

开菲尔发酵复合果蔬固体饮品的制备及体外功能研究

Preparation of solid drink with kefir fermented compound fruits and vegetables and its functions in vitro

陈树俊 罗佳

CHEN Shu-jun LUO Jia

(山西大学生命科学学院, 山西 太原 030006)

(College of Life Science, Shanxi University, Taiyuan, Shanxi 030006, China)

摘要:以开菲尔发酵剂发酵苹果浆—番茄酱—沙棘原汁复合果蔬,再添加适量菊粉、低聚果糖和麦绿素,经真空冷冻干燥制成一款休闲健康的固体饮品。以乳酸菌、酵母菌活菌数为指标,通过单因素及响应面试验,优化发酵复合果蔬发酵工艺。将发酵冻干固体饮品制成不同浓度梯度稀释液,以未发酵的冻干样品作对照,分析测定样品的体外降糖、降脂和抗氧化能力。研究结果显示,最佳发酵工艺为发酵时间46.4 h、接种量8.0%、发酵温度31℃,该条件下发酵果蔬乳酸菌、酵母菌活菌数分别为 7.58×10^{11} 、 7.41×10^{11} CFU/mL。发酵组降糖、降脂和抗氧化能力均高于对照组,其中,发酵组对牛黄胆酸钠的结合作用(降脂能力)和羟基自由基清除率(抗氧化能力)极显著高于对照组($P < 0.01$)。

关键词:开菲尔;复合果蔬;发酵工艺;固体饮品;体外功能

Abstract: Taking the compound fruits and vegetables with Kefir fermented apple pulp-ketchup-sea buckthorn juice, by adding the right amount of inulin, fructooligosaccharides and chlorophyll, a leisure health solid drink was made by freeze-drying in vacuum. With the viable count of Lactobacillus and yeast as indicators, single factor and response surface tests were used to optimize fermentation process. Fermented freeze-dried solid drink were made to different concentration gradients, using unfermented freeze-dried samples as a control, and samples were used to analyze and determine the capacity of hypoglycemic, lipid-lowering and antioxidant in vitro. The results showed that the optimal fermentation conditions were: fermentation time of 46.4 h, inoculum a-

mount of 8.0% and fermentation temperature of 31℃. Under these conditions, the viable count of lactobacillus and yeast of the fermented compound fruits and vegetables were 7.58×10^{11} , 7.41×10^{11} CFU/mL, respectively. The fermented group has higher glucose, lipid-lowering and antioxidant capacity than the control group, and the binding amount of sodium taurocholate (lipid-lowering capacity) and hydroxyl radical scavenging rate (antioxidant capacity) of fermented group is significantly higher than that of the control group ($P < 0.01$).

Keywords: kefir; compound fruits and vegetables; fermentation process; solid drink; vitro function

开菲尔属于益生菌发酵乳,发酵菌种为开菲尔粒或开菲尔菌,开菲尔菌由乳酸菌和酵母菌的某些属种组成^[1]。何雪畅等^[2]研究发现,开菲尔制品具有缓解乳糖不耐症、抑制病原菌、改善消化机能、刺激免疫系统和降低胆固醇水平等功效。

近年来,营养丰富、风味独特的复合果蔬制品已成为人们青睐的健康食品。目前市场上的发酵果蔬产品发酵菌种单一、果蔬原料单调^[3];有关开菲尔菌的研究多为乳制品^[4],例如,陈培康^[5]曾将从开菲尔粒中分离的克鲁维酵母与植物乳杆菌接入马铃薯、牛奶中进行发酵,制得酒味协调、香气宜人且口感清爽的开菲尔马铃薯发酵乳酒。目前未见有研究者将 Kefir 接入非乳制品中进行发酵。试验拟以开菲尔发酵剂发酵苹果浆—番茄酱—沙棘原汁复合果蔬,再添加一定量的菊粉、低聚果糖和麦绿素,并经真空冷冻干燥制作一种营养丰富、功能独特的新型开菲尔产品。旨在探索复合果蔬发酵工艺,以及对添加菊粉、低聚果糖和麦绿素再经冻干后的固体饮品进行体外

