

不同产地梅干菜差异分析与营养评价

刘力绮, 仝艳军, 杨瑞金*
(江南大学食品学院 江苏无锡 214122)

摘要 为探讨梅干菜品质差异,采用氨基酸自动分析仪、气相离子迁移谱等,对 9 个产地的梅干菜的基础组分、游离氨基酸和挥发性物质进行分析,采用聚类分析与主成分分析进行综合评价。结果表明,9 种梅干菜在水分、粗蛋白、总糖和食盐含量等理化性质上均呈现出显著性差异。9 种梅干菜之间氨基酸总量、必需氨基酸、呈味氨基酸等均存在明显差异;各氨基酸之间基本为正相关,绝大部分为显著正相关,其中 Thr 与 Tyr 相关性最强,相关系数为 0.982。对梅干菜的游离氨基酸进行主成分分析,提取出 2 个主成分,累计贡献率可达 90%,能反映原指标的大部分信息。四川、湖北、江西、安徽等地梅干菜游离氨基酸综合评分高于均值,聚类分析结果验证了此结论。基于气相色谱-离子迁移谱技术构建梅干菜挥发性物质指纹图谱,分析 9 种梅干菜的风味物质,同时利用 NIST 数据库和 IMS 迁移时间数据库共鉴定出 123 种挥发性化合物,主要为酯类、醛类、醇类和酸类等物质,9 种梅干菜的挥发性物质所占比例差异较大,可能与它们采用不同加工工艺有关。其中 8 种梅干菜醛类物质占挥发性物质总量的 30%以上,醛类物质可能对梅干菜总体风味有重要贡献。

关键词 梅干菜;理化性质;游离氨基酸;气相离子迁移谱;挥发性风味物质

文章编号 1009-7848(2023)01-0343-13 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.01.033

梅干菜,又称梅菜、霉干菜,是一种中国传统的腌制食品。以雪里蕻等芥菜为原料,经腌制、晾晒、干燥等系列工艺制作而成,其富含膳食纤维,具有消食健胃、降血脂、降血压等保健功能。制作好的梅干菜色泽诱人、清甜爽口、香气扑鼻,可制作成多种美食,如梅菜扣肉、梅菜肉包、梅菜煎饼等。除浙江外,长三角地区、珠三角地区、中南五省和四川都有食用梅干菜的消费习惯,具有极高的市场潜力。

目前,国内外关于梅干菜的研究多是关于工艺改进、成分分析等方面,在品质综合评价方面还比较少。茹巧美等^[1]分析了不同产地梅干菜的有害成分及营养成分,指出大多数梅干菜的重金属含量超标;乔倩等^[2]综述了梅干菜的干燥方式,包括热风干燥、微波干燥、真空冷冻干燥等;周美琪等^[3]研究了低盐回卤腌制工艺加工梅干菜,发现此工艺显著降低了成品梅干菜的亚硝酸盐含量;杨俊凯^[4]采用多种萃取方法提取绍兴霉干菜中的挥发性成分,并采用 GC-MS 分析归纳出霉干菜的主要

挥发性成分;Mi 等^[5]研究了聚半乳糖醛酸酶(PG)对腌黄瓜质地的影响,发现残留的黄瓜 PG 可能是导致加工泡菜制品软化的原因。然而,不同产地梅干菜选材与工艺不同,制备的梅干菜之间品质存在较大的差异,且缺乏一个较好的品质评价方法,使得市面上的梅干菜品质参差不齐,限制了梅干菜产业的发展。在苹果^[6]、蜂蜜^[7]、红枣^[8]等多种食品/农产品中,蛋白质、水分、糖、酸等理化品质被证明与风味品质密切相关,会直接影响消费者的选择。通过对梅干菜理化品质的分析,有助于构建梅干菜品质整体评价方法。

本研究分析比较 9 个产地梅干菜的理化品质和游离氨基酸含量,并利用气相色谱-离子迁移谱分析梅干菜风味,对不同产地的梅干菜进行综合评价,探究其品质评价方法,为梅干菜产品的开发利用提供一定的理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

用于分析测试的梅干菜样品为不同产地的典型代表性产品,分别为鲜窝窝梅干菜,福建古田润康食品有限公司;梅干菜,浙江宁波引发绿色食品有限公司;梅干菜,浙江省丽水市缙云县全优食品有限公司;龙泉山梅干菜,江西鹰潭龙虎山百佳食

收稿日期: 2022-01-15

基金项目: 国家食品科学与工程一流学科建设项目
(JUFSTR20180202)

第一作者: 刘力绮,男,硕士生

通信作者: 杨瑞金 E-mail: yrjiangnan@163.com

品有限公司;天然梅干菜,湖北省恩施市来凤县;银新(农家)梅干菜,广东银新现代农业股份有限公司;徽珍梅干菜,安徽省徽珍食品有限公司;湘妹子农家梅干菜,湖南张家界湘妹子食品有限公司;农家干咸菜,四川广安。

3,5 二硝基水杨酸、水杨酸、浓硫酸、硫酸钾、硫酸铜、四氢呋喃、三乙胺、三氯乙酸、结晶乙酸钠、丙酮、冰乙酸、盐酸、氢氧化钠、95%乙醇、氢氧化钠标准滴定溶液,以上均为分析纯级,国药集团化学试剂有限公司;甲醇(色谱纯)、乙腈(色谱纯),美国 TEDIA 公司。

17 种氨基酸标准品 (1 nmol/ μ L)(天门冬氨酸、组氨酸、谷氨酸、丝氨酸、甘氨酸、色氨酸、赖氨酸、精氨酸、蛋氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、脯氨酸、胱氨酸、苏氨酸、酪氨酸、缬氨酸)、邻苯二甲醛、2-(N-吗啉代)乙烷磺酸、三羟甲基氨基甲烷, Sigma 公司。

热稳定 α -淀粉酶液、淀粉葡萄糖酶液、蛋白酶液,上海蓝季科技发展有限公司。

1.2 仪器与设备

K1302 型自动定氮仪,上海晟声自动化分析仪器有限公司;Agilent1000 高效液相色谱系统,美国安捷伦公司;电热鼓风干燥箱、紫外-可见分光光度计、马弗炉、电炉,上海一恒科学仪器有限公司;TES-135A 型彩色色差计,台湾泰仕;酶标仪,美国 BioTek 公司;电子天平,梅特勒-托利多(上海)仪器有限公司;中草药粉碎机,天津市泰斯特仪器有限公司;真空抽滤装置,上海生化仪器厂;恒温水浴锅,常州国华电器有限公司;FlavourSpec[®] 风味分析仪,德国 GAS 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 水分含量测定 水分含量测定参照 GB 5009.3-2016^[9]中的第一法,直接干燥法。

1.3.2 灰分测定 灰分测定参照 GB 5009.4-2016^[10]中第一法,总灰分的测定。

1.3.3 粗蛋白含量测定 粗蛋白含量测定参照 GB 5009.5-2016^[11]中第一法,凯氏定氮法,并略作修改。消化完成后,采用 K1302 型自动定氮仪进行后续分析。

