

白牦牛乳硬质干酪加工工艺技术研究

刘兴龙¹, 甘伯中^{1,*}, 李帆¹, 乔海军², 牛婕¹, 宋曦¹

(1.甘肃农业大学食品科学与工程学院, 甘肃农业大学研究测试中心, 甘肃兰州 730070;

2.甘肃农业大学理学院, 甘肃兰州 730070)

摘要:以甘肃天祝牧区白牦牛乳为原料制作硬质干酪, 优化加工白牦牛乳硬质干酪的工艺参数, 并用扫描电镜(SEM)观察成熟期干酪的微观结构。结果表明, 白牦牛乳硬质干酪在发酵剂添加量3%, 凝乳酶添加量30 μl/100ml, 凝乳温度40℃, 凝乳pH6.1, 氯化钙添加量0.03%时, 品质较好, 其成熟30d时蛋白质含量为27.82%, 脂肪含量为36.43%, 出品率为15.5%; 成熟30d和90d的白牦牛乳干酪微观结构变化明显。

关键词:白牦牛乳; 硬质干酪; 加工工艺; 微观结构; 扫描电镜(SEM)

Processing Technology of Hard Cheese from Milk of White Yak

LIU Xing-long¹, GAN Bo-zhong^{1,*}, LI Fan¹, QIAO Hai-jun², NIU Jie¹, SONG Xi¹

(1.College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Analysis and Research Center of Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. College of Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Milk of white yaks grazing pastures in Tianzhu county, Gansu province was processed into hard cheese. The processing parameters were optimized using one-factor-at-a-time and orthogonal array design in which the interactions between the variables were neglected. In addition, cheese products in ripening period were subjected to analysis of proximate composition and microstructure observation under SEM. High hard cheese yield and good sensory quality both could be achieved when addition amounts of fermentation starter, rennet and CaCl₂ were 3%, 30 μl/100 ml and 0.03%, respectively, temperature 40℃, and pH 6.1. The product on the 30th day of ripening contained 27.82 % protein and 36.43% fat, and the yield was 15.5%; no significant microstructure changes were founded during ripening (observed on the 30th, 60th and 90th day).

Key words: milk of white yak; hard cheese; processing technology; microstructure; SEM

中图分类号: TS252.53

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2009)14-0094-05

白牦牛是我国稀有而珍贵的地方牦牛类群, 是经过长期自然选育和人工选育而成的特有畜种。在甘肃天祝地区, 藏汉牧民大量牧养白牦牛。酥油、曲拉和酸牦牛奶是当地具有很高营养价值的白牦牛乳制品。除此之外, 天祝地区白牦牛乳资源还未得到合理的开发利用, 没有其他深加工产品。

干酪是以牛乳、奶油、部分脱脂乳、酪乳或这些产品的混合物为原料, 经凝乳并分离乳清而制得的新鲜或发酵成熟的乳制品^[1]。干酪营养丰富, 蛋白质和脂肪含量相当于新鲜乳的10倍左右。每100g干酪含钙720mg, 是牛乳的14倍, 且钙磷比适中, 易被人体吸收利用, 是补钙的最佳食品。此外, 干酪中的乳酸菌及其代谢产物有利于维持人体肠道内正常菌群的平衡和稳定, 增进消化功能, 防止腹泻和便秘^[2]。硬质干酪

质地软硬适中, 水分含量低, 营养丰富, 是国外主要的干酪品种。目前, 国内企业生产干酪的经验以及制造水平和独立研发技术还处于探索之中, 因此, 我国亟需解决干酪加工技术上的一些问题, 发展适合中国人口味的特色干酪^[3]。

本实验以甘肃天祝藏族自治县抓喜秀龙乡牧区白牦牛乳为原料, 研究白牦牛乳硬质干酪的加工工艺并优化工艺参数, 以期对白牦牛乳干酪的工业化生产提供科学依据, 并为推动我国干酪加工技术的深化以及开发利用青藏高原地区牦牛乳资源提供一定指导值。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜白牦牛乳采自天祝藏族自治县抓喜秀龙乡; 保

