

引用格式:殷伟,于会娟,仇荣山,等.陆海统筹视域下的中国食物与营养安全研究[J].资源科学,2022,44(4):674-686.[Yin W, Yu H J, Qiu R S, et al. Food and nutrition security in China from the perspective of land-ocean coordination[J]. Resources Science, 2022, 44(4): 674-686.] DOI: 10.18402/resci.2022.04.03

# 陆海统筹视域下的中国食物与营养安全

殷伟<sup>1</sup>,于会娟<sup>1,2</sup>,仇荣山<sup>1</sup>,韩立民<sup>1,2</sup>

(1. 中国海洋大学管理学院,青岛 266100;2. 中国海洋大学海洋发展研究院,青岛 266100)

**摘要:**食物与营养安全研究是长期粮食安全研究的延伸,也是人民追求健康和美好生活的现实需求,而树立大食物观,统筹陆海食物系统可以更加全面地反映出食物与营养安全状况。本文基于食物营养成分视角,利用食物营养转化模型核算2003—2018年中国食物营养的生产和需求量,运用食物营养富缺指数刻画出中国食物与营养安全的整体态势。结果表明:①中国食物营养成分产量均在增长,但增长速度和食物贡献率有所差异;谷物类是热量、蛋白质和氨基酸的第一大食物来源和增长贡献者,而脂肪和脂肪酸主要来源于肉类;海域食物营养成分产量较小,但在单位营养含量、食物多样性以及未来发展潜力上都存在一定的优势。②考虑人口结构变化,中国食物热量、蛋白质和脂肪的需求总量逐年上升,涨幅分别达到6.9%、7.6%和7.0%,人口增长是中国食物营养需求增长的第一大驱动力;而中国食物营养的人日均需求量呈现下降趋势,从侧面反映出中国人口老龄化问题。③中国蛋白质供应一直处于绝对安全水平,热量长期处于相对安全及以上水平,脂肪长期处于相对安全和供应不足的水平。④中国食物损失和浪费量惊人,这也使中国热量和脂肪滞后4~9年进入相对安全和绝对安全水平。

**关键词:**食品安全;营养安全;陆海统筹;食物浪费;食物供需;营养富缺指数;人口;中国

DOI: 10.18402/resci.2022.04.03

## 1 引言

2004年以来,中国粮食产量实现“十八连丰”,目前产能基本稳定在6.5亿t以上,口粮已实现自给自足并有富余。然而,粮食够吃并不意味着能吃得健康、吃得营养,根据联合国粮农组织FAO划分的3种膳食标准,中国2017年仍有约1100万家庭人口无法达到营养充足型(中等)膳食水平,约2.26亿家庭人口无法达到健康型(高等)膳食水平<sup>[1]</sup>,且2018年中国5岁以下儿童因营养不良而消瘦人数有160万,发育迟缓有690万<sup>[2]</sup>。海洋是人类生存和发展的第二空间,海洋水产品为人类提供了丰富的动物性蛋白质、氨基酸、脂肪酸和微量元素,是营养价值较高的优质食物。中国海洋水产品产量由1978年的359.48万t增长至2019年的3065.68万t,年均增长率达到5.37%,海洋水产品产量的增长对提升中国

居民食物营养水平具有重要意义,但在以往的粮食安全体系中,主要研究对象是陆域农产品,海洋水产品常被边缘化甚至忽视,这会导致中国食物与营养安全评价严重失真。在国内人口持续高位、城镇化持续推进、生态环境约束趋紧以及陆域食物增产空间不断压缩的背景下,叠加国际单边主义、保护主义、贸易摩擦以及新冠肺炎疫情的影响和冲击,中国农业食物供给体系面临众多挑战<sup>[3]</sup>。因此,秉承陆海统筹理念,将“蓝色粮仓”纳入食物与营养安全考核体系,对准确把握中国食物安全态势和改善居民食物消费结构具有重大意义<sup>[4]</sup>。

立足中国具体国情和农情,学界对食物安全展开了大量且深入的研究,取得了丰硕的成果,在促进食物稳定增产和推进保障性政策出台等方面发挥了积极作用。需要注意的是,长期以来,中国学

收稿日期:2021-08-23 修订日期:2021-12-16

基金项目:国家社会科学基金重大项目(21&ZD100;18ZDA055);中央高校基本科研业务费专项(202161044)。

作者简介:殷伟,男,河南信阳人,博士生,主要从事农业经济和海洋经济研究。E-mail: yinwei\_123@163.com

通讯作者:于会娟,女,山东高密人,博士,副教授,硕士生导师,研究方向为海洋经济和渔业经济。E-mail: toyhj@126.com

2022年4月

者倾向于将“粮食安全”等同于“食物安全”,在对中国粮食安全进行评价时,部分学者利用宏观总量或是人均占有量等指标与某一安全值对比来衡量中国是否存在粮食风险,例如粮食自给率达到95%或是人均粮食供给量达到400 kg方为安全<sup>[5]</sup>。但由于学界对安全值的设定存在较大争议,一些学者尝试构建评价指标体系对粮食安全进行综合测度和多维评价,重点从支农政策、农业科技、农业生产资料以及粮食仓储、市场和国际贸易等方面展开<sup>[6]</sup>。整体来看,中国粮食安全研究依然注重数量上的安全,对食物质量和营养涉及较少,“农业-食物-营养”之间的有机融合与有效衔接还尚未形成<sup>[7]</sup>,与中国居民食物消费结构由“吃饱”向“吃好”转变的趋势<sup>[8]</sup>也不吻合。因此,转变传统粮食安全观,更加注重食物质量和营养安全以及家庭和个人层面的膳食平衡将是进一步优化中国居民食物消费结构、稳固脱贫攻坚成果<sup>[9]</sup>以及实现“健康中国”的必然选择<sup>[10]</sup>。

食物中常见的人体所需营养成分包括热量、宏量营养素(蛋白质、氨基酸、脂肪和脂肪酸等)和微量营养素(维生素和矿物质等)。在国外研究中,食物营养问题早已被纳入农业政策和农业经济体系中<sup>[11,12]</sup>;国内相关研究相对滞后,但近年来关注热度逐渐升高<sup>[7,13]</sup>。王情等<sup>[14]</sup>利用1 km×1 km全国耕地利用遥感数据和食物进出口数据测算了中国食物供给能力,认为中国食物热量、蛋白质和脂肪三大营养物质产量在小康水平下分别可以供养19.12亿、20.84亿和11.03亿人;封志明等<sup>[15]</sup>和李哲敏<sup>[16]</sup>基于全国人均食物消费统计数据,从食物消费角度出发,认为中国居民食物消费结构已经由单一向多元、由以植物性食物为主向动植物性食物并重的模式转变,但城乡居民膳食营养中的热量、蛋白质和脂肪摄入量差别较大;王祥等<sup>[17]</sup>利用各国食物生产与贸易量以及能量转化因子数据,分析了全球食物热量与蛋白质供给演化特征;基于食物营养数据,张翠玲等<sup>[18]</sup>利用食物消费的经济成本和环境影响等多个约束条件,来制定中国食物消费结构优化方案,结果表明,优化后的食物消费结构中,畜禽肉类在热量和蛋白质供给中的比重将显著下降,豆类、坚果类和奶类在蛋白质供给中的比重将增加。但现有研究在核算食物营养成分时存在以下几个问

题:①忽视了海洋食物以及人口结构的影响,海洋食物是食物供给体系的重要组成部分,而个体食物营养摄入量会因年龄、性别和劳动强度的不同而有较大差别<sup>[8,14,19]</sup>。②在核算精度上,有学者在生产能力上重复计算了畜牧渔业消耗的饲料粮<sup>[20]</sup>,还有学者采用固定营养摄入标准值计算食物需求量且没有考虑食物损失和浪费<sup>[17,21]</sup>,结果与实际存在计算误差。③缺乏基于中国多种类食物的产量数据对食物营养成分进行核算研究。可以看出,现有研究成果对完善中国食物与营养安全研究体系具有重要意义,为进一步的研究提供了有益参考,但也暴露出在研究数据和营养核算方法上有待改进、计算结果与实际存在较大偏差等问题。

