添加酿酒酵母的类 Cheddar 干酪生产工艺

李 莹[1]， 刘 念[1]， 沈晓艺[1]， 马挺军[1]， 孙爱东[1]， 王 芳[*1,2,3]
（1. 北京农学院 食品科学与工程学院，北京 102206；2. 北京农学院 食品质量与安全北京实验室，北京 102206；3. 北京农学院 农产品有害微生物及农残安全检测与控制北京市重点实验室，北京 102206；4. 北京林业大学 生物科学与技术学院，北京 100083）

摘要：开发具有特色风味的干酪产品是提高我国消费者对干酪接受度的重要手段。以新鲜牛乳为原料，选取蔗糖添加量、干酪发酵剂添加量、凝乳酶添加量为因素，以干酪产率、感官评定为主要检测指标，通过单因素实验和正交实验对添加酿酒酵母的类 Cheddar 干酪的加工工艺进行优化，并以感官评定为主要检测指标，对最佳工艺进行验证。结果表明，添加酿酒酵母的类 Cheddar 干酪的最佳工艺条件为：蔗糖质量浓度 50 g/L，干酪发酵剂质量浓度 0.02 g/L，凝乳酶活力 223.5 IMCU/L。在此优化条件下，成品新鲜干酪的感官评分为 76.29，色泽明亮，组织状态结实，奶香味与酒香味浓郁且适宜。

关键词：酿酒酵母；类 Cheddar 干酪；加工工艺；感官评定；干酪产率
中图分类号：TS 252　**文章编号**：1673-1689(2021)02-0086-08　**DOI**：10.3969/j.issn. 1673-1689.2021.02.012

Optimization of the Processing Conditions for Cheddar-Like Cheese with *Saccharomyces cerevisiae*

LI Ying[1]， *LIU Nian*[1]， *SHEN Xiaoyi*[1]， *MA Tingjun*[1]， *SUN Aidong*[4]， *WANG Fang*[*1,2,3]
(1. College of Food Science and Engineering, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China; 2. Beijing Laboratory of Food Quality and Safety, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China; 3. Beijing Key Laboratory of Detection and Control of Spoilage Organisms and Pesticide Residues in Agricultural Products, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China; 4. College of Biological Sciences and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The development of cheese products with characteristic flavor is an important means to improve the cheese acceptability of Chinese consumers. Fresh milk was the raw material, and the addition amounts of sucrose, cheese starter and rennet were selected as factors. The processing of Cheddar-like cheese with *Saccharomyces cerevisiae* were then optimized by single factor and orthogonal experiments based on the main testing indexes of cheese yield and sensory evaluation. Taking sensory evaluation as the main testing index, the optimal processing conditions were verified. The optimum processing conditions of Cheddar-like cheese with *Saccharomyces cerevisiae* were as follows: sucrose concentration of 50 g/L, cheese starter concentration of 0.02 g/L and rennet

收稿日期：2020-04-21
基金项目：中国博士后科学基金面上项目(2019M650282)。
* **通信作者**：王 芳(1986—)，女，博士，讲师，硕士研究生导师，主要从事乳品加工方面的研究。E-mail：fangfang1031edna@126.com

concentration of 223.5 IMCU/L. Under optimized conditions, the sensory score of fresh cheese was 76.29 and the cheese presented bright color, firm texture as well as the rich and suitable aroma of milk and wine.

Keywords: *Saccharomyces cerevisiae*, Cheddar-like cheese, processing conditions, sensory evaluation, cheese yield

干酪是以新鲜牛乳为原料,杀菌后添加发酵剂和凝乳酶使其凝固,再经排乳清、腌渍、压榨、成熟等工艺制成的发酵乳制品。目前,我国年人均干酪消费量仅为 0.1 kg,与欧盟国家年人均干酪消费量 18.7 kg 相比存在较大差距。在乳品行业中,产品的感官特征是决定其市场和销售量的关键,其中风味是影响消费者对干酪产品接受度和喜好程度的最重要的属性之一[1]。特色风味干酪的开发是近几年的研究热点[2-4],例如研究学者利用红曲霉、酵母菌等作为辅助发酵剂提高干酪的风味[2-3],将豆乳与牛乳混合后制作豆味浓郁的混合乳干酪[4]。

奶酒是我国北方游牧民族的传统发酵乳制品[5],是一种以新鲜马奶(羊奶或牛奶)、蔗糖等为原料,分批或同时接入酵母菌和乳酸菌发酵而成的一种低醇度酒精乳饮料[6]。Cheddar 干酪是我国最主要的天然干酪消费品类之一,是制作再制干酪的主要原料。将传统奶酒与 Cheddar 干酪相结合,利用酿酒酵母制作牛奶酒,在此基础上进行发酵、凝乳、脱乳清和压榨处理等工艺加工类 Cheddar 干酪产品,有利于奶酒产品的推广,同时可以开发具有特色风味的干酪产品。然而,目前关于此方面的研究尚属空白。

