

贾芮, 裴娅敏, 邓佳杰, 等. 复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品的抗氧化功效评价及抗衰老作用[J]. 江苏农业学报, 2026, 42(4): 817-825.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2026.04.018

复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品的抗氧化功效评价及抗衰老作用

贾芮¹, 裴娅敏¹, 邓佳杰¹, 岳子杰¹, 韩娅红^{1,2}, 艾有伟^{1,2}, 侯温甫^{1,2,3}

(1. 武汉轻工大学食品科学与工程学院, 湖北 武汉 430023; 2. 农产品加工与转化湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430023; 3. 湖北省荆楚特色食品产业技术研究院, 湖北 荆州 430006)

摘要: 为探究复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品的体内外抗氧化活性及抗衰老功效, 本研究基于网络药理学筛选出了葛根、甘草、马齿苋、金银花、菊花等药食同源植物, 用葛根全粉与其他药食同源植物粉复配加工成复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品(LPH1、LPH2)。以自由基清除率为评价指标, 测定其体外抗氧化活性; 并探究不同剂量(12.5%、25.0%、50.0%)的复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品对果蝇存活时间、攀爬能力、体内抗氧化酶活性及氧化应激耐受能力的影响。结果表明, LPH1处理与LPH2处理对DPPH自由基、ABTS^{·+}的清除率均显著高于葛根全粉原料对照(CK) ($P < 0.05$)。果蝇活体试验结果显示, 25%为复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品最优添加剂量, 与对照相比, 此剂量下LPH1处理、LPH2处理果蝇的平均寿命分别显著延长25.84%和26.41%; 且在H₂O₂与百草枯氧化应激模型中, 果蝇的存活时间均得到显著延长($P < 0.05$)。综上, 复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品可有效提升果蝇体内外抗氧化活性、延缓其衰老进程, 本研究结果可为新型葛根全粉制品研发提供理论依据。

关键词: 药食同源植物; 葛根; 抗氧化活性; 抗衰老

中图分类号: S828 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2026)04-0817-09

Evaluation of the antioxidant efficacy and anti-aging effects of *Pueraria lobata* whole powder products blended with other medicine-food homologous plant powders

JIA Rui¹, PEI Yamin¹, DENG Jiajie¹, YUE Zijie¹, HAN Yahong^{1,2}, AI Youwei^{1,2}, HOU Wenfu^{1,2,3}

(1. School of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China; 2. Hubei Key Laboratory for Processing and Transformation of Agricultural Products, Wuhan 430023, China; 3. Hubei Industrial Technology Research Institute of Jingchu Special Foods, Jingzhou 430006, China)

Abstract: To investigate the *in vitro* and *in vivo* antioxidant activity and anti-aging effects of *Pueraria lobata* whole powder products blended with other medicine-food homologous plant powders, this study screened medicine-food homologous plants, including kudzu root (*Pueraria lobata*), licorice (*Glycyrrhiza uralensis*), purslane (*Portulaca oleracea*), honeysuckle (*Lonicera japonica*), and chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium*), based on network pharmacology. These plants were processed with kudzu root whole powder to formulate the kudzu root whole powder products blended with other medicine-food homologous plant powders (designated as LPH1 and LPH2). Using free

收稿日期: 2025-04-20

基金项目: 湖北省重点研发计划项目(2023BBB143); 校企研发项目(whpu-2022-j341)

作者简介: 贾芮(2000-), 女, 河南平顶山人, 硕士研究生, 研究方向为食品营养。(E-mail) jiarui@163.com

通讯作者: 侯温甫, (E-mail) houwenfu@whpu.edu.cn

radical scavenging rate as the evaluation index, the *in vitro* antioxidant activity of the products was determined. Furthermore, the effects of different doses (12.5%, 25.0%, and 50.0%) of the kudzu root whole powder products blended with other medicine-food homologous plant powders on the survival time, climbing ability, *in vivo* antioxidant enzyme activities, and oxidative stress tolerance of *Drosophila melanogaster* were investigated. The results showed that the scavenging rates of DPPH and ABTS^{•+} radicals in both LPH1 and LPH2 treatments were significantly higher than those in control (CK) ($P < 0.05$). The results of the *in vivo* *Drosophila melanogaster* assay indicated that 25% was the optimal concentration of the kudzu root whole powder products blended with other medicine-food homologous plant powders. At this concentration, compared with the control, the mean lifespans of *Drosophila melanogaster* in LPH1 and LPH2 treatments were significantly extended by 25.84% and 26.41%, respectively. In the H₂O₂ and paraquat-induced oxidative stress models, the survival time of *Drosophila melanogaster* was significantly extended ($P < 0.05$). In conclusion, the kudzu root whole powder products blended with other medicine-food homologous plant powders effectively enhanced the *in vitro* and *in vivo* antioxidant activity of *Drosophila melanogaster* and delayed their aging process. These findings of this study provide a theoretical basis for the development of novel kudzu root whole powder products.

Key words: medicine-food homologous plants; *Pueraria lobata*; antioxidant activity; anti-aging

衰老是机体发育过程中不可避免的生理过程,其本质是多重因素诱导的机体组织和功能退行性变化。相关研究结果表明,这一过程与活性氧过度生成引发的氧化应激反应密切相关^[1-2],主要表现为免疫系统受损、抗应激能力下降等特征。目前,常用的抗衰老药物普遍存在一定毒副作用^[3-4],这使得公众更倾向于选择富含天然活性成分的抗衰老制品。药食同源饮食干预作为一种常见的抗衰老策略,通过功能性食品满足大众健康需求,契合“药补不如食补”的传统养生理念^[5]。药食同源植物因含有天然抗氧化功能因子,且具有较高的安全性,是开发抗衰老制品的理想原料。因此,研发兼具抗氧化活性与安全性的天然抗衰老制品,具有十分广阔的市场前景。

