

超高压处理对干酪质构的影响

Effect of ultra high pressure on the texture of commercial cheese

张园园^{1,2} 刘振民¹ 郑远荣¹ 肖扬¹

ZHANG Yuan-yuan^{1,2} LIU Zhen-min¹ ZHENG Yuan-rong¹ XIAO Yang¹

(1. 光明乳业股份有限公司研究院乳业生物技术国家重点实验室, 上海 200436; 2. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

(1. State Key Laboratory of Dairy Biotechnology, Technical Center, Bright Dairy and Food Co. Ltd, Shanghai 200436, China; 2. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

摘要: 研究超高压(Ultra High Hydrostatic Pressure, HHP; 200,600 MPa/10 min)处理对 5 种市售干酪的硬度、黏着性、弹性、内聚性、咀嚼性和回复性 6 个功能特性的影响。结果显示,5 种干酪在 200 MPa 处理时,其黏着性、弹性、内聚性、回复性差异不显著($P>0.05$),即较低压力处理对干酪的质构影响不大;超高压处理后,干酪的硬度和耐咀嚼性分别降低 31%,39%,且压力越大降低越显著($P<0.05$);高压处理后蓝纹、稀奶油干酪的内聚性分别增加了 21%,15%;帕马森、切达干酪经超高压处理其各个性质基本无显著变化,而马索里拉、蓝纹、稀奶油干酪的各个功能性均有显著差异,说明超高压处理对干酪质构的影响与水分含量有关,即水分含量越高的干酪其质构受超高压处理变化越显著。

关键词: 超高压;市售干酪;质构剖面分析(TPA);功能特性

Abstract: The effect of the ultrahigh Pressure (200, 600 MPa/10 min) treatment on the texture of 7 kinds of functional characteristics of 5 kinds of market cheese was studied, including hardness, adhesiveness, springiness, cohesiveness, chewiness, and resilience. According to the results of 5 different kinds of cheese at 200 MPa pressure processing, the adhesiveness and cohesiveness resilience were not significant difference ($P>0.05$), which means the effect of low ultrahigh pressure processing pressure on cheese texture is not much. Under the ultra-high pressure treatment, the hardness and chewiness of cheese significantly reduced 31% and 39%, respectively, which were reducing significantly with the higher of pressure ($P<0.05$). After high pressure treatment, the cohesiveness of the blue cheese and cream cheese increased significantly by 21% and 15%, respectively. Under the ultra-high pressure treatment, the parmesan cheese and cheddar cheese mainly had no significant change

in the functional characteristics, but mozzarella cheese, blue cheese, cream cheese were significantly differences, mean that the cheese which has higher moisture content its texture effected more significantly by ultrahigh pressure processing.

Keywords: ultra-high pressure; commercial cheese; texture profile analysis (TPA); functional characteristics

传统的加工方式会对干酪的品质和风味造成不利影响^[1]。HHP 作为新型技术指在室温或温和加热条件下利用 100~1 000 MPa 的压力处理食品,以达到杀菌、钝酶和加工食品的目的。这项技术处理过程简单,且处理后无残留,是被美国农业部食品安全与检查局认证的,被消费者接受的加工技术^[2]。HHP 在食品工业化生产中的应用从 1990 年的 1 种增长为 2009 年的 130 种产品,截至 2014 年全球大概已有 56 家公司使用超高压技术加工食品^[3]。HHP 技术在食品加工中的应用有超高压设备投资成本高、设备耗材寿命短等局限性。但随着超高压技术的不断发展,这些问题正逐渐得到解决和改善。对于 HHP 处理在干酪加工中的应用,起初应用于原料奶的处理和干酪的生产发展到 HHP 直接处理压紧的凝乳块和成熟的干酪。Serrano 等^[4] 研究发现对未成熟切达干酪(Cheeddar cheese)颗粒施加中压处理(345 MPa 或 483 MPa) 7 min 能够改变其微观结构和质构特征,并使其具有良好的拉丝性能。HHP 作为一个纯物理过程,在保持干酪原有的营养成分前提下,可杀死微生物、提高干酪产量、缩短成熟期。其在改善干酪品质,延迟干酪保藏期方面有非常好的应用前景。目前,已有一些 HHP 处理的干酪及相关产品出现在欧洲市场,包括三明治馅、切达干酪点心、奶油干酪和干酪牛肉干等,此类产品货架期较长、不含病原菌并具有清洁标签^[5]。中国还没有出现产业化的超高压干酪,HHP 的应用将填补中国市场上该类产品的空白。

