

# 食用菌发酵液对酸奶理化性质和营养成分的影响

## Effects of edible fungi fermentation broths on the physicochemical properties and nutritional components of yogurt

马学兰<sup>1,2,3</sup>周连玉<sup>1,2,3</sup>巨家升<sup>3</sup>孙文娟<sup>3</sup>王龙瑞<sup>3</sup>MA Xue-lan<sup>1,2,3</sup>ZHOU Lian-yu<sup>1,2,3</sup>JU Jia-sheng<sup>3</sup>SUN Wen-juan<sup>3</sup>WANG Long-rui<sup>3</sup>

(1. 高原科学与可持续发展研究院, 青海 西宁 810008; 2. 青海省青藏高原药用动植物资源

重点实验室, 青海 西宁 810008; 3. 青海师范大学生命科学院, 青海 西宁 810008)

(1. Qinghai Province Academy of Plateau Science and Sustainability, Xining, Qinghai 810008, China;

2. Key Laboratory of Medicinal Plant and Animal Resources of the Qinghai-Tibetan Plateau in

Qinghai Province, Xining, Qinghai 810008, China; 3. School of Life Science, Qinghai

Normal University, Xining, Qinghai 810008, China)

**摘要:**目的:探究黄绿蜜环菌和虎掌菌富硒发酵液对酸奶理化性质和营养成分的影响。方法:采用酸度计、滴定法、称重法、分光光度法测定酸奶中的 pH 值、酸度、持水力、蛋白质、脂肪及矿物质元素含量。结果:5 mL/100 mL 两种食用菌发酵液对单一菌或混合菌酸奶感官评分、酸度相较于对照组均无显著差异。除 30 mL/100 mL 黄绿蜜环菌发酵液外,添加其他发酵液由混合菌制成的酸奶酸度均在 70~110 °T;与对照组相比,5 mL/100 mL 虎掌菌发酵液和 25~30 mL/100 mL 黄绿蜜环菌发酵液分别显著性提高酸奶持水力和蛋白质含量,5~15 mL/100 mL 虎掌菌发酵液提高酸奶钾、钙含量;与单一菌酸奶相比,30 mL/100 mL 黄绿蜜环菌发酵液使混合菌酸奶钾、钙含量分别提高 12%,54%,而 15~20 mL/100 mL 黄绿蜜环菌发酵液使混合菌酸奶持水力、蛋白质、磷含量分别提高了 10%~22%,120%~224%,52%;在 30 mL/100 mL 虎掌菌发酵液的条件下,混合菌酸奶感官评分、持水力、脂肪含量依次比单一菌高 6%,17%,41%;25 mL/100 mL 虎掌菌发酵液促使混合菌酸奶钾、铁含量增加幅度分别为 34%,416%。结论:黄绿蜜环菌和虎掌菌低用量富硒发酵液能够提高酸奶感官评分、pH、酸度、持水力、蛋白质、脂肪及矿物质元素(P、K、Ca、Fe)含量。

**关键词:**黄绿蜜环菌;虎掌菌;酸奶;富硒发酵液;理化性

质;营养成分

**Abstract: Objective:** This study aimed to explore the effects of selenium-enriched fermentation broth of *Armillaria luteo-virens* and *Tremellodon gelatinosum* (Scop.) Pers. on the physicochemical properties and nutritional components of yogurt. **Methods:** The pH value, acidity, water holding capacity, protein, fat and mineral element contents in yogurt were determined by acidity meter, titration method, weighing method and spectrophotometry, respectively. **Results:** The sensory scores and acidity of yogurt at a dose of 5 mL/100 mL in two edible fungi fermentation broths were equal to the control group. Except for the 30 mL/100 mL *A. luteo-virens* fermentation broth, the acidity of the yogurt made from the mixed bacteria under the other fermentation broths was in the range of 70 ~ 110 °T. Compared with the control group, 5 mL/100 mL fermentation broth of *T. gelatinosum* (Scop.) Pers. and 25 ~ 30 mL/100 mL fermentation broth of *A. luteo-virens* significantly improved the water holding capacity and protein contents of yogurt, respectively, and 5 ~ 15 mL/100 mL of the fermentation broth of *T. gelatinosum* (Scop.) Pers. increased the potassium and calcium contents of yogurt. Compared with single bacteria yogurt, 30 mL/100 mL fermentation broth of *A. luteo-virens* significantly increased the potassium and calcium contents of yogurt with increased by 12% and 54% respectively, while the water holding capacity, protein and phosphorus contents in mixed bacteria yogurt were significantly higher than that of single bacteria yogurt at a dose of 15 ~ 20 mL/100 mL *A. luteo-virens* fermentation broth, rose by 10% ~ 22%, 120% ~ 224% and 52%. Under the condition of 30 mL/100 mL *T. gelatinosum*

**基金项目:**国家自然科学基金项目(编号:32260345,31760697);青海省科技计划资助项目(编号:2022-ZJ-740)

**作者简介:**马学兰,女,青海师范大学在读硕士研究生。

**通信作者:**周连玉(1976—),女,青海师范大学教授,博士。

E-mail:zly7604@163.com

**收稿日期:**2022-06-14 **改回日期:**2022-10-15

(Scop.) Pers, fermentation broth of the sensory score, water holding capacity and fat content of mixed bacteria yogurt were significantly higher than those of single bacteria yogurt, with the rate of 6%, 17% and 41%, respectively. 25 mL/100 mL *T. gelatinosum* (Scop.) Pers. fermentation broth significantly increased the potassium and iron contents by 34% and 416%, respectively. **Conclusion:** The low dosage of selenium-rich fermentation broth of *A. luteo-virens* and *T. gelatinosum* (Scop.) Pers. could improve the sensory score, pH, acidity, water retention, protein, fat and mineral elements (P, K, Ca, Fe) contents of yogurt.

**Keywords:** *Armillaria luteo-virens*; *Tremellodon gelatinosum* (Scop.) Pers.; yogurt; selenium-enriched fermentation broth; physicochemical properties; nutritional component

黄绿蜜环菌(*Armillaria luteo-virens*),又名黄蘑菇、皇菇,夏秋季生长在低温、高海拔的蒿草草甸或草原上<sup>[1]</sup>。虎掌菌[*Tremellodon gelatinosum* (Scop.) Pers.],又名獐子菌、仲帽,因其外观独特,酷似虎掌因而得名<sup>[2]</sup>,多分布于中国西藏、青海等西部高山高寒地区的森林中<sup>[3]</sup>。野生黄绿蜜环菌和虎掌菌子实体中含有较丰富的蛋白质、氨基酸、维生素、糖类等营养成分,具有丰富的营养价值和经济价值<sup>[4-5]</sup>。目前黄绿蜜环菌和虎掌菌人工栽培技术难度大<sup>[2-4]</sup>,因此多数研究者<sup>[6-8]</sup>采用液体发酵技术得到其菌丝体或胞内外代谢产物。

