即食红参片对秀丽隐杆线虫的抗疲劳作用

宿胜男[1]，田柬昕[2]，陆思安[2]，陈星昊[2]，陈星竹[2]，陈楚楠[2]，黎攀[2]，杜冰[2]，张宇[1,3*]
（1.广东官栈营养健康科技有限公司，广东广州 510000）（2.华南农业大学食品学院，广东广州 510642）
（3.广东贞观生物科技有限公司，广东广州 510000）

摘要：为了探讨即食红参片的抗疲劳功效，该研究通过测定即食红参片的主要活性成分，再以秀丽隐杆线虫（*Caenorhabditis elegans*）为模型，测定其寿命、运动能力、吞咽频率、体内抗氧化能力及抗疲劳相关基因表达量等指标，评价即食红参片（JSHS）、干红参饮片（HSYP）及组方液（ZFY）的抗疲劳效果。结果表明，JSHS 中的总皂苷、总多糖含量高于 HSYP 与 ZFY；线虫实验中，与空白组对比，JSHS、HSYP 分别使线虫的平均寿命提高了 16.56%、10.85%；JSHS 使线虫的吞咽频率极显著提高了 25.32%（P<0.000 1）；JSHS 使线虫抗应激能力显著提高（P<0.01），并使其体内过氧化氢酶（CAT）、超氧化物歧化酶（SOD）、谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）的活性均显著提高（P<0.05），丙二醛（MDA）的含量显著下降（P<0.05）；JSHS 极显著下调 *daf-2* 基因与上调 *daf-16*、*sod-3*、*skn-1* 基因的表达量（P<0.000 1）。综上，经 HSYP 配伍 ZFY 加工而成的 JSHS，其主要活性成分含量得到显著提高，且 JSHS 通过延长线虫寿命、提高其运动能力与吞咽频率、增强抗应激能力及体内抗氧化能力，并调节抗疲劳相关基因的表达，综合增强线虫的抗疲劳能力。该研究初步表明即食红参片具有抗疲劳功效，为保健食品开发应用提供理论基础。

关键词：即食红参片；秀丽隐杆线虫；抗疲劳；抗氧化

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.9.0849

Anti-Fatigue Effect of Ready-To-Eat Red Ginseng Tablets on Caenorhabditis Elegans

SU Shengnan[1], TIAN Jianxin[2], LU Sian[2], CHEN Xinghao[2], CHEN Xingzhu[2], CHEN Chunan[2], LI Pan[2], DU Bing[2], ZHANG Yu[1,3*]
(1.Guangdong Guanzhan Nutrition Health Technology Co.Ltd., Guangzhou 510000, China)
(2.College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)
(3.Guangdong Zhenguan Biotechnology Co., Ltd., Guangzhou 510000, China)

Abstract: To explore the anti-fatigue effect of ready-to-eat red ginseng tablets, the main active components of ready-to-eat red ginseng tablets were determined in this study. Then, using *Caenorhabditis elegans* as the model, indicators such as lifespan, locomotor ability, pharyngeal pumping rate, in vivo antioxidant capacity, and expression levels of anti-fatigue-related genes were measured to evaluate the anti-fatigue effects of ready-to-eat red ginseng tablets (JSHS), dried red ginseng decoction pieces (HSYP), and formula solution (ZFY).The results showed that the contents of total saponins and total polysaccharides in JSHS were higher than those in HSYP and ZFY. In the *Caenorhabditis elegans* experiment, compared with the blank group, JSHS and HSYP increased the average lifespan of *Caenorhabditis elegans* by 16.56% and 10.85%, respectively. The pharyngeal pumping rate of *Caenorhabditis elegans* was extremely significantly increased by 25.32% (P<0.000 1) by JSHS. The stress resistance of *Caenorhabditis elegans* was significantly improved by JSHS (P<0.01), and the activities of catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD), and glutathione peroxidase (GSH-Px) in *Caenorhabditis elegans* were all significantly increased (P<0.05), while the content of malondialdehyde (MDA) was significantly decreased (P<0.05) by JSHS. The expression level of the *daf-2* gene was extremely significantly down-regulated, and the expression levels of the *daf-16*, *sod-3*, and *skn-1* genes were extremely significantly up-regulated in *Caenorhabditis elegans* by JSHS (P<0.000 1). In conclusion, the content of main active components in JSHS, which is processed by combining HSYP with ZFY, was significantly increased. Moreover, JSHS comprehensively enhanced the anti-fatigue ability of *Caenorhabditis elegans* by extending their lifespan, improving their locomotor ability and pharyngeal pumping rate, enhancing their stress

收稿日期：2025-06-18；修回日期：2025-10-02；接受日期：2025-10-15

基金项目：财政部和农业农村部：国家现代农业产业技术体系（CARS-21）

作者简介：宿胜男（1993-），女，硕士研究生，研究方向：功能食品开发，E-mail：susn@gnlifetech.cn

通讯作者：张宇（1981-），男，本科，研究方向：功能食品开发，E-mail：zy@gnlifetech.cn

resistance and in vivo antioxidant capacity, and regulating the expression of anti-fatigue-related genes. This study preliminarily indicates that ready-to-eat red ginseng tablets have anti-fatigue effects, providing a theoretical basis for the development and application of health food.

Key words: Ready-To-Eat Red Ginseng tablets; *Caenorhabditis elegans*; anti-fatigue; antioxidant

疲劳是机体在生理或心理持续性高压下产生的能量代谢失衡状态，表现为认知功能下降、运动耐力减弱及情绪调控紊乱等，疲劳已成为威胁人类健康的重要因素之一[1]。中医认为疲劳多与“气虚”、“血虚”有关，纵观近年来中医药关于治疗疲劳性疾病的研究，中医药可以通过辨证施治、外治及联合疗法展现辅助疗效，但需进一步验证[2]。针对亚健康疲劳问题，“药食同源”理论因安全性高、副作用小等优势，在抗疲劳食品和药品开发中具有可观的应用潜力[3]。

红参片作为典型药食两用材料，是人参经蒸制、干燥制成的传统滋补品，富含人参皂苷、多糖及氨基酸等特征性活性组分，具有增强能量代谢、抗衰老、抗肿瘤、抗疲劳、改善氧化应激及调节免疫等作用[4]。另外，当归、龙眼、桑葚、茯苓、百合、玉竹、甘草等药食两用原料均是归脾汤与天王补心丹等的经典古方的主要原料，主起益气养血、滋阴安神、健脾补肾之功效。近年有相关研究发现，炮制工艺对红参主要活性成分（人参皂苷、多糖等）的含量变化有显著影响[5]。因此，配伍以上药食两用原料，并运用现代先进的加工技术炮制而成的即食红参产品，推测其能有效保留并富集红参主要活性成分的含量，且进一步增强其益气养血、抗疲劳等功效。

