

中国功能农业发展现状、问题与策略

赵桂慎, 郭岩彬

中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193

摘要 发展功能农业, 强化中国农产品的营养功能, 尤其是提升农产品微量营养素的有效供给, 解决“隐性饥饿”, 已经成为现代农业创新发展的重要战略方向。分析了中国功能农业发展的背景意义、现状问题, 提出了中国功能农业发展的三原则、重点强化的微量营养素、主要农业载体、科技创新体系以及重点行动计划等建议与对策, 认为微量营养生物强化技术及策略更适合中国国情, 有利于中国现代农业的转型升级、提质增效、农业供给侧结构性改革和新动能培育。

关键词 功能农业; 隐性饥饿; 微量营养素; 生物强化; 供给侧结构性改革

近 15 年来, 中国农产品综合生产能力稳步提高, 国家粮食安全得到有效保障。2016 年, 联合国粮食及农业组织(FAO)发布的研究报告表明, 中国居民主要农产品的人均能量消费量已经超过世界平均水平甚至发达国家水平, 这意味着中国农产品消费已经从能量消费跨入营养消费的新阶段, 农产品生产能量过剩和微量营养素有效供给不足已成为中国当前农业发展的主要矛盾之一^[1-2]。因此, 加快发展功能农业, 强化中国农产品的营养功能, 尤其是提升微量营养素的有效供给, 已经成为中国现代农业转型升级和创新发展的战略方向。

1 发展背景及重要意义

1.1 国内外背景

功能农业是指通过生物营养强化技术生产出

具有特定含量的微量营养素(矿物元素、维生素)和其他有益功效成分(膳食纤维、限制性氨基酸、植物化合物和不饱和脂肪酸等)的农产品, 强调农产品的营养功能和保健功效, 与人体营养均衡和健康密切相关^[2]。2009 年, 赵其国在《中国至 2050 年农业科技发展规划》中提出“功能农业”的概念, 认为功能农业是继高产农业、绿色农业之后的第 3 个发展阶段^[3]。实际上, 新中国成立 70 多年来, 中国农业发展历程可以从热量、宏量营养素、农产品质量和微量营养素等角度, 划分为 4 个阶段(图 1)。

第一阶段(农业 1.0 阶段): 吃得饱, 以满足热量摄入为重点, 到 20 世纪 70 年代中后期已基本实现; 第二阶段(农业 2.0 阶段): 吃得好, 以满足中国城乡居民宏量营养素(糖类、脂类、蛋白质等)摄入量 and 改善宏量营养素摄入结构为重点, 如提高糖类、食用油以及肉蛋奶等农产品的供应量等, 时间上大致

收稿日期: 2020-02-22; 修回日期: 2020-06-12

基金项目: 农业农村部软科学委员会课题(K201714-2)

作者简介: 赵桂慎, 教授, 研究方向为经济生态、生态农业与复杂系统管理、富硒功能农业, 电子信箱: zhgsh@cau.edu.cn

引用格式: 赵桂慎, 郭岩彬. 中国功能农业发展现状、问题与策略[J]. 科技导报, 2020, 38(23): 9-16; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.23.001

