冰温真空干燥海鳗鱼片的鲜度和挥发性成分的对比研究

陈青云，万金庆，齐自元，施文正，汪之和
（上海海洋大学食品学院，上海 201306）

摘要：本实验以海鳗鱼片为研究对象，采用高效液相色谱仪和气质联用仪，研究了冰温真空干燥海鳗鱼片的鲜度和挥发性成分的变化，同时与真空冷冻干燥、热风干燥做了实验比较。结果表明：冰温真空干燥鱼片与鲜样相比，鲜度变化不大；挥发性成分含量有所降低；酸价即脂肪氧化程度增加。冰温真空干燥样品和真空冷冻干燥样品的 *K* 值分别为 2.28%和 2.04%，两者差异性不显著，而热风干燥样品的 *K* 值最高为 26.64%。同时冰温干燥样品中 IMP 含量也明显的高于另外两种干燥样品。海鳗肌肉中对风味起主要作用的是羰基化合物和醇类，经过干燥之后冰温真空干燥样品中共检测出 11 种羰基化合物，占总挥发性成分的 38.18%，与新鲜样相比含量有所降低。脂肪酸价方面，新鲜样品、冰温真空干燥样品、真空冷冻干燥样品、热风干燥样品的酸价依次为 1.22、1.74、3.60、4.33。

关键词：冰温真空干燥、真空冷冻干燥、热风干燥、*K* 值、挥发性成分、酸价
文章篇号：1673-9078(2014)3-210-215

Freshness and Volatile Compounds of *Muraenesox cinereus* Fillet with Ice-temperature Vacuum Drying

CHEN Qing-yun, WAN Jin-qing, QI Zi-yuan, SHI Wen-zheng, WANG Zhi-he
(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The changes on freshness and volatile compounds of *Muraenesox cinereus* fillet with ice-temperature vacuum drying were detected by high performance liquid chromatograph and gas chromatograph-mass spectrometer, meanwhile, vacuum freeze drying and hot air drying were used as comparison. The results showed that there was no significant change in *K* value of ice-temperature vacuum drying sample compared with the fresh sample. Volatile compounds content was reduced and acid value, namely fat oxidation degree was increased. *K* values of ice-temperature vacuum drying sample and vacuum freeze drying sample were 2.28% and 2.04%, respectively, with less significant difference. While the highest *K* value of hot air drying sample was up to 26.64%, Meanwhile IMP content in ice-temperature vacuum drying sample was obvious higher than the other two drying samples. Carbonyl compounds and alcohols played main roles in the flavor of *Muraenesox cinereus* muscle. After ice-temperature vacuum drying, 11 kinds of carbonyl compounds (38.18%) were detected, which was less than that in fresh sample. Moreover, acid value of fresh, ice-temperature vacuum drying、vacuum freeze drying and hot air drying sample were 1.22, 1.74, 3.60, 4.33 in turn.

Key words: ice-temperature vacuum drying, vacuum freeze drying, hot air drying, *K* value, volatile compounds, acid value

海鳗为暖水性底层鱼类，一般栖息于水深 50~80 m 泥沙底海区，有季节性洄游，在我国沿海均有分布。由于其营养丰富、肉质细嫩，深受消费者喜爱。但是海鳗本身水分、蛋白质、脂肪含量较高，所以适宜微生物的生长和繁殖，容易引起腐败变质，贮藏期较短，因此需要对海鳗进行适量的加工以延长其货架期。目前，市场上所流通的水产品除冷冻的的产品外，大多数是经过干燥之后的干制品。水产品的干燥方式有很多，如热风干燥、冷冻干燥、微波干燥、冰温干燥等。在众多的干燥技术中，热风干燥设备简单，适应性强，易控制操作，卫生条件较好，但对产品的品质有严重的影响，特别是香味物质，容易挥发[1]；冷冻干燥能消除热损伤，干燥物料的组织结构良好，但是干燥时间长、能耗大，加工成本高，使得冷冻干燥技术在水产品加工中的应用受到很大的限制[1]。20 世纪 70 年代，日本的山根昭美博士率先提出了冰温贮藏技术，冰温指的是零度以下冻结点以上的温度区域，在此范

