DOI:10.12441/spyswjs.20250603001 [文章编号] 1673-1689(2026)03-0119-07

山楂水提物延缓果蝇衰老行为的研究

武岳佳 董亚楠 袁心悦 孙 菁 廉添添*

(豫北医学院生命科学技术学院,河南 新乡 453003)

摘要:【目的】以野生型黑腹果蝇为模式生物,探讨山楂水提物对果蝇衰老行为的改善作用。**【方法】**将果蝇分为对照组(基础培养基)和试验组(添加山楂水提物的培养基),通过测定果蝇寿命、垂直攀爬能力、繁殖能力、抗热应激能力及体内丙二醛(MDA)质量摩尔浓度,分析山楂水提物的抗衰老能力。**【结果】**与对照组相比,试验组雄性果蝇延寿率达25.06%,试验组果蝇的垂直攀爬能力与抗热应激能力均显著提高(P<0.05),MDA质量摩尔浓度显著降低(P<0.05)。此外,山楂水提物可有效延长果蝇寿命、改善机体功能,且对果蝇繁殖能力无显著影响。**【结论】**山楂水提物可有效延长果蝇寿命、延缓衰老行为,且无明显生殖毒性。该研究为探究其抗衰老作用机制奠定了基础,同时为山楂水提物在健康食品的开发应用提供了参考。

关键词:山楂水提物;延缓衰老;果蝇

Anti-aging Effect of Hawthorn Water Extract on *Drosophila melanogaster*

*WU Yuejia DONG Ya'nan YUAN Xinyue SUN Jing LIAN Tiantian**

(College of Life Science and Technology, North Henan Medical University, Xinxiang 453003, China)

Abstract: [**Objective**] This study aimed to explore the ameliorating effects of hawthorn water extract on aging-related behaviors in wild-type *Drosophila melanogaster*, the model organism. [**Methods**] *Drosophila melanogaster* individuals were allocated into two groups: a control group (basal medium) and an experimental group (basal medium + hawthorn water extract). The lifespan, vertical climbing ability, reproductive ability, heat stress resistance, and malondialdehyde (MDA) molality of *Drosophila melanogaster* were measured to analyze the anti-aging ability of hawthorn water extract. [**Result**] Compared with the control group, the experimental group showed a 25.06% increase in lifespan in males, enhanced vertical climbing ability and heat stress resistance in both genders (P<0.05), and a decrease in MDA molality (P<0.05). Moreover, the hawthorn water extract effectively prolonged the lifespan and delayed aging in *Drosophila melanogaster* without significantly compromising reproductive ability. [**Conclusion**] The hawthorn water extract can prolong the lifespan and delay the aging of *Drosophila melanogaster*, with low reproductive toxicity. This study lays a foundation for deciphering its anti-aging mechanism and provides a reference for the development and application of hawthorn water extract in health foods.

Keywords: hawthorn water extract; delaying aging; *Drosophila melanogaster*

衰老是生命进程中随年龄增长逐步发生的生理机能退行性改变,其本质是机体在长期生命活动中产生的进行性累积损伤超出自我修复阈值,进而造成细胞、组织及器官层面的稳态失衡。这种机体动态平衡的打破会导致多系统代偿机制失效,显著提升机体对衰老相关疾病的易感性。流

基金项目:河南省高等学校重点科研项目(25A310027);新乡医学院三全学院生物与医药省级重点学科项目(ZDXKXM007)。
通信作者:廉添添(1988—),女,硕士,讲师,主要从事天然产物的研究与开发。E-mail:liantt_123@126.com
收稿日期:2025-06-03 **修回日期:**2025-07-18

行病学统计显示，2型糖尿病、阿尔茨海默病、高血压等与衰老相关的疾病在青年人群中的发病率显著提高，严重威胁人类的健康。而抗衰老产品的研发与应用可有效改善这一现状，因此，抗衰老干预策略的研究已成为医学领域防治衰老综合征的重要研究方向[1-2]。目前，抗衰老产品的研发与应用主要集中于美容、医疗领域，而面向普通消费者的日常化、普惠化产品相对匮乏[3]。基于此，开发可融入日常生活的抗衰老产品，通过抗氧化作用改善大众衰老问题，能够突破现有市场局限，推动抗衰老研究从专业医疗场景向日常生活场景延伸，实现常态化的健康管理。

