

# 功能食品功效检测方法的研究进展

吴江<sup>1,2,3</sup>, 张奎林<sup>1,2,3\*</sup>, 夏湘<sup>1,2</sup>, 赵良忠<sup>1,2</sup>, 彭洁<sup>1</sup>

(1. 邵阳学院食品与化学工程学院, 邵阳 422000; 2. 豆制品加工与安全控制湖南省重点实验室, 邵阳 422000;  
3. 重庆市武隆县羊角豆制品有限公司, 重庆 400000)

**摘要:** 随着社会的发展, 用脑强度逐渐增大、工作量增加、运动量降低等问题时刻影响着每个人, 进而导致绝大部分人群均出现体质降低、免疫力下降、身体肥胖等亚健康问题。为解决这一问题, 功能食品逐渐进入研究者的视野, 功能食品能针对性的、潜移默化地改善身体各项机能, 各种类型的功能食品逐渐问世。但是功能食品检测机制不完善, 要求未统一, 造成产品种类多、功效各不相同、检测方法原理各不相同, 最终导致功能食品的研究人员不知该如何选择合适的检测方法。本文介绍了近年来抗疲劳、抗衰老、增强免疫力等功能性食品的检测方法, 并进行总结与归纳, 以为功能食品的研究提供参考。

**关键词:** 功能食品; 检测方法; 功能物质; 亚健康

## Research progress of functional food efficacy detection methods

WU Jiang<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Kui-Lin<sup>1,2,3\*</sup>, XIA Xiang<sup>1,2</sup>, ZHAO Liang-Zhong<sup>1,2</sup>, PENG Jie<sup>1</sup>

(1. School of Food and Chemical Engineering, Shaoyang University, Shaoyang 422000, China; 2. Hunan Key Laboratory of Soybean Products Processing and Safety Control, Shaoyang 422000, China; 3. Chongqing Wulong Goat's bean Products, Chongqing, 400000, China)

**ABSTRACT:** With the development of society, problems such as gradually increasing intensity of brain use, increasing workload and decreasing amount of exercise affect everyone all the time, resulting in the majority of people with physical decline, immune decline, body obesity and other sub-health problems. In order to solve this problem, functional food has gradually come into the eyes of researchers. Functional food can improve various functions of the body in a targeted and subtle way, and various types of functional food has gradually come into being. However, the functional food testing mechanism is not perfect and the requirements are not unified, resulting in a variety of products, different efficacy and different principles of testing methods. As a result, researchers of functional food do not know how to choose the appropriate testing method. This paper introduced the detection methods of functional food in recent years, such as anti-fatigue, anti-aging, enhancing immunity, and summarizes them in order to provide reference for the research of functional food.

**KEY WORDS:** functional foods; efficacy testing; functional substances; sub-health

基金项目: 湖南省研究生科研创新项目(CX2019SY045)、湖南省科技创新计划资助项目(2019TP1028、2019SK2122、2019NK4229)

Fund: Supported by the Hunan Postgraduate Scientific Research Innovation Project (CX2019SY045), and Science and Technology Innovation Province of Hunan Province (2019TP1028, 2019SK2122, 2019NK4229)

\*通信作者: 张奎林, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品工程。E-mail: ZKL63@126.com

\*Corresponding author: ZHANG Kui-Lin, Master, Senior Engineer, Chongqing Wulong Croissant Bean Products Co., No. 72, Baima Industrial Park, Wulong County, Chongqing 408512, China. E-mail: ZKL63@126.com

## 0 引言

功能食品尚未有一个统一的标准,一般认为功能食品包括保健食品、特医食品、以及具有功能因子的普通食品等,其定义首先是具有特定的保健功效的食品,其次不以治疗疾病为目的,不能取代药物的作用,且不会对人体造成任何急性、亚急性或者慢性疾病的一类食品<sup>[1]</sup>。我国对功能食品的分类主要有抗疲劳、抗衰老、增强免疫力、减肥、降低血脂等。近年来亚健康健康问题侵蚀着全球,熬夜导致的疲劳衰老、饮食导致的肥胖、老龄化形成的血脂偏高等问题比比皆是,我国从 2011 年《食品工业“十二五”发展规划》发布后才正式将功能食品列为国家发展计划<sup>[2]</sup>,发展到现在的第三代产品已经开始研究其功能因子、含量和作用机理,国内外有许多学者对这些方面都有研究,研究的侧重点各不相同。

2016 年国务院实施“健康中国 2030”规划纲要,推动完善法规、提高社会健康意识、促进健康产业投资等政策对功能食品的大健康产业形成强有力支撑,功能食品如雨后春笋般地应运而生,各个食品行业都参与其中,但是发展不平衡、科技含量不高、法规不完善成为制约,许多功能食品检测方法不明确,功效不强或打着功能食品的旗号却未有功能食品之效。现阶段我国功能食品检测方法主要分为建立生物模型和检测新陈代谢产物,建立模型主要是根据功能食品的特性提高动物的运动或记忆能力转化为运动时间或者记忆迷宫路线的能力;检测新陈代谢产物主要是检测影响机体功能的活性成分在消化吸收功能食品后含量变化。国内外有许多学者对这些方面都有研究,研究的侧重点各不相同。本文对近年来功能食品的检测方法进行概括综述,以期对相关工作者提供便利。