基金项目:山西省重点研发计划项目(编号:201903D221034)

作者简介:陈树俊(1964—),男,山西大学教授。

E-mail: chenshujun515@163.com

收稿日期:2020-03-16

降糖、降脂和抗氧化功能评价。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

苹果浆、番茄酱:青岛福得味食品有限公司;

沙棘原汁:山西野山坡食品有限公司;

开菲尔发酵剂(乳酸菌:酵母菌数量比约为3:1):山西大学生命科学学院;

氢氧化钠:分析纯,天津市大陆化学试剂厂;

乳酸细菌培养基(MRS)、酵母膏葡萄糖琼脂培养基(YPD)、琼脂、 α -淀粉酶(3 700 U/g)、牛胆酸钠、胰蛋白酶(250 U/mg):北京索莱宝科技有限公司;

DPPH:美国 Sigma 公司;

试验试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

电子台秤:ACS-15 型,长治市青鸾衡器有限公司;

隔热式电热恒温培养箱:PYX-DHS-50X65-S-II 型,上海跃进医疗器械厂;

真空冷冻干燥成套设备:TFDS25 型,烟台中孚冷链设备有限公司;

紫外可见分光光度计:UV-5100 型,上海元析仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 工艺流程及操作要点

Kefir 发酵剂→活化→果蔬复配→调节 pH→杀菌→冷却→接种→保温发酵→调配→预冻→冻干→产品

(1) 果蔬复配:通过预试验确定苹果浆:番茄酱:沙棘原汁按质量比 15.0:4.0:3.5 进行复配,并搅拌均匀。

(2) 调节 pH:用小苏打水调节果蔬浆 pH 至 4.7,封口。

(3) 杀菌:90℃恒温杀菌 20 min。

(4) 开菲尔发酵剂活化:将开菲尔发酵剂加入到 15 倍体积的新鲜灭菌乳中,于 30℃恒温培养 24 h。吸取初次培养液加入到新鲜灭菌乳,重复培养,至乳酸菌活菌总数浓度约为 $10^7 \sim 10^8$ CFU/mL,作为母发酵剂备用。

(5) 接种:杀菌复合果蔬中接种 8% 的 Kefir 母发酵剂。

(6) 保温发酵:发酵温度 31℃。

(7) 调配:将发酵及未发酵复合果蔬的质量折算为冻干后干物质质量,向其中添加菊粉、低聚果糖和麦绿素,添加量分别为复合果蔬折算质量的 13%,5%,3%^[6-8],搅拌均匀。

(8) 预冻、真空冷冻干燥:将物料倒入模具中,于-43℃预冻 8 h 后脱模、冻干。设定冷阱温度-45℃、干燥仓内真空度 10 Pa。

1.3.2 单因素试验 以发酵时间、菌种接种量和发酵温

度为试验因素,乳酸菌和酵母菌活菌数为考察指标,设计开菲尔菌发酵复合果蔬单因素试验。

(1) 发酵时间的影响:固定开菲尔菌接种量 8%,发酵温度 31℃,发酵时间分别为 38,42,46,50,54 h,以确定最佳发酵时间。

(2) 菌种接种量的影响:固定发酵时间 46 h,发酵温度 31℃,开菲尔菌接种量分别为 4%,6%,8%,10%,12%,以确定最佳接种量。

(3) 发酵温度的影响:固定发酵时间 46 h,开菲尔菌接种量 8%,发酵温度 25,28,31,34,37℃,以确定最佳发酵温度。

1.3.3 响应面优化 根据单因素试验结果,以发酵时间、开菲尔菌接种量和发酵温度为考察因素,乳酸菌活菌数和酵母菌活菌数为响应值,使用 Design-Expert 8.0.6 软件中 Box-Behnken 组合设计原理设计三因素三水平的响应面试验^[9]。

