

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2020.01.010

文章编号:2095-6002(2020)01-0074-06

引用格式:李祥,张晓寒,韩英,等.黑米花青素延缓果蝇衰老作用研究[J].食品科学技术学报,2020,38(1):74-79.

LI Xiang, ZHANG Xiaohan, HAN Yin, et al. Delaying aging effect of black rice anthocyanin on *Drosophila melanogaster* [J]. Journal of Food Science and Technology, 2020,38(1):74-79.

# 黑米花青素延缓果蝇衰老作用研究

李祥<sup>1,2</sup>, 张晓寒<sup>1</sup>, 韩英<sup>1</sup>, 王浩<sup>1</sup>, 张泽生<sup>1,\*</sup>

(1. 天津科技大学 食品工程与生物技术学院, 天津 300457;

2. 盐城师范学院 海洋与生物工程学院, 江苏 盐城 224051)

**摘要:** 探究黑米花青素延缓衰老的能力及其作用机制。以2 d龄的野生型果蝇模型生物为研究对象, 饲喂添加不同质量浓度(0、1、5 mg/mL)黑米花青素的培养基, 采用寿命实验、饮水量检测和逆重力爬行实验方法研究黑米花青素对果蝇平均寿命和健康寿命的影响; 采用蓝精灵实验检测黑米花青素对果蝇肠道完整性的影响; 用荧光实时PCR测定果蝇体内抗氧化基因 *SOD*、*CAT*、*Rpn11* mRNA 表达量的变化。研究发现, 饲喂黑米花青素后果蝇平均寿命和健康寿命均高于对照组; 黑米花青素对果蝇肠道有一定的保护作用; 抗氧化基因 mRNA 表达水平显著提高 (*Cu/Zn-SOD*,  $P < 0.01$ ; *Mn-SOD*、*CAT* 和 *Rpn11*,  $P < 0.05$ )。研究认为, 黑米花青素延缓衰老的作用可能是通过上调内源性抗氧化基因来实现的。

**关键词:** 黑米花青素; 果蝇; 延缓衰老; 抗氧化; 生存实验

中图分类号: TS201.4

文献标志码: A

花青素属于黄酮类多酚物质, 在我们日常饮食中很常见, 尤其在红色、蓝色、黑色和紫色谷类、水果和蔬菜中<sup>[1]</sup>。花青素具有较强的清除氧自由基和抗氧化能力。近年来, 花青素因其对人类的健康作用引起科学家的广泛关注<sup>[2]</sup>。据报道, 从黑米<sup>[3]</sup>、蓝莓<sup>[4]</sup>、紫玉米<sup>[5]</sup>、黑豆<sup>[1]</sup>、紫甘薯<sup>[6]</sup>等食物中提取的花青素在降脂、抗氧化等方面有一定的功效。黑米中的花青素以矢车菊素-3-*O*-葡萄糖苷和芍药色素-3-*O*-葡萄糖苷为主要成分<sup>[3]</sup>。有研究表明花青素的抗氧化能力比维生素 C、维生素 E 和水溶性维生素 E (trolox) 强 3~5 倍<sup>[7]</sup>。Dias 等报道黑米花青素的饮食可以降低某些癌症、心脏病、糖尿病、阿尔兹海默症和帕金森等疾病的风险<sup>[8]</sup>。果蝇被认为是理想的抗衰老研究生物模型, 它生命周期短, 容易饲养和易繁殖, 并且和人类有许多共同的抗氧化系

统和代谢途径。因此, 本研究选用果蝇作为模型生物, 通过用黑米花青素 (black rice anthocyanin, BRA) 饲喂果蝇, 研究黑米花青素对其寿命的影响, 并进一步探究延缓衰老的作用机制。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

黑米花青素由天津尖峰天然产物研究院提供, 花青素成分质量分数为: cyanidin-3, 5-diglucoside (3.12%), cyanidin-3-*O*-glucoside (83.89%), petunidin-3-*O*-glucoside (5.45%); 野生型黑腹果蝇 (*Drosophila melanogaster*) 由笔者实验室提供; “蓝精灵” (smurf) 蓝色染料, 美国 Sigma 公司; cDNA 合成试剂盒、Trizol 试剂、SYBRgreen, 宝生物工程 (大连) 有限公司; 罗丹明 B 磺酸钠盐 (sulforhodamine B