秀丽隐杆线虫因其具有躯体透明、生命周期清晰、寿命短、培养技术简单、易于观察、易于标准化培养条件、样本量充足等众多特点，使其成为抗氧化、抗衰老研究的优选模式生物[6,7]。但纵观当下研究，鲜有发现关于用线虫模型去研究红参的抗疲劳功效。因此，本研究以秀丽隐杆线虫为模型，评价以干红参饮片为主料、配伍多种药材并经现代化工艺加工制成的即食红参片的抗疲劳功效，旨在为红参及红参配伍对线虫模型的抗疲劳研究提供参考，并为现代化加工工艺在传统中药材开发中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

即食红参片，广东贞观生物科技有限公司提供；当归、龙眼肉、桑椹、茯苓、百合、玉竹、甘草，市售；N2野生型秀丽隐杆线虫（*Caenorhabditis elegans*，*C. elegans*），美国秀丽隐杆线虫遗传中心；大肠杆菌 OP50（*E.coli OP50*），上海南方模式生物科技股份有限公司；胆固醇，上海麦克林生化科技有限公司；技术琼脂粉、胰蛋白胨、氯化钠、链霉素硫酸盐，广东环凯微生物科技有限公司；氯化钙、硫酸镁、磷酸氢二钾、磷酸氢二钠、磷酸缓冲液，天津市环茂试剂厂；30%（Φ）过氧化氢、乙醚、乙醇，氢氧化钠，广州市化学试剂厂；家用漂白剂，美国加州奥克兰 Colrox 公司，过氧化氢酶（CAT）、超氧化物歧化酶（SOD）、谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）、微量丙二醛（MDA）分析试剂盒，南京建成生物工程研究所。

1.2 仪器与设备

SPX-150B-Z 型生化培养箱，上海博迅实业有限公司；LabServ K3 型酶标仪，赛默飞世尔科技（中国）有限公司；JIDI-17R 微量高速冷冻离心机，广州吉迪仪器有限公司；PL203 万分之一天平，上海舍岩仪器有限公司；LS-75HD 高压灭菌锅；VarioskanTM LUX 多功能酶标仪，美谷分子仪器（上海）有限公司；MZ101 体视显微镜，广州市明美光电技术有限公司；Axio Observer A1 倒置荧光显微镜，德国蔡司科学仪器有限公司；VCA800 细胞破碎仪，美国康涅狄格州纽敦市超声材料公司；实时定量 PCR 仪，美国 Bio-rad 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 试验样品制备

即食红参片来源于广东贞观生物科技有限公司，其主要由干红参饮片配伍组方液，并通过现代加工工艺制的，其中组方液由当归、龙眼肉、桑椹、茯苓、百合、玉竹、甘草按一定配比和工艺熬制而成。

分别将即食红参片、干红参饮片切碎，按照 1:15 料液比，90 ℃水提 2 h，提取液经旋蒸仪（参数：65 ℃，60 kPa）减压浓缩至原体积的四分之一，-80 ℃冰箱冷冻 1 d 后转移至冻干机冷冻干燥 2 d，得到其干燥粉末，即

为即食红参片与干红参饮片的试验样品，置于-20 ℃备用；将制备好的组方液置于-80 ℃冰箱冷冻 1 d，转移至冻干机冷冻干燥 2 d，得到其干燥粉末，即为组方液的试验样品，置于-20 ℃备用。

1.3.2 主要功效成分的对比研究

1.3.2.1 实验分组

本实验分为即食红参片组（JSHS）、干红参饮片组（HSYP）与组方液组（ZFY），分别为即食红参片样品、干红参饮片样品与组方液样品与一定量等量蒸馏水复溶所得的样品溶液，溶液浓度确定依据来自于总皂苷测定方法的预实验。

1.3.2.2 总皂苷测定方法

精密称量人参皂苷 Re 对照品 10 mg，置于 10 mL 容量瓶，用甲醇定容至刻度，得到质量浓度为 1 mg/mL 的人参皂苷 Re 对照品溶液。精密吸取对照品溶液 10、20、30、40、60、80、100 μL 于磨口带塞试管中，分别加入 8 wt.%香草醛无水乙醇试液 0.5 mL，72%（Φ）硫酸试液 5 mL，充分振摇混匀后置 60 ℃恒温水浴上加热 10 min，立即用冰水冷却 10 min，摇匀，以试剂作空白，照分光光度法于 544 nm 波长处分别测定 OD 值。以人参皂苷 Re 质量浓度为横坐标，以相应的 OD 值为纵坐标，绘制人参皂苷的标准曲线，得到回归曲线方程：y=0.002x+0.062 1（R^2=0.993 2）。

精密吸取供试品溶液 20~40 μL，参照上述方法，在波长 544 nm 处检测待测样品溶液的 OD 值，根据（1）式计算 JSHS、HSYP 和 ZHFY 中总皂苷的含量。

$$P_1=\frac{C_1\times V_1}{M_1} \quad (1)$$

式中:

P_1——总皂苷含量，mg/g;

C_1——回归方程计算得到人参皂苷 Re 的质量浓度，mg/mL;

V_1——待测样品溶液总体积，mL;

M_1——待测样品干燥粉末质量，g。

1.3.2.3 总多糖测定方法

准确称取 105 ℃干燥至恒重的标准葡萄糖 10 mg 于 250 mL 容量瓶中，加水定容至刻度，得到质量浓度为 0.04 mg/mL 的葡萄糖标准品溶液。分别吸取 0.4、0.6、0.8、1.0、1.2、1.4、1.6 及 1.8 mL，各以蒸馏水补至 2.0 mL，加入 6%（Φ）苯酚 1.0 mL、浓硫酸 5.0 mL，摇匀冷却，室温放置 20 min 后于 490 nm 处检测 OD 值。以蒸馏水作为空白对照，以葡萄糖质量浓度为横坐标，以相应 OD 值为纵坐标，绘制葡萄糖溶液的标准曲线，得到回归曲线方程：y=0.914 3x+0.024 9（R^2=0.990 7）。

往待测样品溶液中加入四倍体积的无水乙醇，4 ℃冷藏静置过夜后再于 4 000 r/min 离心 15 min，去上清液且收集全部沉淀，按一定比例用蒸馏水将沉淀复溶。吸取 2.0 mL 的样品复溶液体，参考上述方法，在波长 490 nm 处检测待测样品溶液的 OD 值，根据（2）式计算 JSHS、HSYP 和 ZHFY 中总多糖的含量。

$$P_2=\frac{C_2\times V_2}{M_2} \quad (2)$$

式中:

P_2——总多糖含量，mg/g;

C_2——回归方程计算得到葡萄糖的质量浓度，mg/mL;

V_2——待测样品溶液总体积，mL;

M_2——待测样品干燥粉末质量，g。

1.3.3 线虫抗疲劳模型研究

1.3.3.1 线虫实验分组

本实验共分为空白对照组（NC）、即食红参片组（JSHS）、干红参饮片组（HSYP）与组方液组（ZFY）。NC 即为双蒸水与 OP50 菌液按体积比 1:1 混合，JSHS 即为质量浓度 15 mg/mL 的 JSHS 试验样品与 OP50 菌液按体积比 1:1 混合，HSYP 组即为质量浓度 15 mg/mL 的 HSYP 样品与 OP50 菌液按体积比 1:1 混合，ZFY 组即为质量浓度 15 mg/mL 的 ZFY 样品与 OP50 菌液按体积比 1:1 混合，以上剂量浓度均由剂量效应预实验确定。

1.3.3.2 线虫固体培养基的配置

称取 NaCl 1.2 g、琼脂 8.0 g、胰蛋白胨 1.0 g、链霉素硫酸盐 0.08 g，加入 390 mL 蒸馏水充分混匀，121 ℃高压灭菌 15 min，取出后保持 80 ℃恒温状态；无菌条件下依次加入质量浓度为 1 mol·L^{-1} $CaCl_2$ 400 μL、1 mol·L^{-1} $MgSO_4$ 400 μL、1 mol·L^{-1} 磷酸钾缓冲液 10 mL、5 mg/mL 醇溶胆固醇溶液 400 μL；立即趁热分装至无菌培养皿，待形成水平凝胶面后得到固体培养基（Nematode Growth Medium，NGM）。

1.3.3.3 大肠杆菌 OP50 的培养与应用

按照说明书用蒸馏水配制 LB 肉汤，121 ℃条件下灭菌 15 min，放置常温后取 OP50 菌种在 LB 肉汤琼脂平板进行四区划线，37 ℃倒置培养 16 至 24 h；挑取单菌落接种至 10 mL LB 液体培养基，37 ℃、120 r/min 条件下振荡培养约 18 h，至 OD 600≈1；所得菌液用于正常组线虫的 NGM 平板接种。应用时用移液器吸取 200 μL 菌液于 NGM 平板中央滴加，在室温下避光静置 12 至 16 h，使菌液完全吸收；短期使用可常温放置，长期保存需 4 ℃冷藏，宜现配现用。

1.3.3.4 线虫的传代与同期化

秀丽隐杆线虫的培养及传代依赖线虫雌雄同体的特性进行操作，线虫一般到达了 L3 期即能储存精子进行自体繁殖。少量传代时通过挑取产卵期成虫至新鲜 OP50 菌苔的 NGM 培养基（20 ℃培养）完成，批量传代则采用灭菌刀片切割含虫琼脂块转移至新培养基，利用线虫趋食性迁移至菌苔区，需注意使用表面光滑、无缝隙的琼脂板以避免线虫钻入。其生命周期分为胚胎发育期、生长期、生殖期及生殖后期。

同期化实验通过高氯酸钠漂白法实现：用 1 mL M9 缓冲溶液将年轻成虫洗至无菌 EP 管中，加 1 mL 裂解液裂解线虫，反复震荡约 1 min，置低速离心机上 3 000 r/min 离心 1 min，弃上清，再用 M9 冲洗线虫 2 次，离心弃上清后用移液枪吸取 EP 管底部线虫滴于 NGM 的无菌区，约 48 h 后裂解的线虫体内的受精卵基本发育成 L4 期幼虫。

1.3.3.5 线虫寿命的测定

参考李彦力等[8]的方法将同期化完成的成虫（L4 期线虫）挑取在涂有样品的 NGM 上，每组 3 个板，每板 30 条。寿命监测从转移日开始，每隔 1 d 更换新平板直至生殖后期，一般在第 5 天之后每隔 2 d 转移一次以维持药物浓度。每日检查线虫，记录存活、死亡及剔除数量。死亡判定以铂丝轻触线虫无移动、吞咽或任何反应为准；实验过程中，逃逸干死（附着器皿）、体内虫卵孵化形成袋状虫以及钻入琼脂无法观察的个体均予以剔除，以确保数据准确性。

1.3.3.6 线虫运动能力的测定

线虫运动能力测定是伴随着寿命测定实验进行的。参考 Sana 等[9]的实验方法进行修改，在寿命实验过程中的第 0、5、10 和 15 天，根据线虫自主活动性进行记录，等级划分为 3 个：无刺激需求自发运动的，标为 A 级；需触碰刺激后运动的，标为 B 级；受到刺激后仅头部尾部局部摆动的，标为 C 级。

1.3.3.7 线虫吞咽频率的测定

线虫吞咽频率的测定是伴随着寿命测定实验进行的。参考安苗青等[10]的方法进行修改，在寿命实验的第 5 天，每组随机选取 10 条线虫，于室温下用显微镜观测并记录每分钟线虫咽部肌肉的抽动次数。

1.3.3.8 线虫生殖能力的测试

参考 Luo 等[11]的实验方法进行修改，将同期化完成的成虫挑取在涂有样品的 NGM 上，每组 3 个板，每板 2 条虫，每隔 24 h 将线虫转移至新的平板中，转移 4 至 5 次后，线虫基本已经不再产卵。将所有平板继续在培养箱中培养，在子代线虫孵化长大但在产卵期之前对线虫数目进行计数，统计每条线虫每天的产卵数以及总的产卵数。

1.3.3.9 线虫抗氧化应激能力的测定

根据 Perez 等[12]的方法进行修改，将同期化完成的成虫挑取在涂有样品的 NGM 上，每组 3 个板，每板 30 条。干预 5 d 后转移至含有 0.1%的过氧化氢的 NGM 上，每隔 1 h 记录一次线虫的存活数量，直至线虫全部死亡。

1.3.3.10 线虫抗热应激能力的测定

抗热应激实验：参考利树婵等[13]的方法，将同期化完成的成虫挑取在涂有样品的 NGM 上，每组 3 个板，每板 30 条。干预 5 d 后，将平板转移至 37 ℃的培养箱内观察，每隔 2 h 记录一次线虫的存活数量，直至线虫全部死亡。