综上,树立大食物观,统筹陆海食物资源,从食物营养成分视角探究中国食物与营养安全具有重要意义,同时是一项全新课题<sup>[22]</sup>。为此,本文综合考量陆海食物系统、人口结构、饲料粮核减以及食物损失和浪费等因素对中国实际食物营养产量和需求量的影响,从热量、蛋白质、脂肪等营养成分视角出发,探究中国食物营养生产量和需求量的变化特征以及食物与营养安全动态演变过程,并对中国居民食物营养安全状况作出综合研判,以期为中国食物营养(质量)安全研究提供有益探索,为保障中国食物与营养安全提供政策性指导。

## 2 方法与数据

### 2.1 研究方法

在中国粮食统计和相关研究中,粮食一般只包括稻米、小麦、玉米、豆类、薯类、高粱、谷子和其他杂粮等8类<sup>[23]</sup>,而肉类、水产品类、水果、蔬菜、糖料、油料、奶蛋等食物较少纳入粮食安全研究体系。鉴于上述食物在居民消费结构中同样占有重要地位且富含多种人体必需营养成分,采用涵盖更广的“食物”代替“粮食”开展研究不仅有助于促进粮食数量研究向食物营养研究方向的转变,也更加契合中国居民膳食结构的变化趋势。

食物与营养安全的核心要义是食物营养供给是否可以有效满足食物营养需求,以此为研究思路,即从供给和需求两端探究中国食物与营养安全。如图1所示,研究内容可分为3个步骤:第一步,从供给端核算陆海两大食物体系的食物营养生产量;第二步,从需求端核算考虑人口结构的食物

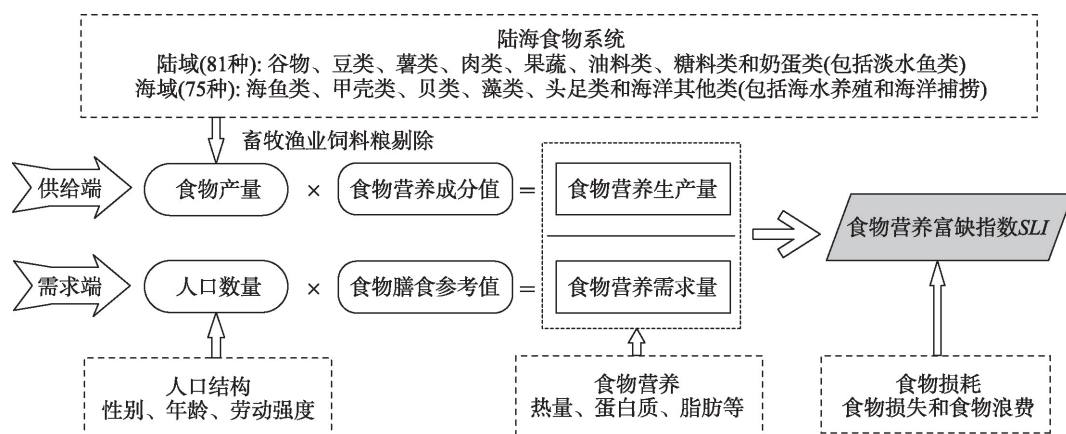


图1 食物与营养研究思路

Figure 1 A conceptual framework of food and nutrition research

营养需求量;第三步,基于中国食物营养生产与需求核算结果,并考虑食物损失和浪费,计算得到食物营养富缺指数。

### 2.1.1 食物营养生产转化模型

在核算食物营养生产结果时,岳天祥等<sup>[24,25]</sup>利用遥感影像技术获取了中国各类农业土地利用面积,并利用营养参数将其生产的食物转化为食物营养初级生产力。借助遥感数据可以实现对空间1 km×1 km尺度上食物生产潜力的精确测算,但难以反映出中国食物生产的结构和技术水平,计算结果远高于中国食物营养实际生产值。以食物产量统计数据为基础开展食物营养核算较为常见,但以往研究大多只关注陆域(尤其是耕地)系统生产的食物,而忽略了海域系统生产的食物,在人口仍在增长和食物消费结构升级的背景下,陆域系统食物生产压力过大,化肥农药的过量施用导致耕地生态环境问题日益突出,即便如此也仍难以满足人们食物消费结构转型的需求。因此,以大食物观统筹陆海食物种类,能使人们更好地利用陆海两种资源,缓解耕地系统过大的食物生产压力和生态环境压力,也有利于满足人们更加健康和营养的饮食需求,同时核算的结果更加精确。为此,本文将陆海两大系统生产的有统计的食物(156种,其中陆域81种、海域75种)均纳入到研究体系中,拓宽了食物系统和资源开发与利用的研究范围。为了避免畜牧渔业所消耗的饲料粮在原粮中重复计算,确保更加真实科学地反映出中国食物营养供应能力,借鉴文献<sup>[26]</sup>中的料肉转化率对食物产量进行了饲料粮剔

除,然后以中国食物实际产量数据为依据核算食物营养。生产转化模型计算公式如下:

$$NPQ_j = \sum_{i=1}^{81} PQ_i \times EP_i \times e_{ij} + \sum_{i=82}^{156} PQ_i \times EP_i \times e_{ij} \quad (1)$$

式中: $NPQ_j$ 表示营养生产量(kcal/t), $j=1,2,3,4,5$ 分别表示热量(En)、蛋白质(Pro)、氨基酸(AA)、脂肪(Fat)和脂肪酸(FA); $PQ_i$ 表示第*i*种食物( $1 \leq i \leq 81$ 为陆域食物, $82 \leq i \leq 156$ 为海域食物)的产量(t); $EP$ 表示食物可食用比例(%); $e$ 表示单位食物营养成分含量(kcal/g)。

### 2.1.2 食物营养需求转化模型

食物营养需求核算是探究食物与营养安全的关键环节,现有研究成果主要采用全国人均食物消费统计量、国内产量加上净进口量<sup>[27]</sup>、人均固定营养需求值等作为营养核算的基础数据,但都未考虑到人口结构对食物营养需求的影响,也无法准确反映出健康饮食下的营养需求量,因此,核算结果往往高于中国食物营养实际需求值。年龄、性别和劳动强度是人口结构中影响食物营养需求的重要因素,为此,以《中国居民膳食营养素参考摄入量(2013版)》中的营养需求数据为基础,将人口年龄、性别和劳动强度纳入考量范围,确保核算结果更加贴近中国实际需求。需求转化模型计算公式如下:

$$NRQ_j = \sum_{n=1}^{18} \sum_{s=1}^2 Pop_{nsl} \times RNI_{nsl} \quad (2)$$

式中: $NRQ_j$ 表示营养需求量, $j=1,2,3$ 分别表示热量(En)、蛋白质(Pro)、脂肪(Fat); $Pop_{nsl}$ 表示第*n*个年龄段(将所有年龄分为18个阶段, $n=1, \dots, 18$ )下*s*



2022年4月

性别( $s=1$ 为男性, $s=2$ 为女性) $l$ 劳动强度( $l$ =中等劳动强度)的人口数量; $RNI$ 表示中国居民膳食营养素推荐摄入量。

### 2.1.3 食物营养富缺指数

食物营养富缺指数是一定时期内食物营养生产量与需求量的比值,衡量了食物营养供给和需求端的匹配程度,是探究食物与营养安全的重要指标,计算公式如下:

$$SLI = \frac{(NPQ/Pop)/365}{(NPQ/Pop)/365} \quad (3)$$

式中: $SLI$ 表示人日均意义上的食物营养富缺指数, $SLI \in (0, +\infty)$ 。为更加清晰地刻画中国食物营养安全态势,借鉴相关食物安全研究的界定阈值<sup>[28-31]</sup>,将 $SLI \leq 0.9$ 定义为食物营养供给不足, $0.9 < SLI < 1.2$ 定义为食物营养供应相对安全, $SLI \geq 1.2$ 定义为食物营养供应绝对安全。