## 1 抗衰老食品检测方法

机体衰老是一个十分复杂的过程,机体各组织器官功能逐渐退化,伴随着细胞衰老、酶的分解、分子作用等各种因素的共同作用,并且会随着时间的推移,使机体组织功能严重下降,最后造成生病甚至导致死亡。造成衰老的原因是复杂多样的,不同物质的作用位点和作用方式也各有差异,所以关于抗衰老作用的研究也各不相同,例如姜黄素可以提高细胞活性、促进新陈代谢、提高酶的活性<sup>[3]</sup>。我国大多数关于抗衰老的研究都是通过观察动物生理活动、建立 *D*-半乳糖衰老模型、建立秀丽隐杆线虫模型来实现的,因为它们造模简单、方便实验、可以极大缩短实验周期<sup>[4]</sup>。

### 1.1 水迷宫实验

曾芷筠等<sup>[5]</sup>通过建立 Morris 水迷宫模型来验证机体衰老的一个重要标志就是记忆力的衰退。首先设置一个特

定规格的长方体盒子,盒子分成 4 个象限,里面灌满水并在其中一个象限中设置标志性物体。实验开始前,先将小鼠分为不同的组别,实验组的小鼠喂养改善记忆力的食品,其他组的小鼠喂养普通食品作为对照,将小鼠放入任意象限中,记录不同组别小鼠找到平台需要的时间,研究得出,随着添加剂量的增加,小鼠逃出迷宫的时间从  $25 \pm 9$  s 降低至  $21 \pm 7$  s,并且逃跑经过的路程也从 1500 mm 降低至 1000 mm,实验得出金线莲提取物可以改善记忆力。水迷宫模型在抗衰老实验中应用较多,操作简单、结果可靠,从实验中可以看出水迷宫模型能准确的将实验结果展现为逃避时间和逃避路程,通过小鼠的行动力和记忆力表达出衰老程度,得出实验的结论。

### 1.2 小鼠生理特征的表现

崔长升等<sup>[6]</sup>在抗衰老实验中为了验证梅花鹿鹿茸的抗疲劳效果,采用的是观察小鼠外貌变化、行动力等。实验开始前,先将同等生理状况的小鼠同等条件下培养 7 d,7 d 后给小鼠随机分组,按照组别开始喂食梅花鹿鹿茸提取物,除空白组小鼠外注射相同计量的 *D*-半乳糖,持续 30 d。期间观察小鼠外观和行动,发现各组老鼠有不同程度的衰老现象,包括毛色变浅、饮食量降低、行动力迟缓等,并且会随着喂食计量的增加而平缓地提升抗衰老效果直达到平衡。汪群红等<sup>[7]</sup>在研究西红柿的抗疲劳作用时,在喂养一个月西红柿的提取物后,禁食 24 h,取出小鼠脏器等等器官称量和小鼠整体体重对比,以此来验证西红柿抗疲劳效果。杜楠等<sup>[8]</sup>则在前面实验的基础上,还增加一组小鼠是否会对功能物质产生依赖性的实验,通过实验证明小鼠并不会产生依赖性。从这些实验中可以看出,功效的检测方法在不断地由外入内推进,从刚开始外观和行动力方面的检测,到器官和个体体重的变化,到后来赖药性的研究,检测方法在不断改善,也更加全面,所以我们在功能食品检测过程中不仅仅只关注功能性的强弱,更要观察功能食品是否会对机体产生不利影响。

### 1.3 体内酶活和代谢产物含量

超氧化物歧化酶(super oxide dismutase, SOD)可以恢复细胞活性、降低损坏;谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)能够保护细胞膜的结构及功能不受过氧化物的干扰及损害;丙二醛(malondialdehyde, MDA)则是细胞膜酯化氧化反应的产物,会反作用于细胞而加剧细胞膜的破裂;总抗氧化能力(total antioxidant capacity, T-AOC)能够降低活性氧水平,缓解氧化应激,维持细胞稳态。肖宝平等<sup>[9-11]</sup>在检测抗衰老物质的功能性时,采用的是测定 SOD 活性和 MDA 含量。首先建立 *D*-半乳糖抗衰老模型,将小白鼠分为不同的组别,给予不同剂量的抗疲劳物质 30 d 后,禁食 24 h 后立即处死,取出内脏器官按照各试剂盒中的要求对血清中的 SOD 活性和 MDA 含量进行

测量; 王兵等<sup>[12]</sup>则在此基础上多测了一组 GSH-Px、T-AOC 的含量水平, 进一步强调复方羊胚胎素物质的抗衰老作用。虽然功能物质会影响体内酶和新陈代谢的各项指标, 但体内各物质含量及活性成分的作用都不是单一作用的结果, 研究在检测功能物质功效时, 应该综合考虑受样体内各项指标, 综合得出结论。

