



食品工业科技

Science and Technology of Food Industry

ISSN 1002-0306, CN 11-1759/TS



《食品工业科技》网络首发论文

题目：离子色谱-积分脉冲安培法检测黄酒中的阿拉伯糖、半乳糖、甘露糖、葡萄糖、核糖、乳糖

作者：徐诺, 姚哲渊, 车金水, 叶明立, 陈梅兰

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050209

网络首发日期: 2021-09-15

引用格式: 徐诺, 姚哲渊, 车金水, 叶明立, 陈梅兰. 离子色谱-积分脉冲安培法检测黄酒中的阿拉伯糖、半乳糖、甘露糖、葡萄糖、核糖、乳糖. 食品工业科技. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021050209>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

离子色谱-积分脉冲安培法检测黄酒中的阿拉伯糖、半乳糖、甘露糖、葡萄糖、核糖、乳糖

徐诺¹, 姚哲渊¹, 车金水², 叶明立¹, 陈梅兰^{1*}

(1.浙江树人大学生物与环境工程学院, 浙江杭州 310028;

2.赛默飞世尔科技(中国)有限公司, 上海 201203)

摘要: 目的: 建立了离子色谱-积分脉冲安培法同时检测黄酒中的阿拉伯糖、半乳糖、甘露糖、葡萄糖、核糖、乳糖, 并对这几种糖的含量进行探讨。方法: 色谱分离选用 CarboPacTM10 (250 mm×4 mm) 分析柱, 以氢氧化钠和无水乙酸钠为淋洗液进行梯度洗脱, 流速为 1.0 mL min⁻¹, 柱温为 30℃的色谱条件, 在 20 min 内实现 6 种糖的分离, 利用建立的方法对 26 个黄酒样品中的单糖含量进行了测定。结果: 该方法的重现性(RSD)≤3.70%, 相关系数 R²≥0.9990, 加标回收率为 91.6%~109.1%, 最低检出限为 2.99×10⁻³~1.38×10⁻³ μg mL⁻¹。结论: 黄酒中主要存在的单糖是葡萄糖, 阿拉伯糖、半乳糖、甘露糖、核糖和乳糖的含量较低; 半甜型黄酒中单糖的含量高于加饭酒, 其含量的差异可能与酿造工艺有关。

关键词: 离子色谱; 积分脉冲安培法; 黄酒; 单糖含量

Determination of arabinose, galactose, mannose, glucose, ribose and lactose in Chinese rice wine by ion chromatography-integral pulsed amperometric detection

XU Nuo¹, YAO Zheyuan¹, CHE Jinshui², YE Ming-li¹, CHEN Mei-lan^{1*}

(1.College of Biology and Environmental Engineering, Zhejiang Shuren University, Hangzhou 310028, China;

2.Themofisher Scientific College of Life Sciences, Shanghai 201203,China)

Abstract: Objective: To establish an ion chromatography-integral pulsed amperometric detection for simultaneous determination of arabinose, galactose, mannose, glucose, ribose and lactose in Chinese rice wine, and to discuss the contents of these sugars. Methods: The chromatographic separation was carried out on a CarbopActM10 (250 mm×4 mm) column with sodium hydroxide and anhydrate sodium acetate as eluents. The flow rate was 1.0 mL min⁻¹, and the column temperature was 30℃. The separation of six sugars was achieved within 20 min and the established method was used to determine the monosaccharide content in 26 rice wine

第一作者简介: 徐诺(2000-), 女, 本科在读, 研究方向: 离子色谱分离分析, E-mail: 251959322@qq.com。

*通讯作者简介: 陈梅兰(1970-), 女, 硕士, 教授, 研究方向: 离子色谱分离分析, E-mail: 183372827@qq.com。

samples. RESULTS: The reproducibility (RSD) of the method was less than 3.70%, the correlation coefficient R^2 was ≥ 0.9990 , the recoveries were 91.6%-109.1%, and the lowest detection limit was 2.99×10^{-3} - 1.38×10^{-3} g mL⁻¹. Conclusions: The main monosaccharide in rice wine is glucose, and the contents of arabinose, galactose, mannose, ribose and lactose are low. The content of monosaccharide in semi-sweet rice wine is higher than that in rice wine, and the difference is mainly related to brewing technology.

