

鱼肉风味研究进展

邓捷春,王锡昌,刘 源*
(上海海洋大学食品学院,上海 201306)

摘 要:鱼肉以其独特的风味受到人们的喜爱。鱼肉风味物质是极其复杂的混合物,由非挥发性滋味活性物质和挥发性香味化合物构成。各种化合物对于风味都有不同程度的贡献。本文对鱼肉中主要风味化合物及其检测手段进行了系统阐述,同时也对鱼肉风味的深入研究做了展望。
关键词:鱼肉,风味,检测手段,进展

Research progress in fish flavor research

DENG Jie-chun, WANG Xi-chang, LIU Yuan*

(College of Food, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Fish is famous for its deliciousness. Fish flavor substances are very complicated compounds, which are composed of non-volatile taste-active compounds and volatile aroma compounds. Every compound contributes differently to flavor. The paper summarized the main flavor compounds of fish and their detection means, and prospected the deeper research to fish flavor.
Key words: fish; flavor; detection means; progress
中图分类号: TS254.1 文献标识码: A 文章编号: 1002-0306(2010)06-0375-05

食品风味包括滋味和气味,通常以味觉和嗅觉所产生信号的综合感觉来进行评价^[1]。对于消费者来讲,滋味和气味是同样重要的。鱼肉含有丰富的蛋白质,易消化,热量低,且具有独特的风味,已成为国民摄取动物性蛋白质的重要来源之一。近年来,相关学者对鱼肉风味开展了大量研究工作,但由于风味不是单一物质作用的结果,而是多种风味化合物相互作用和影响的结果,且成分复杂、含量甚微,所以对它的了解依然有限。随着风味物质检测技术的发展,如嗅闻法(Gas Chromatography-Olfactometry)、气相色谱-质谱(Gas Chromatograph Mass Spectrometer)、电子舌(Electronic Tongue)、高效液相色谱(High Performance Liquid Chromatography)、核磁共振等,并配合感官品评,鱼肉的风味研究得以进一步发展。

1 鱼肉的风味

鱼肉风味主要由滋味和气味两部分组成,滋味是由非挥发性的活性物质构成,而气味是由挥发性香味化合物构成。

1.1 非挥发性的滋味活性物质

鱼肉中滋味活性物质是一类水溶性的、低相对

分子质量的可萃取成分,可以分为两大类:含氮化合物和不含氮化合物^[2]。

1.1.1 含氮化合物 鱼肉中含氮化合物包括游离氨基酸、低聚肽、核苷酸及其关联化合物、甜菜碱类、氧化三甲胺、尿素等^[3-4]。

1.1.1.1 游离氨基酸 游离氨基酸是鱼贝类提取物中最主要的含氮成分,也是重要的呈味成分。氨基酸各自具有独特的味道,它们在食品中的呈味特性,由各种氨基酸的阈值、含量或者与其他成分的相互作用来决定。一些氨基酸的呈味特性见表1。

表1 氨基酸呈味特性

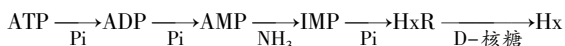
氨基酸名称	呈味特性
谷氨酸	其钠盐具有鲜味
精氨酸	有增加呈味的复杂性、程度以及提高鲜度的作用
丙氨酸	是略带苦味的甜味氨基酸
蛋氨酸、缬氨酸	是海胆独特风味不可缺少的呈味成分 ^[4]
甘氨酸	对鱼的甜味有贡献 ^[5]
组氨酸	形成某些海产品中的“肉香”特征 ^[6]
牛磺酸	是白肉鱼中一种重要的成分,略带苦味 ^[7]

1.1.1.2 低聚肽 低聚肽作为蛋白质降解产物在鱼贝类中均有存在,但已弄清结构的只有三肽的谷胱甘肽、丙氨酸与组氨酸或与甲基组氨酸形成的二肽即肌肽、鹅肌肽、蛇肉肽等极少数几种,这三种二肽的pH在中性附近,具有很强的缓冲能力,通常认为味道变浓与这种缓冲能力有关。鳗鲡、鲣鱼中肌肽含量非常丰富,在海鳗、墨鱼中肌肽含量也较高^[8]。鹅肌肽在鲢、金枪鱼类中含量较多,在鼠鲨的抽提物中也有检