质构是评价奶酪质量和功能特性以及判别消费者对奶酪总体评价和喜好选择的重要依据。它与干酪的成分、组成、微观结构等状态有关^[6]。奶酪的质构分析主要有 3 种类

基金项目:上海市优秀技术带头人计划(编号:14XD1420300)

作者简介:张园园,女,上海海洋大学在读硕士研究生。

通信作者:刘振民(1974—),男,光明乳业股份有限公司教授级高级工程师,博士。E-mail: liuzhenmin@brightdairy.com

收稿日期:2017-01-02

型:经验评价^[7]、仪器测试^[8]和仿生测试^[9],仪器测试因快速、客观、重复性强、连续化和量化等优点,得到广泛应用。质构仪围绕作用力、距离、时间3个因素进行测试,测定原理是模拟人的触觉,其主要反映的是与力学特性密切相关的食品质地特性。Shama等^[10]利用质构仪对奶酪进行分析。HHP在干酪中的应用中一般以200 MPa为较低压力,而600 MPa为较高压力^[11],本研究以这两个压力值作为基准点拟考察HHP(200,600 MPa/10 min)处理对5种市售干酪硬度、黏着性、弹性、内聚性、咀嚼性和回复性6个功能特性的影响,适宜的HHP条件能够有效地改善干酪的质地,不适宜则反之,本研究旨在为超高压技术在干酪加工中的应用提供一定的理论参考。

1 材料和方法

1.1 材料和仪器

帕马森干酪:特硬质干酪,产地意大利;

切达干酪:硬质干酪,产地美国;

马索里拉干酪:半硬质干酪,产地美国;

蓝纹干酪:半硬质,产地丹麦;

稀奶油干酪:软质干酪,产地美国;

质构分析仪:TA-Hdi型,TA.XTplus超技仪器有限公司;

超高压设备:FPG7100型,德国IKA公司;

水分测定仪:MB45型,瑞士Ohaus公司。

1.2 试验方法

1.2.1 样品处理 每组干酪用取样袋取3 g,每组3份,样品迅速切碎,立即用取样袋密封,避免水分散失,用于干酪的水分测量。

每组干酪用取样器切割为规则长方体(2.5 cm×2.5 cm×2.5 cm),取样后,立即用聚乙烯袋子真空包装样品干酪。未经处理的真空包装干酪被用来作为对照样品。处理条件200 MPa/10 min/25℃、600 MPa/10 min/25℃。加压后再进行质构测量。

1.2.2 测定参数

(1)水分测定:用水分测定仪测定干酪的水分含量,每组干酪平行测定3次。

(2)质构测定:采用TPA二次下压法;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5 mm/s;下压距离5 mm;触发力值1 g;探头类型P/0.5R、p/5。每组干酪平行测定6次。

1.2.3 数据处理 利用TA-Hdi型质构分析仪自带软件Exponent 5.0进行处理获得奶酪的硬度、黏性、弹性、内聚性、耐嚼性和回复性等功能特性数据。质构数据结果利用统

计分析软件SAS 9.0进行方差分析。

2 结果与讨论

2.1 5种干酪的水分测定

5种干酪水分含量测定的结果见表1,其中水分含量从低到高依次为:帕马森干酪、切达干酪、蓝纹干酪、马索里拉干酪、稀奶油干酪。其中马索里拉干酪、蓝纹干酪、稀奶油干酪的水分含量较高。水分含量较低的干酪质地较硬,水分含量较高的干酪质地较软。

表1 5种干酪的水分含量

Table 1 The moisture contents of five kinds of market cheese

干酪种类	帕马森干酪	切达干酪	马索里拉干酪	蓝纹干酪	稀奶油干酪
水分含量/%	33.2	36.0	47.4	46.3	55.3

2.2 对干酪硬度的影响

硬度表示达到预定形变时需要的力,感官上表现为白齿压缩奶酪所需的力^[12]。干酪的水分含量越高其硬度越低。超高压处理对干酪硬度的影响见表2,帕马森干酪的硬度加压前后变化不显著($P>0.05$);马索里拉、蓝纹、稀奶油干酪加压后硬度变化显著($P<0.05$),平均下降了35%,39%,31%。并且与对照组相比施加200 MPa压力时5种干酪的硬度平均下降了25.5%,600 MPa时平均下降了37%。

