



营养与择食机制 Nutrition and Foraging Mechanism

宏观视角下圈养大熊猫采食竹笋的气味谱特征

李裕冬^{1#}, 杨波^{2,3#}, 魏明^{2,3}, 黄山^{2,3}, 周宇^{2,3}, 李果^{2,3},
罗波^{2,3}, 柯瑶鹏^{2,3}, 杨群梅^{2,3}, 唐勇^{2,3}, 张贵权^{2,3*}, 鲜义坤^{1*}

(1. 四川省自然资源科学研究院, 成都 610041;

2. 中国大熊猫保护研究中心, 成都 610051;

3. 大熊猫国家林业和草原局重点实验室, 成都 610051)

稿件运行过程

收稿日期: 2025-10-20

修回日期: 2025-12-01



摘要

关键词: 大熊猫;
竹笋;
气味谱;
嗅感品评;
HS-SPME-GC-MS;
挥发性有机物

Keywords: Giant panda (*Ailuropoda melanoleuca*);
Bamboo shoot;
Odor spectrum;
Olfactory evaluation;
HS-SPME-GC-MS;
Volatile organic compounds (VOCs)

中图分类号: S865.3+1; S795.9

文献标志码: A

文章编号:

2310-1490(2026)-01-0122-11

DOI: 10.12375/ysdwx.202510014

为从宏观视角探究圈养大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)采食竹笋的气味谱特征,本研究以规模化饲养基地在不同季节批量饲喂的7种竹笋(方竹 *Chimonobambusa quadrangularis* 笋、刺黑竹 *Ch. purpurea* 笋、合江方竹 *Ch. hejiangensis* 笋、宁南方竹 *Ch. ningnanica* 笋、红边竹 *Phyllostachys rubromarginata* 笋、蓉城竹 *Ph. bissetii* 笋和斑苦竹 *Pleiolobus maculatus* 笋)为材料,随机采集样品。通过观察不同年龄段大熊猫在嗅闻供试竹笋后的采食行为反应,并组织专业人员嗅感品评和HS-SPME-GC-MS联用分析,结果发现:①不同年龄段的受试大熊猫在嗅闻7种竹笋后均表现出采食行为,说明这些竹笋的整体气味具有强诱食性;②多维度嗅感品评指标的相对强度均存差异,揭示了圈养大熊猫对竹笋气味谱感官指标具有较宽的包容性;③从竹笋中鉴定出的气味谱成分既具有一定程度的相似性,又表现出多样性。研究结果为理解大熊猫择食的气味机制及开发专用诱食剂提供了新见解和数据支持。

基金项目: 中国大熊猫保护研究中心科研项目(CCRCP222305)

第一作者简介: 李裕冬(1980—),男,副研究员;主要从事珍稀濒危野生动物保护研究。E-mail: pikapaul@163.com

*共同第一作者: 李裕冬; 杨波

*通信作者: 张贵权, E-mail: 974798676@qq.com; 鲜义坤, E-mail: 1849109302@qq.com

Odor Spectrum Characteristics in Bamboo Shoots Ingested by Captive Giant Pandas from a Macroscopic Perspective

LI Yudong^{1#}, YANG Bo^{2,3#}, WEI Ming^{2,3}, HUANG Shan^{2,3},
ZHOU Yu^{2,3}, LI Guo^{2,3}, LUO Bo^{2,3}, KE Yaopeng^{2,3},
YANG Qunmei^{2,3}, TANG Yong^{2,3}, ZHANG Guiquan^{2,3*}, XIAN Yikun^{1*}

(1. Sichuan Provincial Academy of Natural Resource Sciences, Chengdu 610041, China;

2. China Conservation and Research Center for the Giant Panda, Chengdu 610051, China;

3. Key Laboratory of State Forestry and Grassland Administration on the Giant Panda, Chengdu 610051, China)

Abstract: To explore the odor spectrum characteristics of bamboo shoots ingested by captive giant pandas (*Ailuropoda melanoleuca*) from a macroscopic perspective, seven species of bamboo shoots (*Chimonobambusa quadrangularis* shoot, *Ch. purpurea* shoot, *Ch. hejiangensis* shoot, *Ch. ningnanica* shoot, *Phyllostachys rubromarginata* shoot, *Ph. bissetii* shoot, and *Pleioblastus maculatus* shoot) were used as materials, and were abundantly fed in batches at the large-scale giant panda breeding base during different seasons, and the samples were randomly collected. The feeding behavioral responses of different ages giant pandas after sniffing tested bamboo shoots were observed, and organizing professional personnel for olfactory evaluation and HS-SPME-GC-MS combined analysis. The results showed that: ① After sniffing seven species of bamboo shoots, all tested giant pandas of different ages exhibited feeding behavior, indicating that overall odor of these bamboo shoots had strong feeding attractant effect. ② The relative intensity of multi-dimensional olfactory evaluation indicators all showed differences, which revealed that captive giant pandas had a broad inclusivity to the odor spectrum of bamboo shoots. ③ The components of odor spectrum identified from these bamboo shoots not only showed a certain degree of similarity, but also showed diversity. The results provided novel insights and data support for understanding the odor mechanism of food selection of giant pandas and development of specific feeding attractants.

大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)虽保留着肉食性动物的消化道结构,但其食性在漫长的适应性演化过程中逐渐变成植食,且已特化为主食竹子^[1]。为弥补消化道无法高效发酵纤维素的生理限制,大熊猫形成了高度特异的觅食策略,尤其依赖灵敏的嗅觉从竹类中筛选最易消化、营养价值最高的部位(如竹笋)来满足其能量与物质需求。在竹笋、竹秆和竹叶等主要食物中,竹笋因风味鲜香、质地嫩脆、营养相对丰富而成为非幼年大熊猫最为偏好的食物^[2-4]。这一感官偏好与竹笋相对较高的营养价值密切相关。在野外,大熊猫常随季节和海拔变化“攀笋”而食^[2];在圈养条件下,除当地出笋时节大量饲喂外,其余时节视具体情况限量供给。此外,竹笋还常用作非幼年大熊猫定向行动的诱导物、幼年大熊猫学习采食固态食物的训练品,以及年老、体弱或患

