

贻贝热泵干制过程中的品质变化研究

吕飞, 沈军樑, 丁玉庭

(浙江工业大学海洋学院, 浙江杭州 310014)

摘要: 为研究贻贝热泵干制过程中的品质变化, 对其蛋白质变性、脂肪氧化程度和风味与色泽变化等进行了研究。研究表明贻贝在干制过程中蛋白质主要在 55~60 发生变性, 蛋白纤维紧缩和氢键的形成使得组织弹性和硬度增加, 电镜观察到其肌纤维间隙减小、蛋白凝聚程度增加, 质构测试结果验证了其咀嚼性的提升; TBARS 值表明其脂肪氧化随着干制进程呈现先加剧后减缓的趋势, 伴随着蛋白质和脂肪发生的化学变化而进行的风味物质含量变化形成了其独特的风味, 呈鲜的谷氨酸、天冬氨酸和呈甜的甘氨酸和丙氨酸等氨基酸游离程度增加, 使得干制品具有较好的鲜味, GC-MS 结果说明醛类与烃类等其他物质之间在干制过程中发生了相互转化, 挥发性风味物质的含量变化消除了海腥味, 形成干品独特的氧化烘香气味; 贻贝经过干制后颜色加深, 得到以棕褐色为主的干制品, 热泵干制能够得到色、香、味等各方面品质较好的贻贝干品。

关键词: 贻贝干制; 蛋白质变性; 脂肪氧化; 风味; 色泽

文章编号: 1673-9078(2015)6-142-149

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.6.023

Changes in Mussel Quality during Heat-pump Drying

LV Fei, SHEN Jun-liang, DING Yu-ting

(Ocean College, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Quality parameters including protein denaturation, lipid oxidation as well as changes in flavor and color were monitored during heat-pump drying of mussels. The results showed that protein denaturation of mussel meat occurred mainly at drying temperatures between 55 °C and 60 °C, while contraction of protein fibers and formation of hydrogen bonds increased tissue elasticity and hardness. Electron microscopy showed that the gap between muscle fibers decreased and degree of protein aggregation increased, while the texture test confirmed an increase in chewiness. Lipid oxidation, measured in terms of thiobarbituric acid-reactive substances (TBARS) content, increased at the beginning of the drying period and subsequently decreased. The flavor compounds varied in accordance with the changes in protein and lipid, thus generating the unique flavor of mussel meat. There was an increase in the level of free glutamic acid and aspartic acid, which produced a fresh flavor, and that of free glycine and alanine, which produced a sweet flavor, thereby causing the dried products to taste fresh. Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) results showed that there were interconversions between aldehydes and hydrocarbons during the drying period. Changes in volatile odor compounds eliminated the fishy smell and produced a unique aroma in dried mussel meat. The color of dried mussels was a dark brown. Thus, heat pump drying technology can be used to yield high-quality dried mussel products in terms of color, fragrance, and flavor.

Key words: dried mussels; protein denaturation; lipid oxidation; flavor; odor; color

贻贝干作为贻贝市场销售的一种重要形式, 已被越来越多的消费者所喜爱, 贻贝干制后不仅能够保持原有的营养成分, 而且能够根据消费者的不同喜好来进行烹饪^[1-2]。干制后能够有效降低贻贝的水分活度从而延长贮藏时间^[3], 而且方便进一步加工和运输, 近年来贝类等水产品的产量不断增加, 而贻贝由于其季

收稿日期: 2014-09-24

基金项目: 浙江省科技厅重大科技专项重大农业项目 (2013C02023-1)

作者简介: 吕飞, 博士, 副教授, 研究方向食品加工新技术与质量安全控制、水产功能食品化学; 沈军樑: 研究生, 研究方向食品加工新技术与质量安全控制

通讯作者: 丁玉庭, 教授, 博士生导师

节性养殖的特点会造成收获期产品囤积和越冬期供不应求的局面, 通过干制能够有效缓解此类问题, 同时干制过程中贝肉发生的品质变化使贻贝干具有独特的色泽和风味。

目前一些干制脱水研究已经越来越多涉及到水产品, 脱水规律的研究和干制模型的建立也日趋完善^[4]。干制作为一种重要的食品加工手段具有其独特的优势, 从最初的日晒风干到现在各种先进的手段, 干制除了降低水分防止腐败, 也越来越多作为一种风味形成的方式被用于食品制造中^[5]。近年来海产品的干制研究在国内外都十分热门, 如海参、鱿鱼等通过干制后得到的产品由于其营养流失少、风味佳、口感好等

特点深受消费者欢迎^[6-7]。贝类由于其带壳的特点干制的产品不多,贻贝干作为一种比较有代表性的贝类干制品,干制过程中会发生许多物理和化学特征变化,随着物料温度升高和含水率降低,外在表现为其色泽变化,其内部风味物质则伴随着脂肪氧化和蛋白质变性发生转变,最终形成干品独特的色泽、品质和风味^[8]。干制技术的发展近年来十分迅速,设备和技术手段也日趋成熟,而且呈现多种技术设备相结合的趋势,如远红外结合热泵技术、微波结合真空技术等^[7],技术的发展源于生产的需要,热泵干制作为一种节能高效的干制方式具有控制简单、设备投资维护成本低的优点,在食品干制上应用十分广泛,特别是对于贻贝这种颗粒小、处理量大的原料十分适用。

