

# 切达奶酪成熟过程中的质构影响因子研究

郑远荣,刘振民,肖 杨,莫蓓红,孙克杰

(乳业生物技术国家重点实验室,光明乳业股份有限公司研究院,上海 200436)

**摘要:** 研究切达奶酪成熟过程中的化学成分以及质构的变化。分析奶酪成熟期内的蛋白质、脂肪、水分、食盐、干物质中脂肪含量的变化,利用 TPA(Texture profile analysis)分析奶酪质构特性,包括硬度、黏性、回复性、耐咀嚼性和内聚性等特性功能特性的变化,并且利用 SAS 统计软件分析结果。结果显示,硬度、黏性和耐咀嚼性呈上升趋势,平均上升速度分别为 22%、17%、28%,差异显著( $P < 0.05$ );回复性呈下降趋势,下降速度为 -12%,差异显著( $P < 0.05$ );成熟期内,奶酪的脂肪、蛋白和干物质中脂肪含量没有发生显著变化,奶酪的功能特性与化学组分含量没有显著关系。

**关键词:** 切达奶酪;成熟;质构剖面分析(TPA);化学成分;干物质中脂肪含量;功能特性

中图分类号:TS252.53 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2011)增刊-0257-04

## Effects of Compositional Factors on the Texture of Cheddar Cheese during Ripening

ZHENG Yuan-rong, LIU Zhen-min, XIAO Yang, MO Bei-hong, SUN Ke-jie

(State Key Laboratory of Dairy Biotechnology, Technical Center,

Bright Dairy and Food Co., Ltd, Shanghai 200436, China)

**Abstract:** Study on the effects of compositional factors on the changes of texture of cheddar cheese during ripening. Analyzed the compositions including the protein, fat, moisture, salt, DFM(fat in dry matter) and S/M(salt in moisture) and the functional properties including hardness, adhesiveness, resilience, chewiness and cohesiveness. The data was processed with SAS 9.0 software. The results showed that the hardness, adhesiveness and chewiness rose averagely by 22%, 17% and 28% per 3 months during ripening, respectively, and had significant differences ( $P < 0.05$ ). The resilience declined averagely by -12% per 3 months, and had significant differences ( $P < 0.05$ ). There were no significant changes occurring in the value of protein content, fat content and FDM. The composition had no significant relationship with the functional properties during ripening.

**Key words:** Cheddar cheese; Ripening; Texture profile analysis(TPA); Composition; Fat in dry matter; Functional properties

切达奶酪(Cheddar cheese)源自于英国南部的切达山谷而得名,它是世界上消费量最大的奶酪品种,常作为一种原料添加于食品中以达到改善颜色、风味、质地及营养的效果<sup>[1]</sup>。奶酪是由酪蛋白组成网络基本结构,水分、脂肪球、少量的碳水化合物与食盐分散其间而组成<sup>[2]</sup>。脂肪、水分、蛋白质、食盐会影响奶酪的流变性和质地<sup>[3-4]</sup>。为了得到典型的质构和风味,切达奶酪必须经过3~6个月成熟发酵,有的成熟期甚至长达24个月。加工工艺、菌种、

成熟温度等都会影响切达奶酪成熟过程中蛋白质和脂肪的水解以及水解程度,进而影响其功能特性的变化<sup>[5]</sup>。

质构是评价奶酪质量和功能特性以及判别奶酪种类的重要指标之一,也是消费者对奶酪总体评价和喜好选择的重要依据。全质构分析法(Texture profile analysis)模拟牙齿咀嚼,通过往复2次压缩食品形成曲线,实现对奶酪质构指标的准确和快速量化,被广泛应用于奶酪的质构测量中<sup>[6]</sup>。本研究主

收稿日期:2011-11-10

基金项目:上海市科委浦江人才计划(08PJ1431500)

作者简介:郑远荣(1983-),男,广东人,硕士,主要从事乳品研究与开发。

通讯作者:刘振民(1974-),男,山西万荣人,博士,教授级高级工程师,主要从事乳品研究与开发。

要探索切达奶酪成熟过程中质构的变化以及其影响因素,揭示组分与质构的关系。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料与仪器

