引文格式：孙欣,张少华,陈海华. 中国口粮近域可达性格局演化（2000-2016）[J]. 地理空间信息, 2024, 22(2): 21-25. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.02.005

中国口粮近域可达性格局演化（2000-2016）

孙　欣[1]，张少华[2*]，陈海华[1]
（1. 东北师范大学 地理科学学院，吉林 长春 130024；2. 大连理工大学 建筑与艺术学院，辽宁 大连 116024）

摘　要：研究基于两步移动搜索法和网络分析方法等，对我国2000年与2016年小麦和水稻两种口粮的空间近域可达性开展研究。结果表明：①2000年与2016年全国361个城市和地区口粮近域可达性差异明显，呈现出较为明显的北高南低非均衡性特点，极化现象显著；②水稻与小麦近域可达性分布格局在全国范围内差异均十分明显，2016年全国水稻空间近域可达性水平较2000年有显著提升，小麦可达性提升则相对缓慢；③中国口粮产区与人口分布区呈现出显著的“人少粮多”与“人多粮少”空间错配现象。

关键词：口粮；近域可达性；两步移动搜索法；中国
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）02-0021-05

Near-field Accessibility Pattern Evolution of Edible Grain in China

SUN Xin[1], ZHANG Shaohua[2], CHEN Haihua[1]
(1. School of Geographical Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024, China;
2. School of Architecture and Fine Art, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: Based on the two-step floating catchment area method (2SFCA) and network analysis, we analyzed near-field accessibility of edible grain (wheat and rice) in China from 2000 to 2016. The results show that ①there are significant differences in near-field accessibility of edible grain in 361 cities and regions in China. The spatial accessibility of edible grain is higher in the north than in the south. The regions with low accessibility are dominant and the polarization is significant. ②Near-field accessibility of rice and wheat distribution pattern differences across the country are obviously. The spatial near-field accessibility of rice in 2016 was significantly higher than that in 2000. However, accessibility of wheat increase is relatively slow. ③Edible grain and population distribution show a significant spatial mismatch of “more grain with fewer people” and “less grain with more people”.

Key words: edible grain, near-field accessibility, 2SFCA, China

人口和消费量的不断增长意味着全球人口至少在未来40 a内对粮食的需求量将持续增加[1-2]，而研究表明，全球气候变化可能会导致农作物产量降低[3]，进而将使得粮食稳定供应面临潜在危机[4]。在不同历史时期、不同国家，粮食安全的定义有所不同。1983年，联合国粮农组织（FAO）提出粮食安全的目标为确保所有人在任何时候既能买得到又能买得起所需要的基本食品[5]。美国农业部于2017年将粮食安全定义为所有人在任何时候都能获得足够的粮食来保障积极、健康的生活。我国早在2013年中央经济工作会议中确立了“谷物基本自给，口粮绝对安全”的新粮食安全观，其中“口粮”指人们的日常主食，即小麦和大米[6]，同时“十四五”规划纲要进一步明确提出“实施粮食安全战略”。通常认为，粮食生产增长率要高于人口增长率是较为安全的[7]。此外，我国口粮供求关系存在显著差异、空间供给矛盾突出等问题亟待解决[8-12]。

粮食供应是粮食安全的支柱之一[13]。当前我国形成了六大跨省粮食运输通道[14]，从而实现我国“口粮绝对安全”有保障。目前实现口粮跨区域调运的方式为铁路、公路等，其中铁路是多种运输方式中市场占有率最高的方式[15]，具有运量大、连续性强等特点，同时集装箱粮食物流使得铁路运输尤为重要[16]。

口粮自给是国家的生命线，因此分析口粮近域可达性尤为关键。可达性一词由Hansen提出，将其定义为交通网络中各节点相互作用机会的大小[17-18]，供需可达性是指从需求地到供给地的方便程度，是分析公共服务设施等在空间分布上是否合理的常用方法。国外对粮食可达性研究较早，提出了粮食可达性（food accessibility）、粮食可购性（food affordability）等[19-20]，并通过实证发现，个体获得粮食的途径成为