本研究利用热泵干制,对贻贝干制过程中蛋白质变性、脂肪氧化指标进行研究,探索其基础的内在变化,同时从色泽、风味等具有实际意义的质量特征的变化入手,研究其变化规律,为贻贝干制工艺提供一定的理论依据。

1 设备及方法

1.1 材料及方法

贻贝原料由嵊泗县枸杞镇顺达海鲜食品有限公司提供;CR21G II 高速冷冻离心机,日本日立公司;DSC-1 差示扫描量热仪,德国 Mettler Toledo 公司;Hitachi S-4 700 电子显微镜,日本 Hitachi 公司;TA.XT Plus 物性测试仪,英国 Stable Micro Systems 公司;Hunter Lab Color Q 色差仪,美国 Hunter Lab 公司;SCION SQ 456-GC,美国;热泵 GHGR-20。

1.2 材料处理

冷冻干燥处理:贝肉切碎后-80℃预冷 30 min, -65℃冻干 24 h。

电镜:贝肉冻干、制样、喷金后用于电镜观察。

GC-MS 样品处理(固相微萃取法):取 1 g 左右样品置于 15 mL 顶空瓶中,将老化后的 75 μ m Car/PDMS 萃取头插入样品瓶顶空部分,于 50℃吸附 40 min,吸附后的萃取头取出后插入气相色谱进样口,于 250℃解吸 3 min,同时启动仪器采集数据。

贻贝热泵干制样品:取未干制样品(水分含量 68% \pm 1.5%)、干制半小时样品(水分含量 45% \pm 1.5%)、干制 1 h 样品(水分含量 30% \pm 1.5%)、干制 1.5 小时样品(水分含量 20% \pm 1.5%)分别计为一、二、三、四,各样品都均匀取样,图表中以一、二、三、四标注的即分别为此四种样品。

1.3 实验方法

1.3.1 DSC

参考 Shi Q L^[9]的方法,以冻干的新鲜贻贝肉为原料,常温下以 5℃/min 升温至 160℃,再以 5℃/min 降温至 25℃,退火处理,设定温度范围 20℃~160℃,升温速率 2℃/min,氮气流量 40 mL/min,得到 DSC 结果。

1.3.2 质构

修改 Taniwaki M^[10]的方法,探头为 P/5S,触发力 5 g,应变 50%,下行速度 2 mm/s,下压速度 1 mm/s,回升速度 2 mm/s。

1.3.3 TBARS 测定

参考 GB/T 5009.181-2003 的方法,将贝肉剪碎后准确称取 5 g,加入 7.5%三氯乙酸混合溶液,混合静置 30 min,4℃ 8000 r/min 离心 10 min,上清液过滤后取滤液 5 mL 加 5 mL 0.02 mol/L TBA,90℃水浴 40 min,冷水冷却 30 min,532 nm 处比色法测定 A 值,结果与标准曲线对应得到 TBARS 值,根据水分含量换算成干基的值。

1.3.4 氨基酸组分测定

参考 GB/T 5009.124-2003 的方法,采用氨基酸自动分析仪测定。取均质后的贝肉样品 0.1 g,移入 50 mL 容量瓶,用 3%磺基水杨酸溶液溶解并定容,摇匀后过滤,滤液再通过 0.45 μ m 滤膜,条件:0.225 mL/min,茚三酮流量 0.3 mL/min;柱温 53℃。

1.3.5 GC-MS

GC 条件:DB-WAX (30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m) 色谱柱;升温程序:初始温度 40℃,保持 4 min;以 5℃/min 升温至 90℃;再以 10℃/min 升温至 230℃,保持 5 min;进样口温度 250℃;不分流进样;载气:高纯氦气;载气流速:0.8 mL/min。

MS 条件:电离方式为 EI;离子源温度 200℃;四级杆温度 150℃;MS 传输线温度 250℃;电离电压 70 eV,收集电流 200 μ A。

1.3.6 数据分析

利用 Xcalibur(Thermo Scientific)软件对贻贝挥发性成分进行检测,检测到的质谱信息与 NIST 11.L 和 Wiley 275 质谱数据库中的数据进行匹配确认挥发性成分,采用峰面积归一化法进行定量,风味成分以峰面积计算相对量。

