

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2025.60033

环境食品学研究进展

——以环境食品学教育部重点实验室为例

全拓¹ 李斌^{2,3} 任婧楠^{2,3}

(1. 华中农业大学科学技术发展研究院, 湖北 武汉 430070; 2. 华中农业大学环境食品学教育部重点实验室, 湖北 武汉 430070; 3. 华中农业大学食品科学技术学院, 湖北 武汉 430070)

摘要: 环境与食品均对人类健康产生重要影响, 但围绕环境与食品的复杂交互作用影响健康的宏观规律和微观机制的研究较缺乏。环境食品学围绕“环境—食品”耦合“健康”的科学主题, 对不同时空环境下膳食行为与健康相关的科学技术问题开展系统研究, 是食品科学的新兴交叉方向。文章回顾了环境、食品、健康三者之间, 从“二元关系”即环境与食品到“三元关系”即环境、食品与健康的研究历程与进展, 并以华中农业大学环境食品学教育部重点实验室研究成果为例, 深入分析了环境食品学科学内涵和相关研究进展。

关键词: 环境; 食品; 健康; 三元关系; 实验室; 发展建议

Advances in environmental food science: a case study of the key laboratory of environmental food science, ministry of education

QUAN Tuo¹ LI Bin^{2,3} REN Jingnan^{2,3}

(1. Academy of Science and Technology Development, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070, China; 2. Key Laboratory of Environmental Food Science, Ministry of Education, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070, China; 3. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070, China)

Abstract: Both the environment and food have important impacts on human health. However, research on the macro-level patterns and micro-level mechanisms of their complex interactions affecting health remains limited. Environmental food science, centered on the scientific theme of coupling "environment-food" with "health", conducts systematic research on dietary behaviors and health-related scientific and technological issues across diverse spatiotemporal environments. It represents a newly emerging interdisciplinary direction within food science. This paper reviews the research trajectory and progress in understanding the relationships among environment, food, and health, evolving from the "binary relationship" between environment and food to the "ternary relationship" among environment, food, and health. Taking the research achievements of the key laboratory of environmental food science, ministry of education at Huazhong Agricultural University as examples, the paper provides an in-depth analysis of the scientific connotation and recent advances in environmental food science.

Keywords: environment; food; health; ternary relationships; laboratory; development recommendations

环境与食品是影响人类健康两个重要方面, 二者单独对机体健康的影响及其作用机制的研究已被广泛开 展, 并取得了诸多成果^[1-4], 相关理论已经形成如食品营养学、环境健康学等成熟的学科。饮食的地域特征、时域

基金项目: 湖北省科技创新人才及服务专项软科学研究项目(编号: 2022EDA089); 湖北省教育厅科学研究计划(编号: B2022275); 华中农业大学科技管理研究项目(编号: 202306)

通信作者: 李斌(1972—), 男, 华中农业大学教授, 博士。E-mail: libinfood@mail.hzau.edu.cn

收稿日期: 2025-01-23 **改回日期:** 2025-03-07

引用格式: 全拓, 李斌, 任婧楠. 环境食品学研究进展: 以环境食品学教育部重点实验室为例[J]. 食品与机械, 2025, 41(3): 1-8.

Citation: QUAN Tuo, LI Bin, REN Jingnan. Advances in environmental food science: a case study of the key laboratory of environmental food science, ministry of education[J]. Food & Machinery, 2025, 41(3): 1-8.

特征对健康的影响亦受到广泛关注,人类健康饮食模式不可避免地受到环境因素(包括地理、气候、季节等)的深刻影响,这均符合东西方生活经验与认知习惯,如东方的“天人相应”饮食模式^[5-7],西方的“地中海饮食”^[8]“蓝色地带饮食”^[9]现象,这些生活认知及科学研究都表明环境与饮食的交互因素对健康的重要影响,然而对其中的宏观规律和微观机制却研究较少,尤其是在 2035 健康中国战略和大食物观背景下^[10-11],研究和揭示环境—食品—健康之间的关联机制是基于精准营养理念实现全民健康的重要保障。

国内外对于环境食品学的研究都处于起步阶段。国外研究主要集中在分析不同环境因素下饮食模式(如地中海饮食、季节性饮食)与代谢疾病如肥胖、糖尿病的关联机制^[12-15],但现有的研究结果往往集中于膳食模式与健康的因果关系,忽略了环境因素对食品乃至机体的影响,即主要聚焦于食品—健康的二元体系。华中农业大学于 2011 年获批成立环境食品学教育部重点实验室,该实验室是中国最早设立且是唯一从环境、食品等多维度揭示健康规律及机制的专业实验室。近年来,其围绕“环境与食品的交互因素影响健康的宏观规律和微观机制”这一科学主题,率先开展了基于特定地域、不同季节、不同年份、不同加工方式的农产品特征组分及食性差异及其对健康功效的影响等研究,真正从环境影响食品、环境影响机体健康、环境—食品—机体健康 3 个维度实现三者的全局整体研究,进而阐释中国复杂多变的环境条件结合风格迥异的膳食模式关联健康的科学内涵。

文章主要综述国内外环境、食品、健康二元关系及三元关系的研究发展历程,并以华中农业大学环境食品学教育部重点实验室成果为例,详细分析地理环境与膳食摄入、季节因素与食品应季机理、食品协同环境影响健康的微观机制等领域的最新研究进展,以期对环境食品学这一新兴交叉学科发展提供建议。

1 环境、食品、健康二元关系

早期对于环境食品学的研究主要集中在“环境—食品”“食品—健康”“环境—健康”这些二元关系的研究^[16-18],其中食品与健康的关系历来是食品科学和食品营养学的研究重点,已经形成了许多公认的科学理论。而环境与食品营养特性、环境与人群饮食健康的关系则是交叉了食品科学、作物学、动物科学、临床营养学等,是近年来的研究热点。

