

树莓汁中键合态香气物质提取方法及糖基组成的研究

任婧楠, 董曼, 杨子玉, 台亚楠, 邵晋辉, 潘思轶, 范刚

(环境食品学教育部重点实验室, 华中农业大学食品科技学院, 湖北武汉 430070)

摘要: 本文采用 Amberlite XAD-2 树脂吸附洗脱分离的方法和甲醇直接提取法对树莓汁中的键合态香气物质进行了分离, 对得到的键合态香气物质进行了酶水解释放, 采用 GC-MS 分析方法对水解得到的键合态香气物质进行了分析鉴定, 重点比较了这两种方法的提取效果, 并对酶水解后的糖基部分进行了分析研究。结果显示, 甲醇直接提取法只提取得到 4 种键合态香气物质, 总含量为 77.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 包括 2 种苯系物和 2 种脂肪醇类物质; Amberlite XAD-2 树脂吸附洗脱提取法共提取得到 20 种键合态香气物质, 包括 11 种苯系物, 6 种醇类物质及 3 种萜烯类物质, 总含量达 3042 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。两种方法提取得到的键合态香气物质在种类和含量上存在很大的差异, Amberlite XAD-2 树脂吸附提取法提取得到的键合态香气物质种类丰富。树莓汁中糖苷键合态香气物质的糖基部分含有甘露糖和葡萄糖两种单糖。

关键词: 树莓汁; 键合态香气物质; 酶解; 糖基

文章编号: 1673-9078(2015)8-316-322

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.8.049

Extraction of Bound Aroma Compounds in Raspberry Juice and Analysis of the Sugar Moieties

REN Jing-nan, DONG Man, YANG Zi-yu, TAI Ya-nan, SHAO Jin-hui, PAN Si-yi, FAN Gang

(Key Laboratory of Environment Correlative Dietology, Ministry of Education, College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: Bound aroma compounds from raspberry juice were obtained by column chromatography approach via an Amberlite XAD-2 column as well as methanol direct extraction. The extracted bound aroma compounds were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) after enzymatic hydrolysis. The main aim was to compare the extraction efficiency of both methods, and to analyze the sugar moieties of the glycosides. The results showed that only 4 bound aromas were detected in the extracts by methanol direct extraction approach with a total concentration of 77.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ including 2 benzenic compounds and 2 fatty alcohols. In contrast, a total of 20 bound aroma compounds were found in the extracts via the Amberlite XAD-2 column chromatography approach, giving a total concentration of 3 042 $\mu\text{g}/\text{L}$, including 11 benzenic compounds, 6 alcohols and 3 terpenes. Large differences were observed in terms of the types and contents of the bound aroma compounds extracted by these two methods. The bound aroma compounds extracted by Amberlite XAD-2 column were more varied than those obtained by methanol direct extraction. Mannose and glucose were determined to be the sugar moieties of the glycosides in raspberry juice.

Key words: raspberry juice; bound aroma compounds; enzymatic hydrolysis; sugar moiety

糖苷键合态香气物质 (glycosidically bound aroma compounds) 是以糖苷的形式存在于植物中的香气前体物质, 不具有挥发性, 稳定性强, 因此不能被人们嗅闻到^[1-2]。目前, 国内外研究学者已经从多种水果中

收稿日期: 2014-11-07

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目 (2013PY097); “十二五” 国家科技支撑计划项目 (2012BAD31B10-6); 国家自然科学基金资助项目 (31101239)

作者简介: 任婧楠 (1986-), 女, 助理工程师, 研究方向: 风味化学

通讯作者: 范刚 (1982-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 果蔬加工化学

发现了糖苷键合态香气物质的存在, 但只有 Pabst 等曾研究过树莓果实中的键合态香气前体, 他们采用 Amberlite XAD-2 树脂吸附及甲醇洗脱分离的方法从树莓中首次分离得到 57 种键合态香气物质, 主要为脂肪酸、苯系物、萜烯类和 C_{13} -降异戊二烯类物质^[3]。而有关其他浆果类键合态香气前体的研究则多些, 如 Du 等采用 C_{18} -固相萃取柱法从黑莓中检出了醇类、莽草酸衍生物、 C_{13} -降异戊二烯类等键合态香气物质, 并发现黑莓中的键合态香气物质和游离态香气物质存在很大的相似性^[4]。