FAO将收获、运输、储存、加工、以及零售等环节的粮食损耗划分为食物损失(Food Loss)和食物浪费(Food Waste)两部分。其中,食物损失是指在收获、运输、储存以及加工等环节中,由于客观技术因素造成的食物质量或数量下降;食物浪费是指食物在零售和消费环节中,由于主观可控因素造成的食物质量或数量下降。现有成果在食物与营养供给研究中,尚未定量考虑食物损失与浪费,本文借鉴胡越等<sup>[32]</sup>和FAO<sup>[33]</sup>成果中的食物损失比例和浪费比例(表1),对中国实际食物营养生产量( $NPQ$ )进行了平减,以期更加真实地反映出中国食物营养富缺指数变化特征,并为进一步探究食物浪费减损在食物营养安全中的作用与贡献提供基础。计算公式如下:

$$NPQ_k = NPQ(1 - RFL - RFW) \quad (4)$$

式中: $NPQ_k$ 中的 $k=1, 2, 3$ 分别代表食物实际营养生产量、减去损失部分的食物营养生产量、减去损失和浪费部分的食物营养生产量, $RFL$ 表示食物损失

比例, $RFW$ 表示食物浪费比例。

## 2.2 数据来源与处理

由于所需数据量宏大,考虑到研究时序的连续性以及数据的完整性,选取2003—2018年数据对中国食物与营养安全进行动态演变分析。研究数据主要包括食物产量数据、食物营养成分数据、居民膳食营养数据和人口数据4个部分。食物产量数据主要来源于《中国农业年鉴》(2004—2019年)、《中国农业统计资料》(2004—2019年)、《中国渔业统计年鉴》(2004—2019年)和FAO数据库(<http://www.fao.org/faostat/zh/#data>);食物营养成分数据主要来源于《中国食物成分表:标准版(第6版)》第一册和第二册;居民膳食营养数据主要来源于中国营养学会发布的《中国居民膳食营养素参考摄入量(2013版)》;人口数据主要来源于国家统计局(<http://data.stats.gov.cn/>)中的人口抽样数据(2003—2018年)。少量食物营养成分缺失,采用同属种食物代替,少部分食物产量和人口数据缺失,采用均值平滑法补充完整。

根据食物生产数据类型,将陆域食物划分为谷物类、豆类、薯类、肉类(包括淡水鱼类)、果蔬类、油料类、糖料类和奶蛋类共8类,将海域食物(包括海水养殖水产品 and 海洋捕捞水产品)划分为海鱼类、甲壳类、贝类、藻类、头足类和海洋其他类共6类,一共涉及陆域81种和海域75种食物,基本涵盖了中国居民日常食物消费的主要类型。人体所需要的食物营养成分众多,无法一一统计,依据其重要性、可得性以及借鉴相关研究成果<sup>[14,34,35]</sup>,选取热量、蛋白质、脂肪等指标探究中国食物与营养安全。

## 3 结果与分析

### 3.1 陆海食物系统营养成分生产量变化

#### 3.1.1 热量

整体来看,2003—2018年中国食物生产的热量总量呈现上升趋势(图2a),年均增长率为3.65%,并

表1 各种类食物的损失和浪费比例

Table 1 Proportion of loss and waste of various types of food

食物种类	谷物类	豆类	薯类	肉类	果蔬类	油料类	糖料类	奶蛋类	水产品
损失比例/%	8.9	8.9	14.0	10.9	12.7	12.4	6.9	2.2	13.8
浪费比例/%	8.1	8.1	4.5	7.5	10.6	5.5	6.0	4.9	5.8
参考文献	[32]	[32,33]	[32]	[32]	[32]	[32]	[32,33]	[32]	[32]

注:损失(浪费)比例=损失(浪费)部分/生产量。

可以划分为两个阶段。第一阶段为2003—2015年的稳定增长阶段,从2003年的 $1043 \times 10^{12}$  kcal增长到2015年的 $1786 \times 10^{12}$  kcal,年均增长率为4.67%;第二阶段为2015—2018年的平稳停滞阶段,这与中国粮食产量变化高度吻合。从具体食物种类来看,谷物类是中国食物热量的第一大稳定来源,从2003年的 $414 \times 10^{12}$  kcal增长到2018年的 $994 \times 10^{12}$  kcal,且其贡献率<sup>①</sup>不断攀升,由39.78%增长到55.67%(2016年峰值为57.00%)。肉类和果蔬类热量供应绝对量持续上升,年均增长率分别为1.65%和2.70%,但其贡献率呈现下降趋势,其中肉类从18.10%下降到13.51%,果蔬类从16.85%下降到14.69%。豆类、油料类和奶蛋类热量贡献率在3%~8%之间。

对比陆海食物系统热量供应可发现,陆域食物在中国食物热量供应中占有绝对优势,年均供应 $1490 \times 10^{12}$  kcal,年均增长3.69%;海域食物热量年均供应 $16.99 \times 10^{12}$  kcal,年均增长0.47%。陆域食物热量贡献率一直在98%以上,且不断上升;2018年海域食物供应的热量占比已低于1%,其中,海域食物从获取方式上来看,海水养殖食物热量占比从2003年的38.86%不断上升到2018年的58.15%,海洋捕捞食物热量贡献则不断下降。海域食物热量贡献率较低,一方面是由于产量较少,另一方面也符合日常居民膳食特征,即海洋食物一般作为菜肴满足消费者的口味偏好、食物多样性以及优质蛋白等营养素需求,较少作为需求量较大的主食。由此可以看出,中国食物热量供应能力和生产来源趋于集中

