

· 科学论坛 ·

# 新时代中国国民营养与粮食安全研究中的关键科学问题

——第249期“双清论坛”综述

成升魁<sup>1</sup> 董纪昌<sup>2</sup> 刘秀丽<sup>3</sup> 刘晓洁<sup>1</sup>  
宗耕<sup>4</sup> 李秀婷<sup>2</sup> 邓祥征<sup>1, 2\*</sup>

1. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101
2. 中国科学院大学, 北京 100049
3. 中国科学院 数学与系统科学研究院, 北京 100190
4. 中国科学院 上海营养与健康研究所, 上海 200031

**[摘要]** 国民营养和粮食安全是关系国家经济发展和社会安全稳定的重大基础性和战略性问题。国家自然科学基金委员会2019年11月召开了以“新时代国民营养与粮食安全”为主题的第249期双清论坛。会议围绕国家需求和国际前沿, 聚焦“国民膳食、营养、健康变迁与可持续发展”和“粮食可持续供需格局与保障”两大议题进行了深入研讨, 凝练出该领域科学研究的热点、难点, 包括国民膳食营养特征和精准化评价与需求、基于营养健康和粮食安全的粮食中长期需求预测、营养健康导向的动物性食物与饲料粮需求、营养目标与资源环境双重约束的粮食供给优化、新技术支撑下粮食绿色控制与系统治理、新时代面向国民营养与粮食安全的绿色消费体系与模式等, 并就该主题如何开展多学科交叉研究项目部署, 聚焦及分步重点突破关键科学问题, 从而助力建成满足新时代国民营养需求与可持续发展的国家粮食安全体系提出建议。

**[关键词]** 国民营养; 粮食安全; 可持续发展; 需求预测; 粮食生产

粮食问题关乎国计民生、经济发展、社会稳定乃至国家安全, 国民营养健康是实现全面小康与国家安全的立根之本。历史地看, 粮食安全既受供给侧影响, 又与特定的社会经济发展阶段的消费需求密切相关; 粮食安全既受供求关系调节, 也受各类农业和科技政策影响, 是一个覆盖人群众多、涉及行业广泛的综合性问题。

我国改革开放40多年来, 随着粮食产量持续增长, 肉、蛋、奶、水果、蔬菜、水产品等消费迅速增长, 国民膳食结构和消费观念已发生和正在发生历史性变动。显然, 我国粮食问题总体上进入了一个新的历史阶段。2015年, 我国粮食总产量超过6亿吨, 进口粮食约1.2亿吨, 库存积压有资料显示约4亿吨, 人均占有粮食超过世界平均的34%。总体上, 我国粮食供给侧接近饱和或相对过剩。由于粮食问



**成升魁** 中国科学院地理科学与资源研究所研究员、博士生导师。现为中国自然资源学会理事长, 中国农学会常务理事, 中国耕作制度研究会副理事长, 中国可持续发展研究会委员。主要从事资源生态与农业发展领域研究工作。



**邓祥征** 中国科学院地理科学与资源研究所研究员、博士生导师。国家杰出青年科学基金获得者。近年来主要从事资源利用与粮食安全、全球变化、发展地理学等相关领域研究。

题涉及面广, 各种部门或集团利益交织在一起, 形成了目前的粮食生产多、进口多、库存多、浪费多的“怪圈”<sup>[1]</sup>。这种“怪圈”一方面加剧了我国本来

收稿日期: 2020-03-31; 修回日期: 2020-10-24

\* 通信作者, Email: dengxz@igsrr.ac.cn

本文受到国家自然科学基金项目(41771568)的资助。

紧缺的水土资源危机和本已脆弱的生态环境,另一方面也把国内粮价推到了高位,并加重了财政负担和市场风险。同时,由地区发展的不平衡,社会环境、文化和饮食习惯存在的巨大差异,在我国人群中还存在许多营养问题。全球化、城市化、气候变化等也对国民的营养状况带来巨大挑战,可能对国民的整体素质和社会经济的发展造成不利影响。这些巨大的社会历史变化和凸显的问题昭示,习惯性地沿用过去的计划体制思维、牺牲资源环境和生态安全、囿于国内水土资源而忽视国际农业资源和市场的方式,来布局我国的粮食安全体系,早已落后于时代。因此,在全面建成小康社会和实现中华民族伟大复兴的未来近 30 年(到 2050 年),与时俱进地构建以国民营养健康和绿色发展方式和生活方式为目标的我国新时期国家粮食或食物安全体系具有重要意义。

在当前新时代背景下,中美贸易摩擦、国际粮商垄断、国内居民饮食观念和膳食结构不断改变等国内外复杂环境对保障我国粮食安全平稳运行造成较大挑战。为此,国家自然科学基金委员会(以下简称“自然科学基金委”)于 2019 年 11 月 20—21 日在北京召开了主题为“新时代国民营养与粮食安全”的第 249 次双清论坛。本次论坛由自然科学基金委管理科学部、地球科学部、生命科学部和政策局联合主办。来自中国科学院、农业农村部、国家食物与营养咨询委员会等 30 余家单位的 34 位专家学者代表参加了本次论坛。本次论坛紧密围绕“国民膳食、营养、健康变迁与可持续发展”和“粮食可持续供需格局与保障”两个议题进行深入研讨交流,结合我国现有的研究基础,分析和凝练了国民营养和粮食安全领域的重大科学问题,提出今后针对关键科学问题进行分步突破的研究方向。

