

基于土地功能定位的 区域人口容量估算模型研究

匡耀求 黄宁生 李国敏

[摘要] 根据土地的生态功能与人类社会发展的关系将一个地区的国土空间划分为生态调节、生物生产和人文发展三大类功能区域，并将适宜生物生产和人文发展的区域称为可居住区域。在此基础上建立了基于土地功能定位的区域国土空间人口容量模型，通过典型功能区域可承载人口密度的分析确定了该模型的参数。根据模型推算，一个粮食自给自足地区的人口容量与其可居住土地面积成正比，其可居住区域的适宜人口密度不应该超过 1829 人/km^2 。

[关键词] 人口容量 土地功能 可居住空间 主体功能区规划

[中图分类号] C924.23 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-114X (2014) 05-0013-09

人类对人口容量的关注与研究已有近 400 年的历史。随着人口、资源、环境关系的日益紧张，人口容量的研究受到普遍的重视和青睐。国际人口生态学界认为，地球人口容量是指在不损害生物圈或不耗尽可合理利用的不可再生资源的条件下，地球资源在长期稳定状态基础上能持续供养的人口规模。而一个具体区域的人口容量则要受到生产力发展水平、当地生活方式与消费水平、地域开放程度以及自然资源基础等多方面因素的影响和制约。本文探讨土地功能定位约束下的区域人口容量。

一、土地的生态功能

人类发展依托地球表面的土地资源提供的生态功能，所以领土成为国家或民族发展的依托，寸土必争。根据土地的生态功能与人类社会发展的关系可以将地球上土地的功能划分为三大类，即为人类生存发展提供适宜的气候与环境资源及生态安全保障的生态调节功能；为人类提供食品以及纤维等生产原料的生物生产功能；为人类居住和社会经济活动的集聚提供空间与环境等基本要素的人文发展功能。人类社会的发展离不开土地的这三大功能。但是对这三大功能的认识却有一个逐步深化的过程。

人类社会的发展首先要解决的是吃穿问题，也就是吃饭所需的粮食和穿衣所需的纤维，这是人类最基本的需求，满足这种基本需求主要依托大自然的生物生产力，也就是土地的生物生产功能，由此形成的产业被称为农业，从事农业生产的区域被称为农村。随着人类社会的发展，人类的基本需求得到满足，人类的更高层次的需求不断被激发出来，新的产业不断涌现，专业分工越来越细，工业和服务业等产业体系应运而生，人力、资源、资本、技术等生产要素不断集聚，涌现出一些人口比较集中，以人文发展为主要功能的区域，被称为城镇。这时，地球生态系统提供的另一大功能——人文发展功能得到开发。显然，城镇和农村其实是人类社会发展的不同功能区域。农村以生物生产功能为主，城镇以人文发展功能为主。由于人文发展需要消耗依托土地生物生产力生产出来的食品和原料，生物生产能力的规划也要和人文发展的需求相匹配。一味追求人文发展而忽视生物生产，是不可能长期维持下去的。也就是说农村和城镇是相互依存的。就整个地球而言，不能因为城镇区域的人口容量比较大，农村区域的人口容量比较小而只发展城镇，不发展农村。尤其是对于我们中国这样的人口大国，必须从国家层面作出规划，划定足够大的区域作为生物生产用地，这也是为什么我国必须坚守 18 亿亩耕地红线的根本原因。在国家主体功能区规划里划定的农产品主产区就是从国家层面对此作出的科学安排。无论是农村的发展还是城市的发展，我们都需要有一个适宜的气候环境，需要有清洁的水源、清新的空气，而这些需要土地的生态调节功能去保障。随着全球气候与环境的恶化、水源短缺和空气污染的加剧，土地的生态调节功能逐渐得到重视，人类社会逐渐迈向生态文明发展阶段。

