

# 作物营养强化农产品经济效益的 研究现状与展望

廖芬<sup>1</sup>,青平<sup>2\*</sup>

(1.山东财经大学保险学院,山东济南250000;  
2.华中农业大学经济管理学院,湖北武汉430070)



**摘要** 作物营养强化是改善隐性饥饿经济有效的方式,有利于以较低的成本投入改善人口营养健康状况,推动践行“健康中国”战略。但作为新型农产品,作物营养强化农产品经济效益研究相对欠缺。为了对作物营养强化农产品经济效益做出系统性评价,从作物营养强化农产品经济效益的内涵、研究方法 with 实证研究3个方面对国内外研究现状进行了综述。进一步对经济效益的影响因素进行总结和归纳,结果发现技术功效、膳食结构、农户采用率、消费者接受度、开展和推广作物营养强化农产品的成本是影响经济效益的关键因素。在此基础上,深入聚焦和剖析现阶段作物营养强化农产品经济效益研究存在的问题,例如缺乏真实消费情景的分析、缺乏客观经济效益的分析。提出未来对作物营养强化农产品经济效益研究中,应加强经济效益的次一级分析、增加经济效益事后分析、增加农户采用率研究,加强消费者接受度等角度的深入研究。

**关键词** 作物营养强化;经济效益;营养不良;成本效益

**中图分类号**:F322 **文献标识码**:A **文章编号**:1008-3456(2023)06-0036-11

**DOI编码**:10.13300/j.cnki.hnwkxb.2023.06.004

微量营养素营养不良是许多发展中国家普遍存在的公共卫生问题。据统计,发展中国家有超过1/3的人口受微量营养素缺乏的影响,其中有超过20亿人存在铁缺乏问题,20亿人碘摄入量不足,还有2.54亿学龄前儿童存在维生素A缺乏的问题<sup>[1]</sup>。我国的营养不良人口数也达到了3亿,其中微量营养素缺乏的人群多达6400万<sup>[2]</sup>。微量营养素缺乏不仅会影响身体健康,如增加发病率和死亡率,从而导致健康负担增加,还会带来巨大的经济损失,如增加医疗成本,减少劳动力和经济产出<sup>[3]</sup>,中国由于铁缺乏问题所带来的经济损失占国内生产总值的3.60%<sup>[4]</sup>,柬埔寨由于微量营养素缺乏所导致的经济损失也高达2亿美元<sup>[5]</sup>。微量营养素的缺乏也会影响脱贫攻坚成果的巩固,微量营养素缺乏对相对贫困人口的影响更大,因为他们的饮食通常以相对便宜的主食为主,缺乏足够数量的高价值营养食品。因此,控制微量营养素缺乏的营养不良已经成为发展中国家的发展优先事项。

改善微量营养素缺乏的主要干预措施包括调整饮食结构、服用营养补充剂、食物强化和作物营养强化四种<sup>[6]</sup>。但前3种由于各自的局限性,导致总体覆盖范围相对有限。作物营养强化是一种以农业为基础的干预战略,主要通过培育具有较高微量元素含量的主食作物实现,可以有效大面积改善贫困人口的营养健康状况<sup>[7]</sup>。研究表明,作物营养强化是减轻发展中国家农村地区广泛存在的微量营养素缺乏问题最经济有效的方式<sup>[8]</sup>。在不同国家开展的事前成本效益研究表明,作物营养强化干预每减少一个失能调整生命年(disability-adjusted life years, DALYs)损失值,即每挽回一个健康生命年所需要的成本大约为15~20美元,按照世界银行的标准,这具有很高的成本效益<sup>[9-10]</sup>,因此作物营

收稿日期:2022-05-10

基金项目:国家自然科学基金国际合作项目“作物营养强化对改善人口营养健康影响及评估研究”(71561147001);中央高校基本科研业务费专项“面向未来的新型食物系统构建及经济社会影响评估研究”(2662021JC003)。

\*为通讯作者。

养强化是解决隐性饥饿问题成本效益较高的公共卫生干预措施<sup>[11-14]</sup>。

但要注意的是,同一种作物、同一种微量营养素的经济效益和成本有效性之间会存在显著差异,如在菲律宾推广维生素A强化大米的经济效益每年在1600万美元到8800万美元之间<sup>[15]</sup>,在中国推广同类大米的经济效益为1.65亿美元到11.95亿美元之间<sup>[14]</sup>;李路平等<sup>[16]</sup>的研究表明,中国推广铁强化小麦的经济收益为3.46亿美元到8.96亿美元之间,每减少一个DALYs损失值所需要的成本为1.75~2.78美元,而在印度开展铁强化小麦项目,每减少一个DALYs损失值所需要的成本为1.00~11.00美元<sup>[13]</sup>。同一个国家不同微量元素的强化也会产生类似的结果,如Jamison等<sup>[17]</sup>通过研究发现在乌干达推广 $\beta$ 胡萝卜素强化的橙肉甘薯每减少一个DALYs损失值所需要的成本低于5美元,但推广维生素A强化作物每减少一个DALYs损失值所需要的成本却达到12美元。前人研究结果间的不一致说明作物营养强化的健康效益、经济效益和成本效益存在很大差异,这就导致了两个新的问题:(1)为什么经济效益间会产生如此大的差异,即影响作物营养强化经济效益的因素有哪些?(2)最大化作物营养强化经济效益的机制是什么?为了回答这些问题,政府和学者们进行了一系列跨学科研究,将食品科学、生物科学及经济学的方法结合起来,探讨影响作物营养强化健康效益和经济效益的因素及相关对策。但可以发现,由于我国作物营养强化起步较晚,这两方面研究相对较少,因此本文在对国内外作物营养强化经济效益相关文献进行梳理的基础上,分析探讨作物营养强化经济效益的影响因素,从而为提高作物营养强化经济效益提供针对性建议。

