

植物乳杆菌生物转化南瓜多糖工艺优化

Optimization of the biotransformation process pumpkin polysaccharide by using *Lactobacillus plantarum*

李小杰¹ 郭 怡¹ 马 倩¹ 王 璞¹ 肖 萍^{1,2}

LI Xiao-jie¹ GUO Yi¹ MA Qian¹ WANG Pu¹ XIAO Ping^{1,2}

(1. 天津农学院食品科学与生物工程学院, 天津 300392; 2. 天津市农副产品深加工技术工程中心, 天津 300392)

(1. College of Food Science and Bioengineering, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300392, China;

2. Tianjin Agricultural and Sideline Products Deep Processing Technology Engineering Center, Tianjin 300392, China)

摘要:目的:提高南瓜多糖抗氧化性。方法:分别考察温度、料液比($m_{\text{南瓜粉}}:V_{\text{蒸馏水}}$)、接种量、摇床转速 4 个因素对生物转化南瓜多糖提取率的影响,并研究南瓜多糖对 DPPH 自由基的清除能力。结果:植物乳杆菌生物转化南瓜多糖的最优工艺条件为温度 37 ℃,接种量 1%,料液比 1:30 (g/mL),摇床转速 100 r/min,此条件下的植物乳杆菌生物转化南瓜多糖对 DPPH 自由基的清除率为 $(54.61 \pm 1.58)\%$,其体外抗氧化活性显著高于南瓜多糖。结论:采用植物乳杆菌 nbkBC₂₉₉ 进行生物转化能提高南瓜多糖的抗氧化活性。

关键词:南瓜多糖;植物乳杆菌;抗氧化;生物转化

Abstract: Objective: This study aimed to improve the technological conditions of antioxidant activity of pumpkin polysaccharide. **Methods:** The effects of temperature, pumpkin powder/distilled water ratio of solid to liquid, inoculation amount and shaking speed on the extraction rate of bio-transformed pumpkin polysaccharide were investigated, and the scavenging ability of pumpkin polysaccharide on DPPH free radical was studied. **Results:** The optimal conditions were inoculation amount 1% and solid-liquid ratio 1:30 (g/mL), with shaking speed of 100 r/min at 37 ℃. Under the control of these conditions, the scavenging rate of DPPH free radical was $(54.61 \pm 1.58)\%$. The *in vitro* antioxidant activity of the bio-transformed pumpkin polysaccharide was significantly higher than that of the non-transformed one. **Conclusion:** *Lactobacillus plantarum* nbkBC₂₉₉ could improve the antioxidant activity of pumpkin polysaccharide.

Keywords: pumpkin polysaccharide; *Lactobacillus plantarum*; antioxidant; biotransformation

基金项目:天津市教科科研项目(编号:2019KJ036)

作者简介:李小杰,女,天津农学院在读硕士研究生。

通信作者:肖萍(1986—),女,天津农学院讲师,博士。

E-mail: xiaoping19860724@126.com

收稿日期:2021-11-04

南瓜又称番瓜、楼瓜、金冬瓜,为葫芦科蔓生藤本植物南瓜果实,原产亚洲南部、非洲和南美洲地区^[1]。南瓜中富含氨基酸、蛋白质、纤维素及维生素等多种营养成分^[2-5]。其中多糖类物质是具有保健功能的生物活性成分。研究表明,南瓜多糖具有抗氧化^[6]、抗肿瘤^[7]、降血压、血糖及血脂作用^[8-9]。目前,有关南瓜多糖的研究主要集中在南瓜多糖的分离提取、生物活性及结构研究等方面,对其生物转化的研究尚未见报道。

