

毛竹笋呈味物质种类、含量与辛辣味强度的关系

崔逢欣, 丁兴萃*, 李露双, 章志远, 蔡函江

(国家林业局竹子研究开发中心, 浙江省竹子高效加工重点实验室, 浙江 杭州 310012)

摘要: [目的] 对 3 种类型毛竹笋进行品尝和分析, 探索毛竹笋辛辣味的呈味物质, 为提高毛竹笋食用品质和经济价值提供参考。 [方法] 试验运用感官评定、气质联用 (GC-MS)、高效液相色谱 (HPLC) 等方法, 对出土毛竹笋 (AS)、未出土毛竹笋 (US) 和毛竹鞭笋 (RS) 3 种新鲜竹笋及 AS 竹笋水煮后的笋渣、笋汤进行感官评定、成分分析, 开展呈味物质含量与相应滋味强度的相关性分析。 [结果] (1) 经感官评定, AS 和 US 2 种类型毛竹笋辛辣味均表现为从笋基部到笋尖依次增强的趋势, 而 AS 竹笋从笋基部到笋尖辛辣味强度值为 2.0~9.5, 明显高于 US 的 1~6, RS 竹笋滋味则表现为微甜, 笋基部到笋尖无明显变化。 AS 竹笋水煮后笋渣滋味为辛辣味, 且辛辣味强度随水煮时间的延长而降低; 笋汤滋味则表现为苦涩味, 滋味强度随水煮时间的延长而增强。 (2) 通过 GC-MS 方法, 共检测出毛竹笋 43 种成分, 其中, 酯类 9 种、醇类 6 种、酸类 5 种、酚类 3 种、酮类 2 种、醛类 3 种、烃类 4 种和其它 11 种, 其中, 相对含量较高且与辛辣味有关的物质为草酸、单宁和麻黄碱。 (3) 相关性分析表明, 与 AS 和 US 竹笋辛辣味显著相关的呈味物质为氰化物、氰苷、单宁和麻黄碱, 与 AS 竹笋辛辣味强度的相关系数分别为 0.812、0.850、0.939、0.818 ($P < 0.01$); 与 US 竹笋辛辣味强度的相关系数分别为 0.905、0.857、0.939、0.937 ($P < 0.01$)。 AS 水煮后笋渣中氰化物、氰苷和单宁与辛辣味强度显著相关, 相关系数分别为 0.859、0.861、0.933 ($P < 0.01$), 笋汤中与苦涩味强度显著相关的有氰化物、单宁和草酸, 相关系数分别为 0.982、0.954、0.976 ($P < 0.01$)。 综合表明: 毛竹笋辛辣味的呈味物质是氰化物、氰苷和单宁。 [结论] 影响毛竹笋辛辣味的主要呈味物质为氰化物、氰苷和单宁, 其辛辣味是三者相互作用的结果。

关键词: 毛竹笋; 呈味物质; 辛辣味; 相关性

中图分类号: S795.7

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2017)06-1041-09

Relationship between Types and Contents of Flavour Substances and Spicy Intensity in Moso Bamboo (*Phyllostachys edulis*) Shoots

CUI Feng-xin, DING Xing-cui, LI Lu-shuang, ZHANG Zhi-yuan, CAI Han-jiang

(China National Bamboo Research Center, State Administration of Forestry, Zhejiang Province Bamboo High-valued Use Key Lab, Hangzhou 310012, Zhejiang, China)

Abstract: [Objective] 3 types of fresh moso bamboo (*Phyllostachys edulis*) shoots were tested and analyzed to identify the spicy substances in order to further improving the quality and economic value. [Method] The bamboo shoots above the ground (AS), bamboo shoots under the ground (US) and rhizome shoots (RS) were analyzed by means of sensory evaluation, gas chromatography-mass spectrometer (GC-MS), high performance liquid chromatography (HPLC), and the correlation analysis between the concentrations of flavor substances

收稿日期: 2017-01-17

基金项目: 浙江省“十二·五”农业重大成果转化工程“毛竹林高效生态可持续经营技术示范推广”(2012T201-02); 联合国 77 国集团佩罗基金项目 Assessment of bamboo shoot development for food in Africa and Latin America(L-063/2011)

作者简介: 崔逢欣(1991—), 女, 河南焦作人, 硕士研究生, 主要研究方向为竹笋品质和竹林培育。

* 通讯作者: 丁兴萃(1963—), 男, 研究员, 主要研究方向为植物生理生化和竹林培育. E-mail: dx01@hotmail.com

and the flavor intensities of 3 types of fresh bamboo shoots, shoot residues after boiling and shoot soups. [**Result**] (1) The sensory evaluation of AS and US showed that the pungency was increasingly enhanced from base to top of bamboo shoot, and the range of AS was 2 to 9.5, which was apparently higher than that of the US which changed from 1 to 6. The taste of RS was slightly sweet, and there was no significant difference from base to top. The taste of boiled bamboo shoot residues was spicy, and the intensity decreased with the extension of boiling time. But the bamboo shoot soups were bitter and astringent, and the intensity increased along with the time of boiling. (2) A total of 43 compounds including 9 kinds of esters, 6 kinds of alcohols, 5 kinds of acids, 3 kinds of phenols, 2 kinds of ketones, 3 kinds of aldehydes, 4 kinds of hydrocarbons and 11 kinds of other compounds in fresh bamboo shoot were detected by GC-MS. The substances in bamboo shoots with high content and pungent taste were oxalic acid, tannin and ephedrine. (3) The results showed that the principal materials significantly associated with the spicy taste of AS and US were cyanide, cyanogenetic glycoside, tannin and ephedrine. The correlation coefficients of AS were 0.812, 0.850, 0.939 and 0.818 ($P < 0.01$), and those of US were 0.905, 0.857, 0.939 and 0.937 ($P < 0.01$). The relationship between cyanide, cyanogenetic glycoside, tannin and spicy taste intensity was highly significant in bamboo shoot residues, and the correlation coefficients were 0.859, 0.861, and 0.933 ($P < 0.01$) respectively. The main substances attributing to bitter and astringent were cyanide, tannin and oxalic acid, and the correlation coefficients were 0.982, 0.954, and 0.976 ($P < 0.01$) respectively. [**Conclusion**] The main spicy flavor substances of moso bamboo shoots were concluded as cyanide, cyanogenetic glycoside and tannin, and their interaction enhanced the strong spicy flavor of moso bamboo shoots.

