

DOI: 10.16720/j.cnki.tcyj.2021.027

圈养大熊猫选择 5 种竹叶采食的气味机理初探

杨楠¹, 林俊帆², 刘张育³, 王慧⁴, 杨进⁵, 黄明亚³, 冯志新⁵, 鲜义坤^{1*}

(1.四川省自然资源科学研究院, 四川 成都 610041; 2.成都产品质量检验研究院有限责任公司, 四川 成都 610100;

3.成都大帝汉克生物科技有限公司, 四川 成都 611130; 4.西北农林科技大学动物科技学院, 陕西 杨凌 712100;

5.青神县农业农村局, 四川 青神 620460)

摘要: 为了探索圈养大熊猫选择竹叶采食的气味机理, 用毛竹、牛儿竹、硬头黄竹、清甜竹及孝顺竹 5 种新鲜竹子饲喂大熊猫, 观察记录大熊猫在同时提供多种食物的条件下自由选择竹叶的采食行为, 随机多点采集的竹叶样品通过嗅感品评、电子鼻测试和 HS-SPME-GC-MS 分析以研究竹叶的气味特点和香气成分, 结果表明, 受试圈养大熊猫嗅闻 5 种供试竹叶后均有不同数量的采食, 但采食毛竹叶存在个体差异, 采食孝顺竹叶存在个体和季节性差异; 这 5 种竹叶均有多种气味韵调, 相同之处在于青香、叶香、草香、甜气、新鲜感和嫩气, 不同之处在于这些气味韵调的相对强度或带有木质气息等其他微弱的气味; 电子鼻测试结果证明了这 5 种竹叶间气味韵调的差异性, 可通过 PCA 和 LDA 分析有效地区分; 香气成分分析结果证实了这 5 种竹叶中多种气味形成的物质基础, 醛类和醇类香气成分在这 5 种竹叶中香气及其强度的主要贡献物质类别; 竹叶中突出的青香、轻微的甜气和新鲜感是诱导圈养大熊猫选择这 5 种竹叶采食的主要气味韵调。

关键词: 大熊猫; 竹叶; 气味; 香气成分; 嗅感品评; 电子鼻; 顶空—固相微萃取—气质联用; 择食机理

中图分类号: S865.3; S795

文献标识码: A

文章编号: 1001-4721(2021)02-0017-15

Preliminary Research on Odor Mechanism in Captive Giant Pandas Selected 5 Species of Bamboo Leaves for Ingesting

YANG Nan¹, LIN Jun-fan², LIU Zhang-yu³, WANG Hui⁴, YANG Jin⁵, HUANG Ming-ya³,
FENG Zhi-xin⁵, XIAN Yi-kun^{1*}

(1. Sichuan Provincial Academy of Natural Resource Sciences, Chengdu 610041, China; 2. Chengdu Institute of Product Quality Inspection Co., Ltd, Chengdu 610100, China; 3. Dadihank Biotech Corp., Chengdu 611130, China; 4. College of Animal Science and Technology, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling 712100, China; 5. Agricultural and Rural Bureau of Qingshen County, Qingshen 620460, China)

Abstract: In order to research odor mechanism which captive giant pandas (*Ailuropoda melanoleuca*) select bamboo leaves to ingest, 5 kinds (*Phyllostachys edulis*, *Bambusa prominens*, *Bambusa rigida*, *Dendrocalamus sapidus*, *Bambusa multiplex*) of fresh bamboos were fed to captive giant pandas. The ingesting behaviors of the giant pandas which freely selected bamboo leaves were recorded and observed under the conditions of simultaneous providing multiple foods. Bamboo leaf samples collected randomly and multi-pointly were analysed using olfactory evaluation, electronic nose and HS-SPME-GC-MS for odor characteristics and aroma components. The results showed that these 5 kinds of tested bamboo leaves were all ingested with different quantities after sniffed by experimental captive giant pandas. However, there were individual differences in ingesting *Phyllostachys edulis* leaves, and individual and seasonal differences in ingesting *Bambusa multiplex* leaves. All of the 5 kinds of bamboo leaves had various odors or notes, including green, leafy, grassy, sweet, fresh and tender, but differences were relative intensity of these odors or notes and other faint odors such as woody. The electronic nose testing results proved the odor

收稿日期: 2021-01-21

基金项目: 四川省科技计划重点研发项目(2019YFS0462); 2017 年国家林业和草业局大熊猫国际合作资金项目

作者简介: 杨楠(1965-), 男, 四川省成都市人, 大专, 工程师, 从事野生动植物资源保护研究。

*通讯作者: 鲜义坤, 男, 硕士, 副研究员, 从事珍稀濒危野生经济动物养殖研究。

or note differences among the leaves which can be distinguished effectively by PCA and LDA analyses. Formation materials of various odors or notes from the leaves were verified by HS-SPME-GC-MS. Aldehydes and alcohols in the aroma components were the main kinds of substances contributing to the aroma and strength from the leaves. Outstanding green, slightly sweet and fresh smell from the leaves were the main odors or notes inducing captive giant pandas to selected the leaves for ingesting.

Key words: giant panda; bamboo leaf; odor; aroma component; olfactory evaluation; electronic nose; HS-SPME-GC-MS; selective ingestion mechanism

竹叶是大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)的三大竹类食物之一。早在二十世纪七、八十年代,一些资深专家就开始研究野生大熊猫选择性采食的某些规律,结果表明,一年中的不同月份或季节大熊猫采食竹叶的数量存在明显的差异^[1,2]。有学者曾用多种竹子投喂过大熊猫,结果显示,圈养大熊猫不取食毛竹等少数竹种的竹叶^[3]。已有较多的文献是从人居康养环境和食品药用保健角度采用溶剂提取来分析竹叶的挥发性成分^[4,5]。迄今为止尚未见到竹叶气味与大熊猫采食之间是否存在一定关联性的深入研究报道。本文通过 5 种竹子(包括秆和叶)的圈养大熊猫自由选择采食试验,样品的专业人员嗅感品评,电子鼻测试以及顶空(HS)-固相微萃取(SPME)-气相色谱(GC)-质谱(MS)联用法测定挥发性有机物(VOCs)和香气成分,以揭示大熊猫选择竹叶采食的气味机理。

1 材料与方法

1.1 供试竹种与受试动物

选择毛竹(*Phyllostachys edulis*)、牛儿竹(*Bambusa prominens*)、硬头黄竹(*Bambusa rigida*)、清甜竹(*Dendrocalamus sapidus*)和孝顺竹(*Bambusa multiplex*) 5 种竹子作为供试竹种,均属人工饲养条件下不常喂给大熊猫的竹种。以四川省青神县熊猫馆的“苏星”和“华荣”2 只大熊猫为试喂对象,2019 年 4 月 10 日和 16 日(春季)及 2020 年 6 月 10 日和 7 月 15 日(夏季)上午试喂并采样,试喂时段用供试竹种替代苦竹(*Pleuroblastus amarus*),其他相关信息同文献^[6]。

1.2 竹叶样品的采集与制备

将砍回的竹子迅即进行多点随机采集竹叶样品,混合,随机抽取竹叶,用多次清洗无味的剪刀制成 2~3 mm×3~5 mm 大小的叶片,再混合,随机分成 3 份,分别用于气味专业人员嗅感品评、电子鼻测试和 HS-SPME-GC-MS 分析。样品在装有冰块的保温箱中运输,置于-20℃冰箱中保存待测。

1.3 大熊猫的自由选择采食试验

先将 3~5 种竹秆及其附带的枝叶(其他竹叶和竹

秆另文发表^[6])放于外活动圈或/和内活动圈的食台上,分别做好标识,然后从隔离圈中放出大熊猫,这样大熊猫可自由地选择某种竹子的秆或/和叶采食,用监控设备或/和摄像机从多个角度记录大熊猫的采食行为。通过录像回放,仔细观察大熊猫在多个竹种之间及竹叶与竹秆之间根据自己对食物风味的偏好自由选择的采食情况。

1.4 分析仪器

PEN 3 型电子鼻由德国 Aisense 公司出品,内置 10 个不同的金属氧化物传感器,分别响应的挥发性物质类别是 R1 为芳香类,R2 为氮氧化物,R3 为氨类,R4 为氢化物,R5 为短链烷烃,R6 为甲基类,R7 为萜烯类,R8 为醇类、醛类和酮类,R9 为有机硫化物,R10 为长链烷烃。其他仪器同文献^[7]。