Key words: ion chromatography; integral pulsed amperometric detection; yellow rice wine; simple sugars content
中图分类号: TS261.7, O657.7 文献标志码: B doi:10.13386/j.issn1002-0306.2021050209

黄酒以其独特的滋味、丰富的营养和其保健养生功能而著称于世^[1], 其中糖类是形成其独特的滋味及保健功能的重要成分之一^[2]。黄酒中的糖类主要是由葡萄糖, 还有一定量的阿拉伯糖、半乳糖、甘露糖等单糖及麦芽糖、潘糖等低聚糖组成。其中葡萄糖可以促进肌层与肠粘膜粘连^[3], 起到固定作用, 改善便秘^[4]。阿拉伯糖不仅可以促进肠道蠕动^[5], 还可以控制血糖和脂肪的累积, 缓解糖尿病、肥胖等一系列疾病^[6]。甘露糖具有抑制肿瘤细胞生长^[7]、预防饮食引起的肥胖^[8]等多种功效, 还能用作抗肿瘤药^[9]、甘露糖醇^[10]、维生素^[11]的合成前体。核糖能促进局部缺血、缺氧组织的功能恢复^[9], 还能有效缓解肌肉无力、疲劳、疼痛等症状^[12]。乳糖具有类似膳食纤维的作用, 有利于双歧杆菌和乳杆菌的生长, 还能增强免疫力^[13]。

由此可见, 黄酒特别是其中所含的糖类物质可以对人体健康起到重要作用, 因此对黄酒中糖分的检测具有现实意义。目前, 黄酒研究者主要集中于低聚糖含量检测^[14-15], 而对阿拉伯糖、半乳糖、甘露糖等这些单糖含量的检测鲜有报道, 因此本研究对不同类型黄酒中糖分检测有十分重要的意义。

目前, 检测食品中含糖量的方法有高效液相色谱-蒸发光散射法^[16]、液相色谱-示差折光检测法^[17]、液相色谱-质谱法^[18]等。其中, 高效液相色谱-蒸发光散射法中检测器对标准曲线的线性不确定度的贡献较大, 关系曲线比较复杂; 分离效果不佳, 灵敏度低; 液相色谱-示差折光检测法易受温度、流速变化的影响, 造成不稳定; 液相色谱-质谱法样品前处理步骤复杂, 耗时较长。由于糖类化合物具有弱酸性、亲水性^[19], 没有吸光基团, 以阴离子形态存在于较强的碱性溶液中, 因而使用气相色谱和高效液相色谱法分析糖类物质均有不足之处。离子色谱-积分脉冲安培法具有不用衍生、操作方便、灵敏度高和实验不使用有毒化学试剂的优点, 同时糖类物质的还原性也为安培检测提供了可能。因此, 本实验基于胡贝贞^[20]等人的方法, 对色谱条件进行优化, 建立了离子色谱-积分脉冲安培法同时检测黄酒中的阿拉伯糖、半乳糖、甘露糖、葡萄糖、核糖、乳糖, 在 20 min 内实现 6 种糖的分离, 并利用建立的方法对市售 26 个黄酒样品中的单糖进行测定, 基于所得的检测结果, 初步探讨了黄酒中单糖的含量以及来源, 为黄酒中糖类物质的研究提供一定的参考价值。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与仪器

黄酒样品: 购于当地超市。D-阿拉伯糖(纯度 98%)、D-甘露糖(纯度 99%)、D-核糖(纯度 99%)、 β -乳糖(纯度 70%) 购于上海麦克林生化科技有限公司, D-半乳糖(纯度 98%) 购于上海恒信化学试剂有限公司, D-葡萄糖(纯度 99.5%) 购于广州市金华大化学试剂有限公司; 氢氧化钠(纯度 96%) 购于杭州化学试剂有限公司, 无水乙酸钠(纯度 99%) 购于温州润华化工实业公司; Xiboshi SPE C18: 300 mg; 实验室用水为超纯水(电阻率 18.20 M Ω -cm)。

ICS-5000 型离子色谱仪(美国 ThermoFisher Scientific 公司), 配备 ED5000 电化学检测器、Au 工作电极、PH-Ag/AgCl 复合参比电极、Chromleon6.8 色谱工作站。CarboPacTM10 分析柱(250 mm \times 4 mm)。超纯水机(TKA-Genpure)(美国 Thermo Fisher Scientific 公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 标准溶液的配制

分别称取各种糖 100 mg，用超纯水溶解并定容至 100 mL 容量瓶中，配成质量浓度为 1000 ppm 的标准储备液，于 4℃ 冷藏保存。使用前，取等量同浓度级别的标准溶液混合后作为混合标准工作溶液。

1.2.2 样品前处理

取 C₁₈ 固相萃取柱，依次用 10 mL 甲醇、15 mL 超纯水活化，静置 20 min，备用。进样前，样品用去离子水按需要稀释 150 倍，然后取 2 mL 溶液经过已活化好的 C₁₈ 柱和 0.2 μm 尼龙滤膜，弃去初滤液 2 mL，再加 2 mL 溶液至已活化好的 C₁₈ 柱和 0.2 μm 尼龙滤膜，收集流出液，进色谱分析。

1.2.3 色谱条件

由于黄酒样品中存在多种保留性不同的糖类，因此采用梯度淋洗的方式进行淋洗。阿拉伯糖、半乳糖、葡萄糖、甘露糖等保留性较弱且出峰时间相似，因此实验刚开始采用较低的浓度进行洗脱。由于黄酒中含有多种糖类，对于在柱上保留较强的糖的洗脱，除了用氢氧化钠淋洗之外，还加入了乙酸钠淋洗。最终确定的梯度淋洗程序如表 1 所示。