作者选取蔗糖添加量、干酪发酵剂添加量、凝乳酶添加量为因素,以干酪产率和感官评定为主要检测指标,通过单因素实验和正交实验对添加酿酒酵母的类 Cheddar 干酪的加工工艺进行优化,为具有特色风味的干酪的开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜牛乳:蛋白质质量分数为 2.97%~3.05%,脂肪质量分数为 3.71%~3.94%,抗生素检测为阴性,蒙牛乳业(北京)有限责任公司产品;蔗糖:广州福正东海食品有限公司产品;酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*):活性干酿酒酵母,安琪酵母股份有限公司产品;凝乳酶:Stamix 1150,活力为 2 235 IMCU/g,科汉森(中国)有限公司产品;干酪发酵剂:R-704 直投式发酵剂,科汉森(中国)有限公司产品。

无水乙醇、无水乙醚、石油醚等:均为分析纯,北京化工厂产品。

1.2 仪器与设备

DK-8B 水浴锅:中国精宏实验设备有限公司产品;干酪槽和干酪压榨器:作者所在实验室自制;DH-101-2 电热恒温鼓风干燥箱:中国中环有限公司产品;DSHZ-300A 水浴恒温振荡器:苏州培英实验设备有限公司产品;TMS-Pro 质构仪:美国 FTC 公司产品;ME204 分析天平:梅特勒-托利多国际贸易(上海)有限公司产品;CJ78-1 磁力搅拌器:常州市金坛大地自动化仪器厂产品;pHB-4 精密酸度计:上海仪电科学仪器有限公司产品;KDY-9830 全自动凯氏定氮仪:上海洪纪仪器设备有限公司产品。

1.3 方法

1.3.1 工艺路线 原料乳→标准化→添加蔗糖→灭菌(90 ℃,15 min)→冷却至 23 ℃→接种酿酒酵母(0.2 g/L)→酒精发酵(23 ℃,72 h)→接种干酪发酵剂→乳酸发酵(32 ℃,30 min)→添加氯化钙(0.2 g/L)→添加凝乳酶→凝乳(32 ℃)→切割→匀速升温至 39 ℃(5 ℃/min)→恒温蒸煮→排乳清→堆叠至 pH 5.5→盐渍(3 g/L)→压榨(120 kg,12 h)→真空包装→成熟(4 ℃)。

取成熟 1 d 的类 Cheddar 干酪样品进行相关指标测定。

1.3.2 单因素实验

1)蔗糖添加量的单因素实验 干酪发酵剂添加量为 0.04 g/L,凝乳酶添加量为 447 IMCU/L,其他条件不变,将蔗糖添加量分别设为 40、50、60、70 g/L,测定蔗糖添加量对干酪产率、硬度以及感官评定的影响。

2)干酪发酵剂添加量的单因素实验 蔗糖添加量为 60 g/L,凝乳酶添加量为 447 IMCU/L,其他

条件不变，将干酪发酵剂添加量分别设为 0.02、0.04、0.06、0.08 g/L，测定干酪发酵剂添加量对干酪产率、硬度以及感官评定的影响。

3）凝乳酶添加量的单因素实验　蔗糖添加量为 60 g/L，干酪发酵剂添加量为 0.04 g/L，其他条件不变，将凝乳酶添加量分别设为 223.5、447、670.5、894 IMCU/L，测定凝乳酶添加量对干酪产率、硬度以及感官评定的影响。

1.3.3　正交实验　根据单因素实验选择出最优水平区间，进行三因素三水平正交实验，对类 Cheddar 干酪进行感官评定、干酪产率、pH 值、蛋白质回收率和脂肪回收率的测定。

1.3.4　最优工艺的验证实验　以感官评定为评价指标，对通过正交实验优化得到的最优工艺与正交实验表中感官得分最高的工艺进行验证实验。

1.3.5　干酪产率、蛋白质回收率及脂肪回收率测定　干酪产率、蛋白质回收率及脂肪回收率测定参照文献[7]。

1.3.6　pH 值测定　取 20 g 干酪溶于 12 g 去离子水，研磨至无颗粒，使用酸度计测定[8]。

1.3.7　质构特性测定　采用 TPA 测试对样品执行两次压缩循环，模拟口腔咀嚼过程。将干酪样品切割成边长为 15 mm 的立方体，在 4 ℃下贮藏过夜。测定参数：探头直径 30 mm，测量过程中探头速度 1 mm/s，压缩形变量 75%，触发力 5 g。