山楂（*Crataegus pinnatifida* Bge.）系蔷薇科山楂属落叶灌木或小乔木，是我国特有的药食同源资源，具有良好的生态适应性和资源多样性。山楂的果实、叶片及花朵中富含黄酮类化合物（如金丝桃苷、槲皮素等）、有机酸（如熊果酸、绿原酸等）、三萜类化合物（如齐墩果酸等）及酶类等多种活性成分，药理作用广泛[4-5]。研究表明，山楂具有良好的抗氧化、防衰老活性，山楂水提物可以有效清除氧自由基[6]，显著降低细胞内 MDA 水平，提高 SOD 和 CAT 活性，从而达到延缓机体衰老的作用。目前山楂的药用价值已得到广泛认可，但其抗衰老的具体作用机制尚不明确，因此需进行深入研究，挖掘其在医学与健康领域的应用潜力。

药食同源理论指出，合理搭配药膳食材可以充分发挥食材的药用价值，有效调节机体内环境、增强机体免疫力、预防疾病发生、延缓机体衰老[7-8]。基于此，作者以黑腹果蝇为模式生物，采用水提法制备山楂提取物，以果蝇的垂直攀爬能力、繁殖能力、抗热应激能力及体内 MDA 水平为评价指标，多方面、多维度分析山楂水提物对果蝇衰老行为的干预作用，旨在明确山楂水提物的抗衰老功效与应用潜力，为山楂功能食品的开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

野生型黑腹果蝇：豫北医学院遗传学实验室；山楂：豫北医学院种植；琼脂粉：北京奥博星生物技术有限公司；玉米粉：新乡县全家福杂粮食品有限公司；蔗糖：分析纯，国药集团化学试剂有限公司；丙酸：分析纯，上海展云化工有限公司；乙醚：分析纯，天津市大茂化学试剂厂；酵母粉：安琪酵母股份有限公司；MDA 检测试剂盒：北京索莱宝科技有限公司。

1.2 仪器与设备

生物显微镜：Sk200 型，麦克奥迪实业集团有限公司；电热干燥箱：PH-07 型，上海一恒科学仪器有限公司；高压灭菌锅：HVE-50 型，日本 Hirayama 公司；电子天平：FA2204B 型，梅特勒-托利多仪器（上海）有限公司；层析冷柜：YC-2 型，上海乔跃电子有限公司；数显恒温水浴锅：HH-S6 型，常州国华电器有限公司；振荡培养箱：BS-1E 型，常州市金坛区中大仪器厂；全波长酶标仪：1510 型，美国 Thermo Fisher Scientific 有限公司。

1.3 果蝇培养

1.3.1 培养基的制备

1）对照组培养基（基础培养基）制备：称取 15 g 琼脂置于烧杯中，加入 600 mL 蒸馏水，电磁炉加热至琼脂完全溶解，加入 100 g 蔗糖，持续搅拌至完全溶解，得到 A 液。将 115 g 玉米粉置于烧杯中，加入 400 mL 蒸馏水，电磁炉加热，持续搅拌直至形成均匀糊状基质，得到 B 液。将 A 液倒入 B 液中，持续搅拌使其混合均匀，继续煮沸 3 min 至体系完全混匀，待混合液降温后加入 10 mL 丙酸防腐剂并持续搅拌使其完全乳化。将培养基趁热分装至已灭菌的离心管中，高度控制在 1.0~1.5 cm。分装完成后，在室温下自然冷却后于 4 ℃低温环境中保存。使用培养基之前，在其表面添加微量干酵母粉或滴加 1~2 滴酵母液。

