

相对湿度对牦牛毛霉菌奶酪成熟过程中品质的影响

高代微, 陈炼红*, 王琳琳, 张 岩

(西南民族大学生命科学与技术学院, 四川成都 610041)

摘 要:为研究不同相对湿度对牦牛霉菌奶酪成熟过程中品质的影响,并确定其在成熟过程中的最佳相对湿度和成熟时间,本实验以牦牛霉菌奶酪为试验材料,将其分别置于相对湿度为30%、50%、70%条件下成熟,测定其在成熟过程中感官品质、质构、pH、营养成分、蛋白质和脂肪分解指标以及挥发性风味物质的变化。结果表明:相对湿度为50%,成熟6 d时,奶酪的感官评分最高且质构较佳。随着成熟时间的延长,三个实验组的水分、蛋白质和脂肪含量呈下降趋势,灰分逐渐上升;pH呈先下降后保持不变或上升。除成熟第0和8 d外,在同一成熟时间点,相对湿度为30%的水分含量均显著低于其他两组($P < 0.05$);灰分、蛋白质和脂肪含量变化不明显;相对湿度为50%的pH下降速度最快。pH4.6醋酸盐缓冲液可溶性氮含量、12%三氯乙酸可溶性氮含量、酸价和硫代巴比妥酸值均在奶酪成熟过程中不断升高,且相对湿度为50%时值最高。对牦牛毛霉菌奶酪挥发性风味物质检测发现,相对湿度为50%,成熟第6 d时,奶酪的风味物质含量较高。因此,牦牛霉菌奶酪在相对湿度为50%,成熟6 d时,其品质最佳。

关键词:牦牛毛霉菌奶酪,相对湿度,成熟时间,品质

Effects of Relative Humidity on the Quality of Yak Mold Cheese during Ripening

GAO Dai-wei, CHEN Lian-hong*, WANG Lin-lin, ZHANG Yan

(College of Life Science and Technology, Southwest Minzu University, Chengdu 610041, China)

Abstract: In order to study the effects of different relative humidity on the quality of yak mold cheese during ripening, and determine the optimal relative humidity and ripening time in the ripening process, the yak mold cheese was taken as the experimental materials and was ripened in the relative humidity of 30%, 50%, 70%. The changes of sensory quality, texture, pH value, nutrient content, the decomposition indexes of protein and fat and the changes of volatile flavor compounds were measured during the ripening process. The results showed that the sensory score of the cheese was highest and the texture index was better when the ripening relative humidity was 50% and fermented for 6 days. Meanwhile, with the extension of ripening time, moisture content protein content and fat content in the three experimental groups all presented a downward trend, nevertheless, the ash content showed an upward trend, while the pH value decreased first and then remained unchanged or increased. Furthermore, except for 0 and 8 days of ripening, at the same maturity time, the relative moisture content of 30% was significantly lower than the other two groups ($P < 0.05$). The ash content, protein content and fat content did not change significantly. The pH value of 50% relative humidity decreased the fastest. Meanwhile, the content of soluble nitrogen at pH4.6 or 12% trichloroacetic acid soluble nitrogen, thiobarbituric acid value, acid value increased gradually during cheese ripening, and the highest value was obtained at relative humidity of 50%. The detection of volatile flavor substances in yak mold cheese indicated that the flavor content of the cheese was higher when the relative humidity was 50%, and the cheese was ripened to the 6th day. Therefore, the quality of yak mold cheese was the best when the relative humidity was 50% and the ripening time was 6 days.

Key words: yak mold cheese; relative humidity; ripening time; quality

中图分类号: TS252.42

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2020)05-0023-08

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020.05.005

引文格式: 高代微, 陈炼红, 王琳琳, 等. 相对湿度对牦牛毛霉菌奶酪成熟过程中品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(5): 23-30.

收稿日期: 2019-06-17

作者简介: 高代微(1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 263706350@qq.com。

* 通讯作者: 陈炼红(1967-), 女, 本科, 教授, 研究方向: 食品资源开发与研究, E-mail: lianhong_chen@163.com。

基金项目: 西南民族大学研究生创新型科研项目(CX2019SZ159); 青藏高原生态畜产品提质增效关键技术与产品开发(2018YFD0502404)。

奶酪是在牛、羊乳中加入适量发酵剂和凝乳酶,经过凝固、乳清排出、发酵成熟而制成的一种营养价值较高的发酵乳制品^[1]。霉菌奶酪是以霉菌为发酵剂,培养成熟的一种具有独特风味的奶酪,主要以卡门贝尔奶酪、白霉奶酪以及蓝纹奶酪为主^[2]。目前在霉菌奶酪生产中,已经投入使用的霉菌菌种主要是卡地干酪青霉、娄地青霉和白地霉^[3]。除这些比较成熟的商业菌种外,其他霉菌菌种的使用大多还在实验室阶段。雅致放射毛霉作为制作腐乳的优良菌种,经过长期食用被证明为安全,因此从菌种安全性考虑,若将雅致放射毛霉用于干酪生产可保证干酪的安全性问题。同时,雅致放射毛霉具有较强的蛋白质分解能力,符合霉菌奶酪发酵剂的要求^[4]。

目前,国内外关于霉菌奶酪的研究多见于新型霉菌的开发和应用以及将常用的霉菌发酵剂应用于其他奶源。如刘南^[3]从腐乳和臭豆腐中筛选了适合制作类 Camembert 干酪的毛霉 M1 和帚状地霉 D1,并确定了毛霉 M1 和帚状地霉 D1 分别及混合应用制作的类 Camembert 干酪的成熟期;郭林海^[4]对中国传统食品腐乳酿造菌种进行筛选,确定雅致放射毛霉为发酵干酪的最适菌种;孙颜君等^[5]从中国传统红曲产品中筛选出一株高色素无桔霉素毒素的菌株,研究其在干酪成熟过程中对 Camembert 干酪理化和风味的影响;Gaborit 等^[6]研究了青霉和白地霉对羊奶干酪风味的影响。不同品种的奶酪对成熟室内的温度、湿度以及成熟时间的要求不同^[7]。关于成熟条件对奶酪品质的影响多见于研究成熟温度与成熟时间的对牦牛乳硬质干酪^[8]、Cheddar 干酪^[9]品质的影响,而相对湿度对牦牛毛霉(雅致放射毛霉)霉菌奶酪品质的影响鲜有报道。因此,本实验在实验室已确定的雅致放射毛霉最佳添加量的基础上,探究在成熟过程中相对湿度及成熟时间对牦牛毛霉霉菌奶酪品质的影响。

本实验以藏区牦牛乳为原料,以雅致放射毛霉为发酵剂,研究不同相对湿度对成熟过程中牦牛毛霉霉菌奶酪感官品质、质构、pH、营养成分、蛋白质和脂肪分解指标以及挥发性风味物质的影响,确定成熟过程中最佳相对湿度和成熟时间。这不仅能够填补此项研究的空白,同时可以为今后的实际生产提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