病个体的优待品,可见竹笋对大熊猫而言有着特殊的吸引力与多方面的用途。

大熊猫依赖敏锐的嗅觉寻觅食物和选择性采食^[1,5-6]。圈养大熊猫接触竹笋时,往往先嗅闻气味,再决定是否采食;若气味得到认可,则继续采食^[4];反之则放弃采食^[1,5-6],这说明气味是驱动其采食决策的首要信号。已有研究进一步揭示了大熊猫对竹笋气味存在明确的选择性。例如,李小娟^[7]用自助餐法观测过4只圈养大熊猫(2♂,2♀;3~25岁)对乌哺鸡竹(*Phyllostachys vivax*)笋、桂竹(*Ph. reticulata*)笋和茶竿竹(*Pseudosasa amabilis*)笋的自由选择采食情况,发现受试个体不喜食茶竿竹笋,而喜食乌哺鸡竹笋和桂竹笋;陈亚等^[8]报道,7只受试圈养大熊猫(3♂,4♀;5~25岁)对8种竹笋的采食反应不尽一致。所有受试个体均拒食斑苦竹(*Pleioblastus maculatus*)

笋、毛竹 (*Phyllostachys edulis*) 笋和慈竹 (*Bambusa emeiensis*) 笋, 而对毛金竹 (*Phyllostachys nigra* var. *henonis*) 笋、桂竹笋、八月竹 (*Chimonobambusa szechuanensis*) 笋、蓉城竹 (*Phyllostachys bissetii*) 笋和水竹 (*Ph. heteroclada*) 笋均表现为喜食, 其中对八月竹笋的采食量最高。由此可见, 大熊猫可能依据某种内在的“气味标准”来判断食物的可接受性, 这种标准可能是其在长期的自然选择和生存斗争过程中积累并传承的摄食安全机制。拒食可能因为气味不具诱食性, 不喜食可能因为气味虽具诱食性但适口性不佳, 而喜食可能归因于风味(气味和滋味)的整体适宜性。相关对比饲喂试验也证实, 适宜的气味在圈养大熊猫择食过程中具有诱导摄食的作用^[9-11]。杨楠等^[4]曾分析了圈养大熊猫所食早竹 (*Ph. violascens*) 笋和桂竹笋的气味特征、挥发性有机物(VOCs)和香气成分, 从二者共有的优势香气和韵调推测, 竹笋中明显的青香、新鲜感、嫩感、多汁感和轻微的甜气与果香可能是诱导圈养大熊猫在多种竹类食物中优先选择这两种竹笋采食的主要气味特征。然而, 激发大熊猫采食行为的究竟是气味的整体特征, 还是某些特定的气味组分? 目前尚不知晓, 从整体气味谱的视角来探究大熊猫择食的气味机制还属空白。

另一方面, 基于人类食用品质与风味偏好, 已有研究对斑苦竹笋^[12]、毛竹笋^[13-14]、毛竹春笋^[15]和冬笋^[16-17]、方竹 (*Chimonobambusa quadrangularis*) 笋^[18]、金佛山方竹 (*Ch. utilis*) 笋^[19]、麻竹 (*Dendrocalamus latiflorus*) 笋^[20-21]、绵竹 (*Bambusa intermedia*) 笋^[21]、佯黄竹 (*B. changningensis*) 笋^[21]和鸡爪箭竹 (*Fargesia unguolata*) 笋^[21]等鲜笋和加工笋的挥发性成分或风味物质进行了分析。但至今尚未见有刺黑竹 (*Chimonobambusa purpurea*) 笋、合江方竹 (*Ch. hejiangensis*) 笋、宁南方竹 (*Ch. ningnanica*) 笋、红边竹 (*Phyllostachys rubromarginata*) 笋和蓉城竹笋的相关 VOCs 研究报道。

气味谱是从多维度描述气味特征的专业概念, 涵盖气味强度、气味品质、气味组成和气味成分等内容, 含有整体属性。解析大熊猫所食竹笋的气味谱, 有助于探知大熊猫喜好的气味类型、强度及其相应物质与浓度, 从而阐明大熊猫择食的气味机制, 指导圈养大熊猫的食物供应, 并为开发适合圈养大熊猫的新型食物提供依据。为此, 本研究于不同季节采

用多种竹笋批量饲喂不同年龄段的圈养大熊猫, 观察其在嗅闻竹笋后的采食行为反应, 并随机采集竹笋样品, 结合专业人员嗅感品评和顶空(HS)-固相微萃取(SPME)-气相色谱(GC)-质谱(MS)联用技术, 分析大熊猫采食竹笋的气味谱感官特征和化学成分特征, 旨在从宏观视角探明大熊猫采食竹笋的气味谱规律, 为圈养大熊猫专用竹类食物诱食剂的研制提供参考。

1 材料与方法

1.1 受试动物

78只受试大熊猫圈养于中国大熊猫保护研究中心都江堰基地(以下简称“都江堰基地”)。个体年龄段参照文献^[22]划分: 幼年段, 0~18月龄; 亚成体段, 19~60月龄; 成体段, 61~240月龄; 老年段, >240月龄。饲养方式为每个圈舍一般饲养1只成年或老年个体、2只亚成体或1只育幼母兽及其1或2只幼崽(处于哺乳后期、正在学习采食固态食物的幼年大熊猫未纳入本次受试群体)。在日常饲养中, 日粮包含竹笋、竹秆、竹叶、窝窝头、胡萝卜及苹果等, 其中竹笋每日投喂不少于2次。大熊猫可自由采食、饮水并在圈舍内自由活动。所有饲养管理均严格遵循基地标准化工作流程和相关制度, 确保不干扰大熊猫正常行为节律。本研究已通过中国大熊猫保护研究中心实验动物伦理审查委员会审批(批件号: CCRCPG2025006)。受试大熊猫的个体信息见附录1, 群体年龄和性别结构见表1。

1.2 供试竹笋

共7种, 包括方竹笋、刺黑竹笋、合江方竹笋、宁南方竹笋、红边竹笋、蓉城竹笋和斑苦竹笋。除斑苦竹笋为人工栽培外, 其他6种均为野生(表2)。所有竹笋均为都江堰基地在不同时节批量投喂的常规饲用笋种。各竹种学名均依据《中国生物物种名录: 2025年度版》^[23]确定。

1.3 实验设计与方法

基于7种供试竹笋均为都江堰基地近3年常规饲喂的竹种, 本研究按其自然出笋季节(秋季、初冬、春末夏初)依次开展投喂测试, 测试日程见表2。各批次测试的受试大熊猫均包含亚成体、成体与老年3个年龄段的个体, 其具体数量及性别结构见表1。每次测试持续2d, 每日于固定时段(11:00和16:00)投喂2次。投喂前, 清除竹笋表面泥土并检查有无

