



渔业科学进展

Progress in Fishery Sciences

ISSN 2095-9869, CN 37-1466/S

《渔业科学进展》网络首发论文

题目: 基于电子舌技术分析不同采收期紫菜的滋味特征
作者: 曹荣, 赵玲, 王联珠, 孙慧慧, 刘淇
DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20180810001
收稿日期: 2018-08-10
网络首发日期: 2018-08-28
引用格式: 曹荣, 赵玲, 王联珠, 孙慧慧, 刘淇. 基于电子舌技术分析不同采收期紫菜的滋味特征. 渔业科学进展.
<https://doi.org/10.19663/j.issn2095-9869.20180810001>



网络首发:在编辑部工作流程中,稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定,且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件,可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定;学术研究成果具有创新性、科学性和先进性,符合编辑部对刊文的录用要求,不存在学术不端行为及其他侵权行为;稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准,正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性,录用定稿一经发布,不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容,只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认:纸质期刊编辑部通过《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约,在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版,以单篇或整期出版形式,在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z),所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

基于电子舌技术分析不同采收期紫菜的滋味特征*

曹 荣^{1,2} 赵 玲¹ 王联珠¹ 孙慧慧¹ 刘 淇^{1①}

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071;

2. 海洋国家实验室海洋药物与生物制品功能实验室 青岛 266235)

摘要 为科学评价不同采收期的紫菜在滋味方面的差异,采用电子舌技术分析了头水、二水、四水和六水条斑紫菜(*Porphyra yezoensis*)的滋味组成,同时对不同采收期紫菜中游离氨基酸、呈味核苷酸等呈味物质的含量进行了测定。结果表明,紫菜滋味主要由鲜味、鲜味回味、咸味和苦味组成。头水、二水、四水、六水紫菜的鲜味强度依次减弱。二水紫菜的鲜味回味值最大,头水和四水紫菜的鲜味回味值接近,六水紫菜的鲜味回味值显著降低($P<0.05$)。头水和二水紫菜的咸味强度接近,且显著高于后期采收紫菜的咸味值($P<0.05$)。头水、二水紫菜的苦味值接近,四水紫菜的苦味值略低,六水紫菜的苦味值最低。不同采收期紫菜的呈味物质含量及其对滋味的贡献程度差异较大。头水、二水、四水和六水紫菜的游离氨基酸总量依次减少,四组样品之间存在显著差异($P<0.05$),对滋味贡献大的游离氨基酸主要是丙氨酸和谷氨酸。呈味核苷酸中肌苷酸(inosine monophosphate, IMP)对滋味的贡献大。头水、二水、四水和六水紫菜的味精当量(equivalent umami concentration, EUC)分别为 223.89 gMSG/100g、222.13 gMSG/100g、118.54 gMSG/100g 和 47.19 gMSG/100g,表明前期采收的紫菜鲜味更加强烈。电子舌的检测数据与呈味物质含量的分析结果基本一致。

关键词 紫菜;采收期;电子舌;滋味

中图分类号 TS254.7 文献标识码 A

紫菜是重要的经济藻类,隶属于红藻门(Rhodophyta)、原红藻纲(Protofloridaeophyceae)、红毛菜目(Bangiales)、红毛菜科(Bangiaceae)、紫菜属(*Porphyra*)。在世界范围内,目前已报道的紫菜有 130 多种,我国的紫菜约 20 种,其中条斑紫菜(*Porphyra yezoensis*)和坛紫菜(*Porphyra haitnensis*)是最主要的养殖品种(沈颂东, 2014)。紫菜富含蛋白质、多糖、

微量元素等,不仅营养价值高,而且具有良好的保健功效(郭雷等, 2010)。此外,紫菜风味独特,尤其是鲜味突出(姚兴存等, 2015),这也是其深受广大消费者喜爱的原因。

紫菜的采收有“分茬”的特点,采割过的紫菜可以再次生长。首次采割的紫菜一般称作“头水紫菜”,之后采割的依次称作二水、三水、四水等。不同采收期

* 现代农业产业技术体系专项资金(CARS-50)资助[This work was funded by China Agriculture Research System (CARS-50).] 曹荣, E-mail: caorong@ysfri.ac.cn

① 通讯作者: 刘淇, 研究员, E-mail: liuqi@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2018-08-10, 收修改稿日期: 2018-08-15

的紫菜在营养组成方面存在差异(仲明等, 2003; 应苗苗等, 2009)。除营养成分外, 风味也是评价紫菜品质的重要指标。水产品的风味主要由气味和滋味组成(高瑞昌等, 2013)。近年来, 科研工作者对多种水产品的挥发性气味成分进行了研究, 无论是分析手段还是研究发现都取得了理想进展(Li *et al.*, 2013; Guo *et al.*, 2014; 杨欣怡, 2015; 卞瑞姣, 2017)。目前已经有学者对紫菜的挥发性气味特征进行过研究, 如应苗苗等(2010)研究发现头水和二水坛紫菜挥发性气味成分相对稳定, 后期采收的坛紫菜挥发性气味成分变化大; 李薇等(2016)研究发现随着采收期的延后, 坛紫菜中的挥发性气味成分发生较大变化, 头水紫菜气味更佳。滋味物质大多是水溶性、非挥发性、分子量相对较低的化合物, 如游离氨基酸、肽类、核苷酸及其关联化合物、无机离子、有机酸等。目前对水产品滋味的研究主要集中在鱼(翁丽萍等, 2015)、虾(池岸英等, 2012)、蟹(赵樑等, 2016)等水产动物, 而针对紫菜等经济藻类滋味的研究还较少。