收稿日期：2013-10-29
基金项目：国家自然科学基金项目（31171764）；上海市科委工程中心建设项目(11DZ2280300)
作者简介：陈青云（1989-），在读研究生，研究方向：水产品加工与贮藏
通讯作者：万金庆（1964-），男，教授，研究方向：食品保鲜技术

围内贮藏食品可以很好地保持食品的鲜度。D. Bahuaud[2]等在-1.5 ℃下贮藏大西洋鲑鱼，四周后鱼肉仍具有很好地鲜度；A. S. Duun[3]等以冰鲜和冷冻大西洋鲑鱼鱼肉作对照，结果显示冰温贮藏下，鱼肉的组织蛋白酶仍保持活性。冰温真空干燥技术就是在冰温贮藏的基础上提出的。冰温真空干燥是将干燥室抽真空，在真空条件下，被干燥物料中的水分蒸发带走热量，使物料温度降低，当物料温度降低到其冰温带后，启动加热系统，为物料提供干燥过程水分蒸发所需要的热量，并维持使水分蒸发所吸收的热量与加热量达到平衡，被干燥物料温度维持在冰温带进行干燥。此种技术有利于保留食品物料的原味，消除常压干燥下产生的食品物料表面硬化现象，克服热风干燥所产生的热敏性物质失散现象，而且在复水时，能得到近似于生鲜品那样的产品[1]。目前，关于水产品的冰温干燥文献少有报道。

本文以海鳗生鲜鱼片作为实验研究对象，研究冰温真空干燥鱼片的鲜度和挥发性成分的变化情况，将冰温真空干燥与传统的真空冷冻干燥、热风干燥技术作对比，分析不同的干燥方式对海鳗品质的影响，为水产品的冰温真空干燥技术的应用打下基础。

1 材料和方法

1.1 实验材料

海鳗：购于上海市桐川路水产品批发市场，体重0.5 kg~1.0 kg/尾，充氧运回实验室。暂养 2 h 左右后宰杀，取其脊背肉，切割成厚度约为 1 cm 的鱼片。

1.2 主要试剂及设备

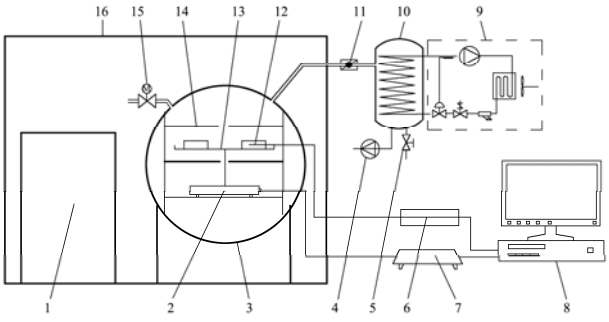


图 1 自制冰温真空干燥实验机

Fig.1 Self-made ice-temperature vacuum drying machine

注：1.冷库门，2.重量传感器，3.真空箱，4.真空泵，5.排水阀，6.数据采集器，7. 电子天平，8. 计算机，9. 制冷系统，10. 冷阱，11. 蝶阀，12. 温度传感器，13. 钢丝网托盘，14. 电加热板，15. 进气阀，16. 冷库。

ATP 及其关联物三磷酸腺苷 ATP、二磷酸腺苷 ADP、肌苷酸 IMP、次黄嘌呤 Hx 标准品，购于 Sigma 公司；一磷酸腺苷 AMP、次黄嘌呤核苷 HxR 标准品，购于日本 TCI 公司；甲醇、磷酸氢二钾和磷酸二氢钾为色谱纯；氢氧化钾、氯化钠、高氯酸（PCA）、磷酸、无水乙醇、酚酞、邻苯二甲酸氢钾为分析纯。

自制冰温真空干燥实验机（如图 1 所示）；DHG-9053A 电热鼓风干燥箱；Minifast 04 真空冷冻干燥机；日本岛津 LC-2010CHT 高效液相色谱仪；AUW320 电子分析天平；湘仪 H2050R 高速冷冻离心机；Agilent-34972A 温度采集仪；FA25 均质机；雷磁 PHS-3C 酸度计；美国 Agilent7890GC-5975MSD 气质联用仪。