1.1 环境与食品营养特性关系

种植、养殖环境决定食品营养品质,如不同地域环境因素(如温湿度、降水量、微生物菌群等)导致了同一类食品中营养成分的特异性^[19-20],因此也造就了有显著地域环境特征的“地理标志产品”。如朱永永等^[21]研究了产地

对甘肃马铃薯品质的影响,发现产地主导了 K、Ca、Se 及 Zn 的积累,品种与产地的交互作用显著影响干物质含量;于双等^[22]采用主成分分析和聚类分析法对大连 13 个不同产地刺参的营养指标进行了分析和评价,发现在多糖、氨基酸、皂苷等含量上呈现显著的地域差异;曹宝鑫等^[23]对中国不同省份大蒜的营养指标进行比较研究,发现天津宝坻大蒜的大蒜素含量约超其他品种 5 倍,呈现独特的代谢特征与品质优势;郭晶等^[24]对广东不同产区 and 不同品种花生的营养成分进行了分析,结果显示,产地显著影响花生的脂肪含量和致敏蛋白的分布;陈细羽^[25]对中国不同产区杂柑进行了营养功能成分评价与差异研究,发现在可溶性固形物、酚酸、辛弗林、柠檬烯、芳樟醇等营养与挥发性物质含量上呈现显著差异;刘之源^[26]对中国 27 个地区所产出主要农作物的产量及营养成分与地域关联性之间进行了统计分析,发现地理区划与作物产量高度关联,温差和降水量差与不同地域间营养成分相似性呈显著负相关,其中温度较降水对作物营养成分的影响更为显著。这些研究都表明不同生长环境下,食物的营养组分有较大差异,这也是环境食品学这个新兴交叉学科的第一个科学内涵:环境影响食物营养功能。此外,环境因素对中药材药性、性味影响的相关研究较多,如田方等^[27]研究发现药用植物性味与地理及海拔因子存在显著关联:青藏高原成分中苦味药、寒性药比例与海拔呈强正相关,华中地区药物辛/涩味药、蒙新荒漠甘/咸味药具地域特异性分布。环境因素对中药“性味”影响亦与环境食品学的研究思路亦比较契合。

1.2 环境与人群饮食习惯的关系

环境因素对人类饮食习惯影响巨大,地理区位、温湿度、土壤质量等环境因素绘就了世界各地差异巨大的饮食图谱,如水稻流行于东亚、南亚、东南亚地区,而玉米流行于南非、东非及中美洲地区^[28-29]。地域环境因素对饮食习惯的影响常见于民俗文化调查和人文地理研究。如被公认为健康的“地中海饮食”,发源于环地中海区域,其膳食结构以丰富的植物性食材为核心,涵盖新鲜蔬果、深海鱼类、全谷物、豆类及橄榄油等天然成分^[30-31]。临床研究^[32-33]证实,长期践行该饮食方式可显著降低心血管疾病发病率,降低脑血管意外发生率,延缓认知功能衰退。“地中海饮食”膳食体系因其营养均衡性和健康增益效果,已成为现代营养学中“简约型高营养密度饮食”的代名词^[34]。再比如“蓝色地带”,全球长寿地理学研究揭示了 5 个具有典型性的长寿聚居区,其分布包括伊卡利亚群岛、撒丁岛、冲绳岛、中美洲尼科亚半岛及北美洛马琳达市^[35]。从营养学视角分析,这些区域的膳食结构呈现显著共性特征:以全谷物为主导(占比约 65%),辅以植物来源的优质蛋白及不饱和脂肪酸的脂类营养组合^[9,36]。这些研究都证实,环境因素导致的食物种类和品质的差异

会导致膳食模式的差异,进而影响机体健康。

环境因素同样对人群的饮食偏好有重大影响。Sherman等^[37]通过对各地气候条件与居民饮食食谱的相关性分析发现,气候条件是影响饮食习惯的最重要因素,不同的气候条件会影响人们的进食选择,从而食用一些特别的食物和香辛料。李建刚等^[38]发现,由于地理、气候、物产等环境因素影响,中国各地域之间的饮食差异非常明显,中国人的饮食习惯的地理分布大体可概括为“东酸西辣南甜北咸”格局。蓝勇^[39]以食辣为例研究发现,按照辛辣口味层次可分为重辣区(长江上中游地区,含四川盆地及陕南地区、两湖地区、云贵高原等)、微辣区(辽东、华北、西北地区)和淡味区(华东、东南、岭南沿海地区)。这种食辣地区性口味差异与各地地理区域的年降雨量、光照时长、太阳辐射量密切相关,若将重辣区的区域分布地图与《中国年太阳总辐射量图》《中国年日照时数图》《中国年平均相对湿度图》等气象地图比对,可发现重辣地区基本与低光照、低辐射、高湿度地区重合,例如四川盆地、贵州、湖南等地^[39-40]。这些地区山地广、光照少、湿度大、雾气重的地理气候特点,正是辣椒、花椒等具有驱寒祛湿作用的调味料被广泛食用的最重要环境因素^[41-42]。这些研究表明,环境会对机体健康产生直接影响,进而机会通过摄入特殊性的食物来代偿环境因素可能造成的机体健康问题。

2 环境、食品、健康三元关系

如果说对环境、食品、健康二元关系的研究主要集中在现象、行为的描述与分析,那么对其三元关系的研究更多着眼于宏观规律和微观机制的探究。环境食品学属于新兴交叉学科,围绕“环境—食品”耦合“健康”的科学主题,深度解析因地而食、因时而食的科学内涵,针对不同时空环境下膳食行为与健康相关的科学技术问题开展系统研究^[43]。华中农业大学环境食品学教育部重点实验室成立后,瞄准环境食品学的前沿问题,特别是对“三元关系”开展学科交叉探索研究,在地理环境与膳食摄入、食品协同环境影响健康的微观机制、季节因素与食品应季机理等研究方向取得了一定研究进展。