收稿日期: 2019-01-10

基金项目: 国家自然科学基金应急管理项目(31540086)。

第一作者: 李祥, 男, 讲师, 博士研究生, 主要从事天然产物的生物活性及机理研究。

\* 通信作者: 张泽生, 男, 教授, 博士, 主要从事天然产物的生物活性及机理研究。

sodium salt,SRB),美国 Sigma-Aldrich 公司。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 果蝇基础培养基和实验培养基的配制

培养基的制作方法参考文献[9],即1000 mL 基础培养基中含葡萄糖 105 g、玉米粉 105 g、酵母 21 g、琼脂 13 g。培养基中添加  $w(4\text{-羟基苯甲酸乙酯})=0.4\%$ ,以防止霉菌生长。对照组培养基参照基础培养基,实验组培养基分别添加 1 mg/mL 或 5 mg/mL 的黑米花青素(分别记为 BRA1 和 BRA5)。

### 1.2.2 果蝇寿命实验

选用 2 d 龄羽化未交配果蝇 600 只,随机分为 3 组,每组 200 只。其中对照组以基础培养基饲养,实验组 BRA1 和 BRA5 分别用添加 1、5 mg/mL 黑米花青素的基础培养基饲养,于温度为  $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ ,湿度为 65%,交替 12 h 的光、暗恒温恒湿培养箱内培养,每 3 d 更换新鲜培养基并记录果蝇死亡状况,直至全部死亡。

### 1.2.3 果蝇体重的测定

体重变化被用作测定食物摄入量的指标。在饲养第 20 天和第 50 天,用  $\text{CO}_2$  麻醉果蝇,然后称量并计算果蝇平均体重。

### 1.2.4 果蝇味觉的测定

通过进行味觉测定测量果蝇的摄入量,方法参照文献[9]。即在饮食中添加可见染料罗丹明 B 磺酸钠盐,以测量胃发红,以评估食物摄入量。具体如下,在用蒸馏水浸泡的滤纸上饲养 60 只果蝇,共 3 管,禁食 24 h。随后,将果蝇放在含质量分数 0.2% 罗丹明 B 磺酸钠盐的培养基中 2 h。最后,采用从 0 级(无色腹部)到 5 级(完全红色腹部)的分级量表,通过双盲法评分法评估食物摄入量。

### 1.2.5 果蝇爬行能力测定

在果蝇饲养第 20 天和第 50 天时,对其运动能力进行分析,方法参照文献[10]。即在室温下,选

取每组 100 只果蝇,将果蝇转移至干净培养管,轻轻将果蝇抖落至瓶底,记录 30 s 内果蝇垂直向上爬行距离(测量分为 3 组,分别为小于 2 cm、2~4 cm、大于 4 cm),测试 3 次。

### 1.2.6 果蝇蓝精灵测定

收集同一时期果蝇 100 只,分别培养 20 d 和 50 d 后,按照 100 mL 培养基中添加 2 500 mg 的蓝色染料 1 号,在果蝇饲喂 9 h 后观察其腹部颜色。全腹部出现蓝色的果蝇为“蓝精灵”果蝇,记录各组蓝精灵果蝇的数量。

### 1.2.7 果蝇抗氧化基因的 mRNA 表达水平测定

第 50 天时收集各组果蝇至 EP(eppendorf)管内,用液氮快速冷冻后放置  $-80^\circ\text{C}$  冰箱备用。利用荧光实时 PCR 检测 *Cu/Zn-SOD*、*Mn-SOD*、*CAT* 和 *Rnp11* mRNA 的表达水平。所用的引物设计参考实验室先前发表文献[11]。

## 1.3 数据统计

实验数据表示为多次测定的平均值  $\pm$  标准方差。采用 GraphPad Prism 5.0 作图和数据分析,用 *t* 检验和单因素方差分析评价差异的显著性,生存试验采用 Log-Rank 检验来评估寿命的显著性。 $P < 0.05$  为差异性显著, $P < 0.01$  为差异性极显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 黑米花青素对果蝇寿命的影响