2 结果及分析

2.1 贻贝干制过程蛋白质变性情况

2.1.1 DSC

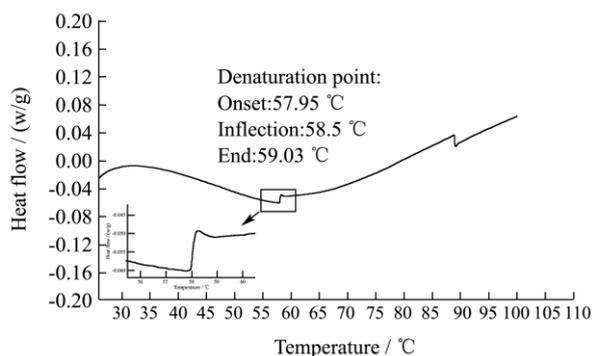


图1 贻贝 DSC 曲线

Fig.1 DSC analysis of mussel

贝肉在随着温度升高的过程中有两个蛋白质变性拐点，干制温度控制在 60 °C 左右，贝肉从常温到 60 °C 时间较短，干制过程中基本处于 60 °C 左右，无法到达接近 90 °C 左右的拐点，而在 55~60 °C 的蛋白质变性主要是组成肌原纤维蛋白的肌球蛋白、肌动蛋白受热变性^[11]，主要表现在肌原纤维蛋白紧缩，肌原纤维的粗丝和细丝凝结。同时贝肉由于脱水作用体积被压缩能够促进蛋白质之间相互作用，这种作用会导致蛋白质之间形成氢键，使组织弹性和硬度增加，肌球蛋白分子发生变性聚合，巯基-二硫键交联使分子结构更加稳定，从而进一步提高组织硬度^[12]。

2.1.2 电镜观察

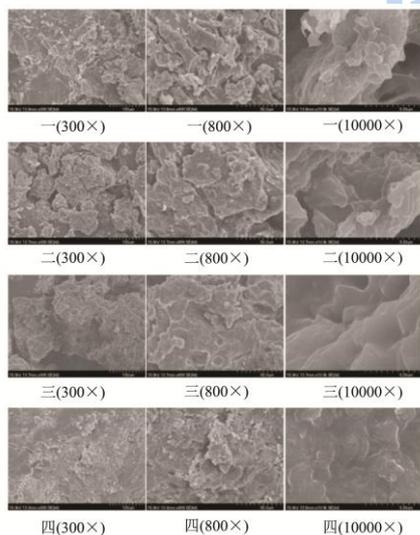


图2 贻贝电镜图片

Fig.2 Electron microscopic images of mussel

在放大 300 倍和 800 倍情况下，可以明显看到纤维外观发生了变化，随着干制脱水进程贝肉开始紧缩，质地变得紧凑，外部表现为肌纤维之间空隙变小；放大到 10000 倍时可以清楚看到肌球蛋白的凝聚情况存在明显差异，一、二号样品的蛋白呈球形，而且比较分散，干制后期发生凝胶结合，且随着干制进程凝胶

程度增加，这个过程主要发生在脱去大部分水以后，这是由于干制前期水主要发生的是表面的脱水作用以及内部的水分往外迁移的过程^[13]，其蛋白质之间的变性连接还未发生。

2.1.3 质构测试

质构结果进一步印证了蛋白质变性使得贝肉硬度和弹性上升，从而使其具有较好的咀嚼性。单一的水分脱除虽然也能对质地提升起到一定作用，然而从表 1 可以发现一号样品到二号样品的上升幅度偏小，而干制过程中脱水速率在前期是最快的，在脱水比较慢的后期其硬度、弹性、咀嚼性的上升反而加快，这说明其质地变化不仅仅由脱水引起，由脱水引起的质地变化结合在一定的温度下的干制引发其中的蛋白纤维紧缩和分子聚合^[14]，才是达到质地快速提升的原因。

表 1 贻贝干制过程质构变化

Table 1 Changes in TPA during drying of mussel

样品	硬度	弹性	内聚性	咀嚼性
一	143.4±25.3 ^a	0.71±0.04 ^a	0.75±0.03 ^a	76.4±18.0 ^a
二	169.1±32.2 ^b	0.78±0.03 ^b	0.74±0.02 ^a	97.6±22.6 ^b
三	195.0±28.6 ^c	0.79±0.02 ^b	0.73±0.03 ^a	112.5±19.3 ^c
四	245.5±20.0 ^d	0.82±0.06 ^c	0.73±0.05 ^a	147.0±16.7 ^d

注：表中数据为平均值±标准差。同一列数值上标不同字母者表示差异显著(P<0.05)。

2.2 贻贝干制过程氧化情况

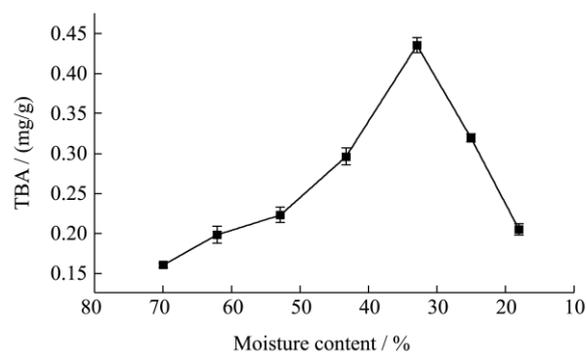


图3 贻贝干制过程 TBARS 变化

Fig.3 Changes in TBARS during drying of mussel

干制温度不同对脂肪氧化情况有一定影响，在不同干制温度下研究干制过程脂肪氧化情况 TBARS 值都呈先上升后下降的趋势，图 3 为 60 °C 干制时的 TBARS 变化，TBARS 值在干制到水分含量 35% 左右时到达最大值后下降，这是由于丙二醛在干制过程中与氨基相互作用，且能被进一步氧化为酸、醇等物质^[15]。以丙二醛为代表的醛类物质在干制时的氧化过程中会与其他物质如烃类、酸类、醇类发生相互转变，