牦牛乳 采自四川省红原县哈拉玛村的麦洼牦牛(密度 1.035 g/cm^3 , 滴定酸度 $18\text{ }^\circ\text{T}$, 蛋白质含量 4.62% , 脂肪含量 6.82%);雅致放射毛霉菌 成都市调味品研究所;发酵剂 R-704 科汉森公司;小牛皱胃酶(酶活力 14000 U/g) 科汉森公司;氯化钙、氢氧化钠、酚酞、三氯乙酸、硫酸铜、硫酸钾、浓盐酸、乙醇、硫代巴比妥酸等试剂 均为分析纯,成都市科龙化工试剂厂。

TA.XT.Plus 质构分析仪 英国 Stable Micro System 公司;MP512-02 精密 pH 计 德国 Matthaues 公司;SKD-800 凯氏定氮仪 上海沛欧分析仪器有

限公司;SKD-08S2 红外石英消化炉 上海沛欧分析仪器有限公司;Trace DSQ 型气相色谱质谱联用仪 美国 Thermo 公司;50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头 美国 Supelco 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程 新鲜牦牛乳→标准化→巴氏杀菌→冷却→添加发酵剂→调 pH→添加氯化钙→添加凝乳酶→凝乳→切割→搅拌→堆酿→排乳清→压榨成型→半成品→切块→添加雅致放射毛霉菌→成熟→成品

1.2.2 操作要点 新鲜牦牛乳 $65\text{ }^\circ\text{C}$ 加热 30 min , 冷却至 $32\text{ }^\circ\text{C}$, 添加 1% 的发酵剂,搅拌均匀,发酵 1 h 后,用食品级柠檬酸溶液调节 pH 至 5.6 ,添加 0.02% 氯化钙、 0.004% 凝乳酶,凝乳形成后进行切割、搅拌、堆酿、排乳清,放入模具压榨成型,将制成的牦牛奶酪半成品切成 $30\text{ mm}\times 30\text{ mm}\times 30\text{ mm}$ 的块状,在其表面均匀的喷洒 3% (质量比)的雅致放射毛霉孢子液,在温度为 $25\text{ }^\circ\text{C}$,相对湿度分别为 30% 、 50% 、 70% 的成熟室进行成熟。成熟期间每隔 1 d 进行各项指标和挥发性成分测定,共 6 次。以上参数设置均由实验室其他人前期实验优化所得。

1.2.3 指标检测方法

1.2.3.1 感官评价 将样品通过“三角测试”提供给 15 位具有干酪品评经验的评审员,根据表 1 所列项进行评分^[10]。

表 1 奶酪感官品评标准

Table 1 Standards for sensory evaluation of cheese

项目	特征描述	评分 (分)
整体风味	有牦牛乳特有的滋味和气味,香味浓郁	33~40
	有牦牛乳特有的滋味和气味,风味较好	25~32
	滋味、气味良好,香味较淡	17~24
	滋味、气味合格,香味较淡	9~16
	有明显的异常味	0~8
	质地紧密、光滑、硬度适中	33~40
组织状态	质地基本均匀、稍软或稍硬,组织细腻	25~32
	组织状态疏松、易碎	17~24
	组织状态呈皮带状	9~16
	表面呈针状、分层	0~8
色泽	色泽呈白色或乳黄色,均匀有光泽	16~20
	色泽略有变化	10~15
	色泽有明显变化,不均匀	3~9

1.2.3.2 质构测定 测定样品的硬度、凝聚性、胶粘性、弹性、咀嚼性,重复测定 3 次,求其平均值。质构仪测定参数:负载类型:Auto-5 g;下压距离: 5 mm ;保持时间: 0 s ;恢复时间: 1 s ;测中速: 120 mm/min ;探头:P/0.5;样品规格(长 $\times$ 宽 $\times$ 高): $30\text{ mm}\times 10\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 。

1.2.3.3 营养成分测定 水分、灰分、粗蛋白和粗脂肪含量分别参照 GB 5009.3-2016 食品中水分的测定^[11]、GB 5009.4-2016 食品中灰分的测定^[12]、GB 5009.5-2016 食品中蛋白质的测定^[13]、GB 5009.6-2016 食品中脂肪的测定^[14]。

1.2.3.4 pH 测定 将奶酪与蒸馏水以质量比 1:1 混合研磨后用 pH 计测定^[15]。

1.2.3.5 pH4.6 醋酸盐缓冲液可溶性氮含量 (pH4.6-SN) 准确称取样品 0.75 g, 加入 pH4.6 醋酸盐缓冲液 25 mL, 将样品充分研磨, 再用 25 mL 缓冲液冲洗, 悬浮液在 4000 r/min 条件下离心 20 min, 取上清液定量移入凯氏消化管, 进行凯氏自动定氮, 以占牦牛奶酪总氮量的百分数表示^[16]。

1.2.3.6 12% 三氯乙酸溶液可溶性氮含量 (12% TCA-SN) 参照 GB/T 5009.124-2003 方法测定^[17]。

1.2.3.7 酸价 (ADV) 参照 GB 5009.37-2003 中的方法测定^[19]。

1.2.3.8 硫代巴比妥酸值 (TBAV) 参考文献方法并加以修改^[18]。准确称取研磨均匀的试样 8 g 左右置于锥形瓶中, 记为 m。加入 7.5% 三氯乙酸 (0.1% EDTA-2Na) 40 mL, 用保鲜膜包实后橡皮筋紧扎, 超声波振动 30 min, 双层滤纸过滤。取 4 mL 滤液加入 4 mL TBA 溶液, 在 90 ℃ 的水浴锅内水浴保温 40 min, 取出冷却后在 1600 r/min 条件下离心 5 min, 上清液中加入 4 mL 氯仿, 摇匀、静置。吸出上清液分别于 523、600 nm 中比色, 按照下列公式计算:

$$\text{TBAV}(\text{mg/kg}) = \frac{(A_{523} - A_{600}) \times 40 \times 72.06}{155 \times m}$$

1.2.3.9 牦牛毛霉菌奶酪成熟过程中挥发性物质变化 采用顶空固相微萃取 (SPME) 结合气相色谱-质谱联用 (GC-MS) 法对牦牛毛霉菌奶酪成熟过程中挥发性风味物质所属类别及相对含量的总和进行分析^[20]。

固相微萃取条件: 称取 5 g 奶酪样品放入 20 mL 顶空瓶中, 将待吸附样品在 80 ℃ 水浴中平衡 30 min 后, 将已经活化好的萃取头插入顶空瓶中进行萃取, 吸附时间 30 min。萃取结束后取出萃取头, 插入气相色谱汽化室中进行 GC-MS 分析。