收稿日期:2009-06-23 * 通讯联系人
作者简介:邓捷春(1983-),女,硕士研究生,研究方向:食品营养与安全。
基金项目:上海市科委部分地方院校计划项目(08390513900);“十一五”国家科技支撑计划课题(2008BAD94B09);2007年度高等学校博士学科点专项科研基金(20070264003)。

出,含量增加,酸味稍有增加,呈味程度提高。蛇肉肽在齿鲸类中含有,但须鲸类中含量更多^[4]。

1.1.1.3 核苷酸及其关联化合物 据 Yamguchi 和 Imai 等人统计,呈现鲜味的核苷酸及其衍生物已发现有 30 多种,其中以 5'-肌苷酸(5'-inosine monophosphate)和 5'-鸟苷酸(5'-guanosine monophosphate)为代表^[9-10]。鱼肉中含量较高的核苷酸及其关联化合物有腺嘌呤核苷酸(adenosine triphosphate)、5'-腺苷酸(5'-adenosine monophosphate)、5'-肌苷酸(5'-IMP)、肌苷(hypoxanthine riboside)及次黄嘌呤(hypoxanthine)。ATP 在活体的鱼中直接同肌肉收缩相关,休息时肌肉存在的大部分是 ATP,死后 ATP 经下式的核苷酸代谢途径而分解^[3]。



在此分解途径中,IMP 发生反应生成次黄嘌呤核苷的速度很慢,因此,IMP 通常会在新鲜的鱼肉中积累起来^[2]。IMP 是鱼提取物中一种理想的风味增强剂,它在鱼死后的 1~2d 内达到其最高浓度,但当浓度下降时,其风味就逐渐变得不可接受^[11]。核苷酸及其关联化合物也可作为鱼肉新鲜度的指标。

1.1.1.4 甜菜碱类 鱼贝类的组织中含有多种甜菜碱类,大致可以分为直链型和环状型。甘氨酸甜菜碱、β-丙氨酸甜菜碱、γ-丁氨酸甜菜碱、肉碱属直链型,龙虾肌碱属环状型。甘氨酸甜菜碱呈甜味,广泛分布于海产无脊椎动物的肌肉、生殖腺、内分泌腺组织中,是富含此成分的无脊椎动物肌肉具有甜味的原因^[4]。β-丙氨酸甜菜碱分布于石勒卒、日本江珧、扇贝等,鱼类中也有发现。γ-丁氨酸甜菜碱在河鳗、日本江珧、盲珠雪怪蟹等肌肉中有少量检出。肉碱在水产动物中分布比较广泛。龙虾肌碱在海产无脊椎动物组织中含有较高,而淡水产品中几乎不含有^[3]。

1.1.1.5 氧化三甲胺 氧化三甲胺(trimethylamine oxide)是广泛分布于海产动物中的含氮成分,一般认为构成鱼贝类甜味。感官检验表明,氧化三甲胺需相当的量才能具有呈味的效果^[4]。

1.1.1.6 尿素 海产的板鳃鱼类体中,尿素与氧化三甲胺(TMAO)共同起到调节体内渗透压的作用。鱼体死后,尿素由细菌的脲酶作用分解生成氨,所以板鳃类随着鲜度的下降生成大量的氨使鱼体带有强烈的氨臭味^[3]。

1.1.2 不含氮化合物 鱼中非挥发性不含氮化合物包括有机酸、糖和无机盐。与含氮化合物的研究比较,鱼中非挥发性不含氮化合物的研究较少。

1.1.2.1 有机酸 从鱼贝类肌肉中已检测出醋酸、丙酸、丙酮酸、草酸、富马酸、苹果酸、琥珀酸、乳酸、柠檬酸等各种有机酸,其中主要有鱼类中的乳酸和贝类中的琥珀酸。琥珀酸是贝类的主要呈味成分,乳酸是较敏捷的鱼如金枪鱼和鲑鱼中主要的酸,可以提高缓冲能力,也可以增强呈味^[4]。

