

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.06.035

干酪乳杆菌 16 发酵豆乳工艺优化及抗氧化性研究

Optimization on process of fermented soymilk by *Lactobacillus casei* 16

侯凯荣 妥彦峰 牟光庆

HOU Kai-rong TUO Yan-feng MU Guang-qing

(大连工业大学食品学院, 辽宁 大连 116034)

(School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, Dalian, Liaoning 116034, China)

摘要:采用干酪乳杆菌(*Lactobacillus casei*)16对豆乳进行发酵,探究发酵时间、发酵温度、冷藏时间对*L. casei*16发酵豆乳的pH、总酚含量、游离氨基酸含量、物性指标的影响,并研究其抗氧化能力。结果表明,最佳发酵条件为*L. casei*16以2%接种量接种于豆乳,37℃发酵24h,发酵结束后4℃冷藏6h,该条件下发酵豆乳的总酚含量为13.94 mg/100 mL,游离氨基酸含量为1.33 mg/mL,稠度达2 192.32 g·s,总还原力和羟自由基清除能力分别为0.31和79.43%,显著高于未发酵豆乳和未优化发酵条件的豆乳($P<0.05$)。

关键词:干酪乳杆菌16;发酵豆乳;总酚;游离氨基酸;抗氧化

Abstract: In this study, *Lactobacillus casei* 16 was used to ferment soymilk. The effects of different fermentation time, fermentation temperature and refrigeration time on pH value, total phenol content, free amino acid content, and physical properties of *L. casei* 16 fermented soymilk were further investigated. The orthogonal experiment was further adopted to optimize the fermentation conditions of *L. casei* 16 fermented soymilk, with total phenol content and free amino acid content as indicators. Moreover, the antioxidant capacity of fermented soymilk after optimization was also investigated. The optimized conditions were found that *L. casei* 16 was inoculated into soymilk with concentration of 2%, fermented at 37℃ for 24 h, and then refrigerated at 4℃ for 6 h after fermentation. Under the control of these conditions, the total phenol content was 13.94 mg/100 mL, and that of free amino acids was 1.33 mg/mL, with the consistency of solution of 2 192.32 g·s. The total reducing power and hydroxyl radical scavenging ability were 0.31 and 79.43%, respectively, significantly higher than those of unfermented soymilk and unop-

timized groups ($P<0.05$).

Keywords: *Lactobacillus casei* 16; fermented soymilk; total phenol; free amino acid; antioxidant properties

豆乳中含有丰富的营养物质,如大豆蛋白及不饱和脂肪酸等,对人体健康有益^[1]。利用乳酸菌发酵豆乳,可将大豆中的异黄酮、蛋白质等物质进行适当生物转化,更利于人体吸收,具有增加免疫力、抗氧化等作用^[2-3]。

唐宇等^[4]研究发现干酪乳杆菌16发酵豆乳具有一定的抗氧化功能,主要是由于糖苷型大豆异黄酮转变为苷元型大豆异黄酮导致其抗氧化能力发生改变。徐寅等^[5]发现发酵后豆乳的抗氧化能力较发酵前增强。Dajanta等^[6]对发酵豆类进行研究,发现总酚含量与其抗氧化能力相关。孙晓琦等^[7]发现乳杆菌发酵黄浆水可显著提高其抗氧化能力,且与总酚含量呈正相关。李彤等^[8]采用植物乳杆菌发酵复合豆乳时,其游离氨基酸含量上升,且总抗氧化能力较发酵前有所增加。

在前期研究基础上,试验拟以总酚、游离氨基酸含量为指标,对*L. casei*16发酵豆乳工艺条件进行优化,并测定优化后发酵豆乳的总还原力和羟自由基清除能力,旨在为深入开发具有良好抗氧化功能特性的发酵豆乳提供依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料

1.1.1 原料与试剂

大豆:市售;

没食子酸、邻苯二甲醛、邻二氮菲:分析纯,上海阿拉丁生化科技有限公司;

MRS培养基:生物试剂,青岛高科园海博生物技术有限公司;

硫酸亚铁、三氯化铁:分析纯,北京奥博星生物技术有限公司;

β -巯基乙醇、三氯乙酸、四硼酸钠、丙酮、过氧化氢、铁

基金项目:国家自然科学基金(编号:31671828)

