

压榨工艺对干酪品质的影响*

范金波¹, 夏琳婧², 周素珍¹, 吕长鑫¹, 冯叙桥¹

1(渤海大学食品科学研究院, 辽宁省食品安全重点实验室, 辽宁 锦州, 121013)

2(中国农业大学, 食品科学与营养工程学院, 北京, 100083)

摘 要 压榨是生产半硬质和硬质干酪的重要工艺。通过检测干酪的化学成分、质构特性、流变特性, 研究了压榨过程中压榨时间、压强等参数对干酪品质特性的影响, 并且结合共聚焦激光显微镜等手段分析了压榨工艺与干酪微观结构的关系。结果显示, 随着压榨时间增加、压强增大, 干酪样品的水分含量下降, 脂肪和蛋白含量升高。随着压榨时间的延长、压强增大, 用质构仪测得干酪的硬度和咀嚼性增大, 弹性减小。流变仪测定结果显示干酪的弹性模量增加, 融化性减弱。干酪微观结构图显示, 随着压榨时间的延长, 蛋白网络更加致密有序; 随着压榨压强的增大, 脂肪球大量聚集, 蛋白分子重列。研究结果揭示了压榨过程影响干酪品质的相关机理。

关键词 干酪, 压榨, 质构特性, 流变特性, 微观结构

压榨作为半硬质和硬质干酪生产工艺中的步骤之一, 对于干酪的品质形成至关重要。但即使在干酪制作技术十分成熟的西方国家, 对于干酪压榨工艺的研究也十分稀少, 且大部分研究数据都是生产实践中经验所得, 并不完善, 也缺乏系统性。国内对于压榨工艺的研究也几乎是一片空白, 至多采用感官评价的方法初步研究了压榨时间对消费者喜好度的影响。压榨过程虽然简单, 但对于干酪品质的影响却很大。

本文在传统硬质干酪生产加工研究的基础上, 采用近年来新兴的技术手段, 就压榨工艺对干酪品质的影响进行深入研究, 探索其影响过程和作用机理, 以期为我国硬质干酪工业化生产工艺体系提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

原料乳: 新鲜无抗牛乳, 来自北京三元食品股份有限公司干酪加工专用原料乳。**菌种:** R704 直投式菌种(CHR Hansen, Hørsholm Denmark)。**凝乳酶:** Stamix 1150(CHR Hansen, Hørsholm Denmark), 活性成分是小牛皱胃酶(EC 3. 4. 23. 1) 和牛胃蛋白酶(EC 3. 4. 23. 4), 总酶活力为 120 000 U/g。实验所用试剂, 购自北京化学试剂有限公司。

电热恒温水浴锅(DK-8B), 上海精宏实验设备有

限公司; 凯氏定氮仪(KDY-9830), 北京思贝得研究所; 流变仪(AR-4500ex), 美国 TA Instruments; 质构仪(TMS-Pro), 美国 FTC 公司; 激光共聚焦显微镜(TCS-SP2-AOBS), 德国 Leica 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 干酪制作工艺流程

干酪制作方法, 参考 Cheddar 干酪标准加工工艺并略有修改^[1]: 对原料乳进行标准化处理, 使蛋白/脂肪为 0.8; 巴氏杀菌 63℃, 30 min; 杀菌后冷却至 32℃, 每升牛乳中加入 0.1 g 发酵剂菌株 R704(约 10¹⁰ CFU/L); 经过 30 min 发酵后, 每升中加入 0.05 g 凝乳酶(6 000 IU), 继续恒温培养 45~60 min 等待牛乳凝结; 待凝胶形成后, 用薄刀片划开凝块, 用刀面与划缝垂直向上挑起, 等到刀片上不再沾有颗粒, 且凝胶能从划缝处自然撕裂时, 用不锈钢横纵切刀将凝块切割成 1 cm × 1 cm × 1 cm 方块, 静置 5 min 后进行热煮程序。切割后的小凝块与乳清在干酪槽中进行匀速升温热煮 5 min/℃, 缓慢上升至 38℃。待 pH 降至 6.1~6.2, 开始堆叠, 每 15 min 翻转 1 次排乳清。待乳粒缓慢收缩, pH 值降到 5.4~5.5 时, 将大凝块切成拇指样大小, 加入食用盐(0.3 g/100 mL 原料乳), 并混合均匀, 装入不锈钢模具内并采用压力设备进行压榨。不锈钢模具的底面积为 8 cm × 10 cm 底面和四壁上均密布小孔以便乳清排出, 定义压榨压强为施加压力与干酪底面积(即模具底面积) 之比。制好的成品真空包装后, 4℃ 保存。

