

# 不同蓝莓添加方式对益生菌慕斯品质及抗氧化性的影响

陆丹丹<sup>1,3</sup>, 马昕怡<sup>1</sup>, 王鹏<sup>1</sup>, 肖潇<sup>1</sup>, 邵童<sup>1</sup>, 陈霞<sup>1,2,3\*</sup>

(1. 扬州大学 江苏省乳品生物技术与安全控制重点实验室, 江苏 扬州 225127;

2. 江苏省乳业生物工程技术研究中心, 江苏 扬州 225127; 3. 扬州大学 食品科学与工程学院, 江苏 扬州 225127)

**摘要:** 研究牛乳发酵前后添加蓝莓果浆或果汁对益生菌慕斯品质、活菌数、总酚含量、花色苷含量和抗氧化性的影响,发现添加蓝莓果浆或果汁可以显著提高益生菌慕斯在4℃贮存21d期间的滴定酸度、活菌数、总酚含量、花色苷含量及抗氧化活性,降低其pH,但不会对感官品质产生显著影响;添加蓝莓果浆的慕斯感官品质、总酚含量和花色苷含量均高于添加果汁的慕斯;发酵前添加蓝莓果汁或果浆比发酵后添加的慕斯的pH更低,滴定酸度、活菌数、总酚含量、花色苷含量和抗氧化活性更高,其中发酵前添加蓝莓果浆的慕斯品质最佳,且在4℃贮藏21d期间保持了较高的活菌数和抗氧化活性。表明蓝莓果浆与灭菌牛乳混合后发酵为益生菌慕斯的最佳蓝莓添加方式。

**关键词:** 蓝莓; 益生菌慕斯; 酚类物质; 花色苷; 抗氧化活性

**中图分类号:** TS 972.123.6

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-8730(2021)01-0076-08

近年来,益生菌能改善人体微生态平衡、提高免疫力的观念已经得到越来越多消费者的认可。<sup>[1]</sup>随着人们健康意识的不断提高,益生菌食品已成为全球功能性食品市场销量最高的产品。<sup>[2]</sup>益生菌慕斯是一种以益生菌发酵乳、稀奶油、蛋黄、糖为基本原料的充气式低温乳制品。添加了益生菌的慕斯在保留了原有美味的基础上,赋予了产品一定的肠道益生功能,是近年来广受消费者喜爱的低温乳制品之一。<sup>[3]</sup>蓝莓是一种富含酚类物质和花色苷的紫色浆果,具有抗氧化、改善视力、抗癌和减缓衰老等多重益生功能。<sup>[4]</sup>在益生菌慕斯中添加蓝莓果浆或果汁,开发兼具良好风味口感,又具有抗氧化功能的益生菌蓝莓慕斯,对于丰富益生菌食品品种,提升乳制品的产品附加值具有重要意义。

在发酵乳制品中添加各种天然果蔬原料及植物提取物,已成为近年来产品开发的热点。<sup>[5]</sup>多项研究证实果蔬中的植物多糖、酚类物质等可以

促进乳酸菌的生长,而乳酸菌发酵产生的酸性环境也有利于提高果蔬中酚类物质的稳定性和抗氧化活性。<sup>[6,7]</sup>KARINA等<sup>[8]</sup>研究发现在益生菌发酵山羊乳中添加葡萄果渣提取物可以提高益生菌的存活能力,且产品中的总酚含量显著提高;LIU等<sup>[9]</sup>研究表明添加蓝莓花浆可以提高凝固型酸奶中乳酸菌活菌数,同时产品的抗氧化能力显著提高。但也有研究表明添加草莓汁、猕猴桃汁、青苹果汁等会对发酵乳制品中的乳酸菌产生抑制作用。<sup>[10]</sup>BURITI等<sup>[11]</sup>的研究证实添加百香果汁会降低益生菌慕斯中*L. acidophilus* La-5的活菌数,而添加番石榴汁则不会对菌株活性产生影响。上述研究结果说明不同的果蔬原料可能对乳酸菌的活性产生不同的影响。且添加量和添加方式不同,对乳酸菌活性的影响也存在较大的差异。<sup>[12]</sup>因此,有必要开展不同蓝莓添加方式对益生菌慕斯品质及菌活性影响的研究。

此外,蓝莓中的酚类物质及花色苷的稳定性

收稿日期:2020-11-26 \*通信作者

基金项目:江苏省乳业生物工程技术研究中心开放课题(ZK2019013);扬州大学科技创新培育基金项目(2019CXJ185)

作者简介:陆丹丹,女,扬州大学食品科学与工程学院研究生,从事益生菌功能食品研究,E-mail:490706415@qq.com;

