

烟酰胺和肌醇组合物的护肤功效评价

胡晓萌, 胡陈陈, 陈雄伟*

(爱美客技术发展股份有限公司, 北京 100000)

摘要: 本文以斑马鱼为主要模型, 探究烟酰胺和肌醇组合物的安全性及其护肤功效。通过最大耐受浓度 (maximum tolerated concentration: MTC) 对烟酰胺肌醇组合物安全性进行检测, 采用斑马鱼美白黑色素模型检测组合物的美白功效, 斑马鱼尾鳍皱缩模型评价其抗皱功效, 非酶糖基化抑制模型检测组合物抗糖化功效。结果表明, 4 mg/mL 烟酰胺和 1 mg/mL 肌醇组合对斑马鱼无毒性作用, 具有美白/抗黑色素沉积效果 (黑色素抑制率为 17.83%)。同时, 组合物可抑制斑马鱼尾鳍皱缩形成 (抑制率为 13.58%), 对终末糖化产物形成的抑制率为 14.83%, 表明 4 mg/mL 烟酰胺和 1 mg/mL 肌醇组合具有美白、抗皱紧致功效, 可应用于化妆品的开发。

关键词: 烟酰胺; 肌醇; 化妆品

中图分类号: TQ658 **文献标识码:** A **文章编号:** CCSJ-3007-9683-20250038

Evaluation of the Skin Care Efficacy of a Combination of Nicotinamide and Inositol

HU Xiaomeng, HU Chenchen, CHEN Xiongwei*

(Imeik Technology Development Co., Ltd, Beijing 100000, China)

Abstract: The aim of this paper was to investigate the safety and skincare efficacy of nicotinamide and inositol combinations by using zebrafish as the main model. In present study, maximum tolerated concentration (MTC) assay was conducted to investigate the safety of nicotinamide-inositol complex. Zebrafish whitening assay was executed to test whitening efficacy of the complex. zebrafish caudal fin wrinkle assay was conducted to examine the anti-wrinkle efficacy. non-enzymatic glycosylation inhibition assay was conducted to check the anti-glycation efficacy Results showed that the combination of niacinamide (4 mg/mL) and inositol (1 mg/

收稿日期: 2025-08-28; 定用日期: 2025-10-29.

作者简介: 胡晓萌 (1998—), 女, 硕士研究生。E-mail: huxiaomeng@imeik.com。

通讯作者: 陈雄伟 (1987—), 男, 硕士研究生。E-mail: chenxiongwei@imeik.com。

mL) complex had no toxic impact on the zebrafish. Besides, complex assessed whitening effect (the inhibition rate was 17.83%) and. Meanwhile, the combination inhibited the wrinkling of the caudal fin of zebrafish (the inhibition rate was 13.58%), and the inhibition rate of non-enzymatic glycosylation was 14.83%. Present results indicated that the combination of niacinamide at 4 mg/mL and inositol at 1 mg/mL has whitening, anti-wrinkles, and firming efficacies, which can be applied to the development of cosmetics.

Key words: niacinamide; inositol; cosmetics

引言

烟酰胺又名维生素 B3，因其美白效果较好常应用于化妆品中。烟酰胺可以通过阻止黑色素从黑色素细胞转移到邻近的角质形成细胞中，从而减少细胞过度的黑色素沉积达到美白效果^[1,2]。徐杰^[3]通过研究不同浓度烟酰胺对黑色素细胞内黑色素聚集和转移情况发现，烟酰胺添加量为 5% 浓度时美白效果达到峰值，不再随添加量的提高而增强。唐颖等人发现，烟酰胺也具有抗皱、保湿等多重功效^[4]。

肌醇是环己六醇族的六碳基环己烷，又名环己六醇，是在自然界中广泛分布的糖样化合物。肌醇是细胞膜组成的一部分，可作为第二种信使参与多种细胞信号传导过程^[5,6]。Zhoh 等人^[7]研究发现肌醇不仅能够缓解皮肤水分流失，还具有提高皮肤弹性，减少皱纹等功效。此外，肌醇可发挥保湿、滋润、紧致、抗皱、舒缓等功效^[8,9]。