收稿日期: 2008-12-04

作者简介: 刘兴龙(1983—), 男, 硕士研究生, 研究方向为乳与乳制品加工及技术。E-mail: liuxinglong@st.gsau.edu.cn

* 通讯作者: 甘伯中(1969—), 男, 教授, 博士, 研究方向为乳品科学与技术。E-mail: ganbx@126.com

加利亚乳杆菌、嗜热链球菌；小牛皱胃酶 上海阿敏生物技术有限公司。

CaCl₂、乳酸、戊二醛等均为分析纯。

1.2 仪器与设备

HG303-4 电热恒温培养箱 南京腾飞试验仪器有限公司；HH-W420 数显恒温水浴锅 江苏省金坛市荣华仪器制造有限公司；BCD-539WF 低温电冰箱 青岛海尔股份有限公司；雷磁 PHS-3C pH 计 上海精密科学仪器有限公司；JSM-5610LV 扫描电镜 日本电子光学公司，真空包装机；干酪切割刀；自制干酪槽；温度计等。

1.3 方法

1.3.1 工艺流程

原料乳→检验→巴氏杀菌→冷却→添加发酵剂→添加 CaCl₂→添加凝乳酶→凝乳→切割、排乳清→二次加热→排乳清→搅拌、加盐→堆酿→压榨成型→真空包装→成熟

1.3.2 工艺操作要点

原料乳：制作干酪要用新鲜无抗的原料乳来进行。经测定，白牦牛乳密度为 1.036kg/m³，滴定酸度为 18°T，微生物检验刃天青实验结果良好，其蛋白质含量为 4.6%，脂肪含量为 7.2%。

杀菌：原料乳经 62~65℃ 杀菌 30min。

添加发酵剂：将原料乳冷却至 32℃ 左右，添加发酵剂^[4]。

加入 CaCl₂：氯化钙的添加量通常为 0.01%~0.03%，加入前用灭菌水溶解(水温 80℃ 左右)。溶解后边搅拌边缓慢加入，避免乳中产生气泡。

添加凝乳酶：采用小牛皱胃酶作为凝乳酶，在应用前要进行活力测定，利用活力值确定酶用量。

凝块切割、搅拌：用食指或小刀斜向插入凝块 3cm，当向上抬起时，若裂缝整齐，无小片凝块残留且乳清透明，用干酪刀切割成 7~10mm 立方体小块，然后进行轻微的搅拌，使凝块颗粒悬浮在乳清中。

二次加热、加盐：排出乳清后，迅速搅拌并加热，使温度在 20min 内由 35℃ 上升到 45℃，搅拌过程中按干酪粒的 1.8%~2.0% 加盐，然后进行堆酿。

压榨成型：将堆酿 2h 后的干酪凝块搅碎，使凝乳颗粒大小为 3mm 左右，然后将其均匀地放在压榨槽中，先进行预压榨，压力为 0.2~0.3MPa，时间为 20~30min，使乳清进一步排出。取出预压榨好的凝块，以 0.4~0.5MPa 的压力进行正式压榨，时间 4~5h，使成饼状。

后熟：将压榨好的干酪进行真空包装，后熟 3~5 个月。

1.3.3 皱胃酶添加量的确定

皱胃酶活力定义：40min 凝固 1ml 100g/L 脱脂乳的酶量定义为 1 个酶活力单位(soxhelt unit, SU)^[4]。在添加皱胃酶之前对皱胃酶的活力进行测定^[5]，使用时将皱胃酶用 1% 的食盐水稀释成 2% 的酶溶液，然后在 35℃ 条件下活化 30min，皱胃酶活力计算公式如下：

$$\text{皱胃酶活力(SU)} = \frac{\text{原料乳体积(ml)} \times 2400(\text{s})}{\text{皱胃酶溶液体积(ml)} \times \text{凝乳时间(s)}}$$

利用活力值，可以根据下式计算皱胃酶的需要量^[6]：

$$\text{皱胃酶用量(ml/SU)} = \frac{\text{原料乳体积(ml)}}{\text{皱胃酶活力(SU)}}$$

测得皱胃酶在牦牛乳中的活力值为 10089.3SU，100ml 原料乳需要皱胃酶量为 9.91×10^{-3} ml/SU。

1.3.4 感官评价

干酪感官评价按照 RHB101—506-2004 进行^[7]。

1.3.5 干酪出品率^[5]

$$\text{干酪出品率(\%)} = \frac{\text{鲜干酪质量(g)}}{\text{原料乳质量(g)}} \times 100$$

1.3.6 干酪理化指标的测定^[8]

水分测定依照 GB/T 5009.3—2003 进行；灰分测定依照 GB/T 5009.4—2003 进行；总氮测定依照 GB/T 5009.5—2003 进行；脂肪测定依照 GB/T 5009.6—2003 进行。