陈霞,女,扬州大学食品科学与工程学院副教授,博士,从事益生菌功能食品及焙烤食品开发研究,E-mail:chenxia@yzu.edu.cn。

受环境因素、食品成分及加工条件的影响较大。一般在酸性和低温条件下多酚类物质的稳定性较高,而乳酸菌发酵可以促进酚类及类黄酮物质的生物转化和利用。王储炎等<sup>[13]</sup>利用副干酪乳杆菌和干酪乳杆菌对蓝莓果浆进行发酵,发现乳酸菌发酵可以提高蓝莓中的多酚含量和抗氧化能力。JOHNSON 等<sup>[14]</sup>研究发现在蓝莓果酒的发酵过程中蓝莓多酚含量会显著提高,且抗氧化能力有所增加。在酸奶体系中,不同的蓝莓添加工艺对酚类物质的稳定性也会产生影响。<sup>[15]</sup>而有关益生菌蓝莓慕斯中酚类物质的稳定性及抗氧化活性的研究目前未见报道。本文以 *L. plantarum* S7 为发酵菌种,将蓝莓制备成全果浆或过滤果汁,分别于牛乳发酵前或发酵后添加,从而制备益生菌蓝莓慕斯;在此基础上,研究不同的蓝莓添加方式对慕斯样品活菌数、pH、滴定酸度、感官品质、总酚含量、花色苷含量和抗氧化活性的影响,为开发口味良好且具有抗氧化功能的益生菌蓝莓慕斯产品提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

植物乳杆菌 S7 (*Lactobacillus plantarum* S7) 由江苏省乳品生物技术与安全控制重点实验室提供。安佳脱脂乳粉、安佳淡奶油:恒天然商贸(上海)有限公司;全脂乳粉、纯牛奶:扬大康源乳业有限公司;蓝莓、绵白糖、鸡蛋等均购自扬州市大润发超市;展艺牌吉利丁片:上海枫未实业有限公司;没食子酸标准品、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH):上海源叶生物科技有限公司;羟基自由基试剂盒、超氧阴离子试剂盒:南京建成生物工程研究所。

### 1.2 仪器与设备

APV1000 高压均质机:美国 SPX 集团;PHS-3E 酸度计:上海雷磁仪器厂;JF-SX-500 全自动灭菌锅:日本 TOMY 公司;1510 型酶标仪:美国 THERMO 公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 *L. plantarum* S7 的活化培养

将冻干保存的 *L. plantarum* S7 接种于 MRS 液体培养基中,于 37 °C 培养 24 h,活化传代 2 次,再接种于灭菌脱脂乳中传代一次。

#### 1.3.2 蓝莓果汁和果浆的制备

选取成熟度适中,无病虫害、新鲜的蓝莓,在 4 °C 的冰箱内冷藏降温后,放入破壁机中打浆,取一部分用 0.381 mm 筛网过滤,得到蓝莓果汁。将蓝莓果浆和果汁分别装入聚乙烯袋中,用真空封口机封口,于 4 °C 冰箱贮藏备用。

#### 1.3.3 益生菌慕斯的制备

参照王娜等<sup>[16]</sup>的方法,配方如表 1 所示。

表 1 益生菌蓝莓慕斯的配料比 %

原料	C	PB	JB	PA	JA
发酵乳	40	40	40	40	40
稀奶油	18	18	18	18	18
蓝莓果汁	-	-	20	-	20
蓝莓果浆	-	20	-	20	-
牛奶	30	10	10	10	10
蛋黄	5	5	5	5	5
绵白糖	5	5	5	5	5
吉利丁	2	2	2	2	2
总量	100	100	100	100	100

注:C 为不加蓝莓的空白对照组;PB 为牛乳发酵前添加蓝莓果浆制备益生菌慕斯;JB 为牛乳发酵前添加蓝莓果汁制备益生菌慕斯;PA 为牛乳发酵后添加蓝莓果浆制备的益生菌慕斯;JA 为牛乳发酵后添加蓝莓果汁制备益生菌慕斯;“-”为不添加。

吉利丁片用冷水浸泡 15 min,沥干备用。蛋黄、绵白糖、牛奶放入不锈钢盆中搅拌均匀,置于 80 °C 水浴中边加热边搅拌,当料液升温至 80 °C 时保温 5 min。降温到 60 °C 左右时加入泡软的吉利丁,搅拌至吉利丁融化,继续降温至 28 °C 左右时,加入蓝莓果浆、果汁、发酵乳或蓝莓发酵乳,以及打至六成发的稀奶油,搅拌均匀后,分装入慕斯杯中,置于 4 °C 冰箱冷却凝固、保存。

#### 1.3.4 感官评价

在 4 °C 冷藏 1 d 后,对 5 组慕斯样品进行感官评价。测试内容包括慕斯产品的外观、组织状态、口感、色泽、气味。评分小组由 10 位接受过感官评定培训的学生和老师组成,按照表 2 评分标准进行打分,结果取 3 次评分的平均值。