2.1 地理环境与膳食摄入系列

中国传统食疗文化源远流长,其核心思想建立在“天人相应”的动态平衡原则之上^[44]。古代医家主张将膳食调理视为时空维度的系统性工程,强调饮食结构需与地理环境、气候变迁形成协同效应。例如,《黄帝内经》在《灵枢·刺节真邪》篇中系统阐释了“人体与天地共律”的养生观,提出膳食摄入应当遵循“四时有序,地域有别”的适配规律^[45]。这种时空适配理论在元代太医忽思慧的膳食典籍中得到具象化呈现:针对春季阳气升发特性,主张选用凉性小麦制品以平抑燥热;夏季酷暑时节则推荐寒

性豆类食材消解暑气;秋燥当令宜食芝麻润泽脏腑;寒冬凛冽则倡导温热黍米驱散寒邪^[46]。这种因时择食、因地配膳的智慧,深刻揭示了食物特性与自然节律的辩证关系——相同的食材在不同时空背景下,可能对机体产生截然不同的调理效果^[47-48]。正如典籍中“饮食有节,不时不食”的箴言所示,传统营养学始终强调饮食需顺应自然节律,避免反季节进食打破人体与环境的能量平衡^[49-50]。

基于“答古人之间,把经验型描述转化为科学机理研究”的思路,华中农业大学环境食品学教育部重点实验室的研究人员系统开展了地理环境与膳食摄入的相关研究,如钱秋红等^[51]、陈薇等^[52]创建了地方膳食风味特色量化分析方法,以及不同食物辣度、酸度、咸度、甜度的评价方法,解决了风味难以量化的科学难题,并用于风味数据库构建。成令茹等^[53]以中国各地近14年食物消费数据为基础,分析了中国典型膳食的结构类型、特点及分布规律,统计分析了各地年人均各类食品消费量,抽样人群个体各类食物消费量,主要营养成分摄入量。何帅等^[54]、成令茹等^[55]采用量化分析方法,分析了各地代表菜谱中调料使用频次、菜品烹制方法及味型,建立了典型地理环境下食品摄入信息库。Wang等^[56]研究了典型地区居民的口味喜好、食物消费、食辣特征与气候的相关性,探究了膳食摄入因素、口味与肥胖、心血管疾病指标间的相关性,从而构建不同典型区域食物结构、风味和健康的数据库。

这一系列研究将生物信息学、环境科学、食品科学等交叉结合,采用风味的定量分析与区域大数据结合,构建了中国消费者风味嗜好性的区域轮廓图,填补了相关领域研究空白,为揭示地理环境与食品交互因素与健康之间的相关性奠定了基础。并在此基础上,探讨了消费者嗜辣的生理成因并研究了辣椒碱对于糖脂代谢的影响,进一步丰富了中国风味嗜好性饮食的研究内涵,并且将环境、食品与健康有机结合,对于风味嗜好型消费者的健康膳食提供重要指导,引导企业生产符合地区口味需求的食品发挥了重要的作用。

2.2 季节因素与食品应季机理

围绕中国饮食文化中与时间环境有关的“不时不食,应时而食”“夏日吃姜”“百年陈皮胜黄金”等传统观念^[57-58],华中农业大学环境食品学教育部重点实验室的研究人员探究了季节因素对典型园艺产品健康品质的影响机制。如同一典型环境下,常见应季与反季节水果蔬菜的典型营养成分、风味物质、品质特性及功能性成分的组成、含量、结构的差异性;其与品质特性及功效的相关性等。研究^[59-62]表明,应季番茄的还原糖、维生素C和番茄红素含量高于非季节性番茄,应季番茄风味更好,两个季节番茄样品中典型挥发性和芳香活性化合物的组成和浓度均存在显著差异。

“上火”是中医理论和东方饮食习惯中被广泛认知的亚健康状态,其发生机制与环境—饮食协同作用密切相关^[63-64]。具体表现为特定食物可能诱发部分人群产生“上火”反应,而对其他人无此效应;同一食材在不同地域的摄入可能呈现差异性致“上火”特征^[65-66],这构成了环境食品学领域亟待解析的重要课题。从学术视角来看,“上火”作为民间经验性表述,本质上是机体对生理、心理失衡状态的直观感知。该现象与中医“火热证”存在病理学关联性。同时,现代医学研究^[67]发现,上火与过敏反应存在部分生物学机制的交叉性,同样表现为免疫系统异常激活与内环境稳态失衡的双重特征。连续3年过量食用温州蜜柑的志愿者会出现喉咙干疼、口腔溃疡等不适反应,不良反应率超过70%^[68]。综合人群试验、血清代谢组学和分子生物学手段,并通过体外炎症细胞模型,发现温州蜜柑中的大分子水溶性蛋白是引起“上火”的主要物质^[63]。研究^[69]表明,食用柑橘后出现的“上火”现象与柑橘中含有的水溶性活性蛋白密切相关,这类特殊蛋白会激活人体内的花生四烯酸代谢通路,促进促炎介质生成,从而引发免疫系统应激反应,导致咽喉肿痛、口腔不适等典型“上火”症状。有研究^[67-69]采用了代谢组学、蛋白质组学、基因组学等现代技术手段,通过现代营养学、生物医学及食品科学等学科的交叉融合,诠释了中华传统的饮食理念的科学生内涵,对低致敏性柑橘育种、产品开发具有良好的指导作用,为大宗水果柑橘的健康消费提供了指导。

