影响蚝油产品滋味特征的关键组分研究

姬 庆[1,2]，王洪江[3]，赵品贞[3]，张建忠[3]，王兴伟[1,2]，夏书芹[*1,2]，张晓鸣[1,2]
（1. 江南大学 食品学院，江苏 无锡 214122；2. 江南大学 江苏省食品安全与质量控制协同创新中心，江苏 无锡 214122；3. 佛山市海天（宿迁）调味食品有限公司，江苏 宿迁 223800）

摘要：为确定影响蚝油产品滋味品质的关键组分，借助定量描述法比较了15种市售蚝油的滋味差异，同时测定呈味肽组成、氨基酸态氮质量分数、游离氨基酸以及呈味核苷酸的组成与质量分数，采用偏最小二乘回归（partial least squares regression，PLSR）法和皮尔逊法分析蚝油滋味与理化指标之间的相关性。结果表明，影响蚝油滋味品质的关键组分包括氨基酸态氮质量分数、肌苷酸质量分数、呈味肽组成、甘氨酸和谷氨酸质量分数。其中氨基酸态氮质量分数（R=0.707）和相对分子质量为500~1 000的肽（R=0.681）对酱味有极显著正贡献；蚝味与甘氨酸的质量分数呈正相关；鲜味受谷氨酸和肌苷酸质量分数的影响。该研究可为蚝油滋味品质评价体系的构建提供科学依据。

关键词：蚝油；滋味特征；氨基酸；相关性分析
中图分类号：TS 213.3　**文章编号：**1673-1689(2024)06-0067-08　**DOI：**10.12441/spyswjs.20230912002

Study on Key Components Affecting the Taste Characteristics of Commercial Oyster Sauces

JI Qing[1,2]，*WANG Hongjiang*[3]，*ZHAO Pinzhen*[3]，*ZHANG Jianzhong*[3]，*WANG Xingwei*[1,2]，*XIA Shuqin*[*1,2]，*ZHANG Xiaoming*[1,2]
(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Collaborative Innovation Center of Food Safety and Quality Control in Jiangsu Province, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 3. Foshan Haitian (Suqian) Flavoring and Food Co., Ltd., Suqian 223800, China)

Abstract: In order to identify the key components affecting the taste quality of oyster sauces, 15 commercially available products were analyzed in this study. With the aid of quantitative descriptive analyses, the differences in taste of oyster sauces were compared. The flavor peptides composition, amino acid nitrogen mass fraction as well as the composition and mass fraction of free amino acids and flavor nucleotides were examined. The correlation between taste and physicochemical indicators of oyster sauce was determined by partial least squares regression(PLSR) and Pearson's method. The results showed that the key components affecting the taste quality of oyster sauces included the mass fraction of amino acid nitrogen, inosine monophosphate, the composition of flavor peptides ,the mass fraction of glycine and glutamate. The amino acid nitrogen mass fraction (R=0.707) and the peptide

收稿日期：2023-09-12　**修回日期：**2023-12-01
基金项目：国家重点研发计划项目（2021YFD2100103）。
*通信作者：夏书芹（1979—），女，博士，教授，博士研究生导师，主要从事食品加工与配料研究。E-mail：sqxia@jiangnan.edu.cn

with a relative molecular weight of 500~1 000 (R=0.681) showed a highly significant positive contribution to the sauce. A positive correlation was established between the oyster flavor and glycine mass fraction, while the freshness perception was impacted by the mass fraction of glutamate and inosine monophosphate. This study can provide scientific basis for the construction of an evaluation system for the taste quality of oyster sauce.

Keywords: oyster sauce, taste characteristics, amino acid, correlation analysis

蚝油作为一种传统的调味品，味道鲜美、蚝香浓郁，受到广大消费者的青睐。调味品的滋味是其品质特征的重要部分，蚝油中复杂多样的滋味化合物赋予了其丰富的滋味特征，影响着产品的整体感官品质和消费者的喜好度[1]。但目前蚝油市场产品众多、品质不一，因此，急需明确蚝油的特征滋味化合物，从而对产品滋味品质评价指标进行优化，这对进一步构建科学且易操作的评价体系及方法，以及规范蚝油市场和促进产业发展具有重要意义。

当前在 GB/T 21999—2008《蚝油》[2]中仅对蚝油滋味提出了“味鲜美，咸淡适或鲜甜，无异味”的要求，尚未将理化指标与感官特征建立明确的关联性。在类似的以贝类或其加工产物为基料的海鲜基调味品的滋味特征研究中，大多仅对其中的滋味化合物组成进行研究，例如在印度尼西亚等地流行的牡蛎酱中发现甘氨酸、丙氨酸、谷氨酸等游离氨基酸含量很高[3]；在牡蛎、贻贝等蒸煮液或发酵液中发现核苷酸与氨基酸存在协同作用[4]。作者所在课题组前期基于感官评定发现，通过美拉德反应能提高蚝肉酶解物中相对分子质量小于 1 000 的呈味肽比例，从而有助于蚝汁的去腥增鲜[5]。但仅通过感官评价得出的结论往往具有一定主观性，因此通过 PLSR 法[6-7]或皮尔逊法[8-9]等相关性分析的数学方法，在感官品质与理化指标间建立联系，可进一步明确影响感官品质的关键因素及具有重要贡献的组分。