1.3.4 活菌数的测定 参考文献[10]。

1.3.5 体外降糖试验 果蔬复配后未经 Kefir 发酵,添加菊粉、低聚果糖、麦绿素再经真空冷冻干燥制成的产品即为未发酵固体饮品,以未发酵固体饮品为对照。将发酵及未发酵固体饮品制成不同浓度梯度稀释液,参照冯雁波等^[11]的方法测其 α -淀粉酶抑制率。反应液 3 000 r/min 离心 20 min 后取上清液稀释 1 000 倍,采用苯酚硫酸法^[12]测定葡萄糖含量。葡萄糖回归方程: $y = 0.139x - 0.1039, R^2 = 0.9902$ 。

1.3.6 体外降脂试验 将发酵及未发酵固体饮品制成不同浓度梯度稀释液,参照包怡红等^[13]的方法测其胆酸钠结合量。牛黄胆酸钠的回归方程为: $y = 0.09x - 0.1398, R^2 = 0.9699$ 。

1.3.7 抗氧化活性测定

(1) DPPH 自由基(DPPH·)和羟基自由基(·OH)清除率的测定:参考文献[14]。

(2) 铁还原力的测定:参考文献[15]。

1.4 数据分析与处理

采用 Microsoft Excel 软件进行数据处理,用 Origin 9.1 软件作图,响应面试验设计与分析采用 Design-Expert 8.0 软件。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

如图 1 所示,最佳发酵时间为 46 h,最佳菌种接种量为 8%,最佳发酵温度为 31℃。

2.2 发酵条件响应面优化

2.2.1 因素水平和编码设计 根据单因素试验结果确定的因素水平见表 1。

2.2.2 响应面试验设计与结果 Box-Behnken 试验设计

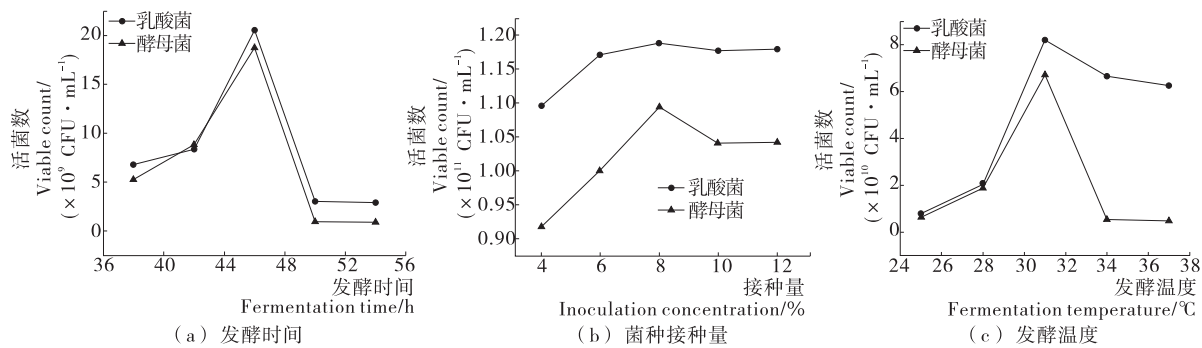


图 1 各因素对发酵过程中活菌数的影响

Figure 1 Effect of factors on viable bacteria during fermentation

表 1 响应面试验因素及水平

Table 1 Factors and levels of independent variables used for response surface analysis

水平	A 发酵时间/h	B 菌种接种量/%	C 发酵温度/°C
-1	42	6	28
0	46	8	31
1	50	10	34

及结果如表 2 所示。

2.2.3 回归方程及参数分析 由软件可得各因素对样品乳酸菌活菌数(Y_1)和酵母菌活菌数(Y_2)的二次回归方程分别为:

$$Y_1 = 7.53 + 0.17A - 0.039B + 0.23C - 0.17AB +$$

$$0.21AC + 0.15BC - 3.47A^2 - 3.63B^2 - 3.55C^2 (R^2 = 0.998\ 5, R_{\text{Adj}}^2 = 0.996\ 5), \quad (1)$$

$$Y_2 = 7.36 + 0.19A - 0.11B + 0.16C - 0.16AB + 0.15AC + 0.17BC - 3.42A^2 - 3.51B^2 - 3.52C^2 (R^2 = 0.999\ 2, R_{\text{Adj}}^2 = 0.998\ 3). \quad (2)$$