斑马鱼发育初期全身透明，胚胎发育至 24 h 时黑色素从视网膜上皮生长，48 h 逐渐形成稳定并可见的黑色色素斑。其黑色素调控机制与人类高度保守，并且黑色素的生成速度快，在显微镜下能被肉眼清晰地观察到，因此可用于研究化妆品美白功效^[10]。人体皮肤出现皱纹、老化的重要原因之一是皮肤结构中胶原蛋白、弹性蛋白的减少。斑马鱼皮肤结构与人体皮肤结构相似，以过量紫外线照射时，可导致皮肤中的胶原蛋白、弹性蛋白减少，表现为尾鳍皱缩，因此在化妆品功效评价中可以通过评价斑马鱼尾鳍皱缩程度进而反映其抗皱能力^[11]。

本文以斑马鱼黑色素模型、尾鳍皱缩模型以及体外非酶糖基化模型分别对烟酰胺和肌醇组合物的美白效果、紧致抗皱效果进行评价，同时根据 CIR 的最大使用浓度将 3% 烟酰胺 +0.75% 肌醇添加至配方中进行功效评价，为烟酰胺和肌醇组合物在化妆品中的应用提供理论基础。

1 实验部分

1.1 主要材料、试剂和仪器

烟酰胺，杭州唯铂莱生物科技有限公司；肌醇国药国际医药科技（北京）有限公司；甲基纤维素，山东赫达集团股份有限公司；氯化钾、二水合氯化钙、七水合硫酸镁、碳酸氢钠、氢氧化钠、二甲基亚砜（DMSO）、磷酸二氢钾、氨基胍盐酸盐，上海阿拉丁生化科技股份有限公司； β -熊果苷，上海麦克林生化科技股份有限公司；槲皮素，广东金骏康生物技术有限公司；果糖，上海碧云天技术股份有限公司；牛血清白蛋白，西格玛奥德里奇（上海）贸易有限公司；磷酸氢二钠，湖南九典宏阳制药有限公司；氯化钠，河北华辰药业集团有限公司；叠氮化钠，国药集团化学试剂有限公司；甘油，KL-KEPONG OLEOMAS SDN BHD；丙烯酸二甲基牛磺酸铵 /VP 共聚物，科莱恩化工（中国）有限公司；对羟基苯乙酮，托尔专用化学品（镇江）有限公司；1,2-戊二醇，托尔专用化学品（镇江）有限公司。

分析天平，SECURA225D-1CN，赛多利斯科学仪器有限公司；BSA224S-CW，赛多利

斯科学仪器有限公司；水浴锅，DS/HH-5L，郑州东晟仪器设备有限公司；体视显微镜，SRA-6555A，苏州景通仪器有限公司；生化培养箱，SPX-80L，天津市泰斯特仪器有限公司；酶标仪，BioTek SYNERGY SH1M，安捷伦科技（中国）有限公司；光学显微镜，Axiolab5，卡尔·蔡司股份公司；细胞辐照仪，LUYOR-3450 UV irradiator，上海路阳仪器有限公司；超纯水机，Cascada III . I，颇尔（中国）有限公司；磁力搅拌器，big squid white S25，艾卡（广州）仪器设备有限公司；搅拌器，EUROSTAR 40，艾卡（广州）仪器设备有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 试剂配置

胚胎缓冲水：根据 T/HPCIA 005-2022《化妆品美白功效的测定 斑马鱼胚法》中 6.4.1 胚胎缓冲水配制方法进行配制。

胚胎裂解液：取 1 g 氢氧化钠使用 2.5 g DMSO 溶解后用水定容至 25 mL，混合均匀备用。

标准稀释水：根据 T/ZHCA 014-2022《化妆品抗皱功效评价 - 斑马鱼幼鱼尾鳍皱缩恢复率检测方法》中附录 A 标准稀释水配制方法进行配制。

PBS 配制：取 NaCl 2.00 g，KCl 0.05 g，KH₂PO₄ 0.06 g，Na₂HPO₄ 0.36 g 边搅拌边加入 250 mL 蒸馏水中，4℃ 保存备用。

为了进一步探究 4 mg/mL 烟酰胺和 1 mg/mL 肌醇组合在配方中的功效，根据表 1 进行打样。对配方进行美白功效测试和非酶糖基化抑制测试。

表 1 配方表
Table.1 Formula List

原料名称	基质配方添加量 g	样品配方添加量 g
水	To100	To100
丙烯酸二甲基牛磺酸铵/VP 共聚物	0.05	0.05
甘油	3	3
对羟基苯乙酮	0.5	0.5
1,2-戊二醇	0.5	0.5
烟酰胺	0	3
肌醇	0	0.75