作者选用了市售的 15 种蚝油产品，首先通过定量描述分析对蚝油产品滋味特征进行评定，并对肽的相对分子质量分布及比例、氨基酸态氮质量分数、氨基酸与核苷酸等滋味化合物的组成及质量分数进行分析。在此基础上，采用 PLSR 法对蚝油产品滋味化合物的质量分数和感官品质特征进行相关性及显著性分析，再进一步通过皮尔逊法考察感官特性与具有重要贡献的滋味化合物之间的相关性，以期明确影响蚝油滋味特征的关键组分，揭示滋味化合物对蚝油感官品质影响的相关规律，为蚝油滋味质量评价体系的构建和产品开发提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

氢氧化钠、氯化钠、无水乙醇、甲醛：国药集团化学试剂有限公司。市售蚝油样品的选定依据产品的市场占有量和综合销量，共选取了 15 种蚝油产品，按照每千克销售单价由高到低对产品进行编号。

1.2 仪器与设备

HH-2 型数显恒温水浴锅：常州金坛良友仪器有限公司；PHSJ-3F pH 计：浙江赛德仪器设备有限公司；Centrifuge 5810R 型高速冷冻离心机：德国 Eppendorf 公司；Agilent 1100 高效液相色谱仪：美国安捷伦科技有限公司；Waters 2695 高效液相色谱仪：美国沃特斯公司。

1.3 试验方法

1.3.1 感官评价 通过定量描述分析评估不同蚝油的感官特性，评价方法在 Nguyen 等方法[10]的基础上进行了修改。感官评价员经过现场面试和问卷测试，测试内容包括感官敏感性、量化敏感性以及描述表达能力，最终选取 11 名成员组成评价小组。小组成员的选拔、培训和监督根据 GB/T 16291.1—2012《感官分析选拔、培训与管理评价员一般导则 第 1 部分：优选评价员》[11]进行，最终选择的评价员均有超过 100 h 的调味品感官评价经验。最后确定了 3 个主要的描述词，并准备描述词对应的参比样，确定其强度。其中鲜味是由鲜味物质，如谷氨酸钠等产生的基本味（质量分数 1%的谷氨酸钠溶液为 7 分）；蚝味是海洋贝类的特征滋味（质量分数 10%的蚝汁为 7 分）；酱味是兼有发酵豆酱味和醇厚味的特征滋味（质量分数5%的生抽为 7 分）。正式评价前，小组成员接受了 5 次共计 10 h 的强度量化训

练,以保证评价员对描述词的评价方法和评价尺度一致。在感官评价时,要求评价员量取等量样品品尝,并使用 15 分制进行评估,分数越高代表感知强度越强,所有样品均采用三位数随机编码。

1.3.2 氨基酸态氮检测 参考 Jiang 等的方法[12],结合 GB 5009.235—2016《食品中氨基酸态氮的测定》中的酸度计法测定不同蚝油产品的氨基酸态氮(amino acid nitrogen,AN)质量分数。称量 5.0 g 试样于 50 mL 烧杯中,溶解后加入 100 mL 容量瓶中,加水至刻度,混匀后吸取 20.0 mL 置于 200 mL 烧杯中,加 60 mL 水,在磁力搅拌下用 0.050 mol/L 氢氧化钠标准溶液滴定至酸度计指示 pH 为 8.2。加入 10.0 mL 甲醛溶液,混匀。再用氢氧化钠标准溶液继续滴定至 pH 为 9.2,记下消耗氢氧化钠标准溶液的体积。同时取 80 mL 水,先用氢氧化钠标准溶液调节 pH 为 8.2,再加入 10.0 mL 甲醛溶液,用氢氧化钠标准溶液滴定至 pH 为 9.2,同时做试剂空白试验。

1.3.3 游离氨基酸分析 取 3 mL 液体样品,加 10 g/L 三氯乙酸溶液等体积稀释,混匀后静置 1 h。经双层滤纸过滤后取 1 mL 澄清液于 10 000 r/min 离心 10 min,取 400 μL 上清液于液相瓶。氨基酸组成与质量分数采用高效液相色谱法进行定性与定量分析。采用 Agilent 1100 高效液相色谱仪及 ODS HYPERSIL 色谱柱(25 cm×4.6 mm×5 μm);柱温 40 ℃;检测波长 338 nm;流动相 A:0.06 mmol/L 乙酸钠,流动相 B:0.15 mmol/L 乙酸钠–乙腈–甲醇混合溶液(体积比 1:2:2),流量 1.0 mL/min;梯度洗脱条件:0~27.5 min,B 相体积分数 8%~60%。