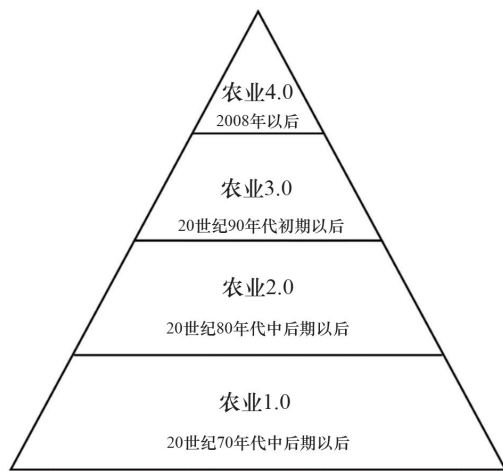


图1 基于营养与健康角度的中国现代农业发展趋势

始于20世纪80年代中后期;第三阶段(农业3.0阶段):吃得安全,以减少化肥、农药等人工化学品投入、降低农药、重金属以及抗生素等残留为重点,在反思“石化农业”的基础上,大力发展生态农业、绿色农业以及有机农业等可持续替代模式,提高生态农产品供应比例等,时间上始于20世纪90年代初期,目前中国农业正处于这一发展阶段;第四阶段(农业4.0阶段):吃得健康,以调整改善微量营养素的合理摄入量为重点,如微量矿物质元素(硒、锌等)、维生素、限制性氨基酸以及植物化合物等,自20世纪80年代开始探索,21世纪初进入快速发展期,尤其2008年之后发展迅速。以上4个阶段呈梯次递进关系,新阶段必须以前一阶段为基础,不能顾此失彼。总体来看,从“吃得饱”到“吃得好”,到“吃得安全”,再到“吃得健康”,已成为今后中国乃至世界现代农业发展的必然趋势。

在国际上,目前全球普遍存在维生素A、碘、铁和锌的缺乏,导致发展中国家每年损失3%~5%的国内生产总值(GDP),并成为提高人口健康素质的主要障碍^[4]。食物营养素摄入不足引起的健康问题越来越引起各国政府的高度关注^[5-6]。2014年由世界粮食与农业组织和世界卫生组织(WHO)共同举办的第二届国际营养大会(ICN2)上发布的《营养问题罗马宣言》指出,全球约有20亿人在遭受“隐性饥饿(hidden hunger)”(隐性饥饿是指摄入足够碳水化合物、脂类、蛋白质等宏量营养素外,微量

矿物质和维生素等微量营养物质摄入不足或营养失衡,不能满足人体正常的营养和健康需求),尤其缺乏维生素A、碘、铁和锌等,大会提出了《行动框架》,并宣布2016年至2025年为“营养行动十年”^[7-8]。

在国内,《中国食物与营养发展纲要(2014—2020年)》指出:“我国农产品综合生产能力稳步提高,食物供需基本平衡,食品安全状况总体稳定向好,居民营养健康状况明显改善,食物与营养发展成效显著。但是,我国食物生产还不能适应营养需求,居民营养不足与过剩并存,营养与健康知识缺乏,必须引起高度重视。”^[9]以微量元素硒为例,中国在地理空间上存在一条由东北到西南的环境低硒带,缺硒国土面积约占国土总面积的72%^[10-12],缺硒人口约为7亿人^[13-15]。尽管近年来中国居民以膳食方式硒摄入量有所改善^[16],但《中国居民营养与慢病状况报告(2015)》中的调查结果显示^[14],中国居民的人均日摄入量仅为44.6 μg/d,仍然低于中国营养学会推荐(2013年)的60~400 μg/d的摄入量。2016年10月,中共中央和国务院联合印发的《“健康中国2030”规划纲要》指出,“重点解决微量营养素缺乏等问题。”“到2030年,营养缺乏疾病发生率显著下降”^[17]。2017年6月,国务院办公厅印发了《国民营养计划(2017—2030年)》的通知,通知指出“以改革创新驱动营养型农业”“加大力度推进营养型优质食用农产品生产”“提升优质农产品的营养水平”“创立营养型农产品推广体系,促进优质食用农产品的营养升级”“发展食物营养健康产业”等^[18]。因此,在新形势下,如何发展功能农业,为党的十九大报告中明确提出的“实施健康中国战略”做出应有贡献,已经成为当前中国农业发展面临的新课题和新任务。

1.2 重要意义

1.2.1 消除“隐性饥饿”,提高中国居民营养与健康水平

中国东北、西北和西南内陆地区是营养素缺乏比较集中的地区^[19],居民尤其是农村居民的“隐性饥饿”问题不容忽视^[20],当前中国超过50%的人口存在不同程度的营养素缺乏。国家卫计委发布的《中国居民营养与慢性病状况报告(2015)》显示,中