1.2.2 斑马鱼美白功效测试

挑选 6 h 发育正常且发育时间相近的斑马鱼胚胎于 6 孔板中，每孔 20 枚。将受试物进行梯度稀释，在不伤害胚胎的情况下取出孔板中的胚胎缓冲水，加入对应受试物，盖上铝箔纸放入（28.0 ± 1.0）℃ 的培养箱中，48 h 内对胚胎的发育及死亡情况进行观察记录。以 48 h 内斑马鱼胚胎死亡率不超过 10% 及未出现任何毒性效应（心包水肿、躯干弯曲等）筛选最大存活浓度用于后续实验。

以上述测试的最大存活浓度进行实验^[12-17]。预先筛选好足够数量且发育状况一致的受精后 6 h（hour post fertilization, hpf）的斑马鱼胚胎，并随机分配到 6 孔板中，每孔 30 枚，每组设置三个平行，除去 24 孔板中的胚胎缓冲水，然后迅速向每孔中加入 5 mL 受试物溶液。充分混匀后，盖上培养板面板并用铝箔纸包裹，在生化培养箱中避光孵育至终点。

每组随机选取同样数量斑马鱼于 1.5 mL 离心管中，在不伤害斑马鱼的情况下除去离心管中的溶液加入 0.5 mL 的胚胎裂解液，在 85℃ 水浴锅中加热 1 h，混匀。将 100 μL 上述液体加到 96 孔板中，酶标仪检测 405 nm 处 OD 值，根据式 1 计算黑色素抑制率。

$$\text{黑色素抑制率 (\%)} = \frac{\text{空白组} - \text{样品组}}{\text{空白组}} * 100\% \quad \text{式 1)}$$

1.2.3 斑马鱼抗皱功效测试

选取发育正常的 2 dpf 的斑马鱼幼鱼，放入 6 孔板中，每孔 15 尾，去除 6 孔板中的斑马鱼培养液，换上 3 mL 标准稀释水。用铝箔纸包裹六孔板于（28.0 ± 1.0℃）培养箱中避光孵育 2 h。在紫外线下进行 3 次照射，每次照射时间为 15 min，间隔 30 min。每次辐照剂量为（2.07 ± 0.18）J/cm²，总辐照剂量为（6.21 ± 0.54）J/cm²，将受试物进行梯度稀释，然后向每孔中快速加入 3 mL 相应浓度的受试物稀释液。最后，继续在（28.0 ± 1.0℃）培养箱中避光孵育 22 h，用显微镜观察。记录斑马鱼的死亡情况和其他毒性效应，

以 22 h 内斑马鱼死亡率不超过 10% 及未出现任何毒性效应（心包水肿、静脉堵塞等）为最大存活浓度，以此浓度进行后续实验^[18-21]。

选取发育正常的 2 dpf 的斑马鱼幼鱼，放入 6 孔板中，每孔 15 尾，在不伤害幼鱼的情况下去除 6 孔板中的培养液，换上 3 mL 标准稀释水。

充分混匀后，盖上盖子，孵育 2 h。在辐照度为 2.0~2.5 Mw/cm² 的条件下进行 3 次紫外线照射，每次照射时间 15 min，间隔 30 min，然后向每孔中快速加入 3 mL 相应浓度的受试物稀释液。继续在 (28.0 ± 1.0℃) 培养箱中避光孵育 22 h 后进行观察拍照。孵育结束后，用 3% 甲基纤维素固定斑马鱼，显微镜下观察拍照，所有斑马鱼在相同条件下完成拍照，且斑马鱼体位应保持一致。使用 image j 对斑马鱼尾鳍面积进行分析，根据试验组尾鳍面积的平均值 A，并根据式 2 计算斑马鱼尾鳍皱缩抑制率。

$$\text{抗皱缩功 (\%)} = \frac{A_{\text{样品组}} - A_{\text{模型对照组}}}{A_{\text{模型对照组}}} * 100\% \quad \text{式 2)}$$

1.2.4 非酶糖基化测试

参考陈春宇等人的方法^[22-24]进行非酶糖基化测试。使用 PBS 溶液配制 0.02% 的叠氮化钠溶液，用该溶液配置 20 mg/mL 牛血清白蛋白溶液和 0.5 mol/L 果糖溶液，牛血清蛋白溶液用 0.45 μm 水系滤膜过滤。反应液由过滤好的 20 mg/mL 牛血清白蛋白溶液和 0.5 mol/L 果糖溶液以 1:1 的比例混合配置，现配现用。使用 PBS 溶液配制 4 mg/mL 烟酰胺 + 1 mg/mL 肌醇的组合物、25% 基质配方（见表 1）、25% 样品配方（见表 1），以 0.5 mg/mL 氨基胍溶液作为阳性对照。