1.3.8　感官评定　感官评定见表 1，参考美国农业部不同等级 Cheddar 干酪评价指标[9]，稍作修改。

1.4　数据分析

所有样品均重复测定 3 次。方差分析借助 SPSS 17.0 完成；图表借助 Origin 8.0 完成。

2　结果与讨论

2.1　单因素实验

2.1.1　蔗糖添加量对添加酿酒酵母的类 Cheddar 干酪产率、硬度和感官评定的影响　干酪的产率是评价生产效益、考察生产参数合理性的重要指标[10]。奶酒发酵过程中，酿酒酵母因为缺乏 β-半乳糖苷酶，不能利用牛奶中的乳糖，因此本研究中添加蔗糖作为酿酒酵母的碳源。由表 2 可知，随着蔗糖添加量的增加，类 Cheddar 干酪的产率显著降低（$P<0.05$）。Hong 等人（2017）[11]研究不同乙醇体积分数对 Camembert 干酪理化组分的影响，认为添加不同体积分数乙醇的干酪间组分存在差异可能与加工工艺、发酵剂活性的改变有关。同时，乙醇会导致牛乳中的酪蛋白胶束失去稳定性，发生聚集、形成沉淀[12]。本研究中，随着蔗糖添加量的增加，酿酒酵母发酵产生更多的乙醇，干酪加工过程中凝乳时间和恒温蒸煮时间显著缩短，说明蛋白质网状结构可能是在凝乳酶诱导的酶凝作用和乙醇诱导的失稳作用下形成，后者形成的结构水分包裹能力差，造成干酪产率随蔗糖添加量增加而降低。

表 1　添加酿酒酵母的类 Cheddar 干酪的感官评定细则

Table 1　Detailed sensory evaluation of Cheddar-like cheese with *Saccharomyces cerevisiae*

项目	特征	得分
气味（25）	奶香味与酒香味浓郁且适宜，无任何不良气味	19~25
	轻微奶香味与酒香味，极少量饲料味和酸味，无不良气味	13~18
	有奶香味与酒香味，混有小麦味或杂草味	7~12
	有金属味、洋葱味、硫化物味道，或气味平淡	0~6
口感（25）	结实，光滑，口感细腻，弹性较好，不黏牙	19~25
	光滑紧密，略有弹性，口感较为细腻	13~18
	质地软弱，比较松散，口感较为粗糙，有颗粒感	7~12
	易碎或呈糊状，口感粗糙，颗粒感强	0~6
滋味（25）	有乳酸味，咸味以及酒精味，并且配比适宜	19~25
	乳酸味，咸味和酒精味一方比例过重，配比不适	13~18
	无不良味道，但滋味平淡	7~12
	过苦或过酸，含有刺激性味道，腐败味道	0~6
外观（25）	色泽均一明亮，形状均匀，无污染	19~25
	色泽较为均一，外观光滑，无外皮，无霉菌	13~18
	色泽略有不均，有轻微霉菌，表面轻微污染，不规则	7~12
	色泽不均，有裂纹，霉斑，表面粗糙，有硬壳和外皮	0~6

表 2　蔗糖添加量对添加酿酒酵母的类 Cheddar 干酪产率的影响

Table 2　Effect of sucrose addition amount on yield of Cheddar-like cheese with *Saccharomyces cerevisiae*

蔗糖添加量/(g/L)	产率/%
40	13.05±0.21^{c}
50	12.69±0.27^{b}
60	12.74±0.15^{b}
70	11.75±0.21^{a}

注：a、b、c 相同字母表示同一行差异不显著，不同字母表示同一行差异显著（$P<0.05$）。

质构特性是评价干酪品质和消费者接受程度的重要指标[13]，其中硬度是主要的评价指标。由图 1 可知，随着蔗糖添加量的增加，类 Cheddar 干酪的硬度显著增加（$P < 0.05$）。研究表明，干酪中水分质量分数降低，蛋白质网状结构变得更加致密，导致硬度增加[14-15]。与前人的报道一致，本研究中随着蔗糖添加量的增加，乳清排出量增加、干酪产量降低，进而引起蛋白质网状结构变得致密、硬度增加。

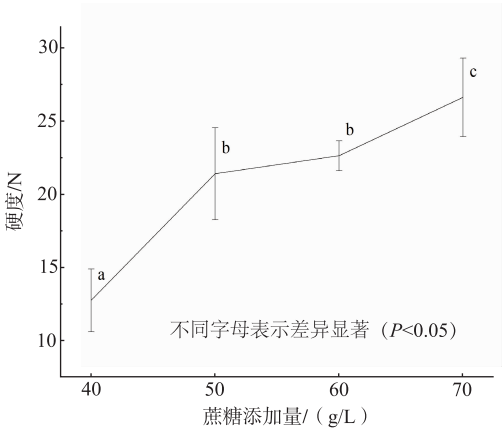


图 1　蔗糖添加量对添加酿酒酵母的类 Cheddar 干酪硬度的影响

Fig. 1　Effect of sucrose addition amount on hardness of Cheddar–like cheese with *Saccharomyces cerevisiae*