气相色谱条件: 氦气作载气, 流速 1 mL/min, 样品通过 DB-Wax (30 m × 0.25 mm, 0.25 μm) 毛细管柱。色谱升温程序: 起始柱温 40 ℃, 保持 3 min, 以 8 ℃/min 升到 100 ℃, 保持 2 min, 然后 5 ℃/min 升到 200 ℃, 最后以 10 ℃/min 升到 220 ℃, 保持 3 min。

质谱条件: 电子电离 (electron ionization, EI) 源, 电子能量 70 eV, 离子源温度 220 ℃, 四极杆温度 150 ℃, 扫描模式 Full Scan, 质量扫描范围 m/z 40~650。

定性分析: 测定的数据由仪器自带的系统软件 (Xcalibur) 进行分析处理, 待鉴定化合物的质谱与 NIST 08 谱库中的质谱对比, 列出匹配度大于 70 (总分为 100) 的鉴定结果。

定量分析: 按面积归一法进行各挥发性化合物的定量分析。

1.3 数据处理

所有数据均为三次重复测定的平均值, 结果用平均值 ± 标准差表示。利用 SPSS 20.0 和 Microsoft 2016 Excel 软件对数据进行统计分析获得平均值和标准差, 采用 Duncan 多重比较进行显著性方差分析, 显著性水平为 $P < 0.05$ 。作图采用 Microsoft 2016

Excel 软件。

2 结果与分析

2.1 相对湿度对牦牛毛霉菌奶酪感官指标的影响

由图 1 可知, 相对湿度为 50%, 成熟 6 d 的霉菌奶酪获得的感官评分最高。随着成熟时间的延长, 三个实验组的感官评分均呈先上升后下降趋势, 相对湿度为 70% 的实验组感官评分在第 4 d 时达到峰值, 其余两组均在第 6 d 达到峰值。这是由于霉菌奶酪在成熟前期蛋白质与脂肪成分逐渐分解, 形成风味物质, 改善其感官品质; 而一段时间后, 奶酪中的部分蛋白质分解成苦味肽, 脂肪大量分解, 造成奶酪风味过于浓烈^[21], 感官评分下降。从成熟 4 d 开始, 相对湿度为 50% 的实验组的感官评分高于其他两组。这是由于毛霉生长受相对湿度的影响, 相对湿度为 30% 的实验组霉菌菌丝生长速度较慢, 分解蛋白质速度较慢, 风味物质含量较低; 相对湿度为 50% 时, 菌丝生长速度较快, 奶酪中霉菌发酵能力及酶的活性相对较高, 蛋白质与脂肪较好分解, 成熟速度加快, 使奶酪的组织状态更加细腻可口, 香味浓郁; 相对湿度为 70% 时, 霉菌迅速生长, 同时蛋白质分解剧烈, 奶酪内部稳定的网状结构遭到破坏, 影响组织状态, 从而影响感官品质^[22]。

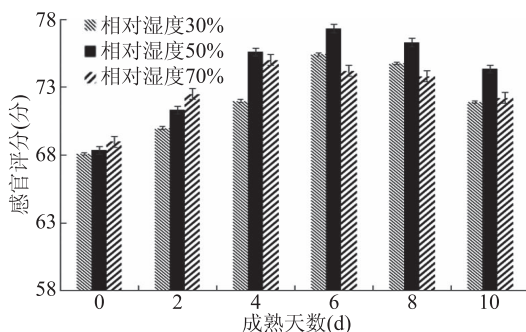


图1 牦牛霉菌奶酪感官评分

Fig.1 Sensory score of yak mold cheese

2.2 相对湿度对牦牛毛霉菌奶酪质构的影响

在 30%、50%、70% 三种成熟相对湿度下, 牦牛毛霉菌奶酪成熟期间的质构指标变化结果如表 2。

由表 2 可知, 三组牦牛毛霉菌奶酪在成熟过程中, 硬度、胶粘性、弹性、咀嚼性整体呈先上升后下降的变化趋势。其中, 除了 50% 相对湿度的奶酪在成熟时间 4、8 d 硬度差异不显著外 ($P > 0.05$), 其他相对湿度的奶酪在成熟过程中硬度变化显著 ($P < 0.05$), 在相对湿度为 50% 时奶酪咀嚼性在成熟过程中变化显著 ($P < 0.05$), 而胶粘性和弹性分别于成熟第 4、8 d 开始发生显著变化 ($P < 0.05$), 硬度、弹性和咀嚼性均在第 6 d 达到峰值; 但凝聚性除相对湿度 70% 的奶酪在第 10 d 显著降低外 ($P < 0.05$), 其他变化趋势均不显著 ($P > 0.05$)。这是由于在奶酪成熟前期, 霉菌与奶酪中的脂肪和酪蛋白分子相互作用, 从而促进脂肪分解及酪蛋白的相互聚集作用^[10], 且在水分蒸发的作用下^[23], 使得硬度、凝聚性、胶粘性、弹性和咀嚼性均有所上升; 在成熟后期, 霉菌的生长处于旺盛阶段, 霉菌代谢物会对酪蛋白的凝胶网状