2.3 食品协同环境影响健康的微观机制

食品协同环境调控机体健康是环境食品学的核心焦点,华中农业大学环境食品学教育部重点实验室研究人员尝试解析食品协同环境影响健康的微观机制,如不同环境条件下机体产生的具有环境特异性的物质基础;围绕地理环境调控食品品质及健康效应的作用机制,研究不同海拔、养殖环境等地理环境因素调控代表性食品(水产品、禽肉/蛋)品质及其健康效应。Liu等^[70]和Gao等^[71]选取不同海拔条件的青藏高原的藏鸡种蛋及低海拔陆地鸡蛋,采用非标记定量蛋白质组技术对高原环境适应性展开分子机制探索,通过质谱分析发现:在蛋清蛋白分析中,共检测到176个蛋白组分,其中29个差异表达蛋白主要涉及血管内皮生长调控、脂质转运蛋白及线粒体脂肪酸 β 氧化酶系等功能模块。在蛋黄蛋白分析中,鉴定到135种蛋白质,其中19种蛋白质丰度具有显著差异,其中高原鸡蛋富含超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GPX)等抗氧化酶系统组分^[72-73]。通过对比海拔梯度、地理区域及饲养管理方式对禽类蛋品与肉类核心营养组分的作用差异,发现高海拔生态条件下禽类产品中代谢相关氨基酸、脂肪酸及多糖类物质的积累显著增加^[72-73]。基于细胞与体液免疫的动物模型研究^[72-74]揭

示,禽肉具备显著提升机体免疫应答的特性,但其作用机理呈现明显地域特征——高海拔禽类产品通过激活B淋巴细胞介导的免疫球蛋白分泌通路实现免疫调节(如IgA水平显著提升),而低海拔产品则主要依赖T淋巴细胞功能强化途径(CD4+/CD8+比值优化及细胞因子分泌增强)来增强免疫防御体系。陈周等^[75]和温利等^[76]通过构建循环流水环境调控系统模拟高山冷水鱼生态条件,对养殖淡水鱼进行品质优化处理。研究显示,该技术能有效促进鱼体肌肉组织中嘌呤代谢产物向核苷酸单体的生物转化过程,显著提高鲜味物质肌苷酸(IMP)的生物富集水平,同时降低重金属元素在鱼体内的残留浓度。通过系统试验确定了关键工艺参数(包括适宜养殖密度、水流速调控范围和净化周期时长),创新性地构建了基于动态水流调控的淡水鱼品质提升技术体系。应用该技术后,养殖乌鳢制备的鱼汤在抗氧化活性及促进皮肤组织修复等生物功能方面得到显著增强,其综合品质指标与野生对照组相比未呈现统计学差异^[75-76]。这些研究为系统发掘地理环境与水产品、禽肉/蛋等动物源食品的复杂交互因素与健康之间的关系奠定了理论和技术基础。初步阐明了环境因素影响食物性味进而呈现不同健康功效的物质基础。

3 环境食品学下一步发展建议

虽然环境食品学这一新兴交叉学科起步时间不长,华中农业大学环境食品学教育部重点实验室抢抓“健康中国”战略机遇,率先获批目前中国唯一的聚焦“环境—食品”耦合“健康”的环境食品学专业研究平台,取得了一系列研究成果。但在环境、健康、食品等人类发展主题的复杂科学问题汇聚,研究无前人可借鉴的经验和模式,尚未有标志性的颠覆性重大成果产出,且交叉度有进一步提升的空间,特别是在顺应社会关切、大交叉大融合方面仍有提升的空间。

3.1 前沿科学问题深度挖掘

在前期二元乃至三元关系研究中,基于食品科学、营养学、作物学等传统学科交叉基础,环境食品学研究要注重新兴学科交叉,如大数据、人工智能等,从宏观层面向中微观层面持续探究。一是地理生态大数据与营养代谢互作机制。集成空间信息技术与多源地理大数据分析,系统解析不同地貌特征(如海拔梯度、土壤微生物)对农作物次级代谢产物合成路径的影响,结合代谢组学与暴露组学技术评估区域化膳食结构对人体营养代谢稳态的作用机制。重点揭示地理标志性食品的功能成分与特定人群健康指标的剂量—效应关系。二是时序节律与食品适应性调控。基于时序生物学原理,探究光周期与温、湿度协同作用对植物功能性成分(如多酚类、萜类化合物)的生物合成调控网络,运用生物节律组学技术建立季节

性疾病发病周期与营养代谢节律的关联的人工智能模型。创新性开展反季节食品摄入对肠道菌群昼夜节律的干预效应研究。三是“环境—食品—健康”三元微观协同效应。构建“环境暴露—食品基质—宿主响应”多维度互作模型,通过宏基因组测序解析环境污染物(如微塑料、重金属)对食品共生微生物群落的扰动规律,结合代谢流分析技术阐明污染物—食品组分复合暴露对宿主免疫代谢通路的级联效应。

3.2 产业技术需求系统响应

在科学研究基础上,环境食品学更应注重产业科技需求导向,将新兴交叉学科落实到全民营养健康中。建立“基础研究—共性技术—产品开发”全产业链协同创新平台,重点培育功能肽、植物基替代蛋白等绿色制造技术。推动传统食品加工的数字化改造,开发基于工业互联网的智能化制造执行系统。一是构建精准营养指导体系。开发具有地理分异特征与季节适应性的膳食数据库和决策支持系统,集成气候区划数据与人群健康数据库,形成动态营养干预策略。重点建立学生、老年人群及高原、滨海等特殊生态区居民营养需求模型。二是革新智能检测技术体系。研制基于微流控芯片与表面等离子体共振的新型现场快检装置,实现食品基质中痕量有害物质(如真菌毒素、抗生素残留)的同步捕获与定量分析。开发多模态智能传感阵列,结合机器学习算法提升食源性致病菌的快速识别精度。三是建设全链条风险防控系统。构建“污染源解析—食品链传递—健康终点评估”三位一体预警模型,融合地理信息系统与暴露边界理论量化环境污染物沿食品链的生物放大效应,创新提出基于生态毒理阈值的分级防控策略。