2）试验组培养基（山楂水提物培养基）制备：以澄清山楂水提物为原料制备果蝇培养基，其操作步骤参照对照组培养基的制备方法。新鲜山楂去核后于 45 ℃干燥 12 h，避光保存备用。参照杨红等[9]的方法选择 3 组料液比，经试验筛选后，确定最终料液比为 1 g∶15 mL。将干燥山楂加入蒸馏水中，煮沸后浸提 40 min，随后用 4 层纱布过滤 2 次，获得澄清的山楂水提物[10]，山楂水提物需现配现用。

1.3.2 果蝇的繁殖与培养

果蝇培养温度为（25±1）℃、相对湿度为（65±5）%。在装有酵母粉的基础培养基中接种

3~5对果蝇，用棉塞封口，置于培养箱中扩大培养。子代果蝇培育完成后，将果蝇分装到相应的培养基中，标记好分装时间、性状及数量。

1.4 果蝇抗衰老试验

1.4.1 果蝇寿命测定

参照吴俊豪等[11]的方法并稍加修改。挑选8 h内羽化的果蝇，经乙醚麻醉后，分别将雌性和雄性果蝇随机分装至对照组和试验组对应的培养基中，每组2个重复样本管，每管分装20只果蝇。自分装当日开始计时，每3 d更换一次培养基，保证果蝇正常生长。持续观察并记录果蝇的死亡数量与逃逸情况，直至全部果蝇死亡。分别根据式(1)~(3)计算果蝇的存活率、平均寿命及延寿率。

$$S_r=\frac{S}{N_0}\times 100\% \tag{1}$$

式中：

S_r——果蝇的存活率，%；

S——每组存活果蝇数，只；

N_0——每组初始果蝇数，只。

$$L_m=\frac{\sum_{i=1}^{N_0}L_i}{N_0} \tag{2}$$

式中：

L_m——果蝇的平均寿命，d；

i——果蝇编号，i=1，2，3，4…N；

L_i——第i只果蝇的寿命，d；

N_0——每组初始果蝇数，只。

$$L_r=\frac{\bar{L}_{exp}-\bar{L}_{ctrl}}{\bar{L}_{ctrl}}\times 100\% \tag{3}$$

式中：

L_r——延寿率，%；

$\bar{L}_{exp}$——试验组平均寿命，d；

$\bar{L}_{ctrl}$——对照组平均寿命，d。

1.4.2 果蝇垂直攀爬能力测定

参照宋少婷[12]的方法并稍加修改，分别在寿命试验的第7、20、30天测定果蝇的垂直攀爬能力。采用截去头部的50 mL移液管作为测试容器，分别在距离移液管顶部、底部2 cm处用记号笔做好标记。将移液管垂直固定于试管架上，搭配白色背景用于观察与拍摄。将待测果蝇转入移液管中，管底用4层纱布封底。测试前确保所有果蝇均处于移液管底部，随后启动计时器，让果蝇沿移液管壁向上攀爬。45 s时拍照记录移液管内果蝇的位置，每组样本重复测定3次，2次拍摄间隔为10 min。间隔期间将移液管水平放置，避免果蝇持续攀爬影响后续测试结果。按照式(4)计算果蝇的垂直攀爬能力指数。

$$P=\frac{n_{total}+n_{top}-n_{bottom}}{2\times n_{total}} \tag{4}$$

式中：

P——垂直攀爬能力指数；

n_{total}——移液管内果蝇总数，只；

n_{top}——位于移液管顶部2 cm标记线以上的果蝇数量，只；

n_{bottom}——位于移液管底部2 cm标记线以下的果蝇数量，只。

1.4.3 果蝇繁殖能力测定

第一组：取基础培养基10日龄雌果蝇与3日龄雄果蝇各15只，随机分为3组进行交配，为对照组；取山楂水提物培养基10日龄雌果蝇与3日龄雄果蝇各15只，随机分为3组进行交配，为试验组。第二组：分别取2种培养基的10日龄雄果蝇与3日龄雌果蝇进行反向交配，其余操作同第一组。饲养10 d后，将亲本果蝇移出，当有子代成虫羽化后，每12 h统计一次羽化果蝇数量，连续记录不少于5次，并对数据进行统计分析。