## 一、作物营养强化农产品经济效益的内涵

作物营养强化农产品经济效益是指作物营养强化农产品对人口营养健康的改善所带来的经济价值<sup>[18]</sup>。在农业经济学中,评估新作物技术影响的通常做法是量化农户由于采用新技术导致生产力提高所带来的经济效益。生产力的提高主要是通过增加产量或者节省生产成本实现的,这会导致农产品供给曲线向下移动,据此可得出总的经济盈余和盈余分配效应<sup>[19]</sup>。作物营养强化农产品的重点是通过提高农产品的微量营养素含量进而改善消费者的营养状况。微量营养素含量的提高通常会导致消费者获得的边际效益增加,有学者认为这会导致农产品需求函数的向上转移<sup>[20]</sup>。然而,由于贫困人口微量营养素补充意识相对欠缺及购买力的限制,作物营养强化农产品不太可能导致需求向上转移<sup>[3]</sup>。在这种情况下,由于患有微量营养素营养不良的个体和整个社会的相关外部性,作物营养强化农产品的益处应被视为积极的营养和健康结果,这导致评估作物营养强化农产品的经济效益更加困难。

因此,为了衡量作物营养强化农产品的经济效益,最重要的是如何测量健康。Zimmermann等<sup>[15]</sup>在分析菲律宾黄金大米的潜在健康益处时提出了一种更全面的方法:由于微量营养素营养不良会导致巨大的健康成本,可通过作物营养强化农产品降低健康成本。他们分别量化了维生素A缺乏症患者食用和不食用黄金大米的健康成本,并将其差异(即节省的健康成本)解释为健康效益。这种方法被称为DALYs方法,是一种事前分析的方法,一个DALYs损失值表示一个健康生命年的损失。此后DALYs方法成为衡量作物营养强化农产品健康效益的主要方法。将作物营养强化农产品的健康效益进行货币化就可以得到其经济价值,并可以据此进行成本效益分析,获得作物营养强化农产品的成本有效性和成本收益率,从而明确作物营养强化农产品的经济效益<sup>[3,11,13]</sup>。因此,作物营养强化农产品的经济效益是指作物营养强化农产品对人口营养健康的改善所带来的经济价值。人口营养健康的改善是用DALYs损失值的减少来衡量的,因此其所带来的经济价值也应该是通过将DALYs损失值货币化来实现,并根据开展作物营养强化农产品的成本来进行成本效益分析,从而进一步明确作物营养强化的经济效益。

## 二、作物营养强化农产品经济效益的评价方法

作物营养强化农产品的经济效益主要包括3个方面,首先是作物营养强化农产品对全社会人口

营养健康的改善所带来的健康效益,其次是健康效益所带来的经济价值,最后是开展作物营养强化的成本效益<sup>[3,11,13]</sup>。健康效益的衡量主要是通过DALYs方法实现的,分析过程如图1所示。而将DALYs损失值货币化就可以得到作物营养强化农产品的经济价值,再结合开展作物营养强化的成本可以进行成本效益分析,因此衡量作物营养强化农产品经济效益的方法也主要是DALYs方法及将其货币化。

### 1. 健康效益分析方法

DALYs方法是衡量作物营养强化农产品潜在健康效益最普遍的方法<sup>[21]</sup>。它是一种衡量某个特定疾病所导致的死亡率和发病率的综合指标,并以此综合指标来反映特定疾病所导致的疾病负担,通常用DALYs损失来表示,分为伤残损失生命年(YLD)和早死损失生命年(YLL)两部分。YLD是指由于特定疾病导致的残疾所带来的健康生命年的损失,YLL是指由于特定疾病导致的死亡所带来的寿命损失。因此采用DALYs方法来衡量疾病负担时,其损失总和为: $DALYs_{\text{损失}} = YLL + YLD$ 。

每种特定疾病的DALYs损失加总就可以得到疾病总负担。但根据Zimmerman等<sup>[15]</sup>的研究,我们可以发现YLD与疾病或残疾的严重程度相关,其严重程度一般为0到1,0代表个体是完全健康的,没有残疾,1代表个体完全不健康,已经死亡。考虑了疾病的不同严重程度以后,可以将DALYs损失的衡量公式表示为:

$$YLL = \sum_j T_j M_j \left[ \frac{1 - e^{-rd_j}}{r} \right] \quad (1)$$

$$YLD = \sum_i \sum_j T_j I_{ij} D_{ij} \left[ \frac{1 - e^{-rd_j}}{r} \right] \quad (2)$$

$$DALYs_{\text{lost}} = YLL + YLD \quad (3)$$

上述公式中, $T_j$ 是指特定疾病影响的目标人群 $j$ 的人口总数, $M_j$ 是指特定疾病所导致的目标人群死亡率, $r$ 是指未来健康损失的贴现率, $L_j$ 是指目标人群 $j$ 患病后的剩余期望寿命, $I_{ij}$ 是指目标人群 $j$ 患上特定疾病 $i$ 的发病率, $D_{ij}$ 是指目标人群 $j$ 患上特定疾病 $i$ 所导致的失能权重,其取值范围为 $[0, 1]$ ,0代表个体是完全健康的,没有残疾,1代表个体完全不健康,已经死亡。 $d_j$ 是指目标人群 $j$ 患上特定疾病 $i$ 的持续时间。

### 2. 经济收益分析方法

经济收益分析是衡量健康效益所带来的经济价值,主要通过将健康效益所带来的DALYs损失值货币化实现。以往研究中,将DALYs损失值货币化从而来衡量作物营养强化项目经济效益的做法主要有3类:①直接采用固定的数值来衡量DALYs损失值的货币化效益,如Stein等<sup>[22]</sup>在其研究中将1个DALYs损失值量化为500美元,而世界银行则将1个DALYs损失值量化为1000美元;②考虑到每个国家的发展水平不同,采用人均国内生产总值(GNI)来衡量DALYs损失值的货币化效益,如Zimmermann等<sup>[15]</sup>将DALYs损失值量化为1030美元(菲律宾当年的人均国内生产总值);③考虑作物营养强化农产品的覆盖范围,将其分为乐观和悲观两种情形分别进行衡量,如世界银行认为在乐观情形下,1个DALYs损失值带来的经济效益为1000美元,而在悲观情形下,1个DALYs损失值带来的经济效益为500美元。