1.3.4 还原糖含量测定 还原糖测定参照 Gonvalves 等^[12]和廖祥兵等^[13]的方法,即 DNS(3,5 二硝

基水杨酸)法。

1.3.5 总糖的测定 总糖测定参照王凤芳^[14]的方法,即苯酚硫酸法。

1.3.6 总酸 总酸测定参照 GB/T 12456-2008^[15],结果以醋酸计。

1.3.7 色差值的测定 在相同环境(自然光、灯光)、相同背景下,采用彩色色差计测定样品的 L 、 a 、 b 值,在 3 个不同位置记录 3 次,计算总色差,公式如下:

$$\Delta E = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2} \quad (1)$$

式中, L ——亮暗,正值越大,样品越亮; a ——红绿,正值越大,样品越偏向红色; b ——黄蓝,正值越大,样品越偏向黄色。

1.3.8 膳食纤维的测定 膳食纤维的测定参照 GB/T 5009.88-2008^[16]。

1.3.9 游离氨基酸 将样品用粉碎机粉碎,准确称取 1 g(精确至小数点后 4 位)样品于 25 mL 具塞试管中,用 5%TCA(5 g/mL 三氯乙酸)定容,混匀,超声 20 min,静置 2 h。然后用双层滤纸过滤,取 1 mL 滤液于 1.5 mL 离心管中,15 000 r/min 离心 30 min。取 400 μ L 上清液于液相进样瓶,衍生化后使用氨基酸自动分析仪进行分析。

色谱条件:色谱柱为 Agilent Hypersil ODS 柱(5 μ m,4.0 mm \times 250 mm),A 相为 27.6 mmol/L 醋酸钠-三乙胺-四氢呋喃(体积比为 500:0.11:2.5),B 相为 80.9 mmol/L 醋酸钠-甲醇-乙腈(体积比为 1:2:2)。采用梯度洗脱,洗脱程序:0 min,B 相 8%;17 min,B 相 50%;20.1 min,B 相 100%;24.0 min,B 相 0%;流动相流速 1.0 mL/min;柱温 40 $^{\circ}$ C;检测波长 338 nm。

1.3.10 氯化钠含量测定 参照国标 GB 5009.44-2016^[17]中第三法 银量法。

1.3.11 气相-离子迁移谱(GC-IMS)分析 称取梅干菜置于气相进样瓶中,样品约占瓶的三分之一,而后加封盖口。样品 60 $^{\circ}$ C 水浴恒温 30 min,将老化好的萃取头插入玻璃瓶中,推出纤维头恒温吸附 40 min,之后抽回纤维头,拔出萃取头,将萃取头插入气相-离子迁移谱仪,推出纤维头,在 250 $^{\circ}$ C 条件下解吸 3 min,然后抽回纤维头后,拔出萃取头,同时启动仪器进行数据采集。

1) 顶空进样条件 自动进样单元孵化温度:

60 ℃; 孵化时间:10.0 min; 顶空进样针温度:85 ℃; 进样体积 100 μL, 不分流模式; 载气为高纯氮气; 孵化转速:500 r/min。

2) GC-IMS 条件 色谱柱为 WAX-CB-1 30 m ID:0.53 mm; 柱温 60 ℃; 载气 N₂; 流速 2 mL/min; IMS 温度 45 ℃; 分析时间 30 min。

1.4 数据处理

采用软件 Origin 2017(Northampton, MA, USA)作图, SPSS 21.0 统计分析软件进行方差分析、相关性分析、主成分分析。使用 GC-IMS 仪器自带的分析软件 LAV(Laboratory analytical viewer)以及 GC-IMS Library Search 软件内置的 NIST 数据库和 IMS 数据库对特征风味物质进行定性分析, 使用 Reporter 和 Gallery 插件程序构建挥发性有机物的差异图谱和指纹图谱。

2 结果与分析

2.1 梅干菜理化性质分析

采用方差分析研究梅干菜产地对梅干菜理化品质的差异性, 如表 1 所示, 不同产地梅干菜在水分、粗蛋白、灰分、还原糖、膳食纤维、总酸、色差、总糖、食盐含量等理化性质均呈现出显著性($P < 0.05$)差异。

虽然梅干菜是一种含盐量较高的腌制食品, 但是水分含量仍然对其保藏效果有极大影响, 水分含量过高的产品不利于运输, 而且微生物更易繁殖, 从而导致产品腐败变质。另一方面, 水分含量过低的产品往往经过较为剧烈的干燥过程, 在此过程中, 很可能丢失较多的风味物质与营养成分。大部分产地的梅干菜产品水分含量在 20% 左右, 不仅能长期保存, 而且具有良好的风味。四川产地的梅干菜水分含量达到了 56%。广东、安徽两地的梅干菜水分含量则明显偏低, 仅为 8% 与 12%。

灰分是食品经灼烧后所残留的无机物质, 主要是食品中的各种矿物质(钾、钠、钙等), 这些矿物质可被人体吸收, 也是人体所需的营养物质之一。食品中的灰分含量也是评价食品品质的重要指标。由表 1 可知, 9 种梅干菜的灰分含量均较高, 其中以福建产的梅干菜灰分含量最高。

一般的食品多追求色泽鲜亮, 黑褐色往往被认为是品质差的一种体现, 然而, 梅干菜由于其特

殊的加工工艺, 消费者多偏好于颜色较深的产品。由于梅干菜制作过程中会发生美拉德反应, 其颜色深浅也能部分反映其褐变反应的程度及所产生风味物质的多少。以色差值分析, 大部分梅干菜的颜色均比较深, 其色差值在 30 左右, 仅四川产地梅干菜总色差为 37.7。

蛋白质是人体体内最重要的组成物质之一, 是维持人体正常生命活动所必需的物质, 其含量是评判食品营养价值的重要指标。由表 1 可知, 9 种梅干菜中的蛋白质含量普遍偏低, 安徽产的梅干菜蛋白质含量最高, 其含量也只有 2.02 g/100 g。有研究表明^[18], 随着蔬菜腌制时间的延长, 其蛋白含量会不断降低, 最低时相对于未腌制样品降低了 78%, 这是因为在腌制时, 微生物不断繁殖, 蛋白质在微生物蛋白酶和肽酶的作用下, 会被消耗而产生一些氨基酸、肽类等小分子风味物质。而吴海清等^[19]的研究也证实了这一点, 在腌制 1 个月后, 萝卜叶酱菜由 24.41 g/100 g 降至 7.88 g/100 g。

膳食纤维是植物类食品中含量较高的营养成分, 被称为第 7 号营养素, 近年来随着对膳食纤维的研究, 越来越多的特殊功能被挖掘出来, 如调节肠道菌群, 抗癌, 抗腹泻等。膳食纤维包括了可溶性膳食纤维(果胶、藻胶等)与不溶性膳食纤维(纤维素、半纤维素等)。由于果胶、纤维素是植物细胞壁的组成成分之一, 膳食纤维含量较高的样品一般也具有较好的咀嚼感、脆度等质构特性。由表 1 可知, 梅干菜中膳食纤维含量具有较大的差异, 其中膳食纤维含量最高的是银新梅干菜, 其含量高达 58%, 含量最低的是福建产梅干菜, 仅有 21%。

梅干菜中的酸类主要是各种有机酸, 因此其总酸含量近似等于有机酸含量。目前, 研究^[20-21]表明, 梅干菜腌制发酵过程中, 较活跃的细菌是乳酸菌、醋酸菌等, 这些微生物在繁殖的同时, 会产生大量具有独特香气与风味的有机酸。蔬菜中的酒石酸、苹果酸、柠檬酸味道醇和, 刺激性小, 能增进蔬菜的风味, 也对大部分微生物具有抑制作用, 可以保证产品的微生物环境安全, 延长其保藏时间^[22]。由表 1 可知, 湖南产地梅干菜的总酸含量最高, 为 29.54 g/kg, 四川产地梅干菜总酸含量最低, 为 14.98 g/kg。