1.3 实验方法

1.3.1 三种干燥方法的设定

冰温真空干燥：恒温库温度设定为-1℃；干燥箱压力为 1300~1400 Pa，当鱼片的剩余含水量在 20~30%之间时，停止干燥。

热风干燥：干燥温度为 50 ℃，风速为 1.5 m/s，当鱼片的剩余含水量在 20~30%之间时，停止干燥。

真空冷冻干燥：预冻温度为-30 ℃，干燥时板温为-15 ℃，解析干燥时板温为 20 ℃，干燥室压强为 20~30 Pa，当鱼片的剩余含水量在 5%以下时，停止干燥。

1.3.2 ATP 关联物及 K 值的测定

参考 Yokoyama[4]的方法，略有改动。分别取新鲜样品以及干燥样品各 5 g 加入 10 mL 10%的高氯酸，匀浆，然后 10000 r/min 离心 15 min，取上清液，沉淀用 5 mL 5%的高氯酸洗涤，离心取上清液，重复操作两次，合并上清液，用 10 mol/L 和 1 mol/L 的 KOH 调 pH 至 6.5，静止 30 min，取上清液定容至 50 mL。摇匀，过 0.45 μm 膜后测定。整个过程在 0~4 ℃下操作。

高效液相色谱仪（HPLC）条件：GL Sciences 公司 Inertsil ODS-SP C18（4.6×250 mm，5 μm）液相色谱柱；保护柱柱芯 Inertsil ODS-SP(4×10 mm，5 μm)；流动相：A 为 0.05 mol/L 磷酸二氢钾和磷酸氢二钾（1:1）溶液，用磷酸调至 pH 为 6.5，B 为甲醇溶液；等梯度洗脱；流速：1 mL/min；柱温：28 ℃；进样量：10 μL；检验波长：254 nm。

ATP 及其关联物是水产动物肌肉核苷酸的主要成分，在鱼体内的降解顺序依次为三磷酸腺苷 ATP、二磷酸腺苷 ADP、一磷酸腺苷 AMP、肌苷酸 IMP、次黄嘌呤核苷 HxR、次黄嘌呤 Hx。其中 HxR 和 Hx 之和与 ATP 关联物总量的比值即为 *K* 值[5]。*K* 值是一种公认的鲜度指标，值越小鲜度越好。*K* 值在 20%以下

为一级鲜度，20~40%为二级鲜度，40~60%为三级鲜度，大于 60%即为腐败。

1.3.3 挥发性成分的测定

固相微萃取条件：参考赵辉[6]的方法，略有改动。将海鳗鱼肉绞碎后取 2.5 g 鱼肉与 18 mL 顶空瓶中并加入 2.5 mL 0.18 g/mL 的氯化钠溶液。60 ℃水浴，65 μm PDMS/DVB（聚二甲基硅氧烷/二乙烯基苯）萃取头吸附 40 min，取出后进行 GC-MS 分析。

色谱条件：色谱柱：DB-5ms 弹性毛细管柱（30.0 m×250 μm×0.25 μm）；程序升温：柱初温 35 ℃，保持 3 min，以 3 ℃/min 上升到 40 ℃，保持 1 min，再以 5 ℃/min 上升到 250 ℃，保持 10 min；进样口温度 250 ℃；载气（He）流速 1.29 mL/min；解析时间 5 min；解析温度 250 ℃；不分流进样。

1.3.4 干燥制品油脂酸价的测定

依据 GB/T5530-2005《动植物油脂酸值和酸度的测定》中的实验方法进行。

1.4 数据处理

实验数据均由 Excel、SPSS 等软件进行分析处理。挥发性成分采用气质联用仪计算机的 NIST 和 Wiley 数据库确认定性，且仅当正反匹配度均大于 800（最大值为 1000）时才予以确认，通过面积归一化法求得各挥发性物质在不同样品的挥发性成分中的相对百分含量。