1.3.4 呈味核苷酸分析 称取 5 g 蚝油样品,加水稀释并定容到 100 mL,取溶液置于离心管中,10 000 r/min 离心 15 min,取上清液经 0.22 μm 的水系微孔滤膜过滤,将 400 μL 滤液置于液相样品瓶中,检测腺苷酸(adenosine monophosphate,AMP)、肌苷酸(inosine monophosphate,IMP)、鸟苷酸(guanosine monophosphate,GMP)的质量分数。检测条件:采用 Waters 2695 高效液相色谱仪及 SVEA C_{18} 色谱柱(250.0 mm×4.6 mm×5 μm);检测波长 254 nm;柱温 30 ℃;进样量 10 μL;流动相 A 为 pH 6.8 的 0.05 mol/L 磷酸盐缓冲液,流动相 B 为甲醇;等梯度洗脱,流动相 A 与 B 体积比 98:2,流量 1 mL/min。

1.3.5 肽的相对分子质量分布测定 采用凝胶渗透色谱法,检测条件:TSK gel 2000 SWXL 色谱柱(30 cm×7.8 mm×5 μm);柱温 30 ℃;流量 0.5 mL/min;检测波长 220 nm;以乙腈–水–三氟乙酸混合溶液为流动相,体积比 40:60:0.1。以细胞色素 C(相对分子质量 12 500)、抑蛋白酶肽(相对分子质量 6 500)、杆菌肽(相对分子质量 1 450)、GGG 三肽(甘氨酸–甘氨酸–甘氨酸,相对分子质量 189)和 GGYR 四肽(甘氨酸–甘氨酸–酪氨酸–精氨酸,相对分子质量 451)这 5 种标准品绘制标准曲线,分析样品的相对分子质量分布。

1.3.6 数据分析 数据表示为平均值±标准差。使用 SPSS 19.0 软件进行差异性和皮尔逊相关性分析,$P<0.05$ 为差异显著。使用 Origin 2018 软件进行主成分分析(principal component analysis,PCA)。采用 SIMCA-P 14.1 进行 PLSR 分析,通过对投影变量权重值(variable importance in projection,VIP)的回归计算,明确理化指标对滋味的影响程度。

2 结果与分析

2.1 市售蚝油的滋味特征分析

PCA 能够将多个指标降维转化为少数几个综合指标,实现对样品整体差异的综合展示。蚝油作为复合调味品满足了人们日益多元化的调味需求,而鲜味、蚝味、酱味是其独有的滋味属性,因此采用定量描述性感官分析从这 3 个方面评价 15 种蚝油产品的滋味属性,并通过 PCA 对感官量化值进一步分析,结果见图 1。前两个主成分(PC1=58.5%,PC2=31.7%)的累计方差贡献率达到了 90.2%,可以解释所有蚝油样品 85%以上的综合信息[1]。PCA 双标图中各属性的径向长度表示其对主成分的影响大小[13],其中 4 号样品的鲜味较为突出,6 号样品的酱味较为突出,1、2、9 号样品的蚝味较为突出。7、12、13、15 号样品分布在一个象限且距离较近,表明其滋味特点较为接近。2 号和 4 号样品分布在 PC1 的两端,表明其在 PC1 上的差别较大。整体上 15 种蚝油样品在各个象限均有分布,且较为分散,表明不同市售蚝油产品的滋味特性在鲜味、酱味、蚝味上存在较大差异,而感官评价能够对不同市售蚝油产品的滋味差异进行区分。因此,需要进一步分析产生这些差异的原因,明确影响蚝油产品滋味品质的关键组分。