1.2.2 干酪水分含量的测定

水分采用干燥法测定^[2]。

第一作者: 博士, 讲师(本文通讯作者, E-mail: jinbo_fan@hotmail.com)。

* 辽宁省食品安全重点实验室开放课题项目(LNSAKF2013017)

收稿日期: 2013-12-06, 改回日期: 2014-04-24

1.2.3 干酪蛋白质含量的测定

蛋白采用凯氏定氮法测定^[9]。

1.2.4 干酪脂肪含量的测定

脂肪含量采用罗兹-哥特里法测定^[9]。

1.2.5 干酪质构特性的测定

干酪质构测定采用二次压力测定法:样品在室温下(20 ± 2 °C)预置 30 min,用干酪取样器自干酪中心取样,样品形状为 $1\text{ cm} \times 1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ 的正方体。用直径 50 mm 的探头垂直 2 次循环,压缩变形为 50%,探头垂直下降速率为 24 mm/min。每 1 个样品重复 6 个平行样。结果采用一级机械性能硬度(firmness)、弹性(springiness),和二级性能咀嚼性(chewiness,硬度 $\times$ 内聚性 $\times$ 弹性)表示。

1.2.6 干酪流变特性的测定

样品取出后室温下平衡 30 min,从干酪中心取样,样品直径为 40 mm,厚度为 2 mm,置于流变仪托盘上,降低探头至干酪表面。经过反复探索,设定温度扫描设置程序参数如下:剪应变 0.005,角频率 1 Hz,升温速率为 3 °C/min,升温范围为 20 ~ 80 °C^[9]。

1.2.7 干酪微观结构的测定

用激光共聚焦显微镜进行干酪微观结构的测定^[9]。将 1.0 g/L 的快绿水溶液 100 μL 加入到 0.2 g/L 的尼罗红聚乙二醇溶液 100 mL 中,即为混合荧光染料。使用不锈钢刀片以防止切面变形,从干酪块上切下 $5\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ 的薄片放在载玻片上。用胶头滴管吸染料滴 2 ~ 3 滴到样品上,在暗处充分浸染 10 min。染色过程在 4 °C 下进行。染色完成后用纯水从样品一角冲洗 3 遍,加上盖玻片,倒置放在显微镜下,用 63 倍油镜观察。尼罗红和快绿的激发波长分别为 488 nm 和 633 nm。设定尼罗红发射波滤波片的范围在 550 ~ 620 nm,快绿 660 ~ 710 nm。调整到视野清晰后,采图。

1.3 实验设计

1.3.1 压榨工艺对干酪组成成分的影响

设定压榨压强为 98, 221, 343 kPa, 分别在 4、16 °C 下压榨,在压榨时间为 0, 0.5, 1, 2, 4, 8, 16 h 取样,贮存在 4 °C 冷库,第 1, 2, 3 天分别测定各条件下的干酪水分含量、脂肪含量、蛋白质含量值。

1.3.2 压榨时间对干酪品质的影响

在工艺条件完全不变的情况下,固定压榨压强为 221 kPa,压榨温度为 16 °C,设定压榨时间为 0, 4, 8, 16 h,制得干酪样品,测定其质构特性、流变特性和微观结构。

1.3.3 压榨压强对干酪品质的影响

在工艺条件完全不变的情况下,固定压榨时间为 8 h,压榨温度为 16 °C,设定压榨压强为 0, 98, 221, 343 kPa,制得干酪样品,测定其质构特性、流变特性和微观结构。