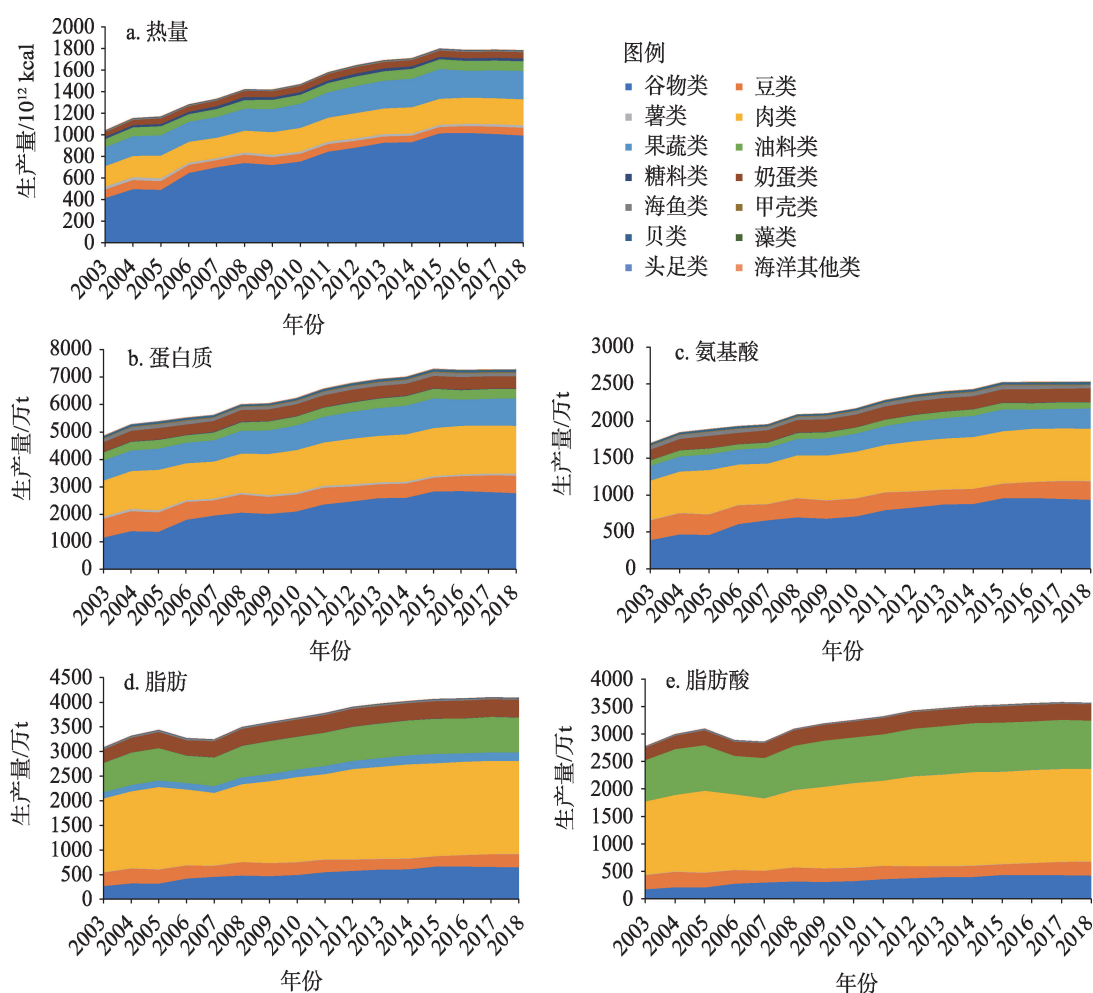


图2 2003—2018年中国食物营养成分生产量变化

Figure 2 Changes of food nutrient production in China, 2003-2018

① 贡献率=某类食物营养产量/营养总产量。

2022年4月

化,陆域主要集中在谷物类,海域主要集中在海水养殖食物上。

### 3.1.2 蛋白质

2003—2018年中国食物生产的蛋白质总量稳定上升(图2b),年均增长率为2.73%。从具体种类来看,谷物类提供蛋白质含量出现较大幅度增长,由1158万t(2003年)增长至2777万t(2018年),增长了1.40倍,贡献率也由23.81%增长至38.12%,成为蛋白质第一来源。2003年肉类提供蛋白质达到1310万t,占比26.94%,虽后续肉类蛋白质产量仍有增加,但贡献率出现波动下降,2018年下降到23.94%。2003年的果蔬类和豆类提供的蛋白质含量相当,但果蔬类蛋白质产量以2.02%的年均增长率,实现由734万t到990万t(2018年)的增长,而豆类蛋白质产量则波动于600万t上下;相同的是,两者蛋白质贡献率均有下降。油料类和奶蛋类每年提供的蛋白质产量在290万~460万t之间,贡献率波动在4%~8%之间。动物性蛋白相比于植物性蛋白具有更好的人体吸收效果和营养价值,是一类优质蛋白。2003—2018年,中国食物中提供的动物性蛋白和植物性蛋白含量均在不断增长,但植物性蛋白占比更高,两者年均产量比例达到1.87:1,且植物性蛋白增长速度(3.32%)快于动物性蛋白(1.69%)。

对比陆海食物系统蛋白质供应,陆域食物蛋白质在总量上远高于海域,但海域食物单位蛋白质含量远高于陆域。总量上,陆域食物蛋白质年均供应6098万t,年均增长2.83%;海域食物蛋白质年均供应242万t,年均增长0.27%,其中,海域食物中以海水养殖方式获取的蛋白质比例不断攀升,从2003年的31.25%增长到2018年的52.00%。单位含量上,陆域食物蛋白质平均含量为3.60 g/100 g,而海域食物蛋白质平均含量达到7.70 g/100 g,是前者的2.14倍。陆海食物系统提供的蛋白质产量比例由2003年的95.16:4.84变化为2018年的96.63:3.37,海域食物蛋白质供应比例出现下降,但每年其供应的优质动物性蛋白质含量占比在10%左右。

### 3.1.3 氨基酸

氨基酸是构成生命体中蛋白质的基本单元,是人体吸收的蛋白质中的实际营养成分<sup>[36]</sup>。人体必需氨基酸共9种(其中一种为婴儿必需),依赖于外源性食物供应补充。中国食物氨基酸总产量变化与

蛋白质基本一致(图2c),从2003年的1703万t增长到2018年的2534万t,年均增长2.68%。具体食物氨基酸总产量中,谷物类>肉类>果蔬类>豆类>奶蛋类>油料类>海鱼>贝类>甲壳类>藻类>薯类>糖料类>头足类>海洋其他类。其中,肉类氨基酸贡献率明显高于肉类蛋白质供应量,高出接近5个百分点,这表明肉类相对富含氨基酸。相较陆域食物,海域食物提供的氨基酸含量相对较高,虽绝对量变化不大,但贡献率达到了3.5%~5.2%。

### 3.1.4 脂肪

中国食物脂肪生产量整体呈现上升趋势(图2d),年均增长率为1.90%,种类来源主要集中在肉类、油料类、谷物类、奶蛋类和豆类5类。肉类提供的脂肪以年均1.53%的速度,从2003年的1499万t增长到2018年的1882万t,是满足国内居民食物脂肪需求的第一大来源,但随着脂肪总产量的增大,肉类脂肪贡献率出现了下滑,从48.58%下降到45.98%。油料类提供的脂肪绝对量变化不大,在600万~720万t之间波动,增长幅度较小,仅为1.16%,贡献率也存在小幅下降。谷物类脂肪增长最快,由2003年271万t增长到2018年650万t,年均增长6.00%。奶蛋类提供的脂肪稳定增长(1.92%),总量略高于豆类。豆类脂肪供应量仅在200万~300万t,且波动性较大,原因在于中国大豆自产量较少,国内生产受国际市场不稳定性冲击明显。2003—2018年中国动物性脂肪供应量略高于植物性脂肪,但增长率低于植物性脂肪。动物性脂肪和植物性脂肪对人体健康的作用和营养价值不同,但整体看,动物性脂肪摄入过多,易引发高胆固醇以及各种心血管疾病,而植物性脂肪更适合日常长期食用。

对比陆海食物系统脂肪供应,陆域食物在脂肪供应上存在绝对数量优势,海域食物供应数量变化不大。陆域食物脂肪年均供应3659万t,贡献率保持在98%~99%之间,年均增长率为1.93%;海域食物脂肪每年供应产量在38万~45万t之间波动。其中,海洋食物从获取方式上来看,海水养殖食物脂肪占比不断上升,从2003年的28.66%增长到2018年的45.24%,但依旧没有超过海洋捕捞;从食物种类上看,海鱼类食物贡献了超过62%的脂肪生产量,其次为贝类,年均贡献率为28%,其他海洋食物脂肪含量相对较少。



### 3.1.5 脂肪酸

中国食物产出的脂肪酸总量整体呈现出小幅度上涨(图2e),从2003年的2780万t增长到2018年的3572万t,年均增长1.68%。脂肪酸的食物来源主要集中在肉类、油料类、谷物类、奶蛋类和豆类5类,总贡献率超过98%。其中,饱和脂肪酸多来源于动物性脂肪,为人体非必需脂肪酸;多不饱和脂肪酸多来源于植物性脂肪且多为必需脂肪酸,这也说明了植物性油脂更利于居民膳食健康。海域食物脂肪酸供应量与陆域差距较大,陆海比例为99.21:0.79,然而从单位海洋食物脂肪酸含量来看,海洋食物往往富含多不饱和脂肪酸,例如产量较多的海带,每100g含有0.7g多不饱和脂肪酸,是面粉和稻米含量的2~4倍。

从中国食物供应的5类主要营养成分生产量变化来看,各类营养成分产量均在增长,热量、蛋白质和氨基酸增长较快,脂肪和脂肪酸增长较慢,食物营养成分的增长为保障中国食物营养供应安全提供了基础条件。谷物类在热量、蛋白质和氨基酸增长中贡献最大,肉类在脂肪和脂肪酸增长中贡献最大,这说明了谷物类和肉类的产量增长对提升中国居民食物营养消费水平具有重要意义。动物性蛋白和脂肪增长速度都低于植物性蛋白和脂肪,说明

中国优质蛋白质食物供应依然不充分,但居民对健康食用植物油脂的摄入认识已有改善。海域食物由于产量和增长的限制,所提供的食物营养成分数量较小且增长速度较低,但海域食物在居民食物消费的多样性以及单位营养成分含量(动物性蛋白、氨基酸、多不饱和脂肪酸)上展现出不可替代的作用和价值,并且以海水养殖方式提供的食物营养成分不断增长。根据 Costello 等<sup>[37]</sup>的研究预测,到2050年,全球海洋水产品将可能增加2100万~4400万t,是当前产量的36%~74%,这一数字是2050年98亿人口全部肉食需求增加量的12%~25%,这意味着未来海洋食物将在人类食物营养与健康中扮演更加重要的角色,而海水养殖是实现这一目标的重要途径。另外,岳天祥等<sup>[24]</sup>基于遥感数据对中国食物供应潜力进行了测算,作为一种最大化的产量评估,其测算出中国陆域生态系统初级生产力可提供 $4480 \times 10^{12}$  kcal的热量、13033万t的蛋白质和5044万t的脂肪,该结果远高于本文测算的中国食物营养生产量,这也说明了中国陆海食物系统营养生产能力仍存在较大的提升空间。