色谱柱：分析柱为 CarboPacTM10 分析柱（250 mm×4 mm）；柱温：30℃；进样量：25 mL。以 250 mmol/L NaOH (A)、超纯水 (B) 和 200 mmol/L NaOAc (C) 为淋洗液进行洗脱，梯度洗脱条件见表 1。

表 1 梯度洗脱程序
Table 1 Gradient eluting procedue

停留时间/min	流速/(mL/min)	体积分数/%		
		NaOH (A)	Ultra-pure water (B)	NaOAc (C)
0	1.000	8	92	0
6	1.000	8	92	0
14	1.000	11	87	2
30	1.000	10	45	45
33	1.000	10	10	80
39	1.000	20	20	60
47	1.000	8	92	0
55	1.000	8	92	0

1.3 数据处理

色谱结果积分处理采用 Thermo Chromenleon 6.8 色谱工作站，并利用 Excel 软件进行数据统计及数据分析。

2 结果与分析

2.1 方法学考察

以糖类浓度为横坐标, 色谱峰面积为纵坐标, 绘制标准曲线, 6 种糖类标准溶液色谱图如图 1 所示。

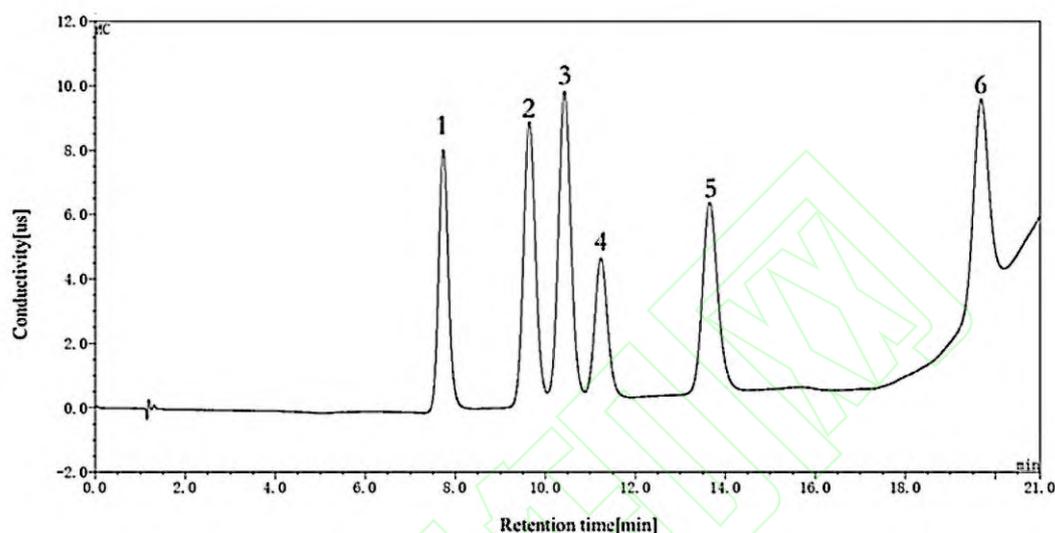


图 1 6 种糖类标准溶液的色谱图 (浓度为 1 ppm)

1.阿拉伯糖; 2.半乳糖; 3.葡萄糖; 4.甘露糖; 5.核糖; 6.乳糖

Figure 1 Chromatograms of 6 saccharides standard solution (The concentration of 1 ppm)

1. arabinose; 2.galactose; 3.glucose; 4.mannose; 5.ribose; 6.lactose

2.1.1 标准曲线、检出限、定量限及重复性

分别采用超纯水配制 6 种糖类混合标准溶液, 其中核糖浓度为 0.005、0.05、0.5、1、5 $\mu\text{g/mL}$; 半乳糖和甘露糖混合标准溶液的系列浓度为 0.01、0.1、1、5、10 $\mu\text{g/mL}$; 阿拉伯糖和乳糖混合标准溶液的系列浓度为 0.1、0.5、1、5、10 $\mu\text{g/mL}$; 葡萄糖浓度为 1、10、50、100、150 $\mu\text{g/mL}$ 。按照 1.5 的色谱条件进样, 并进行线性关系、精密度、检出限和定量限的考察, 以物质浓度(X)为横坐标, 峰面积(Y)为纵坐标建立 6 种糖类的标准曲线。

配制阿拉伯糖浓度为 0.1 $\mu\text{g/mL}$, 半乳糖浓度为 0.01 $\mu\text{g/mL}$, 葡萄糖浓度为 1 $\mu\text{g/mL}$, 甘露糖浓度为 0.01 $\mu\text{g/mL}$, 核糖浓度为 0.005 $\mu\text{g/mL}$, 乳糖浓度为 0.1 $\mu\text{g/mL}$ 的混合标准溶液重复进样 7 次测定峰面积, 计算 RSD, 并以 3 倍基线噪声(S/N=3)计算得到检出限, 标准品的线性关系、精密度, 结果如表 2。