由图 2 可知，蔗糖添加量对类 Cheddar 干酪的气味、口感和滋味影响显著，对外观影响不显著。气味方面，添加 40 g/L 蔗糖加工的干酪奶味更加浓郁；添加 70 g/L 蔗糖加工的干酪酒味更加浓郁；添加 50 g/L 蔗糖加工的干酪酒香味和奶香味比例适中，得分最高。口感方面，添加 40 g/L 蔗糖加工的干酪质地较为绵软，缺少弹性；添加 70 g/L 蔗糖加工的干酪口感粗糙；添加 50 g/L 蔗糖加工的干酪质地软硬适中，口感细腻，得分最高。滋味方面，添加 40 g/L 蔗糖加工的干酪滋味过于平淡；添加 70 g/L 蔗糖加工的干酪产生过浓的发酵味、酒精味以及苦味，随着蔗糖添加量的增加，酿酒酵母代谢产生的乙醇体积分数增加。已有研究表明，乙醇是 Cheddar 干酪中酯类合成的限制性因素，乙醇体积分数与乙酯的形成密切相关，Cheddar 干酪中过多的乙酯会导致“果味”缺陷[6,16]；添加 50 g/L 蔗糖加工的干酪乳酸味浓郁，配比适宜，得分最高。综合评定添加 50 g/L 蔗糖加工的干酪感官评分最高。

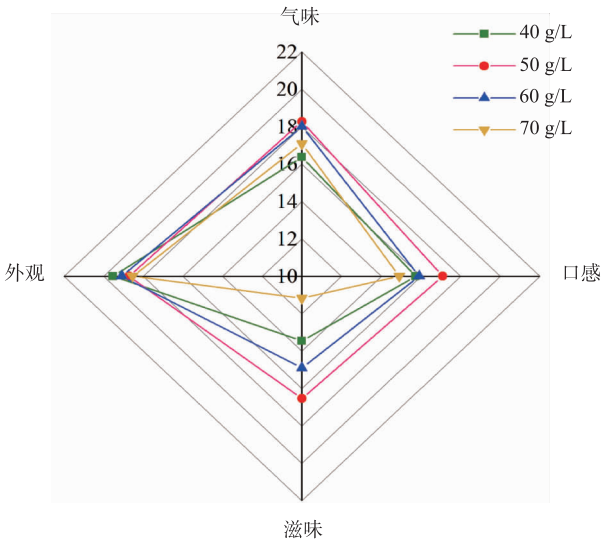


图 2　蔗糖添加量对添加酿酒酵母的类 Cheddar 干酪感官评定的影响

Fig. 2　Effect of sucrose addition amount on sensory evaluation of Cheddar –like cheese with *Saccharomyces cerevisiae*

由以上实验可知，添加 50 g/L 蔗糖加工的类 Cheddar 干酪产率较高，质地软硬适中，奶香味与酒香味比例适中，滋味醇厚。

2.1.2　干酪发酵剂添加量对添加酿酒酵母的类 Cheddar 干酪产率、硬度和感官评定的影响　由表 3 可知，干酪发酵剂添加量对类 Cheddar 干酪产率无显著影响（$P > 0.05$）。Cheddar 干酪加工过程中，发酵剂主要通过促进凝乳酶作用和凝块中乳清排出影响干酪品质[17]。本研究中，随着干酪发酵剂添加量的增加，干酪加工过程中凝乳时间和恒温蒸煮时间显著缩短，说明干酪发酵剂的增加促进了凝乳作用，同时加快了 pH 值的降低，这与 Khosrowshahi 等人（2006）[18]的报道是一致的。但是，干酪发酵剂添加量引起的加工工艺的改变对干酪产率没有显著影响。

表 3　干酪发酵剂添加量对添加酿酒酵母的类 Cheddar 干酪产率的影响

Table 3　Effect of cheese starter addition amount on yield of Cheddar –like cheese with *Saccharomyces cerevisiae*

干酪发酵剂添加量/(g/L)	产率/%
0.02	13.30±0.48
0.04	12.77±0.26
0.06	12.85±0.33
0.08	13.33±0.15

注：同一行差异不显著（$P > 0.05$）。

由图 3 可知，随着干酪发酵剂添加量的增加，类 Cheddar 干酪的硬度呈现先不变($P > 0.05$)后显著降低($P < 0.05$)的趋势。研究表明，干酪中蛋白质网状结构特性、脂肪和水分的质量分数及分布状态是影响硬度的主要因素[19-20]。本研究中，干酪发酵剂对干酪产率没有显著影响，但是对干酪硬度的影响显著，说明干酪发酵剂可能通过影响干酪中某些物质的含量及分布状态影响硬度，这与 Khosrowshahi 等人(2006)[18]的研究中干酪发酵剂的增加造成了更小的断裂应力和应变的情况是一致的。