酸奶是一种富含益生菌的健康饮食,由牛奶经乳酸菌发酵制成,含蛋白质、维生素 A 和 B、钙和锰等营养物质。研究<sup>[9]</sup>发现,添加食用菌发酵液可以提高酸奶中氨基酸等营养成分含量,赋予酸奶特殊的风味。目前,以黄绿蜜环菌或虎掌菌发酵液作为原料应用于乳制品的研究尚未见报道。

许多食用菌对硒具有很好的富集作用,在培养体系中能将无机硒转化为有机硒<sup>[10-11]</sup>。研究拟在牛奶中添加虎掌菌或黄绿蜜环菌富硒发酵液,接入单一菌或混合菌发酵后,探讨不同添加量的发酵液和不同乳酸菌对酸奶中感官指标、pH 值、酸度、持水力、蛋白质、脂肪及矿质元素的影响,以期对未来营养强化型乳制品研制提供试验依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

#### 1.1.1 材料与试剂

嗜热乳链球菌(*Streptococcus thermophilus*)、保加利亚乳杆菌(*Lactobacillus bulgaricus*)、副干酪乳杆菌(*Lactobacillus paracasei*)、虎掌菌[*Tremellodon gelatinosum* (Scop.) Pers.]菌种、黄绿蜜环菌(*Armillaria luteo-virens*)菌种:青海师范大学实验室;

托伦宝纯牛奶:青海小西牛生物乳业股份有限公司;  
葡萄糖:分析纯,天津市恒兴化学试剂制造有限公司;

蔗糖:分析纯,天津市河东区红岩试剂厂;

氢氧化钠、磷酸:分析纯,天津市凯通化学试剂有限公司;

亚硒酸钠:分析纯,天津市大茂化学试剂厂;

四苯硼钠:分析纯,上海迈坤化工有限公司;

钼酸铵:分析纯,天津市津北精细化工有限公司。

#### 1.1.2 仪器与设备

立式压力蒸汽灭菌锅:LS-35SD 型,江阴滨江医疗设备有限公司;

台式低速离心机:TD5A 型,湖南赫西仪器装备有限公司;

生化培养箱:250B 型,金坛市富华仪器有限公司;

紫外分光光度计:V-5100 型,金坛市富华仪器有限公司;

超净工作台:CJ-1S 型,天津市泰斯特仪器有限公司;

水浴恒温振荡器:SHA-C 型,金坛市天竞实验仪器有限公司;

微波消解仪:MD20H 型,APL 奥普乐仪器有限公司。

#### 1.1.3 培养基

PDA 培养基:马铃薯 200 g、琼脂粉 20 g、葡萄糖 20 g、蒸馏水 1 000 mL;

PDB 培养基:马铃薯 200 g、葡萄糖 20 g、蒸馏水 1 000 mL;

黄绿蜜环菌发酵培养基:KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 1 g、蔗糖 40 g、MgSO<sub>4</sub> 1 g、牛肉膏 1 g、Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 0.14 g、蒸馏水 1 000 mL<sup>[12]</sup>;

虎掌菌发酵培养基:葡萄糖 60 g、酵母浸膏 30 g、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 1 g、Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 0.10 g、蒸馏水 1 000 mL<sup>[13]</sup>。

## 1.2 方法

### 1.2.1 黄绿蜜环菌和虎掌菌富硒发酵液制备

(1) 虎掌菌富硒发酵液:根据文献<sup>[13]</sup>制备,其总硒质量浓度为(1.43±0.03) mg/L,可溶性蛋白质质量浓度为(30.41±0.78) μg/mL,氨态氮质量浓度为(0.39±0.02) mg/mL,还原糖质量浓度为(5.27±0.09) mg/mL, pH (5.20±0.10)。

(2) 黄绿蜜环菌富硒发酵液:根据文献<sup>[12]</sup>制备,其总硒质量浓度为(11.50±0.78) mg/L,可溶性蛋白质质量浓度为(26.35±0.63) μg/mL,氨态氮质量浓度为(0.26±0.01) mg/mL,还原糖质量浓度为(48.39±0.76) mg/mL, pH (5.16±0.15)。

### 1.2.2 酸奶制作

(1) 发酵剂制作:15 mL 牛奶分装于 100 mL 广口瓶中,于 115 ℃灭菌 15 min,冷却后接入 1 mL 副干酪乳杆

菌或接入嗜热乳链球菌和保加利亚乳杆菌各 0.5 mL, 40 ℃ 下培养至牛奶凝结<sup>[12]</sup>, 得单一发酵剂或混合发酵剂, 4 ℃ 冰箱中保存。

(2) 富硒酸奶制作: 在牛奶中加入 6 g/100 mL 的蔗糖, 加热浓缩至一定体积后, 于 115 ℃ 中灭菌 15 min, 虎掌菌发酵液或黄绿蜜环菌发酵液 3 000 r/min 离心 10 min, 上清液经 0.45 μm 无菌滤膜除菌后, 分别以 0(对照), 5, 10, 15, 20, 25, 30 mL/100 mL 的添加量加入到预处理后的牛奶中, 接入 3 mL/100 mL 单一发酵剂或混合发酵剂混匀, 最终每瓶牛奶体积为 20 mL, 每个处理 5 瓶, 置于 42 ℃ 培养箱中培养 8 h, 将凝固后的酸奶置于冰箱冷藏 24 h, 用于理化性质和营养成分测定。

1.2.3 酸奶理化指标测定

(1) 感官指标: 参照谢海军等<sup>[14]</sup>的方法和 GB 19302—2010《食品安全国家标准 发酵乳》标准进行综合评价。

(2) pH 值: 用酸度计测定。

(3) 酸度: 按 GB 5009.239—2016《食品安全国家标准 食品酸度的测定》中的酚酞指示剂法执行。

(4) 持水力: 离心称重法<sup>[15]</sup>。

1.2.4 酸奶营养成分测定

(1) 可溶性蛋白: 考马斯亮兰 G-250 染料法<sup>[16]</sup>。

(2) 脂肪: 按 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的碱水解法执行。

(3) 微量元素: 酸奶经微波消解仪消解(工作参数见表 1)后, 分别采用 GB 5009.87—2016《食品安全国家标准 食品中磷的测定》中的钼蓝比色法测定磷的含量、四苯硼酸钠法<sup>[17]</sup>、偶氮氯膦 III 法<sup>[18]</sup>、邻菲罗啉比色法<sup>[19]</sup>测定其钾、钙、铁含量。

1.3 统计分析

试验数据结果均采用平均值±标准差表示, 各项指标采用 SPSS 16.0 统计分析软件进行单因素方差分析(LSD,  $P < 0.05$ )。

表 1 微波消解仪工作参数

Table 1 Working parameters of microwave digestion apparatus

| 步骤 | 功率/kW | 升温时间/min | 保留时间/min | 温度/℃ |
|----|-------|----------|----------|------|
| 1  | 8     | 6        | 4        | 120  |
| 2  | 8     | 4        | 5        | 150  |
| 3  | 8     | 5        | 15       | 180  |