#### 1.3.5 慕斯 pH 和滴定酸度的测定

pH 的测定按照 GB 5009.239—2016 方法进行测定;滴定酸度的测定参照 GB 5009.239—2016 中的酚酞指示剂法测定。

表2 感官评分标准

项目	分值	评分标准	得分
外观	20	表面光滑、细腻,无气泡,无明显颗粒沉积	17~20
		表面有少许气泡,少许颗粒沉积	12~16
		表面有较多气泡,有明显颗粒沉积	1~11
色泽	20	色泽均匀一致	17~20
		色泽不均匀,但无明显色差	12~16
		色泽不均匀,有明显色差	1~11
组织状态	20	组织细腻、均匀,无气孔	17~20
		组织均匀,少许气孔,少许分层	12~16
		组织不够细腻,明显分层,气孔较多	1~11
滋味 气味	20	具有蓝莓和发酵乳的香气,酸甜适口	17~20
		蓝莓和发酵乳香味较淡,略甜或略酸	12~16
		蓝莓和发酵乳香味淡,酸味重或有异味	1~11
口感	20	口感细腻、爽滑、软嫩	17~20
		口感较细腻、不爽滑,有少许颗粒感	12~16
		口感粗糙、不细腻,有颗粒感	1~11

### 1.3.6 活菌数的测定

参照 GB 4789.35—2016 中乳酸菌活菌数的测定方法测定慕斯中的活菌数。

### 1.3.7 总酚及花色苷含量测定

#### 1.3.7.1 样品前处理

称取蓝莓果浆和慕斯样品各 1 g,按固液比 1:10 加入酸化甲醇(含 1% HCl、80% 甲醇水溶液)超声辅助提取 30 min,10 000 r/min 离心 10 min,收集上清液,在残渣中再加入 10 mL 酸化甲醇超声辅助提取 30 min,离心收集上清液,将两次上清液合并,-20 ℃ 保存待测。

#### 1.3.7.2 总酚含量测定

采用福林酚法<sup>[17]</sup>,取上述提取物的上清液 1 mL 于 10 mL 容量瓶中,加入 1 mL FC 试剂反应 5 min,再加入 4 mL 7.5% 碳酸钠溶液,加超纯水定容至 10 mL,室温下避光放置 1 h,765 nm 处测定吸光值,结果以没食子酸当量表示。

#### 1.3.7.3 花色苷含量测定

采用 pH 示差法<sup>[18]</sup>,并稍做修改,分别吸取

上述提取液 1 mL 于 10 mL 容量瓶中,用 pH 1.0 缓冲液[0.2 mol/L KCl:0.2 mol/L HCl = 25:67 (v/v)]和 pH 4.5 缓冲液[1 mol/L NaAc:1 mol/L HCl:H<sub>2</sub>O = 100:60:90 (v:v:v)]定容,25 ℃ 避光储存 2 h,分别在 520 nm 和 700 nm 下测定其吸光值。花色苷含量按下式计算(结果以矢车菊-3-O-葡萄糖苷计):

$$\text{花色苷含量 (mg/100 g)} = (D \times M_w \times DF \times 1000) / (\epsilon \times l)$$

式中: $D = (D_{520 \text{ nm}} - D_{700 \text{ nm}})_{\text{pH}1.0} - (D_{520 \text{ nm}} - D_{700 \text{ nm}})_{\text{pH}4.5}$ ;  $M_w$  为矢车菊-3-O-葡萄糖苷的相对分子质量,449.2;  $DF$  为稀释倍数;  $\epsilon$  为矢车菊-3-O-葡萄糖苷的摩尔消光系数,29 600;  $l$  为比色皿的光程长度。

### 1.3.8 慕斯的抗氧化能力测定

#### 1.3.8.1 DPPH 自由基清除率测定

参照文献[19]介绍的方法测定慕斯对 DPPH 自由基的清除率。取样品 1 mL,加入 1 mL DPPH 无水乙醇溶液(0.2 mmol/L),摇匀,避光反应 30 min,8 000 r/min 离心 5 min,取上清液于 517 nm 处测定吸光度值  $D_i$ ; 以等体积无水乙醇代替 DPPH 无水乙醇溶液为  $D_j$ ,以等体积无水乙醇代替样品溶液为  $A_c$ ,并以等体积蒸馏水和乙醇混合液调零。按照下列公式计算 DPPH 自由基的清除率:

$$\text{DPPH 清除率 (\%)} = [1 - (D_i - D_j) \div D_c] \times 100\%$$

#### 1.3.8.2 羟基自由基清除能力测定

按照试剂盒说明操作。

抑制羟基自由基能力 (U/g) = [(对照  $D$  值 - 测定  $D$  值) / (标准  $D$  值 - 空白  $D$  值)] × 标准品浓度 (8.824 mmol/L) × [1 mL / 取样量 (mL)] × 样品测试前稀释倍数。