生物转化^[10]是利用植物离体细胞或器官、动物细胞、微生物及其细胞器,以及游离酶对外源性化合物进行结构修饰而获得有价值产物的生理生化反应,其中应用最广泛的生物转化技术是利用微生物体系进行化合物的结构修饰^[11]。乳酸菌是一类细菌的统称,这些细菌能够利用碳水化合物生成乳酸^[12-13]。植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)是乳酸菌的一种,主要用于食品、乳制品、肉类和蔬菜的发酵。Gao 等^[14]利用从传统泡菜中分离的植物乳杆菌 NCU116 对苦瓜多糖进行生物转化,明显改善了 T2DM 模型大鼠高血糖、高胰岛素、高血脂和氧化应激水平,并且提高了肠道菌群中 *Lactococcus laudensis* 和 *Prevotella loescheii* 的丰度,降低了肠道 pH 值。张志红^[15]通过植物乳杆菌 NCU116 发酵芦笋浆,探讨了发酵芦笋多糖和芦荟多糖的理化性质和体内体外活性变化,发现发酵芦笋多糖的抗氧化能力得到了增强,并提高了其免疫活性,小鼠药物性肝损伤得到了一定修复。Lee 等^[16]研究发现,植物乳杆菌生物转化后的铁钉菜多糖在体外具有更强的 DPPH 自由基和羟自由基清除能力,在体内也可减少由伽玛射线辐照引起的氧化应激斑马鱼的卵黄囊水肿和尾巴弯曲畸形,提高斑马鱼的存活率。彭兴兴等^[17]将乳酸菌应用到南瓜中制成南瓜乳酸发酵饮料,并取得了一定研究成果,但大部分研究主要集中于工艺优化方面^[18],或者是对乳酸菌发酵南瓜风味物质的研究,而对乳酸菌生物转化南瓜多糖提高其生物活性

方面的研究尚未见报道。

研究拟通过植物乳杆菌生物转化南瓜多糖,并对其工艺条件进行优化,旨在为促进南瓜资源合理深加工,提高其利用效能提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

南瓜:市售;

植物乳酸杆菌 nbkBC₂₉₉:诺伯克(武汉)生物科技有限公司;

MRS 肉汤培养基:北京索莱宝科技有限公司;

其他试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

高速冷冻离心机:LGR20-W 型,北京京立离心机有限公司;

旋转蒸发仪:DLK-5003 型,宁波新芝生物科技有限公司;

立式压力蒸汽灭菌器:BXM-30R 型,上海博讯实业有限公司医疗设备厂;

电子天平:AX224ZH 型,奥豪斯仪器(常州)有限公司;

洁净工作台:SW-CJ-2FD 型,苏州安泰空气技术有限公司;

紫外可见分光光度计:UV-1200 型,上海沪粤明科学仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 植物乳杆菌生物转化南瓜多糖工艺流程

成熟南瓜→去皮去瓢→打浆→冷冻干燥→南瓜粉→溶解→灭菌(115 ℃、20 min)→冷却→接种→发酵→冷冻干燥→发酵南瓜粉→溶解→多糖提取→浓缩→醇沉→离心→冷冻干燥→南瓜多糖冻干粉

1.3.2 多糖提取率测定 根据池源等^[19]的方法,并按式(1)计算多糖提取率。

$$R_1 = \frac{c \times v \times n \times 10^{-6}}{m} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

R_1 ——多糖提取率,%;

c ——多糖的质量浓度,g/L;

v ——多糖液体体积,mL;

n ——稀释倍数;

m ——样品质量,g。

1.3.3 DPPH 自由基(DPPH·)清除率测定 参照韦献雅等^[20]的方法,并按式(2)计算 DPPH·清除率。

$$R_2 = \left[1 - \left(\frac{A_i - A_0}{A_0} \right) \right] \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

R_2 ——自由基清除率,%;

A_i ——样品测定管的吸光度;

A_j ——空白对照组的吸光度;

A_0 ——样品对照组的吸光度。

1.3.4 羟基自由基(OH·)清除率测定 参照程龙^[21]的方法,并按式(2)计算 OH·清除率。

1.3.5 超氧阴离子自由基(O₂⁻·)清除率测定 参照程龙^[21]的方法,并按式(3)计算 O₂⁻·清除率。

$$R_3 = \left(\frac{A_i - A_0}{A_i} \right) \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

R_3 ——O₂⁻·清除率,%;

A_i ——样品测定管的吸光度值;

A_0 ——样品溶剂(蒸馏水)代替样品测定的吸光度。

1.3.6 铁离子还原力测定 参照雷兵^[22]的方法。

1.3.7 植物乳杆菌生物转化南瓜多糖单因素试验

(1) 摇床转速:固定料液比 1:20 (g/mL),接种量 1%,温度 37 ℃,考察摇床转速(50,100,150,200 r/min)对多糖提取率和 DPPH·清除率的影响。