1.1.2.2 糖 鱼贝类提取物中的糖包括游离糖和磷酸糖^[3]。游离糖主要是葡萄糖,鱼贝类死后在淀粉酶的作用下由糖原分解生成。此外还含有微量的核

糖、阿拉伯糖、半乳糖、果糖和肌醇等。同时,还存在有糖分解中产生的葡萄糖-1-磷酸、葡萄糖-6-磷酸、果糖-6-磷酸、果糖-1,6-二磷酸等各种磷酸糖^[4]。有专家认为鱼的肌肉中游离糖及其衍生物的含量是比较低的,因此它们不会对鱼的风味有所贡献^[1]。但也有研究发现,糖磷脂能促成某些鱼类的特殊味道,如鳕鱼的“甜咸味”^[12]。

1.1.2.3 无机盐 无机盐的风味研究工作相对较少。目前,Na⁺、K⁺等阳离子及 Cl⁻、PO₄³⁻等阴离子已被确定为鱼风味的重要因素^[13],特别是 Na⁺、Cl⁻,对呈味极为重要。Na⁺的减缺导致了贝类甜味、咸味、鲜味和特征风味的明显劣化,Cl⁻的减缺使合成浸出物几乎无味,而 K⁺的减缺将降低贝类的鲜味和风味^[14]。

1.2 挥发性风味化合物

气味和味、色、形一起,是评价食品的重要因素。鱼肉中挥发性风味成分对鱼的整体风味起着重要作用。鱼肉的气味主要有鲜品的气味、鲜度下降产生的气味和热加工中产生的气味等。

1.2.1 新鲜鱼的气味 新鲜活鱼和生鱼片具有令人愉快的芳香。这些香气的构成物质一般是各种羰基化合物和醇类、含硫化合物及碳氢化合物。

1.2.1.1 羰基化合物和醇类 大多数新鲜的鱼中,在特定的脂肪氧化酶作用下,鱼脂中多不饱和脂肪酸衍生的挥发性羰基化合物和醇能产生一种共同的甜味和类植物香的气味。一般而言,在新捕获的鱼中,6个碳原子的化合物如己醛通常产生一种原生味、鲜香和类醛的特征香味,8个碳原子的挥发性醇和羰基化合物能产生特殊的类似植物的新鲜香气。Josephson 等^[15-16]对淡水鱼的气味进行了详细的研究,把淡水鱼具有的香菇味、青瓜味同鲜度下降产生的腥臭味区别开来,认为这是淡水鱼鲜活时所具有的气味。其研究结果认为,己醛、1-辛烯-3-醇、1,5-辛二烯-3-醇、2,5-辛二烯-1-醇等 C₆、C₈ 的羰基化合物和醇类同新鲜淡水鱼具有的植物性气味相关。此外,Hirano 等^[17]对香鱼、胡瓜鱼特有香气的研究表明,其香气同反-2,顺-6-壬二烯醛、反-2-壬烯醛、3,6-壬二烯-1-醇等 C₉ 羰基化合物和醇类密切相关。章超桦等^[18]对鲫各部分挥发性成分进行了分析,结果亦表明,新鲜鲫所具有特征气味主要同 C₆ 的己醛, C₅ 的 1-戊烯-3-酮、2,3-戊二酮、1-戊烯-3-醇, C₇ 的反-2,顺-4-庚二烯醛, C₈ 的 1-辛烯-3-醇、1,5-辛二烯-3-醇等羰基化合物和醇类相关。这些挥发性成分的协同作用构成了草腥味、泥土味等鲫特有的鱼腥味。

1.2.1.2 含硫化合物 挥发性含硫化合物通常与变质的海味联系在一起,但也有研究表明,含硫化合物能够在鱼中产生,并可能对某些新鲜海味特征的香气起作用。二甲基硫就是挥发性含硫化合物之一,在低浓度时它产生一种令人愉快的类蟹香,在较高浓度时它却有一种异常的气味。有报道鳙被捕捞时产生甲基硫醇、二甲基硫醇和二甲基硫^[2]。江健等^[19]分析了鲢、鳙、鲫和草鱼中的挥发性成分组成,这些成分中亦还有少量的硫醚类化合物。

