

# 辐照对红景天提取物活性成分及降血糖作用的影响

## Effect of irradiation on active components of *Rhodiola rosea* extracts and their hypoglycemic ability

曲 孟<sup>1</sup> 常艳秋<sup>1</sup> 齐 欣<sup>2</sup> 崔承弼<sup>1,2</sup>

QU Meng<sup>1</sup> CHANG Yan-qiu<sup>1</sup> QI Xin<sup>2</sup> CUI Cheng-bi<sup>1,2</sup>

(1. 延边大学农学院, 吉林 延吉 133002; 2. 延边大学药学院, 吉林 延吉 133002)

(1. Agricultural College of Yanbian University, Yanji, Jilin 133002, China;

2. School of Pharmacy, Yanbian University, Yanji, Jilin 133002, China)

**摘要:**目的:研究经辐照处理的红景天提取物(RRE)中活性成分的变化及其降血糖作用。方法:分别用 5, 10, 20, 30 kGy 辐照剂量的<sup>60</sup>Co- $\gamma$  射线对红景天进行辐照处理。通过高效液相色谱法(HPLC)对辐照前(0 kGy)后 RRE 化合物进行分析,对用链脲佐菌素(STZ)腹腔注射建立的 1 型糖尿病小鼠模型进行灌胃,定期测定小鼠体重、空腹血糖值、摄食量和饮水量,最后 1 d 测定口服葡萄糖耐量,解剖后测定脏器系数、血清总胆固醇(TC)、糖化血红蛋白(GHb)、总甘油三酯(TG)、丙二醛(MDA)、超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)的含量。结果:辐照后的 RRE 中红景天苷的含量均显著减少( $P < 0.05$ ),在 5, 10, 20 kGy 时络塞维的含量显著增加( $P < 0.05$ ),在 20 kGy 时检测到酪醇。与模型组相比,灌胃辐照处理的 RRE 后小鼠体重有所增长,摄食量、饮水量和血糖水平降低而食物利用率显著提高( $P < 0.05$ ),TC、GHb、TG 和 MDA 水平显著降低( $P < 0.05$ ),而 SOD 和 CAT 活力显著提高( $P < 0.05$ ),脏器肿大的现象得到改善,在 20 kGy 时效果较好,且与其他辐照剂量存在显著性差异( $P < 0.05$ )。结论:辐照处理后 RRE 中化合物组成及含量产生变化,辐照前后 RRE 均能够降低 1 型糖尿病小鼠的糖尿病水平,且在 20 kGy 的辐照剂量时效果较好。

**关键词:**1 型糖尿病;辐照;红景天;降血糖

**Abstract:** Objective: This study aimed to study the changes of active components in irradiated *Rhodiola rosea* extracts (RRE) and their hypoglycemic effect. Methods: *Rhodiola rosea* was

irradiated with <sup>60</sup>Co- $\gamma$  rays at doses of 5, 10, 20 and 30 kGy, respectively. High performance liquid chromatography (HPLC) was used to analyze RRE compounds before (0 kGy) and after irradiation. The type 1 diabetic mouse models established by intraperitoneal injection of Streptozotocin (STZ) were given a gavage. The body weight, fasting blood glucose, food intake and water intake of mice were measured regularly. Oral glucose tolerance was measured on the last day, after dissection, organ coefficient, serum total cholesterol (TC), glycosylated hemoglobin (GHb), total triglyceride (TG), malondialdehyde (MDA), superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) were measured. Results: The content of salidroside in RRE was significantly decreased after irradiation ( $P < 0.05$ ), and the content of loxavir was significantly increased at 5, 10 and 20 kGy ( $P < 0.05$ ). Tyrosol was detected at 20 kGy. Compared with the model group, the body weight of mice was given a gavage with irradiation RRE was increased, the food intake, water intake and blood glucose level decreased, and the food utilization rate increased significantly ( $P < 0.05$ ). The levels of TC, GHb, TG and MDA were significantly decreased ( $P < 0.05$ ), while the activities of SOD and CAT were significantly increased ( $P < 0.05$ ). The phenomenon of organ swelling was improved, and the effect was better at 20 kGy, and there was a significant difference with other irradiation doses ( $P < 0.05$ ). Conclusion: The composition and content of RRE compounds changed after irradiation, and RRE can reduce the level of diabetes in type 1 diabetic mice before and after irradiation. The irradiation dose of 20 kGy is effective.

**Keywords:** type 1 diabetes; irradiation; *Rhodiola rosea*; hypoglycemic

基金项目:吉林省科技发展技术项目(编号:20220202041NC)

作者简介:曲孟,女,延边大学在读硕士研究生。

通信作者:崔承弼(1968—),男,延边大学教授,博士。

E-mail: Cuichengbi@ybu.edu.cn

收稿日期:2022-05-21 改回日期:2022-09-16

糖尿病已经成为了世界范围内威胁人类健康的主要慢性病之一<sup>[1]</sup>,其中 1 型糖尿病多发于儿童和青少年<sup>[2]</sup>,

发病原因主要是机体内胰岛 $\beta$ 细胞受损,丧失合成胰岛素的功能,最终引发糖代谢紊乱,使血糖水平居高不下<sup>[3]</sup>。糖尿病患者需终身注射(服用)胰岛素药物并面对因此带来的不良反应<sup>[4]</sup>。

红景天(*Rhodiola rosea* L.)系景天科多年生草本或亚灌木植物<sup>[5]</sup>,从红景天根部提取出的活性物质主要分为红景天苷、酪醇、络塞维、槲皮素、肉桂醇、多糖等,其中红景天苷和酪醇是红景天质量的评价指标,而络塞维是红景天的特有成分<sup>[6]</sup>。红景天的活性成分具有抗炎<sup>[7]</sup>、肝保护<sup>[8]</sup>、抗氧化<sup>[9]</sup>、抗疲劳<sup>[10]</sup>、抗衰老<sup>[11]</sup>等功效。有研究<sup>[12]</sup>表明,红景天中的活性成分红景天苷可通过抑制炎症发挥保护 $\beta$ 细胞,改善胰岛素抵抗作用从而达到降低血糖的目的。还有研究<sup>[13]</sup>表明,红景天通过调节相关抗氧化酶的活性进而改善糖尿病模型动物氧化应激状态,从而达到抗糖尿病的作用。