收稿日期：2022-08-29。
第一作者简介：孙欣（1996—），博士研究生，研究方向为地理信息方法与GIS应用，E-mail：sunx729@nenu.edu.cn。
通信作者：张少华（1993—），博士研究生，研究方向为城市网络及区域发展，城市交通规划，E-mail：zsh1149@mail.dlut.edu.cn。

更大的限制。近年来我国关于可达性的研究涉及公共设施（医院、学校、公园等）供给、公共交通线路规划、城市空间结构等方面[21-26]，鲜有涉及到食品安全可达性的研究[27, 28]，并且对宏观尺度关注较少。除日常供应需求外，频繁发生的自然灾害如2008年地震和冰冻雨雪灾害、2010年夏天的南方暴雨灾害及2020年洪涝灾害等对口粮稳定供应造成巨大威胁，通信中断、道路阻塞等导致口粮短时间内供应不足。灾情持续时间越久，口粮需求越大，此时口粮近域可达性（在短距离、短时间内满足口粮的供给需求）对于保障人民的生命安全尤为关键。

两步移动搜索法作为引力模型的一个特例已被学者们广泛应用。相较于其他模型，该方法综合考虑了设施的供给规模、需求规模和供需地之间的距离关系对可达性的影响。鉴于此，研究采用两步移动搜索法评价2000年和2016年全国口粮近域可达性分布格局及演化情况，研究结果将为粮食运输的服务范围、粮食仓储布局等提供依据。

1 研究方法与数据来源

1.1 数据来源

本文采用Scientific Data官网提供的全球历年主要农作物产量栅格数据集开展研究（www.nature.com/scientificdata）[29]。该数据集是农业普查统计和卫星遥感的混合数据产品，时间分辨率为1 a，空间分辨率为0.5°。

本文将全国361个城市和地区（包括直辖市、地级市、副省级城市等，不含港澳台）作为研究样本，其中，人口统计数据来自《中国城市统计年鉴》和各省市、自治区官网公布数据，其他数据来自于国家统计局。

1.2 研究方法

1.2.1 两步移动搜索法

两步移动搜索法[30]分别以供给点和需求点为中心移动搜索2次，因此被称为两步移动搜索法，而后进一步改进并命名为两步移动搜寻法[31]。其基本思想为：首先对每个供给点 j，搜索所有在 j 搜寻半径（d_0）范围内的供给点（j），将所有的供需比 R_j 加总得到 i 点的可达性。

$$R_j = \frac{S_j}{\sum_{r=1,2,3,4}\sum_{k\in D_r} P_k} \tag{1}$$

$$A_i^F = \sum_{r=1,2,3,4}\sum_{k\in D_r} R_j \tag{2}$$

式中，i 为需求点即城市；j 为供给点即口粮产区；A_i^F 为根据计算得到的需求点 i 的可达性；D_r 为需求点 i 和供给点 j 之间的距离；R_j 为供给点 j 的设施规模与搜寻半径（d_0）内所服务的人口的比例；S_j 为供给点 j 的供给规模；P_k 为需求点 k 的需求规模。

钟昱[32]等发现在我国小麦与水稻的平均运输距离分别为630 km和387 km，因此本文选取630 km和387 km作为搜索半径。按照平均100 km/h的运输速度，小麦和水稻从供给地到需求地分别需要6.3 h和3.87 h，具有及时性特点，因此不考虑摩擦系数。

1.2.2 网络分析法

网络分析法是借助网络数据集计算得到基于路网的需求点到供给点之间最短距离[33-34]。依托网络拓扑关系，并借助空间、属性数据等进行多方面的分析[35]，求得研究样本到达口粮产区的路网距离，得到的可达性分布格局与基于空间距离求得的结果相比更为准确。

1.2.3 口粮指数

口粮指数是依据每kg小麦和水稻摄入的大卡数量，将全国范围内小麦、水稻按照大卡数进行换算，得到标准化之后的各城市口粮拥有量。

$$I_0 = \frac{Q_w \times K_w + Q_r \times K_r}{(K_w + K_r)/2} \tag{3}$$

式中，I_0 为各城市的口粮指数；Q_w 和 Q_r 分别为各城市小麦和水稻的总量；K_w 和 K_r 则分别为每千克小麦和水稻摄入的大卡。每kg小麦约为3 380大卡，而每千克水稻约为1 160大卡，据此得到公式（4）。