表1 受试大熊猫群体的年龄和性别结构

Table 1 Age and sex structure of tested giant panda population

观测期 Observation period	总样本量/只 Sample size	年龄段 Age stage						性别 Sex			
		亚成体 Subadult		成体 Adult		老年 Senior		雄性 Male		雌性 Female	
		数量/只 Number	占比/% Ratio	数量/只 Number	占比/% Ratio	数量/只 Number	占比/% Ratio	数量/只 Number	占比/% Ratio	数量/只 Number	占比/% Ratio
2024年10月下旬 Late October 2024	36	13	36.11	7	19.44	16	44.45	17	47.22	19	52.78
2024年12月初 Early December 2024	41	14	34.15	9	21.95	18	43.90	17	41.46	24	58.54
2025年6月上旬 Early June 2025	73	26	35.62	24	32.88	23	31.50	38	52.05	35	47.95

表2 供试竹笋种类与实验安排

Table 2 The species and test schedule of tested bamboo shoots

序号 No.	供试竹笋 Tested bamboo shoot	产地 Origin	饲用期 Feeding period	测试期 Test period	测试季节 Test season
1	方竹笋 <i>Chimonobambusa quadrangularis</i> shoot	四川省崇州市文井江镇	10月上旬—11月上旬	2024-10-21—22	秋季
2	刺黑竹笋 <i>Ch. purpurea</i> shoot	四川省都江堰市青城山镇	9月下旬—10月下旬	2024-10-24—25	秋季
3	合江方竹笋 <i>Ch. hejiangensis</i> shoot	四川省叙永县水尾镇	10月下旬—11月中旬	2024-10-28—29	秋季
4	宁南方竹笋 <i>Ch. ningnanica</i> shoot	云南省盐津县柿子镇	10月中旬—12月上旬	2024-12-02—03	初冬
5	红边竹笋 <i>Phyllostachys rubromarginata</i> shoot	四川省汶川县三江镇	5月上旬—6月上旬	2025-06-03—04	春末夏初
6	蓉城竹笋 <i>Ph. bissetii</i> shoot	四川省崇州市文井江镇	4月下旬—6月上旬	2025-06-09—10	春末夏初
7	斑苦竹笋 <i>Pleioblastus maculatus</i> shoot	四川省峨眉山市高桥镇	5月下旬—6月下旬	2025-06-12—13	春末夏初

霉变,剔除霉变竹笋。每次投喂量由饲养员根据大熊猫的数量、实时体况、食欲及健康状况灵活掌握。竹笋投放在外运动场或/和内舍中大熊猫惯常采食的位置。每次投喂后,记录大熊猫是否对竹笋进行嗅闻及嗅闻后30 min内是否取食,每日完成2轮观察。该行为反应为本研究的核心观测指标。至于实际采食量与采食速度可能受竹笋味道、质地等因素影响,不在本研究关注范围内。

1.4 竹笋样品的采集、制备与保存

竹笋样品按测试日程分批采集,其中方竹笋、刺黑竹笋和合江方竹笋样品于2024年10月27日采集,宁南方竹笋样品于2024年12月4日采集,红边竹笋、蓉城竹笋和斑苦竹笋样品于2025年6月9日采集。采样时,从暂存于都江堰基地熊猫厨房冷藏室的各批次竹笋中,每袋随机抽取1根作为样品,共抽取3~7袋(视竹笋的粗细和长短而定)。竹笋采样后尽快制样。剪取每根竹笋的中段,剥弃笋壳,切成小颗粒,混合,随机分成2份,分别用于专业人员嗅感品评和HS-SPME-GC-MS联用分析。样品制备

全过程在防气味污染条件下进行,所有接触样品的器具均经充分清洗,确保无味。制备完成的样品密封后于-18℃的冰箱中保存,择日待用。所有样品在内置冰袋的保温箱(桶)中运输,尽快到达品评和分析地点。气味品评和成分分析用的竹笋样品均为剥弃笋壳后的小颗粒状笋肉。

1.5 竹笋气味谱的感官品评方法

竹笋样品制备好后尽早组织专业人员进行气味品鉴和评价。邀请8或9名长期从事饲料或食品调味料研发的专业人员(含女性3名)组成评价小组,在品评专用室依据既定标准对每个竹笋样品的气味进行独立量化评价。感官评价指标分为3类:(1)整体气味指标,包括气味强度、愉悦度和扩散性等;(2)主要香气指标,包括青香、甜气和木质气等;(3)主要韵调指标,包括新鲜感、多汁感和嫩感等。各指标采用10点标度法计分,其中0分为不存在,1~2分为很弱,3~4分为轻微,5~6分为明显,7~8分为显著,9~10分为非常显著,具体方法参照文献[9,24]。嗅感品评用样5.0 g。

1.6 竹笋气味谱的成分分析方法

1.6.1 HS-SPME 方法

称取5.0 g竹笋样品置于20 mL顶空瓶(Agilent, USA)中,迅速密封。先将250 °C老化过的75 μm CAR/PDMS型SPME纤维头(Supelco, USA)插入顶空瓶,推出纤维头至距离样品顶部约1 cm处;再将顶空瓶连同纤维头放于电热恒温水浴锅内固定,在70 °C的条件下顶空萃取1 h。萃取完成后,缩回纤维头并取出顶空瓶,迅速将纤维头转移至GC进样口,解吸3 min^[25-27]。

1.6.2 GC-MS 方法

挥发物分析在Agilent 7890B-5977B型GC-MS联用仪上进行,配置HP-INNOWax石英毛细管色谱柱(30 m × 0.25 mm, 0.25 μm)。^①GC条件:进样口温度为250 °C,载气为高纯氮气,柱流量为0.80 mL/min,进样分流比为5:1。色谱柱升温程序,起始温度45 °C保持3 min,以5 °C/min速率升至180 °C,再以8 °C/min速率升至260 °C,保持10 min。^②MS条件:电子轰击离子源(70 eV),离子源温度230 °C,四极杆温度150 °C,传输线接口温度250 °C,质量扫描范围20~450。^③定性和定量方法:将采集到的质谱图经GC-MS配套的计算机自动检索,初步鉴定成分物质;再与Wiley第11版图谱库和NIST 2014/NIST 2017 Library中的标准谱图进行人工检索匹配,结合保留时间及质谱裂解规律进行物质鉴定,匹配度均要求≥80%。各组分相对含量按峰面积归一化法计算^[25-27]。仪器由中国科学院成都分院分析测试中心专业技术人员操作。

1.6.3 典型香气成分的界定依据

本文的典型香气成分是指GB 2760—2024《食

品安全国家标准 食品添加剂使用标准》表B.3所列的食品用合成香料单体。通过GC-MS方法鉴定出的VOCs,经与该标准中的化合物进行名称与结构比对,二者匹配一致的成分方被确认为典型香气成分。因此,并非所有检出的VOCs或气味物质均归入此类^[24,28]。