R-704 型发酵剂,丹麦科汉森公司; MARZYME 150MG 凝乳酶,丹麦丹尼斯科公司; 无抗生素牛奶,光明乳业股份有限公司。

奶酪槽,英国 Armfiled 公司; TA-Hdi 型质构分析仪,英国 Stable Micro Systems 公司; KB115 型高精度培养箱,德国 Binder 公司; Inlab solids pro 三合一 pH 计探头,瑞士 METTLER 公司; Kjeltec 2300 型凯氏定氮仪,丹麦 Foss 公司; T50 自动电位滴定仪,瑞士 METTLER 公司; MB45 卤素水分测定仪,美国 OHAUS 公司。

天然切达奶酪制作工艺:原料乳标准化(蛋白/脂肪 = 0.85) → 巴氏杀菌(72℃,15 s) → 冷却(32℃) → 加入发酵剂(0.012%,预发酵 30 min) → 加凝乳酶(0.002%,30℃,45 min) → 切割(8~13 mm) → 搅拌(38℃) → 排乳清(0.15% TA) → 切达化(0.18% TA) → 粉碎(10 mm,0.5% TA) → 加盐搅拌(2.5%) → 压榨(14℃,12 h) → 成熟(8℃)。贮藏的奶酪样品分别于第 3、6、9、12 个月检测其成分及功能特性。

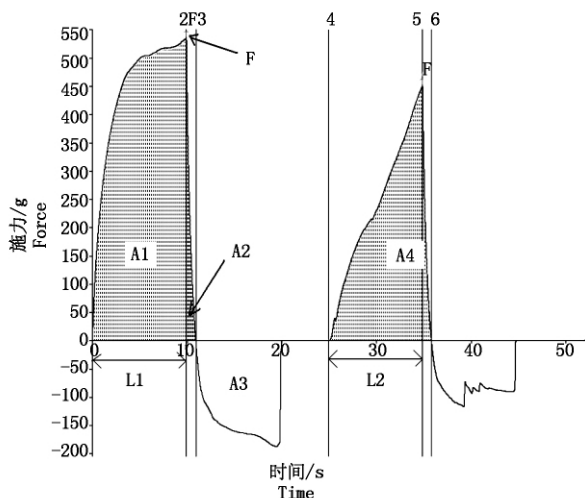


图1 切达奶酪 TPA 曲线

Fig.1 The TPA curve of cheddar cheese

### 1.2 方法

1.2.1 奶酪质构(TPA)测定 奶酪的质构分析(TPA)采用质构仪测定。每组奶酪用取样器切割为规则长方体(5 cm×2.5 cm×2.5 cm),所得样品放置于4℃的冰箱4 h,为避免水分散失,处理后样品表面用塑料包装密封处理。测定参数:测量前探头下降速率1 mm/s;测试速率1 mm/s;测试后探头回

程速率1 mm/s;下压距离10 mm;触发力1 g;探头类型 P5。每组切达奶酪平行测定20次。

TPA 参数计算:

硬度 = F

弹性 = L2/L1

凝聚性 = A4/(A1 + A2)

粘着性 = A3

回复力 = A2/A1

咀嚼性 = 硬度 × 凝聚性 × 弹性

1.2.2 奶酪化学组分测定 奶酪的蛋白质测定利用 Kjeldahl 方法<sup>[7]</sup>,换算系数为 6.38;脂肪含量测定利用 Gerber 方法<sup>[8]</sup>;水分含量测定利用 AOAC 方法<sup>[9]</sup>;氯化钠含量是通过测定氯含量计算而得。每组试验重复3次。

干物质中脂肪含量(FDM, fat in dry matter) = 脂肪百分含量/(100 - 水分百分含量) × 100%;

水分中食盐含量(S/M, salt in moisture) = 食盐百分含量/水分百分含量 × 100%。

1.2.3 数据处理 奶酪的硬度、黏性、弹性、内聚性、耐嚼性和回复性等特性数据利用 TA-Hdi 型质构分析仪自带软件 Exponent 5.0 进行处理获得。化学组分和质构数据结果利用统计分析软件 SAS 9.0 进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 切达奶酪成熟过程中化学组分变化

切达奶酪在成熟过程中,蛋白质、脂肪和干物质中脂肪含量(FDM, Fat in dry matter)没有发生显著变化( $P > 0.05$ )。氯化钠含量和 S/M 前9个月没有显著变化,12个月发生了显著差异( $P < 0.05$ )。总的来说,切达奶酪的化学组分含量在成熟期内没有发生显著变化,没有明显的上升或者下降趋势。蛋白质、脂肪和水分含量的变化不大,说明他们的变化主要发生在微观方面,主要是化学成分的内部结构发生了变化,从而导致了奶酪功能特性的改变。