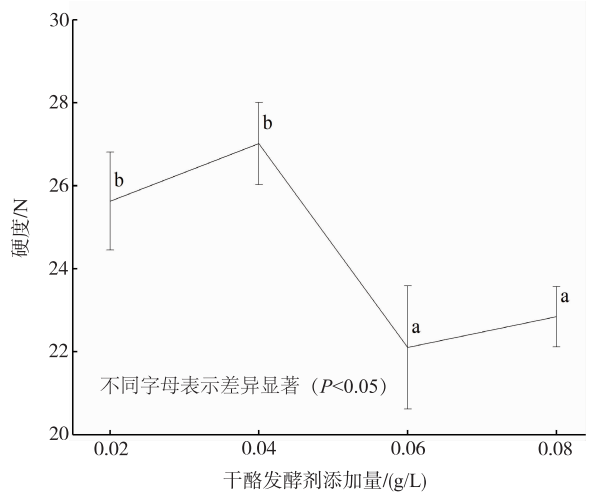


图 3　干酪发酵剂添加量对添加酿酒酵母的类Cheddar 干酪硬度的影响

Fig. 3　Effect of cheese starter addition amount on hardness of Cheddar-like cheese with *Saccharomyces cerevisiae*

由图 4 可知，干酪发酵剂添加量对类 Cheddar 干酪的气味和滋味影响显著，对口感和外观影响不显著。气味方面，添加 0.04 g/L 干酪发酵剂加工的干酪有轻微奶香味和酒香味；添加 0.08 g/L 干酪发酵剂加工的干酪酸味过重；添加 0.06 g/L 干酪发酵剂加工的干酪得分最高，酒香味和奶香味比例适中。滋味方面，添加 0.02 g/L 干酪发酵剂加工的干酪由于滋味平淡得分较低；添加 0.08 g/L 干酪发酵剂加工的干酪酸味过重；0.04 g/L 干酪发酵剂添加量的干酪酸度适宜，分数最高。综合评定添加 0.04 g/L 干酪发酵剂加工的干酪感官评分最高。

由以上实验可知，添加 0.04 g/L 干酪发酵剂加工的类 Cheddar 干酪产率高，酸度适宜，酸味与奶香味、酒味比例适中。

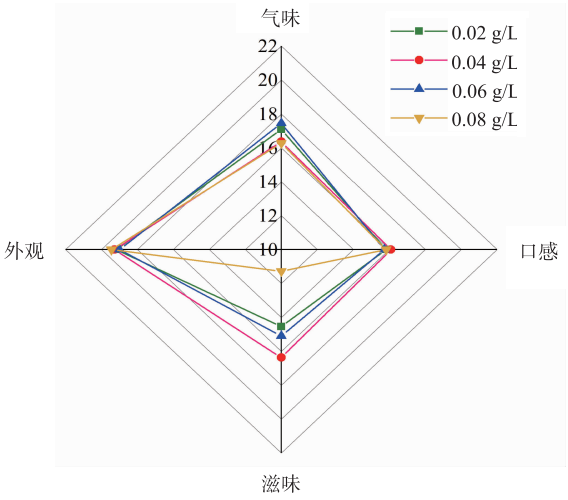


图 4　干酪发酵剂添加量对添加酿酒酵母的类 Cheddar 干酪感官评定的影响

Fig. 4　Effect of cheese starter addition amount on sensory evaluation of Cheddar-like cheese with *Saccharomyces cerevisiae*

2.1.3　凝乳酶添加量对添加酿酒酵母的类 Cheddar 干酪产率、硬度和感官评定的影响　凝乳酶是以酶凝作用为主的干酪加工过程中必须的酶制剂[21]，主要参与凝块的形成和干酪成熟过程中蛋白质的降解。由表 4 可知，随着凝乳酶添加量的增加，类 Cheddar 干酪的产率先显著降低($P < 0.05$)后基本不变($P > 0.05$)。本研究中，随着凝乳酶添加量的增加，干酪加工过程中凝乳时间先缩短后增加、恒温蒸煮时间显著增加(结果未展示)，这与凝乳酶/酪蛋白底物比例的增加会加快 κ-酪蛋白的酶切作用进而加速酪蛋白的聚集、缩短凝乳时间的现象[22]是矛盾的，说明凝乳酶的酶切作用受到某种因素的抑制。凝乳酶的化学本质是蛋白质，如前所述乙醇会导致蛋白质变性，因此随着凝乳酶添加量的增加，凝乳酶的分散度增加，乙醇诱导的凝乳酶的变性作用可能增强，导致凝胶结构变差、乳清析出增加，干酪产率降低。

由图 5 可知，随着凝乳酶添加量的增加，类 Cheddar 干酪的硬度先显著增加($P < 0.05$)后基本不变($P > 0.05$)。如前所述，乙醇诱导的凝乳酶变性作用的增强造成乳清析出增加，蛋白质交联增强，引起干酪的硬度增加。

表 4 凝乳酶添加量对添加酿酒酵母的类 Cheddar 干酪产率的影响

Table 4 Effect of rennet addition amount on yield of Cheddar –like cheese with *Saccharomyces cerevisiae*