研究发现高达干酪^[13](Gouda cheese)经225 MPa、马索里拉干酪^[14](Mozzarella cheese)经200 MPa处理后其硬度降低。本试验结果显示5种干酪的硬度整体呈下降趋势,且随着压力的增加硬度下降越显著;低水分含量的帕马森干酪的硬度加压前后硬度变化不显著;而水分含量较高的马索里拉、蓝纹、稀奶油干酪加压后硬度变化显著($P<0.05$),其中马索里拉、蓝纹干酪压力越大硬度下降越大。超高压处理对干酪的硬度影响较显著。Juan等^[15]发现,与对照组干酪相比,HHP处理的干酪保水性增加即水分含量增加。HHP对干酪硬度的影响是因为HHP处理可以改变干酪中水和盐的分布,增加水分含量从而降低硬度。将超高压技术应用于干酪生产时,通过调整超高压的压力条件可有效控制产品的目标硬度。

2.3 对干酪黏着性的影响

黏着性表示样品在口中咀嚼的黏性,食用干酪时将干酪从上腭分离所需要的力^[12]。超高压处理对干酪的黏着性的影响见表3,数据显示,5种干酪的黏着性与对照组相比施加较低压力(200 MPa)时均无差异显著性,施加较高压力

表2 超高压处理对干酪硬度的影响[†]

Table 2 Effect of ultra high pressure on the hardness of commercial cheese

压力/MPa	帕马森干酪/g	切达干酪/g	马索里拉干酪/g	蓝纹干酪/g	稀奶油干酪/g
对照	2 476.29±92.02 ^a	1 567.84±170.98 ^b	790.50±57.08 ^c	440.55±28.24 ^b	301.59±42.38 ^b
200	2 558.94±274.01 ^a	1 466.30±214.06 ^b	566.53±30.45 ^b	286.52±36.48 ^a	196.90±19.67 ^a
600	2 472.64±227.36 ^a	844.68±334.25 ^a	459.27±31.60 ^a	251.99±30.86 ^a	219.09±23.85 ^a

[†] 数字后面不同的字母表示差异显著($P<0.05$)。

表 3 超高压处理对干酪黏着性的影响[†]

Table 3 Effect of ultra high pressure on the adhesiveness of commercial cheese

压力/MPa	帕马森干酪/ (g·s ⁻¹)	切达干酪/ (g·s ⁻¹)	马索里拉干酪/ (g·s ⁻¹)	蓝纹干酪/ (g·s ⁻¹)	稀奶油干酪/ (g·s ⁻¹)
对照	-57.09±8.37 ^a	-64.23±23.34 ^a	-57.48±9.56 ^a	-81.70±18.99 ^a	-175.44±20.23 ^a
200	-55.52±10.08 ^a	-60.85±21.81 ^a	-54.03±5.72 ^a	-80.56±9.81 ^a	-176.80±18.80 ^a
600	-52.61±9.02 ^a	-62.30±21.31 ^a	-54.23±14.83 ^a	-64.46±17.37 ^b	-80.66±8.63 ^b

† 数字后面不同的字母表示差异显著(P<0.05)。

(600 MPa)时蓝纹和稀奶油干酪变化显著,分别降低了21.1%,54.0%,其它干酪无差异显著性。

黏着性是消费者评价干酪质量重要依据之一,食用干酪时,适当的黏着性对风味的释放和口感是有益的,但是过高的黏着性会引起粘连包装、食用时黏附上颚等问题,应用超高压控制干酪的黏着性是很有意义的。Charles O.R. Okpala等^[16]发现增大 HHP 压力时(100~300 MPa)新鲜奶酪的黏着性显著降低。本试验结果显示 5 种干酪加压前后其黏性有不同程度的下降,这些变化可能源于超高压造成的疏水作用的减弱。超高压处理条件为低压时,对干酪的黏着性影响较小。相对蓝纹和稀奶油干酪,水分含量不高的干酪如帕马森、切达、马索里拉干酪的黏着性受超高压的影响较小。

2.4 对干酪弹性的影响

弹性表示用舌头和上腭压缩食品后恢复到初始形状,连续几次咬样品后的回弹属性^[12]。超高压处理对干酪弹性的影响见表 4,施加 200 MPa 的压力时,与对照组相比 5 种干酪的弹性无显著性差异,600 MPa 压力时马索里拉干酪下降 16%,稀奶油干酪下降 26%。