1.2.1.3 碳氢化合物 碳氢化合物在鱼类风味的形成中也起着一定的作用。在产卵的鲑鱼和其它非鲑亚目淡水鱼中发现了碳氢化合物(E,Z)-1,3,5-辛三烯和(E,E)-1,3,5-辛三烯,而1,3-辛二烯已表明能显示出一种蘑菇香和类腐殖质香,因此可推测,这些不饱和烃对海产品风味的产生可能起着很重要的作用^[1]。

1.2.2 变质鱼的气味 当鱼的新鲜度稍差时,其嗅觉增强,呈现一种极为特殊的气味。当新鲜度继续降低,最后会产生令人厌恶的腐败臭味。

1.2.2.1 胺类物质产生的气味 构成鱼肉腐败臭气的主体是胺类,其中又以氨、二甲胺(dimethylamine)、三甲胺(trimethylamine)为主^[4]。

随着鲜度的下降,游离氨基酸或包含在蛋白质中的氨基通过脱氨反应生成氨,其阈值比DMA、TMA高得多,所以对鲜度下降形成的臭味影响不大,软骨鱼类随鲜度下降则容易产生氨臭^[4]。

三甲胺是由腐败过程中三甲胺氧化物(TMAO)还原而产生的。二甲胺和甲醛则是由各种品种的鱼肌肉中的酶所催化TMAO分解而产生的。三甲胺氧化物没有气味,但TMA却是一种强风味化合物,其与鱼组织中的脂肪反应产生了鱼的特殊气味^[1]。

1.2.2.2 生化变化产生的气味 鱼肌肉组织中饱和脂肪酸发生 β -氧化降解,在光、热、pH及金属离子作用下分解生成各种低分子化合物,如醛、酮、酸、醇等,形成一种强烈的油哈刺味。鱼肉中蛋白质在组织蛋白酶的作用下自溶,同时游离出来的肽和氨基酸进一步经脱羧和脱氨反应生成有臭味的氨气、甲胺、三甲胺、醛、酮、酸、醇、硫醇、硫化氢以及吲哚、粪臭素等,致使鱼肉失去食用价值^[20]。

1.2.3 热加工产生的鱼肉风味 和鲜鱼相比,熟鱼的嗅觉成分中,挥发性酸、含氮化合物和羰基化合物的含量都有增加,具有熟肉的诱人香气^[3]。熟鱼香气物质形成的途径与畜禽肉类受热后的变化类似,主要通过糖降解、氨基酸和多肽的热降解、硫胺素的热降解、类脂类物质的氧化作用、还原糖与氨基酸的Maillard反应等途径生成^[21],由于香气成分及含量上的差别,组成了各种鱼产品的香气特征。

1.2.3.1 熏制 在熏制品生产过程中,熏材不断被加热,构成熏材的各种糖类就很快产生热分解而碳化。热分解主要发生在200~400℃,这时产生的熏烟中,含有各种有机酸、苯酚类、醇类、醛类、酯类、吡啶、胺等,熏烟与鱼肉作用,赋予鱼肉独特的香味。如熏烤鲑鱼(干松鱼)的香气由多种成分组成,主要有酸类(13种)、内酯类(2种)、羰基化合物(16种)、含氮化合物(8种)、醇类(15种)、硫化物(2种)、酚类(17种)、酚醚类(5种)、烃类(11种)以及二苯并呋喃等化合物。其中2-甲基庚醇、3,4-二甲基甲苯、全顺式-1,5,8-十一碳三烯-3-醇、2,5-辛二烯-3-醇、2,6-二甲氧基苯酚、4-甲(乙)基-2,6-二甲氧基苯酚、3-甲基-2-环戊烯酮、2,3-二甲基-2-十一酮、2-(或3-)甲基巴豆酸- γ -内酯等都是干松鱼的重要香气成分。

1.2.3.2 蒸煮 鱼蒸煮后产生的特征香味是由分子量相对小的醛和褐变反应产物共同作用而形成的。

褐变的风味化合物是由羰基化合物和胺之间的相互作用而产生的。蒸煮时添加胺的前体物质TMAO,就会形成化合物N,N-二甲基甲酰胺和N-甲基吡咯,它们对蒸煮后的鱼风味作用非常大^[2]。某些鱼在蒸煮过程中产生独特的蒸煮气味。在日本康吉鳗、沙丁鱼和浅色雪鲑中,化合物2-苯乙醇、1-戊烯-3-醇和二甲基硫是产生炙烤香味的特征化合物,但在沙丁鱼中由于还产生一些醛、碳氢化合物、酯及酸,而使蒸煮后的沙丁鱼有一种强烈的、不理想的气味^[11]。