1.3.3.11 线虫体内抗氧化酶活力的测定

参考 Kim 等[14]和 Wang 等[15]的方法，每组设 3 个培养板，每板取已同期化处理的线虫 100 条，随即进行为期 5 d 的样品干预。干预完成后，用 M9 缓冲液将线虫冲洗至 EP 管中，加入研磨珠后置于冷冻研磨机破碎处理（参数：60 Hz，10 min）。研磨完成后将样品于 12 000 r/min 高速离心 10 min，随后收集上清液按照检测试剂说明书对目标指标 SOD、CAT、GSH-Px 以及 MDA 进行测定。

1.3.3.12 实时荧光定量 PCR

参考李彦力等[8]的方法，将 L4 期线虫挑取到各组对应的 NGM 培养基上，每板 30 条，每组 3 个平行。培养 5 d 后，用 M9 缓冲液收集并清洗线虫，离心后弃去上清液，将其浸泡在 TRIzol 试剂中，使用 RNA 提取试剂盒（Takara，CA，USA）提取总 RNA。使用 cDNA 合成试剂盒（Takara，CA，USA），将总 RNA 逆转录为第一链 cDNA。使用 Applied Biosystems 7500 Real Time PCR System 将 cDNA 扩增到 mRNA 上，以*β-actin* 为内参基因，相对的基因表达用 $2^{-\Delta\Delta Ct}$ 计算，检测 *daf-2*、*daf-16*、*sod-3* 以及 *skn-1* 基因的相对表达量。相关基因 qRT-PCR 引物序列如表 1 所示。

表 1 qPCR 引物序列

Table 1 Primer synthesis sequence

基因名称	上游引物 5' to 3'	下游引物 5' to 3'
*β-actin	TCGGTATGGGACAGAAGGAC	CATCCCATTGGTGACGATA
daf-2	GTTGATAATGCTGCCGAG	ATCCCGGTCCGATTTCTT
daf-16	ATCGTGTGCTCAGAATCC	ATGAATAGCTGCCCTCC
sod-3	CCAACCAGCGCTGAAATTCAATGG	GGAACCGAAGTCGCGCTTAATAGT
skn-1	GACGTCAATTTATGGAGTGTCG	GAAGATGTTTTGTCGTGATCCG

注：*β-actin 表示内参基因。

1.4 数据处理

实验数据以“平均值±标准差”来表示，采用 GraphPad Prism 10.1.2 进行作图，通过单因素方差分析（One-Way ANOVA）计算实验组之间的显著性。其中*表示 $P<0.05$；**表示 $P<0.01$；***表示 $P<0.001$；****表示 $P<0.000\,1$。

2 结果与分析

2.1 主要功效成分对比

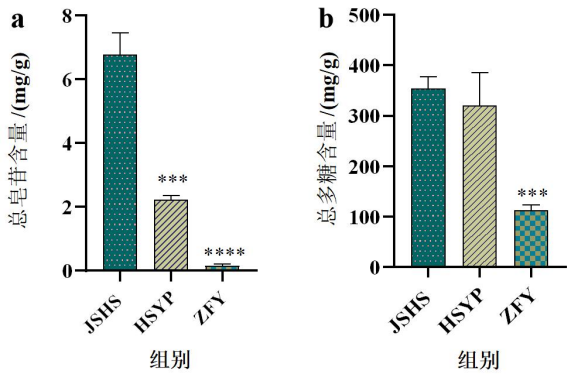

图 1 即食红参片与干红参饮片、组方液的总皂苷、总多糖含量对比

Fig.1 Comparison of total saponin and total polysaccharide contents between ready-to-eat red ginseng tablets and dried red ginseng decoction pieces and formula liquid group

注：（a）总皂苷含量；（b）总多糖含量；***$P<0.001$，****$P<0.000\,1$ 与即食红参片组比较。

皂苷类与多糖类物质是红参的主要活性成分，具有抗疲劳、抗氧化衰老、增强机体免疫力等作用[16]。如图 1 所示，JSHS 组的总皂苷含量显著高于 HSYP 和 ZFY 组（$P<0.001$），JSHS 组的总多糖含量也高于 HSYP 和 ZFY 组，可见由干红参饮片经过现代加工技术并配伍多种组方药材炮制而成的即食红参片，其活性成分的含量上得到

显著提升，为其具有更好的药理作用奠定基础。相关研究表明，红参配伍红景天后的组合液能提高相关人参皂苷的含量，并在药效实验中证明组合液组能延长小鼠竭力游泳时间[17]，具有良好抗疲劳功效。以上表明即食红参片比干红参饮片、组方液在抗疲劳功效上更有优势。

2.2 即食红参片对秀丽隐杆线虫寿命的影响

秀丽隐杆线虫是经典的衰老研究模型[18,19]。如图 2 和表 2 所示，与 NC 组对比，经过 JSHS、HSYP 及 ZFY 的干预，秀丽隐杆线虫的最长寿命均有提高，其中 JSHS 组的最为显著（P<0.01），此外 JSHS 与 HSYP 组线虫的平均寿命分别提高了 16.56%与 10.85%，但 JSHS 组线虫的平均寿命、中位寿命及最大寿命均高于 HSYP 组与 ZFY 组，表明由干红参饮片配伍组方液后得到的即食红参片在延长线虫寿命上，比单干红参饮片与单组方液更为更显著。刘瑾等[20]研究发现，人参皂苷 Ro 对延长秀丽隐杆线虫的寿命具有积极影响，Todorova 等[21]研究发现线虫寿命的长短与线虫的运动功能与抗逆性强弱呈正相关，综上，可见即食红参片对比于干红参饮片、组方液更能提升秀丽隐杆线虫的抗疲劳能力。

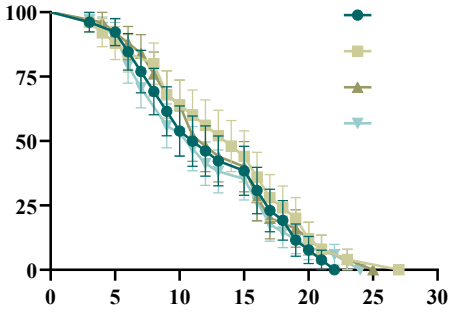

图 2 即食红参片对秀丽隐杆线虫生存曲线的影响

Fig.2 Effect of ready-to-eat red ginseng tablets on the survival curve of Caenorhabditis elegans

表 2 即食红参片对秀丽隐杆线虫平均寿命、中位寿命及最长寿命的影响

Table 2 Effects of ready-to-eat red ginseng tablets on the average, median and longest lifespan of Caenorhabditis elegans

组别	平均寿命/d	提高百分比/%	中位寿命/d	最长寿命/d
NC	11.58±1.20	/	10.83±1.61	21.33±0.58
JSHS	13.49±0.73	16.56	13.67±2.08	25.67±1.53**
HSYP	12.83±0.61	10.85	11.67±1.15	24.00±1.00
ZFY	11.29±1.28	/	10.00±1.41	23.50±0.71