奶酪制作过程中,首先发酵剂培养物接种到牛奶中,利用牛奶中的乳糖生成乳酸,pH降低,接着添加凝乳酶凝乳,然后切割凝乳排放乳清。这时大部分的水分、乳糖、乳清蛋白和部分乳矿物盐随着乳清的排放而损失,剩下的奶酪主要由酪蛋白、脂肪、水分、少量的乳糖和乳矿物盐组成。剩余少量的乳糖随着成熟的进行也逐渐被降解,直至最后几乎完全消失。酪蛋白是奶酪中的唯一连续相,构成了奶酪的基本架构,脂肪球、水分和矿物质分散其中<sup>[10]</sup>。研究表明,奶酪的质构与 pH 和完整酪蛋白水分比

密切相关,这是因为酪蛋白水解物大都是溶于水的,不再贡献奶酪的基本骨架<sup>[11]</sup>。奶酪成熟过程中,蛋白质大部分分解,非可溶性氮转变成可溶性氮,仅少量没有发生变化。蛋白水解是最复杂也是最重要的一种,它主要影响质构,包括硬度、流变性、黏结性、

断裂性、延展性、融化性、黏附性和乳化性,还影响奶酪的风味<sup>[12]</sup>。脂肪的变化相对较小,他的一部分被氧化和脂解作用形成脂肪酸和其他脂质成分,这些脂质成分可以提供风味和香气,形成奶酪制品的部分风味<sup>[13]</sup>(表1)。

表1 不同成熟度的切达奶酪化学组分

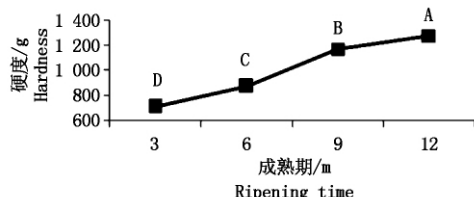
Tab.1 The composition of cheddar cheese during ripening

成熟期/m Ripen time	蛋白质/% Protein	脂肪/% Fat	水分/% Moisture	氯化钠/% NaCl	FDM/%	S/M/%
3	22.90 ± 0.14a	32.7 ± 0.1a	38.1 ± 0.4a	1.53 ± 0.06a	52.8 ± 0.1a	4.02 ± 0.10a
6	22.95 ± 0.21a	33.5 ± 0.1a	36.8 ± 0.1b	1.42 ± 0.04a	52.9 ± 0.1a	3.86 ± 0.10a
9	22.45 ± 1.34a	32.9 ± 1.7a	37.6 ± 0.3a	1.52 ± 0.11a	52.7 ± 2.5a	4.04 ± 0.33a
12	23.03 ± 0.49a	32.8 ± 0.4a	37.3 ± 0.4ab	1.26 ± 0.03b	52.3 ± 0.4a	3.38 ± 0.06b

注:表中同一列不同字母表示具有显著差异( $P < 0.05$ )。

Note: Sharing the same letters in the same column means no significant differences( $P < 0.05$ ) .

年轻切达的风味温和,质地光滑坚实,易切片、切块和粉碎,年老切达风味尖锐,结构易碎,最适合做汤、色拉和意大利面中的配料。



折线的点旁边的不同字母表示显著差异( $P < 0.05$ )。图3 A、5、6同。

Sharing the same letters means no significant differences( $P < 0.05$ ) .

The same as Fig.3, Fig.4, Fig.5, Fig.6.

图2 奶酪的硬度随成熟期的变化

Fig.2 The change of cheese hardness during ripening

## 2.2 切达奶酪成熟过程中的质构变化

切达奶酪属于硬质奶酪的一种,硬度(Hardness)是其功能特性重要的指标。研究表明,切达奶酪的硬度随着奶酪成熟期延长不断增加,在3~9月之间,呈快速增加趋势,在9个月后增加速度放缓。硬度的平均增加速度为22%(图2)。统计表明,3, 6, 9, 12个月成熟度的切达奶酪硬度差异显著( $P < 0.05$ )。切达奶酪成熟过程中,水分的蒸发和微生物的新陈代谢都需要水,含水量不断下降,这是奶酪质地变硬的原因之一。Kaya等<sup>[14]</sup>研究不同盐浓度浸渍后的Gaziantep奶酪的硬度,发现13 d后高浓度(20%~25%)的盐水浸渍的奶酪比低浓度(5%~10%)的更硬。而本研究发现,奶酪的硬度与食盐浓度不一定呈正相关关系,还受到奶酪成熟度的影响。Chen等<sup>[14]</sup>研究表明,奶酪的硬度与化学组分显著相关。奶酪成熟过程中,其蛋白质和脂肪并没有发生显著变化(表1),说明硬度只是一定条件下与化学组分相关,更主要的是受到了内部结构的影响,这是因为蛋白质含量是通过测量氮的含量计