2 结果与分析

2.1 鱼片干燥速率曲线

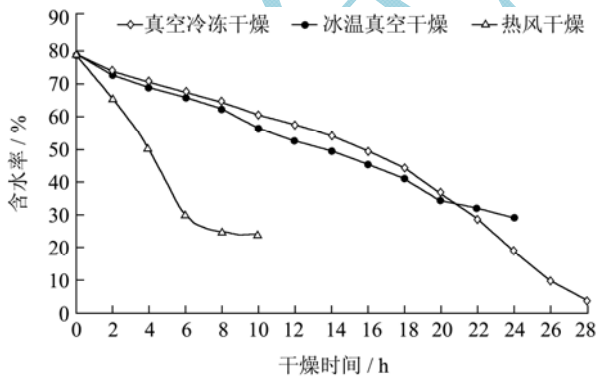


图 2 三种干燥方式下的干燥速率曲线

Fig.2 The drying rate curves of three kinds of drying methods

图 2 为三种干燥方式下的干燥速率曲线。随着干燥时间的增加，鱼片中的水分含量逐渐降低。由于热风干燥与真空冷冻干燥和冰温真空干燥相比温度较高，所以鱼片中的水分蒸发较快，其达到干燥终点所需的时间也最短，为 10 h；其次是处于冰温真空干燥状态下的鱼肉，到达终点所需的时间为 24 h。真空冷冻干燥所需的时间最长，为 28 h。

2.2 ATP 及其关联物标准品的 HPLC 图谱

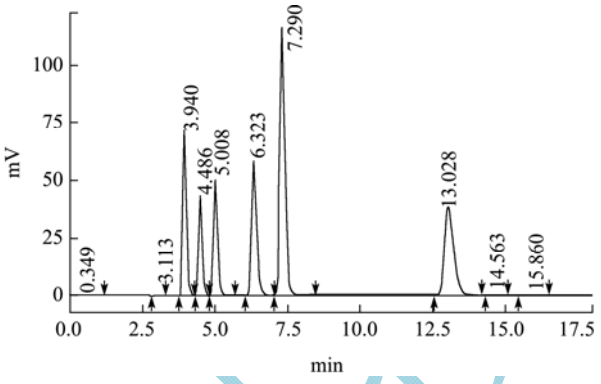


图 3 ATP 及其关联物标准品的高效液相色谱图

Fig.3 High Performance Liquid Chromatogram of the ATP-related standard

图 3 为含有六种 ATP 及其关联物标准化合物的高相液相色谱图。按照由先到后的顺序依次为 IMP、ATP、ADP、AMP、Hx、HxR。ATP 及其关联物在 17 min 内得到有效的分离。

2.3 海鳗鱼片 ATP 关联物含量及 K 值的比较

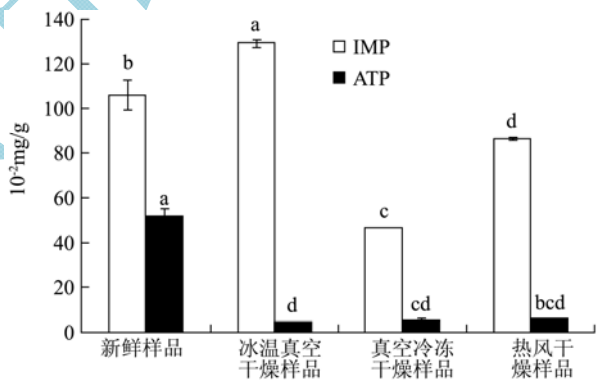


图 4 海鳗鱼片中 IMP 和 ATP 含量比较

Fig.4 The comparison of IMP and ATP in *Muraenesox cinereus* fillet

ATP 及其分解产物是鱼肉中核苷酸的重要组成部分，鱼死后 ATP 在其体内的的降解途径为 ATP→ADP→AMP→IMP→HxR→Hx，其中以 HxR 和 Hx 两者之和与 ATP 及其关联物总量的百分比记为 *K* 值，*K* 值越小，鲜度越好。反之，*K* 值越大，则鲜度越差。同时 ATP 的分解产物也与鱼肉的风味有关，IMP 是肉类物质的主要呈味物质，是一种鲜味极强的增鲜剂[7]。当与谷氨酸共存时 IMP 的呈味阈值下降，因此两者有明显的鲜味增效作用[4]。Yokoyama 等[4]认为 AMP 与糖原作用也可产生鲜味。高含量的 Hx 与腐败鱼肉的苦味有关，Hx 的堆积会导致愉快风味的