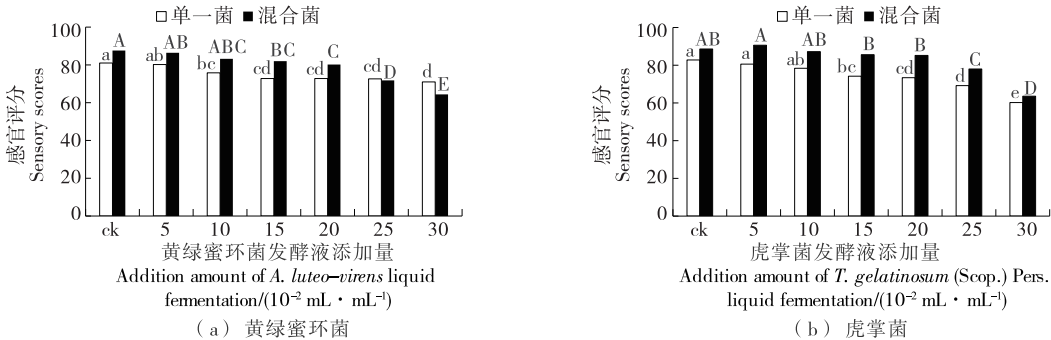
2 结果与分析

2.1 对酸奶感官评分的影响

由图 1 可知, 随着黄绿蜜环菌或虎掌菌发酵液添加量的增加, 酸奶的感官评分(口感、风味和组织状态)逐渐降低。2 种食用菌发酵液添加量为 5~10 mL/100 mL 时, 单一菌或混合菌酸奶感官品质与对照组无显著差异( $P > 0.05$ ); 但添加量高于 10 mL/100 mL 时, 酸奶感官品质(口感、风味和组织状态)显著低于对照组( $P < 0.05$ ), 与其他菌发酵液的效果有差异, 30 mL/100 mL 蛹虫草菌丝发酵液<sup>[20]</sup>、25 mL/100 mL 红乳乳菇菌丝体发酵液<sup>[21]</sup>、20 mL/100 mL 白鸡腿蘑发酵液<sup>[22]</sup>添加到牛奶中研制出的酸奶感官品质较好, 可能与试验所使用的食用菌种类、发酵原料及发酵条件不同有关。由此可知, 不同食用菌发酵液在一定用量下能够改善酸奶口感、风味和组织状态, 但超过一定量时会影响酸奶凝乳状态和感官品质, 可能是发酵液中过量的多糖与酸奶中的其他成分相互作用产生颗粒, 使其口感变差<sup>[23-24]</sup>。

2.2 对酸奶 pH 值的影响

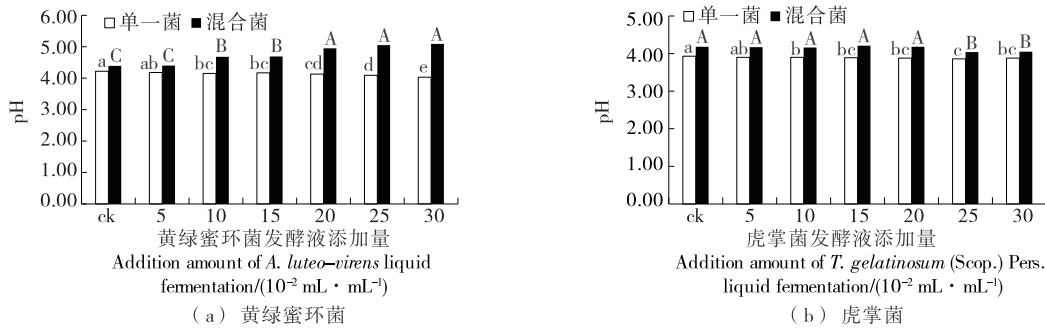
由图 2 可知, 当黄绿蜜环菌或虎掌菌发酵液添加量增加时, 黄绿蜜环菌混合菌酸奶 pH 值逐渐增大、单一菌酸奶 pH 值降低, 虎掌菌混合菌酸奶和单一菌酸奶 pH 值均减小。当黄绿蜜环菌发酵液添加量为 10~30 mL/100 mL 时, 与对照组相比, 混合菌酸奶 pH 值显著增大, 单一菌酸奶 pH 值显著减小( $P < 0.05$ ), 且混合菌酸奶 pH 值比单



大写字母不同表示接入混合菌的酸奶之间差异显著( $P < 0.05$ ); 小写字母不同表示接入单一菌的酸奶之间差异显著( $P < 0.05$ )

图 1 黄绿蜜环菌发酵液和虎掌菌发酵液添加量对酸奶感官评分的影响

Figure 1 Effects of liquid fermentation of *A. luteo-virens* and *T. gelatinosum* (Scop.) Pers. additive on sensory scores of yogurt



大写字母不同表示接入混合菌的酸奶之间差异显著 ( $P < 0.05$ ); 小写字母不同表示接入单一菌的酸奶之间差异显著 ( $P < 0.05$ )

图2 黄绿蜜环菌发酵液和虎掌菌发酵液添加量对酸奶 pH 的影响

Figure 2 Effects of liquid fermentation of *A. luteo-virens* and *T. gelatinosum* (Scop.) Pers. additive on the pH of yogurt

一菌酸奶高 10% 以上。添加虎掌菌发酵液后制得的单一菌酸奶与混合菌酸奶 pH 值变化不大。虎掌菌发酵液添加量为 5 mL/100 mL 时,单一菌酸奶 pH 值相比于对照组无显著性差异 ( $P > 0.05$ ),5~20 mL/100 mL 发酵液时混合菌酸奶 pH 值较对照组无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