## 1 新时期国民营养与粮食安全面临的机遇和挑战

### 1.1 中国粮食安全发展进入新时代

纵观建国以来我国农业发展与粮食安全保障的发展历程,大致可以划分为三个阶段:第一阶段是政府发挥主导作用的计划经济时期(1949—1981),属于传统农业发展阶段,粮食一直供不应求,温饱问题长期得不到解决;第二阶段是市场和政府共同发挥作用的时期(1982—2015),现代农业发展快速,粮食生产稳快增长;第三阶段为当前正在进入的一个食物消费观念迅速变化、粮食供需

多元化的新时期(2016—2050),随着粮食产量持续增加,肉、蛋、奶、水果、蔬菜、水产等消费迅速增长,国民膳食结构和消费观念已发生和正在发生历史性变动。在该阶段,预计城市化和互联网技术快速扩散的时代背景会驱动我国粮食供需出现如下特征:食物需求更加营养化、多样化和健康化;食物流通便捷化、快速化;食物供给渠道多元化。在新形势和新环境下,重构我国粮食安全战略体系,对于全面建成小康社会和实现中华民族伟大复兴具有重要意义。

### 1.2 新时期保障国民膳食营养需求面临新挑战

中国居民的膳食消费结构正从粮食、蔬菜等碳水类食物向动物产品等高蛋白的食物转变。因此,我国以量为主的宏观粮食需求观须向量质结合、提质保量转变。在我国粮食增产空间逐步缩小而粮食需求又在逐步增加的大背景下,开展满足国民营养的合理粮食需求的深入研究,评价我国的粮食平衡状况和粮食安全,是值得关注的重大问题。当前,中国居民膳食结构存在各种不合理现象,需要进一步研究中国不同地域、不同人群的主要健康问题和营养需求,厘清居民膳食结构与营养健康状况的关系。全方位探讨基因、城镇化、饮食环境变化、人口迁移和老龄化等对中国人群膳食结构和营养健康状况的影响,进而揭示中国居民食物需求变化和发展趋势,应用精细化的食物供给政策和营养优化策略解决营养健康问题。加强国民营养精准评估及良好饮食习惯的培养教育是推进兼顾国民营养和可持续发展绿色消费理念的重要路径。同时,膳食结构变化对我国农业资源的可持续发展至关重要,合理、健康的饮食习惯能够大幅降低环境负担。发展可持续的食物系统,需要对饮食结构做出实质性的调整。

### 1.3 农业空间布局与可持续供给模式亟需优化

可持续食物系统旨在实现食物和营养安全、健康饮食,同时降低对资源环境的负面影响。目前,中国大部分地区可耕地几近开发殆尽,通过增加种植面积来提高供给水平的潜力有限;不可持续的农业生产方式造成部分地区食物生产的环境成本不断增加,资源约束成为粮食生产的关键性问题。如化肥和农药的过度使用和传统的耕种模式已对环境造成了相当的破坏;同时,目前存在水资源—粮食生产空间匹配性差,粮食生产的资源压力大、农业用水效率和发达国家相比差距较大、“北粮南运”加剧粮食主

产区用水等问题。新时代生态文明建设的背景下如何平衡环境保护、粮食安全、农民收入提升,如何在满足合理营养需求和资源环境约束的基础上,实现食物供给的可持续性,是我国面临的急需解决的议题。

#### 1.4 粮食质量控制与系统治理仍需加强

近70年以来,中国依靠自身力量端牢自己的饭碗,国民营养实现了由“吃不饱”到“吃得饱”,并且“吃得好”的历史性转变。针对粮食安全,以习近平同志为核心的党中央把粮食安全作为治国理政的头等大事,提出了“确保谷物基本自给、口粮绝对安全”的新粮食安全观,确立了以我为主、立足国内、确保产能、适度进口、科技支撑的国家粮食安全战略,走出了一条中国特色粮食安全之路。粮食安全在产前,体现为“生产”,历来受到高度重视,取得世界瞩目的成就;在产后,体现为“储备和流通”,已经形成了适合中国国情的粮食储备制度,尚待完善。我国因地域广、气候差异大,必须解决大型粮仓长期储藏过程中的保持品质、控制虫霉危害、降低粮食损耗和防止亏库等四大难题,同时满足安全、节能、环保的不断升级的要求,还要考虑到我国粮食储备体系基础差、规模大、布局广、层次多的特有情况。对于粮食生产产前产后管理不统一、国家地方储备不对等、政策储量和流通储量不平衡、粮食质量安全体系缺乏整体性等问题,急需一批新理念、新装备、新技术的应用,探索整体策划、差异实施的粮食质量控制管理策略和方法。