Keywords: *Phyllostachys edulis* shoots; flavor substance; spicy; correlation

我国是世界竹类资源、生产、消费和出口第一大国,全国竹林面积约 525 万 hm^2 ,其中,毛竹 (*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie) 约占 3/5,且以每年约 50 000 hm^2 的速度呈递增趋势^[1]。毛竹隶属禾本科 (Poaceae) 竹亚科 (Bambusoideae Nees) 刚竹属 (*Phyllostachys* Sieb. et Zucc.),其竹笋营养价值高,既可鲜食也可加工,消费需求量大,经济效益高,是我国最主要的食用竹笋^[2];但毛竹笋出土见光后辛辣味强度骤然增加,口感品质急剧下降,严重影响新鲜竹笋的食用品质和经济价值^[3],是毛竹笋产业发展的一大障碍。同时,随着社会的发展和水平的提高,果蔬的口感品质日益受到消费者的重视^[4-5]。

目前,对竹笋呈味物质研究较少。基于感官评定和相关性分析,认为影响麻竹 (*Dendrocalamus latiflorus* Munro) 笋苦涩味的物质主要是苦味氨基酸、单宁和草酸^[6-7];影响苦竹 (*Pleiolobus amarus* (Keng) keng) 等竹笋苦味的主要物质是氰化物和氰苷^[8-12];而有关毛竹笋辛辣味的研究几乎空白,李雪蕾^[6]认为,影响毛竹笋滋味的物质主要是苦味氨基酸、类黄酮和草酸,但其结果是仅基于成分含量分析测定,并未进行感官评定。目前,感官评定是评价

食品质量最直接最重要的方法之一^[13],国家标准 GB/T12312-2012 仅有关于酸、甜、苦、咸、鲜和金属味的味觉强度标准,但对辛辣味及其它复杂呈味物质的味觉强度表达至今无方法和标准可依^[14];电子舌技术是 20 世纪 80 年代以来一种新的感官评定方法,但其局限于甜味等基础滋味评定^[15],无法对辛辣味进行感官评定。

出土的毛竹春笋不同于麻竹笋的苦涩味和苦竹笋的苦味,而呈辛辣味;但未出土的毛竹笋(俗称“黄泥拱”)埋在肥沃的黄土层下,笋头将出未出,笋须、笋壳和笋尖都呈黄色,口感鲜嫩而味甜,仅微有辛辣味,是深受群众喜爱的竹笋佳品。毛竹鞭笋生长于未见光的地下土壤中,口感特性与“黄泥拱”类似。未出土毛竹笋和毛竹鞭笋与出土毛竹笋滋味口感形成鲜明对比。本试验以出土毛竹笋(AS)、未出土毛竹笋(US)、毛竹鞭笋(RS)3 种类型毛竹笋为研究对象,通过鲜笋及其不同时间水煮后的笋渣、笋汤开展气相色谱-质谱联用(GC-MS)检测、高效液相色谱(HPLC)等定性定量分析和感官评定相结合的方法,创新毛竹笋呈味物质的研究,探索毛竹笋呈味物质的种类、含量与辛辣味强度的关系,对提高毛竹笋的食用品质具有较大的理论和实际生产意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

毛竹笋试验地位于浙江省湖州市安吉县上墅乡刘家塘村(119°20'E,30°50'N),该地区竹林覆盖率达75%,可利用毛竹林面积多达60 hm²。属于山区地带,平均海拔高于1 400 m;亚热带海洋性季风气候,雨量充沛,年降水量达1 300~1 400 mm;光照充足,年平均气温约16℃,年均无霜期达243 d。

1.2 试验材料和仪器

1.2.1 试验采样及材料处理 试验于2016年4月在3年生毛竹林中进行。出土毛竹笋(AS)和未出土毛竹笋(US)挖取:各选取6株无病虫害、无机械损伤、高度达(45±3) cm且基部粗壮的竹笋,于“螺丝钉”^[16]处挖取。毛竹鞭笋(RS)挖取:于6月下旬(鞭笋旺期)在林中寻找,挖取完全不见光的完好鞭笋9株,长约(30±3) cm。竹笋样品采集后避光带回实验室。

感官评定样品:将采回的AS和US竹笋(各3株)去壳洗净,去掉严重老化的基部后依次按节切开,分1~9节,保证各节质量大于100 g,分别用搅拌机粉碎,各节称取20 g对应放入编号1~9的一次性杯中;RS竹笋取3株分别去壳洗净,分1~5段(其中1~4段为基部起1~4节竹笋,第5段为顶部分节不明显、节数较多的一段),搅拌机粉碎,各节称取20 g放入对应编号1~5的一次性杯中。剩余样品放入对应编号的自封袋中,置于-20℃冰箱保存。感官评定样品准备完毕立即进行感官评定,试验于采样后6 h内完成。

水煮样品:另取AS竹笋3株,去壳洗净,纵向切取1/2,搅拌机粉碎混匀,称取10份100 g样品装入自封袋备用,剩余竹笋装入自封袋,标记后放入-20℃冰箱保存。

GC-MS成分分析样品:称取感官评定时粉碎的AS和US竹笋,1~9节每节竹笋称取3 g,各节竹笋所取样品混匀,取得单株样品27 g;RS竹笋单株1~5段各称取5 g混匀,每株样品25 g,分别装入编号自封袋中,放入-20℃冰箱中保存待测。