其上升是由于烃类物质转变为醛类，而下降则是醛类进一步氧化变成酸、醇类。

2.3 贻贝干制过程色泽变化

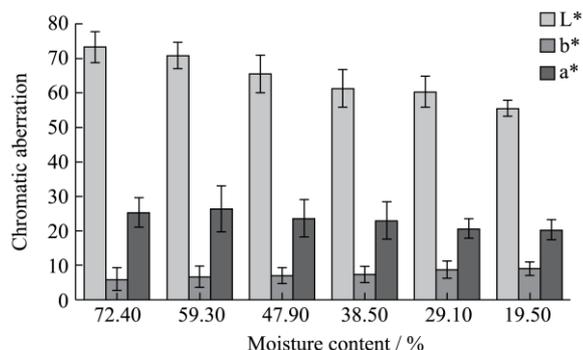


图4 贻贝干制过程色泽变化

Fig.4 Changes in color during drying of mussel

色泽影响食品的视觉效果，同时也能一定程度上反映其品质的优劣。干制品一般具有与独特的色泽，一方面是水分减少导致其色素加深，另一方面干制过程中的化学变化也会是其色泽产生变化。图4种可以看到贻贝随着干制进程L*值明显下降，其下降速率随着失水过程减缓，与脱水速率曲线比较相似，这主要就是由水分减少引起的；L*值的下降和a*值的缓慢上升使得贻贝的颜色不断加深，而b*值在干制初期上升后下降，使得贻贝干品颜色加深的同时不会偏黄，而是一种以棕褐色为主的干制品，在色泽上比较容易被接受。

2.4 贻贝干制过程风味变化

食品风味的产生是建立在复杂的物质基础上，涉及诸多因素，比如食品本身所含营养成分的降解和彼此间的相互作用。贻贝作为一种海产贝类，具有贝类特有的鲜香味、海腥味，经过一定加工处理后贻贝更会呈现出丰富的风味。因此，对贻贝风味物质的研究有助于贻贝产品的加工及品质改善，这里仅对贻贝干制过程中的风味变化进行分析。

甲壳类动物和贝类的滋味很大程度上取决于盐离子、呈味氨基酸等物质，气味方面一些具有风味阈值的挥发性风味化合物则起着贡献作用^[16]，所以从游离氨基酸和挥发性物质入手进行分析。

2.4.1 贻贝干制过程游离氨基酸变化

贻贝干基中蛋白质含量高达53.5%，氨基酸组成完善，必须氨基酸占总氨基酸的33.2%，含有8种必须氨基酸，这使得贻贝营养丰富的同时，其游离氨基酸还能对其风味形成其重要作用。对不同干制阶段游离氨基酸含量进行分析，结合不同氨基酸的呈味作用，

从而了解干制过程氨基酸变化所带来的风味影响。

表2 贝肉干制过程中游离氨基酸含量变化

Table 2 Changes in free amino acid content during drying of mussel

氨基酸	简称	游离氨基酸含量/(g/kg)			
		一	二	三	四
天冬氨酸	Asp	0.59	0.67	1.33	1.89
苏氨酸	Thr	1.06	1.38	0.99	1.07
丝氨酸	Ser	1.39	1.52	1.81	1.97
谷氨酸	Glu	1.18	1.37	3.35	3.98
甘氨酸	Gly	2.23	2.96	4.48	5.22
丙氨酸	Ala	0.77	1.44	2.69	3.01
半胱氨酸	Cys	0.31	0.29	0.27	0.29
缬氨酸	Val	1.04	1.01	1.39	1.23
蛋氨酸	Met	0.02	0.09	0.07	0.07
异亮氨酸	Ile	0.01	0.02	0.00	0.00
亮氨酸	Leu	0.98	0.79	0.77	0.81
酪氨酸	Tyr	0.41	0.39	0.95	1.55
苯丙氨酸	Phe	3.12	3.37	2.96	1.99
组氨酸	His	1.21	1.35	0.97	0.00
赖氨酸	Lys	0.07	0.11	0.19	0.24
精氨酸	Arg	3.44	2.18	2.01	1.19
脯氨酸	Pro	0.43	0.79	0.83	0.67