2 结果与分析

2.1 压榨工艺对干酪组成成分的影响

2.1.1 压榨工艺对干酪水分含量的影响

图 1 所示为在不同压榨压强和温度下,所获得干酪的水分含量随压榨时间变化的趋势图。从图中可以看出,在压榨初期的 0.5 h 内,水分含量由 55.9% 下降到 50% 左右,其中,16 °C 下 221 kPa 和 343 kPa 压榨的干酪下降幅度最大,而后水分排出速率持续变缓。16 °C 下,在压强较小(98 kPa)或较大(343 kPa)时,干酪块水分含量均在 4 h 达到稳定,压强适中(221 kPa)时,则在 8 h 达到稳定,与继续延长压榨时间至 16 h 后的水分含量无显著性差异($P > 0.05$)。可见压强较小时水分排出有限,排水过程停止较早;而压强较大时,排水效率较高,排水过程完成较快。此外,从图中还可得知,在其他条件不变的情况下,4 °C 的压榨条件下排出水分较 16 °C 的显著减少($P < 0.05$)。这是由于,低温下干酪表皮更容易形成,从而阻止了水分的充分排出^[9]。

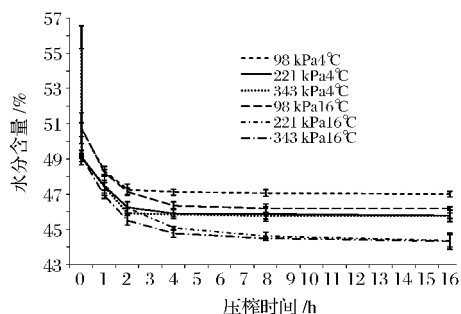


图 1 不同压榨条件下干酪的水分含量

Fig. 1 Moisture content of cheeses made with different pressing parameters

2.1.2 压榨工艺对干酪脂肪含量的影响

图 2 所示为在不同压榨压强和温度下,所获得干酪的脂肪含量随压榨时间变化的趋势图。在压榨初期的 0.5 h 内,干酪中脂肪含量显著增加($P < 0.05$)。这是由于这段时间内水分含量迅速下降,导致脂肪含量相对升高。而后因水分排出速率持续变缓,脂肪含量上升速率也变缓。此外,从图中还可得知,在其他条件不变的情况下,由于 4 °C 下干酪的表皮闭合较

早,其脂肪含量显著低于 16 ℃ ($P < 0.05$)。

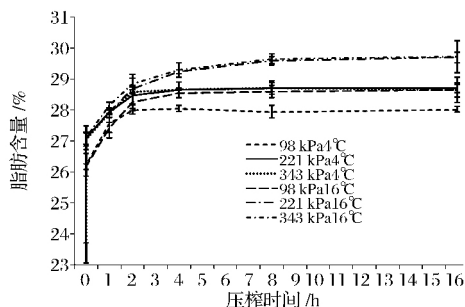


图2 不同压榨条件下干酪的脂肪含量

Fig. 2 Fat content of cheeses made with different pressing parameters

2.1.3 压榨工艺对干酪蛋白的影响

图3所示为在不同压榨压强和温度下,所获得干酪的蛋白含量随压榨时间变化的趋势图。在压榨初期的0.5 h内,各条件下干酪中蛋白含量都显著增加 ($P < 0.05$)。这是由于这段时间内水分含量迅速下降,导致蛋白含量相对升高,而后因水分排出速率持续变缓,蛋白含量上升速率也变缓。16 ℃下,在压强较小(98 kPa)或较大(343 kPa)时,干酪块蛋白含量均在4 h达到稳定,压强适中(221 kPa)时,则在8 h达到稳定,与继续延长压榨时间至16 h后的蛋白含量无显著性差异 ($P > 0.05$)。这与水分含量的减少过程和脂肪含量的增加过程相一致。此外,在其他条件不变的情况下,由于4 ℃下干酪的表皮闭合较早,其蛋白含量显著低于16 ℃ ($P < 0.05$),低压强98 kPa压榨时甚至在2h已达到稳定,之后延长压榨时间蛋白含量均无显著性差异 ($P > 0.05$)。