按照 1.2.2 节的方法,通过饲喂果蝇一定剂量的黑米花青素,结果发现,黑米花青素在一定程度上可以延长果蝇的寿命,如图 1 和表 1 所示,与对照组比,雄性果蝇 BRA5 组平均寿命从 70 d 延长到 82 d,延长了 17% ( $P < 0.05$ )。雌性果蝇 BRA5 组与对照组相比平均寿命从 75 d 延长到了 83 d,延长了 11% ( $P < 0.05$ )。黑米花青素对雄性和雌性果蝇的寿命延长有剂量依赖效应关系。本研究中黑米花青素对

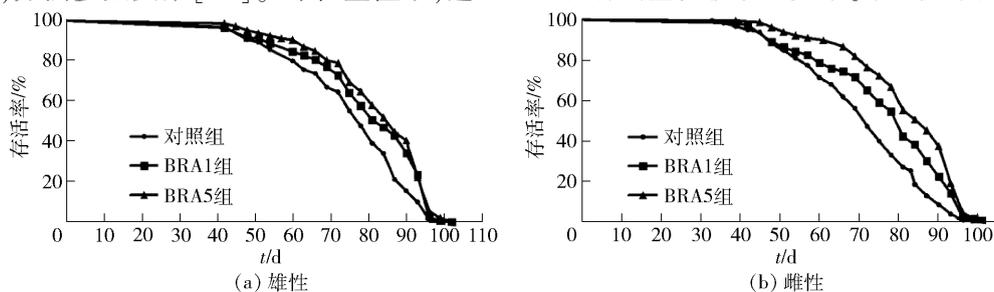


图1 果蝇的寿命曲线

Fig. 1 Lifespan curve of *Drosophila melanogaster*

表1 黑米花青素对果蝇寿命的影响

Tab.1 Effect of black rice anthocyanin on life span in *Drosophila melanogaster* d

组别	最高生存期	中位生存期	平均生存期
雄对照组	96	72	70.73 ± 1.95
雄 BRA1 组	102	81	76.80 ± 1.71
雄 BRA5 组	102	87	82.35 ± 1.68 *
雌对照组	99	78	75.93 ± 1.39
雌 BRA1 组	102	84	80.24 ± 1.81
雌 BRA5 组	102	87	82.52 ± 1.59 *

\*  $P < 0.05$  为差异性显著。

寿命影响的结果与先前报道的文献结果一致, Peng 等研究显示蓝莓花青素可以延长果蝇寿命 10% [4]。因此,我们认为黑米花青素和蓝莓花青素对延缓衰老有相同的作用。BRA5 组的延长寿命效果大于 BRA1 组,且考虑到衰老会受荷尔蒙的影响 [9], 后期

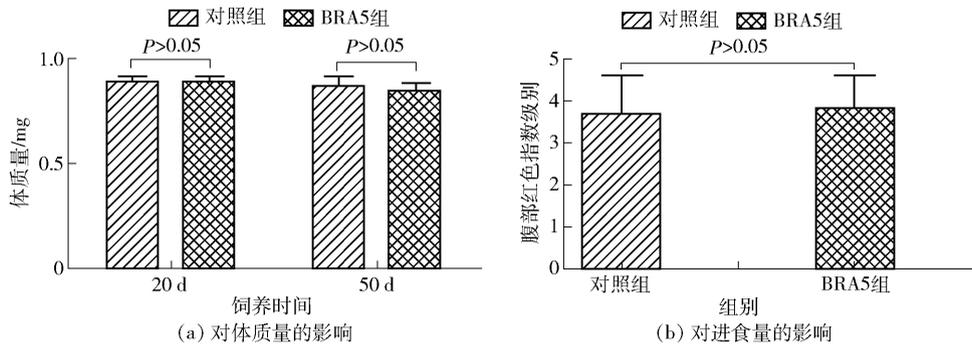


图2 黑米花青素对果蝇体质量和进食量的影响

Fig.2 Effect of black rice anthocyanin on body weight and redness index of *Drosophila melanogaster*

