DOI：10.19789/j.1004-9398.2024.04.005
文献引用：马琳，祁琪，李雅轩，等．甜蜜素对果蝇繁殖生长及运动能力的影响[J]．首都师范大学学报（自然科学版），2024，45(4)：36-41. MA L，QI Q，LI Y X，et al. Effects of sodium cyclamate on fertility，development，and locomotor abilities of *Drosophila melanogaster* [J]. Journal of Capital Normal University（Natural Science Edition），2024，45(4)：36-41.

甜蜜素对果蝇繁殖生长及运动能力的影响

马　琳[1]，祁　琪[2]，李雅轩[1]，赵　昕[1*]

（1. 首都师范大学生命科学学院，北京　100048；2. 北京市朝阳外国语学校，北京　100012）

摘要：为了研究甜蜜素对果蝇繁殖力、发育和运动能力的影响，本文以黑腹果蝇（*Drosophila melanogaster*）为研究对象，分析不同质量浓度（0~8 mg/mL）甜蜜素的玉米琼脂培养基对果蝇子代出蛹时间和5 d内出蛹总数的影响，并以此为依据判断果蝇的繁殖能力；通过对子代果蝇在不同质量浓度甜蜜素培养基中开始羽化时间、羽化5 d内成蝇出现总只数、成蝇的体质量与身长统计，研究该因素对果蝇发育的影响作用；以攀爬指数的变化说明甜蜜素对果蝇运动能力的影响。研究结果显示：1 mg/mL的甜蜜素培养基可增强黑腹果蝇的繁殖能力、正向促进生长发育、降低运动能力，但均未达到显著性水平；而2~8 mg/mL的甜蜜素培养基抑制了果蝇的繁殖能力、发育和运动能力，且抑制作用随质量浓度增大效应更强。与0相比，4~8 mg/mL甜蜜素培养基对果蝇繁殖、生长及运动能力均具有显著抑制作用（t=2.622~5.000，P<0.05），其中4 mg/mL甜蜜素培养基使雌果蝇的体质量和雄果蝇的运动能力达到差异极显著标准（t=5.831和3.801，P<0.01），8 mg/mL甜蜜素培养基使雌果蝇的体质量、体长和雌、雄果蝇的运动能力均达到差异极显著标准（t=9.970、3.798、8.994和10.451，P<0.01）。本文结果表明，甜蜜素对果蝇的繁殖力、发育和运动能力均有一定的影响。果蝇DNA分子与人类具有高度同源性，故建议在食品生产和食用中应谨慎。

关键词：黑腹果蝇；甜蜜素；繁殖力；发育；攀爬指数
中图分类号：Q965；TS202　　**文献标志码**：A

Effects of sodium cyclamate on fertility，development，and locomotor abilities of *Drosophila melanogaster*

MA Lin[1]，QI Qi[2]，LI Yaxuan[1]，ZHAO Xin[1*]

（1. College of Life Sciences，Capital Normal University，Beijing　100048；
2. Beijing Chaoyang Foreign Language School，Beijing　100012）

Abstract：To investigate the impact of sodium cyclamate on the fecundity，development，and locomotor abilities，this study using *Drosophila melanogaster* medium with varying concentrations of sodium cyclamate，the pupation time and total pupal count within a 5 d period were assessed as indicators of reproductive capacity. Additionally，the study analyzed the initiation of eclosion，the total number of emerged flies within 5 d，and the weight and body length of drosophila to elucidate the influence of sodium cyclamate on fruit fly development. The changes of locomotor abilities were evaluated in climbing index. The results revealed that a 1 mg/mL sodium cyclamate culture medium enhanced