1.5 嗅感品评与仪器分析方法

专业人员的嗅感品评和电子鼻测试除每种竹叶用样 2.0 g 外,其他具体方法参照文献^[8]。气味品评组由 8 人(其中女性 4 名)组成,平均年龄 43 岁。每种竹叶的 HS-SPME 用样 1.5 g,在 70℃下顶空萃取 1 h,此外其他 HS-SPME-GC-MS 联用的具体方法参照文献^[9]。

2 结果与分析

2.1 5 种竹叶的大熊猫采食行为表现

根据现场观察和录像回放,受试圈养大熊猫采食供试竹叶的主要行为流程为 嗅闻→摘叶→咬切→咀嚼→吞咽。大熊猫嗅闻竹叶后有 2 种行为表现:①采食。可能因为竹叶散发出的气味韵调为大熊猫所熟悉并认知安全,具有诱食性;②不采食。可能因为竹叶散发出的气味韵调为大熊猫不熟知或存在不安全的隐患,不具诱食性。由上可知,嗅闻竹叶的气味韵调是大熊猫采食前的预判行为,决定是否继续进行下一步采食行为流程。本文重点关注供试竹叶气味韵调的诱食性,即大熊猫嗅闻竹叶后是否采食,至于大熊猫采食竹叶数量的多少还与竹叶理化性状的适口性好坏密切相关,在此不关注。观察结果显示,受试大熊猫对 5 种供试竹叶均有或多或少的采食,但对毛竹叶和孝顺竹叶

存在个体和季节性差异,具体情况见表 1。

表 1 受试大熊猫对 5 种供试竹叶的采食情况

Table 1 About ingestion of experimental giant pandas to 5 kinds of tested bamboo leaves

供试竹叶名称 Name of tested bamboo leaf	华荣 Huarong		苏星 Suxing	
	2019 年春季 Spring,2019	2020 年夏季 Summer,2020	2019 年春季 Spring,2019	2020 年夏季 Summer,2020
毛竹叶 P. edulis leaves	√	√	×	√
牛儿竹叶 B. prominens leaves	√	√	√	√
硬头黄竹叶 B. rigida leaves	√	√	√	√
清甜竹叶 D. sapidus leaves	√	√	√	√
孝顺竹叶 B. multiplex leaves	√	×	×	√

注:“√”表示受试大熊猫嗅闻后采食,“×”表示受试大熊猫嗅闻后没有采食。
Note:“√” means ingested after sniffed by experimental giant pandas. “×” means not ingested after sniffed by experimental giant pandas.

由表 1 可知,受试大熊猫在 2019 年春季和 2020 年夏季的试喂时段嗅闻供试竹叶后均采食了牛儿竹叶、硬头黄竹叶及清甜竹叶,但“苏星”在 2019 年春季的试喂时段没有采食毛竹叶和孝顺竹叶,而“华荣”却采食;“华荣”在 2020 年夏季的试喂时段没有采食孝顺竹叶,而“苏星”却采食;说明毛竹叶和孝顺竹叶在受试大熊猫之间可能存在嗅感满意度的个体差异,而孝顺竹叶对同一受试大熊猫来说可能还存在季节性差异,也可能与受试大熊猫试喂时段的饥饱程度有关。圈养大熊猫采食竹叶呈现出的个体和季节性差异也见于其他报道与观察,在陕西楼观台的圈养大熊猫 9~10 月份不取食毛竹叶^[3],鲜义坤曾于 2015~2017 年在峨眉

山市仙芝竹尖生态园熊猫馆工作期间观察到大熊猫对斑苦竹(Pleioblastus maculatus) 叶的采食也存在个体和季节性差异这一现象。野生大熊猫对野生竹种的竹叶采食同样有选择性,同样存在个体和季节性差异^[1,2]。

2.2 5 种竹叶的嗅感品评

相同重量的样品通过专业人员的嗅感盲评,5 种供试竹叶的气味强度不尽一致,有的相对较浓,如硬头黄竹叶等;有的相对较淡,如毛竹叶等;但均比同种同重的竹秆样品气味浓郁。这 5 种竹叶的气味韵调总体上清新、飘逸、强度较高、透发性较好、愉悦度中上等,尽管相互间也存在细小的差异,仍均可归于竹叶类香气。5 种供试竹叶的主要相似气味韵调,见表 2。

表 2 5 种供试竹叶的主要相似气味韵调

Table 2 The main similar odors of 5 kinds of tested bamboo leaves

供试竹叶名称 Name of tested bamboo leaf	青香 Green	叶香 Leafy	草香 Grassy	甜气 Sweet	壤香 Earthy	新鲜感 Fresh	嫩气 Tender
毛竹叶 P. edulis leaves	++++	+++	++	+	—	+	+
牛儿竹叶 B. prominens leaves	++++	++	+	+	+	++	+
硬头黄竹叶 B. rigida leaves	++++	+++	+	+	+	++	+
清甜竹叶 D. sapidus leaves	++++	+++	+	++	—	+	+
孝顺竹叶 B. multiplex leaves	++++	++	+	+	—	+	+

注:汇总了 2019 年和 2020 年的品评结果,“++++”表示嗅辨出的气味韵调相对突出,“+++”表示嗅辨出的气味韵调相对明显,“++”表示嗅辨出的气味韵调相对较强,“+”表示嗅辨出的气味韵调相对微弱,“—”表示未嗅辨出的气味韵调。
Note:The summarized results of olfactory evaluation by professionals in 2019 and 2020. “++++” means odor or note smelled out was relatively outstanding. “+++” means odor or note smelled out was relatively obvious. “++” means odor or note smelled out was relatively stronger. “+” means odor or note smelled out was relatively weaker. “—” means odor or note was not smelled out.

由表 2 可知,5 种供试竹叶均有青香、叶香、草香、甜气、新鲜感和嫩气等多种气味韵调。此外,这些气味韵调在嗅感的相对强度方面并非相近,如青香相对其他气味韵调而言明显又突出;不同竹叶之间也有差异,如清甜竹叶的甜气相对较强,其他竹叶相对较弱。有人从 2019 年和 2020 年的孝顺竹叶样品中分别嗅辨出微弱的沉闷感和木质气息、油气及药气,也有人从 2020 年的硬头黄竹叶和清甜竹叶样品中均嗅辨出微弱的酸气。结合受试大熊猫对 5 种供试竹叶嗅闻后的采食行为表现可以得知,竹叶散发出的主要气味韵调为青香、叶香、草香、甜气、新鲜感和嫩气,均是受试大熊猫认同的食物气味韵调,这些气味韵调及其相对强度的组合

体代表了这 5 种供试竹叶的主要天然气味韵调,能够诱导受试大熊猫采食;换言之,对于受试大熊猫而言,这 5 种竹叶气味韵调的诱食性主要在于相对突出的青香、较弱的叶香、草香、甜气、新鲜感和嫩气。

2.3 5 种竹叶的电子鼻测试

电子鼻又称气味扫描仪,是模拟哺乳动物嗅觉的工作原理进行感知、分析和识别样品的气味。为了客观地探索 5 种供试竹叶之间整体气味信息的异同,又对这 5 种竹叶样品进行了电子鼻测试。测试的实时响应曲线呈先急剧升高,后逐渐趋于平稳,以测试稳定阶段的响应值表征样品的整体气味信息。5 种供试竹叶的典型电子鼻响应值如图 1 所示。