### 3. 成本效益分析方法

成本效益分析(CEA)是通过比较预期成本和预期收益从而评估作物营养强化项目是否“物有所值”的重要工具<sup>[16,21]</sup>。主要是通过测量每个DALYs损失值节省的成本来评估作物营养强化干预是否

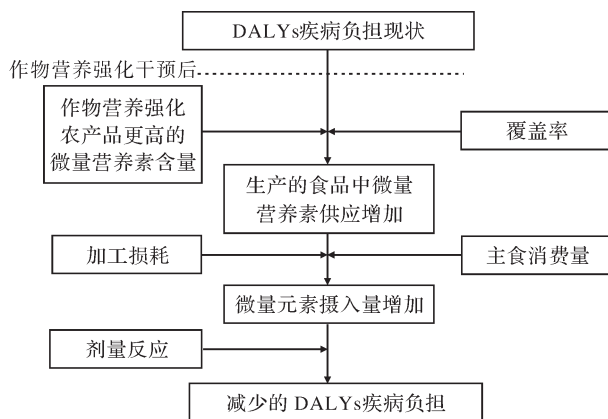


图1 作物营养强化健康效益分析框架

值得进行。具体而言是通过比较总成本的净现值(NPV)和节省的DALYs损失值所带来的经济收益的总额实现的<sup>[23]</sup>。总成本和经济收益都以美元作为计量单位,其贴现率均为3%。因此,成本效益的计算公式可表示为:

$$\frac{NPV_{\text{costs}}}{NPV_{\text{DALYs}_{\text{saved}}}} = \frac{\sum [(C_t)(1+r)^{-t}]}{\sum [DALYs_{\text{saved}}((1+r)^{-t})]} \quad (4)$$

公式(4)中, $t$ 是指作物营养强化项目开展的年限,具体为1到30年; $C_t$ 是指第 $t$ 年的总成本, $r$ 是指未来寿命年的贴现率,取值为3%; $DALYs_{\text{saved}}$ 是指作物营养强化干预后减少的DALYs损失值所带来的经济收益。

### 三、作物营养强化农产品经济效益的相关研究

作物营养强化农产品现有研究一致认为其具有高回报率 and 较高的成本效益<sup>[12]</sup>。Zimmermann等<sup>[15]</sup>首先运用DALYs方法计算作物营养强化农产品的健康效益、经济价值和成本效益。其结果表明在菲律宾推广维生素A强化大米的经济效益每年在1600~8800万美元之间。随后大量学者开展了类似研究,均揭示了作物营养强化农产品的经济效益和成本效益,如Meenakshi等<sup>[13]</sup>的研究表明,印度开展富铁小麦的成本有效性为1~11,即每减少一个DALYs损失值所需要的成本为1~11美元。而Jamison等<sup>[17]</sup>通过研究发现在乌干达推广 $\beta$ 胡萝卜素强化的橙肉甘薯的成本有效性低于5美元,但推广维生素A强化的成本有效性为12美元。进一步的研究发现,作物营养强化农产品不仅经济价值高,并且相较于其他强化方式而言,成本有效性更高。Nguema等<sup>[24]</sup>计算了尼日利亚和肯尼亚为减少维生素A和铁缺乏而开发的木薯品种的DALYs损失值和经济盈余,以分析其潜在的健康和经济效益。结果发现,尼日利亚作物营养维生素A强化的潜在经济效益为11亿~14亿美元,肯尼亚维生素A强化的经济效益为6700万~8100万美元。而同时强化维生素A和铁的木薯品种所导致的经济效益在尼日利亚为12亿~16亿美元,在肯尼亚为1.05亿~1.1亿美元。此外还发现,尼日利亚的成本有效性为4~6,即每减少一个DALYs损失值,需要的成本为4美元~6美元,肯尼亚的成本有效性为56~87,即每减少一个DALYs损失值,需要的成本为56~87美元。与食物强化和服用营养补充剂相比,作物营养强化农产品的成本有效性更高。

在中国也得出了类似的结论。De Steur<sup>[14]</sup>首先通过DALYs方法来探讨中国开展作物营养强化农产品的成本效益,结果证实了作物营养强化农产品在中国开展的经济有效性,其成本有效性可以达到2~10美元。随后李路平等<sup>[16]</sup>探讨了在我国开展作物营养强化富铁小麦的健康效益、经济效益和成本效益,结果表明:无论是在乐观的情况下,还是在悲观情况下,作物营养强化富铁小麦所带来的DALYs损失值均显著减少,这充分证实了在我国开展作物营养强化项目所具有的健康效益。进一步的分析表明,中国作物营养强化富铁小麦的经济收益在3.46亿~8.96亿美元,成本有效性为1.75~2.78,即每减少一个DALYs损失值所需要的成本为1.75~2.78美元。因此,经济效益和成本有效性均相对较高。此外,廖芬等<sup>[25]</sup>也采用DALYs方法对我国叶酸强化水稻的经济效益进行了深入分析,证实了其对于人口营养健康的营养干预效果显著,货币化经济收益达到每年0.43亿元到2.13亿元,成本收益率为39.61~198.00,即每投入1元的研发成本可以带来39.61~198.00元的收益。按照世界银行和世界卫生组织的标准,我国叶酸强化水稻的经济效益较高。

上述经济效益相关研究一致认为,通过作物营养强化农产品进行营养干预是解决微量营养素营养不良经济有效的方式,首先作物营养强化农产品具有巨大的健康效益,能够有效改善目标人群营养健康状况,其次,作物营养强化农产品具有高额的经济收益,其成本有效性相对较高,优于其他营养干预措施如食物强化和营养补充剂。高额的经济收益为作物营养强化农产品的进一步发展和推广提供了有力依据。但需要注意的是以往的研究基本都是通过DALYs方法这种事前分析的方法来衡量其健康效益和经济效益,缺少建立在实地调研基础上的事后分析。