收稿日期：2023-11-30
* 通信作者：zhaoxin@cnu.edu.cn

reproductive capacity, positively influenced the growth and development of *Drosophila melanogaster*, while reducing locomotor abilities. However, these effects did not reach statistical significant level. Conversely, sodium cyclamate concentrations ranging from 2 to 8 mg/mL exert inhibitory effects on reproduction, development, and locomotor abilities. The inhibitory effects became more pronounced with increasing concentration. Compared with 0, sodium cyclamate culture medium with concentrations ranging from 4 to 8 mg/mL exhibited significant differences in the reproductive, development and locomotor abilities (t=2.622 to 5.000, P<0.05). Specifically, the 4 mg/mL sodium cyclamate culture medium led to a highly significant difference in the weight of female *Drosophila melanogaster* and the locomotor abilities of male *Drosophila melanogaster* (t=5.831 and 3.801, P<0.01). The 8 mg/mL sodium cyclamate culture medium resulted in highly significant differences in the weight, length of female fruit flies, as well as the locomotor abilities of both female and male *Drosophila melanogaster* (t=9.970, 3.798, 8.994 and 10.451, P<0.01). The results show that sodium cyclamate exhibit discernible effects on the reproduction, development, and locomotor abilities of *Drosophila melanogaster*. Caution should be exercised in their application in food production, and consumers should pay attention to the sweetener content for food safety considerations.

Keywords: *Drosophila melanogaster*; sodium cyclamate; fecundity; development; climbing index

CLC: Q965; TS202　　**DC**: A

0　引　言

甜蜜素,化学名为环己基氨基磺酸钠,是我国在食品行业中广泛应用的一种甜味剂,其甜度可以达到传统蔗糖的30~50倍;具有风味自然、甜度大、热量小、热稳定效果好且经济实惠等优势,被广泛应用于冷饮、水果罐头、果冻、蜜饯、腌菜、面包糕点和复合调味料等食品中。研究表明其在体内可以代谢转化为具有致癌作用的环己基胺或二环己基胺,如何科学安全地在食品中使用甜蜜素已引起了人们的广泛关注[1-5]。

双翅目昆虫黑腹果蝇(*Drosophila melanogaster*),是一种经典的模式生物,在遗传学和发育生物学等研究中得到广泛应用[6]。果蝇生活周期短、后代个体数多,染色体组成简单(只有4对同源染色体),且幼虫唾腺染色具有巨大性和多线性,因此以果蝇为研究对象时,可在短时间内获得研究结果,且易于观察其染色体的变化。果蝇的遗传基础与人类DNA分子具有高度同源性,与人类疾病相关基因有近75.0%为直系同源序列,且核苷酸水平或蛋白质序列的总体相似性约为40.0%,在保守的功能域中相似性高达80.0%~90.0%[7-9],因此,以果蝇为材料进行生理代谢模式和生长、发育、繁殖与抗衰老等方面的基础研究,可为人体相关生理、病理探究奠定基础;同时,与动物实验相比,果蝇为研究对象的实验规避了伦理方面的制约[10],故本文以果蝇为研究对象进行相关研究。

现有研究表明培养基中添加一些化学物质时会影响果蝇的生长发育及攀爬能力等。如:黄国城等[11]表明培养基分别添加0.5%、1.0%太子参和0.5%香菇多糖时,会延长果蝇寿命;秦永燕等[12]表明培养基添加1.0 μg/mL黄芪多糖时,雌、雄果蝇体内总抗氧化能力(total antioxidant capacity, T-AOC)和超氧化物歧化酶(super oxide dismutase, SOD)的活性最高,丙二醛(malonaldehyde, MDA)含量最少,即黄芪多糖能够显著提高抗氧化力;刘红英[13]表明培养基添加100和200 mmol/L NaCl时,果蝇子代的蛹化数目和子代羽化数目明显减少,且雌雄比差异显著,即高质量浓度NaCl能够降低果蝇的体质量及子代羽化数量,干扰果蝇群体的雌雄平衡。目前有关甜蜜素的研究主要包括:周荃[14]直接将甜蜜素注射在小鼠腹腔,采血测量小鼠血液中各种酶活性,表明注射6 g/(kg·d)剂量的甜蜜素会诱导小鼠急性肝损伤;张默涵[15]表明培养基添加1和10 mg/mL甜蜜素后,会延长秀丽隐杆线虫寿命,衰老指标无显著影响,而高质量浓度甜蜜素可损伤其运动能力并增加幼虫的摄食量。