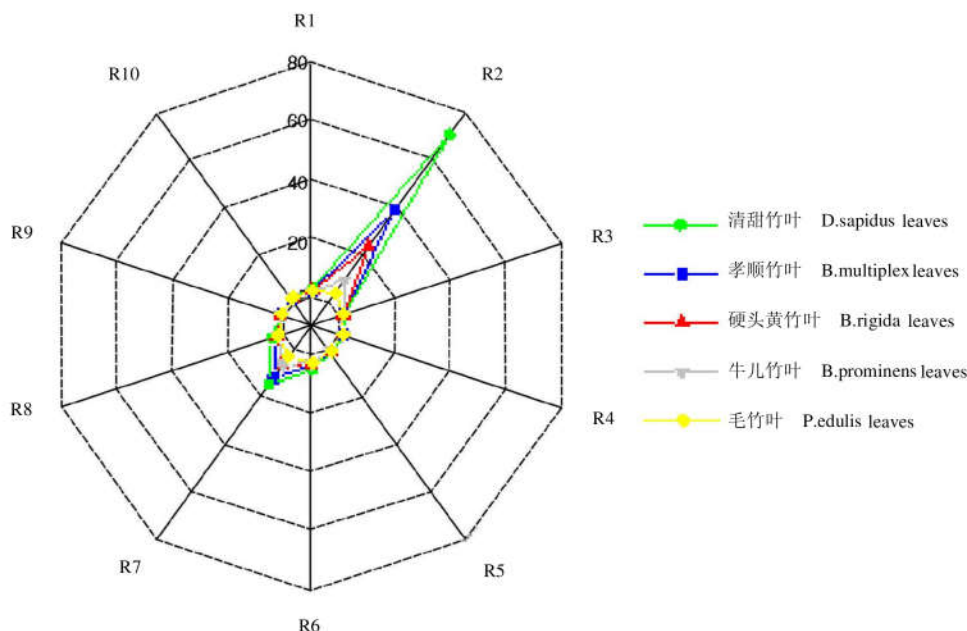


图 1 电子鼻测试 5 种供试竹叶的响应值雷达图

Fig. 1 The radar chart of the response value of 5 kinds of tested bamboo leaves by electronic nose testing

由图 1 可知,5 种供试竹叶在 R2 传感器上的差异最大,其响应值大小依次为清甜竹叶>孝顺竹叶>硬头黄竹叶>牛儿竹叶>毛竹叶;其次为 R7 传感器,响应值大小的顺序同 R2 传感器;R6 和 R8 2 个传感器上的响应值差异较小;而在 R1、R3、R4、R5、R9 和 R10 6 个传感器上的响应值无明显差异。根据电子鼻 10 个传感器对挥发性成分的响应类型^[8]可推测,不同竹叶间的整体气味差异可能主要由氮氧化物和萜烯类化合物的差异所引起,甲基类、醇类、醛类和酮类化合物虽有影响,但程度较小。

2.3.1 PCA 分析 采用主成分分析(PCA)^[8]是对竹叶测试稳定阶段的气味数据进行降维统计分析,结果如图 2 所示。

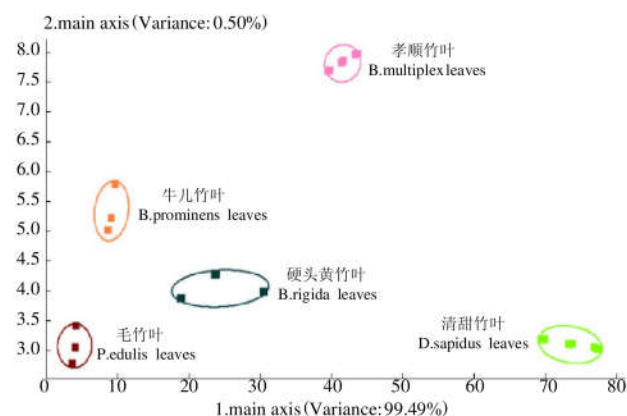


图 2 5 种供试竹叶的电子鼻 PCA 分析

Fig. 2 The electronic nose PCA analysis of 5 kinds of tested bamboo leaves

由图2可知,5种供试竹叶的PCA分析中第1主成分(PC1)的贡献率高达99.49%,第2主成分(PC2)贡献率仅为0.50%,这2个主成分累积贡献率达到99.99%,说明前2个主成分所代表的信息能够完整反映竹叶样品的整体气味信息,且不同竹叶的气味差异主要体现在PC1上。这5种竹叶样品所在区域没有交叉重叠,彼此独立成簇,相互间有一定的距离,表明它们的整体气味信息存在一定的差异,能够通过电子鼻PCA法准确区分。牛儿竹叶、硬头黄竹叶和毛竹叶分布区域相对较为集中,预示这3种竹叶的整体气味信息差异相对较小。

2.3.2 LDA分析 进一步采用线性判别分析(LDA)[8]是对PCA分析中未能很好区分的竹叶样品进行再识别,结果如图3所示。

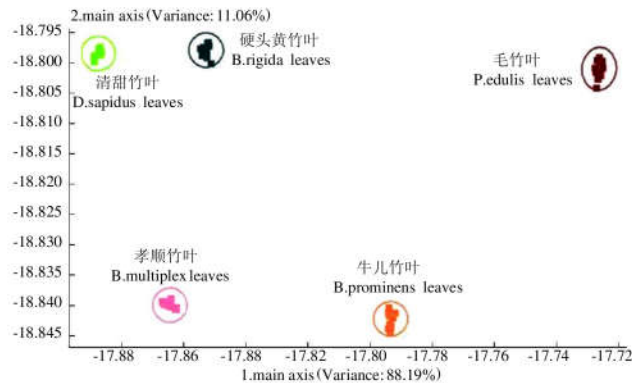


图3 5种供试竹叶的电子鼻LDA分析

Fig. 3 The electronic nose LDA analysis of 5 kinds of tested bamboo leaves

由图3可知,LD1和LD2的贡献率分别为88.19%和11.06%,累积贡献率达99.25%,能较好地反映竹叶样品的整体气味信息。5个供试竹叶样品所在区域均无任何重叠,表明采用LDA分析能有效地区分这5种不同的竹叶。在PCA中所在区域相距较近的牛儿竹叶、毛竹叶和硬头黄竹叶在LDA分析中所在区域距离更远,表明LDA分析能将这3种竹叶的气味信息更加有效地区分开。再次说明这5种竹叶的整体气味信息存在一定的差异,利用电子鼻中的LDA法也能予以准确识别。

2.3.3 LA分析 为了进一步明确在电子鼻模式识别系统中各传感器的贡献大小,又对5种供试竹叶进行

了载荷分析(LA)[8],结果如图4所示。

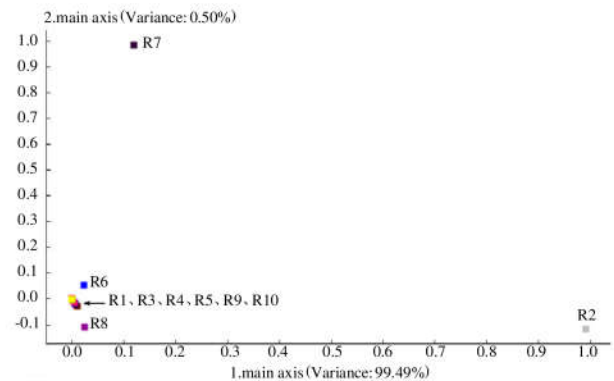


图4 5种供试竹叶的电子鼻LA分析

Fig. 4 The electronic nose LA analysis of 5 kinds of tested bamboo leaves

由图4可知,R2传感器是对PC1贡献最大的传感器,R7传感器是对PC2贡献最大的传感器,R6和R8对PC2有点贡献,但对PC1贡献较少,其他传感器均位于0点附近,影响均很小。根据电子鼻不同的传感器对不同类别的挥发性物质的响应灵敏性[8]可知,5种供试竹叶之间的气味差异可能主要与萜烯类、氮氧化物等挥发性物质的数量和含量多少有关,其次与甲基类、醇类、醛类和酮类化合物有关。

综上所述,电子鼻测试结果表明,5种供试竹叶的整体气味存在一定的差异,可通过PCA分析和LDA分析予以很好地区分,这与上述专业人员的嗅感品评结果大体相符。另外,5种供试竹叶的气味差异可能与萜烯类和氮氧化物等挥发性物质的差异密切相关。因此,有必要用HS-SPME-GC-MS法进一步测定这5种竹叶中的挥发性成分,特别是典型的香气成分,以便深入剖析这5种竹叶之间气味异同的物质原由。

2.4 5种竹叶的VOCs和香气成分

因受试大熊猫在2019年春季和2020年夏季嗅闻5种供试竹叶后均有所采食,竹叶散发出的VOCs和香气成分的测定均用相同的HS-SPME设备、同一台GC-MS仪器、同样的方法,由同一人操作,故2年的分析数据合并处理。这5种竹叶散发出的VOCs类别及其成分种数和相对含量统计结果见表3。

表 3 5 种供试竹叶的 VOCs 类别及其成分种数和相对含量统计

Table 3 The VOCs categories and statistics of their component numbers and relative contents from 5 kinds of tested bamboo leaves