呈味物质含量测定样品:按节粉碎好的AS、US和RS 3种类型样品;AS鲜笋不同时间梯度水煮后分离的笋渣、笋汤。所有样品对应编号放入自封袋和200 mL带盖玻璃容器中,放入-20℃冰箱中保存待测。

1.2.2 试验仪器 氨基酸自动分析仪(日立L-8900)、岛津UV-2550紫外分光光度计、Waters e2695高效液相色谱仪、固相微萃取(SPME)装置、Agilent 7890N-5975气质联用仪、氮吹仪、搅拌机、离心机、美的电饭锅、恒温水浴锅等。

1.3 试验方法

1.3.1 感官分析人员筛选和培训 感官评定人员的培训参照国家标准GB/T12312-2012^[14]。对感官分析人员进行各种标准液及不同配比混合液品尝鉴定的培训,同时对不同辣味程度的水煮干辣椒溶液进行品尝,训练常见感官术语的记忆和滋味程度确认。所用干辣椒为小米椒烘干所制,小米椒属于高辣椒,辣度级别约为9(10级制),SHU范围1.0~10.0万^[17]。经过培训和筛选,从自愿报名的20名科研人员中最终选定8人(3男5女,年龄23~45岁)组成感官评定小组。

1.3.2 毛竹鲜笋感官评定 毛竹鲜笋的口感滋味由感官评定小组采用线性标度法^[18]和量值估计法^[19]进行评定。评定前1 h禁食,且每次品尝不同样品前漱口,感官评定时将样品放入口中咀嚼并停留20~30 s。评定小组人员根据标准液(表1)呈味特征及程度任选一种方法记录评定结果。

表1 干辣椒水煮溶液及滋味强度

Table 1 The boiled solution and flavor intensity of dry chili

浓度 Concentration/(g·L ⁻¹)	口感滋味 Taste	辛辣味强度值 Spicy intensity value
0.0	无 -	0
0.5	微辣 Slightly spicy	2
1.0	较辣 Little spicy	4
2.0	辣 Quite spicy	6
3.0	很辣 Highly spicy	8
4.0	极辣 Extremely spicy	10

注:因辛辣味无标准液,此处模拟辛辣味制定水煮干辣椒水溶液为标准液;品尝强度值为1~10的连续值。

Note: As no standard solution for spicy taste available, it was used by boiled dried chili solution for this study; the taste intensity value were rated from 1 to 10.

1.3.3 水煮试验设置 水煮时间梯度设置为0、0.5、2.5、6、10、20 min。将称量好的各份100 g AS竹笋取出,在电饭锅中加入200 mL水(饮用纯净水),沸腾后将单份竹笋放入锅中,不断搅拌使竹笋充分散开,若水煮时间过长,水量蒸发过多,可遵循少量多次原则适量添加。水煮时间到后,立即切断电源,将混合汤渣倒入带滤网的玻璃容器中分离,冷却后重新测量笋汤体积,并参照鲜笋感官评定方法

将笋渣和笋汤立即送感官小组进行感官评定。剩余笋渣和笋汤分别放入对应编号的自封袋和 200 mL 带盖玻璃容器中。

1.3.4 GC-MS 分析方法 GC-MS 测定送浙江大学动物科学院进行测定,设置方法参考文献[20]。

样品:准确称取备用的各处理单株混合样品 5 g 进行测定(重复 3 次)。

GC 设置:载气为氦气(流速 $1.0 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$);石英毛细管色谱柱 DB-5 柱($60 \text{ mm} \times 0.25 \text{ mm} \times 0.25 \mu\text{m}$);进样口温度 250°C ;进样方式:不分流进样;升温程序:初始温度 40°C ,随后升到 130°C (速度 $2.5^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$),保持 1 min,最终升温到 250°C (速度 $8^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$);汽化室温度 250°C 。MS 设置:EI(电子轰击离子源),设置温度 230°C ,高能电子 70 eV 轰击,电流 $200 \mu\text{A}$,接口温度 230°C ,质量扫描范围 $m/z 50 \sim 500$ 。

检索谱库:NISTlibrary 和 WILEY library 2 个化合物检索质谱数据库进行匹配。

1.3.5 呈味物质含量测定 苦味游离氨基酸含量测定采用氨基酸自动分析仪法^[21]。氰化物含量测定采用异烟酸-吡啶啉酮比色法^[22]。氰苷和麻黄碱含量测定采用高效液相色谱法^[23-24]。单宁含量测定采用分光光度法^[25]。草酸含量测定采用反相高效液相色谱法^[26]。

以上所有测定指标均重复 3 次。

1.4 数据处理

试验数据通过 Excel 2003 软件进行分析整理,采用 SPSS19.0 软件进行 Pearson 双变量显著相关性差异分析。

2 结果与分析

2.1 毛竹鲜笋感官评定

感官评定小组对 3 种类型毛竹笋进行辛辣味强度及变化趋势的感官评定结果(表 2)表明:AS 和 US 竹笋均表现为辛辣味强度由笋基部到笋尖递增,AS 竹笋基部 1~3 节约占整个竹笋 1/3,辛辣味强度较低,第 4 节及以后辛辣味强度明显增加;US 毛竹笋基部 1~5 节约占整个竹笋 1/2,辛辣味强度较低,第 5 节及以后辛辣味强度缓慢增加。US 竹笋各节辛辣味强度明显低于 AS,其中,1~3 节辛辣味强度值仅约为对应 AS 笋节的 50%。RS 竹笋感官评定 1~5 段口感滋味均为微甜,各节/段几乎无差异,因此结果无需列表分析。