2 鱼肉风味物质的检测手段

2.1 鱼肉中游离氨基酸、核苷酸及其关联物的检测

对于鱼肉中非挥发性的滋味活性物质研究较多的是游离氨基酸、核苷酸及其关联物、无机盐等。游离氨基酸的测定多采用气相色谱法、液相色谱法、薄层色谱法、氨基酸自动分析仪法^[22]。如惠心怡^[23]采用高效液相色谱法测定了白鲢鱼肉中17种游离氨基酸含量,殷金莲^[24]等人采用氨基酸自动分析仪测定了鲤鱼酶解前后游离氨基酸组成及含量变化,龚丽芬^[25]等人采用薄层层析和氨基酸自动测定仪鉴定了文蛤酶解液中氨基酸的种类和含量。

核苷酸及其关联物的测定多采用高效液相色谱法,如测定鱼肉鲜度指标K值,经酸提、中和后,核苷酸代谢产物经过HPLC分离之后进行定量^[26]。王之盛^[27]等人利用高效液相色谱法测定了猪肌肉中次黄嘌呤核苷酸(IMP)的含量,李家胜^[28]等人用高效液相色谱梯度洗脱法测定鸡肉中核苷酸及其降解物。

2.2 鱼肉中挥发性风味化合物的提取、分离、鉴定及评价

风味分析的第一步,是从样品中提取出挥发性的目标物质。通常的提取方法有蒸馏法、超临界流体萃取法、固相微萃取法、顶空分析法、吸附与解吸法等^[29]。王锡昌^[30]等采用涂有聚二甲基硅氧烷-二乙烯苯(PDMS-DVB)涂层的固相微萃取头萃取白鲢鱼肉挥发性成分,赵庆喜^[31]等用微波蒸馏(MD)-固相微萃取装置(SPME)提取鳙鱼鱼肉中的挥发性成分。目前也有依赖于两种或更多种技术结合来分离挥发性物质。在提取鱼肉的挥发性风味组分时,可以同时把蒸馏提取法和动态顶空法结合起来,同时蒸馏提取法充分收集高沸点的化合物,用动态顶空法来弥补同时蒸馏提取法难以掌握低沸点化合物的缺点,这样可以更全面地反映出鱼肉中的风味成分,使检测数据更能真实反映鱼肉的风味组分,更具有参考价值^[32]。

提取之后,对提取物中的各种风味成分进行分离、鉴别。气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)在风味分析领域占据着最重要的统治地位,它将气相色谱技术所能提供的最佳的分离性能同质谱技术用于鉴别未知化合物的最有效手段相结合^[1],江健^[19]等利用气-质联用仪(GC-MS)分析了鲢、鳙、鲫和草鱼肉中的挥发性成分组成,分别鉴定出鲢、鳙、鲫和草鱼肉中有40、42、42、31种挥发性成分。为得到更好的分离、鉴别效果,可在鉴别前用其它方法代替GC作为分离手段如:高效液相色谱(HPLC)、超临界流体色谱(SFC)、毛细管电泳(CE)、MS-MS联用中的

质谱,或在分离后用其它方法代替 MS 作为鉴别手段,如:傅立叶变换红外光谱 (FTIR)。将 GC 和 MS 与 FTIR 两者都联用起来是又一个新的发展方向^[1]。

“电子鼻”是一种新颖的分析、识别和检测复杂气味和大多数挥发性成分的仪器,它不仅可以根据不同的气味测到不同的信号,而且可以将这些信号同已建立的数据库中的信号加以比较,进行识别判断。“电子鼻”具有测定速度快、测定范围广等多项优点^[1]。目前在肉制品风味检测中有较多应用,如意大利的 Taurino 等人用电子鼻判断腊肠的新鲜程度,还能评估不同性别的猪肉制成的腊肠^[33]。