(2) 温度:固定料液比 1:20 (g/mL),接种量 1%,转速 50 r/min,考察温度(28,32,37,42 ℃)对多糖提取率和 DPPH·清除率的影响。

(3) 料液比:固定接种量 1%,摇床转速 50 r/min,温度 37 ℃,考察料液比 [$m_{\text{南瓜粉}} : V_{\text{蒸馏水}}$ 分别为 1:10,1:20,1:30,1:40 (g/mL)]对多糖提取率和 DPPH·清除率的影响。

(4) 接种量:固定料液比 1:20 (g/mL),摇床转速 50 r/min,温度 37 ℃,考察接种量(0.5%,1.0%,1.5%,2.0%)对多糖提取率和 DPPH·清除率的影响。

1.3.8 植物乳杆菌生物转化南瓜多糖正交试验 在单因素试验基础上选择摇床转速、温度、料液比、接种量 4 个因素,利用 L₉(3⁴)正交表设计试验,进一步优化植物乳杆菌生物转化南瓜多糖工艺。

1.4 数据处理

利用 Excel 软件对数据进行处理和统计,结果以“ $\bar{x} \pm S$ ”表示。利用 SPSS 22.0 软件对数据进行显著性分析。

2 结果与分析

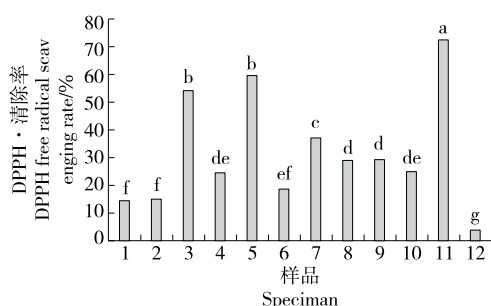
2.1 植物乳杆菌生物转化南瓜多糖菌种筛选

由图 1 可知,生物转化南瓜多糖对 DPPH·的清除率效果最佳的 3 组为植物乳杆菌 nbkBC₂₉₉ 摇床发酵 48 h>植物乳杆菌 nbkBC₂₉₉ 静置发酵 48 h>未发酵南瓜静置 24 h,说明通过植物乳杆菌的生物转化作用可以提高南瓜多糖的体外抗氧化活性。

2.2 植物乳杆菌生物转化南瓜多糖单因素试验

2.2.1 摇床转速对植物乳杆菌生物转化南瓜多糖的影响

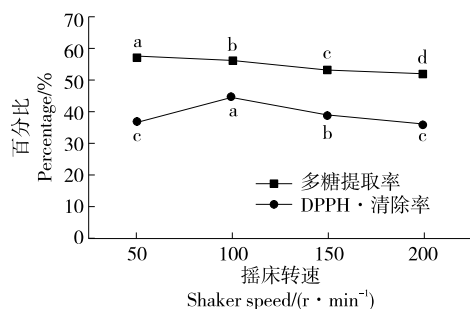
由图 2 可知,生物转化南瓜多糖提取率随摇床转速的升高逐渐降低,当摇床转速为 50 r/min 时南瓜多糖提取率最高为(55.19±0.32)%,显著高于摇床转速为 100~



1. 植物乳杆菌 nbkMA₂ 静止发酵 24 h 2. 植物乳杆菌 nbkBC₂₉₉ 静止发酵 24 h 3. 未发酵南瓜静止 24 h 4. 植物乳杆菌 nbkMA₂ 静止发酵 48 h 5. 植物乳杆菌 nbkBC₂₉₉ 静止发酵 48 h 6. 未发酵南瓜静止 48 h 7. 植物乳杆菌 nbkMA₂ 摇床发酵 24 h 8. 植物乳杆菌 nbkBC₂₉₉ 摇床发酵 24 h 9. 未发酵南瓜摇床 24 h 10. 植物乳杆菌 nbkMA₂ 摇床发酵 48 h 11. 植物乳杆菌 nbkBC₂₉₉ 摇床发酵 48 h 12. 未发酵南瓜摇床 48 h 字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图 1 植物乳杆菌 nbkMA₂ 和 nbkBC₂₉₉ 转化南瓜多糖对 DPPH·清除率的影响