1.7 数据处理与统计分析

有效评分指每个气味指标评分中剔除一个最高分和一个最低分后所保留的评分。气味指标品评得分以均值表示,计算公式为:气味指标品评得分均值 = 有效评分之和/有效品评人数。

采用GraphPad Prism 8.0.2软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA),显著水平 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 大熊猫对供试竹笋的采食行为观察

根据现场观察,受试大熊猫对7种供试竹笋均表现出“先嗅闻,后取食”的采食行为流程,与杨楠等^[4]报道一致。在全年不同季节的测试中,亚成体、成体及老年大熊猫嗅闻各种供试竹笋后均采食,说明所有供试竹笋散发出的气味均能被不同年龄段个体识别并接受,能够有效激发其采食欲望,继发后续的采食行为。因此,从行为反应来看,每种供试竹笋的整体气味对于各年龄段(幼年除外)的圈养大熊猫均表现出强诱食性。

2.2 竹笋的气味感官评价结果

每位专业人员分别对7种供试竹笋的整体气味、主要香气和主要韵调3类指标的嗅感品评打分后,经有效评分处理与统计,各项指标品评得分见图1~图3。

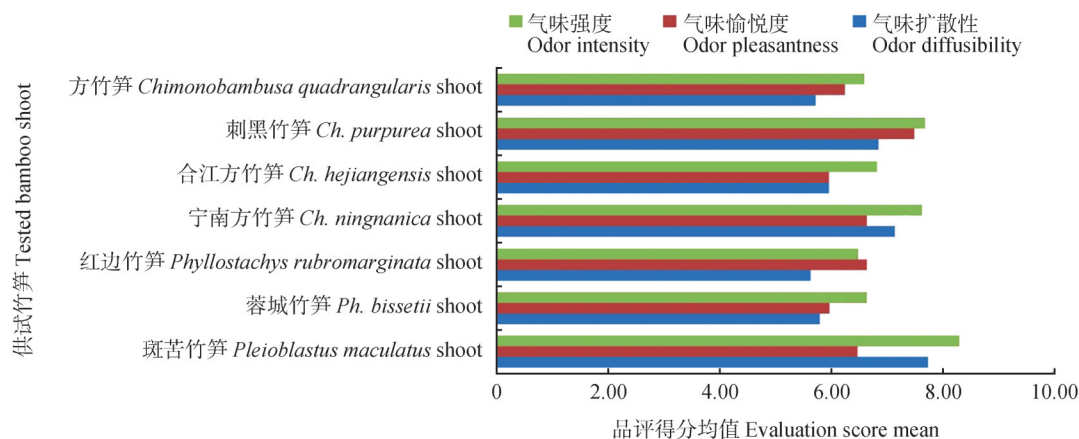


图1 7种供试竹笋的整体气味指标品评得分

Figure 1 The evaluation scores of overall odor indicators of seven tested bamboo shoots

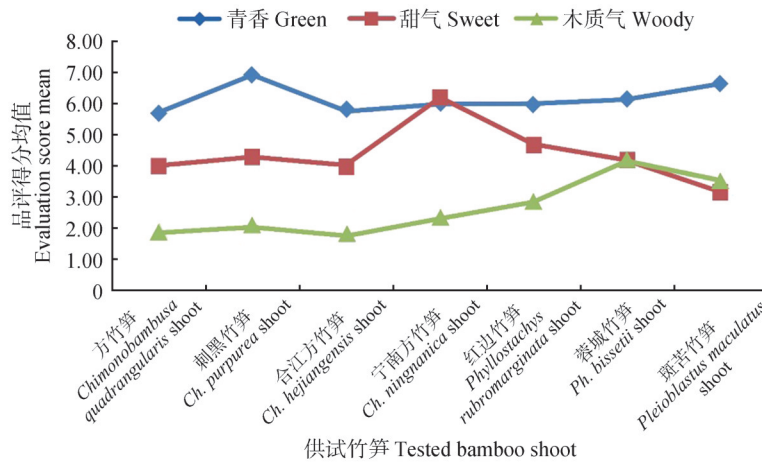


图2 7种供试竹笋的主要香气指标品评得分

Figure 2 The evaluation scores of main aroma indicators of seven tested bamboo shoots

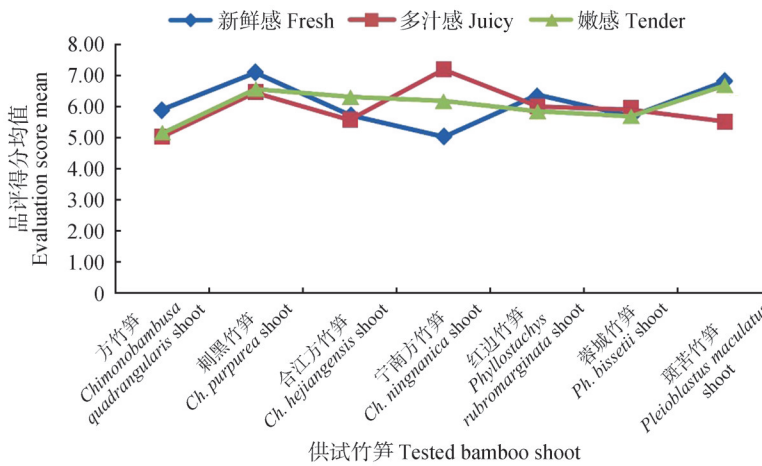


图3 7种供试竹笋的主要韵调指标品评得分

Figure 3 The evaluation scores of main note indicators of seven tested bamboo shoots

2.2.1 整体气味特征

7种竹笋的整体气味指标差异显著(图1)。气味强度以斑苦竹笋的品评得分最高(8.33),刺黑竹笋次之(7.71),红边竹笋的品评得分最低(6.50),组间差异极显著($P < 0.01$)。气味愉悦度在供试竹笋种间波动较小,以刺黑竹笋的品评得分最高(7.50),宁南方竹笋和红边竹笋次之(均为6.67),合江方竹笋和蓉城竹笋的品评得分最低(均为6.00),但7种供试竹笋间差异不显著($P > 0.05$)。气味扩散性组间呈现极显著差异($P < 0.01$),斑苦竹笋的品评得分最高(7.75),其次是宁南方竹笋(7.17),红边竹笋的品评得分最低(5.67)。

2.2.2 主要香气特征

不同竹笋的香气特征各有侧重(图2)。青香以刺黑竹笋的品评得分最高(6.93),其次是斑苦竹笋(6.67),方竹笋的品评得分最低(5.71),但组间差异不

显著($P > 0.05$)。在甜气方面,宁南方竹笋的品评得分最高(6.17),其次是红边竹笋(4.67),斑苦竹笋的品评得分最低(3.17),且组间差异极显著($P < 0.01$)。木质气以蓉城竹笋最突出(4.17),斑苦竹笋次之(3.50),合江方竹笋最弱(1.79),组间差异不显著($P > 0.05$)。