### 3.2 人口结构下食物营养需求量变化

表2为利用公式(2)计算出中国食物营养需求量后,根据人口总量数据,计算得到的各营养成分

表2 2003—2018年中国食物营养需求量变化

Table 2 Changes of food nutrition demand in China, 2003-2018

年份	营养需求总量			营养需求人日均量		
	热量/ $10^{12}$ kcal	蛋白质/万t	脂肪/万t	热量/kcal	蛋白质/g	脂肪/g
2003	1039.89	2693.87	3377.71	2204.67	57.11	71.61
2004	1047.62	2715.78	3402.71	2208.05	57.24	71.72
2005	1049.32	2722.75	3408.94	2198.63	57.05	71.43
2006	1057.79	2746.40	3435.98	2204.71	57.24	71.61
2007	1063.41	2762.44	3454.19	2205.01	57.28	71.62
2008	1068.60	2777.45	3471.18	2204.54	57.30	71.61
2009	1073.29	2789.58	3486.47	2203.46	57.27	71.58
2010	1077.91	2799.26	3501.92	2202.35	57.19	71.55
2011	1082.53	2808.94	3517.37	2201.24	57.12	71.52
2012	1086.58	2820.42	3530.58	2198.55	57.07	71.44
2013	1090.54	2832.35	3543.43	2195.73	57.03	71.34
2014	1094.95	2845.57	3557.81	2193.17	57.00	71.26
2015	1098.84	2857.67	3570.71	2190.07	56.96	71.17
2016	1103.89	2872.75	3587.26	2187.26	56.92	71.08
2017	1108.41	2886.38	3602.08	2184.58	56.89	70.99
2018	1111.92	2898.26	3613.36	2183.18	56.91	70.95

2022年4月

人日均需求量。由于中国居民膳食氨基酸和脂肪酸的建议摄入值缺失且不易收集,因此选取热量、蛋白质和脂肪3项作为参考指标。

随着中国人口总量的不断增长,食物营养需求总量也在逐渐上升。热量由2003年的 $1039.89 \times 10^{12}$  kcal增长到2018年的 $1111.92 \times 10^{12}$  kcal,蛋白质由2693.87万t增长到2898.26万t,脂肪由3377.71万t增长到3613.36万t,热量、蛋白质和脂肪需求总量涨幅分别达到6.9%、7.6%和7.0%,这种涨幅差异说明中国居民在食物膳食结构中应更加注重富含蛋白质食物的摄入。人口增长是中国居民食物营养需求增长的第一驱动力,根据中国社会科学院人口与劳动经济研究所等发布的《人口与劳动绿皮书:中国人口与劳动问题报告No.19》预测,中国总人口将在2029年达到峰值14.42亿,本文基于2003—2018年中国食物营养需求增长趋势,预测2029年中国食物热量、蛋白质和脂肪的营养需求量将超过 $1176.32 \times 10^{12}$  kcal、3066.10万t和3822.61万t。

从食物营养的人日均需求量上来看,热量、蛋白质和脂肪每人每日的需求量均出现下降。虽然这种下降幅度低于1%,但从侧面可以反映出中国的人口结构问题,即人口老龄化问题。人体所需的食物营养成分会因性别、年龄和劳动强度不同而有所差异,一般认为食物营养摄入量男性比女性多,与年龄成倒“U”型关系,与劳动强度成正比关系。在中国男女比例由2003年的1.046上升到2018年的1.062,以及劳动强度属性相对稳定的情况下,中

国食物营养需求的人日均量理应上涨。但结果与此并不一致,实际原因出现在人口年龄结构上,在此阶段,中国人口老龄化程度愈加严重,老年抚养比从2003年的10.7%上升到2018年的16.8%,且大于50岁人群的食物营养需求量明显下降,因而出现了全国食物营养人日均需求量的下降。

### 3.3 中国食物营养成分富缺指数演变

#### 3.3.1 热量富缺指数

2003—2018年,中国热量富缺指数整体呈现上升趋势,食物热量供应形势向好,长期处于相对安全及以上水平(图3)。热量实际产量的 $SLI_{Enc}$ 在2003—2005年处于相对安全水平,在2006年之后一直保持在绝对安全水平上;减去损失部分的 $SLI_{Enc}$ 在2003—2009年处于相对安全水平,2010年提升到绝对安全水平;减去损失和浪费部分的 $SLI_{Enc}$ 在2003年处于供应不足水平,2004—2010年为相对安全水平,2011年提升到绝对安全水平。16年来中国食物热量损失部分的均值达到 $147.84 \times 10^{12}$  kcal,浪费部分的均值达到 $120.71 \times 10^{12}$  kcal,分别可满足1.84亿和1.50亿人一年的食物热量需求,食物损失部分使中国热量供应能力转为绝对安全滞后4年,食物损失和浪费部分使中国热量供应能力转为绝对安全滞后5年。以上说明,中国食物热量供应整体偏好,基本不存在食物热量供应不足,这与中国政府高度重视国内粮食安全密切相关,虽然中国粮食安全战略根据国内外形势变化不断调整,但口粮需求一直可以满足,这就在一定程度上保证了食物热量的充

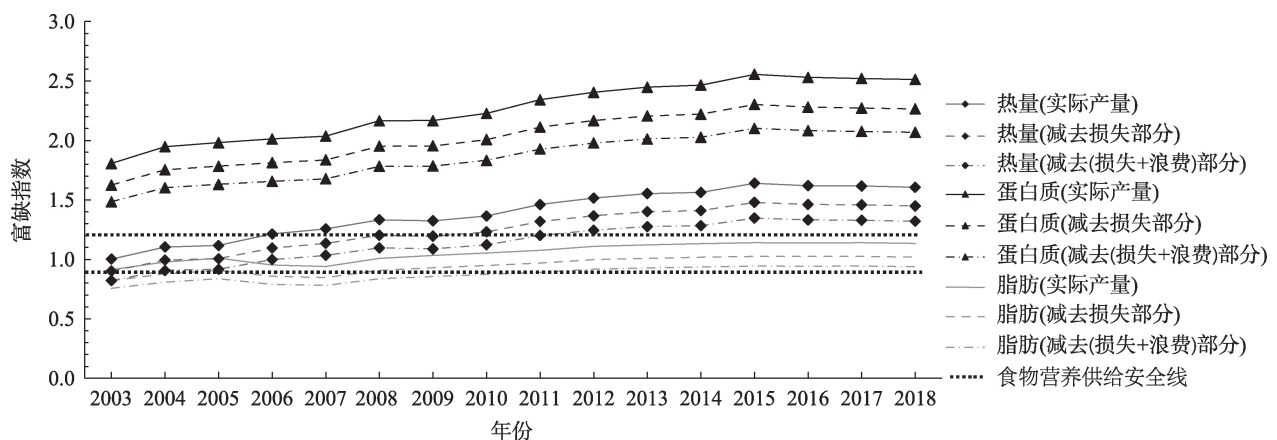


图3 2003—2018年中国食物营养成分富缺指数变化

Figure 3 Changes of food nutrient surplus and lack index in China, 2003-2018



足供应。

### 3.3.2 蛋白质富缺指数

2003—2018年,中国蛋白质富缺指数整体呈现上升趋势,且蛋白质供应一直处于绝对安全水平(图3)。中国不仅蛋白质实际产量的 $SLI_{Pro}$ 在这16年间一直处于高位( $>1.8$ ),而且减去损失部分的 $SLI_{Pro}$ 、减去损失和浪费部分的 $SLI_{Pro}$ 都超过了1.2,始终维持在绝对安全水平。16年来,中国食物蛋白质损失部分的均值达到627.52万t,浪费部分的均值达到496.09万t,分别可满足3.01亿和2.38亿人一年的食物蛋白质需求。以上说明,中国食物蛋白质生产已足够满足国内需求,科学合理的分配流通机制将是保障全体国民充足蛋白质消费的关键,同时也侧面反映出中国食物种类的供给与需求之间的不平衡问题。结合中国食物蛋白质产量中植物性蛋白比例较大,优质动物性蛋白偏少的情况可发现,还存在着食物蛋白生产的内部结构性问题。为此,中国应减少低效食物蛋白质的生产面积,调整优质蛋白质生产结构,重点在于扩大大豆、青贮玉米等饲料作物的生产面积,这也是当前中国农业供给侧改革的重点。