键合态香气物质的提取主要有 C₁₈-反相吸附剂吸附分离法^[4-5]、Amberlite XAD-2 树脂吸附分离法^[6]、LiChrolut EN 树脂吸附洗脱法^[7]、微波提取法^[8]，及甲醇直接提取法^[9]等几种方法，其中 Amberlite XAD-2 树脂吸附洗脱分离法应用得最多^[1]。提取方法不一样，提取得到的物质也可能不一样。本文作者也曾对树莓汁中的键合态香气物质进行了鉴定分析，在树莓汁中检出 23 种游离态和 20 种键合态香气物质^[10]。

与植物中键合态香气物质直接结合的一般是 β-D-葡萄糖，如果只有 β-D-葡萄糖，则形成的是单糖苷，如果葡萄糖上结合一个或多个其他糖基，则形成的是二糖苷或多糖苷。植物中糖苷香气前体物质糖基部分的研究主要是将糖苷香气前体进行酸或酶水解后，再对糖基进行检测分析；此外，也可对得到的香气前体直接进行衍生化，再进行 GC-MS 分析。

本文以树莓为实验对象，采用 Amberlite XAD-2 树脂吸附洗脱分离的方法和甲醇直接提取法对树莓汁中的游离态和键合态香气物质进行了分离，对得到的键合态香气物质进行了酶水解释放，采用 GC-MS 分析方法对水解得到的键合态香气物质进行了分析鉴定，并比较了不同提取方法提取键合态香气物质的效果，此外，还对酶水解后的糖基部分进行了分析研究。

1 材料与方法

1.1 试验材料

成熟赫尔特兹品种树莓果实采自湖北省天门市湖北金莓科技发展有限公司树莓种植园。树莓果实采摘后贮藏在 -18 ℃ 的冰柜中待用。树莓果实样品的可溶性固形物达 8.2 °Brix，总酸为 5.57%，pH2.92，固酸比为 1.47，出汁率 65.7%。

1.2 主要试验仪器与试剂

Amberlite XAD-2 (20~60 目) 为美国 Supelco 公司产品；β-D-葡萄糖苷酶、环己酮（色谱纯）、C₆-C₂₀ 正构烷烃（色谱纯）为美国 Sigma-Aldrich 公司产品；所用试剂乙醚、戊烷、甲醇均为分析纯，为国药集团化学试剂有限公司。

Agilent 6890N-5975B 型气相色谱-气质联用仪，美国安捷伦科技有限公司；固相微萃取装置及萃取纤维头，美国 Supelco 公司。

1.3 树莓果汁的制备

将树莓果实从冰柜中取出，常温下解冻，使用离心式榨汁机榨汁，再用高速冷冻离心机离心（10000 g，

4 ℃）处理 20 min，经绢布过滤，得到的树莓清汁约 200 mL，备用。另准备 200 g 已解冻好的树莓果实，于 50 ℃ 烘箱中烘干，得到树莓干粉约 30 g，备用。

1.4 Amberlite XAD-2 树脂的预处理

称取 60 g Amberlite XAD-2 树脂在索氏抽提器中分别用戊烷、乙酸乙酯和甲醇回流处理各 10 h，然后置于甲醇中备用。使用时将洗净的 Amberlite XAD-2 树脂以甲醇为溶剂湿法装柱，以 800 mL 蒸馏水洗柱（10 mL/min），以除去甲醇后即可使用^[11]。

1.5 树莓汁中键合态香气物质的甲醇直接提取

在上述得到的 30 g 树莓干粉中加入 200 mL 甲醇，于 50 ℃ 左右超声萃取 1 h，将上清液过滤后，残渣部分再用甲醇在同样的条件下超声萃取 2 次，每次 150 mL，将三次萃取液合并，置于旋转蒸发器上减压浓缩除去甲醇后，加入 50 mL 0.06 M 的柠檬酸-Na₂HPO₄ 缓冲液（pH 5.0）溶解，再用 200 mL 乙醚/戊烷（1:1）分三次萃取以去除可能存在的游离态香气物质，水相即为含有键合态香气物质的组分，备用。

1.6 树莓汁中键合态香气物质的 Amberlite XAD-2 树脂吸附分离提取

将 1.3 中得到的树莓清汁以约 3 mL/min 的流速流经处理好的 Amberlite XAD-2 树脂柱（50 × 1 cm），接着用 500 mL 的蒸馏水洗柱以除去果汁中的糖、酸等水溶性物质。然后用 350 mL 乙醚/戊烷（1:1）洗柱以去除游离态香气物质，接着用 350 mL 甲醇洗脱吸附在柱上的键合态香气物质，收集甲醇部分，在旋转蒸发器上减压浓缩（水浴温度为 35 ℃）至干，用 20 mL 柠檬酸-Na₂HPO₄ 缓冲液（0.06 M，pH 5.0）溶解，再用 100 mL 乙醚/戊烷（1:1）分三次萃取以去除可能存在的游离态香气物质，剩下的水相即为键合态香气组分。