算所得,而氮的存在形式有多种,例如蛋白质、长链肽、短链肽和氨基酸等,不同的存在状态对奶酪质地的影响也不同<sup>[15]</sup>。脂肪也以多种形式存在,例如脂肪球、脂肪颗粒和脂肪酸等。不同的蛋白质和脂肪存在形式才是影响奶酪的功能特性的关键因素。

切达奶酪的黏性(Adhesiveness)前面的负号代表探头受到的作用力方向向下,与大小无关。结果显示,黏性随着成熟度增加呈增大趋势,3, 6与9和12个月成熟度奶酪的黏性差异显著( $P < 0.05$ ),9与12月的黏性则差异不显著。黏度的平均增加速度为17%。随着奶酪成熟的进行,切达中的蛋白质和脂肪被微生物和酶不断降解,蛋白质降解为肽链和氨基酸,亲水基团增多,更易溶于水。脂肪降解为游离脂肪酸。这些都对切达奶酪的黏性起到贡献作用,导致奶酪随着成熟期延长变黏。奶酪如果是用来切片销售,黏度是不利因素,因为黏度过大,奶酪切片以后会重新融合黏连,不利于应用。食用时可能黏牙齿或者上颚,这也是一种质量缺陷。

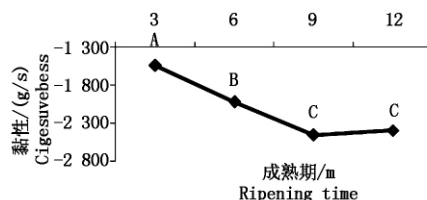


图3 奶酪的黏性随成熟期的变化

Fig.3 The change of cheese adhesiveness during ripening

切达奶酪的回复性(Resilience)随着成熟度增加呈下降趋势,平均下降速度为-12%,3, 12与6和9个月成熟度切达奶酪的回复性差异显著( $P < 0.05$ ),6与9个月的回复性则差异不显著。回复性表示的是第一次压缩循环过程中返回时样品所释放的弹性能与压缩时探头的耗能之比,是表征奶酪弹

性的参数之一,反映的是奶酪快速回调能力。图4说明了年轻奶酪的回复性强,成熟度高的奶酪回复性弱。这是因为年轻奶酪的酪蛋白网络框架比较松散,空洞较多,因而回复性强;成熟度高的奶酪的酪蛋白由于微生物和酶降解的作用,架构逐渐分解并塌陷,因而回复性不强。

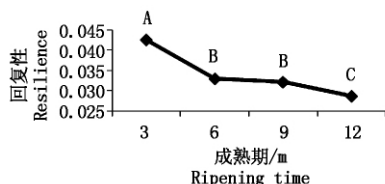


图4 奶酪的回复性随成熟期的变化

Fig. 4 The change of cheese resilience during ripening

耐咀性(Chewiness)随着切达奶酪的成熟度增加呈增大趋势,平均增加速度为28%,3,6,9和12个月成熟期的耐咀性差异显著( $P < 0.05$ ),耐咀性是硬度、凝聚性和弹性的乘积,与硬度成正相关关系,因而趋势也和硬度类似。这说明了随着奶酪成熟度的增加,奶酪变得更难咀嚼。但是感官试验表明,随着切达奶酪成熟度的增加,奶酪虽然总体变硬了,但是变得酥脆,从而使奶酪变得易于咀嚼<sup>[2]</sup>。这是因为酪蛋白和脂肪的分解成小分子物质,酪蛋白的网络结构受到破坏,结构变短,这时奶酪不仅变得风味更加浓郁,口感也变得更加细腻。说明TPA试验中的咀嚼性表征奶酪的咀嚼特性存在一定的缺陷,至少在表征切达奶酪的咀嚼特性时不准确。

