

自然条件下地球人类容量的预测

致理-数 11 宋晨东 2021013331

1 问题综述与分析

学术上,“地球人口容量”在不同语境中有着不同的含义。在本文中,人口容量的定义取”一定生态环境条件下或一定地区的资源所能养活的最大人口数。”

一般认为,一个地区的人口容量主要受自然条件和社会经济发展情况的影响。一般来说,该地区的气候条件、资源储备会直接影响该地区的人口容量。经过文献调研,本模型研究的决定地区的人口容量自然因素为水资源、食物资源。首先,这两者是人类维持生存最必要的条件。其次,这两者的数量主要由地球上自然资源本身决定。其他限制因素如栖息地资源,在当下的城市结构下,立体的房屋住宅可以提供几乎无限的栖息地,因此本文未将栖息地资源考虑到限制因素中。

2 模型假设

(1) 地球上所有土地均可以按照目前相对先进的生产力生产。即地区经济发展的不平衡、地球生产力的不均衡不影响地球的人口最大容量。

解释:根据定义,人口最大容量是当地资源所可能养活的最大人口数,侧重于该土地最大的“潜力“,因此在建立模型时我们更关注土地本身的资源储备状况,而非土地目前的实际资源利用状况。

(2) 模型中所有的“资源“都用于维持人的生命需求,而不考虑经济发展所需要的资源,且不同人的生命需求可视为固定的。

解释:“地球人口容量“旨在计算最低需求下环境所能容纳最大的人口。

(3) 某地区所能获得的食物资源、水资源与栖息地仅由该地区的海拔、气温与年降水量决定。

解释：海拔、气温与年降水量是影响农业及土地生产力最重要的因素。

3 模型的建立

首先我们对整个地球按照经纬度划分成 360×180 个小块，并获取每一块地区 (j) 的年降水量 (d_j)、年均温度 (t_j) 与平均海拔 (a_j) 的数据，对于陆地上的每个区域，我们根已知的 (d_j, t_j, a_j)，通过不同的关系式来估算该地区单位土地食物产量 (f_j)、淡水资源 (w_j) 与，接着由于木桶短板效应，地区的最大人口承载量 (c_j) 应为上述两因素中的限制因素，即：

$$c_j = s_j \times \min\left(\frac{f_j}{f_{need}}, \frac{w_j}{w_{need}}\right) \quad (1)$$

其中 f_{need} 和 w_{need} 分别表示每人每天所需要的食物量和水。

而地球总人口承载量：

$$c_{earth} = \sum_{j=1}^{360 \times 180} c_j \quad (2)$$

其中，纬度为 lat_j 的 $1^\circ \times 1^\circ$ 的区域面积 S_j 可由下式得到：

$$S_j = 2\pi R / 360 \times 2\pi R \sin lat_j / 360 \quad (3)$$

接下来我们估计 f_j , w_j 。

(1) 对单位面积食物产量的估计

农作物的生长主要受到气温、降水量和地形的等多因素影响，为此我们用公式

$$f_j = \lambda f_1(t_j) f_2(d_j) f_3(a_j) \quad (4)$$

来估计作物产量。($f_1, f_2, f_3 \in (0, 1)$)

其中 f_1 用来估计在 t 温度下农作物的适应程度，(f_1 越大表示同等条件下该温度越适应， $f_1 = 1$ 表示作物生长的最适温度)。 f_2 用来估计农作物对降水量 d 的适应程度， f_3 用来估计农作物对海拔 a 的适应程度。之所以在这里使用乘法，是由于这三者对于农作物生长的条件缺一不可，一个条件适应地很差，整个农作物产量都会在较低水平。

对于 f_1, f_2 , 我们参考了不同温度、降水量下水稻、小麦、玉米等主要农作物的生长状况, 利用 matlab 进行曲线的拟合, 最终得到 f_1, f_2 的方程式为:

$$f_1(x) = 0.72 \times e^{-\frac{(x-21)^4}{500}} + 0.45 \times e^{-\frac{(x-16)^2}{20}} \quad (5)$$

$$f_2(x) = \frac{1}{1 + 40e^{-0.012x}} \quad (6)$$

对于 f_3 , 我们考查了不同地区水稻、小麦、玉米等农作物的分布面积来表示它们对海拔的适应情况, 并得到 f_3 的方程式为:

$$f_3(x) = 0.8e^{-\left(\frac{x}{2000}\right)^2} + \frac{0.2(8000 - x)}{8000} \quad (7)$$