1.3.7 发酵剂添加量的确定

白牦牛乳在自然 pH 值、不添加 CaCl₂ 条件下，分别添加 1%、2%、3%、4%、5% 的发酵剂进行发酵，结合发酵剂不同添加量下的发酵时间和凝乳状态，确定最佳添加量。

1.3.8 凝乳温度的确定

白牦牛乳在其自然 pH 值、不添加 CaCl₂ 的条件下，测定凝乳酶在不同温度 30、35、40、45、50℃ 条件下的凝乳时间。

1.3.9 凝乳 pH 值的确定

白牦牛乳在 40℃ 和不添加 CaCl₂ 的条件下，用 5mol/L 的乳酸溶液调节牛乳的 pH 值^[3]，分别测定不同 pH 值(5.7、5.9、6.1、6.3、6.5)时凝乳酶的凝乳时间。

1.3.10 CaCl₂ 添加量的确定

白牦牛乳在其自然 pH 值、40℃ 的条件下，测定在不同 CaCl₂ 添加量(0.01%、0.02%、0.03%、0.04%、0.05%)条件下凝乳酶的凝乳时间。

1.3.11 白牦牛乳硬质干酪工艺参数优化

结合单因素试验结果，以温度、pH 值、CaCl₂ 浓度为因素，采用 L₉(3³) 正交试验，以出品率结合感官得

分为指标, 筛选最佳工艺条件, 因素水平如表 1。

表 1 正交试验因素水平表

Table 1 Factors and levels in three-variable and three-level orthogonal array design

水平	A 温度(°C)	B 发酵 pH	C CaCl ₂ 添加量(%)
1	35	5.9	0.02
2	40	6.1	0.03
3	45	6.3	0.04

1.3.12 干酪微观结构分析^[9]

将样品用双面刀片切割成 3mm³ 的小块, 加入 2.5%、pH6.8 戊二醛固定 24h, 并置于 4℃ 冰箱中保存。将固定好的样品用液氮将其冷冻, 用刀片切断横断面, pH6.8 磷酸缓冲液冲洗三次, 每次 10min。将冲洗好的样品分别用浓度为 30%、50%、70%、80%、95%、100% 的乙醇进行梯度脱水, 每次 10min, 将脱水后的样品放入氯仿中脱脂 2h, 间隔摇晃, 然后用 100% 乙醇、100% 乙醇-叔丁醇(1:1, V/V)、纯叔丁醇各脱水一次, 每次 6min。最后干酪样品经冷冻干燥、喷金后扫描电镜观察。

2 结果与分析

2.1 发酵剂添加量对凝乳状况的影响

干酪发酵剂的添加能促进原料乳产生乳酸, 给凝乳酶作用创造适宜的 pH 值条件, 从而促进凝乳块的形成, 使凝乳块容易收缩和排除乳清, 并且防止在制造和成熟期间杂菌的污染和繁殖^[10]。从表 2 可以看出, 发酵剂添加量为 1% 时, 白牦牛乳凝块质地松软, 有乳清析出; 随发酵剂添加量的增大, 发酵速度加快, 产生乳酸增多, 凝乳时间随之缩短, 硬度上升; 添加量为 5% 时, 切割状况欠佳, 风味良好但组织状态较差。相比之下发酵剂添加量为 3% 时, 凝块质地、风味较好。

表 2 发酵剂添加量对白牦牛乳凝乳效果的影响

Table 2 Effects of addition amount of fermentation starter on milk coagulation

发酵剂添加量(%)	凝乳时间(min)	凝乳质地	切割情况
1	150	凝乳不彻底	易碎, 不易切割, 乳清浑浊
2	136	较软, 少量乳清析出	不易破碎, 乳清较清
3	128	细腻有弹性, 有一定硬度	不易碎, 收缩较好, 乳清较清
4	117	凝乳较好, 表面光滑, 较硬	切面光滑, 乳清较清
5	110	表面较光滑, 弹性差	乳清较多

2.2 温度对凝乳时间的影响

酪蛋白对温度较为敏感, 所以温度对凝乳影响较大, 当牛乳的温度低于 20℃ 时牛乳不会发生凝结, 此时凝聚反应时间太慢; 当温度 < 20℃ 或 > 50℃ 时, 由

于皱胃酶活力很低, 凝乳效率又会下降。由图 1 可以看出, 白牦牛乳在温度为 30℃ 时凝乳时间较长, 随着温度上升, 凝乳时间缩短; 超过 40℃ 时凝乳时间增加但较 30℃ 时的短, 说明温度不仅改变酶反应、凝聚反应速率, 而且温度升高使凝乳酶失活, 此时酶活力较 30℃ 高。由图 1 可见, 当凝乳温度为 40℃ 时, 凝乳时间最短。

