

# 青藏高原区域粮食储备规模测算 与粮库空间选址研究

段 健<sup>1</sup>, 王维婷<sup>1</sup>, 陈 静<sup>2</sup>, 付慧娟<sup>3\*</sup>, 施凡基<sup>4</sup>

(1. 浙江师范大学地理与环境科学学院, 浙江 金华 321004; 2. 青海师范大学地理科学学院, 西宁 810016;  
3. 浙江师范大学计算机科学与技术学院, 浙江 金华 321004; 4. 湖州市发展和改革委员会, 浙江 湖州 313000)

**摘 要:**地方粮食储备是维护国家粮食安全和市场稳定的第一道防线, 加强青藏高原粮食储备, 对巩固国防和国家安全战略部署具有重要意义。论文提出基于需求法的粮食储备规模测算方法, 并结合青藏高原储粮自然条件和粮食生产消费特征, 通过修订地方粮食储备人均口粮消费参数和供应时间参数, 测算分析了青藏高原区域粮食储备规模, 并采用道路网络分析法, 进一步探讨区域粮食储备库基础设施节点空间选址。研究表明: 青藏高原区域粮食储备总规模约为81.51万t, 相当于全年粮食消费总量的24.04%, 储消比高于联合国粮农组织17%~18%的最低粮食储备安全水平; 区域粮食生产、消费和储备不平衡, 且空间差异较大, 仅27.19%的县可以实现粮食产销平衡, 大部分县市存在一定的粮食缺口; 全区同时满足消费和储备的粮食缺口约181.73万t, 其中农区、牧区及半农半牧区粮食缺口分别为124.43万t、33.16万t和24.14万t; 综合考虑交通基础设施、经济发展水平、社会协作条件和行政区划因素等, 青藏高原粮食储备库节点空间布局体系由西宁和拉萨2个一级节点、15个二级节点以及114个三级节点构成; 青藏高原实际地方粮食储备规模比理论值低26.39%, 须进一步夯实地方粮食储备规模, 确保区域粮食安全和经济社会长治久安。研究结果可为西藏和青海粮食储备体制机制改革提供政策参考。

**关键词:**区域粮食储备; 储备规模; 粮库节点; 空间选址; 青藏高原

粮食储备是国家重要的战略资源, 是国家维系粮食安全的重要基础和制定粮食安全政策的关键内容。由于粮食生产和消费在时间、空间上的不对称性, 加之自然灾害、突发公共事件对粮食生产和流通的影响和制约, 粮食储备作为连接生产与消费的“蓄水池”, 在平抑市场价格波动、确保人民群众的粮食消费方面发挥着至关重要的作用<sup>[1]</sup>。“国无九年之蓄, 曰不足; 无六年之蓄, 曰急; 无三年之蓄, 曰国非其国也”, 中国早在春秋战国时期就建立了粮仓储备制度, 以“备岁不足”、“均贵贱”<sup>[2-3]</sup>。现代粮食储备的概念最早于1958年由联合国粮农组织提

出, 将其定义为政府掌握的应对粮食短缺的合理储备。1970年代全球第一次粮食危机以后, 联合国建立了国际紧急粮食储备(International Emergency Food Reserve, IEFER), 美国、法国、澳大利亚形成了以社会/企业或农户为主的储备结构, 德国粮食储备由国家储备、国际储备和家庭储备构成国家粮食储备体系, 日本形成了以政府储备为主、民间储备为辅的储备结构<sup>[4]</sup>。2008年世界粮食危机以后, 粮食储备作为粮食安全的政策工具进一步强化, 各国将粮食视为和石油同等重要的战略资源, 并把粮食储备作为提高本国粮食系统弹性的一项重要战略<sup>[5]</sup>。

收稿日期: 2023-03-22; 修订日期: 2023-06-07。

基金项目: 第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK0406); 国家自然科学基金项目(42001128)。[Foundation: The Second Tibetan Plateau Scientific Expedition and Research Program, No. 2019QZKK0406; National Natural Science Foundation of China, No. 42001128.]

第一作者简介: 段健(1986—), 女, 湖南沅陵人, 博士, 讲师, 主要从事区域可持续发展与粮食安全研究。

E-mail: duanj@zjnu.edu.cn

\*通信作者简介: 付慧娟(1984—), 女, 安徽阜阳人, 硕士生, 研究方向为全球化与计算机模拟。E-mail: fuhuijuan@zjnu.cn

引用格式: 段健, 王维婷, 陈静, 等. 青藏高原区域粮食储备规模测算与粮库空间选址研究[J]. 地理科学进展, 2023, 42(10): 1869-1881. [Duan Jian, Wang Weiting, Chen Jing, et al. Scales and spatial distribution patterns of grain reserves on the Qinghai-Tibet Plateau. Progress in Geography, 2023, 42(10): 1869-1881.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2023.10.001

为保障国家粮食安全,中国也逐步建立了以中央政府和地方政府为主体的粮食储备体系,中央粮食储备是保障国家粮食安全的压舱石,地方粮食储备是中国区域性粮食安全保障的重要支撑<sup>[6]</sup>。2014年以来中国不断完善中央和地方两级粮食储备体系建设,确保粮食储备在应对危机时真正发挥压舱石、稳定器的作用。目前中国地方粮食储备按“销区6个月、产区3个月、平衡区4.5个月的口粮消费量”核定<sup>[7]</sup>,虽然考虑了各个省份粮食生产与消费的总体特征,但忽略了各省内部粮食供需平衡的空间差异,因此,迫切需要因地制宜地进一步制定更加精细化的分区域粮食储备规模政策<sup>[8-9]</sup>。

粮食储备能否在危机中发挥压舱石的作用关键在于粮食储备规模的确定和空间位置布局,科学确定地方粮食储备规模和空间布局是粮食发挥“蓄水池”和“稳压器”作用的重要前提。联合国粮农组织(FAO)根据1971—1977年世界粮食储备率与价格变动情况,在一定的假设条件下,采用生产波动法模拟全球发生一次严重歉收时保障粮食安全的库存消费比为17%~18%,其中后备储备占5%~6%,周转储备占12%~13%,但其假设条件与中国实际相差较远,按此标准计算的粮食储备规模无法保障中国粮食安全<sup>[10]</sup>;Bigman等<sup>[11]</sup>以粮食价格变量作为粮食储备调控目标并将仓库建设以及仓储、货运等成本考虑在内建立了比格曼模型,该模型的优点是考虑了粮食储备中成本与效率的关系,不足是过于强调粮食储备的经济效益。国内学者马九杰等<sup>[12]</sup>、娄源功<sup>[13]</sup>、吕新业等<sup>[14]</sup>、朱晶等<sup>[15]</sup>、范建刚<sup>[16]</sup>等将粮食产量或价格波动作为粮食储备规模计算的主要依据,运用剩余法、成本效益法、两目标或多目标规划法测算了中国粮食储备总规模,但由于采用的方法与参数不同,不同学者的研究结果差异显著,且上述研究均未涉及国家内部不同区域的地方粮食储备规模。冀浏果等<sup>[1]</sup>创造性地提出了以余粮量为基础的地区粮食储备规模测算方法,克服了储备规模与产量脱节的缺点,但其仅适用于粮食主产区或余粮区,不适用于粮食主销区和产销平衡区。韩建军等<sup>[8]</sup>从地理学的视角将空间效应纳入区域粮食储备研究,利用空间探索性分析法和空间计量方法分析了中国省域粮食储备地区差异及原因,初步探索了粮食生产能力、人口密度、社会影响、经济发展、灾害、交通通达能力对地区粮食储备规模的影响,

但其未考虑储粮的自然条件,尤其是对特定自然地理单元(青藏高原)的粮食储备自然条件和社会经济条件的特殊性未作具体分析。此外,还有部分学者从微观视角方面探讨了农户粮食储备行为<sup>[17-18]</sup>或从工程技术层面探讨了粮食储备库建设标准和储粮技术改进措施<sup>[19-21]</sup>。总体上,已有关于粮食储备规模和储粮技术的研究较多,而关于粮食仓储设施的空间布局的研究较缺乏。事实上,粮食仓储设施是粮食储备的载体和保障粮食储备顺利运转的重要支撑,科学合理的粮食仓储基础设施空间布局是确保能够及时调运的前提条件之一。目前中国粮食仓储设施结构性缺口仍然存在,部分地区区域性布局不平衡不充分,粮食仓储设施的合理规模测算和优化布局,对于各地避免重复建设、降低储备运营成本、充分发挥仓储设施功能具有重要的指导作用<sup>[1]</sup>。