Figure 1 Effects of pumpkin polysaccharides transformed by *Lactobacillus plantae* nbkMA₂ and nbkBC₂₉₉ on DPPH free radical scavenging rate



字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图 2 摇床转速对南瓜多糖提取率和 DPPH·清除率的影响

Figure 2 Effects of shaking speed on extraction rate and DPPH·scavenging rate of pumpkin polysaccharide

200 r/min 时的 ($P < 0.05$), 主要是由于摇床的机械撞击作用导致南瓜细胞越来越容易被破坏, 多糖暴露于细胞外, 使菌种更好利用多糖, 从而分解多糖, 故提取率下降^[23]。随着摇床转速的提高, 南瓜多糖对 DPPH·的清除率呈先上升后下降趋势, 当摇床转速为 100 r/min 时, 南瓜多糖对 DPPH·清除率最高为 (44.40 ± 0.22)%, 且显著高于其他条件下的 ($P < 0.05$), 由于转速过快, 多糖暴露于细胞外而被过多分解成单分子糖类物质, 可能造成其对 DPPH·清除率的下降。综上, 选取摇床转速 50, 100, 150 r/min 进行正交试验。

2.2.2 温度对植物乳杆菌生物转化南瓜多糖的影响 由图 3 可知, 不同温度下的生物转化南瓜多糖提取率无显著

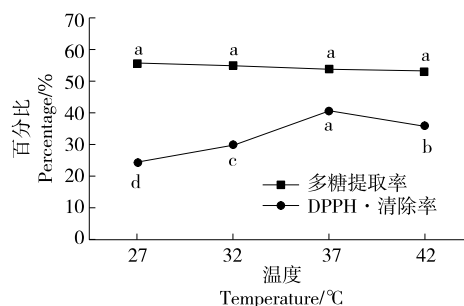
差异。当温度为 37 °C 时, 生物转化南瓜多糖对 DPPH·清除率最高为 (40.37 ± 0.17)%, 且显著高于其他条件下的 ($P < 0.05$), 可能是因为 27~37 °C 温度较低, 对多糖结构未产生明显影响, 多糖类物质^[24-25]未被破坏, 导致其对 DPPH·清除率逐渐升高, 随着温度的升高, 多糖结构发生一定的改变而导致活性下降, DPPH·清除率也随之下降。综上, 选取温度 32, 37, 42 °C 进行正交试验。

2.2.3 料液比对植物乳杆菌生物转化南瓜多糖的影响

由图 4 可知, 生物转化南瓜多糖提取率随料液比的增大逐渐降低, 当料液比为 1:10 (g/mL) 时南瓜多糖提取率最高, 与料液比为 1:20~1:40 (g/mL) 时有显著差异 ($P < 0.05$), 可能是由于南瓜细胞或组织内外浓度差随料液比的增加而减小, 不利于南瓜多糖向溶液中扩散, 因此南瓜多糖提取率逐渐降低^[26], 而当料液比为 1:20 (g/mL) 时生物转化南瓜多糖对 DPPH·清除率显著高于其他料液比的 ($P < 0.05$)。综上, 选取料液比为 1:10, 1:20, 1:30 (g/mL) 进行正交试验。

2.2.4 接种量对植物乳杆菌生物转化南瓜多糖的影响

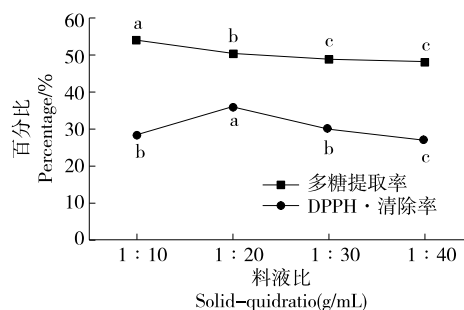
由图 5 可知, 生物转化南瓜多糖提取率随植物乳杆



字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图 3 温度对南瓜多糖提取率和 DPPH·清除率的影响

Figure 3 Effects of temperature on extraction rate and DPPH·scavenging rate of pumpkin polysaccharide



字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图 4 料液比对南瓜多糖提取率和 DPPH·清除率的影响