竹叶名称 Name of bamboo leaf	项目 Items	烷烃类 Alkanes	烯烃类 Alkenes	芳烃类 Arenes	醇类 Alcohols	酚类 Phenols	醚类 Ethers	醛类 Aldehydes	酮类 Ketones	羧酸类 Carboxylic acids	酯类 Esters	杂环类 Heterocyclics	其他类 Others	合计 Total
毛竹叶 P. edulis leaves	挥发性有机物种数 Nos. of VOCs	7	33	1	16	6	1	22	9	6	10	5	5	121
	相对含量/% Relative content	0.47	29.37	—	27.52	1.24	0.13	30.49	0.69	2.57	1.10	2.01	0.25	95.84
牛儿竹叶 B. prominens leaves	挥发性有机物种数 Nos. of VOCs	5	20	2	19	7	1	25	11	8	20	11	1	130
	相对含量/% Relative content	0.70	6.56	—	32.49	0.75	—	36.99	2.05	2.17	3.72	7.43	0.23	93.09
硬头黄竹叶 B. rigida leaves	挥发性有机物种数 Nos. of VOCs	3	4	—	21	10	2	27	9	8	8	6	1	99
	相对含量/% Relative content	—	0.50	—	20.46	5.02	0.26	46.70	1.12	3.70	7.95	2.05	—	87.76
清甜竹叶 D. sapidis leaves	挥发性有机物种数 Nos. of VOCs	3	12	1	24	11	—	21	10	10	12	7	2	113
	相对含量/% Relative content	0.81	2.15	0.00	44.18	2.16	—	30.30	2.11	5.92	2.37	2.45	—	92.45
孝顺竹叶 B. multiplex leaves	挥发性有机物种数 Nos. of VOCs	12	14	2	15	4	2	23	18	9	11	8	2	120
	相对含量/% Relative content	2.84	2.09	—	25.30	0.84	0.54	42.70	4.20	4.40	5.61	4.64	0.45	93.61

注:成分种数汇总了 2019 年和 2020 年的测定结果,相对含量为两年的算术平均值,因匹配度 < 80% 而不能推定的成分及其相对含量均未纳入统计分析,但所有色谱峰的相对含量总和为 100%。“—”表示仪器未自动算出或未检出。“其他类”包括酰胺类、含氯化物及腈类。

Note: These were the summarized results of Nos. of VOCs measured in 2019 and 2020. The relative content was a two-year arithmetic mean. The VOCs with match quality < 80% and their relative content were not included. “—” means item were not detected or calculated automatically by the instruments. “Others” means amides and/or chlorine-containing compounds and/or nitriles.

由表 3 可知,5 种供试竹叶在 VOCs 类别的成分种数和相对含量方面存在大小不一的差异,其中烯烃类的相互差异最大,这与电子鼻测试结果(萜烯类属烯烃类的一部分)基本相符,进一步说明这 5 种竹叶的气味韵调及其强度可能存在一定程度的异同。

竹叶的气味虽与 VOCs 有关,但起主要作用的成分是被国内和国外公认的呈香物质。竹叶中的典型香气成分是按照文献[10]的判定标准从测出的 VOCs 中筛选出的食品级单体呈香物质。5 种供试竹叶中的香气成分见表 4。

表 4 5 种供试竹叶中的香气成分

Table 4 The aroma components from 5 kinds of tested bamboo leaves

序号 No.	香气成分名称 Name of aroma component	毛竹叶 P. edulis leaves	牛儿竹叶 B. prominens leaves	硬头黄竹叶 B. rigida leaves	清甜竹叶 D. sapidis leaves	孝顺竹叶 B. multiplex leaves
1	乙醇 Ethanol	√	√	√	—	√
2	3-甲基丁醛 3-Methylbutanal	√	—	—	√	—
3	2-乙基呋喃 2-Ethylfuran	√	√	√	√	√
4	3-戊酮 3-Pentanone	—	√	—	—	—
5	1-戊烯-3-酮 1-Penten-3-one	√	√	√	√	√

续表 4

序号 No.	香气成分名称 Name of aroma component	毛竹叶 P. edulis leaves	牛儿竹叶 B. prominens leaves	硬头黄竹叶 B. rigida leaves	清甜竹叶 D. sapidus leaves	孝顺竹叶 B. multiplex leaves
6	反式-2-丁烯醛 (E)-2-Butenal	—	√	√	—	√
7	2-丁烯醛 2-Butenal	√	—	—	—	—
8	己醛 Hexanal	√ [11-13]	√	√	√	√ [12,13]
9	2-戊醇 2-Pentanol	—	—	—	√	√
10	3-戊醇 3-Pentanol	—	√	—	—	—
11	3-己烯醛 3-Hexenal	√	√	√	—	√
12	1-戊烯-3-醇 1-Penten-3-ol	—	√	—	—	√
13	2-乙基噻吩 2-Ethylthiophene	—	√	—	—	√
14	3-乙基噻吩 3-Ethylthiophene	—	—	√	—	—
15	2-庚酮 2-Heptanone	—	—	—	—	√
16	庚醛 Heptanal	√ [11-13]	√	√	√	√
17	反式-2-己烯醛 (E)-2-Hexenal	√ [15]	√	√	—	√ [14,15]
18	2-己烯醛 2-Hexenal	√ [11-13]	√	√	√	√ [12,13]
19	反式-3-己烯醛 (E)-3-Hexenal	—	√	—	—	—
20	2-戊基呋喃 2-Pentylfuran	√	√	√	√	√ [12,13]
21	6-甲基-2-庚酮 6-Methyl-2-heptanone	√	—	√	—	√
22	顺式-4-庚烯醛 (Z)-4-Heptenal	—	—	√	—	—
23	1-戊醇 1-Pentanol	—	—	√	√	—
24	反式-β-罗勒烯 (E)-β-Ocimene	√	√	√	—	√
25	β-罗勒烯 β-Ocimene	√	√	—	√	√
26	3-辛酮 3-Octanone	√	√	√	√	√
27	苯乙烯 Styrene	√ [15]	√	√	—	—
28	顺式-3-己烯酸甲酯 Methyl cis-3-hexenoate	√	—	—	√	√
29	3-己烯酸甲酯 Methyl 3-hexenoate	—	—	√	—	—
30	甲酸叶醇酯 cis-3-Hexenyl formate	√	√	√	√	—
31	乙酸己酯 Hexyl acetate	—	—	—	—	√
32	2-辛酮 2-Octanone	√	—	—	—	√
33	辛醛 Octanal	√ [15]	√	√	√	√
34	3-庚醇 3-Heptanol	—	√	√	√	—
35	1-辛烯-3-酮 1-Octen-3-one	—	—	—	√	—

续表 4

序号 No.	香气成分名称 Name of aroma component	毛竹叶 P. edulis leaves	牛儿竹叶 B. prominens leaves	硬头黄竹叶 B. rigida leaves	清甜竹叶 D. sapidus leaves	孝顺竹叶 B. multiplex leaves
36	2,2,6-三甲基环己酮 2,2,6-Trimethylcyclohexanone	—	—	√	—	—
37	反式-3-己烯-1-醇乙酸酯 trans-3-Hexenyl acetate	—	√	—	—	—
38	乙酸叶醇酯 cis-3-Hexenyl acetate	√	√	√	√	√
39	顺式-2-戊烯-1-醇(Z)-2-Penten-1-ol	√	√	√	√	√
40	反式-2-庚烯醛(E)-2-Heptenal	√	—	√	√	√
41	2,3-辛二酮 2,3-Octanedione	—	—	—	√	—
42	6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-Methyl-5-hepten-2-one	√ [12,13]	√	√	√	√ [12,13]
43	1-己醇 1-Hexanol	√ [17]	√	√	√	—
44	3,3,5-三甲基环己酮 3,3,5-Trimethylcyclohexanone	—	—	—	—	√
45	反式-3-己烯-1-醇 (E)-3-Hexen-1-ol	√	√	√	√	√
46	3-己烯-1-醇 3-Hexen-1-ol	√	√	√	√	√
47	顺式-3-己烯-1-醇 (Z)-3-Hexen-1-ol	√ [11-13,17]	√	√	√	√ [12,13]
48	3-辛醇 3-Octanol	√	√	—	√	—
49	2-壬酮 2-Nonanone	—	—	—	—	√
50	壬醛 Nonanal	√ [11-13,16,17]	√	√	√	√ [12,13]
51	反式,反式-2,4-己二烯醛 (E,E)-2,4-Hexadienal	√	√	√	√	√
52	反式-2-己烯-1-醇 (E)-2-Hexen-1-ol	√	√	√	√	√
53	反式-2-辛烯醛 (E)-2-Octenal	√	√	√	√	√
54	2-十四烯醛 2-Tetradecenal	—	—	√	—	—
55	1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	√	√	√	√	√
56	1-庚醇 1-Heptanol	—	—	√	√	—
57	6-甲基-5-庚烯-2-醇 6-Methyl-5-hepten-2-ol	√	√	√	√	√
58	乙酸 Acetic acid	—	√	—	√	√
59	2-乙基-1-己醇 2-Ethyl-1-hexanol	—	√	√	—	—
60	2-甲基丁酸叶醇酯 cis-3-Hexenyl 2-methylbutanoate	—	√	—	—	—
61	反式,反式-2,4-庚二烯醛 (E,E)-2,4-Heptadienal	√ [12,13,15,16]	√	√	√	√ [15]