注：以干基计。

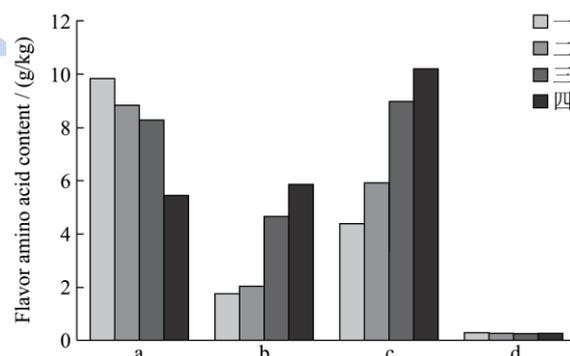


图5 贝肉干制过程呈味氨基酸含量变化

Fig.5 Changes in flavor amino acid content during drying of mussel

注：a:苦味 b:鲜味c:甜味d:含硫风味。

不同氨基酸呈现风味不同，其中异亮氨酸、亮氨酸、组氨酸、缬氨酸、赖氨酸、苯丙氨酸、精氨酸呈苦味；甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸呈甜味；谷氨酸、天冬氨酸呈鲜味；半胱氨酸、蛋氨酸含硫风味。张亮^[17]研究了贻贝中的呈味物质，发现鲜味、甜味和苦味是鲜贻贝中的主要物质，鲜味主要来自谷氨酸，甜味来自甘氨酸和丝氨酸，苦味则比较复杂，除了呈苦味氨基酸以外，还有可能是海水中的盐类。表2列出了不

同干制样品游离氨基酸的含量,图5是不同氨基酸经过呈味分类后的对比。可以明显看出其中的不同变化:呈现苦味的氨基酸含量下降,而呈现良好风味的鲜味和甜味上升,这些呈味氨基酸协同作用,共同对贻贝的鲜甜风味做出贡献。