众多研究结果显示,清除自由基的抗氧化类食品可表现出不同程度的延缓衰老作用^[6],葛根、甘草、马齿苋、金银花和菊花均属于药食同源植物,其活性成分对氧化损伤具有协同抵抗作用,其中葛根因对大脑、肝及生殖系统的多重健康效应备受关注^[7]。葛根中的活性成分葛根素已被证实可有效缓解机体氧化应激,且该成分用于动物饲料配方中,可预防奶牛乳腺炎^[8];甘草黄酮类物质能够清除生物体内过量的自由基,减轻氧化损伤对细胞的破坏作用^[9];马齿苋多糖可通过调控机体激素水平增强免疫功能,进而发挥延缓衰老的功效^[10];金银花多酚兼具抑制酪氨酸酶活性与清除自由基能力^[11];菊花提取物则可显著提升衰老模型小鼠体内超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)的活性,降低丙二醛(MDA)含量^[12]。上述多种药食同源植物活性成分复配后具有协同增效

作用,可更高效发挥抗衰老功效。基于其协同抗衰老机制,开发多种抗氧化因子协同增益的新产品配方,具有重要的理论与应用价值。

尽管药食同源植物及其复配产物在抗衰老领域具有巨大研发潜力,但是目前针对葛根全粉的抗衰老功能评价体系尚显薄弱。因此,建立合适的体内评价模型至关重要。黑腹果蝇(*Drosophila melanogaster*)因生命周期短、遗传背景清晰的优势,且其衰老过程中呈现的神经系统退化、行为反应迟缓及免疫力下降等特征,与人类衰老的生理表型高度相似,已被广泛应用于食品营养功能的评价研究。据此,利用果蝇模型开展葛根全粉制品的抗衰老作用评价,具有良好的可行性与实践价值。

本实验室前期利用网络药理学筛选出具有抗衰老功能的药食同源葛根全粉,并用葛根全粉与其他药食同源植物粉进行复配,发掘其潜在抗衰老功效,开发出具有抗氧化活性的葛根新制品。在此基础上本研究首先采用自由基清除法,评价复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品的体外抗氧化活性;其次基于黑腹果蝇衰老模型,通过比较各组果蝇的存活时间、攀爬能力、体内抗氧化酶活性及氧化应激抵抗能力,探究复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品在衰老干预中的作用机制,以期为葛根全粉新制品的开发及功能性评价提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料与试剂

本研究中供试果蝇为3日龄野生型W¹¹¹⁸黑腹果

蝇,由武汉轻工大学果蝇培养实验室提供,将其培养在恒温箱内,箱内温度 25 ℃,湿度 60%,光照周期为 12 h 光照/12 h 黑暗。供试试剂包括:丙酸和葡萄糖,购自国药集团化学试剂有限公司;亮蓝,购自上海源叶生物科技有限公司;过氧化氢(H₂O₂),购自广东光华科技股份有限公司;二氧化碳(CO₂),购自武汉市明辉气体科技有限公司;1,1-二甲基-4,4'-联吡啶二氯化物(百草枯),购自坛墨质检科技股份有限公司;2,2-联苯基-1-苦基肼基(DPPH),购自梯希爱(上海)化成工业发展有限公司;总抗氧化能力检测试剂盒,购自上海碧云天生物技术有限公司;超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、丙二醛(MDA)含量检测试剂盒,以及考马斯亮蓝 G-250 蛋白定量试剂盒,均购自南京建成生物工程研究所有限公司。本试验中所用的化学试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

本研究所用 Smart-S15 实验室纯水系统购自上海和泰仪器有限公司;M1-L201B 美的微波炉购自广东美的厨房电器制造有限公司;LRH-400A 生化培养箱购自广东泰宏君科学仪器股份有限公司;内切式匀浆机购自宁波新芝生物科技股份有限公司;冷冻离心机购自上海安亭科学仪器厂;SUNRISE 酶标定量测定仪购自西化仪(北京)科技有限公司;CO₂ 麻醉系统购自美国 Genesee Scientific Corporation 公司;QL-901 涡旋仪购自海门市其林贝尔仪器制造有限公司。

1.3 方法

1.3.1 葛根全粉制品的制备方法 将药食同源植物(葛根、甘草、马齿苋、金银花、菊花)打粉,过 80 目筛。试验设置 4 个处理:以葛根全粉原料为对照(CK);葛根全粉(19.69%)+藕粉(40.00%)+白砂糖(13.00%)+奶粉(10.00%)+燕麦(5.31%)+红豆薏米粉(5.00%)+黑芝麻(3.00%)+白芝麻(2.00%)+玉米粉(2.00%)加工制成葛根全粉制品(SALE);葛根、甘草、马齿苋、金银花按 3:2:1:1 混匀(24.69%),辅以藕粉(35.00%)、白砂糖(13.00%)、奶粉(10.00%)、燕麦(5.31%)、红豆薏米粉(5.00%)、黑芝麻(3.00%)、白芝麻(2.00%)、玉米粉(2.00%),加工成复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品 1(LPH1);葛根、甘草、马齿苋、菊花按 3:2:1:1 混匀(24.69%),辅以藕粉(35.00%)、白砂糖(13.00%)、奶粉(10.00%)、燕麦(5.31%)、红豆薏米粉(5.00%)、黑芝麻

(3.00%)、白芝麻(2.00%)、玉米粉(2.00%),加工成复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品 2(LPH2)。