续表 4

序号 No.	香气成分名称 Name of aroma component		毛竹叶 P. edulis leaves	牛儿竹叶 B. prominens leaves	硬头黄竹叶 B. rigida leaves	清甜竹叶 D. sapidus leaves	孝顺竹叶 B. multiplex leaves
62	癸醛	Decanal	—[12]	√	√	√	√ [12]
63	3,5-辛二烯-2-酮	3,5-Octadien-2-one	—	√	—	—	—
64	2-壬醇	2-Nonanol	—	—	√	—	—
65	苯甲醛	Benzaldehyde	√ [11-13,15,16]	√	√	√	√ [12-15]
66	亚苄基二甲基醚 Benzaldehyde dimethyl acetal		√	√	√	—	√
67	反式-2-壬烯醛	(E)-2-Nonenal	√	√	√	—	√
68	芳樟醇	Linalool	√	√	√	√	√ [15]
69	甲酸辛酯	Octyl formate	—	—	—	—	√
70	1-辛醇	1-Octanol	√ [11]	√	√	√	√
71	戊酸叶醇酯	cis-3-Hexenyl pentanoate	—	—	√	—	—
72	反式,顺式-2,6-壬二烯醛 (E,Z)-2,6-Nonadienal		—	—	√	—	—
73	反式,反式-2,6-壬二烯醛 (E,E)-2,6-Nonadienal		—	√	—	√	√
74	反式,反式-2,4-辛二烯醛 (E,E)-2,4-Octadienal		—	√	√	—	—
75	β-石竹烯	β-Caryophyllene	√	—	—	—	—
76	反式-2-辛烯-1-醇	(E)-2-Octen-1-ol	—	—	√	√	—
77	2-十一酮	2-Undecanone	—	—	—	—	√
78	β-环柠檬醛	β-Cyclocitral	√ [15]	√	√	√	√ [14,15]
79	反式-2-癸烯醛	(E)-2-Decenal	√	—	√	√	—
80	苯乙醛	Benzeneacetaldehyde	√ [11-13,16,17]	√	√	√	√ [12-15]
81	1-壬醇	1-Nonanol	√	√	√	√	—
82	惕各酸叶醇酯	cis-3-Hexenyl tiglate	—	√	—	√	—
83	己酸叶醇酯	cis-3-Hexenyl hexanoate	—	√	—	—	—
84	顺式-β-金合欢烯	(Z)-β-Farnesene	—	√	—	—	—
85	六氢假性紫罗兰酮 Hexahdropseudoionone		—[12]	√	—	√	√ [12,14,15]
86	γ-己内酯	γ-Caprolactone	√	√	—	√	—
87	4-乙基苯甲醛	4-Ethylbenzaldehyde	—[12,13,17]	√	√	—	√ [12,13]
88	巴伦西亚桔烯	Valencene	—	√	—	—	—
89	顺式-3-己烯酸叶醇酯 cis-3-Hexenyl cis-3-hexenoate		√	√	√	√	√

续表 4

序号 No.	香气成分名称 Name of aroma component	毛竹叶 P. edulis leaves	牛儿竹叶 B. prominens leaves	硬头黄竹叶 B. rigida leaves	清甜竹叶 D. sapidus leaves	孝顺竹叶 B. multiplex leaves
90	柠檬醛 Citral	—	—	—	√	—
91	对苯二甲醚 1,4-Dimethoxybenzene	—	—	—	—	√
92	间苯二甲醚 1,3-Dimethoxybenzene	—	—	√	—	—
93	α -金合欢烯 α -Farnesene	—	√	√	√	—
94	水杨酸甲酯 Methyl salicylate	√ [15,16]	√	√	√	√ [12,13,15]
95	水杨酸乙酯 Ethyl salicylate	—	√	—	—	—
96	橙花醇 Nerol	—	—	—	√	—
97	2-十三酮 2-Tridecanone	—	—	—	—	√
98	香叶醇 Geraniol	—	—	—	√	—
99	α -紫罗兰酮 α -Ionone	√ [11-13,15-17]	√	—	√	√ [12-15]
100	己酸 Hexanoic acid	√ [11]	√	√	√	√ [14]
101	香叶基丙酮 Geranylacetone	√ [12,13,15-17]	√	√	√	√ [12-15]
102	愈创木酚 Guaiacol	√	√	√	√	—
103	丁酸苯甲酯 Benzyl butyrate	—	—	—	—	√
104	苯甲醇 Benzyl alcohol	√ [11,16]	√	√	√	√
105	戊酸苯甲酯 Benzyl pentanoate	—	√	—	—	√
106	异戊酸苯甲酯 Benzyl isovalerate	—	—	—	√	—
107	苯乙醇 Benzeneethanol	√ [11,16]	√	√	√	√
108	反式- β -紫罗兰酮 (E)- β -Ionone	√	—	√	—	√
109	β -紫罗兰酮 β -Ionone	√ [11,12,15-17]	√	√	√	√ [12,14,15]
110	庚酸 H eptanoic acid	—	—	√	√	√
111	麦芽酚 Maltol	—	√	—	√	—
112	反式-3-己烯酸 (E)-3-Hexenoic acid	√	√	√	√	√
113	3-己烯酸 3-Hexenoic acid	— [11]	—	—	—	√
114	反式-2-己烯酸 (E)-2-Hexenoic acid	√	√	√	√	—
115	2-己烯酸 2-Hexenoic acid	— [11]	√	—	—	—
116	2-甲基苯酚 2-Methylphenol	√	—	√	√	—
117	苯酚 Phenol	— [11]	—	√	√	—
118	辛酸 Octanoic acid	√ [16]	√	√	√	√ [14]
119	4-甲基苯酚 4-Methylphenol	—	—	√	—	—
120	2-乙基苯酚 2-Ethylphenol	—	—	—	√	—
121	3,4-二甲基苯酚 3,4-Dimethylphenol	—	—	—	—	—
122	2,4-二甲基苯酚 2,4-Dimethylphenol	—	—	—	√	—

续表 4

序号 No.	香气成分名称 Name of aroma component	毛竹叶 P. edulis leaves	牛儿竹叶 B. prominens leaves	硬头黄竹叶 B. rigida leaves	清甜竹叶 D. sapidus leaves	孝顺竹叶 B. multiplex leaves
123	雪松醇 Cedrol	—	—	√	√	√
124	苯甲酸叶醇酯 cis-3-Hexenyl benzoate	√ [12]	√	√	√	√
125	植酮 Phytone	— [12,13,15-17]	—	√	—	— [12-15]
126	丁香酚 Eugenol	— [16]	√	√	√	—
127	壬酸 Nonanoic acid	— [16,17]	—	√	√	√ [14]
128	4-乙烯基愈创木酚 4-Vinylguaiacol	— [11-13,16,18]	√	√	√	√ [12-14]
129	邻氨基苯甲酸甲酯 Methyl anthranilate	—	√	—	—	— [14]
130	水杨酸叶醇酯 cis-3-Hexenyl salicylate	—	√	—	—	—
131	癸酸 Decanoic acid	√ [16]	√	√	√	√ [14]
132	二氢猕猴桃内酯 Dihydroactinidiolide	— [12,13,16]	√	√	√	√ [12-14]
133	异丁香酚 Isoeugenol	— [16]	—	√	√	√
134	4-乙烯基苯酚 4-Vinylphenol	√	√	√	√	—
135	吲哚 Indole	√ [11,16]	√	√	√	√
136	十二酸 Dodecanoic acid	√ [16,17]	√	√	√	√ [14]
137	十六酸 Hexadecanoic acid	— [13,16-18]	—	—	√	— [12-14]
138	苯甲酸苯甲酯 Benzyl benzoate	— [16]	—	—	—	√
√ 香气成分种数合计 Total of aroma component with √		66	88	86	83	79

注: 汇总了 2019 年和 2020 年的测定结果, “√”表示样品中检出且匹配度≥80%的香气成分, “—”表示样品中未检出或虽检出但匹配度<80%的香气成分, 上标表示该香气成分在同种竹叶中已有报道。

Note: These were the summarized results of aroma components measured in 2019 and 2020. “√” means the aroma component was detected out and its match quality ≥ 80%. “—” means the aroma component was not detected out or its match quality < 80%. Superscript indicates the aroma component from the same species leaves has been reported.