表2 相对湿度对牦牛霉菌奶酪硬度的影响
Table 2 Effect of humidity on the texture of yak mold cheese

质构	相对湿度 (%)	成熟时间(d)					
		0	2	4	6	8	10
硬度	30	1754 ± 60 ^{Ab}	1988 ± 176 ^{Bc}	2987 ± 186 ^{Cc}	3675 ± 123 ^{Fc}	3125 ± 29 ^{Dc}	3466 ± 105 ^{Ec}
	50	1762 ± 75 ^{Ac}	1915 ± 109 ^{Ca}	2024 ± 139 ^{Db}	3044 ± 175 ^{Eb}	2020 ± 144 ^{Da}	1887 ± 145 ^{Ba}
	70	1737 ± 39 ^{Aa}	1920 ± 114 ^{Bb}	2012 ± 69 ^{Da}	2996 ± 88 ^{Fa}	2405 ± 109 ^{Eb}	1948 ± 89 ^{Cb}
凝聚性	30	0.58 ± 0.02 ^{Aa}	0.60 ± 0.01 ^{Aa}	0.61 ± 0.03 ^{Aa}	0.61 ± 0.03 ^{Aa}	0.58 ± 0.04 ^{Aa}	0.57 ± 0.04 ^{Aa}
	50	0.62 ± 0.02 ^{Aa}	0.61 ± 0.02 ^{Aa}	0.62 ± 0.01 ^{Aa}	0.62 ± 0.01 ^{Aa}	0.61 ± 0.02 ^{Aa}	0.60 ± 0.04 ^{Ab}
	70	0.57 ± 0.01 ^{Ba}	0.56 ± 0.04 ^{ABa}	0.57 ± 0.04 ^{Ba}	0.58 ± 0.01 ^{Ba}	0.57 ± 0.02 ^{Ba}	0.51 ± 0.05 ^{Ab}
胶粘性	30	145.16 ± 10.21 ^{Aa}	146.45 ± 12.60 ^{Aa}	166.46 ± 11.36 ^{Ba}	181.28 ± 17.72 ^{Ca}	200.47 ± 9.67 ^{Da}	190.150 ± 20.89 ^{CDa}
	50	144.17 ± 11.10 ^{Aa}	149.68 ± 15.83 ^{Aa}	185.37 ± 17.86 ^{Bb}	267.14 ± 12.96 ^{Ec}	238.19 ± 10.95 ^{Dc}	219.47 ± 11.18 ^{Cc}
	70	144.20 ± 10.57 ^{Aa}	147.25 ± 11.05 ^{Aa}	180.55 ± 13.96 ^{Bb}	209.20 ± 14.57 ^{Cb}	210.59 ± 11.21 ^{Cb}	197.60 ± 13.86 ^{Cb}
弹性	30	0.78 ± 0.04 ^{Aa}	0.79 ± 0.02 ^{Aa}	0.90 ± 0.05 ^{Ba}	1.01 ± 0.06 ^{Ca}	0.99 ± 0.02 ^{BCa}	0.97 ± 0.03 ^{BCa}
	50	0.80 ± 0.03 ^{Aa}	0.87 ± 0.02 ^{Aa}	0.89 ± 0.02 ^{Aa}	1.65 ± 0.05 ^{Dc}	1.37 ± 0.04 ^{Cc}	1.23 ± 0.03 ^{Bc}
	70	0.76 ± 0.03 ^{Aa}	0.80 ± 0.02 ^{Aa}	0.84 ± 0.04 ^{Aa}	1.34 ± 0.04 ^{Bb}	1.10 ± 0.02 ^{ABb}	1.04 ± 0.02 ^{ABbc}
咀嚼性	30	957 ± 16 ^{Aa}	978 ± 21 ^{Aa}	1008 ± 50 ^{ABa}	1134 ± 45 ^{Ca}	1117 ± 58 ^{BCa}	1007 ± 41 ^{ABa}
	50	1024 ± 22 ^{Ab}	1081 ± 45 ^{Bb}	1615 ± 29 ^{Db}	1814 ± 64 ^{Fb}	1762 ± 40 ^{Ec}	1463 ± 72 ^{Cc}
	70	1020 ± 35 ^{Ab}	1099 ± 27 ^{Bb}	1744 ± 36 ^{Ec}	1749 ± 65 ^{Eb}	1569 ± 49 ^{Db}	1266 ± 54 ^{Cb}

注:表中大写字母表示同一相对湿度下不同成熟时间的差异性;小写字母表示不同相对湿度在同一成熟时间下的差异性。不同字母表示差异显著($P < 0.05$);相同字母表示差异不显著($P > 0.05$),表3同。

结构的形成起一定的阻碍作用,使其网状结构不够致密牢固^[24],从而影响其质构特性变化,使得硬度、凝聚性、胶粘性、弹性和咀嚼性均有所下降。

随着相对湿度的增加,胶粘性和弹性在成熟第6 d开始呈先上升后下降趋势($P < 0.05$);除成熟10 d外,凝聚性变化不显著($P > 0.05$)。相对湿度为30%的实验组的硬度从成熟第2 d开始显著高于其余两组($P < 0.05$);相对湿度为50%的咀嚼性从成熟第6 d开始高于其余两组。在同一成熟时间点,相对湿度为30%的咀嚼性显著低于其余两组($P < 0.05$)。这可能是由于相对湿度为30%下的霉菌生长速度比其余两组慢,霉菌与奶酪中脂肪和酪蛋白分子相互作用较弱。

由于奶酪的成熟与硬度、凝聚性、胶粘性、弹性和咀嚼性有一定的对应关系,而较高胶粘性和弹性

对产品的光滑、均匀的质地有利^[3]。因此,相对湿度为50%,成熟6 d时,牦牛毛霉菌奶酪具有较好的质构特性。

2.3 相对湿度对牦牛毛霉菌奶酪营养成分的影响

奶酪成熟过程中,在30%、50%、70%三种相对湿度下,霉菌奶酪成熟期间的营养成分变化情况见表3。

由表3可知,随着牦牛毛霉菌奶酪的成熟,三组牦牛毛霉菌奶酪的水分含量大体呈下降趋势。其中,成熟4和6 d时,相对湿度为70%的水分含量显著高于其余两组($P < 0.05$);除成熟第0和8 d外,在其余成熟时间点,相对湿度为30%的水分含量均显著低于其他两组($P < 0.05$)。奶酪成熟过程中,水分含量下降是由于游离水的蒸发使得水分流失^[8],另一方面是在酶和微生物的作用下蛋白质逐渐被分

表3 相对湿度对牦牛霉菌奶酪营养成分含量的影响
Tab.3 Effect of humidity on the nutritional components of yak mold cheese

营养成分	相对湿度 (%)	成熟时间(d)					
		0	2	4	6	8	10
水分	30	35.68 ± 1.22 ^{Ea}	34.91 ± 1.15 ^{Da}	33.17 ± 1.80 ^{Ca}	30.95 ± 2.11 ^{Ca}	29.86 ± 1.15 ^{Ba}	27.95 ± 1.88 ^{Aa}
	50	36.20 ± 1.06 ^{Eb}	35.80 ± 0.70 ^{Eb}	34.16 ± 0.87 ^{Db}	32.32 ± 1.83 ^{Cb}	31.22 ± 1.06 ^{Ba}	30.18 ± 1.4 ^{Ac}
	70	35.94 ± 0.95 ^{Eab}	35.89 ± 0.81 ^{DEb}	35.15 ± 0.57 ^{Dc}	32.55 ± 2.45 ^{Cc}	30.89 ± 1.47 ^{Ba}	29.71 ± 1.04 ^{Ab}
灰分	30	3.16 ± 0.01 ^{Ab}	3.24 ± 0.02 ^{Aa}	3.76 ± 0.06 ^{Ba}	3.85 ± 0.04 ^{BCa}	3.93 ± 0.05 ^{Ca}	4.28 ± 0.07 ^{Dab}
	50	3.10 ± 0.02 ^{Aab}	3.20 ± 0.05 ^{Aa}	3.72 ± 0.07 ^{Ba}	3.98 ± 0.07 ^{Ca}	4.17 ± 0.03 ^{Da}	4.40 ± 0.08 ^{Eb}
	70	3.02 ± 0.01 ^{Aa}	3.06 ± 0.03 ^{Aa}	3.46 ± 0.07 ^{Ba}	3.74 ± 0.05 ^{Ca}	4.05 ± 0.06 ^{Da}	4.14 ± 0.04 ^{Ea}
蛋白质	30	28.80 ± 1.05 ^{Aa}	28.58 ± 1.02 ^{Aa}	28.52 ± 1.38 ^{Aa}	28.41 ± 1.30 ^{Aa}	28.20 ± 1.06 ^{Aa}	28.11 ± 1.54 ^{Aa}
	50	28.85 ± 1.22 ^{Ba}	28.74 ± 1.74 ^{Ba}	28.55 ± 1.26 ^{Ba}	28.64 ± 0.99 ^{Ba}	27.92 ± 1.28 ^{ABa}	27.25 ± 0.96 ^{Aa}
	70	28.78 ± 2.15 ^{Ca}	28.72 ± 0.95 ^{Ca}	27.91 ± 2.82 ^{CBa}	27.33 ± 1.45 ^{ABa}	27.17 ± 1.57 ^{ABa}	26.93 ± 1.02 ^{Aa}
脂肪	30	35.09 ± 1.01 ^{Ba}	34.77 ± 0.76 ^{ABa}	34.60 ± 1.12 ^{ABa}	34.49 ± 0.65 ^{ABa}	33.94 ± 0.72 ^{Aa}	33.78 ± 0.96 ^{Aa}
	50	35.20 ± 0.84 ^{Ba}	34.85 ± 0.78 ^{ABa}	34.73 ± 0.95 ^{ABa}	34.55 ± 0.74 ^{ABa}	34.36 ± 1.10 ^{Aa}	34.15 ± 1.60 ^{Aa}
	70	35.12 ± 1.11 ^{Ba}	35.06 ± 1.45 ^{Ba}	34.91 ± 1.30 ^{ABa}	34.74 ± 1.22 ^{ABa}	34.28 ± 1.18 ^{Aa}	34.22 ± 1.42 ^{Aa}