#### 1.5 新技术为保障国民食物营养安全提供了新途径

在全球经济一体化背景下,国家粮食安全越来越多地与世界各国的粮食供给、需求、贸易以及政治状况息息相关,亟需提高国民营养水平为目标的粮食供给、需求、贸易监测预警。如何借助经济统计、地学遥感和大数据科学等最新技术手段,建立集成的国民营养与国家粮食安全监测预警机制,获取精准数据集,开发相应的数据分析与政策模拟仿真平台,是国民营养计划顺利实施,实现健康中国2030规划的重要保障。

## 2 国民食物营养安全研究现状与发展趋势

### 2.1 国民膳食结构和营养状况研究

经过70年的快速发展,我国已成为世界第二大经济体,粮食基本自给,食品生产和加工能力得

到较大幅度提高,近14亿人口的吃饭问题不仅得到成功解决,居民的生活质量和营养水平也显著提升。然而,由地区发展的不平衡,社会环境、文化和饮食习惯存在的巨大差异,我国居民还存在许多营养问题。同时,全球化、城市化、气候变化等对国民的营养状况带来巨大挑战,势必对国民的整体素质和社会经济发展造成长远不利影响。因此,以营养目标指导粮食和食物生产,促进健康膳食的可持续食物体系是满足人民新时期美好生活而亟需解决的问题。

在过去的三十年间,我国居民膳食结构发生了巨大的变化。为了解我国不同时期居民膳食结构特点及其变化趋势,中国疾病预防控制中心营养与健康所分别于1982、1992、2002和2010—2012开展了全国的营养与健康调查。调查数据显示,我国居民膳食营养状况总体改善,我国城乡居民粮谷类食物摄入量逐渐减少,碳水化合物、脂肪和蛋白质三大营养素供能充足,能量需要得到满足,总蛋白质摄入量基本持平,优质蛋白质摄入量有所增加。尽管我国居民膳食状况总体改善,但仍存在许多问题,如城乡居民膳食结构差异明显、居民膳食脂肪供能比高等。同时,中国居民的主要食物摄入量也发生了明显变化,主要表现在谷薯类特别是杂粮明显减少,全谷物的比例大幅降低<sup>[2]</sup>,动物性食物、食用油明显增加,家庭烹调用盐和酱油减少,但家庭烹调用盐仍远远高于推荐量,新鲜蔬菜摄入量呈减少趋势,2012年水果摄入量虽然高于1982年,但与1992和2002年相比也呈下降趋势。当前膳食结构在一定程度上愈发反映了全球“营养转型”的现状,人们放弃更加健康的传统饮食,转而青睐现代饮食,大量食用饱和脂肪、糖与钠的含量高、口感好、能量密度高、微量营养素和膳食纤维含量低的过度加工食品,而缺少全谷物、水果、坚果、蔬菜的摄入。

“营养转型”一方面使得我国居民原有的营养缺乏问题得到了较大的改善,另一方面也出现新旧营养问题并存现象。我国目前面临着营养状况的三大负担——营养不足、微量营养素缺乏与超重肥胖。2012年我国6~17岁儿童青少年生长迟缓率为3.2%,消瘦率为9.0%;2013年我国0~5岁儿童生长迟缓率为8.1%,低体重率为2.5%;营养不足的儿童及青少年在未来的生活中可能长期承受早期生长迟缓所形成的影响<sup>[3]</sup>,并且可能永远无法发挥其体格与智力的全部潜力。除存在营养不足问题外,

微量营养素缺乏也较为普遍。微量营养素缺乏又被称作“隐性饥饿”，经常被忽视，被发现时通常已错过补救时机，因此这一问题带来的沉重代价更为隐蔽。我国居民普遍存在微量营养素缺乏，其中一个突出的问题是缺铁性贫血。虽然经过多年的干预改善工作，但限于覆盖面有限，贫血问题仍然存在。此外，我国超重肥胖形势严峻。由于能量摄入过剩、动物性食物或脂肪摄入逐年增加、身体活动量明显减少等营养不平衡问题引起肥胖人群的大幅增加，肥胖问题已成为我国严峻的健康问题。

## 2.2 可持续健康食物消费结构研究

营养安全是国际组织提出的新观念，是建立在食品安全基础之上的对食物的更高要求，也是对忽视食物营养的警醒。现代饮食带来的不仅仅是健康问题，在当前世界面临多重环境危机情况下，现代饮食的可持续性日益令人担忧。目前食品的生产方式是导致环境变化的主要原因。气候变化引发的冲击给食品安全带来了挑战。为应对这些挑战，食物体系的角色和作用日益受到关注。食物体系涉及食品生产、加工、分配与消费的全部要素与活动，以及这些活动所产生的结果，如营养和健康等，即涵盖食物“从农田到餐桌”的全部环节和所有参与者。要持续性改善国民营养状况，需要食物体系为所有人群提供营养丰富、安全、可负担且可持续的膳食。因此，以营养目标为导向的可持续食物消费结构是亟待要实现的目标。