2.4.2 贻贝干制过程挥发性风味物质变化

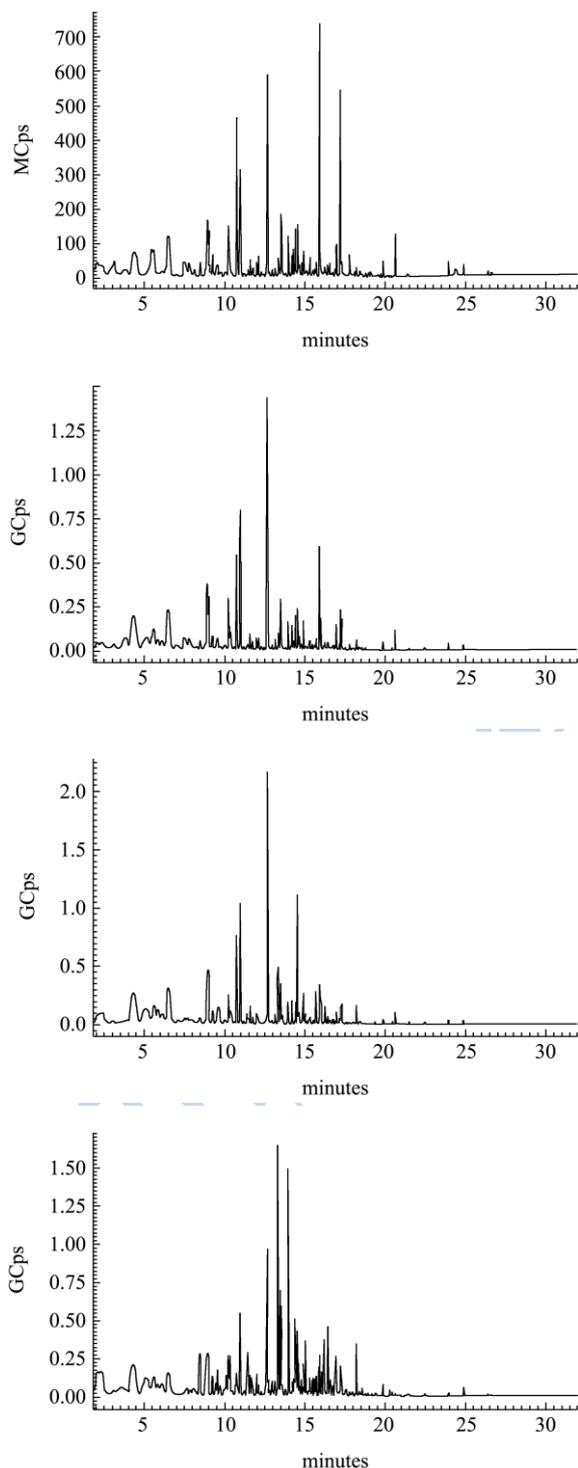


图6 贝肉干制过程挥发性物质 GC-MS 图谱

Fig.6 GC-MS of volatile compounds during drying of mussel

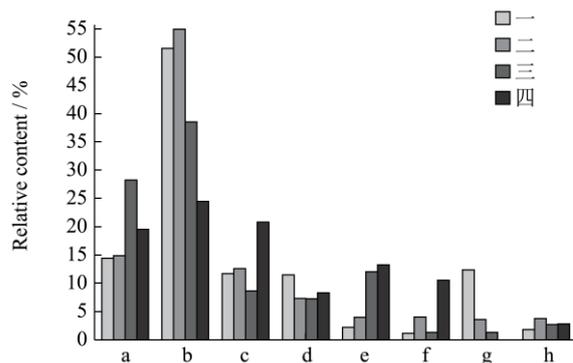


图7 贝肉干制过程挥发性物质含量变化

Fig.7 Changes in volatile compound content during drying of mussel

注: a:烃类 b:醛类 c:醇类 d:酮类 e:酸类 f:酯类 g:芳香族 h:其他。

表3 贝肉干制过程挥发性物质含量变化

Table 3 Changes in volatile compound content in mussel during drying of mussel

化合物名称	保留时间/min	峰面积百分比/%			
		一	二	三	四
烃类					
2-甲基,2,4-己二烯	3.834	1.562			
2,4-二甲基-1,3-戊二烯	3.845		2.931	6.348	4.516
2,2,4,6,6-五甲基庚烷	4.311		1.551	3.217	3.637
正十一烷	5.091		0.543	3.468	3.782
2,7,10-三甲基十二烷	5.19			2.543	2.715
2,6,7-三甲基癸烷	5.612			2.738	
2,6-二甲基辛烷	5.826			2.26	
2,3,5-三甲基癸烷	6.156		1.397	1.222	0.704
2,3,5-三甲基庚烷	8.48			0.719	
5,10-环二氧戊烷	10.128				0.5499
苯乙烯	10.348	1.831	0.728	0.623	0.446
3-甲基十三烷	12.478			0.318	0.449
十八烷	12.978				0.584
3,3-二甲基-1,6-庚二烯	15.3	1.113			
2,5,5-三甲基,1,6-庚二烯	15.307	1.789	0.911	0.611	
十九烷	16.884				0.492
十一酸-2-环戊烷	18.217		0.632	1.241	1.701
醛类					
正戊醛	4.4	9.183	11.932		
2,4-戊二烯醛	6.468	9.893			
正己醛	6.5		9.319	8.649	3.833
庚醛	8.95	9.732	10.974	8.392	7.828
2,4-癸二烯醛	9.986				0.564

转下页

接上页

正辛醛	10.9	7.274	9.802	8.048	4.276
(E)-2-庚烯醛	11.482		0.316	0.335	0.461
壬醛	12.69	8.393	10.312	10.704	5.506
2-辛烯醛	13.15		0.375	0.311	0.573
2,4-二烯醛	14.029				0.695
癸醛	14.181	0.679	0.882	0.738	0.451
苯甲醛	14.437	2.523	1.607	1.078	
2-壬烯醛	14.618	0.887			
(Z)-6-壬烯醛	14.646		0.593		
反,顺-2,6-壬二烯醛	15.296		0.271	0.423	0.773
2-癸烯醛	16.004	1.685			
3, 6-壬二烯醛	18.206	0.769			
醇类					
正丁醇	8.115	0.573			
1-戊烯-3-醇	8.48	0.930	0.491		3.811
异戊醇	9.452				0.682
十三醇	9.584				2.071
正戊醇	10.25	2.668	2.338	1.732	2.117
顺-2-戊烯-1-醇	11.444	0.401			2.109
正己醇	12.001	0.515	0.435	0.449	0.779
1-辛烯,3-醇	13.479	2.036	1.587	1.185	2.631
1-庚醇	13.519	2.560	1.672	1.451	2.494
2-壬烯-1-醇	13.61				0.591
5-二亚乙基三胺-3-醇	13.963		0.768	0.971	1.023
正辛醇	14.916		0.899		0.781
2,3-丁二醇	15.027	0.398		1.068	
1-甲基环庚醇	15.46				0.391
2,7-辛二醇	16.432			0.265	
酮类					
3-羟基-2-丁酮	10.75	7.291	4.475	5.177	1.1122
2,3-辛二酮	11.589	0.831	0.695	0.821	0.737
甲基庚烯酮	11.748	0.560	0.491	0.503	
6-甲基,5-庚烯-2-酮	11.767				0.716
2-壬酮	12.607		0.382		
3,5-辛二烯酮	14.399				0.327
3,5,5-三甲基环己-2-烯酮	15.325		0.241		
甲基壬基甲酮	15.495		0.2237		
9,12,15-十八烷三酮	15.561				0.417
5,6-二氢-吡喃-2-酮	16.578				0.859
6, 7-十二烷二酮	16.711	0.448		0.341	0.431
3-癸烯-2-酮	16.956	1.671	0.763	0.452	1.041
酸类					
乙酸	13.358		0.788	2.454	10.258
丙酸	14.557		1.557	5.963	2.051

正戊酸	15.744	1.103	0.469	1.453	0.882
2-甲基乙酸	16.22	0.966			
3-甲基丁酸	16.242		0.285	1.042	
己酸	18.228		0.423	1.196	
酯类					
乙二酸二丁酯	4.322				8.883
月桂酸甲酯	7.5		2.463		
丁酸丁酯	9.758				0.792
甲酸辛酯	14.897	1.095			
癸酸乙酯	16.027		1.231	1.336	0.884
芳香族					
乙基苯	7.498	3.217	0.329	0.130	
1,2-二甲苯	7.757	1.278	1.615		
二甲苯	7.857	1.119			
对二甲苯	8.804		0.627	0.781	
氯苯	9.51	1.974			
4-乙基甲苯	9.785	0.612			
4-异丙基甲苯	12.253	0.728			
1,2,4,5-四甲苯	13.131	0.51			
苯酚	19.86	0.668			
4-甲基苯酚	20.623	1.319	0.672	0.449	
其他					
吡啶	8.746	0.511	0.334	0.266	
二甲基亚砷	14.775	0.816	0.618	0.668	0.623
甲氧基苯基胍	17.22		1.237	0.502	0.902
2-乙酰基-2-噻唑啉	17.304		1.201	1.238	1.292
吡咪	23.964	0.419			