参考文献

- [1] XU H B, WANG T, LIU S C, et al. Extreme levels of air pollution associated with changes in biomarkers of Atherosclerotic plaque vulnerability and thrombogenicity in healthy adults[J]. *Circulation Research*, 2019, 124(5): e30-e43.
- [2] LI J P, ZHOU C P, XU H B, et al. Ambient air pollution is associated with HDL (high-density lipoprotein) dysfunction in healthy adults[J]. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 2019, 39(3): 513-522.
- [3] MOZAFFARIAN D, WU J H. Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease: effects on risk factors, molecular pathways, and clinical events[J]. *Journal of the American College of Cardiology*, 2011, 58(20): 2 047-2 067.
- [4] 王路, 张蕾, 郑蛟碧, 等. 发酵制品调控糖脂代谢性疾病作用机制的研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(7): 292-300.
WANG L, ZHANG L, ZHENG J B, et al. Research progress on the mechanism of fermented products in regulating glycolipid metabolic diseases[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(7): 292-300.
- [5] 姚春鹏. 黄帝内经: 素问[M]. 北京: 中华书局, 2010: 19-34.
YAO C P. *Huangdi Neijing: Su Wen*[M]. Beijing: Chinese Publishing House, 2010: 19-34.
- [6] 郭蕾. 中医学天人相应论的研究[D]. 济南: 山东中医药大学, 2001: 18-24.
GUO L. Research on the theory of human-environmental inter relation[D]. Jinan: Shandong University of Traditional Chinese Medicine, 2001: 18-24.
- [7] 杜莉. 天人相应观念下的四川饮食养生之道[J]. *四川烹饪高等专科学校学报*, 2014(1): 8-11.
DU L. Sichuan dietary regimen in accordance with the traditional philosophy on interaction between humans and the physical world[J]. *Journal of Sichuan Tourism University*, 2014 (1): 8-11.
- [8] KARAM G, AGARWAL A, SADEGHIRAD B, et al. Comparison of seven popular structured dietary programmes and risk of mortality and major cardiovascular events in patients at increased cardiovascular risk: systematic review and network meta-analysis[J]. *The BMJ*, 2023, 380: e072003.
- [9] BUETTNER D, SKEMP S. Blue zones: lessons from the world's longest lived[J]. *American Journal of Lifestyle Medicine*, 2016, 10(5): 318-321.
- [10] 闻大翔. 落实健康中国战略推进健康城市建设[J]. *健康中国观察*, 2024(7): 14-17.
WEN D X. Implement the healthy China initiative and promote the construction of healthy cities[J]. *Healthy China Observation*, 2024(7): 14-17.
- [11] 李淑涵, 田昭霖. 论践行习近平大食物观需要把握的“五种意识”[J]. *粮油科学与工程*, 2025, 39(1): 40-44.
LI S H, TIAN Z L. On the "five consciousnesses" to be grasped in practicing Xi Jinping's all-encompassing approach to food[J]. *Modern Flour Milling Industry*, 2025, 39(1): 40-44.
- [12] GAO P P, RINOTT E, DONG D Y, et al. Gut microbial metabolism of bile acids modifies the effect of Mediterranean diet interventions on cardiometabolic risk in a randomized controlled trial[J]. *Gut Microbes*, 2024, 16(1): 2426610.
- [13] JENSEN C, SOMMERSTEN C H, LAUPSA-BORGE J, et al. Quality and quantity of carbohydrates, faecal short-chain fatty acids and gastrointestinal symptoms results from a randomised, controlled trial (CARBFUNC) [J]. *Clinical Nutrition*, 2025, 44: 54-64.
- [14] MARTÍN-PELÁEZ S, FITO M, CASTANER O. Mediterranean diet effects on type 2 diabetes prevention, disease progression, and related mechanisms: a review[J]. *Nutrients*, 2020, 12(8): 2 236.
- [15] MUSCOGIURI G, VERDE L, SULU C, et al. Mediterranean diet and obesity-related disorders: what is the evidence? [J]. *Current Obesity Reports*, 2022, 11(4): 287-304.
- [16] JIANG S X, WANG F, LI Q R, et al. Environment and food safety: a novel integrative review[J]. *Environmental Science*