青藏高原位于西南边陲,与印度、尼泊尔、不丹、缅甸及克什米尔地区接壤,边境线长约4000 km,占中国陆地边境线总长的1/6<sup>[22]</sup>,是中国国防安全的战略前线,加强青藏高原粮食储备,对巩固国防和国家安全战略部署具有重要意义。青藏高原传统粮食消费以青稞等粗粮为主,随着与内地交流增多,食物消费结构呈现多元化发展,对大米、面粉的需求上升,粮食供需结构性矛盾也越来越突出,目前青藏高原除青稞基本自给外,100%的大米和50%的小麦依靠内地调入<sup>[23-24]</sup>,粮食平均运距超过3000 km,最高达5133 km<sup>[25]</sup>。长距离粮食运输不仅给该地脆弱的交通基础设施造成巨大负担,更重要的是,如遇交通中断、道路受阻的情况,很难保证域外粮食的及时调入,而强大和高效的粮食储备体系是保障青藏高原粮食安全和社会稳定的重要支撑,长期以来,西藏和青海的粮食储备偏低,一旦地区突发自然灾害或公共危机,地区粮食储备不能满足调用需求,严重时将造成巨大损失<sup>[8]</sup>。

基于以上问题及事实,本文尝试提出基于需求法的粮食储备规模测算方法,并结合青藏高原储粮自然条件、人口规模、粮食生产、粮食消费、社会经济发展等因素,测算青藏高原地方粮食储备规模;在此基础上,结合青藏高原交通道路条件和交通通达度、行政区划,进一步对区域粮食储备库节点空间选址进行探讨,以期对西藏和青海粮食储备体制机制改革提供政策参考。



# 1 研究区域、数据与方法

## 1.1 研究区概况与数据来源

青藏高原位于 $26^{\circ}00'\sim 39^{\circ}47'N$ 、 $73^{\circ}19'\sim 104^{\circ}47'E$ 之间,涉及行政辖区包括西藏和青海的全部以及新疆、四川、甘肃、云南等部分区域,总面积约256万 $\text{km}^2$ ,占中国陆地总面积的26.8%<sup>[26]</sup>。其中,青海省和西藏自治区是青藏高原的主体,面积约占青藏高原面积的73.74%,考虑到研究的代表性及数据的可获取性,本文所提及的青藏高原,特指青海省和西藏自治区所辖区域。海拔高、气温低,热量不足,加之境内群山巍峨,河流、湖泊广布,种植业发展空间狭小,人均耕地面积和人均粮食产量低于全国平均值,2020年青藏高原人均耕地面积0.11  $\text{hm}^2$ ,低于全国平均水平,人均粮食产量219.83 kg,相当于全国平均水平的46.36%。粮食作物以青稞、小麦、玉米、杂粮为主,青稞所占的比重较高,其中西藏青稞播种面积、产量占粮食播种面积与产量的比重分别高达51.17%和77.18%。区域经济发展较落后,农牧业在国民经济比重较高,2020年GDP为4908.66亿元,其中农牧业产值484.95亿元,占GDP的9.88%。少数民族众多,是中华民族特色文化保护地,2020年区域常住人口957.21万人,其中少数民族人口613.51万人,占总人口的64.09%。青藏高原高寒干燥的自然环境不利于种植业发展,长期以来粮食供需平衡处于一种紧平衡状态,属于中国粮食产销平衡区<sup>[27-28]</sup>。近年来随着人口增长和食物消费结构转型,青藏高原粮食供需平衡形势更加严峻,2020年青藏高原粮食产量238.87万t,粮食消费量339.09万t,粮食自给率仅70.44%。

本文涉及的数据主要包括青藏高原人口数据、粮食生产数据、交通道路数据矢量数据,以及县级和乡镇行政区划图等。其中,2020年青藏高原各县粮食产量数据主要来源于《中国县域统计年鉴》《青海统计年鉴》《西藏统计年鉴》《西藏年鉴》《青海年鉴》,为消除气候等偶然因素对粮食产量的影响,采用2019—2021年3年平均替代2020年数据;县级单元人口数据为第七次人口普查数据,来源于《中国人口普查分县资料2020》;青藏高原各级交通线路数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>),包括铁路、高速公路、省道、县道、乡道和其他道路6个级别。县级行政区划在1:100万公众版基础地理信息数据的基础上,参照

民政部县级行政区划变更情况进行修正,来源于全国地理信息资源目录服务系统(<https://www.web-map.cn>),乡镇行政区划来源于地理监测云平台(<http://www.dsac.cn>)的全国乡镇行政区划数据。

## 1.2 研究方法与关键参数

### 1.2.1 粮食储备规模测算方法及参数

粮食储备的作用是为保证人的粮食消费需要,稳定粮食市场价格、应对重大自然灾害或其他突发事件的粮食需求,灾害和意外发生地点和时间是随机的、具有不确定性与不可预知性,严格来说,粮食储备物资需求无法精确预测。但粮食储备保障的对象是人,人口规模和位置基本可以确定;粮食储备保障的是特殊情况下居民最基本的生存消费需求,其首要解决的是应急状态下人的口粮安全,不包括饲料粮、工业粮等其他用粮。因此,基于需求法的粮食储备规模测算方法的计算公式为:

$$S_i = k \times P_i \times e \times t \quad (1)$$

式中: $S_i$ 表示*i*县的地方粮食储备规模(kg); $P_i$ 表示常住人口(人); $e$ 表示人均口粮消费标准(kg/(人·m)); $t$ 表示消费供应时间(m); $k$ 表示成品粮食与原粮的换算系数,参考相关研究<sup>[29]</sup>,其值取0.85。

人均口粮消费标准参数 $e$ :根据联合国粮农组织(FAO)和世界卫生组织(WHO)的标准,维持居民正常生活和健康需要的每日最低热量2100 kcal/(人·d),相当于502 g粮食提供的热量<sup>[30]</sup>。俄罗斯饥荒、中国汶川地震和日本海啸等灾害事件中,各国均按500 g/(人·d)的标准发放粮食<sup>[31]</sup>,中国成品粮应急粮食储备规模按人均170 kg/a测算,相当于每人日均消费500 g/(人·d)成品粮<sup>[32]</sup>。受膳食结构影响,青藏高原农区和牧区口粮消费差异较大,农区粮食消费结构与内地差异不断缩小,日均口粮消费按500 g/(人·d)成品粮计算;根据笔者2018年和2021年对那曲和阿里地区粮食局的访谈调研,牧区和半农半牧区居民日均口粮消费约为农区的一半,按250 g/(人·d)计算。

消费供应时间参数 $t$ :联合国粮农组织(FAO)规定最低粮食储备相当于3~4个月的口粮,德国和日本粮食储备相当于3个月的消费量,法国粮食储备供应保障时间长达12个月。2001年《国务院关于进一步深化粮食流通体制改革的意见》规定了中国“产区3个月,销区6个月”的地方粮食储备要求,也有学者提出“南方4个月、北方10个月”的地方粮食储备规模才能满足基本口粮需求<sup>[33]</sup>。青藏高原海

拔高、热量低,粮食作物生长从播种到成熟的生产期为130 d以上<sup>[34-35]</sup>,加之交通不便,粮食调运通道少、距离远、线路长,调粮周期长,为保障突发情况下居民粮食消费不断档,粮食储备的消费供应时间应适当延长。事实上,青藏高原高寒干燥的自然环境为粮食储存提供了天然优势。由于海拔高,空气稀薄,含氧量低,粮食不易腐烂,每立方米空气约含150~170 g 氧气,相当于平原地区的62%~65.4%,加之日照时间长,太阳辐射强,气候寒冷干燥,空气中的水汽、尘埃含量少等条件,可以实现粮食自然通风、晾晒和低温储备,储粮害虫少,在无任何科技设施条件下粮食储备时间可达3~5年<sup>[34,36]</sup>,是中国储粮最佳适应区和“绿色储粮”仓储基地<sup>[37]</sup>。因此,本文结合区域自然条件和社会经济特点,按照“农区6个月、半农半牧区9个月、牧区12个月”的消费供应时间测算青藏高原粮食储备规模(图1)。