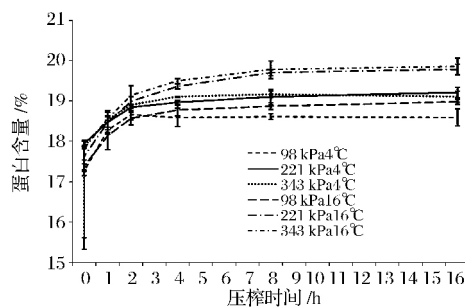


图3 不同压榨条件下干酪的蛋白含量

Fig. 3 Protein content of cheeses made with different pressing parameters

2.2 压榨工艺对干酪质构特性的影响

2.2.1 压榨时间对干酪质构特性的影响

从图4中可以看出,随着压榨时间的延长,干酪的硬度增大 ($P < 0.05$),达7.78 N;咀嚼性增强 ($P <$

0.05),达2.01 N。压榨过程初期,由于水分快速排出导致硬度和咀嚼性增大,随着压榨进行,虽然水分排出速度减缓,但干酪块保持内部形状的结合力增强,使得硬度继续增大,同时使得干酪被咀嚼至下咽所需做的功增加。干酪弹性在4 h时与压榨前相当,而4 h后,弹性减小。

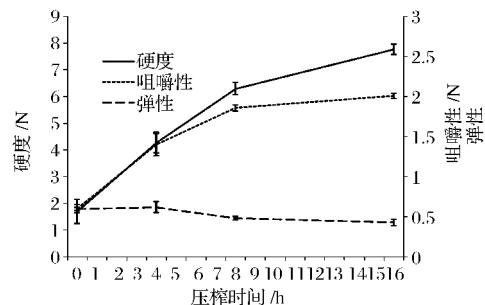


图4 不同压榨时间的干酪质构特性

Fig. 4 Textural properties of cheeses made with different pressing time

2.2.2 压榨压强对干酪质构特性的影响

如图5所示,随着压榨压强的增大,蛋白网络在压强作用更加致密紧实,干酪的硬度显著增加 ($P < 0.05$),从1.71 N增大至7.13 N。同时,咀嚼性随着压强增大不断增大 ($P < 0.05$),从0.60 N升至2.05 N。此外,压强越大,干酪弹性越小 ($P < 0.05$),表明干酪发生形变后不易恢复。

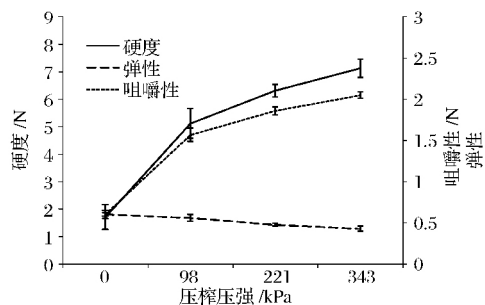


图5 不同压榨压强的干酪质构特性

Fig. 5 Textural properties of cheese made with different pressing pressures

2.3 压榨工艺对干酪流变特性的影响

2.3.1 压榨时间对干酪流变特性的影响

从图6和7中可以观察到,加热过程中,弹性模量 G' 随温度升高而下降。在相同的测定温度下,随着压榨时间的增加,干酪 G' 也增加,弹性模量增大。干酪是一种典型的胶状食品,弹性模量表征了干酪体系网状结构的固体特征。由此说明,长时间压榨的干酪蛋白质网络结构更加致密,因而表现为其弹性模量

较高,这也与其质构特性变化规律相一致。 $\tan\delta$ 值随温度升高先增加后减小,在最高点处所对应的温度即为熔化温度,也称软化点。从图中可以看到,随着压榨时间的增加,熔化温度先升高后减小,16 h 的熔化温度反而比 8 h 更低,熔化性更好。熔化前,二者的流体特性相差不大,而在熔化后,16 h 干酪样品的内部结合力仍比 8 h 更强。