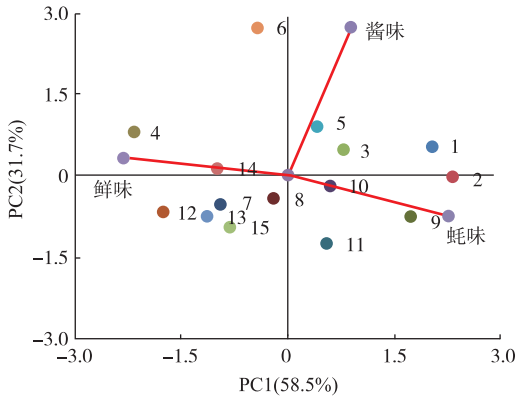


图 1　蚝油感官评分的 PCA 双标图

Fig. 1　PCA biplot of oyster sauce sensory scores

2.2　市售蚝油滋味化合物的差异分析

2.2.1　肽相对分子质量分布　肽是呈现食品鲜味的重要部分，蚝油核心基料蚝汁的加工过程往往伴随着蛋白质的水解或氨基酸的聚合，这一过程产生的不同相对分子质量的肽不仅可以赋予食品美味的口感，还可增强食物的鲜味和醇厚味[14]，因此对不同市售蚝油的肽相对分子质量分布进行分析，结果见图 2。通过比较发现，多数蚝油产品中肽的相对分子质量分布范围较广，并且各产品中相对分子质量为 200~500 的肽占比最高。鲜味肽中二肽或三肽的相对分子质量多在 200 以上[5]。有研究鉴定了 4种蚝油中的多肽类化合物，结果表明其中相对分子质量为 200~500 的三肽或四肽占比较高，且不同蚝油间肽相对分子质量分布存在差异[15]，这与本研究的结果一致。另外 4 号样品中相对分子质量为 200~500 的肽段占比最高，其次是 6 号。结合图 1 可知，4 号样品和 6 号样品分别在鲜味和酱味上表现较突出，推测可能与其肽相对分子质量分布有关。低相对分子质量呈味肽可以给常温下的蚝油提供更多的鲜味来源，也可能在烹饪期间为美拉德反应提供更多的风味前体物质[14]。高相对分子质量的肽也可以在加工过程中进一步降解，有助于食材加热烹饪后蚝油风味的强化[16]。

2.2.2　氨基酸态氮的质量分数　蚝油产品的主要核心原料为牡蛎经过蒸煮产生的浓缩汁液或直接把生蚝肉酶解得到的蚝汁。蚝油调味品中氨基酸态氮质量分数是衡量其营养价值和滋味品质的一项重要指标[17]。通过测定蚝油中的氨基酸态氮可以在一定程度上判别不同产品的品质和鲜味来源。蚝油中的氨基酸态氮主要来源于原料中蛋白质的水解，能够反映产品中以蛋白质、多肽、氨基酸等形式存在的氮的总量。15 种市售蚝油中氨基酸态氮的质量分数见图 3。国标中对蚝油产品的要求为氨基酸态氮质量分数≥0.3 g/hg，15 种蚝油产品的氨基酸态氮质量分数均高于国标。价格较高的蚝油中，氨基酸态氮质量分数也较高；中间价位的产品中，6 号和 10 号样品也具有较高的氨基酸态氮质量分数，这可能与酿造酱油的添加情况有关。蚝油作为一种复合型调味品，除了蚝汁本身含有的蛋白质、多肽、氨基酸之外，添加酿造酱油是丰富产品氨基酸态氮来源的可靠方式。对于类似的酱油或调味酱制品来说，较高的氨基酸态氮质量分数意味着更柔和的滋味和更强的鲜味，也可满足特定地区人群的口味需求。因此，氨基酸态氮质量分数是评价蚝油产品品质的重要指标，但不能仅通过氨基酸态氮质量分数这个单一指标来评判其鲜味的高低。

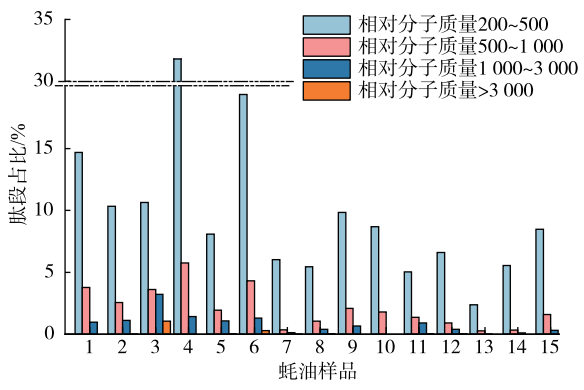
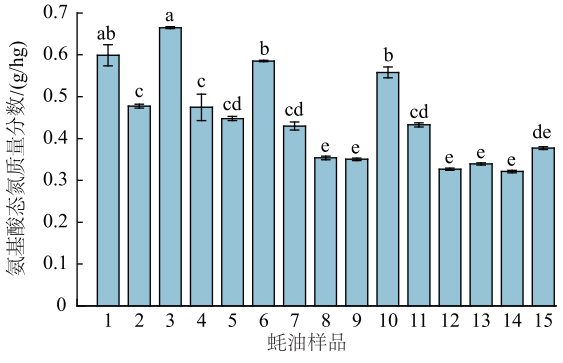