### 1.2.2 道路网络分析法

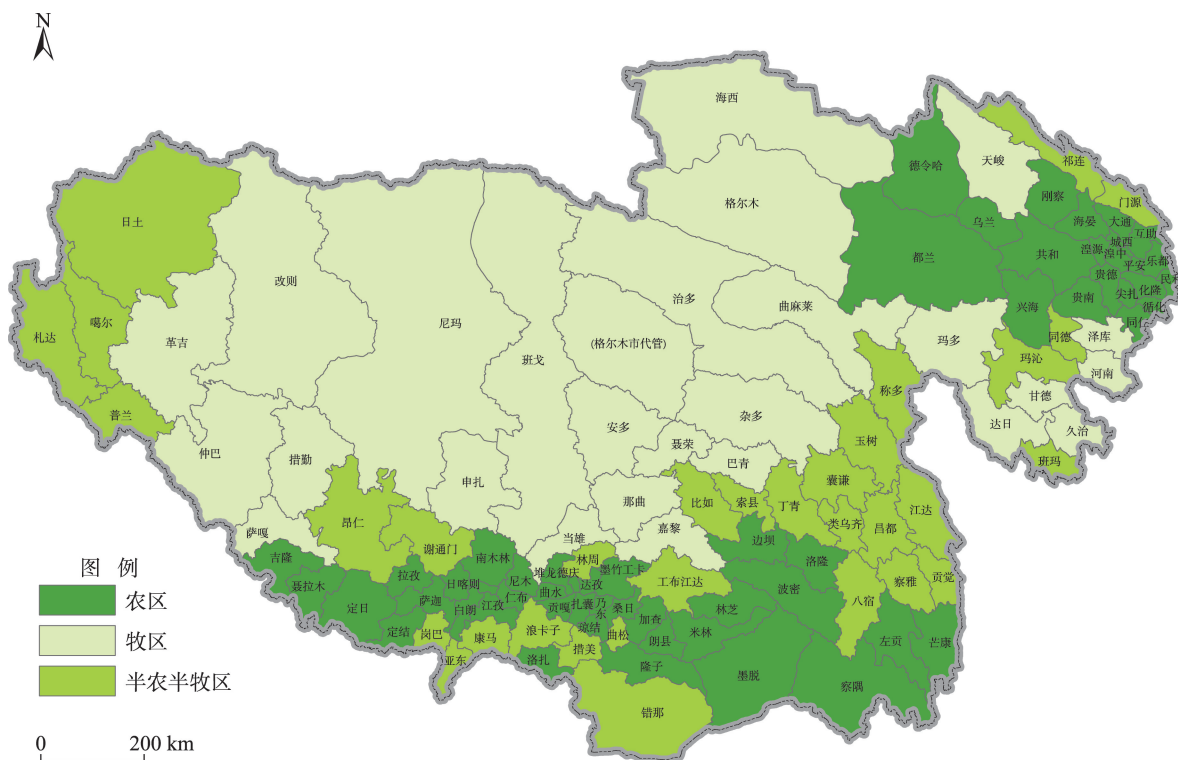
常用的设施用地选址法有重心法、层次分析法、网络分析法等多种方法<sup>[38-41]</sup>。本文主要采用网络分析法。网络分析法是运用图论方法研究各类网络的结构及其优化问题,将粮库的选址问题抽象

为以距离和成本为阻抗的最短路径问题。具体利用ArcGIS网络分析工具,以青藏高原铁路、高速公路、国道、省道、县道、乡道数据为道路网络数据集,制作青藏高原114个县级行政单元几何中心的点状矢量数据,以县级单元粮食储备需求量为节点权重赋值,以交通道路的平均行驶速度为线要素权重赋值,以运输时间为最大阻抗,建立节点两两之间的最短路径时间成本OD矩阵,选取最低时间成本下的粮食道路运输最优路径。设 $G=(V,A)$ 是一个简单连通赋权有向图,连接两个顶点的边的权值为他们之间的距离,对于每个顶点 $V_i(i=1,2,\dots,n)$ 有一个正向的负荷 $a(V_i)$ ,且它与各顶点之间的最短路径长度为 $d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{in}$ ,粮库最佳选址位置为所在点到其他各点的最短时间的总和或者以各顶点的载荷加权求和为最小,其数学表达式为:

$$S(V_{i_0}) = \min S(V_i) = \min \sum_{j=1}^n a(V_j) \frac{d_{ij}}{v_{ij}} \quad (2)$$

$$a(V_j) = P_j \times e \times t \quad (3)$$

式中: $S(V_{i_0})$ 为粮库中位点位置、粮库节点的最佳位置, $S(V_i)$ 为 $i$ 县到其他各县的最短路径的加权和, $a(V_j)$ 为各县粮食储备点需求载荷(t), $d_{ij}$ 为 $i$ 县和 $j$



注:本图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS(2022)4318号的标准地图制作,底图无修改,下同。

图1 青藏高原农区、牧区和半农半牧区分布

Fig.1 Distribution of agricultural, pastoral, and agricultural-pastoral areas on the Qinghai-Tibet Plateau



县之间的道路里程(km),  $v_{ij}$  为从  $i$  县到  $j$  县的行驶速度(km/h), 根据《中华人民共和国公路工程技术标准(JTGB01—2003)》规定的公路设计速度, 参考已有研究<sup>[42-43]</sup>, 结合青藏高原地区特征, 为各类交通道路行驶速度赋值(表 1)。

1.2.3 粮食储备库规模类型划分

依据国家粮食局发布的《粮食仓库建设标准(建标 172—2016)》<sup>[44]</sup>, 按照粮库的仓容量大小, 以 45 万 t、15 万 t、5 万 t、2.5 万 t 为阈值, 将粮库规模类型划分为特类、一类、二类、三类和四类(表 2)。

2 结果分析

2.1 青藏高原地方粮食储备总规模

青藏高原地方粮食储备总规模约为 81.51 万 t, 相当于区域全年粮食消费的 24.04%, 高于联合国粮农组织规定的粮食储备安全水平。其中, 农业区人口众多且分布密集, 粮食储备数量较大, 约为 59.36 万 t, 相当于区域储备总量的 72.82%; 牧业区人口稀疏, 粮食储备数量较小, 约为 10.44 万 t, 占区域储备总量的 12.80%; 半农半牧区粮食储备规模为 11.71 万 t, 占区域粮食储备总量的 14.37%。根据联合国粮农组织粮食储备标准, 最低粮食储消比不低于 17%~18% 才能保障国家粮食安全, 青藏高原粮食储消比较该标准稍高, 全区平均储消比为 24.04%, 农业区和半牧业区粮食储消比分别为 22.50% 和

22.49%, 牧业区粮食储消比最高, 达 45.00%(表 3)。

受自然条件限制, 区域粮食生产无法同时满足区域粮食消费和储备需求, 粮食生产、消费和储备不平衡, 粮食缺口较大, 且区域内部粮食产消储平衡差异较大。2020 年青藏高原粮食产量 238.87 万 t, 粮食消费需求和粮食储备需求分别为 339.09 万 t 和 81.51 万 t, 全区粮食缺口约 181.73 万 t。分区域看, 农区和牧区的粮食缺口分别达 124.43 万 t 和 33.16 万 t, 半农半牧区粮食缺口为 24.14 万 t。从各县市粮食产消储情况看, 区域 31 个县(包括 22 个农业县和 9 个半农半牧业县)粮食产量除可以满足本地居民口粮、饲料粮、加工粮等所有粮食消费需求和粮食储备需求外, 尚有结余, 仅占全区县市数量(114 个)的 27.19%。以上县市多数粮食结余量低于 0.88 万 t, 结余的粮食可以进入商业流通领域转变为商业储备, 但白朗、林周、湟中、都兰、贵南、门源、江孜 7 个县的粮食结余量在 1.79 万 t 以上, 可能出现季节性粮食供给过剩。

2.2 青藏高原地方粮食储备库节点空间布局

地方储备粮通常实行省、市、县(区)分级储备和分级管理, 省、市、县(区)三级粮食储备分别负责各级行政区内粮食供求平衡、稳定粮食市场以及应对重大自然灾害或者其他突发事件等<sup>[45]</sup>, 三者具有明显的层级性和空间嵌套关系。本文构建的三级粮食储备节点分别对应省、市、县(区)三级储备。适宜的地形坡度、稳定可靠的粮源、便利的交通运输条