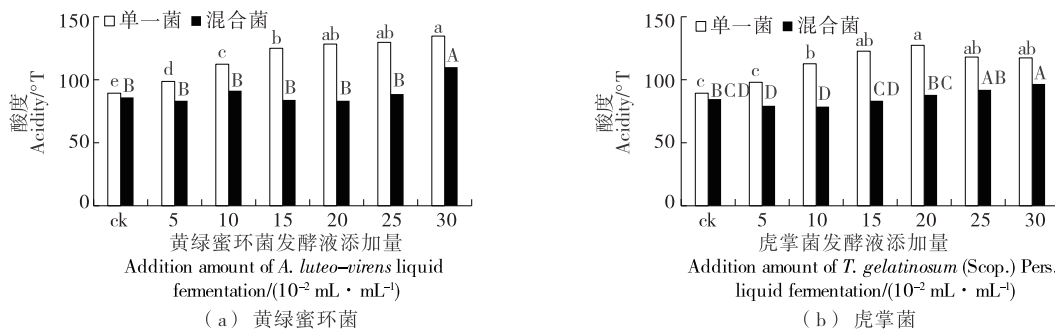
### 2.3 对酸奶滴定酸度的影响

由图 3 可知,随发酵液添加量增加,黄绿蜜环菌发酵液的单一菌和混合菌酸奶酸度逐渐增加,而虎掌菌单一菌酸奶酸度先增加后降低、混合菌酸奶酸度逐渐增加。不同添加量的黄绿蜜环菌发酵液单一菌酸奶酸度显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ),虎掌菌发酵液除 5 mL/100 mL 外其他添加量单一菌酸奶酸度显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ),滴定酸度均超过 110 °T;混合菌发酵剂发酵酸奶时,5~20 mL/100 mL 添加量对酸奶的影响较小,除 30 mL/100 mL 黄绿蜜环菌发酵液外,其余添加量的酸奶滴定酸度均在 70~100 °T。有研究表明,40 mL/100 mL 猴头菇发酵液能够提高混合菌酸奶酸度且降低 pH 值<sup>[25]</sup>,15 mL/100 mL 金耳发酵液能够提高单一菌酸奶酸度<sup>[26]</sup>。试验中黄绿蜜环菌和虎掌菌发酵液用量超过 10 mL/100 mL 后,混合菌酸奶酸度上升处于缓慢或者平稳趋势,可能是食用菌发酵

液中多糖能够在一定程度上抑制发酵剂的发酵产酸<sup>[23]</sup>。

### 2.4 对酸奶持水力的影响

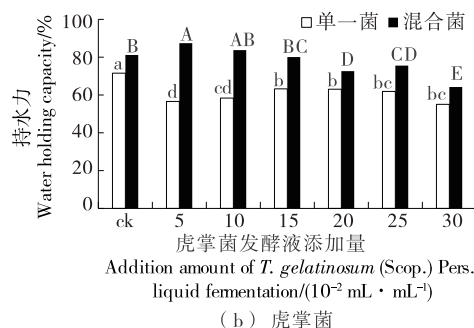
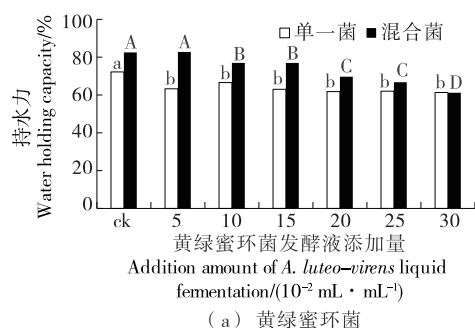
由图 4 可知,随着发酵液用量的增加,黄绿蜜环菌混合菌酸奶持水力逐渐下降,虎掌菌混合菌酸奶持水力先增加后降低。有研究<sup>[26-27]</sup>表明,金耳发酵液酸奶或灵芝-白灵菇酸奶的持水力高于对照组。试验中,混合菌酸奶的持水力在 5 mL/100 mL 发酵液时并未受到显著影响甚至有所提高,可能是酪蛋白在酸奶的酸性环境下会形成网状的空间胶体结构,可以有效容纳水分、小分子物质及乳酸菌。5~20 mL/100 mL 黄绿蜜环菌发酵液混合菌酸奶持水性超过单一菌酸奶 10%~30%,且混合菌酸奶持水力的最低水平与单一菌酸奶处于相同水平。当虎掌菌发酵液为 5 mL/100 mL 时混合菌酸奶持水力达到峰值 87%,而其单一菌酸奶持水力较对照组显著减弱 ( $P < 0.05$ )。但当两种菌体发酵液添加量超过 10 mL/100 mL 后,较对照组有明显减弱,可能是由于酸奶的持水力受酸奶内总固形物及蛋白质含量变化的影响<sup>[28]</sup>。而试验发现采用混合菌发酵制作酸奶时,5 mL/100 mL 的虎掌菌发酵液持水力最高,且较黄绿蜜环菌酸奶强。



大写字母不同表示接入混合菌的酸奶之间差异显著 ( $P < 0.05$ ); 小写字母不同表示接入单一菌的酸奶之间差异显著 ( $P < 0.05$ )

图3 黄绿蜜环菌发酵液和虎掌菌发酵液添加量对酸奶酸度的影响

Figure 3 Effects of liquid fermentation of *A. luteo-virens* and *T. gelatinosum* (Scop.) Pers. additive on the acidity of yogurt



大写字母不同表示接入混合菌的酸奶之间差异显著 ( $P < 0.05$ ); 小写字母不同表示接入单一菌的酸奶之间差异显著 ( $P < 0.05$ )

图 4 黄绿蜜环菌发酵液和虎掌菌发酵液添加量对酸奶持水力的影响

Figure 4 Effects of liquid fermentation of *A. luteo-virens* and *T. gelatinosum* (Scop.) Pers. additive on the water holding capacity of yogurt

## 2.5 对酸奶中蛋白质含量的影响

由图 5 可知,当黄绿蜜环菌或虎掌菌发酵液添加量增加时,黄绿蜜环菌单一菌酸奶蛋白质含量先降低后增加,虎掌菌混合菌酸奶蛋白质含量先降低后增加。除了 15, 25~30 mL/100 mL 两个添加水平外,黄绿蜜环菌发酵液制成的单一菌酸奶蛋白质含量均显著低于对照组,虎掌菌发酵液单一菌酸奶与混合菌酸奶蛋白质含量均低于对照组 ( $P < 0.05$ )。Abd-Rabou 等<sup>[29]</sup>用骆驼奶和藜麦制作混合发酵乳,发现添加藜麦种子制作的发酵乳中的蛋白质含量显著提高;Xiong 等<sup>[30]</sup>研究发现蝉拟青霉发酵液制得的酸奶蛋白质含量显著高于天然酸奶蛋白质含量,与试验结果不一致,可能与研究使用的真菌发酵液中的成分、添加量及乳酸菌活性有关,尤其是酸奶中环境条件如 pH 影响着真菌产生的蛋白酶稳定性以及活性。添加 5~20 mL/100 mL 黄绿蜜环菌发酵液时,混合菌酸奶蛋白质含量比单一菌酸奶蛋白质含量高 20%~230%。

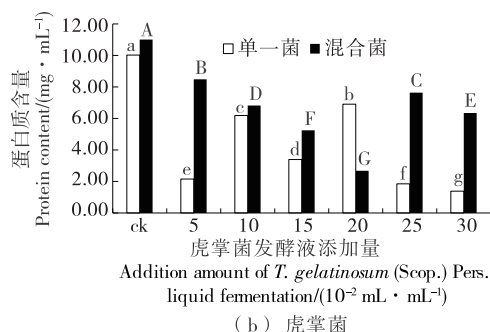
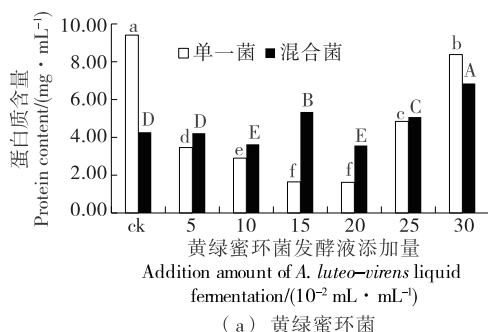
## 2.6 对酸奶中脂肪含量的影响