### 2.3 黑米花青素对果蝇运动能力的影响

爬行实验是评估果蝇的运动能力,主要是依据果蝇自身逆重力爬行的生理特性进行的。Wang 等研究紫薯提取物对果蝇寿命的影响时发现正常饮食和高脂饮食组果蝇逆重力爬行能力都显著降低,当喂食 10 mg/mL 的紫薯提取物时果蝇爬行能力显著高于对照组 [9]。如图 3 所示,在第 20 天时, BRA5 组和对照组的果蝇都很活跃,80% 的果蝇都能快速爬到顶部,两组之间无差异。当喂养到第 50 天,进入衰老期时,对照组只有 10% 的果蝇爬行超过 4 cm, BRA5 组有 50% 的果蝇能够迅速爬到管顶部。BRA5 组仅有 27% 的果蝇爬行不到 2 cm 高,同样的情况下对照组有 80% 的果蝇爬行距离小于 2 cm。因此,黑米花青素可以缓解衰老引起的运动能力退化。

实验主要用雄性果蝇和 5 mg/mL 的剂量为研究对象。

### 2.2 黑米花青素对果蝇进食量和体重的影响

饮食限制被认为有延长寿命的效果 [12], 本研究为了排除饮食限制对寿命的影响,根据 1.2.3 节的方法测量了果蝇的体重,即果蝇在 20 d 和 50 d 时的体重。根据 1.2.4 节方法测定了果蝇的饮食摄入量,即在培养基中添加 0.2% w (罗丹明 B 磺酸钠盐),罗丹明 B 磺酸钠盐是一种遇酸显红的水溶性荧光染料,当摄入罗丹明 B 磺酸钠盐的食物后,在果蝇腹部位置的红色面积越大说明其饮食摄入量越大。结果如图 2 所示,对照组和 BRA5 组的果蝇无论是在 20 d 时还是 50 d 时,其体重均无显著差异 ( $P > 0.05$ ),饮食摄入量也无显著差异 ( $P > 0.05$ ),说明黑米花青素对果蝇寿命的影响可以排除饮食限制对其的作用。

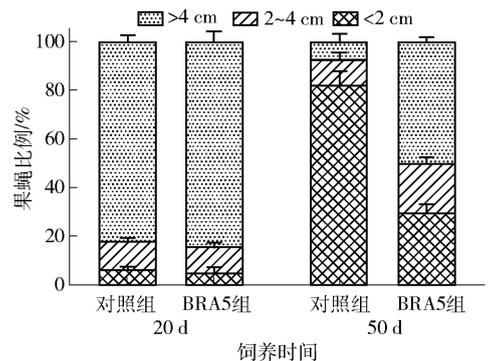


图3 黑米花青素对果蝇爬行能力的影响

Fig.3 Effect of black rice anthocyanin on climbing ability of *Drosophila melanogaster*

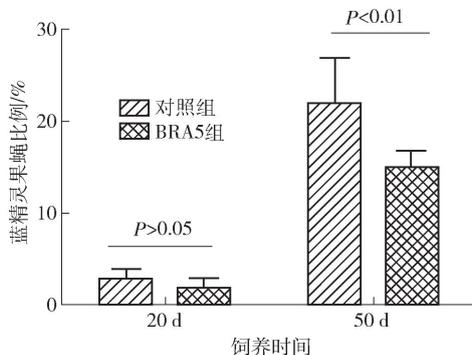
### 2.4 黑米花青素对果蝇肠道屏障功能的影响

随着果蝇衰老,在肠道屏障功能上也会表现

出紊乱,这可以通过蓝精灵实验来检测果蝇肠道的完整性。果蝇饲养到第20天和第50天时,通过在培养基里添加2.5%的蓝色染料,喂养9h,当染料在消化道外被观察到时,这只果蝇被认为是“蓝精灵”。如图4所示,在20d龄果蝇中,黑米花青



(a) 普通果蝇(左)与蓝精灵果蝇(右)