### 3.3.3 脂肪富缺指数

2003—2018年,中国脂肪富缺指数整体呈现波动上升趋势,但脂肪供应长期处于相对安全和供应不足的水平(图3)。脂肪实际产量的 $SLI_{Fat}$ 一直停留在0.9~1.2之间,最高值出现在2015年,也仅为1.14;减去损失部分的 $SLI_{Fat}$ 在2003—2007年处于供应不足水平,在2008年转为相对安全水平;减去损失和浪费部分的 $SLI_{Fat}$ 在2003—2011年处于供应不足水平,相比较于只减去损失部分,滞后4年于2012年转为相对安全水平。16年来,中国食物脂肪损失部分的均值达到372.49万t,浪费部分的均值达到264.06万t,分别可满足1.43亿和1.01亿人一年的食物脂肪需求。以上说明,中国食物脂肪供应相对不足,即使是未减去损失和浪费部分也没有达到绝对安全的水平,存在一定程度上脂肪营养不足的客观事实。结合中国食物的国际进出口情况可以发现,肉类和豆类(特别是大豆)作为食物脂肪的主要来源,中国对其净进口依赖尤为明显,进一步验证了中国食物脂肪的自给短板。在2021年中央一号文件中,明确指出鼓励发展青贮玉米等优质饲草饲料

生产,稳定大豆生产,多措并举扩大油菜、花生等油料作物种植面积。还有一点值得注意,中国食物脂肪产量不足与人口肥胖率不断抬升<sup>[38]</sup>的事实相悖,存在的原因包括但不限于这几个方面:一是经济差异背景下的食物脂肪消费不平衡,二是进口食物脂肪的大量补充,三是家庭膳食结构的不合理等。

结合图3中3种模型中中国食物营养富缺指数变化,可以发现,中国食物损失和浪费已经成为严重影响中国食物营养安全的隐患之一,其年均食物损失和浪费总量可供养2.44亿~5.39亿人的食物营养基本需求,这一数字令人惊愕。在现有技术和社会消费水平下,完全避免食物损失和浪费也不切实际,但减少不必要损失和浪费还是可以实现的,特别是食物浪费的部分。成升魁等<sup>[39]</sup>、Xue等<sup>[40]</sup>认为食物浪费已成为阻碍中国粮食安全保障、经济社会可持续发展的严重问题,减少食物浪费不仅是国家宏观层面的资源环境保护措施,也是家庭个人微观层面的经济理性选择。紧随而来的是中国《反食品浪费法》(2021年4月29日)的公布实施,以立法形式明确各类相关主体责任,建立反食品浪费长效机制,发挥法律在厉行节约、防止食品浪费上的引领和规范作用。同时,FAO指出,减少食物损失和浪费与食物营养安全之间的影响因素复杂,但可以确定的是,减少食物损失和浪费将有助于改变农业生态环境趋紧的现状以及减少农业温室气体排放量<sup>[33]</sup>,并且,在资源节约和经济发展方面同样产生积极效应<sup>[32]</sup>。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

本文基于食物营养成分视角,核算出2003—2018年中国食物营养成分的生产量和需求量,并剖析了其时间演变特征,最后利用食物营养富缺指数刻画出中国的食物与营养安全整体态势,得到以下结论:

(1)中国各类食物营养成分产量均在增长,但增长速度和食物贡献率有所不同,且陆海食物系统产量差距较大。食物营养生产量增长速度依次为热量>蛋白质>氨基酸>脂肪>脂肪酸。谷物类是热量、蛋白质和氨基酸的第一大食物来源和第一大增长贡献者,也是脂肪和脂肪酸的第三大食物来源;肉类是脂肪和脂肪酸的第一大食物来源和第一

2022年4月

大增长贡献者,也是热量、蛋白质和氨基酸的第二大食物来源。海域食物提供的营养成分相比较于陆域食物,绝对量上差距很大,但单位营养(特别是蛋白质)含量优于陆域食物,且在食物多样性上发挥了不可替代的作用。

(2)中国食物热量、蛋白质和脂肪的需求总量在逐年上升,涨幅分别达到6.9%、7.6%和7.0%。人口增长是中国食物营养需求增长的第一大驱动力,根据人口和食物营养需求增长趋势预测,中国食物热量、蛋白质和脂肪营养需求总量在人口总量达到峰值时,将超过 $1176.32 \times 10^{12}$  kcal、3066.10 万 t 和 3822.61 万 t。而中国食物营养的人日均需求量呈现下降趋势,侧面反映出中国人口老龄化问题。

(3)从食物营养成分富缺指数来看,中国蛋白质供应在研究时段内一直处于绝对安全水平,热量长期处于相对安全及以上水平,脂肪长期处于相对安全和供应不足的水平。减去食物损失部分,热量滞后4年进入绝对安全水平,脂肪至少滞后5年进入相对安全水平;减去食物损失和浪费部分,热量滞后5年进入绝对安全水平,脂肪至少滞后9年进入相对安全水平;而中国蛋白质供应在减去食物损失和浪费后依然处于绝对安全水平。中国食物损失和浪费量惊人,其年均量可满足2.44亿~5.39亿人的食物营养基本需求。

## 4.2 讨论

站在中国经济转型升级和居民生活水平提高的宏观背景下,食物营养在生产和消费端的安全性、多样性、合理性、低碳性以及柔韧性等将是未来农食体系的主要发展特征。结合本文研究成果,引出以下几点思考与探讨。

(1)树立大食物观,统筹陆海两大食物系统对保障中国食物与营养安全具有重大意义。海洋食物富含优质营养素,在未来人类食物体系中发挥越来越重要的作用,而陆域食物生产正面临食物生产压力过大,陆域生态环境趋紧,增产空间不断压缩等问题,将一切有利于人体健康的食物纳入到大食物体系中,有利于拓宽食物的获取范围,更好地利用海洋资源,这不仅能多举措保障中国食物安全,也可以更加充分的保障中国居民营养膳食均衡。

(2)食物与营养安全是中国粮食安全研究的进一步延伸,重量形态下的数量研究将逐渐转向营养

形态下的均衡研究。在中国厚重的农业文化影响下,粮食安全研究格外受到重视,够不够吃的问题是国内农业经济学界长期关注的热点。然而,随着中国整体经济实力和居民收入水平得到快速提升,人们对海洋水产品消费和营养均衡的需求更加强烈,不再局限于数量上的满足。因此,从不同维度、视角和尺度开展中国食物与营养研究具有重要的现实意义。

(3)食物营养是人体必需,但营养过多无益,调整中国食物营养生产结构是损有余补不足的关键,也是当前中国农业供给侧结构性改革的重点。从中国食物营养富缺指数来看,中国蛋白质供应充足,热量供给基本满足,但脂肪供应明显不足,反映在食物生产结构调整中,就是要在保口粮、保谷物的前提下,调整食物种植结构,适当增加油料类和饲草作物等种植面积,调减籽粒玉米,因地制宜增加青贮玉米和大豆、花生等植物油料种植面积。

(4)中国食物损失和浪费现象非常普遍,减少食物损失和浪费需要个人、家庭、社会和国家等多层面的共同努力。在个人和家庭层面,要推崇珍惜食物、理性消费、合理搭配日常膳食的生活理念;在社会层面,要积极营造节约光荣、浪费可耻、拒绝攀比的良好风气;在国家层面,要加强公共政策干预和法律制止,充分发挥政策的激励作用和法律的约束作用。