二、区域国土的功能定位与人口容量

适宜人类从事生物生产和人文发展的区域，我们称之为可居住空间（Habitable Area）。地球虽然很大，但是地球表面 3/4 以上的区域被水体占据，虽然人类也有戏水的潜能，但是这些水体覆盖的区域总体上并不适宜人类长期居住。即使是有限的陆地空间，也不是全部适宜人类居住的，受地形、气候等多种因素的制约，高山地区、高寒地区以及生物生产力低下的荒漠地区均不适宜人类居住。比如，总面积达 1709.8 万平方公里的俄罗斯^①，有 60% 的面积属于永久冻土带，沼泽和正在沼泽化的地带约占 20%，江河湖泊面积占国土面积的 4%，加上部分季节性被淹没地带，还有一些山川以及常年由冰川覆盖的地形地貌，85% 的国土面积是不适宜人类长久居住的。日本国土交通省国土地理院把一个区域的行政面积减去林野面积和湖沼面积后剩余的区域叫做可居住地面积，37.795 万平方公里的日本国土里，可居住地面积只占 32.8%。我国陆地国土空间面积居世界第三位，但山地多，平地少，约 60% 的陆地国土空间为山地和高原。适宜工业化城镇化开发的面积只有 180 余万平方公里，不足 19%，扣除必须保护的耕地和已有建设用地，今后可用于工业化城镇化开发及其他方面建设的面积只有 28 万平方公里左右^②。因此，地表环境的人居适宜性决定了人类可居住空间的有限性。但是这个有限的居住空间到底能够容纳多少人口呢？

一个区域的人口容量与这个区域的功能定位有密切关系。以生态调节功能为主的区域，人口容量非常少，为了保护其生态调节功能，应尽量减少人类活动的干扰，原则上要限制或禁止人类在这些区域居住和从事生产活动；而以人文发展功能为主的区域，人口容量可以很大；以生物生产功能为主的区域有一定的人口容量，但是相比之下人口容量非常有限。此外，土地的生态功能强弱还与土地本身的特征及其空间配置有关。一些湿地生态系统和森林生态系统的生态调节功能

特别强，而人文发展功能和生物生产功能的发挥则往往要依靠那些比较平坦的土地。即使是在同一片平坦的土地上，主体功能定位为人文发展区域与定位为生物生产区域，其单位面积的人口容量（即最大容许人口密度）也是截然不同的。以新加坡、香港和澳门这样的只有人文发展功能而没有生物生产功能的城镇区域来讨论单位面积人口容量或人口密度控制标准，是非常片面的。

我国主体功能区规划提出了适度开发的理念。不同的国土空间的主体功能不同，集聚人口和经济活动的的能力不同。必须根据资源环境承载能力确定具体功能区域可承载的人口和经济规模以及适宜的产业结构，不能过度开发。即使是城市化地区，也要保持必要的农业发展和绿色生态空间，在一定程度上满足当地人口对农产品和生态产品的需求^③。因此，国土空间开发要有所节制，要使人文发展区域的面积占国土面积的比重控制在合理的范围，即保持适当的开发强度。

理论上，地球上的人口容量应该是这三类功能区域人口容量之和。而这三类区域各占多大比重则受到两方面因素的制约。首先，由于地球表面水陆分布、地形地貌、气候环境与地质构造的不均一性，具有人文发展功能和生物生产功能的区域（统称为适宜人居区域或可居住空间）是非常有限的。其次，人类对农产品和生态产品的需求必须与生态调节用地的生态产品提供能力和生物生产用地的农产品提供能力相匹配。

对于一个具体区域来说，国土总面积（S）可以划分为生态调节功能区（S₁）、生物生产功能区（S₂）和人文发展功能区（S₃）三部分，即

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \tag{1}$$

式（1）中，S₁为生态调节功能区的面积，S₂为生物生产功能区的面积，S₃为人文发展功能区的面积。

设生态调节功能区可容纳人口的密度为d₁，生物生产功能区可容纳人口密度为d₂，人文发展功能区可容纳人口密度为d₃，则该一个区域的总人口容量（C）为三类功能区人口容量之和，即

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = S_1 \cdot d_1 + S_2 \cdot d_2 + S_3 \cdot d_3 \tag{2}$$

式（2）中，C₁为生态调节功能区的人口容量，C₂为生物生产功能区的人口容量，C₃为人文发展功能区的人口容量。

由于生态调节功能区的可容纳人口密度非常小，d₁ ≈ 0，因此一个地区的人口容量主要由生物生产功能区和人文发展功能区的面积来决定：

$$C \approx S_2 \cdot d_2 + S_3 \cdot d_3 \tag{3}$$

而一个地区的生物生产功能区和人文发展功能区应该如何规划和分配呢？

设人均粮食消耗量为X，生物生产功能区单位面积粮食产量为Y，由于总的粮食消耗量应与生物生产功能区总的粮食产量相匹配，有

$$C \cdot X = S_2 \cdot Y \text{ , 移项后,} \\ C = S_2 \cdot Y/X \tag{4}$$

联立式（3）与式（4）

$$S_2 \cdot Y/X = S_2 \cdot d_2 + S_3 \cdot d_3 \\ Y/X = d_2 + S_3/S_2 \cdot d_3 \\ S_3/S_2 = (Y/X - d_2) / d_3 \tag{5}$$