$$I_0 = \frac{Q_w \times 3\,380 + Q_r \times 1\,160}{2\,270} \tag{4}$$

2 结果分析

2.1 口粮产区及常住人口分布

2.1.1 口粮产量及产区分布

2000年来，我国小麦、水稻产量总体向好。除2003年前后产量出现小幅下降外，此后均呈现出较为稳定的增长态势，产量逐年提高；从年产量来看，小麦年均产量为11 401.87万t，而水稻产量则始终远高于小麦，年均产量达到19 487.29万t，约为小麦年均产量的1.7倍，口粮总量安全得以保障。尽管小麦总产量相对较低，但2000年来小麦产量增长态势更为明显，2019年与2000年相比产量增长3 396万t，水稻产量增长则相对缓慢（图1）。

此间，全国范围内小麦和水稻产区分布呈现出显著不均衡特征，并且2000年和2016年2种口粮产区空间分布格局较为稳定。就小麦而言，连片产区集中分布在东北平原、华北平原、长江中下游平原和黄土高

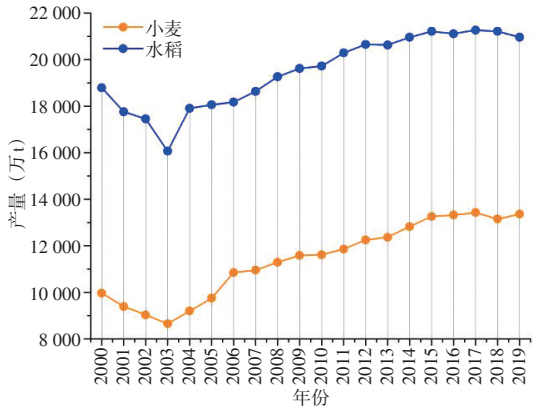


图1　中国2000—2019年20 a间口粮产量变化情况

原等地区，新疆、西藏和云南等地零散分布有点状产区，其余地区由于自然条件等原因未见分布成规模的小麦产区。其中，产区产量呈现出南北高、中间低的分布格局，产量高值区包括内蒙古、黑龙江、吉林、安徽、甘肃等省份和地区，低值区出现在河南、山西、山东等。2016年与2000年相比，产量增加最为明显的城市为呼伦贝尔市、宜昌市与十堰市等。

水稻产区分布范围远大于小麦，其产区空间分布格局与“胡焕庸线”[36]划分的人口分布格局基本一致。水稻产区集中分布在“胡焕庸线”以东省份，约占据全国95%的水稻产区面积，其余约5%产区则分布在新疆和西藏地区，其中新疆水稻产区面积要明显大于西藏。全国水稻产量高值区主要位于东北三省，与2000年相比，2016年水稻产量在内蒙古、陕西和湖北增长最为显著。

2.1.2　常住人口分布

我国2000年与2016年口粮产区分布与人口分布呈现出显著的“人少粮多”与“人多粮少”的空间错配现象。研究期间内，常住人口空间分布格局较稳定，部分地区如河南、山东、广东等数量增加显著，人口出现了南移趋势。人数最多的是重庆市，其次分别为上海市、成都市、北京市等。我国小麦产区则集中分布在秦岭–淮河以北地区，而在人口更为集聚的南方地区分布较少。此外，尽管水稻产区分布与“胡焕庸线”相一致，但水稻产量高值区与人口集中区仍形成“人少粮多”和“人多粮少”的空间错配格局。

2.2　口粮可达性时空演化

口粮近域可达性分为高可达性、次高可达性、中可达性、次低可达性和低可达性。依据两步移动搜索法计算原理，口粮近域可达性实际上等价于加权后的人均口粮拥有量，可达性越高，说明人均口粮拥有量越高，口粮供给情况越好。

2.2.1　小麦可达性格局演化

2000年与2016年小麦近域可达性分布格局在全国范围内差异十分明显，基本呈现出自东北地区向外逐渐递减的分布态势。2000年以来，小麦空间近域可达性变化不大，2016年可达性水平稍优于2000年，主要体现在东北和西北部分地区可达性水平的提高。