- and Pollution Research International, 2021, 28(39): 54 511-54 530.
- [17] AZIZ T, HUSSAIN N, HAMEED Z, et al. Elucidating the role of diet in maintaining gut health to reduce the risk of obesity, cardiovascular and other age-related inflammatory diseases: recent challenges and future recommendations[J]. Gut Microbes, 2024, 16(1): 2297864.
- [18] GYAWALI K, ACHARYA P, POUDEL D. Environmental pollution and its effects on human health[J]. Interdisciplinary Research in Education, 2023, 8(1): 84-94.
- [19] 黎健龙, 张曼, 唐颢, 等. 影响茶树生长和茶叶品质的主要环境因子及其适应机制[J]. 茶叶通讯, 2023, 50(4): 437-445.
LI J L, ZHANG M, TANG H, et al. The main environmental factors affecting tea growth quality and their adaptation mechanism[J]. Journal of Tea Communication, 2023, 50(4): 437-445.
- [20] 翟晓娜, 邵广, 沈瑾, 等. 不同模拟温湿度环境下高水分玉米籽粒的品质变化[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(6): 23-30.
ZHAI X N, SHAO G, SHEN J, et al. Quality changes of high-moisture corn kernels stored in simulated environmental conditions with different temperature and humidity[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(6): 23-30.
- [21] 朱永永, 赵贵宾, 熊春蓉, 等. 品种和产地对旱作马铃薯营养品质的影响[J]. 中国马铃薯, 2021, 35(3): 233-240.
ZHU Y Y, ZHAO G B, XIONG C R, et al. Effects of variety and location on nutrient quality of potato in dryland[J]. Chinese Potato Journal, 2021, 35(3): 233-240.
- [22] 于双, 姜森, 桑雪, 等. 大连不同产地刺参营养成分分析与评价[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(4): 188-195.
YU S, JIANG M, SANG X, et al. Analysis and evaluation of nutrient components of sea cucumber from different places in Dalian[J]. China Food Additives, 2022, 33(4): 188-195.
- [23] 曹宝鑫, 王浩伦, 梁紫忆, 等. 不同产地大蒜营养指标及化学指纹图谱比较分析[J]. 天津农林科技, 2022(2): 10-12, 15.
CAO B X, WANG H L, LIANG Z Y, et al. Comparative analysis of nutritional indexes and chemical fingerprints of garlic from different producing areas[J]. Science and Technology of Tianjin Agriculture and Forestry, 2022(2): 10-12, 15.
- [24] 郭晶, 张佰良, 王嘉豪, 等. 广东省不同产地不同品种花生的营养成分研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(9): 293-300.
GUO J, ZHANG B L, WANG J H, et al. Study on nutrient components of different peanut varieties in different producing areas in Guangdong province[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(9): 293-300.
- [25] 陈细羽. 我国主要杂柑品种的营养功能成分评价以及产地差异研究[D]. 重庆: 西南大学, 2021: 38-56.
CHEN X Y. Nutritional functional components evaluation and traceability differences of main hybrid citrus in China[D]. Chongqing: Southwest University, 2021: 38-56.
- [26] 刘之源. 农作物营养成分与地域关联性研究[D]. 新乡: 河南师范大学, 2016: 51-52.
LIU Z Y. Research on the relationship between crop nutrients and regional correlation[D]. Xinxiang: Henan Normal University, 2016: 51-52.
- [27] 田方, 陈学林, 廉永善. 药用植物地理成分及海拔与中药性味的相关性研究[J]. 时珍国医国药, 2010, 21(2): 326-328.
TIAN F, CHEN X L, LIAN Y S. Correlation analysis between geographical components and altitude of medicinal plants and TCM taste characteristics in Gansu Province[J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2010, 21(2): 326-328.
- [28] 姚伟, 佟越强, 刘祺, 等. 全球水稻生产时空变化特征及贸易趋势分析[J]. 南方农业学报, 2022, 53(6): 1 776-1 784.
YAO W, TONG Y Q, LIU Q, et al. Spatiotemporal change characteristics and trade trend of global rice production[J]. Journal of Southern Agriculture, 2022, 53(6): 1 776-1 784.
- [29] 孙致陆, 李先德. 联合国可持续发展目标下的非洲粮食生产演变趋势与发展潜力分析[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(2): 160-170.
SUN Z L, LI X D. Evolution characteristics and development potential of grain production in Africa under the sustainable development goals of UN[J]. Journal of China Agricultural University, 2020, 25(2): 160-170.
- [30] 徐超凡, 郭超. 地中海饮食科学化发展的研究进展[J]. 中国健康教育, 2022, 38(4): 348-352.
XU C F, GUO C. Progress in research on the scientific development of the Mediterranean diet[J]. Chinese Journal of Health Education, 2022, 38(4): 348-352.
- [31] 杨柳青, 田红梅, 石汉平. 三种饮食模式与慢性疾病研究进展[J]. 首都医科大学学报, 2022, 43(2): 311-320.
YANG L Q, TIAN H M, SHI H P. Research and progress on three types of dietary patterns and chronic diseases[J]. Journal of Capital Medical University, 2022, 43(2): 311-320.
- [32] 凌子羽, 刘菊凝. 地中海饮食与健康研究进展[J]. 中国城乡企业卫生, 2024, 39(2): 18-21.
LING Z Y, LIU J N. Research progress on Mediterranean diet and health[J]. Chinese Journal of Urban and Rural Enterprise Hygiene, 2024, 39(2): 18-21.
- [33] DAVIS C R, HODGSON J M, WOODMAN R, et al. A Mediterranean diet lowers blood pressure and improves endothelial function: results from the MedLey randomized intervention trial[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2017, 105(6): 1 305-1 313.
- [34] SOFI F, MACCHI C, ABBATE R, et al. Mediterranean diet and health[J]. Biofactors, 2013, 39(4): 335-342.
- [35] ULUSU N N. Revealing the secrets of blue zones[J]. Front Pharmacol, 2024, 15: 1428111.
- [36] BACH-FAIG A, BERRY E M, LAIRON D, et al. Mediterranean diet pyramid today. Science and cultural updates [J]. Public Health Nutrition, 2011, 14(12a): 2 274-2 284.
- [37] SHERMAN P W, HASH G A. Why vegetable recipes are not