国居民膳食结构多存在不合理现象,钙、锌、硒、维生素A、维生素B₁和B₂以及维生素C等均未达到推荐摄入量。近年来,由于食物源营养素摄入不足会导致慢性病高发等问题备受世界各国关注^[21-22]。从2002—2012年的10年间,中国居民健康状况总体改善,但心脑血管疾病、慢性呼吸系统疾病、糖尿病、高血压、肥胖等慢性病以及癌症发病率呈上升趋势^[14]。2020年中国全面建成小康社会之后,健康需求将成为居民的最大需求,发展功能农业是降低中国居民慢性病发病率,实施“健康中国”战略的重要举措。

1.2.2 带动农业转型升级,推进农业供给侧结构性改革

2019年中国人均GDP接近10000美元,进入功能性农产品生产和消费的快速发展期,中国居民农产品消费需求已显现出从“量”到“质”再到“健康”的新变化。但中国功能农业发展相对滞后,功能农产品生产,特别是以功能农产品为原料的功能性食品的生产 and 开发还不能满足中国居民的消费需求,导致部分国内消费者转向国际消费市场。同时,中国农产品的结构性过剩为功能农业提供了广阔的转型发展空间,很多人体必需微量元素也是农作物和养殖动物的必需微量元素,在功能农业生产过程中,开发利用主要农产品和中国丰富的特色农产品资源,不但可以提高农产品的营养价值,还可以达到增产增收的效果。据预测,2020年全球功能农产品将有80~100种,仅中国功能农业产值就将达数千亿元以上,2050年中国功能农业产值将达到5万亿元^[9],功能性农产品和功能性食品已成为新的消费增长点。因此,大力发展功能农业,是实现农业转型升级,满足国内日益增长的营养型优质农产品需求,推进农业供给侧结构性改革的客观要求。

1.2.3 加强农业科技创新,提升中国农业国际竞争力

功能农业是以生命科学和生物技术为核心的高科技产业。2004年,国际食物政策研究所(IFPRI)在全球范围启动了“国际生物强化项目(Harvest Plus)”^[23],旨在解决发展中国家普遍存在的铁、锌、维生素A等微量元素摄入不足问题。2004

年11月中国启动了Harvest Plus中国项目(Harvest Plus China, HPC),主要目标是通过遗传育种和营养学研究,提高作物中的微量营养元素含量和人体摄入量,减少人体尤其是贫困人口中广泛存在的微量营养素缺乏^[24]。目前国内已培育出10多种营养强化作物品种/系,涉及铁、锌、维生素A原、叶酸等多种微量营养素及玉米、甘薯、小麦以及水稻等作物,但与美国等发达国家相比还有较大差距。中国功能农业今后应重点研究土壤-植物-食物-人体营养-环境综合体系,加强功能农业基础研究和关键技术突破,有利于摆脱中国农业2个“天花板”和2个“紧箍咒”的发展困境,有利于提高中国功能性农产品的科技含量和附加值,有利于提升中国农产品的国际竞争力。

2 现状与问题

2.1 对农产品微量营养素含量问题重视不足

基于中国人多地少的实际国情,保障粮食安全问题是现代农业发展的基础和底线。长期注重农产品产量和食品安全,而对其中的微量营养素含量重视不足,是导致中国“隐性饥饿”问题比较突出的原因之一。与西方发达国家不同,中国居民的营养和膳食习惯以鲜活农产品消费为主,农产品是中国居民热量和微量营养素摄入的主要来源和重要载体,印度等发展中国家同样把属地农产品营养检测、分类及膳食多样化作为改善营养素摄入不足的有效手段^[25-26]。而英国35%的成年人食用保健食品,美国50%以上的人群食用保健食品,芬兰和丹麦等国家食用保健食品的比例约为32%~60%^[27],由此可见,食用保健食品是发达国家补充微量元素的重要渠道。中国是微量元素缺乏大国,通过功能农产品消费补充中国居民微量元素缺乏的问题十分必要和紧迫,要尽快制订符合中国国情的农产品微量营养素提升计划。