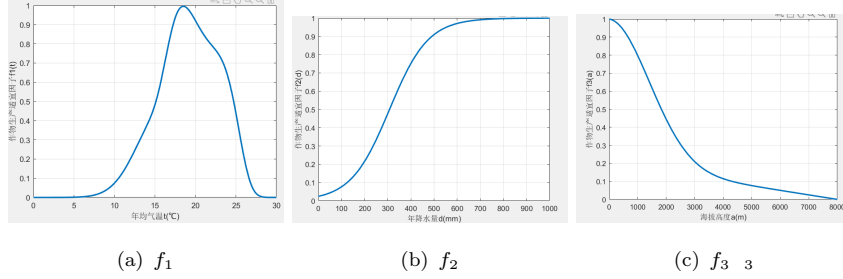


图 1: f_1, f_2, f_3 的函数图像

(2) 对单位面积可利用水资源的估计

单位面积可利用的水资源储存由降水量和蒸发量决定, 在本模型中为了简化, 简单地认为蒸发量与温度成线性关系, 因此有了

$$w_j = u_1(d_j - u_2 t_j) \quad (8)$$

其中 u_1 反映了该地区的水资源利用率, u_2 是蒸发的系数。

整个模型的流程如下:

...

(9)

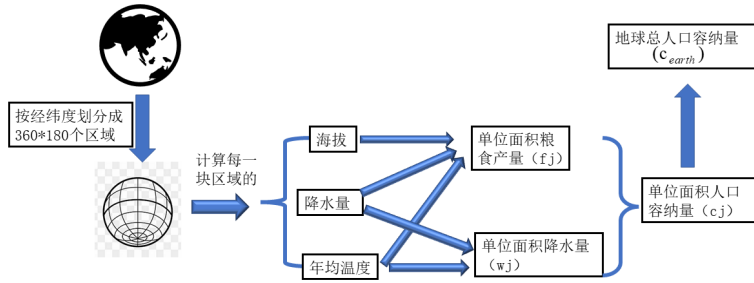


图 2: 模型概念图

4 参数的确定

- w_{need} : 根据 2021 年度中国水资源公报, 2021 年度中国人均用水总量为 419 立方米, 其中大部分水用于生活与农业灌溉 (79.9%), 除去工业用水, 可以估计满足一个人生存大致消耗的水资源 w_{need} 约为每年 $320m^3$ 。
- f_{need} : 根据联合国粮农组织调查, 人类成年人每天摄入食物热量最低要求为约 1800 千卡 (7,500 千焦耳), 考虑到人的成长发育及其他消耗, 在本模型中取 $f_{need} = 200$ 千卡
- λ : 2021 年我国粮食单位面积产量为 5805 公斤/公顷, 粮食播种面积 117632 千公顷, 占国土面积的 1/10 左右。我们将按照划分地区的 1/5 面积作为粮食产地, 而单位面积的最高产量视为 7×10^5 千克/ km^2 , 相对应能量约为 3×10^6 千卡/ km^2
- u_1, u_2 : u_1 为储蓄水的能力, 在模型中认为人们能把降水的 10% 有效地转化成可利用的水资源。而在模型中粗略地估计 $u_2 = 10$ 。

5 模型结果与分析

利用 Matlab 代码进行运算，最终得到地球的人口容量 c_{earth} 为 237.02 亿人口。由于该数字中设计的参数都是人在较低生活水平下的标准，且考虑到当下地球尚有许多资源未被开发利用，故虽然此值远高于地球实际人口数，但仍然在可以接受的范围内，因此本模型是有效的。

如果单单考虑水资源对人口的限制，而不考虑食物的限制，得到的人口容量是 404 亿，单单考虑食物限制而不考虑水资源，而不考虑水资源的限制，得到的人口容量是 665 亿。由此看来，随着人口的增长，水资源的紧缺是限制人口增长较为关键的因素。