N. Koca 等^[17]研究发现白色盐渍干酪(White-Brined Cheese)经 HHP 处理(200,400 MPa/15 min)后其弹性显著(P<0.05)降低。结果显示 5 种干酪加压后弹性整体都呈下降趋势,与对照组相比施加较低压力(200 MPa)时 5 种干酪的弹性无显著性差异,施加 600 MPa 压力时稀奶油干酪弹性的变化在 5 种干酪中最显著。HHP 处理过的奶酪相比与未

经处理的奶酪弹性较弱。压力引起的弹性变化归因于蛋白质内破裂的非共价相互作用^[13]和酪蛋白与钙平衡的复杂变化^[18]。而超高压处理条件为较低压时,干酪可以很好地保持弹性功能。

2.5 对干酪内聚性的影响

内聚性表示用磨牙咬穿样品前的最大形变样品破碎的难易程度^[12]。超高压处理对干酪内聚性的影响见表 5,数据显示,与对照组相比,帕马森和切达干酪加压前后内聚性变化不显著,蓝纹和稀奶油干酪变化显著,呈增加趋势,与对照组相比分别增加了 21%,15%。马索里拉干酪在施加 200 MPa 时变化不显著,600 MPa 时显著降低 13%。

本试验结果表明,超高压处理后 5 种干酪的内聚性基本呈增加趋势,马索里拉干酪降低,蓝纹和稀奶油干酪变化显著,与压力大小非线性关系。水分含量较高的干酪其内聚性更易受超高压的影响,此外也可以通过适宜的超压条件改善干酪的内聚性。

2.6 对干酪耐咀性的影响

咀嚼性为二次特性表示把样品咀嚼到吞食状态的咀嚼次数、做功及所需时间^[12]。超高压处理对干酪内聚性的影响见表 6,数据显示,与对照组相比,加压后切达干酪的耐咀性变化不显著,帕马森、马索里拉、蓝纹、稀奶油干酪平均降低 61.5%,38.5%,13.8%,40.5%。加压 200 MPa 和 600 MPa 时 5 种干酪的耐咀性分别平均下降了 35%,43%。

随着奶酪成熟度的增加,奶酪变得更难咀嚼。适当的咀

表 4 超高压处理对干酪弹性的影响[†]

Table 4 Effect of ultra high pressure on the springiness of commercial cheese

压力/MPa	切达干酪	马索里拉干酪	蓝纹干酪	稀奶油干酪
对照	0.46±0.18 ^a	0.88±0.02 ^b	0.76±0.16 ^a	0.94±0.23 ^b
200	0.40±0.12 ^a	0.87±0.02 ^b	0.70±0.10 ^a	0.91±0.15 ^b
600	0.42±0.12 ^a	0.74±0.03 ^a	0.74±0.12 ^a	0.70±0.14 ^a

† 数字后面不同的字母表示差异显著(P<0.05)。

表 5 超高压处理对干酪内聚性的影响[†]

Table 5 Effect of ultra high pressure on the cohesiveness of commercial cheese

压力/MPa	帕马森干酪	切达干酪	马索里拉干酪	蓝纹干酪	稀奶油干酪
对照	0.10±0.06 ^a	0.15±0.04 ^a	0.79±0.01 ^b	0.14±0.05 ^a	0.35±0.02 ^a
200	0.09±0.03 ^a	0.16±0.06 ^a	0.77±0.01 ^b	0.23±0.01 ^b	0.41±0.04 ^b
600	0.09±0.06 ^a	0.16±0.06 ^a	0.72±0.01 ^a	0.20±0.06 ^{ab}	0.41±0.02 ^b

† 数字后面不同的字母表示差异显著(P<0.05)。

表6 超高压处理对干酪耐咀性的影响[†]

Table 6 Effect of ultra high pressure on the chewiness of commercial cheese

压力/MPa	帕马森干酪/g	切达干酪/g	马索里拉干酪/g	蓝纹干酪/g	稀奶油干酪/g
对照	103.19±75.45 ^b	187.34±83.38 ^a	530.88±36.86 ^c	31.92±14.51 ^a	105.26±43.49 ^b
200	38.20±8.03 ^a	187.24±112.13 ^a	361.93±15.90 ^b	34.40±5.03 ^a	62.85±9.25 ^a
600	41.15±16.18 ^a	183.73±132.73 ^a	290.45±22.86 ^a	24.64±5.93 ^b	61.80±8.17 ^a