#### 四、作物营养强化农产品改善人口营养健康经济效益的影响因素

既往研究虽证实了作物营养强化农产品改善人口营养健康所带来的经济效益和成本效益,但可以发现同一种微量营养素在不同国家与同一国家不同微量营养素的经济效益均存在较大差异,为了最大化经济效益就需要了解这些差异产生的原因,即影响作物营养强化农产品改善人口营养健康的经济效益的因素。通过经济效益的内涵发现,其影响因素主要包括影响作物营养强化农产品健康效益的因素和开展作物营养强化农产品的成本<sup>[3]</sup>。

作物营养强化农产品健康效益的衡量主要是基于DALYs公式采用事前分析方法进行,正如图1所示,其健康效益取决于3个因素:①消费作物营养强化农产品的人群总数,即覆盖率,取决于生产者和消费者对新技术的接受程度。②消费作物营养强化农产品所导致的微量营养素的增量即“生物功效”,取决于所消耗农产品的数量、作物中微量营养素的附加量以及微量营养素的留存量。③附加微量营养素对功能或健康结果的影响大小,即剂量效应,取决于人体吸收微量营养素的效率即生物利用率<sup>[3,13-15]</sup>。消费总量又进一步取决于现有的膳食结构,而微量营养素的增量、留存量和生物利用率则取决于技术功效<sup>[3]</sup>。在了解作物营养强化农产品健康效益的基础上,可以计算其经济价值,再结合开展成本进行成本效益分析就能进一步明确经济效益。

综上,可以将影响作物营养强化农产品改善人口营养健康的经济效益的因素分为4类,一是技术功效,主要包括微量营养素增量、微量营养素留存量和生物利用率三方面;二是覆盖率,主要包括农户采用率和消费者接受度;三是膳食结构,主要是指消费者食用的作物营养强化农产品的数量;四是开展和推广作物营养强化农产品的成本,主要包括基础研发成本、适应性育种成本、推广成本和维护成本四方面(见图2)。

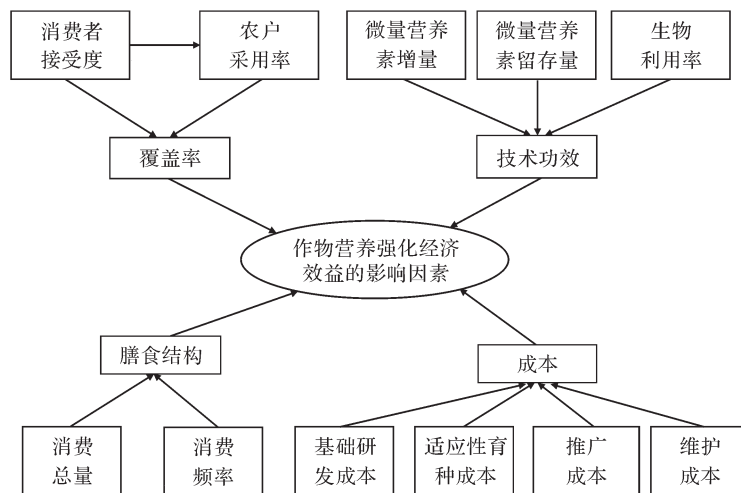


图2 作物营养强化农产品经济效益的影响因素

##### 1. 技术对改善人口营养健康的经济效益的影响

(1)微量营养素含量:农产品中微量营养素的含量及强化后农产品中微量营养素的增加量会对作物营养强化农产品的健康效益产生影响,进而影响其经济效益。虽然现有的许多主要粮食作物品种已经含有一定量的微量营养素。例如,高产小麦品种铁含量约为38 ug/g,锌含量约为31 ug/g。受欢迎的水稻品种含有3 ug/g的铁和13 ug/g的锌<sup>[3]</sup>。有一些作物中却缺少微量营养素,如目前广泛食用的木薯、玉米和甘薯中 $\beta$ 胡萝卜素的含量为零。而维生素和矿物质对于营养健康十分重要,二者缺一不可。因此,为了有效改善微量营养素缺乏状况,作物营养强化应运而生。它是通过常规育种方式进一步增加主食作物中微量营养素含量,其潜力巨大,例如作物营养强化后的橙肉甘薯的 $\beta$ 胡萝卜素含量可以超过100 ug/g<sup>[3]</sup>。而微量营养素含量的增加可以有效增加消费者摄入的微量营养素含量,进而改善其营养健康状况。此外富含微量营养素的作物品种也会增加农户的采用率,进而使得

其覆盖面积增加。

(2)加工方式:实际食用的主食中所含有的微量营养素含量可能低于作物中的含量,因为在收获和加工过程中可能会发生损失,因此加工方式会对作物营养强化农产品的经济效益产生影响<sup>[26]</sup>。加工方式对富含维生素A的作物影响更大,如甘薯和木薯等作物在收获后通常要经阳光曝晒,而这会导致维生素A完全降解。其他加工技术,如烹饪等也会影响主食中维生素的含量。并且 $\beta$ 胡萝卜素尤其对明亮的阳光和极热敏感。对于橙肉甘薯而言,煮沸后 $\beta$ 胡萝卜素会损失大约20%<sup>[27]</sup>,但如果贮藏和烹饪技术不当,损失可能会更大。在非洲,木薯由于加工方式所导致的损失是最大的,在烹饪过程中会损失70%到90%的维生素A。在巴西东北部,由于加工方式所导致的维生素A的损失也很大,达到54%到64%<sup>[13]</sup>。除了维生素以外,加工方式对于富含矿物质的主食作物也会产生损失,尽管它们通常比维生素和类胡萝卜素更不敏感。如铁、锌通常存在于小麦的籽粒中,而小麦籽粒在加工过程中通常会被去除,这就导致其微量营养素含量大幅下降<sup>[28]</sup>。