2.2 农产品微量营养素强化关键技术研究起步较晚,与发达国家相比差距较大

从世界范围来看,为了消除由于微量元素缺乏导致的“隐性饥饿”,在国家和国际组织层面大致

采取了食物强化、工业强化、食物增补以及食品多元化等策略^[28]。其中,食物强化(即在食品中添加矿物质和维生素等)在工业化国家被认为是最成功的策略之一,但存在对食品加工技术和环境条件要求高、成本昂贵、饮食习惯差异大等缺陷,不适合广大发展中国家和贫困地区。目前,生物强化是国内外研究的热点,以食品作物为主体的生物强化覆盖面广泛,可持续能力强,产投比高,更适合广大发展中国家。中国关于生物强化的技术研究开始于20世纪90年代末,重点研究如何提高小麦、水稻、玉米等主要粮食作物中的铁、锌和维生素A含量的关键技术。2017年,《中共中央、国务院关于深入推进农业供给侧结构性改革加快培育农业农村发展新动能的若干意见》提出“加强现代生物和营养强化技术研究,挖掘开发具有保健功能的食品”^[29]。但由于起步较晚,与美国、日本等发达国家相比还存在较大差距,技术发展潜力和空间巨大。

2.3 富含有益矿物元素的耕地资源非常稀缺,并且开发利用严重不足

中国从20世纪60~70年代就开展了地方病地理分布规律,尤其是与生物地球化学之间关系的研究^[10]。近10多年来,针对中国国土资源的地球化学调查发展较快。从土壤类型看,中国土壤类型主要为石灰质土壤或者酸性土壤,40%的土壤面积锌和铁缺乏,72%的土壤面积硒缺乏,30%的土壤面积铜、钼和锰缺乏。以微量元素硒为例,自然资源部《中国耕地地球化学调研报告(2015)》指出^[30],除西藏外,中国其他各省市已经调查发现的富硒耕地面积为349.6万 hm^2 ,占调查耕地面积(9240.0万 hm^2)的3.78%,仅占中国耕地总面积的2.56%。另外,在山西、辽宁、福建、天津、青海等地还发现了一批富硼、钼、锌等有益微量元素的特色耕地。这些特色耕地资源总量非常小,开发利用价值大。从实际调查结果来看^[2,31],国内市场上富硒农产品价格平均高于同类普通农产品价格50%以上,富硒加工农产品价格则高于同类普通加工农产品价格3倍以上,但在全国主要天然富硒区作为富硒农产品出售的农产品比例却不足30%,大多数只是按普通农产品出售,全国富硒初级农产品产值仅为100亿

元左右,富硒农业产业链产值也仅为1000亿元左右。从农产品加工链条来看,中国主要天然富硒区农产品加工业总产值占农业总产值的比例约为0.5~1:1,远低于当前全国2.4:1的平均水平,富硒耕地等富含有益元素资源及产业链开发利用严重不足,富硒等功能性农产品及精深加工产品发展潜力巨大。