由表 3 可知,两模型极显著($P < 0.01$),失拟项不显著,相关系数 R^2 分别为 0.998 5 和 0.999 2,说明模型拟合性较好,试验误差小,模型成立。3 个因素对乳酸菌活菌数影响的主次顺序为 $C > A > B$,对酵母菌活菌数影响的主次顺序为 $A > C > B$; A^2 、 B^2 、 C^2 对乳酸菌活菌数有极显著影响 ($P < 0.01$), A 和 C 对乳酸菌活菌数有显著影响 ($P < 0.05$); A 、 A^2 、 B^2 、 C^2 对酵母菌活菌数有极显著影响 ($P < 0.01$), C 和 BC 对酵母菌活菌数有显著影响 ($P < 0.05$)。

表 2 响应面试验设计及结果

Table 2 Experimental designs and results for response surface analysis

试验号	A	B	C	活菌数/($\times 10^{11}$ CFU $\cdot$ mL $^{-1}$)	
				乳酸菌	酵母菌
1	1	-1	0	0.84	0.97
2	1	1	0	0.31	0.33
3	1	0	-1	0.25	0.16
4	0	-1	1	0.40	0.29
5	-1	-1	0	0.21	0.19
6	-1	0	-1	0.26	0.17
7	0	0	0	7.80	7.33
8	1	0	1	1.19	0.97
9	0	0	0	7.64	7.53
10	-1	1	0	0.38	0.20
11	0	1	-1	0.02	0.02
12	0	0	0	7.58	7.30
13	0	-1	-1	0.30	0.50
14	0	1	1	0.72	0.50
15	0	0	0	7.15	7.35
16	0	0	0	7.49	7.29
17	-1	0	1	0.38	0.37

表 3 回归方程方差分析[†]

Table 3 Analysis of variance of regression model

方差来源	平方和		自由度	均方		F 值		P 值	
	Y ₁	Y ₂		Y ₁	Y ₂	Y ₁	Y ₂	Y ₁	Y ₂
模型	178.73	172.44	9	19.86	19.16	510.87	1 016.90	<0.000 1 **	<0.000 1 **
A	0.24	0.28	1	0.24	0.28	6.05	14.87	0.043 5 *	0.006 2 **
B	0.01	0.10	1	0.01	0.10	0.32	5.41	0.589 2	0.052 9
C	0.43	0.20	1	0.43	0.20	11.07	10.88	0.012 6 *	0.013 2 *
AB	0.12	0.10	1	0.12	0.10	3.13	5.54	0.120 0	0.050 9
AC	0.17	0.09	1	0.17	0.09	4.44	4.79	0.073 0	0.064 7
BC	0.09	0.12	1	0.09	0.12	2.40	6.18	0.164 9	0.041 8 *
A ²	50.63	49.37	1	50.63	49.37	1 302.49	2 620.24	<0.000 1 **	<0.000 1 **
B ²	55.43	51.97	1	55.43	51.97	1 425.83	2 758.12	<0.000 1 **	<0.000 1 **
C ²	52.92	52.15	1	52.92	52.15	1 361.22	2 767.87	<0.000 1 **	<0.000 1 **
残差	0.27	0.13	7	0.04	0.02				
失拟项	0.04	0.09	3	0.01	0.03	0.20	3.11	0.893 1	0.150 8
纯误差	0.24	0.04	4	0.06	0.01				
总和	179.01	172.57	16						

[†] *. P<0.05,差异显著; **. P<0.01,差异极显著。

2.2.4 响应面优化及分析

(1) 三因素交互作用对活菌数的影响:如图 2 所示,发酵时间延长、温度升高,复合果蔬的乳酸菌、酵母菌活菌数先增大后减少;发酵时间延长,乳酸菌、酵母菌活菌数曲面坡度较大,说明样品活菌数受发酵时间影响显著;温度升高,乳酸菌活菌数先增多后减少,酵母菌活菌数先增多后