图 2　蚝油中肽的相对分子质量分布

Fig. 2　Relative molecular weight distribution of peptides in oyster sauces



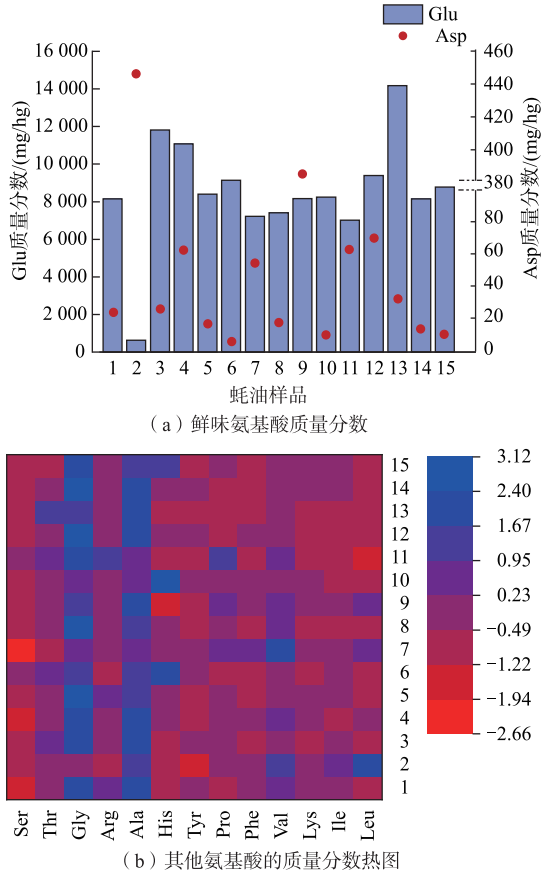
不同小写字母表示组间差异显著(P<0.05)。

图 3　蚝油中氨基酸态氮质量分数的差异

Fig. 3　Differences in amino acid nitrogen mass fraction of oyster sauces

2.2.3　游离氨基酸组成及质量分数　游离氨基酸的组成及质量分数对蚝油的滋味特征及整体风味的形成具有非常重要的影响。为了明确氨基酸组成及质量分数对不同蚝油产品滋味特征的影响，对 15 种蚝油产品的游离氨基酸进行分析，结果见图 4。根据氨基酸的结构与呈味特征将其分为鲜味、甜味、酸味和苦味氨基酸，多种游离氨基酸组合会形成特有的滋味属性[18]。在 15 种蚝油中共检测到 15 种游离氨基酸，包括天冬氨酸(Asp)、谷氨酸(Glu)、丝氨酸(Ser)、组氨酸(His)、甘氨酸(Gly)、苏氨酸(Thr)、脯氨酸(Pro)、丙氨酸(Ala)、酪氨酸(Tyr)、苯丙氨酸(Phe)、赖氨酸(Lys)、精氨酸(Arg)、异亮氨酸(Ile)、亮氨酸(Leu)、缬氨酸(Val)。其中鲜味氨基酸 Glu 和 Asp 的质量分数远高于其他氨基酸，表明鲜味氨基酸是蚝油产品中较为丰富的呈味氨基酸，其中 Glu 在蚝油中主要来源于核心基料。13 号样品中鲜味氨基酸的质量分数最高，结合其氨基酸态氮质量分数较低和相对分子质量>200 的肽占比较少，可以推断相比于其他产品，其呈味更依赖于小分子鲜味物质如谷氨酸；然而结合感官评价结果，13 号样品的鲜味并不突出。2 号样品中虽然鲜味氨基酸的质量分数最低，但其氨基酸态氮质量分数较高且小分子肽的占比较为均衡，其感官评价在蚝味上也有较好表现。由图 4(b)可知，在大部分样品中 Ala 和 Gly 是除鲜味氨基酸外质量分数较高的氨基酸，这两者都属于甜味氨基酸，在感官上鲜味与甜味存在协同作用，表明游离氨基酸可能对蚝油产品的鲜甜滋味有贡献。

2.2.4　呈味核苷酸组成及质量分数　调味品中的呈味核苷酸常与氨基酸协同作用，对产品鲜味以及整体风味有重要贡献。15 种蚝油中 AMP、IMP、GMP 的质量分数见表 1。经过热处理后，5’-三磷酸腺苷(ATP) 相关的化合物可以转化为呈味核苷酸 IMP、AMP、GMP[19]。不同的核苷酸具有不同的风味属性，在水产品中，IMP 和 AMP 分别与甜味和鲜味密切相关[20]。通过比较发现，AMP 和 GMP 是大多数蚝油样品中质量分数较高的呈味核苷酸，但由于 IMP 的感受阈值较低，虽然其质量分数较低，但也可能对呈味有贡献。2 号样品中 AMP 和 GMP 的质量分数均最高；5 号、11 号、12 号样品中 3 种核苷酸的质量分数均较低。这可能与加工工艺和原辅料的差别有关，如蚝油加工中的热处理过程会导致呈味核苷酸分解和转化，从而造成核苷酸质量分数下降。此外，基于牡蛎体液呈味物质的研究发现，IMP 在牡蛎中的含量本就比其他核苷酸低，而其较差的热稳定性导致热加工后的损耗更严重[21]，这与本研究结果一致。但考虑到呈味核苷酸与其他呈味物质之间的协同作用，因此 IMP 依然可能对蚝油产品的滋味表现有重要影响。



（a）鲜味氨基酸质量分数

（b）其他氨基酸的质量分数热图

图 4　蚝油中游离氨基酸的组成及质量分数

Fig. 4　Composition and mass fraction of free amino acids in oyster sauces

2.3　市售蚝油中关键滋味化合物的鉴定

与滋味相关的各种理化指标和蚝油的各项感官属性并不是简单的线性关系。滋味化合物之间复杂的相互关系共同作用于蚝油的滋味形成。因此，采用多元数据分析方法 PLSR 探索滋味化合物与蚝油滋味品质的关系，明确影响滋味特性的关键物质，提高通过化学分析实现蚝油品质评价的可行性。以 23 个理化指标作为 X 变量，3 个感官属性作为 Y 变量进行相关性分析，结果见图 5。在 PLSR 中，PC1 和 PC2 可以较好地解释自变量(理化指标)和因变量(感官量化值)，其中 R^2_X=0.966、R^2_Y=0.773、