食品辐照技术是一项安全、无污染对食品品质风味影响小的食品保藏技术<sup>[14]</sup>。其中<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线辐照灭菌法近年来在中药灭菌中得到越来越广泛的应用<sup>[15]</sup>。有研究<sup>[16]</sup>发现,辐照能使提取物活性成分发生变化,如辐照处理能提升人参皂苷的含量,增加其活性,包括肿瘤抑制、抗转移、抗癌、保肝、神经保护和免疫刺激活动。但目前尚无辐照处理红景天提取物的降血糖方面的研究。

研究拟采用不同辐照剂量<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线对红景天进行辐照处理,通过HPLC分析辐照前(0 kGy)后RRE化合物并对1型糖尿病小鼠进行体内试验,研究其降血糖作用及对相关指标的变化,以期对辐照红景天提取物在降血糖作用上的研究提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料和仪器

#### 1.1.1 材料和试剂

高山红景天:由长白山科学研究院提供,并于四川省原子能研究院进行辐照处理;

无水乙醇:分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;

红景天苷标准品、酪醇标准品、络塞维标准品:色谱级( $\geq 98\%$ ),上海源叶生物科技有限公司;

甲醇、乙腈、2-丙醇:色谱级( $\geq 99.9\%$ ),北京经科宏达生物技术有限公司;

链脲佐菌素(STZ):纯度 $\geq 98\%$ ,美国Sigma公司;

盐酸二甲双胍缓释片:0.5 g/片,天方药业有限公司;

葡萄糖:药用级,潍坊盛泰药业有限公司;

总胆固醇(TC)试剂盒、甘油三酯(TG)试剂盒、糖化血红蛋白(GHb)试剂盒、丙二醛(MDA)试剂盒、过氧化氢酶(CAT)试剂盒、超氧化物歧化酶(SOD)试剂盒:南京建成生物工程研究所。

### 1.1.2 主要仪器设备

电热恒温水浴锅:HWS-24型,上海百典仪器设备有限公司;

电子分析天平:JJ-BC型,生工生物工程(上海)股份有限公司;

医用离心机:TDZ5-WS型,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;

冷凝器:CCA-1111-CE型,东京理化器械株式会社;

水浴锅:OSB-2100-CE型,东京理化器械株式会社;

旋蒸支架:N-1110型,东京理化器械株式会社;

真空泵:DTC-22B型,日本Uluac Kiko公司;

冷冻干燥机:LyoQuest-85实验型,西班牙Telstar集团;

高效液相色谱仪:安捷伦1290+型,美国安捷伦科技有限公司;

多功能荧光酶标仪:SP-Max3500FL型,上海闪谱生物科技有限公司。

## 1.2 方法

1.2.1 红景天的辐照处理 将高山红景天根送于四川省原子能研究院,以<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线作为辐射源,依次按照0,5,10,20,30 kGy的辐照剂量进行处理。

1.2.2 辐照红景天提取物的制备 红景天粉碎处理后,过60目筛,用70%乙醇按照 $m_{\text{红景天粉}}:V_{\text{乙醇}}=1:10$  (g/mL)的料液比在80℃水浴中浸提1 h后,3 000 r/min离心20 min,汇集上清液,沉淀物按照上述条件再次提取,共提取3次,将其蒸发浓缩后放入-80℃冰箱中冷冻12~24 h后,冷冻干燥24 h后研磨成粉末,常温下密封保存,以备后续试验使用。

1.2.3 提取物活性成分 采用高效液相色谱法(HPLC)。称量不同辐照剂量RRE粉末50 mg,用甲醇定容,体积为5 mL,配制成10 mg/mL的溶液,装入1.5 mL进样瓶中前用0.45  $\mu$ m滤膜过滤。以C<sub>18</sub>色谱柱为固定相,柱温40℃,进样体积10  $\mu$ L,流动相恒定流量1.0 mL/min,流动相A为水,流动相B为乙腈,将A、B两个流动相按照设定体积比梯度洗脱,开始时 $V_{\text{流动相A}}:V_{\text{流动相B}}$ 为95:5,25 min时 $V_{\text{流动相A}}:V_{\text{流动相B}}$ 为85:15,50 min时 $V_{\text{流动相A}}:V_{\text{流动相B}}$ 为78:22,红景天苷和酪醇在275 nm的紫外波长下进行检测,络塞维在254 nm的紫外波长下进行检测<sup>[17]</sup>。

1.2.4 1型糖尿病动物模型的建立及分组 将7周龄体重为18~22 g的C57BL/6雄性小鼠50只按照每组6只的数量随机分成8组,分别记为正常组、模型组、阳性对照组(阳性组)、0 kGy组、5 kGy组、10 kGy组、20 kGy组、30 kGy组,称重,并于延边大学食品研究中心动物室喂养,喂养条件为室内湿度(55 $\pm$ 5)%,室温(24 $\pm$ 1)℃,对小鼠适应性喂养1周后,称重,正常饮水但禁食6 h

(8:00—14:00),测定空腹血糖水平并记录。隔天所有小鼠禁食不禁水 12 h,注射 STZ,剂量为 50 mg/kg。注射结束 1 h 后对所有小鼠恢复饮食,并于 20:00 继续禁食,接连 5 d 腹腔注射 STZ 来建立 1 型糖尿病模型。造模的小鼠全部进行 1 周的正常喂养后,正常饮水但禁食 6 h 后进行空腹血糖值的测定,数值>11.1 mmol/L 即认定建模成功<sup>[18]</sup>,将建模不成功的剔除。

1.2.5 动物试验流程 成功造模后,按照表 1 每天对小鼠进行灌胃给药,试验期间每周固定时间测定空腹血糖值,灌胃 6 周后,最后 1 d 测定小鼠的空腹血糖值,以及口服葡萄糖耐量试验,于 21:00 到次日 9:00 禁食。禁食结束后,先眼球取血后把血液放于 1.5 mL EP 管中,之后将其脱颈处死,解剖,取心、肝、脾、肾 4 个脏器,处理后称重并记录。在 4 000 r/min 的转速下离心 5 min 后取上清液,以备后续使用。

1.2.6 小鼠体重、摄食量、饮水量及脏器系数测定 小鼠适应环境喂养 1 周后,记录体重、饮水量以及饲料使用量,造模成功后,再次测量体重并记录,进行灌胃之后,每隔 1 d 测量体重并记录,小鼠处死前最后一次称重并记录,解剖,将心、肝、脾、肾 4 个脏器取出后测量其重量并记录、计算各脏器系数。