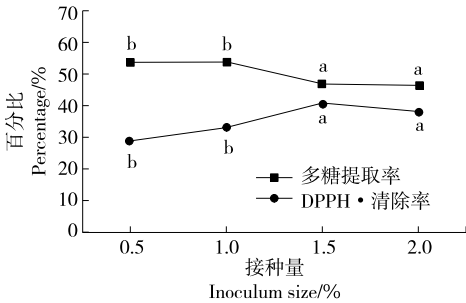
Figure 4 Effects of solid-liquid ratio on extraction rate and DPPH·scavenging rate of pumpkin polysaccharide

菌接种量的增大逐渐降低,当接种量为 0.5% 时南瓜多糖提取率最高,与接种量为 1.0% 时相比无显著性差异,但与接种量为 1.5%~2.0% 时相比差异显著($P<0.05$)。可能是因为乳酸菌可以产生如 β -半乳糖苷酶、 α -糖苷酶、 α -葡萄糖苷酶以及 α -甘露糖苷酶等相关的碳水化合物活性酶,降解南瓜多糖。当接种量为 1.5% 时,生物转化南瓜多糖对 DPPH $\cdot$ 的清除率最高为 $(40.78\pm0.20)\%$,显著高于接种量为 0.5%~1.0% 时的($P<0.05$),可能是较大的接种量对南瓜多糖分解过度产生了更多的小分子糖类物质,从而造成 DPPH $\cdot$ 清除率下降。综上,选取接种量为 1.0%,1.5%,2.0% 进行正交试验。

2.3 植物乳杆菌生物转化南瓜多糖正交试验

根据单因素试验结果,选用 $L_9(3^4)$ 正交表,以 DPPH $\cdot$ 清除率为考察指标,对植物乳杆菌生物转化南瓜多糖工艺条件进行优化。各因素水平见表 1,正交试验设计及结果见表 2。

由表 2 可知,各因素对 DPPH $\cdot$ 清除率的影响主要次序为摇床转速>料液比>温度>接种量,微生物转化南瓜多糖最优工艺组合为 $A_2B_3C_3D_2$,即摇床转速 100 r/min,温度 42 $^{\circ}\text{C}$,料液比 1:30 (g/mL),接种量 1.5%,此条件下的生物转化南瓜多糖对 DPPH $\cdot$ 的清除率为 $(47.95\pm0.19)\%$;表 2 中试验 5 的 DPPH $\cdot$ 清除率最



字母不同表示差异显著($P<0.05$)

图 5 接种量对南瓜多糖提取率和 DPPH $\cdot$ 清除率的影响
Figure 5 Effects of inoculation amount on extraction rate of pumpkin polysaccharide and DPPH $\cdot$ clearance rate

表 3 南瓜多糖与生物转化南瓜多糖体外抗氧化性对比[†]

Table 3 Antioxidant activity of pumpkin polysaccharide and biotransformed pumpkin polysaccharide

样品	DPPH $\cdot$ 清除率/%	OH $\cdot$ 清除率/%	O $_2^{\cdot-}$ 清除率/%	铁离子还原力
南瓜多糖	40.05 $\pm$ 0.13	34.28 $\pm$ 0.09	33.92 $\pm$ 0.47	0.464 $\pm$ 0.004
生物转化南瓜多糖	62.27 $\pm$ 0.06**	45.07 $\pm$ 0.23**	41.74 $\pm$ 0.08*	0.716 $\pm$ 0.004**

[†] * 表示差异显著($P<0.05$), ** 表示差异极显著($P<0.01$)。

3 结论

试验表明,植物乳杆菌生物转化南瓜多糖的最佳工艺条件为温度 37 $^{\circ}\text{C}$,植物乳杆菌 nbkBC₂₉₉ 接种量 1%,料液比 1:30 (g/mL),摇床转速 100 r/min,此条件下 DPPH 自由基清除率为 $(54.61\pm1.58)\%$ 。当多糖质量浓

表 1 正交试验因素水平表

Table 1 Table of orthogonal test factors

水平	A 摇床转速/ (r $\cdot$ min $^{-1}$)	B 温度/ $^{\circ}\text{C}$	C 料液比 (g/mL)	D 接种 量/%
1	50	32	1:10	1.0
2	100	37	1:20	1.5
3	150	42	1:30	2.0