1.3.2 DPPH 自由基清除活性测定 DPPH 自由基清除活性测定参考吴琼等^[13]的方法并稍作修改。用乙醇溶液配制浓度为 0.2 mmol/L DPPH 溶液,避光保存备用。取 3.0 mL 复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品的上清液与 3.0 mL DPPH 溶液摇匀,避光放置 30 min,于波长 517 nm 处测定吸光度(A_x)。同时将 3.0 mL 乙醇与 3.0 mL DPPH 溶液混合后避光放置 30 min,于波长 517 nm 处测定吸光度(A₀),DPPH 自由基清除率公式如下:

$$\text{DPPH 自由基清除率} = \left(\frac{1-A_x}{A_0} \right) \times 100\%$$

1.3.3 ABTS^{·+}清除活性测定 ABTS^{·+}清除活性测定参考 Tang 等^[14]的方法并稍作修改。将 ABTS 溶液与浓度为 2.4 mmol/L 的 K₂S₂O₈ 溶液等比例混匀,室温黑暗下反应 12~16 h,形成 ABTS 储备液。然后,用无水乙醇稀释,形成 ABTS 工作液。取 0.1 mL 样品溶液与 3.9 mL ABTS 工作液充分混匀,避光环境下反应 30 min,在 734 nm 波长处测定吸光度(A₁);另取 0.1 mL 无水乙醇替代样品溶液,与 3.9 mL ABTS 工作液按相同条件混匀、避光环境下反应 30 min 后,在 734 nm 波长处测定吸光度(A₀)。ABTS^{·+}清除活性公式如下:

$$\text{ABTS}^{\cdot+} \text{清除率} = \left(\frac{1-A_1}{A_0} \right) \times 100\%$$

1.3.4 果蝇培养基的制备 本研究中果蝇培养基的制备方法参考文明明等^[15]的方法并稍作修改。基础培养基制备方法:将玉米粉(30 g)、红糖(30 g)、酵母(2 g)、琼脂(2 g)的混合物放入 300 mL 蒸馏水中煮沸,放至室温,然后添加 2 mL 丙酸,立即分装在备用培养管中,置于 4 ℃ 冰箱保存。样品培养基的制备参考贾长英^[16]的方法并稍作修改:分别将基础培养基中 12.5%、25.0%、50.0% 的红糖和玉米粉替换成相应质量复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品制备成低剂量组(12.5%, SALE-L、LPH1-L、LPH2-L)、中剂量组(25.0%, SALE-M、LPH1-M、LPH2-M)和高剂量组(50.0%, SALE-H、LPH1-H、LPH2-H)的培养基。试验期间,每 3 d 更换 1 次培养基。

1.3.5 果蝇食欲测定 参考唐瑞^[17]的方法并稍作

修改:按1:1比例收集野生型黑腹果蝇雄性和雌性共同饲养在培养基中,收集羽化3 d的果蝇,雌雄分开,并转移至1.0%(质量分数)琼脂中进行24 h饥饿处理。在添加0.5%(质量分数)酸性亮蓝染料的培养基中避光喂食4 h,加入1.0 mL磷酸盐缓冲液(PBS)对果蝇进行匀浆(10 000 r/min离心15 min),取上清液定容至1.5 mL备用,在625 nm处测定吸光度。

1.3.6 果蝇抗氧化指标的测定 参考Peng等^[18]的方法并稍作修改:选取3日龄雄性果蝇,分为基础培养基组和复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品培养基组,每组设置5管,每管20只,分别饲喂15 d、30 d和45 d后,对果蝇进行2 h饥饿处理,随后转移至空果蝇管中,用CO₂麻醉果蝇后称重,记录其平均体重。按照1 g果蝇对应49 mL预冷生理盐水的比例,将果蝇放入预冷的生理盐水中,充分研磨匀浆,收集上清液,测定不同复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品对果蝇抗氧化能力的影响,并将上清液置于-80℃冰箱备用。使用试剂盒分别测定上清液中SOD活性、CAT活性和MDA含量,测定方法严格参照试剂说明书进行。

1.3.7 果蝇存活时间试验 收集羽化后3 d的野生型黑腹雄果蝇,随机分为3组,每组200只,每管放置20只,每3 d更换1次培养基,持续记录果蝇生存情况,直至所有果蝇死亡。计算其平均寿命、半数死亡时间和存活最长时间,并绘制生存曲线图。

1.3.8 果蝇攀爬能力测定 果蝇攀爬能力的测定参考Balasubramani等^[19]的方法并稍作修改。对照组、SALE组、LPH1组、LPH2组各取100只雄性果蝇,每组均分装于5个空管中,每管20只,记录30 s内攀爬高度达到12 cm以上的果蝇数量,并计算其占组内总数的百分比。分别于培养当天、培养15 d、30 d和45 d时进行攀爬能力测定。

1.3.9 果蝇急性氧化应激损伤试验 果蝇急性氧化应激损伤试验参考Sykiotis等^[20]的方法并稍作修改。收集羽化后3 d的果蝇,分别置于基础培养基和复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品培养基中培养30 d,随后转移至空管中饥饿处理2 h。试验设置10个平行组,每组10管、每管20只果蝇,其中5组采用含6%葡萄糖的30% H₂O₂溶液(200 μL)浸湿的滤纸片处理,每1 h记录1次果蝇死亡数量,另外5组采用含6%葡萄糖的10 mmol/L百草枯

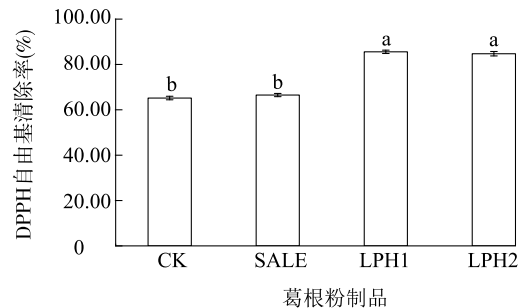
溶液(200 μL)浸湿的滤纸片处理,每2 h记录1次果蝇死亡数量。

1.3.10 数据统计 采用SPSS 18.0软件对试验数据进行统计分析,运用Duncan氏多重比较法进行组间差异显著性检验,显著性水平设为 $P<0.05$;试验数据以平均值±标准差表示。图表绘制分别使用Origin 2024及GraphPad Prism 10软件完成。

2 结果与分析

2.1 葛根全粉制品的体外抗氧化活性

2.1.1 DPPH自由基清除率 由图1可知,LPH1处理和LPH2处理DPPH自由基清除率均显著高于CK和SALE处理($P<0.05$)。其中,LPH1处理清除率达85.75%,LPA处理清除率为84.74%;而CK和SALE处理DPPH自由基清除率分别为65.19%和66.51%。由此可知,甘草、马齿苋、金银花和菊花等药食同源植物富含多种活性成分,科学复配后可有效增强机体抗氧化能力,清除活性氧,进而延缓衰老^[21]。