1.2.7 小鼠空腹血糖值测定 测定时,将小鼠尾尖剪开

后擦掉第 1 滴血用第 2 滴血进行测定,测定后用 75%酒精处理尾部伤口来达到消毒的目的,并将小鼠放回原笼。

1.2.8 口服葡萄糖耐量试验 在为期 6 周的灌胃后,首先测定所有小鼠的空腹血糖,然后经口灌胃质量分数为 40%的葡萄糖溶液,分别在灌胃葡萄糖溶液后的 0.0,0.5,1.0,1.5,2.0 h 时测定小鼠血糖水平。

1.2.9 小鼠血液 TC、TG、GHb、MDA、CAT、SOD 水平测定 将解剖后存放的血清按照试剂盒说明书进行操作。

1.2.10 数据分析 用 Microsoft Excel 2010 对数据进行处理,并用  $\bar{X} \pm S$  表示,用 SPSS 19.0 对数据进行统计学分析,采用单因素方差分析 ONE-WAY-ANOVA 方法,多重比较选用 LSD 和 Duncan,  $P < 0.05$  表示具有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 辐照红景天提取物得率

辐照剂量分别为 0 kGy 组、5 kGy 组、10 kGy 组、20 kGy 组和 30 kGy 组时辐照红景天提取物得率分别为 31.33%,31.32%,31.31%,31.31%,31.33%,各辐照剂量下用 70%乙醇提取红景天得到的提取物的得率之间无显著性差异( $P > 0.05$ )。

2.2 辐照对 RRE 中主要活性成分的影响

图 1 和图 2 分别为 275 nm 和 254 nm 紫外波长下红景天标准品和 RRE 的 HPLC 图谱。由图 2 可知,在<sup>60</sup>Co-γ 射线辐照处理后,RRE 的活性成分发生了变化。由表 2 可知,与未辐照 RRE 相比,辐照处理后红景天苷的含量显著减少( $P < 0.05$ );在 5,10,30 kGy 处理的样品中未检测出酪醇,在 20 kGy 处理的样品中检测出酪醇;样品经 5,10,20 kGy 处理时络塞维的含量显著提高( $P < 0.05$ );经 20 kGy 处理时红景天苷、酪醇以及络塞维三者含量之和显著高于其他辐照剂量处理的( $P < 0.05$ )。推测可能因为其他化合物在 20 kGy 时转化成为酪醇,所以在 20 kGy 处理的样品中检测到酪醇。其次红景天苷、酪醇和络塞维可能对 20 kGy 的辐照剂量较敏感,所以成分含量之和显著高于其他辐照剂量组。

表 1 不同辐照剂量 RRE 降血糖作用动物试验分组

Table 1 Hypoglycemic effects of RRE at different radiation doses in test animal groups

| 组别       | 试剂         | 剂量/(mg · kg <sup>-1</sup> ) |
|----------|------------|-----------------------------|
| 正常组      | 蒸馏水        | —                           |
| 模型组      | 蒸馏水        | —                           |
| 阳性组      | 盐酸二甲双胍     | 260                         |
| 0 kGy 组  | 0 kGy RRE  | 300                         |
| 5 kGy 组  | 5 kGy RRE  | 300                         |
| 10 kGy 组 | 10 kGy RRE | 300                         |
| 20 kGy 组 | 20 kGy RRE | 300                         |
| 30 kGy 组 | 30 kGy RRE | 300                         |

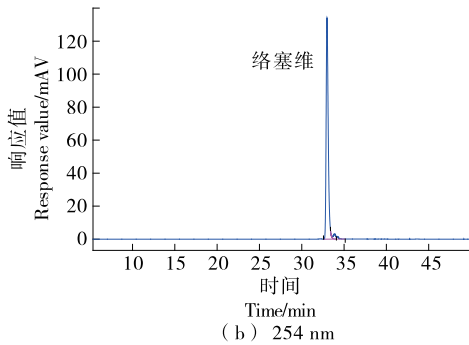
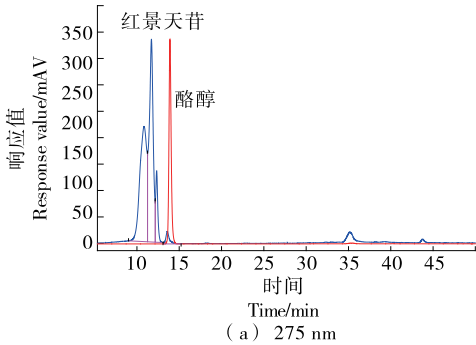


图 1 275 nm 和 254 nm 波长下红景天标准品的 HPLC 图谱

Figure 1 HPLC chromatogram of *Rhodiola rosea* standards at 275 nm and 254 nm

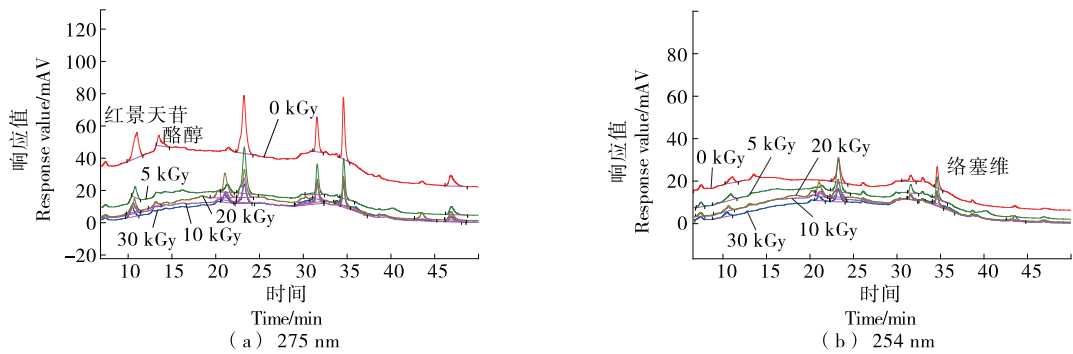


图 2 275 nm 和 254 nm 波长下 RRE 的 HPLC 图谱  
Figure 2 HPLC chromatogram of RRE at 275 nm and 254 nm