表 2 回归方程、相关系数、线性范围、检出限、定量限和重复性

Table 2 Regression equations, correlation coefficient, linear ranges, limits of detection, quantification limits and reproducibility

分析物	线性范围 /($\mu\text{g/mL}$)	线性方程	相关系数/ R^2	检出限 /($\mu\text{g/mL}$)	定量限 /($\mu\text{g/mL}$)	重复性 /(%, n=7)
阿拉伯糖	0.1-10	$y=1.6686x+0.0196$	0.9999	2.99×10^{-3}	9.96×10^{-3}	1.018
半乳糖	0.01-10	$y=1.2356x-0.0807$	0.9996	3.73×10^{-3}	1.24×10^{-2}	1.750

葡萄糖	1-150	$y=1.9059x+1.8307$	0.9990	7.32×10^{-3}	2.44×10^{-2}	3.696
甘露糖	0.01-10	$y=0.7563x-0.0054$	0.9997	1.38×10^{-2}	4.60×10^{-2}	3.290
核糖	0.005-5	$y=2.2381x-0.0094$	0.9996	5.55×10^{-3}	1.85×10^{-2}	2.805
乳糖	0.1-10	$y=2.0358x+0.0301$	0.9999	3.21×10^{-3}	1.07×10^{-2}	1.941

从表中的测定结果可以看出, 该方法的线性关系良好 ($R^2 \cong 0.9990$), 检出限 ($2.99 \times 10^{-3} - 1.38 \times 10^{-3} \mu\text{g/mL}$), 定量限 ($9.96 \times 10^{-3} - 4.60 \times 10^{-2} \mu\text{g/mL}$), 相对标准偏差 (RSD) $\cong 3.70\%$ 。

2.1.2 方法回收率

取其中一个黄酒酒样为标准, 进行回收率实验, 计算加标回收率, 结果如表 3 所示。

表3 黄酒样品的加标回收率和相对标准偏差

Table 3 Spike recovery and relative standard deviation of rice wine samples

分析物	原始浓度 / ($\mu\text{g/mL}$)	加标量 / ($\mu\text{g/mL}$)	测定浓度 / ($\mu\text{g/mL}$)	加标回收率 /(%)
阿拉伯糖	0.1290	3	2.9805	95.1
半乳糖	0.2278	0.5	0.7417	102.7
葡萄糖	9.1534	5	14.4863	106.6
甘露糖	3.8607	3	6.6090	91.6
核糖	0.1176	2	2.3001	109.1
乳糖	0.0000	1	1.0482	104.8

从测定的结果可以得到该方法的平均加标回收率在 91.6%-109.1%之间, 表明方法具有良好的准确度。

2.2 样品分析

用所建立的方法分析黄酒中 6 种糖类的含量, 检测结果见表 4。由表 4 可知, 6 种糖类量均有差异。葡萄糖为黄酒中的主要糖类, 在 26 个黄酒中均检出, 含量在 14.31 - 60.42 g/L 之间。其中核糖在 20 个黄酒中被检出, 但 3 年陈酿古越龙山、8 年吴越稽山和 5 年陈黄酒未检出。而乳糖仅在东风精雕酒、10 年咸亨雕王以及吴越稽山中检出, 其余 3 种糖类在 23 个黄酒中均被检出, 但阿拉伯糖、半乳糖、甘露糖、核糖和乳糖含量较低。

表 4 黄酒样品中 6 中糖类的浓度(单位: g/L)

Table 4 The concentration of 6 saccharides in rice wine samples (unit: g/L)

种类	黄酒样品	酒龄	葡萄糖	阿拉伯糖	半乳糖	甘露糖	核糖	乳糖
加饭		3 年	25.51	0.25	0.34	0.27	0.16	n.d
		5 年	22.65	0.19	0.26	0.24	0.14	n.d
	古越龙山	6 年	37.52	0.19	0.27	0.12	0.01	n.d
		3 年陈酿	31.72	0.16	0.23	2.01	n.d	n.d
	会稽山	清醇 3 年	36.83	0.14	0.21	0.24	0.02	n.d
		3 年	28.02	0.19	0.27	0.20	0.12	n.d
	5 年	22.27	0.23	0.32	0.27	0.11	n.d	