目前尚无有关甜蜜素对果蝇的繁殖生长与运动能力方面研究的报道,本文以黑腹果蝇为研究对象,在培养基中添加不同质量浓度的甜蜜素后,拟

分析其对果蝇的繁殖生长和运动能力的影响,以期为甜蜜素在食品中安全使用提供一定的数据支撑。

1 实验材料与方法

1.1 实验材料及仪器

黑腹果蝇由首都师范大学遗传学实验室提供。甜蜜素购自金城化学有限公司;琼脂粉购自北京索莱宝科技有限公司;正丙酸购自北京化工厂;乙醚购自天津市福晨化学试剂厂;高活性干酵母粉、玉米粉、红糖和蔗糖购自生活超市。实验所用H_2O为去离子水。

使用美国Percival公司生产的E-36L恒温培养箱培养果蝇,培养温度为25 ℃、湿度为50%,每日光照12 h;使用美国奥豪斯Adventurer AX324ZH分析天平称量果蝇体质量;使用日本尼康株式会社生产的D600型照相机拍照。

1.2 果蝇扩繁培养基的配制

(1)基础培养基。根据李雅轩和赵昕[16]、贾永红[17]的方法进行适当修改配置。称取7.6 g蔗糖、60.0 g红糖、52.0 g玉米粉和24.0 g琼脂,加入1.0 L水中,加热煮沸的同时搅拌溶解。煮沸2 min后停止加热,待稍作冷却后依次加入6.6 mL正丙酸、25.0 g酵母粉,分装于果蝇培养管中,每管10.0 mL,用海绵塞进行封口,静置,冷却凝固后待用。

(2)甜蜜素培养基。在基础培养基中加入甜蜜素,用量参照我国饮料等食品中甜蜜素最大用量标准[1-2],配制质量浓度分别为1、2、4和8 mg/mL的甜蜜素培养基,分装于果蝇培养管中,每管10.0 mL,用海绵塞进行封口,静置,冷却凝固后待用。

1.3 果蝇的扩繁与接种

(1)扩繁。取10只装有基础培养基的果蝇培养管,每管接种4~5只果蝇(有雌、有雄)进行扩繁,置于培养箱中培养。每日观察记录果蝇生活及繁衍情况,培养至成蝇,待用。

(2)接种。在扩繁管中收取8 h内羽化未交配的雌、雄果蝇,乙醚麻醉后按雌、雄分开,每管接种3对果蝇,按照培养基中所含甜蜜素质量浓度(0、1、2、4和8 mg/mL)不同,依次分为空白组和实验1~4组,每组重复3次。恒温培养,每日观察记录果蝇生长情况,并于第7天将亲本果蝇移出[17-18]。

1.4 果蝇繁殖能力测定

观察并记录每管开始出蛹所用时间、开始出蛹后5 d内出蛹总数[18-20]。

1.5 果蝇生长情况测定

统计各组开始羽化出成蝇所用时间及5 d内羽化出成蝇的总数。并收集各组成蝇(每组累计收集雌、雄果蝇各100只),乙醚麻醉后,称质量,计算平均体质量[18]。并使用相机对各组雌、雄果蝇进行拍照,上传至Image J软件测量体长,分别计算各组雌、雄果蝇的平均体长。

1.6 果蝇运动能力测定

选取各组8 h内羽化未交配的雌、雄果蝇各30只,分别转移至对应甜蜜素质量浓度的新培养基中,每管15只,培养7 d后,将各管果蝇转移至洁净的空果蝇管中,在距离底部6 cm位置处用记号笔标记。将果蝇轻弹落入管底,记录10 s内通过标记的果蝇数量,每管重复5次,每次间隔2 min[7,21]。计算5次通过标记果蝇数量的平均数(N_1),用该数值除以果蝇总数(N_0),得到攀爬指数(climbing index,CI),其计算公式为

$$I_C = \frac{N_1}{N_0} \times 100\%,$$

式中:I_C为CI值,反映了果蝇的运动能力,CI值越高,果蝇运动能力越强,反之则运动能力越低。

1.7 数据统计分析[22-24]