由图 6 可知,除 10 mL/100 mL 虎掌菌发酵液脂肪含量相比于对照组不显著外,其余添加量黄绿蜜环菌和虎

掌菌发酵液单一菌酸奶和混合菌酸奶脂肪含量均显著低于对照组 ( $P < 0.05$ ),可能是发酵液中存在脂肪酶,而其稳定性与活性又受到环境条件的影响。添加黄绿蜜环菌发酵液后,单一菌酸奶中脂肪含量高于混合菌酸奶脂肪含量 20%~70%,且 10~25 mL/100 mL 虎掌菌发酵液单一菌酸奶脂肪含量高于混合菌酸奶。结合图 5 可知,混合菌酸奶蛋白质含量高于单一菌酸奶,单一菌酸奶脂肪含量比混合菌酸奶高,可能与发酵剂菌种的生理特性有关。

## 2.7 对酸奶中磷含量的影响

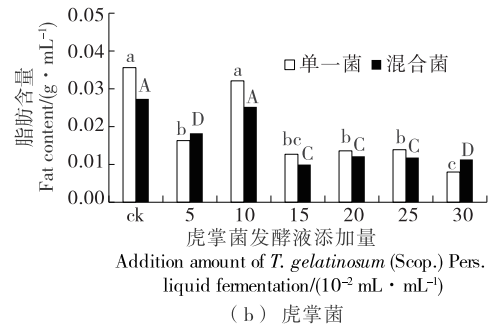
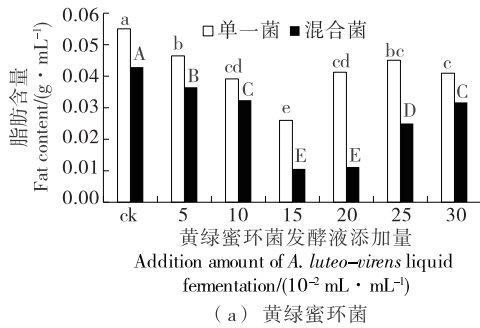
由图 7 可知,当发酵液添加量增加时,黄绿蜜环菌单一菌和混合菌酸奶磷含量呈先降低后增加趋势;虎掌菌单一菌酸奶磷含量逐渐减少,混合菌酸奶磷含量先增加后减少。添加黄绿蜜环菌发酵液后单一菌酸奶磷含量显著低于对照组 ( $P < 0.05$ ),添加量为 15~30 mL/100 mL 时混合菌酸奶磷含量显著高于对照组 ( $P < 0.05$ )。当黄绿蜜环菌发酵液添加量为 15~20 mL/100 mL 时,混合菌酸奶磷含量比单一菌酸奶磷含量高 50%。与对照组相比,除 10 mL/100 mL 虎掌菌发酵液磷含量不显著外,其余



大写字母不同表示接入混合菌的酸奶之间差异显著 ( $P < 0.05$ ); 小写字母不同表示接入单一菌的酸奶之间差异显著 ( $P < 0.05$ )

图 5 黄绿蜜环菌发酵液和虎掌菌发酵液添加量对酸奶蛋白质含量的影响

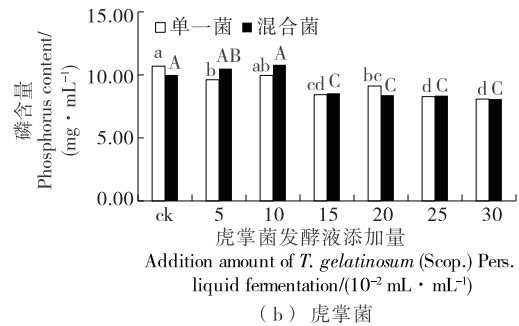
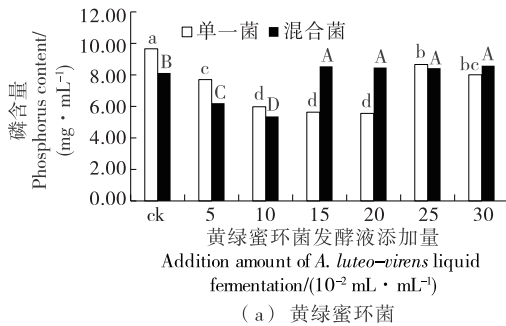
Figure 5 Effects of liquid fermentation of *A. luteo-virens* and *T. gelatinosum* (Scop.) Pers. additive on protein content of yogurt



大写字母不同表示接入混合菌的酸奶之间差异显著 ( $P < 0.05$ ); 小写字母不同表示接入单一菌的酸奶之间差异显著 ( $P < 0.05$ )

图6 黄绿蜜环菌发酵液和虎掌菌发酵液添加量对酸奶脂肪含量的影响

Figure 6 Effects of liquid fermentation of *A. luteo-virens* and *T. gelatinosum* (Scop.) Pers. additive on fat content of yogurt



大写字母不同表示接入混合菌的酸奶之间差异显著 ( $P < 0.05$ ); 小写字母不同表示接入单一菌的酸奶之间差异显著 ( $P < 0.05$ )

图7 黄绿蜜环菌发酵液和虎掌菌发酵液添加量对酸奶磷含量的影响

Figure 7 Effects of liquid fermentation of *A. luteo-virens* and *T. gelatinosum* (Scop.) Pers. additive on phosphorus content of yogurt

单一菌酸奶磷含量显著降低 ( $P < 0.05$ ), 15~30 mL/100 mL 虎掌菌发酵液混合菌酸奶磷含量显著降低 ( $P < 0.05$ )。

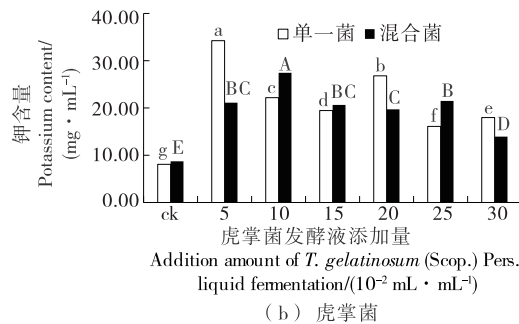
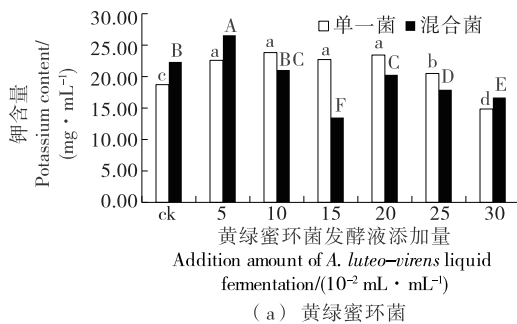
## 2.8 对酸奶中钾含量的影响