作者简介:侯凯荣,女,大连工业大学在读硕士研究生。

通信作者:妥彦峰(1977—),男,大连工业大学副教授,硕士生导师,博士。E-mail: tyfjq@aliyun.com

收稿日期:2020-04-01

氰化钾:分析纯,天津市大茂化学厂;

福林酚:分子生物学级,大连美仑生物有限公司。

1.1.2 仪器与设备

物性仪:TA-XT plus 型,英国超技公司;

全自动家用豆浆机:DJ11B 型,九阳股份有限公司;

生化培养箱:FQC 型,上海一恒科学仪器有限公司;

超净工作台:SWCJ1D2D 型,苏净集团苏州安泰空气技术有限公司;

酶标仪:1510 型,美国 Thermo Fisher Scientific 公司;

精密 pH 计:S210 型,梅特勒—托利多仪器有限公司;

离心机:5804 型,德国艾本德有限公司。

1.1.3 试验菌株

L. casei 16;保藏号 CCTCC M2018557,大连工业大学食品学院大连益生菌功能特性研究重点实验室提供,保藏于中国典型培养物保藏中心。

1.2 试验方法

1.2.1 工艺流程

大豆→浸泡→磨浆→冷却→接菌→发酵→冷藏→取样→测定

1.2.2 操作要点

(1) 室温下,按干豆与水重量比为 1:2 泡发黄豆 12 h,按干豆与水重量比为 1:4 进行制浆,采用双层滤布对豆浆进行过滤,于高压蒸汽灭菌锅中 105 °C 灭菌 15 min。

(2) 菌种活化采用 MRS 液体培养基,以 2% 接种量将 *L. casei* 16 连续活化 3 代(37 °C,18 h)用于豆浆发酵。

1.2.3 单因素试验

(1) 发酵时间对发酵豆乳总酚、游离氨基酸含量的影响:豆乳灭菌处理后冷却至室温,以 2% 接种量接种 *L. casei* 16,37 °C 培养箱中分别发酵 6,12,24 h,4 °C 条件下冷藏 6 h。

(2) 冷藏时间对发酵豆乳总酚、游离氨基酸含量的影响:豆乳灭菌处理后冷却至室温,以 2% 接种量接种 *L. casei* 16,37 °C 培养箱中发酵 24 h,4 °C 条件下分别冷藏 6,12,24 h。

(3) 发酵温度对发酵豆乳总酚、游离氨基酸含量的影响:豆乳灭菌处理后冷却至室温,以 2% 接种量接种 *L. casei* 16,分别于 37,40,43 °C 培养箱中发酵 24 h,4 °C 条件下冷藏 6 h。

1.2.4 正交试验设计 在单因素试验基础上,以发酵温度、发酵时间、冷藏时间为试验因素,以总酚和游离氨基酸含量为评价标准,采用 $L_9(3^3)$ 正交试验进行 *L. casei* 16 发酵豆乳工艺条件优化。

1.2.5 物性指标检测 参照华晓曼等^[9]的方法略作修改,利用物性仪进行硬度、稠度、内聚性、黏度指数测定。探头 A/BE、测试速度 1.00 mm/s、返回高度 30.00 mm、

测试距离 15.00 mm、触发力 5.00 g。

1.2.6 pH 测定 采用 pH 计法。

1.2.7 总酚含量测定 参照王振帅等^[10]的方法略作修改,取 10 g 发酵豆乳,加入 10 mL 50% 丙酮,40 °C 振荡 4 h,调节 pH 至 4.5,1 500 r/min 离心 10 min,取上清液 100 μ L 稀释至 1 mL,分别加入福林酚 0.5 mL,摇匀,加入 12% Na_2CO_3 溶液 1 mL,用水稀释至 12.5 mL,摇匀,避光反应 2 h,测定 765 nm 处吸光度,以没食子酸为标准品绘制标准曲线,其线性回归方程为 $y = 5.105 1x + 0.009 7$, $R^2 = 0.996 9$ 。

1.2.8 游离氨基酸测定 参照 Xing 等^[11]的方法略作修改,取 10 g 发酵豆乳于 50 mL 离心管中,调节 pH 至 4.5,静置 20 min,4 °C、3 000 r/min 离心 30 min。取 50 μ L 上清液加入 1 mL 邻苯二甲醛试剂,室温反应 2 min,测定 340 nm 处吸光度,以亮氨酸为标准物绘制标准曲线,其线性回归方程为 $y = 1.294 7x + 0.007 7$, $R^2 = 0.996 8$ 。