#### 1.4 大脑海马区细胞观察

生物体在衰老过程中, 海马区直接参与学习与记忆, 常常会表现出记忆力衰退、认知能力减退、智力下降等症状, 其实和大脑中海马区结构和功能是密切相关的<sup>[13]</sup>, 作用于大脑的抗衰老物质的检测一般都是采用自然衰老模型。吴雨枫等<sup>[14]</sup>在无果枸杞芽提取物抗自然衰老实验时, 采用尼式染色法观察小鼠脑组织海马区神经细胞的密度, 发现实验组的神经细胞密度均在(133±28)个/PH 以上且高于空白组, 证明无果枸杞芽提取物确实有抗疲劳效果; 黄燕婷等<sup>[15]</sup>则在对海马 CA1 区的实验过程中, 直接取出经过抗衰老实验的小鼠大脑, 经过特殊处理得到石蜡切片, 在显微镜下面观察海马区的形态学特征, 发现巴马特征饮食规律的小鼠细胞结构清晰完整。

#### 1.5 秀丽隐杆线虫模型

秀丽隐杆线虫是检测抗衰老效果的经典生物, 它具有生命周期短、易培养、与人体的基因有高度相似性的特点, 成为模拟人体研究衰老和抗氧化的重要标志<sup>[16-17]</sup>。魏倩因等<sup>[18]</sup>的方法比较直接, 在实验中选择同期培养的秀丽隐杆线虫, 梯度给药观察隐线虫的生命周期、饮食, 由于秀丽隐杆线虫的寿命短, 可以直接记录生命时长和吞咽能力并进行对比。而在刘春红等<sup>[19]</sup>实验中的研究较为复杂, 除了以上实验, 还通过改变紫外应激、热应激、氧化应激等条件, 观察隐线虫在不同生长环境下的运动能力、产卵能力及生命周期, 以此证明鹿茸乙醇提取物具有抗衰老的作用。秀丽隐杆线虫与人体的基因高度相似, 广泛的用于模拟人体实验, 但是功能食品要应用于人体内, 还需要考虑抗衰老因子在人体作用消化吸收方式是否和秀丽隐杆线虫一样。

#### 1.6 非常规检测方法

狄金涛等<sup>[20]</sup>提出直接以针灸的方法来对抗衰老, 通过检测小鼠体内内分泌、免疫作用、血流速度等来证明针灸具有抗疲劳性; 房其军<sup>[21]</sup>和 HU 等<sup>[22]</sup>通过检验酶的作用和细胞表达的信号通路来证明抗衰老, 其中包括 HK-2 细胞  $\beta$ -半乳糖苷酶、腺苷酸活化蛋白激酶等转化通路。非常规检测方法并不是因为功能物质的特殊性, 而是功能物质抗衰老的方式与常规不一样或者抗衰老的手段不同针对性的功效检测方法

## 2 增强免疫力食品检测方法

免疫是身体自身的一种保护体系, 目的是识别自己和排除异己, 通过免疫应答反应来维持身体各项功能的稳定。增强免疫力的功能食品是指能够调节人体免疫机制, 提高机体对疾病的抵抗力、抗感染能力及维持生理平衡的食品<sup>[23]</sup>。增强免疫功能食品的检测则是从人体免疫的机制出发, 检测免疫食品是否确实有效, 大致分为体液免疫、细胞免疫、单核巨噬细胞功能和自然杀伤细胞(natural killer cell, NK)活性 4 大类。

### 2.1 细胞免疫功能

尹曼等<sup>[24]</sup>和尹利端等<sup>[25]</sup>采用的是四甲基偶氮唑(tetramethylazazole, MTT)比色法检测脾淋巴细胞增殖效果: 连续给药 1 个月后立即颈椎脱臼法处死小鼠, 无菌条件下取出脾脏, 经过研磨等一系列处理后得到细胞悬液, 倒入专用孔板中, 加入功能物质后放入二氧化碳培养箱内培养 24 h, 24 h 过后加入 MTT 继续培养 4 h, 最后经过处理、计算, 得出增值率。MTT 比色法虽然是近年来检验细胞免疫功能常用的手段, 操作方便、检测速度更快。

### 2.2 体液免疫功能

半数溶血值, 是指血液中红细胞的含量, 是体外检测体液免疫最佳的方法, 它能直观清晰地表达出体液免疫功能的强弱。单义民等<sup>[26]</sup>在连续给予小鼠 30 d 药物后, 在其腹腔内注射浓度为 2% 的红细胞悬液进行免疫应答, 5 d 后取出眼球处理, 采用都氏溶解稀释后得到血清, 测定吸光度, 计算得到半数溶血值均远高于对照组结果。这种方法只适用于短期内的效果的功能物质, 长时间免疫作用检测较为困难, 并且实验的结果受体重影响较大。