表 1　蚝油中呈味核苷酸的质量分数

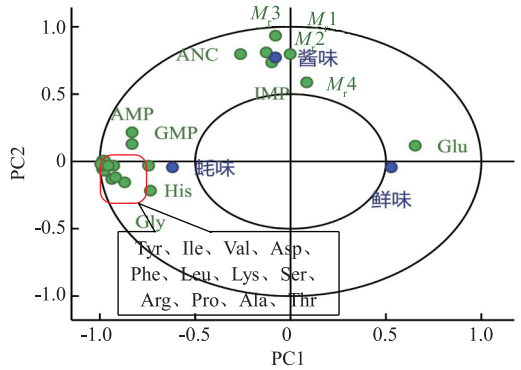
Table 1　Mass fraction of flavor nucleotides in oyster sauces

样品编号	质量分数/(mg/hg)		
	AMP	IMP	GMP
1	8.81±0.03^{l}	1.87±0.07^{cl}	13.89±0.05^{k}
2	189.19±5.01^{a}	2.15±0.01^{c}	204.20±18.02^{a}
3	46.36±2.08^{f}	1.07±0.01^{cl}	52.49±7.01^{e}
4	12.49±0.04^{k}	8.11±0.05^{a}	32.75±0.06^{h}
5	0.22±0.06^{m}	1.70±0.05^{cl}	2.00±0.09^{l}
6	77.05±0.06^{c}	4.30±0.05^{b}	93.33±0.04^{c}
7	18.55±0.01^{j}	0.10±0.03^{d}	12.26±0.07^{k}
8	25.22±0.03^{h}	0.96±0.07^{cl}	26.23±0.01^{i}
9	84.39±8.04^{b}	2.15±0.01^{c}	100.82±5.09^{b}
10	45.34±0.06^{f}	0.36±0.07^{cl}	50.26±4.09^{f}
11	0.11±0.06^{m}	0.18±0.04^{cl}	0.64±0.09^{l}
12	1.88±0.08^{m}	0.19±0.08^{cl}	0.82±0.07^{l}
13	58.13±0.02^{e}	0.29±0.01^{cl}	61.43±1.05^{d}
14	20.63±0.06^{i}	0.13±0.09^{cl}	16.29±0.08^{j}
15	38.12±0.09^{g}	0.34±0.05^{cl}	39.39±0.09^{g}

注：同一指标不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

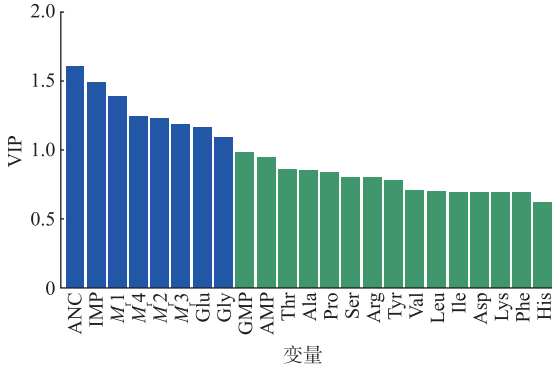
Q^2=0.514，表明该模型预测能力较好。图 5(a)中内椭圆与外椭圆分别表示 50%和 100%的解释方差，有 3 个感官属性和 23 个理化指标落在内外椭圆之间，表明 PLSR 模型能够很好地解释这些指标。鲜味、蚝味、酱味 3 个滋味特征分布于 3 个不同的象限，表明这 3 种滋味特征在不同样品中存在较大差异，其中鲜味与 Glu 关联性较大；蚝味与游离氨基酸、核苷酸有关；酱味可能与其附近聚集的呈味肽、氨基酸态氮、IMP 等指标有关。图 5(b)为各变量的 VIP，VIP>1 被认为具有较高的影响[22]。结果显示有 8 个指标的 VIP>1，包括氨基酸态氮质量分数、IMP、相对分子质量为 200~500 的肽、相对分子质量为 500~1 000 的肽、相对分子质量为 1 000~3 000 的肽、相对分子质量>3 000 的肽、Gly、Glu。

进一步分析得到 VIP>1 的理化指标与滋味特征之间的皮尔逊相关系数，结果见表 2。通过比较发现，鲜味与 Glu 质量分数呈显著正相关，而 IMP 质量分数、相对分子质量 200~500 的肽以及相对分子质量>3 000 的肽对鲜味有贡献；蚝味与氨基酸态氮质量分数、Gly 质量分数、相对分子质量为 1 000~3 000 的肽以及相对分子质量>3 000 的肽呈正相关。氨基酸态氮质量分数和相对分子质量为 500~1 000 的肽对酱味有极显著正向贡献，而相对分子质量为 200~500 的肽与酱味呈显著正相关。研究表明，Glu 是大西洋牡蛎鲜味的主要来源之一[23]，而 Gly 则对马氏珍珠贝的滋味有重要贡献[24]，这能够解释两种氨基酸与蚝油滋味的相关性。在基于玉米肽美拉德产物的风味特性研究中发现，相对分子质量<1 000 的肽段对醇厚味和风味持续性有重要贡献[25]。因此，小分子肽在蚝油的滋味形成中起着重要作用，这也与文献[15]中的研究结论吻合。小分子肽的组成与原料的水解程度有关[5]，说明加工工艺可能是导致不同产品的滋味存在差异的主要原因之一[15,26]。