本文以条斑紫菜为研究对象, 采用 INSENT 味觉分析系统检测了不同采收期紫菜的滋味组成, 同时对不同采收期紫菜的游离氨基酸、呈味核苷酸等滋味物质进行了分析。研究结果可以为紫菜的品质评定及其高质化加工利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验原料与试剂

实验用条斑紫菜采集自靖海湾海域, 由威海市科蓝海洋科技有限公司提供。头水、二水、四水和六水紫菜的采收日期分别为: 2016 年 12 月 30 日、2017 年 1 月 17 日、2017 年 2 月 14 日和 2017 年 3 月 13。

腺苷酸(adenosine monophosphate, AMP)、肌苷酸(inosine monophosphate, IMP)和鸟苷酸(guanosine monophosphate, GMP)标准品(纯度>99%)Sigma 公司; 氨基酸混样标准品(纯度>99%)Sigma 公司; 其它试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

TS-5000Z 型味觉分析系统 日本 INSENT 公司;
L-8800 型氨基酸自动分析仪 日本日立公司;
DHG-9423A 型电热恒温鼓风干燥箱 海精宏实验设备有限公司; 1260 型高效液相色谱系统 美国 Agilent 公司。

1.3 方法

1.3.1 样品前处理 紫菜样品采收后, 经清洗、切割、制饼、脱水、烘干、包装等工艺制成干紫菜。干制的紫菜样品运至实验室后, 用匀浆机打成粉状, 置于干燥器中保存备用。

1.3.2 电子舌检测 取 5.0 g 紫菜干粉, 加入 100 mL 加热至沸腾的去离子水, 浸泡 5 min 后转移到离心管中, 3 000 r/min 离心 5 min, 取上清液冷却至室温后上机, 按照系统预定程序进行检测。设备加载多种传感器电极, 分别检测鲜、咸、苦、涩、酸 5 种味道及其回味。每个样品检测 3 次, 运用系统自带数据库对测试数据进行味觉特征分析。

参比溶液为氯化钾和酒石酸混合溶液, 用来模拟人工唾液; 负极清洗液为水、乙醇和盐酸混合溶液; 正极清洗液为水、氯化钾、乙醇和氢氧化钾混合溶液。

1.3.3 游离氨基酸含量测定 采用磺基水杨酸法处理样品。参照 GB 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸含量的测定》(2016), 采用氨基酸自动分析仪进行测定。

1.3.4 呈味核苷酸含量测定 参照 Yokoyama (1992) 的方法稍作修改。取样品 5.0 g, 加入 25.0 mL 预先冷却至 10℃ 以下的过氧乙酸溶液(质量分数为 10%), 均质后在离心, 收集上清液, 中和至 pH 6.5, 过 0.45 μm 滤膜, 收集滤液。

滤液用高效液相色谱仪进行测定。检测条件: C18 色谱柱, 柱温 25℃; 紫外检测器, 检测波长 260 nm; 流动相为柠檬酸、乙酸、三乙胺混合溶液, 浓度分别为 20.0 mmol/L、20.0 mmol/L 和 40.0 mmol/L, 流速 0.8 mL/min; 进样量 10 μL。通过比较样品与标准化合物色谱图峰值的保留时间及峰面积来确定 AMP、

IMP 和 GMP 含量。

1.3.5 滋味活性值(taste active value, TAV)计算

呈味物质的 TAV 按公式(1)计算(龚骏等, 2014):

$$TAV = \frac{\text{样品中某呈味物质的绝对浓度值}}{\text{该物质的味道阈值}} \quad (1)$$

1.3.6 味精当量(equivalent umami concentration, EUC)计算

EUC 是呈味核苷酸与鲜味氨基酸之间产生的协同增鲜作用, 以同等鲜味所需的谷氨酸单钠(monosodium glutamate, MSG)表示(龚骏等, 2014)。

按公式(2)计算:

$$EUC(g \text{ MSG}/100g) = \frac{\sum a_i b_i + 1218(\sum a_i b_i)(\sum a_j b_j)}{\sum a_j b_j} \quad (2)$$

式中: 1218 为协同作用常数; a_i 为鲜味氨基酸的量/(g/100g); b_i 为鲜味氨基酸相对于 MSG 的鲜味系数(Glu 1; Asp 0.077); a_j 呈味核苷酸的量/(g/100g); b_j 为呈味核苷酸相对于 IMP 的鲜味系数(AMP 0.18; IMP 1; GMP 2.3)。