[†] 数字后面不同的字母表示差异显著(P<0.05)。

嚼性使食用奶酪时口感丰满。本试验结果表明,经超高压处理后,5种干酪的耐咀性整体呈下降趋势,且随着压力的增加耐咀性下降越显著,说明超高压处理对干酪的耐咀性影响较大,施加压力的大小是影响耐咀性的一个关键因素。耐咀性与硬度呈正相关关系,HHP作用使得硬度显著降低,耐咀性也降低。

2.7 对干酪回复性的影响

回复性是衡量奶酪被咬第一口后恢复至初始位置的能力^[12]。超高压处理对干酪回复性的影响见表7,数据显示,

帕马森、切达、蓝纹干酪加压前后,其回复性均无显著性差异。与对照组相比,施加200 MPa压力时5种干酪的回复性均无显著性差异。600 MPa压力时马索里拉和稀奶油干酪回复性变化显著,前者降低了27%和后者增加了33%。

本试验结果显示5种干酪加压前后其回复性有不同程度的下降,且施加压力越高,对干酪的回复性影响越大。水分含量相对较高的马索里拉、稀奶油干酪加压后其回复性变化更显著。干酪回复性的降低,可能是在压力作用下,酪蛋白网络结构塌陷交融,而且水分含量越高,塌陷程度越明显。

表7 超高压处理对干酪回复性的影响[†]

Table 7 Effect of ultra high pressure on the resilience of commercial cheese

压力/MPa	帕马森干酪	切达干酪	马索里拉干酪	蓝纹干酪	稀奶油干酪
对照	0.04±0.01 ^a	0.05±0.02 ^a	0.41±0.03 ^b	0.05±0.03 ^a	0.09±0.01 ^a
200	0.03±0.01 ^a	0.06±0.02 ^a	0.38±0.03 ^b	0.06±0.01 ^a	0.09±0.03 ^a
600	0.04±0.02 ^a	0.06±0.02 ^a	0.30±0.01 ^a	0.05±0.01 ^a	0.12±0.02 ^b

[†] 数字后面不同的字母表示差异显著(P<0.05)。

3 结论

本试验研究了超高压(200,600 MPa/10 min)处理对5种干酪的硬度、黏着性、弹性、内聚性、咀嚼性和回复性6个功能特性的影响。结果显示,5种干酪在低压处理(200 MPa)时,其黏着性、弹性、内聚性、回复性差异不显著,即超高压的处理压力低时对干酪的质构影响并不大;与其它功能性相比,经超高压处理对干酪的硬度和耐咀性的影响最显著,平均显著降低31%,39%,200 MPa时平均降低31%,600 MPa时平均降低40%,即压力越大干酪的硬度和耐咀性降低越显著;高压处理后蓝纹、稀奶油干酪的内聚性分别增加了21%,15%;帕马森干酪(特硬质干酪),切达干酪(硬质干酪)经超高压处理其各个性质基本无显著变化,而马索里拉干酪(半硬质干酪)、蓝纹干酪(半软质干酪)稀奶油干酪(软质干酪)的各个功能性均有显著差异,即水分含量越高的干酪其质构受超高压处理变化越显著。将适宜条件的HHP技术应用于干酪加工中对于干酪的产业化具有研究意义。同时其在干酪保藏期等其它方面的应用有待进一步研究。

参考文献

- [1] 卢阳,孙鑫贵,董翠霞,等. ESL乳加工技术的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(10): 135-138.
- [2] 周林燕,廖红梅,张文佳,等. 食品高压技术研究进展和应用现状[J]. 中国食品学报, 2009, 9(4): 165-169.
- [3] 王薇. “超高压+”让全球果蔬汁加工业步入“鲜”时代[N]. 中国

食品报,2016-08-23(006).