2016年与2000年相比，小麦高可达性绝对数值有所降低，并且搜索半径（>630 km）外区域数量明显减少，低可达性区域有所增加，其他层级城市数量波动不大。具体来看，中国小麦近域可达性高值区高度集中在少量的地级行政单元上，仍然为黑龙江的大兴安岭、齐齐哈尔和内蒙古的呼伦贝尔等地区和城市。不同的是，2000年黑龙江的大兴安岭地区以0.75的高可达性数值稳居全国第一，而2016年则以0.29位居全国第二，位居首位的内蒙古呼伦贝尔可达性数值也仅达到0.306；2个城市达到了次高可达性水平，分别为内蒙古兴安盟和黑龙江大庆，次低可达性从2000年的12个增加至2016年的15个，全部位于我国东北地区；而对于小麦低可达性而言，云南德宏自治州和宁夏中卫市从次低可达性降至低可达性，由2000年238个城市增长至2016年250个城市，占据了城市总数量的69.3%，主要分布在我国中部和东部地区，包括甘肃、陕西、河南、湖北和安徽等省份。在全国范围内，按照小麦平均运输距离作为搜索半径进行计算，2000年共有106个城市和地区超过了630 km的平均运输范围，约占全国29.4%，而2016年新疆的喀什、塔城、阿勒泰等地区由于小麦产区的增加使得可达性较2000年有明显提升，总量缩减至90个，占全国26.0%。也就是说，2016年全国仍然约有1/4的城市无法在平均运距内获得小麦供给，需要远距离运输来保障小麦供应，这些城市主要包括新疆南部、西藏、青海、广西、广东等省区。

小麦由于生长习性等原因导致产区集中分布在我国北方地区，南方产区相对较少，加上南方城市较大的人口规模，使得南方地区小麦可达性远低于北方，并且云南、广东等省份由于地理位置距离小麦产区较远，超出了630 km的平均运输距离；西部的日喀则、喀什、昌吉等地分布有小麦产区，从而可获得一定的小麦供给，而青海、西藏、新疆等西部大部分地区均超出平均运距，小麦的稳定供应仍需要远距离运输得以保障。

2.2.2　水稻可达性格局演化

水稻近域可达性分布格局在全国范围内差异显著。2000年与2016年空间近域可达性大体呈自东

北、西北、西南向中部和东南递减的组成结构，十多年来，全国水稻近域可达性水平显著改善，主要体现在西北、西南和东北地区。

与2000年相比，2016年水稻高可达性绝对数值也有所降低，中可达性与次低可达性城市数量均有明显增长。具体来看，2000年水稻高可达性地区共有4个，均分布在我国东北地区，最高值为黑龙江齐齐哈尔的0.447，而2016年可达性高值区仅为内蒙古兴安盟一个地区，并且可达性数值仅为0.271，次高可达性为黑龙江大庆和新疆克拉玛依2个城市；中可达性和次低可达性城市数量显著增长，2016年占比分别为2.2%和11.6%，除东北三省大部分城市提升为次低可达性外，新疆的阿勒泰和塔城可达性水平提升显著，达到中可达性水平，阿克苏、伊犁和昌吉等地区均提高至次低可达性层级，此外，西藏的拉萨、山南、日喀则等地也有明显提升。相反，四川、陕西部分城市可达性则降低至低水平；全国水稻低可达性城市数量总体出现降低趋势，自2000年的335个减少至2016年的302个，主要分布在内蒙古高原、黄土高原、华北平原和长江中下游平原等地区，如山西、河南、河北、安徽、江西等省份，尽管数量占比降低了9.1%，但低可达性城市仍占据总量的83.7%，占据绝对主导地位。此外，2000年和2016年分别有9个、6个城市和地区超出了387 km的水稻平均运距，分布在青海和西藏。

我国中部、南部大部分地区分布有大规模水稻产区，但该地区人口密度较高，可达性较低，而东北、西北和西南地区凭借良好的自然条件分布有连片水稻产区，加上相对较小的人口规模，因此水稻近域可达性高于全国其他地区；西部的青海和西藏由于交通条件等因素限制，部分地区超出平均运距。

2.2.3 口粮近域可达性

我国口粮总量充足但空间近域可达性水平差异显著，空间极化现象凸显。与2000年相比，2016年口粮可达性水平仅在东北地区有所提升，西北、西南等地区均呈现下降趋势，低可达性城市占主导地位。