建立可持续健康食物消费结构必须改变我国目前的食物消费模式。纵观国内外改变食物消费模式的策略和行动，重点人群为孕产妇、婴幼儿、儿童、老年人、贫困地区人群等脆弱群体；在方式上强调具体干预措施在社会多主体的配合下与宏观政策相结合。推动居民尤其是重点人群改善饮食的策略具体可从六大层面进行总结：一是法律、政策等强制措施。宏观层面的法律、政策等强制措施对促进居民健康饮食有较为显著效果。研究表明，电视广告影响儿童对食品及饮料的偏好、购买及消费<sup>[4]</sup>，而大部分的广告食品都不利于健康。基于此，许多国家出台政策管制针对儿童青少年的食品广告，在提高儿童的饮食行为方面有良好效果<sup>[5]</sup>。二是税收、补贴等经济手段。国外多国已有对含糖饮料征税的先例，而此税收措施对降低含糖饮料的消费具有一定效果。农业政策也会影响食品价格及消费。例如，农业政策长期以来支持的小

麦、玉米、乳制品及牛肉等会比得到更少支持的蔬菜、水果、全麦、坚果及水产品价格更为优惠，从而影响其消费<sup>[5]</sup>。在价格和类型都相似的食品中，其售卖的商店也影响其消费情况<sup>[5]</sup>。三是传媒及科普。研究显示，为期几星期或几个月的短期传媒和科普能够提高居民的营养知识，但缺乏足够例证说明其对饮食行为的改变<sup>[5]</sup>。四是生活环境。居民所处环境也会影响其饮食选择，具体包括超市、商店、社区、餐馆、菜园、种植环境等。有关这类的研究大多是观察性研究。四个大型的横断面研究发现社区中超市可及性（存在、数量、距离等）的改善能让居民有更健康的饮食习惯<sup>[6-8]</sup>。五是校园干预。儿童是推动健康饮食策略中的重点人群，因而基于校园的干预是重要手段。研究显示，通过管控措施让儿童采取积极行为往往适得其反；同时，实操性较强的种菜及烹饪项目比单纯的营养说教更能有效地让儿童摄入更多蔬菜<sup>[9]</sup>。

## 2.3 粮食供给现状与结构优化研究

粮食供需的格局决定了粮食供给的现状，当前我国的粮食供给格局与粮食供给情况包括以下六个方面：第一，中国粮食自给率将进一步下降，中长期为 90% 左右<sup>[10]</sup>。因豆类、薯类以及其他谷物如大麦、高粱、荞麦、燕麦等自给率由市场决定，建议其基本上对外放开，允许依靠进口；饲料用和工业用玉米应当保持基本自给，即大部分由国内供给。第二，土地细碎化严重、经营权流转交易成本高是制约农业劳动生产率的最主要因素。第三，膳食结构渐趋合理，呈现营养化、健康化的特征。第四，东南亚国家尤其是中国和印度两国的肉类和乳制品消费增长的不确定性是造成全球粮食需求预测不确定性的主要原因。第五，膳食结构随着收入水平的提高而变化的趋势具有一定的规律性。第六，新时期粮食供需形成“三元平衡”框架，国家粮食安全的政策思路与着力点是三元平衡，贸易与外部环境内化，融入国际，接轨国际，以竞争力为导向。

粮食生产重心向东北和中部地区的显著转移，使得我国北方和中部地区对国家粮食安全的影响力增大。随着我国食物生产规模的持续扩大，食物生产的空间格局也在发生变化。就粮食生产而言，从全国范围来看生产重心呈现“北上”与“西进”趋势，相比于 1980 年以前我国粮食生产重心在南方和东部有了很大的变化，意味着我国北部和中西部地区对国家粮食生产影响程度日益加强，与此同时这也

加剧了北方和中西部地区资源环境的压力。进入新世纪以来,松辽河区、淮河区、西南诸河区对全国粮食增产的贡献率增加明显,而传统的粮食主产区长江区、东南诸河区、珠江区的贡献率下降显著。从水资源角度分析,北方和中西部粮食生产规模增大的区域恰好是我国水资源问题突出的区域。目前,海河区和黄河区的供水消耗量均已超过区域水资源可利用量;淮河区 and 辽河区的部分流域水资源超采情况亦十分严重。在全国地下水超采量中北方地区占96%以上,其中,海河水资源区超采量占65%左右,黄河区、淮河区 and 西北诸河区地下水超采量占将近30%。粮食生产重心的转移加剧我国北方地区和中西部地区的水资源供应压力,挤占大量的生态环境用水,导致区域生态赤字不断加大。因此,迫切需要建立与资源禀赋相适应的粮食生产合理格局。

总之,当前国民粮食生产面临的问题可以概括为两个方面。第一,气候变化对粮食生产消费具有不确定性影响,需要揭示气候—作物—经济—健康耦合复杂系统的作用机理,构建气候变化、饮食习惯对食品生产、消费和营养健康影响的综合评估框架,丰富系统关联视角。第二,营养对粮食生产提出了新的要求,需要立足国人消费习惯和产业现状,科学定义不同环节动物性产品计量口径,明确不同计量口径之间的转换系数,揭示动物性产品消费微观与宏观之间的定量关系。可采用的优化思路是,以“可持续发展”为目标,以“营养导向”为理念,以“资源禀赋”为出发点。