1.2.9 抗氧化活性测定

(1) 总还原能力:参照文献[12]。

(2) 羟自由基清除能力:参照文献[13]。

1.3 数据处理

所有试验均为 3 次重复,采用 SPSS 2.0 软件对试验数据进行统计分析,并采用 Origin 9.0 软件绘图,字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 发酵时间对发酵豆乳质构、pH、总酚和游离氨基酸含量的影响 由表 1 可知,物性指标均随发酵时间的延长而升高;pH 值随发酵时间的延长而显著下降($P < 0.05$)。pH 值的降低会导致发酵豆乳中的大豆球蛋白聚集凝结^[2],使分子间作用力不断加强,黏度、硬度增加^[14]。随着发酵时间的延长,发酵豆乳中总酚、游离氨基酸含量均发生显著变化($P < 0.05$),当发酵时间为 24 h 时,发酵豆乳中总酚、游离氨基酸含量达最大值,分别为 15.56 mg/100 mL 和 1.41 mg/mL。这是由于随着发酵时间的延长,发酵豆乳中蛋白质被 *L. casei* 16 产生的酶逐渐水解,因此游离氨基酸含量较发酵前升高^[15]。而且 *L. casei* 16 将豆乳中复杂的大分子酚类物质转化为小分子酚类物质,释放出更多的酚羟基,故总酚含量较发酵前有所增加,与张琪等^[16]的结果一致。

2.1.2 冷藏时间对发酵豆乳质构、pH、总酚和游离氨基酸含量的影响 由表 2 可知,发酵豆乳冷藏 12 h 与冷藏 24 h 的硬度无显著性差异;当冷藏时间为 24 h 时,发酵豆乳的稠度、内聚性和黏度指数均显著高于($P < 0.05$)其他冷藏条件下的。发酵豆乳的 pH 值随冷藏时间的延长无显著性变化,这是由于低温条件下,发酵豆乳中 *L. casei* 16

表 1 不同发酵时间下发酵豆乳的性能指标

Table 1 Performance indicators of fermented soymilk at different time

发酵时间/h	硬度/ g	稠度/ (g·s)	内聚性/ g	黏度指数/ (g·s)	pH	总酚含量/ (10 ⁻² mg·mL ⁻¹)	游离氨基酸含量/ (mg·mL ⁻¹)
6	176.75±9.05 ^c	1 219.47±23.33 ^c	73.98±2.05 ^c	68.14±0.25 ^c	5.21±0.05 ^a	11.41±0.48 ^b	1.03±0.09 ^b
12	365.67±8.02 ^b	2 554.91±66.26 ^b	147.91±14.87 ^b	139.02±16.32 ^b	4.36±0.11 ^b	15.25±0.51 ^a	1.05±0.13 ^b
24	589.40±32.18 ^a	4 160.97±117.75 ^a	292.06±3.20 ^a	303.50±16.61 ^a	3.92±0.10 ^c	15.56±0.54 ^a	1.41±0.12 ^a

表 2 不同冷藏时间下发酵豆乳的性能指标

Table 2 Performance indicators of fermented soymilk at different refrigerating time

冷藏时间/h	硬度/ g	稠度/ (g·s)	内聚性/ g	黏度指数/ (g·s)	pH	总酚含量/ (10 ⁻² mg·mL ⁻¹)	游离氨基酸含量/ (mg·mL ⁻¹)
6	298.12±5.25 ^b	2 149.50±34.97 ^c	135.15±5.16 ^b	136.96±5.25 ^b	3.95±0.03 ^a	13.27±0.24 ^b	1.17±0.16 ^a
12	332.11±20.60 ^a	2 289.39±133.15 ^b	121.72±9.09 ^c	126.46±11.18 ^c	3.93±0.01 ^a	14.53±0.30 ^a	1.04±0.24 ^c
24	330.99±8.20 ^a	2 409.16±34.38 ^a	148.21±0.39 ^a	150.06±4.56 ^a	3.87±0.06 ^a	11.33±0.87 ^c	1.11±0.09 ^b

表 3 不同发酵温度下发酵豆乳的性能指标

Table 3 Performance indicators of fermented soymilk at different fermented temperature