1.4 数据处理

采用 SPSS 17.0 软件对数据进行处理, 试验重复 2 次, 每次设 3 个平行, 结果以平均值±标准偏差表示, 显著性以 P 值小于 0.05 为显著, P 值大于 0.05 为不显著。

2 结果与分析

2.1 不同采收期紫菜的电子舌分析结果

2.1.1 基于电子舌的紫菜滋味轮廓 图 1 是电子舌对不同采收期紫菜的味觉响应雷达图。所有数据均是以参比溶液(模拟人工唾液)为标准的绝对输出值, 电子舌测试参比溶液的状态即模拟人口腔中只有唾

液时的状态。图中坐标为味道强度值。根据韦伯-费希纳定律, 在同类刺激下, 差别阈值的大小与标准刺激强弱成一定比例关系, 呈味物质的强度发生 20% 的变化时, 人舌可以识别其差异。因此, 电子舌将呈味物质 20% 的强度变化定义为一个味道单位。由图 1 可以看出, 紫菜的味觉指标丰富, 酸味对应的值在无味点(即参比溶液对应的值)以下, 其它味觉指标均在无味点以上, 因此除酸味外的其它味觉指标均可作为评价紫菜的有效味觉指标。不同采收期的紫菜, 其滋味均主要由鲜味、鲜味回味、咸味和苦味组成, 但每种味道的强度有较大差异, 苦味回味和涩味回味的值均小于 1, 对滋味的贡献小。

在对水产品的滋味进行评价时, 感官评定的方法具有直观、快速的特点, 但受主观因素的影响, 误差往往较大。采用生化指标的方法, 虽然结果较为准确, 但过程繁琐、需时较长。近年来, 食品品质评价的新型技术发展迅速。其中, 电子舌可以模拟人的味觉识别系统, 通过量化数据提高评价的科学性和精准度, 在食品滋味评价中得到越来越多的应用(苗晓丹等, 2015; Phat *et al*, 2016)。本研究中使用的是 TS-5000Z 型味觉分析系统, 该系统使用具有选择特异性的人工脂膜传感器, 模拟人体的味觉感受机理, 通过检测各种滋味物质与人工脂膜之间的静电作用或疏水性相互作用产生的膜电势的变化, 实现对酸、甜、苦、咸、鲜 5 种基本味和涩味的评价, 具有快速、准确、可量化的特点。

2.1.2 不同采收期紫菜的滋味特征 图 2 是不同

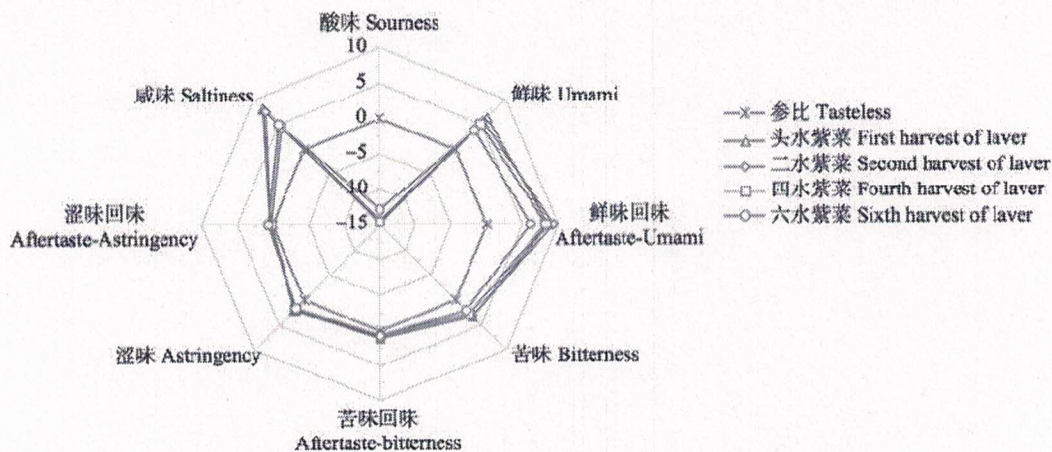


图1 不同采收期紫菜的味道雷达图

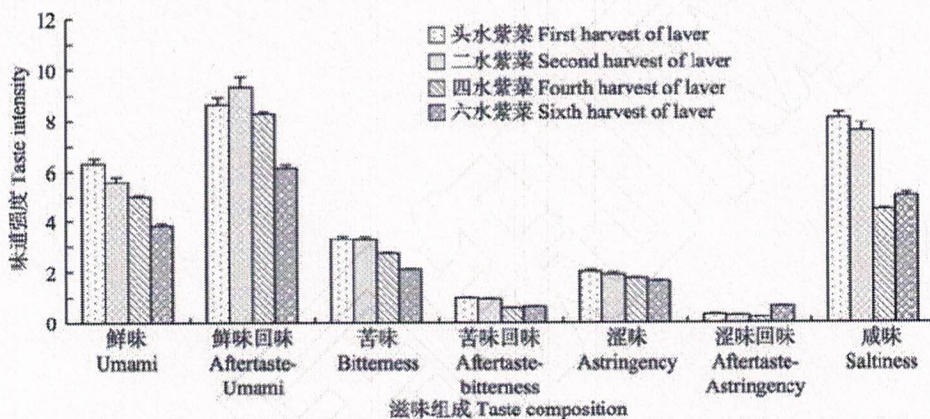
Fig.1 Taste radar chart of *Porphyra yezoensis* with different harvest periods