1.4.4 果蝇抗热应激能力测定

参照单建英[13]的方法并稍加修改。选取8 h内羽化的果蝇，经乙醚麻醉后分离雌、雄果蝇。将雌性果蝇和雄性果蝇随机分为对照组和试验组，每组设置2个重复样本管，每管分装20只果蝇。果蝇于25 ℃培养10 d后，转移至37 ℃培养箱开展抗热应激能力测定。每1 h观察并记录果蝇死亡数量，判定标准为果蝇10 s内无任何肢体活动，直至果蝇全部死亡。

1.4.5 果蝇体内MDA质量摩尔浓度测定

参照陈洪雨[14]的方法并稍加修改。收集6~8 h羽化的果蝇，随机分为对照组和试验组。常规饲养10 d后，将果蝇麻醉处死，使用生理盐水洗净果蝇表面残留的培养基，按照MDA检测试剂盒中的操作说明对果蝇体内的MDA质量摩尔浓度进行检测。

1.5 数据处理

采用Graph Pad Prism 9.1.0软件对结果进行

统计分析，结果以平均值±标准差表示，采用 t 检验比较 2 组数据，通过 Two-way ANOVA 比较多组数据，采用 Log-rank 分析生存试验结果，$P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与讨论

2.1 山楂水提物对果蝇寿命的影响

寿命是评判药物是否具有抗衰老作用最直观、有效的指标[15]。在机体衰老过程中，各项生理功能逐步衰退、抵抗力下降，易诱发多种衰老相关疾病。因此，通过研究药物对果蝇寿命的影响，可有效评价其抗衰老能力。从生存曲线来看，培养 20 d 后雄性果蝇生存曲线出现右移；培养 40 d 后雌性果蝇生存曲线出现右移，表明山楂水提物可提高果蝇的存活率，见图 1。平均寿命结果显示，对照组雄性果蝇的平均寿命为（38.90±2.62）d，试验组为（48.65±0.14）d，延寿率高达 25.06%，表明山楂水提物可显著延长雄性果蝇的寿命（$P<0.05$），见表 1。雌性果蝇试验组与对照组相比，平均寿命无显著差异（$P>0.05$），表明山楂水提物对雌性果蝇的寿命无明显延长作用，存在性别差异，其机制有待进一步研究。

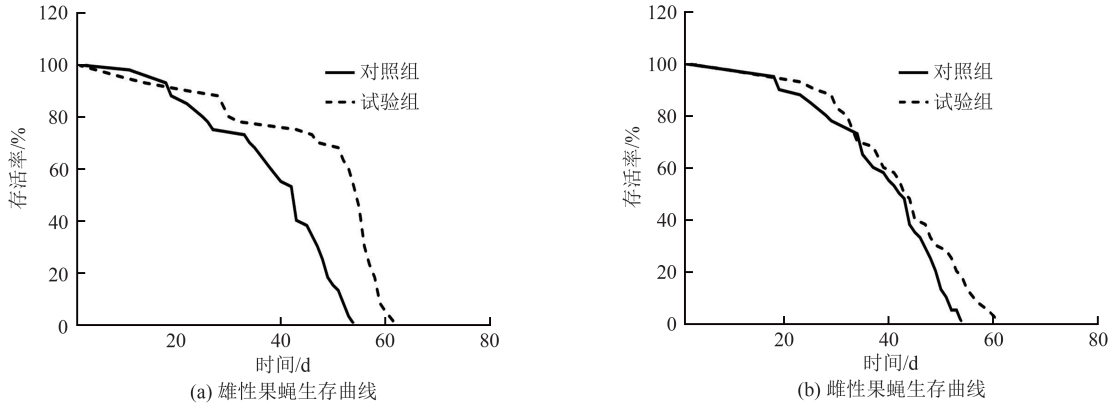


图 1 果蝇生存曲线

Fig. 1 Survival curve of *Drosophila melanogaster*

表 1 山楂水提物对果蝇寿命的影响

Table 1 Effect of hawthorn water extract on the lifespan of *Drosophila melanogaster*