(3)生物利用率:任何以食物为基础的干预措施的影响效果取决于对营养素摄入量增加的剂量反应,也就是人体最终能吸收多少特定的微量营养素并用于维持身体健康<sup>[26]</sup>。因此,生物利用率和剂量反应会对作物营养强化农产品的经济效益产生重要影响。而生物利用率和剂量反应又取决于许多因素,如微量营养素的确切化学成分以及这种化合物是如何储存在植物细胞内的。此外,人们饮食中的增强和抑制因素也会产生重要影响。例如, $\beta$ 胡萝卜素的吸收取决于最低脂肪摄入量,而酒精会降低生物利用度。维生素C的摄入量对铁的生物利用度有积极影响,植酸盐和单宁则起到抑制作用<sup>[3]</sup>。Haas等<sup>[29]</sup>的研究已经表明,高铁大米确实可以改善妇女的铁摄入状况。同样,van Jaarsveld等<sup>[30]</sup>也已经证实,食用 $\beta$ 胡萝卜素含量为100ug/g的橙肉甘薯确实可以改善儿童的维生素A状况。即使每天食用50克橙肉甘薯,其 $\beta$ 胡萝卜素含量在煮沸后保留80%,也足以使儿童每日维生素A的摄入量达到建议摄入量的75%。

## 2. 膳食结构对改善人口营养健康的经济效益的影响

营养干预措施的有效性在一定程度上会受到目标人群膳食结构的影响,一般情况下,特定主食作物的消费总量和消费频率越高,微量营养素的增加对其影响就越大<sup>[31]</sup>。在每天摄入400克特定食物的情况下,微量营养素含量增加10 ug/g将转化为每天增加4毫克的微量营养素摄入量,而200克的摄入量仅转化为增加2毫克的微量营养素摄入量。因此,在进行作物营养强化时应该根据膳食结构开展,如在中国大部分人是小麦和水稻作为主食,消费量和消费频率居于前列,因此在中国应首先开展小麦和水稻的营养强化<sup>[32]</sup>。此外,在释放作物营养强化主食作物以后,为了最大化其效益,应该鼓励消费者增加相应强化作物的食用量和食用频率,从而使得作物营养强化改善人口营养健康的经济效益最大化。

## 3. 覆盖率对改善人口营养健康的经济效益的影响

(1)农户采用率:农民生产的作物营养强化主食越多,目标家庭的消费量就越大,由于摄入不足所导致的患病率就会降低得越多<sup>[3]</sup>。因此,农户采用率对作物营养强化农产品的经济效益至关重要。以往研究中,由于作物营养强化农产品并没有真的种植和生产,因此进行健康效益、经济效益和成本效益的分析时通常采用权威的二手数据进行假设,如专家们认为亚洲谷物种子系统发达,覆盖率可能很高,一般情况下,在悲观情景下亚洲的最大覆盖率为30%,在乐观情景下亚洲的最大覆盖率为60%。而在种子系统欠发达的非洲,学者们使用的覆盖率要低得多,悲观情景下覆盖率的假设是20%,乐观情景下覆盖率的假设是40%。在拉丁美洲,覆盖率假定在25%~30%。然而,在巴西东北部,新品种木薯的覆盖率一直很低,专家们假设这一作物的覆盖率为10%~25%<sup>[33]</sup>。这些不同覆盖率的假设,导致不同地区开展作物营养强化农产品的经济效益差异较大。

(2)消费者接受度:由于人们对微量营养素的认知普遍缺乏,因此作物营养强化农产品的营养优势可能得不到充分的认识,这会导致消费者对作物营养强化主食的接受度下降<sup>[34]</sup>。此外,受微量营养素缺乏影响最大的是贫困人口,他们愿意为作物营养强化主食支付更高价格的意愿和能力也十分有

限。并且作物营养强化有可能会使主食作物外观性状发生改变,这会在一定程度上降低其接受程度。如 $\beta$ 胡萝卜素的强化会使作物颜色变为深黄色或橙色,而矿物质如铁、锌等的强化并不会导致颜色、外观等的变化<sup>[27]</sup>。因此,消费者对铁、锌强化作物的接受度可能高于维生素强化的作物。基于此,消费者的接受度会对经济效益产生重要影响。消费者的接受程度越高,越愿意购买和食用作物营养强化农产品,其从中摄入的微量营养素含量就越大,因此消费者由于微量营养素摄入不足所导致的疾病发生率就会下降<sup>[3]</sup>,并且消费者的接受度也会对农户采用产生正向影响,消费者接受程度越高,越愿意为其支付溢价,农户种植意愿就会增加<sup>[35]</sup>,从而进一步扩大作物营养强化农产品的覆盖率,使其受益人群增加。

#### 4. 成本对改善人口营养健康的经济效益的影响

成本也是影响作物营养强化农产品经济效益的重要因素,一般而言成本包括研发成本、适应性育种成本、推广成本和维护成本。由于国家间经济发展水平等的差异,不同国家开展作物营养强化农产品所需要的成本也是不同的,这就导致其经济效益有所不同,特别是成本有效性方面<sup>[14]</sup>。如木薯的育种工作主要集中在非洲和拉丁美洲国家,特别是在巴西东北部,木薯的研发成本占总成本的67%。而其余国家的研发成本则相对较低。并且适应性育种成本在每个国家也是不同的,如在印度,水稻的适应性育种成本为每年160万美元,而在孟加拉国水稻的适应性育种成本每年仅需20万美元<sup>[36]</sup>。同样,推广和维持成本也是针对具体国家的,在每个国家都有所不同<sup>[16]</sup>,这些成本的差异会导致作物营养强化农产品的经济效益产生差异,从而导致同一种作物、同一种微量营养素,甚至是一个国家的经济效益参差不齐。

## 五、经济效益研究中存在的问题

作物营养强化农产品属于新型农产品,目前尚未进行大规模种植和生产,消费者接触此类产品的机会较少,因此其经济效益分析主要采用事前分析方法进行,这就导致开展经济效益研究时存在一些问题,主要表现在以下几个方面:

首先,缺乏经济效益的次一级分析。微量营养素缺乏是发展中国家面临的普遍公共卫生问题,印度的营养不良人口数量是世界上最高的,达到1.96亿<sup>[37]</sup>。尼日利亚、巴基斯坦等也有超过15%的人群面临“隐性饥饿”的风险<sup>[38]</sup>,因此以往研究大多从国家层面进行分析,对比不同国家经济效益的不同。不容忽视的是,即使是同一个国家不同地区间的营养不良率也存在较大差异,如中国西部偏远地区的营养不良率显著高于中部地区和东部地区<sup>[39]</sup>,因此明确不同地区间作物营养强化农产品健康效益和经济效益的差异是确定推广优先序、最大化经济效益的重要依据。但囿于研究方法和数据的可得性,以往的研究主要关注于国家级的分析,忽视了次一级的分析,缺少不同地区间的深入分析。

