

发酵大麦提取物抑制秀丽隐杆线虫的脂肪沉积

程珂, 肖香, 赵延胜, 周兴华, 董英

(江苏大学食品与生物工程学院, 江苏镇江 212013)

摘要: 本论文研究植物乳杆菌 (*Lactobacillus plantarum* dy-1) 发酵大麦提取物 (LFBE) 及其主要活性组分对秀丽隐杆线虫脂肪沉积的影响。在建立秀丽线虫肥胖模型的基础上, 设计不同浓度提取物及主要活性组分作用于肥胖模型, 通过油红 O 染色法分析秀丽线虫体内脂肪含量变化。结果表明, 与模型组相比, LFBE 能显著降低秀丽线虫脂肪沉积量, 其中浓度为 1600 $\mu\text{g/mL}$ 时, 脂肪含量降低了 26%, 其模型组体脂含量趋于正常组, 而未发酵大麦提取物 (RBE) 则未见此效果; 从 LFBE 中分离出的酚类化合物, 总蛋白质, 总糖均具有不同程度的减少脂肪沉积的作用, 浓度为 16 $\mu\text{g/mL}$ 的酚类化合物、480 $\mu\text{g/mL}$ 的蛋白质、480 $\mu\text{g/mL}$ 的总糖, 分别能使秀丽线虫脂肪沉积量下降 39%、26% 及 12%。总之, LFBE 能显著抑制秀丽线虫体内脂肪的积累, 且其中酚类化合物降低脂肪沉积的效果尤为显著。

关键词: 秀丽隐杆线虫; 发酵; 脂肪沉积; 大麦

文章编号: 1673-9078(2018)06-40-50

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.6.007

Effects of Fermented Barley Extracts on the Fat Deposition of *Caenorhabditis elegans*

CHENG Ke, XIAO Xiang, ZHAO Yan-sheng, ZHOU Xing-hua, DONG Ying

(School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: The effects of *Lactobacillus plantarum* dy-1 fermented barley extracts (LFBE) and its major bioactive components on the fat deposition of *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*) were investigated in this study. Firstly, the obesity model of *C. elegans* was established, and then they were fed with different concentrations of extracts and main bioactive components, and the changes of fat content in nematode were analyzed by oil red O staining. The results showed that LFBE could significantly reduce the fat deposition of *C. elegans* compared with the model group, which decreased by 26% at the concentration of 1600 $\mu\text{g/mL}$, and the body fat content of the model group tended to be normal, while the unfermented barley (RBE) showed no the same effect. Total protein, polysaccharide and polyphenol compounds isolated from LFBE had different effects on reducing fat deposition. The fat deposition of *C. elegans* decreased by 39%, 26% and 12% at the phenolic compounds, protein and polysaccharide concentrations of 16 $\mu\text{g/mL}$, 480 $\mu\text{g/mL}$ and 480 $\mu\text{g/mL}$, respectively. In conclusion, LFBE could significantly inhibit the accumulation of fat in *C. elegans* and the phenolic compounds were particularly effective in reducing fat deposition.

Key words: *Caenorhabditis elegans*; fermentation; fat deposition; barley

大麦是一种营养丰富并含有多种功能活性成分的谷物, 全大麦食品是公认的人类“健康食品”^[1]。发酵作为一种传统的食品加工及贮藏方法, 在降解食品原料中的有害物质、控制致病菌生长的同时, 还通过生物转化产生如维生素、多肽、氨基酸、有机酸和脂肪酸等多种营养素和功能活性物质^[2-4]。大麦是乳酸菌发酵的良好基质, 经过乳酸菌发酵后, 大麦中多肽、游

收稿日期: 2018-01-17

基金项目: 国家自然科学基金青年项目 (31701605); 镇江市重点研发计划 (现代农业) (NY2017009)

作者简介: 程珂 (1994-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学与工程
通讯作者: 董英 (1954-), 女, 教授, 博士生导师, 研究方向: 食品营养与安全