贝肉中醛类含量最高,变化也比较大,其变化趋势也与 TBA 值的变化相吻合,由于醛类的阈值一般最低,所以对风味有很大的影响,干制过程中产生的各种氧化风味的来源也主要是醛类如烯醛、二烯醛和烷基醛,而这些醛类是由烷烃类氧化而成^[18],所以含量最高的烷烃类和醛类的含量变化基本呈现互补。

烷烃类的芳香阈值较高,虽然其种类多,含量也高,但对贝肉初始的淡腥味和干制过程的氧化风味影响不大,其对提高贝肉整体风味的作用在于其化合物是形成杂环化合物的重要中间体^[19]。

杂环化合物是贝类和其他肉类中一种重要的风味剂,这里主要为吡嗪类和噻唑等,美拉德反应对生成此类物质贡献较大,而其中大部分含有甲基正是由于形成其的烷烃类大部分为甲基硅氧烷。这些杂环化合物风味阈值低,其能够形成坚果香、巧克力香、咖啡香、花生香和烤香能良好风味,如 2-甲基吡嗪、2,5-二甲基吡嗪等,所以对贝类风味有较大影响,噻唑和

吡唑虽然含量少,但是其阈值同样较低,可能会带来一定的苦味^[20]。

贝肉中酸类的含量本身比较少,且阈值比较高,虽然乙酸等会产生刺激性的不良风味,但对于未经过干制或者干制初期的贝肉其贡献不明显,干制后期醛类可以进一步氧化成酸,酸的含量有了大幅提高,特别是乙酸,这可能对风味产生一定的不良影响,但感官上基本无法辨别,可能是由于其他良好风味物质的掩盖作用大大强于其产生的不良风味。同时贝肉干制过程的各个阶段都未检测出胺类物质,胺类物质会产生一些臭味、烂鱼味等的不良气味,这也使得贝肉干制后基本无不良风味。

醇类化合物也由于其风味阈值高,虽然含量随着干制进程有所上升,但是贡献不大,比较典型的如1-辛烯-3-醇,具有较好的清香,但其味觉特性要达到10 mg/kg才能表达。

另一个含量上升明显的是酯类,酯类能够使贝肉在干制过程中有一种独特的风味,如乙二酸二丁酯有很好的芳香气味,而且酯类对提升其他风味化合物的气味有很好的作用,有利于贻贝干风味的加强。

酮类物质虽然含量变化不大,但是种类有所增加,通过美拉德反应和脂类等的降解氧化都有可能生成,其阈值比醛类要高,能够产生很好的风味,如6-甲基,5-庚烯-2-酮、3,5-辛二烯酮有新鲜清香和花果香^[21]。

挥发性物质含量从总体来看,阈值较小且对产生良好风味有促进作用的醛类、酯类等在于干制过程中含量增加和酮类种类增加有助于贻贝干良好风味的产生,而酸类和会产生不良气味的杂环化合物未因干制发生大的变化,使得贻贝在干制完成后形成一种比较诱人的氧化烘香气味。

综合来说,一般海产品都带有不同程度的海腥味,而且容易腐败,通过干制能够很好的解决这两个问题。与其他海产品的干制研究的结果类似,干制作用能够很大程度上实现海产品风味的快速变化,这种变化能够形成跟原产品相比更独特的良好风味^[20-21],而且经过干制水分大量脱除后能够使食品组织结构紧密,并且去掉海产品通常会呈现的泛白色泽^[22],诸如鱿鱼片和一些小型的海水鱼的干制品取得了不错的效果。热泵干制在同类的干制技术中的优势在于其稳定性和均一性,特别是对于贻贝类等小型的海产品能够实现薄层干燥,得到的干制品水分分布更均衡,表面色泽更光滑,很少出现表面风化干硬的情况,这些与本研究的结果都具有有一致性。

3 结论

贻贝干制过程贝肉随着水分降低,会发生明显的蛋白质变性和脂肪氧化,这些变化结合脱水作用能够使贻贝干形成较好的质地和色泽,同时对于贝肉形成独特的干制风味有显著的促进作用,干制贝肉风味随苦味氨基酸含量降低和呈鲜、呈甜氨基酸含量上升而表现出鲜香型的滋味,消除了新鲜贻贝中的海腥味和咸味,挥发性物质含量和总类的变化总体上使得贻贝干产生良好的气味。热泵干制相对于其他干制手段操作方便、控制简单,同时还具有干制均匀性好和节约能源的优点,得到的贻贝干品色、香、味各方面品质都较好。