2.4 主要农产品的微量营养素含量标准和配套制度体系亟待完善统筹

目前,中国已制订出较为完善的微量营养素日摄入量标准,为发展功能农业或者功能食品奠定了坚实的基础。但中国功能农业标准和配套制度体系还存在以下4方面的问题:一是主要农产品的微量营养素含量方面国家标准和行业标准数量太少,以富硒农产品为例,主粮类仅有《富硒稻谷(GB/T 22499—2008)》国家标准,经济作物仅有《富硒茶(NY/T 600—2002)》《富硒大蒜(NY/T 3115—2017)》和《富硒马铃薯(NY/T 3116—2017)》农业农村部行业标准。2017年4月,中华全国供销合作总社发布了《富硒农产品(GH/T 1135—2017)》硒含量行业标准。二是中国的功能农产品及加工产品的相关制度及管理分布在国土、环境、农业、食品、医药等不同领域,不同部门、不同行业、不同地方发布的各类标准之间兼容性差,针对性不足,导致企业难以采纳应用,各类标准没有发挥应有的规范性作用。三是缺乏指导功能农产品生产的技术规程和配套政策法规体系。功能农业技术含量高,对技术规程有着更高的要求,同时亟需建立相应的配套政策法规体系,目前已有的体系还无法满足功能农业发展的实际需求。四是在顶层制度设计上,农业与营养健康存在“两张皮”现象,农业部门主抓生产,医学卫生部门主抓营养健康,针对不同地区、不同人群的微量营养素缺乏与失衡问题如何精准评估与施策^[32-33],如何平衡功能农产品的经济收益和社会效益等,目前仍然缺乏有效的协同保障机制。

2.5 功能农产品科普宣传力度不足,市场接受度和认知度不高

功能农业是大健康产业的重要组成部分,具有广阔的市场发展前景。与常规性农业不同,功能农

业更加强调农产品的营养功能和保健功效,具有更强的科学性和专业性。目前,中国功能农业的科普宣传还缺少专业化的机构、人员和渠道。从生产者角度看,存在夸大宣传、虚假宣传、信息不准确、标识不规范、营养素含量不达标以及企业信誉度不高等问题。从消费者角度看,中国居民在市场消费过程中存在认知度不足、购买盲目性较大、对功能农产品缺乏信任等问题。以微量元素硒为例,本课题组所做的全国问卷调查结果表明,对硒元素有所了解的人群约占47%,对硒与人体健康的作用有所了解的人群约占30%,功能农业的科普宣传任重道远。总体上看,整个行业还处于发展的初级阶段。

3 对策与建议

3.1 高度重视和引导中国功能农业规范化发展

功能农产品与人体营养健康问题越来越受到人们的关注,农业农村部已经把农产品营养强化、标准制订与风险评估作为今后工作重点之一。在国家层面应进一步明确功能农业发展的主管部门,成立专门的农产品与营养健康职能管理机构,在功能农业发展规划编制、关键技术研发及应用、相关标准和技术规范制订、标准示范区建设、质量监控及认证、品牌建设以及国际合作等领域开展职能工作,重点协调统筹关键技术研发,包括生物强化关键技术、农艺强化关键技术等;协调统筹国家标准和行业标准为主的功能农业标准体系建设等,包括产品分类含量标准、食品安全标准、预包装食品标准、功能农业质量检测和追溯体系、生产技术规程以及认证制度体系等。要充分考虑各部门、各行业功能农业及相关产品和管理标准的一致性、兼容性、协同性和适应性;联合地质、农业、环境、医学等相关部门定期发布属地农产品与人体营养健康监测报告;建立以属地管理为基础的“环境-农产品-人”食物链体系的人体营养健康风险监测与评估机制、功能农产品社会效益评估与补偿机制等,形成完备的制度体系和政策保障体系,全面统筹管理中国功能农业的规范化、标准化、科技化、品牌化和国际化。

3.2 科学确定中国功能农业重点发展的微量营养素和有益功效成分

生物强化技术发展迅速,成本低且易于接受,是持续改善微量营养素摄入不足的有效方式^[34],根据“对人体健康重要、膳食摄入不足和可以由农业提供”3原则^[2],以及中国居民营养与慢性病状况,确定中国功能农业需要重点强化的微量营养素和有益功效成分,包括:(1) 矿物质类:以锌和硒为主;(2) 维生素类:以维生素A、维生素B₁、维生素B₂和叶酸为主;(3) 有益功效成分:以植物化合物(包括大豆异黄酮、叶黄素、姜黄素、蕃茄红素、大蒜素、植物甾醇、氨基葡萄糖、花色苷、原花青素等)、限制性氨基酸以及不饱和脂肪酸等为主。在属地管理的基础上,建立全国农产品营养品质数据库以及食物营养供需平衡决策支持系统;制订不同地区重点目标人群的农产品膳食营养精量化改善提升计划。