1.7 树莓汁中键合态香气物质的酶法水解

将上述所得的水相部分分别置于 50 mL 顶空瓶中，并分别添加 150 mg β-D-葡萄糖苷酶（2.2 U/mg），用聚四氟乙烯隔垫密封，在 40 ℃ 水浴锅中保温水解 48 h，之后用乙醚/戊烷（1:1）100 mL 分三次萃取酶解液，乙醚/戊烷萃取液用无水硫酸钠干燥，N₂ 浓缩至 1.0 mL，加入 50 μL 环己酮（0.946 mg/mL 无水乙醇）

作为内标物,供 GC-MS 分析;水相之后在旋转蒸发器上减压浓缩至干,备用。

1.8 样品衍生物的制备

在上述浓缩至干的样品中加入 10 mg 盐酸羟胺和 0.5 mL 吡啶,于 90 °C 水浴中反应 30 min 并振荡,冷却至室温后,加入 0.5 mL 乙酸酐,在 90 °C 下继续反应 30 min 进行乙酰化处理,反应产物再用 0.5 mL 氯仿萃取,取 1.0 μL 进行 GC-MS 分析。

1.9 糖标品衍生物的制备

分别称取木糖、鼠李糖、葡萄糖、甘露糖和半乳糖各 10 mg,各加入 10 mg 盐酸羟胺和 0.5 mL 吡啶,90 °C 水浴中反应 30 min 并振荡,冷却至室温后,加入 0.5 mL 乙酸酐,于 90 °C 下继续反应 30 min 后进行乙酰化处理,反应产物用 0.5 mL 氯仿萃取,取 1.0 μL 进行 GC-MS 分析。

1.10 混合糖标品衍生物的制备

称取木糖、鼠李糖、葡萄糖、甘露糖和半乳糖各 10 mg,混合,加入 50 mg 盐酸羟胺和 2.5 mL 吡啶,90 °C 水浴中反应 30 min 并振荡,冷却至室温后,加

$$\text{香气物质含量} (\mu\text{g}/\text{L}) = \frac{\text{香气物质峰面积} \times \text{内标物质量} (\mu\text{g})}{\text{内标物峰面积} \times \text{树莓汁 (或果实) 样品体积 (或重量)} (\text{L 或 kg})}$$

1.13 数据统计分析

树莓汁中键合态香气物质平行实验测定的平均值及标准偏差采用 Microsoft Office Excel 2003 进行计算,不同方法间的显著性分析采用 SPSS 19.0 软件进行一维方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同方法提取树莓汁中键合态香气物质的效果比较

采用甲醇直接提取法和 Amberlite XAD-2 树脂吸附洗脱提取法提取得到的树莓汁中的键合态香气物质如表 1 所示。

由表 1 可知,两种不同方法提取得到的键合态香气物质经过 β-D-葡萄糖苷酶水解释放后,共检出 23 种物质,其中主要为苯系物和脂肪醇类物质。

甲醇直接提取法只提取得到 4 种键合态香气物质,总含量为 77.1 μg/kg,包括两种苯系物和两种脂肪醇类物质。其中苯甲酸含量最高,达 65.6 μg/kg,

入 2.5 mL 醋酸酐,在 90 °C 下继续反应 30 min 进行乙酰化,反应产物用 2.5 mL 氯仿萃取,取 1.0 μL 进行 GC-MS 分析。

1.11 GC-MS 分析

Agilent 6890N 型气相色谱仪,气相色谱条件:毛细管柱为 HP-5 (30 m×320 μm×0.25 μm),程序升温,起始温度 40 °C,保持 12 min,以 3 °C/min 升至 108 °C,保持 2 min,再以 5 °C/min 升至 250 °C,保持 5 min,进样量为 1.0 μL,进样口温度 250 °C,不分流。

Agilent 5975B 型质谱仪,质谱条件:离子源温度 230 °C,四极杆温度 150 °C,离子化方式 EI,电子能量 70 eV,质量范围为 45~550 amu。