2.2.3 主要韵调特征

各种竹笋在韵调感知上也存在差异(图3)。新鲜感以刺黑竹笋的品评得分最高(7.07),其次是斑苦竹笋(6.83),宁南方竹笋的品评得分最低(5.00),但组间差异不显著($P > 0.05$)。多汁感组间同样无显著差异($P > 0.05$),以宁南方竹笋的品评得分最高(7.17),其次是刺黑竹笋(6.43),方竹笋的品评得分最低(5.00)。嫩感以斑苦竹笋的品评得分最高(6.67),其次是刺黑竹笋(6.57),方竹笋的品评得分最低(5.14),差异也未达显著水平($P > 0.05$)。

综上所述,7种供试竹笋均呈现复合型气味特

征,其整体气味、主要香气与韵调指标在感官评价中存在不同程度的波动,反映了不同竹笋气味谱的多样性与复杂性。

2.3 竹笋的典型香气成分鉴定与组成分析

采用HS-SPME-GC-MS技术对7种竹笋样品进行分析,并将检测到的挥发性成分与GB 2760—2024《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》中允许使用的食品级单体呈香物质比对,鉴定得到典型香气成分及其相对含量(共鉴定出10类124种成

分,详见附录2),分析表明,不同竹笋的香气成分在种类和含量上均存在显著差异。

2.3.1 VOCs类别组成

由表3可知,从7种供试竹笋中共测出10个VOCs类别。不同竹笋检出的VOCs类别数为8或9类,其中蓉城竹笋检出9类,其余6种均检出8类。所有竹笋均共同含有烯烃类、醇类、醛类、酮类、酯类和杂环类6类成分;酚类、醚类、羧酸类和有机硫化物类则仅存在部分竹笋中。

表3 7种供试竹笋中VOCs类别的典型香气成分种类数量

Table 3 The number of typical aroma components of VOCs categories from seven tested bamboo shoots

供试竹笋 Tested bamboo shoot	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	有机硫化物类 Organic sulfides	VOCs类别数 Number of VOCs categories	总种类数 Total number of the components
方竹笋 <i>Chimonobambusa quadrangularis</i> shoot	1	13	1	0	26	8	6	3	2	0	8	60
刺黑竹笋 <i>Ch. purpurea</i> shoot	5	19	1	0	17	7	4	4	3	0	8	60
合江方竹笋 <i>Ch. hejiangensis</i> shoot	5	19	0	0	17	8	3	4	3	1	8	60
宁南方竹笋 <i>Ch. ningnanica</i> shoot	4	19	0	0	24	5	2	7	2	1	8	64
红边竹笋 <i>Phyllostachys rubromarginata</i> shoot	2	13	2	0	18	4	1	16	2	0	8	58
蓉城竹笋 <i>Ph. bissetii</i> shoot	3	10	1	1	18	8	0	9	4	1	9	55
斑苦竹笋 <i>Pleiolobatus maculatus</i> shoot	2	7	1	0	17	6	1	18	3	0	8	55

从VOCs类别的成分种类数量来看,各种竹笋的优势类别组合各异。方竹笋、刺黑竹笋和合江方竹笋以醇类、醛类和酮类为主,且醇类或醛类种类数量最多。宁南方竹笋、红边竹笋、蓉城竹笋和斑苦竹笋则以醇类、醛类和酯类为主,其中斑苦竹笋的酯类种类数量最为丰富(18种),宁南方竹笋、红边竹笋和蓉城竹笋以醛类最多,分别是24、18、18种(表3)。

从相对含量来看,各竹笋VOCs类别的相对含量与其种类数量并非完全的对对应关系,二者分别反映了气味的“贡献强度”与“组成广度”(表3,表4)。例如:在方竹笋、刺黑竹笋、合江方竹笋和斑苦竹笋中,杂环类成分种类较少(2或3种),但其相对含量(0.70%~6.17%)均进入了前3位,成为关键的气味贡献者。同时,方竹笋、刺黑竹笋和合江方竹笋中种类数量最多的类别(醇类或醛类),其相对含量也最高。红边竹笋、蓉城竹笋和斑苦竹笋则呈现出另一种模式,即酯类尽管种类数量并非都最高,但其相对

含量占据绝对优势(分别为67.65%、89.87%和90.52%),可能是决定其整体气味特征的核心物质类别。宁南方竹笋则较为特殊,相对含量前三为醇类(41.68%)、醛类(24.13%)和烯烃类(4.27%)(表4)。

2.3.2 典型香气成分的组成特征

从7种供试竹笋中共鉴定出124种典型香气成分,其种类数量存在一定差异(55~64种),其中宁南方竹笋种类最多(64种),蓉城竹笋与斑苦竹笋最少(55种);所有竹笋中共有22种成分,包括如*d*-苧烯、1-辛烯-3-醇、己醛、反式-2-庚烯醛、香叶基丙酮、水杨酸甲酯、2-乙基呋喃等(附录2),构成了其共性香气的基础。与此同时,不同竹笋间香气成分既重叠又分化,两两之间共有成分为27~50种,互异成分为20~61种(表5),且每种竹笋均含有2~8种独有成分,例如宁南方竹笋的 α -蒎烯、红边竹笋的香芹酚及斑苦竹笋的水杨酸异丁酯等,这些成分可能是形成其特有气味的重要物质。

表 4 7 种供试竹笋中典型香气成分 VOCs 类别的相对含量

Table 4 Relative content of VOCs categories in typical aroma components from seven tested bamboo shoots

%

供试竹笋 Tested bamboo shoot	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	有机硫化物类 Organic sulfides	合计 Total
方竹笋 <i>Chimonobambusa quadrangularis</i> shoot	0.45	16.89	0	0	54.32	3.92	2.05	0.68	6.17	0	84.48
刺黑竹笋 <i>Ch. purpurea</i> shoot	4.01	59.53	0	0	15.92	0.50	1.45	0.48	4.29	0	86.18
合江方竹笋 <i>Ch. hejiangensis</i> shoot	1.30	70.66	0	0	15.91	1.20	0.80	0.46	2.23	0.94	93.50
宁南方竹笋 <i>Ch. ningnanica</i> shoot	4.27	41.68	0	0	24.13	1.21	0.27	1.44	2.09	0	75.09
红边竹笋 <i>Phyllostachys rubromarginata</i> shoot	0	6.53	0	0	11.78	0.73	0	67.65	1.10	0	87.79
蓉城竹笋 <i>Ph. bissetii</i> shoot	0.85	1.93	0	0	4.53	0.20	0	89.87	0.31	0	97.69
斑苦竹笋 <i>Pleioblastus maculatus</i> shoot	0.30	0.60	0	0	5.64	0.21	0.21	90.52	0.70	0	98.18