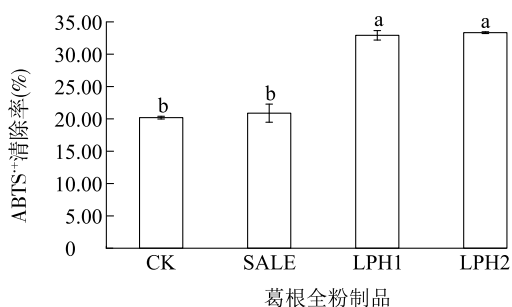


CK:对照,葛根全粉原料;SALE:未复配甘草粉、马齿苋粉、金银花粉、菊花粉的葛根全粉制品;LPH1:复配了甘草粉、马齿苋粉、金银花粉的葛根全粉制品;LPH2:复配了甘草粉、马齿苋粉、菊花粉的葛根全粉制品。图柱上不同小写字母表示不同葛根全粉制品间差异显著($P<0.05$)。

图1 不同葛根全粉制品对DPPH自由基的清除能力

Fig.1 DPPH radical scavenging capacity of different *Pueraria lobata* whole powder products

2.1.2 ABTS阳离子自由基清除率 如图2所示,LPH1处理和LPH2处理ABTS^{•+}清除率显著高于CK和SALE处理($P<0.05$),其中LPH1处理清除率达32.92%,较CK和SALE处理分别提高12.73%和12.04%;LPH2处理清除率为33.33%,较CK和SALE处理分别提高13.14%和12.45%。表明添加其他药食同源植物粉的葛根全粉制品(LPH1、LPH2)有较强的ABTS^{•+}清除能力。



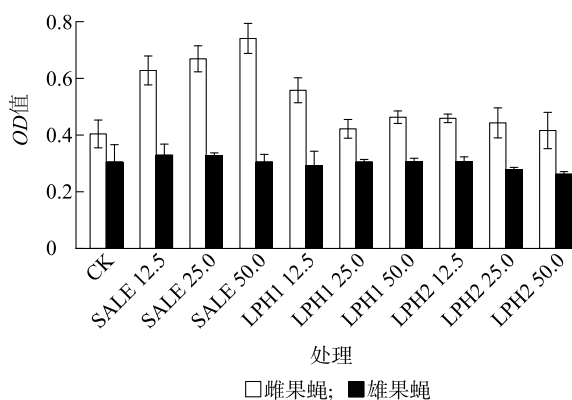
CK、SALE、LPH1、LPH2 见图 1 注。图柱上不同小写字母表示不同葛根全粉制品间差异显著 ($P < 0.05$)。

图 2 不同葛根全粉制品对 ABTS^{·+} 的清除能力

Fig.2 ABTS^{·+} radical scavenging capacity of different *Pueraria lobata* whole powder products

2.2 葛根全粉制品对果蝇食欲的影响

如图 3 所示,与 CK 相比,SALE 处理、LPH1 处理和 LPH2 处理均可提高雌果蝇摄食量 ($P < 0.05$);而对雄果蝇摄食量无显著影响 ($P > 0.05$),故本试验选择摄食量未受显著影响的雄果蝇进行后续研究。



CK、SALE、LPH1、LPH2 见图 1 注;12.5、25.0、50.0 分别表示葛根全粉添加量为 12.5%、25.0%、50.0%。

图 3 葛根全粉制品对果蝇食欲的影响

Fig.3 Effects of *Pueraria lobata* whole powder products on the appetite of *Drosophila melanogaster*

2.3 葛根全粉制品对果蝇体内抗氧化酶活性的影响

2.3.1 葛根全粉制品对果蝇体内 SOD 活性的影响

由表 1 可知,果蝇体内 SOD 活性随饲养时间增加呈先上升后下降趋势。与 CK 相比,果蝇饲养 15 d 和 30 d 时 SALE-L 处理对 SOD 活性无显著影响 ($P > 0.05$),SALE-M 处理、SALE-H 处理则能显著提升 SOD 活性 ($P < 0.05$);LPH1-L 处理、LPH1-M 处理、LPH1-H 处理,LPH2-L 处理、LPH2-M 处理、LPH2-H

处理 SOD 活性均显著高于 CK ($P < 0.05$)。饲养 45 d 时 SALE-L 处理和 SALE-H 处理果蝇 SOD 活性与 CK 相比无显著差异 ($P > 0.05$),其余处理 SOD 活性均显著提高 ($P < 0.05$)。所有处理果蝇体内 SOD 活性均在 30 d 时达到峰值,其中 LPH1-M 处理与 LPH2-M 处理 SOD 活性分别达 25.09 U 和 24.64 U,较 CK 分别提高 36.80% 和 34.35%,表明复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品可能通过增强果蝇抗氧化活性发挥抗衰老作用。

表 1 葛根全粉制品对果蝇体内超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的影响

Table 1 Effects of *Pueraria lobata* whole powder products on superoxide dismutase (SOD) activity in *Drosophila melanogaster*

处理	SOD 活性 (U)		
	饲养 15 d	饲养 30 d	饲养 45 d
CK	15.11±0.88c	18.34±0.98e	17.94±0.98d
SALE-L	16.54±1.71c	19.39±1.77de	18.84±1.65cd
SALE-M	19.28±0.73b	21.16±1.14cd	20.71±2.67abc
SALE-H	18.80±0.53b	20.82±1.43cd	19.90±0.41bcd
LPH1-L	19.54±0.77b	22.54±0.99bc	21.64±1.15ab
LPH1-M	22.95±0.95a	25.09±0.72a	23.19±1.10a
LPH1-H	20.12±0.57b	24.85±0.88a	22.25±0.97ab
LPH2-L	19.75±0.84b	22.24±0.53c	21.95±0.72ab
LPH2-M	21.83±0.64a	24.64±0.83a	23.09±1.18a
LPH2-H	19.36±0.35b	24.17±0.97ab	22.16±0.81ab