表 2 不同类型毛竹笋的滋味描述及强度

Table 2 The taste description and taste intensity on

Moso's bamboo shoots

笋节 Section of Bamboo shoot	滋味强度 Flavor intensity			
	AS	强度值 Intensity value	US	强度值 Intensity value
1	微辛辣 Slightly spicy	2.0	微辛辣 Slightly spicy	1.0
2	较辛辣 Little spicy	3.5	微辛辣 Slightly spicy	1.6
3	较辛辣 Little spicy	3.8	微辛辣 Slightly spicy	2.0
4	辛辣 Quite spicy	4.8	较辛辣 Little spicy	3.0
5	辛辣 Quite spicy	5.5	较辛辣 Little spicy	3.8
6	很辛辣 Highly spicy	7.0	辛辣 Quite spicy	4.5
7	很辛辣 Highly spicy	7.8	辛辣 Quite spicy	5.0
8	极辛辣 Extremely spicy	8.5	辛辣 Quite spicy	5.5
9	极辛辣 Extremely spicy	9.5	很辛辣 Highly spicy	6.0

2.2 GC-MS 成分分析

毛竹笋(包含 AS、US、RS)中发现 43 种成分,其中,酯类 9 种、醇类 6 种、酸类 5 种、酚类 3 种、酮类 2 种、醛类 3 种、烃类 4 种和其它 11 种。3 种不同类型毛竹笋成分相对含量采用峰面积归一法进行计算,结果见表 3。

相对含量较高、不同类型竹笋间差异较大且与 AS 和 US 毛竹笋辛辣味强度变化趋势一致的成分有 9 种,分别为邻苯二甲酸二乙酯、4-羰基-己酸甲酯、5,9-二十碳二烯酸甲酯、草酸、2-甲氧基-4-乙烯苯酚、单宁、2-硝基-2-丁烯、2,6-二甲基吡嗪和麻黄碱。其中,酯类物质 3 种,通常酯类物质的香气阈值较低^[27],易产生芳香味,排除其对毛竹笋辛辣味的作用;2-甲氧基-4-乙烯苯酚常在糖果和烘焙食品中用作食品添加剂^[28],而糖果和烘焙食品通常无辛辣味,推测其与辛辣味无关。GC-MS 检测经验表明:2-硝基-2-丁烯和 2,6-二甲基吡嗪为分析汽化过程的中间产物,即并非竹笋自身所含物质,更非竹笋呈味物质;草酸、单宁 2 种成分与竹笋呈味密切相关^[6-7];麻黄碱属于有机胺类生物碱,大多生物碱具有苦味,有些味极苦而辛辣,因此,推测麻黄碱与毛竹笋辛辣味有关。

表3 3种类型毛竹笋成分及相对含量

Table 3 Component and relative content in 3 types of Moso bamboo shoots

编号 Serial number	化合物名称 Compound names	相对含量 Relative content/%		
		AS	US	RS
1	乙酸乙酯	—	4.98	0.98
2	邻苯二甲酸二乙酯	6.830	5.65	6.12
3	1,2-苯二甲酸二丁酯	—	0.32	0.60
4	4-羧基-己酸甲酯	6.605	3.65	4.23
5	二十一碳二酸二甲酯	2.460	2.03	2.32
6	4-羟基-2-己烯酸乙酯	4.535	5.76	4.23
7	十九碳二酸二甲酯	2.550	1.32	1.03
8	5,9-二十碳二烯酸甲酯	6.665	5.13	5.56
9	1,2-苯二酸,双2-甲丙酯	—	—	0.09
10	6,8-十二碳二烯-1-醇	0.795	1.32	1.13
11	β -谷甾醇	1.230	3.32	3.13
12	柏木醇	—	0.32	0.46
13	十氢-5-亚甲基-8-乙烯醇-2-蔡甲醇	0.030	0.01	0.03
14	豆甾醇	0.995	0.64	0.71
15	顺-3-己烯醇	—	4.65	1.46
16	草酸	10.435	0.32	3.65
17	葡糖醛酸	1.620	0.46	0.98
18	3-甲基-4-甲氧基羰基-2,4-己二烯酸	0.125	0.02	0.33
19	柠檬酸	2.490	2.46	3.03
20	苹果酸	1.610	0.23	0.36
21	2-甲氧基-4-乙炔苯酚	8.390	6.97	7.11
22	对苯二酚	0.445	0.13	0.26
23	单宁	7.225	2.03	4.80
24	2-(2,6-二甲基庚基)-环丁酮	1.030	0.79	0.65
25	4-乙基-2-羟基-2-环戊烯-1-酮	0.655	0.79	1.03
26	2-辛基-环丙基辛醛	0.645	0.56	0.32
27	顺,顺-7,10-十六碳二烯醛	3.430	2.23	2.13
28	丙二醛	—	0.98	0.23
29	2-硝基-2-丁烯	3.030	1.23	1.98
30	古巴烯	—	5.65	3.11
31	2,3,10-甲基-十四烷	—	2.32	3.13
32	二十七烷	—	6.12	4.23
33	2,2-氧双(N,N-二甲基乙酰胺)	0.225	0.56	0.46
34	2-羧甲基-5-羟甲基-咪唑	1.025	1.03	2.65
35	2,3-二氢苯甲酸咪唑	—	2.32	2.11
36	2,6-二甲基吡嗪(夏勃,2006)	4.200	1.23	4.23
37	5-甲基-1-硝基吡啶	2.985	1.03	2.98
38	嘌呤	0.800	0.06	0.46
39	麻黄碱	4.800	2.98	1.23
40	类黄酮	8.120	9.98	9.23
41	奎宁	0.120	0.01	0.02
42	花青素	3.500	7.32	7.11
43	PLA酶	0.400	—	0.11

注:“—”表示未检测到。

Note:“—”means nothing was detected.