果蝇	组别	最高生存期/d	中位生存期/d	平均生存期/d
雌性果蝇	对照组	53.00±1.41	40.50±4.95	38.20±6.58
	试验组	60.00±1.41*	42.50±2.12	41.38±0.88
雄性果蝇	对照组	53.50±0.71	42.50±3.54	38.90±2.62
	试验组	60.00±2.83*	45.75±0.35*	48.65±0.14*

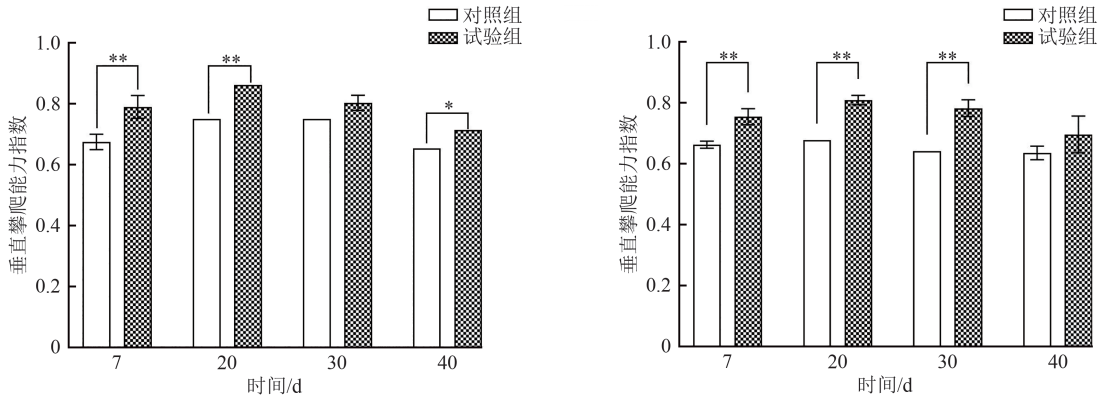
注：“*”表示与对照组相比有显著差异（$P<0.05$）。

2.2 山楂水提物对果蝇垂直攀爬能力的影响

随着果蝇的逐渐衰老，其肌肉组织逐步萎缩、肌力减退、躯体协调能力下降，最终导致其垂直攀爬能力减弱。因此，垂直攀爬能力是评判果蝇衰老程度的重要指标[16]。如图 2 所示，试验组果蝇在前期的垂直攀爬能力较对照组极显著提高（$P<0.01$），表明山楂水提物可能通过改善肌肉功能、提升神经肌肉协调性来增强果蝇的运动能力。果蝇运动状况随着日龄的增长呈现明显的变化规律：日龄在 25 d 前，果蝇运动较为活跃、运动状态良好；当日龄超过 25 d 后，其运动速度与灵活度逐步下降。

2.3 山楂水提物对果蝇繁殖能力的影响

已有研究表明，生殖活动可调控衰老相关基因的表达，过度繁殖往往会导致果蝇寿命缩短，因此减少生殖活动是延长果蝇寿命的有效途径之一[17]。理想的抗衰老药物在延长寿命的同时，应保证机体的生殖功能不受损伤，这也是评价药物有效性和安全性的重要依据。以新羽化的成虫数量为评价指标，探究山楂水提物在延长果蝇寿命的同时，是否会对其生殖功能产生影响。如图 3 所示，第一组、第二组中对照组与试验组的子代成虫数量均无显著差异（$P>0.05$），表明山楂水提物对果蝇的繁殖能力无显著影响。结果表明，山楂水提物对果蝇生殖系统的干扰作用较小，潜在的生殖毒性较低。