失去。

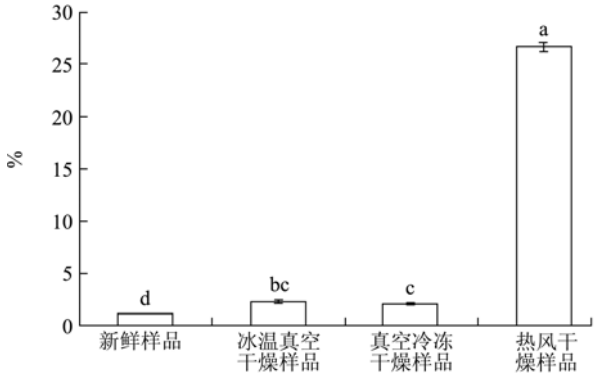


图 5 海鳗鱼片 *K* 值的比较

Fig. 5 The comparison of *K* value in *Muraenesox cinereus* fillet

图 4 为新鲜海鳗鱼片及三种干燥鱼片中 IMP 及 ATP 的含量。由图可以看出不同的干燥方式对海鳗鱼片中 IMP 及 ATP 含量的分布有一定的影响。新鲜样品中的 ATP 含量最高，这主要是因为活鱼刚宰杀后其体内的 ATP 还没有分解，ATP 主要是为鱼体的活动提供能量。经过干燥之后鱼片中的 ATP 含量会随着其自身的分解以及干燥过程中的水分蒸发而有所降低。与新鲜样相比，冰温真空干燥的样品中 IMP 含量有所增加，而真空冷冻干燥样品和热风干燥样品中的 IMP 含量均低于新鲜样中的 IMP 含量。

鱼肉中 ATP 及其关联物含量的变化会造成鱼肉 *K* 值的波动。新鲜海鳗鱼片的 *K* 值为 1.07%，冰温真空干燥鱼片与真空冷冻干燥鱼片的 *K* 值分别为 2.28%、2.04%，均处于一级鲜度，与新鲜样相比，无显著性差异($p<0.05$)。而热风干燥样品的 *K* 值为 26.64%，远远高于其他三种鱼肉的 *K* 值，这可能是因为热风干燥温度较高，加快了鱼肉中的生化反应。结合 IMP 含量以及 *K* 值可以看出冰温真空干燥样品的品质明显优于真空冷冻干燥样品和热风干燥样品的品质。

2.4 挥发性成分分析

表 1 不同干燥鱼片中挥发性成分的百分含量（%）

Table 1 The percentage contents of volatile compounds from different drying fillet meats(%)

类别	保留时间/min	化合物名称	新鲜样品	冰温真空干燥样品	真空冷冻干燥样品	热风干燥样品
羰基化合物	2.63	3-甲基丁醛	1.38	0.27	0.09	2.24
	2.87	2-甲基丁醛	1.21	0.61	0.43	1.71
	5.67	己醛	3.58	2.94	2.01	3.43
	7.72	2-己烯醛	ND	ND	ND	0.82
	8.21	庚醛	1.94	0.83	0.38	1.24
	8.53	4-庚烯醛	ND	ND	ND	2.58
	10.95	辛醛	ND	0.93	0.67	0.58
	12.90	壬醛	3.57	1.81	1.55	2.16
	14.04	2-辛烯醛	0.77	ND	ND	0.14
	3.62	丙酮	0.56	0.05	0.01	1.92
	4.41	2-丁酮	3.29	1.97	1.02	4.82
	4.67	2-戊酮	0.11	ND	ND	2.02
	7.13	2,3-丁二酮	ND	0.38	0.32	0.74
	9.24	2,3-戊二酮	1.14	ND	ND	ND
	10.69	2-庚酮	0.09	0.03	0.02	ND
	11.38	3-辛烯-2-酮	2.14	ND	ND	3.68
	13.46	3,5-辛二烯-2-酮	6.83	3.65	2.19	ND
醇类	3.12	甲硫醇	0.06	0.01	ND	0.02
	10.33	1-辛烯-3-醇	1.57	1.19	0.69	1.16
	12.11	2-丁基-1-辛醇	ND	ND	ND	0.64
含硫化合物	15.48	二甲基硫	0.43	0.21	0.06	0.07
芳香族化合物	3.99	苯	0.27	0.09	0.17	0.12
	4.64	甲苯	2.14	1.75	1.53	1.07
	16.59	苯酚	0.13	0.14	ND	ND