数据以$\bar{x}\pm s$表示。应用SPSS 29.0数据处理软件对实验数据进行检验,采用独立样本t检验法进行组间两两数据比较,以χ^2进行组内雌、雄果蝇比例检验。$P<0.05$为差异显著;$P<0.01$为差异极显著。

2 实验结果与分析

2.1 甜蜜素对果蝇繁殖力的影响

果蝇具有完全变态生活史,由于受精卵与幼虫阶段不宜观察,故多以出蛹时间与开始出蛹后5 d内的出蛹数代表果蝇的繁殖能力,相关统计结果如表1所示。

2.1.1 果蝇子代出蛹时间

培养基中添加甜蜜素后,果蝇子代的出蛹时间随甜蜜素质量浓度的增加呈现出提前出蛹到延迟出蛹的现象。与空白组相比,实验1组果蝇子代开始出蛹时间提前了3.6%,实验2组出蛹时间延迟了12.1%,但结果差异均无统计学意义($P>0.05$);实验3和4组出蛹时间均延迟了20.5%,且达到显著性差异水平(t=5.000和5.000,$P<0.05$)。

2.1.2 5 d内出蛹数

培养基中添加甜蜜素后,5 d内果蝇子代的出蛹

数随甜蜜素质量浓度的增加呈现先增多后降低的趋势。与空白组相比，实验1组果蝇子代在5 d内出蛹总数增加了5.5%，实验2~4组果蝇出蛹数分别减少了15.0%、22.7%和25.1%。低质量浓度（1 mg/mL）的甜蜜素可缩短出蛹时间，提高其繁殖水平；高质量浓度（≥2 mg/mL）的甜蜜素延迟出蛹时间，并降低出蛹总数，抑制了果蝇的繁殖能力。

表1　不同质量浓度甜蜜素处理后果蝇繁殖能力统计

组别	出蛹时间/d	出蛹数/只
空白组	8.3±0.6	109.0±12.2
实验1组	8.0±1.0	115.0±13.0
实验2组	9.3±0.6	92.7±3.5
实验3组	10.0±0[a]	84.3±12.2
实验4组	10.0±0[a]	81.7±19.0

注：与空白组相比，[a]t=5.000、5.000，P<0.05。

2.2　甜蜜素对子代生长的影响

子代开始羽化时间、羽化数、体质量和体长等可以反映果蝇的生长能力，相关数据统计列于表2。

2.2.1　子一代开始羽化的时间

培养基中添加甜蜜素后，果蝇子一代开始羽化的时间随甜蜜素质量浓度的增加而发生变化。与空白组相比，实验1组果蝇子一代开始羽化的时间提前了3.1%但未达到显著性水平（P>0.05）；而实验2~4组羽化时间分别延迟了7.9%、10.2%和10.2%，且实验3和4组的开始羽化时间显著延迟（t=4.000和4.000，P<0.05）。

2.2.2　开始羽化时间起5 d羽化总数

培养基中添加甜蜜素后，果蝇子一代雌、雄性总和的羽化数均随甜蜜素质量浓度的增加呈现先上升后降低的趋势。与空白组相比，实验1组5 d羽化成蝇总数增加了8.0%，但未达到显著性水平（P>0.05）；实验2~4组羽化果蝇总数分别减少了7.7%、35.7%和45.7%，且实验3和4组成蝇数显著降低（t=3.389和4.191，P<0.05）；分别统计雌、雄果蝇羽化数，实验3和4组的成蝇数均显著降低（t=3.397~4.089，P<0.05）。

空白组、实验1~4组的雌、雄性只数比分别为1.09、1.04、0.99、0.96和0.99，均与1无显著差异（χ^2=0.178、0.036、0.001、0.026、0.002，P>0.05）。

2.2.3　子代成虫体质量

由于雌性果蝇个体体质量明显大于雄性个体[10]，故分别统计雌性和雄性子代果蝇体质量。培养基中添加甜蜜素后，果蝇子代雌性和雄性成虫的体质量随甜蜜素质量浓度的增加呈下降趋势。与空白组相比，实验1~4组雌果蝇的体质量分别降低了3.7%、6.0%、8.2%和14.9%，且实验3和4组的体质量显著降低（t=5.831和9.970，P<0.01）；实验1~4组雄果蝇的体质量分别降低了1.1%、4.3%、10.9%和13.1%，且实验3和4组的体质量显著降低（t=2.929和3.513，P<0.05）。