发酵温度/℃	硬度/ g	稠度/ (g·s)	内聚性/ g	黏度指数/ (g·s)	pH	总酚含量/ (10 ⁻² mg·mL ⁻¹)	游离氨基酸含量/ (mg·mL ⁻¹)
30	282.00±6.21 ^a	1 957.94±65.32 ^a	123.96±8.62 ^a	110.33±5.46 ^b	3.94±0.03 ^b	14.05±0.69 ^c	0.81±0.04 ^c
37	284.24±10.95 ^a	2 001.97±69.06 ^a	110.08±7.17 ^b	140.04±8.67 ^a	3.86±0.11 ^b	14.67±0.92 ^b	0.88±0.03 ^b
43	226.84±10.08 ^b	1 569.59±95.75 ^b	96.06±2.71 ^c	135.88±6.66 ^a	4.88±0.10 ^a	16.68±0.80 ^a	1.04±0.10 ^a

生长速度降低,乳酸生成速度降低,发酵豆乳 pH 值呈相对稳定的状态^[2]。当冷藏时间为 12 h 时,发酵豆乳中总酚含量最高,为 14.53 mg/100 mL,与耿彪等^[17]的结论一致。后期发酵豆乳中总酚含量下降可能是由于发酵豆乳中总酚发生氧化所致^[18]。发酵豆乳中游离氨基酸含量随冷藏时间的延长先降低后升高,可能是冷藏 12 h 后,发酵豆乳中发生了其他化学变化,从而使游离氨基酸含量升高^[19]。

2.1.3 发酵温度对发酵豆乳质构、pH、总酚和游离氨基酸含量的影响 由表 3 可知,当发酵温度为 37 ℃ 时,发酵豆乳硬度、稠度、黏度指数均达最高值。当发酵温度为 30、37 ℃ 时,发酵豆乳 pH 值较低,发酵豆乳中的大豆球蛋白不断聚集凝结,进而导致硬度、稠度、内聚性、黏度指数发生变化,可能是此时发酵豆乳中 *L. casei* 16 生长状态良好^[2],产酸能力较强,导致 pH 值较低。当发酵温度为 43 ℃ 时,发酵豆乳中 *L. casei* 16 的生长、产酸能力下降,体系中 pH 偏高。

由表 3 还可知,当发酵温度为 43 ℃ 时,发酵豆乳中总酚含量显著增高($P < 0.05$),可能是由于发酵温度的升高导致发酵豆乳中分子渗透、扩散、溶解速度加快,并且高温条件可以弱化或破坏细胞壁的完整性,使酚类物质更容易从发酵豆乳中转移至溶剂中,二者共同作用下导

致了发酵豆乳中总酚含量的增加^[20];发酵豆乳中游离氨基酸含量随发酵温度的升高而显著升高。发酵过程中,*Lactobacillus* 主要是由胞内肽酶(乳内肽酶、氨基肽酶等)降解寡肽从而产生游离氨基酸^[21]。当发酵温度为 43 ℃ 时,发酵豆乳中游离氨基酸含量最高,为 1.04 mg/mL。刘璐^[22]研究发现,鼠李糖乳杆菌 1.0386 的胞壁蛋白酶、氨基肽酶的最适温度分别为 40、45 ℃。推测发酵温度为 43 ℃ 下游离氨基酸含量升高的原因可能是 *L. casei* 16 发酵所产生的酶在 43 ℃ 时保持良好活性。

2.2 正交试验

在单因素试验基础上,以总酚、游离氨基酸含量为考察指标,对发酵时间、冷藏时间、发酵温度进行正交试验以确定最优的发酵条件。试验因素水平见表 4,结果与分析见表 5。

表 4 因素水平表

Table 4 Factors and levels of orthogonal experiment

水平	A 发酵时间/h	B 冷藏时间/h	C 发酵温度/℃
1	6	6	30
2	12	12	37
3	24	24	43

由表 5 可知,总酚含量的最优方案为 A₃B₁C₂,即发酵温度 37 ℃,发酵时间 24 h,冷藏时间 6 h。游离氨基酸含量的最优方案为 A₃B₃C₂,即发酵温度 37 ℃,发酵 24 h,冷藏 24 h。由表 6 可知,各因素对总酚、游离氨基酸含量的影响不显著(P>0.05)。

综合考虑上述两个正交试验结果的差异,如表 7 所示,方案 A₃B₃C₂的总酚含量高于方案 A₃B₁C₂,但差异不显

著(P>0.05),结合实际生产需求,确定最佳的发酵条件为 A₃B₁C₂,即发酵时间 24 h,冷藏时间 6 h,发酵温度 37 ℃,此条件下发酵豆乳的总酚含量为 13.94 mg/100 mL,游离氨基酸含量为 1.33 mg/mL。陈佩等^[2]发现,经 24 h 发酵后,*L. casei* CCFM0412 发酵豆乳中游离氨基酸含量上升,但低于试验结果,说明通过试验条件优化后,提高了发酵豆乳中游离氨基酸含量。