表 1 交通道路通行速度赋值  
Tab.1 Speed assignments of roads and railways

道路类型	铁路	高速公路	国道	省道	县道	乡道	其他
速度/(km/h)	120	100	80	60	30	15	5
单位公里时间成本/min	0.5	0.6	0.75	1	2	4	12

表 2 粮食储备库规模类型划分标准  
Tab.2 Classification of grain storage facility types

粮库分类	特类	一类	二类	三类	四类
仓容量 $Q$ / 万 t	$45 \leq Q < 100$	$15 \leq Q < 45$	$5 \leq Q < 15$	$2.5 \leq Q < 5$	$1 \leq Q < 2.5$

表 3 青藏高原不同区域粮食储备规模  
Tab.3 Scale of grain reserves of different regions on the Qinghai-Tibet Plateau

地区	粮食产量/万 t	粮食消费量/万 t	储备规模/万 t	粮食缺口/万 t	储消比/%
全区	238.87	339.09	81.51	181.73	24.04
农区	198.75	263.82	59.36	124.43	22.50
牧区	0.48	23.20	10.44	33.16	45.00
半农半牧区	39.64	52.07	11.71	24.14	22.49

件是影响粮库布局的重要影响因素,综合考虑地形、人口、交通运输条件以及行政区划,青藏高原后备粮食储备库空间布局体系由2个一级节点、15个二级节点和114个三级节点构成,覆盖全部县级单元。

### 2.2.1 一级节点储备规模与空间布局

一级节点是区域性粮食储备中心,负责省级粮食储备调运,服务半径较大,一般应布局在粮食储备需求或吞吐量大、交通便捷度高,同时又具有较好的经济基础和社会协作条件的地点。采用情景分析法,分别测算区域建立1~3个一级储备库的粮食储备规模和最短时间距离成本。根据测算结果,区域建立1个一级节点,单个库容需求规模达81.51万t,到达服务腹地的最短时间成本为181.00 h,相当于一周时间;区域建立2个一级节点,单个节点的最大库容规模为51.56万t,到达服务腹地的最短时间成本缩短为3 d;区域建立3个一级节点,到达服务腹地的最短时间成本约为1.5 d,但单个节点较低库容规模仅10.38万t,且其中一个节点服务区跨越两个省区。综合考虑储备规模效益、时间距离成本、经济基础和社会协作以及行政区划等因素,青藏高原宜建立2个粮食储备一级节点,分别布局在西宁和拉萨2个城市周边(图2、表4)。

一级节点均位于省会城市附近,信息条件通达,经济基础和社会协作基础好。其中,西宁一级节点位于青海省会西宁周边,服务区覆盖青海省8

个地级市,粮食储备规模达51.56万t,达国家特类粮食储备库标准,拥有青藏铁路、兰青铁路、京藏高速、109国道、214国道等多种交通干线,线路密度大,交通便捷,到达服务腹地的最短时间成本约为25.77 h;拉萨一级节点位于青藏高原南部的“西藏粮仓”附近,有稳定的粮源,粮食储备约29.95万t,达国家一类储备库标准,覆盖西藏7个地级市,腹地广阔,通过青藏铁路、兰青铁路、京藏高速、109国道、219国道、318国道等交通干线与其腹地连接,最短时间成本约47.33 h,不超过3 d。

### 2.2.2 二级节点储备规模与空间布局

二级节点是次级区域性粮食储备中心,主要负责市域范围内的粮食储备和调运。以15个地级市划分片区,在各片区内以县级行政单元几何中心为节点,以各县粮食储备规模作为节点载荷,利用交通道路网络,建立县级节点两两之间的时间距离成本OD矩阵,以最短时间成本节点作为该市域范围内二级粮食储备库节点的备选地,再综合考虑地域邻近性、地域经济、行政区划等因素确定二级节点的辐射区域,最终确定了15个粮食储备二级节点城市(图3、表5)。

由于青藏高原人口密度区域差异显著,二级节点粮食储备规模差异较大。其中,城西粮食储备规模量达15万t以上,属于国家粮食储备库标准的一类储备库;乐都、堆龙德庆、昌都和日喀则粮食储备规模5万~15万t,为国家二类粮食储备库标准;玉



图2 一级节点选址及空间分布

Fig.2 Location and spatial distribution pattern of first-level nodes

表4 青藏高原粮食储备库一级节点的  
粮食储备规模与时间距离成本

Tab.4 Grain reserve scales and time-distance costs  
of the first-level nodes

一级节点名称	储备规模/万 t	国家仓容标准	最短时间距离 成本/h
西宁	51.56	特类	25.77
拉萨	29.95	一类	47.33

树、格尔木、共和、那曲、乃东粮食储备规模为2.5万~5万t,为国家三类粮食储备标准;革吉、达日、门源、泽库、巴宜粮食储备规模约为1万~2.5万t,属于国家四类粮食储备库标准。

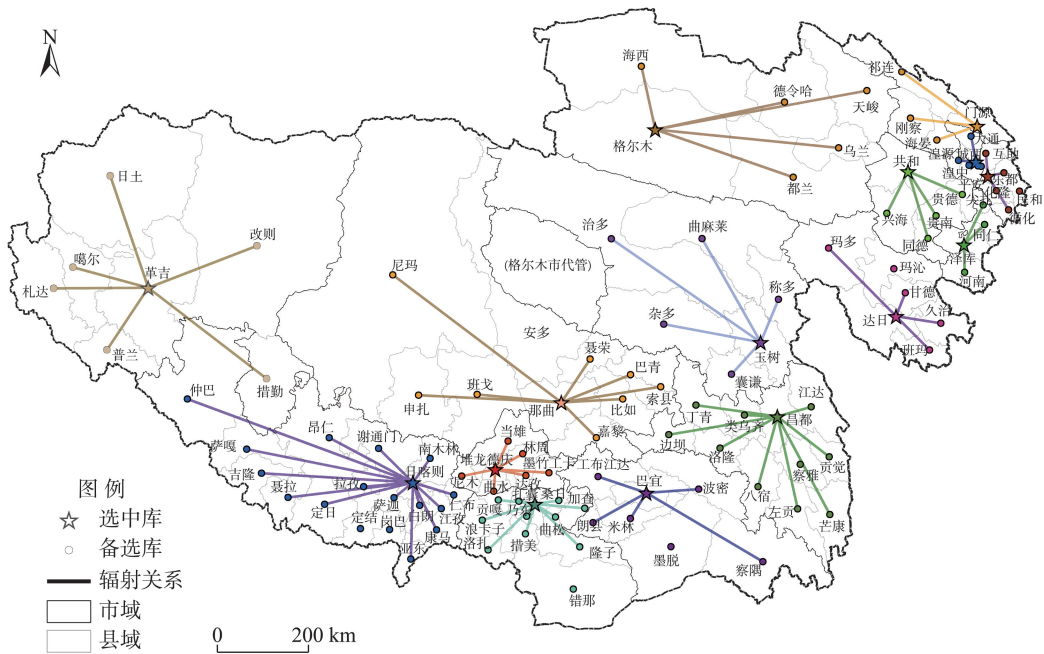
15个二级粮库储备点服务区域为各自对应的市域范围,由于交通道路等基础设施布局及人口和聚落密度差异,最短时间成本差异显著。大部分二级库最短时间距离成本不超过24 h,其中城西和乐都二级库,位于湟水谷地,人口和聚落分布较密集,交通发达,最短时间距离成本最少,仅需2~6.2 h。少数偏远地区的二级库最短时间成本在24 h以上,包括革吉、格尔木、那曲、日喀则和昌都5个二级库。其中,阿里和那曲位于高原腹地,地域广阔,人口居住分散,导致革吉和那曲两个二级库的最短时间距离成本达30 h以上;日喀则呈东西狭长延伸,县级单元数量较多,南部几个偏远县交通落后,影

响了粮物流效率,最短时间距离成本高达49.73 h;昌都二级库位于青藏高原与横断山区交界处,腹地交通线路较少且等级低,通行能力较差,最短时间成本也长达35.93 h。