口粮可达性呈现出北高南低的不均衡性分布特点，低可达性城市数量占主导地位，东北、西北和西南地区变化最为显著。其中，东北地区始终是我国口粮可达性高值区，可达性水平远超其他地区，黑龙江省大兴安岭与齐齐哈尔、内蒙古呼伦贝尔等城市可达性水平优势明显，2016年可达性高值城市较2000年有小幅增加，由2000年的6个增加至7个，东北地区口粮可达性远高于全国其他地区；此外，2016年辽宁省大部、新疆阿勒泰与塔城、云南大理等地为次低可达性水平，而新疆、西藏、云南以及甘肃等地区可达性均呈现出明显下降趋势，表现为低可达性水平，其中西藏的阿里地区由于口粮产区的减少导致可达性水平急剧下降，全国低可达性城市由306个上升至316个，占到了总量的87.5%（表1），远高于其他层级城市数量，并且直到2016年西北地区的部分城市如玉树、海西、哈密等地区仍需要远距离运输。

2000年以来，尽管我国口粮总量保持着稳定增长的趋势，但口粮可达性呈现出分布差异显著的特点，并且2016年与2000年相比可达性水平仅在东北地区提升显著，其他地区可达性水平出现明显下降趋势或维持低可达性态势，口粮近域供给仍以低可达性为主。

表1 2000年与2016年中国口粮近域可达性空间分布的描述性统计

分类	2000年		2016年	
	城市/个	占比/%	城市/个	占比/%
高可达性	6	1.7	7	1.9
次高可达性	4	1.1	6	1.7
中可达性	12	3.4	7	1.9
次低可达性	26	7.2	18	5.1
低可达性	306	84.7	316	87.5
搜索半径外区域（>630 km）	7	1.9	7	1.9

3 结 语

本文运用两步移动搜索法，对我国2000年与2016年小麦、水稻、口粮（小麦与水稻）空间近域可达性进行评价，并探求可达性分布的空间差异及演变格局，结果如下：①2000年与2016年全国361个城市和地区口粮近域可达性差异明显，总体均呈现出较为明显的北高南低非均衡性特点，极化现象显著；②水稻与小麦近域可达性分布格局在全国范围内差异十分明显，并且2016年高可达性数值较2000年有显著下降；③2000年与2016年口粮产区与人口分布区呈现出显著“人少粮多”与“人多粮少”的空间错配现象。

研究运用两步移动搜索法打破了传统仅依赖人均粮食产量来衡量粮食安全的思维，拓展了空间维度。但由于数据获取限制，仅对2 a的可达性格局进行分析，今后将持续关注数据更新，得出更有借鉴性的结论。

参考文献

[1] Charles H, Godfray J, Beddington J R, et al. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People[J]. Science,

2010，327(5 967):812-818

[2] Tilman D，Balzer C，Hill J，et al.Global Food Demand and the Sustainable Intensification of Agriculture[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America，2011，108(50):2 0260-2 0264

[3] Brown M E，Christopher C，Funk. Food Security Under Climate Change[J]. Science，2008，319 (5 863):580-581

[4] Wheeler T，Joachim V B.Climate Change Impacts on Global Food Security[J]. Science，2013，341(6 145):508-513

[5] 史贤明.食品安全与卫生学[M]. 北京:中国农业出版社，2008

[6] 杨明智，裴源生，李旭东.中国粮食自给率研究:粮食、谷物和口粮自给率分析[J].自然资源学报，2019，34(4):881-889

[7] Bashir M K，Steven S.Determinants of Rural Household Food Security：A Comparative Analysis of African and Asian Studies[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture，2013，93(6):1 251-1 258