表 5 正交试验结果及分析

Table 5 Analysis of the results of orthogonal experiment

试验号	A	B	C	空列	总酚含量/ (10 ⁻² mg·mL ⁻¹)	游离氨基酸含量/ (mg·mL ⁻¹)
1	1	1	1	1	14.407 9	1.263 1
2	1	2	2	2	12.430 9	1.355 8
3	1	3	3	3	10.705 6	1.431 0
4	2	1	2	3	13.882 2	1.313 0
5	2	2	3	1	12.190 5	1.195 5
6	2	3	1	2	11.575 9	1.193 7
7	3	1	3	2	11.639 2	1.341 4
8	3	2	1	3	12.722 6	1.113 9
9	3	3	2	1	15.666 8	1.610 2
<hr/>						
总酚	k ₁	12.51	13.31	12.90	14.09	
	k ₂	12.55	12.45	13.99	11.88	
	k ₃	13.34	12.65	11.51	12.44	
	R	0.83	0.86	2.48	2.21	
游离氨基酸	k ₁	1.35	1.31	1.19	1.36	
	k ₂	1.23	1.22	1.43	1.30	
	k ₃	1.36	1.41	1.32	1.29	
	R	0.12	0.19	0.24	0.07	

表 6 正交试验方差分析

Table 6 Variance analysis of orthogonal experiments using total polyphenol content as evaluation index

来源	平方和		自由度	方差		F 值		显著性	
	总酚	游离氨基酸		总酚	游离氨基酸	总酚	游离氨基酸	总酚	游离氨基酸
A	1.317	0.028	2	0.658	0.014	0.167	3.278	0.857	0.234
B	1.220	0.054	2	0.610	0.027	0.154	6.332	0.866	0.136
C	9.280	0.084	2	4.640	0.042	1.174	9.794	0.460	0.093
误差	7.905	0.009	2	3.953	0.004				
校正总计	19.722	0.175	8						

表 7 发酵豆乳优化方案验证实验

Table 7 Verification experiment

优化方案	硬度/g	稠度/ (g·s)	内聚性/g	黏度指数/ (g·s)	总酚/ (10 ⁻² mg·mL ⁻¹)	游离氨基酸/ (mg·mL ⁻¹)
A ₃ B ₁ C ₂	311.91±8.16 ^b	2 192.32±42.11 ^a	146.83±9.82 ^a	175.14±13.81 ^a	13.94±0.61 ^a	1.33±0.04 ^a
A ₃ B ₃ C ₂	325.36±21.35 ^a	2 094.47±166.38 ^b	126.82±21.12 ^b	151.64±22.48 ^b	14.26±0.13 ^a	1.21±0.05 ^b

2.3 抗氧化能力比较

由表 8 可知,与未发酵豆乳相比,采用 *L. casei* 16 发酵的未优化组和优化组豆乳总还原力分别为 0.28、0.31,羟自由基清除能力分别为 72.35%,79.43%,显著高于未发酵豆乳的($P<0.05$);优化后的发酵豆乳总还原能力和羟自由基清除能力得到显著提高($P<0.05$)。Suo 等^[23]发现发酵乳杆菌 Zhao 发酵豆乳的羟自由基清除能力为 55.1%,保加利亚乳杆菌发酵豆乳羟自由基清除能力为 31.7%,均低于试验结果。

表 8 抗氧化能力比较

Table 8 Comparison of antioxidant activity

样品	总还原力	羟自由基清除能力/%
未发酵豆乳	0.24±0.01 ^c	27.42±1.81 ^c
未优化组发酵豆乳	0.28±0.04 ^b	72.35±0.54 ^b
优化组发酵豆乳	0.31±0.02 ^a	79.43±2.33 ^a

3 结论

试验表明,发酵豆乳的最优工艺条件为 *L. casei* 16 以 2% 接种量接种于豆乳,37 °C 发酵 24 h,4 °C 冷藏 6 h;该条件下发酵豆乳的总酚含量为 13.94 mg/100 mL,游离氨基酸含量为 1.33 mg/mL;优化条件下发酵豆乳的总还原能力为 0.31,羟自由基清除能力为 79.43%。后续将对 *L. casei* 16 发酵豆乳的抗氧化机制进行研究。

参考文献

[1] 任向楠,丁钢强,程峰. 豆浆营养素含量及影响因素研究进展[J]. 营养学报, 2019, 41(2): 198-203.