(a) 雄性果蝇垂直攀爬能力　　(b) 雌性果蝇垂直攀爬能力

*—与对照组有显著差异(P<0.05)；**—与对照组有极显著差异(P<0.01)。

图2　果蝇垂直攀爬能力

Fig. 2　Vertical climbing ability of *Drosophila melanogaster*

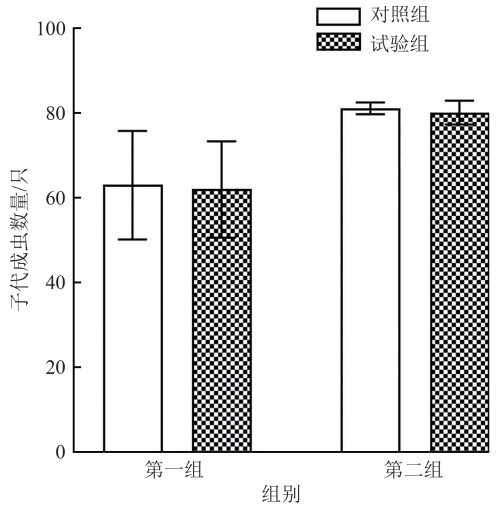


图3　果蝇的繁殖能力

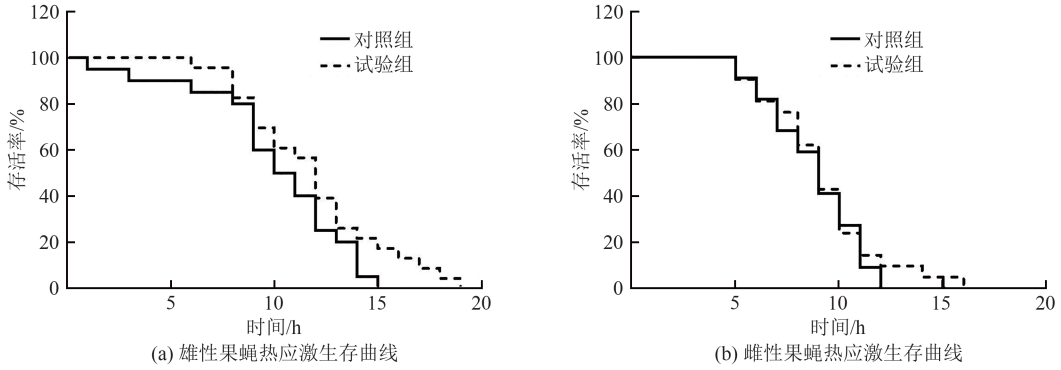
Fig. 3　Reproductive ability of *Drosophila melanogaster*

2.4　山楂水提物对果蝇抗热应激能力的影响

研究表明，机体抗应激能力提升可显著延长寿命，而延长寿命的干预措施通常也能增强机体对各类生理应激的耐受能力[18]。高温是最常见的生理应激源，作者选用37 ℃环境（果蝇的正常生存温度为25 ℃）构建高温胁迫模型，观察果蝇的存活状态。由图4可知，试验组雄性果蝇的生存曲线较对照组明显右移，雌性果蝇的生存曲线在10 h后较对照组明显右移。在平均寿命的试验中，试验组果蝇较对照组呈现明显的存活优势。其中，雄性果蝇的平均存活时间由（10.43±0.48）h延长至（12.41±0.25）h，延寿率达18.98%，差异显著（P<0.05）；雌性果蝇的平均存活时间由（8.82±0.06）h延长至（9.57±0.48）h，延寿率为8.50%，但差异不显著（P>0.05）。上述结果表明，山楂水提物可显著提升果蝇的热应激耐受能力，具备潜在的抗热应激保护能力。