2.2.3 三级节点储备规模与空间布局

三级节点是县级粮食储备中心,主要保障县域范围内的粮食储备调运。县城是县域经济、政治、文化中心,交通相对便利、信息通达,以114个县级行政单元中心为三级粮食储备节点的备选点,估算各节点储备规模及其最短时间成本。

由图4可知,青藏高原人口分布不均,三级节点粮食储备规模空间分布不均衡,县级行政单元之间差异显著。20.18%的县市粮食储备规模低于0.2万t,广泛分布在阿里、日喀则、那曲、山南、果洛、海西等人口稀疏的牧业地区;37.72%的县市粮食储备规模介于0.21万~0.40万t,包括那曲、玉树、海北等地区;11.40%的县市粮食储备规模介于0.41万~0.60万t,分散分布在西宁、格尔木城市群周边和鲁藏布江沿岸地区;12.28%的县市储备规模介于0.61万~0.80万t之间,主要分布于海西、海南、玉树、昌都等地区。另外18.42%的县市粮食储备规模超过0.80万t,粮食储备规模较高,集中分布在拉萨市和西宁市及周边、格尔木市、日喀则、海西、昌都等地区。



注:不同颜色表示不同二级节点的辐射半径。

图3 二级节点选址及空间布局

Fig.3 Location and spatial distribution pattern of the secondary-level nodes



表5 青藏高原粮食储备库二级节点的粮食储备规模与时间距离成本  
Tab.5 Grain reserve scales and time-distance costs of the secondary nodes

二级级节点名称	所属地级市	储备规模/万 t	国家仓容标准	最短时间距离成本/h
革吉	阿里	0.97	四类	30.83
达日	果洛	1.74	四类	8.85
乐都	海东	12.23	二类	6.20
共和	海南	3.89	三类	11.86
格尔木	海西	4.04	三类	28.67
泽库	黄南	2.49	四类	4.24
堆龙德庆	拉萨	7.24	二类	8.83
门源	海北	1.80	四类	9.03
巴宜	林芝	2.08	四类	14.46
那曲	那曲	4.16	三类	49.01
日喀则	日喀则	6.85	二类	49.73
乃东	山南	3.02	三类	23.52
城西	西宁	22.21	一类	2.08
玉树	玉树	3.18	三类	22.72
昌都	昌都	5.63	二类	35.93

注:根据《粮食仓库建设标准(建标 172—2016)》<sup>[44]</sup>,粮库的仓容量不宜小于1万t,革吉0.97万t采用四舍五入法归为四类粮库。

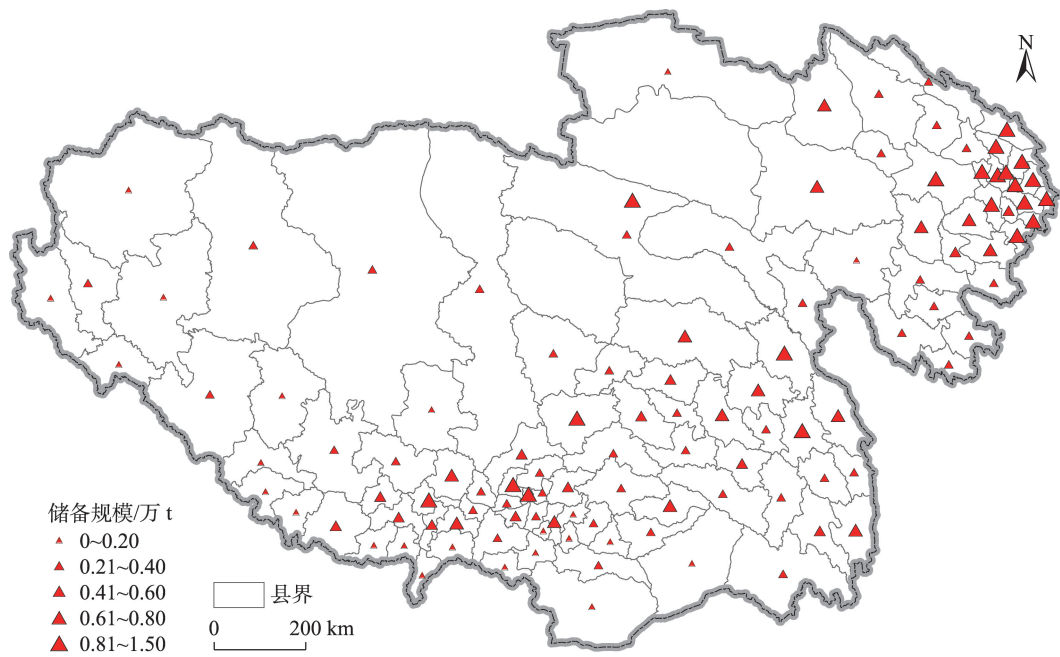


图4 青藏高原三级节点粮食储备规模空间差异  
Fig.4 Spatial difference of grain reserve scales of the third-level nodes on the Qinghai-Tibet Plateau

因交通基础设施空间分布不均,三级节点到其辖区的最短时间成本空间差异显著(图5、图6)。83.93%的区域距离邻近三级节点的最短时间成本不超过24 h,64.10%的区域距离邻近三级节点的时间成本不超过12 h,37.38%的区域距离邻近三级节点的成本不超过6 h,8.70%的区域距离邻近三级节点最短时间成本不超过2 h。此外,还有7.33%的区

域距离邻近三级节点的时间成本超过48 h,主要分布在青藏高原腹地深处和边境地区的偏远乡镇,包括察布乡、先遣乡、荣玛乡、措折强玛乡、嘎措乡、雅曲乡、岗尼乡、索加乡等,在这些偏远乡镇需要单独增设乡镇或村级粮食储备节点,以保证在自然灾害或突发事件下能够快速反应,保障居民粮食消费,确保不发生粮食供应脱销断档。

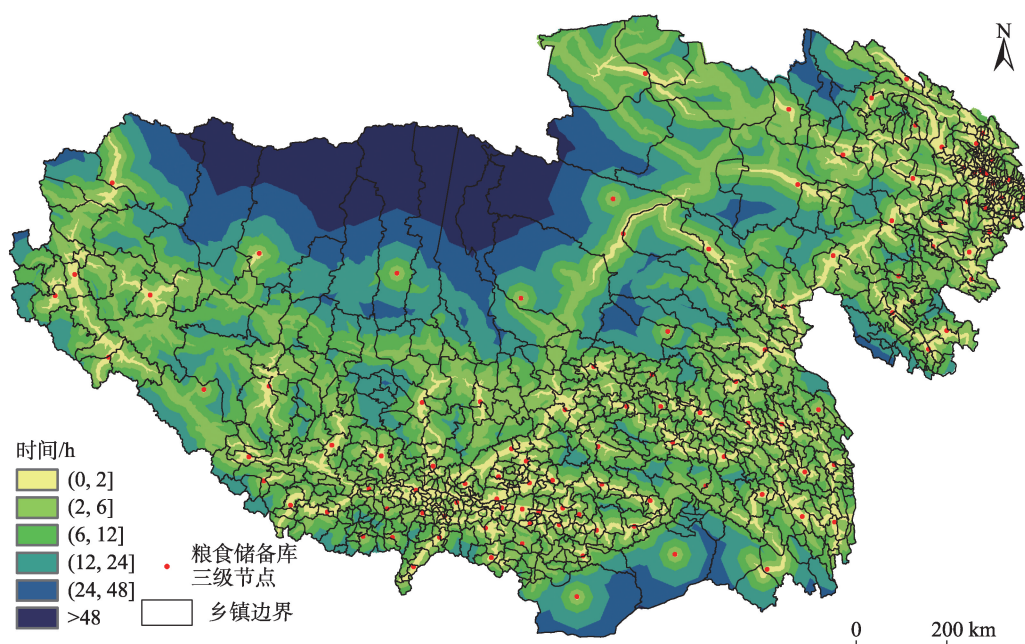


图5 三级节点最短时间成本空间分布差异

Fig.5 Spatial distribution difference of the minimum time costs of the third-level nodes