#### 2.4 国民粮食需求预测研究

科学把握粮食消费发展趋势需要综合分析影响粮食消费的主要因素,现有研究多从社会文化因素、经济因素、技术因素和规范性因素等四个角度进行分析。城镇化及其产生的人口结构差异是对影响粮食消费的代表性社会文化因素。实证研究表明,年龄结构、职业结构对粮食需求有显著影响<sup>[11]</sup>,人群所处的城乡和地区差异也是影响居民粮食消费的重要原因<sup>[12]</sup>。居民收入及其消费水平是影响粮食消费最主要的经济因素<sup>[13]</sup>。虽然普遍认为人均粮食消费水平与收入水平变化方向不完全相同,但就我国当前分析,伴随我国城镇化水平及居民收入水平的提高,我国的粮食消费总量预计会出现小幅增长<sup>[14]</sup>。粮食总需求量受到口粮、饲料粮、种子粮、工业用粮以及粮食损耗等技术因素的影响,而上述的技术因素由诸多二级指标共同控制。因此,通过找

到各二级指标与各一级指标的关联关系并实现对各一级指标的趋势预测可以解决粮食需求的预测问题。粮食作为一种缺乏弹性的廉价必需品,政策的变动对粮食需求的影响显著。相关学者探究计划生育、户籍制度改革和新型城镇化建设的政策背景下,粮食消费需求的变化。研究表明,这些政策的调整都将带来百万吨级的粮食需求增长。

上述影响粮食需求变化因素的不确定性使中国粮食需求变化趋势的预测研究长期受到学界的关注。粮食需求预测方法从早期的定性预测,发展到如今的时间序列模型、单方程计量模型、供给需求联立方程模型、需求系统联立方程模型、营养需求方法和系统工程方法等。定性预测方法主要是根据掌握的历史资料和直观材料,判断粮食需求的未来发展趋势,在此基础上假定粮食需求的变化速度或预测其人均需求水平,结合人口规模预测,得到最终的粮食需求预测值。但由于研究者所掌握的基础数据不同、考虑的因素不同,认识的差异等原因,定性预测的结果存在主观性,其准确性也常会遭到质疑。时间序列预测方法依赖于历史数据和数据格式,采用简单线性、Logistic、Gompertz、对数线性等不同的方程进行数据预测。该方法简单快捷但存在预测时间短、缺乏理论依据、应用场景有限等缺点。单方程计量模型通过分析粮食需求与影响因素之间的数量关系,来对需求进行预测。模型研究对象单一,难以反映粮食需求系统中其它变量变化趋势的复杂性。联立方程模型的出现解决了这一问题,其应用使需求预测更好地体现粮食供求市场各变量的联动关系。营养需求法预测模型和系统动力学模型,建立了不同方式粮食消费与能量、蛋白质转换的计算方法,通过膳食营养构成的变化来推算未来食物的消费需求,但由于没有较为扎实的经济分析框架,也较少被使用。

综上所述,未来长期粮食需求预测模型的建模应当符合如下原则:第一,能够有比较好的经济学理论支持,从而得出较明确的政策含义;第二,不能过度依赖数据长度、数据广度和数据统计口径一致性;第三,能应对长期经济发展中的结构变化,模型内在假定不要求严格的经济结构稳定。

#### 2.5 动物产品消费与饲料粮需求研究

随着居民对膳食营养知识的认识逐步深入和食物消费需求的多样化发展<sup>[15]</sup>,中国居民的饮食消费结构正从粮食、蔬菜等碳水化合物类植物性食物向

肉蛋奶等动物性食物转变<sup>[16]</sup>，动物性食物和饲料粮的安全问题成为我国的粮食安全的核心问题。准确预测动物产品消费需求，保障饲料量的供给，成为当前保障粮食安全的重要工作之一。2010—2012 年中国居民营养与健康状况调查结果表明，多吃鱼类等水产品，适量增加蛋类消费，减少畜肉摄入量是满足我国居民蛋白质需求又避免脂肪摄入过多的最重要的平衡膳食措施。在中国动物性食品消费总量平稳增长的同时，其消费的内部结构也在不断地发生着变化。将来猪肉消费仍将占据肉类消费的主导地位<sup>[17]</sup>，但其消费比重将呈现下降趋势，禽肉、牛羊肉消费比重将有所提高，增长空间巨大<sup>[15]</sup>。同时，在非洲猪瘟的持续影响下，居民肉类消费心理趋向牛、羊、禽肉、水产品等替代动物性产品，加速了未来市场动物产品消费结构的转变<sup>[18]</sup>。