- [4] SERRANO J, VELAZQUEZ G, LOPETCHARAT K, et al. Moderately high hydrostatic pressure processing to reduce production costs of shredded cheese: microstructure, texture, and sensory properties of shredded milled curd cheddar[J]. Journal of Food Science, 2005, 70(4): S286-S293.
- [5] BAJOVIC B, BOLUMAR T, HEINZ V. Quality considerations with high pressure processing of fresh and value added meat products[J]. Meat Science, 2012, 92(3): 280-289.
- [6] GUINEE T P. Effects of Natural Cheese Characteristics and Processing Conditions on Rheology and Texture: The Functionality of Cheese Components in the Manufacture of Processed Cheese [M]. [S. l.]: Processed Cheese And Analogues, 2011: 81-109.
- [7] FOEGEDING E A, DRAKE M A. Invited review: Sensory and mechanical properties of cheese texture[J]. Journal of Dairy Science, 2007, 90(4): 1 611-1 624.
- [8] LUCEY J A, JOHNSON M E, HORNE D S. Invited Review: Perspectives on the Basis of the Rheology and Texture Properties of Cheese[J]. Journal of Dairy Science, 2003, 86(9): 2 725-2 743.
- [9] GONZÁLEZ R, MONTOYA I, CÁRCEL J. Review: the Use of Electromyography on Food Texture Assessment [J]. Food Science & Technology International, 2001, 1(7): 461-471.
- [10] SHAMA F, SHERMAN P. Evaluation of some textural properties of foods with the instron universal testing machine[J]. Journal of Texture Studies, 1973, 4(3): 344-352.

(下转第61页)

- [10] CAO Yu-hua, GONG Wen-jun, LI Nan, et al. Comparison of microemulsion electrokinetic chromatography with high-performance liquid chromatography for fingerprint analysis of resina draconis[J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2008, 392(5): 1 003-1 010.
- [11] 肖花艳, 易延逵. 中药材指纹图谱的研究概况[J]. *中国医药指南*, 2012, 10(25): 292-294.
- [12] 王燕, 王斌, 徐峰峰, 等. 基于聚类分析法和双指标分析法的淡菜红外指纹图谱比较研究[J]. *中国食品学报*, 2013, 13(1): 178-182.
- [13] 张玖, 姜洪芳, 张卫明. 花椒呈香部位的气相色谱指纹图谱研究[J]. *中国野生植物资源*, 2003, 22(5): 49-52.
- [14] 杜文倩, 史波林, 欧克勤, 等. 基于麻味物质构成特征的红花椒高效液相色谱指纹图谱建立研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2016, 7(3): 1 138-1 144.
- [15] 董小玲. 菜籽品种可见近红外光谱鉴别研究[J]. *食品与机械*, 2013, 29(2): 64-67.
- [16] 蔡皓, 秦昆明, 刘晓, 等. 用共有峰率和变异峰率双指标序列分析法分析百合的红外指纹图谱[J]. *红外*, 2010, 31(11): 38-43.
- [17] 董彬, 孙素琴, 周红涛, 等. 红外光谱和聚类分析法无损快速鉴别赤芍[J]. *光谱学与光谱分析*, 2002, 22(2): 232-234.
- [18] 刘海静, 许长华, 李伟明, 等. 基于红外指纹图谱的螺旋藻品质分析和蛋白含量测定[J]. *光谱学与光谱分析*, 2013, 33(4): 977-981.
- [19] 单鸣秋, 姚晓东, 池玉梅, 等. 侧柏叶红外指纹图谱共有峰率和变异峰率双指标序列分析法[J]. *光谱学与光谱分析*, 2009, 29(8): 2 092-2 095.
- [20] 齐海燕, 武亚会. 花椒的红外光谱指纹图谱研究[J]. *中国调味品*, 2014, 39(5): 111-113.
- [21] 吉卉. 基于红外光谱的花椒品质快速检测技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
- [22] 王刚, 祝诗平, 阚建全, 等. 花椒挥发油含量的近红外光谱无损检测[J]. *农业机械学报*, 2008, 39(3): 79-81.
- [23] 李洋, 魏安智, 杨途熙, 等. 花椒生物碱和挥发油含量的近红外光谱无损检测[J]. *食品工业*, 2012, 33(5): 122-125.
- [24] 邹华彬, 袁久荣, 杜爱琴, 等. 甘草水提物红外指纹图谱共有峰率和变异峰率双指标序列分析法[J]. *中成药*, 2004, 26(10): 779-783.
- [25] 庞涛涛, 张绪言. 苦丁茶紫外图谱共有峰率和变异峰率双指标序列分析法[J]. *长江大学学报: 自科版*, 2012, 9(1): 486-489.
- [26] 国家药品监督管理局. 中药注射剂指纹图谱研究的技术要求(暂行)[J]. *中成药*, 2000, 22(10): 671-675.
- [27] 王燕, 王斌, 徐焯志, 等. 基于聚类分析和主成分分析法的淡菜醇提物红外指纹图谱[J]. *水产学报*, 2012, 36(7): 1 146-1 152.
- [28] 陈前锋, 侯鹏, 刘巧, 等. 红外光谱法快速鉴别不同产地中药党参的研究[J]. *西南大学学报: 自然科学版*, 2016, 38(6): 188-194.
- [29] BARTH A. Infrared spectroscopy of proteins[J]. *Biochimica Et Biophysica Acta*, 2007, 1 767(9): 1 073-1 101.
- [30] 毛晓丽, 覃禹, 蔡鹃, 等. 两面针红外指纹图谱与抗癌活性的谱效研究[J]. *红外与毫米波学报*, 2013, 32(1): 91-96.
- [31] 麦曦, 欧阳婷, 曹郁生, 等. 红外二阶导数指纹图谱用于紫花地丁药材的产地分类[J]. *理化检验: 化学分册*, 2011(1): 12-14.
- [32] 徐柏颐, 谈献和, 朱华云, 等. 黄蜀葵花红外指纹图谱的研究[J]. *中国现代中药*, 2011, 13(4): 12-14.
- [33] 赵晨, 李蓉, 邹国林. 桂丁、花椒挥发油抗氧化活性及其方法研究[J]. *武汉大学学报: 理学版*, 2008, 54(4): 447-450.
- [34] 张艳军. 花椒黄酮和多酚含量及抗氧化活性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013: 33-36.
- [35] 余晓琴. 花椒品质评价方法及其应用研究[D]. 北碚: 西南大学, 2010.
- [36] 孔德鑫, 黄庶识, 黄荣韶, 等. 基于双指标分析法和聚类分析法的鸡骨草红外指纹图谱比较研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2010, 30(1): 45-49.
- [37] 余晓琴, 张丽平, 阚建全. 红花椒和青花椒 HPLC 指纹图谱的分析[J]. *食品与发酵工业*, 2012, 38(4): 171-174.
- [38] 宋丽, 刘友平. 花椒与青椒 HPLC 指纹图谱的比较研究[J]. *中药材*, 2012, 35(1): 39-42.
- [39] 李晓燕, 李忠海, 杨代明, 等. 基于模糊聚类分析的辣椒制品表观辣度分级研究[J]. *食品与机械*, 2009, 25(2): 42-47.