离酚、可溶性膳食纤维等营养活性成分含量显著提高^[5]。Hole 等^[6]发现不同乳酸菌发酵大麦粉后游离酚酸含量与生物利用率提高, Hong 等^[7]研究发现乳酸菌发酵大麦饮料可以抑制白色脂肪组织增加, 降低血脂及与食欲有关的激素水平, 并改善胰岛素敏感性。伍静等^[8]发现大麦乳酸菌发酵提取物抑制人结肠癌 HT-29 细胞增殖。

秀丽隐杆线虫 (*Caenorhabditis elegans*) 是一种重要的模式生物, 成虫长度约为 1 mm, 身体透明, 以大肠杆菌 OP50 为食。它具有结构简单、繁殖量大且周期短、易于人工培养、方便观察等优点, 且脂肪代谢通路比较明确, 与人类脂肪代谢通路相似, 各关键代谢步骤的酶相似度较高^[9]。近年来, 食品领域很多

研究者也使用该模式生物研究食物成分或提取物的功能活性^[10,11],尤其是在调节脂代谢及抗衰老等方面。Gao 等^[12,13]发现摄入大麦膳食纤维及燕麦制品后秀丽隐杆线虫肥胖模型体脂减少,胰岛素敏感性提高;Finleya 等^[14]也通过秀丽隐杆线虫模型研究发现了不同豆类减少肠道脂肪沉积的功能。然而,国内外尚未见利用秀丽隐杆线虫肥胖模型研究发酵大麦提取物功能活性的报道。

本文建立秀丽隐杆线虫肥胖模型以研究 LFBE 的功能活性。通过研究 LFBE 及其中各组分对肥胖秀丽隐杆线虫脂肪沉积的影响,为进一步研究 LFBE 干预脂代谢的机制增添佐证,为发酵大麦健康功能食品的研发提供试验依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与amp;仪器

1.1.1 试验材料

脱壳大麦购自盐城市双增农化科技有限公司;植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum* dy-1; 菌株编号:CGMCCNo.601)实验室自行分离鉴定;秀丽隐杆线虫 N2 野生型,由东南大学王大勇教授实验室惠赠。

1.1.2 主要仪器与amp;设备

冷冻离心机 BR-4, 法国 JOUAN 公司;真空冷冻干燥器, 德国 Marin Christ 公司;体视显微镜, 南京江南永新光学有限公司;多功能酶标仪, 帝肯(上海)贸易有限公司;正置显微镜 Ci-L, 尼康光学仪器(中国)有限公司。

1.1.3 试剂

染色液:油红 O 储备液(购自国药集团化学试剂有限公司)与蒸馏水 3:2 混合,过 0.45 μm 膜,现配现用;蛋白质提取缓冲液:10 mmol/L Tris-HCl, pH=7.5, 2 mmol/L CaCl_2 ; M9 缓冲液, NGM 培养基, 曲拉通 X-100(Triton X-100)Sigma-Aldrich 公司;其他生化试剂均为分析纯,购自国药集团上海化学试剂有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品制备

植物乳杆菌发酵大麦提取物(LFBE)的制备:称取筛分除杂后的新鲜大麦,粉碎后过 100 目筛,按大麦(m):水(V)=1:7 的比例在锥形瓶中混合均匀。每克大麦加入 0.25 mL 第二次活化后的菌液后再次混匀,密封,32 $^{\circ}\text{C}$ 、150 r/min 发酵 24 h。4 $^{\circ}\text{C}$ 下 8000 r/min 离心 15 min,取上清液-56 $^{\circ}\text{C}$ 冻干备用。

未发酵大麦提取物(RBE)的制备:大麦与水的比例同大麦乳酸菌发酵液的制备,但不加入植物乳杆菌,密封后处理同 LFBE 制备。

其中,LFBE 与 RBE 主要活性成分含量分别为:蛋白质含量 34.93%, 13.93%;总糖含量 35.44%, 64.94%;酚类化合物含量 1.10%, 0.91%。

1.2.2 总蛋白质制备

采用缓冲液法,称取一定量 LFBE,4 $^{\circ}\text{C}$ 下缓冲液($V_{\text{Tris-HCl}}:V_{\text{氯化钙}}=1:1$)提取 30 min,4000 r/min 离心 10 min 取上清液,重复两次,合并上清液真空冷冻干燥,即得到发酵大麦提取物中总蛋白质。