使用 1.5 mL 离心管设置各组别，并按照表 2 依次加入检测试剂和样品。加入待测样品后，振荡混匀，确保混合充分。37℃ 避光孵育 5 d 后使用多功能酶标仪进行荧光测定，每组三个平行。激发波长为 370 nm，发射波长为 440 nm。

根据以下公式计算非酶糖基化抑制率

$$\text{IR (\%)} = 1 - \left(\frac{\text{RFU}_{\text{样品组}} - \text{RFU}_{\text{空白对照组}}}{\text{RFU}_{\text{阳性对照组}}} \right) \times 100\%$$

表 2 反应体系
Table.2 Reaction system

组别	受试样品 (mL)	PBS (mL)	反应液 (mL)	阳性对照组 (mL)
样品组	0.5	-	0.5	-
阴性对照组	-	0.5	0.5	-
阳性对照组	-	-	0.5	0.5
阳性对照空白组	-	0.5	-	0.5
样品空白对照组	0.5	0.5	-	-

2 结果与讨论

2.1 烟酰胺和肌醇组合物对斑马鱼黑色素的影响

如图 1 所示，阳性对照 (3mg/mL β-熊果苷) 可显著抑制黑色素的形成，抑制率为 10.29%，表明阳性对照能够抑制斑马鱼黑色素生成，具有美白效果，因此判定该美白功效评价模型成立。烟酰胺可以通过抑制黑色素的形成，加速黑色素代谢等方式达到美白功效，而肌醇的主要功能之一是作为细胞膜和脂蛋白中的磷脂成分并且可以通过调节角质层脂质双分子层有序性，增加细胞间脂质流动性从而促进烟酰胺渗透皮肤更好的发挥美白功效^[25-26]。4mg/mL 烟酰胺 + 1mg/mL 肌醇、3mg/mL 烟酰胺 + 0.75mg/mL 肌醇、2mg/mL 烟酰胺 + 0.5mg/mL 肌醇组斑马鱼的死亡率均不高于 10%，且 4mg/mL 烟酰胺 + 1mg/mL 肌醇的美白效果最好，抑制率为 17.83%。因此，使用 4 mg/mL 烟酰胺和 1 mg/mL 肌醇组合进行后续的功效测试。

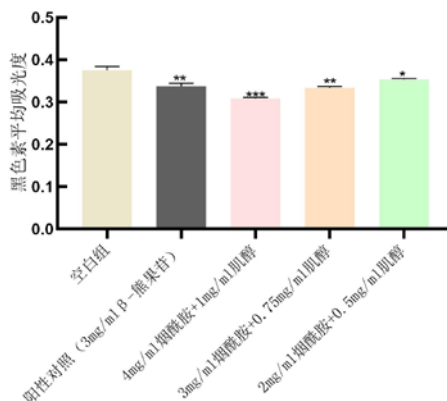


图 1 斑马鱼美白功效结果
Fig.1 Results of Whitening Effect in Zebrafish

注: ns: $P \geq 0.05$; * 表示 $0.01 \leq P < 0.05$; ** 表示 $0.001 \leq P < 0.01$; *** 表示 $P < 0.001$

2.2 组合物斑马鱼抗皱功效测试结果

斑马鱼皮肤结构与人体皮肤结构相似。紫外线照射后,皮肤结构中的胶原蛋白、弹性蛋白等结构发生变化,使斑马鱼尾鳍产生皱缩,因此可通过评价样品对斑马鱼尾鳍皱缩抑制情况来反映样品的抗皱功效。本文研究了烟酰胺和肌醇组合物对斑马鱼尾鳍皱缩的影响,以 4 mg/mL 烟酰胺和 1 mg/mL 肌醇组合物的比例进行浓度稀释筛选出最大存活浓度。其中最大存活浓度为 4 mg/mL 烟酰胺和 1 mg/mL 肌醇,因此采用该浓度进行分析,结果如图 2 所示,4 mg/mL 烟酰胺和 1 mg/mL 肌醇组合物处理过的斑马鱼尾鳍面积减少显著小于模型对照组 ($P < 0.05$),抑制率为 13.58%,表明其能够抑制斑马鱼尾鳍皱缩,具有抗皱功效。