糖不仅能提供甜味, 影响梅干菜的风味, 部分

具有还原性的糖还能与氨基酸、多肽等发生美拉德反应,产生类黑精等褐色物质,使原本青黄色的雪里蕻转变为黑褐色的梅干菜。由表1可知,广东产地梅干菜的还原糖与总糖含量均为最高,分别为307.78 mg/g, 1.56 g/100 g。广东梅干菜总糖、还原糖含量均最高,主要是由于该地制作的梅干菜属于甜苾梅干菜,是客家人的传统名菜,多使用梅州、惠州两地的鲜嫩梅菜为原料制作,天然含有更高的糖,而且当地的甜梅菜生产工艺中还会添加一定量的蔗糖。以当地的地方标准分析(DBS44/015-2019, T/SATA 013-2019),该梅干菜属于甜梅菜,总糖含量与食盐含量均符合标准。

对于腌制食品来说,食盐的含量不仅能直接

增加咸味,还能促进植物细胞内容物的溶出,从而使腌制食品获得更加浓郁的香味。此外,适当的盐也能抑制杂菌生长,有利于乳酸菌等产香菌的繁殖,延长保质期。而过量摄入食盐不利于人体健康,有多项研究^[23]表明,食盐摄入过量会导致高血压、肾炎等多种疾病。根据《中国居民膳食营养素参考摄入量》,正常成年人食盐最高摄入量为6 g/d,梅干菜中食盐含量最低的广东产地梅干菜为1%,最高的湖北梅干菜则为9%。从健康饮食的角度,梅干菜属于应限制摄入的食品,为迎合消费者对绿色健康食品的追求,低盐化也是目前梅干菜产业发展的一个趋势。

表1 不同产地梅干菜理化品质(n=4)

Table 1 Physical and chemical quality of the pickled and dried mustard from different origins (n=4)

产地	水分/ %	粗蛋白/ g·(100g) ⁻¹	灰分/ %	食盐/ %	还原糖/ mg·g ⁻¹	膳食纤维/ %	总酸/ g·kg ⁻¹	色差	总糖/ mg·(100g) ⁻¹
丽水	28 ± 0.25	1.02 ± 0.22	17.56 ± 0.44	3 ± 0.10	135.55 ± 1.19	46.07 ± 0.16	23.01 ± 1.89	28.44 ± 1.09	0.91 ± 0.07
四川	56 ± 0.29	1.38 ± 0.23	14.61 ± 0.50	5 ± 0.07	55.07 ± 1.15	33.32 ± 0.29	14.98 ± 0.85	37.70 ± 0.59	0.32 ± 0.03
宁波	20 ± 0.13	1.30 ± 0.13	26.03 ± 1.22	7 ± 0.24	107.73 ± 6.22	33.30 ± 4.33	28.22 ± 0.64	32.99 ± 1.81	0.50 ± 0.06
湖南	19 ± 0.45	1.23 ± 0.04	27.80 ± 0.70	8 ± 0.16	105.81 ± 1.49	30.03 ± 1.25	29.54 ± 0.81	30.41 ± 3.02	0.72 ± 0.01
湖北	14 ± 0.25	1.45 ± 0.03	24.70 ± 0.61	9 ± 0.11	196.24 ± 3.77	30.37 ± 0.81	25.66 ± 1.31	36.17 ± 3.31	0.82 ± 0.00
福建	22 ± 0.83	1.15 ± 0.00	33.39 ± 0.35	3 ± 0.07	92.70 ± 1.27	20.79 ± 0.64	21.87 ± 0.69	33.62 ± 1.37	0.60 ± 0.04
广东	8 ± 0.57	1.70 ± 0.07	10.48 ± 0.39	1 ± 0.08	307.78 ± 4.79	58.48 ± 0.59	20.08 ± 2.06	33.08 ± 9.68	1.56 ± 0.10
安徽	12 ± 0.69	2.02 ± 0.05	16.63 ± 0.34	2 ± 0.09	125.87 ± 0.82	53.08 ± 0.60	21.15 ± 1.91	34.48 ± 3.31	0.95 ± 0.03
江西	15 ± 0.70	1.91 ± 0.31	25.02 ± 0.66	4 ± 0.17	154.50 ± 1.22	26.82 ± 0.11	28.46 ± 1.44	28.74 ± 1.96	0.60 ± 0.02
F	2401.232	14.602	909.266	60.225	2306.673	145.836	37.626	2.376	151.104
P	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.045*	0.000**

注:试验结果以3次试验的“平均值±标准差”表示。

2.2 不同产地梅干菜游离氨基酸分析

2.2.1 氨基酸组成及相关性分析

氨基酸不仅能为人体提供营养,一些氨基酸也具有特殊的风味,对食品滋味有相当重要的贡献,是食品品质评价的重要指标^[24]。对9种梅干菜的氨基酸含量进行统计分析,结果如表2所示,所有梅干菜均含有17种氨基酸,包括7种必需氨基酸和10种非必需氨基酸。由表2可知,从9种梅干菜的氨基酸变异系数来看,不同梅干菜氨基酸含量差异较大,其中缬氨酸(Val)和脯氨酸(Pro)的变异系数最大,分别为1.209和1.012,谷氨酸(Glu)与丙氨酸(Ala)含量的变异系数最小,分别为0.595和0.550。说

明不同产地梅干菜之间的缬氨酸和组氨酸含量差异最大,而谷氨酸与丙氨酸含量差异则较小。不同产地梅干菜之间氨基酸总量、必需氨基酸、呈味氨基酸等均存在较大差异。从氨基酸总含量来看,游离氨基酸含量在0.232~3.448 g/100 g之间,平均值为1.526 g/100 g。赵大云等^[25]测得雪里蕻咸菜中游离氨基酸含量为5.59 g/100 g,与之相比,梅干菜的游离氨基酸含量偏低,可能是在雪里蕻咸菜加工为梅干菜的过程中损失了一部分。虽然不同产地的梅干菜之间氨基酸组成差异较大,但脯氨酸(Pro)与异亮氨酸(Ile)的含量普遍较高,可能与梅干菜的特殊滋味有关。脯氨酸是动物胶原蛋白的

组成成分之一, 异亮氨酸则被认为与人体脂代谢有关, 有助于肥胖的治疗^[26]。

按照氨基酸的呈味类型, 可以把氨基酸大致分为甜味氨基酸(Gly、Ala、Ser、Thr、Pro、His)、苦味氨基酸(Val、Leu、Ile、Met、Trp、Arg)、鲜味氨基酸(Lys、Glu、Asp)、芳香氨基酸(Phe、Tyr、Cys)^[27]。由表 2 可知, 梅干菜中甜味氨基酸与芳香氨基酸含量较高, 鲜味氨基酸与苦味氨基酸含量较低, 甜味氨基酸平均含量为 0.586 g/100 g, 占总氨基酸含量的 38.6%。其中, 四川产地梅干菜甜味氨基酸、鲜味氨基酸与芳香氨基酸含量均为最高, 依次为 1.458, 0.323, 0.853 g/100 g。江西产地梅干菜苦味氨基酸含量最高, 为 0.642 g/100 g。丽水产地梅干菜鲜味氨基酸占比最高, 为 17.7%; 广东产地梅干