式（5）表明，人文发展功能区与生物生产功能区的面积之比与生物生产功能区单位面积粮

食产量 (Y)、人均粮食消费水平 (X)、以及人文发展功能区与生物生产功能区的可容纳人口密度 (d_2 和 d_3) 四个参数有关。其中单位面积粮食产量由当地土地的适宜性和农业科技发展水平决定, 在不同地区和不同时期会有较大的变化。

由于地球表面各地的自然生态条件相差悬殊, 有些地区生态调节功能很强, 有些地区生物生产功能很强, 有些地区则人文发展功能很强, 理论上应该尽可能发挥各自的优势来确定其主体功能。然而, 地球上不同的区域被不同的民族或人群所占据, 地表的国土被划分成为不同的国家或地区, 各个国家或民族都要从自身利益出发来规划其国土的利用。国家或民族利益的导向在很大程度上制约了区域土地功能的合理开发。人类文明刚刚进入生态文明发展阶段, 对生态调节用地的规划还没有得到普遍的重视, 目前各国或各地规划的生态调节用地往往是那些生物生产功能和人文发展功能在目前技术水平下难以开发的区域, 比如地形起伏度较大的山区、人类无法居住的海域、河流、湖泊、水库等水域, 而其他相对比较平坦的陆地则主要用于生物生产和人文发展。因此, 一个地区生态调节功能区的面积 (S_1) 可以根据地形地貌的实际情况来测量和计算。

$$S_1 = \text{山地面积} + \text{水域面积} + \text{其他保护区面积} + \text{荒漠面积}$$

这些地域的面积可以通过对卫星遥感影像的解译, 利用地理信息系统进行直接量算。

由式 (1) 得

$$S_2 + S_3 = S - S_1$$

这实际上就是前面述及的可居住地面积 S_h 。

$$S_h = S_2 + S_3 = S - S_1 \tag{6}$$

联立式 (5) 和式 (6) 即可以确定实际上可能被当作人文发展功能区和生物生产功能区开发的区域面积。为此需要测量区域国土总面积、山地面积、水域面积、其他保护区面积以及荒漠面积, 需要获得生物生产功能区单位面积粮食产量 (Y)、人均粮食消费水平 (X) 等数据, 并计算人文发展功能区与生物生产功能区可容纳的人口密度 (d_2 和 d_3)。

三、不同功能区域可容纳的人口密度

为保障地球的生态调节功能不出现显著的退化, 应该尽可能减少人类活动对生态调节功能区域的影响, 而且实际上规划的生态调节功能区域往往也是不宜人类活动的区域, 大多被划为禁止发展区, 因此, 生态调节功能区可容纳的人口密度 (d_1) 应该是非常少的, 可以认为 $d_1 \approx 0$ 。

关键是要确定生物生产功能区和人文发展功能区可容纳的人口密度 (d_2 和 d_3) 两个参数。

1. 生物生产功能区可容纳的人口密度

生物生产功能区可容纳的人口密度主要与特定生物生产功能区域生产出的产品和服务通过市场交换获得的价值能够承载多少人口的消费有关。在市场机制作用下, 如果一个地区劳动收益率高于另一个地区, 另一个地区的劳动力就会转移到这个地区来, 直到两地的劳动收益率相差不大为止。随着一个地区生物生产功能的不断开发, 其人口密度也会逐渐增加, 直到其劳动收益率低于其他地区, 该区域的人口开始向其他地区转移而使人口密度在一个适宜的水平稳定下来。日本首都东京所在的关东地区在市场经济条件下经历了长期的发展, 已经成为地球上人文发展水平最高的地区之一, 在市场经济条件下形成了明确的功能分区。为确定生物生产功能区可容纳的人口密度提供了一个极好的研究样本。