2.3 呈味物质含量及与滋味强度的相关性分析

前人研究毛竹、苦竹、麻竹、绿竹(*Dendrocalam-*

opsis oldhami (Munro) Keng f.)、雷竹(*Ph. praecox* C. D. Chu et C. S. Chao)等竹笋呈味物质^[6-12]过程中发现,苦味氨基酸、氰化物、氰苷、单宁和草酸等物质是竹笋主要的呈味物质。本次GC-MS分析中未检测到苦味氨基酸、氰化物和氰苷,其原因是GC-MS方法主要适用于易挥发物质的检测^[29],而蛋白质、氨基酸等不易汽化,因此检测不到,实际分析中采用液相色谱来测定。GC-MS检测经验表明,氰化物和氰苷在检测过程中极易发生分解、转化,导致检测不到。结合本次GC-MS分析结果,选定苦味氨基酸、氰化物、氰苷、单宁、草酸和麻黄碱为毛竹笋辛辣味呈味物质的研究对象,进行含量测定(表4)。

表4 3种类型毛竹笋呈味物质含量及口感

Table 4 The flavour substance content and taste on 3 types of Moso's bamboo shoots mg · g⁻¹

竹笋类型 Bamboo shoot types	AS	US	RS
苦味氨基酸 Bitter amino acids	2.14	1.98	4.91
氰化物 Cyanide	1.33×10^{-3}	1.08×10^{-3}	0.071×10^{-3}
亚麻苦苷 Linamarin	5.08×10^{-4}	4.41×10^{-4}	0.310×10^{-4}
百脉根苷 Lotaustraline	8.30×10^{-4}	6.66×10^{-4}	0.420×10^{-4}
氰苷总和 Cyanogenic glycosides	1.34×10^{-3}	1.11×10^{-3}	0.730×10^{-4}
草酸 Oxalic acid	20.60	15.80	5.12
单宁 Tannin	7.64	2.23	1.80
麻黄碱 Ephedrine	0.10×10^{-4}	0.15×10^{-4}	1.27×10^{-2}
滋味 Taste	辛辣+	辛辣-	微甜

注:“+”表示程度较高,“-”表示程度较低。

Note:“+” indicates the higher degree,“-” indicates the lower degree.

3种类型毛竹笋呈味物质含量和滋味强度比较结果为:苦味氨基酸含量RS竹笋>AS竹笋>US竹笋,麻黄碱含量RS竹笋>US竹笋>AS竹笋,不同类型竹笋辛辣味强度为AS竹笋>US竹笋>RS竹笋,即呈味物质含量和滋味强度不符,初步推断苦味氨基酸和麻黄碱与毛竹笋辛辣味无关。氰化物、氰苷、单宁、草酸和滋味强度变化均为AS竹笋>US竹笋>RS竹笋,推测其与毛竹笋辛辣味有关。鉴于不同呈味物质对滋味的作用存在明显的相互影响^[30],即多种物质混合对滋味起作用,同时上述4种物质口感阈值尚未研究确定,因此,开展AS和US2种类型毛竹笋呈味物质含量与滋味强度的相关性分析,显著性结果(表5、6)表明:与AS毛竹笋辛辣味显著相关的物质有氰化物、氰苷、单宁和麻黄碱4种,相关系数分别为0.812、0.850、0.939和

0.818 ($P < 0.01$); 与 US 毛竹笋辛辣味显著相关的物质有氰化物、氰苷、单宁、草酸和麻黄碱 5 种, 相关系数分别为 0.905、0.857、0.939、0.889 和 0.937 ($P < 0.01$)。

表 5 AS 呈味物质含量与辛辣味强度的相关性分析

Table 5 Correlation analysis between substance content and pungent taste of AS

项目 Items	滋味强度 Flavour intensity	苦味氨基酸 Bitter amino acids	氰化物 Cyanide	亚麻苦苷 Linamarin	百脉根苷 Lotaustraline	氰苷总和 Cyanogenic glycosides	单宁 Tannin	草酸 Oxalic acid	麻黄碱 Ephedrine
滋味强度 Flavour intensity	1								
苦味氨基酸 Bitter amino acids	0.084	1							
氰化物 Cyanide	0.812 **	-0.183	1						
亚麻苦苷 Linamarin	0.584	-0.194	0.925 **	1					
百脉根苷 Lotaustraline	0.940 **	-0.027	0.884 **	0.720 *	1				
氰苷总和 Cyanogenic glycosides	0.850 **	0.992	0.982 **	0.807 **	0.701 *	1			
单宁 Tannin	0.939 **	0.235	0.658	0.413	0.888 **	0.859 *	1		
草酸 Oxalic acid	-0.102	0.106	-0.018	-0.030	-0.008	0.104	0.137	1	
麻黄碱 Ephedrine	0.818 **	-0.147	0.842 **	0.798 **	0.517	0.883 **	0.789 *	0.289	1

注：“***”在 $P < 0.01$ 水平上显著相关，“*”在 $P < 0.05$ 水平上显著相关；下同。

Note: “***”represents these significant correlation in $P < 0.01$ level, “*”represents these significant correlation in $P < 0.05$ level. The same below.

表 6 US 鲜笋呈味物质含量与辛辣味强度的相关性

Table 6 Correlation analysis between substance content and pungent taste of US

项目 Items	滋味强度 Flavour intensity	苦味氨基酸 Bitter amino acids	氰化物 Cyanide	亚麻苦苷 Linamarin	百脉根苷 Lotaustraline	氰苷总和 Cyanogenic glycosides	单宁 Tannin	草酸 Oxalic acid	麻黄碱 Ephedrine
滋味强度 Flavour intensity	1								
苦味氨基酸 Bitter amino acids	-0.127	1							
氰化物 Cyanide	0.905 **	0.010	1						
亚麻苦苷 Linamarin	0.842 **	0.158	0.764 *	1					
百脉根苷 Lotaustraline	0.541	-0.185	0.723 **	0.145	1				
氰苷总和 Cyanogenic glycosides	0.857 **	-0.122	0.976 **	0.932 **	0.922 **	1			
单宁 Tannin	0.939 **	0.017	0.840 **	0.907 **	0.352	0.763 *	1		
草酸 Oxalic acid	0.889 **	-0.361	0.707 *	0.662	0.440	0.870 **	0.822 **	1	
麻黄碱 Ephedrine	0.937 **	0.147	0.772 **	0.532	0.862 **	0.746 **	0.743 *	0.944 **	1