菜甜味氨基酸占比最高, 为 50.0%; 宁波产地梅干菜芳香氨基酸占比最高, 为 29.8%。

从必需氨基酸(EAA)的含量与占比来看, 9 种梅干菜中四川农家干咸菜产品的 EAA 含量最高, 为 0.861 g/100 g; EAA/NEAA 比例最高为湖南产地梅干菜, 可达 44.4%。

对 9 种梅干菜的 17 种氨基酸进行 Person 相关性分析(表 3)可知, 各氨基酸之间基本为正相关, 绝大部分为显著正相关, 其中 Thr 与 Tyr 相关性最强, 呈极显著正相关($P < 0.01$), 相关系数为 0.982。这表明梅干菜游离氨基酸间相关性较强, 可通过主成分分析对不同产地的梅干菜进行综合评价。

表 2 不同产地梅干菜游离氨基酸组成

Table 2 Composition of free amino acids in pickled and dried mustard from different origins

氨基酸 含量/ g·(100g) ⁻¹	湖北	丽水	江西	四川	宁波	湖南	福建	安徽	广东	平均值	标准差	变异 系数
Asp	0.061	0.029	0.103	0.125	0.032	0.036	0.023	0.052	0.004	0.052	0.039	0.762
Glu	0.089	0.108	0.162	0.174	0.049	0.081	0.038	0.098	0.013	0.090	0.054	0.595
Ser	0.016	0.010	0.031	0.002	0.013	0.009	0.009	0.020	0.001	0.012	0.009	0.771
His	0.074	0.017	0.129	0.198	0.023	0.044	0.028	0.052	0.007	0.063	0.062	0.983
Gly	0.058	0.042	0.124	0.104	0.025	0.051	0.029	0.053	0.008	0.055	0.037	0.676
Thr	0.113	0.039	0.224	0.112	0.032	0.073	0.034	0.073	0.000	0.078	0.066	0.854
Arg	0.045	0.020	0.087	0.147	0.038	0.030	0.021	0.035	0.002	0.047	0.044	0.937
Ala	0.135	0.148	0.252	0.257	0.112	0.104	0.066	0.120	0.035	0.137	0.075	0.550
Tyr	0.276	0.056	0.463	0.516	0.126	0.122	0.089	0.147	0.034	0.203	0.177	0.870
Cys-s	0.131	0.086	0.121	0.148	0.075	0.037	0.035	0.078	0.002	0.079	0.049	0.613
Val	0.113	0.010	0.102	0.230	0.010	0.024	0.014	0.049	0.006	0.062	0.075	1.209
Met	0.054	0.021	0.102	0.080	0.032	0.035	0.018	0.037	0.003	0.042	0.031	0.743
Phe	0.040	0.029	0.070	0.189	0.038	0.033	0.033	0.067	0.010	0.057	0.053	0.937
Ile	0.364	0.221	0.574	0.244	0.127	0.250	0.107	0.212	0.037	0.237	0.158	0.666
Leu	0.063	0.027	0.090	0.112	0.024	0.038	0.018	0.031	0.004	0.045	0.036	0.795
Lys	0.042	0.042	0.040	0.024	0.017	0.001	0.027	0.034	0.003	0.026	0.016	0.623
Pro	0.262	0.107	0.312	0.786	0.030	0.084	0.097	0.424	0.065	0.241	0.244	1.012
必需氨基酸 (EAA)	0.457	0.265	0.859	0.861	0.212	0.323	0.182	0.382	0.034	0.397	0.289	0.727
非必需氨基 酸(NEAA)	1.479	0.746	2.126	2.587	0.590	0.728	0.505	1.198	0.198	1.129	0.798	0.708
EAA/NEAA	0.236	0.355	0.404	0.333	0.359	0.444	0.361	0.319	0.172	0.331	0.083	0.250
鲜味氨基酸	0.192	0.178	0.305	0.323	0.097	0.118	0.088	0.184	0.019	0.167	0.100	0.597
甜味氨基酸	0.657	0.362	1.072	1.458	0.236	0.365	0.262	0.741	0.116	0.586	0.443	0.757
苦味氨基酸	0.350	0.158	0.642	0.533	0.144	0.232	0.121	0.246	0.020	0.272	0.203	0.746

(续表 2)

氨基酸 含量/ g·(100g) ⁻¹	湖北	丽水	江西	四川	宁波	湖南	福建	安徽	广东	平均值	标准差	变异 系数
芳香氨基酸	0.447	0.171	0.654	0.853	0.239	0.192	0.157	0.292	0.046	0.339	0.264	0.778
鲜味氨基酸/	0.099	0.177	0.102	0.094	0.122	0.112	0.128	0.116	0.086	0.115	0.027	0.234
总氨基酸												
甜味氨基酸/	0.340	0.359	0.359	0.423	0.293	0.347	0.383	0.470	0.500	0.386	0.066	0.172
总氨基酸												
苦味氨基酸/	0.330	0.296	0.320	0.236	0.288	0.358	0.259	0.230	0.224	0.282	0.048	0.170
总氨基酸												
芳香氨基酸/	0.231	0.169	0.219	0.247	0.298	0.183	0.229	0.185	0.198	0.218	0.040	0.183
总氨基酸												
总氨基酸	1.935	1.010	2.985	3.448	0.802	1.052	0.687	1.580	0.232	1.526	1.083	0.710

2.2.2 氨基酸主成分分析 由于梅干菜的 17 种氨基酸含量不同,不同氨基酸之间存在信息重叠现象,因此通过某一种氨基酸指标来评定不同产地梅干菜的优劣是不客观的,因此接下来通过主成分分析对不同产地梅干菜游离氨基酸进行综合评价^[28]。主成分分析(Principal component analysis,PCA)可将原来的多变量通过线性组合与正交变换简化(降维)成一组互不相关的综合变量(主成分),根据方差贡献率,从中选取前几个主成分,尽可能多地反映原变量的信息^[29]。

利用 SPSS 对 17 个氨基酸含量进行主成分分析,如表 4 所示,第 1 主成分和第 2 主成分的方差贡献率分别为 76.484%,14.414%,其累计贡献率可达 90%,这两个主成分已能代表 17 个指标中的大部分信息,因此可用这 2 个主成分代替上述的 17 个氨基酸指标对 9 种梅干菜的游离氨基酸进行评价和判断。各主成分对应的特征向量为:

主成分 1 (PC1)=0.962 Asp + 0.974 Glu + 0.891 Ser + 0.899 His+0.958 Gly+0.994 Thr+0.822 Arg+0.76 Ala+0.982 Tyr+0.477 Cys-s+0.942 Val+0.395 Met +0.955 Phe +0.964 Ile +0.86 Leu +0.931 Lys+0.827 Pro

主成分 2 (PC2)=0.053 Asp-0.073Glu+0.083 Ser-0.366 His+0.196gly-0.092 Thr-0.532 Arg+0.601 Ala-0.101Tyr+0.529 Cys-s+0.052 Val+0.861 Met-0.271Phe+0.157 Ile +0.439 Leu -0.328Lys -0.421 Pro

将相关的原始变量经过一系列的正交变换重新整合成涵盖大部分信息的、新的、彼此无关的 2 个主成分因子,从不同方面体现了不同产地梅干菜游离氨基酸的质量水平,因此不能单独使用某一主成分对梅干菜氨基酸总体水平做出综合性评价。根据 PCA 分析结果,以每个主成分对应的方差相对贡献率作为权重进行加权求和,建立综合评价模型: $P=0.764PC1+0.144PC2$,计算各产地梅干菜氨基酸的综合得分^[30]。如表 5 所示,四川产地梅干菜具有最高的综合评分,结合表 2,四川产地梅干菜同时具有最高的必需氨基酸含量、甜味氨基酸含量与总氨基酸含量,该产地的梅干菜确实具有较好的氨基酸品质。其余梅干菜中,江西、湖北、安徽等地的梅干菜综合评分高于平均值,说明这 3 种梅干菜的游离氨基酸品质也相对较好。