CK 为对照,葛根全粉原料;SALE-L、SALE-M、SALE-H 分别表示添加了 12.5%、25.0%、50.0% 葛根全粉制品;LPH1-L、LPH1-M、LPH1-H 分别表示添加了 12.5%、25.0%、50.0% 复配了甘草粉、马齿苋粉、金银花粉的葛根全粉制品;LPH2-L、LPH2-M、LPH2-H 分别表示添加了 12.5%、25.0%、50.0% 复配了甘草粉、马齿苋粉、菊花粉的葛根全粉制品。同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

2.3.2 葛根全粉制品对果蝇体内 CAT 活性的影响

CAT 是机体内重要的抗氧化酶^[22]。本研究对果蝇体内 CAT 活性的测定结果如表 2 所示,果蝇体内 CAT 活性随饲养时间增加呈先上升后下降趋势,在第 30 d 时达到峰值。饲养 15 d 时,与 CK 相比,各处理果蝇体内 CAT 活性均显著提升 ($P < 0.05$);饲养 30 d 时,SALE-L 处理与 CK 相比无显著差异 ($P > 0.05$),其余各处理 CAT 活性均显著高于 CK ($P < 0.05$),SALE-M 处理、LPH1-M 处理和 LPH2-M 处理分别达 12.23 U、13.62 U 和 13.20 U,较 CK 分别提升 15.49%、28.61% 和 24.65% ($P < 0.05$);饲养 45 d 时,SALE-L 处理、SALE-M 处理、SALE-H 处理与 CK 相比无显著差异 ($P > 0.05$),其余各处理 CAT 活性

均显著高于 CK ($P < 0.05$)。综上可知,在基础培养基中添加复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品可有效提升果蝇体内 CAT 活性。

表 2 葛根全粉制品对果蝇体内过氧化氢酶 (CAT) 活性的影响

Table 2 Effects of *Pueraria lobata* whole powder products on catalase (CAT) activity in *Drosophila melanogaster*

处理	CAT 活性 (U)		
	饲养 15 d	饲养 30 d	饲养 45 d
CK	5.50±0.84c	10.59±0.61d	4.71±0.75d
SALE-L	6.56±0.27b	10.77±0.45d	5.47±0.58cd
SALE-M	7.30±1.29ab	12.23±0.63c	5.66±0.27bcd
SALE-H	7.17±0.29ab	12.14±0.64c	5.60±0.22cd
LPH1-L	7.10±0.57ab	12.33±0.98c	6.23±0.76abc
LPH1-M	7.79±0.36a	13.62±0.38a	7.00±0.72a
LPH1-H	7.66±0.23a	13.51±0.05ab	7.19±0.43a
LPH2-L	7.21±0.31ab	12.41±0.75bc	6.58±0.58abc
LPH2-M	7.89±0.06a	13.20±0.66abc	6.99±0.87a
LPH2-H	7.72±0.30a	12.92±0.61abc	6.80±0.81ab

CK、SALE-L、SALE-M、SALE-H、LPH1-L、LPH1-M、LPH1-H、LPH2-L、LPH2-M、LPH2-H 见表 1 注。同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

2.3.3 葛根全粉制品对果蝇体内 MDA 含量的影响

机体内 MDA 含量是反映脂质氧化程度的一个重要指标^[23],本研究结果(表 3)显示,随着饲养时间增加,果蝇体内 MDA 含量呈先下降后上升趋势,在饲养 30 d 时 MDA 含量达最低值。饲养 15 d 时,LPH1-M 处理、LPH1-H 处理、LPH2-M 处理、LPH2-H 处理果蝇体内 MDA 含量显著低于 SALE-L 处理 ($P < 0.05$);饲养 30 d 时,LPH1-M 处理、LPH1-H 处理、LPH2-M 处理、LPH2-H 处理果蝇体内 MDA 含量显著低于 SALE-L 处理 ($P < 0.05$);饲养 45 d 时,LPH1-M 处理、LPH1-H 处理、LPH2-M 处理、LPH2-H 处理果蝇体内 MDA 含量显著低于 SALE 3 个含量的处理 ($P < 0.05$)。结果表明,在基础培养基中添加复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品可有效延缓 MDA 在果蝇体内积累。

上述结果表明,各处理组葛根全粉制品均能提升雄性果蝇体内 SOD 和 CAT 活性及降低 MDA 含量。复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品在清除自由基、抑制过氧化物生成及缓解氧化应激方面均优于单一葛根全粉制品。其中中剂量处理(25%)的综合效果最佳,故选定该剂量作为后续试验的基准剂量。

表 3 葛根全粉制品对果蝇体内丙二醛 (MDA) 含量的影响

Table 3 Effects of *Pueraria lobata* whole powder products on malondialdehyde (MDA) content in *Drosophila melanogaster*

处理	不同饲养时间 MDA 含量 (nmol/mL)		
	15 d	30 d	45 d
CK	1.18±0.32a	0.82±0.42a	1.23±0.11a
SALE-L	0.98±0.12ab	0.72±0.07ab	1.12±0.14ab
SALE-M	0.74±0.25bc	0.53±0.07bc	0.97±0.06bc
SALE-H	0.71±0.15bc	0.48±0.04bc	0.98±0.10bc
LPH1-L	0.68±0.14bcd	0.46±0.07bc	0.86±0.10cd
LPH1-M	0.47±0.04cd	0.30±0.10c	0.71±0.09d
LPH1-H	0.49±0.10cd	0.33±0.13c	0.68±0.09d
LPH2-L	0.71±0.07bcd	0.49±0.10bc	0.82±0.04cd
LPH2-M	0.43±0.10d	0.29±0.07c	0.72±0.06d
LPH2-H	0.41±0.07d	0.30±0.04c	0.76±0.06d