环绕关东平原的山地和水域是典型的生态调节功能区, 盆地内的平原则是生物生产和人文发

展功能区,人文发展功能区以东京都为中心向四周扩展。其中东京都人文发展功能已经得到充分开发,神奈川县也绝大部分得到开发,进一步开发的潜力已经非常有限,目前重点开发的区域是埼玉县和千叶县,这一都三县(东京都、神奈川县、埼玉县和千叶县)统称为东京都市圈,而群馬县、茨城县和栃木县则是典型的生物生产功能区。

群馬县、茨城县和栃木县三个生物生产功能区 1995 年到 2010 年 4 次人口普查和土地调查获得的人口和可居住区域面积数据如表 1。1995 ~ 2010 年期间可居住区域人口密度的变化如图 1。可以看出,群馬县可居住区域人口密度较高,栃木县可居住区域人口密度较低,而茨城县居中。

表 1 日本关东地方生物生产功能区可居住区域人口密度计算结果

栏目	行政辖区面积(km ²)				普查人口(人)			
	1995	2000	2005	2010	1995	2000	2005	2010
茨城县	6,093.75	6,095.58	6,095.68	6,095.72	2,955,530	2,985,676	2,975,167	2,969,770
栃木县	6,408.28	6,408.28	6,408.28	6,408.28	1,984,390	2,004,817	2,016,631	2,007,683
群馬县	6,363.18	6,363.16	6,363.16	6,362.33	2,003,540	2,024,852	2,024,135	2,008,068
合计	18,865.21	18,867.02	18,867.12	18,866.33	6,943,460	7,015,345	7,015,933	6,985,521
栏目	可居住区域面积(km ²)				可居住区域人口密度(人/km ²)			
	1995	2000	2005	2010	1995	2000	2005	2010
茨城县	3912.19	3974.32	3974.38	3980.51	755	751	749	746
栃木县	2883.73	2947.81	2947.81	2979.85	688	680	684	674
群馬县	2258.93	2297.10	2297.10	2303.16	887	881	881	872
合计	9,054.84	9,219.23	9,219.29	9,263.52	767	761	761	754

资料来源:人口与辖区面积数据引自日本国总务省统计局,见 <http://www.stat.go.jp/index.htm>;可居住区域面积数据引自日本国土交通省国土地理院,见 <http://tochi.mlit.go.jp/syoyuu/>。

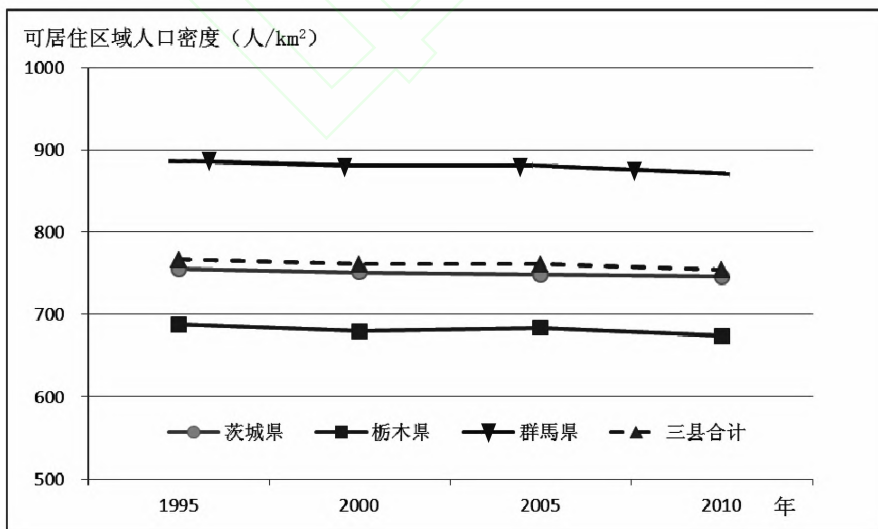


图 1 1995 ~ 2010 年日本关东地方生物生产功能区可居住区域人口密度的变化

从表 1 可以看出,1995 年,群馬县、茨城县和栃木县三个生物生产功能区可居住区域人口密度变化于 688 人/km² ~ 887 人/km² 之间,三县平均为 767 人/km²,从 1995 ~ 2010 年,这三个生物生产功能区可居住区域人口密度均呈下降趋势(图 1),到 2010 年,变化于 674 人/km² ~ 872 人/km² 之间,三县平均为 754 人/km²。而且这种下降趋势还没有停止的迹象。因此,可以