2.2.4　果蝇后代成虫的体长

果蝇形态表现出雌性个体明显大于雄性个体的特征[10]，表2的数据也显示出各组雌果蝇体长均在极显著水平上高于雄果蝇（P<0.01），故将雌、雄性个体分别测量统计。培养基中添加甜蜜素后，果蝇子一代雌性、雄性体长均随甜蜜素质量浓度的增加而降低，对雌果蝇的抑制效果比对雄果蝇的抑制作用更为明显。与空白组相比，甜蜜素培养基可降低雌果蝇成虫的体长，实验1~4组降低率分别为9.6%、12.3%、19.2%和24.1%，且实验3和4组分别达到显著性水平（t=3.156，P<0.05）和极显著水平（t=3.798，P<0.01）。

甜蜜素培养基同样使雄果蝇成蝇体长降低，与空白组相比，实验1~4组降低率分别为6.8%、7.7%、10.9%和14.5%，其中实验3和4组雄性果蝇的体长显著降低（t=2.622和3.290，P<0.05）。

2.3　果蝇运动能力

培养基中添加甜蜜素后，果蝇子代雌性和雄性

表2　不同质量浓度甜蜜素处理后果蝇生长能力统计

组别	开始羽化时间/d	羽化数/只			体质量/mg		体长/mm	
		雌性	雄性	总数	雌性	雄性	雌性	雄性
空白组	12.7±0.6	54.0±10.6	49.7±8.5	103.7±18.8	1.34±0.01	0.92±0.05	2.61±0.33	2.21±0.16
实验1组	12.3±1.2	57.0±9.8	55.0±9.6	112.0±11.5	1.29±0.06	0.91±0.06	2.36±0.16	2.06±0.08
实验2组	13.7±0.6	47.7±4.9	48.0±2.6	95.7±7.6	1.26±0.05	0.88±0.02	2.29±0.14	2.04±0.05
实验3组	14.0±0[a]	32.7±2.5[a]	34.0±1.0[a]	66.7±2.3[a]	1.23±0.03[b]	0.82±0.03[a]	2.11±0.14[a]	1.97±0.13[a]
实验4组	14.0±0[a]	28.0±2.6[a]	28.3±3.1[a]	56.3±5.5[a]	1.14±0.05[b]	0.80±0.03[a]	1.98±0.17[b]	1.89±0.14[a]

注：与空白组相比，[a]t=2.929~4.089，P<0.05；[b]t=3.798~9.970，P<0.01。

成虫的CI值随甜蜜素质量浓度的增加呈下降趋势;同一质量浓度时,雌果蝇的CI值小于雄果蝇(表3)。与空白组相比,实验1~4组雌果蝇在10 s内通过标记的果蝇数量分别降低了5.0%、6.6%、14.1%和50.4%,而且实验3和4组达到差异显著或极显著性水平(t=3.130,P<0.05;t=8.994,P<0.001)。空白组雌果蝇的攀爬指数为80.7%,实验1~4组分别降低为40.0%~76.7%。

雄果蝇的应答效应与雌果蝇一致,与空白组相比,实验1~4组10 s内通过标准的果蝇数量分别减少了0.8%、6.8%、12.8%和48.1%,且实验3和4组均达到了差异极显著水平(t=3.801和10.451,P<0.01)。空白组的攀爬指数为88.7%,实验1~4组依次降低为46.0%~88.0%。

表3 甜蜜素对果蝇雌性及雄性后代攀爬指数的影响

组别	雌性		雄性	
	过线个体数/只	攀爬指数/%	过线个体数/只	攀爬指数/%
空白组	24.2±1.6	80.7	26.6±1.1	88.7
实验1组	23.0±2.6	76.7	26.4±0.5	88.0
实验2组	22.6±1.5	75.3	24.8±2.0	82.7
实验3组	20.8±1.8[a]	69.3	23.2±1.6[b]	77.3
实验4组	12.0±2.5[b]	40.0	13.8±2.5[b]	46.0