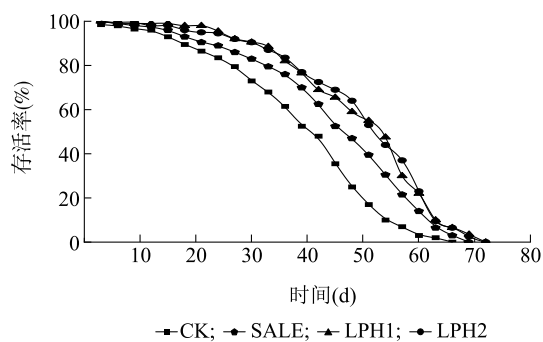
CK、SALE-L、SALE-M、SALE-H、LPH1-L、LPH1-M、LPH1-H、LPH2-L、LPH2-M、LPH2-H 见表 1 注。同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

2.4 葛根全粉制品对果蝇存活时间的影响

果蝇寿命的整体延长程度可以有效映射生物活性物质对其寿命的全面干预效果。本研究对果蝇存活时间的试验结果如图 4 所示,在 15 d 后 SALE 处理、LPH1 处理、LPH2 处理果蝇存活率显著高于 CK ($P < 0.05$)。由表 4 可知,与 CK 相比,SALE 处理、LPH1 处理、LPH2 处理均显著延长了果蝇的平均存活时间、最长存活时间及半数死亡时间 ($P < 0.05$);与 SALE 处理相比,LPH1 处理、LPH2 处理果蝇平均存活时间、最长存活时间及半数死亡时间也显著延长 ($P < 0.05$)。以上研究结果表明,葛根全粉制品对果蝇寿命具有一定的延长作用,能够有效延缓机体衰老,复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品效果更优。

2.5 葛根全粉制品对果蝇攀爬指数的影响

果蝇攀爬能力与衰老进程密切相关,垂直攀爬能力是评估果蝇机体衰老程度的关键行为学指标之一^[24-25]。由图 5 可知,与 CK 相比,复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品 (LPH1、LPH2) 处理可显著延缓果蝇运动机能的退化 ($P < 0.05$)。第 30 d 时,LPH1 处理和 LPH2 处理的果蝇攀爬指数较 CK 分别提升 19.72% 与 17.07%,较 SALE 处理提高 7.47% 与 5.09%,表明复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品在一定程度上改善了果蝇的攀爬能力。



CK、SALE、LPH1、LPH2 见图 1 注。

图 4 果蝇生存曲线

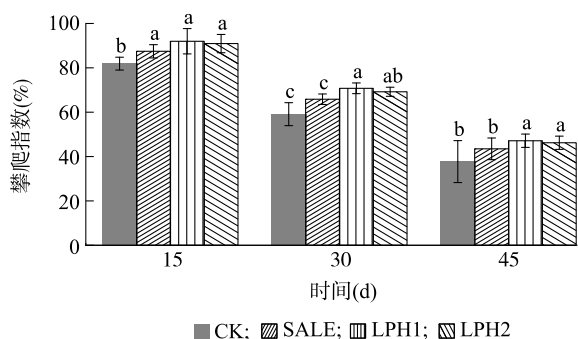
Fig.4 Survival curves of *Drosophila melanogaster*

表 4 葛根全粉制品对果蝇存活时间的影响

Table 4 Effects of *Pueraria lobata* whole powder products on the survival time of *Drosophila melanogaster*

处理	平均存活时间 (d)	最长存活时间 (d)	半数死亡时间 (d)
CK	40.17±0.13c	61.35±1.48c	40.50±2.12c
SALE	46.04±0.70b	65.85±0.64b	46.50±2.12b
LPH1	50.55±0.30a	69.00±0.42a	53.25±1.06a
LPH2	50.78±0.36a	68.40±0.42a	51.75±1.06a

CK、SALE、LPH1、LPH2 见图 1 注。同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。



CK、SALE、LPH1、LPH2 见图 1 注。同一时间图柱上不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

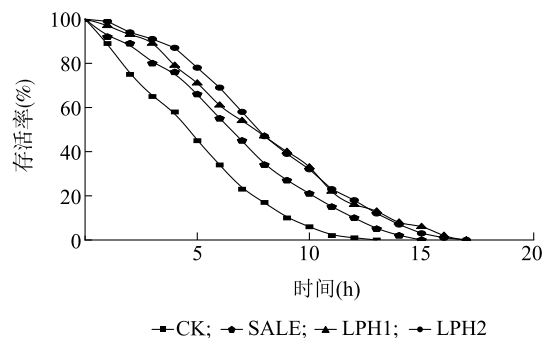
图 5 葛根全粉制品对果蝇攀爬能力的影响

Fig.5 Effects of *Pueraria lobata* whole powder products on the climbing ability of *Drosophila melanogaster*

2.6 葛根全粉制品对果蝇急性氧化应激的影响

2.6.1 葛根全粉制品对 H_2O_2 诱导的果蝇损伤的影响 由图 6 可知,与 CK 相比,葛根全粉制品 (SALE、LPH1、LPH2) 处理可显著抑制 H_2O_2 诱导的氧化损伤 ($P < 0.05$),与 CK 相比,SALE 处理、LPH1 处理、LPH2 处理果蝇存活时间分别延长了 3 h、5 h

和 4 h。结果证明,葛根全粉制品可有效增强果蝇对 H_2O_2 氧化应激的抵抗能力,复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品效果更好。



CK、SALE、LPH1、LPH2 见图 1 注。

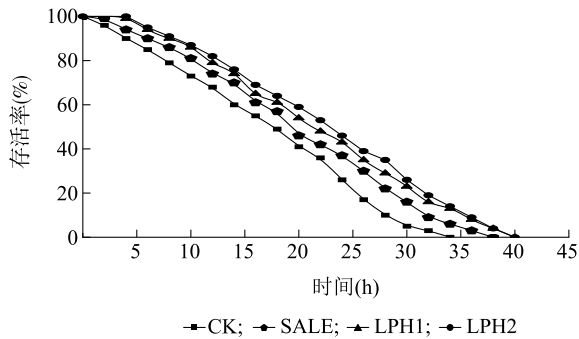
图 6 葛根全粉制品对过氧化氢 (H_2O_2) 诱导损伤果蝇寿命的影响

Fig.6 Effects of *Pueraria lobata* whole powder products on the lifespan of *Drosophila melanogaster* under hydrogen peroxide (H_2O_2)-induced damage