1.2.3 总糖制备

准确称取 LFBE 1 g,溶于 25 mL 蒸馏水后沸水浴 1 h,冷却至室温,4000 r/min 下离心 10 min 收集上清液,定容至 50 mL。加入 4 倍体积无水乙醇,混匀后 4 $^{\circ}\text{C}$ 静置过夜,4000 r/min 下离心 10 min 弃上清液,沉淀用数毫升 80%乙醇润洗,反复操作 3~4 次,最后将沉淀用水充分溶解备用。

将上述所得总糖溶液与 Sevage 液[V(氯仿):V(正丁醇)=4:1]按 1:1 体积比混合,振摇 10 min,分液漏斗中静置 2 h,收集上层溶液,重复操作 8~10 次,将收集的溶液真空冷冻干燥,得到发酵大麦提取物的总糖备用。

1.2.4 酚类化合物制备

准确称取 0.5 g LFBE 溶于 10 mL 水,用 6 M 的盐酸溶液将 pH 调至 1.3~1.5,再用 20 mL 乙酸乙酯萃取,重复四次,取有机相合并后旋转蒸发,收集残渣溶于甲醇/水(25:75, V/V)。

1.2.5 平板涂布

配制 NGM 固体培养基,包括正常固体培养基及含 1 mmol/L 葡萄糖的培养基。

分别配制 3.2 mg/mL 的 RBE 和 LFBE 溶液为母液。将母液分别稀释 0、2、4、8 倍,并与活化后的大肠杆菌 OP50 菌液 1:1 混合,涂布于含 1 mmol/L 葡萄糖的培养基上,20 $^{\circ}\text{C}$ 恒温培养箱培养 24 h 待用。

分别配制 960 $\mu\text{g/mL}$, 960 $\mu\text{g/mL}$ 及 32 $\mu\text{g/mL}$ 的蛋白质,总糖及酚类化合物溶液(即相当于浓度为 3.2 mg/mL 的 LFBE 溶液中三种成分含量的浓度),稀释 0、2、4 倍后与菌液混合涂布并培养待用。

1.2.6 线虫培养

线虫培养至板上有大量产卵期的成虫,进行同步化,缓冲液 M9 中孵育至 L1 期,离心弃上清液,留下约 100 μL 液体,转移至正常平板,培养至 L4 期,转入加样平板中培养至成虫。

1.2.7 油红 O 染色

培养皿中加入 S 液 2 mL，移取线虫至离心管中，3000 r/min 离心 1 min 30 s，弃上清，重复至少两遍，加入 500 μ L 60%异丙醇，4000 r/min 离心 3 min，弃上清，加入 500 μ L 油红 O 染色液，室温 (25 $^{\circ}$ C) 避光静置 6~18 h，离心弃上清。S 液洗一遍，离心弃上清，加入 0.01% Triton-X100 250 μ L，正置显微镜下拍照，得到油红 O 染色图。

离心后加入 M9 缓冲液，转移至新的离心管，5000 r/min 离心 1 min，去除 M9；加入 200 μ L 无水乙醇，混合摇晃 5 min，5000 r/min 离心 1 min，取上清液测 510 nm 下的吸光值。

1.2.8 数据处理与统计分析

采用专业图像处理软件 image-J 处理染色图，用 spss 进行显著性分析，OriginPro 进行统计学分析并制图，结果以平均值 \pm 标准方差表示，显著性以 $p<0.05$ 计。