近几十年,食品中重要挥发性成分的分析也有了一些新方法,常用的有嗅闻法 (GC-O 技术)、风味强度法、主成分分析法、ADEA 法 (芳香萃取物稀释分析法) 以及人工嗅觉系统等^[29]。GC-O (GC-olfactometry) 是近几十年来国外发展的一种从复杂的挥发性物质中筛选出香味活性组分非常有效的方法,这种技术将气相色谱 (GC) 与嗅闻仪 (olfactometry) 相结合,通过评香人员的嗅闻实验来鉴定挥发性化合物的气味特征^[34]。

3 结语与展望

近年来,科研人员对于鱼肉风味的研究在分析风味化合物的组成成分和理解风味化合物生成机理两方面有很大进步。鱼肉风味研究的实际应用范围也在逐步扩大,如将主要风味物质应用于日常调味品的制作、食品风味添加剂等。在理论研究的基础上,配合海鱼丰富的生物功能成分,开发具有保健功能的复合型海鲜调味料,最终实现海鲜调味料的复合化、方便化、营养化和保健化。同时,鱼肉风味研究尚有很大的发展空间,一些鱼种如河豚鱼、金枪鱼等的风味物质研究工作还较少。随着研究工作的不断深入,鱼肉风味研究将拥有广阔的发展前景。

参考文献

- [1] 莫意平,姜永江,薛长湖.水产品风味研究综述[J].水利渔业,2005,25(1):82-84.
- [2] F shahidi.肉制品与水产品的风味[M].北京:中国轻工业出版社,2001.
- [3] 沈月新.水产食品学[M].北京:中国农业出版社,2001.
- [4] 须山三千三,鸿巢章二.水产食品学[M].上海:上海科学技术出版社,1987.
- [5] Simidu W, Hibiki S, Sabata S, et al. Studies on muscle of aquatic animals XVI. Distribution of extractive nitrogen in muscle of several kinds of gastropod[J]. Bull Jpn Soc Sci Fish, 1953, 19: 871-881.
- [6] Jone, N R. Fish flavor[M]. In Chemistry and Physiology of Flavors. AVI Publishing Co Inc, Westport, cT, 1967: 267-295.
- [7] Fike S. Taste-active components of seafoods with special reference to umami substance [M]. In seafoods: Chemistry, Processing Technology and Quality. Blackie Academic and Professional Glasgow, 1994: 115-139.
- [8] 何雄,薛长湖,杨文鸽,等.肌肽的提取分离与生物活性的研究进展[J].海洋科学,2007,31(5):85-89.

- [9] Yamaguchi S. Measurement of The Relative Taste Intensity of some L- α -amino Acids and 5'-nucleotides [J]. Food sci, 1971 (36): 846.
- [10] Kuninaka A. Studies on Taste of Ribonucleic Acid derivative [J]. Nippon Nogeikagaku Kaishi, 1960, 34: 489.
- [11] 任仙娥,张水华.鱼肉风味的研究现状[J].中国调味品, 2003(12): 17-21.
- [12] Jones, N R. Fishflavors Proc Flavor Chem Symp. Campbell Soup Co, Camden, NT, 1961: 61-68.
- [13] Fuke S. Konosus. Taste-active components in some foods: A review of Japanese research [J]. Phys Bshav, 1991 (49): 863-868.
- [14] 翁世兵,孙恢礼.海产鲜味物质及海产品特征滋味的研究进展[J].中国调味品,2007(11): 21-26.
- [15] D B Josephason, R C Lindsay, D A Stuibier. Identification of compounds characterizing the aroma of fresh whitefish [J]. J Agric Food Chem, 1983, 31: 326-330.
- [16] D B Josephson, R C Lindsay, D A Stuibier. Variations in the occurrences of enzymically derived volatile aroma compounds in salt and freshwater fish [J]. J Agric Food Chem, 1984, 32: 1344-1347.
- [17] Hirano T, Zhang C H, Morishita A, et al. Identification of Volatile Compounds in Ayu fish and its Feeds [J]. Jap Fish Sci Soc, 1992, 58(3): 547-557.
- [18] 章超桦,平野敏行.鲫的挥发性成分[J].水产学报, 2000, 24(4): 354-358.
- [19] 江健,王锡昌,陈西瑶.顶空固相微萃取与 GC-MS 联用法分析淡水鱼肉气味成分[J].现代食品科技,2006(2): 219-222.
- [20] 唐裕芳.鱼肉的腐败机理及其防腐措施[J].肉类工业, 1996(4): 18-19.
- [21] 周洁,王立,周惠明.肉品风味的研究综述[J].肉类研究, 2003(2): 16-18.
- [22] 侯曼玲.食品分析[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [23] 惠心怡,王锡昌,陶宁萍.构成白鲢鱼肉土腥味的可溶性风味成分分析[J].中国食品学报,2006,6(1): 189-194.
- [24] 殷金莲,孙卉,谢顺虎,等.鲤鱼酶解液化技术研究[J].西北农林科技大学学报,2007,35(6): 60-64.
- [25] 龚丽芬,郑志福,陈碧娥.胰蛋白酶酶解文蛤的工艺条件[J].氨基酸和生物资源,2003,25(2): 45-47.
- [26] 董彩文.鱼肉鲜度测定方法研究进展[J].食品与发酵工业,2004,30(4): 99-103.
- [27] 王之盛,胡培斌.高效液相色谱法测定猪肌肉中次黄嘌呤核苷酸含量[J].中国饲料,2001,15: 23.
- [28] 李家胜,王友明.高效液相色谱法测定鸡肉中核苷酸及其降解物[J].科技通报,2002,18(4): 323-326.
- [29] 郭凯,芮汉明.食品中挥发性风味成分的分离、分析技术和评价方法研究进展[J].食品与发酵工业,2007,33(4): 110-115.
- [30] 陈俊卿,王锡昌.顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法分析白鲢鱼肉中的挥发性成分[J].质谱学报,2005,26(2): 76-80.