2.2.3 聚类分析 将梅干菜的 17 种游离氨基酸指标作为变量,采用 SPSS 软件对 9 种梅干菜的游离氨基酸进行系统聚类分析,采用瓦尔德法,区间选择欧式距离,得出谱系图如图 1 所示。聚类结果表明,9 种样品可分为 4 类,第 1 类为四川产地梅干菜,总氨基酸含量、综合评价值、EAA 总含量、呈味氨基酸含量均为最高,氨基酸品质最好;第 2 类为江西产地梅干菜,此类梅干菜各项指标中等;第 3 类为湖北、安徽、丽水等地的梅干菜,此类梅干菜的各项指标较低,氨基酸品质低于第 2 类;第 4 类为湖南、广东、福建、宁波等地的梅干菜,此类梅干菜游离氨基酸含量较少。

表 3 梅干菜氨基酸相关性分析

Table 3 Correlation analysis of amino acids in pickled and dried mustard

	Asp	Glu	Ser	His	Gly	Thr	Arg	Ala	Tyr	Cys-s	Val	Met	Phe	Ile	Leu	Lys	Pro
Asp	1																
Glu	0.909**	1															
Ser	0.874**	0.830**	1														
His	0.799**	0.917**	0.817**	1													
Gly	0.924**	0.955**	0.819**	0.779*	1												
Thr	0.946**	0.980**	0.865**	0.921**	0.943**	1											
Arg	0.773*	0.815**	0.694*	0.908**	0.668*	0.871**	1										
Ala	0.753*	0.711*	0.686*	0.475	0.866**	0.696*	0.263	1									
Tyr	0.932**	0.980**	0.866**	0.934**	0.935**	0.982**	0.832**	0.718*	1								
Cys-s	0.493	0.351	0.681*	0.291	0.432	0.401	0.164	0.57	0.367	1							
Val	0.970**	0.855**	0.845**	0.783*	0.875**	0.923**	0.768*	0.749*	0.904**	0.513	1						
Met	0.401	0.33	0.388	0.019	0.568	0.332	-0.092	0.780*	0.269	0.596	0.388	1					
Phe	0.885**	0.970**	0.788*	0.962**	0.878**	0.977**	0.919**	0.576	0.972**	0.264	0.861**	0.149	1				
Ile	0.946**	0.930**	0.785*	0.780*	0.971**	0.946**	0.705*	0.853**	0.934**	0.447	0.941**	0.514	0.892**	1			
Leu	0.821**	0.844**	0.710*	0.614	0.951**	0.821**	0.445	0.962**	0.821**	0.493	0.799**	0.726*	0.731*	0.935**	1		
Lys	0.895**	0.944**	0.796*	0.937**	0.847**	0.961**	0.947**	0.499	0.948**	0.235	0.848**	0.099	0.980**	0.848**	0.658	1	
Pro	0.734*	0.799**	0.716*	0.916**	0.664	0.863**	0.944**	0.335	0.811**	0.301	0.775*	0.019	0.894**	0.715*	0.497	0.872**	1

2.3 基于气相-离子迁移谱技术对梅干菜挥发性物质的分析

2.3.1 梅干菜挥发性物质二维图谱 利用 GC-IMS 分析梅干菜中的挥发性物质,绘制二维分析谱图如图 2 所示。图中纵坐标表示保留时间(Retention time,Rt),横坐标表示离子迁移时间(Drift time,Dt),红色垂直线表示反应离子峰(Reaction ion peak,RIP)。反应离子峰两侧的每一个点代表一种挥发性成分,以点的颜色和面积表示挥发性成分含量大小,点的颜色越深,面积越大,表示该物质含量越高,红色点表

示物质含量较高,而蓝白色点表示含量较低^[31]。

如图 2 所示,9 种梅干菜挥发性成分可以通过 GC-IMS 技术得到较好的分离检测,9 种梅干菜具有各自不同的特征谱信息,也存在一定相似区域,这代表梅干菜的共有挥发性物质。例如,图 2 中红色区域表明,湖北、湖南、安徽、广东、丽水、四川等地区的梅干菜具有一些相同的挥发性物质,尽管这些挥发性物质在含量上可能仍有一定差异。

表4 梅干菜氨基酸组成的方差解释率

Table 4 Variance interpretation rate of amino acid composition in pickled and dried mustard

成分	初始特征值			提取平方和载入		
	合计	方差贡献率/%	累积/%	合计	方差贡献率/%	累积/%
1	13.002	76.484	76.484	13.002	76.484	76.484
2	2.450	14.414	90.897	2.450	14.414	90.897
3	0.818	4.810	95.708			
4	0.254	1.495	97.203			

表5 9种梅干菜氨基酸各成分得分及综合得分

Table 5 Score and comprehensive score of amino acids of 9 kinds of the pickled and dried mustard

产地	PC1	PC2	综合评分	排序
湖北	1.693	0.106	1.310	3
丽水	0.871	0.127	0.685	6
江西	2.632	0.241	2.048	2
四川	3.089	-0.402	2.305	1
宁波	0.712	0.065	0.554	7
湖南	0.929	0.118	0.727	5
福建	0.597	0.029	0.461	8
安徽	1.368	-0.048	1.039	4
广东	0.204	-0.011	0.154	9

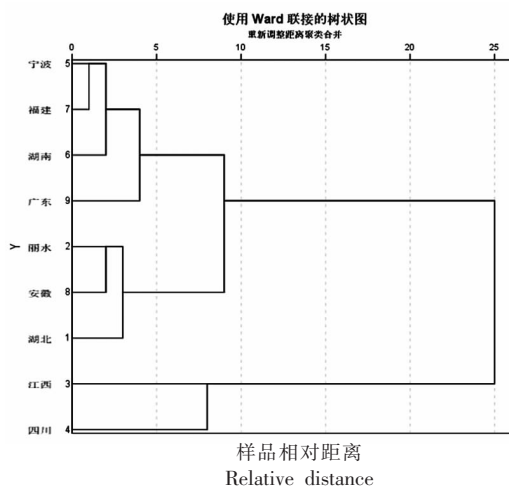


图1 不同产地梅干菜氨基酸聚类分析图

Fig.1 Amino acid cluster analysis diagram of the pickled and dried mustard from different origins