#### 1.3.8.3 超氧阴离子清除能力测定

按照试剂盒说明操作。

抗超氧阴离子活力单位 (U/g) = [(对照  $D$  值 - 测定  $D$  值) / (对照  $D$  值 - 标准  $D$  值)] × 标准品浓度 (0.15 mg/mL) × 样品测试前稀释倍数。

### 1.4 统计分析

所有样品均测定 3 次取平均值,利用 SPSS 22.0 统计分析软件对数据进行相关性分析, $P < 0.05$  为差异具有统计学意义,并用 Origin 2018 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同蓝莓添加方式对益生菌慕斯感官品质的影响

由图 1 可知,添加了果浆的 PB 和 PA 组样品表面光滑,组织均匀细密,色泽均匀,且具有浓郁的蓝莓香味,口感的细腻度略低于对照组,但整体较顺滑,酸甜适口,因而总分较高。对照组样品存在少量的气泡,口感较细腻,奶香味和发酵乳香味浓郁,但缺乏蓝莓的香味。JA 和 JB 组样品有少量的乳清析出,组织的细腻度略差,有少量气孔,这可能是因为添加蓝莓果汁增加了慕斯中的水分含量,使其稠度降低,因而总分较低。其中,PB 组慕斯样品表面光滑,组织细腻,色泽均匀,口感软嫩,具有浓郁的蓝莓香味,酸甜适口,因而感官得分最高,为 90.3 分。上述结果说明发酵前添加蓝莓果浆的益生菌慕斯的总体品质优于添加蓝莓果汁和发酵后添加的慕斯。

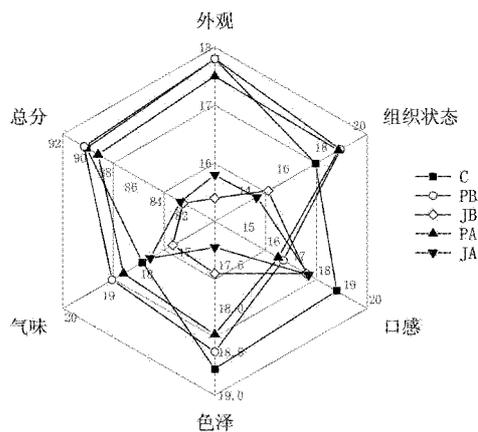


图 1 慕斯的感官评价

### 2.2 pH 和滴定酸度的测定结果

蓝莓果浆和果汁的初始 pH 分别为 3.78 和 3.82,他们与牛乳混合的初始 pH 分别为 4.10 和 4.18,蓝莓果浆的酸度高于蓝莓果汁。不同蓝莓添加方式的慕斯样品在 4 °C 冷藏 21 d 期间的 pH 值和滴定酸度变化如图 2 所示。由图 2 可知,添加了蓝莓果浆和果汁的益生菌慕斯的 pH 均显著低于对照组,滴定酸度显著高于对照组,这与蓝莓中含有较多的有机酸有关。在 4 °C 冷藏 21 d 期间,所有样品的滴定酸度均随着贮藏时间的延长而逐渐上升,pH 值均逐渐下降,这是因为在冷藏过程中乳酸菌仍保持一定的活性,能继续发酵产生乳酸,从而使慕斯的酸度升高。在贮藏初期添

加蓝莓的 4 组样品的 pH 值和滴定酸度较接近,但随着贮藏时间的延长,发酵前添加蓝莓果浆和果汁的 PB 和 JB 组的 pH 显著低于发酵后添加蓝莓果浆和果汁的 PA 和 JA 组,滴定酸度也具有同样的趋势,其中 PB 组在 14 和 21 d 的滴定酸度显著高于其他组。这可能是因为蓝莓与牛乳混合发酵时,蓝莓中丰富的植物多糖、低聚果糖及微量元素为乳酸菌发酵提供了充足的养分,使其在冷藏期间具有更高的活性,产生了更多的乳酸。而牛乳发酵后再添加蓝莓果汁或果浆制作的产品混合后直接冷藏凝冻,因而益生菌来不及利用蓝莓中的营养成分,产生的乳酸相对较少。