注：**P<0.01 与空白组比较。

2.3 即食红参片对秀丽隐杆线虫运动能力的影响

线虫的运动能力反映了线虫的整体活跃程度和肌肉功能状态。随着年龄的增长，线虫的运动能力通常会下降，表现为活动减少、运动迟缓、运动的灵活性及协调性下降等特征[22]。如图 3a 所示，从整体上，在第 0 天时，JSHS、HSYP 及 ZFY 组的线虫都处于 A 级运动状态，到第 5 天和第 10 天时，处于 A 级运动状态的线虫占比减小，到第 15 天时，仅 JSHS 组仍存在 A 级运动状态的线虫；从组间差距上，JSHS 组在第 5、10 和 15 天时处于 A 级运动状态的线虫占比可达到 40.5%、52.17%和 8.57%，均显著高于 HSYP、ZFY 及 NC 组。张培根等[23]的研究发现，人参皂苷 Rg3 对线粒体功能的改善有着积极的影响，此外，Mathieu 等[24]研究发现增强线粒体的相关功能有效延缓年龄相关性肌肉萎缩，延长线虫寿命并改善运动能力。综上，即食红参片对比于干红参饮片、组方液及空白组更能提升线虫的运动能力，即食红参片具有更显著的抗疲劳功效。线虫的吞咽频率可反应出线虫的衰老、对食物的摄入能力及活动活力等[25]。如图 3b 所示，经过 JSHS 干预的秀丽隐杆线虫平均吞咽频率为每分钟 89 次，对比 NC 组极显著高出 25.32%（P<0.000 1）；HSYP 与 ZFY 组的线虫吞咽频率达到每分钟 74 次和 77 次，对比 NC 组并无显著提高。以上结果表明，即食红参片对比于干红参饮片、组方液更能提升秀丽隐杆线虫的运动能力和进食能力，具有良好的抗疲劳效果。

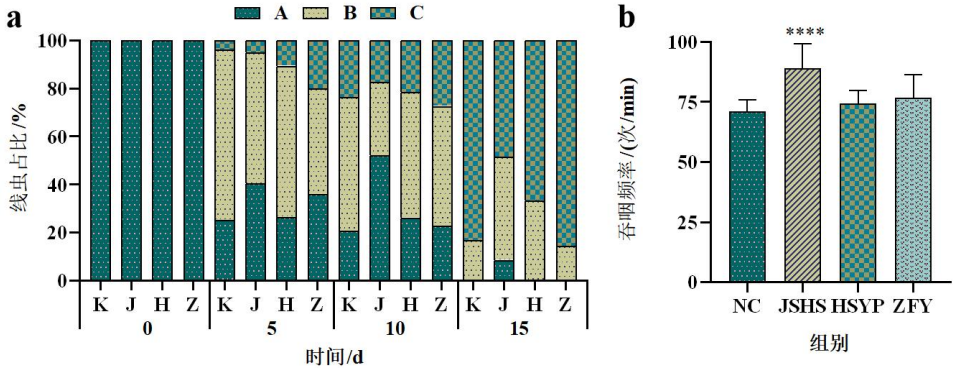

图 3 即食红参片对秀丽隐杆线虫运动能力的影响

Fig.3 Effect of ready-to-eat red ginseng tablets on the exercise ability of *Caenorhabditis elegans*

注:（a）运动能力评价；A 为线虫自发运动，不需要触碰刺激；B 为线虫必须受到触碰刺激才运动；C 为线虫受到触碰刺激后只摆头或尾；（b）吞咽频率。****$P<0.0001$ 与空白组比较。

2.4 即食红参片对秀丽隐杆线虫生殖能力的影响

线虫的生殖过程往往处于生命周期中 L4 期后的 5 d 内，Jan 等[26]研究发现线虫寿命的延长与线虫生殖能力方面存在“权衡”关系。从图 4a 所示，线虫的产卵量从第 1 天到第 5 天出现先增长后下降的趋势，在第 2 天有最高的产卵量。如图 4b 所示，各组的总产卵量在整体上并没有明显差异，可见干红参饮片是否配伍组方液均没有对秀丽隐杆线虫的生殖能力产生太大影响。此外，于笑坤等[27]的研究发现水溶性人参皂苷对线虫的生殖系统影响较小，与本研究结果相似。

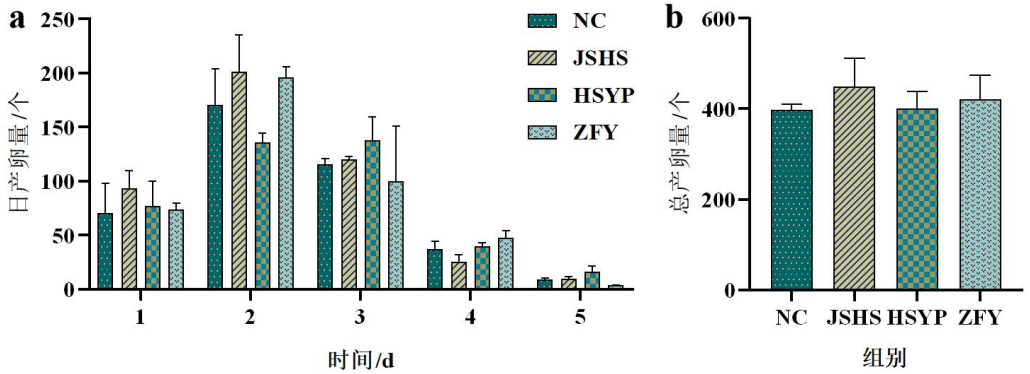

图 4 即食红参片对秀丽隐杆线虫生殖能力的影响

Fig.4 Effect of ready-to-eat red ginseng tablets on the reproductive ability of *Caenorhabditis elegans*

注:（a）日产卵量;（b）总产卵量。

2.5 即食红参片对秀丽隐杆线虫抗应激能力的影响

自由基的堆积是氧化衰老的标志，且受应激反应的影响。Haegawa 等[28]的研究发现，自由基的产生与堆积是肌肉疲劳的原因，此外，Yoo 等[29]的研究发现红参水提取物在体外被证明可以清除自由基。如图 5a 和表 3 所示，秀丽隐杆线虫经过 JSHS、HSYP 及 ZFY 的干预，在 0.1%过氧化氢的培养基中平均存活时间分别为 9.84、9.13 及 8.47 h，JSHS 组相对于 NC 组极显著提高了 17.99%（$P<0.01$），HSYP 及 ZFY 组则无显著提高效果，表明 JSHS 能更有效地提高线虫的抗氧化应激能力；如图 5b 和表 3 所示，经过 JSHS、HSYP 及 ZFY 的干预，秀丽隐杆线虫在 37 ℃热应激环境中的平均寿命均有提高，但 JSHS 组的线虫平均存活时间为 10.49 h，相对于 NC 组极显著提高了 26.54%（$P<0.01$），HSYP 及 ZFY 组则无显著提高效果。综上，即食红参片可以提高秀丽隐杆线虫抗应激能力，对抗疲劳有积极的影响，且比单干红参饮片与单组方液的效果更佳。