图2 不同采收期紫菜的滋味特征

Fig.2 Taste characteristics of *Porphyra yezoensis* with different harvest periods

采收期紫菜的滋味组成情况。鲜味和鲜味回味是紫菜最为重要的味觉指标。不同采收期紫菜样品对应的鲜味强度有明显差别,头水、二水、四水、六水紫菜的鲜味强度依次减弱。鲜味回味与鲜味的规律略有不同,二水紫菜的鲜味回味值最大,头水和三水紫菜的鲜味回味接近,四水紫菜的鲜味回味值明显减小($P<0.05$)。回味代表了样品滋味的持久性和丰富程度。鲜味回味不仅与鲜味物质的绝对含量有关,还有鲜味物质的种类密切相关。二水紫菜的鲜味回味更为强烈,表明其鲜味物质的含量与种类可能与其它采收期紫菜有所不同。

紫菜具有一定的苦味。头水、二水紫菜的苦味值接近,分别为 3.30 和 3.26,二者无显著差异($P>0.05$)。四水紫菜的苦味值为 2.74,略低于头水和二

水紫菜。六水紫菜的苦味值为 2.09,显著低于头水、二水紫菜($P<0.05$)。不同采收期紫菜样品的涩味值均较小,且无显著差异($P>0.05$),表明涩味对紫菜的滋味贡献小。

紫菜属于海水养殖品种,且对环境物质有较强的吸附能力,因此紫菜中含有较多盐的成分,会呈现出咸味。头水和二水紫菜的咸味强度接近,且显著高于后期采收紫菜的咸味强度值($P<0.05$)。咸味主要由 Na^+ 、 K^+ 等无机阳离子产生,它们的存在可以在一定程度上对咸味以外的其它滋味起到增强作用。头水、二水紫菜的鲜味强度相对较高,与其较高的无机离子含量可能也有关系。

2.2 不同采收期紫菜的主要呈味物质含量及其对滋味的贡献

2.2.1 游离氨基酸含量及其 TAV 游离氨基酸是构成紫菜滋味的重要成分。不同采收期紫菜的游离氨基酸组成及其对应的滋味活性值见表 1。头水紫菜的游离氨基酸总量达到 4291.54 mg/100g, 其中含量较高的种类依次是 Ala、Glu、Asp 和 Val。二水紫菜的游离氨基酸总量为 3485.29 mg/100g, 与头水紫菜相比明显偏低($P<0.05$), 但在氨基酸种类结构及其比例方面相似。四水紫菜的游离氨基酸总量为 3277.98 mg/100g, 显著低于头水、二水紫菜($P<0.05$), 含量较高的种类依次是 Ala、Glu、Asp、Val 和 Thr。六水紫菜的游离氨基酸总量仅为 1148.12 mg/100g, 含量较高的种类依次是 Ala、Glu、Thr、Val 和 Asp。由此看出, 随着采收期的延后, 紫菜中的游离氨基酸总量明显减少; 各种类的比例也会发生一定变化, 尤其是后期采收的紫菜, Thr 含量相对较高, 而头水和二水紫菜中 Thr 均未检测到, 这可能与不同采收期温度、盐度、光照强度等生态环境的变化影响了紫菜的生理组分有关(陈伟洲等, 2013)。

人对味道的感知是由呈味物质的量及其味道阈值共同决定的。通常采用 TAV 对食品的滋味强度进行评价。当化合物的 TAV 小于 1 时, 该物质对整体滋味贡献不明显; 当 TAV 大于 1 时, 该呈味物质对整体滋味有重要贡献, 且值越高, 贡献度越大。头水紫菜中对滋味贡献大的氨基酸依次是 Glu(鲜味)、Ala(甜味)、Asp(鲜味)和 Val(苦味), 这与头水紫菜呈现出非常浓郁的鲜甜滋味相一致。二水和四水紫菜中同样是 Glu、Ala、Asp 和 Val 对滋味贡献最大, 但 TAV 相对较小。六水紫菜中对滋味贡献大的游离氨基酸仅有 Glu 和 Ala, 对应的 TAV 分别为 14.49 和 8.76, 与前期采收紫菜样品对应的 TAV 有明显差距, 这也是后期采收的紫菜味道相对清淡的原因之一。