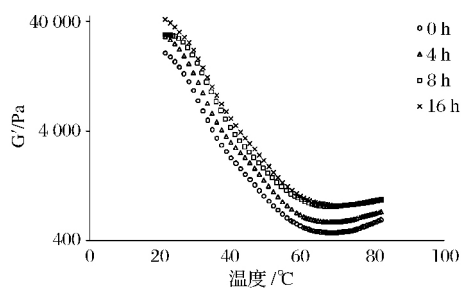


图 6 不同压榨时间的干酪弹性模量

Fig. 6 Elasticity modulus of cheese made with different pressing time

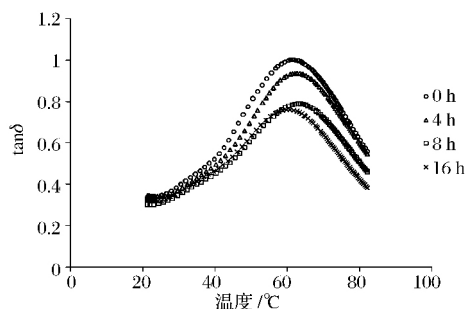


图 7 不同压榨时间的干酪熔化特性

Fig. 7 Melting characteristics of cheese made with different pressing time

2.3.2 压榨压强对干酪流变特性的影响

在相同的测定温度下,随着压榨压强的增加,干酪弹性模量 G' 也增大,干酪的固体特性增加,这是由于结构更加致密引起的。在图 8 和图 9 中还可以看到,除未压榨的样品在熔化温度时 $\tan\delta$ 能够达到 1 (即弹性本质与黏性本质相当) 外,其他样品均 $\tan\delta < 1$,即以弹性本质为主。且在 98 kPa 压强下的样品熔化温度最低,熔化性最好。尽管压榨前的干酪所含水分较多,但其熔化性却不及 98 kPa 下的干酪,可见水分含量并不是决定干酪熔化性的唯一因素。有研究证实,干酪中蛋白、脂肪存在的状态也会对其产生影响^[4]。