由图8可知,黄绿蜜环菌混合菌酸奶和单一菌酸奶钾含量随发酵液用量增加呈先升后降趋势。黄绿蜜环菌发酵液除5,30 mL/100 mL两个添加量外,其余添加量发酵液单一菌酸奶钾含量较混合菌酸奶高。黄绿蜜环菌

发酵液为5 mL/100 mL时,混合菌酸奶钾含量显著高于对照组 ( $P < 0.05$ )。添加虎掌菌发酵液后,单一菌酸奶和混合菌酸奶钾含量均显著高于对照组 ( $P < 0.05$ )。

## 2.9 对酸奶中钙含量的影响

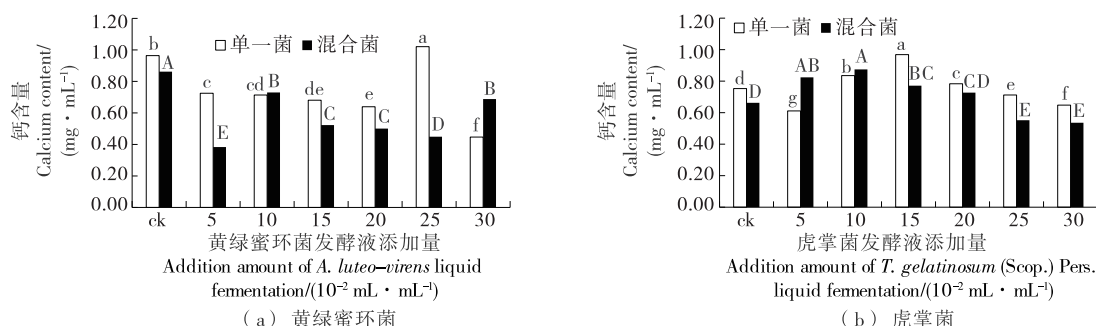
由图9可知,随着发酵液添加量的增加,黄绿蜜环菌单一菌酸奶钙含量先降低后升高;虎掌菌单一菌酸奶钙含量先增加后减少,混合菌酸奶中钙含量呈倒“U”形。除



大写字母不同表示接入混合菌的酸奶之间差异显著 ( $P < 0.05$ ); 小写字母不同表示接入单一菌的酸奶之间差异显著 ( $P < 0.05$ )

图8 黄绿蜜环菌发酵液和虎掌菌发酵液添加量对酸奶钾含量的影响

Figure 8 Effects of liquid fermentation of *A. luteo-virens* and *T. gelatinosum* (Scop.) Pers. additive on potassium content of yogurt



大写字母不同表示接入混合菌的酸奶之间差异显著 ( $P < 0.05$ ); 小写字母不同表示接入单一菌的酸奶之间差异显著 ( $P < 0.05$ )

图 9 黄绿蜜环菌发酵液和虎掌菌发酵液添加量对酸奶钙含量的影响

Figure 9 Effects of liquid fermentation of *A. luteo-virens* and *T. gelatinosum* (Scop.) Pers. additive on calcium content of yogurt

了 25 mL/100 mL 黄绿蜜环菌发酵液制得的单一菌酸奶钙含量显著高于对照组外,其余用量的黄绿蜜环菌发酵液单一菌和混合菌酸奶钙含量显著低于对照组 ( $P < 0.05$ ),且添加量为 25 mL/100 mL 时,单一菌酸奶钙含量比混合菌酸奶高 127%。与对照组相比,添加 10~15 mL/100 mL 虎掌菌发酵液时,单一菌酸奶和混合菌酸奶钙含量显著上升 ( $P < 0.05$ ),与香菇菌液发酵酸奶中钙含量高于原味酸奶的结果<sup>[31]</sup>相似,且虎掌菌发酵液添加量为 15 mL/100 mL 时,单一菌酸奶钙含量比混合菌酸奶高 30%。一般纯牛奶中钙含量丰富,经发酵后,钙等矿物质不会发生变化,然而试验中发现黄绿蜜环菌和虎掌菌发酵液用量对酸奶中钙含量的影响有差别,可能与发酵液中不同的生物物质作用于乳酸菌菌体活性有关,其钙含量变化的规律性有待探讨。

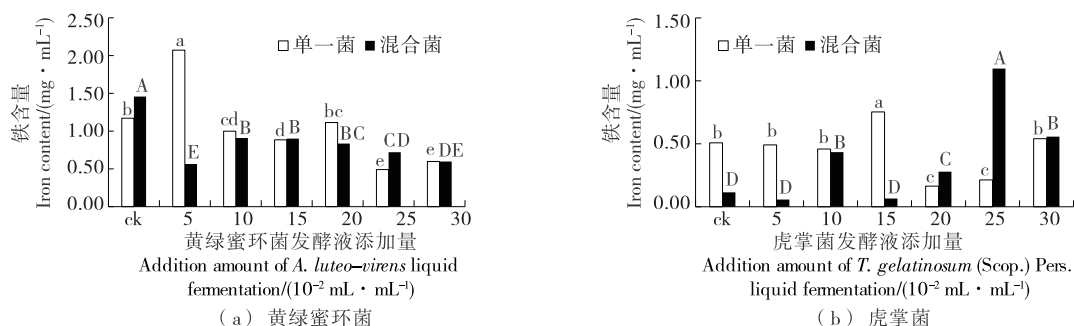
### 2.10 对酸奶中铁含量的影响

由图 10 可知,当黄绿蜜环菌发酵液用量增加时,混合菌酸奶铁含量先降低后增加,而单一菌酸奶铁含量先增加后降低。添加 5 mL/100 mL 黄绿蜜环菌发酵液时单一菌酸奶铁含量显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ),20 mL/100 mL 发酵液单一菌酸奶与对照组无显著差异,

其他添加量的发酵液单一菌和混合菌酸奶铁含量均显著低于对照组 ( $P < 0.05$ )。虎掌菌发酵液添加量为 15 mL/100 mL 时,单一菌酸奶铁含量较对照组显著增加 ( $P < 0.05$ );当添加 20~30 mL/100 mL 虎掌菌发酵液时,混合菌酸奶铁含量显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ),尤其是发酵液添加为 25 mL/100 mL 时,其铁含量达到最高。有研究<sup>[30-31]</sup>表明,一定量的蝉拟青霉或香菇菌液发酵液能够提高酸奶中铁含量。添加发酵液后酸奶部分矿质元素含量变化规律与张凤琴等<sup>[31]</sup>研究结果有所差异,可能是由制作酸奶的原料、加入的发酵剂菌株、发酵条件以及食用菌发酵液中矿质元素含量不同等多种因素交互作用的结果。