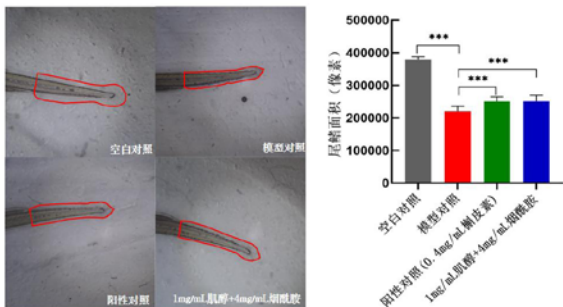


图 2 斑马鱼抗皱功效结果
Fig.2 Results of anti-wrinkle efficacy in zebrafish

注: 红色标注为斑马鱼尾鳍面积
ns: $P \geq 0.05$; * 表示 $0.01 \leq P < 0.05$; ** 表示 $0.001 \leq P < 0.01$; *** 表示 $P < 0.001$

2.3 组合物对非酶糖基化的抑制

非酶糖基化是还原糖如葡萄糖、果糖等与蛋白质或多肽链中的游离氨基在无酶催化的情况下发生化学反应,生成棕色或黑色终末糖化产物 (AGEs) 的反应称为非酶糖基化反应。反应生成的 AGEs 可与机体内蛋白质会发生反应,导致蛋白质变性,褐变^[27];此外,AGEs 可与细胞表

面 AGEs 受体结合诱发氧化应激以及炎症反应,导致皮肤黯淡老化以及其他皮肤问题^[28-29]。因此在化妆品功效评价中可通过非酶糖基化抑制率来评价产品的抗糖能力,证明样品可通过抗糖化途径起到紧致抗皱作用^[30-32]。

如表 3 所示,4 mg/mL 烟酰胺和 1 mg/mL 肌醇组合物对糖化抑制率为 14.83%,说明该组合物具有非酶糖基化抑制效果,具有潜在紧致抗皱功效。

表 3 组合物对非酶糖基化的影响
Table.3 Effect of combinations on non-enzymatic glycosylation

组别	阳性对照 (0.5mg/ml 氨基胍)	4mg/ml 烟酰胺 + 1mg/ml 肌醇
抑制率	71.92%	13.91%
	72.75%	13.38%
	71.01%	17.21%
统计	71.89% ± 0.87%	14.83% ± 2.08%

2.4 组合物在配方中的应用功效评价

组合物在产品中应用的美白和非酶糖基化抑制结果分别如图 3 和表 4 所示。

图 3 结果显示同浓度下,基质配方与空白组无显著性差异,不具备美白功效;而添加了组合物的样品配方黑色素含量显著低于空白组,具有美白功效。表 4 显示出添加了组合物的样品配方抗糖功效优于基质配方,进一步证实了该组合物在配方中的潜在应用价值。

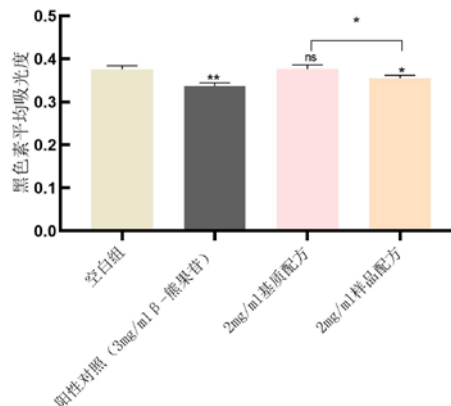


图 3 斑马鱼配方美白功效结果
Fig.3 Whitening effectiveness results of the formula in Zebrafish

注: ns: $P \geq 0.05$; * 表示 $0.01 \leq P < 0.05$; ** 表示 $0.001 \leq P < 0.01$; *** 表示 $P < 0.001$

表 4 配方对非酶糖基化的影响
Table. 4 Effect of the formula on non-enzymatic glycosylation

组别	阳性对照 (0.5mg/ml 氨基胍)		样品配方
	基质配方	样品配方	
抑	70.38%	55.27%	67.27%
制	70.50%	53.64%	67.90%
率	70.95%	54.36%	66.09%
统	70.61% ±	54.43% ±	67.09% ±
计	0.30%	0.82%	0.92%