解,奶酪的网状结构受到破坏,产生大量的自由水^[7]。相对湿度为50%和70%时,霉菌的生长速度较快,能够在奶酪表面较快地长出菌丝,减少水分的蒸发。因此,在奶酪成熟过程中相对湿度为30%的水分含量大体上低于其他两组。

奶酪成熟过程中,三组牦牛毛霉霉菌奶酪的灰分含量呈上升趋势,并且相对湿度为50%和70%的灰分含量从第4 d开始呈显著上升趋势($P < 0.05$),相对湿度为30%的灰分含量在成熟第10 d显著高于该湿度条件下的其他成熟时间点($P < 0.05$)。随着相对湿度的增加,奶酪的灰分含量在成熟2、4、6、8 d时差异不显著($P > 0.05$)。在奶酪成熟过程中,无机盐成分没有被消耗,而水分的流失量大加之蛋白质的网状结构的固着作用,使灰分含量呈上升趋势^[10]。

在同一成熟时间点,相对湿度对奶酪的蛋白质和脂肪含量影响不显著($P > 0.05$)。然而,在奶酪成熟过程中,三组牦牛毛霉霉菌奶酪的蛋白质和脂肪含量均呈下降趋势。其中,相对湿度为50%和70%时,奶酪蛋白质含量在成熟第10 d的值显著低于第0 d时的值($P < 0.05$)。此外,三组奶酪的脂肪含量均在成熟第8和10 d的值显著低于第0 d时的值($P < 0.05$)。这是由于奶酪在成熟过程中,凝乳酶及牛乳中微生物代谢产生的脂肪酶分别作用于蛋白质和脂肪,使得蛋白质和脂肪被分解含量下降^[7]。

2.4 相对湿度对牦牛毛霉霉菌奶酪 pH 的影响

由图2可知:在牦牛毛霉霉菌奶酪成熟过程中,三个实验组的pH均呈先下降后保持不变或上升趋势。这与高辉等^[23]的研究结果相似。奶酪成熟初期,残留乳清中的乳糖转换为乳酸^[9],脂肪被分解产生脂肪酸,使奶酪的pH下降。随着成熟时间的延长,霉菌在奶酪表面不断生长并产生蛋白水解酶,在酶的作用下蛋白质分解产生 NH_4^+ 的反应处于优势^[25], NH_4^+ 中和一部分游离氢离子,使得成熟后期pH呈保持不变或上升趋势^[7]。此外,相对湿度为50%时,pH下降速度较其余实验组快。这可能是由于相对湿度为50%时,菌丝生长速度较快,奶酪中霉菌发酵能力及酶的活性相对较高,蛋白质与脂肪被较快分解;相对湿度为30%时,霉菌的生长速度较慢,脂肪分解较慢;而相对湿度为70%时,霉菌生长

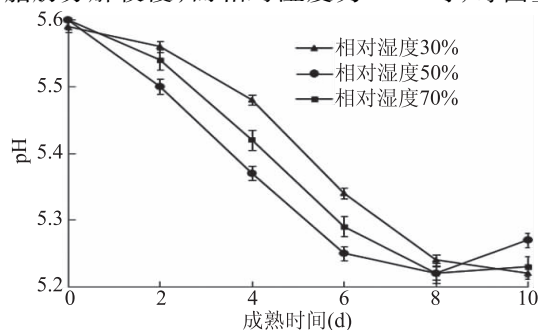


图2 牦牛霉菌奶酪成熟过程中 pH 的变化

Fig.2 Changes of pH value during ripening period of yak mold cheese

过快,蛋白质分解产生的 NH_4^+ 的速度较快,从而导致相对湿度为70%和30%实验组的pH高于相对湿度为50%。

2.5 相对湿度对牦牛毛霉霉菌奶酪蛋白质分解指标的影响

随着奶酪的成熟,凝乳酶和发酵剂产生的酶类会将酪蛋白水解,产生可溶性氮,而可溶性氮化合物是影响干酪的风味和质构的重要因素^[26]。

2.5.1 pH4.6-SN 含量的变化 pH4.6-SN 含量反映蛋白质水解产生的小肽和中肽的含量,可直接反映蛋白质降解情况^[27]。成熟过程中相对湿度对牦牛毛霉霉菌奶酪 pH4.6-SN 含量影响的结果见图3。