1.12 香气物质的定性定量分析

定性分析采用气相色谱-质谱联用仪进行分析鉴定,运用 NIST05 谱库进行初步检索。利用 C₆~C₂₀ 正构烷烃的保留时间计算出每种香气物质的保留指数,再结合文献的保留指数进行比对,确认各个香气物质的化学组成。

定量分析采用内标法,内标物为环己酮 (0.946 mg/mL 无水乙醇)。计算公式为:

占总含量的 85%,其次为 2-十二醇,达 7.7%。Amberlite XAD-2 树脂吸附洗脱提取法共提取得到 20 种键合态香气物质,包括 11 种苯系物,6 种醇类物质及 3 种萜烯类物质,总含量达 3 042 μg/L,其中苯甲酸含量最高,占总含量的 94%,这种物质在草莓中也被检出^[12]。Meret 等发现苯甲酸也是黑莓中主要的键合态香气物质,且含量很高,达到 960 ppb,占黑莓键合态香气总量的 15%,这种物质呈现出焦糖和乳香味 (caramel, milky),但其香气阈值还未见报道^[13]。本文中检出的 1-辛醇、苯乙醇、苯甲醇、丁香酚等物质在黑莓中也被检出,其中苯甲醇和苯乙醇在黑莓中具有相当高的浓度,分别达到 1200~7000 和 170~1000 μg/kg,这两种物质被认为是莽草酸衍生物^[4],也被 Pabst 等学者发现以键合态的形式存在于树莓中^[5]。

两种方法提取得到的键合态香气物质在种类和含量上存在很大的差异,甲醇直接提取法只提取得到 4 种物质,而 Amberlite XAD-2 树脂吸附提取法则提取得到 20 种物质,且香气物质的种类丰富,因此,Amberlite XAD-2 树脂吸附提取法更适合于树莓汁中键合态香气物质的提取分离。

本文中通过 Amberlite XAD-2 树脂吸附提取法检

出的苯系物的种类和含量最为丰富,其中苯甲酸是本文中检出的含量最高的苯系物,这种物质也是两种提取方法均提取得到的唯一一种键合态香气物质,但甲醇直接提取法提取到的苯甲酸的含量仅为树脂吸附法提取到的 2.3%。据报道,这种物质呈现出焦糖

(caramel)和乳香味(milky),也是黑莓里面主要的键合态香气物质^[13]。对氟苯甲醇、2-十二醇和 2-十五醇仅在甲醇直接提取法中被检出,而除了苯甲酸外,共有 19 种键合态香气物质仅在 Amberlite XAD-2 树脂吸附提取法中被检出。

表 1 不同方法提取得到的树莓汁中的键合态香气物质

Table 1 Bound aroma compounds in raspberry juice extracted using two different methods

化合物	保留时间 RT/min	保留指数 RI	含量	
			甲醇直接提取法 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Amberlite XAD-2 树脂吸附 洗脱分离法($\mu\text{g}/\text{L}$) ^[10]
3-甲基-2-乙醇	11.14	887	n.d.	3.9 \pm 1.3
1-戊硫醇	11.22	889	n.d.	3.0 \pm 1.7
3,7,11-三甲基-3-十二醇	11.96	906	n.d.	25.5 \pm 9.5
1,2-乙二硫醇	17.34	1018	n.d.	1.3 \pm 0.6
苯甲醇	18.36	1038	n.d.	40.4 \pm 9.1
1-辛醇	20.28	1077	n.d.	1.1 \pm 0.8
苯乙醇	22.17	1116	n.d.	22.7 \pm 6.7
香芹醇	22.22	1117	n.d.	2.7 \pm 1.0
苯甲酸	25.14	1178	66 \pm 1.2	2 860 \pm 132
对氟苯甲醇	28.95	1261	3.7 \pm 2.2	n.d.
4-羟基-3-甲基苯乙酮	31.43	1316	n.d.	2.9 \pm 1.2
丁香酚	33.28	1359	n.d.	8.2 \pm 2.4
2-十二醇	34.65	1391	5.9 \pm 0.7	n.d.
异香兰素	35.35	1408	n.d.	2.0 \pm 0.7
丙烯基乙基愈疮木酚	35.58	1413	n.d.	6.7 \pm 2.5
反式肉桂酸	36.80	1443	n.d.	6.2 \pm 3.2
α -甲基苯甲醇	37.43	1459	n.d.	7.9 \pm 3.4
4'-羟基苯乙酮	38.56	1487	n.d.	3.0 \pm 1.3
2,4-二甲氧基苯甲醇	38.81	1493	n.d.	17.9 \pm 6.5
1-十五醇	42.66	1592	n.d.	16.5 \pm 4.8
2-十五醇	49.31	1795	1.9 \pm 1.8	n.d.
异胡薄荷醇	50.90	1872	n.d.	3.0 \pm 0.9
p-薄荷-8(10)-烯-9-醇	52.05	1937	n.d.	7.1 \pm 2.7