2.2.2 呈味核苷酸含量及其 TAV

 AMP、IMP 和

GMP 是典型的呈鲜味的核苷酸(Fuke *et al*, 1996)。不同采收期紫菜的呈味核苷酸含量及其对应的滋味活性值见表 2。不同采收期的紫菜样品, 其 AMP 含量均较低, 对滋味的贡献小, 而 IMP 含量相对较高, 对滋味的贡献较大。头水、二水、四水和六水紫菜中 IMP 对应的 TAV 分别为 4.13、4.56、2.19 和 2.33, 这与先期采收的紫菜鲜味更强烈的现象一致。二水紫菜的呈味核苷酸显著高于其它紫菜样品, 这可能是造成二水紫菜鲜味回味更加强烈(图 2)的原因之一。GMP 对滋味也有一定的贡献, 但 TAV 相对较小。

当呈味核苷酸与鲜味氨基酸同时存在时, 可产生协同效应, 这种交互作用也是呈味的关键因素之一。一般用 EUC 衡量呈味核苷酸与鲜味氨基酸的增鲜协同作用(Machashi *et al*, 1999)。经计算, 头水、二水、四水、六水紫菜的 EUC 分别为 223.89 gMSG/100g、222.13 gMSG/100g、118.54 gMSG/100g 和 47.19 gMSG/100g。这与电子舌得出的头水、二水、四水、六水紫菜鲜味强度依次减弱的结论基本一致。

不同采收期的紫菜在滋味方面存在差异, 这种差异的大小与紫菜品种、养殖海域等因素有关。通过量化呈味物质及其滋味贡献程度, 可以对不同紫菜样品在特定滋味方面进行初步评价。但食品的滋味构成原理复杂, 除游离氨基酸、呈味核苷酸外, 肽类物质、无机离子、有机酸等多种物质都对滋味有较大影响, 且不同类别的化合物之间存在增强效应、加和作用、抑制作用等(付娜等, 2014)。因此, 应结合感官评定、理化指标, 并辅以现代化检测手段对食品滋味进行综合评价。本研究发现, 电子舌可以较准确地描绘紫菜的滋味轮廓, 先期采收的紫菜鲜味、咸味更为强烈, 而根据鲜味氨基酸和呈味核苷酸计算得出的 EUC 与电子舌确定的鲜味强度值具有一致性。

表 1 不同采收期紫菜的游离氨基酸组成及其对应的滋味活性值

Tab.1 Free amino acid composition of *Porphyra yezoensis* with different harvest periods and their TAVs

氨基 酸种类 Amino acid species	滋味贡献 Taste attribute	阈值 Threshold (mg· 100mL ⁻¹)	头水紫菜		二水紫菜		四水紫菜		六水紫菜	
			First harvest of laver		Second harvest of laver		Fourth harvest of laver		Sixth harvest of laver	
			氨基酸 质量分数 Mass fraction /(mg·100g ⁻¹)	滋味 活性 值 TAV	氨基酸 质量分数 Mass fraction /(mg·100g ⁻¹)	滋味 活性 值 TAV	氨基酸 质量分数 Mass fraction /(mg·100g ⁻¹)	滋味 活性 值 TAV	氨基酸 质量分数 Mass fraction /(mg·100g ⁻¹)	滋味活 性值 TAV
天冬氨酸 (Asp)	鲜 (+)	100	376.33±2.17 ^a	3.76	297.75±1.82 ^b	2.95	143.60±1.77 ^c	1.44	28.96±0.73 ^d	0.29
谷氨酸 (Glu)	鲜 (+)	30	1225.88±1.29 ^a	40.86	1047.35±2.01 ^b	34.90	1004.09±1.69 ^c	33.47	434.60±1.59 ^d	14.49
甘氨酸 (Gly)	甜 (+)	130	21.20±0.55 ^b	0.16	22.52±0.36 ^a	0.17	19.36±0.28 ^c	0.15	6.56±0.33 ^d	0.05
丙氨酸 (Ala)	甜 (+)	60	2369.76±3.34 ^a	39.50	1849.36±3.57	30.82	1758.05±2.54	29.30	525.30±1.68	8.76
丝氨酸 (Ser)	甜 (+)	150	31.05±0.59 ^b	0.21	33.52±0.49 ^a	0.22	31.16±0.41 ^b	0.21	ND	ND
苏氨酸 (Thr)	甜 (+)	260	ND	ND	ND	ND	100.14±0.35 ^a	0.39	61.64±1.41 ^b	0.24
苯丙氨酸 (Phe)	苦 (-)	90	14.29±0.12 ^b	0.16	15.44±0.19 ^a	0.17	14.32±0.29 ^b	0.16	6.43±0.31 ^c	0.07
酪氨酸 (Tyr)	苦 (+)	ND	8.74±0.16 ^c	ND	10.20±0.22 ^b	ND	12.21±0.17 ^a	—	4.37±0.09 ^d	ND
组氨酸 (His)	苦 (-)	20	3.75±0.21 ^a	0.19	3.76±0.10 ^a	0.19	2.71±0.04 ^b	0.14	2.12±0.11 ^c	0.11
亮氨酸 (Leu)	苦 (-)	190	29.61±0.44 ^a	0.16	25.64±0.22 ^b	0.13	21.62±0.31 ^c	0.11	10.56±0.09 ^d	0.06
异亮氨酸 (Ile)	苦 (-)	90	14.89±0.33 ^a	0.17	14.39±0.18 ^a	0.16	11.78±0.27 ^b	0.13	7.43±0.20 ^c	0.08
缬氨酸 (Val)	甜/苦 (-)	40	142.48±1.07 ^a	3.56	113.61±1.13 ^b	2.84	108.53±1.02 ^c	2.71	37.53±1.15 ^d	0.94
蛋氨酸 (Met)	苦/甜/硫味 (-)	30	14.84±0.38 ^a	0.49	13.38±0.37 ^b	0.45	12.50±0.30 ^c	0.42	0.28±0.04 ^d	0.01
精氨酸 (Arg)	苦/甜 (+)	50	25.33±0.56 ^a	0.51	23.14±0.39 ^b	0.46	20.99±0.58 ^c	0.42	15.33±0.47 ^d	0.31
赖氨酸 (Lys)	甜/苦 (-)	50	13.39±0.37 ^c	0.27	18.23±0.34 ^a	0.36	16.92±0.25 ^b	0.34	7.01±0.19 ^d	0.14
游离氨基酸总量 Total amount of free amino acids			4291.54±11.58 ^a		3485.29±11.39 ^b		3277.98±10.27 ^c		1148.12±8.39 ^d	