表 2 辐照前后 RRE 中红景天苷、酪醇和络塞维含量的变化<sup>†</sup>

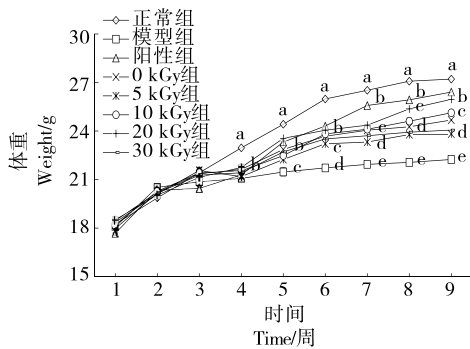
Table 2 Changes in the content of salidroside, tyrosol and rosin in RRE before and after irradiation

| 辐照剂量/kGy | 红景天苷/(mg·g <sup>-1</sup> )    | 酪醇/(mg·g <sup>-1</sup> )     | 络塞维/(mg·g <sup>-1</sup> )    | 三者之和/(mg·g <sup>-1</sup> )    |
|----------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 0        | 14.080 2±0.000 6 <sup>a</sup> | 0.912 2±0.000 4 <sup>a</sup> | 0.388 7±0.000 4 <sup>d</sup> | 15.381 1±0.001 3 <sup>a</sup> |
| 5        | 7.870 3±0.000 6 <sup>e</sup>  | —                            | 0.484 0±0.000 3 <sup>b</sup> | 8.354 3±0.000 9 <sup>e</sup>  |
| 10       | 11.737 8±0.000 7 <sup>c</sup> | —                            | 0.553 7±0.000 5 <sup>a</sup> | 12.291 5±0.001 2 <sup>c</sup> |
| 20       | 13.555 6±0.000 5 <sup>b</sup> | 0.798 9±0.000 3 <sup>b</sup> | 0.391 0±0.000 4 <sup>c</sup> | 14.745 5±0.001 2 <sup>b</sup> |
| 30       | 11.302 6±0.000 6 <sup>d</sup> | —                            | 0.303 3±0.000 5 <sup>e</sup> | 11.605 9±0.000 8 <sup>d</sup> |

<sup>†</sup> 小写字母不同表示差异显著( $P<0.05$ );“—”表示未检出。

2.3 辐照处理 RRE 对模型小鼠体重、摄食量、饮水量和食物效价的影响

由图 3 可以看出,造模成功的小鼠体重低于正常组,并存在显著性差异( $P<0.05$ ),用 RRE 和盐酸二甲双胍灌胃后,随灌胃次数增加,各给药组小鼠体重都有所增加,但仍显著低于正常组( $P<0.05$ ),第 9 周时,20 kGy 组的小鼠体重显著高于其他辐照剂量组的( $P<0.05$ )。表明 RRE 可以改善 1 型糖尿病小鼠体重减轻的症状,并且在 20 kGy 时对 1 型糖尿病小鼠体重改善效果较好。张露等<sup>[18]</sup>对辐照处理后的桦褐孔菌多糖的降血糖作用进行研究时,也发现桦褐孔菌多糖能够改善糖尿病小鼠的糖尿病症状,使小鼠体重减轻的症状得到改善。



小写字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )

图 3 RRE 对小鼠体重的影响

Figure 3 Effects of RRE on body weight of mice

从图 4 可以看出,注射 STZ 的各组小鼠的体重增量低于正常组,且存在显著性差异( $P<0.05$ ),注射 STZ 的各组小鼠摄食量和饮水量均显著高于正常组的( $P<0.05$ ),但食物效价低于正常组并存在显著性差异( $P<0.05$ ),灌胃 RRE 的各组小鼠的摄食量和饮水量显著低于模型组( $P<0.05$ )而食物效价显著高于模型组( $P<0.05$ ),灌胃 20 kGy RRE 的小鼠的食物效价显著高于灌胃其他辐照剂量的( $P<0.05$ ),与刘素欣等<sup>[19]</sup>发现 RRE 能够改善 1 型糖尿病小鼠的饮食状态,提高 1 型糖尿病小鼠的食物利用率的试验结果一致,并且 20 kGy 的 RRE 对于小鼠饮食状态的改善效果较好。

在试验过程中 1 型糖尿病小鼠表现出了饮水量、饮水量以及排尿量过多而体重下降的现象,并且其对食物的利用率要低于正常组小鼠。试验期间,注射 STZ 的 1 型糖尿病小鼠有时会表现出萎靡不振,毛色干燥,灌胃给药后,小鼠的精神状态好转,随着灌胃给药,毛色由干燥转变为黑光油亮;模型组小鼠的垫料明显潮湿,灌胃给药后,给药组小鼠的垫料潮湿情况有所改善,所以说明 RRE 能够改善小鼠的身体、精神状态和垫料潮湿情况,并且 20 kGy 的 RRE 效果最好。

2.4 辐照处理前后的 RRE 对小鼠空腹血糖值的影响

由图 5 可知,建模后,与正常组相比,模型组空腹血糖水平显著上升( $P<0.05$ ),经不同辐照剂量 RRE 灌胃后,各组小鼠空腹血糖水平均有所改善,且 20 kGy 组水