凝乳酶添加量/(IMCU/L)	产率/%
223.5	14.06±0.32^{c}
447.0	12.79±0.28^{b}
670.5	12.12±0.33^{a}
894.0	12.06±0.36^{a}

注:a、b、c 相同字母表示同一行差异不显著,不同字母表示同一行差异显著($P < 0.05$)。

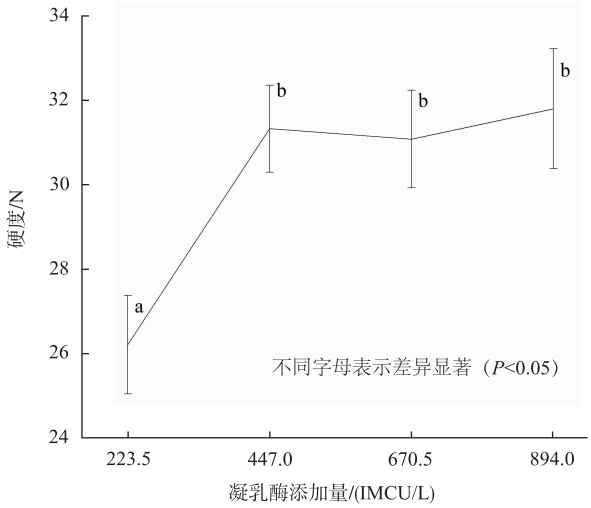


图 5 凝乳酶添加量对添加酿酒酵母的类 Cheddar 干酪硬度的影响

Fig. 5 Effect of rennet addition amount on hardness of Cheddar –like cheese with *Saccharomyces cerevisiae*

由图 6 可知,凝乳酶添加量对类 Cheddar 干酪的口感和外观影响显著,对气味和滋味无显著影响。口感方面,添加 223.5 IMCU/L 凝乳酶加工的干酪口感细腻,得分最高;添加 894 IMCU/L 凝乳酶加工的干酪口感粗糙,颗粒感强;添加 447 IMCU/L 和 670.5 IMCU/L 凝乳酶加工的干酪口感较为细腻。外观方面,添加 223.5 IMCU/L 凝乳酶加工的干酪状态松散、内部孔洞较多、略有乳清析出;添加 894 IMCU/L 凝乳酶加工的干酪表现出色泽较暗、稍有结皮等不良现象;添加 447 IMCU/L 凝乳酶加工的干酪色泽均一、光滑、质地紧实富有弹性,得分最高;添加 670.5 IMCU/L 凝乳酶加工的干酪表面光滑,色泽较均一。综合评定 447 IMCU/L 凝乳酶添加量加工的干酪感官评分最高。

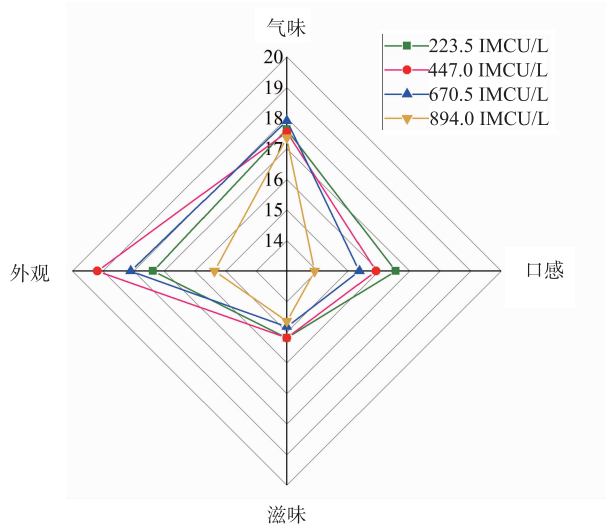


图 6 凝乳酶添加量对添加酿酒酵母的类 Cheddar 干酪感官评定的影响

Fig. 6 Effect of rennet addition amount on sensory evaluation of Cheddar–like cheese with *Saccharomyces cerevisiae*

由以上实验可知,添加 447 IMCU/L 凝乳酶加工的类 Cheddar 干酪产率较高,组织较为紧实、富有弹性。

2.2 正交实验

2.2.1 工艺优化正交实验结果 以蔗糖添加量、发酵剂添加量、凝乳酶添加量为因素,依据单因素实验筛选出的最佳水平区间对类 Cheddar 干酪进行三因素三水平正交实验工艺优化,结果见表 5。pH 值是反映干酪品质的重要指标之一,影响干酪风味、控制酶活和矿质元素的平衡[23];蛋白质和脂肪是干酪中主要干物质,是衡量干酪营养价值的关键指标,蛋白质和脂肪回收率是考察工艺是否合理的重要指标[7,24]。由表 5 可知,4 号干酪感官评分最高,干酪产率、pH 值、蛋白质回收率、脂肪回收率较高。