由表 4 可知, 从 5 种供试竹叶中分别测出了 66~88 种数量不等的香气成分, 总共测出了 138 种香气成分, 其中共同的香气成分有 39 种, 在这些共有的香气成分中, 根据单体呈香物质气味特征的文献记载 [19-24], 赋予供试竹叶青香气味的香气成分有己醛、2-己烯醛、2-戊基呋喃、3-辛酮、乙酸叶醇酯、顺式-2-戊烯-1-醇、6-甲基-5-庚烯-2-酮、反式-3-己烯-1-醇、3-己烯-1-醇、顺式-3-己烯-1-醇、反式, 反式-2,4-己二烯醛、反式-2-己烯-1-醇、反式-2-辛烯醛、1-辛烯-3-醇、6-甲基-5-庚烯-2-醇、反式, 反式-2,4-庚二烯醛、芳樟醇、1-辛醇、β-环柠檬醛、苯乙醛、顺式-3-己烯酸叶醇酯、香叶基丙酮、苯乙醇和苯甲酸叶醇酯, 计 24 种, 占共有香气成分总数的 61.54%; 赋予供试竹叶叶香气味的香气成分有 2-己烯醛、

顺式-3-己烯-1-醇, 计 2 种, 占共有香气成分总数的 5.13%; 赋予供试竹叶草香气味的香气成分有己醛、2-己烯醛、反式-3-己烯-1-醇、3-己烯-1-醇、顺式-3-己烯-1-醇、反式-2-己烯-1-醇和顺式-3-己烯酸叶醇酯, 计 7 种, 占共有香气成分总数的 17.95%; 赋予供试竹叶甜气的香气成分有 3-辛酮、辛醛、反式, 反式-2,4-己二烯醛、芳樟醇、1-辛醇、苯乙醛、水杨酸甲酯、苯甲醇、苯乙醇、β-紫罗兰酮和辛酸, 计 11 种, 占共有香气成分总数的 28.21%; 赋予供试竹叶壤香的香气成分有 2-戊基呋喃、3-辛酮、1-辛烯-3-醇、苯乙醛和苯乙醇, 计 5 种, 占共有香气成分总数的 12.82%; 赋予供试竹叶新鲜感的香气成分有 2-己烯醛、6-甲基-5-庚烯-2-酮、芳樟醇、1-辛醇和香叶基丙酮, 计 5 种, 占共有香气成分总数的 12.82%。供试

竹叶的嫩气可能与反式-2-己烯-1-醇和顺式-3-己烯酸叶醇酯有关,供试竹叶的木质气息可能与己醛、芳樟醇、香叶基丙酮和 β -紫罗兰酮有关,供试竹叶的脂肪或油脂气息可能与庚醛、2-己烯醛、辛醛、6-甲基-5-庚烯-2-酮、壬醛、反式-2-辛烯醛、反式,反式-2,4-庚二烯醛和癸酸有关,供试竹叶的药气可能与顺式-3-己烯-1-醇等香气成分有关;供试竹叶的酸气主要与乙酸、己酸和辛酸等挥发性羧酸有关;沉闷感可能与芳烃类化合物有关。以上说明专业品评人员对 5 种竹叶品出的主要气味韵

调是有成分支撑和物质依据的。

竹叶散发出的某种气味韵调是由竹叶的多种香气成分经协同增效或抵消减弱等相互作用后最终给人呈现出的某种嗅觉感受。共同的香气成分在这 5 种竹叶具有相同气味韵调的物质基础;互不相同的香气成分(见表 4)或呈现在某种共同气味韵调的强度上,或抵消减弱某种气味韵调,或呈现在某种竹叶与众不同的特殊气味韵调上。5 种供试竹叶中香气成分的分类及其成分种数和相对含量统计结果见表 5。

表 5 5 种供试竹叶中香气成分的分类及其成分种数和相对含量统计

Table 5 Categories and their component numbers and relative contents statistics of aroma components from 5 kinds of tested bamboo leaves

竹叶名称 Name of bamboo leaf	项目 Items	烯烃类 Alkenes	醇类 Alcohols	酚类 Phenols	醚类 Ethers	醛类 Aldehydes	酮类 Ketones	羧酸类 Carboxylic acids	酯类 Esters	杂环类 Heterocyclics	合计 Total
毛竹叶 P. edulis leaves	香气成分种数 Nos. of aroma component	4	15	3	1	18	9	6	7	3	66
	相对含量/% Relative content	3.05	27.43	0.38	0.13	28.44	0.69	2.57	0.95	1.85	65.49
牛儿竹叶 B. prominens leaves	香气成分种数 Nos. of aroma component	6	19	5	1	20	9	8	15	5	88
	相对含量/% Relative content	4.44	32.49	0.23	—	35.34	1.21	2.17	3.63	3.65	83.16
硬头黄竹叶 B. rigida leaves	香气成分种数 Nos. of aroma component	3	21	8	2	23	9	8	8	4	86
	相对含量/% Relative content	0.41	20.46	4.42	0.26	44.30	1.12	3.70	7.95	1.95	84.57
清甜竹叶 D. sapidus leaves	香气成分种数 Nos. of aroma component	2	22	9	—	17	9	10	10	4	83
	相对含量/% Relative content	1.49	44.18	1.50	—	29.41	2.11	5.92	2.37	2.01	88.99
孝顺竹叶 B. multiplex leaves	香气成分种数 Nos. of aroma component	2	15	2	2	19	15	9	11	4	79
	相对含量/% Relative content	0.26	25.30	0.15	0.54	39.60	3.15	4.40	5.61	2.26	81.27

注:成分种数汇总了 2019 年和 2020 年的测定结果,相对含量为两年的算术平均值,因匹配度 < 80% 而不能推定的香气成分及其相对含量均未纳入统计分析。— 表示未检出或仪器未自动算出。

Note: These were the summarized results of aroma components measured in 2019 and 2020. The relative content was a two-year arithmetic mean. The aroma component with match quality < 80% and their relative content were not included. “—” means item were not detected or calculated automatically by the instruments.

由表 5 可知,从 5 种供试竹叶中检出的香气成分类别数有 8~9 个不等,其中除清甜竹叶有 8 个类别外,其他 4 种竹叶均有 9 个类别。香气成分种数最多和相对含量最高的类别在毛竹叶、牛儿竹叶、硬头黄竹叶和孝顺竹叶中均为醛类,其醛类香气成分种数在香气成分总数中的占比分别为 27.27%、22.73%、26.74%和 24.05%;在清甜竹叶中则为醇类,占比为 26.51%;说明不同竹叶的最主要香气成分类别不尽相同。醛类是毛

竹叶、牛儿竹叶、硬头黄竹叶和孝顺竹叶中香气及其强度的最主要贡献者,其次是醇类;醇类则是清甜竹叶中香气及其强度的最主要贡献者,其次是醛类。总之,醛类和醇类是这 5 种竹叶中香气及其强度的主要贡献物质类别。在供试竹叶所有香气成分的相对含量合计方面,毛竹叶最低,仅为 65.49%,预示气味强度可能最低,这与专业人员的品评结果一致。5 种供试竹叶中相对含量排前 5 位的香气成分见表 6。

表 6 5 种供试竹叶中相对含量前 5 位的香气成分

Table 6 The aroma components with top 5 relative contents from 5 kinds of bamboo leaves