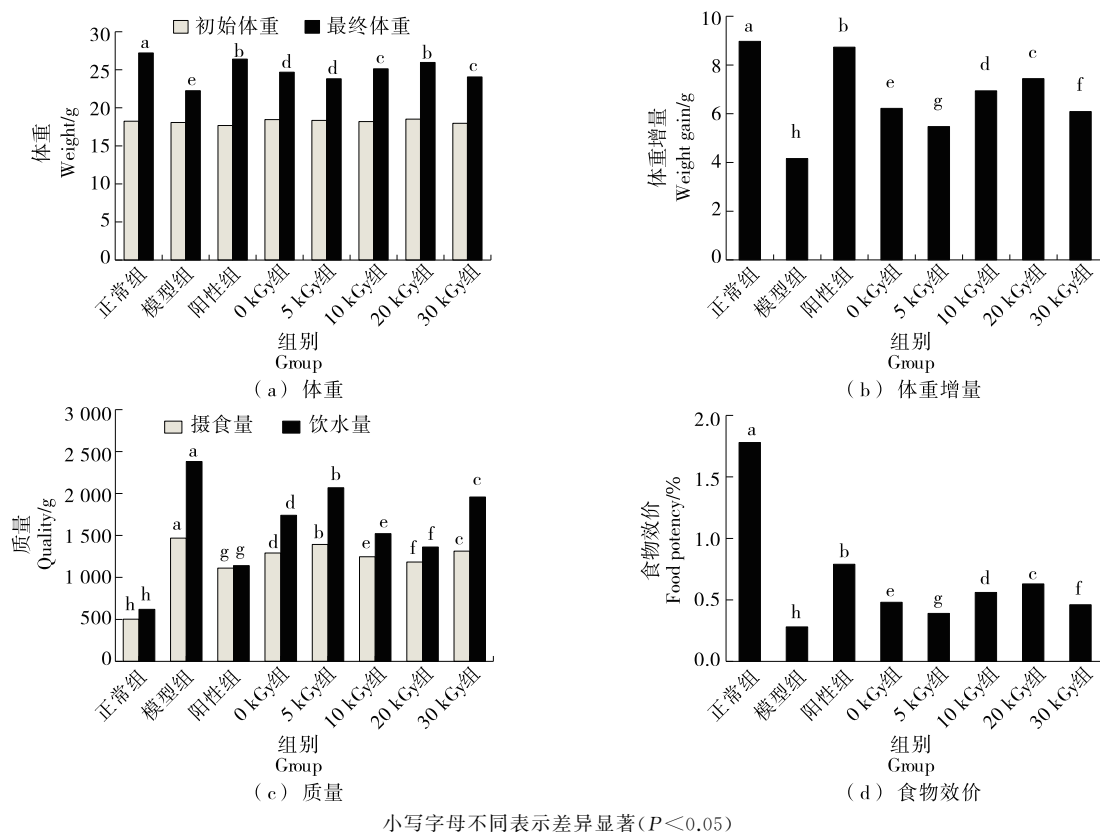


图 4 RRE 对小鼠摄食量、饮水量和食物效价的影响

Figure 4 Effects of RRE on food intake, water intake and food titer in mice

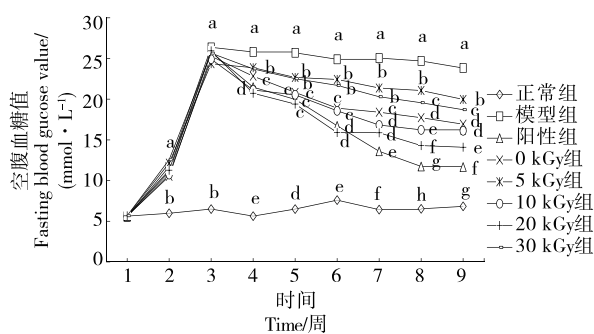
小写字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

图 5 RRE 对小鼠空腹血糖值的影响

Figure 5 Effects of RRE on fasting blood glucose in mice

平显著低于模型组 ( $P < 0.05$ ), 同时显著低于其他各辐照剂量组 ( $P < 0.05$ )。表明 RRE 能够降低 1 型糖尿病小鼠空腹血糖水平, 并且 20 kGy 的 RRE 降血糖效果优于其他辐照剂量的。

## 2.5 RRE 对小鼠口服葡萄糖耐量的影响

由图 6(a)可知, 经口灌胃葡萄糖溶液后, 正常组小鼠血糖水平缓慢上升, 其余组别小鼠血糖水平急剧上升, 在 0.5 h 时达到最大, 0.5 h 以后所有组别小鼠血糖水平逐渐下降, 在 2 h 时 20 kGy 组的小鼠血糖水平接近灌胃葡萄

糖之前的水平, 与 0.5 h 时的血糖水平相比, 2 h 时 20 kGy 组的小鼠血糖水平下降了 41.24%, 下降幅度仅次于阳性组且高于其他辐照剂量组, 所有给药组小鼠的血糖值均显著低于模型组 ( $P < 0.05$ )。由图 6(b)可知, 与模型组相比灌胃 RRE 的小鼠糖耐量显著提高 ( $P < 0.05$ ), 并且 20 kGy 组的糖耐量显著高于其他辐照剂量组的 ( $P < 0.05$ )。因此 RRE 能够改善由 STZ 导致的小鼠的糖耐量损伤, 并且 20 kGy 的 RRE 对小鼠糖耐量的改善效果较好, 表明其具有提高 STZ 诱导的 1 型糖尿病小鼠抗高血糖的潜力。

## 2.6 RRE 对小鼠血液 TC、TG、GHb、MDA、CAT 和 SOD 的影响

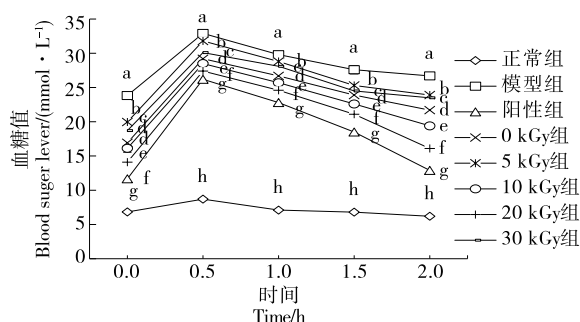
糖尿病病人机体胰岛素本身不足会导致脂蛋白脂肪酶活性下降, 从而引起其对 TG 的水解能力减弱, 致使与 TG 相关的脂蛋白出现代谢障碍, 使 TG 含量升高而高密度脂蛋白 (HDL) 含量减少, 进而使 HDL 从周围组织中将胆固醇转运至肝脏的能力减弱, 导致体内胆固醇因不能转化和排泄而使 TC 含量升高<sup>[20]</sup>。由图 7(a)和图 7(b)可知, 注射 STZ 的小鼠其血清中 TC 和 TG 含量显著高于正常组 ( $P < 0.05$ ), 灌胃 RRE 后, 灌胃的各组小鼠其血清中 TC 和 TG 含量显著低于模型组的 ( $P < 0.05$ ), 并且

20 kGy 组血清中的 TC 和 TG 含量显著低于其他辐照剂量组的 ( $P<0.05$ )。表明 RRE 能够降低 STZ 诱导的 1 型糖尿病小鼠血清中 TC 和 TG 的含量,并且 20 kGy 的 RRE 降低 TC 和 TG 含量的效果较好。