苦味氨基酸与 2 种类型毛竹笋辛辣味不相关, 与表 4 得出的结果一致, 表明苦味氨基酸对毛竹笋辛辣味无影响。AS 竹笋中草酸与辛辣味相关系数为 -0.102, 表明草酸与辛辣味不相关; 而 US 竹笋中其相关系数为 0.889 ($P < 0.01$), 表现为极显著相关, 但结合实际生产经验和品尝结果, US 毛竹笋仅微有辛辣味, 因此, 推断草酸对毛竹笋辛辣味无影响。麻黄碱含量与 2 种类型毛竹笋辛辣味均呈极显著相关, 辛辣味强度 AS 竹笋 > US 竹笋, 但麻黄碱的绝对含量 AS 竹笋 < US 竹笋, 二者不一致, 推测麻黄碱对毛竹笋辛辣味强度的影响与其呈味阈值有关, 尚待进一步

研究。

表 4、5 结果一致的影响毛竹笋辛辣味的呈味物质为氰化物、氰苷和单宁, 其中, 单宁与氰化物、氰苷在 AS 竹笋中相关系数为 0.658、0.859 ($P < 0.05$), US 竹笋中为 0.840 ($P < 0.01$)、0.763 ($P < 0.05$), 表明三者之间存在显著的相互作用关系, 共同影响毛竹笋的辛辣味。此外, AS 竹笋和 US 竹笋辛辣味有很大差异, 不同点在于 AS 竹笋中与竹笋辛辣味相关的为百脉根苷, US 竹笋中为亚麻苦苷。已知亚麻苦苷和百脉根苷同属氰苷中的单糖苷, 最早在亚麻中分离出来, 不同植物或同一植物不同部位合成量不

同^[31],因此,生长条件对其合成量有较大的影响,对毛竹笋辛辣味的具体影响方式还有待深入研究。

2.4 AS 竹笋水煮后笋渣、笋汤中呈味物质含量与滋味强度的相关性分析

水煮试验笋渣、笋汤感官小组评定结果(表7)表明:0~20 min 不同时间 AS 竹笋水煮后,笋渣辛

辣味强度逐渐降低,滋味特征与鲜笋同为辛辣味;笋汤则为苦涩味,且0~20 min 苦涩味强度逐渐增加,不同于毛竹鲜笋。

笋渣、笋汤中呈味物质含量与滋味强度的相关性分析结果(表8、9)显示:地上鲜笋水煮后与笋渣滋味强度显著相关的呈味物质有氰化物、氰苷和单

表7 AS 竹笋水煮后笋渣和笋汤滋味描述及强度

Table 7 The taste description and taste intensity of the boiled bamboo shoot soups and residue of AS

时间 Minite/min	滋味强度 Flavour intensity			
	笋渣滋味 Taste of dregs	强度值 Intensity	笋汤滋味 Taste of soups	强度值 Intensity
0	很辛辣 Highly spicy	8.5	—	—
0.5	辛辣 Quite spicy	5.2	较苦涩 Little bitterness and astringent	2.5
2.5	较辛辣 Little spicy	2.4	较苦涩 Little bitterness and astringent	4.0
6	微辛辣 Slightly spicy	1.0	苦涩 Highly bitterness and astringent	5.6
10	几乎无味 Nearly tasteless	0.2	很苦涩 Highly bitterness and astringent	7.9
20	几乎无味 Nearly tasteless	0.1	极苦涩 Extremely bitterness and astringent	8.5

表8 笋渣中呈味物质与滋味强度的相关性

Table 8 Correlation analysis between flavor substance and taste intensity of bamboo shoot residue

项目 Items	滋味强度 Flavour intensity	苦味氨基酸 Bitter amino acids	氰化物 Cyanide	亚麻苦苷 Linamarin	百脉根苷 Lotaustraline	氰苷总和 Cyanogenic glycosides	单宁 Tannin	草酸 Oxalic acid	麻黄碱 Ephedrine
滋味强度 Flavour intensity	1								
苦味氨基酸 Bitter amino acids	-0.472	1							
氰化物 Cyanide	0.895 **	-0.666	1						
亚麻苦苷 Linamarin	0.814 *	-0.727	0.986 **	1					
百脉根苷 Lotaustraline	0.923 **	-0.550	0.988 **	0.956 **	1				
氰苷总和 Cyanogenic glycosides	0.861 **	-0.672	0.997 **	0.995 **	0.982 **	1			
单宁 Tannin	0.933 **	-0.261	0.753	0.655	0.817 *	0.719	1		
草酸 Oxalic acid	0.798	-0.744	0.974 **	0.995 **	0.939 **	0.985 **	0.643	1	
麻黄碱 Ephedrine	-0.860 *	0.101	-0.617	-0.487	-0.701	-0.568	-0.932 **	-0.445	1

表9 笋汤中呈味物质与滋味强度的相关性

Table 9 Correlation analysis between flavor substance and taste intensity of bamboo shoot soups