肉类消费的快速提高使得畜牧业总体发展趋势向好，由此带来的饲料粮的需求量也不断提高。我国畜牧业的耗粮量大，但国内豆粕、玉米等饲料粮需求并不能完全自给，呈净进口态势<sup>[19]</sup>。2018 年饲料相关产品价格受中美贸易摩擦影响，豆粕价格波动影响加大，玉米进口价格上涨<sup>[20]</sup>，对我国畜牧业以及相关产业影响较大。早在 20 世纪 90 年代饲料粮的重要性就已经引起重视，但目前我国尚无饲料粮的直接统计数据，饲料粮的供求数据还需折算。虽然折算方式得到的测算结果会不尽相同，但国内外学者对我国饲用粮的需求量会随着我国畜牧业进一步发展而增加，饲用粮的进口量也会持续扩大已成共识。研究表明，未来 20 年中国饲料粮需求将增长 60% 左右，国内饲料粮的生产将无法满足养殖业的需求。伴随着饲料用粮的持续增长，中国粮食自给率将进一步下降<sup>[9]</sup>。

已有我国粮食需求的研究表明，粮食需求变化受多重复杂因素的影响，预测分析往往因为以下三个方面的考虑不充分而存在估计偏差。一是食物消费需求具有短期刚性和长期增长极限，对食物消费的规律往往难以把握。二是我国市场正处于转型升级的重要阶段，当前的预测多是基于历史的轨迹而缺乏了对未来的科学展望。三是对粮食需求影响因素的考虑不完备。近期的一些研究虽然开始注意到老龄化、农民工与城乡居民食物消费的差异、膳食结构变化、职业结构变化等会对粮食总量需求产生影响，但并未能将所有影响粮食需求的因素整合起来分析。

## 2.6 粮食质量绿色控制与治理研究

城市发展需要资源保障，水资源是不可替代的资源，也是我国粮食持续增产的重要支撑，同时国家区域绿色发展需要建设新型农牧循环农业。农业生产环节中资源的合理配置与绿色生产方式的选择是当前学界研究的热点方向，主要的研究观点有以下四个方面：第一，水资源约束在粮食生产中的配置问题。长期以来我国水资源与粮食生产空间匹配性差；用水效率低；注重实体水管理，缺乏虚拟水管理；注重生产过程中水管理，忽视消费过程中水管理。第二，化肥使用量零增长行动的效益问题。包括如何平衡环境保护、粮食安全与保障农民收入；保障化肥使用量零增长行动的顺利实施的政策模拟；政策效果以及界定地方干预强度的检验等。第三，绿色发展的新型农牧结构调整问题。包括基于水资源支撑的适水型种植模式建立；基于环境支撑的绿色畜禽承载布局的形成；基于营养导向的绿色健康农牧生产体系构建等。

除了保障粮食的绿色生产，如何在储存和运输过程中实现粮食质量绿色控制同样十分关键。粮食储存的主要内涵是如何建好“天下粮仓”，即粮仓建设方案以及配套技术。2010 年形成的粮食储备“四合一”新技术奠定了基础，解决了国家政策性粮食规模化长期储藏的问题。粮食储备“四合一”新技术，包括智能机械通风、智能粮情监测、低剂量环流熏蒸、高效谷物冷却等技术集成，简称“四合一”技术。该技术应用后，不仅粮食损耗大幅下降，储粮品质显著提高，而且两年内陈化粮就从 15% 下降到 0。尤其是储粮化学药剂的使用量减少了四分之三以上，媒体称“四合一”技术为“陈化粮的终结者”。到 2018 年，全国共有标准粮食仓房仓容 6.7 亿吨，简易仓容 2.4 亿吨，有效仓容总量比 1996 年增长 31.9%。食用油罐总罐容 2 800 万吨，比 1996 年增长 7 倍。新时期，要求进一步提供从收获、运输、清理、干燥、仓储、出仓等各环节一体化的“吃得好”“吃得健康”新技术，如适时收获、保质干燥、生物防控、生物消解等<sup>[21]</sup>。“十二五”以来，大数据、人工智能等技术的应用进行了一系列有价值的探索。2013 年起我国建立了库存粮食识别代码标准，目前已在 15 个省区市进行了试点，成为粮食行业信息化升级的重要组成。基于原创的粮堆多场耦合理论建立的粮食库存实物监管的反欺诈 AI

系统<sup>[22]</sup>,已经在2019年国务院组织的全国粮食清查库工作中得到了应用,对被抽查库点89万组储粮数据的真实性、安全性、合规性进行动态分析,平均有效率达87%。人工智能控制和识别技术在粮食干燥、通风、防治中应用,代替有经验的操作人员,大幅提升了管理效率。黄曲霉毒素(Aflatoxin, FT)、脱氧雪腐镰刀菌烯醇(Deoxynivalenol, DN)、玉米赤霉烯酮等真菌毒素等粮食真菌毒素污染问题严重威胁国家粮食安全。据国家粮食和物资储备局统计,我国粮油因真菌毒素污染造成的损失每年几千万吨,直接经济损失达680亿~850亿元,超过陕西、甘肃、青海、宁夏、西藏5个西部省区全年粮食产量的总和。以花生黄曲霉毒素为例,根据农业农村部2009—2018年污染监测普查结果显示,花生黄曲霉毒素含量从2.13 μg/kg增加到69.24 μg/kg,超标率增加了3倍,严重地区花生黄曲霉毒素含量超过标准数百倍,成为一些地区高肝癌发生率的主要原因。由于真菌毒素导致的从仓储、食品加工、畜牧养殖、疾病危害和出口贸易相关的损失更是无法估计。然而,我国面临相关研究的基础研究薄弱,导致污染粮食综合处理核心技术工艺装备与污染物核心高效阻控技术匮乏,不能建立起污染粮食长效处置机制等突出问题。因此,亟需开展真菌毒素污染机制、危害机制、生物等控制技术的相关基础研究的突破。