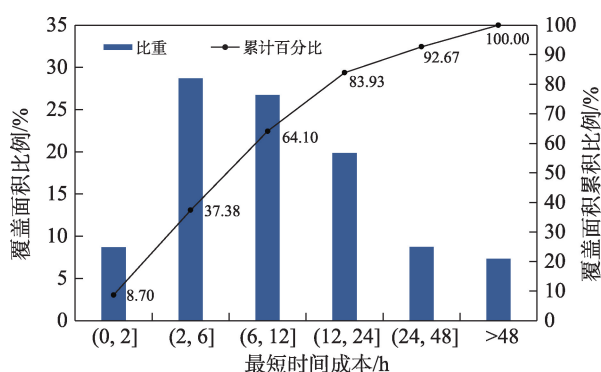


图6 区域距离邻近三级节点的最短时间成本分布

Fig.6 Distribution of minimum time-distance costs to the third-level nodes

### 3 结论与讨论

#### 3.1 主要结论

本文提出基于需求法的粮食储备规模测算方法,并结合青藏高原储粮自然条件和社会经济条件,测算青藏高原地方粮食储备规模;在此基础上,采用道路网络分析法探讨青藏高原粮食储备库设施节点空间选址。主要结论如下:

(1) 青藏高原地方粮食储备达到消费量的24.04%才能保障区域粮食安全,粮食储消比高于联合国粮农组织最低粮食储备水平。青藏高原地方粮食储备总规模约为81.51万t,粮食储消比为24.04%,高于联合国粮农组织17%~18%的最低粮

食储备水平;其中农业区和半牧业区粮食储消比分别为22.50%和22.49%,牧业区粮食储消比较其他区域高,达45.00%。

(2) 青藏高原本地粮食生产无法同时满足区域粮食消费和储备需求,2020年全区粮食缺口约181.73万t,农区、牧区及半农半牧区粮食缺口分别为124.43万t、33.16万t和24.14万t。县级行政单元粮食产消储平衡差异显著,大部分县市粮食产量不能满足粮食消费和储备需求,需从外地调入粮食补库,31个县市可以实现产储消平衡,仅占全区县市数量的27.19%,其中白朗、林周、湟中、都兰、贵南、门源、江孜的粮食结余量在1.79万t以上,可能出现季节性供给过剩。

(3) 综合考虑地形坡度、交通运输调节、经济发展水平、社会协作调剂以及行政区划,初步建立了青藏高原三级粮食后备储备库空间布局体系,由2个一级节点、15个二级节点和114个三级节点构成。一级节点是区域性粮食储备中心,覆盖面积广,服务半径大,粮食调配响应时间不超过48h;二级节点是次级区域性粮食储备中心,主要负责市域范围内的粮食储备调运,大部分响应时间不超过24h;三级节点是县级粮食储备中心,一半以上的区域响应时间不超过12h。

#### 3.2 讨论

(1) 本文研究结果与相关研究结果<sup>[8]</sup>可以相互

验证,具有政策参考意义。本文基于2020年青藏高原县级单元常住人口和人均口粮消费需求测算了青藏高原地方粮食储备总规模,约为81.51万t,其中青海和西藏分别约为51.56万t和29.95万t,如果考虑旅游人口,青藏高原粮食储备规模将增至87.52万t。2020年青海和西藏旅游人口分别达2483.85万人次和2628.76万人次,按照供应旅游人口15d的口粮消费保障核算,两省粮食储备需求规模将分别增加2.92万t和3.09万t,即青海和西藏的粮食储备需求规模将分别增至54.48万t、33.04万t。韩建军等<sup>[8]</sup>利用空间计量模型预测研究了2020年全国的地方粮食储备规模,其中青海和西藏地方粮食储备规模需求分别为71.76万~74.95万t和41.79万~49.64万t,两者合计113万~114万t,与本文的研究结果近似。按照现有国家政策性储粮规定核算<sup>[7-8]</sup>,2020年青海和西藏粮食储备规模分别为47.04万t和28.97万t,合计76.01万t,与本文研究结果仅相差5.5万t,如果考虑旅游人口储粮需求,二者差距为11.51万t。综上,本文研究结果比韩建军等<sup>[8]</sup>的研究结果稍低,而比现有国家政策实施方案稍高,粮食储备规模介于二者之间,总体上相差均不大,但本文充分考虑了青藏高原内部不同地域粮食生产与消费特征的空间差异,更符合现实情况,对进一步优化青藏高原粮食储备制度具有一定的政策启示作用。

(2) 青藏高原现实粮食储备比理论值偏低,扩容补库任务艰巨。2017年青海和西藏实际地方粮食储备规模分别仅50万t和10万t,两省地方粮食储备规模比理论值低26.39%,尤其西藏粮食储备规模与理论安全值相差较大,2020年2月为应对疫情期间粮食市场异常情况,西藏临时新增地方储备青稞1万t,但与理论值仍有较大缺口。“手中有粮,心中不慌”,2022年以来全球出现新一轮粮食价格上涨,联合国食品、谷物价格指数均创1990年以来新高,随着俄乌冲突、异常气候、粮食贸易保护主义等因素的负面影响将进一步发酵,全球粮食安全形势将更加严峻,建议进一步夯实青藏高原地方粮食储备规模。宁可备而不用,不可用而无备,完善与区域粮食生产和消费习惯相适应的地方储备粮数量、品种结构和库点布局,同时改善粮食仓储设施、提升粮食仓储技术,确保关键时候能有效发挥地方粮食储备“蓄水池”和“稳定器”的作用,保障青藏高原粮食安全和经济社会长治久安。

(3) 本文未考虑粮食储备品种结构、储存成本

和调运费用等因素,未来拟结合运费、仓储建设成本、粮食轮换成本以及粮库管理成本等,进一步细化青藏高原粮食储备研究。

## 参考文献(References)

- [1] 冀浏果,秦波,刘增强,等.新时期我国粮食仓储设施合理规模和布局规划研究[J].粮油食品科技,2022,30(4): 7-12. [Ji Liuguo, Qin Bo, Liu Zengqiang, et al. Research on the reasonable scale and layout planning of China's grain storage facilities in the new era. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(4): 7-12.]
- [2] 本杰明·格雷厄姆.储备与稳定[M].张卓飞,译.北京:法律出版社,2011. [Benjamin G. Storage and stability. Translated by Zhang Zhuofei. Beijing, China: Law Press, 2011.]
- [3] 刘伟.浅谈中国古代粮食仓储管理制度[J].农业发展与金融,2002(4): 37-39. [Liu Wei. On the ancient Chinese grain storage management system. Agricultural Development and Finance, 2002(4): 37-39.]
- [4] 高帆,龚芳.中国粮食储备的运行效力:基于国别比较的分析[J].学习与探索,2012(10): 83-87. [Gao Fan, Gong Fang. Operational effectiveness of China's grain reserves: An analysis based on country comparisons. Study & Exploration, 2012(10): 83-87.]
- [5] Fraser E D G, Legwegoh A, Krishna K C. Food stocks and grain reserves: Evaluating whether storing food creates resilient food systems [J]. Journal of Environmental Studies and Sciences, 2015, 5(3): 445-458.
- [6] 程国强.增强应对突发事件冲击的粮食安全保障能力[J].上海农村经济,2020(5): 4-7. [Cheng Guoqiang. Enhancing food security capabilities in response to emergencies. Shanghai Rural Economics, 2020(5): 4-7.]
- [7] 国务院.《关于完善粮食流通体制改革政策措施的意见》(国发〔2006〕16号)[EB/OL]. 2008-03-28 [2023-02-20]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2008-03/28/content\\_3590.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2008-03/28/content_3590.htm). [The State Council. 'Opinions on improving the policy measures of grain circulation system reform' (Guo Fa No. 16). 2008-03-28 [2023-02-20]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2008-03/28/content\\_3590.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2008-03/28/content_3590.htm).]
- [8] 韩建军,邹亚丽.区域粮食储备的地区差异与规模确定分析[J].自然资源学报,2019,34(3): 464-472. [Han Jianjun, Zou Yali. Spatial differences and scale determination of regional grain reserves. Journal of Natural Resources, 2019, 34(3): 464-472.]
- [9] 曹宝明,黄昊舒,赵霞.中国粮食储备体系的演进逻辑、现实矛盾与优化路径[J].农业经济问题,2022(11): 25-33. [Cao Baoming, Huang Haoshu, Zhao Xia. The evolutionary logic, practical contradictions and optimization