6 提高人口合理容量的对策

为了提高人类最大的容量，在现有的技术条件下，鉴于地球总降水量和耕地资源是几乎保持恒定的，我们可以从发展农业技术和更高效地利用水源入手考虑：

(1) 改良作物品种以增加地球上的农作物产量，即将 λ 扩大为原来的 k 倍，但水资源的约束条件不变化，在本模型中，假设农业生产率整体变为原来的 k 倍，那么地球对应的人口容量 C_{earth} 对应 k 的变化曲线如下：

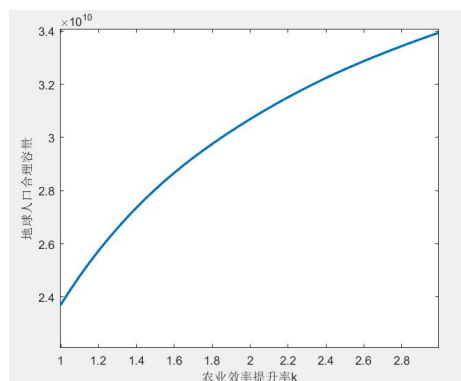


图 3: k 与地球人口容量的关系图

可见农业生产效率的提高可以有效提高地球的人口容量，但到较高水平时，人口合理容量仍然要受到水资源的限制，故图像的斜率有逐渐减小的趋势。

(2) 考虑使得食物、水资源之间可以在空间上进行调配（如南水北调、粮食出口），以解决地球上资源的不均衡问题。在本模型中，我们把经纬度划分跨度拉大，修改成每 2° 一块区域，该区域的降水、食物均取地区的平均值，以此计算该地的人口容纳量（用平均的思想替代了调度），如此计算的地球人口容量为 260.3 亿人，提高了 9.7%，可见资源的充分合理调度，可以有效地提高人口容量。

7 模型的总结与评价

本文所建立的模型，能够较为通过地球原始的自然数据模拟地球所能容纳的最大人口数，所建立的模型能够较好地反映自然资源变动对人类人口容量变化的影响，能够较好地排除经济、技术发展不均衡对计算人口容量的干扰。

然而现实生活中，人类生存发展所需要的资源远远超过模型中人生存所需基本的食物和水，因此本模型也有诸多可以改进的地方，如确定常数的方法过于简单，或许通过现实数据进行回归拟合会更加准确。同时本文所研究的因素也有些单一，未考虑经济与社会发展对人口容量的影响。

8 附录

对本次作业中各个文件的说明

文件	说明
Final.m	计算人口容量的最终程序
Final2.m	计算 k 与 c_{earth} 关系的程序
precip.txt	分经纬度的各地月降水量和年降水量数据
lw_temp_dem.txt	分经纬度的各地月均温和年均温数据
elev.1-deg.nc	分经纬度的各地海拔数据
$f_1.m, f_2.m, f_3.m$	绘制函数 f_1, f_2, f_3 的程序

参考文献

- [1] 黄晨熹. 人口容量研究: 回顾与展望 [J]. 地域研究与开发,1996(03):10-14.
- [2] 邢海虹, 李双, 杜建括. 西部山区城镇体系人口容量研究——以陕南地区为例 [J]. 陕西理工大学学报 (自然科学版),2019,35(05):80-87.
- [3] 水稻生长环境条件 | 水稻对温度、湿度、光照和土壤要求
[http : //www.360doc.com/content/12/0207/01/803452_184678078.shtml](http://www.360doc.com/content/12/0207/01/803452_184678078.shtml)
- [4] 2021 年度《中国水资源公报》发布
[http : //www.gov.cn/xinwen/2022-06/16/content_5695973.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2022-06/16/content_5695973.htm)
- [5] Hunger and food insecurity
[https : //www.fao.org/hunger/en/#jfmulticontent_c130584-2](https://www.fao.org/hunger/en/#jfmulticontent_c130584-2)
- [6] 国家统计局关于 2021 年粮食产量数据的公告
[http : //www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202112/t20211206_1825058.html](http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202112/t20211206_1825058.html)