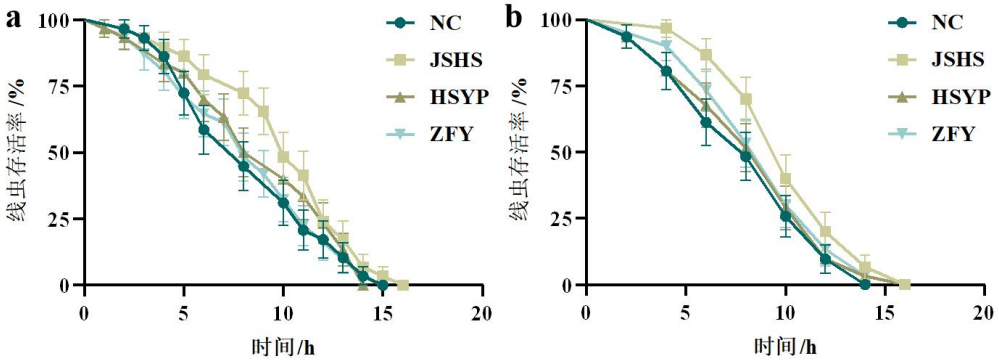

图 5 即食红参片对秀丽隐杆线虫抗应激能力生存曲线的影响

Fig.5 Effect of ready-to-eat red ginseng tablets on the survival curve of *Caenorhabditis elegans* anti-stress ability

注:（a）氧化应激;（b）热应激。

表 3 即食红参片对秀丽隐杆线虫抗应激能力的影响

Table 3 Effect of ready-to-eat red ginseng tablets on the anti-stress ability of *Caenorhabditis elegans*

组别	氧化应激平均寿命/d	提高百分比/%	热应激平均寿命/h	提高百分比/%
NC	8.34±0.38	/	8.29±0.42	/
JSHS	9.84±0.23**	17.99	10.49±0.22**	26.54
HSYP	9.13±0.07	9.47	8.84±0.17	6.63
ZFY	8.47±0.243	1.56	9.29±0.53	12.06

注：**$P<0.01$ 与空白组比较。

2.6 即食红参片对秀丽隐杆线虫体内抗氧化酶活性的影响

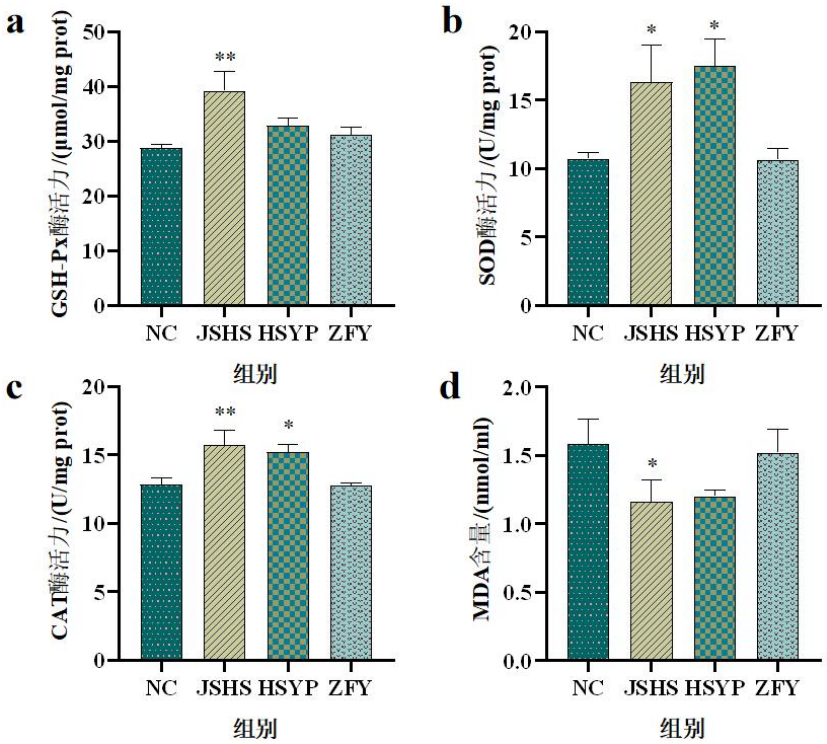

图 6 即食红参片对秀丽隐杆线虫体内抗氧化能力的影响

Fig.6 Effect of ready-to-eat red ginseng tablets on the activity of antioxidant capacity in Caenorhabditis elegans

注:（a）谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）活力;（b）超氧化物歧化酶（SOD）活力;（c）过氧化氢酶（CAT）活力;（d）丙二醛（MDA）含量; *$P<0.05$, **$P<0.01$，与空白组比较。

相关研究表明氧化应激和抗氧化酶活性与机体的疲劳水平息息相关[30]。如图 6a 所示，与空白组对比，经过

JSHS 干预，秀丽隐杆线虫体内的 GSH-Px 活力极显著提升了 36.26%（P<0.01）；如图 6b 所示，JSHS 和 HSYP 均能显著提高线虫体内 SOD 酶活力（P<0.05）；如图 6c 所示，JSHS 对比于 HSYP、ZFY 更极显著提升线虫的 SOD 和 CAT 活力（P<0.01）；如图 6d 所示，经过 JSHS 干预，线虫体内的 MDA 含量显著下降（P<0.05），较 NC 组降低了 26.56%，HSYP 和 ZFY 并无显著效果。张帅等[31]研究发现，人参皂苷 Re、Rb1、Rg1 可以显著提高动物体内 SOD、GSH-Px 活力并降低 MDA 含量，此外，研究发现红参精氨酸双糖苷能同延长小鼠的强迫性游泳时间，降低小鼠体内丙二醛（MDA）含量，同时增强谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）、超氧化物歧化酶（SOD）的活力，来提高小鼠的抗疲劳能力[32]。综上，总皂苷与总多糖含量更高的即食红参片比干红参片、组方液更能显著提升 GSH-Px、SOD、CAT 活力并降低 MDA 含量，即食红参片具有更显著的抗疲劳作用。