	3 年陈酿	23.59	0.15	0.21	0.24	0.02	n.d
	-	21.62	0.18	0.26	0.12	0.10	n.d
手工冬酿	3 年	14.31	0.23	0.33	0.17	0.16	n.d
	5 年	22.73	0.37	0.51	0.36	0.11	n.d
女儿红	3 年	16.76	0.18	0.25	0.17	0.07	n.d
	5 年	24.51	0.18	0.26	0.25	0.03	n.d
	6 年	19.27	0.23	0.33	0.13	0.22	n.d
东风精雕酒	6 年	29.47	0.21	0.30	0.40	0.11	0.05
	10 年	26.98	0.20	0.28	0.06	0.08	0.02
	6 年	31.40	0.26	0.36	0.22	0.01	n.d
咸亨雕王	8 年	31.39	0.18	0.26	0.11	0.04	n.d
	10 年	32.26	0.23	0.32	0.31	0.01	0.03
吴越稽山	8 年	14.41	0.08	0.12	0.20	n.d	0.03
	10 年	16.94	0.09	0.13	0.10	0.01	0.06
孔乙己	5 年	20.65	0.41	0.57	0.48	0.01	n.d
陈黄酒	5 年	42.02	0.12	0.18	0.15	n.d	n.d
桃酿	-	54.54	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
半甜型	玫瑰米酒	-	60.42	n.d	n.d	n.d	n.d
	桃子米酒	-	49.33	n.d	n.d	n.d	n.d

注意：“n.d”指未检出；“-”指样品包装上没有标明年份。

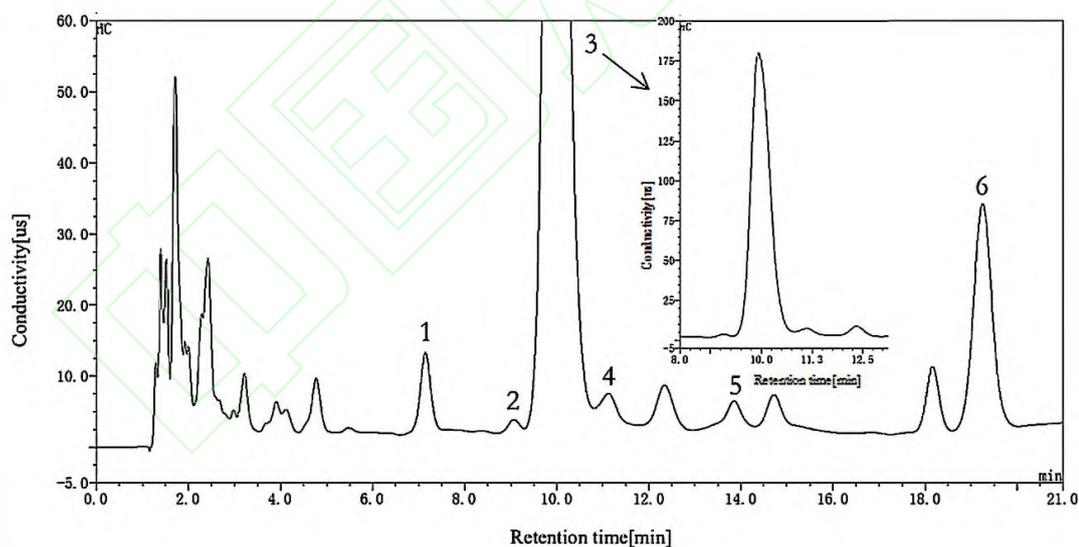


图 2 3 年手工冬酿黄酒样品冬的色谱图

1.阿拉伯糖；2.半乳糖；3.葡萄糖；4.甘露糖；5.核糖；6.乳糖

Figure 2 Chromatogram of 3 years' hand-brewed rice wine samples in winter

1.arabinose; 2.galactose; 3.glucose; 4.mannose; 5.ribose; 6.lactose

2.3 含量分析

如表 4 所示，在黄酒中，葡萄糖的含量远远高于其他单糖，这是因为所用生产黄酒用的原料以淀粉为主，淀粉水解成葡萄糖被发酵利用，未被利用的葡萄糖就留在酒中。在此发酵过程中，糖类在其它微生物的作用下发生了相互转化生成其他糖类，如阿拉伯糖、半乳糖、甘露糖和核糖^[21]。