注 “+”代表滋味总体愉悦，“-”代表滋味总体不愉悦，“ND”表示未检测到；同一行标注不同字母表示差异显著(P<0.05)

Note: “+” represents the overall pleasure of taste, “-” represents the overall displeasure of taste; “ND” means not detected; The different superscript letters in the same row indicates significant difference (P<0.05)

表 2 不同采收期紫菜的呈味核苷酸含量及其对应的滋味活性值
Tab.2 Contents of flavor nucleotides in *Porphyra yezoensis* with different harvest periods and their TAVs

核苷酸种类 Nucleotide species	阈值 Threshold/ (mg·100mL ⁻¹)	头水紫菜		二水紫菜		四水紫菜		六水紫菜	
		First harvest of laver		Second harvest of laver		Fourth harvest of laver		Sixth harvest of laver	
		质量分数 Mass fraction /(mg·100g ⁻¹)	滋味活 性值 TAV	质量分数 Mass fraction /(mg·100g ⁻¹)	滋味活 性值 TAV	质量分数 Mass fraction /(mg·100g ⁻¹)	滋味活 性值 TAV	质量分数 Mass fraction /(mg·100g ⁻¹)	滋味活 性值 TAV
AMP	50	20.40±0.13 ^a	0.41	20.81±0.24 ^a	0.42	19.02±0.19 ^b	0.38	12.24±0.31 ^c	0.24
IMP	25	103.37±0.36 ^b	4.13	113.99±1.01 ^a	4.56	54.84±0.79 ^d	2.19	58.19±0.69 ^c	2.33
GMP	12.5	17.24±0.47 ^b	1.38	23.17±0.48 ^a	1.85	16.57±0.25 ^b	1.33	12.15±0.23 ^c	0.97

注：同一行标注不同字母表示差异显著(P<0.05)
Note: The different superscript letters in the same row indicates significant difference (P<0.05)

3 结论

不同采收期的紫菜，其滋味均主要由鲜味、鲜味回味、咸味和苦味组成。头水、二水、四水、六水紫菜的鲜味强度依次减弱。二水紫菜的鲜味回味值最大。头水和二水紫菜的咸味强度接近，且显著高于后期采收紫菜的咸味值(P<0.05)。头水、二水紫菜的苦味值接近，四水紫菜的苦味值略低，六水紫菜的苦味值最低。四组紫菜样品的涩味值均较小。

不同采收期紫菜的滋味物质含量及其对滋味的贡献程度差异较大。头水、二水、四水和六水紫菜的游离氨基酸总量分别为 4291.54 mg/100g、3485.29 mg/100g、3277.98 mg/100g 和 1148.12 mg/100g。Ala、Glu、Asp 和 Val 对滋味贡献大。呈味核苷酸中 IMP 含量相对较高，对滋味的贡献大。头水、二水、四水和六水紫菜的 EUC 分别为 223.89 gMSG/100g、222.13 gMSG/100g、118.54 gMSG/100g 和 47.19 gMSG/100g。前期采收的紫菜鲜味更为强烈。

电子舌的检测数据与呈味物质含量的分析结果基本一致。电子舌可以作为快速评定紫菜滋味特征的技术手段。

参 考 文 献

Bian RJ, Cao R, Zhao L, *et al.* Application of the Electronic Nose for Assessing the Freshness of *Cololabis saira*. *Modern Food Science and Technology*, 2017(1): 243–247
[卞瑞姣, 曹荣, 赵玲, 等. 电子鼻在秋刀鱼鲜度评定中的