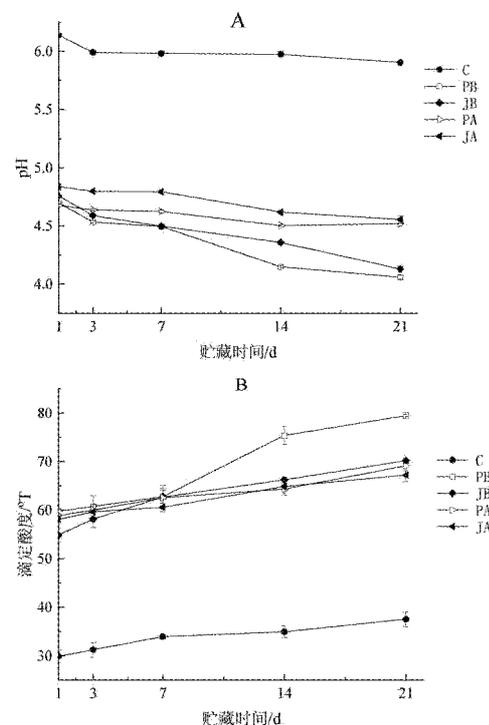


图 2 慕斯在贮藏期间 pH 值和滴定酸度的变化

### 2.3 不同蓝莓添加方式对益生菌慕斯活菌数的影响

益生菌发酵食品在生产及贮藏期间保持较高的活菌数和生物活性是其发挥益生功能的首要条件,目前国际公认的有效剂量为大于 6 lg cfu/g。<sup>[20]</sup>由图 3 可知,在益生菌慕斯中添加蓝莓果汁或果浆后,其乳酸菌活菌数在 4 °C 贮藏 21 d 期间均显著高于对照组,且活菌数的降低速度更慢。空白对照组的活菌数在冷藏 14 d 时下降为 5.84 lg cfu/g,而添加了蓝莓果浆和果汁的 4 组慕斯样品在整个贮藏期的活菌数都高于 6.64 lg cfu/g。其中,发酵前添加的 PB 组和 JB

组的活菌数均显著高于PA和JA组,说明在牛乳中添加蓝莓果浆或果汁进行混合发酵,可以提高乳酸菌的活菌数。而与添加果汁的JA和JB组相比,添加蓝莓全果浆的PB和PA组具有较高的活菌数,说明蓝莓果皮及果渣中膳食纤维及不溶性的植物成分对乳酸菌的生长具有促进作用,可以为乳酸菌提供更全面的营养。

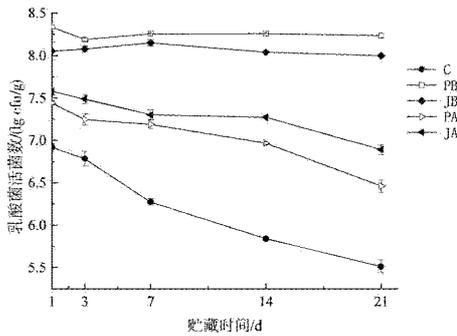


图3 慕斯在4℃贮藏21d期间乳酸菌活菌数的变化

#### 2.4 不同蓝莓添加方式对益生菌慕斯中总酚和花色苷含量的影响

##### 2.4.1 不同蓝莓添加方式对益生菌慕斯总酚含量的影响

蓝莓果浆的总酚含量为39.23 mg/g,蓝莓果汁的总酚含量为2.51 mg/g,果浆的总酚含量接近果汁含量的16倍,这是因为蓝莓果皮及果渣中含有丰富的酚类物质,蓝莓果汁经过滤处理,使得大部分的酚类物质随果皮及果渣流失。由图4可知,对照组未检测出酚类物质,其他4组慕斯样品1d的总酚含量顺序为PB>PA>JB>JA,添加果浆的PB和PA组总酚含量高于添加果汁的JB和JA组。在4℃贮藏3和7d时,所有样品的总酚含量均有所上升,这是因为植物乳杆菌发酵会产生蛋白酶和淀粉酶等,可以水解蓝莓果肉细胞壁上的多糖和蛋白质,使得与多糖和蛋白质结合的酚类物质得以释放,从而使样品中的总酚含量增加。随着贮藏时间的延长,某些酚类物质被空气中的氧气氧化,总酚含量又逐渐下降。在相同的贮藏时间,添加蓝莓果浆的PB和PA组的总酚含量较高,其中PB样品在7d最高,这与PB组乳酸菌活菌数较高有关;另一方面,PB组具有较高的滴定酸度,也可以提高酚类物质的稳定性。

##### 2.4.2 不同蓝莓添加方式对益生菌慕斯花色苷含量的影响

花色苷是一种水溶性的天然色素,属于类黄

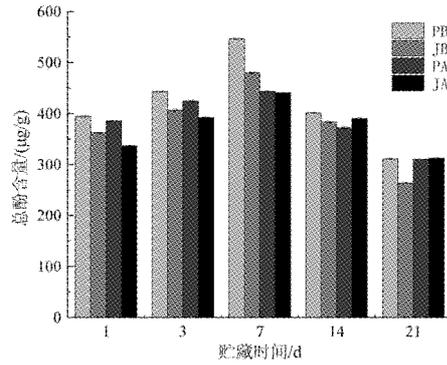


图4 慕斯在贮藏期间总酚含量的变化

酮类化合物。花色苷的抗氧化性很高,能有效地清除人体内自由基,具有延缓衰老,抗炎抗癌,增强机体免疫力的功能。<sup>[21]</sup>蓝莓果浆的花色苷含量为4.57 mg/g,蓝莓果汁的花色苷含量为0.87 mg/g,果浆的花色苷含量是果汁的5倍多。由图5可知,添加蓝莓果浆的PB和PA组样品的花色苷含量显著高于JB和JA组样品,这是因为蓝莓的花色苷主要集中在蓝莓果皮中,果皮中的花色苷含量高达13.12 mg/g,是蓝莓果肉的200倍左右。<sup>[22]</sup>相比发酵后添加的PA和JA组,发酵前添加蓝莓的PB和JB组花色苷含量较高,这与样品的酸度有关,发酵前添加蓝莓成分的PB和JB组酸度更高,而花色苷在酸性条件下稳定性较好。