### 2.3 单核巨噬细胞功能

单核巨噬细胞功能检测一般采用的都是吞噬鸡红细胞实验和碳粒廓清实验。韩飞等<sup>[27]</sup>在进行吞噬鸡红细胞实验时, 取新鲜的抗凝血, 离心取上清液, 往复 3 次, 再用生理盐水制成 10% 的鸡红细胞悬液, 注射入小鼠体内, 30 min 后处理小鼠得到腹腔洗涤液, 处理腹腔洗涤液后以吉萨姆缓冲液染色, 显微镜下观察计数, 最后算出吞噬率。陈致羽等<sup>[28]</sup>验证桂皮姜糖的免疫能力时, 则是通过碳粒廓清实验来证明, 给药 30 d 后在小鼠体内注射印度墨水, 注射后立刻计时, 2 min、10 min 后, 分别从内眦静脉抽取血样, 并加到碳酸钠溶液中, 用酶标仪测定光密度值, 将小鼠处死, 取肝脏和脾脏, 去掉表面血污, 称重计算得到小鼠碳廓清能力。这说明在使用各种检测方法对功能物质进行检测时, 方法并不一定是固定的标准, 陈致羽等<sup>[28]</sup>的实验中为了避免红细胞的影响采用印度墨水来标记小鼠碳粒廓清能力间接证明免疫能力强弱。

## 2.4 NK 细胞活性

张梦兰等<sup>[29]</sup>采用直接法测定NK细胞活性,经过给药分组实验后,无菌条件下取出小鼠的脾脏,磨碎裂解后,用细胞计数仪计活细胞数,在U型96孔板中加入靶细胞和NK细胞,处理后置于培养箱中培养4h,吸取上清液测定吸光度,计算得出NK细胞活性;柏伟荣等<sup>[30]</sup>采用的是乳酸脱氢酶测定法间接检测NK细胞的活性。

## 3 抗疲劳食品检测方法

疲劳是身体出现状况时机体表现出的一种反应,其大致可以分为躯体性疲劳和心理性疲劳2类。躯体性疲劳是身体运动引起的反应,人们由于学习和工作繁忙或体育锻炼较多,过度劳累,睡眠不足<sup>[31]</sup>,导致血液中积累大量的二氧化碳和乳酸,而产生疲劳,表现为动作协调能力下降,如果持续运动会影响人们正常生活,诱发运动损伤而导致内分泌紊乱、免疫力下降等<sup>[32]</sup>;心理性疲劳则是亚健康状态引发的原因之一,是精神高度集中、心情低落等造成的疲劳状态,记忆力障碍,理解、推理困难,脑力活动迟钝、不准确<sup>[33]</sup>。

### 3.1 生理指标

耐力实验是最直观表达机体疲劳的,不同的运动方式都会导致疲劳,检测方式简单有效,根据选用的模型一般可分为负重游泳、力竭跑台和爬杆实验。李明<sup>[34]</sup>给小鼠加以体重8%负重物后,置于游泳箱内负重游泳,记录不同组别小鼠持续游泳至力竭淹死的时间,以时间的长短作为抗疲劳的标准。小鼠力竭跑台和小鼠爬杆实验中,白海军等<sup>[35]</sup>在验证大豆复合物的抗疲劳性时,通过建立跑台耐力模型,在实施胃饲的最后一天,控制跑台速度,使其运动负荷强度高于90%的最大摄氧量,再加以电刺激促使小鼠始终保持最大运动能力,当连续刺激仍无法保持强度的状态记为力竭,并记录总运动时间,以总运动时间的多少验证抗疲劳的效果;韩燕燕等<sup>[36]</sup>在喂食功能物质人参山药奶粉的最后一天,将小鼠放到玻璃棒上,使肌肉处于静力紧张状态,记录小鼠由于肌肉疲劳从玻璃棒上跌落下来的时间,累计3次,记录爬杆所用时间作为抗疲劳的指标。这种方法和抗衰老模型中的水迷宫实验都是功效检测的经典模型,实验结果准确、直观,误差小。

### 3.2 血清生化指标

通过检测血清生化指标来判断是否具有抗疲劳性,一般都是采用各成分的试剂盒。在运动过程中体内糖无氧代谢和蛋白质分解代谢水平都会增加,最终导致尿氮素(urinary nitrogen, BUN)含量增加<sup>[37]</sup>。肌酸磷酸激酶(creatine phospho kinase, CPK)作为肌肉运动性损伤程度的一个衡量标准,它的积累直接反应着机体的疲劳<sup>[38]</sup>;乳酸(lactic

acid, LA)是肌体运动和保持体温而消耗热量的过程中产生的代谢产物,康樱樱、刘琦等<sup>[39-40]</sup>按酶联免疫吸附测定(enzyme linked immunosorbent assay, ELISA)检测试剂盒说明书要求对乳酸检测;同时也有研究者通过检测小鼠体内血清SOD活性、MDA含量、羟自由基活性<sup>[41]</sup>和超氧阴离子基<sup>[42]</sup>等来间接证明抗疲劳作用。

### 3.3 肌糖原和肝糖原

机体在运动时需要身体提供各种能量,能量是通过新陈代谢或者物质分解得到的<sup>[43]</sup>。郑华等<sup>[43]</sup>在研究鸡肉的抗疲劳效果时发现,机体首先是通过肌糖原代谢分解提供能量,当肌糖原消耗殆尽后,机体开始寻找其他的功能物质,此时肝糖原为第二供能物质,来维持人体的平衡,这时候机体已经处于较为疲劳的状态,因此肝糖原和肌糖原也是较为理想的抗疲劳检测指标<sup>[44-45]</sup>。肝糖原和肌糖原作为体内能量供给的直接物质,最能直观的表达机体的运动性疲劳,但是至今没有以个统一准确的检测方法,大都是采用试剂盒的方法检测,只能检测出糖原产物,不能区分二者。