2 结果与讨论

2.1 RBE 与 LFBE 对秀丽隐杆线虫脂肪含量的影响

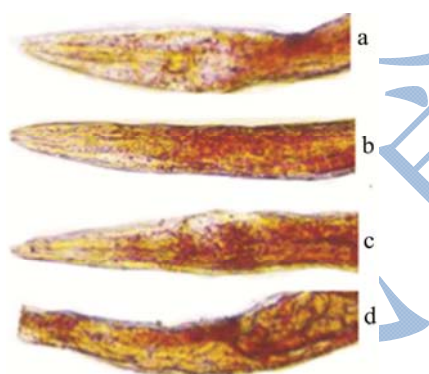


图 1 油红 O 染色图

Fig.1 oil red O staining figure

注：a.正常组；b.模型组；c.RBE 组 (800 μ g/mL)；d.LFBE 组 (800 μ g/mL)。

秀丽线虫的脂肪主要以脂滴形式储存于肠道及皮下组织，而油红 O 为脂溶性染料，可特异性的附着在中性脂肪分子上形成醒目的红色，故可用来观察秀丽隐杆线虫体内的脂肪沉积情况。如图 1 所示，与正常组相比，模型组与 RBE 组红色较深且染色面积较大，而 LFBE 组的红色较浅且面积较小，与正常组更接近，说明摄入 LFBE 能降低线虫体内脂肪含量，而摄入 RBE 则没有显著效果。

定量分析 (图 2，图 3) 则反映了油红 O 染色处理的吸光值与脂肪含量的关系，测得值越大说明线虫

体内脂肪沉积的越多。结果显示，RBE 组脂肪沉积量高于模型组，说明其在试验的范围内，RBE 不仅没有降低脂肪沉积量，反而促进了脂肪的积累。而 LFBE 在浓度较低时，对线虫体内脂肪沉积量无明显影响，但当浓度为 800 μ g/mL、1600 μ g/mL 时，LFBE 显著降低线虫体内脂肪沉积量，与模型组相比，分别降低了 13%和 26%。

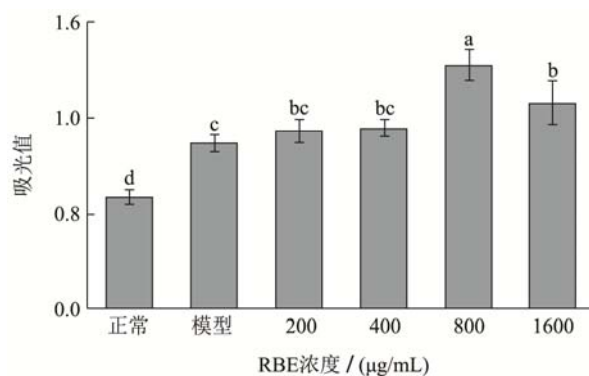


图 2 RBE 浓度对秀丽隐杆线虫脂肪沉积量的影响

Fig.2 Effects of different concentrations of RBE on fat deposition of *C.elegans*

注：不同字母表示差异显著 ($p<0.05$)。

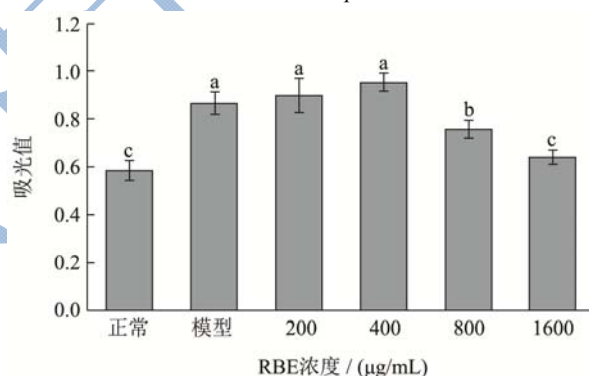


图 3 LFBE 浓度对秀丽隐杆线虫脂肪沉积量的影响

Fig.3 Effects of different concentrations of LFBE on fat deposition of *C.elegans*

注：不同字母表示差异显著 ($p<0.05$)。

乳酸菌发酵后谷物中蛋白质相对分子质量下降，多肽含量提高，游离酚酸，尤其是阿魏酸的含量有显著提高，这可能是导致 LFBE 具有更显著降脂活性的主要原因。史腊妮等^[15]发现 LFBE 有效抑制 3T3-L1 前脂肪细胞的增殖，并能显著抑制脂代谢关键基因 *C/EBP α* 、*PPAR- γ* 、*SREBP-1c*、*PTPIB* 和 *aP2* 的 mRNA 表达水平，上调 *GLUT4* 的 mRNA 表达水平，张家艳等^[16]发现 LFBE 具有调节肥胖大鼠脂代谢及改善胰岛素抵抗的作用，与本研究 LFBE 对秀丽隐杆线虫的降脂试验结果相一致。