参考文献

- [1] 段伟文,罗伟,段振华,等.贻贝的加工利用研究进展[J].渔业现代化,2013,40(3):51-55
DUAN Wei-wen, LUO Wei, DUAN Zhen-hua, et al. Advances on the research in the processing and exploitation of mussel [J], Fishery Modernization, 2013, 40(3): 51-55
- [2] 郭玉华,李钰金,吴新颖.贻贝食品的研究进展[J].肉类研究,2009,5:84-87
GUO Yu-hua, LI Yu-jin, WU Xin-ying. Advances on the research of food originated from mussel [J]. Meat Research, 2009, 5: 84-87
- [3] Fang S, Wang Z, Hu X. Hot air drying of whole fruit Chinese jujube (*Zizyphus jujuba* Miller) : thin-layer mathematical modeling [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2009, 44: 1818-1824
- [4] Shi Q L, Xue C H, Zhao Y, et al. Drying characteristics of horse mackerel (*Trachurus japonicus*) dried in a heat pump dehumidifier [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 84(1): 12-20
- [5] 周芳.酱肉加工工艺及挥发性风味物质研究[D].重庆:西南大学,2008
ZHOU Fang. Study on processing technology and volatile compounds of pork cured with sweet soybean paste [D]. Chongqing: Southwest University, 2008
- [6] Mujumdar A S. Drying of fish and seafood [M]. third edition. Boca Raton: CRC Press, 2006: 552-554.
- [7] Deng Y, Wu J, Su S, et al. Effect of far-infrared assisted heat pump drying on water status and moisture sorption isotherm of aquid(*Illex illecebrosus*) fillets [J]. Drying Technology, 2011, 29(13): 1580-1586
- [8] Bellagha, S. Drying kinetics and characteristic drying curve of lightly salted sardine (*Sardinella aurita*) [J]. Drying Technology, 2002, 20(7): 1527-1538

- [9] Shi Q L, Zhao Y, Chen H H, et al. Glass transition and state diagram for freeze-dried horse mackerel muscle [J]. *Thermochimica Acta*, 2009, 493(1): 55-60
- [10] Taniwaki M, Kohyama K. Mechanical and acoustic evaluation of potato chip crispness using a versatile texture analyzer [J]. *Journal of Food Engineering*, 2012, 112(4): 268-273
- [11] Hang Wang, Yongkang Luo, Huixing Shen. Effect of frozen storage on thermal stability of sarcoplasmic protein and myofibrillar protein from common carp (*Cyprinus carpio*) muscle [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2013(48): 1962-1969
- [12] Y Yamashita, N Zhang, Y Nozaki. Effect of chitin hydrolysate on the denaturation of lizard fish myofibrillar protein and the state of water during frozen storage [J]. *Food Hydrocolloids*, 2003(17): 569-576
- [13] David Porter, Fritz Vollrath. Water mobility, denaturation and the glass transition in proteins [J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 2012(1824): 785-791
- [14] Naomi Ishiwatari, Mika Fukuoka, Noboru Sakai. Effect of protein denaturation degree on texture and water state of cooked meat [J]. *Journal of Food Engineering*, 2013(117): 61-369
- [15] 郭月红. 腊肉中脂肪氧化变化及其影响因素研究[D]. 重庆: 西南大学, 2006
GUO Yue-Hong. Study on bacon fat oxidation changes and its influencing factors [D]. Chongqing: Southwest University, 2006
- [16] M G O'Sullivan, D V Byrne, M T Jensen, et al. A comparison of warmed-over flavour in pork by sensory analysis, GC/MS and the electronic nose [J]. *Meat Science*, 2003(65): 1125-1138.
- [17] 张亮. 紫贻贝风味及其即食产品的研究[D]. 浙江: 宁波大学, 2013
ZHANG Liang. Study on the flavor and ready-to-eat product of *mytilus edulis* Linnaeus [D]. Zhejiang: Ningbo University, 2013
- [18] T B Adams, C Lucas Gavin, S V Taylor, et al. The FEMA GRAS assessment of a,b-unsaturated aldehydes and related substances used as flavor ingredients [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2008(46): 2935-2967
- [19] Teresa Cecchi, Barbara Alfei. Volatile profiles of Italian monovarietal extra virgin olive oils via HS-SPME-GC-MS: Newly identified compounds, flavors molecular markers, and terpenic profile [J]. *Food Chemistry*, 2013(141): 2025-2035
- [20] Peixuan Wang, Jian Mao, Xiangyong Meng, et al. Changes in flavour characteristics and bacterial diversity during the traditional fermentation of Chinese rice wines from Shaoxing region [J]. *Food Control*, 2014(44): 58-63
- [21] Ansorena D, Gimeno O, Iciar A, et al. Analysis of volatile compounds by GC-MS of a dry fermented sausage: Chorizo de Pamplona [J]. *Food Res Int*, 2001(34): 67-75
- [22] 汪岳刚, 邓云, 王丹凤, 等. 鱿鱼片远红外热泵干燥中水分迁移及品质变化[J]. *食品与机械*, 2013, 29(6): 34-37
WANG Yue-Gang, DENG Yun, WANG Dan-Feng, et al. changes in moisture state and quality of squid fillets dried by far infrared radiation assisted heat pump drying [J]. *Food and Machinery*, 2013, 29(6): 34-37