M_r 1~M_r 4分别表示相对分子质量为200~500、500~1 000、1 000~3 000及＞3 000的肽；ANC表示氨基酸态氮质量分数。

（a）蚝油滋味特征与理化指标的PLSR载荷图



M_r 1~M_r 4分别表示相对分子质量为200~500、500~1 000、1 000~3 000及＞3 000的肽；ANC表示氨基酸态氮质量分数。

（b）PLSR模型中变量的VIP

图 5　蚝油产品滋味特征与理化指标的 PLSR 分析

Fig. 5　PLSR analysis between the characteristics and physicochemical indexes of oyster sauces

表 2 感官评定结果与主要理化指标之间的相关性

Table 2 Correlation between sensory evaluation results and main physicochemical indexes

指标	氨基酸态氮质量分数	Glu 质量分数	相对分子质量 500~1 000 的肽	相对分子质量 200~500 的肽	相对分子质量>3 000 的肽	Gly 质量分数	相对分子质量 1 000~3 000 的肽	IMP 质量分数
鲜味	−0.413	0.604*	−0.042	0.144	0.063	−0.051	−0.052	0.178
蚝味	0.335	−0.418	−0.036	−0.343	0.196	0.401	0.271	−0.326
酱味	0.707**	−0.099	0.681**	0.526*	0.367	−0.219	0.542*	0.508

注：** 表示 $P<0.01$，* 表示 $P<0.05$。

3 结 语

通过对 15 种市售蚝油的滋味特征进行定量描述分析，建立了蚝油的滋味特征分析和评价方法。由滋味化合物分析可知，由于原料、配方、加工工艺的区别会导致不同市售蚝油中滋味化合物的组成及质量分数存在差异。由 PLSR 法和皮尔逊相关性分析确定了影响蚝油滋味特性的关键组分，包括氨基酸态氮、Gly、Glu、IMP 和呈味肽。因此，通过改变工艺或原辅料的方式控制关键组分的质量分数可能有助于改变产品的滋味特性。例如，提高产品中氨基酸态氮质量分数和相对分子质量为 200~1 000 的肽段占比可能有助于调控蚝油产品的酱味，开发出特定风味的产品；调控产品中 Gly 质量分数可能有助于调节产品的蚝味；增加 Glu 和 IMP 的质量分数可以强化产品的鲜味，从而满足地域化市场需求。该研究可以为蚝油产品的品质分级以及产品开发提供思路和依据。

参考文献：

[1] XIANG Q，XIA Y X，SONG J H，et al. Characterization of the key nonvolatile metabolites in Cheddar cheese by partial least squares regression（PLSR），reconstitution，and omission[J]. **Food Chemistry**，2023，403：134034.

[2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会.蚝油：GB/T 21999—2008[S]. 北京：中国标准出版社，2008.

[3] YOSHIDA Y. Umami taste and traditional seasonings[J]. **Food Reviews International**，1998，14（2）：213-246.

[4] 崔妍春，张化贤，王爱辉，等. 三种贝类蒸煮液主要滋味化合物的分析与比较[J]. 中国调味品，2022，47（1）：1-7.
CUI Y C，ZHANG H X，WANG A H，et al. Analysis and comparison of main taste compounds in three kinds of shellfish boiling liquid[J]. **China Condiment**，2022，47（1）：1-7.（in Chinese）

[5] 吴若彤，王兴伟，夏书芹，等. 外源氨基酸对牡蛎肽美拉德反应产物风味特性的调控作用[J]. 食品与生物技术学报，2023，42（3）：30-37.
WU R T，WANG X W，XIA S Q，et al. Flavor characteristics of oyster peptide Maillard reaction products regulated by exogenous amino acids[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**，2023，42（3）：30-37.（in Chinese）

[6] 易宇文，范文教，彭毅秦，等. 鱼香调味汁人工感官评价与电子舌感官分析相关性研究[J]. 食品科技，2017，42（11）：290-294.
YI Y W，FAN W J，PENG Y Q，et al. Research on the correlation between electronic tongue analysis and sensory evaluation of spicy garlic sauce[J]. **Food Science and Technology**，2017，42（11）：290-294.（in Chinese）

[7] 田怀香，吴謨，秦蓝，等. 基于 GC-MS 和 GC-O 的调味品鸡精特征风味物质研究[J]. 现代食品科技，2016，32（9）：287-294.
TIAN H X，WU X，QIN L，et al. Characteristic flavor compounds in chicken bouillon by gas chromatography-mass spectrometry and-olfactometry[J]. **Modern Food Science and Technology**，2016，32（9）：287-294.（in Chinese）