转下页

接上页

	13.77	乙苯	1.01	ND	ND	ND
	7.97	邻二甲苯	1.64	1.23	1.34	0.98
烷烃类	6.09	正庚烷	0.12	0.07	0.04	0.04
	9.34	4-甲基辛烷	0.17	0.23	0.19	0.02
	10.85	3-甲基壬烷	ND	0.46	0.19	ND
	10.29	正葵烷	1.83	2.01	1.93	1.01
	14.89	2,4-二甲基葵烷	ND	1.14	0.85	ND
	16.07	2,5-二甲基十一烷	3.28	2.09	1.49	ND
	11.93	2,2,3,3-四甲基戊烷	5.12	ND	ND	ND
	17.05	3,6-二甲基十一烷	1.96	0.72	0.53	ND
	14.58	正十二烷	3.16	2.03	1.64	1.72
	12.89	2,6-二甲基辛烷	2.37	ND	ND	1.26
	15.02	4,5-二甲基葵烷	ND	3.09	2.21	ND
	14.78	3-甲基十一烷	0.69	ND	ND	ND
	15.77	2-甲基十二烷	2.13	1.43	0.84	ND
	20.28	正十四烷	1.02	0.48	0.07	0.34
	21.39	正十五烷	2.59	1.01	1.63	0.92
其他	3.42	乙酸乙酯	ND	1.57	1.13	4.12
	33.21	9-十六碳烯酸甲酯	ND	ND	ND	0.72
	31.23	十六酸甲酯	ND	ND	ND	0.56
	11.47	柠檬烯	1.04	0.86	0.79	0.73
		百分总量	59.34	35.28	26.01	43.58

由表 1 可以看出在海鳗鱼肉中检测出的挥发性成分主要包括一些羰基化合物、醇类、含硫化合物、芳香族化合物、烷烃类等物质。其中羰基化合物、烷烃类化合物所占含量较高，但是由于烷烃类化合物阈值较高，因此对海鳗鱼肉风味的形成影响较小[8]。海鳗鱼肉的气味主要是由挥发性羰基化合物和醇类物质共同作用产生的，而这些物质往往是由不饱和脂肪酸氧化而产生的，这些氧化产物共同作用形成了新鲜鱼肉及其干制品的特殊风味。在新鲜海鳗鱼肉中含量较高的羰基化合物和醇类主要有己醛、庚醛、壬醛、2-丁酮、3-辛烯-2-酮、3,5-辛二烯-2-酮、1-辛烯-3-醇等；冰温真空干燥样品中含量较高的主要有己醛、壬醛、辛醛、3,5-辛二烯-2-酮、1-辛烯-3-醇等；真空冷冻干燥海鳗鱼肉中含量较高的主要有己醛、壬醛、2-丁酮、3, 5-辛二烯-2-酮等；热风干燥样品中含量较高的主要有己醛、壬醛、3-甲基-丁醛、4-庚烯醛、2-丁酮、3-辛烯-2-酮等。其中己醛具有一种明显的类植物香和鲜香的特征香味，但在几分钟之内会与八碳或九碳挥发性成分混合在一起，共同对鱼肉的香味产生作用[9]；庚醛提供鱼腥味；壬醛则具有脂香、青草香味[10]；4-庚烯醛产生清香、似亚麻油香的味道[11]；2-丁酮、3-辛烯-2-酮、3,5-辛二烯-2-酮这些酮类化合物贡献了鱼肉的甜花香和果香风味[12]；1-辛烯-3-醇是由亚油酸的氢过氧化物降解而来，具有蘑菇味[12]。