表 5 7 种供试竹笋典型香气成分的重叠与差异矩阵

Table 5 Overlap and difference matrix of typical aroma components among seven tested bamboo shoots

供试竹笋 Tested bamboo shoot	方竹笋 <i>Chimonobambusa quadrangularis</i> shoot	刺黑竹笋 <i>Ch. purpurea</i> shoot	合江方竹笋 <i>Ch. hejiangensis</i> shoot	宁南方竹笋 <i>Ch. ningnanica</i> shoot	红边竹笋 <i>Phyllostachys rubromarginata</i> shoot	蓉城竹笋 <i>Ph. bissetii</i> shoot	斑苦竹笋 <i>Pleioblastus maculatus</i> shoot
方竹笋 <i>Chimonobambusa quadrangularis</i> shoot	—	45	43	44	35	32	31
刺黑竹笋 <i>Ch. purpurea</i> shoot	30	—	50	46	35	36	30
合江方竹笋 <i>Ch. hejiangensis</i> shoot	34	20	—	47	35	34	27
宁南方竹笋 <i>Ch. ningnanica</i> shoot	36	32	30	—	39	34	29
红边竹笋 <i>Phyllostachys rubromarginata</i> shoot	48	48	48	44	—	36	37
蓉城竹笋 <i>Ph. bissetii</i> shoot	51	43	47	51	41	—	41
斑苦竹笋 <i>Pleioblastus maculatus</i> shoot	53	55	61	61	39	28	—

注：矩阵上三角(对角线右上)数据表示两种竹笋间共有的典型香气成分数量；下三角(对角线左下)数据表示两种竹笋间互异的典型香气成分数量。

Note: Data in the upper triangle (above the diagonal) indicate the number of shared typical aroma components between two bamboo shoots; data in the lower triangle (below the diagonal) indicate the number of distinct typical aroma components.

在主要香气贡献方面,不同竹笋的优势成分差异显著(表 3)。方竹笋、刺黑竹笋、合江方竹笋和宁南方竹笋的优势成分为醛类和醇类,如己醛、壬醛、1-己醇、芳樟醇等,其前 5 种成分合计相对含量为 44.57%~71.63%。红边竹笋、蓉城竹笋和斑苦竹笋则以酯类为主,尤其是水杨酸甲酯在这 3 种笋中均为最主要成分(相对含量 63.90%~89.64%),其前 5 种成分合计占比高达 76.37%~93.54%。这些关键成分及其含量差异与感官评价中不同竹笋的气

味特征(图 1~图 3)相互印证。

综上,7 种供试竹笋的典型香气成分在类别组成、共有与独有成分、关键成分及其相对含量上均呈现明显的多样性与特异性,体现了不同竹笋气味谱的复杂性与个性化特征。

3 讨论

3.1 圈养大熊猫采食竹笋的气味谱感官特征

竹笋散发出的气味在整体上可称为竹笋香,由

多种香气和韵调组成,属复合型气味。在嗅感品评的整体指标中,气味强度越高越利于大熊猫觅食时识别;气味愉悦度体现气味品质,大熊猫喜欢采食气味愉悦度高的食物^[9-11];气味扩散性与小分子VOCs及含量密切相关,扩散性越强可使大熊猫越早感知;香气和韵调代表气味不同层次的结构,青香、甜气和木质气等是竹笋香气的主要组成单元,新鲜感、多汁感和嫩感等是竹笋韵调的主要组成单元。由此可见,这些多维度量品评的嗅感指标可表征竹笋气味的感官特征。本研究结果表明,7种供试竹笋在整体气味指标、主要香气指标和主要韵调指标的相对强度上大多存在一定范围的差异,但所有受试大熊猫(亚成体、成体和老年)在嗅闻后均继发取食行为,说明圈养大熊猫采食竹笋时对气味的感官指标均有一定范围的包容性(如气味强度6.50~8.33,甜气3.17~6.17,新鲜感5.00~7.07等)。这种包容性扩展了大熊猫对气味谱感官指标的认可宽度,有利于大熊猫在不同时间和空间采食多种竹笋或延长对某种竹笋的采食期,以获得更多的营养物质,符合营养假设的觅食策略^[3]。它使得大熊猫在野外能够应对不同季节与海拔下竹笋VOCs组成与含量的自然变化^[29],从而成功追踪并利用随物候变化的竹笋资源(即“撵笋”)^[2];在圈养条件下,则意味着其对基地按季节供给的多种竹笋具有广泛的接受度。这一发现从感官层面支持了“营养最大化”的觅食假说,并为理解大熊猫广谱性食物选择提供了行为学依据。

3.2 圈养大熊猫采食竹笋的气味谱成分特征

从宏观视角看,7种竹笋的气味谱在化学成分上呈现出相似性与多样性并存的特征。从7种供试竹笋均含有烯烃、醇、醛、酮、酯和杂环类VOCs,且有22种相同的典型香气成分(如*d*-萜烯、己醛、1-辛烯-3-醇等),这构成了“竹笋香”共性的物质基础,可能作为大熊猫识别“可食竹笋”的基础化学信号。但在VOCs类别水平上,不同竹笋的优势类别各异。方竹笋、刺黑竹笋和合江方竹笋以醛、醇、酮类为主,且其种类最多的类别(醛类或醇类)通常也是相对含量最高的类别;而红边竹笋、蓉城竹笋和斑苦竹笋则以酯类为主(相对含量67.65%~90.52%),其关键成分水杨酸甲酯的含量与感官评价中此类竹笋气味的强烈特征高度关联。其次,在成分水平上,两两竹笋间共有成分数为27~50种,不同成分为20~61种,且每种竹笋独有成分为2~8种,形成了既重叠又分化

