Shanxi, China)

Abstract: This paper pointed out that the alleged rapid increase of the information entropy of the land use structure in the urbanized areas should refer to the increase of the information entropy of the suburban land use structure in the urbanized areas. The obvious shift of the suburban land use structure towards the equilibrium direction during the period of urbanization leads to the increase of the information entropy of the suburban land use structure. Meanwhile the information entropy of the land use structure in urban built-up area has not increased. The proportion of various land use types in the urban built-up area during the period of urbanization is basically stable or enlarged on the residential areas, industrial and mining areas as well as the transportation land to some extent. This makes the information entropy of the land use structure in the urban built-up area basically remain unchanged or decrease somewhat. The local urbanized areas in the suburbs have made major contributions to the increase of the information entropy of the suburban land use structure. Data analysis shows that a great amount of suburban farmland is quickly transformed into urban construction land during the period of urbanization and the proportion of the urban construction land is highly and positively correlated with the information entropy of the suburban land use structure. It can be seen that the rapid increase of the urban construction land is the main reason for the increasing information entropy of the suburban land use structure. The analysis of entropy change indicates that the entropy of suburban system during the period of urbanization displays the same changing trend with the information entropy of the suburban land use structure, and both of them are greater than zero, which suggests that the suburban natural environments during the period of urbanization develop in a decline.

Keywords: land use structure; urbanization area; the evolution of natural and geographical environments; information entropy; human-earth relationship