- very spicy[J]. *Evolution and Human Behavior*, 2001, 22(3): 147-163.
- [38] 李建刚, 冯文娟. 中国饮食文化区域性特征形成的影响因子及其变异之研究(上)[J]. *湖北师范大学学报(哲学社会科学版)*, 2018, 38(3): 72-77.
- LI J G, FENG W J. Study on the influence factors of regional characteristics of Chinese food culture formation and its variation (Part I) [J]. *Journal of Hubei Normal University (Philosophy and Social Sciences)*, 2018, 38(3): 72-77.
- [39] 蓝勇. 中国饮食辛辣口味的地理分布及其成因研究[J]. *地理研究*, 2001(2): 229-237.
- LAN Y. The reasons and distribution of pungent flavour districts in China's dietetics[J]. *Geographical Research*, 2001 (2): 229-237.
- [40] 张鲁俊, 梅思敏, 梁超. 基于气候、饮食因素分析成都地区脾阳虚型脾胃疾病[J]. *世界最新医学信息文摘*, 2018, 18(92): 254-255.
- ZHANG L J, MEI S M, LIANG C. Analysis of Spleen-Yang deficiency type spleen and stomach diseases in Chengdu area based on climate and dietary factors[J]. *World Latest Medicine Information*, 2018, 18(92): 254-255.
- [41] 王春萌. 中国湖南、四川嗜辣口味的差异性研究[J]. *云南地理环境研究*, 2013, 25(5): 27-32.
- WANG C M. The comparative analysis of different spicy tastes between Hunan and Sichuan[J]. *Yunnan Geographic Environment Research*, 2013, 25(5): 27-32.
- [42] 张茜. 川人食辣问题的文化阐释[J]. *中国调味品*, 2016, 41(10): 128-132.
- ZHANG Q. Cultural interpretation of Sichuan people eating pepper food[J]. *China Condiment*, 2016, 41(10): 128-132.
- [43] 李斌. 环境食品学:概念、内涵及其研究方法[J]. *华中农业大学学报*, 2022, 41(5): 142-151.
- LI B. Environment correlative dietology: concept, connotation and methods of studying[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2022, 41(5): 142-151.
- [44] 王会梅, 徐桂华, 王丹文. 中医食疗的理论与应用[J]. *辽宁中医药大学学报*, 2008(4): 69-71.
- WANG H M, XU G H, WANG D W. The theory and using of TCM diet therapy[J]. *Journal of Liaoning University of Traditional Chinese Medicine*, 2008(4): 69-71.
- [45] 刘雨儿, 葛君芸, 谢慎, 等. 《灵枢·刺节真邪第七十五》学术思想探源[J]. *湖南中医杂志*, 2013, 29(4): 1-4.
- LIU Y E, GE J Y, XIE S, et al. Investigation of academic thinking of Miraculous Pivot Chapter 75: Cijie Zhenxie[J]. *Hunan Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2013, 29(4): 1-4.
- [46] 张一聪. 《饮膳正要》及其养生思想研究[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2019: 28-29.
- ZAHNG Y C. The research of *Yin Shan Zheng Yao* and its health care thinking[D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2019: 28-29.
- [47] 代民涛, 柴可夫. 基于“三因制宜”理论的食材养生探微[J]. *中华中医药杂志*, 2015, 30(2): 345-348.
- DAI M T, CHAI K F. Discussion on the foods good for health based on the theory of 'reatment in accordance with three factors'[J]. *China Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy*, 2015, 30(2): 345-348.
- [48] 郭世峰, 崔旭宇, 危玲. 浅谈药膳的历史与发展[J]. *中国民间疗法*, 2023, 31(14): 11-15.
- GUO S F, CUI X Y, WEI L. Discuss the history and development of herbal cuisine[J]. *China's Naturopathy*, 2023, 31(14): 11-15.
- [49] 代民涛. 人口老龄化背景下中医食材养生研究[D]. 杭州: 浙江中医药大学, 2015: 21-23.
- DAI M T. A study on TCM food regimen in the context of population aging[D]. Hangzhou: Zhejiang Chinese Medical University, 2015: 21-23.
- [50] 尹倩, 曾剑锋, 蒋力生. 中医食疗养生应用特点分析[J]. *中华中医药杂志*, 2021, 36(4): 2 378-2 380.
- YIN Q, ZENG J F, JIANG L S. Analysis on application characteristics of traditional Chinese diet therapy health maintenance[J]. *China Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy*, 2021, 36(4): 2 378-2 380.
- [51] 钱秋红, 谢定源, 田梦云, 等. 2004~2011年间我国9省成年居民咸菜类食物摄入情况分析[J]. *营养学报*, 2019, 41(6): 611-613.
- QIAN Q H, XIE D Y, TIAN M Y, et al. Intake of pickles among chinese adult residents in 9 provinces from 2004 to 2011[J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2019, 41(6): 611-613.
- [52] 陈薇, 谢定源, 季璐雅, 等. 基于双因素方差分析的浙江菜品咸甜特征研究[J]. *湖北农业科学*, 2015, 54(20): 5 111-5 114.
- CHEN W, XIE D Y, JI L Y, et al. Research on salty and sweet characteristics of Zhejiang dishes based on double factorial analysis of variance[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2015, 54(20): 5 111-5 114.
- [53] 成令茹, 谢定源, 钱秋红, 等. 2000—2012年中国农村居民食物消费现状及其与气候的相关性[J]. *卫生研究*, 2017, 46(6): 861-867.
- CHENG L R, XIE D Y, QIAN Q H, et al. Current situation of food consumption and its correlation with climate among rural residents in China, 2000—2012[J]. *Journal of Hygiene Research*, 2017, 46(6): 861-867.
- [54] 何帅, 杨帆, 叶小清, 等. 湖南名菜辣味特征及相关味型分析[J]. *中国调味品*, 2016, 41(6): 6-10, 17.
- HE S, YANG F, YE X Q, et al. Pungency characteristics of Hunan dishes and analysis of the related taste types[J]. *China Condiment*, 2016, 41(6): 6-10, 17.
- [55] 成令茹, 钱秋红, 张俊杰, 等. 《中国名菜谱》中常用调味品的统计分析[J]. *中国调味品*, 2017, 42(11): 149-153, 174.
- CEHNG L R, QIAN Q H, ZHANG J J, et al. Statistical analysis of frequently-used condiments in *Chinese Famous Recipes*[J]. *China Condiment*, 2017, 42(11): 149-153, 174.