注:保留指数 RI, HP-5MS 色谱柱上的保留指数; n.d., not detected, 未检出。

水果中键合态香气物质的提取方法有好几种,概括起来可以分为两类:一类是树脂吸附法,也即前三种方法;另一类则是无需树脂的直接提取法,其中的微波提取法是一种辅助提取方法。树脂吸附法操作过程较为复杂、耗时长,首先需要树脂进行回流处理,装柱后需用蒸馏水洗去其中的甲醇,再上样,然后用蒸馏水洗去其中的糖酸等水溶性组分,再用非极性的有机溶剂洗去其中的游离态洗去组分,最后采用甲醇等极性溶剂洗脱吸附在树脂上键合态组分。提取方法不一样,其效果也不一样,比如 C_{18} -反相吸附剂分离单萜类糖苷的效果好,而 XAD-2 树脂更适合于分离 β -

大马酮、酚类物质等极性较大的组分^[14]。直接提取法则无需树脂吸附,操作步骤简单,田振峰等曾采用甲醇直接提取法提取不同加工阶段皖南烤烟中的键合态香气物质,共检出 23 种键合态香气物质,总含量达 200 $\mu\text{g}/\text{g}$ ^[9]。但从目前的研究现状看,采用 Amberlite XAD-2 树脂吸附洗脱分离法提取植物中糖苷香气前体的研究最为广泛。据报道,本文检出的苯甲醇和 1-辛醇在树莓中也被检出以游离态的形式存在^[15]。

本文比较了 Amberlite XAD-2 树脂吸附洗脱和甲醇直接提取法提取树莓汁中键合态香气物质的效果,结果显示,两种方法的提取效果存在显著差异,只有

苯甲酸一种物质在两种方法中均被提取检测到。甲醇直接提取法虽然实验步骤简单,但提取效果不好,只提取分离得到4种键合态香气物质,其原因一方面可能是由于该法本身的局限性,果汁中的键合态香气物质含量很小,该法在提取过程中无法达到树脂吸附法的富集作用,另一方面,由于实验过程中树莓经过了烘干、减压浓缩等实验步骤,加上树莓本身的高酸性条件,其中的键合态香气物质可能在提取过程中发生了部分水解^[6]。相对于甲醇直接提取法,Amberlite XAD-2 树脂吸附洗脱法提取得到的键合态香气物质则种类丰富,该法提取得到的苯甲酸含量是甲醇直接提取法的43.6倍。因此,从实验结果上看,Amberlite XAD-2 树脂吸附洗脱法更适用于树莓汁中键合态香气物质的提取分离。