认为,生物生产功能区可居住区域适宜的人口密度应该略低于 754 人/km²。因此,我们提出将生物生产功能区可居住区域适宜人口密度确定为 750 人/km²。

2. 人文发展功能区的适宜人口密度

人文发展功能区域可容纳的人口密度与人口发展水平和生活质量要求密切相关。世界上 21 个人口数量超过 1000 万的都会区里,人口密度大于 5000 人/km² 的都会区基本上是低收入国家的城市化区域;人口密度介于 3000 ~ 5000 人/km² 的都会区则是中等收入国家或地区的城市;人口密度小于 3000 人/km² 的都会区则大多是高收入的发达国家或地区的城市(表 2)。

美国首都华盛顿特区,面积为 177 km²,2010 年 4 月 1 日人口普查时实际居住人口为 601723 人,人口密度为 3400 人/km²。如果扣除河道水域面积 18 km²,其陆地人口密度为 3784 人/km²。再扣除山丘地约 6.3 km²,可居住区域(平坦陆地)人口密度为 3941 人/km²。这是西方文明在城市建设领域最高水平的体现,也就是说用最先进的文化和最雄厚的经济实力在一片最适宜建设的风水宝地上精心打造出来的最现代化的城市。其可居住区域人口密度不足 4000 人/km²。

此外,一个地区的人口密度还涉及到人与自然关系的和谐问题。我们研究了广东省高度城市化区域人口密度与植被指数变化的关系^④:当人口密度小于 2200 人/km² 或大于 3820 人/km² 时,植被指数会随着人口增长而明显下降(图 2)。也就是说,当人口密度超过 3820 人/km² 时,人与自然关系就难以协调了。

表 2 世界 22 个 1000 万人口以上的大都会区人口密度

大都会区	所属国家	2010 年人口(人)	面积(km ²)	人口密度(人/km ²)
卡拉奇	巴基斯坦	11,800,000	1,100	10,727
开罗	埃及	14,450,000	1,600	9,031
加尔各答	印度	15,100,000	1,785	8,459
孟买	印度	19,200,000	2,350	8,170
马尼拉	菲律宾	16,300,000	2,521	6,466
德里	印度	18,600,000	3,182	5,845
雅加达	印尼	18,900,000	5,100	3,706
上海	中华人民共和国	23,019,148	6,340	3,631
大墨西哥城	墨西哥	20,450,000	7,346	2,784
大东京	日本	35,676,000	13,556	2,632
京阪神	日本	17,375,000	6,930	2,507
圣保罗	巴西	18,850,000	8,479	2,223
大首尔	韩国	24,472,063	11,743	2,084
港深莞惠	中华人民共和国	30,244,790	16,899	1,790
广州-佛山	中华人民共和国	19,899,342	11,283	1,764
大洛杉矶	美国	15,250,000	10,780	1,415
布宜诺斯艾利斯	阿根廷	13,170,000	10,888	1,210
北京	中华人民共和国	19,612,300	16,410	1,195
伦敦	英国	12,875,000	11,391	1,130
大纽约	美国	19,750,000	17,884	1,104
天津	中华人民共和国	12,938,200	11,917	1,086
莫斯科	俄罗斯	15,098,067	14,925	1,012