2.2 LFBE 中总蛋白质对秀丽隐杆线虫脂肪沉

积的影响

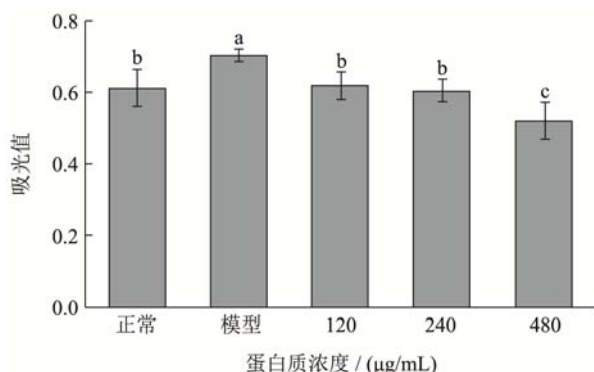


图4 不同浓度蛋白质对秀丽隐杆线虫脂肪沉积量的影响

Fig.4 Effects of different concentrations of protein on fat deposition of *C.elegans*

注: 不同字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

如图4所示, LFBE中总蛋白质能显著降低秀丽线虫体内脂肪沉积量, 且随着蛋白质浓度升高, 秀丽线虫脂肪沉积量下降。当蛋白质浓度为120、240、480 $\mu\text{g/mL}$ 时, 线虫脂肪沉积量与模型组相比分别下降了12%、14%和26%。这说明蛋白质是LFBE中抑制秀丽线虫脂肪沉积的活性组分。

研究表明, 大麦经发酵后, 其蛋白质分子量减小, 多肽含量升高, 具有更显著的生物活性。目前探讨蛋白质对秀丽线虫脂肪沉积影响的报道较少, 但在动物与细胞模型中, 发酵谷物中蛋白质或多肽的降脂功能已经得到了验证。史腊妮等^[15]研究发现, LFBE中总蛋白能显著抑制3T3-L1前脂肪细胞的增殖与分化, 并能够通过调控相关基因的表达对脂肪细胞胰岛素通路进行调节, 与本试验结果相吻合, 表明LFBE中的蛋白质具有降脂效果。

2.3 LFBE中总糖对秀丽隐杆线虫脂肪沉积的影响

如图5所示, 当总糖浓度为120 $\mu\text{g/mL}$ 时, 线虫脂肪沉积量与模型组接近, 基本不具有降脂效果; 而浓度为240 $\mu\text{g/mL}$ 时, 脂肪沉积量降低9%, 但不具有显著性; 当总糖浓度达到480 $\mu\text{g/mL}$ 时, 秀丽线虫体内脂肪沉积量与模型组相比下降12%, 接近正常组水平。这一结果表明LFBE中的总糖在一定浓度下也具有降低秀丽隐杆线虫脂肪沉积的效果。

研究表明, 谷物中的多糖尤其是膳食纤维具有降脂作用, 而膳食纤维的降脂作用与其在肠道中的发酵产物相关。Jolene等^[17]通过尼罗红染色发现, 摄入抗性淀粉后, 秀丽线虫的脂肪含量与对照组相比下降至

76.5%, 而经过小鼠肠道发酵的抗性淀粉产物能使秀丽线虫的脂肪沉积量下降至78.8%。Abdeltawab等^[18]通过临床试验证实添加大麦 β -葡聚糖的主食可以降低餐后血糖与体重, 且另有研究发现 β -葡聚糖需要达到一定浓度才能抑制前脂肪细胞分化^[19]。本研究中, 总糖达到一定的浓度才具有显著的降脂作用, 可能与其中 β -葡聚糖含量是否达到产生降脂活性的浓度有关。