急剧减少。接种量增加,开菲尔菌在发酵前期迅速产酸,发酵后期酸性物质积累过多,过酸环境不利于菌体生长^[16],致使活菌数随发酵时间的延长而减少。发酵温度升高,菌体活跃,但随着时间的延长,温度过高,开菲尔中的乳酸菌成为优势菌,而酵母菌细胞失活,提前衰老或死亡,所以产品中酵母菌活菌数大量减少^[17]。

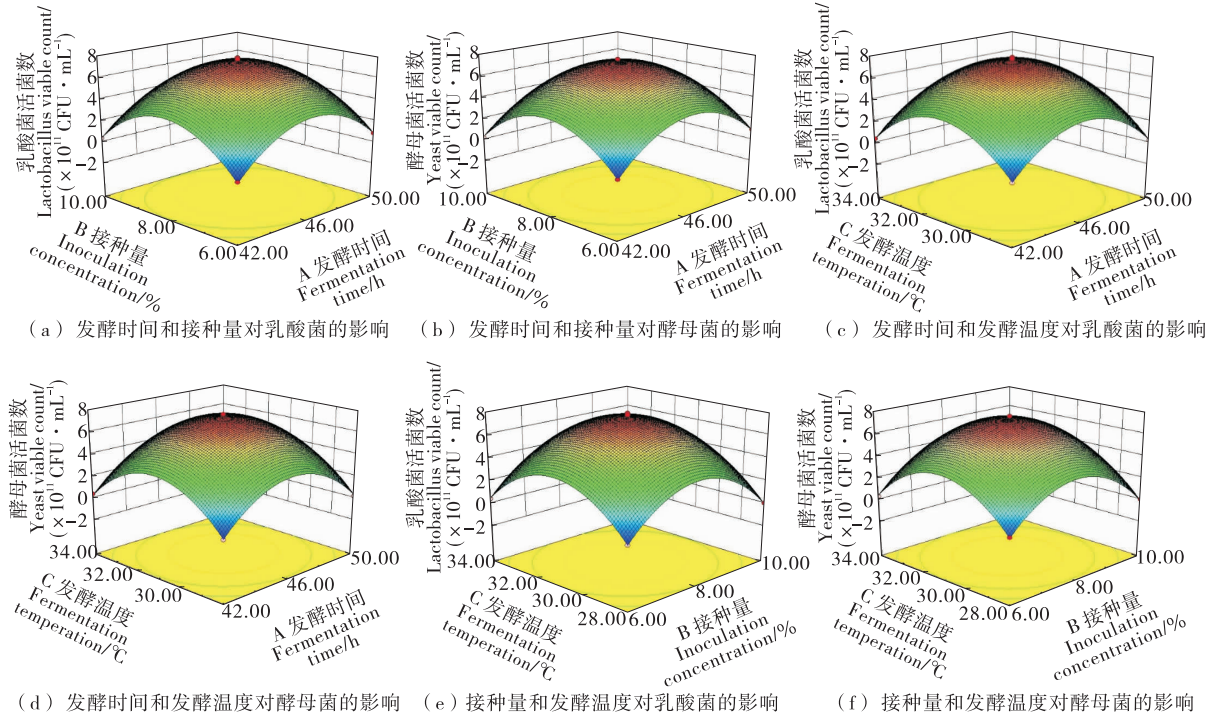


图 2 三因素交互作用对开菲尔发酵复合果蔬活菌数的影响

Figure 2 Surface response plots showing the effect of three factors on viable count

2.2.5 最佳发酵工艺的确定 由软件分析得到最佳发酵工艺为:发酵时间 46.44 h、接种量 8.01%、发酵温度 30.81 ℃。考虑到可操作性,将最佳工艺调整为发酵时间 46.4 h、接种量 8.0%、发酵温度 31 ℃,进行 3 次平行验证实验,测得发酵果蔬的乳酸菌活菌数 7.58×10^{11} CFU/mL,酵母菌活菌数 7.41×10^{11} CFU/mL。

2.3 体外功能评价结果

2.3.1 冻干后活菌数测定 测得冻干后产品乳酸菌、酵母菌活菌数分别为 6.29×10^{11} , 6.22×10^{11} CFU/g,乳酸菌、酵母菌活菌数存活率分别为 83.0% 和 83.9%。