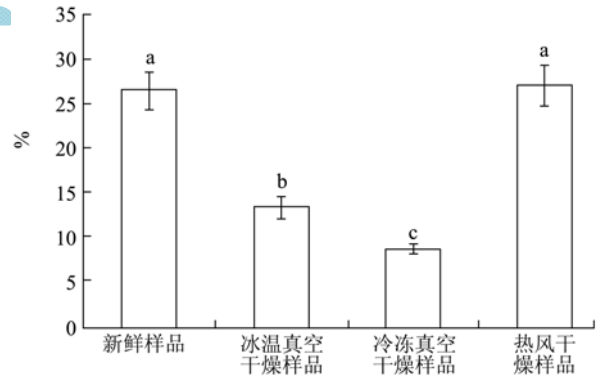


图 6 干燥鱼片中羰基化合物的百分总量

Fig.6 The percentage total content of carbonyl compounds in drying fish fillet

图 6 为四种海鳗鱼片样品中羰基化合物的百分总量的比较图。在新鲜海鳗样品中共检测出 13 种羰基化合物，冰温真空干燥样品中含 11 种羰基化合物，真空冷冻干燥样品中含 11 种羰基化合物，热风干燥样品中含 14 种羰基化合物，分别占总挥发性成分的 44.84%、38.18%、33.41%、63.60%。与新鲜样相比，冰温真空干燥样品和真空冷冻干燥样品中羰基化合物的相对含量有所降低，主要是因为在抽真空状态下，鱼片中的

挥发性成分会随着水分和空气的流失而降低，而热风干燥样品中的羰基化合物含量比新鲜样含量高，则是因为热风干燥温度较高，加速了鱼肉中脂肪的氧化，而脂肪氧化则会产生羰基化合物。

2.5 脂肪酸价的比较

酸价：中和 1 g 油脂中游离脂肪酸所需的氢氧化钾（氢氧化钠）毫克数。脂肪在加工、流通、贮藏过程中由于微生物、酶、热等外界因素的作用会缓慢发生水解，产生游离脂肪酸，而脂肪的质量与其中游离脂肪酸含量有关，一般常用酸价作为衡量标准之一，酸价越小，脂肪质量越高，反之，酸价越大，脂肪质量越差。本实验采用 GB/T5530-2005 中的方法以氢氧化钠标准溶液作为滴定溶液对四种海鳗样品鱼肉中的脂肪酸价进行测定，结果如图 7 所示。

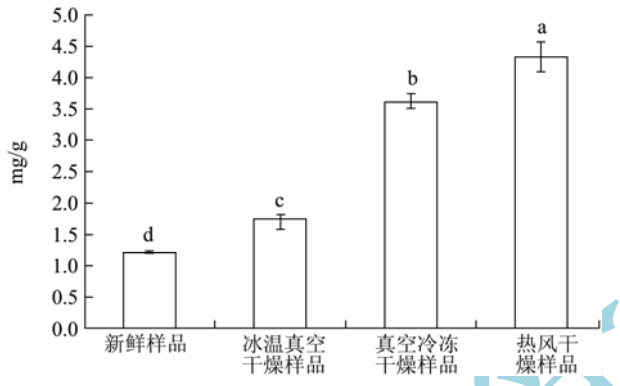


图 7 干燥方式对鱼片脂肪酸价的影响

Fig.7 Effects of drying methods on the acid value of fillet

新鲜海鳗鱼片的酸价为 1.22，冰温真空干燥、真空冷冻干燥、热风干燥样品的酸价分别为 1.74、3.60、4.33。与干燥样品相比，新鲜鱼肉的酸价明显偏小，这主要是因为活鱼刚进行宰杀，其体内的脂肪氧化程度较小。经过一段时间的干燥，三种干燥样品的酸价均有所增加，且热风干燥样品的酸价明显的高于真空冷冻干燥样品和冰温真空干燥样品。温度是造成这种现象的主要因素，由于热风干燥温度较高，加速了鱼片中的脂肪氧化程度，使其酸价增大。而脂肪氧化又会产生一些小分子羰基化合物，羰基化合物会对鱼片的气味产生影响，这与 2.4 中的结果趋势一致。

3 结论

3.1 海鳗生鲜鱼片经过不同的干燥之后鱼片 *K* 值均有所增加。冰温真空干燥样品的 *K* 值为 2.28%，真空冷冻干燥样品的 *K* 值为 2.04%，与新鲜样相比无显著性差异。热风干燥样品的 *K* 值为 26.64%，远高于其他三种样品的 *K* 值。而经过干燥之后鱼片中的 IMP 含量在冰温真空干燥样品中有所增加，其他干燥方式均造成了 IMP 的损失。结合 IMP 含量以及 *K* 值可以看出冰温真空干燥样品品质明显优于真空冷冻干燥样品和热风干燥样品。