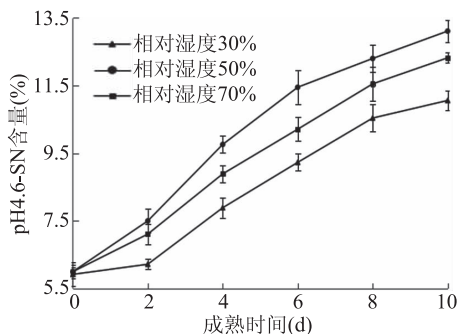


图3 牦牛霉菌奶酪成熟过程中 pH4.6-SN 含量的变化

Fig.3 Changes of content of pH4.6-SN during ripening period of yak mold cheese

由图3可知,随着牦牛毛霉霉菌奶酪成熟时间的增加,三个实验组的pH4.6-SN含量均呈上升趋势。这与孙颜君等^[5]的研究结果相似。在毛霉霉菌奶酪成熟过程中,发酵剂中微生物产生酶、凝乳酶、牛乳中纤溶酶以及霉菌产生的内源和外源性蛋白酶的作用下酪蛋白发生强烈水解^[5],产生大量的小肽和中肽,因此pH4.6-SN含量持续上升。此外,在同一成熟时间内,相对湿度为50%的pH4.6-SN含量最高。这可能是由于相较于其他两个实验组而言,相对湿度为50%时,毛霉蛋白酶和凝乳酶活性较高,使得蛋白质分解较快,生成可溶性氮含量的速率较高^[23]。

2.5.2 12% TCA-SN 含量的变化 奶酪成熟过程中加入的凝乳酶和发酵剂相互作用产生的小分子肽和游离氨基酸是12% TCA-SN的主要成分,12% TCA-SN表示蛋白水解的深度,与奶酪的风味的形成和质构变化关系密切^[7]。成熟过程中相对湿度对牦牛毛霉霉菌奶酪12% TCA-SN含量变化的影响结果见图4。

由图4可知,在牦牛毛霉霉菌奶酪成熟过程中,三个实验组的12% TCA-SN含量呈持续上升趋势,说明毛霉霉菌奶酪成熟过程中在凝乳酶和发酵剂相互作用下产生大量的短肽和氨基酸氮^[5]。随着奶酪成熟时间延长,虽然凝乳酶活力下降,但是霉菌开始自溶会释放出胞酶,因此12% TCA-SN含量依旧保持较快的上升趋势^[28]。此外,在同一成熟时间内,相对湿度为50%的12% TCA-SN含量最高。这可能是由于在相对湿度为50%时,霉菌和凝乳酶具有较高的活力,可以迅速将奶酪中的酪蛋白水解^[29]。

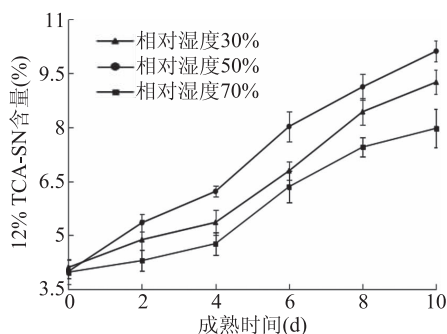


图4 牦牛霉菌奶酪成熟过程中12% TCA-SN含量的变化

Fig.4 Changes of content of 12% TCA-SN during ripening period of yak mold cheese

2.6 相对湿度对牦牛毛霉菌奶酪脂肪分解指标的影响

2.6.1 ADV的变化 ADV作为油脂的特征值,是中和1g油脂中游离脂肪酸所需氢氧化钾质量(mg),它可以反映干酪中脂肪分解成游离脂肪酸的程度^[30]。

由图5可知,牦牛霉菌奶酪在成熟过程中,三个实验组的ADV值一直呈上升趋势,说明奶酪在成熟过程中一直发生脂质氧化反应。这是由于奶酪成熟期间,在奶酪脂肪酶的作用下,脂肪不断地发生降解,从而生成较多的脂肪酸^[7]。这与李昌盛^[7]的研究结果相似。在同一成熟时间内,相对湿度为50%的奶酪酸价最高,这可能由于相对湿度为50%的实验组的脂肪酶的活力高于其余两组。国外的大部分奶酪有浓烈的风味,正是由于这些奶酪中脂肪被大量的分解成小分子的风味物质,其酸价主要集中于8.8~9.6 mg/g^[31],而本试验研究的牦牛毛霉菌奶酪酸价低于该范围,表明此奶酪中脂肪的分解过程中不会产生过于浓烈的风味。

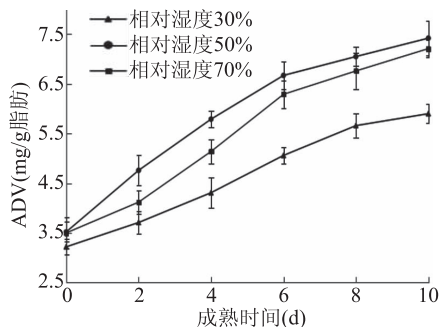


图5 牦牛霉菌奶酪成熟过程中酸价的变化

Fig.5 Changes of ADV during ripening period of yak mold cheese

2.6.2 TBAV的变化 TBAV是反映脂肪进一步氧化程度的主要指标,表明脂肪发生二级氧化的程度,脂肪通过氧化作用生成过氧化物后进一步氧化分解生成醛、酸之类的化合物^[32]。

由图6可知,牦牛毛霉菌奶酪在成熟过程中,三个实验组的TBAV一直呈上升趋势,说明奶酪在成熟期间一直发生分解反应,生成分子量更小的醛、酸化合物。这与李昂等^[10]研究结果相似。在同一成熟时间内,相对湿度为50%的TBAV高于另外两组,

说明相对湿度为50%实验组的脂质氧化速率高于其余两组。这是由于脂肪的氧化受到相对湿度的影响,脂质的氧化速率主要依靠水分活度,较高的水分活度会使脂质的氧化速率降低^[23]。有研究表明,奶酪的TBAV大于0.5 mg/kg时,会产生不良的风味,例如腐败味^[33]。而该试验中各组TBAV的含量均低于0.5 mg/kg,说明此奶酪在脂质氧化过程中并未产生上述不良风味。

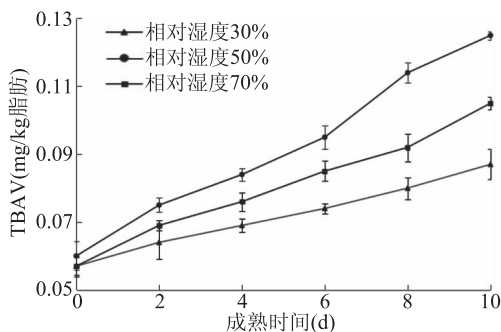


图6 牦牛霉菌奶酪成熟过程中硫代巴比妥酸值的变化

Fig.6 Changes of TBAV during yak mold cheese ripening period

2.7 相对湿度对牦牛毛霉菌奶酪挥发性成分的影响

相对湿度对牦牛毛霉菌奶酪成熟过程中酸类、酮类、醛类、醇类、酯类及芳香类物质的总相对含量变化如表4所示。此外,关于上述几类物质的具体成分的含量变化将另文发表。

由表4可知,从各组霉菌奶酪样品中检测出来的风味物质成分主要是酸类、酮类、酯类、醇类、醛类以及芳香类物质,其中酸类化合物相对含量最高。当相对湿度为50%,成熟至第6d时,奶酪中风味物质相对含量总计高达93.46%,仅与最高组相差0.56%。