2.2 树莓汁中键合态香气物质糖基部分的研究

2.2.1 单糖和混合糖标品的GC-MS分析

五种单糖标品经衍生化后的GC-MS总离子流图如图1所示。

由图1可知,鼠李糖、木糖、甘露糖、葡萄糖和半乳糖五种糖的保留时间依次为7.91、8.81、13.20、13.48、14.01 min。

鼠李糖、木糖、甘露糖、葡萄糖和半乳糖混合糖标品的总离子流图和质谱图如图2所示。

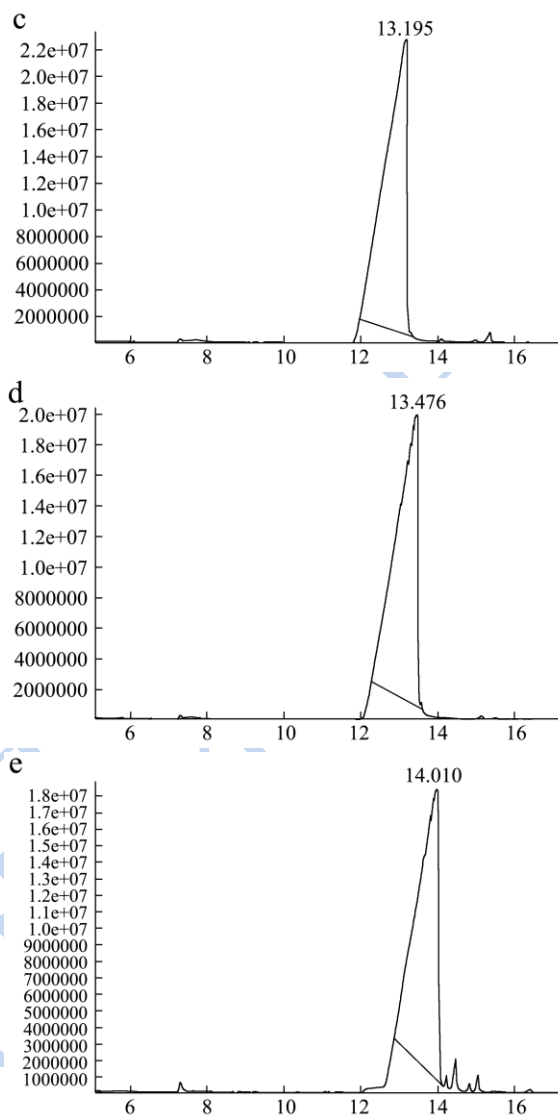
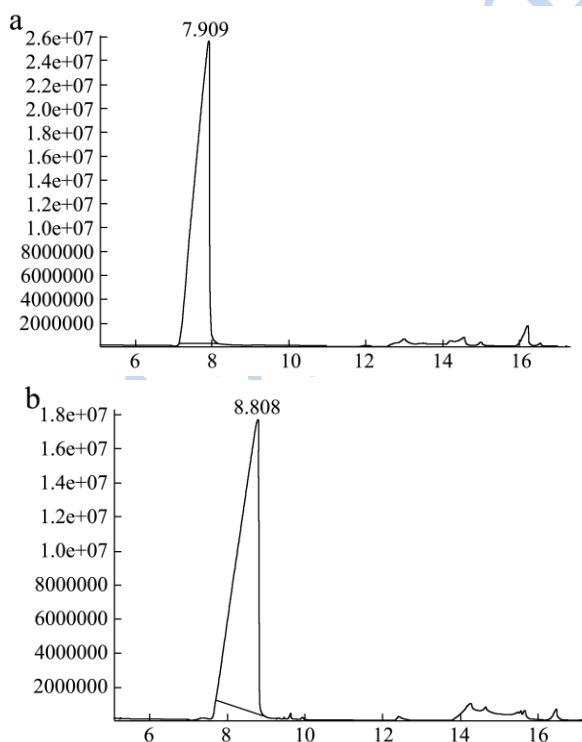


图1 五种单糖标品的总离子流图

Fig.1 Total ion chromatogram of the five monosaccharide standards

注: a: 鼠李糖, b: 木糖, c: 甘露糖, d: 葡萄糖, e: 半乳糖。

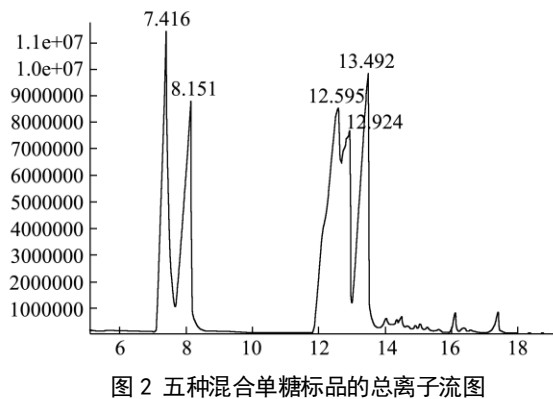


图2 五种混合单糖标品的总离子流图

Fig.2 Total ion chromatogram of the five mixed sugar standards

由图 2 五种单糖混合标品的总离子流图和五种单糖的保留时间及其质谱图数据可知, 五种单糖的出峰次序依次为鼠李糖、木糖、甘露糖、葡萄糖和半乳糖。

2.2.2 样品衍生物的 GC-MS 分析

本文对 Amberlite XAD-2 树脂吸附洗脱得到的键合态香气物质进行酶解后, 对水解得到的糖基部分进行衍生化处理, 再经过 GC-MS 分析, 其总离子流图如图 3 所示。