[8] 阮志强，董玺梅，蒋雪薇，等. 高盐稀态酱油发酵优势真菌与风味物质相关性分析[J]. 食品科学，2022，43（10）：172-179.
RUAN Z Q，DONG X M，JIANG X W，et al. Correlation between dominant fungi and variation of flavor compounds during high-salt liquid-state soy sauce fermentation[J]. **Food Science**，2022，43（10）：172-179.（in Chinese）

[9] 刘一达. 三种剁辣椒籽营养成分和挥发性风味物质及生物活性研究[D]. 长沙：湖南农业大学，2021.

[10] NGUYEN T H D，WANG X C. Volatile，taste components，and sensory characteristics of commercial brand oyster sauces：comparisons and relationships[J]. **International Journal of Food Properties**，2012，15（3）：518-535.

[11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 感官分析选拔、培训与管理评价员一般导则 第

1 部分 优选评价员：GB/T 16291.1—2012[S]. 北京：中国标准出版社，2012.
[12] JIANG X W,ZHANG W,LI L L,et al. Characteristics of microbial community,taste,aroma of high-salt liquid-state secondary fortified fermented soy sauce[J]. **LWT–Food Science and Technology**,2023,182：114792.
[13] ASLAM M,MAQBOOL M A,ZAMAN Q U,et al. Comparison of different tolerance indices and PCA biplot analysis for assessment of salinity tolerance in lentil(*Lens culinaris*) genotypes[J]. **International Journal of Agriculture & Biology**,2017,19(3)：470-478.
[14] 阮仕艳. 罗非鱼下颌水提鲜味肽的呈味特性及其作用机制研究[D]. 昆明：昆明理工大学，2021.
[15] TIN Hoe-seng. LC/Q-TOF 鉴定蚝油中非挥发性特征物质的研究[J]. 中国调味品，2022，47(12)：141-147.
TIN H S. Study on the identification of non-volatile characteristic substances in oyster sauce by LC/Q-TOF[J]. **China Condiment**,2022,47(12)：141-147. (in Chinese)
[16] 范思华. 沙蟹汁中氨基酸和小分子肽对其鲜味影响的研究[D]. 南宁：广西大学，2019.
[17] 李由. 提高郫县豆瓣氨基态氮含量关键技术的研究[D]. 成都：西华大学，2010.
[18] ZHU S C,ZHU L,KE Z G,et al. A comparative study on the taste quality of *Mytilus coruscus* under different shucking treatments [J]. **Food Chemistry**,2023,412：135480.
[19] LIU C S,JI W Z,JIANG H Z,et al. Comparison of biochemical composition and non-volatile taste active compounds in raw,high hydrostatic pressure-treated and steamed oysters *Crassostrea hongkongensis*[J]. **Food Chemistry**,2021,344：128632.
[20] 刘文，张悦容，李晔，等. 牡蛎体液主要呈味物质的测定及脂类成分分析[J]. 核农学报，2013，27(10)：1518-1524.
LIU W,ZHANG Y R,LI Y,et al. Flavor substances and lipid composition in oyster juice[J]. **Journal of Nuclear Agricultural Sciences**,2013,27(10)：1518-1524. (in Chinese)
[21] MEHMOOD T,LILAND K H,SNIPEN L,et al. A review of variable selection methods in partial least squares regression[J]. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**,2012,118：62-69.
[22] BI S J,CHEN L P,SUN Z K,et al. Investigating influence of aquaculture seawater with different salinities on non-volatile taste-active compounds in Pacific oyster(*Crassostrea gigas*)[J]. **Journal of Food Measurement and Characterization**,2021,15(2)：2078-2087.
[23] 司蕊，章超桦，曹文红，等. 冻藏对水煮及酶解马氏珠母贝肉提取物呈味特性的影响[J]. 食品科学技术学报，2021，39(3)：62-72.
SI R,ZHANG C H,CAO W H,et al. Effect of frozen storage on flavor characteristics of aqueous and enzymolysis extract from *Pinctada martensii*[J]. **Journal of Food Science and Technology**,2021,39(3)：62-72. (in Chinese)
[24] 于静洋，周烨，张晓鸣，等. 温度与时间对玉米肽美拉德产物风味特性的影响[J]. 食品与生物技术学报，2022，41(4)：64-73.
YU J Y,ZHOU Y,ZHANG X M,et al. Effect of temperature and time on flavor characteristics of corn peptides Maillard reaction products[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**,2022,41(4)：64-73. (in Chinese)
[25] 王丰. 不同加工工艺对浓缩蚝汁风味的影响[J]. 中国调味品，2020，45(7)：131-133.
WANG F. Effect of different processing techniques on the flavor of concentrated oyster sauce[J]. **China Condiment**,2020,45(7)：131-133. (in Chinese)

(责任编辑：史润东东)