[2] 陈佩,党辉,贺国旗,等. 一株干酪乳杆菌生物学特性及其发酵豆乳的研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(17): 17-21.

[3] 李程程. 不同乳酸菌发酵豆乳的研究进展[J]. 中国酿造, 2013(10): 5-8.

[4] 唐宇,张将,高原,等. 菌株 *Lactobacillus casei*-16 发酵豆浆的抗氧化特性研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(8): 1-9.

[5] 徐寅,黄玉军,陈霞,等. 乳酸菌发酵豆乳体内外抗氧化效应研究[J]. 中国乳品工业, 2012, 40(8): 16-19.

[6] DAJANTA K, JANPUM P, LEKSING W. Antioxidant capacities, total phenolics and flavonoids in black and yellow soybeans fermented by *Bacillus subtilis*: A comparative study of Thai fermented soybeans (thua nao)[J]. International Food Research Journal, 2013, 20(6): 3125-3132.

[7] 孙晓琦,周德庆,王珊珊,等. 3 种乳酸菌发酵提高黄浆水抗氧化能力的研究[J]. 食品研究与开发, 2017(18): 11-16.

[8] 李彤,彭珍,熊涛. 乳酸菌发酵对复合豆乳饮料营养成分、香气成分及抗氧化活性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(4): 111-118.

[9] 华晓曼,贾冬梅,潘美锡,等. 干酪乳杆菌 N1115 直投式发酵剂接种量对发酵豆乳品质的影响[J]. 中国乳品工业, 2017, 45(1): 12-14.

[10] 王振帅,陈善敏,信思悦,等. 朝鲜菊花苞汁总酚、总黄酮、抗氧化性比较及体外模拟胃肠消化特性[J]. 食品科学, 2019, 40(19): 136-142.

[11] XING Guang-liang, RUI Xin, WANG Dan, et al. The effect of fermentation pH on the protein bioaccessibility of soymilk curd with added tea polyphenols as assessed by in vitro gastrointestinal digestion[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2017, 65(50): 11125-11132.

[12] 巩嵩,任顺成,常云彩,等. 云南特色豆类的酚类含量及其抗氧化活性[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(4): 1-5.

[13] 赵堂彦. 鹰嘴豆酶水解与发酵对其功能活性的影响研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2016: 29-31.

[14] 田甜,武俊瑞,岳喜庆. 豆酱自然发酵过程中质地变化及相关性分析[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(2): 27-31.

[15] 宓月光,王伟明,孙银玲,等. 淡豆豉和豆豉纯种发酵过程中游离氨基酸的含量变化[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(23): 257-261.

[16] 张琪,朱丹,牛广财,等. 纳豆芽孢杆菌发酵黑豆豉的前发酵工艺优化[J]. 食品与机械, 2019, 35(10): 179-183

[17] 耿彪,张启彤,朱树华,等. 榭树叶提取液对冷藏期间桃品质及抗氧化系统的影响[J]. 中国果树, 2020(1): 36-41, 47.

[18] 陈丽琼. 葡萄酒贮藏期间主要理化指标和抗氧化活性的动态变化研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2016: 33-34.

[19] 李蕊,王一然,刘丽云,等. 贮存温度对巴氏杀菌乳中游离氨基酸组成及品质的影响[J]. 中国乳品工业, 2020, 48(1): 8-13.

[20] 吴杰,吴延东,赵雪松,等. 不同发酵条件对山竹果酒活性成分溶出的影响[J]. 粮食与食品工业, 2018, 25(2): 42-46, 49.

[21] 范宇,陈历俊,赵常新. 酸乳低温储存期间乳蛋白和游离氨基酸变化及质构关系[J]. 中国乳品工业, 2009, 37(10): 15-19.

[22] 刘璐. 益生菌对干酪活性肽生成机制的影响及其结构特征的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2018: 38-39.

[23] SUO Hua-yi, QIAN Yu, FENG Xia, et al. Free radical scavenging activity and cytoprotective effect of soybean milk fermented with *Lactobacillus Fermentum* Zhao[J]. Journal of Food Biochemistry, 2015, 40(3): 294-303.