其次,缺乏经济效益的事后分析。从经济效益的相关研究中可以发现,由于作物营养强化农产品尚未大规模种植和推广,现有的关于作物营养强化农产品健康效益和经济效益的分析大多采用DALYs方法来对其干预效果进行评价<sup>[3,13-15]</sup>。DALYs方法是衡量其干预效果的有效方法,但DALYs方法主要是衡量其对于疾病负担的改善作用,对进一步提高居民健康和生活质量的分析和考虑是不足的。此外,采用DALYs方法衡量干预效果时,主要是采用事前分析和二手数据,这就导致衡量结果可能存在一定的偏差<sup>[25]</sup>。因此,为了更加准确地衡量作物营养强化农产品的健康效益及其所带来的经济价值,应该考虑对消费者食用作物营养强化农产品后健康水平的真实改善情况进行事后分析,这是全面真实分析其干预效果的前提和基础。

再次,缺乏农户采用率的研究。农户采用率是影响经济效益的关键决定因素之一<sup>[3]</sup>。农户的采用率越高,种植和生产的作物营养强化主食越多,目标家庭的消费量就越大,由于摄入不足所导致的患病率就降低得越多。反之,作物营养强化主食对于营养健康的改善作用就会大打折扣。而缺乏健康效益的作物,消费者对其支付意愿也会相对较低,因此农户的经济利益会减少,这又会进一步降低其采用率,从而形成恶性循环,导致营养不良状况无法改善。因此农户的采用率对于分析和增强作

物营养强化农产品的健康效益和经济效益至关重要<sup>[40]</sup>。但通过梳理经济效益影响因素发现,以往的研究中对于覆盖率仅采用统一的假设数据,忽视了农户采用率及其影响因素的相关研究。

最后,缺乏消费者真实接受度的研究。作物营养强化农产品虽然能够有效改善营养健康状况,这在一定程度上会增加消费者的接受度和支付意愿<sup>[41-42]</sup>,但由于有的作物营养强化农产品如维生素A强化的农产品会发生颜色、外观等的改变,这会导致消费者对其产生恐惧心理从而降低其接受度和支付意愿<sup>[43-45]</sup>。因此,为了有效推广作物营养强化农产品,提高其经济效益,就必须了解消费者支付意愿为什么会出现互相矛盾的结果及矛盾结果的影响因素。但现有研究缺乏对影响因素的关注,并且以往关于作物营养强化农产品支付意愿的研究大多是采用问卷或者拍卖的形式测量的,消费者并没有真实地进行支付,这会导致其高估支付意愿,因此采用二手数据或者是模拟真实交易,从而测量消费者的真实支付意愿对于衡量作物营养强化农产品的市场潜力和经济利润,进而增加农户的采用率和改善消费者健康状况必不可少,但纵观现有文献发现此类研究相对较少。

## 六、作物营养强化农产品经济效益的研究展望

作物营养强化农产品经济效益的现有研究存在缺乏次一级分析、缺乏事后分析以及缺乏农户采用率和消费者接受度相关研究的问题,这就导致无法对其经济效益进行更准确的衡量,为了最大化作物营养强化农产品的经济效益,未来可以增强以下相关研究:

第一,加强经济效益次一级分析的相关研究。开展作物营养强化农产品经济效益的次一级分析有利于在国家内部确定作物营养强化农产品开展的优先序,从而保证最大限度地改善人群营养健康状况。但目前不同国家间经济效益差异的研究较多,同一国家不同地区间的健康效益和经济效益差异的研究相对较少,接下来应加强经济效益次一级的相关研究。具体而言:①调查不同地区微量营养素缺乏现状及由此所导致的疾病负担,以了解不同地区人口各种微量营养素如铁、锌、维生素等的缺乏情况及由此所造成的疾病负担和经济损失以便进行对比研究;②测算不同地区开展作物营养强化农产品的健康效益和经济效益,以了解作物营养强化农产品对不同地区健康状况的改善作用和带来的经济效益,进而构建作物营养强化农产品推广优先序指数,最大化作物营养强化农产品经济效益。

第二,加强经济效益事后分析的相关研究。作物营养强化农产品对人口营养健康的事后分析能够帮助明确作物营养强化农产品的真正影响进而衡量其传播后的经济效益和成本效益,对于作物营养强化农产品的进一步发展起着举足轻重的作用。但现有的研究大多是采用事前分析的方法进行,分析是建立在合理估计的基础上,因此未来应加强对作物营养强化农产品经济效益事后分析的相关研究。具体而言:①采用随机对照试验方法开展作物营养强化农产品改善人口营养健康的实证研究,从而了解作物营养强化作物对具体某种或者某几种微量营养素缺乏所导致的疾病负担的减少程度,以便从事后分析的角度明确其对人口营养健康的改善程度;②开展作物营养强化农产品经济效益和成本效益的事后分析,以便获得建立在可观测数据基础上的经济效益,并将中国不同地区间开展作物营养强化农产品的经济效益和成本有效性进行对比,以便为作物营养强化政策制定提供依据。健康效益和经济效益的事后分析能够增强农户和消费者对于作物营养强化的接受度,从而为作物营养强化的宣传和推广提供有力依据。

第三,加强农户采用率的相关研究。由于农户采用率是关系作物营养强化农产品能否成功推广的关键因素,因此如何提高农户对于作物营养强化种子的种植意愿决定着作物营养强化农产品的影响范围。但由于作物营养强化农产品还处于发展之中,尚未大规模种植和推广,农户采用率的研究相对欠缺,目前主要集中在消费者层面的健康效益和经济效益分析上。因此未来研究应加强农户采用率的相关研究。具体而言:①开展农户采用率现状调查,通过对农户采用率现状进行调查以了解不同国家不同地区间农户对于作物营养强化作物的采用情况,从而进行农户采用率对比研究;②开展农户采用率影响因素研究,通过对影响农户采用率的人口特征变量、心理机制等进行研究以