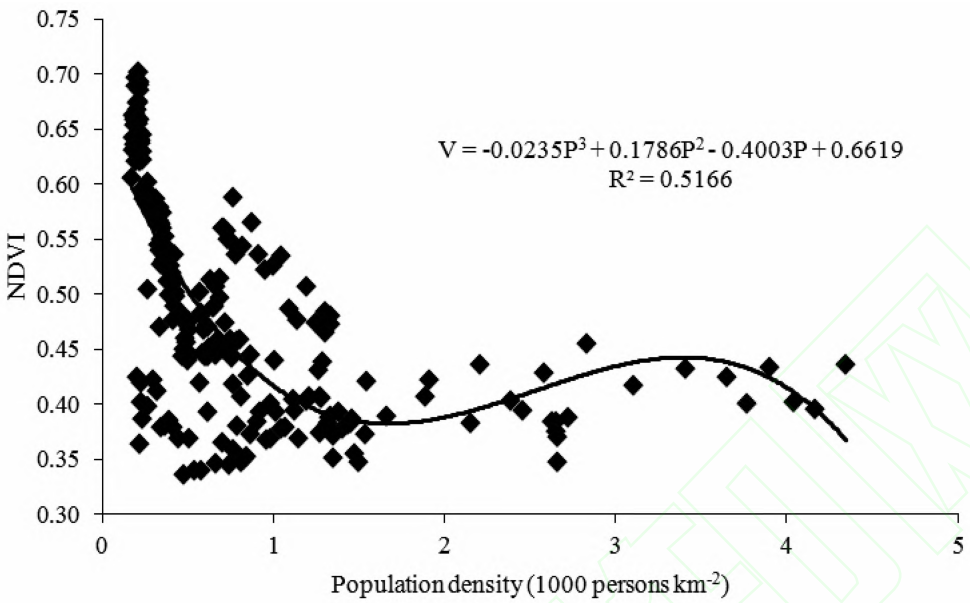


图2 广东省高度城市化区域 1982 ~ 2006 年人口密度与植被指数变化的关系^⑤

上述分析表明，按现代高收入国家或地区的人居标准，现代化城市的适宜人口密度最大值应该在 4000 人/km² 左右。因此，我们将人文发展功能区的适宜人口密度确定为 4000 人/km²。

四、基于土地功能定位的区域人口容量估算模型

通过前述研究，我们得到生物生产功能区适宜人口密度 $d_2 = 750$ 人/km²，人文发展功能区适宜人口密度 $d_3 = 4000$ 人/km²，综合考虑单位面积粮食产量 (Y) 和人均粮食消费水平 (X)，根据式 (5) 我们就可以确定一个地区人文发展功能区和生产功能区面积的合理比例。

$$S_3/S_2 = (Y/X - d_2) / d_3 = (Y/X - 750) / 4000 \quad (7)$$

对于广东省，2012 年单位面积粮食产量^⑥为 10,980 kg/hm²，即 1,098,000 kg/km²，实际人均粮食消费水平为 401kg/人（《国家粮食安全需求中长期规划纲要（2008 ~ 2020 年）》，预测 2020 年人均粮食消费量为 395 公斤，国务院粮食白皮书《中国的粮食问题》提出 2030 年人均粮食消费量为 400 公斤），因此，可以得到

$$S_3/S_2 = (1,098,000 / 401 - 750) / 4000 = 0.497$$

$$\text{即 } S_3 = 0.497S_2$$

这就是说，在目前的土地生产力水平下，如果要保障粮食自给自足，广东省的可居住土地空间内，人文发展功能区的面积应该不超过生物生产功能区面积的 49.7%。

联立式 (7) 和 (6) 我们得到

$$S_3 = 0.332 S_h = 0.332 (S - S_1) \quad (8)$$

$$S_2 = 0.668 S_h = 0.668 (S - S_1) \quad (9)$$

即，人文发展功能区和生物生产功能区分别占可居住用地空间的 33.2% 和 66.8%。于是，我们建立基于土地功能定位的区域人口容量 (C) 估算模型如下：

$$C \approx S_2 \cdot d_2 + S_3 \cdot d_3 = 0.668 (S - S_1) \cdot d_2 + 0.332 (S - S_1) \cdot d_3 = 1829 (S - S_1) = 1829S_h \quad (10)$$

也就是说，一个粮食自给自足地区的人口容量与可居住土地面积成正比，其可居住区域的适宜人口密度应该不超过 1829 人/km²。

如果允许从区外采购一部分粮食，设粮食自给率为 k，则有

$$S_3/S_2 = (Y/X/k - d_2) / d_3 = (Y/X/k - 750) / 4000 = 0.6845/k - 0.1875 \quad (11)$$

由于 $S_h = S_3 + S_2$

$$S_2 = S_h / (0.6845/k + 0.8125)$$

$$S_3 = S_h \cdot (0.6845/k - 0.1875) / (0.6845/k + 0.8125)$$

$$C \approx S_2 \cdot d_2 + S_3 \cdot d_3 = S_h \cdot [750 + 4000(0.6845/k - 0.1875)] / (0.6845/k + 0.8125) \quad (12)$$