[8] 苟倩，王成金，程佳佳.中国港口粮食运输格局演变及其动力机制[J].人文地理，2017，32(6):95-103

[9] 殷培红，方修琦，马玉玲，等.21世纪初中国粮食短缺地区的空间格局和区域差异[J].地理科学，2007，27(4):463-472

[10] 辛翔飞，王秀东，王济民.新时代下的中国粮食安全：意义、挑战和对策[J].中国农业资源与区划，2021，42(3):76-84

[11] 李强，余晓敏，张娜.江汉平原粮食综合生产能力评价分析[J].地理空间信息，2020，18(3):100-103

[12] 韩建军，侯纪伟，侯婧祎.我国省域粮食产需失配的时空演变及要素分析[J].地域研究与开发，2021，40(5):13-17

[13] Capone R，Bilali H E，Debs P，et al.Food Economic Accessibility and Affordability in the Mediterranean Region：An Exploratory Assessment at Micro and Macro Levels[J]. Journal of Food Security，2014，2(1):1-12

[14] 王帅，赵秀梅.中国粮食流通与粮食安全：关键节点的风险识别[J].西北农林科技大学学报(社会科学版)，2019，19(2):124-132

[15] 中华人民共和国国家发展和改革委员会，中华人民共和国国家粮食局.粮食物流业“十三五”发展规划[R]

[16] 任芳，李长明，刘中超，等.我国铁路运粮的现状及发展趋势[J].现代食品，2019(22):13-15

[17] Hansen W G.How Accessibility Shapes Land Use[J]. Journal of the American Planning Association，1959，25(2):73-76

[18] 李平华，陆玉麒.可达性研究的回顾与展望[J].地理科学进展，2005，24(3):69-78

[19] Davis C G.Linkages Between Socioeconomic Characteristics，Food Expenditure Patterns，and Nutritional Status of Low Income Households：A Critical Review[J].American Journal of Agricultural Economics，1982，64(5):1 017-1 025

[20] Donkin A J M，Johnson A E，Lilley J M，et al.Gender and Living Alone as Determinants of Fruit and Vegetable Consumption Among the Elderly Living at Home in Urban Nottingham[J]. Appetite，1998，30(1):39-51

[21] 张俊杰，李全. 基于大数据的昆明老年人公交站点可达性分析[J].地理空间信息，2022，20(4):14-19

[22] 徐丰，张琦，牛继强，等.基于可达性的郑州市医疗资源空间均等化研究[J].地域研究与开发，2021，40(5):37-43

[23] 叶伸，郑德华，陈兵，等.基于服务半径的城市公园绿地空间可达性研究[J].地理空间信息，2020，18(4):65-69

[24] 魏冶，修春亮，高瑞，等.基于高斯两步移动搜索法的沈阳市绿地可达性评价[J].地理科学进展，2014，33(4):479-487

[25] 王绮，修春亮，魏冶，等.基于高斯两步移动搜索法的沈阳市就业可达性评价[J].人文地理，2015，30(2):78-82

[26] 刘楠，王志恒，李香颖，等.天津市市内六区基础教育资源空间可达性评价[J].地理空间信息，2020，18(1):77-80

[27] 赵泽慧. 不同类型生鲜食品店可达性对家庭食物保障程度的影响研究[D]. 南京:南京大学，2019

[28] 汤淯媚.菜场可达性与布局均等性对家庭食物保障的影响研究[D]. 南京:南京大学，2018

[29] Iizumi T，Sakai T. The Global Dataset of Historical Yields for Major Crops 1981-2016[J].Scientific Data，2020，7(1):1-7

[30] Radke J，Mu L. Spatial Decomposition，Modeling and Mapping Service Regions to Predict Access to Social Programs[J]. Geographic Information Sciences，2000，6(2):105-112

[31] Luo W，Wang F H. Measures of Spatial Accessibility to Health Care in a GIS Environment：Synthesis and a Case Study in Chicago Region[J].Environment and Planning B：Planning and Design，2003，30(6):865-884

[32] 钟昱，亢霞. 多维度视角下我国粮食运输的结构分析[J].中国流通经济，2016，30(8):14-21

[33] 刘海隆，包安明，陈曦，等. 新疆交通可达性对区域经济的影响分析[J].地理学报，2008，63(4):428-434

[34] 吴威，曹有挥，曹卫东，等. 区域综合运输成本的空间格局研究：以江苏省为例[J].地理科学，2009，29(4):485-492

[35] 高守杰，郭光毅，代希波. 基于道路网络分析的省际粮食运输成本研究[J].物流科技，2014，37(5):135-139

[36] 胡焕庸. 中国人口的分布、区划和展望[J]. 地理学报，1990，45(2):139-145