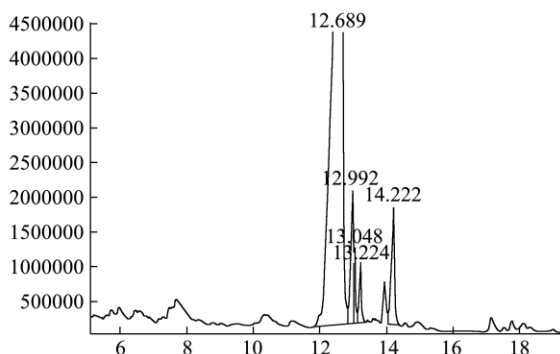


图 3 样品的总离子流图

Fig.3 Total ion chromatogram of the sample

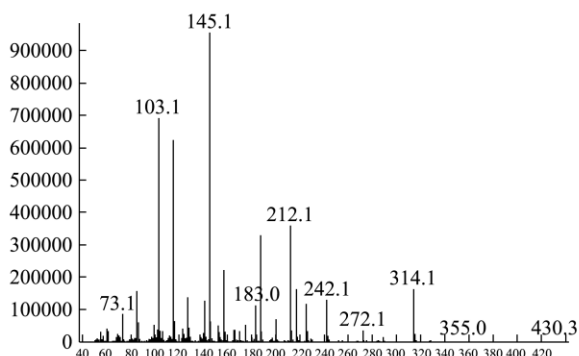


图 4 保留时间在 12.69 min 处峰的质谱图

Fig.4 Mass spectrum of the peak at 12.69 min

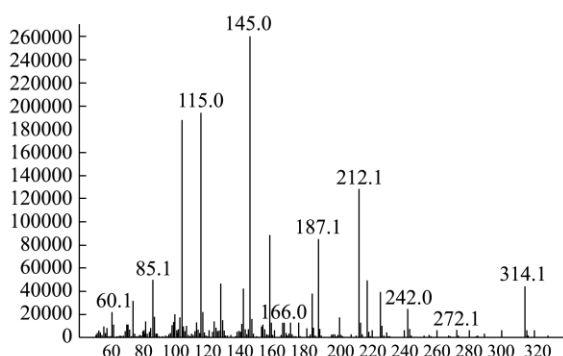


图 5 保留时间在 12.99 min 处峰的质谱图

Fig.5 Mass spectrum of the peak at 12.99 min

将样品各个峰的出峰时间和质谱图与五种糖和混合糖标品进行比对分析后, 可以确认样品中保留时间为 12.69 min 处的峰为甘露糖, 其质谱图如图 4 所示; 保留时间为 12.99 处的峰为葡萄糖, 其质谱图如图 5

所示, 甘露糖的峰面积为葡萄糖的 15 倍。

植物中的糖苷香气前体物质主要为 β -D-葡萄糖苷或二葡萄糖苷, 也目前发现的糖苷键合态香气物质多为单糖苷和二糖苷。采用酸或酶水解的方法分析糖基部分时, 由于其经过了酸或酶水解, 因此可能把先水解得到的二糖或三糖再进一步水解成单糖, 这样就很难把握糖基部分的真实组成, 只能获得其单糖组成; 而直接对糖苷香气前体进行三氟乙酰化后再分析, 则能直接地检测出整个糖苷的结构。

本文先将提取得到的键合态香气前体物质进行酶水解释放后, 再对糖基部分进行衍生化, 然后进行 GC-MS 分析。检测结果显示, 树莓汁中糖苷键合态香气物质的糖基部分有甘露糖和葡萄糖两种单糖。由于分析方法的局限性, 与香气物质结合的糖苷也有可能是甘露糖基- β -D-葡萄糖形成的二糖苷, 需要进行下一步的分析。

3 结论

3.1 本文采用 Amberlite XAD-2 树脂吸附洗脱分离的方法和甲醇直接提取法对树莓汁中的键合态香气物质进行了分离, 对得到的键合态香气物质进行了酶水解释放, 采用 GC-MS 分析方法对水解得到的键合态香气物质进行了分析鉴定, 并比较了不同提取方法提取键合态香气物质的效果, 此外, 还对酶水解后的糖基部分进行了分析研究。

3.2 甲醇直接提取法只提取得到 4 种键合态香气物质, 总含量为 77.1 μ g/kg, 包括 2 种苯系物和 2 种脂肪醇类物质。Amberlite XAD-2 树脂吸附洗脱提取法共提取得到 20 种键合态香气物质, 包括 11 种苯系物, 6 种醇类物质及 3 种萜烯类物质, 总含量达 3 042 μ g/L。两种方法提取得到的键合态香气物质在种类和含量上存在很大的差异, Amberlite XAD-2 树脂吸附提取法提取得到的键合态香气物质种类更为丰富, 因此, Amberlite XAD-2 树脂吸附提取法更适合于树莓汁中键合态香气物质的提取分离。