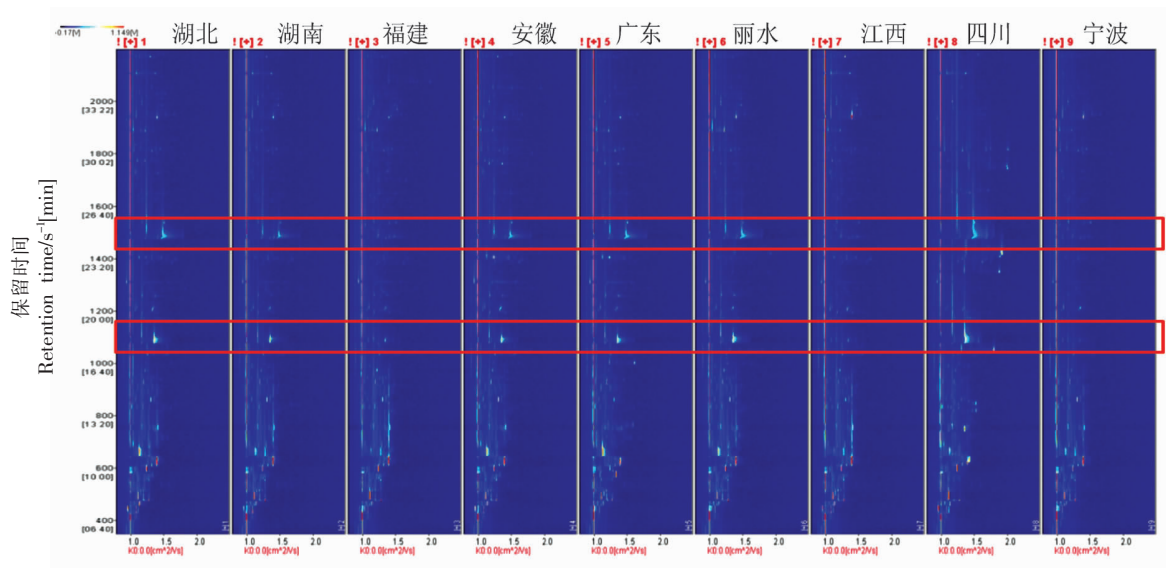


图2 不同产地梅干菜挥发性成分二维 GC-IMS 分析谱图

Fig.2 Two-dimensional GC-IMS analysis spectrum of volatile components in the pickled and dried mustard from different origin

2.3.2 梅干菜挥发性物质指纹图谱 为更加全面地分析梅干菜挥发性化合物组分的差异性,进一步通过指纹图谱比较挥发性风味物质的差异性,使用 LAV 软件的 GalleryPlot 插件,将所得 GC-IMS 二维分析图谱自动生成指纹图谱。为了找寻规律,选取样品间变化规律明显的区域放大显示,如图 3 所示,每一行表示一种梅干菜样品中选取的全部信号,每一列表示同一挥发性成分在不同样品中信号峰强度。从图中可以看出,每种样品的

挥发物信息以及样品之间挥发性风味物质的差异。梅干菜挥发性成分差异较大,如 2-丁醇、戊醛、2-甲基丁酸甲酯等是四川区域梅干菜特有的挥发性物质,乙酸乙酯、1-甲基乙酸乙酯、2-庚酮等则在广东区域梅干菜中含量较高,同时也存在一部分相似区域,包括丁酸乙酯、2-甲基-1-丙醇、丁醛、1-丁醇、2,6-二甲基吡嗪、丙醇、2-丁酮、柠檬烯等。

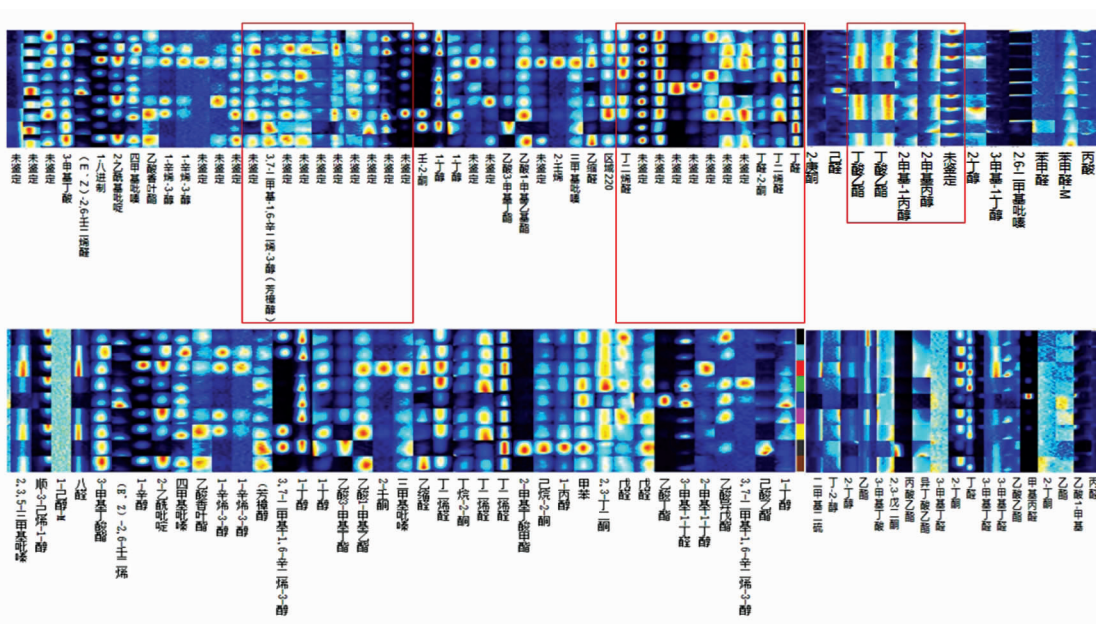


图 3 9 种梅干菜整体挥发性成分部分指纹图谱

Fig.3 Fingerprints of volatile components in 9 kinds of the pickled and dried mustard

2.3.3 9 种梅干菜挥发性成分定性分析 通过比较不同产地梅干菜挥发性成分的保留时间和迁移时间,使用外标正酮作为参考,计算挥发性物质的保留指数,并利用 GC-IMS 中 Library Search 内置的 NIST 2014 数据库和 IMS 迁移时间数据库进行匹配,从而定性分析不同产地梅干菜中的挥发性成分。9 个产地的梅干菜中共检测出 338 种挥发性物质,经数据库定性分析后,可得到共计 123 种挥发性物质,其中共有 21 种醛类,15 种酮类,19 种酯类,3 种酸类,24 种醇类,1 种噻吩,1 种含硫化物,部分化合物同时检出了单体与多聚体。

通过峰体积归一化法测得 9 种梅干菜挥发性物质的相对含量,按挥发性物质种类对数据进行统计分析,结果如表 6 所示,不同产地梅干菜的挥

发性物质种类存在一定差异,安徽产地梅干菜的酯类与醛类种类最多,湖北产地梅干菜的醇类种类最多,广东产地梅干菜的酯类含量最高,福建产地梅干菜的醛类含量最高。这可能与梅干菜的不同加工工艺有关,酯类化合物较丰富的梅干菜在生产时,可能经历了较长时间的发酵过程,醛类化合物含量较高的梅干菜,则可能经历了较复杂的热加工过程。除广东梅干菜中醛类化合物仅占 24%外,其它产地的梅干菜中醛类占比均高达 30%以上,醛类化合物可能是梅干菜特征风味的重要组成。其中丁醛在稀释情况下具有飘逸的清香,用于许多香精、香料的制备,在梅干菜中占总含量的 20.28%~33.48%,可能对梅干菜的总体风味具有重要贡献^[32]。

表6 梅干菜挥发性物质组成与占比

Table 6 Composition and proportion of volatile substances in the pickled and dried mustard