### 3.4 神经性疲劳

抗疲劳的物质有很多,每种物质的作用机理和对这些物质的研究方法各不相同<sup>[46]</sup>。罗则华等<sup>[47]</sup>通过建立数据库和与疲劳相关的靶点之间的联系来分析疲劳和活性成分之间的网络结构即活性成分-疲劳-靶点网络,利用中药系统药理数据库和分析平台联系,最终建立网络结构和通路。林子璇等<sup>[48]</sup>的研究略有不同,研究者是先筛选出人参和三七中有效的化合物成分和相关的的作用基因,再找到疲劳靶基因位点,构建交集基因的蛋白质交互网络(pixels per inch, PPI),最后得到功能物质与抗疲劳之间联系。神经性疲劳的检测大多从基因角度出发,通过基因表达的方式建立神经网络来验证功能物质的抗疲劳效果。

## 4 结论与展望

功能食品所涉及的功能远不止本文中所提及的几个方面,更多的例如日常所见的减肥食品、降血脂食品、增强记忆力食品等都属于功能食品范畴,功能食品正在全面进入我们的生活、改善我们身体,但是我国功能食品仍有很大的进步空间,检测方法各不相同,检测机理说法不一,都需要逐步完善,建立完整的功效检测方法、完善的监督体系、规范的市场秩序迫在眉睫。功能食品发展日新月异,逐渐进入每个人的生活,在各种研究机构和公司为了经济效益抢占市场的同时,食品科技人员更加应该注重研究功能食品的功效和机理,关注各种功能性物质之间的搭配,研发功能性更专一、营养型更全面的食品,为功能食品的研究添砖添瓦,探索新的领域。