应用. *现代食品科技*, 2017(1): 243–247]
Chen WZ, Wu WT, Xu JB, *et al.* Effects of different ecological factors on growth and physical components of *Porphyra crispata*. *South China Fisheries Science*, 2013, 9(2): 14–19
[陈伟洲, 吴文婷, 许俊宾, 等. 不同生态因子对皱紫菜生长及生理组分的影响. *南方水产科学*, 2013, 9(2): 14–19]
Chi AY, Ji HW, Gao JL, *et al.* Effects of different heating treatments on taste-active components of *Litopenaeus vannamei*. *Modern Food Science and Technology*, 2012(7): 776–779
[池岸英, 吉宏武, 高加龙, 等. 加热方式对凡纳滨对虾滋味成分的影响. *现代食品科技*, 2012(7): 776–779]
Fu N, Wang XC. Research progress in interactions between taste-active components. *Food Science*, 2014, 35(3): 269–275
[付娜, 王锡昌. 滋味物质间相互作用的研究进展. *食品科学*, 2014, 35(3): 269–275]
Fuke S, Ueda Y. Interactions between umami and other flavor characteristics. *Trends in Food Science & Technology*, 1996, 7(12): 407–411
Gao RC, Su L, Huang XY. Research progress of flavor compounds in aquatic products. *Fisheries Science*. 2013, 32(1): 59–62
[高瑞昌, 苏丽, 黄星奕, 等. 水产品风味物质的研究进展. *水产科学*, 2013, 32(1): 59–62]
Gong J, Tao NP, Gu SQ. Overview of umami substance in food and its detection methods. *China Condiment*, 2014(1): 129–135.
[龚骏, 陶宁萍, 顾赛麒. 食品中鲜味物质及其检测研究方法概述. *中国调味品*, 2014(1): 129–135]
Guo L, Wang SJ, Hao Q, *et al.* Advances in the biological functions of polysaccharide and phycoerythrin in *Porphyra*. *Food Research and Development*, 2010, 31(6): 182–185
[郭雷, 王淑军, 郝倩, 等. 紫菜多糖和藻红蛋白生物活性的研究进展. *食品研究与开发*, 2010, 31(6): 182–185]
Guo MJ, Chai C, Lu X, *et al.* Development and applications of HS-SPME-GC-MS technology on detection of volatile flavor components in aquatic product. *Science & Technology of Food Industry*, 2014, 35(9): 368–367
Li C, Wu J, Li Y, *et al.* Identification of the aroma compounds in

- stinky mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) and comparison of volatiles during fermentation and storage. International Journal of Food Science & Technology, 2013, 48(11): 2429–2437
- Maehashi K, Matsuzaki M, Yamamoto Y, *et al.* Isolation of peptides from an enzymatic hydrolysate of food proteins and characterization of their taste properties. Journal of the Agricultural Chemical Society of Japan, 1999, 63(3): 555–559
- Miao XD, Liu Y, Ma L, *et al.* Optimized enzymatic hydrolysis for flavor peptide preparation from cultured obscure pufferfish (*Takifugu obscurus*) using sensory evaluation and electronic tongue. Modern Food Science and Technology, 2015(8): 268–272 [苗晓丹, 刘源, 马垒, 等. 结合感官评价与电子舌技术优化酶水解养殖暗纹东方鲀肌肉制备呈味肽. 现代食品科技, 2015(8): 268–272]
- Li W, Amns•MMT, Xu JL. Comparative analysis of volatile components of *Pyropia haitanensis* from different sea areas. Progress in Fishery Sciences, 2016, 37(5): 147–156 [李微, 阿曼尼萨·买买提, 徐继林, 等. 不同海域不同品种坛紫菜(*Pyropia haitanensis*)挥发性成分的比较分析. 渔业科学进展, 2016, 37(5): 147–156]
- Phat C, Moon BK, Chan L. Evaluation of umami taste in mushroom extracts by chemical analysis, sensory evaluation, and an electronic tongue system. Food Chemistry, 2016, 192(1): 1068–1077
- Shen SD. Molecular biology research status of *Porphyra yezoensis*. Marine Sciences, 2014, 38(5): 121–125 [沈颂东. 条斑紫菜分子生物学研究现状. 海洋科学, 2014, 38(5): 121–125]
- The national health and family planning commission of the People's Republic of China. GB 5009. 124–2016 National food safety standards The amino acids determination of food. Beijing: China standard press, 2016 [中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009. 124–2016 食品中氨基酸的测定. 北京: 中国标准出版社, 2016]
- Veciana-Nogues MT, Izquierdo-Pulido M, Vidal-Carou MC. Determination of ATP related compounds in fresh and canned tuna fish by HPLC. Food Chemistry, 1997, 59(3): 467–472
- Weng LP, Dai ZY, Zhao Y, *et al.* Analysis and comparison of characteristic flavor compounds in cultured *Pseudosciaena crocea* and wild *Pseudosciaena crocea*. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2015, 15(4): 254–261 [翁丽萍, 戴志远, 赵芸, 等. 养殖大黄鱼和野生大黄鱼特征滋味物质的分析与比较. 中国食品学报, 2015, 15(4): 254–261]
- Yang XY, Liu Y, Xu CH, *et al.* Extraction and analysis of volatile flavor compounds in aquatic products: A Renew. Food Science, 2015, 36(5): 289–295 [杨欣怡, 刘源, 许长华, 等. 水产品中挥发性风味物质提取和分析研究进展. 食品科学, 2015, 36(5): 289–295]
- Yao XC, Qiu CJ, Lai XY. Preparation and flavor component analysis of *Porphyra yezoensis* flavor essence. Journal of Food Science and Technology, 2015, 33(3): 28–34 [姚兴存, 邱春江, 赖小燕. 紫菜风味香精的制备及其风味成分分析. 食品科学技术学报, 2015, 33(3): 28–34]
- Ying MM, Shi WZ, Liu EL. Analysis of volatile components in Laver harvested in different time points. Food Science, 2010, 31(22): 421–426 [应苗苗, 施文正, 刘恩玲. 不同收割期坛紫菜挥发性成分分析. 食品科学, 2010, 31(22): 421–426]
- Ying MM, Shi WZ, Pan F. Analysis of nutrients in different harvest stages of laver. Zhejiang Agricultural Sciences, 2009, 1(6): 1227–1228 [应苗苗, 施文正, 潘峰. 紫菜不同收割期营养成分的分析. 浙江农业科学, 2009, 1(6): 1227–1228]
- Yokoyama Y, Sakaguchi M, Kawai F, *et al.* Changes in concentration of ATP-related compounds in various tissues of oyster during ice storage. Nsugaf, 1992, 58(11): 2125–2136
- Zhao D, Wu N, Wang XC, *et al.* Comparison of the flavor components of chinese mitten crab at different growth stages. Modern Food Science and Technology, 2016(7): 261–269 [赵樑, 吴娜, 王锡昌, 等. 不同生长阶段下中华绒螯蟹滋味成分差异研究. 现代食品科技, 2016(7): 261–269]
- Zhong M, Zhang R. Changes of main nutrients in *Porphyra yezoensis* at different harvest time. China feed, 2003(23): 30–31 [仲明, 张锐. 条斑紫菜不同采收期主要营养成分变化情况. 中国饲料, 2003(23): 30–31]