了解影响农户采用作物营养强化作物的关键因素,从而为准确有效提高农户采用率进而扩大其影响范围提供政策指导。通过对农户采用率的现实情况和影响农户采用率的因素进行研究和分析,可以了解阻碍农户采用作物营养强化作物的关键因素,从而有针对性地开展具体措施以提高其采用率。

第四,加强消费者接受度的相关研究。消费者是开展作物营养强化项目的最终受益者,因此消费者的接受度关系着作物营养强化农产品对人口营养健康的最终改善程度,也会间接影响农户的采用率。但由于消费者对作物营养强化农产品的不了解及作物营养强化可能会导致农产品颜色、外观等的改变,从而引起消费者的恐惧和排斥心理,因此加强消费者接受度的相关研究十分有必要。具体而言:①开展真实支付意愿研究,通过模拟真实的交易场景或者直接采用可观测的一手和二手数据分析了解消费者对于作物营养强化农产品的真实支付意愿,对于客观描述消费者的接受度十分有必要;②开展消费者接受度的影响因素研究,通过分析影响消费者对于作物营养强化农产品接受度的主要因素,有助于更好地开展推广工作,从而有效地消除阻碍消费者接受度的因素,提高消费者对于作物营养强化农产品的接受程度从而增加其影响范围和人群。只有充分了解并增强消费者对于作物营养强化农产品的接受程度才能有效增加其覆盖范围,进而改善健康状况和经济效益。

### 参 考 文 献

- [1] BANSODE R, KUMAR S. Biofortification: a novel tool to reduce micronutrient malnutrition[J]. Indian research journal of genetics and biotechnology, 2015(7): 205-208.
- [2] 青平. 构建新型农食系统 保障粮食与营养安全[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2021(6): 1-4.
- [3] QAIM M, STEIN A J, MEENAKSHI J V. Economics of biofortification[J]. Agricultural economics, 2007, 37(s1): 119-133.
- [4] 刘贝贝, 青平, 匡伊婷. 价优物美与价廉物值: 作物营养强化农产品消费者决策研究[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2019(6): 60-69.
- [5] BAGRIANSKY J, CHAMPA N, PAK K, et al. The economic consequences of malnutrition in Cambodia, more than 400 million US dollar lost annually[J]. Asia Pacific journal of clinical nutrition, 2014, 23(4): 524-530.
- [6] ALLEN L H. Interventions for micronutrient deficiency control in developing countries: past, present and future[J]. The journal of nutrition, 2003, 133(11): 3875-3878.
- [7] SALTZMAN A, BIROL E, BOUIS H E, et al. Biofortification: progress toward a more nourishing future[J]. Global food security, 2013, 2(1): 9-17.
- [8] OSENDARP S J M, MARTINEZ H, GARRETT G S, et al. Large-scale food fortification and biofortification in low-and middle-income countries: a review of programs, trends, challenges, and evidence gaps[J]. Food and nutrition bulletin, 2018, 39(2): 315-331.
- [9] WORLD BANK. World development report 1993: investing in health, volume 1[R]. World bank, 1993.
- [10] HARVEST P. Disseminating orange-fleshed sweet potato: findings from a harvest plus project in Mozambique and Uganda[J]. Harvest plus, 2012.
- [11] STEIN A J, NESTEL P, MEENAKSHI J V, et al. Plant breeding to control zinc deficiency in India: how cost-effective is biofortification?[J]. Public health nutrition, 2007, 10(5): 492-501.
- [12] STEIN A J, SACHDEV H P S, QAIM M. Genetic engineering for the poor: golden rice and public health in India[J]. World development, 2008, 36(1): 144-158.
- [13] MEENAKSHI J V, JOHNSON N L, MANYONG V M, et al. How cost-effective is biofortification in combating micronutrient malnutrition? an ex ante assessment[J]. World development, 2010, 38(1): 64-75.
- [14] DE STEUR H, GELLYNCK X, BLANCQUAERT D, et al. Potential impact and cost-effectiveness of multi-biofortified rice in China[J]. New biotechnology, 2012, 29(3): 432-442.
- [15] ZIMMERMANN R, QAIM M. Potential health benefits of golden rice: a Philippine case study[J]. Food policy, 2004, 29(2): 147-168.
- [16] 李路平, 张金磊. 中国生物强化项目的成本收益和成本有效性分析——以生物强化富铁小麦为例[J]. 生物技术进展, 2016, 6(6): 414-421.
- [17] JAMISON D T, BREMAN J G, MEASHAM A R, et al. Disease control priorities in developing countries[R]. The world bank, 2006.
- [18] 张金磊, 李路平. 中国作物营养强化富铁小麦营养干预居民缺铁性贫血疾病负担分析[J]. 中国农业科技导报, 2014, 16(6): 132-142.
- [19] ALSTON J M, JAMES J S. The incidence of agricultural policy[J]. Handbook of agricultural economics, 2002(2): 1689-1749.