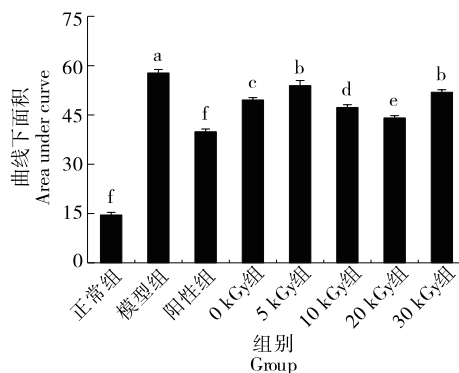
由图 7(c)可知,注射 STZ 的 1 型糖尿病小鼠 GHb 含量显著高于正常组 ( $P<0.05$ ),灌胃 RRE 的各组小鼠血清中 GHb 含量低于模型组并存在显著性 ( $P<0.05$ ),其中 20 kGy 组小鼠 GHb 含量显著低于灌胃其他辐照剂量的 ( $P<0.05$ ),表明 RRE 能够降低由 STZ 诱导的 1 型糖尿病小鼠糖化血红蛋白的含量,并且 20 kGy 的 RRE 降

低糖化血红蛋白含量的效果较好。

MDA、CAT 与 SOD 在机体中具有较强的抗氧化能力,压制氧自由基的生成,可降低其对细胞的伤害,并且可以降低 MDA 的生成量<sup>[21]</sup>。由图 7(d)~图 7(f)可知,注射 STZ 的小鼠血清中 MDA 含量高于正常组并存在显著性差异 ( $P<0.05$ ),CAT 和 SOD 活力显著低于正常组 ( $P<0.05$ ),与模型组相比灌胃 RRE 的各组小鼠血清中 MDA 含量显著降低 ( $P<0.05$ )而 CAT 和 SOD 活力显著提高 ( $P<0.05$ ),20 kGy 组小鼠血清中 MDA 含量显著低于其他辐照剂量的 ( $P<0.05$ ),CAT 和 SOD 活力显著高



(a) 血糖值

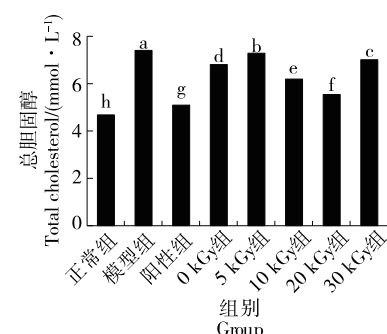


(b) 曲线下面积

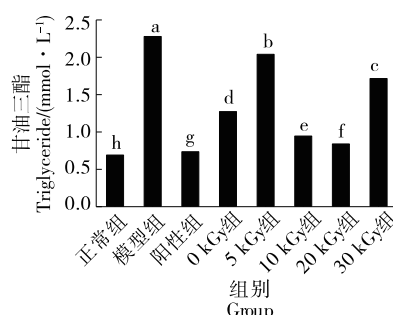
小写字母不同表示差异显著 ( $P<0.05$ )

图 6 RRE 对小鼠口服葡萄糖耐量的影响

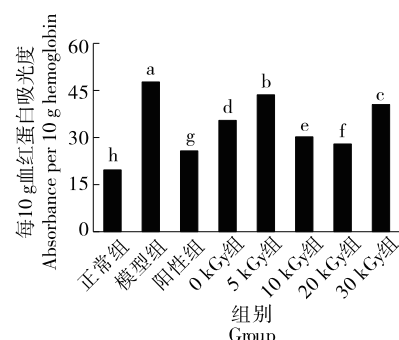
Figure 6 Effects of RRE on oral glucose tolerance in mice



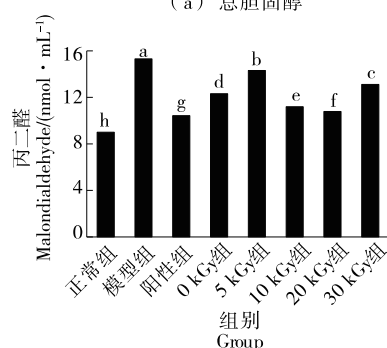
(a) 总胆固醇



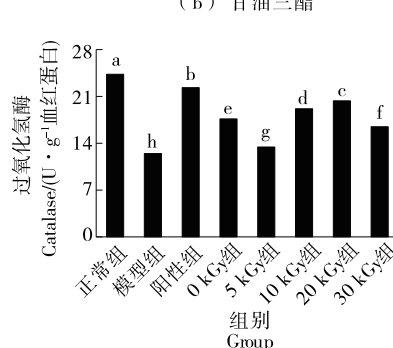
(b) 甘油三酯



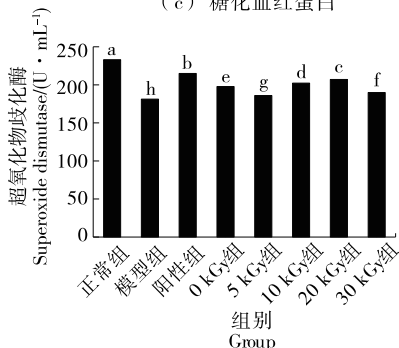
(c) 糖化血红蛋白



(d) 丙二醛



(e) 过氧化氢酶



(f) 超氧化物歧化酶

小写字母不同表示差异显著 ( $P<0.05$ )

图 7 RRE 对小鼠血液 TC、TG、GHb、MDA、CAT 和 SOD 的影响

Figure 7 Effects of RRE on blood TC, TG, GHb, MDA, CAT and SOD in mice

于其他辐照剂量的( $P<0.05$ )。因此 RRE 能够降低 STZ 诱导的 1 型糖尿病小鼠血清内 MDA 含量,并提高 CAT 和 SOD 活力,表明 RRE 能够提高 1 型糖尿病小鼠的抗氧化能力,具有降血糖的效果。20 kGy 辐照处理的 RRE 的抗氧化效果较好。

### 2.7 RRE 对小鼠脏器系数的影响

由表 3 可知,注射 STZ 建模后,模型组小鼠脾脏脏器系数与正常组相比不存在显著性差异( $P>0.05$ ),表明 STZ 未造成小鼠脾脏的肿大,并且灌胃 RRE 的小鼠脾脏与正常组相比也无显著性差异( $P>0.05$ ),说明 RRE 不会对小鼠脾脏造成伤害。但在建模后,注射 STZ 的小鼠心、肝、肾的脏器系数高于正常组并存在显著性差异( $P<0.05$ ),经口灌胃 RRE 的小鼠其心、肝、肾的脏器系数显著小于模型组( $P<0.05$ ),表明 RRE 能够缓解 1 型糖尿病小鼠脏器肿大的现象。在灌胃 RRE 的组别中,20 kGy 组的脏器系数显著低于其他辐照剂量的( $P<0.05$ ),说明 20 kGy 辐照处理的 RRE 缓解 1 型糖尿病小鼠脏器肿大的效果较好。