2.2.2 极差分析 对正交实验的感官评定结果进行极差分析。由表 6 可以看出,蔗糖添加量、发酵剂添加量和凝乳酶添加量的 R 值均大于空列的 R 值,说明 3 个因素对感官得分的影响均显著,影响大小依次为蔗糖添加量 > 发酵剂添加量 > 凝乳酶添加量。优化得到类Cheddar 干酪的最优工艺为$A_2B_1C_1$,即蔗糖添加量50 g/L,干酪发酵剂添加量 0.02 g/L,凝乳酶添加量 223.5 IMCU/L。

表 5 添加酿酒酵母的类 Cheddar 干酪工艺条件优化正交实验结果

Table 5 Result of orthogonal experiments for processing conditions optimization of Cheddar –like cheese with *Saccharomyces cerevisiae*

处理号	*A* 蔗糖	*B* 发酵剂	*C* 凝乳酶	*D* 空列	感官得分	干酪产率/%	pH	蛋白质回收率/%	脂肪回收率/%
1	1(40 g/L)	1(0.02 g/L)	1(223.5 IMCU/L)	1	70.57	13.69	4.97	92.87	93.71
2	1	2(0.04 g/L)	2(447 IMCU/L)	2	66.86	13.21	4.95	90.68	93.90
3	1	3(0.06 g/L)	3(670.5 IMCU/L)	3	63.43	13.03	4.91	87.95	95.68
4	2(50 g/L)	1	2	3	72.14	13.29	5.04	87.46	94.69
5	2	2	3	1	69.43	12.39	5.02	83.82	92.43
6	2	3	1	2	65.86	12.64	4.90	90.47	92.78
7	3(60 g/L)	1	3	2	64.29	12.17	5.07	83.89	93.15
8	3	2	1	3	64.57	12.13	4.91	89.13	92.74
9	3	3	2	1	60.14	12.03	4.94	85.19	94.09

表 6 添加酿酒酵母的类 Cheddar 干酪工艺条件优化正交实验感官得分的极差分析

Table 6 Range analysis of sensory score of orthogonal experiments for processing conditions optimization of Cheddar –like cheese with *Saccharomyces cerevisiae*

极差分析	*A* 蔗糖	*B* 发酵剂	*C* 凝乳酶	*D* 空列
K_1	200.86	207.00	201.00	200.14
K_2	207.43	200.86	199.14	197.01
K_3	189.00	189.43	197.15	200.14
k_1	66.95	69.00	67.00	66.71
k_2	69.14	66.95	66.38	65.67
k_3	63.00	63.14	65.72	66.71
R	6.14	5.86	1.28	1.04

表 7 正交实验中最优工艺加工的干酪与感官得分最高的干酪的感官评定结果

Table 7 Results of sensory evaluation of the cheese processed with the optimal conditions obtained in orthogonal experiment and the cheese with the highest sensory score

正交组合	气味	口感	滋味	外观	感官总分
$A_2B_1C_1$	19.29	19.14	18.86	19.00	76.29
$A_2B_1C_2$	17.86	18.14	17.14	17.43	70.57

2.2.3 验证实验 由表 7 可知，$A_2B_1C_1$ 工艺加工的干酪感官得分高于 $A_2B_1C_2$ 工艺加工的干酪，证实通过正交实验优化的工艺加工的干酪具有最高的感官得分。

因此，以感官评分为主要评价指标，添加酿酒酵母的类 Cheddar 干酪的最优工艺为 $A_2B_1C_1$，即蔗糖添加量 50 g/L，干酪发酵剂添加量 0.02 g/L，凝乳酶添加量 223.5 IMCU/L。

3 结 语

本研究对添加酿酒酵母的类 Cheddar 干酪的加工工艺进行优化。以感官评定和干酪产率为主要测定指标，通过单因素实验确定了蔗糖的最适质量浓度为 50 g/L，干酪发酵剂的最适质量浓度为 0.04 g/L，凝乳酶的最适活力浓度为 447 IMCU/L；进一步通过三因素三水平正交实验和验证实验，确定添加酿酒酵母的类 Cheddar 干酪的最佳工艺条件是 $A_2B_1C_1$，即蔗糖质量浓度 50 g/L，干酪发酵剂质量浓度 0.02 g/L，凝乳酶活力浓度 223.5 IMCU/L。在此优化条件下，成品干酪色泽明亮，组织状态结实，奶香味与酒香味浓郁且适宜，接下来将会进一步研究添加酿酒酵母的类 Cheddar 干酪成熟过程中的品质变化。

参考文献：

[1] PADILLA B，BELLOCH C，LOPEZ-DIEZ J J，et al. Potential impact of dairy yeasts on the typical flavour of traditional ewes′ and goats′ cheeses[J]. **International Dairy Journal**，2014，35(2)：122-129.