(5)海水养殖是未来海洋食物获取的主要方式,而“深蓝渔业”作为新兴战略性产业可发挥重要作用。随着气候变化、海洋生物多样性下降以及海洋过度捕捞导致的近海渔业资源衰竭等问题,海水养殖逐渐成为中国获取海洋食物的主要方式且发展前景光明<sup>[41,42]</sup>，“深蓝渔业”以深远海空间为依托,发展海洋鱼类养殖,不仅可以充分利用海洋资源补充食物供给,还可以缓解陆地和近海生态环境压力。因此,加快推进“深蓝渔业”技术装备研发、保障性政策出台以及国际间合作应是当前任务之需。

(6)本文计算的热量和蛋白质产量(2003—2004年)低于王情等<sup>[41]</sup>计算的结果,脂肪产量则高于其结果;而与李国景等<sup>[27]</sup>计算的结果比较,本文计算的热量和蛋白质产量(2006—2016年)高于该结果,脂肪产量则低于该结果。原因可能是由于数据选择范围的差异、技术方法的不同以及本文剔除了

饲料粮,在数据处理过程中更细致。

### 4.3 展望

本文的食物营养需求量是根据居民膳食营养摄入参考建议值计算得到的,这是一种理想情况下的健康摄入,然而在日常饮食中,人们往往为了确保营养成分的充分摄入,一般会多量饮食,而多量的部分并不会算作食物损失和浪费,所以本文计算的食物营养需求量与实际需求量相比会偏低。食物营养素种类较多,本文只选取了热量,蛋白质,脂肪等指标,并未涉及维生素、矿物质等微量元素,这些营养素对人体需求同样重要。在中国经济和城镇化快速发展的背景下,居民经济收入和城镇化都会对食物消费结构产生较大的改变。国外食物资源是满足中国食物需求的重要补充,国际市场和资源体系对中国食物与营养安全具有深远影响。如何将上述因素科学纳入到食物与营养安全研究中将是下一步值得深入探究的方向。

**致谢:**感谢南昌大学经济管理学院姚成胜教授提供的指导与帮助。

### 参考文献(References):

- [1] FAO, IFAD, UNICEF, et al. Transforming Food Systems for Affordable Healthy Diets[R]. Rome: The State of Food Security and Nutrition in the World 2020, 2020.
- [2] FAO, IFAD, UNICEF, et al. Safeguarding Against Economic Slowdowns and Downturns[R]. Rome: The State of Food Security and Nutrition in the World 2019, 2019.
- [3] 中国农业大学全球食物经济与政策研究院, 浙江大学中国农村发展研究院, 南京农业大学国际食品与农业经济研究中心, 等. 2021 中国与全球食物政策报告[R]. 北京: 中国农业发展论坛, 2021. [AGFEP, CARD, CIFAE, et al. 2021 China and Global Food Policy Report[R]. Beijing: 2021 China Agricultural Development Forum, 2021.]
- [4] 韩立民, 李大海. “蓝色粮仓”: 国家粮食安全的战略保障[J]. 农业经济问题, 2015, 36(1): 24–29. [Han L M, Li D H. Blue food system: Guarantee of China's food security[J]. Issues in Agricultural Economy, 2015, 36(1): 24–29.]
- [5] 李政通. 中国粮食生产要素的技术效率及其粮食安全演变效应研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2018. [Li Z T. Research on the Technical Efficiency of Grain Production Factors and Its Effect on the Evolution of Grain Security in China[D]. Nanchang: Nanchang University, 2018.]
- [6] 唐丽霞, 赵文杰, 李小云. 全球粮食安全评价体系的深层逻辑分析[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2020, (5): 151–159. [Tang L X, Zhao W J, Li X Y. The deep logical analysis of global food security evaluation system[J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition), 2020, (5): 151–159.]
- [7] 陈志钢, 毕洁颖, 聂凤英, 等. 营养导向型的中国食物安全新愿景及政策建议[J]. 中国农业科学, 2019, 52(18): 3097–3107. [Chen Z G, Bi J Y, Nie F Y, et al. New vision and policy recommendations for nutrition-oriented food security in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(18): 3097–3107.]
- [8] 姚成胜, 殷伟, 李政通. 中国粮食安全系统脆弱性评价及其驱动机制分析[J]. 自然资源学报, 2019, 34(8): 1720–1734. [Yao C S, Yin W, Li Z T. The vulnerability assessment and driving mechanism analysis of China's food security system[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(8): 1720–1734.]
- [9] 高杨, 郑志浩. 不同补贴方式对中国农村低收入家庭食物安全改善效果比较[J]. 资源科学, 2021, 43(10): 1990–2002. [Gao Y, Zheng Z H. Comparison of the effects of different subsidy forms on improving food security of low-income rural households in China[J]. Resources Science, 2021, 43(10): 1990–2002.]
- [10] 农业部. 基于大食物理念的国家粮食安全保障问题研究[R/OL]. (2017–01–07) [2021–12–16]. [http://www.jhs.moa.gov.cn/zlyj/201904/t20190418\\_6181046.htm](http://www.jhs.moa.gov.cn/zlyj/201904/t20190418_6181046.htm). [Ministry of Agriculture of the PRC. Research on National Food Security Based on the Idea of Big Food[R/OL]. (2017–01–07) [2021–12–16]. [http://www.jhs.moa.gov.cn/zlyj/201904/t20190418\\_6181046.htm](http://www.jhs.moa.gov.cn/zlyj/201904/t20190418_6181046.htm).]
- [11] Koehn J Z, Allison E H, Franz N, et al. How Can the Oceans Help Feed 9 Billion People?[M]. London: Academic Press Ltd–Elsevier Science Ltd, 2017.
- [12] Kennedy E, Jafari A, Stamoulis K G, et al. The first program: Food and nutrition security, impact, resilience, sustainability and transformation: Review and future directions[J]. Global Food Security, 2020, DOI: 10.1016/j.gfs.2020.100422.
- [13] 樊胜根. 从国际视野看中国农业经济研究[J]. 农业经济问题, 2020, (10): 4–8. [Fan S G. China's agricultural economics research from an international perspective[J]. Issues in Agricultural Economy, 2020, (10): 4–8.]
- [14] 王情, 岳天祥, 卢毅敏, 等. 中国食物供给能力分析[J]. 地理学报, 2010, 65(10): 1229–1240. [Wang Q, Yue T X, Lu Y M, et al. An analysis of the capacity of China's food provision[J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(10): 1229–1240.]
- [15] 封志明, 史登峰. 近20年来中国食物消费变化与膳食营养状况评价[J]. 资源科学, 2006, 28(1): 2–8. [Feng Z M, Shi D F. Chinese food consumption and nourishment in the latest 20 years[J]. Resources Science, 2006, 28(1): 2–8.]
- [16] 李哲敏. 近50年中国居民食物消费与营养发展的变化特点[J]. 资源科学, 2007, 29(1): 27–35. [Li Z M. Change of Chinese inhabitant's food consumption and nutrition development in the last 50 years[J]. Resources Science, 2007, 29(1): 27–35.]
- [17] 王祥, 牛叔文, 强文丽, 等. 食物贸易视角下的全球食物供需平衡及其演化分析[J]. 自然资源学报, 2020, 35(7): 1659–1671. [Wang X, Niu S W, Qiang W L, et al. Analysis on global food sup-