表 3 RRE 对小鼠脏器系数的影响<sup>†</sup>

Table 3 Effects of RRE on the organ coefficient of mice %

| 组别       | 心脏                     | 肝脏                     | 脾脏                     | 肾脏                     |
|----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 正常组      | 0.75±0.03 <sup>h</sup> | 4.23±0.15 <sup>h</sup> | 0.37±0.04 <sup>a</sup> | 1.48±0.03 <sup>h</sup> |
| 模型组      | 0.92±0.04 <sup>a</sup> | 5.29±0.19 <sup>a</sup> | 0.37±0.09 <sup>a</sup> | 2.21±0.05 <sup>a</sup> |
| 阳性组      | 0.77±0.02 <sup>f</sup> | 4.75±0.08 <sup>g</sup> | 0.36±0.06 <sup>a</sup> | 1.52±0.02 <sup>g</sup> |
| 0 kGy 组  | 0.83±0.01 <sup>e</sup> | 4.92±0.06 <sup>d</sup> | 0.38±0.01 <sup>a</sup> | 1.86±0.07 <sup>d</sup> |
| 5 kGy 组  | 0.87±0.01 <sup>b</sup> | 5.17±0.03 <sup>b</sup> | 0.36±0.05 <sup>a</sup> | 2.08±0.08 <sup>b</sup> |
| 10 kGy 组 | 0.80±0.02 <sup>d</sup> | 4.87±0.01 <sup>e</sup> | 0.38±0.02 <sup>a</sup> | 1.75±0.03 <sup>e</sup> |
| 20 kGy 组 | 0.79±0.01 <sup>e</sup> | 4.81±0.04 <sup>f</sup> | 0.36±0.03 <sup>a</sup> | 1.61±0.01 <sup>f</sup> |
| 30 kGy 组 | 0.86±0.01 <sup>b</sup> | 5.08±0.02 <sup>c</sup> | 0.38±0.07 <sup>a</sup> | 1.93±0.02 <sup>c</sup> |

† 小写字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

## 3 结论

不同辐照剂量的<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 射线处理会影响红景天提取物活性成分,改善其对 1 型糖尿病小鼠相关指标的水平,降血糖作用显著,且 20 kGy 时效果最佳。但该试验仅研究了辐照剂量对降血糖效果的影响,后续将进一步研究最佳辐照剂量下的降血糖作用,并通过体内试验探讨其降血糖机制。

### 参考文献

[1] 郭飞. 研究临床糖尿病诊断中常规检验和生化检验的应用价值[J]. 名医, 2018(8): 108.  
GUO F. To study the application value of routine tests and biochemical tests in clinical diabetes diagnosis[J]. Famous Doctor, 2018 (8): 108.

[2] 杨中策, 董林涛, 潘俐, 等. 中国暴发 1 型糖尿病患者临床特点的 Meta 分析[J]. 中国循证医学杂志, 2022, 22(8): 891-895.  
YANG Z C, DONG L T, PAN L, et al. Clinical characteristics of Chinese patients with fulminant type 1 diabetes mellitus: A meta-analysis[J]. Chinese Journal of Evidence-Based Medicine, 2022, 22 (8): 891-895.

[3] 陈换换, 张小莉, 宋超杰, 等. 以肠道菌群为靶点防治 1 型糖尿病的研究进展[J]. 现代免疫学, 2022, 42(5): 434-440.  
CHEN H H, ZHANG X L, SHONG C J, et al. Advances in the prevention and treatment of type 1 diabetes mellitus by targeting intestinal microbiota[J]. Current Immunology, 2022, 42(5): 434-440.

[4] 郭文倩. 糖尿病患者药物治疗不良反应发生情况分析[J]. 继续医学教育, 2022, 36(1): 133-136.  
GOU W Q. Analysis on the occurrence of adverse drug reactions in diabetic patients[J]. Continuing Medical Education, 2022, 36(1): 133-136.

[5] 任卫合, 罗龙龙, 蔡林海, 等. 红景天抗缺氧损伤作用的研究进展[J]. 中成药, 2022, 44(9): 2 911-2 916.  
REN W H, LUO L L, CAI L H, et al. Progress in the anti-hypoxic damage effects of Rhodiola rosea [J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2022, 44(9): 2 911-2 916.

[6] 李永盛, 费秀兰, 刘永峰, 等. 西藏红景天中活性成分含量的影响因素分析[J]. 食品工业, 2019, 40(10): 186-191.  
LI Y S, FEI X L, LIU Y F, et al. Analysis of factors affecting the content of active compounds in Tibet Rhodiola[J]. The Food Industry, 2019, 40(10): 186-191.

[7] 杨泽霖, 黄鑫, 刘俊杰, 等. 红景天甘调控 PI3K/Akt 信号通路对 LPS 诱导的 BV2 小胶质细胞的抗炎作用[J]. 中国药理学通报, 2019, 35(8): 1 145-1 149.  
YANG Z L, HUANG X, LIU J J, et al. Anti-inflammatory effects of salidroside on LPS-induced BV2 microglia cells via PI3K/Akt signaling pathway[J]. Chinese Pharmacological Bulletin, 2019, 35(8): 1 145-1 149.

[8] 张立超, 王晨宇, 曹慧芳, 等. 红景天苷对梗阻性黄疸大鼠的肝保护作用及机制探讨[J]. 山东医药, 2015, 55(46): 32-33.  
ZHANG L C, WANG C Y, CAO H F, et al. Liver protective effect of salidroside on obstructive jaundice in rats and its mechanism[J]. Shandong Medical Journal, 2015, 55(46): 32-33.

[9] 孙熙洽, 齐欣, 崔承弼. 辐照红景天乙醇提取物的抗氧化作用及美白作用研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(23): 325-331.  
SUN X H, QI X, CUI C B. Antioxidant and whitening effects of ethanol extract from irradiated Rhodiola rosea[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(23): 325-331.

[10] 朴成浩. 辐照处理长白山红景天抗氧化和抗疲劳作用研究[D]. 延吉: 延边大学, 2020: 27.  
PIAO C H. Study on Anti-oxidation and anti-fatigue of Rhodiola rosea in changbai mountain by irradiation[D]. Yanji: Yanbian University, 2020: 27.