2.7 实时荧光定量 PCR 结果

研究表明，*daf-2*、*daf-16*、*sod-3* 及 *skn-1* 是秀丽隐杆线虫体内调控氧化应激与衰老的重要基因[33,34]，与线虫的寿命、运动活力以及抗疲劳等功能密切相关[35,36]。当 *daf-2* 信号被抑制时，可促使 *daf-16* 入核，与 *skn-1* 基因协同作用，激活下游靶基因 *sod-3* 的表达并增强体内抗氧化酶 GSH-Px、SOD、CAT 的活力，进而提升线虫抗氧化应激、抗衰老的能力，增强其抗逆性[37-39]。如图 7 所示，与 NC 组对比，经过 JSHS、HSYP 及 ZFY 的干预，秀丽隐杆线虫体内的 *daf-2* 基因表达量均极显著下调（P<0.001），*daf-16*、*skn-1* 及 *sod-3* 基因的表达量均极显著上调（P<0.001），其中 JSHS 组比 HSYP、ZFY 组更为显著。综上，即食红参片比单干红参饮片与单组方液更有效地抑制 *daf-2* 的表达，并增强 *daf-16*、*skn-1* 与 *sod-3* 基因的表达来增强线虫体内抗氧化酶活力，进而更有效提升线虫的抗氧化能力、抗疲劳能力。

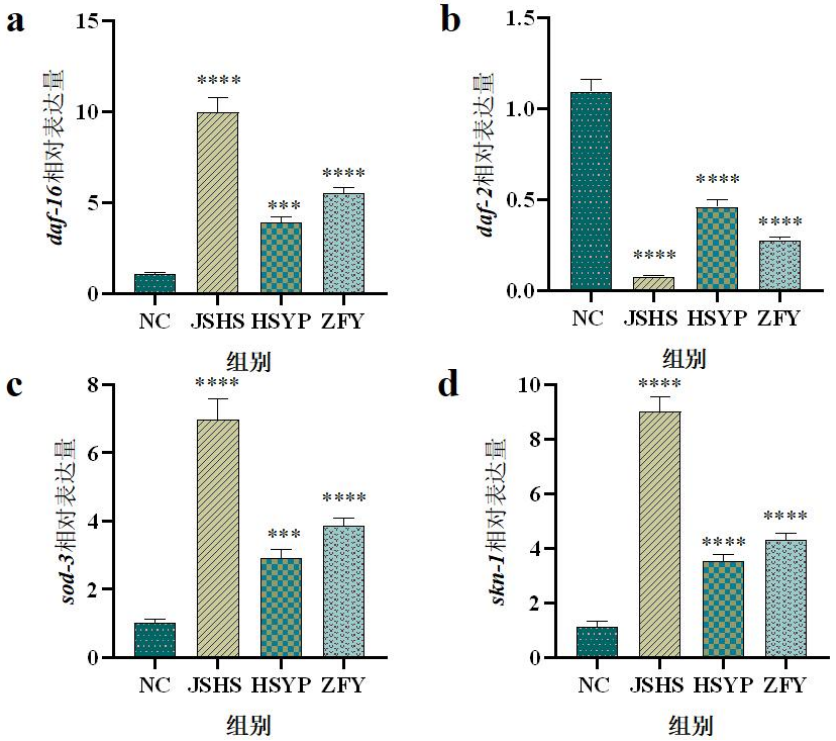

图 7 即食红参片与组方液和干红参饮片对秀丽隐杆线虫抗衰老抗疲劳相关基因表达的影响

Fig.7 Effects of ready-to-eat red ginseng tablets, formulated liquid, and red ginseng tea tablets on the expression of anti-aging and anti-fatigue related genes in *Caenorhabditis elegans*

注：***P<0.001，****P<0.000 1 与空白组比较。

3 结论

本实验研究了即食红参片的主要活性成分，结果表明由干红参饮片经过现代加工技术并配伍多种组方药材炮制而成的即食红参片，其活性成分的含量上得到显著提升，为其具有更好的药理作用奠定基础；在秀丽隐杆线虫实验中，经过即食红参片的干预，秀丽隐杆线虫的平均寿命较空白组显著提高了 16.56%，线虫的吞咽频率显著提

高了 25.32%，在不影响其生殖能力的同时提升了其运动能力；此外，经过即食红参片的干预，线虫在氧化应激和热应激条件下的平均存活时间分别较空白组显著提高了 17.99%和 26.54%；即食红参片使线虫体内的过氧化氢酶（CAT）、超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px）的活性显著提高，丙二醛（MDA）的含量显著下降；经过即食红参片的干预，线虫体内与促进氧化衰老相关的 *daf-2* 基因表达显著下调，与抗氧化应激和抗衰老相关的 *daf-16*、*sod-3* 及 *skn-1* 基因表达显著上调。本研究初步证明了即食红参片的抗疲劳功效，且比单干红参饮片及单组方液的效果更为显著，初步表明干红参饮片经过复配组方液，具有一定的配伍增效作用，但其详细机制尚未清楚，有待进一步研究。

参考文献

[1] 赵玉华.疲劳,人类的第一病因[J].开卷有益(求医问药),2003,8:17.

[2] ZHANG X Y, WANG M, ZHOU S G. Advances in Clinical Research on Traditional Chinese Medicine Treatment of Chronic Fatigue Syndrome [J]. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2020, 2020(1): 4715679.

[3] 汪睿颀,周志奎,田琦,等.抗疲劳类食药物质研究进展[J].药物生物技术,2023,30(6):652-656.

[4] 齐梦含,郑毅男,李伟.红参中氨基酸糖苷类化学成分研究进展[J].中草药,2024,55(19):6779-6788.

[5] 楚楚,陈岑,李行诺,等.红参炮制对质量影响的研究进展[J].中药材,2014,37(5):901-905.

[6] LI Y L, WANG Y D, LI P, et al. Caenorhabditis elegans: a nature present for advanced food science [J]. Current Opinion in Food Science, 2023, 49: 100971.

[7] PEIYI S, YIREN Y, YEONHWA P. A living model for obesity and aging research: Caenorhabditis elegans [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2018, 58(5): 741-754.

[8] 李彦力,赵文俊,王梓宇,等.热灭活芽孢杆菌 DU-106 对高脂秀丽隐杆线虫降脂作用[J].食品工业科技,2025,46(7):325-336.

[9] SANA T, CHOWDHURY I M, LOGESHWARAN P, et al. Acute toxicological and behavioural effects of perfluorohexanoic acid (PFHxA) in the model nematode, Caenorhabditis elegans [J]. Environmental Challenges, 2025, 18: 101103.