酸类物质是奶酪发酵和成熟过程中脂肪或氨基酸降解形成的,是奶酪最典型的特征风味组分,也是评价其成熟的重要标志之一^[34]。而牦牛毛霉菌奶酪中酸类化合物主要见于丁酸、己酸、辛酸、癸酸及月桂酸。其相对百分含量在不同发酵阶段都相对较多,但随着成熟时间延长,酸类物质含量总体呈下降趋势,这可能是由于乙酸等挥发性酸相对含量较大,在发酵过程中挥发。酮类物质能够赋予奶酪清新的奶油香气,丰富奶酪的风味。在该奶酪中酮类主要物质为丁酮及甲基酮化合物,但总量占比始终较小。醇类物质是奶酪中比较普遍的风味物质,其中代表性物质乙醇主要由乳糖代谢中磷酸戊糖途径生成,随着发酵时间的增加,代谢产物不断累积,乙醇含量逐渐增加。酯类物质主要见于乙酸乙酯、丁酸乙酯、己酸乙酯、癸酸乙酯、癸酸丙酯,其中乙酸乙酯、己酸乙酯、癸酸乙酯等酯类物质的混合物被称为黄油酯^[35],具有浓郁奶香味,对牦牛霉菌奶酪香气轮廓的形成具有重要意义。此外,有研究表明奶酪中常见庚醛、己醛等醛类物质,一般具有青草味和霉腐味^[36],而在本实验中并未出现该类物质。

表4 相对湿度对牦牛霉菌奶酪风味物质的影响
Table 4 Effects of humidity on the flavor substance of yak mold cheese

相对湿度 (%)	成熟时间 (d)	酸类(%)	酮类(%)	醛类(%)	醇类(%)	酯类(%)	芳香类(%)	相对含量 总计(%)
30	0	54.58	0.06	0	1.55	13.99	0	70.18
	2	63.13	0.19	0	2.6	18.6	0.16	84.68
	4	75.7	0.04	0	0.7	14.36	0.17	89.96
	6	75.59	0.13	0	1.22	14.19	0.21	91.34
	8	73.68	0.2	0.02	1.91	16.21	0.1	92.12
	10	71.1	0.15	0.06	1.14	13.86	0.13	86.44
50	0	57.6	0.12	0	1.73	16.1	0	75.55
	2	63.13	0.19	0	2.6	18.6	0	84.52
	4	75.59	0.14	0	1.94	12.02	0	89.69
	6	74.68	0.16	0	2.68	15.78	0.16	93.46
	8	72.88	0.12	0.09	1.41	16.05	0.12	90.67
	10	71.37	0.12	0.1	1.29	17.53	0.11	90.52
70	0	63.13	0.19	0	2.6	18.6	0	84.52
	2	73.03	0.13	0	2.18	15.81	0	91.15
	4	72.26	0.15	0	2.76	18.69	0	93.86
	6	71.19	0.23	0	2.34	20.26	0	94.02
	8	74.37	0.13	0	2.92	16.07	0.08	93.57
	10	71.25	0.05	0.08	1.15	17.66	0.34	90.53

3 结论

相对湿度为50%,成熟6 d时,奶酪的感官评分最高且质构较佳。随着奶酪成熟时间的延长,水分含量、蛋白质含量和脂肪含量呈下降趋势,灰分含量呈上升趋势。除成熟第0和8 d外,在其余成熟时间点,相对湿度为30%的水分含量均显著低于其他两组($P<0.05$);而相对湿度对灰分、蛋白质和脂肪含量影响不大。在奶酪成熟过程中,pH呈先下降后保持不变或上升趋势,相对湿度为50%的pH下降速度最快。此外,pH4.6 醋酸盐缓冲液可溶性氮含量、12%三氯乙酸可溶性氮含量、酸价和硫代巴比妥酸值均在成熟过程中不断升高,且相对湿度为50%时值最高。说明奶酪在相对湿度为50%的条件下成熟能较快地分解蛋白质和脂肪,使得奶酪快速成熟。对牦牛霉菌奶酪挥发性风味物质检测发现,相对湿度为50%,成熟至第6 d时,奶酪的风味物质含量较高。综合考虑感官评价、质构、pH、营养成分、蛋白质和脂肪分解指标以及挥发性风味物质的测定结果,认为牦牛毛霉菌奶酪在相对湿度为50%、成熟6 d时,品质最好。

参考文献

[1] 王磊,莫蓓红,刘振民,等.干酪风味分析研究进展[J].食品与发酵工业,2016,42(6):230-235.
[2] 洪青.类卡门贝尔奶酪的果香风味改善研究[D].无锡:江南大学,2015.
[3] 刘南.毛霉和帚状地霉在类 Camembert 干酪中的应用[D].无锡:江南大学,2004.
[4] 郭林海.基于雅致放射毛霉特性新型霉菌干酪的研究[D].天津:天津科技大学,2009.

[5] 孙颜君,孙颜杰.红曲霉在类 Camembert 干酪生产中的应用研究[J].食品工业科技,2016,37(13):167-172.
[6] Gaborit P, Menard A, Morgan F. Impact of ripening strains on the typical flavour of goat cheese[J]. International Dairy Journal, 2001(11):315-325.
[7] 李昌盛.羊奶干酪加工工艺及成熟特性的研究[D].西安:陕西师范大学,2009.
[8] 高婉伟,梁琪,宋雪梅,等.成熟条件对牦牛乳硬质干酪理化性质的影响[J].甘肃农业大学学报,2014,49(1):140-145.
[9] 王芳芳,罗欣,刘希山.成熟温度和时间对 Cheddar 干酪成熟特性的影响研究[J].食品与发酵工业,2005(9):100-103.
[10] 李昂,陈炼红,李键,等.雅致放射毛霉添加量对牦牛霉菌奶酪品质的影响[J].食品工业科技,2017,38(24):120-125.
[11] 中华人民共和国卫生部.GB5009.3-2016 食品安全国家标准-食品中水分的测定[S].2016.
[12] 中华人民共和国卫生部.GB5009.4-2016 食品安全国家标准-食品中灰分的测定[S].2016.
[13] 中华人民共和国卫生部.GB5009.5-2016 食品安全国家标准-食品中蛋白质的测定[S].2016.
[14] 中华人民共和国卫生部.GB5009.6-2016 食品安全国家标准-食品中脂肪的测定[S].2016.
[15] Jaiswal A, Gupta S, Abu-Ghannam N. Kinetic evaluation of colour, texture, polyphenols and antioxidant capacity of Trish York cabbage after blanching treatment [J]. Food Chemistry, 2012(131):63-72.
[16] 刘会平,南庆贤,马长伟,等.Mozzarella 干酪成熟中蛋白水解与功能特性的变化[J].农业工程学报,2006,22(6):182-187.
[17] 中华人民共和国卫生部.中国国家标准化管理委员会.GB/T 5009.124-2003 食品中氨基酸的测定[S].2003.