(b) 蓝精灵果蝇比例

图4 黑米花青素对果蝇肠道完整性的影响

Fig. 4 Effect of black rice anthocyanin on intestinal integrity of *Drosophila melanogaster*

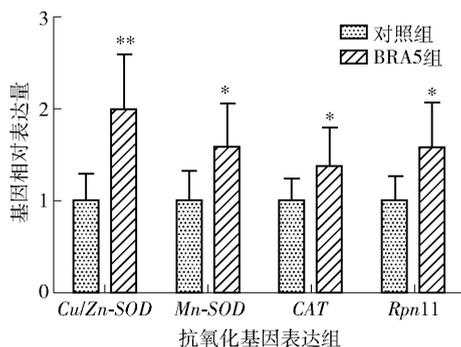
所有后生动物肠道中都存在大量的微生物<sup>[13]</sup>,果蝇中肠区域中有5~10种微生物 $3.5 \times 10^5$ 个共生菌<sup>[14]</sup>。这些微生物失衡会导致疾病发生,需要激活抗菌天然免疫系统予以清除<sup>[15]</sup>。肠道干细胞(intestinal stem cells, ISCs)是果蝇肠道内环境稳态的调节者,它可以通过不断地进行分裂和分化,调节新细胞的产生与凋亡细胞的清除之间的动态平衡,使果蝇肠道内环境处于稳定健康的状态<sup>[16]</sup>。研究表明当果蝇肠上皮细胞遭受氧化压力、病原微生物的感染时,肠道干细胞会快速增殖来补充新的肠上皮细胞。但是在长期的应激状态下,肠道干细胞会过度增殖,分化形成肠下皮细胞,肠下皮细胞又会通过细胞核内复制分化成具有营养吸收功能的肠上皮细胞和肠内分泌细胞,导致肠上皮细胞的过度积累,会出现肠道的不完整性,甚至出现肠痿现象<sup>[10]</sup>。本实验中花青素可以有效地抑制因衰老引起的肠道细胞内紊乱,保持肠道的完整性。然而,黑米花青素对肠道干细胞增殖的作用机制有待进一步研究。

## 2.5 黑米花青素对果蝇抗氧化基因 mRNA 表达水平的影响

荧光实时定量 PCR 结果显示,以 GAPDH 为看家基因,与对照组相比,黑米花青素可以上调果蝇体内的抗氧化酶 mRNA 表达水平,如: *Mn-SOD* ( $P < 0.05$ )、*Cu/Zn-SOD* ( $P < 0.01$ )、*CAT* ( $P < 0.05$ ) 和 *Rpn11* ( $P < 0.05$ ),如图5所示。

目前 Harman 的自由基理论认为,生物体的衰

老部分是由于活性氧(ROS)的积累,即羟自由基、超氧阴离子和过氧化氢,它们是有氧代谢的副产物。生物体有两种抗氧化系统清除活性氧,第一个系统是由一组内源性抗氧化酶组成,即超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT),另外一个体系是一组外源性抗氧化剂,如维生素C和维生素E,以最终消除ROS对生物体的影响。另外,各种生物标志物检查被广泛用于氧化应激、生理老化和年龄相关的疾病。去泛素化酶 *Rpn11* 基因可以抑制神经性退化,敲出 *Rpn11* 后会导导致泛素蛋白的积累,从而减少寿命<sup>[17]</sup>。本实验中黑米花青素显著上调了果蝇体内抗氧化基因的表达水平,延长了果蝇的平均寿命。Chiang 等<sup>[18]</sup>研究了黑米花青素对 HepG2 细胞和



\*  $P < 0.05$  为差异显著, \*\*  $P < 0.01$  为差异极显著。

图5 黑米花青素对果蝇抗氧化基因表达水平的影响

Fig. 5 Effect of black rice anthocyanin on mRNA expression of anti-aging genes of *Drosophila melanogaster*