表 2 正交试验设计及结果

Table 2 Orthogonal test results

试验号	A	B	C	D	DPPH $\cdot$ 清除率/%
1	1	1	1	1	42.11 $\pm$ 5.08
2	1	2	2	2	43.36 $\pm$ 2.18
3	1	3	3	3	47.30 $\pm$ 3.70
4	2	1	2	3	44.07 $\pm$ 3.24
5	2	2	3	1	54.61 $\pm$ 1.58
6	2	3	1	2	51.69 $\pm$ 1.82
7	3	1	3	2	46.28 $\pm$ 0.82
8	3	2	1	3	41.15 $\pm$ 0.32
9	3	3	2	1	43.53 $\pm$ 1.06
k_1	44.26	44.15	44.98	46.75	
k_2	50.12	46.37	43.65	47.11	
k_3	43.65	47.51	49.40	44.17	
R	6.47	3.35	5.74	2.58	

高,其生物转化条件为摇床转速 100 r/min,温度 37 $^{\circ}\text{C}$,料液比 1:30 (g/mL),接种量 1.0%,此时 DPPH $\cdot$ 清除率为 $(54.61\pm1.58)\%$;因此植物乳杆菌生物转化南瓜多糖最佳工艺条件为摇床转速 100 r/min,温度 37 $^{\circ}\text{C}$,料液比 1:30 (g/mL),接种量 1.0%。

2.4 南瓜多糖与生物转化南瓜多糖的体外抗氧化性

由表 3 可知,生物转化南瓜多糖对 DPPH $\cdot$ 、OH $\cdot$ 、O $_2^{\cdot-}$ 清除能力和铁离子还原力显著高于南瓜多糖($P<0.05$),即利用生物转化技术可明显提高南瓜多糖体外抗氧化活性,与马升等^[27]的结论一致。

度为 6 mg/mL 时,生物转化南瓜多糖对 DPPH 自由基、OH 自由基、O $_2^{\cdot-}$ 清除率和铁离子还原力显著高于南瓜多糖($P<0.05$),可增强南瓜多糖的体外抗氧化活性。后续可对植物乳杆菌生物转化南瓜某一单糖的抗氧化活性进行进一步研究。