2022年4月

- ply and demand balance and its evolution from a perspective of food trade[J]. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(7): 1659–1671.]
- [18] 张翠玲, 强文丽, 牛叔文, 等. 基于多目标的中国食物消费结构优化[J]. *资源科学*, 2021, 43(6): 1140–1152. [Zhang C L, Qiang W L, Niu S W, et al. Options of Chinese dietary pattern based on multi-objective optimization[J]. *Resources Science*, 2021, 43(6): 1140–1152.]
- [19] 孙倩, 李晓云, 杨志海, 等. 粮食与营养安全研究评述及展望[J]. *自然资源学报*, 2019, 34(8): 1782–1796. [Sun Q, Li X Y, Yang Z H, et al. Food and nutrition security: A literature review and prospects for research[J]. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(8): 1782–1796.]
- [20] 王莉雁, 肖焱, 饶恩明, 等. 全国生态系统食物生产功能空间特征及其影响因素[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(2): 188–196. [Wang L Y, Xiao Y, Rao E M, et al. Spatial characteristics of food provision service and its impact factors in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(2): 188–196.]
- [21] 袁梦烨, 李晓云, 黄玛兰. 营养视角下的食物消费与粮食需求: 以湖北省城乡居民粮食消费为例[J]. *湖北社会科学*, 2016, (9): 59–64. [Yuan M Y, Li X Y, Huang M L. Food consumption and food demand from the perspective of nutrition: A case study of food consumption of urban and rural residents in Hubei Province [J]. *Hubei Social Sciences*, 2016, (9): 59–64.]
- [22] 刘奇. 以大食物观统筹粮食安全[J]. *瞭望*, 2021, (5): 12. [Liu Q. Coordinate food security with a big food perspective[J]. *Outlook Weekly*, 2021, (5): 12.]
- [23] 姚成胜, 滕毅, 黄琳. 中国粮食安全评价指标体系构建及实证分析[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(4): 1–10. [Yao C S, Teng Y, Huang L. Evaluation index system construction and empirical analysis on food security in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(4): 1–10.]
- [24] Yue T X, Tian Y Z, Liu J Y, et al. Surface modeling of human carrying capacity of terrestrial ecosystems in China[J]. *Ecological Modelling*, 2008, 214(2): 168–180.
- [25] Yue T X, Wang Q, Lu Y M, et al. Change trends of food provisions in China[J]. *Global and Planetary Change*, 2010, 72(3): 118–130.
- [26] 钞贺森, 田旭, 于晓华. 肉类消费结构、饲料安全和粮食安全: 农业“供给侧改革”的一个参照系[J]. *农业现代化研究*, 2017, 38(5): 737–745. [Chao H S, Tian X, Yu X H. Meat consumption structure, feed security, and grain security: Implication for the “supply-side reform” in agriculture[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2017, 38(5): 737–745.]
- [27] 李国景, 陈永福, 焦月, 等. 中国食物自给状况与保障需求策略分析[J]. *农业经济问题*, 2019, (6): 94–104. [Li G J, Chen Y F, Jiao Y, et al. Research on Chinese food self-supply situation and assurance demand strategy[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2019, (6): 94–104.]
- [28] 姚成胜, 殷伟, 黄琳, 等. 中国粮食生产与消费能力脆弱性的时空格局及耦合协调性演变[J]. *经济地理*, 2019, 39(12): 147–156. [Yao C S, Yin W, Huang L, et al. Spatial-temporal pattern and coupling coordination evolution of the vulnerability of food production and consumption ability in China[J]. *Economic Geography*, 2019, 39(12): 147–156.]
- [29] 李大海, 韩立民. 陆海统筹构建粮食安全保障新体系研究[J]. *社会科学辑刊*, 2019, (6): 109–117. [Li D H, Han L M. Study on constructing a new food security system by land-ocean coordination[J]. *Social Science Journal*, 2019, (6): 109–117.]
- [30] 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. [Yang M Z, Pei Y S, Li X D. Study on grain self-sufficiency rate in China: An analysis of grain, cereal grain and edible grain[J]. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(4): 881–889.]
- [31] 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 S C, Zhong Y. Regional balance of grain supply and demand in China and the policy implications[J]. *On Economic Problems*, 2021, (3): 100–107.]
- [32] 胡越, 周应恒, 韩一军, 等. 减少食物浪费的资源及经济效益分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2013, 23(12): 150–155. [Hu Y, Zhou Y H, Han Y J, et al. Resources and economic effects analysis of reducing food waste[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2013, 23(12): 150–155.]
- [33] FAO. The State of Food and Agriculture 2019: Moving Forward on Food Loss and Waste Reduction[R]. Rome: FAO, 2019.
- [34] 王情, 岳天祥, 卢毅敏, 等. 中国耕地食物供需平衡分析[J]. *资源科学*, 2010, 32(9): 1710–1717. [Wang Q, Yue T X, Lu Y M, et al. Analysis of cultivated land food supply-demand-equilibrium in China[J]. *Resources Science*, 2010, 32(9): 1710–1717.]
- [35] 韩立民. 我国海洋事业发展中的“蓝色粮仓”战略研究[M]. 北京: 经济科学出版社, 2018. [Han L M, et al. Study on the Strategy of “Blue Granary” in the Development of Marine Enterprise in China[M]. Beijing: Economic Science Press, 2018]
- [36] 杨月欣. 中国食物成分表: 标准版(第6版)[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2018. [Yang Y X. China Food Composition Tables: Standard Edition (Version 6)[M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2018]
- [37] Costello C, Cao L, Gelcich S, et al. The future of food from the sea [J]. *Nature*, 2020, 588(7836): 95–100.
- [38] Fan S G, Brzeska J. Feeding more people on an increasingly fragile planet: China’s food and nutrition security in a national and global context[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2014, 13(6): 1193–1205.
- [39] 成升魁, 高利伟, 徐增让, 等. 对中国餐饮食物浪费及其资源环境效应的思考[J]. *中国软科学*, 2012, (7): 106–114. [Cheng S K, Gao L W, Xu Z R, et al. Food waste in catering industry and its impacts on resources and environment in China[J]. *China Soft Science*, 2012, (7): 106–114.]
- [40] Xue L, Liu X J, Lu S J, et al. China’s food loss and waste embodies increasing environmental impacts[J]. *Nature Food*, 2021, 2(7): 519–528.

- [41] Song G B, Zhao X Y, Lv L, et al. Scenario analysis on optimal farmed-fish-species composition in China: A tentative theoretical methodology to benefit wild-fishery stock, water conservation, economic and protein outputs under the context of climate change[J]. *Science of the Total Environment*, 2022, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.150600.
- [42] 侯娟, 周为峰, 王鲁民, 等. 中国深远海养殖潜力的空间分析[J]. *资源科学*, 2020, 42(7): 1325–1337. [Hou J, Zhou W F, Wang L M, et al. Spatial analysis of the potential of deep-sea aquaculture in China[J]. *Resources Science*, 2020, 42(7): 1325–1337.]

## Food and nutrition security in China from the perspective of land-ocean coordination

YIN Wei<sup>1</sup>, YU Huijuan<sup>1,2</sup>, QIU Rongshan<sup>1</sup>, HAN Limin<sup>1,2</sup>

(1. School of Management, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. Institution of Marine Development, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

**Abstract:** The study of food and nutrition security is an extension of China's long-term food security research, and it is also a requirement for pursuing a healthy life. The food system under the big food concept and land-ocean coordination can more comprehensively reflect the food and nutrition security situation in China. Based on the perspective of food nutrition composition, this study calculated the production and demand of food nutrition in China from 2003 to 2018 by using the food nutrition transformation model. The overall situation of China's food and nutrition security was described by using the food nutrition surplus and lack index. The results show that: (1) The output of food nutrients was increasing in China, but the rate of growth and contribution of different types of food were different. Grain was the largest food source and growth contributor of energy, protein, and amino acids, while fat and fatty acids were mainly derived from meat. The output of marine food nutrients was small, but marine food has certain advantages in terms of unit nutrient content, food diversity, and future development potential. (2) Considering the changes in the population structure, China's demand of food energy, protein, and fat was increasing year by year, and the growth rate reached 6.9%, 7.6%, and 7.0% respectively. Population growth is the primary driving force for the growth of food nutrition demand in China, but the average demand of per capita and per diem food nutrition presents a downward trend, reflecting population aging in China. (3) Protein supply in China has always been at an absolutely safe level, energy supply has been at a relatively safe or above level for a long time, and fat supply has been at a relatively safe or inadequate level for a long time. (4) The amount of food loss and waste in China is alarming—its average annual volume can meet the basic food and nutrition needs of 244 to 539 million people, which also prevents China from entering energy and fat relatively safe and absolutely safe levels for 4 to 9 years.

**Key words:** food security; nutritional sufficiency; land-ocean coordination; food waste; food supply and demand; nutrition surplus and lack index; population; China