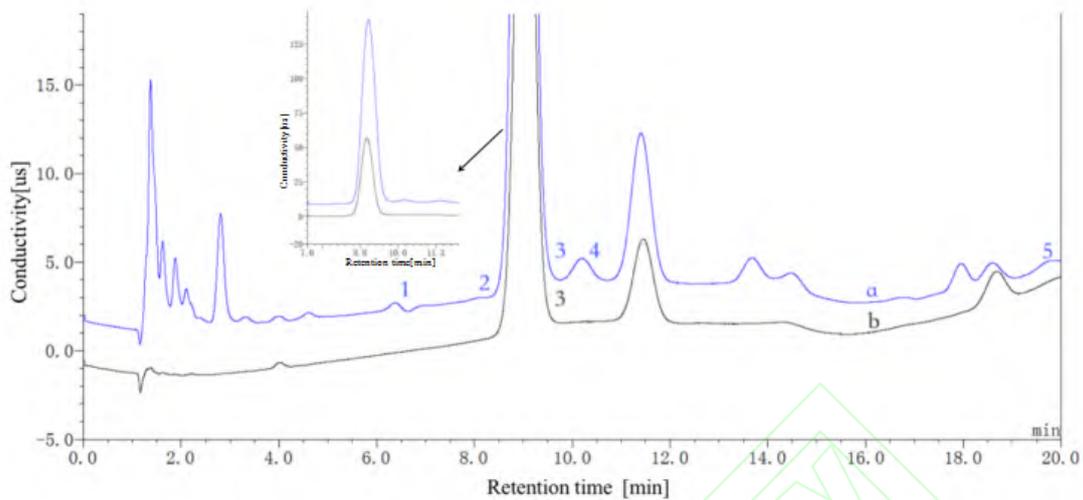


图3 加饭酒与半甜型黄酒的色谱比较图

a-金8年吴越稽山；b-桃酿

a:1-阿拉伯糖, 2-半乳糖, 3-葡萄糖, 4-甘露糖, 5-乳糖

Figure 3 Chromatographic comparison of rice wine and semi-sweet rice wine

a - gold eight years wuyuejishan; b - peach wine

1-arabinose; 2-galactose; 3-glucose; 4-mannose; 5-lactose

桃酿、玫瑰米酒和桃子米酒这3种半甜型黄酒总含糖量相对高于加饭酒,但其它几种糖全部未检出,见图3。可能的原因是半甜型黄酒以成品黄酒代替水,加入到发酵醪中,使糖化发酵的开始之际,发酵醪中的酒精浓度就达到较高的水平,在一定程度上抑制了酵母菌的生长速度,由于酵母菌数量较少,对发酵醪中产生的糖分不能转化成酒精,故成品酒中的糖分较高^[22],但也抑制了其他微生物的反应,使得半甜黄酒中全未检测出其它糖。而加饭酒在淀粉糖化和酒精发酵的双边条件下酿造^[23],可能是成熟的传统生产工艺保证了酿酒酵母对糖化产物的发酵,使加饭酒中的发酵过程更为充分,糖类之间发生相互转化,因此,在加饭酒中几乎全部检测出6种待测糖类。但进一步分析发现,6种糖类与黄酒的酒龄及品牌关系不明显。

根据GB/T 13662-2018黄酒规定,黄酒是以稻米、黍米、玉米、小麦、水等为主要原材料,经加曲和/或部分酶制剂、酵母等糖化发酵剂后经过复杂的生物化学过程酿制而成的发酵酒^[24]。据文献^[25]报道,采用不同的工艺,不同的原料组合,糖化发酵剂用料选择的不同,最终产出的黄酒所含的糖类成分及含量也不同。因此,黄酒糖类物质的成份及含量组成可能与其所用原料及酿造工艺等有关,具体尚需进一步动态跟踪研究。

3 结论

建立的离子色谱-积分脉冲安培法同时检测黄酒中的阿拉伯糖、半乳糖、甘露糖、葡萄糖、核糖、乳糖的方法简便,快捷;其次黄酒中主要存在的单糖是葡萄糖,阿拉伯糖、半乳糖、甘露糖、核糖和乳糖的含量较低;半甜型黄酒中单糖的含量高于加饭酒,其含量的差异可能与酿造工艺有关。

对比白酒中葡萄糖含量 $2.01 \sim 3.33 \text{ mg/L}$ ^[26],啤酒样品中葡萄糖浓度在 $0.0942 \sim 0.4197 \text{ mg/L}$ ^[27],葡萄酒样品中葡萄糖浓度在 $13.45 \sim 85371.13 \text{ mg/L}$ ^[28]及本研究黄酒中葡萄糖含量 $14.31\text{-}60.42 \text{ mg/L}$ 可知,黄酒中糖类物质含糖量远高于白酒和啤酒,与低含糖量的葡萄酒接近。摄入过量的糖分不仅会导

致肥胖问题，还易增加罹患糖尿病、高血压等慢性疾病的风险^[29]，因此，适量饮用黄酒，有益健康。

参考文献:

- [1] 陈成, 殷子建, 徐速. 浅析黄酒的历史及营养价值[J]. 酿酒, 2002(1): 55-56.[CHEN Cheng, YIN Zijian, XU Su. History and nutritive value of yellow wine[J]. LIQUOR MAKING, 2002(1): 55-56.]
- [2] 陈传平, 陈乃东, 陈红风. 柱前衍生-高效毛细管电泳法分析不同黄酒的多糖组成[J]. 食品工业科技, 2018, 39(8): 221-225.[CHEN Chuanpin, CHEN Naidong, CHEN Hongfeng. Analysis of polysaccharides in different yellow rice wine by pre-column derivatization and high performance capillary electrophoresis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(8): 221-225.]
- [3] 王浩. 甘露糖对溃疡性结肠炎相关结直肠癌变的预防作用及机制初步探究[D]. 江南大学, 2020:2-6.[WANG Hao. Preventive effect and mechanism of Mannose on ulcerative colitis associated colorectal carcinogenesis[D]. Jiangnan University, 2020:2-6.]
- [4] Gonzalez PS, O'Prey J, Cardaci S, et al. Mannose impairs tumour growth and enhances chemotherapy[J]. Nature, 2018, 563(7733): 719-723.
- [5] 史瑛, 冯欣静, 周志磊, 等. 黄酒多糖对炎症性肠病及便秘作用机制的研究进展[J/OL]. 食品与发酵工业, 2021,47(9):275-283. [SHI Ying, FENG Xinjing, ZHOU Zhilei, et al. Research progress on the mechanism of Huangjiu polysaccharides on inflammatory bowel disease and constipation[J/OL]. Food and Fermentation Industries, 2021,47(9):275 - 283.]
- [6] 张行. L-阿拉伯糖对身体机能影响的研究[J]. 当代体育科技, 2019, 9(14): 11+13.[ZHANG Hang. Effect of L-arabinose on body function[J]. Contemporary Sports Technology, 2019, 9(14): 11+13.]
- [7] Sharma V, Smolin J, Nayak J, et al. Mannose alters gut microbiome, prevents diet-induced obesity, and improves host metabolism[J]. Cell Reports, 2018, 24(12): 3087-3098.
- [8] Kamel MM, Ali HI, Anwar MM, et al. Synthesis, antitumor activity and molecular docking study of novel Sulfonamide-Schiff's bases, thiazolidinones, benzothiazinones and their C-nucleoside derivatives[J]. European Journal of Medicinal Chemistry, 2010, 45(2): 572-580.
- [9] 华晓晗, 李延啸, 马俊文, 等. 链霉菌来源 D-甘露糖异构酶的性质及其在制备 D-甘露糖中的应用[J]. 微生物学通报, 2021,48(6):1930-1941.[HUA Xiaohan, LI Yanxiao, MA Junwen, et al. Characterization of a D-mannose isomerase from Streptomyces sp.and its application in the preparation of D-mannose[L]. Microbiology:2021,48(6):1930-1941.]
- [10] Chen FE, Zhao JF, Xiong FJ, et al. An improved synthesis of a key intermediate for (+)-biotin from D-mannose[J]. Carbohydrate Research, 2007, 342(16): 2461-2464.
- [11] 袁保辉, 刘桂芹, 刘敏, 等. 复方 D-核糖对小鼠抗疲劳作用的研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(22): 349-353.[YUAN Baohui, LIU Guiqin, LIU Min, et al. Study on anti-fatigue effect of compound D-ribose on mice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(22): 349-353.]
- [12] 王亚坤, 孙文敬, 秦丽, 等. D-核糖功能与应用研究进展[J]. 食品科学, 2005(8): 486-489.[WANG Yakun, SUN Wenjing, QIN Li, et al. Research Progress on the Function and Utilization of D-ribose[J]. FOOD SCIENCE, 2005(8): 486-489.]
- [13] 张丽娜, 周鹏. 浅论乳糖功能研发应用[J]. 中国乳业, 2020(4): 84-88.[ZHANG Lina, ZHOU Peng. Research development and application of lactose function[J]. China Dairy, 2020(4): 84-88.]
- [14] 谢广发, 戴军, 赵光鳌, 等. 黄酒中的功能性低聚糖及其功能[J]. 中国酿造, 2005(2): 39-40.[XIE Guangfa, DAI Jun, ZHAO Guangao, et al. Functional oligosaccharides in rice wine and its health function[J]. CHINA BREWING, 2005(2): 39-40.]
- [15] 胡贝贞, 董文洪, 夏碧琪, 等. 高效阴离子交换色谱-积分脉冲安培检测法同时测定黄酒中的单糖和低聚糖及其指纹图谱的构建[J]. 色谱, 2015, 33(6): 662-666.[HU Beizhen, DONG Wenhong, XIA Biqi, et al. Simultaneous determination of monosaccharide and oligosaccharide in rice wine by high performance anion exchange chromatography with integrated pulsed amperometric detection and the establishment of their fingerprints[J]. Chinese Journal of Chromatography, 2015, 33(6): 662-666.]
- [16] 丁洪流, 李灿, 金萍, 等. 高效液相色谱-蒸发光散射法测定食品中的单糖、双糖、低聚果糖和糖醇[J]. 色谱, 2013, 31(8): 804-808.[DING Hongliu, LI Can, JIN Ping, et al. Simultaneous determination of monosaccharides, disaccharides, oligosaccharides and sugar alcohols in foods by high performance liquid chromatography with evaporative light-scattering detection[J]. Chinese Journal of Chromatography, 2013, 31(8): 804-808.]
- [17] 葛驰宇, 张君丽, 陈建华. 高效液相色谱法同时测定发酵液中赤藓糖醇和 L-赤藓酮糖的含量[J]. 色谱, 2012, 30(8):