## 3 结论

添加不同量的黄绿蜜环菌和虎掌菌发酵液或使用不同发酵剂时,混合菌酸奶感官评分、持水力均高于单一菌酸奶;除 30 mL/100 mL 黄绿蜜环菌发酵液外,添加其他发酵液由混合菌制成的酸奶酸度均优于单一菌酸奶;与对照组相比,添加黄绿蜜环菌发酵液的混合菌酸奶蛋白质、磷含量增加,混合菌制成的虎掌菌发酵液酸奶中钙、钾、铁含量显著提高 ( $P < 0.05$ )。利用低添加量的两种食



大写字母不同表示接入混合菌的酸奶之间差异显著 ( $P < 0.05$ ); 小写字母不同表示接入单一菌的酸奶之间差异显著 ( $P < 0.05$ )

图 10 黄绿蜜环菌发酵液和虎掌菌发酵液添加量对酸奶中铁含量的影响

Figure 10 Effects of liquid fermentation of *A. luteo-virens* and *T. gelatinosum* (Scop.) Pers. additive on iron elements of yogurt

用菌发酵液可改善酸奶理化性质(感官指标、pH、酸度、持水力)及营养成分(蛋白质、脂肪、矿质元素),今后将进一步确定酸奶中硒含量及硒化学形态;为了迎合现代消费观念或特殊人群的需求,新型酸奶应具有营养丰富和功能性俱佳的特性,而这些特性与代谢产物有着密切关系,亟待借助代谢组学的方法解析富硒酸奶的代谢产物种类和含量,以预测其感官、营养和功能等特性。

### 参考文献

- [1] 曹叶伟, 扎西穷达, 朱肖翔, 等. 那曲黄绿蜜环菌营养成分及其抗氧化性的测定与分析[J]. 食品工业, 2022, 43(6): 332-335.  
CAO Y W, ZHAXIQIONGDA, ZHU X X, et al. Determination and analysis of nutrient ingredients and antioxidant capacity of naqu *Armillaria luteo-virens*[J]. The Food Industry, 2022, 43(6): 332-335.
- [2] 苗笑雨, 谷大海, 程志斌, 等. 野生虎掌菌食药价值研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(10): 3 960-3 965.  
MIAO X Y, GU D H, CHENG Z B, et al. Research advances on nutritional and medicinal value of *Sarcodon imbricatum* [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2016, 7(10): 3 960-3 965.
- [3] 刘玲玲. 虎掌菌粗多糖对运动疲劳的抗氧化作用[J]. 中国食用菌, 2020, 39(7): 188-190.  
LIU L L. Antioxidative effect of *Sarcodon imbricatum* polysaccharide on exercise fatigue[J]. Edible Fungi of China, 2020, 39(7): 188-190.
- [4] 刘西周, 王润楠. 黄绿蜜环菌的研究进展[J]. 中国食用菌, 2021, 40(1): 1-6.  
LIU X Z, WANG R N. Research progress on the *Armillaria luteo-virens*[J]. Edible Fungi of China, 2021, 40(1): 1-6.
- [5] 张丙青, 陈健. 黑虎掌菌营养成分的测定与评价[J]. 食品科学, 2011, 32(9): 299-302.  
ZHANG B Q, CHEN J. Determination and analysis of nutrition components in *Sarcodon aspratus*[J]. Food Science, 2011, 32(9): 299-302.
- [6] 党军, 王瑛, 陶燕铎, 等. 黄绿蜜环菌菌丝体水提物多糖含量测定[J]. 光谱实验室, 2011, 28(6): 2 836-2 840.  
DANG J, WANG Y, TAO Y D, et al. Determination of polysaccharide in *Armillarialuteo-rivens* mycelium extract [J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2011, 28(6): 2 836-2 840.
- [7] 焦迎春, 杨春江, 周劲松, 等. 黄绿蜜环菌菌丝多肽分离的初步研究[J]. 农产品加工(学刊), 2008(6): 8-11.  
JIAO Y C, YANG C J, ZHOU J S, et al. Initial studies on the separation and analysis of mycelium peptides in *Armillaria Luteo-virens*[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2008 (6): 8-11.
- [8] 刘成荣, 张力夫. 虎掌菌的液体发酵工艺条件研究[J]. 德州学院学报, 2009, 25(6): 34-37.  
LIU C R, ZHANG L F. Study on Technological condition in luiquik fermentation of *Tremellodon Gelatinosu* [J]. Journal of Dezhou University, 2009, 25(6): 34-37.
- [9] 刘昭明, 黄翠姬, 苏小娟. 金针菇汁酸奶的发酵特性研究[J]. 食品与机械, 2009, 25(4): 116-120.  
LIU Z M, HUANG C J, SU X J. Study on the fermentation properties of added *Flammulina velutipes* juice yogurt[J]. Food & Machinery, 2009, 25(4): 116-120.
- [10] HU T, HUI G F, LI H F, et al. Selenium biofortification in *Hericium erinaceus* (Lion's Mane mushroom) and its in vitro bioaccessibility[J]. Food Chemistry, 2020, 331: 127287.
- [11] XU M M, ZHU S, LI Y R, et al. Effect of selenium on mushroom growth and metabolism: A review[J]. Trends in Food Science and Technology, 2021, 118: 328-340.
- [12] 周连玉, 朋毛德吉, 马学兰, 等. 黄绿蜜环菌胞外硒多糖对酸奶品质的影响[J]. 中国乳品工业, 2019, 47(8): 22-25.  
ZHOU L Y, PENGMAODEJI, MA X L, et al. Effects of enriched-selenium exopolysaccharide obtained from *Armillaria luteo-virens* on quality of yogurt[J]. China Dairy Industry, 2019, 47(8): 22-25.
- [13] 周连玉, 焦璐, 李逢劲. 虎掌菌菌丝富硒培养的研究[J]. 微生物学杂志, 2020, 40(2): 72-77.  
ZHOU L Y, JIAO L, LI F J. The selenium-enrichment cultivation of *Sarcodon aspratus* mycelial[J]. Journal of Microbiology, 2020, 40(2): 72-77.
- [14] 谢海军, 马玲, 赵玉明. 硒蛋白对酸奶品质的影响[J]. 山西农业科学, 2016, 44(9): 1 360-1 363.  
XIE H J, MA L, ZHAO Y M. Effects of Seleno protein on quality of yogurt[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2016, 44(9): 1 360-1 363.
- [15] FERRAGUT V, CRUZ N S, TRUJILLO A, et al. Physical characteristics during storage of soy yogurt made from ultra-high pressure homogenized soymilk[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 92(1): 63-69.
- [16] 杨玉芳. 蛋白质含量测定方法[J]. 明胶科学与技术, 2007(2): 98-101.  
YANG Y F. The various methods for determing different proteins [J]. The Science and Technology of Gelatin, 2007(2): 98-101.
- [17] 傅晓莉. 分光光度法测定中药注射剂中钾离子的含量[J]. 成都医药, 1998, 24(3): 176-177.  
FU X L. Determination of potassium ions in traditional Chinese medicine injections by spectrophotometry [J]. Journal of Modern Clinical Medicine, 1998, 24(3): 176-177.
- [18] 方明建, 尹益勤. 偶氮氯膦Ⅲ吸光度法测定水中微量钙[J]. 理化检验(化学分册), 2004(8): 459-461.  
FANG M J, YIN Y Q. Photometric determination of microamounts of calcium in water with CPA Ⅲ as color reagent[J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis), 2004 (8): 459-461.
- [19] 岑呈安, 王守玲, 吴小说. 化工产品中微量铁含量测定方法的研究进展[J]. 化工技术与开发, 2021, 50(8): 39-43.