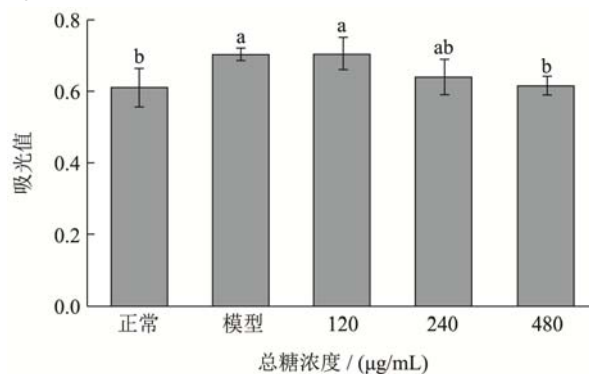


图5 不同浓度总糖对秀丽隐杆线虫脂肪沉积量的影响

Fig.5 Effects of different concentrations of polysaccharide on fat deposition of *C.elegans*

注: 不同字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

2.4 LFBE中酚类化合物对秀丽隐杆线虫脂肪沉积的影响

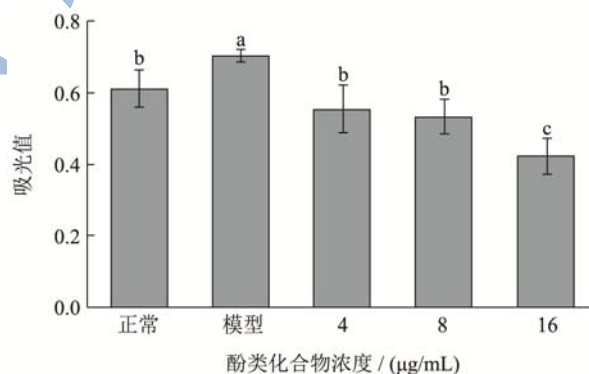


图6 不同浓度酚类化合物对秀丽隐杆线虫脂肪沉积量的影响

Fig.6 Effects of different concentrations of polyphenol compounds on fat deposition of *C.elegans*

注: 不同字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

如图6所示, LFBE中酚类化合物能显著降低秀丽线虫体内脂肪沉积量, 且随着酚类化合物浓度升高, 秀丽线虫脂肪沉积量下降。当酚类化合物浓度为4、8、16 $\mu\text{g/mL}$ 时, 线虫脂肪沉积量与模型组相比分别下降了21%、24%和39%。相同浓度LFBE中含有的酚类化合物与蛋白质和总糖相比降脂作用更加明显, 说明酚类化合物是LFBE中主要的降脂功能活性组分。

研究表明, 谷物中的酚类化合物能降低大鼠脂肪

含量,有效抑制 3T3-L1 脂肪细胞分化,且经过发酵后,谷物多酚的降脂作用更加显著。

同时,利用线虫模型对酚类化合物的研究也表明了其对线虫脂肪沉积的抑制作用。Sun 等^[20]发现含有大量酚类化合物的蔓越莓提取物作用于线虫,可使其脂肪沉积量显著下降,且通过不同突变型线虫的研究,认为酚类化合物的降脂效果可能是源于对 *sbp-1*, *cebpa* 及 *nhr-49* 等基因的表达量的调控。因此,可以推测酚类化合物在 LFBE 抑制秀丽线虫脂肪沉积的过程中起主要作用,但其发挥作用的分子机制有待进一步的研究。

3 结论

LFBE 具有减少秀丽隐杆线虫肥胖模型脂肪沉积量的功能,且以其中的酚类化合物作用最为明显,总蛋白质次之。当 LFBE 浓度达到 800 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 以上时,显著抑制秀丽线虫肥胖模型脂肪的沉积。其中,总蛋白浓度为 120 $\mu\text{g}/\text{mL}$,酚类化合物浓度为 4 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时,即具有显著的降脂活性,而总糖浓度需达到 480 $\mu\text{g}/\text{mL}$,方能显现其降低脂肪沉积的作用。