项目 Items	滋味强度 Flavour intensity	苦味氨基酸 Bitter amino acids	氰化物 Cyanide	亚麻苦苷 Linamarin	百脉根苷 Lotaustraline	氰苷总和 Cyanogenic glycosides	单宁 Tannin	草酸 Oxalic acid	麻黄碱 Ephedrine
滋味强度 Flavour intensity	1								
苦味氨基酸 Bitter amino acids	-0.709	1							
氰化物 Cyanide	0.982 **	-0.777	1						
亚麻苦苷 Linamarin	-0.755	0.519	-0.645	1					
百脉根苷 Lotaustraline	-0.714	0.337	-0.580	0.927 *	1				
氰苷总和 Cyanogenic glycosides	-0.754	0.469	-0.635	0.993 **	0.965 **	1			
单宁 Tannin	0.954 *	-0.850	0.975 **	-0.647	-0.603	-0.643	1		
草酸 Oxalic acid	0.976 **	-0.791	0.994 **	-0.673	-0.569	-0.651	0.958 *	1	
麻黄碱 Ephedrine	0.794	-0.204	0.708	-0.622	-0.800	-0.689	0.675	0.658	1

宁,相关系数分别为 0.859、0.861、0.933 ($P < 0.01$),与笋汤滋味强度显著相关的呈味物质有氰化物、单宁和草酸,相关系数分别为 0.982 ($P < 0.01$)、0.954 ($P < 0.05$)、0.976 ($P < 0.01$)。结果表明:AS、US 毛竹笋和地上鲜笋水煮后笋渣中影响辛辣味的物质同为氰化物、氰苷和单宁,验证了此 3 种呈味物质对辛辣味的作用;而笋汤呈苦涩味,显示由氰化物、单宁和草酸引起,草酸与氰化物、单宁的相关系数分别为 0.994 ($P < 0.01$)、0.958 ($P < 0.05$),表明三者对呈味的贡献有很强的相互促进作用。

3 讨 论

3.1 辛辣味感官评定方法

麻竹笋是主要的食用笋之一,其特点是竹笋出土见光后,苦涩味骤然增加,严重影响其食用品质。前人通过含量分析和感官评定相结合的方法,确定影响麻竹笋苦涩味的主要物质是草酸和单宁;在感官评定中,单宁标准液在 2.6、3.0 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 分别达到极涩和极苦,草酸标准液在 1.3、2.0 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 分别表现出涩味和酸味的极限,进一步说明草酸对单宁的苦涩味有增强作用,二者共同影响麻竹笋的苦涩味,最终建立研究竹笋苦涩味的方法和标准^[7]。对于毛竹笋,前人通过单宁、草酸、苦味氨基酸和类黄酮等含量测定和分析,认为影响毛竹笋苦涩味的主要物质为类黄酮、草酸和苦味氨基酸^[6],但该研究基于假定单宁、草酸、苦味氨基酸和类黄酮为毛竹笋的呈味物质,且从光照强度与呈味物质含量变化角度研究得出的结论,并未同步进行感官评定,因此,该结论值得商榷。由于感官评定标准液种类和电子舌技术的限制,本研究参考 GB/T12312-2012 标准^[14],设定不同浓度水煮干辣椒水溶液作为感官评定毛竹笋辛辣味的标准,对 3 种类型毛竹鲜笋及地上毛竹鲜笋水煮后笋渣、笋汤进行感官评定,并进行苦味氨基酸、氰化物、氰苷、草酸、单宁、麻黄碱等呈味物质的含量测定及与相应滋味强度的相关性分析,表明以水煮干辣椒水溶液作为感官评定毛竹笋辛辣味标准的方法有效可行。

3.2 毛竹笋的辛辣味物质

我国主要几种食用竹笋的口感滋味不同,毛竹春笋为辛辣味,麻竹笋为苦涩味,绿竹笋几乎无辛辣、苦涩等刺激性滋味,其呈味原因各不相同。麻竹笋的苦涩味主要是高含量单宁和草酸相互作用的结果^[5],绿竹笋口感滋味佳,主要是单宁等呈味物质含

量较低、糖分含量较高^[32]的原因。不同植物的辛辣味主要由含硫化合物、生物碱、醇、酚等物质引起^[33-34],本次 GC-MS 鉴定出的成分并无含硫化合物,由此可知,毛竹笋的辛辣味与含硫化合物无关。研究发现,竹笋中的呈味物质主要有苦味氨基酸、草酸、单宁、氰化物和氰苷^[6-12]等,但对氰化物和氰苷并未开展感官评定。本研究通过各种分析,确定影响毛竹笋辛辣味的呈味物质为氰化物、氰苷和单宁,表明毛竹笋辛辣味与竹笋不同滋味的呈味物质存在差异。麻竹笋是出土见光后苦涩味极重的竹笋之一,其单宁含量约为 2.0 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ^[7],而毛竹笋中单宁含量高达 7.64 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$,远比麻竹笋的高。经高浓度单宁标准液品尝发现,5.0、7.0、10.0、15.0 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度下,均呈极强苦涩味,且程度无明显差异,但均无辛辣味,因此表明,毛竹笋的辛辣味并非高含量的单宁因素所致,是氰化物、氰苷和单宁相互作用的结果。鉴于毛竹笋中氰化物和氰苷含量分别为 0.001 33、0.001 338 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$,仅约为单宁含量的 1/6 000,而氰化物、氰苷类物质虽广泛存在于各类植物中^[35],其含量远高于毛竹笋水平,但辛辣味在植物中不具有广泛性,表明氰化物和氰苷对毛竹笋辛辣味有独特的作用。由于氰化物和氰苷是有毒物质,无法通过与单宁配制标准液进行感官评定来验证它们的呈味特性,因此,需进一步探索有效方法进行研究。

4 结 论

通过 GC-MS 检测、HPLC 等定性定量分析与感官评定相结合的方法,确定影响毛竹笋辛辣味的呈味物质为氰化物、氰苷和单宁,其影响是三者相互作用的结果,而与苦味氨基酸、草酸和麻黄碱无关。实际生产中,通过参考生产经验,可营造覆土不见光的生长环境,改善毛竹笋的食用品质,提高其经济价值,促进毛竹笋产业发展。

参 考 文 献:

- [1] 关永忠. 毛竹现代培育技术及成效研究[J]. 林业勘察设计, 2011(1): 99-102.
- [2] 张少义. 毛竹小母竹苗的培育技术[J]. 安徽农学通报, 2006, 12(9): 130-130.
- [3] Turtle S. Bamboo shoots = good food[J]. Temperate Bamboo Quarterly, 1995, 2(12): 8-11.
- [4] Rita M, Sheryl B. Improvement of flavor and viscosity in hot and cold break tomato juice and sauce by peel removal[J]. J Food Sci, 2015, 80(1): 171-179.