老部分是由于活性氧(ROS)的积累,即羟自由基、超氧阴离子和过氧化氢,它们是有氧代谢的副产物。生物体有两种抗氧化系统清除活性氧,第一个系统是由一组内源性抗氧化酶组成,即超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT),另外一个体系是一组外源性抗氧化剂,如维生素C和维生素E,以最终消除ROS对生物体的影响。另外,各种生物标志物检查被广泛用于氧化应激、生理老化和年龄相关的疾病。去泛素化酶 *Rpn11* 基因可以抑制神经性退化,敲出 *Rpn11* 后会导导致泛素蛋白的积累,从而减少寿命<sup>[17]</sup>。本实验中黑米花青素显著上调了果蝇体内抗氧化基因的表达水平,延长了果蝇的平均寿命。Chiang 等<sup>[18]</sup>研究了黑米花青素对 HepG2 细胞和

C57BL/6 小鼠氧化应激能力,发现黑米花青素组的 ROS 显著低于对照组, SOD 和 CAT 酶活力显著提高。本研究中黑米花青素显著上调了果蝇体内抗氧化基因 (*Mn-SOD*、*Cu/Zn-SOD* 和 *Cat*) 的表达水平,延长了果蝇的平均寿命。果蝇体内 *Rpn11* 基因在喂食黑米花青素后也表达水平也显著提升, *Rpn11* 的高表达可以缓解衰老引起的 26 S 蛋白酶体活性降低,抑制衰老相关的神经性退行疾病进程。

### 3 结 论

在本实验中,以果蝇作为模型生物研究了黑米花青素对其寿命的影响。生存实验结果表明一定剂量的黑米花青素饲喂果蝇后能延长其平均寿命和健康寿命。

运动能力的退化是果蝇衰老的一个指标,主要是依据果蝇自身逆重力爬行的生理特性进行测定。在本试验中,在 5 mg/mL 黑米花青素培养基中饲喂 50 d 后,爬行距离大于 4 cm 的果蝇比例明显大于对照组,说明黑米花青素能缓解衰老引起的运动能力退化。

肠道屏障功能也是果蝇衰老的一个指标。果蝇衰老后其肠道干细胞会异常增殖,屏障功能降低,因此肠道完整性下降,通透性增加。在本试验中,饲喂 5 mg/mL 黑米花青素的蓝精灵果蝇比例明显低于对照组。可见,黑米花青素可有效抑制果蝇因衰老引起的肠道通透性,保护肠道的完整性。

饲喂一定剂量的黑米花青素可以延长果蝇的平均寿命和健康寿命,缓解因衰老引起的运动能力降低。此外,黑米花青素可以通过影响抗氧化基因的表达水平增加抗氧化能力,保护肠道内稳态,从而延缓了果蝇的衰老。

#### 参考文献:

- [1] WU T, GUO X, ZHANG M, et al. Anthocyanins in black rice, soybean and purple corn increase fecal butyric acid and prevent liver inflammation in high fat diet-induced obese mice[J]. *Food and Function*, 2017,8(9): 3178 - 3186.
- [2] LI D, WANG P, LUO Y, et al. Health benefits of anthocyanins and molecular mechanisms: update from recent decade[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2017,57(8):1729 - 1741.
- [3] ZUO Y, PENG C, LIANG Y, et al. Black rice extract extends the lifespan of fruit flies[J]. *Food and Function*, 2012,3(12):1271 - 1279.
- [4] PENG C, ZUO Y, KWAN K M, et al. Blueberry extract prolongs lifespan of *Drosophila melanogaster*[J]. *Experimental Gerontology*, 2012,47(2):170 - 178.
- [5] BHASWANT M, SHAFIE S R, MATHAI M L, et al. Anthocyanins in chokeberry and purple maize attenuate diet-induced metabolic syndrome in rats[J]. *Nutrition*, 2017,41:24 - 31.
- [6] 李祥,张泽生,汤新慧,等. 紫薯提取物对秀丽隐杆线虫寿命的影响[J]. *现代食品科技*, 2017(10):1 - 6.
- [7] 辛立波,李晓波,於洪建,等. 葡萄籽低聚原花青素化学成分及抗氧化研究[J]. *食品研究与开发*, 2012(8):40 - 43.
- [8] XIN L B, LI X B, YU H J, et al. Isolation, purification and antioxidant activities of oligomeric proanthocyanidins in grape seeds[J]. *Food Research and Development*, 2012(8):40 - 43.
- [9] DIAS A L D S, PACHIKIAN B, LARONDELLE Y, et al. Recent advances on bioactivities of black rice[J]. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 2017,20(6):470 - 476.
- [10] WANG L, LI Y M, LEI L, et al. Purple sweet potato anthocyanin attenuates fat-induced mortality in *Drosophila melanogaster*[J]. *Experimental Gerontology*, 2016,82: 95 - 103.
- [11] WU S C, CAO Z S, CHANG K M, et al. Intestinal microbial dysbiosis aggravates the progression of Alzheimer's disease in *Drosophila*[J]. *Nature Communications*, 2017,8(1):24.
- [12] 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(5):19 - 24.
- [13] HUANG J, WANG H L, MA N, et al. The antioxidant effect of rosemary extract and its effect on lifespan of *Drosophila melanogaster*[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2016(5):19 - 24.
- [14] 王红. 黑米提取物对黑腹果蝇和秀丽隐杆线虫抗氧化作用的研究[D]. 天津:天津科技大学, 2017.
- [15] WANG H. Study on the antioxidant effect of black rice extract on *Drosophila melanogaster* and *caenorhabditis elegans*[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2017.