2.5　山楂水提物对果蝇体内MDA质量摩尔浓度的影响

MDA是膜脂过氧化的重要产物，也是评价氧

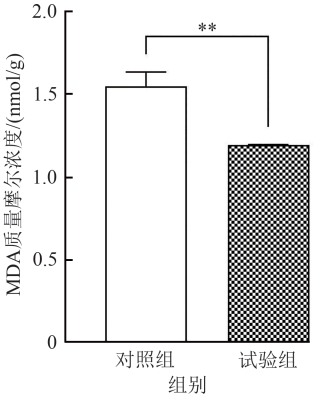


(a) 雄性果蝇热应激生存曲线　　(b) 雌性果蝇热应激生存曲线

图4　果蝇的热应激生存曲线

Fig. 4　Survival curve of *Drosophila melanogaster* exposed to heat stress

化应激水平的常用标志物，其含量与细胞衰老程度密切相关[19]。体内MDA水平越高，表示细胞内氧化应激越剧烈、膜脂过氧化程度越高，细胞膜结构和功能受损越严重，最终会影响机体正常功能，加速衰老进程。如图5所示，与对照组相比，试验组果蝇的MDA质量摩尔浓度极显著下降（P<0.01），表明试验组果蝇的膜脂过氧化程度较低、细胞膜损伤较轻。因此，山楂水提物可有效维持细胞膜的完整性，减轻氧化损伤，进而延缓果蝇衰老进程。



**—与空白组有极显著差异(P<0.01)。

图5 果蝇体内MDA质量摩尔浓度

Fig. 5 MDA molality in *Drosophila melanogaster*

3 结论

以野生型黑腹果蝇为试验模型，按料液比1 g∶15 mL制备山楂水提物，并以此制备培养基。通过测定果蝇寿命、垂直攀爬能力、繁殖能力、抗热应激能力及体内MDA质量摩尔浓度，分析山楂水提物的抗衰老能力。结果表明，山楂水提物表现出明显的抗衰老功效。试验组果蝇的平均寿命显著延长（P<0.05）；试验组果蝇垂直攀爬能力极显著提升，表明山楂水提物可以改善果蝇肌肉状况，有效缓解因衰老引起的运动退化问题；同时，山楂水提物在不影响果蝇繁殖能力的同时，可显著增强果蝇的抗热应激能力，降低果蝇体内MDA质量摩尔浓度，进一步证实其具有抗衰老作用。综上，山楂在新型营养健康食品和功能性饮品开发领域具有良好的应用前景。后续可结合qPCR、Western blot等分子生物学技术系统分析山楂水提物对果蝇衰老相关基因及蛋白质表达的调控作用，深入阐明其调控衰老相关通路的分子机制，完善相关理论。此外，可进一步优化山楂水提物制备工艺，提高其活性成分的稳定性和生物利用度，助力其在抗衰老食品、保健饮品等领域的创新应用，实现山楂资源的深度开发和产业发展。

参考文献

[1] 孙涛，夏世金，张伟，等. 炎性反应与衰老[J]. 实用老年医学，2013，27(1)：79-82.
SUN T，XIA S J，ZHANG W，et al. Inflammatory reaction and aging[J]. Practical Geriatrics，2013，27(1)：79-82.（in Chinese）

[2] CAMPISI J，KAPAHI P，LITHGOW G J，et al. From discoveries in ageing research to therapeutics for healthy ageing[J]. Nature，2019，571(7764)：183-192.

[3] 张博文，杨露，陈赟，等. 衰老机制研究前沿与抗衰老产业发展动态[J]. 生命科学，2025，37(1)：47-56.
ZHANG B W，YANG L，CHEN Y，et al. Research frontiers of aging mechanism and development trends of anti-aging industry[J]. Chinese Bulletin of Life Sciences，2025，37(1)：47-56.（in Chinese）

[4] 张祺嘉钰，赵佩媛，孙静，等. 山楂的化学成分及药理作用研究进展[J]. 西北药学杂志，2021，36(3)：521-522.
ZHANG Q J Y，ZHAO P Y，SUN J，et al. Research progress on chemical constituents and pharmacological action of hawthorn[J]. Northwest Pharmaceutical Journal，2021，36(3)：521-522.（in Chinese）