挥发性成分		湖北	湖南	福建	安徽	广东	丽水	江西	四川	宁波
醛	种类数	18	19	18	20	20	16	18	18	16
	相对含量/%	30.51	38.28	48.59	36.44	24.74	39.76	39.04	32.41	49.91
酮	种类数	11	11	5	9	11	10	11	11	9
	相对含量/%	3.76	6.47	7.17	5.97	6.00	8.82	3.95	4.17	8.04
酯	种类数	15	14	16	17	15	14	15	15	15
	相对含量/%	17.17	9.55	9.36	16.77	41.02	12.08	17.57	18.64	8.92
酸	种类数	2	3	2	2	2	3	2	3	3
	相对含量/%	2.13	3.31	3.10	3.20	1.59	2.75	2.92	2.38	5.16
醇	种类数	21	18	16	19	20	19	19	19	16
	相对含量/%	17.92	17.75	19.89	19.35	13.14	19.94	17.70	21.68	14.91
其它	种类数	13	13	14	15	14	13	14	14	12
	相对含量/%	24.77	20.04	11.61	17.77	12.91	15.97	13.26	13.92	11.96

3 结论

本研究对比分析了9种梅干菜的理化品质、游离氨基酸及挥发性风味物质的差异。不同产地的梅干菜在水分、粗蛋白、灰分、还原糖、膳食纤维、总酸、总糖和食盐含量等理化性质均呈现出显著性差异,其中四川产地梅干菜含水量偏高,其水分含量为56%;安徽产地梅干菜的粗蛋白含量最高为2.02 g/100 g;广东产地梅干菜的膳食纤维、总糖与还原糖含量均最高,分别为58.48%,1.56 g/100 g,307.78 mg/g;湖南产地梅干菜的总酸含量最高,达到29.54 g/kg;广东产地梅干菜灰分含量最低,仅为10.48%;食盐含量最高的是湖北产地梅干菜,高达9%;在色泽上大部分梅干菜差距不大,其中四川产地梅干菜色泽明显较浅。

不同梅干菜产品中游离氨基酸总含量在0.232~3.448 g/100 g之间,平均值为1.526 g/100 g。不同产地梅干菜之间氨基酸含量存在较大差异,变异系数最大为1.209,最小为0.550,所有梅干菜中脯氨酸(Pro)与异亮氨酸(Ile)的含量普遍较高。对17种氨基酸含量指标进行PCA分析,从中提取了2个主成分因子,其累计方差贡献率为90.897%,这2个主成分可以较好的反映出9种梅干菜氨基酸的综合信息。基于主成分及其对应的方差贡献率,构建了氨基酸综合评价模型,得到9种梅干菜的游离氨基酸综合评分,其排序从高到低依次为四川、江西、湖北、安徽、湖南、丽水、宁

波、福建。同时采用聚类分析可将9种梅干菜分为4类,第1类为四川产地梅干菜,第2类为江西产地梅干菜,第3类为湖北、安徽、丽水等地的梅干菜,第4类为湖南、广东、福建、宁波等地的梅干菜,其结果与主成分分析的结果相吻合。

基于GC-IMS技术分析梅干菜的挥发性物质,共鉴定出123种化合物,主要为酯类、醛类、醇类和酸类等物质;9种梅干菜的挥发性物质种类与相对含量均有较大差异,其中安徽产地梅干菜的酯类与醛类种类最多,湖北产地梅干菜的醇类种类最多。广东产地梅干菜的酯类含量最高,福建产地梅干菜的醛类含量最高,这可能是由于不同产地的梅干菜采用不同加工工艺所致。除广东产地梅干菜外,梅干菜中的醛类化合物在所有挥发性物质中占比30%以上,醛类化合物可能是梅干菜特征风味的重要组成。

由于本试验选择的样品产地来源并未包括所有梅干菜产地,且样品数量较少并不能完全代表当地梅干菜品质,因此今后还需扩大采样量和采样范围,尤其是相近工艺生产的梅干菜,探究梅干菜理化品质与风味品质的关系,为梅干菜品质评价提供更多依据。

参 考 文 献

- [1] 茹巧美,任国平,张学兵. 15种不同产地梅干菜营养成分与有害成分分析[J].中国调味品,2020,45

- (9): 150-155.
- RU Q M, REN G P, ZHANG X B. Analysis of nutritional function and harmful components of 15 kinds of dried vegetables from different producing areas[J]. *China Condiments*, 2020, 45(9): 150-155.
- [2] 乔倩, 李远志, 庞宇辰, 等. 梅菜干燥技术的研究[C]. “健康食品与功能性食品配料”学术研讨会暨2016年广东省食品学会年会. 广州: 广东省食品学会, 2016: 133-135. [2021-07-08]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=GYPSP201612001024&DbName=CPFD2017>.
- QIAO Q, LI Y Z, PANG Y C, et al. Study on the drying technology of plum vegetables[C]. "Healthy Food and Functional Food Ingredients" Academic Seminar and 2016 Guangdong Food Society Annual Meeting. Guangzhou: Guangdong Institute of Food Science, 2016: 133-135. [2021-07-08]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=GYPSP201612001024&DbName=CPFD2017>.
- [3] 周美琪, 周其德, 田赛莺, 等. 低盐腌制对缙云梅干菜加工品质的影响[J]. *核农学报*, 2018, 32(8): 1562-1571.
- ZHOU M Q, ZHOU Q D, TIAN S Y, et al. Effects of low-salt salting on processing quality of Jinyun prune[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2018, 32(8): 1562-1571.
- [4] 杨俊凯. 绍兴霉食系列食品挥发性香成分的分析研究[D]. 北京: 北京工商大学, 2009.
- YANG J K. Analysis and study on volatile aroma components of Shaoxing mildewy food series[D]. Beijing: Beijing Technology and Business University, 2009.
- [5] MI J C, BUESCHER R W. Potential role of native pickling cucumber polygalacturonase in softening of fresh pack pickles [J]. *Journal of Food Science*, 2012, 77(4): C443-C447.
- [6] DROGOUDI P D, PANTELIDIS G. Effects of position on canopy and harvest time on fruit physico-chemical and antioxidant properties in different apple cultivars[J]. *Scientia Horticulturae*, 2011, 129(4): 752-760.
- [7] GANAIE T A, MASOODI F A, RATHER S A, et al. Physicochemical, antioxidant and FTIR-ATR spectroscopy evaluation of Kashmiri honeys as food quality traceability and Himalayan brand[J]. *Journal of Food Science and Technology -Mysore-*, 2021(4): 4139-4148.
- [8] HERNÁNDEZ F, NOGUERA-ARTIAGA L, BURLÓ F, et al. Physico-chemical, nutritional, and volatile composition and sensory profile of Spanish jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruits[J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2016, 96(8): 2682-2691.
- [9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 8. National Health Commission of the People's Republic of China. Determination of moisture in food, national standard for food safety: GB 5009.3-2016[S]. Beijing: China Standards Press, 2016: 8.
- [10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中灰分的测定: GB 5009.4-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 8. National Health Commission of the People's Republic of China. Determination of ash content in food of national standard for food safety: GB 5009.4-2016[S]. Beijing: China Standards Press, 2016: 8.
- [11] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 12. National Health Commission of the People's Republic of China. Determination of protein in food of national standard for food safety: GB 5009.5-2016[S]. Beijing: China Standards Press, 2016: 12.
- [12] GONALVES C, RODRIGUEZ-JASSO R M, GOMES N, et al. Adaptation of dinitrosalicylic acid method to microtiter plates[J]. *Analytical Methods*, 2010, 2(12): 2046-2048.
- [13] 廖祥兵, 陈晓明, 肖伟, 等. DNS法定量测定还原糖的波长选择[J]. *中国农学通报*, 2017, 15(15): 150-155. LIAO X B, CHEN X M, XIAO W, et al. DNS method for quantitative determination of wavelength selection of reducing sugar[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2017, 15(15): 150-155.
- [14] 王凤芳. 杏鲍菇中营养成分的分析测定[J]. *食品科学*, 2002, 23(4): 132-135. WANG F F. Analysis and determination of nutrients in *Pleurotus eryngii*[J]. *Food Science*, 2002, 23(4): 132-135.
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品中总酸的测定: GB/T 12456-2008[S]. 北京: 中国标