[2] 王童，逄晓阳，芦晶，等. 红曲霉对类 Camembert 干酪成熟期质构和风味的影响[J]. 食品科学，2020，41(3)：1-11.

[3] ANDRADE R P，OLIVEIRA D R，LOPES A C A，et al. Survival of *Kluyveromyces lactis* and *Torulaspora delbrueckii* to

simulated gastrointestinal conditions and their use as single and mixed inoculum for cheese production[J]. **Food Research International**,2019,125:108620.

[4] WANG F,LIU N,LI K,et al. Effects of enzyme-modified soybean beverage on the composition,yield,functionality and microstructure of Cheddar cheese-like products[J]. **LWT–Food Science and Technology**,2019,116:108498.

[5] 王小标. 酸马乳中乳酸菌与酵母菌互生关系的研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2015:1-2.

[6] 殷文政,马玉玲. 马奶酒乳酸菌的分离及其生物学特性的研究[J]. 食品与发酵工业,2005,31(9):33-35.

[7] WANG F,TONG Q,LUO J,et al. Effect of carrageenan on physicochemical and functional properties of low-fat Colby cheese[J]. **Journal of Food Science**,2016,81(8):E1949-E1955.

[8] BRICKLEY C A,AUTY M A,PIRAINO P,et al. The effect of natural Cheddar cheese ripening on the functional and textural properties of the processed cheese manufactured therefrom[J]. **Journal of Food Science**,2007,72(9):C483-C490.

[9] FOX P F,MCSWEENEY P L H,COGAN T M,et al. Cheese Chemistry,Physics and Microbiology[M]. London:Elsevier,2004:455-487.

[10] HU Y,GE K,JIANG L,et al. Effect of transglutaminase on yield,compositional and functional properties of low-fat Cheddar cheese[J]. **Food Science and Technology Research**,2013,19(3):359-367.

[11] HONG Q,WANG G,ZHANG Q,et al. Enhancement of ester formation in Camembert cheese by addition of ethanol [J]. **International Journal of Dairy Technology**,2017,70:220-227.

[12] O'CONNELL J E,STEINLE S,REITER F,et al. Properties of casein micelles reformed from heated mixtures of milk and ethanol [J]. **Colloids and Surfaces A:Physicochemical and Engineering Aspects**,2003,213(2):265-273.

[13] VAN HEKKEN D L,TUNICK M H,MALIN E L,et al. Rheology and melt characterization of low-fat and full fat *Mozzarella* cheese made from microfluidized milk[J]. **LWT–Food Science and Technology**,2007,40(1):89-98.

[14] SALINAS-VALDÉS A,DE LA ROSA MILLLÁN J,SERNA-SALDÍVAR S O,et al. Yield and texture characteristics of *Panela* cheeses produced with dairy-vegetable protein (soybean or peanut) blends supplemented with transglutaminase [J]. **Journal of Food Science**,2015,80(12):S2950-S2956.

[15] STANKEY J A,LU Y,ABDALLA A,et al. Low-fat Cheddar cheese made using microparticulated whey proteins:effect on field and cheese quality[J]. **International Journal of Dairy Technology**,2017,70(4):481-491.

[16] THIERRY A,MAILLARD M,RICHOUX R,et al. Ethyl ester formation is enhanced by ethanol addition in mini Swiss cheese with and without added propioni bacteria[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,2006,54(18):6819-6824.

[17] FOX P F,GUINEE T P,COGAN T M,et al. Fundamentals of Cheese Science[M]. New York,Springer,2017:121-180.

[18] KHOSROWSHAHI A,MADADLOU A,EBRAHIM ZADEN MOUSAVI M,et al. Monitoring the chemical and textural changes during ripening of Iranian white Cheese made with different concentrations of starter[J]. **Journal of Dairy Science**,2006,89(9):3318-3325.

[19] OLSON N F,JOHNSON M E. Low-fat cheese products:characteristics and economics[J]. **Food Technology**,1990,44:93-96.

[20] 刘燕. Mozzarella 干酪流变学影响因素及机理研究[D]. 天津:天津科技大学,2015:15-28.

[21] 张健. 重组毕赤酵母发酵制取凝乳酶及其在干酪加工中的应用[D]. 长春:吉林农业大学,2011:5-6.

[22] HAN Y,MEI Y,LI K,et al. Effect of transglutaminase on rennet-induced gelation of skim milk and soymilk mixtures[J]. **Journal of the Science of Food and Agriculture**,2019,99(4):1820-1827.

[23] BARTH A P,TORMENA C F,VIOTTO W H. pH influences hydrolysis of sodium polyphosphate in dairy matrices and the structure of processed cheese[J]. **Journal of Dairy Science**,2017,100(11):8735-8743.

[24] PAZZOLA M,STOCCO G,DETTORI M L,et al. Effect of goat milk composition on cheesemaking traits and daily cheese production[J]. **Journal of Dairy Science**,2019,102(5):3947-3955.