2.3.2 体外降糖试验 如图 3 所示,发酵及未发酵的冻干产品对 α -淀粉酶都有抑制作用,且对 α -淀粉酶抑制能力随样品浓度增加而增强,样品浓度为 1,2,3,4,5 g/L 时,发酵组 α -淀粉酶抑制率比未发酵组高 27.97%, 17.87%, 13.22%, 15.18%, 31.05%, 发酵后复合果蔬冻干制品的降糖效用优于未发酵产品。未发酵及发酵样品 IC_{50} 值分别为 5.15, 3.88 g/L, 说明发酵样品对 α -淀粉酶抑制效果优于未发酵样品。

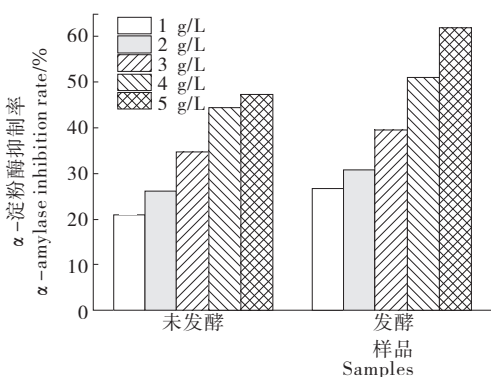


图 3 发酵及未发酵样品对 α -淀粉酶抑制率的影响

Figure 3 The effect of fermented and unfermented samples on the inhibitory activity for α -amylase

2.3.3 体外降脂试验 由图 4 可知,发酵及未发酵样品结合牛黄胆酸钠作用均随浓度的增大而增强,样品浓度为 1, 2, 3, 4, 5 g/L 时,发酵组牛黄胆酸钠结合量比未发酵组高 59.37%, 26.37%, 61.54%, 60.83%, 67.79%, 存在极显著差异 ($P < 0.01$)。

2.3.4 体外抗氧化试验 由图 5~7 可知,复合果蔬冻干制品有较强的抗氧化性,样品浓度为 1, 2, 3, 4, 5 g/L 时,发酵组 DPPH $\cdot$ 清除率比未发酵组高 7.45%, 0.23%, 1.82%, 28.19%, 13.41%, 发酵组 $\cdot$ OH 清除率比未发酵组高 2.53%, 6.74%, 11.11%, 12.30%, 19.36%, 发酵组还原力比未发酵组高 10.78%, 53.90%, 21.01%, 32.56%, 25.70%, 其中,发酵组 $\cdot$ OH 清除率极显著高于未发酵组 ($P < 0.01$)。未发酵样品清除 DPPH $\cdot$ 、 $\cdot$ OH 和还原力 IC_{50} 值分别为

2.15, -0.70, 7.58 g/L, 发酵样品清除 DPPH $\cdot$ 、 $\cdot$ OH 和还原力 IC_{50} 值分别为 1.91, -0.11, 5.80 g/L, 说明发酵组抗氧化性优于未发酵组。

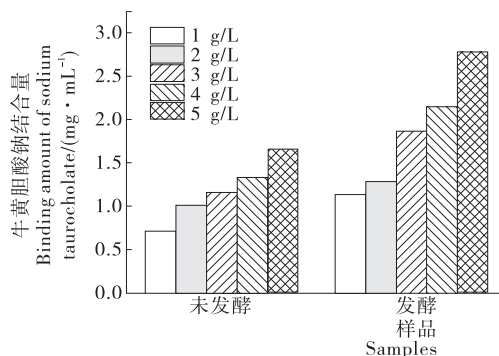


图 4 发酵及未发酵样品对牛黄胆酸钠结合量的影响

Figure 4 The effect of fermented and unfermented samples on the binding amount of sodium taurocholate