- 准出版社, 2008: 6.
- National Health Commission of the People's Republic of China. Determination of total acid in food: GB/T 12456-2008[S]. Beijing: China Standards Press, 2008: 6.
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品中膳食纤维的测定: GB/T 5009.88-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015: 9.
- National Health Commission of the People's Republic of China. Determination of dietary fibre in food: GB/T 5009.88-2008[S]. Beijing: China Standards Press, 2015: 9.
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准, 食品中氯化物的测定: GB 5009.44-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 8.
- National Health Commission of the People's Republic of China. National standard for food safety, determination of chloride in food: GB 5009.44-2016[S]. Beijing: China Standards Press, 2016: 8.
- [18] 姚英政. 四川冬菜腌制过程品质动态变化及微生物宏基因组研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.
- YAO Y Z. Study on dynamic change of quality and microorganism metagenome during pickling process of Sichuan winter cabbage[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015.
- [19] 吴海清, 何新益, 孙贵宝. 萝卜叶酱菜加工过程中营养素的变化研究[J]. 现代食品科技, 2015, 31(1): 216-220, 215.
- WU H Q, HE X Y, SUN G B. Study on the changes of nutrients in radish leaf pickles during processing[J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(1): 216-220, 215.
- [20] 张先琴. PCR-DGGE 技术分析传统发酵蔬菜中微生物群落结构[D]. 雅安: 四川农业大学, 2012.
- ZHANG X Q. Analysis of microbial community structure in traditional fermented vegetables by PCR-DGGE[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2012.
- [21] 荆雪娇, 李艳琴, 燕平梅, 等. 传统发酵蔬菜微生物群落结构分析[J]. 食品与发酵科技, 2016, 52(1): 28-32.
- JING X J, LI Y Q, YAN P M, et al. Microbial community structure analysis of traditional fermented vegetables[J]. Food and Fermentation Science and Technology, 2016, 52(1): 28-32.
- [22] 张锐, 王琛, 张晓黎, 等. 发酵及贮藏期影响酸菜品质的因素[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(23): 166-170.
- ZHANG R, WANG C, ZHANG X L, et al. The factors of the quality of sauerkraut during fermentation and storage[J]. Food Research and Development, 2020, 41(23): 166-170.
- [23] 朱琳. 食盐摄入对高血压和心血管疾病的影响及改善措施[J]. 现代食品, 2020(11): 149-151.
- ZHU L. The effect of salt intake on hypertension and cardiovascular disease and improvement measures[J]. Modern Food, 2020(11): 149-151.
- [24] 黄威, 吴文标. 南瓜叶蛋白营养价值的化学评价[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(1): 151-154.
- HUANG W, WU W B. Chemical evaluation of nutritional value of pumpkin leaf protein[J]. Food Research and Development, 2010, 31(1): 151-154.
- [25] 赵大云, 丁霄霖. 雪里蕻腌菜风味物质的研究(I)雪里蕻腌菜氨基酸及有机酸成分检测与分析[J]. 中国调味品, 2000(12): 7, 11-14.
- ZHAO D Y, DING X L. Studies on the flavorings of *Brassica oleracea* L. (I) analysis of amino acids and organic acids in *Brassica oleracea* L[J]. Chinese Seasonings, 2000(12): 7, 11-14.
- [26] 马清泉, 王国红, 周昕博, 等. 亮氨酸和异亮氨酸对脂肪沉积的影响及机制[J]. 东北农业大学学报, 2020, 51(1): 50-56, 64.
- MA Q Q, WANG G H, ZHOU X B, et al. Effects of leucine and isoleucine on lipid deposition and its mechanism[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2020, 51(1): 50-56, 64.
- [27] 侯娜, 赵莉莉, 魏安智, 等. 不同种质花椒氨基酸组成及营养价值评价[J]. 食品科学, 2017, 38(18): 113-118.
- HOU N, ZHAO L L, WEI A Z, et al. Evaluation of amino acid composition and nutritional value of different *Zanthoxylum germplasm*[J]. Food Science, 2017, 38(18): 113-118.
- [28] KOZAK M, SCAMAN C H. Unsupervised classification methods in food sciences: Discussion and outlook[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2010, 88(7): 1115-1127.
- [29] SHLENS J. A tutorial on principal component analysis[J]. International Journal of Remote Sensing, 2014, 51(2): 1593, 1684.
- [30] YIN D M, ZHANG X G, WANG Y, et al. Principal component analysis and comprehensive evaluation

- on quality traits of peanut parents [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2011, 12(4): 507-512.
- [31] PEREDA J, JARAMILLO D P, QUEVEDO J M, et al. Characterization of volatile compounds in ultra-high-pressure homogenized milk [J]. *International Dairy Journal*, 2008, 18(8): 826-834.
- [32] 袁桥娜, 涂梦婕, 董志文, 等. 不同制备工艺菜籽油的风味成分比较研究[J]. *中国油脂*, 2020, 45(8): 32-38.
- YUAN Q N, TU M J, DONG Z W, et al. Comparative study on flavor components of rapeseed oil prepared by different technology[J]. *China Oils and Fats*, 2020, 45(8): 32-38.

Difference Analysis and Nutritional Evaluation of the Pickled and Dried Mustard from Different Areas

Liu Liqi, Tong Yanjun, Yang Ruijin*

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu)

Abstract In order to explore the quality difference of the pickled and dried mustard and, the physicochemical properties, free amino acids, and volatile substances of nine kinds of the pickled and dried mustard were analyzed using automatic amino acid analyzer and gas phase ion migration spectrum, respectively, and the comprehensive evaluation was conducted by cluster analysis and principal component analysis. The results showed that the pickled and dried mustard had significant differences in water, crude protein, total sugar and salt content and other physicochemical properties. The correlation between amino acids was basically positive, with most of the correlation coefficients greater than 0.4, indicating a significant positive correlation, and half of the correlation coefficients greater than 0.8. Among them, Thr and Tyr had the strongest correlation, with a correlation coefficient of 0.982. In addition, the principal component analysis of free amino acids in the pickled and dried was carried out. Two principal components were extracted from 17 amino acid indexes, and the cumulative contribution rate reached 90%, which basically reflected most of the information of the original indexes. The comprehensive score of free amino acids in pruned vegetables in Sichuan, Hubei, Jiangxi and Anhui provinces was higher than the mean value, and the result of cluster analysis verified the conclusion. Finally, based on gas-chromatography-ion mobility spectrometry technology, the volatile fingerprints of the pickled and dried mustard were established to analyze the differences between nine kinds of the pickled and dried mustard. A total of 123 volatile compounds were identified using NIST database and IMS migration time database, mainly including esters, aldehydes, alcohols, acids and other substances. The compounds of nine kinds of pickled and dried mustard were different in proportion, which might be related to their different processing techniques. Among them, the relative contents of eight kinds of brassica aldehydes accounted for more than 30% of the total volatile substances, which may have important contributions to the overall flavor of dried vegetables.

Keywords the pickled and dried mustard; physicochemical property; free amino acid; gas phase ion migration spectroscopy; volatile flavor substances