参考文献

- [1] Zavrelova M. The composition of barley grain in regards to food technology [J]. Kvasny Prumysl, 2014, 60(5): 127-130
- [2] Comino P, Collins H, Lahnstein J, et al. Effects of diverse food processing conditions on the structure and solubility of wheat, barley and rye endosperm dietary fibre [J]. Journal of Food Engineering, 2016, 169: 228-237
- [3] Arte E, Rizzello C G, Verni M, et al. Impact of enzymatic and microbial bioprocessing on protein modification and nutritional properties of wheat bran [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(39): 8685-93
- [4] Poutanen K, Flander L, Katina K. Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective [J]. Food Microbiology, 2009, 26(7): 693-699
- [5] Gangopadhyay N, Hossain M B, Rai D K, et al. A review of extraction and analysis of bioactives in oat and barley and scope for use of novel food processing technologies [J]. Molecules, 2015, 20(6): 10884-10909
- [6] Hole A S, Rud I, Grimmer S, et al. Improved bioavailability of dietary phenolic acids in whole grain barley and oat groat following fermentation with probiotic *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus johnsonii*, and *Lactobacillus reuteri* [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(25): 6369-6375
- [7] Hong S M, Chung E C, Kim C H. Anti-obesity Effect of fermented whey beverage using lactic acid bacteria in diet-induced obese rats [J]. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 2015, 35(5): 653-9
- [8] 伍静,董英,姚芳,等.乳酸菌发酵大麦提取物对人结肠癌 HT-29 细胞的抑制作用[J].中国食品学报,2016,16(6):23-29
WU Jing, DONG Ying, YAO Fang, et al. Inhibitory effect of barley fermented by lactic acid bacteria on human colon cancer HT-29 cells [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(6): 23-29
- [9] Gbewonyo K, Rohrer S P, Buckland B C. Bioreactor cultivation of the nematode *Caenorhabditis elegans*: large scale production of biologically active drug receptors for pharmaceutical research [J]. Biotechnology and Genetic Engineering Reviews, 1997, 14(1): 37-50
- [10] Mairhofer, Eva Maria. Influence of sugar on the fat metabolism and the insulin signaling pathway in *Caenorhabditis elegans* [D]. Universität Wien, 2015
- [11] GH T, DS C, TEC Z, et al. Advances in the use of *Caenorhabditis* in the nutritional study of obesity [J]. Journal of Diabetes & Metabolism, 2017, 8(4)
- [12] Gao C, Gao Z, Greenway F L, et al. Oat consumption reduced intestinal fat deposition and improved health span in *Caenorhabditis elegans* model [J]. Nutrition Research, 2015, 35(9): 834-843
- [13] Gao C, King M L, Fitzpatrick Z L, et al. Prowashonupana barley dietary fibre reduces body fat and increases insulin sensitivity in *Caenorhabditis elegans* model [J]. J Funct Foods, 2015, 18(A): 564-574
- [14] Finley J W, Sandlin C, Holliday D L, et al. Legumes reduced intestinal fat deposition in the *Caenorhabditis elegans* model system [J]. Journal of Functional Foods, 2013, 5(3): 1487-1493
- [15] 史腊妮.发酵大麦提取物调节 3T3-L1 前脂肪细胞脂代谢及其机制研究[D].镇江:江苏大学,2016
SHI La-ni. Effect of fermented barley extract on lipometabolism in 3T3-L1 preadipocytes and its mechanism [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2016
- [16] 张家艳.植物乳杆菌 dy-1 发酵大麦提取物干预胰岛素抵抗及其机制研究[D].镇江:江苏大学,2017
ZHANG Jia-yan. The effect and mechanisms of fermented barley extract with *Lactobacillus plantarum* dy-1 on insulin resistance [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2017
- [17] Zheng J, Enright F, Keenan M, et al. Resistant starch, fermented resistant starch, and short-chain fatty acids reduce

- intestinal fat deposition in *Caenorhabditis elegans* [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, 58(8): 4744-4748
- [18] Barakat A-E T S, Abd-Elmoez S I, Masoud M F, et al. Supplementation of some fruit nectars with technological barley preparations as prebiotic sources [J]. *Journal of Life Sciences and Technologies*, 2013, 38-43
- [19] Abdeltawab S B, Abd-Elmoez S I, Masoud M F, et al. Supplementation of some fruit nectars with technological barley preparations as prebiotic sources [J]. *Journal of Life Sciences and Technologies*, 2013, 1: 38-43
- [20] Sun Q, Yue Y, Shen P, et al. Cranberry product decreases fat accumulation in *Caenorhabditis elegans* [J]. *Journal of Medicinal Food*, 2016, 19(4): 427-433

现代食品科技