- [56] WANG S, CHENG L, HE S, et al. Regional pungency degree in China and its correlation with typical climate factors[J]. *Journal of Food Science*, 2019, 84(1): 31-37.
- [57] 宗文静, 赵凯维, 张玉辉, 等. 《黄帝内经》饮食养生理论研究[J]. *中国中医基础医学杂志*, 2022, 28(8): 1 210-1 212, 1 295.
- ZONG W J, ZHAO K W, ZHANG Y H, et al. Study on diet and health preservation theory in Inner Canon of Huangdi[J]. *Journal of Basic Chinese Medicine*, 2022, 28(8): 1 210-1 212, 1 295.
- [58] 王华玲, 袁世清. “冬吃萝卜, 夏吃姜”的饮食养生思想探析[J]. *四川旅游学院学报*, 2023(3): 14-16.
- WANG H L, YUAN S Q. Exploration of the dietary health ideas of "eating radish in winter and ginger in summer"[J]. *Journal of Sichuan Tourism University*, 2023(3): 14-16.
- [59] SHI K X, HU T, ZHANG P P, et al. Thermal conditions and active substance stability affect the isomerization and degradation of lycopene[J]. *Food Research International*, 2022, 162: 111987.
- [60] LIU T, ZHU W, HUANG J, et al. Comparison of the nutritional as well as the volatile composition of in-season and off-season Hezuo 903 tomato at red stage[J]. *European Food Research and Technology*, 2017, 243(2): 203-214.
- [61] 张红艳, 石凯欣, 潘思轶. 番茄红素异构化研究进展[J]. *食品科学*, 2023, 44(19): 330-339.
- ZHANG H Y, SHI K X, PAN S Y. Research progress on lycopene isomerization[J]. *Food Science*, 2023, 44(19): 330-339.
- [62] 杨心彪, 李兴需, 刘睿, 等. 鲜食番茄成熟过程中果实营养成分的动态变化[J]. *华中农业大学学报(自然科学版)*, 2022, 41(3): 191-199.
- YANG X B, LI X X, LIU R, et al. Dynamic changes of fruit nutrient components during ripening of fresh tomatoes[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2022, 41(3): 191-199.
- [63] YAN H Q, JI Q, CHEN D D, et al. A novel macromolecular extract screened from satsuma with pro-inflammatory effect[J]. *Food & Function*, 2014, 5(2): 295-302.
- [64] 李思敏, 包洁, 梅雨君, 等. 论“上火”与饮食[J]. *黑龙江中医药*, 2015, 44(2): 6-7.
- LI S M, BAO J, MEI L J, et al. On the relationship between "getting internal heat" and diet[J]. *Heilongjiang Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2015, 44(2): 6-7.
- [65] 谢志军, 王伟杰. 上火病因病机初探[J]. *浙江中医药大学学报*, 2013, 37(3): 226-228.
- XIE Z J, WANG W J. Preliminary exploration of pathogenic factors and pathogenesis of excessive internal heat[J]. *Journal of Zhejiang Chinese Medical University*, 2013, 37(3): 226-228.
- [66] 张聪, 姜晓明, 冯宪敏, 等. 食源性“上火”证发病机理[J]. *吉林医药学院学报*, 2020, 41(1): 51-53.
- ZHANG C, JIANG X M, FENG X M, et al. The pathogenesis of foodborne "Shang huo"[J]. *Journal of Jilin Medical University*, 2020, 41(1): 51-53.
- [67] 陈雪梅, 王琦, 倪诚, 等. 第八讲 关于火热证医案的探讨[J]. *中医药通报*, 2013, 12(3): 3-7.
- CHEN X M, WANG Q, NI C, et al. Lecture 8: exploration of medical cases of fire-heat syndrome[J]. *Traditional Chinese Medicine Journal*, 2013, 12(3): 3-7.
- [68] JI Q, MA Z C, DENG X X. Volunteer study and serum protein profiling to understand inflammatory response induced by Satsuma mandarin[J]. *Food Research International*, 2015, 75: 367-373.
- [69] WU J L, CHEN L, LIN D B, et al. Development and application of a multiplex real-time PCR assay as an indicator of potential allergenicity in citrus fruits[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2016, 64(47): 9 089-9 098.
- [70] LIU Y J, QIU N, MA M H. Comparative proteomic analysis of egg white proteins during the rapid embryonic growth period by combinatorial peptide ligand libraries[J]. *Poultry Science*, 2015, 94(10): 2 495-2 505.
- [71] GAO D, QIU N, LIU Y P, et al. Comparative proteome analysis of egg yolk plasma proteins during storage[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2017, 97(8): 2 392-2 400.
- [72] 李祖悦, 李小萌, 靳国锋, 等. 不同品种和饲养环境下鸡肉的营养和风味比较[J]. *华中农业大学学报*, 2022(5): 190-197.
- LI Z Y, LI X M, JIN G F, et al. Comparison of nutrition and flavor of three varieties of chicken in different rearing environments[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2022(5): 190-197.
- [73] LI X M, XIA M Q, ZENG Q, et al. Eggstraordinary health: exploring avian egg proteins and peptides in boosting immunity and health maintenance [J]. *Food Science of Animal Products*, 2023, 1(4): 9240047.
- [74] LI X M, LI Z Y, ZHANG X Y, et al. Restoration of immunity by whole egg was superior to egg white or egg yolk in a cyclophosphamide-induced immunocompromised mouse model[J]. *Food Bioscience*, 2022, 50(6): 102013.
- [75] 陈周, 胡杨, 安玥琦, 等. 短时间微流水处理对池塘养殖草鱼鱼肉品质的提升作用[J]. *水产学报*, 2020, 44(7): 1 198-1 210.
- CHEN Z, HU Y, AN Y Q, et al. Quality improvement of short-time micro-flow water treatment on the flesh of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) cultured in a pond[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2020, 44(7): 1 198-1 210.
- [76] 温利, 李温蓉, 陶玲, 等. 池塘循环水养殖对混养草鱼食用品质的影响[J]. *水生生物学报*, 2023, 47(8): 1 353-1 362.
- WEN L, LI W R, TAO L, et al. Recirculating aquaculture pond on edible quality of polyculture grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2023, 47(8): 1 353-1 362.