3.2 干燥会造成鱼片中挥发性成分的变化。海鳗肌肉中烷烃类化合物含量较高，但由于烷烃的阈值一般较高，对食品的整体风味影响较小。海鳗中对肌肉风味起主要作用的是羰基化合物和醇类，经过干燥之后热风干燥样品中羰基化合物的相对含量有所增加，这主要与脂肪氧化产生羰基化合物有关。

3.3 干燥过程中随着干燥时间的延长鱼肉脂肪会发生不同程度的氧化。以酸价作为评定脂肪氧化程度的指标，按照从大到小的排列顺序依次为热风干燥样品、真空冷冻干燥样品、冰温真空干燥样品、新鲜样品。

参考文献

[1] 申江,李帅,齐含飞.低温真空干燥对胡萝卜品质的影响[J].制冷学报,2012,33(2):64-67
SHEN J, LI S, QI H F. Influence of low temperature vacuum drying on the quality of carrots [J]. Journal of refrigeration, 2012, 33(2): 64-67

[2] D Bahuaud, T Mørkøre, Ø Langsrud, et al. Effects of -1.5 ℃ super-chilling on quality of Atlantic salmon (Salmo salar) pre-rigor Fillets: Cathepsin activity, muscle histology, texture and liquid leakage [J]. Food Chemistry, 2008, 111(2): 329-339

[3] A S Duun, T Rustad. Quality of superchilled vacuum packed Atlantic salmon (Salmo salar) fillets stored at -1.4 and -3.6 [J]. Food chemistry, 2008, 106(1): 122-131

[4] Yokoyama Y, Sakaguchi M, Kawai F, et al. Change in concentration of ATP-related compounds in varioustissues of oyster during ice storage [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1992, 58(11): 2125-2136

[5] 邓捷春,王锡昌,刘源.暗纹东方鲀与红鳍东方鲀滋味成分差异研究[J].食品工业科技,2010,31(3):106-108
DENG J C, WANG X C, LIU Y. Study on difference of taste compounds between Fugu obsurus and Fugu rubripes [J]. Science and technology of food industry, 2010, 31(3): 106-108

[6] 赵辉,徐大伦,周星宇,等.新鲜海鳗营养成分及其风味物质分析[J].食品科学,2010,31(20):278-281
ZHAO H, XU D L, ZHOU X Y, et al. Analysis of nutritional and flavor compounds in fresh Muraenesox cinereus muscle [J]. Food science, 2010, 31(20): 278-281

[7] 戚晓玉,李燕,周培根.日本沼虾冰藏期间 ATP 降解产物变化及鲜度评价[J].水产学报,2001,25(5):482-484

QI X Y, LI Y, ZHOU P G. Changes in content of ATP related compounds in the muscle of macrobrachium nipponense during ice storage and evaluation of the freshness [J]. Journal of fisheries of china, 2001, 25(5): 482-484

[8] JOSEPHSON D. Enzymic hydmpemxide initiated effects in fresh fish [J]. J. Food Sci., 1985, 52: 596-600

[9] GUILLEN M D, ERRECALDE M C. Headspace volatile components of smoked sword fish (Xiphias gladius) and cod (Gadus morhua) detected by means of solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2006, 94: 151-156

[10] Morales M T, Rios J J, Aparicio R. Changes in the volatile composition of virgin olive oil during oxidation:flavors and off flavors [J]. Journal of agricultural and food chemistry, 1997, 45(7): 2666-2673

[11] 叶婧,翁丽萍,卢春霞,等.小网箱养殖大黄鱼挥发性风味物质检测与分析[J].食品研究与开发,2012,33(4):147-151
YE J, WENG L P, LU C X, et al. Investigation on the key odor compounds of Pseudosciaena Crocea grown in small net cage [J]. Food research and development, 2012, 33(4): 147-151

[12] 王锡昌,陈俊卿.顶空固相微萃取与气质联用法分析鲢肉中风味成分[J].上海水产大学学报,2005,14(2):176-180
WANG X C, CHEN J Q. Analysis of flavors in silver carp meat by headspace solid phase microextraction combined with GC-MS [J]. Journal of shanghai fisheries university, 2005, 14(2): 176-180

现代食品科技