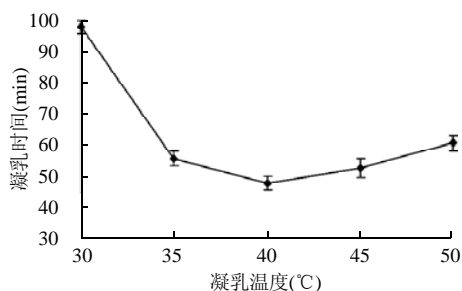


图 1 凝乳温度对凝乳时间的影响

Fig.1 Effects of temperature on coagulation time of milk

2.3 pH 值对凝乳时间的影响

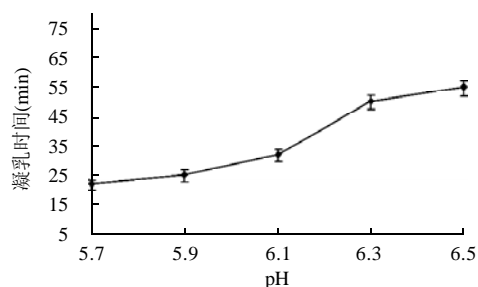


图 2 pH 值对凝乳时间的影响

Fig.2 Effects of pH value on coagulation time of milk

由图 2 可以看出, 改变牛乳的 pH 值对凝乳反应的影响非常明显。当 pH 值在 5.7~6.5 之间时, 凝乳时间随着 pH 值的升高而增长。牛乳 pH 值较低时可以缩短凝乳时间, pH 值为 5.7 时凝乳时间最短, 主要原因是低 pH 值增加了皱胃酶活力, 要达到较低的 pH 值, 相应的发酵时间也要延长, 增加能耗, 给后续添加凝乳酶带来困难, 所以当牛乳的 pH 值为 6.1 时凝乳时间较短, 凝乳效果也较好。

2.4 CaCl₂ 添加量对凝乳时间的影响

牛乳在凝乳酶的作用下凝固必须有足够的钙离子参与, 钙的添加主要为促进凝乳, 钙离子不仅会促进酶反应, 也会加快凝聚反应速率。当牛乳加热后, 一部分可溶性钙变成不溶性钙, 延缓了凝乳酶的凝乳作用, 所以需要添加 CaCl₂ 使之复原^[11]。由图 3 可以看出, 当 CaCl₂ 添加量在 0.01%~0.05% 之间时, 凝乳时间随 CaCl₂ 添加量的增大而缩短, 其中 CaCl₂ 添加量为 0.05% 时,

白牦牛乳凝乳时间最短,此时凝乳酶活力最高,但此时硬度过大。 CaCl_2 添加量为0.03%时,凝乳酶活力较高,这是由于钙离子通过与酪蛋白结合而减弱胶束表面电荷,导致静电排斥力变小,从而有效地促进酪蛋白的凝聚。

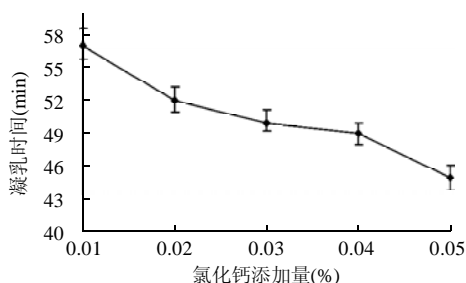


图3 CaCl_2 添加量对凝乳时间的影响

Fig.3 Effects of addition amount of CaCl_2 on coagulation time of milk

2.5 CaCl_2 添加量对凝乳状况的影响

由表3可以看出,在相同时间下,随着 Ca^{2+} 浓度的增加,凝乳质地也逐渐变硬,据报道,纯牛奶干酪的钙添加量在0.06%,而白牦牛乳干酪的钙添加量为0.03%,原因可能是白牦牛乳自身含钙量就很高(钙含量为135.94mg/100g,比荷兰牛奶高11.42mg/100g)^[12-13],外界添加少量钙后,钙桥加速形成,有利于乳凝结。但过多地添加 CaCl_2 会使凝乳硬度过高,为切割带来了困难,还会使干酪产生苦味,而凝乳硬度大小是凝乳中网状结构状态的反映^[14]。