3 结论

斑马鱼作为三大模式生物之一, 具有与人类 89% 的相似基因, 且皮肤结构也与人类高度相似, 因此在化妆品研发过程中斑马鱼试验可为产品开发提供有力参考。

本文通过斑马鱼美白试验对不同浓度的烟酰胺与肌醇组合物进行筛选, 最终在对斑马鱼无毒副作用的前提下选定美白效果最好的 4 mg/mL 烟酰胺和 1 mg/mL 肌醇作为后续功效研究对象。通过斑马鱼抗皱功效评价的尾鳍皱缩法发现该组合物能够抑制斑马鱼尾鳍皱缩从而达到抗皱功效; 并采用体外方法非酶糖基化抑制试验对组合物紧致抗皱功效进一步验证, 结果显示 4 mg/mL 烟酰胺和 1 mg/mL 肌醇能够抑制非酶糖基化反应, 减少 AEGs 的产生, 说明其能够起到紧致抗皱的功效。美国化妆品原料评价委员会 (CIR) 评估结果显示烟酰胺的使用浓度不高于 3%, 因此在配方中添加 3% 烟酰胺 +0.75% 肌醇后与基质进行比较, 结果显示添加了该组合物的配方具有美白及紧致抗皱功效。本研究可为烟酰胺和肌醇组合物在化妆品应用提供参考依据。

参考文献:

[1] 黄媛媛, 高平, 王秀桥, 等. 浅议祛斑美白类化妆品中功效成分及其检测技术研究进展 [J]. 当代化工研究, 2023,(19):32-34.

[2] 王贺聪, 黄典超. 祛斑美白化妆品及其美白功效成分使用现状调研及展望 [J]. 日用化学品科学, 2025,48(02):47-52.

[3] 徐杰. 烟酰胺浓度对皮肤黑色素转移的影响及机制研究 [J]. 实验室检测, 2024,2(06):124-128.

[4] 唐颖, 赵华. 含烟酰胺化妆品并非人人适用 [N]. 中国医药报, 2021-01-19(008).DOI:10.38249/n.cnki.nyiya.2021.002553.

[5] López-Gamero, A.J.; Sanjuan, C.; Serrano-Castro, P.J.; Suárez, J.; Rodríguez de Fonseca, F. The Biomedical Uses of Inositols: A Nutraceutical Approach to Metabolic Dysfunction in Aging and Neurodegenerative Diseases. *Biomedicines* 2020, 8: 295.

[6] 赵宁宁, 吴效科, 侯丽辉. 肌醇在女性生殖中的作用 [J]. 世界中西医结合杂志, 2011,6(01):81-82+86.DOI:10.13935/j.cnki.sjzx.2011.01.027.

[7] Zhoh C K, Song H, Han C G *et al.* The Effects of Inositol Extracted from Rice on the Skin [J]. *Journal of the Society of Cosmetic Scientists of Korea*, 2001, 27(1).

[8] 向东妮. 肌肉肌醇的应用及市场分析 [J]. 广州化工, 2019,47(10):27-29+49.

[9] 杨保刚, 麦成华, 张辉. 气相色谱法测定化妆品中肌醇的含量 [J]. 香料香精化妆品, 2011,(03):33-34+5.

[10] 刘硕, 严彦, 方梦娇, 等. 波森莓的抗糖化与美白效果评价研究 [J]. 现代食品, 2024,30(16):132-135.

[11] 谢圆芳, 袁道欢, 张丽山, 等. 黑松露提取物紧致抗皱功效 [J]. 香料香精化妆品, 2024,(05):73-77+149.

[12] 张雷, 杨淑琴, 郭秀茹, 等. 覆盆子酮葡萄糖苷的功效评价研究 [J]. 日用化学品科学, 2022,45(03):43-47.

[13] 彭冠杰, 李扬思, 何水莲, 等. 超分子壬二酸的斑马鱼模型美白功效研究 [J]. 日用化学品科学, 2022,45(12):36-39.

[14] 雷继刚. 葡萄柚外泌体样囊泡抗黑色素功效研究 [J]. 中国医药生物技术, 2024,19(02):108-115.

[15] 于兰, 唐辉, 陈韩英, 等. 甲氧基黄酮促斑马鱼黑色素生成的药理学评价及机制研究 [J]. 中草药, 2020,51(23):6023-6034.