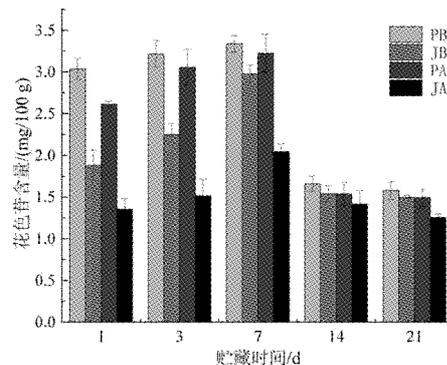


图5 慕斯在贮藏期间花色苷含量的变化

在4℃冷藏的1~7d内,4组样品的花色苷含量均有所提高,这与王储炎等<sup>[13]</sup>的研究结果相一致。随着贮藏时间的延长,4组样品中的花色苷均降低,这与总酚含量的变化趋势一致。其中PB组样品的花色苷含量在整个储藏期期内保持较高的水平,说明在发酵前添加蓝莓果浆更有利于提高益生菌蓝莓慕斯中的花色苷含量。

## 2.5 不同蓝莓添加方式对益生菌慕斯抗氧化能力的影响

由图 6、7、8 可知,添加了蓝莓的 4 组样品的 DPPH 自由基清除能力、羟基自由基清除能力和抗超氧阴离子活力均显著高于空白对照组。在贮藏前 7 d 内,大部分样品的 DPPH 自由基清除率、羟基自由基清除能力和抗超氧阴离子活力有上升趋势,其中 PB 组慕斯样品的 DPPH 自由基清除率、抗超氧阴离子能力高于其他组样品;其中发酵前添加蓝莓果汁或果浆的 PB 和 JB 组的抗超氧阴离子活力在整个贮藏期都高于发酵后添加蓝莓果汁或果浆的 PA 和 JA 样品。上述研究结果与总酚含量和花色苷含量具有类似的趋势,益生菌蓝莓慕斯的抗氧化活性主要与蓝莓中的酚类物质及花色苷有关,这与吴海霞<sup>[23]</sup>的研究结果相符;乳酸菌的代谢产物也具有一定的抗氧化性,但相比蓝莓要低许多。

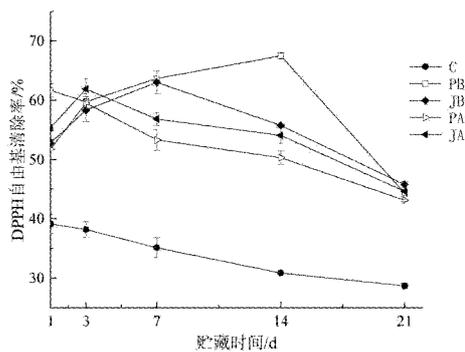


图 6 慕斯在贮藏期间 DPPH 自由基清除能力的变化

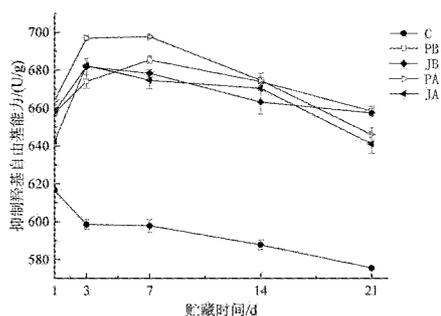


图 7 慕斯在贮藏期间羟基自由基清除能力的变化

## 2.6 总酚含量与活菌数和抗氧化能力的相关性分析

为进一步研究慕斯样品中总酚含量、活菌数以及抗氧化能力间的关系,将慕斯样品的总酚含量、花色苷含量与活菌数、DPPH 自由基清除率、抑制羟基自由基能力、抗超氧阴离子活力进行皮尔逊相关性分析,结果如表 3 所示。在 5 组慕斯