### 3 未来5~10年国民营养与粮食安全研究目标及资助重点

#### 3.1 发展目标

围绕新时代国民营养与粮食安全的前沿科学问题,探索国民营养与粮食安全发展规律,研究社会发展背景下膳食结构和食物需求演变、资源环境约束下的食物供给演变的理论与模型,推动可持续食物系统转变发展,建立国民营养与粮食安全国家智库,为我国粮食安全供给、资源环境保护和全球配置提供科学支撑。

#### 3.2 资助重点

本次双清论坛与会专家经过深入研讨,凝炼了三个国民营养与粮食安全重大关键科学问题:一是国民膳食营养发展的预测与评价机制;二是营养目标下可持续的食物供给优化策略;三是可持续食物系统与绿色消费社会的构建模式,并建议未来5~

10年应着重围绕以下6个领域,通过多学科交叉开展原创性研究。

#### (1) 国民膳食营养特征与精准化评价

通过总结国民膳食结构的时空特征,对国民营养需求进行预测;开展典型地区膳食结构与健康的关联性研究及营养代谢疾病的膳食风险研究,构建膳食营养的精准化评价机制;提出切实可行的全生命周期膳食营养结构性优化方案,指导个性化营养需求下公共营养干预策略、餐饮与工业食品的健康转型。

#### (2) 基于营养健康和粮食安全的粮食中长期需求预测

基于经济社会发展的现实考量、膳食结构演变的时空特征、营养结构优化的精准评价,揭示我国膳食营养消费的驱动因素,完成不同情景下粮食消费的需求预测,通过建立国民营养与粮食安全的预警机制与政策仿真模型,为粮食供给优化提供基础性指南。

#### (3) 营养健康导向的动物性食物与饲料粮需求

从可持续发展的全局思路出发,科学地阐述动物性食物和饲料粮在我国粮食安全中的特点与作用,把握不同地域和不同人群动物性食物消费模式,对动物性食物消费的需求预测,估算饲料用粮的国内需求与实际缺口,在此基础上开展营养健康和全产业链视角的动物性食物供给和消费调控政策研究。

#### (4) 营养目标与资源环境双重约束下的粮食供给优化

阐述可持续食物系统的内涵,在营养目标下建立可持续性的评价标准,刻画并解耦环境—食物—营养—健康的纽带关联;构建基于环境约束和营养安全的粮食供给体系模型构建、模拟不同情境下粮食供给方案。

#### (5) 新技术支撑下粮食质量绿色控制与系统治理

关注生产环节粮食重金属与农药残留污染绿色防控机制、基于生物技术的粮食危害管理与控制技术;流通与储藏环节中生态存储和多场耦合粮食质量变化检测;大数据、人工智能、物联网等新技术对粮食收储的全链条质量安全监管。

#### (6) 新时代面向国民营养与粮食安全的绿色消费体系与模式

将新时代国家粮食安全观融入国家重大发展战

略,与国家发展战略,开展国民营养安全与可持续发展的食物消费最优路径设计;主要作物营养标准体系构建、特色作物营养功能挖掘、作物营养强化育种等技术应用;以教育为切入点的营养改善与可持续发展推广应用研究等。

#### 4 结 语

国民营养与粮食安全是我国进入新时代以来具有全局性、战略性和基础性的重大问题,关系到三农发展、资源环境及国民营养等多个涉及国计民生的问题,是我国实现绿色发展和构建人类命运共同体的基础条件。尤其进入新时代以来,城镇化的推进、食物消费的转变、国际贸易环境的不确定性等给粮食安全提出了新的挑战。需要运用营养学、地球系统科学、经济学和管理学方法以营养、绿色为目标,以生态环境约束和农民及消费者利益为底线,从微观到宏观揭示我国膳食营养和需求特征,食物生产布局和储备加工等关键环节的基本规律,优化粮食和食物供给,实现可持续食物系统转型。针对国民营养与粮食安全的重大问题,提出了未来5~10年的发展目标及资助重点。