内聚性(Cohesiveness)随着切达奶酪的成熟度增加呈直线下降趋势,平均下降速度为-1.3%,但是各个成熟期差异不显著。

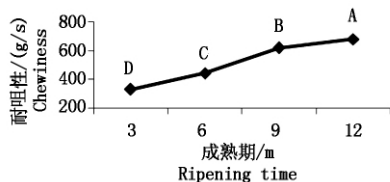


图5 奶酪的耐咀性随成熟期的变化

Fig. 5 The change of cheese chewiness during ripening

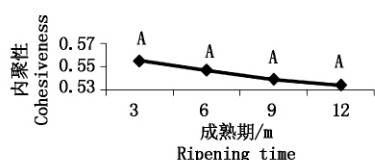


图6 奶酪的内聚性随成熟期的变化

Fig. 6 The change of cheese cohesiveness during ripening

### 3 结论

试验研究了切达奶酪成熟过程中的化学成分包括蛋白质、脂肪、水分、FDM和S/M的变化,以及质

构包括硬度、黏性、回复性、耐咀性和内聚性等功能特性的变化。随着成熟期的延长,切达奶酪的蛋白质、脂肪、大部分时间内水分和氯化钠含量的变化差异不显著( $P > 0.05$ );奶酪的硬度、黏性和耐咀性呈上升趋势,差异显著( $P < 0.05$ );回复性呈下降趋势,差异显著( $P < 0.05$ );内聚性差异不显著( $P > 0.05$ )。同一奶酪成熟期内的质构特性与化学组分的含量大小关系不显著,可能与内部结构变化有关。下一步研究方向是奶酪成熟过程中微观结构的变化以及对奶酪功能特性的影响。

### 参考文献:

- [1] Chevanan N, Muthukumarappan K. Viscoelastic properties of Cheddar cheese: Effect of calcium and phosphorus, residual lactose, salt-to-moisture ratio and ripening time [J]. *Int J Food Prop* 2008, 11(3): 624-637.
- [2] Ong L, Shah N P. Probiotic cheddar cheese: influence of ripening temperatures on proteolysis and sensory characteristics of cheddar cheeses [J]. *J Food Sci* 2009, 74(5): 182-191.
- [3] Rogers N R, Drake M A, Daubert C R *et al.* The effect of aging on low-fat, reduced-fat, and full-fat Cheddar cheese texture [J]. *J Dairy Sci* 2009, 92(10): 4756-4772.
- [4] Whetstone M E C, Luck P J, Drake M A *et al.* Characterization of flavor and texture development within large(291 kg) blocks of Cheddar cheese [J]. *J Dairy Sci* 2007, 90(7): 3091-3109.
- [5] Sheehan J J, Wilkinson M G, Mcsweeney P L H. Influence of processing and ripening parameters on starter, non-starter and propionic acid bacteria and on the ripening characteristics of semi-hard cheeses [J]. *Int Dairy J* 2008, 18(9): 905-917.
- [6] 郑远荣, 刘振民, 刘志东, 等. 温度对市售片状奶酪质构的影响[J]. *食品工业科技* 2011(6): 125-128.
- [7] Rouch D A, Roginski H, Britz M L *et al.* Determination of a nitrogen conversion factor for protein content in Cheddar cheese [J]. *Int Dairy J* 2008, 18(2): 216-220.
- [8] Rahimi J, Khosrowshahi A, Madadlou A *et al.* Texture of low-fat Iranian White cheese as influenced by gum tragacanth as a fat replacer [J]. *J Dairy Sci* 2007, 90(9): 4058-4070.
- [9] Horwitz W. Official methods of analysis of AOAC International [M]. AOAC international Gaithersburg, MD 2000.
- [10] Memahon D J, Motawee M M, Mcmanus W R. Influence of brine concentration and temperature on composition, microstructure and yield of feta cheese [J]. *J Dairy Sci* 2009, 92(9): 4169-4179.
- [11] Lawrence R C, Creamer L K, Gilles J. Symposium—Cheese Ripening Technology—texture development during cheese ripening [J]. *J Dairy Sci* 1987, 70(8): 1748-1760.
- [12] 郭本恒. 干酪[M]. 北京: 化学工业出版社 2004.
- [13] Veronica Wolf I, Alberto Meinard C, Antonio Zalazar C. Production of flavour compounds from fat during cheese ripening by action of lipases and esterases [J]. *Protein and Peptide Letters* 2009, 16(10): 1235-1243.
- [14] Kaya S. Effect of salt on hardness and whiteness of Gaziantep cheese during short-term brining [J]. *J Food Eng* 2002, 52(2): 155-159.
- [15] Chen A H, Larkln J W, Clark C J *et al.* textural analysis of cheese [J]. *J Dairy Sci* 1979, 62(6): 901-907.