3.3 合理选择中国各类微量营养素生物强化的主要农业载体

根据中国农产品微量营养素的含量、居民膳食营养结构以及微量营养素摄入的基本特点,适宜中国微量营养素生物强化的农业载体包括:(1) 微量矿质元素(硒和锌):重点为小麦、水稻、玉米、茶叶、鸡蛋、猪肉、牛羊肉、牛奶及食用菌类等;(2) 维生素A:以茶叶、西兰花、胡萝卜等深色蔬菜及动物肝脏为载体;(3) 维生素B₁、B₂和叶酸:以坚果、食用菌及绿叶蔬菜等为载体;(4) 限制性氨基酸:以玉米、小麦和水稻等为载体;(5) 不饱和脂肪酸:以亚麻、橄榄等为载体;(6) 植物化合物:以番茄、大蒜、姜黄等为载体;(7) 药食同源和新食品原料类:列入国家药食同源原料目录和新食品原料目录的产品种类,如粉葛、蒲公英、蛹虫草等。实践表明,通过调控农业生产系统,提高农产品中的微量营养素和其他有益功效成分的含量和有效性,具有效率高、成本低、覆盖面广以及环境风险小等优势,适合于发展中国的实际情况。

3.4 发展“载体农业”和跨学科科技创新研究体系

“载体农业”是指以具有高效富集潜力的农产品为载体,以现代生物技术为手段,生产具有高含

量或超高含量微量营养素农产品的农业类型。“载体农业”不强调生产的农产品用于直接食用,而是提取有效成分作为高附加值的食品、保健食品及医药产品的工业原料,是实现功能农业高值化的重要发展方向。如种植高硒大豆,使其硒含量达 10 mg/kg,提取其中的大豆硒蛋白作为保健食品和生物医药原料;利用蛇足石杉提取石杉碱甲,用于改善记忆力和治疗老年痴呆的药物开发等,这些载体农产品的附加值可提升数倍甚至成百上千倍。发展“载体农业”是中国现代农业转型升级、农业科技创新和提升国际竞争力的主攻方向。国际上通常通过育种、农艺和基因修饰等方法开发功能农产品,目前国内外已成功开发的产品包括富含赖氨酸和色氨酸的高蛋白玉米、高叶酸玉米、富含维生素 A 的甘薯、富含油酸和亚麻油酸的大豆,高富集硒、碘、锌等元素的其他新品种等,但从目前看传统育种技术在成功率和可接受度方面要优于转基因技术^[34]。今后重点发展方向包括:高效生物强化作物品种或动物品种的筛选及种质资源库建设、生物强化关键技术研发、微量营养素及其他有益功效成分的分离提纯技术等。将功能农业列入国家重点研发计划,以生命科学和生物技术为核心,建立从种植业、养殖业、食品加工、人体营养与健康、医药以及生态与环境等多学科交叉融合的科学研究体系,为中国功能农业发展提供强大的科技支撑。联合地质、环境、农业、医学等部门建立功能农业重点实验室,支持农林类高校和其他科研机构在功能农业基础研究和应用技术研发等领域的前沿性和创新性研究,培养专业化高级技术人才,成为中国功能农业技术创新和技术输出的主体平台。

3.5 制订中国集中连片特困地区的营养改善及健康扶贫计划

将功能农业列为中国贫困地区农业结构调整和产业扶贫的重点方向,优先推动功能农业相关技术在中国集中连片特困地区的示范与应用。结合集中连片特困地区农业产业特点,制订“特困区营养改善计划”或“特困区健康扶贫计划”。根据全国居民营养健康状况和贫困人口分布情况,划分不同的项目实施区域,尤其是在西藏自治区、四川省大