注:与空白组相比,[a]t=3.130,P<0.05;[b]t=3.801~10.451,P<0.01。

3 讨 论

目前世界各国有关甜蜜素作为食品添加剂的标准不同;美国、日本等40多个国家禁止在食品中使用甜蜜素;而欧盟、澳大利亚和新西兰等80多个国家允许在食品中添加甜蜜素,其中欧盟食品添加剂法规标准规定甜蜜素在各类食品中的使用上限为0.250~1.600 g/kg;我国现行的《食品安全国家标准食品添加剂使用标准:GB 2760—2014》[25]中明确规定了面包、饮料等食品中甜蜜素最大用量为0.650~8.000 g/kg,按照体质量人体每日允许摄入量(acceptable daily intake,ADI)为0.011 g/kg[1-2]。本研究的质量浓度范围均在国标所允许范围,研究结果显示低质量浓度安全性更高,高质量浓度时亦会对果蝇的繁殖、生长和运动能力起到抑制作用。

在国内外的研究中果蝇通常作为一种受试对象,研究各种因素对其生命活动的影响作用。本文通过研究不同质量浓度的甜蜜素对果蝇繁殖生长与运动能力的影响作用,结果显示实验1组(1 mg/mL甜蜜素培养基)可增强其繁殖能力,对生长发育有正向促进作用;而实验2~4组(2~8 mg/mL的甜蜜素培养基)降低了果蝇的繁殖能力,对果蝇的生长发育产生抑制作用。而且果蝇在不同质量浓度的甜蜜素培养基中生长7 d后的运动能力均有所降低,实验3和4组差异均达到显著或极显著水平。

王虹等[26]关于甜蜜素对蚕豆根尖细胞致突变作用的研究显示,不同质量浓度的甜蜜素均可诱导微核产生,且随着质量浓度的升高微核率增大;文明明等[27-28]表明高糖饮食可造成果蝇雄性后代生殖能力和运动能力的降低;本文与上述文献结果类似,证实一定质量浓度(2~8 mg/mL)的甜蜜素对生物的遗传物质具有一定的损伤作用。

有数据显示我国南京居民膳食中甜蜜素平均摄入量为0.361 mg/kg,高甜蜜素摄入人群的摄入量为5.587 mg/kg,该区域居民甜蜜素摄入量虽总体处于安全水平[3],但本研究结果表明高甜蜜素摄入人群应引起高度重视,重点关注潜在健康风险。我国食品甜味剂常以多元形式使用,最常见的是三元和四元甜味剂组合,如果各甜味剂均按最大使用剂量添加,则其带来的健康风险是单独使用的2倍[29]。考虑到添加剂的复合叠加作用,建议食品生产者在食品生产过程中,应慎用甜味添加剂;建议大众在选择食品时不仅应关注添加剂成分,同时也应关注添加剂用量。

4 结束语

适量的甜蜜素可促进果蝇的繁殖与生长,但当浓度过高时则起反作用,添加高浓度甜蜜素对生物体的遗传物质与生命健康具有一定的损害。所以在食品中添加甜蜜素应遵守适量原则。建议甜蜜素在食品中的应用应参照国际标准,更加严格控制添加剂量;同时应关注甜味剂的复合作用效果,降低其对生命健康与运动能力的不良影响。

志谢 感谢首都师范大学生命科学学院李小辉老师在数据分析中给予的指导和帮助。

参 考 文 献

[1] 杨艳苹.甜蜜素在食品中的应用及检测探究[J].食品安全导刊,2022(29):112-114.