- [18] 白艳红, 毛多斌, 王玉芬, 等. 低温熏煮香肠的贮藏特性研究[J]. 食品工业科技, 2006(5): 56-58, 62.
- [19] 中华人民共和国卫生部. GB/T5009.37-2003 食品安全国家标准-食品酸价的测定[S]. 2003.
- [20] 牟青松, 钟永科, 罗静. 顶空固相微萃取-气质联用分析花椒储存中挥发物的变化[J]. 中国调味品, 2014, 39(4): 59-61.
- [21] 马艳丽, 曹雁平, 郑福平, 等. 奶酪的风味组分研究进展[J]. 中国乳品工业, 2013, 41(5): 36-39.
- [22] 王谦, 闫蕾蕾, 王丽英, 等. 雅致放射毛霉深层液体发酵工艺研究[J]. 河北农业大学学报, 2003(4): 38-41.
- [23] 高辉, 郑志强, 赵征, 等. Camembert 干酪成熟期间理化特性研究[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(1): 41-44.
- [24] Chen L, Opara U L. Texture measurement approaches in fresh and processed foods—a review[J]. Food Research International, 2013, 51(2): 823-835.
- [25] Y vonne F C, Paul L H M, Martin G W. Lipolysis and free fatty acid catabolism in cheese: A review of current knowledge[J]. International Dairy Journal, 2003, 13: 841-866.
- [26] Ong L, Henriksson A, Shah N P. Chemical analysis and sensory evaluation of cheddar cheese produced with *Lactobacillus acidophilus*, *Lb. casei*, *Lb. paracasei* or *Bifidobacterium* sp [J]. International Dairy Journal, 2007, 17: 937-945.
- [27] 欧阳霞, 靳晔, 倪春梅. 发酵剂添加量对干酪品质的影响研究[J]. 食品科技, 2010, 35(10): 77-79.
- [28] 宫春颖, 张建强, 曹荣安, 等. 快速成熟契达干酪成熟期间的理化特性变化[J]. 中国乳品工业, 2011(5): 37-40.
- [29] Hassan A N, Ipsen R, Janzen T, et al. Microstructure and rheology of yogurt made with cultures differing only in their ability to produce exopolysaccharides[J]. Journal of Dairy Science, 2003, 86, (5): 1632-1638.
- [30] 冯凤琴, 叶立扬. 食品化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 94-95.
- [31] 贺家亮, 李开雄, 侯玉泽, 等. 发酵剂添加量对半硬质干酪品质的影响研究[J]. 食品科学, 2009, 30(6): 120-122.
- [32] 李昌盛, 邹鲤岭. 切达干酪成熟期间脂肪分解和氧化的研究[J]. 乳业科学与技术, 2010, 33(6): 261-263.
- [33] Heleni Mallatou, Eleni C. Proteolysis in Teleme cheese made from ewes', goats' or a mixture of ewes' and goat' milk [J]. International Dairy, 2004, 14: 977-987.
- [34] Xu E, Long J, Wu Z, et al. A characterization of volatile flavor compounds in Chinese rice wine fermented from enzymatic extruded rice [J]. Journal of Food Science, 2015, 80(7): 1476-1489.
- [35] 陈则华, 李理. 大豆奶酪的风味研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(3): 134-138.
- [36] 郑晓吉, 刘飞, 任全路, 等. 基于 SPME-GC-MS 法比较新疆哈萨克族不同居住区奶酪风味差异[J]. 食品科学, 2018, 39(8): 83-89.

[15] Tong Litao, Gao Xiaoxu, Zhou Xianrong, et al. Milling of glutinus rice by semidry method to produce sweet dumplings [J]. Journal of Food Process Engineering, 2016 (39) : 330-334.

- [16]周显青,夏稳稳,张玉荣,等.制粉方法对糯米粉加工品质的影响[J].粮油食品科技,2014,22(1):7-13.
- [17]Tong Litao,Gao Xiaoxu,Lin Lizhong,et al.Effects of semidry flour milling on the quality attributes of rice flour and rice noodles in China[J].Journal of Cereal Science,2015,62(3):45-49.
- [18]中华人民共和国农业部.NY/T 832-2004 黑米[S].北京:中国标准出版社,2004.
- [19]刘强,田原,王绍文,等.干湿法对小麦麸皮色度影响比较研究[J].粮食加工,2014,39(1):9-11.
- [20]张玉荣.糯米粉制备工艺对其淀粉损伤和特性的影响[D].郑州:河南工业大学,2016.
- [21]国家质量监督检验检疫总局.GB/T 24852-2010 大米及米粉糊化特性测定-快速黏度仪法[S].北京:中国标准出版社,2010.
- [22]赵慧芳,王小敏,阎连飞,等.黑莓果实中花色苷的提取和测定方法研究[J].食品工业科技,2008,29(5):176-179.
- [23]唐传核,彭志英.天然花色苷类色素的生理功能及应用前景[J].冷饮与速冻食品工业,2000(1):26-28.
- [24]田喜强,董艳萍,赵东江.黑米花青素的浸提工艺优化及稳定性研究[J].中国酿造,2016,35(6):161-164.

- [25] 孙鹏尧,周芳宁,李喜层,等.紫甘薯饮料中花青素的稳定性研究[J].食品工程,2014(3):28-32.
- [26] Morrison W R, Tester R F, Gidley M J. Properties of damaged starch granules II. Crystallinity, molecular order and gelatinisation of ball-milled starches [J]. Journal of Cereal Science, 1994, 19(3):201-217.
- [27] 原沙沙,谢岩黎,王金水.微波对淀粉特性影响的研究进展[J].食品科技,2011(7):242-243,247.
- [28] 江帆.RVA 仪分析不同添加物对大米粉糊化特性的影响[J].食品研究与开发,2013(8):74-77.
- [29] 窦红霞,杨特武,赵思明,等.不同品种籼米化学成分、凝胶和糊化特性及米粉加工品质比较[J].中国粮油学报,2014,29(3):1-6.
- [30] 林静,孙宝霞,方先文.富含抗性淀粉稻米淀粉特性研究[J].华北农学报,2013,28(1):58-61.
- [31] 王巧娥,谢丹,钱洁,等.黑米花色苷的分离纯化及其抗氧化性的研究[J].食品工业科技,2015,36(2):157-160.
- [32] 张玉荣,侯文珊,高佳敏.湿法制粉工艺对糯米粉淀粉损伤及糊化特性的影响[J].河南工业大学学报:自然科学版,2018(1):26-32.
- [33] Kohyama K, Nishinari K. Effect of soluble sugars on gelatinization and retrogradation of sweet potato starch [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2002, 39(8):1406-1410.