## 参考文献

- [1] 孙桂菊. 我国保健食品产业发展历程及管理政策概述[J]. 食品科学技术学报, 2018, 36(2): 12–20.  
SUN GJ. Overview of the development process and management policies of China's health food industry [J]. J Food Sci Technol, 2018, 36(2): 12–20.
- [2] 贺燕丽. 《食品工业“十二五”发展规划》解读[J]. 宏观经济管理, 2012, (6): 14–18.  
HE YL. Interpretation of the *Development plan of food industry during the 12th five-year plan period* [J]. Macroeconomic Manag, 2012, (6): 14–18.
- [3] JING L, DONGXIAO G, JUHUA D, *et al.* The protective effect of cycloastragenol on aging mouse circadian rhythmic disorder induced by D-galactose [J]. J Cell Biochem, 2019, 120(10). DOI:10.1002/jcb.28587
- [4] 陈娟丽, 魏传飞, 韩发彬. 姜黄素改善阿尔茨海默病认知和记忆功能的研究进展[J]. 中国老年学杂志, 2021, 41(4): 887–891.  
CHEN JL, WEI CF, HAN FB. Research progress of curcumin in improving cognitive and memory function in Alzheimer's disease [J]. Chin J Gerontol, 2021, 41(4): 887–891.
- [5] 曾芷筠, 陈强伟, 江涛, 等. 金线莲乙醇提取物对自然衰老小鼠抗衰老作用的研究[J]. 中药材, 2020, (5): 1202–1207.  
ZENG ZY, CHEN QW, JIANG T, *et al.* Study on anti-aging effect of ethanol extract of flos lucidum on natural aging mice [J]. J Chin Med Mater, 2020, (5): 1202–1207.
- [6] 崔长升, 于森, 王任晶, 等. 梅花鹿鹿茸多糖的提取工艺优化及抗衰老的作用[J]. 中国老年学杂志, 2020, 40(8): 1697–1701.  
CUI CS, YU M, WANG RJ, *et al.* Optimization of extraction technology of antler polysaccharide from sika deer and its anti-aging effect [J]. Chin J Gerontol, 2020, 40(8): 1697–1701.
- [7] 汪群红, 苏慧丽, 万晓青, 等. 西红花对 D-半乳糖致衰老大鼠模型抗氧化能力的影响[J]. 中华中医药学刊, 2020, 38(11): 18–21.  
WANG QH, SU HL, WAN XQ, *et al.* Effects of crocus sativus on antioxidant capacity of D-galactose induced aging rat model [J]. Chin Arch Tradit Chin Med, 2020, 38(11): 18–21.
- [8] 杜楠, 王璐, 白鸽, 等. 绞股蓝籽油食品安全毒理学评价及抗衰老研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2018, 46(5): 131–140, 148.  
DU N, WANG L, BAI G, *et al.* Toxicological evaluation on food safety and anti-aging of gynostava seed oil [J]. J Northwest A F Univ (Nat Sci Ed), 2018, 46(5): 131–140, 148.
- [9] 肖宝平, 陈露, 曾珺, 等. 姜黄素提高 PC12 细胞的抗氧化能力[J]. 食品科学, 2021, 42(1): 172–179.  
XIAO BP, CHEN L, ZENG J, *et al.* Curcumin improves the antioxidant capacity of PC12 cells [J]. Food Sci, 2021, 42(1): 172–179.
- [10] 董寿堂, 柴连周, 张旭强, 等. 西归对 D-半乳糖致衰老模型小鼠的抗衰老作用[J]. 中兽医医药杂志, 2020, 39(3): 66–68.  
DONG ST, CHAI LZ, ZHANG XQ, *et al.* Anti-aging effects of Xigui on D-galactose-induced aging model mice [J]. J Tradit Chin Vet Med, 2020, 39(3): 66–68.
- [11] 林祥娜, 王光强, 杨映津, 等. 短乳杆菌 AR247 的抗氧化成分及其抗衰老作用[J]. 中国食品学报, 2020, 20(3): 38–45.  
LIN XN, WANG QG, YANG DJ, *et al.* The antioxidative components of *Lactobacillus brevis* AR247 and its anti-aging effect [J]. Chin J Food Sci, 2020, 20(3): 38–45.
- [12] 王兵, 王振亮, 张剑平, 等. 复方羊胎素对衰老模型大鼠血清中氧自由基水平的影响[J]. 中医学报, 2020, 35(3): 618–622.  
WANG B, WANG ZL, ZHANG JP, *et al.* Effects of compound fetoxin on serum oxygen free radical levels in senescent rats [J]. Acta Chin Med, 2020, 35(3): 618–622.
- [13] 王子礼, 陈显兵, 王凤杰, 等. 头顶一颗珠对衰老大鼠认知及海马 BDNF、TrkB 的影响[J]. 中国中西医结合杂志, 2020, 40(11): 1373–1377.  
WANG ZL, CHEN XB, WANG FJ, *et al.* Effects of a bead on cognition and hippocampus BDNF and TrkB in aged rats [J]. Chin J Interg Tradit West Med, 2020, 40(11): 1373–1377.
- [14] 吴雨枫, 符智兴, 陈积行, 等. 无果枸杞芽提取物对自然衰老小鼠的抗衰老作用分析[J]. 畜牧兽医学(电子版), 2020, (4): 6–7.  
WU YF, FU ZX, CHEN JX, *et al.* Analysis of anti-aging effect of fructuary lycium barbarum extract on natural aging mice [J]. Anim Husb Veter Sci (Electronic Ed), 2020, (4): 6–7.
- [15] 黄燕婷, 梅丽华, 潘海博, 等. 巴马长寿特征饮食模式对自然衰老小鼠的抗衰老效果 [J/OL]. 食品科学: 1–12 [2020-10-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20200601.1301.026.html>.  
HUANG YT, MEI LH, PAN HB, *et al.* Anti-aging effect of bamar longevity diet model on natural aging mice [J/OL]. Food Sci: 1–12[2020-10-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20200601.1301.026.html>.
- [16] SUGAWARA T, SAKAMOTO K. Killed *Bifidobacterium longum* enhanced stress tolerance and prolonged life span of *Caenorhabditis elegans* via DAF-16 [J]. Brit J Nutr, 2018, 120(8). DOI: 10.1017/S0007114518001563
- [17] SCHULENBURG H, FÉLIX MA. The natural biotic environment of *Caenorhabditis elegans* [J]. Genetics, 2017, 206(1). DOI: 10.1534/genetics.116.195511
- [18] 魏倩茵, 王素娟, 刘佳奇, 等. 抗癌烷化剂三溴基丙酮酸对秀丽隐杆线虫衰老指标及寿命的影响[J]. 中国当代医药, 2020, 27(17): 4–7, 253.  
WEI QN, WANG SJ, LIU JQ, *et al.* Effect of tribromopyruvate, an anticancer alkylating agent, on the aging index and life span of *C. elegans* [J]. China Mod Med, 2020, 27(17): 4–7, 253.
- [19] 刘春红, 汤焱聪, 高瑜培, 等. 鹿茸乙醇提取物对秀丽隐杆线虫抗衰老的作用 [J/OL]. 食品工业科技: 1–8 [2020-10-23]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020060027>.  
LIU CH, TANG YC, GAO YP, *et al.* Anti-aging effect of ethanol extract of velvet antler on *Caenorhabditis elegans* [J/OL]. Sci Technol Food Ind: 1–8 [2020-10-23]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020060027>.
- [20] 狄金涛, 李孟媛, 刘超, 等. 灸法抗衰老的实验研究进展[J]. 中国老年学杂志, 2020, 40(10): 2218–2222.  
DI JT, LI MY, LIU C, *et al.* Experimental research progress of moxibustion against aging [J]. Chin J Gerontol, 2020, 40(10): 2218–2222.
- [21] 房其军, 刘建璟, 万毅刚, 等. 基于自噬信号通路探究褐藻多糖硫酸酯