[16] Jeon, G., Kim, YH. & Min, J. Impact of Lysosomal Fraction on Melanin Synthesis Inhibition in a Zebrafish Melanogenesis Phenotype Model. *Mol Biotechnol* 2022, 64, 1350-1355.

[17] Liu, T.-H.; Chiang, W.-T.; Cheng, M.-C.; Tsai, T.-Y. Effects of Germination Black Soy Milk Fermented with *Lactobacillus plantarum* TWK10 on Anti-Oxidative and Anti-Melanogenesis. *Appl. Sci.* 2022, 12, 277.

[18] 叶琳琳, 李欠南, 舒倩. 三叶鬼针草涂抹眼膜抗皱紧致功效评价 [J]. 广东化工, 2023,50(16):37-39+76.

- [19] 刘杰, 邬凤娟, 郑康帝, 等. 番红花花提取物对紫外线损伤斑马鱼鱼鳍的保护作用 [J]. 日用化学品科学, 2019, 42(09): 26-29.
- [20] Yau-Hung Chen, Yue-Jyun Chen, Chi-Yuan Chou, *et al.* UV-protective Activities of Pineapple Leaf Extract in Zebrafish Embryos [J]. *Research on Chemical Intermediates*, 2019, 45: 65-75.
- [21] Yu Zhang, Dekun Cheng, Zhangtie Wang, *et al.* Protective Effect of Orbitides from Linseed (*Linum usitatissimum* L.) against Ultraviolet B-induced Photoaging in Zebrafish [J]. *Photochemistry and Photobiology*, 2023, 99(05): 1332-1342.
- [22] 陈春宇, 张佳琪, 李依萍等. 8种别样茶对AGEs抑制能力的筛选及其抑制机制探究 [J]. *食品工业科技*, 2022, 43(24): 32-37. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020105.
- [23] Mohd Dom NS, Yahaya N, Adam Z, *et al.* Antiglycation and Antioxidant Properties of *Ficus deltoidea* Varieties. [J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2020: 6374632. DOI: 10.1155/2020/6374632.
- [24] 王菲, 简远志, 夏放之, 等. 二氢杨梅素通过抗晚期糖基化终产物途径改善衰老的作用及机制研究 [C]// 广西防城港市人民政府, 中国营养学会. 营养与保健食品精准研发与产业发展大会摘要集. 北京大学公共卫生学院营养与食品卫生学系, 2024: 9. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2024.053650.
- [25] Bizzarri, M., Fuso, A., Dinicola, S., Cucina, A., & Bevilacqua, A. (2016). Pharmacodynamics and pharmacokinetics of inositol(s) in health and disease. *Expert Opinion on Drug Metabolism & Toxicology*, 12(10), 1181-1196.
- [26] Lee, S. A., & Bedford, M. R. (2016). Inositol - An effective growth promotor? *World's Poultry Science Journal*, 72(4), 743-760.
- [27] López-Gambero, A.J.; Sanjuan, C.; Serrano-Castro, P.J.; Suárez, J.; Rodríguez de Fonseca, F. The Biomedical Uses of Inositols: A Nutraceutical Approach to Metabolic Dysfunction in Aging and Neurodegenerative Diseases. *Biomedicines* 2020, 8, 295.
- [28] 齐亚伟, 刘浩驰, 刘继锋. 天然产物抑制晚期糖基化终末产物的研究进展 [J/OL]. *食品科学*, 1-25[2025-06-10]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20250305.1024.018.html>.
- [29] 曹义苗, 高宏旗, 高聪, 等. 高低海拔的山茶花活性成分及护肤功效研究 [J]. *日用化学品科学*, 2024, 47(01): 29-32. DOI: 10.3969/j.issn.1006-7264.2024.01.006.
- [30] 岳开妍, 毛丙永, 唐鑫, 等. 乳酸菌发酵对花生衣抗糖化缓解皮肤衰老功能的影响 [J]. *上海理工大学学报*, 2024, 46(04): 364-374. DOI: 10.13255/j.cnki.jusst.20240204001.
- [31] 夏俊英, 余海霞, 戚仕梅, 等. 长双歧杆菌胞外多糖对非酶糖基化的抑制作用 [J]. *生物学杂志*, 2024, 41(05): 6-13+47.
- [32] 王楠, 章涵钰, 楼博, 等. 甲鱼抗氧化肽对非酶糖基化反应及其终产物的抑制作用 [J]. *中国食品学报*, 2022, 22(02): 58-64. DOI: 10.16429/j.1009-7848.2022.0