设可居住区域适宜人口密度为 d，则

$$d = C/S_h = [750 + 4000(0.6845/k - 0.1875)] / (0.6845/k + 0.8125) \quad (13)$$

根据式 (12) 式 (13) 可以计算出不同粮食自给率约束下的可居住区域适宜人口密度限值和全省人口容量，如表 3。

表 3 不同粮食自给率约束下的广东省人口容量

粮食自给率 k (%)	可居住区域的适宜人口密度 d (人/km ²)	人口容量 C (万人)
100	1829	8226
50	2510	11289
30	2950	13266
20	3233	14538
10	3576	16081

广东省国土总面积为 179902.55 km²，其中可居住区域总面积为 44974.3km²，如果要保证粮食自给自足的话，人口容量为 8226 万人^⑦。2012 年实际常住人口已达到 10579.22 万人，保证粮食自给自足是不可能的。国家主体功能区规划给广东省划定了 56939.5 km² 的农产品主产区^⑧，其中包含的可居住区域面积为 15254 km²，如果其他可居住区域全部规划为人文发展区，则广东省的最大人口容量：

$$C \approx S_2 \cdot d_2 + S_3 \cdot d_3 = 15254 \times 750 + (44974.3 - 15254) \times 4000 = 13032.17 \text{ (万人)}$$

也就是说在国家主体功能区规划框架约束下，广东省的最大人口容量为 1.3 亿人，粮食自给率最多可达 31.44%。

五、主要结论与讨论

根据土地的生态功能与人类社会发展的关系可将一个地区的国土空间划分为生态调节、生物生产和人文发展三大类功能区域，其中适宜生物生产和人文发展的区域为可居住区域，只有这样的区域才可以满足人类居住生活和生产的基本需求。而生态调节功能区虽然是维持生态平衡必不可少的重要功能区，但是往往不宜人居或者其功能的发挥会与人类的生产与生活活动相冲突。在此认识基础上建立了基于土地功能定位的区域国土空间人口容量估算模型，通过国际上典型功能区域可承载人口密度的分析确定了该模型的参数。生物生产功能区的适宜人口密度限值为 750 人/km²；人文发展功能区的适宜人口密度限值为 4000 人/km²。

根据模型推算，一个粮食自给自足地区的人口容量与其可居住土地面积成正比，其可居住区

域的适宜人口密度不应该超过 1829 人/km²。世界上高收入国家或地区的都会区可居住区域人口密度基本控制在这个水平以下。

如果要保证粮食自给自足，广东省这片国土的人口容量只有 8226 万人。2012 年实际常住人口已达到 10579.22 万人，保证粮食自给自足是不可能的。

国家主体功能区规划给广东省划定了 56939.5 km² 的农产品主产区，在这个规划框架约束下，广东省的最大人口容量为 1.3 亿人左右，粮食自给率最多可达 31.44%。也就是说，按照国家确定的功能定位，广东省的人口容量富余空间已经非常有限，只有约 2400 万人口的富余容量。如果不考虑省外人口的净迁入，按 2001 ~ 2010 年的 10 年年均自然增长率 (8.29‰) 计算，在 2037 年将达到饱和状态。相信在此之前，我国人口生产模式将完成由目前的低增长型向零增长型的转型，可望在人口容量达到饱和之前，实现人口规模的稳定。

①中华人民共和国国家统计局：《国际统计年鉴 2013》，北京：中国统计出版社，2013 年。

②③⑧《全国主体功能区规划—构建高效、协调、可持续发展的国土空间开发格局》，见中华人民共和国国务院：《国务院关于印发全国主体功能区规划的通知》，国发〔2010〕46 号，2010 年 12 月 21 日。

④⑤Chao Li, Yaoqiu Kuang, Ningsheng Huang and Chao Zhang. The Long - Term Relationship between Population Growth and Vegetation Cover: An Empirical Analysis Based on the Panel Data of 21 Cities in Guangdong Province, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2013, 10 (2): 660 - 677.

⑥根据《广东统计年鉴 2013》，2012 年全省粮食作为

单位面积产量为 366kg/亩，相当于 10,980kg/km²。

⑦广东省统计局：《广东统计年鉴 2013》，北京：中国统计出版社，2013 年。

作者简介：匡耀求，中国科学院广州地球化学研究所研究员，中国科学院大学博士生导师；黄宁生，中国科学院广州地球化学研究所研究员，中国科学院大学博士生导师；李国敏，中国科学院广州地球化学研究所助理研究员，中国科学院大学博士研究生。广州 510640

[责任编辑 潘 莉]