的复杂图谱。这种化学多样性源于竹种、产地、季节等多重因素,直接导致了感官指标评分的波动,并可能赋予不同竹笋独特的香气细节。

3.3 气味感官特征与化学成分关联

本研究首次尝试将多维度感官评价结果与GC-MS化学成分数据进行关联分析,结果表明特定感官属性可能由多类化学成分共同决定^[30]。例如,青香与1-己醇、1-辛烯-3-醇、反式-2-壬烯-1-醇、己醛、反式-2-戊烯醛等多种醛醇类成分相关;甜气主要与*d*-萜烯、苯甲醇、反式,反式-2,4-己二烯醛、癸醛、苯乙醛等物质有关;木质气主要与芳樟醇、己醛、反式- β -紫罗兰酮等有关;而红边竹笋等样品中极高的酯类(尤其是水杨酸甲酯)含量,则与其强烈的、特征性的整体气味强度与扩散性感知相符。可见,竹笋的整体气味是其不同VOCs类别的多种典型香气成分共同呈现,而非单一或少数几个关键气味因子决定。这支持了从气味谱整体属性入手探究大熊猫择食机制的合理性。

4 结论

本研究首次从宏观角度探究了圈养大熊猫采食竹笋的气味谱感官特征和化学成分特征,揭示了圈养大熊猫采食竹笋时对气味谱的感官指标具有一定范围的包容性,为其广谱性采食行为提供了新解释;阐明了不同竹笋气味谱化学组成的相似性基础和多样性表现,深化了对“竹笋香”化学本质的理解;相较于文献[4]从早竹笋和桂竹笋中鉴定出的62种典型香气成分,本研究新增鉴定出74种典型香气成分,为圈养大熊猫专用竹类食物诱食剂的研制提供了更多参考。未来研究可结合电子鼻(E-nose)、气相色谱-嗅闻(GC-O)等技术,进一步锁定对大熊猫具有关键吸引作用的活性气味组分,并探究个体差异、生理状态对气味偏好的影响,从而更精准地服务于大熊猫的饲养管理与福利提升。

致谢:吴劲旭老师审定了7种供试竹笋的竹种学名。在中国大熊猫保护研究中心都江堰基地开展大熊猫采食实验与样品采集期间,承蒙仇剑主任、陆良媛副主任的热情支持及各饲养工作站同仁的积极配合;竹笋气味品评承蒙成都大帝汉克生物科技有限公司(四川省动物采食调控工程技术研究中心)喻麟董事长、李小兵总经理的大力支持,以及李松柏高

级工程师、邓虹高级工程师、黄明亚工程师、刘张育工程师、郭守峰、杨曦瑶、王家乐等同仁的积极参与; 西华大学食品与生物工程学院包清彬教授、西南科技大学生命科学与工程学院曾凡坤教授应邀参与部分竹笋的气味品评。HS-SPME-GC-MS分析和VOCs推定由中国科学院成都分院分析测试中心胡静副研究员完成, 四川省自然资源科学研究院种质资源研究所杨楠工程师为本文制图。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: 34-41.
HU J C, SCHALLER G B, PAN W S, *et al.* Wolong's giant panda [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1985: 34-41.
- [2] 胡锦矗. 大熊猫的食性研究[J]. 南充师院学报(自然科学版), 1981(3): 17-22.
HU J C. Study on the feeding habits of giant pandas [J]. Journal of the Nanchong Teachers College (Natural Science Edition), 1981(3): 17-22.
- [3] 袁施彬, 屈元元, 张泽钧, 等. 圈养大熊猫食谱组成与营养成分分析[J]. 兽类学报, 2015, 35(1): 65-73.
YUAN S B, QU Y Y, ZHANG Z J, *et al.* Composition and nutrient analysis of captive giant panda diet [J]. Acta Theriologica Sinica, 2015, 35(1): 65-73.
- [4] 杨楠, 林俊帆, 邓虹, 等. 圈养大熊猫所食2种竹笋的气味特点和香气成分研究[J]. 资源开发与市场, 2021, 37(7): 850-857.
YANG N, LIN J F, DENG H, *et al.* Research on odor characteristics and aroma components from 2 species of bamboo shoots ingested by captive giant pandas [J]. Resource Development & Market, 2021, 37(7): 850-857.
- [5] 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, 4(1): 5-8.
RUAN S J, YONG Y G. Observation on feeding in the wild and foraging of the giant panda [J]. Chinese Wildlife, 1983, 4(1): 5-8.
- [6] 汤纯香. 大熊猫采食行为的研究[J]. 动物学杂志, 1992, 27(4): 46-49.
TANG C X. Study on the feeding behaviour of giant panda (*Ailuropoda melanoleuca*) [J]. Chinese Journal of Zoology, 1992, 27(4): 46-49.
- [7] 李小娟. 大熊猫潜在喜食竹营养价值评定及其利用效率[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2012.
LI X J. Evaluation of nutrients in the potential favorite bamboo shoots and apparent digestibility of nutrient components in bamboo shoots of *Phyllostachys vivax* McClure on the giant panda [D]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2012.
- [8] 陈亚, 张贵权, 陈绪玲. 峨眉山地区多种竹笋饲喂大熊猫的观察试验[J]. 四川林业科技, 2014, 35(3): 51-53.
CHEN Y, ZHANG G Q, CHEN X L. A study of feeding giant pandas on different bamboo shoots from the Emei Mountain area [J]. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 2014, 35(3): 51-53.
- [9] 鲜义坤, 李果, 殷永玲, 等. 基于大熊猫择食机理的斑苦竹鲜叶和干叶气味及成分差异研究[J]. 资源开发与市场, 2022, 38(4): 476-487.
XIAN Y K, LI G, YIN Y L, *et al.* Study on odor and component differences between fresh and drying *Pleioblastus maculatus* leaves based on selective ingestion mechanism of giant pandas [J]. Resource Development & Market, 2022, 38(4): 476-487.
- [10] 鲜义坤, 黄山, 刘张育, 等. 风味剂对未成年圈养大熊猫摄食竹叶的影响[J]. 野生动物学报, 2024, 45(2): 276-290.
XIAN Y K, HUANG S, LIU Z Y, *et al.* Effect of a flavor agent on bamboo leaves ingested by captive juvenile giant pandas [J]. Chinese Journal of Wildlife, 2024, 45(2): 276-290.
- [11] 鲜义坤, 杨波, 李裕冬, 等. 不同汽蒸时长对圈养大熊猫专用窝窝头风味和香气成分的影响[J]. 资源开发与市场, 2025, 41(12): 1873-1884.
XIAN Y K, YANG B, LI Y D, *et al.* Influences of different steaming durations on flavors and aroma components of special wowotous for captive giant pandas [J]. Resource Development & Market, 2025, 41(12): 1873-1884.
- [12] 夏勃. 斑苦竹笋(*Arundinaria oleosa*)营养成分和化学成分分析[D]. 南京: 南京林业大学, 2006.
XIA B. Studies on nutrient and chemical components of shoots of *Arundinaria oleosa* [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2006.
- [13] 潘年琼, 吴宸印, 杨淇蓠, 等. 楠竹笋及其附属物挥发性成分的GC-MS分析与比较研究[J]. 中国果菜, 2024, 44(11): 18-24.
PAN N Q, WU C Y, YANG Q Y, *et al.* Analysis and comparative of volatile constituents of bamboo shoots and their appendages in *Phyllostachys edulis* by GC-MS [J]. China Fruit & Vegetable, 2024, 44(11): 18-24.
- [14] 崔逢欣, 丁兴萃, 李露双, 等. 毛竹笋呈味物质种类、含量与辛辣味强度的关系[J]. 林业科学研究, 2017, 30(6): 1041-1049.
CUI F X, DING X C, LI L S, *et al.* Relationship between types and contents of flavour substances and spicy intensity in moso bamboo (*Phyllostachys edulis*) shoots [J]. Forest Research, 2017, 30(6): 1041-1049.
- [15] 杨金来, 吴良如, 杨慧敏, 等. 竹笋化学成分研究进展[J]. 竹子学报, 2017, 36(3): 72-76.
YANG J L, WU L R, YANG H M, *et al.* Advances in chemical component of bamboo shoots [J]. Journal of Bamboo Research, 2017, 36(3): 72-76.
- [16] 董文慧, 孙春娃, 丁兴萃, 等. 电子鼻结合顶空SPME-GC-MS分析毛竹冬笋的挥发性成分[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(3): 685-691.
DONG W H, SUN C W, DING X C, *et al.* Analysis of the volatile components of winter moso bamboo shoots by electronic nose