(下转第 383 页)

- [18] Yang P W, Kumar T K, Jayaraman G, et al. Effect of organic acids in the prevention of aggregation on rapid refolding of proteins[J]. *Biochem Mol Biol Int*, 1996, 38(2): 393-399.
- [19] Hamada H, Shiraki K. L-argininamide improves the refolding more effectively than L-arginine[J]. *J Biotechnol*, 2007, 130(2): 153-160.
- [20] Rozema D, Gellman S. Artificial chaperone - assisted refolding of denatured - reduced lysozyme; Modulation of the competition between renaturation and aggregation [J]. *BIOCHEMISTRY*, 1996: 15760-15771.
- [21] Rozema D, Gellman S. Artificial chaperone - assisted refolding of carbonic anhydrase B [J]. *JOURNAL OF BIOLOGICAL CHEMISTRY*, 1996: 3478-3487.
- [22] Kurganov B I, Topchieva I N. Artificial chaperone-assisted refolding of proteins [J]. *BIOCHEMISTRY - MOSCOW*, 1998, 63(4): 413-419.
- [23] Khodagholi F, Eftekharzadeh B, Yazdanparast R. A new artificial chaperone for protein refolding: Sequential use of detergent and alginate [J]. *PROTEIN JOURNAL*, 2008, 27(2): 123-129.
- [24] Yazdanparast R, Khodagholi F, Souri E. Alkaline, phosphatase refolding assisted by sequential use of oppositely charged detergents: A new artificial chaperone system[J]. *INTERNATIONAL JOURNAL OF BIOLOGICAL MACROMOLECULES*, 2008, 42(2): 195-202.
- [25] Dong X Y, Chen L J, Sun Y. Refolding and purification of histidine-tagged protein by artificial chaperone-assisted metal affinity chromatography[J]. *JOURNAL OF CHROMATOGRAPHY A*, 2009, 1216(27): 5207-5213.
- [26] 赵喜红, 何小维, 杨连生, 等. 反胶团萃取蛋白质研究进展[J]. *食品工业科技*, 2009(2): 326-329.
- [27] 刘杨, 董晓燕, 孙彦. 反胶团系统及其在蛋白质分离复性中的应用研究进展 [J]. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2008(6): 949-955.
- [28] Vinogradov A A, Kudryashova E V, Levashov A V, et al. Solubilization and refolding of inclusion body proteins in reverse micelles[J]. *Anal Biochem*, 2003, 320(2): 234-238.
- [29] Geng X, Chang X. High - performance hydrophobic interaction chromatography as a tool for protein refolding [J]. *Journal of Chromatography*, 1991: 185-194.
- [30] Chase H A. Purification of proteins by adsorption chromatography in expanded beds [J]. *Trends Biotechnol*, 1994: 296-303.
- [31] Ng M Y, Tan W S, Abdullah N, et al. Direct purification of recombinant hepatitis B core antigen from two different pre-conditioned unclarified *Escherichia coli* feedstocks via expanded bed adsorption chromatography [J]. *J Chromatogr A*, 2007, 1172(1): 47-56.