[5] 封若雨，朱新宇，张苗苗. 近五年山楂药理作用研究进展[J]. 中国中医基础医学杂志，2019，25(5)：715-716.
FENG R Y，ZHU X Y，ZHANG M M. Research progress on pharmacological function of hawthorn in the past five years [J]. Chinese Journal of Basic Medicine in Traditional Chinese Medicine，2019，25(5)：715-716.（in Chinese）

[6] 龚建武，王晓春. 山楂水提液清除氧自由基作用的研究[J]. 实用预防医学，2005，12(3)：568-569.
GONG J W，WANG X C. Study on the eradicating effect of oxygen free radicals by hawthorn [J]. Practical Preventive Medicine，2005，12(3)：568-569.（in Chinese）

[7] 王利娜，张春艳. 药食同源理论在现代养生中的应用研究[J]. 中国食品，2025(2)：119-121.
WANG L N，ZHANG C Y. Study on the application of homology theory of medicine and food in modern health preservation [J]. China Food，2025(2)：119-121.（in Chinese）

[8] 陈卫. 功能食品与膳食健康[J]. 食品与生物技术学报，

2024，43（4）：1-7.
CHEN W. Functional foods and dietary health［J］. Journal of Food Science and Biotechnology，2024，43（4）：1-7.（in Chinese）

［9］杨红，唐莉，李毅，等. 8种食品水提液的抗氧化和抗炎活性比较[J]. 食品与机械，2023，39（11）：192-197.
YANG H，TANG L，LI Y，et al. Comparative studies on the antioxidant and anti-inflammatory activities of water extracts from eight kinds of foods[J]. Food & Machinery，2023，39（11）：192-197.（in Chinese）

［10］包莉媛，董翔，刘婷婷，等. 山楂-麦芽提取物、益生菌及其联合对高蛋白饮食小鼠胃肠道功能的影响[J]. 食品研究与开发，2023，44（9）：1-7.
BAO L Y，DONG X，LIU T T，et al. Effects of hawthorn-malt extract，probiotics and their combination on gastrointestinal function in mice with high protein diet［J］. Food Research and Development，2023，44（9）：1-7.（in Chinese）

［11］吴俊豪，王晶，KHO Sethykun，等. 龟肉蛋白肽延缓果蝇衰老的作用及机制研究[J]. 食品工业科技，2022，43（17）：394-401.
WU J H，WANG J，KHO S，et al. Research on anti-aging function and mechanism of pond turtle protein-derived peptides on *Drosophila melanogaster*［J］. Science and Technology of Food Industry，2022，43（17）：394-401.（in Chinese）

［12］宋少婷. 银杏叶提取物延缓果蝇衰老的机制研究[D]. 雅安：四川农业大学，2022.

［13］单建英. 盐酸托莫西汀对果蝇活动状态和寿命的影响研究[D]. 杭州：杭州电子科技大学，2021.

［14］陈洪雨. 山楂黄烷醇延缓衰老活性及其作用机制研究[D]. 保定：河北农业大学，2013.

［15］王鑫. 菱角壳水提物的提取及其抗衰老药理活性的研究[D]. 天津：天津大学，2008.

［16］吴越，郑澜. 利用果蝇动物模型研究运动抗心脏衰老的分子机制[J]. 科教文汇，2015（11）：185-186.
WU Y，ZHENG L. Research on the molecule system of anti-aging-heart by sports through using *Drosophila* animal model［J］. Journal of Science and Education，2015（11）：185-186.（in Chinese）

［17］BRANCO A T，SCHILLING L，SILKAITIS K，et al. Reproductive activity triggers accelerated male mortality and decreases lifespan：genetic and gene expression determinants in *Drosophila*[J]. Heredity，2017，118（3）：221-228.

［18］TOWER J. Heat shock proteins and *Drosophila* aging［J］. Experimental Gerontology，2011，46（5）：355-362.

［19］TSIKAS D. Assessment of lipid peroxidation by measuring malondialdehyde（MDA）and relatives in biological samples：analytical and biological challenges［J］. Analytical Biochemistry，2017，524：13-30.