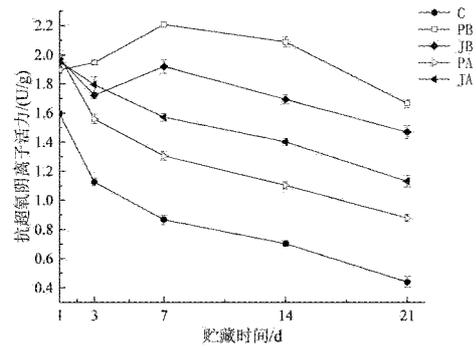


图 8 慕斯在贮藏期间抗超氧阴离子活力的变化

样品中,总酚含量和花色苷含量与活菌数的相关性均不显著,表明益生菌发酵虽然会在短期内增加酚类物质的含量,但活菌数的高低与酚类物质含量的高低并不相关,或者可能与游离态或结合态的酚类物质或某些酚酸含量相关,这需要进一步研究验证。总酚含量与花色苷含量、DPPH 自由基清除率、抑制羟基自由基能力均呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),与抗超氧阴离子活力呈显著正相关( $P < 0.05$ );花色苷含量与 DPPH 自由基清除率呈显著正相关( $P < 0.05$ ),与羟基自由基清除能力呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),与抗超氧阴离子活力不相关,表明总酚含量高对应着花色苷含量高、抗氧化性强,而花色苷含量对抗氧化性有一定影响但影响较弱,可能是由于其含量较低,活性不足。活菌数与 DPPH 自由基清除率、抑制羟基自由基能力呈显著正相关( $P < 0.05$ ),与抗超氧阴离子活力呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),这与乳酸菌及其代谢产物具有抗氧化性有关。

## 3 结论

本研究表明,采用不同的蓝莓添加方式制作的益生菌慕斯在 4 °C 贮藏 21 d 期间的 pH、滴定酸度、感官品质、活菌数、总酚含量、花色苷含量和抗氧化能力存在较大的差异。添加蓝莓果浆或果汁后益生菌慕斯的 pH 值显著降低,滴定酸度提高,同时产品中的活菌数、总酚含量、花色苷含量以及抗氧化能力均显著提高。其中添加蓝莓果浆后产品的品质、活菌数、酚类物质、花色苷含量及抗氧化能力均优于添加蓝莓果汁的产品,且无须过滤操作,出品率更高,成本也较低。在牛乳发酵前添加蓝莓果汁或果浆的产品相比发酵后添加的具有更高的活菌数、且总酚和花色苷含量均高于发酵后添加的样品。综合上述实验结果,将蓝莓

全果打浆,并于牛乳发酵前添加,可以更好地提升慕斯的品质与功能特性。益生菌发酵对慕斯中的

酚类物质和花色苷也有一定的影响,但并未发现规律,还需进一步研究其相关性。

表3 各项指标的相关性分析

相关因子(r)	总酚含量/ ( $\mu\text{g/g}$ )	花色苷含量/ ( $\text{mg}/100\text{g}$ )	活菌数/ ( $\lg \text{CFU/g}$ )	DPPH 自由基 清除率/%	抑制羟基自 由基能力/( $\text{U/g}$ )	抗超氧阴离 子活力/( $\text{U/g}$ )
总酚含量	1.000	0.750**	0.295	0.771**	0.716**	0.498*
花色苷含量	0.750**	1.000	0.320	0.507*	0.613**	0.404
活菌数	0.295	0.320	1.000	0.523*	0.114	0.809**
DPPH 自由基清除率	0.771**	0.473*	0.523*	1.000	0.569**	0.709**
抑制羟基自由基能力	0.716**	0.613**	0.114*	0.569**	1.000	0.178
抗超氧阴离子活力	0.498*	0.404	0.809**	0.709**	0.178	1.000