表3 CaCl_2 添加量对凝乳状况的影响

Table 3 Effects of addition amount of CaCl_2 on coagulation status

CaCl_2 添加量(%)	凝乳时间(min)	凝乳状况	切割情况
0.02	30	较软,少量凝乳不彻底	不易切割,切口粗糙,凝块易碎
0.03	30	有一定硬度	易切割,切口光滑,凝块整齐
0.04	30	有一定硬度,少量乳清析出	易切割,切口光滑,凝块整齐

2.6 白牦牛乳硬质干酪加工工艺的优化

根据单因素试验结果进行正交试验,结果如表4所示。由表4可知,影响白牦牛乳干酪感官评价的因素主次顺序为: CaCl_2 添加量浓度>发酵pH值>凝乳温度在单因素试验中也可以看出,随着pH值和温度的升高,干酪中发酵剂活力增高,致使干酪后酸化加快,感官评价时干酪成品有明显的发酵乳香味,口感较好,干酪的苦味随着 CaCl_2 添加量的增大会增大;影响白牦牛乳干酪出品率的因素主次顺序为:凝乳温度> CaCl_2 添加量>发酵pH值,即凝乳温度对白牦牛乳干酪的出品率影响较大,当温度升高时,凝块的硬度也随着上升,同时会增加凝块的析水速度,加速乳清排除速度,从而

降低干酪的得率;当温度超过40℃时,皱胃酶活力降低,凝乳效果和凝块品质下降。综合考虑,得出白牦牛乳硬质干酪加工工艺的最优组合为 $\text{A}_2\text{B}_2\text{C}_2$,即凝乳温度40℃、pH6.1、 CaCl_2 添加量0.03%。验证实验制得的干酪出品率为15.5%,质地细腻有弹性,有一定硬度,感官良好,基本理化指标见表5。

表4 正交试验结果

Table 4 Orthogonal array design arrangement and range analysis for the results (cheese yield and sensory evaluation score)

试验号	因素			干酪出品率(%)	感官评分(分)
	A 凝乳温度(℃)	B 发酵pH值	C CaCl_2 添加量(%)		
1	35	5.9	0.02	12.5	91.5
2	35	6.1	0.03	13.0	90.7
3	35	6.3	0.04	11.6	92.0
4	40	5.9	0.03	14.5	92.1
5	40	6.1	0.04	15.1	91.7
6	40	6.3	0.02	14.3	90.3
7	45	5.9	0.04	11.2	92.9
8	45	6.1	0.02	10.8	88.0
9	45	6.3	0.03	12.0	94.3
感官评价	k_1	91.4	92.2	89.9	
	k_2	91.7	92.8	92.4	
	k_3	91.4	92.2	92.2	
	R	0.3	1.1	2.5	
出品率	k_1	12.4	12.7	12.5	
	k_2	14.6	12.9	13.2	
	k_3	11.3	12.6	12.6	
	R	3.3	0.3	0.7	

2.7 干酪成熟期理化指标测定结果

表5 白牦牛乳干酪理化指标($\bar{x} \pm s$)

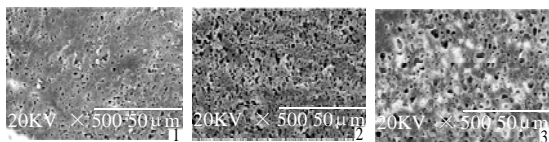
Table 5 Proximate composition of cheese products at different ripening stages ($\bar{x} \pm s$)

时间(d)	水分(%)	灰分(%)	脂肪(%)	蛋白质(%)
30	48.1743 \pm 0.1883	4.9293 \pm 0.082	36.4273 \pm 0.7369	27.8207 \pm 0.3463
60	38.5977 \pm 0.6139	5.0813 \pm 0.1357	35.9473 \pm 0.6524	26.9387 \pm 0.5496
90	36.4923 \pm 0.6433	7.8593 \pm 0.1494	34.6583 \pm 0.3901	24.572 \pm 0.5089

由表5可以看出,成熟90d时白牦牛乳干酪水分含量为36.4923%,比成熟30d时的水分含量低11.682%;同时灰分含量也有所上升;成熟90d时白牦牛乳干酪脂肪含量比30d时的含量下降了1.769%,这是由于成熟过程中脂肪发生了降解并产生对风味有重大贡献作用的脂肪酸;成熟90d时牦牛乳干酪蛋白质含量较成熟30d时的低,这是由于随着成熟时间的延长,干酪中的蛋白质发生降解,生成了中肽和小肽。说明干酪成熟过程中蛋白质降解随时间延长,降解速度加快,原因可能是蛋白质在皱胃酶的作用下, α_s -酪蛋白的Phe₂₄-Val₂₅键