(上接第 50 页)

- [11] DEVI A F, LIU L H, HEMAR Y, et al. Effect of high pressure processing on rheological and structural properties of milk-gelatin mixtures[J]. *Food Chemistry*, 2013, 141(2): 1 328-1 334.
- [12] MEULLENET J F C, CARPENTER J A, LYON B G, et al. Bi-cyclical instrument for assessing texture profile parameters and its relationship to sensory evaluation of texture[J]. *Journal of Texture Studies*, 1997, 28(1): 101-118.
- [13] MESSENS W, WALLE D V D, AREVALO J, et al. Rheological properties of high-pressure-treated Gouda cheese[J]. *International Dairy Journal*, 2000, 10(5): 359-367.
- [14] JOHNSTON D E, DARCY P C. The effects of high pressure treatment on immature Mozzarella cheese[J]. *Milchwissenschaft-milk Science International*, 2000, 55(11): 617-620.
- [15] JUAN B, FERRAGUT V, GUAMIS B, et al. The effect of high-pressure treatment at 300 MPa on ripening of ewes' milk cheese[J]. *International Dairy Journal*, 2008, 18(2): 129-138.
- [16] CHARLESOR O, JOHN R P, CARL J S. Influence of high-pressure processing (HPP) on physico-chemical properties of fresh cheese[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2010, 11(1): 61-67.
- [17] KOCA N, BALASUBRAMANIAM V M, HARPER W J. High-pressure effects on the microstructure, texture, and color of white-brined cheese[J]. *Journal of Food Science*, 2011, 76(5): E399-E404.
- [18] SERRANO J, VELAZQUEZ G, LOPETCHARAT K, et al. Effect of moderate pressure treatments on microstructure, texture, and sensory properties of stirred-curd cheddar shreds[J]. *Journal of Dairy Science*, 2004, 87(10): 3 172-3 182.