\*\*表示  $P < 0.01$ ; \*表示  $P < 0.05$ 。

### 参考文献:

- [1] SANDERS M E, MERENSTEIN D, MERRIFIELD C A, et al. Probiotics for human use[J]. Nutrition Bulletin, 2018, 43(3):212-225.
- [2] AVSEGUL B, MARCIA M R. Awareness, availability, and usage of probiotic foods by local food pantry participants[J]. Current Developments in Nutrition, 2020 (Suppl 2):158.
- [3] 陈霞,王娜,包一枫,等. 益生菌乳制甜点的开发与研究现状[J]. 美食研究, 2017, 34(2):47-52.
- [4] 严红光,阳志锐,林莉,等. 蓝莓果实多酚和抗氧化研究[J]. 食品科技, 2020, 45(2):278-283.
- [5] 李仲禧. 苹果汁植物乳杆菌发酵对多酚化合物抗氧化活性的影响[D]. 上海:上海海洋大学,2019.
- [6] RYU J Y, KANG H R, CHO S K. Changes over the fermentation period in phenolic compounds and antioxidant and anticancer activities of blueberries fermented by *Lactobacillus plantarum*[J]. Journal of Food Science, 2019, 84(8):2347-2356.
- [7] NEMATOLLAHI A, SOHRABVANDI S, MORTAZAVIN A M, et al. Viability of probiotic bacteria and some chemical and sensory characteristics in cornelian cherry juice during cold storage[J]. Electronic Journal of Biotechnology, 2016,21(3):49-53.
- [8] SANTOS K M, OLIVER I C, LOPES M A, et al. Addition of grape pomace extract to probiotic fermented goat milk: the effect on phenolic content, probiotic viability and sensory acceptability[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017,97(4):1108-1115.
- [9] LIU D, LV X X. Effect of blueberry flower pulp on sensory, physicochemical properties, lactic acid bacteria, and antioxidant activity of set-type yogurt during refrigeration[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2019, 43(1):1-10.
- [10] VINDEROLA C G, COSTA G A, REGENHATDT S, et al. Influence of compounds associated with fermented dairy products on the growth of lactic acid starter and probiotic bacteria[J]. International Dairy Journal, 2002, 12(7):579-589.
- [11] BURITI F C A, KOMATSU T R, SAAD S M I. Activity of passion fruit (*Passiflora edulis*) and guava (*Psidium guajava*) pulps on *Lactobacillus acidophilus* in refrigerated mousses[J]. Brazilian Journal of Microbiology, 2007, 38(2):315-317.
- [12] 王卫东,陈安徽,杨万根,等. 人工发酵蔬菜的研究进展[J]. 食品科学, 2010,31(21):413-416.
- [13] 王储炎,张继刚,杨柳青,等. 三种乳酸菌发酵对蓝莓多酚、原花青素含量及抗氧化活性的影响[J]. 食品科学,2020,41(24):87-94.
- [14] JOHNSON M H, MEJIA E G D. Comparison of chemical composition and antioxidant capacity of commercially available blueberry and blackberry wines in illinois[J]. Journal of Food Science, 2012, 77(1):141-148.
- [15] CIBISZ I, ZIARNO M, MITEK M, et al. Effect of probiotic cultures on the stability of anthocyanins in blueberry yoghurts[J]. LWT - Food Science and Technology, 2012, 49(2):208-212.
- [16] 王娜,华蕾,周文娟,等. 乳酸菌在慕斯中的生长特性研究[J]. 美食研究, 2017, 34(4):60-64.
- [17] PRIOR R L, WU X, SCHAICH K. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements[J]. Agric

- Food Chem. 2005, 53(10): 4290 – 4302.
- [18] 余以刚, 梁泽明, 万志超, 等. 玫瑰茄花色苷的纯化及其热降解稳定性[J]. 现代食品科技, 2018, 34(12):58 – 66.
- [19] OEZBEK H N, HALAHLIH F, GOEGUES F, et al. Pistachio (*Pistacia vera* L.) hull as a potential source of phenolic compounds: evaluation of ethanol – water binary solvent extraction on antioxidant activity and phenolic content of pistachio hull extracts[J]. Waste and Biomass Valorization, 2020, 11(5):2101 – 2110.
- [20] HILL C, GUARNER F, REID G, et al. Expert consensus document: The international scientific association for probiotics and prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic [J]. Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology, 2014, 11(8):506 – 514.
- [21] SCHMIDT B M, ERDMAN J W, LILA M A. Differential effects of blueberry proanthocyanidins on androgen sensitive and insensitive human prostate cancer cell lines[J]. Cancer Lett, 2006, 231(2):240 – 246.
- [22] ZAFRA – STONE S, YASMIN T, BAGCHI M, et al. Berry anthocyanins as novel antioxidants in human health and disease prevention[J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2007, 51(6):675 – 683.
- [23] 吴海霞. 药食兼用食材的抗氧化性及其比较[J]. 美食研究, 2017, 34(3):50 – 54.

## Effects of adding method of blueberry on quality and antioxidant activity of probiotic mousse

LU Dandan<sup>1,2</sup>, MA Xinyi<sup>1</sup>, WANG Peng<sup>1</sup>, XIAO Xiao<sup>1</sup>, SHAO Tong<sup>1</sup>, CHEN Xia<sup>1,2,3</sup>

(1. Jiangsu Key Laboratory of Dairy Biotechnology and Safety Control, Yangzhou, Jiangsu 225127, China;

2. Jiangsu Dairy Bioengineering Technology Research center, Yangzhou, Jiangsu 225127, China;

3. School of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225127, China)

**Abstract:** The effects of adding blueberry pulp or juice before or after milk fermentation on the quality, viable bacteria count, total phenol content, anthocyanin content and antioxidant activity of probiotic mousse were compared. The results showed that addition of blueberry pulp or juice significantly increased the titration acidity, viable bacteria count, total phenol content, anthocyanin content and antioxidant activity of probiotic mousse during 21 d storage at 4 °C, with decreased pH. The sensory quality and anthocyanin content of mousse with blueberry pulp were higher than those with blueberry juice. The addition of blueberry juice or pulp before fermentation led to lower pH, higher acidity, viable bacteria number, total phenol content, anthocyanin content, and antioxidant activity of mousses than did after fermentation. Best quality of mousse was obtained by adding blueberry pulp before fermentation and mixed fermentation with milk. It was concluded that blueberry pulp was preferred to be added to sterilized milk for probiotic mousse preparation.

**Key words:** blueberry; probiotic mousse; phenolic profiles; anthocyanins; antioxidant activity

(责任编辑:赵 勇)