2.6.2 葛根全粉制品对百草枯诱导的果蝇损伤的影响 百草枯作为剧毒氧化应激诱导剂,可加剧果蝇氧化损伤^[26]。本研究中葛根全粉制品对百草枯诱导的果蝇损伤的影响如图 7 所示,与 CK 相比,葛根全粉制品 (SALE、LPH1、LPH2) 处理果蝇的生存时间均显著延长 ($P < 0.05$)。SALE 处理、LPH1 处理、LPH2 处理果蝇最大存活时间比 CK 分别延长了 4 h、6 h 与 6 h;LPH1 处理和 LPH2 处理较 SALE 处理均延长了 2 h,该效应与 H_2O_2 氧化应激模型的结论一致。研究结果表明,复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品能够有效降低果蝇氧化应激损伤,延长其在氧化应激环境下的存活率。

3 讨论

本研究结果表明,复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品的体外抗氧化活性显著优于葛根全粉原料及制品,能有效清除 DPPH 自由基和 $ABTS^{+}$,该活性优势可能与复配的甘草、马齿苋、金银花、菊花中含有的总酚类物质、黄酮类化合物等活性成分相关,这些物质可通过与自由基发生反应实现自由基的淬灭。通过建立果蝇模型发现,与对照相比,复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品 (LPH1、LPH2) 处理可显著延长果蝇的平均存活时间、最长存活时间及半数死亡时间 ($P < 0.05$);显著



CK、SALE、LPH1、LPH2 见图 1 注。

图 7 葛根全粉制品对百草枯诱导损伤果蝇存活率的影响

Fig.7 Effects of *Pueraria lobata* whole powder products on the survival rate of *Drosophila melanogaster* under paraquat-injured damage

增强果蝇的攀爬能力 ($P < 0.05$), 这与赵丹等^[27]的研究结果相符。表明复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品具有延缓衰老的生物活性, 其富含黄酮类、多酚类等活性成分, 通过清除自由基及协同调控衰老相关通路, 可整体提升抗氧化性能。同时, 李玲芝等^[28]研究发现, 酚类物质可提高果蝇攀爬能力, 表明饲喂复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品的果蝇运动活力增强效应与酚类活性成分密切相关, 进而延缓机体衰老进程。

内源性氧化应激作为衰老的核心因素, 可诱导脂质过氧化损伤, 并诱导内源性抗氧化酶的表达^[29]。本研究结果表明, 与对照相比, 饲喂复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品可显著提高果蝇体内 *SOD* 活性和 *CAT* 活性, 这一结果推测是由该制品中的活性成分所致。植物中的活性成分可通过提高抗氧化酶活性, 加速清除过氧化氢积累, 重建氧化还原稳态, 从而保护机体免受氧化损伤^[30]。MDA 是脂质过氧化的特征性产物, 其含量可直接表征机体的氧化损伤程度^[23]。本研究发现, 复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品能显著降低果蝇体内 MDA 含量, 此结果与曹亚军等^[31]的小鼠试验结论相符。本试验结果证实, LPH1 处理和 LPH2 处理可增强果蝇对急性氧化应激的耐受能力, 通过重建氧化平衡减轻氧化应激损伤, 最终实现对机体的保护效应。

H_2O_2 作为强氧化剂, 可在机体内生成高活性羟自由基, 进而引发机体氧化损伤与功能衰退^[32-33]; 百草枯则通过诱导氧化应激的发生, 进一

步加剧果蝇的氧化损伤程度^[26]。本研究发现, 葛根全粉制品 (SALE、LPH1、LPH2) 处理可有效缓解果蝇的 H_2O_2 氧化应激损伤, 该结果与刘泽坤等^[34]的研究结论一致。此外, 本研究中百草枯氧化应激模型的试验结果与 H_2O_2 氧化应激模型的结果高度一致, 表明复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品具备显著的抗氧化活性, 且对延缓机体衰老进程具有积极作用。

4 结论

基于本课题组前期筛选出的药食同源植物葛根、马齿苋、甘草、金银花、菊花, 本研究开发出复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品 (LPH1、LPH2), 研究该制品抗氧化活性和抗衰老作用。体外试验结果表明, 复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品对自由基清除能力优于未复配其他药食同源植物粉的葛根全粉原料及制品 (CK、SALE)。基于果蝇模型评价不同制品对果蝇生存率的影响, 并探究其体内抗氧化活性和抗衰老功效, 结果显示, LPH1-M 和 LPH2-M 饲喂的果蝇存活时间、运动能力、体内 *SOD* 活性和 *CAT* 活性较对照果蝇均显著提高 ($P < 0.05$), 且能够显著降低果蝇体内 MDA 含量 ($P < 0.05$)。此外, 复配了其他药食同源植物粉的葛根全粉制品能够显著提高 H_2O_2 和百草枯处理后果蝇的存活率 ($P < 0.05$), 显著延长果蝇在氧化应激条件下的平均寿命 ($P < 0.05$), 表现出良好的抗衰老作用。本研究结果为葛根全粉制品的开发提供了良好的理论支撑。

参考文献:

- [1] BACK P, BRAECKMAN B P, MATTHIJSENS F. ROS in aging *Caenorhabditis elegans*: damage or signaling? [J]. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2012, 2012: 608478.
- [2] DA COSTA J P, VITORINO R, SILVA G M, et al. A synopsis on aging-theories, mechanisms and future prospects [J]. *Ageing Research Reviews*, 2016, 29: 90-112.
- [3] PARTRIDGE L, FUENTEALBA M, KENNEDY B K. The quest to slow ageing through drug discovery [J]. *Nature Reviews Drug Discovery*, 2020, 19(8): 513-532.
- [4] DUAN H, PAN J N, GUO M, et al. Dietary strategies with anti-aging potential: dietary patterns and supplements [J]. *Food Research International*, 2022, 158: 111501.
- [5] 朱珍珠, 姚明江, 廖柳月, 等. 植物化学物质抗衰老活性研究进展 [J]. *食品科学*, 2024, 45(17): 265-276.