凉山地区、黑龙江省以及山东省沂蒙山地区等微量营养素摄入不足区域和贫困人口密集区域的叠加区域,大力实施“营养改善及健康扶贫计划”,通过发展功能农业,全面提升和改善这些重点贫困地区居民的营养与健康状况。

4 结论

中国农业经过 70 多年的快速发展,已在农产品数量供应、结构调整和质量安全等方面取得举世瞩目的成效,总体上已从能量消费阶段跨入营养素调整改善阶段,以营养与健康为核心的功能农业已成为中国现代农业转型升级和创新发展的重大战略方向。中国居民微量营养素摄入不足(隐性饥饿)与失衡问题应引起高度关注,尤其是来自“环境-农产品-人”食物链体系的微量营养素供应不足导致的人力资本损失尚未引起足够重视,从国内外发展经验看,以农产品为载体的微量营养素生物强化措施更符合中国国情。今后,深入研究和确定中国重点生物强化的微量营养素、农业载体及其高效生物强化的技术策略等,对促进中国现代农业创新发展,提高中国居民营养与健康水平具有重要科学意义和应用价值。

参考文献(References)

- [1] 联合国粮食及农业组织. 农产品人均消费[EB/OL]. [2017-09-17]. <http://www.fao.org/faostat/en/compare>.
- [2] 赵桂慎, 郭岩彬. 中国功能农业发展与政策研究[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- [3] 赵其国, 尹雪斌. 功能农业[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [4] Allen L, Benoist B, Dary O, et al. 微量营养素食物强化指南[M]. 霍军生, 等译. 北京: 中国轻工业出版社, 2009.
- [5] FAO statistical pocketbook 2015: World food and agriculture[R]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015.
- [6] Valença A, Bake A, Brouwer I, et al. Agronomic biofortification of crops to fight hidden hunger in Sub-Saharan Africa[J]. Global Food Security, 2017(12): 8-14.
- [7] World Health Organization. Micronutrient deficiencies:

- Iron deficiency anaemia (2015a)[R]. Geneva: WHO, 2015.
- [8] World Health Organization. Micronutrient deficiencies: Vitamin A deficiency (2015b)[R]. Geneva: WHO, 2015.
- [9] 国务院办公厅. 中国食物与营养发展纲要(2014—2020年)[EB/OL]. (2014-01-28) [2017-09-17]. http://www.gov.cn/zw/gk/2014-02/10/content_2581766.htm.
- [10] 谭见安. 中华人民共和国地方病与环境图集[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [11] 谭见安. 环境生命元素与克山病[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 1996.
- [12] 陈铭, 谭见安, 王五一. 环境硒与健康关系研究中的土壤化学与植物营养学[J]. 土壤学进展, 1994, 22(4): 1-10.
- [13] 范轶欧, 刘爱玲, 何宇纳, 等. 中国成年居民营养素摄入状况的评价[J]. 营养学报, 2012, 34(1): 15-19.
- [14] 国家卫生计生委疾病预防控制局. 中国居民营养与慢性病状况报告(2015年)[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2015.
- [15] Toan D Q, Cui Z, Huang J, et al. Selenium distribution in the Chinese environment and its relationship with human health: A review[J]. Environment International, 2018 (112): 294-309.
- [16] Han F, Liu L, Lu J, et al. Calculation of an adequate intake (AI) value and safe range of Selenium (Se) for Chinese infants 0-3 months old based on Se concentration in the milk of lactating Chinese women with optimal Se intake[J]. Biological Trace Element Research, 2019, 188 (2): 363-372.
- [17] 中共中央, 国务院. “健康中国2030”规划纲要[EB/OL]. (2016-10-25) [2017-09-17]. http://www.xinhuanet.com/politics/2016-10/25/c_1119785867.htm.
- [18] 国务院办公厅. 国民营养计划(2017—2030年)[EB/OL]. (2017-07-13) [2017-09-17]. http://www.gov.cn/home/2017-07/13/content_5210173.htm.
- [19] 常素英, 葛可佑, 翟凤英, 等. 中国居民微量营养素摄入的地区分布[J]. 卫生研究, 1999, 28(6): 364-366.
- [20] 黄秋敏, 张兵, 王惠君, 等. 1991—2015年我国十五省(自治区)农民膳食微量营养素摄入的变化趋势及其人口学特征[J]. 环境与职业医学, 2019, 36(5): 425-430.
- [21] 丁钢强. 引导合理膳食, 防控微量营养素缺乏[J]. 环境与职业医学, 2019, 36(5): 407-409.
- [22] 胡娟, 熊沫, 高慧. 微量营养素和植物化合物对肺癌潜在作用的研究进展[J]. 华中科技大学学报(医学版), 2019, 48(4): 492-496.
- [23] 文琴, 张春义. 满足健康需求的营养型农业与营养分子育种[J]. 科学通报, 2015(36): 3543-3548.
- [24] Fan Y, Wan J, Lei X. Progress of harvest plus China program[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2009, 11(1): 1-6.
- [25] Ghosh-Jerath S, Singh A, Magsumbol M, et al. Exploring the potential of indigenous foods to address hidden hunger: Nutritive value of indigenous foods of Santhal Tribal Community of Jharkhand, India[J]. Journal of Hunger & Environmental Nutrition, 2016, 11(4): 548-568.
- [26] Ghosh-Jerath S, Singh A, Lyngdoh T, et al. Estimates of indigenous food consumption and their contribution to nutrient intake in Oraon tribal women of Jharkhand, India[J]. Food and Nutrition Bulletin, 2018, 39(4): 581-594.
- [27] Fairweather-Tait S, Bao Y, Broadley M, et al. Selenium in human health and disease[J]. Antioxidants & Redox Signaling, 2011, 14(7): 1337-1383.
- [28] 梁龙, Bradley G, 谢斌, 等. 发展功能农业解决“隐性饥饿”[J]. 科技导报, 2017, 35(24): 82-89.
- [29] 中共中央, 国务院. 关于深入推进农业供给侧结构性改革加快培育农业农村发展新动能的若干意见 [EB/OL]. (2017-02-06) [2017-09-17]. http://www.moa.gov.cn/ztl/yhwj/2017/zywj/201702/t20170206_5468567.htm.
- [30] 国土资源部中国地质调查局. 中国耕地地球化学调研报告(2015) [R]. 2015.
- [31] 中国富硒农业产业技术创新联盟. 中国富硒农业发展蓝皮书[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2019.
- [32] 李晓瑜, 刘秀梅, 王竹天, 等. 微量营养素的风险评估[J]. 食品科学, 2009, 30(13): 258-261.
- [33] 贾海先. 国内外强化食品对人群重点微量营养素的贡献率[J]. 卫生研究, 2015, 44(1): 137-142.
- [34] Garg M, Sharma N, Sharma S, et al. Biofortified crops generated by breeding, agronomy, and transgenic approaches are improving lives of millions of people around the world[J]. Frontiers Nutrient, 2018(5): 12.

Status, problems, and strategies of functional agriculture in China

ZHAO Guishen, GUO Yanbin

College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China

Abstract Deficiency of micronutrients has been one of the key impact factors for human health in China. To resolve the problem of hidden hunger of the people, increasing concentrations of micronutrients in agricultural products based on biofortifying technologies is an innovative strategy in modern agriculture. In this study, the background, objectives and problems in functional agriculture are analyzed. The three principles, i. e., key micronutrients, carrying products, systems of technological innovation are presented, and the action plan to strengthen supply of micronutrients in functional agriculture is also suggested. Furthermore, biofortification of micronutrients by agricultural products is more suitable to actual situations in China. These suggestions can promote transformation and upgrading, quality, efficiency, and the supply-side structural reform, and are new drivers for modern agriculture to grow in the future.

Keywords functional agriculture; hidden hunger; micronutrient; biofortification; supply-side structural reform ●



(责任编辑 徐丽娇)