3.3 通过对水解后的样品和单糖标品进行 GC-MS 分析后, 可以确认树莓汁中糖苷键合态香气物质的糖基部分含有甘露糖和葡萄糖两种单糖。

参考文献

[1] 范刚,王可兴,潘思轶.水果中糖苷键合态香气物质的研究进展[J].中国农业科学,2010,43:5100-5111
FAN Gang, WANG Ke-xing, PAN Si-yi. Advances in research of glycosidically bound aroma compounds in fruits [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43: 5100-5111

- [2] 解万翠,杨锡洪,夏咏梅,等.色谱法监测 β -D-吡喃葡萄糖苷的合成[J].现代食品科技,2011,27:106-108
XIE Wan-cui, YANG Xi-hong, XIA Yong-mei, et al. Hromatography technology for monitoring the synthesis of β -D-glucopyranosides [J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27: 106-108
- [3] Pabst A, Barron D, Etievant P, et al. Studies on the enzymic hydrolysis of bound aroma constituents from raspberry fruit pulp [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1991, 39(1): 173-175
- [4] DU X F, FINN C H, QIAN M C. Bound volatile precursors in genotypes in the pedigree of 'marion' blackberry (*Rubus Sp.*) [J]. Food Chemistry, 2010, 58: 3694-3699
- [5] Hampel D, Robinson A L, Johnson A J, et al. Direct hydrolysis and analysis of glycosidically bound aroma compounds in grapes and wines: comparison of hydrolysis conditions and sample preparation methods [J]. Australian Journal of Grape and Wine Research, 2014, 20: 361-377
- [6] Tripathi J, Chatterjee S, Gamre S, et al. Analysis of free and bound aroma compounds of pomegranate (*Punica granatum L.*) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 59: 461-466
- [7] Vilanova M, Genisheva Z, Bescansa L, et al. Changes in free and bound fractions of aroma compounds of four vitis vinifera cultivars at the last ripening stages [J]. Phytochemistry, 2012, 74: 196-205
- [8] Bureau S, Razungles A, Baumes R, et al. Glycosylated flavor precursor extraction by microwaves from grape juice and grapes [J]. Journal of Food Science, 1996, 61: 557-559
- [9] 田振峰,瞿先中,方鼎,等.烟叶调制过程中糖苷类香味前体的含量变化研究[C].中国烟草学会工业专业委员会烟草化学学术研讨会论文集,中国烟草学会工业专业委员会.海口,2005:468-472
TIAN Zhen-feng, QU Xian-zhong, FANG Ding, et al. Studies on the content of glycosides aroma precursors in tobacco leaves during flue-curing [C]. Collection of Industries Association of China Tobacco Society, Industries Association of China Tobacco Society, Haikou, 2005: 468-472
- [10] 任婧楠,荣茂,金瑶,等.树莓汁中游离态和键合态香气物质的成分分析[J].食品科学,2013,2:199-203
REN Jing-nan, RONG Mao, JIN Yao, et al. Study on free and bound aroma compounds in raspberry juice [J]. Food Science, 2013, 2: 199-203
- [11] Gunata, Y Z, Bayonove C, Baumes R, et al. Stability of free and bound fractions of some aroma components of grape cv muscat during the wine processing [J]. American Journal of Enology and Viticulture, 1985, 37: 112-114
- [12] Ubeda C, San-Juan F, Concejero B, et al. Glycosidically bound aroma compounds and impact odorants of four strawberry varieties [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60: 6095-6102
- [13] Meret M, Brat P, Mertz C, et al. Contribution to aroma potential of andean blackberry (*Rubus glaucus Benth.*) [J]. Food Research Intemational, 2011, 44: 54-60
- [14] Bureau S, Razungles A, Baumes R, et al. Glycosylated flavor precursor extraction by microwaves from grape juice and grapes [J]. Journal of Food Science, 1996, 61: 557-559
- [15] Aprea E, Carlin S, Giongo L, et al. Characterization of 14 raspberry cultivars by solid-phase microextraction and relationship with gray mold susceptibility [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58: 1100-1105
- [16] Sarry J E, Günata Z. Plant and microbial glycoside hydrolases: volatile release from glycosidic aroma precursors [J]. Food Chemistry, 2004, 87: 509-521