- [6] 何 丽,张永宣,李泊潼,等. 模式生物果蝇在中医药现代研究中的优势与应用前景[J]. 中国中药杂志,2024,49(20):5410-5421.
- [7] WANG S G, ZHANG S M, WANG S P, et al. A comprehensive review on *Pueraria*: insights on its chemistry and medicinal value [J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2020, 131: 110734.
- [8] 丛 帅. 葛根素对奶牛乳腺上皮细胞抗氧化与抗炎作用的研究[D]. 长春:吉林大学,2022.
- [9] 黄 蓉,李晴霞,何秀娟,等. 基于 UPLC-LTQ-Orbitrap MS 探究生、炙甘草黄酮类成分及其抗氧化活性差异[J]. 中国现代中药,2023,25(12):2471-2478.
- [10] 梁 啸,李亚楠,王志娜,等. 马齿苋物质基础及其药理活性研究进展[J]. 辽宁大学学报(自然科学版),2023,50(4):373-384.
- [11] FAN Z L, LI L, BAI X L, et al. Extraction optimization, antioxidant activity, and tyrosinase inhibitory capacity of polyphenols from *Lonicera japonica* [J]. *Food Science & Nutrition*, 2019, 7(5): 1786-1794.
- [12] 张雨曦,曾 丹. 菊花三七胶囊及其功效成分对 D-半乳糖衰老模型小鼠的抗氧化作用研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(11):3627-3635.
- [13] 吴 琼,刘 奕,吴庆园,等. 不同干燥方式对葛根全粉抗氧化性能和香气成分的影响[J]. 食品科学,2017,38(6):202-208.
- [14] TANG J, NIE J, LI D P, et al. Characterization and antioxidant activities of degraded polysaccharides from *Poria cocos sclerotium* [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2014, 105: 121-126.
- [15] 文明明,赵治恒,毕 洁,等. 高糖饮食对果蝇发育和抗氧化能力的影响及其机理研究[J]. 食品工业科技,2021,42(21): 377-384.
- [16] 贾长英. 功能性虫草米发酵条件优化及其产品研发[D]. 天津:天津科技大学,2017.
- [17] 唐 瑞. 基于果蝇模型的枸杞多糖抗衰老活性及分子作用机制研究[D]. 西安:西北大学,2019.
- [18] PENG C, CHAN H Y E, HUANG Y, et al. Apple polyphenols extend the mean lifespan of *Drosophila melanogaster* [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(5): 2097-2106.
- [19] BALASUBRAMANI S P, MOHAN J, CHATTERJEE A, et al. Pomegranate juice enhances healthy lifespan in *Drosophila melanogaster*: an exploratory study [J]. *Frontiers in Public Health*, 2014, 2:245.
- [20] SYKIOTIS G P, BOHMANN D. Keap1/Nrf2 signaling regulates oxidative stress tolerance and lifespan in *Drosophila* [J]. *Developmental Cell*, 2008, 14(1): 76-85.
- [21] 薛立英,高 丽,秦雪梅,等. 药食同源中药抗衰老研究进展 [J]. 食品科学,2017,38(15):302-309.
- [22] 黄 杰,王华丽,马 娜,等. 迷迭香提取物抗氧化作用及其对果蝇寿命的影响[J]. 中国食品学报,2016,16(5):19-24.
- [23] 孙建霞,张 燕,胡小松,等. 花色苷的结构稳定性与降解机制研究进展[J]. 中国农业科学,2009,42(3):996-1008.
- [24] HE J Z, LI X, YANG S P, et al. Gastrodin extends the lifespan and protects against neurodegeneration in the *Drosophila* PINK1 model of Parkinson's disease [J]. *Food & Function*, 2021, 12(17): 7816-7824.
- [25] 马晓文,邱国斌,刘 珽,等. 枸杞对果蝇的抗衰老作用[J]. 中兽医医药杂志,2019,38(1):61-63.
- [26] BALIOU S, ADAMAKI M, IOANNOU P, et al. Protective role of taurine against oxidative stress (review) [J]. *Molecular Medicine Reports*, 2021, 24(2): 605.
- [27] 赵 丹,吴 迪,李 萌,等. 发酵葛根与水提葛根的抗氧化活性与延缓秀丽隐杆线虫衰老的作用研究[J]. 天然产物研究与开发,2022,34(4):639-646.
- [28] 李玲芝,胡雪琴,黄娅楠,等. 余甘子水提取物对黑腹果蝇寿命及攀爬能力的保护作用[J]. 癌变·畸变·突变,2024,36(2): 143-149.
- [29] 简沛仪,冯铭希,陈 榕,等. 南极磷虾磷脂体外抗氧化活性评价及对秀丽隐杆线虫抗衰老作用[J]. 食品科学,2024,45(15):118-126.
- [30] 周 越. 贻贝肽与贻贝多糖对衰老的干预作用及其机制[D]. 镇江:江苏大学,2013.
- [31] 曹亚军,陈 虹,杨 光,等. 薯蓣皂苷对亚急性衰老小鼠的抗氧化作用研究[J]. 中药药理与临床,2008(3):19-21.
- [32] 王彦平,曹 娅,谢克英,等. 紫山药多糖抗氧化及延长果蝇寿命的作用[J]. 营养学报,2017,39(4):386-389.
- [33] GRASEMANN H, HOLGUIN F. Oxidative stress and obesity-related asthma [J]. *Paediatric Respiratory Reviews*, 2021, 37: 18-21.
- [34] 刘泽坤,贺小芳,洪 颖,等. 山药多糖延缓秀丽隐杆线虫衰老的药效评价及作用机制研究[J]. 世界中医药,2024,19(4): 473-480.

(责任编辑:黄克玲)