- [13] PIPER M, PARTRIDGE L. *Drosophila* as a model for ageing [J]. *Biochimica et Biophysica Acta-molecular Basis of Disease*, 2018, 1864(9):2707–2717.
- [14] HOOPER L V, GORDON J I. Commensal host-bacterial relationships in the gut [J]. *Science*, 2001, 292(5519):1115–1118.
- [15] RYU J H, KIM S H, LEE H Y, et al. Innate immune homeostasis by the homeobox gene *caudal* and commensal-gut mutualism in *Drosophila* [J]. *Science*, 2008, 319(5864):777–782.
- [16] FAN X, LIANG Q, LIAN T, et al. Rapamycin pre-serves gut homeostasis during *Drosophila* aging [J]. *Onco-target*, 2015, 6(34):35274–35283.
- [17] TONOKI A, KURANAGA E, TOMIOKA T, et al. Genetic evidence linking age-dependent attenuation of the 26S proteasome with the aging process [J]. *Molecular and Cellular Biology*, 2009, 29(4):1095–1106.
- [18] CHIANG A N, WU H L, YE H I, et al. Antioxidant effects of black rice extract through the induction of superoxide dismutase and catalase activities [J]. *Lipids*, 2006, 41(8):797–803.

## Delaying Aging Effect of Black Rice Anthocyanin on *Drosophila melanogaster*

LI Xiang<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiaohan<sup>1</sup>, HAN Yin<sup>1</sup>, WANG Hao<sup>1</sup>, ZHANG Zesheng<sup>1,\*</sup>

(1. College of Food Engineering and Biotechnology, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China;

2. School of Marine and Biological Engineering, Yancheng Teachers University, Yancheng 224051, China)

**Abstract:** The present study aimed to investigate the anti-aging effect of black rice anthocyanin (BRA) on *Drosophila melanogaster* and its underlying mechanism. Two-day-old wild *Drosophila melanogaster* were fed with different concentrations of BRA (0, 1, 5 mg/mL). Longevity test, gustatory assay and climbing assay were carried out to detect the effects of BRA on the life span and health span of fruit flies. The effects of BRA on intestinal integrity of *Drosophila melanogaster* were analyzed by Smurf assay. The mRNA expression of antioxidant-related genes, namely *SOD*, *CAT* and *Rpn11*, were measured by real time-PCR. BRA prolonged the life span and health span of fruit flies compared with those in control group, which also had a protective effect on intestinal integrity of fruit flies. The mRNA expression level of antioxidant-related genes were significantly increased (*Cu/Zn-SOD*,  $P < 0.01$ ; *Mn-SOD*, *CAT* and *Rpn11*,  $P < 0.05$ ). The anti-aging and antioxidant effects of BRA might be achieved by up-regulating endogenous antioxidant genes.

**Keywords:** black rice anthocyanin, *Drosophila melanogaster*, anti-aging, antioxidant, survival experiment

(责任编辑:李 宁)