- [20] UNNEVEHR L J. Consumer demand for rice grain quality and returns to research for quality improvement in Southeast Asia[J]. *American journal of agricultural economics*, 1986, 68(3): 634-641.
- [21] DE STEUR H, GELLYNCK X, STOROZHENKO S, et al. Willingness-to-accept and purchase genetically modified rice with high folate content in Shanxi Province, China[J]. *Appetite*, 2010, 54(1): 118-125.
- [22] STEIN A J, MEENAKSHI J V, QAIM M, et al. Health benefits of biofortification—an ex-ante analysis of iron-rich rice and wheat in India[R]. 2005.
- [23] ZHANG C M, ZHAO W Y, GAO A X, et al. How could agronomic biofortification of rice be an alternative strategy with higher cost-effectiveness for human iron and zinc deficiency in China?[J]. *Food and nutrition bulletin*, 2018, 39(2): 246-259.
- [24] NGUEMA A, NORTON G W, FREGENE M, et al. Expected economic benefits of meeting nutritional needs through biofortified cassava in Nigeria and Kenya[J]. *African journal of agricultural and resource economics*, 2011, 6(1): 1-17.
- [25] 廖芬, 青平, 李剑. 叶酸强化水稻改善人口营养健康的经济评价研究[J]. *农业技术经济*, 2021(12): 17-22.
- [26] DE STEUR H, DEMONT M, GELLYNCK X, et al. The social and economic impact of biofortification through genetic modification[J]. *Current opinion in biotechnology*, 2017(44): 161-168.
- [27] NESTEL P, BOUIS H E, MEENAKSHI J V, et al. Biofortification of staple food crops[J]. *The journal of nutrition*, 2006, 136(4): 1064-1067.
- [28] ORTIZ-MONASTERIO J I, PALACIOS-ROJAS N, MENG E, et al. Enhancing the mineral and vitamin content of wheat and maize through plant breeding[J]. *Journal of cereal science*, 2007, 46(3): 293-307.
- [29] HAAS J D, BEARD J L, MURRAY-KOLB L E, et al. Iron-biofortified rice improves the iron stores of nonanemic Filipino women[J]. *The journal of nutrition*, 2005, 135(12): 2823-2830.
- [30] VAN JAARVELD P J, FABER M, TANUMIHARDJO S A, et al. B-carotene-rich orange-fleshed sweet potato improves the vitamin A status of primary school children assessed with the modified-relative-dose-response test[J]. *The American journal of clinical nutrition*, 2005, 81(5): 1080-1087.
- [31] WELCH R W, ANTOINE J M, BERTA J L, et al. Guidelines for the design, conduct and reporting of human intervention studies to evaluate the health benefits of foods[J]. *British journal of nutrition*, 2011, 106(S2): S3-S15.
- [32] ASARE-MARFO D, BIROL E, GONZALEZ C, et al. Prioritizing countries for biofortification interventions using country-level data[R]. Harvest Plus Working Paper No.11. Washington, DC, 2013.
- [33] EVENSON R E, GOLLIN D. Crop genetic improvement in developing countries: overview and summary[M]//EVENSON R E, GOLLIN D. Crop variety improvement and its effect on productivity: the impact of international agricultural research. CABI publishing, Wallingford, UK, 2003: 7-38.
- [34] 青平, 曾晶, 李剑, 等. 中国作物营养强化的现状与展望[J]. *农业经济问题*, 2019(8): 83-93.
- [35] 薛艳, 郭淑静, 徐志刚. 经济效益, 风险态度与农户转基因作物种植意愿——对中国五省 723 户农户的实地调查[J]. *南京农业大学学报(社会科学版)*, 2014, 14(4): 25-31.
- [36] BOUIS H E, SALTZMAN A. Improving nutrition through biofortification: a review of evidence from Harvest Plus, 2003 through 2016[J]. *Global food security*, 2017(12): 49-58.
- [37] ASHA K K, MATHEW S, PRASAD M M, et al. The undernutrition conundrum in India: current scenario and the way forward[J]. *Current science*, 2020, 119(4): 613-617.
- [38] SALTZMAN A, BIROL E, OPARINDE A, et al. Availability, production, and consumption of crops biofortified by plant breeding: current evidence and future potential[J]. *Annals of the New York academy of sciences*, 2017, 1390(1): 104-114.
- [39] 董彦会, 王政和, 杨招庚, 等. 2005年至2014年中国7~18岁儿童青少年营养不良流行现状及趋势变化分析[J]. *北京大学学报(医学版)*, 2017, 49(3): 424-432.
- [40] 曾晶, 李剑, 青平, 等. 农户作物营养强化技术采纳提高了生产绩效吗? ——基于小麦种植户的实证分析[J]. *中国农村观察*, 2022(1): 107-125.
- [41] OPARINDE A, BANERJI A, BIROL E, et al. Information and consumer willingness to pay for biofortified yellow cassava: evidence from experimental auctions in Nigeria[J]. *Agricultural economics*, 2016, 47(2): 215-233.
- [42] BANERJI A, BIROL E, KARANDIKAR B, et al. Information, branding, certification, and consumer willingness to pay for high-iron pearl millet: evidence from experimental auctions in Maharashtra, India[J]. *Food policy*, 2016, 62: 133-141.
- [43] DE STEUR H, GELLYNCK X, FENG S, et al. Determinants of willingness-to-pay for GM rice with health benefits in a high-risk region: evidence from experimental auctions for folate biofortified rice in China[J]. *Food quality and preference*, 2012, 25(2): 87-94.
- [44] 郑志浩. 城镇消费者对转基因大米的需求研究[J]. *管理世界*, 2015(3): 66-75.
- [45] 曾晶, 青平, 李剑, 等. 营养信息干预对农户作物营养强化新品种采纳的影响[J]. *华中农业大学学报(社会科学版)*, 2021(3): 30-38.

## Current Situation and Research Prospect of Economic Benefits of Biofortification

LIAO Fen, QING Ping

**Abstract** Biofortification is the cost-effective way to improve micronutrient malnutrition, which is conducive to improving the nutritional and health status of the population at a lower cost and thus promoting the implementation of the “Healthy China” strategy. However, there is a lack of research on the economic benefits of biofortified agricultural products due to its novelty. In order to systematically evaluate the economic benefits of biofortified agricultural products, the current research situation at home and abroad is reviewed from three aspects: the connotation, research methods, and empirical research. The influencing factors of economic benefits are further summarised and generalised, and it is found that technical efficacy, dietary structure, farmers’ adoption rate, consumer acceptance, and the cost of developing and promoting biofortified agricultural products are key factors affecting economic benefits. Based on this analysis, the paper analyzes the existing issues in the current research on the economic benefits of biofortification, such as the lack of analysis of real consumption scenarios and objective economic benefits. Therefore, in future research, in-depth research should be conducted from the perspectives of strengthening the secondary analysis of economic benefits, increasing the post analysis of economic benefits, strengthening the research on the adoption rate of farmers and the research of consumer acceptance.

**Key words** biofortification; economic benefits; malnutrition; cost effectiveness

(责任编辑:陈万红)