参考文献

- [1] 熊涛, 龙娇. 南瓜脆片微波干燥工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(26): 16 437-16 440.
XIONG Tao, LIONG Jiao. Study on microwave drying technology of pumpkin crisp[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(26): 16 437-16 440.
- [2] 罗双群, 张桂红, 陈海伟, 等. 南瓜功能特性研究进展[J]. 粮食与油脂, 2012, 25(4): 47-49.
LUO Shuang-qun, ZHANG Gui-hong, CHEN Hai-wei, et al. Research progress on functional characteristics of pumpkin [J]. Grains & Oils, 2012, 25(4): 47-49.
- [3] 向昌国, 李文芳, 陈阳波, 等. 南瓜茎、叶、花的营养成分分析[J]. 天然产物研究与开发, 2010(22): 68-71.
XIANG Chang-guo, LI Wen-fang, CHEN Yang-bo, et al. Analysis of nutrient components in stem, leaf and flower of pumpkin[J]. Natural Product Research and Development, 2010(22): 68-71.
- [4] 熊玲, 陈京晓, 牟明远, 等. 南瓜的营养保健价值分析及产品的开发现状[J]. 食品工业科技, 2013, 34(23): 395-400.
XIONG Ling, CHEN Jiong-xiao, MOU Ming-yuan, et al. Nutritional health value analysis and product development status of pumpkin[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(23): 395-400.
- [5] 常海军, 王小燕. 南瓜多糖的提取及其抗氧化活性研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2016, 51(3): 135-139, 149.
CHANG Hai-jun, WANG Xiao-yan. Study on extraction and antioxidant activity of pumpkin polysaccharide[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2016, 51(3): 135-139, 149.
- [6] 王中星. 南瓜多糖提取工艺的优化及其抗氧化活性研究[D]. 福州: 福州大学, 2013: 4-23.
WANG Zhong-xing. Optimization of extraction technology and antioxidant activity of pumpkin polysaccharide[D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2013: 4-23.
- [7] 李哲涛. 苦瓜多糖、南瓜多糖抗肿瘤与抗氧化活性的研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2013: 1-15.
LI Zhe-tao. Study on antitumor and antioxidation activities of Polysaccharides from Balaam pear and Pumpkin[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2013: 1-15.
- [8] 王士苗. 不同南瓜品种果实提取物降血糖作用研究[D]. 新乡: 河南科技学院, 2015: 4-18.
WANG Shi-miao. Study on hypoglycemic effect of extracts from different pumpkin varieties [D]. Xinxiang: Henan Institute of Science and Technology, 2015: 4-18.
- [9] WANG Shuang, LU Ao-xue, ZHANG Lu, et al. Extraction and purification of pumpkin polysaccharides and their hypoglycemic effect[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 98: 182-187.
- [10] 周凤, 谭黄虹, 孙慧敏, 等. 基于红藻多糖的生物转化研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(13): 326-334.
ZHOU Feng, TAN Huang-hong, SUN Hui-min, et al. Advances in biotransformation of polysaccharides from red algae[J]. Food Science, 2021, 42(13): 326-334.
- [11] CAO Hui, CHEN Xiao-qing, JASSBI Amir-reza, et al. Microbial biotransformation of bioactive flavonoids[J]. Biotechnology Advances, 2015, 33(1): 214-223.
- [12] 徐广新, 杨仁琴, 吴慧, 等. 低温发酵酸奶体内和体外抗氧化作用研究[J]. 中国乳品工业, 2020, 48(11): 11-14.
XU Guang-xin, YANG Ren-qin, WU Hui, et al. Study on antioxidant effect of low temperature fermented yoghurt in vivo and in vitro[J]. Chinese Dairy Industry, 2020, 48(11): 11-14.
- [13] 樊云燕, 刘宝生, 张锦华. 乳酸菌的生物学功能和临床应用研究进展[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2014(17): 55-57.
FAN Yun-yan, LIU Bao-sheng, ZHANG Jin-hua. Research progress on biological function and clinical application of Lactic acid bacteria[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2014(17): 55-57.
- [14] GAO He, WEN Jia-jia, HU Jie-lun, et al. Polysaccharide from fermented *Momordica charantia* L. with *Lactobacillus plantarum* NCU116 ameliorates type 2 diabetes in rats[J]. Carbohydr Polym, 2018, 201: 624-633.
- [15] 张志红. 植物乳杆菌 NCU116 发酵对芦笋多糖组分的理化性质及改善环磷酸胺化疗损伤的影响研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2020: 13-86.
ZHANG Zhi-hong. Effects of *Lactobacillus plantarum* NCU116 fermentation on physicochemical Properties of *Asparagus* polysaccharide components and ameliorating cyclophosphamide chemotherapeutic damage [D]. Nanchang: Nanchang University, 2020: 13-86.
- [16] LEE Won-woo, KANG Nalae, KIM Eun-a, et al. Radioprotective effects of a polysaccharide purified from *Lactobacillus plantarum*-fermented *Ishige okamurae* against oxidative stress caused by gamma ray-irradiation in zebrafish in vivo model[J]. Journal of Functional Foods, 2017, 28: 83-89.
- [17] 彭兴兴, 林伟锋, 陈中. 两株乳杆菌发酵南瓜汁过程中挥发性物质的研究[J]. 中国酿造, 2016, 35(4): 92-97.
PENG Xing-xing, LIN Wei-feng, CHEN Zhong. Study on volatiles in fermentation of pumpkin juice by two *Lactobacillus* strains[J]. China Brewing, 2016, 35(4): 92-97.
- [18] 丘裕. 益生菌发酵南瓜汁和火龙果汁的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012: 14-42.
QIU Yu. Study on fermentation of pumpkin juice and Dragon juice by probiotics [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012: 14-42.
- [19] 池源, 王立波. 苯酚—硫酸法测定南瓜籽多糖含量的条件优化[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 89-92.
CHI Yuan, WANG Li-bo. Optimization of determination of polysaccharide content in pumpkin seeds by phenol-sulfuric acid method[J]. Food & Machinery, 2014, 30(1): 89-92.

(下转第 219 页)