(编辑 陈辉)

Taste Characteristic Analysis of *Porphyra yezoensis* During Different Harvest Periods - a Study Based on Electronic Tongue Technology

CAO Rong^{1,2}, ZHAO Ling¹, WANG Lianzhu¹, SUN Huihui¹, LIU Qi¹⊙

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071; 2. Laboratory for Marine Drugs and Bioproducts of Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266235)

Abstract The aim of this study was to evaluate the taste characteristic of *Porphyra yezoensis* with different harvest periods. Electronic tongue (INSENT taste analysis system) was applied to characterize the taste of lavers. The contents of free amino acids and flavor nucleotides in the first, the second, the fourth and the sixth harvest of laver were measured. The electronic tongue data showed that the taste of laver was mainly consisted of umami, aftertaste of umami, saltiness and bitterness. The umami value decreased successively in the first, second, fourth and sixth harvest of laver. The intensity of aftertaste of umami was greatest in the second harvest of laver, close in the first and fourth harvest, and was significantly decreased in the sixth harvest ($P < 0.05$). The saltiness intensity was higher in the first and second harvest of laver. The intensity of bitterness was similar between the first and second harvest of laver. The bitterness value was significant lower in the sixth harvest of laver ($P < 0.05$). The astringency value was small and there was no significant difference among the four samples ($P > 0.05$). The contents of taste compounds and their contributions to flavor were significantly different among the four laver samples. The contents of total free amino acids in first, second, fourth and sixth harvest of laver were 4291.54 mg/100g, 3485.29 mg/100g, 3277.98 mg/100g and 1148.12 mg/100g, respectively. Alanine and glutamic acid made the biggest contribution to flavor. The content of inosine monophosphate (IMP) was relatively higher in all kinds of flavor nucleotides. The taste active values (TAV) of IMP in the first, second, fourth and sixth harvest of laver were 4.13, 4.56, 2.19 and 2.33, respectively. The equivalent umami concentrations (EUC) of the first, second, fourth and sixth harvest of laver were 223.89 gMSG/100g, 222.13 gMSG/100g, 118.54 gMSG/100g and 47.19 gMSG/100g, respectively, which means the umami of earlier harvest of laver is more intense. The electronic tongue analysis results are basically consistent with the experiment data of flavor substances measurements. Electronic tongue technology could be used as a quick method to evaluate the taste of lavers and other aquatic products.

Key words *Porphyra yezoensis*; harvest period; electronic tongue; taste characteristic

⊙ Corresponding author: LIU Qi, E-mail: liuqi@ysfri.ac.cn