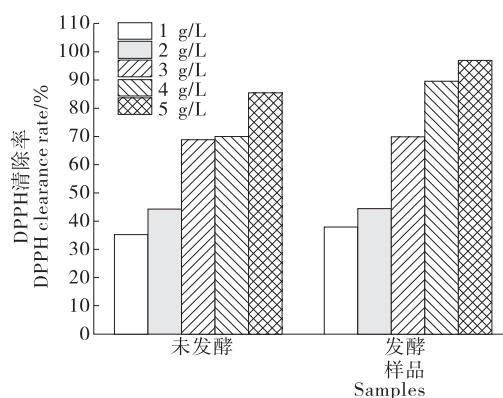


图 5 不同浓度样品对 DPPH $\cdot$ 的清除率

Figure 5 DPPH $\cdot$ removal rate of samples with different concentrations

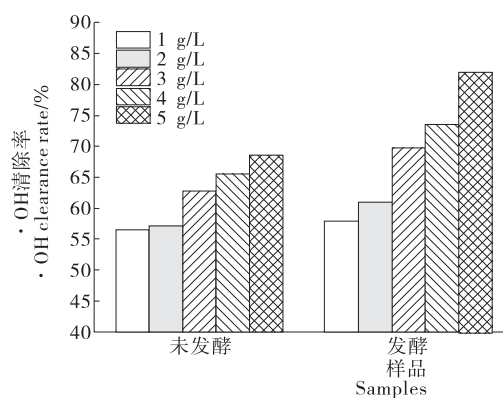


图 6 不同浓度样品对 $\cdot$ OH 的清除率

Figure 6 $\cdot$ OH removal rate of samples with different concentrations

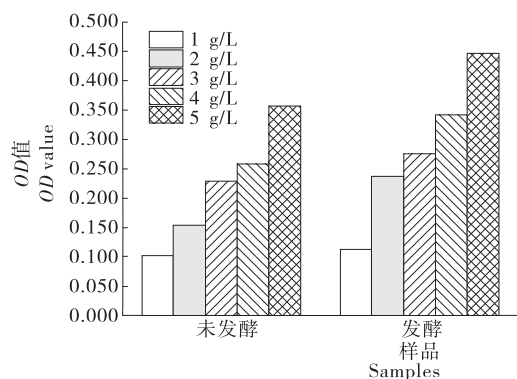


图7 不同浓度样品的还原力

Figure 7 The reducing ability of samples with different concentrations

3 结论

试验将开菲尔接入复合果蔬浆中进行发酵,再添加一定量的菊粉、低聚果糖和麦绿素,经真空冷冻干燥制成一款休闲健康的固体饮品。试验结果表明,开菲尔发酵复合果蔬最佳参数为发酵时间 46.4 h、接种量 8.0%、发酵温度 31 ℃;发酵组冻干产品降糖、降脂和抗氧化性均优于未发酵组,说明开菲尔发酵使得整个体系降糖、降脂和抗氧化活性得到了提高。试验着重探索了苹果浆、番茄酱和沙棘原汁发酵工艺和冻干产品体外功能研究,并未对冻干产品进行感官评价,另外,发酵处理复合果蔬后添加菊粉、低聚果糖和麦绿素再经冻干可能有利于改善肠道菌群,但仍需通过动物试验进一步研究^[18]。

参考文献

- [1] TOGHYANIM, MOSAVI S K, MODARESI M, et al. Evaluation of kefir as a potential probiotic on growth performance, serum biochemistry and immune responses in broiler chicks[J]. *Animal Nutrition*, 2015, 1(4): 305-309.
- [2] 何雪畅, 张爽, 臧鹏雯, 等. 开菲尔菌群的益生功效及其在发酵食品中的应用进展[J]. *食品工业*, 2016, 37(10): 220-223.