2.4 压榨工艺对干酪微观结构的影响

2.4.1 压榨时间对干酪微观结构的影响

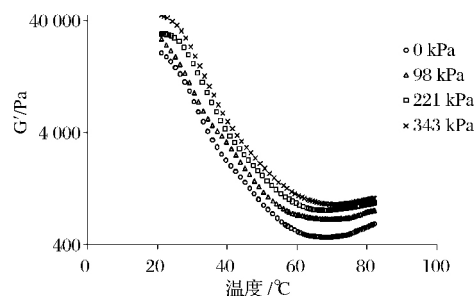


图 8 不同压榨压强的干酪弹性模量

Fig. 8 Elasticity modulus of cheeses made with different pressing pressures

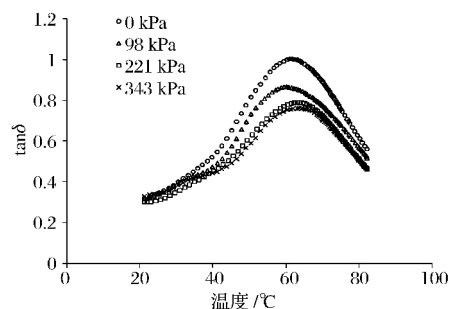


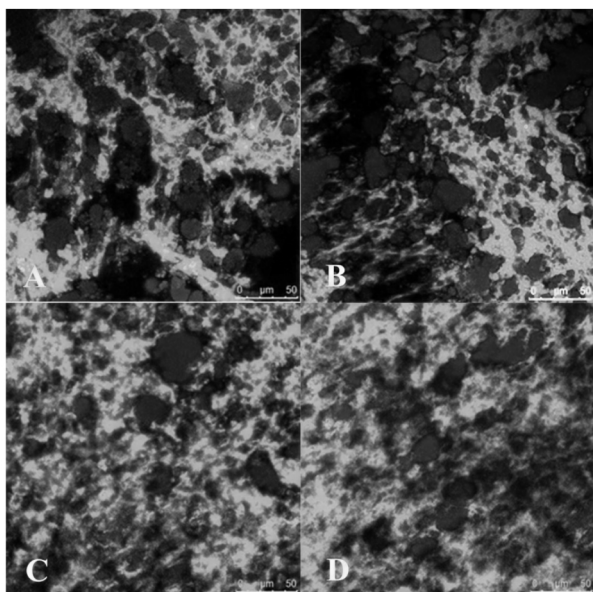
图 9 不同压榨压强的干酪熔化特性

Fig. 9 Melting characteristics of cheeses made with different pressing pressures

由图 10 可以看出,随着压榨时间的延长,蛋白密度不断增大,蛋白网络中填充的水分逐渐减少。与此同时,脂肪球聚集变大,并发生形变。在压榨 4 h 时,干酪内部已形成脂肪槽。而后由于干酪块随着外界温度降低,脂肪流动性减弱,蛋白基质不断紧实,脂肪块镶在其中被一起压紧。在压榨 16 h 时,脂肪不规则度又有所增大。

2.4.2 压榨压强对干酪微观结构的影响

由图 11 可以看出,随着压榨压强的增大,脂肪球不断聚集,在压榨前,脂肪颗粒为完整的球形,分布较为分散,且尺寸较小,直径在 10 μm 左右。甚至可以看到,这些本身尺寸较小的脂肪球是由大量更小的微球构成的。在压榨后,压力作用使得蛋白质本身对分散在蛋白质线性结构间乳浆通道中的脂肪球施加压力,使脂肪球被挤压破裂连在一起形成油块,包裹在蛋白质网络中。聚集后的脂肪球形状规则度下降,尺寸增大直径达到 20 ~ 30 μm ,在压榨压强 343 kPa 下达到最大积聚形成超大脂肪球,直径达 50 μm 。从蛋白结构来看,98 kPa 压强下较为松散,当压强增大至 221 kPa 时,蛋白网络更加致密。另外可以看到,343 kPa 下干酪中含有较多水分,这是由于高压强下



灰色代表脂肪,白色代表蛋白,A,B,C,D
的压榨时间分别为 0 h,4 h,8 h,16 h

图 10 不同压榨时间下的干酪微观结构

Fig. 10 Microstructure of cheeses made with different pressing time

蛋白结构发生重排,使得截持水从网络中逸出,转化为自由水,这一方面为超大脂肪球的聚集提供了有利条件,另一方面也使得蛋白线性分子间作用力加强,由此引发了干酪块的其他特性如前述质构和流变等特性的变化。

3 结论

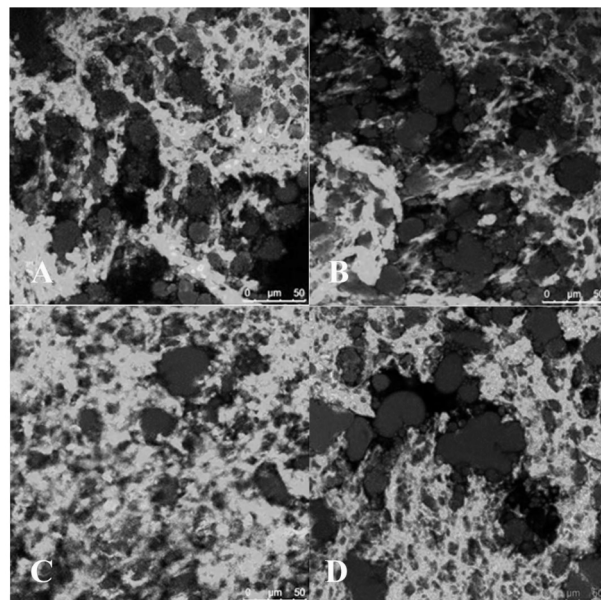
本文研究了压榨工艺对于干酪基本成分、质构、流变及微观结构的影响,结论如下:

(1) 对干酪成分的影响方面:随着压榨时间的延长和压榨压强的增大,干酪的水分含量逐渐减少,脂肪和蛋白含量逐渐升高。

(2) 对干酪质构的影响方面:压榨时间的延长和压榨压强的增大,能够促使水分排出,同时蛋白网络更加致密,从而导致干酪的硬度和咀嚼度显著增加,弹性显著下降。

(3) 对干酪流变特性的影响方面:干酪的弹性模量随着压榨时间的延长、压榨压强的增大而增大,同时也更趋近于固体性质。

(4) 对干酪微观结构的影响方面:压榨时间增加促使干酪蛋白质变得更加致密,压榨压强增大则使得脂肪球破裂并聚集。



灰色代表脂肪,白色代表蛋白,A,B,C,D 的压榨
压强分别为 0、98、221、343 kPa

图 11 不同压榨压强下的干酪微观结构

Fig. 11 Microstructure of cheeses made with different pressing pressures

参 考 文 献

- [1] Fenelon M, O'Connor P, Guinee T. The effect of fat content on the microbiology and proteolysis in Cheddar cheese during ripening [J]. Journal of Dairy Science, 2000, 83 (10): 2 173 - 2 183.
- [2] IDF. Cheese and Processed Cheese: Determination of the Total Solids Content [M]. Brussels: International Dairy Federation, 1982: 2 - 5.
- [3] IDF. Milk: Determination of the Nitrogen Content (Kjeldahl method) and Calculation of Crude Protein Content [M]. Brussels: International Dairy Federation, 1993: 1 - 4.
- [4] 郭媛. 加工工艺对 Mozzarella 干酪熔化品质的影响 [J]. 北京: 中国农业大学, 2010: 20 - 31.
- [5] Brickley C, Auty M, 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): 483 - 490.
- [6] Ong L, Dagastine R R, Kentish S E, et al. Microstructure of milk gel and cheese curd observed using cryo scanning electron microscopy and confocal microscopy [J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(5): 1 291 - 1 302.
- [7] Walstra P W J J, Geurts T. Dairy Science and Technonlogy

[M] . CRC Press Taylor & Francis Group, 2006: 25 – 39.

Effects of pressing parameters on cheese quality

FAN Jin-bo¹, XIA Lin-jing², ZHOU Su-zhen¹, LV Chang-xin¹, FENG Xu-qiao¹

1(Food Science Research Institute of Bohai University, Food Safety Key Lab of Liaoning
Province, Jinzhou 121013, China)

2(College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

ABSTRACT Pressing is the last procedure and the least understood step of semi-hard and hard cheese making. The aim of this paper was to assess the effect of the pressing time and pressure on cheese properties. The chemical composition, the texture and the rheological properties of cheeses made with different pressing parameters were investigated. And their microstructure was also studied by confocal laser microscopy. The results showed that as time and pressure were increased, moisture content of cheese samples decreased, while fat and protein content increased significantly. As the time and pressure increased, texture testing showed that the hardness and chewiness of cheese were significantly increased, while the flexibility was significantly decreased. Rheometer testing showed that the elasticity modulus of cheese increased, while the melting of cheese weakened. Cheese microstructure pictures showed that, with the extension of the pressing time, the protein network was more compact and orderly. With the increase of pressing pressure, a large number of fat globules aggregated. The mechanism of the effect of pressing on the cheese properties was also discussed.

Key words cheese, pressing, texture, rheological property, microstructure

关于撤销抄袭论文的声明

吴小杰《35 种大型真菌中抗氧化活性物质的研究进展》一文发表在《食品与发酵工业》2014 年 40 卷第 6 期 117 – 127 页,此文抄袭了刘坤等的论文《大型真菌抗氧化活性小分子此代谢产物的研究进展》(该文已发表于《微生物学通报》2014 年第 6 期,并于 2013 年 10 月 23 日在中国知网网络出版)。我编辑部已请求中国知网撤销了该抄袭论文,消除了网络的不良影响。

特此声明。

《食品与发酵工业》编辑部

2014 年 7 月 15 日