- combined with SPME-GC-MS [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 34(3): 685-691.
- [17] 耿想, 姚曦, 陈晨, 等. 不同干燥方式对冬笋挥发性成分的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(4): 152-157.
GENG X, YAO X, CHEN C, *et al.* Effect of different drying methods on the volatile components of winter moso bamboo shoots [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(4): 152-157.
- [18] 赵红艳, 龙昭航, 陈美, 等. 桐梓县方竹笋及其加工产品挥发性风味物质分析[J]. *食品安全导刊*, 2022(35): 118-121.
ZHAO H Y, LONG Z H, CHEN M, *et al.* Analysis of volatile flavor substances of square bamboo shoots and its processed products in Tongzi County [J]. *China Food Safety Magazine*, 2022 (35): 118-121.
- [19] 杨金来, 高贵宾, 张甫生, 等. 5种彩色笋壳的金佛山方竹笋品质分析与评价[J]. *食品科学*, 2022, 43(6): 303-308.
YANG J L, GAO G B, ZHANG F S, *et al.* Quality analysis and evaluation of five cultivars of *Chimonobambusa quadrangularis* shoots with color shell from Jinfoshan Mountain [J]. *Food Science*, 2022, 43(6): 303-308.
- [20] 任旺, 叶秀娟, 李婷婷, 等. 麻竹笋中多酚类化合物的提取及挥发性成分分析[J]. *食品科学*, 2014, 35(16): 120-123.
REN W, YE X J, LI T T, *et al.* Analysis of the volatile components in polyphenol compounds extracted from *Dendrocalamus latiflorus* shoots [J]. *Food Science*, 2014, 35(16): 120-123.
- [21] 景文祥, 周罗男, 余英, 等. 四种丛生竹鲜笋中主要营养成分及风味的研究[J]. *四川林业科技*, 2021, 42(5): 58-63.
JING W X, ZHOU L N, YU Y, *et al.* Study on the main nutritional components and flavor of four kinds of clustered bamboo shoots [J]. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 2021, 42(5): 58-63.
- [22] 孙萌萌, 严啸, 李凤, 等. 大熊猫咬合力和采食速率的发育及其影响因素[J]. *兽类学报*, 2024, 44(2): 135-145.
SUN M M, YAN X, LI F, *et al.* Ontogeny and the influencing factors of bite force and feeding rate of giant pandas (*Ailuropoda melanoleuca*) [J]. *Acta Theriologica Sinica*, 2024, 44 (2) : 135-145.
- [23] 中国科学院生物多样性委员会. 中国生物物种名录: 2025年度版 [DB/OL]. 北京: 中国科学院 [2025-10-06]. <http://www.sp2000.org.cn>.
Biodiversity Committee of Chinese Academy of Sciences. Catalogue of life China: 2025 annual checklist [DB/OL]. Beijing: Chinese Academy of Sciences [2025-10-06]. <http://www.sp2000.org.cn>.
- [24] 鲜义坤, 董超, 杨波, 等. 圈养大熊猫和小熊猫所食两种新鲜竹叶的气味及成分研究[J]. *饲料博览*, 2022(6): 59-68.
XIAN Y K, DONG C, YANG B, *et al.* Study on odors and components from two kinds of fresh bamboo leaves ingested by captive giant pandas and red pandas [J]. *Feed Review*, 2022 (6) : 59-68.
- [25] 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.
XIAN Y K, YANG N, DENG H, *et al.* Study on the mechanism of pandas choosing fresh corn stalks for odors [J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2020(14): 133-137.
- [26] 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.
XIAN Y K, WANG C D, LIN J F, *et al.* Research on odor characteristics and aroma components in milk powders supplementally fed to captive giant panda's cubs [J]. *Resource Development & Market*, 2020, 36(2): 164-173; 217.
- [27] 鲜义坤, 李果, 李裕冬, 等. 圈养大熊猫乳汁香气成分探究 [J]. *资源开发与市场*, 2019, 35(12): 1513-1524.
XIAN Y K, LI G, LI Y D, *et al.* Research on aroma components in the milk of captive giant panda [J]. *Resource Development & Market*, 2019, 35(12): 1513-1524.
- [28] 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.
XIAN Y K, YANG N, KONG L, *et al.* Research on odor characteristics and aroma components from apple and carrot ingested by captive giant pandas [J]. *Feed Review*, 2020(6): 1-9; 19.
- [29] 蒋冬月, 李永红. 植物挥发性有机物的研究进展[J]. *黑龙江农业科学*, 2011(11): 143-149.
JIANG D Y, LI Y H. Review on volatile organic compounds of plant [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2011 (11) : 143-149.
- [30] 孙宝国, 刘玉平. 食用香料手册[M]. 北京: 中国石化出版社, 2004: 37-357.
SUN B G, LIU Y P. Handbook of food flavors [M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2004: 37-357.

附录 Supplementary Material

附录1 受试大熊猫的个体信息

Appendix 1 Individual information of tested giant pandas

附录2 7种供试竹笋中典型香气成分的鉴定与相对含量

Appendix 2 Identification and relative content of typical aroma components from seven tested bamboo shoots

<https://dx.doi.org/10.12375/ysdwx.202510014>