[10] 安苗青,徐雅囡,卓倩婷,等.龟鹿二仙胶对秀丽隐杆线虫体内抗衰老作用研究[J].广州中医药大学学报,2022,39(8):1863-1870.

[11] LUO S Y, LI J N, ZHOU Y Q, et al. Diisooctyl phthalate (DIOP) exposure leads to cell apoptosis to HUVEC cells and toxicity to Caenorhabditis elegans through increasing the oxidative stress [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2025, 290: 117594.

[12] PEREZ T J, CARRANZA V D A, RIO D T C, et al. Lipid Oxidation at the Crossroads: Oxidative Stress and Neurodegeneration Explored in Caenorhabditis elegans [J]. Antioxidants, 2025, 14(1): 78.

[13] 利树婵,陈扬,李雅琪,等.发酵祛湿汤体外抗氧化活性及对秀丽隐杆线虫抗衰老作用[J].现代食品科技,2024,40(3):39-47.

[14] KIM J H, MUM S J, OH H S, et al. Antioxidant and Longevity-Related Properties of the Ethyl Acetate Fraction of Cnidium officinale Makino in Caenorhabditis elegans [J]. Preventive Nutrition and Food Science, 2024, 29(3): 311-320.

[15] WANG J R, NI J Y, LIU Q Y. Hesperetin Increases Lifespan and Antioxidant Ability Correlating with IIS, HSP, mtUPR, and JNK Pathways of Chronic Oxidative Stress in Caenorhabditis elegans [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2024, 25(23): 13148.

[16] 汤淼淼,赵姝婷,李冉琪,等.红参的炮制方法、化学成分及药理研究进展[J].特产研究,2024,46(3):144-147.

[17] 李晶,李瑞刚,睢博文,等.红参和红景天配伍前后主要成分及抗疲劳活性的变化[J].中国实验方剂学杂志,2020,26(13): 87-96.

[18] SCHMITT F, ECKERT, G P. Caenorhabditis elegans as a Model for the Effects of Phytochemicals on Mitochondria and Aging [J]. Biomolecules, 2022, 12(11): 1550.

[19] JEAYENG S, THONGSROY J, CHUAIJIT S. Caenorhabditis elegans as a Model to Study Aging and Photoaging [J]. Biomolecules, 2024, 14(10): 1235-1235.

[20] 刘瑾,周磊,宋祯彦,等.人参皂苷 Ro 延长秀丽隐杆线虫的寿命并增强氧化应激抵抗力[J].世界科学技术-中医药现代化,2022,24(2):626-637.

[21] TODOROVA V, TODORAVA M N, SAVOVA M S, et al. Maral Root Extract and Its Main Constituent 20-Hydroxyecdysone Enhance Stress Resilience in Caenorhabditis elegans[J]. International Journal of Molecular Sciences. 2025, 26(8): 3739.

[22] 原阳,陈炳奥,张加豪,等.基于秀丽隐杆线虫运动模型的延寿功效及其相关机制研究进展[J].体育科学,2024,44(5):84-97.

[23] 张培根,朱海丽,高卉.人参皂苷 Rg3 激活线粒体功能改善慢性疼痛的机制[J].中国药理学通报,2025,41(1):94-100.

[24] MATHIEU M, EUGENIA M, STEFAN C, et al. Trigonelline is an NAD+precursor that improves muscle function during ageing and is

reduced in human sarcopenia [J]. Nature Metabolism, 2024, 6: 433-447.

[25] YUAN Y Y, KANG N X, LI Q X, et al. Study of the Effect of Neutral Polysaccharides from Rehmannia glutinosa on Lifespan of Caenorhabditis elegans [J]. Molecules. 2019, 24(24): 4592.

[26] JAN G, YEW S T, BARRY H. Evidence for a trade-off between survival and fitness caused by resveratrol treatment of Caenorhabditis elegans [J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 2007, 1100(1): 530-542.

[27] 于笑坤,何潇潇,付学奇,等.水溶性人参皂苷对秀丽隐杆线虫生物学功能的影响[J].吉林大学学报(理学版),2012,50(4):812-814.

[28] HAEGAWA A, SUZUKI S, MATSUMOTO Y, et al. In vivo fatiguing contraction of rat diaphragm produces hydroxyl radicals [J]. Free Radical Biology and Medicine, 1997, 22(1-2): 349-354.

[29] KIM K Y, GUO Q, PACKER L, et al. Free radical scavenging activity of red ginseng aqueous extracts [J]. Toxicology, 2002, 172(2): 149-156.

[30] SANAE F, JUNZO N, YUKARI M, et al. A potential biomarker for fatigue: Oxidative stress and anti-oxidative activity [J]. Biological Psychology, 2016, 118: 88-93.

[31] 张帅,陈德经.西洋参果浆皂苷抗氧化作用研究[J].陕西理工大学学报(自然科学版),2023,39(2): 54-61.

[32] 黄宝亮.红参中精氨酸双糖苷抗疲劳及增强免疫作用机制的研究[D].长春:吉林农业大学,2016.

[33] LIN K, DORMAN J B, KENYON C. daf-16: An HNF-3/forkhead family member that can function to double the life-span of Caenorhabditis elegans [J]. Science, 1997, 278(5341): 1319-1322.

[34] SEOKJIN H, SIEUN S K, SANGSOON P, et al. Combinatorial transcriptomic and genetic dissection of insulin/IGF-1 signaling-regulated longevity in Caenorhabditis elegans [J]. Aging Cell, 2024, 23(7): 14151.

[35] LARANJEIRO R, HARINATH G, BURKE D, et al. Single swim sessions in C. elegans induce key features of mammalian exercise [J]. BMC Biology, 2017, 15: 30.

[36] WANG H L, LIU J, LI T, et al. Blueberry extract promotes longevity and stress tolerance via DAF-16 in Caenorhabditis elegans [J]. Food & Function, 2018, 9(10): 5273-5282.

[37] DORMAN J B, ALBINDER B, SHROYER T, et al. The age-1 and daf-2 genes function in a common pathway to control the lifespan of Caenorhabditis elegans [J]. Genetics, 1995, 141(4): 1399-1406.

[38] WANG Q, WU J S, HUANG J, et al. Cremastra appendiculata polysaccharides improve stress resistance and prolong the lifespan of Caenorhabditis elegans via daf-16 in the insulin signaling pathway [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 229: 496-506.

[39] SUSANNAH H, HANS-ULRICH H, WIM W. Baicalein modulates stress-resistance and life span in C. elegans via SKN-1 but not DAF-16 [J]. Fitoterapia, 2016, 113: 123-127.