- 改善人近端肾小管上皮细胞衰老的分子机制[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(24): 6003-6011.
- FANG QJ, LIU JJ, WAN YG, *et al.* Study on the molecular mechanism of caF sulfate improving the senescence of human proximal renal tubular epithelial cells based on autophagy signaling pathway [J]. *China J Chin Mater Med*, 2020, 45(24): 6003-6011.
- [22] HU R, WANG MQ, LIU LY, *et al.* Calycosin inhibited autophagy and oxidative stress in chronic kidney disease skeletal muscle atrophy by regulating AMPK/SKP2/CARM1 signalling pathway [J]. *J Cell Mol Med*, 2020.
- [23] TRES C, KATHLEEN G, LANZER, *et al.* Vaccination of aged mice with adjuvanted recombinant influenza nucleoprotein enhances protective immunity [J]. *Vaccine*, 2020, 38(33). DOI: 10.1016/j.vaccine.2020.05.085
- [24] 尹曼, 董哲, 王憬, 等. 复合果蔬发酵汁对小鼠脾淋巴细胞的作用研究[J]. 中国食品学报, 2019, 19(3): 127-133.
- YIN M, DONG Z, WANG J, *et al.* Effects of compound fruit and vegetable fermentation juice on spleen lymphocytes in mice [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2019, 19(3): 127-133.
- [25] 尹利端, 王桐, 宋文山, 等. 不同分子量松花肽增强小鼠免疫力的功能研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(3): 61-65.
- YIN LD, WANG T, SONG WS, *et al.* Functional study on immune enhancement of mice with different molecular weight of pine flower peptides [J]. *Food Res Dev*, 2019, 40(3): 61-65.
- [26] 单义民, 周慧, 陈默思, 等. 中国劲酒抗疲劳、调节免疫力及增强性功能作用的研究[J]. 中成药, 2018, 40(7): 1600-1603.
- SHAN YM, ZHOU H, CHEN MS, *et al.* Study on anti-fatigue, immunity regulation and sexual function enhancement of Chinese Gin [J]. *Chin Tradit Pat Med*, 2018, 40(7): 1600-1603.
- [27] 韩飞, 马广强, 熊魏, 等. 牛至油增强小鼠免疫功能的实验[J]. 中国医院药学杂志, 2020, 40(10): 1106-1110.
- HAN F, MA GQ, XIONG W, *et al.* Effects of oregano oil on immune function in mice [J]. *Chin J Hosp Pharm*, 2020, 40(10): 1106-1110.
- [28] 陈致羽, 管昭巍, 王家铨, 等. 桂皮姜糖饮的开发及对小鼠免疫调节作用的研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(18): 135-142.
- CHEN ZY, GUAN ZW, WANG JB, *et al.* Development of cinnamon ginger syrup and its immunomodulatory effect on mice [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(18): 135-142.
- [29] 张梦兰, 杨琴, 张冰洁, 等. 牡丹籽油复方软胶囊增强免疫力的功能研究[J]. 中国油脂, 2019, 44(11): 121-126.
- ZHANG ML, YANG Q, ZHANG BJ, *et al.* Research on the immune enhancement function of peony seed oil compound soft capsule [J]. *China Oils Fats*, 2019, 44(11): 121-126.
- [30] 柏伟荣, 杨绪芳, 张海弢, 等. 西洋参参与淫羊藿配伍增强免疫力和缓解体力疲劳功能实验研究[J]. 食品与发酵科技, 2020, 56(2): 5-9.
- BAI WR, YANG XF, ZHANG HT, *et al.* I participated in the experimental research on compatibility of epimedium to enhance immunity and alleviate physical fatigue [J]. *Food Ferment Technol*, 2020, 56(2): 5-9.
- [31] 闫勇江. 植物提取物抗运动性疲劳作用的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(21): 7735-7739.
- YAN YJ. Research progress of anti exercise fatigue effect of plant extracts [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(21): 7735-7739.
- [32] AMIRA GI, MANAR G, NEHAL NR. Assessment of cyclic fatigue resistance of Protaper Next and WaveOne Gold in different kinematics [J]. *Bull Nat Res Centre*, 2020, 44(1).
- [33] XIAO MF, LIN L, CHEN HP, *et al.* Anti-fatigue property of the oyster polypeptide fraction and its effect on gut microbiota in mice [J]. *Food Funct*, 2020.
- [34] 李明. 白花蛇舌草多糖的抗疲劳抗氧化作用研究[J]. 食品科技, 2014, 39(7): 190-193.
- LI M. Anti-fatigue and antioxidation effects of hedyotis diffusa polysaccharides [J]. *Food Sci Technol*, 2014, 39(7): 190-193.
- [35] 白海军, 李志江. 牛磺酸-水解大豆蛋白复合体系对运动性疲劳大鼠的影响 [J/OL]. 食品科学: 1-9 [2020-10-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20200831.1010.024.html>.
- BAI HJ, LI ZJ. Effects of taurine-hydrolyzed soy protein complex system on exercise fatigue rats [J/OL]. *Food Sci*: 1-9 [2020-10-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20200831.1010.024.html>.
- [36] 韩燕燕, 吴巍, 王悦宏, 等. 人参山羊奶粉缓解体力疲劳作用及其标志成分含量测定[J]. 食品工业科技, 2020, 41(19): 20-25, 32.
- HAN YY, WU W, WANG YH, *et al.* Ginseng goat milk powder relieving physical fatigue and its signature component content determination [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(19): 20-25, 32.
- [37] 张丽婧, 刘臻, 刘冬英, 等. 水溶性雨生红球藻虾青素粉对小鼠抗疲劳功能研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(10): 3100-3104.
- ZHANG LJ, LIU Z, LIU DY, *et al.* Studies on the anti-fatigue function of water-soluble astaxanthins powder from rain-living chlorella chinensis [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(10): 3100-3104.
- [38] 王猛, 颜克亮, 杨莹, 等. 东紫苏提取物抗疲劳及抗氧化作用的研究[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2020, 22(5): 1641-1647.
- WANG M, YAN KL, YANG Y, *et al.* Studies on anti-fatigue and anti-oxidation effects of extracts of perilla fruticosa [J]. *Mod Tradit Chin Med Mater Med-World Sci Technol*, 2020, 22(5): 1641-1647.
- [39] 康樱樱, 周婷婷, 王春驰, 等. 梅花鹿鞭提取物抗疲劳作用的实验研究[J]. 中国中医药科技, 2020, 27(5): 694-696.
- KANG YY, ZHOU TT, WANG CC, *et al.* Experimental study on anti-fatigue effect of extract of sika deer penis [J]. *Chin J Tradit Med Sci Technol*, 2020, 27(5): 694-696.
- [40] 刘琦. 大孔树脂对短梗五加多酚的纯化效果及多酚的抗疲劳作用研究[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(4): 171-177.
- LIU Q. Purification effect of macroporous resin on polyphenols and anti-fatigue effect of polyphenols [J]. *Stor Process*, 2020, 20(4): 171-177.
- [41] 商全乐, 白迎秋, 彭一腾, 等. 陈醋多酚提取物抗氧化活性及抗疲劳作用研究[J]. 中国调味品, 2020, 45(7): 168-171.
- SHANG QL, BAI YQ, PENG YT, *et al.* Studies on antioxidant activity and anti-fatigue effect of polyphenols extracts from aged vinegar [J]. *China Cond*, 2020, 45(7): 168-171.
- [42] 王嘉佳, 李晓倩, 高山, 等. 核桃多肽复配核桃乳对小鼠抗疲劳及抗氧化作用研究[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(19): 84-91.