- 843-846.[GE Chiyu, ZHANG Junli, CHEN Jianhua. Simultaneous determination of meso-erythritol and L-erythrulose in fermentation broth using high performance liquid chromatography[J]. Chinese Journal of Chromatography, 2012, 30(8): 843-846.]
- [18] Verardo Giancarlo and Duse Irene and Callea Alessandro. Analysis of underivatized oligosaccharides by liquid chromatography/electrospray ionization tandem mass spectrometry with post-column addition of formic acid.[J]. Rapid communications in mass spectrometry : RCM, 2009, 23(11): 1607-18.
- [19] 牟世芬, 于泓, 蔡亚岐. 糖的高效阴离子交换色谱-脉冲安培检测法分析[J]. 色谱, 2009, 27(5): 667-674.[MOU Shifen, YU Hong, CAI Yaqi. Analysis of sugars by high performance anion-exchange chromatography with pulsed amperometric detection[J]. Chinese Journal of Chromatography, 2009, 27(5): 667-674.]
- [20]胡贝贞, 董文洪, 夏碧琪, 等. 高效阴离子交换色谱-积分脉冲安培检测法同时测定黄酒中的单糖和低聚糖及其指纹图谱的构建[J]. 色谱, 2015, 33(6): 662-666.[HU Beizhen, DONG Wenhong, XIA Biqi, et al. Simultaneous determination of monosaccharide and oligosaccharide in rice wine by high performance anion exchange chromatography with integrated pulsed amperometric detection and the establishment of their fingerprints[J]. Chinese Journal of Chromatography, 2015, 33(6): 662-666.]
- [21] 王克夷. 糖类的合成和降解[J]. 生命的化学, 2009, 29(2): 155-161.[WANG Keyi. The synthesis and degradation of carbohydrates[J]. Chemistry OF Life, 2009, 29(2): 155-161.]
- [22] 何晨怡, 董琳娜, 王楠, 等. 黄酒贮藏过程中生物胺变化规律的研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(21): 32-38.[HE Chenyi, TONG Linna, WANG Nan, et al. Changes of Biogenic Amines in Yellow Rice Wine during Storage[J]. Food Research and Development, 2019, 40(21): 32-38.]
- [23] 臧威, 谢广发, 孙剑秋, 等. 传统绍兴黄酒酿造过程中酵母菌的动态监测[J]. 中国食品学报, 2017, 17(12): 201-206.[Zang Wei, Xie Guangfa, Sun Jianqiu, et al. Dynamic Monitoring of Saccharomyces cerevisiae during the Fermentation of Traditional Shaoxing Rice Wine[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(12): 201-206.]
- [24] Compilation of national standards for food hygiene. GB/T 13662-2008. Chinese Rice Wine[S]. Beijing: Standards Press of China.
- [25] 汪建国, 沈玉根, 陆伟杰, 等. 我国黄酒研究现状与发展趋势[J]. 中国酿造, 2012, 31(11): 15-20.[WANG Jianguo, SHEN Yügen, LU Weijie, et al. Situation and development trend of Chinese rice wine research[J]. China Brewing, 2012, 31(11): 15-20.]
- [26] 王晓丹, 向玉萍, 印丽, 等. 老白干白酒中糖和糖醇类物质研究[J]. 中国酿造, 2021, 40(1): 70-74.[WANG Xiaodan, XIANG Yuping, YIN Li, et al. Sugars and sugar alcohols of the Laobaigan Baijiu[J]. China Brewing, 2021, 40(1): 70-74.]
- [27] 宋卫得, 许美玲, 王志宏, 等. 离子色谱法同时测定啤酒中 23 种糖、糖醇及醇[J]. 中国酿造, 2020, 39(6): 209-213.[SONG Weide; XU Meiling; WANG Zhihong; et al. Simultaneous determination of 23 carbohydrates, sugar alcohols and alcohols in beer by ion chromatography[J]. China Brewing, 2020, 39(6): 209-213.]
- [28] 马甲民, 崔鹤, 张文皓, 等. 离子色谱法-积分安培检测器测定葡萄酒中的天然糖[J]. 食品科学, 2015, 36(12): 108-112.[MA Jiamin; CUI He, ZHANG Wenhao, et al. Determination of Naturally Occurring Sugars in Wine by Ion Chromatography with Integrated Pulsed Amperometric Detection[J]. Food Science, 2015, 36(12): 108-112.]
- [29] 彭丽诗, 陈琼, 黄盼, 等. 离子色谱-脉冲安培法同时测定食品中 9 种糖和糖醇的含量[J]. 食品工业科技, 2020, 41(9): 250-254+259.[PENG Lishi, CHEN Qiong, HUANG Pan, et al. Simultaneous Determination of 9 Sugars and Sugar Alcohols in Foods by Ion Chromatography with Pulsed Amperometric Detection[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(9): 250-254+259.]