竹叶名称	项目	第 1 位	第 2 位	第 3 位	第 4 位	第 5 位	合计
Name of bamboo leaf	Items	1st	2nd	3rd	4th	5th	Total
毛竹叶 <i>P. edulis</i> leaves	香气成分名称	3-己烯-1-醇	2-己烯醛	苯甲醛	1-辛烯-3-醇	反式-3-己烯酸	
	Name of aroma component	3-Hexen-1-ol	2-Hexenal	Benzaldehyde	1-Octen-3-ol	(E)-3-Hexenoic acid	
	相对含量/%	19.82	18.67	4.19	3.34	2.12	48.14
牛儿竹叶 <i>B. prominens</i> leaves	香气成分名称	反式-3-己烯醛	3-己烯-1-醇	1-辛烯-3-醇	2-己烯醛	β -罗勒烯	
	Name of aroma component	(E)-3-Hexenal	3-Hexen-1-ol	1-Octen-3-ol	2-Hexenal	β -Ocimene	
	相对含量/%	17.85	13.33	11.17	9.08	3.74	55.17
硬头黄竹叶 <i>B. rigida</i> leaves	香气成分名称	反式-2-己烯醛	2-己烯醛	3-己烯-1-醇	水杨酸甲酯	丁香酚	
	Name of aroma component	(E)-2-Hexenal	2-Hexenal	3-Hexen-1-ol	Methyl salicylate	Eugenol	
	相对含量/%	21.87	13.83	8.80	7.66	3.71	55.87
清甜竹叶 <i>D. sapidus</i> leaves	香气成分名称	1-辛烯-3-醇	2-己烯醛	3-己烯-1-醇	反式-3-己烯酸	顺式-3-己烯-1-醇	
	Name of aroma component	1-Octen-3-ol	2-Hexenal	3-Hexen-1-ol	(E)-3-Hexenoic acid	(Z)-3-Hexen-1-ol	
	相对含量/%	20.57	16.65	12.19	4.55	4.46	58.42
孝顺竹叶 <i>B. multiplex</i> leaves	香气成分名称	反式-2-己烯醛	1-辛烯-3-醇	2-己烯醛	3-己烯-1-醇	顺式-3-己烯-1-醇	
	Name of aroma component	(E)-2-Hexenal	1-Octen-3-ol	2-Hexenal	3-Hexen-1-ol	(Z)-3-Hexen-1-ol	
	相对含量/%	20.28	9.72	9.40	6.12	5.15	50.67

注: 相对含量为 2019 年和 2020 年两年的算术平均值。
Note: The relative content was a two-year arithmetic mean measured in 2019 and 2020.

从表 6 可知,在相对含量前 5 位的香气成分中若按香气成分种数计,最主要的香气成分类别在硬头黄竹叶为醛类(2 个),在毛竹叶和牛儿竹叶为醛类和醇类(并列,各 2 个),在清甜竹叶和孝顺竹叶为醇类(3 个);若按相对含量小计,最高的香气成分类别在毛竹叶和清甜竹叶均为醇类,分别为 23.16%和 37.22%,而在牛儿竹叶、硬头黄竹叶和孝顺竹叶则均为醛类,分别为 26.93%、35.70 %和 29.68%;以上佐证了醛类和醇类香气成分在这 5 种竹叶中香气及其强度的主要贡献物质类别。根据单体呈香物质气味特征的文献记载^[19-22,25]可知,含有青香气息的香气成分有反式-2-己烯醛(叶醛)、2-己烯醛、反式-3-己烯醛、 β -罗勒烯、3-己烯-1-醇、顺式-3-己烯-1-醇和 1-辛烯-3-醇等 7 种,每种竹叶中含量最高的单一香气成分均含有青香气息,毛竹叶、牛儿竹叶、硬头黄竹叶、清甜竹叶和孝顺竹叶在相对含量前 5 位的香气成分中含有青香气息的相对含量累计分别为 41.83%、55.17%、44.50%、53.87%和 50.67%,由此可知,含有青香气息的香气成分在 5 种

供试竹叶中相对含量均较高,说明这 5 种竹叶中的青香要比其他气味强而且突出,这也与专业人员的品评结果一致。

3 讨论

3.1 圈养大熊猫喜欢的食物香气韵调

圈养大熊猫母兽的常乳中有新鲜竹叶样青香,并略带甜气^[26],说明大熊猫从小就通过吸食母乳开始接触和感受新鲜竹叶样青香和甜气。随着嗅觉功能的发育完善,新鲜竹叶样青香和甜气逐渐被大熊猫幼仔所熟悉并认知为安全的食物气味。根据作者以往的多次观察,喂给大熊猫竹枝上的竹叶如果在室外活动圈的食台上放置时间较长,特别是在气温较高的夏季,容易失水变干甚至卷曲,散失了竹叶的部分青香,也降低了竹叶的新鲜度,对大熊猫来说就失去了竹叶气味韵调的诱食性,也不再被大熊猫选择食用。通过专业人员对放置较久的竹叶样品的嗅感品评,其青香变淡,新鲜感变差,呈干叶或干草气味,这可能是大熊猫不采食干竹叶的理由。圈养大熊猫喜食的苹果有新鲜感,青香飘

溢,甜气明显^[10];胡萝卜有新鲜感而且甜气和青香相对突出^[10];新鲜玉米秸秆的甜气浓郁,青香显著^[9];蒸熟的窝窝头甜香如蜜、浓郁^[7];试喂的佛肚竹秆、毛竹秆、牛儿竹秆、硬头黄竹秆、清甜竹秆和孝顺竹秆均有较明显的青香、轻微的甜气和新鲜感^[6]。综上所述,再结合表 1 和表 2 的结果,可以得知,来自竹叶的青香、甜气和新鲜感是大熊猫喜欢的食物香气韵调。作者还认为在食物供给相对充足的圈养条件下竹叶的气味韵调为大熊猫是否选择采食的首要因素,也是评价喂给圈养大熊猫竹叶品质的一个重要的非营养性指标。

3.2 圈养大熊猫对竹叶选择性采食的气味机理探讨

本文所用的 5 种供试竹叶不是大熊猫在人工饲养条件下普遍常喂的竹叶,试喂时间并非野生大熊猫选食竹叶的主要时期,在同时提供多种食物(3~5 种竹子包括秆和叶)的前提下,受试大熊猫凭借自己的嗅觉感知而自由地选择某个竹种的茎秆或叶采食,这样更能说明供试竹叶的气味韵调的诱食魅力。大熊猫的视觉较差,嗅觉发达,而嗅觉的感受对象是通过空气扩散的气味,无论野生的大熊猫还是圈养的大熊猫主要依靠灵敏的嗅觉来寻觅食物^[27-29],采食前都要经过嗅闻的识别过程,夜间尤为如此,这可能是大熊猫通过长期地自然选择与自身进化而形成的食物安全防线和养成的摄食行为习惯。5 种供试竹叶气味的共同属性之一是飘逸、强度较高和透发性较好,说明这 5 种竹叶的气味容易在空气中扩散,利于大熊猫感知;共同属性之二是愉悦度中上等,有突出的青香、轻微的甜气和新鲜感,这些气味韵调为大熊猫所熟悉且认知安全,是大熊猫喜欢的食物香气韵调,能激发大熊猫的采食欲望,所以大熊猫嗅闻后才采食,这可能是大熊猫自冰川时代以来在不断适应已变化的自然环境过程中长期积累并代代相传的生存智慧之一。有沉闷感和药气等多种微弱杂味的孝顺竹叶未被受试大熊猫一致认可,出现了采食的个体和季节性差异,一方面说明大熊猫的嗅觉很灵敏,另一方面说明部分大熊猫个体对气味感知的耐受性较强。总之,5 种供试竹叶的气味韵调及其强度虽然不尽相同,但均有突出的青香、轻微的甜气及新鲜感等气味韵调,加之圈养大熊猫在嗅闻这 5 种竹叶之后均有不同数量的采食,因此这 5 种竹叶散发出的突出的青香、轻微的甜气及新鲜感是诱导圈养大熊猫采食的主要气味韵调。

3.3 实际应用建议

上述研究结果不仅在圈养大熊猫选择竹叶采食的

气味机理方面具有一定的理论意义,而且在饲养实际中也颇具应用价值,建议如下:

3.3.1 可在大熊猫饲养单位附近区域人工栽培硬头黄竹等大熊猫喜食的竹种,既可作为圈养大熊猫的应急食物来源,又可作为观赏用竹和美化环境。

3.3.2 喂给大熊猫竹叶时最好用现砍的鲜嫩竹枝,且少喂勤添。若不能现砍现喂时,大熊猫饲养单位应有竹枝竹叶低温保鲜保湿的设备设施,因为竹叶一旦散失水分,会造成青香、新鲜感等气味韵调流失,对大熊猫来说就缺乏诱食作用。若现砍现喂或低温保鲜保湿,可保持竹叶气味韵调的诱食性,能提高大熊猫对竹叶的食用率,也降低大熊猫的饲料成本。

3.3.3 在研制亚成体和成体大熊猫竹类食物诱食剂时,应遵照我国食品安全国家标准——《食品添加剂使用标准》(GB 2760—2014)和《食品用香料通则》(GB 29938—2013)的规定。表 4 中除乙醇(可作溶剂)、3-戊酮、反式-2-丁烯醛、2-丁烯醛、3-戊醇、2-乙基噻吩、3-乙基噻吩、6-甲基-2-庚酮、顺式-3-己烯酸甲酯、反式-3-己烯-1-醇乙酸酯、顺式-2-戊烯-1-醇、3,3,5-三甲基环己酮、3-己烯-1-醇、2-十四烯醛、6-甲基-5-庚烯-2-醇、3,5-辛二烯-2-酮、亚苄基二甲基醚、甲酸辛酯、六氢假性紫罗兰酮、戊酸苯甲酯、反式-3-己烯酸、2-己烯酸、2,4-二甲基苯酚、雪松醇、植酮和水杨酸叶醇酯 26 种香气成分物质在我国不能添加使用外,其他单体呈香物质均可依法依规并酌情酌量考虑应用。

4 结论

圈养大熊猫的自由选择采食试验结果表明,受试大熊猫在嗅闻 5 种供试竹叶(毛竹叶、牛儿竹叶、硬头黄竹叶、清甜竹叶及孝顺竹叶)之后均有不同数量的采食,但采食毛竹叶存在个体差异,采食孝顺竹叶存在个体和季节性差异。嗅感品评结果表明,这 5 种竹叶的气味韵调总体上清新、飘移、强度较高、透发性较好、愉悦度中上等,均有多种气味韵调,相同之处在于均有青香、叶香、草香、甜气、新鲜感和嫩气等气味韵调,不同之处在于这些气味韵调的相对强度大小或有木质气息等其他微弱的气味。电子鼻测试的结果证明了这 5 种竹叶间气味韵调的差异性,可通过 PCA 分析和 LDA 分析予以有效的区分。经 HS-SPME-GC-MS 联用法测定,共发现的香气成分数量毛竹叶 66 种、牛儿竹叶 88 种、硬头黄竹叶 86 种、清甜竹叶 83 种和孝顺竹叶 79 种,醛类和醇类香气成分在这 5 种竹叶中香气及其强度的主要贡献物质类别,证实了这 5 种竹叶中多种气

味形成的物质基础。竹叶中突出的青香、轻微的甜气和新鲜感是诱导圈养大熊猫选择这5种竹叶采食的主要气味韵调。

致谢:峨眉山生物资源实验站的李策宏工程师到供试竹种栽种处查看后核定竹种名称,陈绪玲工程师辅助竹种核名,青神县熊猫馆的杨平同志参加了供试竹种的大熊猫饲喂试验,西华大学食品与生物工程学院的包清彬教授和成都大帝汉克生物科技有限公司的李松柏高级工程师、孔凌高级工程师、邓虹工程师、赵仁任同志参加了嗅感品评以及喻麟董事长和李小兵总经理给予了支持,江南大学食品学院的向琴博士生参加了电子鼻测试,中国科学院成都分院分析测试中心的胡静副研究员在挥发性成分分析与推定方面提供了帮助,在此一并深表谢意!

参 考 文 献

- [1] 胡锦矗,夏勒,潘文石,等.卧龙的大熊猫[M].成都:四川科学技术出版社,1985:33-77.
- [2] 魏辅文,周才权,胡锦矗,等.马边大风顶自然保护区大熊猫对竹类资源的选择利用[J].兽类学报,1996(3):171-175.
- [3] 傅金和,刘颖颖,金学林,等.秦岭地区圈养大熊猫对投食竹种的选择研究[J].林业科学研究,2008,21(6):813-817.
- [4] 陈其兵,江明艳,吕兵洋,等.竹林康养研究现状及发展趋势[J].世界竹藤通讯,2019,17(5):1-8.
- [5] 权美平.不同种属竹叶挥发油化学成分分析研究进展[J].食品工业,2017,38(12):216-219.
- [6] 鲜义坤,王慧,李松柏,等.圈养大熊猫选择6种竹秆采食的气味机理初探[J].资源开发与市场,2020,36(12):1395-1403.
- [7] 鲜义坤,杨楠,黄明亚,等.圈养大熊猫人工配合饲料的气味特点与香气成分研究[J].野生动物学报,2020,41(3):695-704.
- [8] 鲜义坤,王承东,林俊帆,等.补饲大熊猫幼仔奶粉的气味特点与香气成分研究[J].资源开发与市场,2020,36(2):164-173,217.
- [9] 鲜义坤,杨楠,邓虹,等.大熊猫选择新鲜玉米秸秆采食的气味机理探究[J].黑龙江畜牧兽医,2020(14):133-137.
- [10] 鲜义坤,杨楠,孔凌,等.圈养大熊猫所食苹果和胡萝卜的气味特点与香气成分研究[J].饲料博览,2020(6):1-9+19.
- [11] 毛燕,刘志坤.毛竹叶挥发性成分的提取与GC-MS分析[J].福建林学院学报,2001(3):265-267.
- [12] 何跃君.竹叶挥发油化学成分及其生物活性研究[D].北京:中国林业科学研究院博士学位论文,2009.
- [13] 何跃君,岳永德,汤锋,等.竹叶挥发油化学成分及其抗氧化特性(英文)[J].林业科学,2010,46(7):120-128.
- [14] 王进.箭竹属竹叶活性组分筛选,检测及挥发性成分研究[D].北京:中国林业科学研究院博士学位论文,2012.
- [15] 喻谨,岳永德,汤锋,等.水蒸汽蒸馏-气相色谱/质谱法分析7种竹叶挥发油的香气成分[J].分析科学学报,2014,30(2):197-201.
- [16] 杨萍,刘洪波,潘佳佳,等.不同季节毛竹竹叶挥发油成分与抑菌效果比较研究[J].核农学报,2015,29(2):313-320.
- [17] 王媛媛,任璇,邹小琳,等.竹叶精油组分构成及其抑菌活性的研究[J].食品安全质量检测学报,2016,7(5):2008-2013.
- [18] 罕柯孜·艾依提,刘洪波,杨萍.4种竹种竹叶挥发油四季主要成分比较研究[J].竹子学报,2018,37(4):20-24.
- [19] 孙宝国,何坚.香料概论(第二版)[M].北京:化学工业出版社,2006:31-155.
- [20] 孙宝国,刘玉平.食用香料手册[M].北京:中国石化出版社,2004:46-387.
- [21] GEORGE A. BURDOCK. Fenaroli's handbook of flavor ingredients[M]. Florida: CRC Press, 2010.
- [22] 安会敏,欧行畅,熊一帆,等.茉莉花茶特征香气成分研究茶叶科学[J].2020,40(2):225-237.
- [23] 魏守辉,肖雪梅,钟源,等.日光温室不同时段补光对番茄果实品质及挥发性物质影响[J].农业工程学报,2020,36(8):188-196.
- [24] 蒋鹏飞,王赵改,史冠莹,等.不同干燥方式的苦瓜粉品质特性及香气成分比较[J].现代食品科技,2020,36(3):234-244.
- [25] 罗枫,鲁晓翔,张鹏,等.砂蜜豆樱桃货架期品质及挥发性物质的分析[J].现代食品科技,2016,32(2):235-245.
- [26] 鲜义坤,王承东,李松柏,等.圈养大熊猫乳汁风味特征初探[J].经济动物学报,2019,23(4):201-206.
- [27] 胡锦矗.大熊猫的摄食行为[J].生物学通报,1995(9):14-18.
- [28] 汤纯香.大熊猫采食行为的研究[J].动物学杂志,1992,21(4):46-49.
- [29] 阮世炬,雍严格.大熊猫野外喂食和觅食的观察[J].野生动物,1983(1):5-8.