[11] 林晓月, 孙新. 红景天抗衰老作用机制研究进展[J]. 中国老年学杂志, 2018, 38(13): 3 299-3 300.

- LIN X Y, SUN X. Research progress on anti-aging mechanism of *Rhodiola rosea*[J]. Chinese Journal of Gerontology, 2018, 38(13): 3 299-3 300.
- [12] 鞠霖杰, 温小花, 舒雯. 红景天苷对胰岛  $\beta$  细胞保护作用研究及机制探讨[J]. 南京中医药大学学报, 2016, 32(5): 456-460.
- JIU L J, WEN X H, SHU L. Study on protective effects of salidroside on pancreatic  $\beta$ -cell survival [J]. Journal of Nanjing University of Chinese Medicine, 2016, 32(5): 456-460.
- [13] KIM S H, HYUN S H, CHOUNG S Y. Antioxidative effects of Cinnamomi cassiae and *Rhodiola rosea* extracts in liver of diabetic mice[J]. Biofactors, 2010, 26(3): 209-219.
- [14] 邓超, 邹朝晖. 辐照对食品营养成分的影响研究[J]. 食品安全导刊, 2022(2): 128-130.
- DENG C, ZHOU C H. Study on the effect of irradiation on the nutrient composition of food[J]. China Food Safety Magazine, 2022(2): 128-130.
- [15] 耿建暖. 食品辐照技术及其食品中的应用[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(15): 109-112.
- GENG J N. Food irradiation and its application in food processing[J]. Food Research and Development, 2013, 34(15): 109-112.
- [16] 齐仕博, 张露, 宋鑫萍, 等. 辐照对人参活性成分及其药理特性的影响研究进展[J]. 食品与机械, 2018, 34(11): 161-166, 199.
- QI S B, ZHANG L, SONG X P, et al. Research progress on the influence of irradiation on ginseng active components and pharmacological properties[J]. Food & Machinery, 2018, 34(11): 161-166, 199.
- [17] PESCHEL W, KUMP A, HORVÁTH A, et al. Age and harvest season affect the phenylpropanoid content in cultivated European *Rhodiola rosea* L.[J]. Industrial Crops and Products, 2016, 83: 787-802.
- [18] 张露, 姜欣, 金莉英, 等. 辐照处理对桦褐孔菌多糖降血糖作用的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(11): 143-147.
- ZHANG L, JIANG X, JIN L Y, et al. Effect of irradiation on the hypoglycemic effect of polysaccharide from *Foramen betulaeformis*[J]. Food & Machinery, 2020, 36(11): 143-147.
- [19] 刘素欣, 张露, 崔承弼. 红景天提取物的降血糖作用研究[J]. 延边大学农学学报, 2020, 42(2): 21-26.
- LIU S X, ZHANG L, CUI C B. Study on the hypoglycemic effect of *Rhodiola Rosea* extract[J]. Journal of Agricultural Science Yunnan University, 2020, 42(2): 21-26.
- [20] 王磊, 刘玮. 自拟大黄水蛭合剂对糖尿病患者 TG、TC、LDL-C 和 HDL-C 的影响[J]. 河北医药, 2016, 38(24): 3 776-3 778.
- WANG L, LIU W. Effect of self-made Rhubarb leech mixture on TG, TC, LDL-C and HDL-C in diabetic patients[J]. Hebei Medical Journal, 2016, 38(24): 3 776-3 778.
- [21] 张泽鹏, 徐兴军, 刘佳人, 等. 牡荆素对 1 型糖尿病小鼠体内抗氧化酶活性及相关基因表达的影响[J]. 天然产物研究与开发, 2022, 34(4): 623-629.
- ZHANG Z P, XU X J, LIU J R, et al. Effects of vitexin on activity of antioxidant enzymes and expression of related genes in type 1 diabetic mice[J]. Natural Product Research and Development, 2022, 34(4): 623-629.
- (上接第 129 页)
- [6] 任爽, 董文霞, 刘锦芳, 等. 食品运载体包埋姜黄素的研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(9): 264-274.
- REN S, DONG W X, LIU J F, et al. Research progress on encapsulation of curcumin in food delivery system[J]. Food Science, 2021, 42(9): 264-274.
- [7] CEBALLOS R L, OCHOA-YEPES O, GOYANES S, et al. Effect of yerba mate extract on the performance of starch films obtained by extrusion and compression molding as active and smart packaging[J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 244: 116495.
- [8] BAKOWSKA A, KUCHARSKA A Z, OSZMIANSKI J. The effects of heating, UV irradiation, and storage on stability of the anthocyanin-polyphenol copigment complex[J]. Food Chemistry, 2003, 81(3): 349-355.
- [9] ZHAI X D, ZOU X B, SHI J Y, et al. Amine-responsive bilayer films with improved illumination stability and electrochemical writing property for visual monitoring of meat spoilage[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2020, 302: 127130.
- [10] HE F, KONG Q, JIN Z H, et al. Developing a unidirectionally permeable edible film based on K-carrageenan and gelatin for visually detecting the freshness of grass carp fillets[J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 241: 116336.
- [11] ZHOU X, YU X Z, XIE F, et al. pH-responsive double-layer indicator films based on konjac glucomannan/camellia oil and carrageenan/anthocyanin/curcumin for monitoring meat freshness [J]. Food Hydrocolloids, 2021, 118: 106695.
- [12] RUAN C C, ZHANG Y M, WANG J J, et al. Preparation and antioxidant activity of sodium alginate and carboxymethyl cellulose edible films with epigallocatechin gallate[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 134: 1 038-1 044.
- [13] BALQIS A M I, KHAIZURA M A R N, RUSSLY A R, et al. Effects of plasticizers on the physicochemical properties of kappa-carrageenan films extracted from *Eucheuma cottonii* [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 103: 721-732.
- [14] ADILAH Z A M, JAMILAH B, HANANI I A N. Functional and antioxidant properties of protein-based films incorporated with mango kernel extract for active packaging[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 74: 207-218.
- [15] LIU Z, LIN D H, SHEN R, et al. Characterizations of novel konjac glucomannan emulsion films incorporated with high internal phase Pickering emulsions[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 109: 106088.
- [16] NURIA B, FERNANDO F, PILAR M. Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) myofibrillar protein concentrate for edible packaging films and storage stability[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 55(2): 543-550.