- WANG JJ, LI XQ, GAO S, *et al.* Studies on anti-fatigue and anti-oxidation effects of walnut polypeptide compound walnut milk on mice [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(19): 84–91.
- [43] 郑华, 莫妮妹, 戴妍, 等. 鸡肉酶解物提高小鼠的抗疲劳及抗氧化活性[J]. 现代食品科技, 2020, 36(6): 9–16, 39.
- ZHENG H, MO NM, DAI Y, *et al.* Chicken enzymatic hydrolysates improved anti-fatigue and antioxidant activities in mice [J]. Mod Food Sci Technol, 2020, 36(6): 9–16, 39.
- [44] 付爱叶, 王俏娜, 吴雨龙, 等. 菊苣多糖体外抗氧化能力及抗疲劳作用[J]. 食品工业科技, 2018, 39(9): 1–5, 10.
- FU AY, WANG QN, WU YL, *et al.* *In vitro* antioxidant capacity and anti-fatigue effect of chicory polysaccharide [J]. Sci Technol Food Ind, 2018, 39(9): 1–5, 10.
- [45] 王耀东, 邱丽, 孙梦佳, 等. 壳聚糖通过减少自由基堆积提高对运动训练小鼠抗疲劳能力的实验研究[J]. 天津体育学院学报, 2020, 35(4): 434–438.
- WANG YD, QIU L, SUN MJ, *et al.* Experimental study of chitosan improving anti-fatigue ability of exercise training mice by reducing free radical accumulation [J]. J Tianjin Univ Sport, 2020, 35(4): 434–438.
- [46] 李国锋. 抗运动疲劳食源性活性成分的研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(24): 344–353.
- LI GF. Research and development of active ingredients from food sources for anti-motion fatigue [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(24): 344–353.
- [47] 罗则华, 杜倩, 奚鑫, 等. 基于网络药理学的淫羊藿抗疲劳作用机制研究[J]. 中草药, 2020, 51(11): 2997–3004.
- LUO ZH, DU Q, XI X, *et al.* Research on anti-fatigue mechanism of epimedium based on network pharmacology [J]. Chin Tradit Herb Drug, 2020, 51(11): 2997–3004.
- [48] 林子璇, 刘飞祥, 赵玉男, 等. 人参“补气”和三七“补血”抗疲劳的共同作用机制和效用比较[J]. 中国实验方剂学杂志, 2020, 26(15): 81–89.
- LIN ZX, LIU FX, ZHAO YN, *et al.* Comparison of the joint action mechanism and efficacy of Ginseng's "qi supplementation" and panax notoginseng's "blood supplementation" against fatigue [J]. Chin J Exp Tradit Med Form, 2020, 26(15): 81–89.

(责任编辑: 张晓寒)

### 作者简介



吴江, 硕士, 主要研究方向为食品工程。

E-mail: 461544633@qq.com



张奎林, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品工程。

E-mail: ZKL63@126.com