- [5] 罗晓文, 刘敏, 齐晓花, 等. 果实涩味分子研究进展[J]. 分子植物育种, 2013, 11(5): 647-656.
- [6] 李雪蕾. 光照强度对三种竹笋不同部位苦涩味物质的影响[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2014.
- [7] 章志远, 丁兴萃, 崔逢欣, 等. 利用感官评定方法确定竹笋苦涩味物质及与口感的关系[J]. 食品科学, 2017, 38(5): 167-173.
- [8] Choudhury D, Sahu J K, Sharma G D. Biochemistry of Bitterness in bamboo shoots. Assam University Journal of Science & Technology [J]. Physical Sciences and Technology, 2010, 6(2): 105-111.
- [9] Fu S, Yoon Y, Bazemore R. Aroma-active components in fermented bamboo shoots[J]. J Agric Food Chem, 2002, 50(3): 549-554.
- [10] Sarangthem K, Singh T N. Microbial bioconversion of metabolites from fermented succulent bamboo shoots into phytosterols[J]. Curr Sci, 2003, 84(12): 1544-1547.
- [11] 夏勃. 斑苦竹笋(*Arundinaria leosa*)营养成分和化学成分分析[D]. 南京: 南京林业大学, 2006.
- [12] 朱玉燕, 邬波龙, 赵宇瑛, 等. 绿竹笋苦味物质成分分析[J]. 食品科技, 2015, 40(8): 77-80.
- [13] 朱金虎, 黄卉, 李来好. 食品中感官评定发展现状[J]. 食品工业科技, 2012, 33(8): 398-401.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T12312-2012. 感官分析: 味觉敏感度的测定方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [15] Chen Q, Zhao J, Vittayapadung S. Identification of the green tea grade level using electronic tongue and pattern recognition[J]. Food Research International, 2008, 41(5): 500-504.
- [16] 顾小平, 王永锡. 几种竹笋单宁含量的分析比较[J]. 林业科学研究, 1989, 2(1): 98-99.
- [17] 成善汉, 贺申魁, 陈文斌, 等. 不同基因型辣椒的辣椒素含量测定和辣度级别分析[J]. 海南大学学报: 自然科学版, 2009, 27(1): 38-42.
- [18] 罗鹏, 王越, 李雅婷, 等. 碱性蛋白酶-风味蛋白酶协同对葵花籽蛋白水解度和苦味值的影响[J]. 农业机械, 2013, (18): 42-45.
- [19] ISO4121:2003. Sensory analysis—Guidelines for the use of quantitative response scales[S]. London: British Standards Institution, 2003.
- [20] 郑炯, 宋家芯, 陈光静, 等. 顶空-固相微萃取-气质联用法分析腌制麻竹笋挥发性成分[J]. 食品科学, 2013, 34(18): 193-196.
- [21] 曾暖茜, 王洪健, 周兴起, 等. 氨基酸自动分析仪对乳制品中羟脯氨酸的测定方法研究[J]. 现代食品科技, 2008, 24(7): 719-721.
- [22] 段彬伍, 谢黎虹, 徐霞, 等. 植物性食品中氧化物的测定[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(5): 167-169.
- [23] 邹良平, 起登凤, 李玖慧, 等. 高效液相色谱-蒸发光检测法测定木薯生氰糖苷的含量[J]. 中国农学通报, 2014, 30(24): 47-51.
- [24] 王宝琴, 苏健, 韩敏彩, 等. 麻黄及其制剂中麻黄类生物碱的含量测定方法研究进展[J]. 中国中医药信息杂志, 2004, 11(3): 274.
- [25] 中华人民共和国农业部. NY/T1600-2008. 水果、蔬菜及其制品中单宁含量的测定: 分光光度法[S]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [26] 俞乐, 彭新湘, 杨崇, 等. 反相高效液相色谱法测定植物组织及根分泌物中草酸[J]. 分析化学, 2002, 30(9): 1119-1122.
- [27] 薛业敏. 啤酒发酵中酯类的形成与控制[J]. 中国酿造, 2002, 21(3): 7-9.
- [28] 梁利香, 陈琼, 陈利军. 湖北野生香茶菜花期挥发油 GC-MS 分析[J]. 科教导刊, 2015(8): 169-170.
- [29] 钱敏, 刘坚真, 白卫东, 等. 气质联用仪在食品工业中的应用[J]. 中国调味品, 2009, 34(9): 101-104.
- [30] Lawless H T, Corrigan C J, Lee C B. Interactions of astringent substances[J]. Chemical Senses, 1994, 19(2): 141-154.
- [31] Cutler A J, Conn E E. The biosynthesis of cyanogenic glucosides in *Linum usitatissimum* (linen flax) *in vitro* [J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 1981, 212(2): 468-474.
- [32] 刘碧桃. 浙南绿竹笋产量与品质影响因素研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2011.
- [33] 高艳, 欧阳建勋, 谢定, 等. 辣椒素的提取及其应用研究进展[J]. 食品与机械, 2011, 27(1): 162-165.
- [34] 贾洪峰, 张森, 梁爱华, 等. 食品中辣味物质的研究[J]. 中国调味品, 2011, 36(7): 18-20.
- [35] Narayanan N N, Ihemere U, Ellery C, *et al.* Over expression of hydroxynitrile lyase in cassava roots elevates proion and free amino acids while reducing residual cyanogen levels[J]. Plos One, 2011, 6(7): e21996.

(责任编辑: 金立新)