- [32] 王君, 卢滇楠, 林莹, 等. 表面活性剂辅助溶菌酶复性: 表面活性剂-蛋白质复合物结构分析[J]. *化工学报*, 2004(08): 1306-1312.
- [33] Gull N, Sen P, Khan R H, et al. Spectroscopic Studies on the Comparative Interaction of Cationic Single - Chain and Gemini Surfactants with Human Serum Albumin [J]. *JOURNAL OF BIOCHEMISTRY*, 2009, 145(1): 67-77.
- [34] Morimoto N, Ogino N, Narita T, et al. Enzyme - responsive artificial chaperone system with amphiphilic amylose primer [J]. *JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY*, 2009, 140(3-4): 246-249.
- [35] Jungbauer A, Kaar W. Current status of technical protein refolding [J]. *JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY*, 2007, 128(3): 587-596.
- [36] Jin T, Guan Y X, Fei Z Z, et al. A combined refolding technique for recombinant human interferon - gamma inclusion bodies by ion-exchange chromatography with a urea gradient [J]. *WORLD JOURNAL OF MICROBIOLOGY & BIOTECHNOLOGY*, 2005, 21(6-7): 797-802.
- [37] 耿信笃, 白泉, 王展超. 蛋白折叠液相色谱法 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [38] An S, Chen R, Anfinsen C. KINETICS OF FOLDING OF STAPHYLOCOCCAL NUCLEASE [J]. *SCIENCE*, 1970: 886-887.
- [39] Anfinsen C. PRINCIPLES THAT GOVERN FOLDING OF PROTEIN CHAINS [J]. *SCIENCE*, 1973: 223-230.
- [40] Wetlaufer D B, Ristow S. Acquisition of three-dimensional structure of proteins [J]. *Annu Rev Biochem*, 1973, 42: 135-158.
- [41] Radford S E. Protein folding: progress made and promises ahead [J]. *TRENDS IN BIOCHEMICAL SCIENCES*, 2000, 25(12): 611-618.
- [42] Brockwell D J, Radford S E. Intermediates: ubiquitous species on folding energy landscapes [J]. *CURRENT OPINION IN STRUCTURAL BIOLOGY*, 2007, 17(1): 30-37.
- [43] Clark P L. Protein folding in the cell: reshaping the folding funnel [J]. *TRENDS IN BIOCHEMICAL SCIENCES*, 2004, 29(10): 527-534.
- [44] Espinoza-Fonseca L M. Reconciling binding mechanisms of intrinsically disordered proteins [J]. *BIOCHEMICAL AND BIOPHYSICAL RESEARCH COMMUNICATIONS*, 2009, 382(3): 479-482.
- [45] Bandi S, Bowler B E. Probing the bottom of a folding funnel using conformationally gated electron transfer reactions [J]. *JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY*, 2008, 130(24): 7540.
- [31] 赵庆喜, 薛长湖, 徐杰, 等. 微波蒸馏-固相微萃取-气相色谱-质谱-嗅觉检测器联用分析鳙鱼鱼肉中的挥发性成分 [J]. *色谱*, 2007, 25(2): 267-271.
- [32] 姜琳琳. 鱼肉中挥发性风味物质的研究进展 [J]. *渔业现代化*, 2007, 34(5): 54-56.
- [33] 张晓敏. 电子鼻在食品工业中的应用进展 [J]. *中国食品添加剂*, 2008(2): 52-56.
- [34] 王春叶, 童华荣. 滋味稀释分析及其在食品滋味活性成分分析中的应用 [J]. *食品与发酵工业*, 2007, 33(12): 117-121.

(上接第 378 页)