- path of China's food reserve system. Issues in Agricultural Economy, 2022(11): 25-33. ]
- [10] 吕新业, 刘华. 农户粮食储备规模及行为影响因素分析: 基于四省不同粮食品种的调查 [J]. 农业技术经济, 2012(12): 22-30. [Lv Xinye, Liu Hua. Analysis of the influencing factors of farmers' grain reserve scale and behavior-based on the survey of different grain varieties in four provinces. Journal of Agrotechnical Economics, 2012(12): 22-30. ]
- [11] Bigman D, Reutlinger S. Food price and supply stabilization: National buffer stocks and trade policies [J]. American Journal of Agricultural Economics, 1979, 61(4): 657-667.
- [12] 马九杰, 张传宗. 中国粮食储备规模模拟优化与政策分析 [J]. 管理世界, 2002(9): 95-105, 113. [Ma Jiuji, Zhang Chuanzong. Simulation optimization and policy analysis of grain reserve scale in China. Management World, 2002(9): 95-105, 113. ]
- [13] 姜源功. 基于国家粮食安全的专项储备粮规模研究 [J]. 农业技术经济, 2003(4): 6-12. [Lou Yuangong. Research on the scale of special grain reserves based on national food security. Journal of Agrotechnical Economics, 2003(4): 6-12. ]
- [14] 吕新业, 王济民. 我国粮食安全预警机制研究 [J]. 经济研究参考, 2004(54): 9-13, 48. [Lv Xinye, Wang Jimin. China's food security early warning mechanism research. Review of Economic Research, 2004(54): 9-13, 48. ]
- [15] 朱晶, 钟甫宁. 市场整合、储备规模与粮食安全 [J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2004, 4(3): 19-23. [Zhu Jing, Zhong Funing. Market integration, grain reserve capacity and food security. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition), 2004, 4(3): 19-23. ]
- [16] 范建刚. 对消费量测算前提下的粮食储备规模分析 [J]. 软科学, 2007, 21(1): 29-32. [Fan Jiangang. An analysis of grain reserve scale under the precondition of calculating the consumption. Soft Science, 2007, 21(1): 29-32. ]
- [17] 罗屹, 黄东, 武拉平, 等. 储粮损失与农户储粮决策: 基于23省1199户玉米种植户的实证分析 [J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(9): 30-42. [Luo Yi, Huang Dong, Wu Laping, et al. Storage losses and households' storage decision in China: Based on the survey data of 1199 corn growers from 23 provinces. Journal of China Agricultural University, 2022, 27(9): 30-42. ]
- [18] 周心怡, 陆迁, 龚直文. 重大公共安全事件对农户粮食储备行为影响研究: 以新冠肺炎疫情为例 [J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(9): 11-17. [Zhou Xinyi, Lu Qian, Gong Zhiwen. Impact of major public safety events on farmers' food storage behavior: An example of the COVID-19 pandemic. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2022, 36(9): 11-17. ]
- [19] 王振清, 李莹, 刘海燕, 等. 粮食筒仓储粮和卸粮状态下的仓壁侧压力试验研究 [J]. 农业工程学报, 2020, 36(7): 292-299. [Wang Zhenqing, Li Ying, Liu Haiyan, et al. Experimental study on side pressure of grain silo under storage and discharging state. Transactions of the CSAE, 2020, 36(7): 292-299. ]
- [20] 张璐, 刘成龙, 乔皓然, 等. 新时期粮食高效收储与管理模式研究 [J]. 粮油食品科技, 2022, 30(4): 28-34. [Zhang Lu, Liu Chenglong, Qiao Haoran, et al. Research on efficient grain purchasing, storage and management mode in the new era. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(4): 28-34. ]
- [21] 吴文福, 王雨佳, 李姝峤, 等. 粮仓哲学: 对储粮科技走向智慧化的哲学思考 [J]. 粮油食品科技, 2023, 31(2): 1-12. [Wu Wenfu, Wang Yujia, Li Shuyao, et al. Granary philosophy: Philosophical thinking on the intelligence of grain storage science and technology. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(2): 1-12. ]
- [22] 温军. 青藏高原交通运输发展的环境背景条件分析 [J]. 中国藏学, 1999(4): 30-48. [Wen Jun. Analysis of the environmental background conditions for the development of transportation in the Qinghai-Tibet Plateau. China Tibetology, 1999(4): 30-48. ]
- [23] 高利伟, 徐增让, 成升魁, 等. 西藏粮食安全状况及主要粮食供需关系研究 [J]. 自然资源学报, 2017, 32(6): 951-960. [Gao Liwei, Xu Zengrang, Cheng Shengkui, et al. Food security situation and major grain supply and demand in Tibetan region. Journal of Natural Resources, 2017, 32(6): 951-960. ]
- [24] 段健, 徐勇, 孙晓一. 青藏高原粮食生产、消费及安全风险格局变化 [J]. 自然资源学报, 2019, 34(4): 673-688. [Duan Jian, Xu Yong, Sun Xiaoyi. Spatial patterns and their changes of grain production, grain consumption and grain security in the Tibetan Plateau. Journal of Natural Resources, 2019, 34(4): 673-688. ]
- [25] 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. [Gao Shoujie, Guo Guangyi, Dai Xibo. Research of inter-provincial grain transport costs based on GIS network analyst. Logistics Sci-Tech, 2014, 37(5): 135-139. ]
- [26] 张懿铨, 李炳元, 郑度. 论青藏高原范围与面积 [J]. 地理研究, 2002, 21(1): 1-8. [Zhang Yili, Li Bingyuan, Zheng Du. A discussion on the boundary and area of the Tibetan Plateau in China. Geographical Research, 2002, 21(1): 1-8. ]
- [27] 华树春, 钟钰. 我国粮食区域供需平衡以及引发的政策启示 [J]. 经济问题, 2021(3): 100-107. [Hua Shuchun,