- CEN C A, WANG S L, WU X S. Research progress on determination methods of trace iron content in chemical products and food[J]. Technology & Development of Chemical Industry, 2021, 50(8): 39-43.
- [20] 樊琴, 邓功成, 张娟, 等. 蛹虫草发酵酸奶研制试验[J]. 现代农业科技, 2015(11): 307-309.
- FAN Q, DENG G C, ZHANG J, et al. Research on fermentation yogurt of *Cordyceps militaris*[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2015(11): 307-309.
- [21] 邓功成, 赵洪. 红汁乳酸菌酸奶发酵条件优化研究[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(3): 85-87.
- DENG G C, ZHAO H. Optimization processing condition of *Lactarius hatsudake* yogurt[J]. Food Research and Development, 2009, 30(3): 85-87.
- [22] 宫俊峰, 陈亚峰, 蔡宇, 等. 白鸡腿蘑功能性酸奶的初试[J]. 山西农业科学, 2019, 47(2): 272-274, 278.
- GONG J F, CHEN Y F, CAI Y, et al. The preliminary test of *Coprinus comatus* functional yogurt [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2019, 47(2): 272-274, 278.
- [23] 郝静, 杨晨芝, 丁霄, 等. 杏鲍菇多糖对乳酸菌发酵及酸奶品质的影响[J]. 食品工业, 2020, 41(11): 177-180.
- HAO J, YANG C Z, DING X, et al. Effect of polysaccharides from *Pleurotus eryngii* on fermentation of lactic acid bacteria and quality of yogurt[J]. The Food Industry, 2020, 41(11): 177-180.
- [24] 张岩, 李键, 刘鲁蜀, 等. 松茸多糖对乳酸菌发酵及酸奶品质的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(1): 156-160.
- ZHANG Y, LI J, LIU L S, et al. Effect of *Tricholoma matsutake* polysaccharide on the fermentation characteristics of lactic acid bacteria and the texture of yogurt[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(1): 156-160.
- [25] 朱维红, 苗晓燕, 张筱梅. 猴头保健酸奶研制及其相关因子研究[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(4): 93-95, 99.
- ZHU W H, MIAO X Y, ZHANG X M. Development of *Heriium erinaeus* health yogurt and study of correlation factors[J]. Food Research and Development, 2012, 33(4): 93-95, 99.
- [26] 康林芝, 吴居雄, 唐惠妍, 等. 金耳发酵液酸奶制作及品质分析研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(11): 141-146.
- KANG L Z, WU J X, TANG H Y, et al. Study on liquid fermentation of *Tremella aurantialba* yoghurt and quality analysis [J]. Food Research and Development, 2020, 41(11): 141-146.
- [27] 李靖, 陈伟, 程芳, 等. 灵芝—白灵菇酸奶配方的优化及其营养成分分析[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(6): 122-127.
- LI J, CHEN W, CHENG F, et al. Optimization of formula of the *Ganoderma lucidum*-*Pleurotus* yogurt by response surface methodology and nutrient analysis [J]. Food and Fermentation Industry, 2012, 38(6): 122-127.
- [28] 杨晨芝, 郝静, 丁霄, 等. 桦褐孔菌多糖对乳酸菌发酵及酸奶品质的影响[J]. 中国乳品工业, 2020, 48(11): 22-25.
- YANG C Z, HAO J, DING X, et al. Effect of polysaccharides from *Inonotus obliquus* on fermentation of lactic acid bacteria and quality of yogurt[J]. Food and Nutrition in China, 2020, 48(11): 22-25.
- [29] ABD-RABOU H S, SHEHATA M G, EL SOHAIFY S A, et al. Functional probiotic quinoa camel milk kishk[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(9): e14681.
- [30] XIONG H, GUAN Q L, GONG M F, et al. Fermentation properties of yogurt with fermented broth of *Paecilomyces cicadae* [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 559(1): 012013.
- [31] 张凤琴, 查振中, 任雅馨. 香菇菌液制备香菇酸奶的研究[J]. 巢湖学院学报, 2015, 17(6): 50-54.
- ZHANG F Q, ZHA Z Z, REN Y X. A study on yogurt prepared from shiitake mushroom bacteria liquid [J]. Journal of ChaoHu University, 2015, 17(6): 50-54.
- (上接第 115 页)
- [10] 郝大孝, 舒志兵, 孙学. 基于机器视觉的 Delta 机器人分拣与跟踪系统设计[J]. 机床与液压, 2019, 47(17): 36-42.
- HAO D X, SHU Z B, SUN X. Design of delta robot sorting and tracking system based on machine vision[J]. Machine Tools and Hydraulics, 2019, 47(17): 36-42.
- [11] 陈志伟, 徐世许, 刘云鹏. 基于视觉筛选的并联机器人平面抓取系统设计[J]. 制造业自动化, 2018, 40(5): 44-47.
- CHEN Z W, XU S X, LIU Y P. Design of parallel robot plane grasping system based on visual screening [J]. Manufacturing Automation, 2018, 40(5): 44-47.
- [12] 胡斐, 李维嘉, 汪潇. 基于视觉引导的 Delta 型并联机器人运动优化[J]. 机械与电子, 2018, 36(6): 71-75.
- HU F, LI W J, WANG X. Motion optimization of Delta parallel robot based on vision guidance [J]. Machinery and Electronics, 2018, 36(6): 71-75.
- [13] 董腾, 秦腾飞, 张如如, 等. 基于机器视觉的水果分拣系统[J]. 聊城大学学报(自然科学版), 2017, 30(1): 93-96.
- DONG T, QIN T F, ZHANG R R, et al. Fruit sorting system based on machine vision[J]. Journal of Liaocheng University (Natural Science Edition), 2017, 30(1): 93-96.
- [14] 周伟, 徐颖若. 基于 PLC 和图像处理的水果分类智能控制系统[J]. 农机化研究, 2021, 12(5): 235-239.
- ZHOU W, XU Y R. Intelligent control system of fruit classification based on PLC and image processing[J]. Agricultural Mechanization Research, 2021, 12(5): 235-239.
- [15] CAETANO C E F, LIMA A B, PAULINO J O S, et al. A conductor arrangement that overcomes the effective length issue in transmission line grounding[J]. Electric Power Systems Research, 2018, 46(5): 159-162.