被水解;干酪中 β -酪蛋白只是缓慢的降解,其降解只是在干酪成熟作用后期^[13]。

2.8 干酪的微观结构



1、2、3 分别为白牦牛乳干酪的微观结构图, 10℃成熟时间分别为 30、60、90d。

图4 不同成熟时期白牦牛乳干酪的微观结构($\times 50\mu\text{m}$)

Fig.4 SEM microstructure images of cheese products at different ripening stages ($\times 50\mu\text{m}$)

干酪在成熟过程中发生的生物化学变化,引起了干酪微观结构的变化。图4白是白牦牛乳干酪在不同成熟时期的扫描电镜图。从图4可以看出,随着干酪成熟时间的延长,白牦牛乳干酪质地越来越松散。成熟时间越长,这种变化越明显。

扫描电镜照片显示,在成熟温度相同时,30d的白牦牛乳干酪内部孔隙较小,质地坚实;成熟60d时,蛋白质结构形成很多小的分子空穴,内部孔隙变大、质地变得较松散,空间网状结构变化较小,网孔较紧密;到90d时白牦牛乳干酪内部结构较均匀,酪蛋白结构形成的分子空穴增大,组织紧密,这与贺殷媛^[15]研究结论较一致。所以随着成熟时间的增加,白牦牛乳硬质干酪蛋白质网状结构也随之增加,时间越长,多孔结构变化越明显,这与Kuo^[16]的研究结论一致,说明干酪质地也随时间的延长而富有弹性。

3 结 论

本实验对天祝藏区白牦牛乳硬质干酪加工工艺进行了研究并优化了白牦牛乳硬质干酪的最佳加工工艺参

数,最优工艺条件为:凝乳酶添加量 $30\mu\text{l}/100\text{ml}$,凝乳温度 40°C ,发酵剂添加量3%, $\text{pH}6.1$, CaCl_2 添加量0.03%。后熟过程中白牦牛乳硬质干酪具有良好的外观结构和组织状态。对于白牦牛乳硬质干酪在成熟过程中的品质及其风味的变化有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 郭本恒. 干酪[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 3.
- [2] 闫美丽. 干酪在中国的发展潜力[J]. 中国食物与营养, 2005(3): 19-20.
- [3] 王洁, 赵征. 硬质干酪加工工艺的研究[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(5): 63-65.
- [4] 柳艳霞, 赵改名, 张秋会, 等. 新鲜干酪工艺研究[J]. 食品科学, 2007, 28(8): 215-218.
- [5] 薛璐, 姜铁民, 任发政, 等. 江米酒凝乳机理的初步研究[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(9): 37-38.
- [6] 骆承庠. 乳与乳制品工艺学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 256.
- [7] 中国乳制品工业协会. 乳制品感官质量评鉴细则[S]. 北京: 中国乳制品工业协会, 2004: 63-68.
- [8] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 中华人民共和国国家标准食品卫生检验方法:理化部分[S]. 中国标准出版社, 2004.
- [9] NORONHA N, DUGGAN E, ZIEGLER G R, et al. Comparison of microscopy techniques for the examination of the microstructure of starch-containing imitation cheeses[J]. Food Research International, 2008, 41: 472-479.
- [10] 崔旭海, 毕海丹, 孔保华. 发酵剂的作用及快速成熟的研究进展[J]. 乳品加工, 2006(5): 50-53.
- [11] 王婧, 罗欣, 房广建. Ca^{2+} 和 pH 值对凝乳酶活性及干酪凝块质构的影响[J]. 中国乳品工业, 2006, 34(5): 15-18.
- [12] 《中国牦牛学》编写委员会. 中国牦牛学[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1989.
- [13] 胡萍, 赵玉霞, 权玉玲, 等. 天祝县白牦牛肉、乳营养成分分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2008, 18(8): 1621-1623.
- [14] LAWRENCE R C, GILLERS J. Factors that determine the pH of young cheddar cheese[J]. NZJ Dairy Sci Technol, 2004, 17(4): 1-14.
- [15] 贺殷媛. 贮存期内干酪理化指标、流变学性质及微生物微观结构变化的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2007.
- [16] KUO M I, GUNASEKARAN S. Effect of freezing and frozen storage on microstructure of Mozzarella and pizza cheeses[J]. Food Science and Technology, 2009, 42(1):9-16.