(上接第 131 页)

- [19] 邹小波, 杨志坤, 石吉勇, 等. 阿拉伯胶/白色玫瑰茄提取物复合涂膜对低温贮藏蓝莓保鲜效果的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(7): 204-211.
- [20] GAO Yang, KAN Chao-nan, WAN Chun-peng, et al. Quality and biochemical changes of navel orange fruits during storage as affected by cinnamaldehyde-chitosan coating[J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 239: 80-86.
- [21] MURMU S B, MISHRA H N. The effect of edible coating based on Arabic gum, sodium caseinate and essential oil of cinnamon and lemon grass on guava[J]. *Food Chemistry*, 2018, 245: 820-828.
- [22] 彭湘莲, 付红军, 樊丽. 山苍子精油壳聚糖复合涂膜保鲜金

- [3] 王超, 林小晖, 杜冰. 乳酸菌发酵型饮料的研究现状与前景[J]. *饮料工业*, 2018, 21(1): 68-70.
- [4] 梁铎, 荀一萍, 朱宏, 等. 开菲尔微生物、益生功能及产品开发研究进展[J]. *食品科技*, 2017, 42(10): 7-11.
- [5] 陈培康. 开菲尔马铃薯发酵乳酒工艺研究[D]. 无锡: 河南科技学院, 2018: 50-51.
- [6] 国家卫生健康委员会. 关于批准菊粉、多聚果糖为新资源食品的公告[EB/OL]. [2009-03-25]. <http://www.nhc.gov.cn/sp/s7891/200904/13298dbae507421f9a3fc5ce94a70585.shtml>.
- [7] 国家标准化管理委员会, 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 23528—2009 低聚果糖[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009: 9-10.
- [8] 彭莹莹. 麦绿素韧性饼干的研制[J]. *新疆农垦科技*, 2017, 40(4): 63-66.
- [9] 宋莹, 刘思含, 常霞, 等. 紫薯粉发酵工艺优化及抗氧化能力分析[J]. *食品与机械*, 2020, 36(1): 216-221.
- [10] 翟清燕, 赵龙玉, 赵凤春, 等. 益生菌 *Lactobacillus plantarum* 4 在豆乳中发酵特性的评价[J]. *食品与机械*, 2014, 30(3): 8-12.
- [11] 冯雁波, 包怡红. 超微粉碎对松仁膳食纤维体外降血糖、降血脂功能的影响[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(23): 342-346.
- [12] 国家质量监督检验检疫总局. SN/T 4260—2015 出口植物源食品中粗多糖的测定 苯酚—硫酸法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-3.
- [13] 包怡红, 高培栋. 复合黑木耳粉的研制及其体外降脂功效分析[J]. *东北农业大学学报*, 2017, 48(7): 41-54.
- [14] 田海娟, 罗佳, 孙宇, 等. 紫苏发酵乳体外抗氧化活性的研究[J]. *中国乳品工业*, 2019, 47(6): 14-17.
- [15] 陈树俊, 石玥, 李乐, 等. 藜麦芽发酵浓浆模拟体外消化及抗氧化活性研究[J]. *营养学报*, 2018, 40(1): 71-78.
- [16] 罗云波, 生吉萍. 食品生物技术导论[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002: 275-286.
- [17] 喻铭佳, 索化夷, 李健, 等. 乳酸菌与酵母菌对牦牛酸乳品质形成的影响[J]. *食品与机械*, 2017, 33(11): 7-12.
- [18] OREL Rok, TROP Tina Kamhi. Intestinal microbiota, probiotics and prebiotics in inflammatory bowel disease[J]. *World Journal of Gastroenterology*, 2014, 20(33): 11 505-11 524.

柑[J]. *食品与机械*, 2018, 34(9): 131-134.

- [23] XU Tian, GAO Cheng-cheng, YANG Yu-ling, et al. Retention and release properties of cinnamon essential oil in antimicrobial films based on chitosan and gum arabic[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 84: 84-92.
- [24] CHUESIANG P, SIRIPATRAWAN U, SANGUAN-DEEKUL R, et al. Antimicrobial activity and chemical stability of cinnamon oil in oil-in-water nanoemulsions fabricated using the phase inversion temperature method[J]. *LWT*, 2019, 110: 190-196.
- [25] 王梅, 徐俐, 王美芬, 等. 复合保鲜剂对鲜切山药保鲜效果的影响[J]. *食品与机械*, 2017, 33(5): 134-140.
- [26] 林顺顺, 李瑜, 祝美云, 等. 大豆分离蛋白复合涂膜对鲜切马铃薯保鲜研究[J]. *食品与机械*, 2010, 26(6): 37-39, 74.