#### 参 考 文 献

- [1] 成升魁,李云云,刘晓洁,等. 关于新时代我国粮食安全观的思考. 自然资源学报, 2018, 33(6): 911—926.
- [2] He Y, Li YP, Yang XG, et al. The dietary transition and its association with cardiometabolic mortality among Chinese adults, 1982 - 2012: a cross-sectional population-based study. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, 2019, 7(7): 540—548.
- [3] Zhang B, Wang HJ, Su C, et al. Trend of energy intake among Chinese children and adolescents in nine provinces from 1989 to 2009. *Zhonghua Yu Fang Yi Xue Za Zhi*, 2012, 46(12): 1064—1068.
- [4] Kraak VI, Gootman JA, McGinnis JM. Food marketing to children and youth: threat or opportunity?. Washington: National Academies Press, 2006.
- [5] Mozaffarian D, Afshin A, Benowitz NL, et al. Population approaches to improve diet, physical activity, and smoking habits: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 2012, 126(12): 1514—1563.
- [6] Laraia BA, Siega-Riz AM, Kaufman JS, et al. Proximity of supermarkets is positively associated with diet quality index for pregnancy. *Preventive medicine*, 2004, 39(5): 869—875.
- [7] Moore LV, Roux AD, Nettleton JA, et al. Associations of the local food environment with diet quality—a comparison of assessments based on surveys and geographic information systems: the multi-ethnic study of atherosclerosis. *American Journal of Epidemiology*, 2008, 167(8): 917—924.
- [8] Morland K, Wing S, Roux AD. The contextual effect of the local food environment on residents' diets: the atherosclerosis risk in communities study. *American Journal of Public Health*, 2002, 92(11): 1761—1768.
- [9] DeCosta P, Møller P, Frøst MB, et al. Changing children's eating behaviour—A review of experimental research. *Appetite*, 2017, 113: 327—357.
- [10] 黄季焜,杨军,仇焕广. 新时期国家粮食安全战略和政策的思考. 农业经济问题, 2012, (3): 4—8.
- [11] 向晶,钟甫宁. 人口结构变动对未来粮食需求的影响: 2010—2050. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(6): 117—121.
- [12] 高启杰. 城乡居民粮食消费情况分析与预测. 中国农村经济, 2004, (10): 20—25+32.
- [13] 廖永松,黄季焜. 21世纪全国及九大流域片粮食需求预测分析. 南水北调与水利科技, 2004, (1): 29—32.
- [14] 孙宝民. 中国粮食供需的预测指标体系及模型设计. 经济问题, 2012, (3): 39—43.
- [15] 程广燕,刘珊珊,杨祯妮,等. 中国肉类消费特征及2020年预测分析. 中国农业经济, 2015: 76—82.
- [16] Xu T, Yu XH. The demand for nutrients in China. *Frontiers of Economics in China*, 2013, 8(2): 186—206.
- [17] 杨志海,刘灵芝,王雅鹏. 城乡居民肉类消费及其结构演化的差异、原因及趋势. 中国食物与营养, 2018: 33—37.
- [18] 刘钰杰,赵宁,朱飞,等. 非洲猪瘟疫情下屠宰企业转型升级与肉类消费结构的转变. 猪业科学, 2019: 128—131.
- [19] 韩昕儒,陈永福,钱小平. 中国目前饲料粮需求量究竟有多少. 农业技术经济, 2014, (8): 60—68.
- [20] 谢长城. 2018年中国饲料消费形势及原料供需格局变化. 中国畜牧杂志, 2019, 55(4): 153—156.
- [21] 吴子丹. 绿色生态低碳储粮新技术. 北京: 中国科学技术出版社, 2011.
- [22] 吴子丹,赵会义,曹阳,等. 粮食储藏生态系统的仿真技术应用研究进展. 粮油食品科技, 2014, 22(1): 1—5.

## Key Scientific Issues on National Nutrition and Food Security in China in the New Era: Summary of the 249<sup>th</sup> NSFC Shuangqing Forum

Cheng Shengkui<sup>1</sup>    Dong Jichang<sup>2</sup>    Liu Xiuli<sup>3</sup>    Liu Xiaojie<sup>1</sup>  
Zong Geng<sup>4</sup>    Li Xiuting<sup>2</sup>    Deng Xiangzheng<sup>1, 2\*</sup>

1. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101*

2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049*

3. *Academy of Mathematics and Systems Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190*

4. *Shanghai Institute of Nutrition and Health, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200031*

**Abstract** National nutrition and food security are fundamental and strategic issues related to national economic development and social security and stability. In November 2019, the National Natural Science Foundation of China (NSFC) recently held the 249<sup>th</sup> Shuangqing Forum on “National nutrition and food security in the new era”. From the perspectives of national demand and international frontier, the forum focused on two major topics of “Changes and sustainable development of national diet, nutrition and health” and “Sustainable supply and demand pattern and security of grain” for in-depth discussions. Hot and difficult scientific issues in the nutrition and food security filed were diagnosed, including accurate evaluation of national dietary nutrition demand and characteristics, medium and long term grain demand forecasting based on nutritional health and food security, nutrition-health-oriented animal food and feed food demand forecasting, food supply optimization under the dual constraint of nutrition target and resources and environment, green control and systematic management of food under the support of new technology, green consumption system and mode oriented to national nutrition and food security in the new era, etc. Further, suggestions on how to deploy interdisciplinary research projects and to deal with the key scientific issues step by step were put forward to help build a national food security system that meets the national nutrition and sustainable development needs in the new era.

**Keywords** national nutrition; food security; sustainable development; demand forecasting; food production

(责任编辑 张强)