[2] 李宁.国内外甜蜜素限量标准及使用现状分析[J].中

国食品卫生杂志,2007,9(5):455-457.
[3] 王艳莉,李成国,郭宝福,等.南京市居民膳食中甜蜜素暴露的风险评估[J].现代预防医学,2020,47(18):3322-3325+3357.
[4] 马麟莉,程亚萍,李树旺.食品生产中甜蜜素的使用以及安全现状[J].食品安全导刊,2022(6):1-3.
[5] 常炯炯,李善雅文,雍凌,等.我国食品添加剂联合使用情况及累积风险评估[J].中国食品卫生杂志,2021,33(2):206-214.
[6] 饶友生,柴学文,王樟凤.果蝇打开生命科学之门的金钥匙[J].生物学通报,2008,43(l2):8-10.
[7] 叶文斌,何玉鹏,文晓晓,等.Pb^{2+}对果蝇生育力和寿命及抗氧化能力的影响[J].首都师范大学学报(自然科学版),2019,40(3):44-49.
[8] 刘波,漆辉洲,王五洲,等.过氧化氢对W1118品系果蝇寿命、生育能力、运动能力及抗氧化能力的影响[J].中南医学科学杂志,2021,49(2):147-151.
[9] 乔玉琪,张福生,吴楚璇,等.果蝇中衰老相关3条重要信号通路及抗衰老中药筛选的研究进展[J].中国中药杂志,2019,44(20):4412-4418.
[10] 林晶晶.模式生物果蝇在科学研究中的应用分析[J].生物化工,2018,4(3):135-137.
[11] 黄国城,施少捷,郑强.太子参和香菇多糖对果蝇寿命的影响[J].实用老年医学,1995,9(1):29+48.
[12] 秦永燕,王妤婕,李颖,等.黄芪多糖对果蝇寿命和抗氧化作用的影响[J].食品工业科技,2020,41(2):288-291.
[13] 刘红英.NaCl对果蝇生长发育的影响[J].安徽农业科学,2009,37(22):10545-10546.
[14] 周荃.甜蜜素诱导小鼠急性肝损伤模型的优化与评价[D].衡阳:南华大学,2020.
[15] 张默涵.八种常用甜味剂对秀丽隐杆线虫N2寿命和肠脂质沉积的影响[D].杭州:浙江大学,2018.
[16] 李雅轩,赵昕.综合遗传学实验[M].2版.北京:科学出版社,2014:233.
[17] 贾永红.实验果蝇的一些饲养技巧和注意事项[J].生物学通报,2007,42(7):55-56.
[18] 李尽哲,黄雅琴,庞瑞华,等.虫草素对果蝇生长发育和寿命的影响[J].食用菌学报,2016,23(1):67-70.
[19] 赵锦慧,陈璨,师杨.绿茶提取物对果蝇寿命和繁殖力的影响[J].周口师范学院学报,2012,29(5):83-85.
[20] 张边江.汞和葡萄糖对果蝇寿命和生殖力的影响[J].辽宁农业科学,2012(1):17-19.
[21] 张倩茹,李钰峥,潘思佳,等.一种新型饮用水对黑腹果蝇寿命和抗氧化能力的影响[J].哈尔滨医科大学学报,2023,57(1):106-114.
[22] 杜荣骞.生物统计学[M].北京:高等教育出版社,1999:103-132.
[23] 时立文.SPSS19.0统计分析从入门到精通[M].北京:清华大学出版社,2012.
[24] 谭晓乐.苯对果蝇生长发育的影响[D].武汉:华中师范大学,2012.
[25] 国家卫生健康委员会.食品安全国家标准食品添加剂使用标准:GB 2760—2014[S].北京:中国标准出版社,2015.
[26] 王虹,王欣欣,曹阳,等.甜蜜素和蛋白糖对蚕豆根尖细胞的致突变作用[J].江苏农业科学,2014,42(11):61-63.
[27] 文明明,赵志恒,毕洁,等.高糖饮食对果蝇发育和抗氧化能力的影响及其机理研究[J].食品工业科技,2021,42(21):377-384.
[28] 文明明,毕洁,贺艳萍,等.高糖饮食抑制后代雄性果蝇寿命和育性及其作用机制[J].现代食品科技,2022,38(10):9-18.
[29] 常炯炯,雍凌,肖潇,等.我国食品甜味剂联合使用情况及累积风险评估[J].毒理学杂志,2021,35(3):184-192.

(责任编辑:王　媛)