- Zhong Yu. Regional balance of grain supply and demand in China and the policy implications. *On Economic Problems*, 2021(3): 100-107. ]
- [28] 薛云飞. 产销平衡区粮食安全水平及空间差异 [J]. 南方农村, 2022, 38(6): 4-11. [Xue Yunfei. Food security level and apatial sifference in balanced production and marketing areas. *South China Rural Area*, 2022, 38(6): 4-11. ]
- [29] 封志明. 中国未来人口发展的粮食安全与耕地保障 [J]. 人口研究, 2007, 31(2): 15-29. [Feng Zhiming. Future food security and arable land guarantee for population development in China. *Population Research*, 2007, 31(2): 15-29. ]
- [30] 孙振远. 世界粮食问题概论 [M]. 北京: 农业出版社, 1986: 55- 58. [Sun Zhenyuan. An introduction to the world food problem. Beijing, China: Agricultural Press, 1986: 55-58. ]
- [31] 罗叶. 突发事件下粮食安全问题研究: 论粮食公共危机管理 [D]. 成都: 西南财经大学, 2013. [Luo Ye. Research of food security issue under emergency theory of public food crisis management. Chengdu, China: South Western University of Finance and Economics, 2013. ]
- [32] 国家粮食局办公室. 成品粮应急储备库建设设计要点 (国粮办展〔2012〕37号) [EB/OL]. 2020-11-12 [2023-02-20]. [http://www.lswz.gov.cn/html/zfxgk/2020-11/12/content\\_262051.shtml](http://www.lswz.gov.cn/html/zfxgk/2020-11/12/content_262051.shtml). [National Food and Strategic Reserves Administration Office. Grain emergency reserve construction design points (National Food and Strategic Reserves Administration Office Enforcement No.37). 2020-11-12 [2023-02-20]. [http://www.lswz.gov.cn/html/zfxgk/2020-11/12/content\\_262051.shtml](http://www.lswz.gov.cn/html/zfxgk/2020-11/12/content_262051.shtml). ]
- [33] 吕新业, 孙瑜. 我国粮食库存规模研究(1980—2003) [J]. 农业经济问题, 2009(S1): 32-36. [Lv Xinye, Sun Yu. Study on the scale of China's grain inventory (1980—2003). *Issues in Agricultural Economy*, 2009(S1): 32-36. ]
- [34] 李璠, 校瑞香, 严应存, 等. 气候变化对青海省青稞物候期的影响 [J]. 麦类作物学报, 2022, 42(6): 755-763. [Li Fan, Xiao Ruixiang, Yan Yingcun, et al. Impact of climate changes on the phenology of hulless barley in Qinghai Province. *Journal of Triticeae Crops*, 2022, 42(6): 755-763. ]
- [35] 吴东兵, 曹广才, 赵世平, 等. 小麦在拉萨生态条件下一些生育特点的分析 [J]. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 15(4): 386- 391. [Wu Dongbing, Cao Guangcai, Zhao Shiping, et al. Analyses to some characters of growth and development for wheats under ecological conditions in Lasa. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 1991, 15(4): 386-391. ]
- [36] 图登克珠, 辛馨, 殷桂梅. 拟建西藏国家储备粮基地的几点思考 [J]. 西藏发展论坛, 2012(3): 41-46. [Tubden Kyedrub, Xinxin, Yin Guimei. Some thoughts on the construction of Tibet national grain reserve base. *Theoretical Platform of Tibetan Development*, 2012(3): 41-46. ]
- [37] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 粮油储藏技术规范国家标准 (GB/T29890—2013) [S]. 2012- 11- 12 [2023- 02- 20]. <https://openstd.samr.gov.cn/bzgk/gb/newGbInfo?hcno=E1577CA0FE1B9CD89FF16DEC1300E0B3>. [General Administration of Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, National Standardization Administration of China. National standard for technical specifications of grain and oil storage (GB/T29890—2013). 2012-11-12 [2023-02-20]. <https://openstd.samr.gov.cn/bzgk/gb/newGbInfo?hcno=E1577CA0FE1B9CD89FF16DEC1300E0B3>. ]
- [38] 梁书民, 刘小和, 孟哲, 等. 我国粮食综合运输费用与最优物流路径研究 [J]. 中国粮食经济, 2007(4): 32-35. [Liang Shumin, Liu Xiaohu, Meng Zhe, et al. Study on China's grain comprehensive transportation cost and optimal logistics path. *China Grain Economy*, 2007(4): 32-35. ]
- [39] 郝蒙浩, 张静, 赵秋红, 等. 基于P-center问题的国家级应急物资储备设施选址优化布局研究 [J]. 自然灾害学报, 2019, 28(3): 123- 129. [Xi Menghao, Zhang Jing, Zhao QiuHong, et al. The research of location problem of national emergency reserve facilities for emergency relief based on P-center problem. *Journal of Natural Disasters*, 2019, 28(3): 123-129. ]
- [40] 陆相林, 侯云先, 林文, 等. 基于选址理论的小城镇应急物资储备库优化配置: 以北京房山区为例 [J]. 地理研究, 2011, 30(6): 1000-1008. [Lu Xianglin, Hou Yunxian, Lin Wen, et al. Allocation of small-town emergency material depository based on location theory: A case study of Fangshan District in Beijing. *Geographical Research*, 2011, 30(6): 1000-1008. ]
- [41] 范晨璟, 翟国方, 姚凤君, 等. 公共设施区位理论视角下的避震空间体系规划: 以常熟市为例 [J]. 规划师, 2014, 30(8): 43-49. [Fan Chenjing, Zhai Guofang, Yao Fengjun, et al. Disaster prevention space system with public facility location theory: Changshu case. *Planners*, 2014, 30(8): 43-49. ]
- [42] 高兴川, 曹小曙, 李涛, 等. 1976—2016年青藏高原地区通达性空间格局演变 [J]. 地理学报, 2019, 74(6): 1190-1204. [Gao Xingchuan, Cao Xiaoshu, Li Tao, et al. Evolution of accessibility spatial pattern of the Qinghai-Tibet Plateau in 1976—2016. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74 (6): 1190-1204. ]
- [43] 苗毅, 卢文清, 戴特奇, 等. 青藏高原市域综合交通优势度评价及空间特征: 以林芝市为例 [J]. 地理科学进展, 2019, 38(12): 2019-2028. [Miao Yi, Lu Wenqing, Dai Teqi, et al. Comprehensive evaluation of the spatial characteristics of the integrated transportation advantage of the Lhasa city area on the Qinghai-Tibet Plateau: A case study of Linzhi City. *Progress in Geography*, 2019, 38(12): 2019-2028. ]

- 2021, 40(8): 1332-1343. [Miao Yi, Lu Wenqing, Dai Teqi, et al. Comprehensive traffic advantage degree and its spatial characteristics at the prefecture level on the Qinghai-Tibet Plateau: A case study of Linzhi City. *Progress in Geography*, 2021, 40(8): 1332-1343. ]
- [44] 国家粮食局. 粮食仓库建设标准(建标 172—2016)[S]. 2016-06-29 [2023-02-20]. [https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/zhengce/zhengcefilelib/201606/20160629\\_227909.html](https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/zhengce/zhengcefilelib/201606/20160629_227909.html). [National Grain Administration. Grain warehouse construction standards (172—2016). 2016-06-29 [2023-02-20]. [https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/zhengce/zhengcefilelib/201606/20160629\\_227909.html](https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/zhengce/zhengcefilelib/201606/20160629_227909.html). ]
- [45] 青海省粮食局. 2018年青海省粮食流通工作会议在西宁召开 [EB/OL]. 2018-03-16 [2023-02-20]. [http://www.lswz.gov.cn/html/ztlstgzhy2018/2018-06/14/content\\_237259.shtml](http://www.lswz.gov.cn/html/ztlstgzhy2018/2018-06/14/content_237259.shtml). [Qinghai Provincial Grain Bureau. The 2018 Qinghai Provincial Grain Circulation Work Conference was held in Xining. 2018-03-16 [2023-02-20]. [http://www.lswz.gov.cn/html/ztlstgzhy2018/2018-06/14/content\\_237259.shtml](http://www.lswz.gov.cn/html/ztlstgzhy2018/2018-06/14/content_237259.shtml). ]

## Scales and spatial distribution patterns of grain reserves on the Qinghai-Tibet Plateau

DUAN Jian<sup>1</sup>, WANG Weiting<sup>1</sup>, CHEN Jing<sup>2</sup>, FU Huijuan<sup>3\*</sup>, SHI Fanji<sup>4</sup>

(1. School of Geography and Environmental Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, Zhejiang, China;

2. School of Geography Sciences, Qinghai Normal University, Xining 810016, China;

3. School of Computer Science and Technology, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, Zhejiang, China;

4. Development and Reform Commission of Huzhou Municipality, Huzhou 313000, Zhejiang, China)

**Abstract:** Government grain reserves are the ballast for national food security, and local government grain reserves are the first line of defense to safeguard national food security and market stability. Bordering India, Nepal, Bhutan, Myanmar, and the Kashmir region, the Qinghai-Tibet Plateau is China's strategic front for national defense, and it is of great significance to examine the scale and spatial distribution of grain reserves on the Qinghai-Tibet Plateau. This study proposed a demand-based method to measure the scale of grain reserves. Considering the grain storage conditions and the characteristics of grain production and consumption on the Qinghai-Tibet Plateau, we applied the model and revised the key parameters to calculate the scale of grain reserves on the plateau. On this basis and using the road network analysis method, we further discussed the spatial location of grain storage infrastructures. The results show that: 1) The total scale of required grain reserves on the Qinghai-Tibet Plateau was about 815100 t, which was equivalent to 24.04% of the total annual grain consumption, and the ratio of grain reserves to consumption was higher than the minimum safe level recommended by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), which is 17%–18%. 2) Grain production, consumption, and reserves on the Qinghai-Tibet Plateau were unbalanced. Only 27.19% of the counties could achieve a balance between grain production, consumption, and storage, and most counties had grain shortages. 3) The total grain deficit on the Qinghai-Tibet Plateau was about 1.82 million t, and the grain deficit in agricultural areas, pastoral areas, and semi-agricultural and semi-pastoral areas were 1.24 million t, 331600 t, and 241400 t, respectively. 4) The grain storage infrastructure system on the Qinghai-Tibet Plateau consisted of three vertical levels: two first-level nodes (Xining and Lhasa), 15 second-level nodes, and 114 third-level nodes. 5) In reality, the scale of local grain reserves on the Qinghai-Tibet Plateau was 26.39% lower than the theoretical value. Therefore it is urgent to further increase the scale of local grain reserves. The results can provide policy references for the reform of the grain reserve system in Tibet and Qinghai.

**Keywords:** regional grain reserves; reserve scales; grain depot nodes; spatial location of facilities; Qinghai-Tibet Plateau