

不同储藏环境对铁皮石斛配制酒稳定性的影响

汪江波¹, 叶成玉¹, 蒋祥瑞¹, 张瑞景¹, 蔡凤娇¹, 何超², 向桂晶³, 徐健^{1*}

(1. 湖北工业大学生物工程与食品学院, 工业发酵省部共建协同创新中心, 发酵工程教育部重点实验室, 工业微生物湖北省重点实验室, 武汉 430068; 2. 湖北毕圣泉酒业有限公司, 黄冈 438700; 3. 湖北水布垭酒业有限公司, 恩施 445000)

摘要: **目的** 探究不同储藏环境对铁皮石斛配制酒(*Dendrobium officinale* blended liquor, DBL)稳定性的影响。**方法** 通过测定不同储藏环境下 DBL 外观、风味、功效成分和酒体抗氧化能力等指标, 评价其稳定性。**结果** 在 12 周的储藏期内, 低温(-10℃)储藏最有利于保持 DBL 外观、功效成分含量和酒体抗氧化活性的稳定, 并且有助于保留药香、减弱糟味, 但谐调感、净爽感有所变差, 储藏期内 DBL 的整体感官变化不明显, 风味成分总含量略有下降。高温(45℃)储藏对维持 DBL 外观、功效成分含量和酒体抗氧化活性的稳定效果较差, 但有助于 DBL 整体感官, 特别是谐调、劲爽和陈香方面的提升, 风味物质中醛酮类、酯类含量下降, 醇类、酸类增加。光照储藏会严重破坏 DBL 外观、风味、功效成分含量和酒体抗氧化活性, 各类风味成分变化趋势与高温储藏相似, 但风味成分总含量明显下降。**结论** 在低温(-10℃)储藏最有利于保持 DBL 的稳定, 且有助于保留药香、减弱糟味。本研究为配制酒行业选择合适的储藏环境, 进而提高货架期提供了参考。**关键词:** 铁皮石斛配制酒; 酒体稳定性; 储存条件; 风味成分; 抗氧化活性

Effects of different storage environments on the stability of *Dendrobium officinale* blended liquor

WANG Jiang-Bo¹, YE Cheng-Yu¹, JIANG Xiang-Rui¹, ZHANG Rui-Jing¹,
CAI Feng-Jiao¹, HE Chao², XIANG Gui-Jing³, XU Jian^{1*}

[1. Cooperative Innovation Center of Industrial Fermentation (Ministry of Education & Hubei Province), Key Laboratory of Fermentation Engineering (Ministry of Education), Hubei Provincial Key Laboratory of Industrial Microbiology, School of Food and Biological Engineering, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China; 2. Bishengquan Liquor Industry Co., Ltd., Huanggang 438700, China; 3. Hubei Shuibuya Liquor Industry Co., Ltd., Enshi 445000, China]

ABSTRACT: Objective To explore the influence of different storage environment on the stability of *Dendrobium officinale* blended liquor (DBL). **Methods** The stability of DBL was evaluated by measuring the appearance, flavor, functional composition and antioxidant of DBL under different storage environment. **Results** During the 12 weeks storage period, low temperature (-10℃) storage was most beneficial to maintain the stability of the appearance, content of functional components and antioxidant activity of DBL, and helped to retain the medicinal fragrance and reduce the distiller's grains taste. However, the sense of harmony and refreshing became worse, while the overall sensory changes

基金项目: 湖北省重点研发计划项目(2021BGD016)、湖北省高价值知识产权培育工程项目(ZXKY2022498)、湖北工业大学科研启动基金项目[湖工大人(人才)[2019]10 号]

Fund: Supported by the Key Research and Development Plan Project in Hubei Province (2021BGD016), the Hubei Province High Value Intellectual Property Cultivation Project (ZXKY2022498), and the Scientific Research Foundation of Hubei University of Technology [HGD (Talent) [2019] No.10]

***通信作者:** 徐健, 博士, 副教授, 主要研究方向为酿酒新工艺、新产品的研发及发酵废弃物的综合利用。E-mail: xujian0218@126.com

***Corresponding author:** XU Jian, Ph.D, Associate Professor, Hubei Provincial Key Laboratory of Industrial Microbiology, School of Food and Biological Engineering, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China. E-mail: xujian0218@126.com

of DBL during storage were not obvious and the total content of flavor components decreased slightly. High temperature (45°C) storage had poor stability in maintaining the appearance, the content of functional components and the antioxidant activity of DBL, but it was helpful for the overall sense of DBL, especially the improvement of harmony, freshness and aging fragrance. Moreover, the content of aldehydes and esters in DBL decreased, while alcohols and acids increased. Light could seriously damage the appearance, flavor, content of functional components and antioxidant activity of DBL. The change trends of various flavor components were similar to that of the high temperature storage, and the total content of flavor components also decrease significantly. **Conclusion** This study has found that storage at low temperatures (-10°C) is most conducive to maintaining the stability of the DLE, as well as helping to retain the medicinal aroma and weaken the bad taste. It provides a reference for selecting suitable storage environment and improving shelf life of blended liquor industry.

KEY WORDS: *Dendrobium officinale* blended liquor; liquor stability; storage conditions; flavor components; antioxidant activity

0 引言

铁皮石斛(*Dendrobium officinale*), 又称黑节草, 为兰科石斛属多年生草本植物, 广泛应用于食品、医药和化妆品等行业^[1-2]。目前, 已有 50 多种石斛保健食品获得国家食品药品监督管理局的批准^[3]。研究表明, 铁皮石斛富含多糖、多酚、黄酮和生物碱等保健成分, 具有增强免疫力、抗炎、抗氧化、降血糖、滋阴益胃、抗疲劳以及抗癌等功效^[4-7]。

以白酒为酒基制备的铁皮石斛配制酒(*Dendrobium officinale* blended liquor, DBL), 被视为一种滋补保健饮品。配制酒在灌装后短时间内不会有沉淀或絮状物产生, 但是配制酒在货架期易受到温度、光照等环境因素的影响, 随着时间的延长, 小分子物质慢慢聚合成大分子物质, 同时伴随着一些物质的分解或氧化、聚合, 使得配制酒的外观、风味、整体感官、功效成分含量、酒体抗氧化活性均可能出现明显的不可接受的变化(如酒体酸度增加^[8], 颜色变化^[9], 气味衰减, 失去许多嗅觉气味, 并形成异味^[10-11]等), 严重影响配制酒的货架期和厂家的信誉度。配制酒储藏过程中储存容器的种类、储存时间的长短以及储藏温度的高低, 一直是业内所关注和探讨的问题。此外, 研究还表明, 保健酒中的活性成分在陈酿过程中可能会发生相互作用和转化, 从而影响了其保健功效^[12]。为此通过在不同环境条件下对酒体稳定性进行系统研究, 得出配制酒在各种环境因素影响下随时间的变化规律, 对于指导配制酒的储藏和延长货架期至关重要。现有研究大多关于不同温度下, 配制酒酒体外观颜色以及感官的变化^[13-14], 对酒体内部的有效成分的研究相对薄弱。

鉴于此, 本研究从外观、风味、功效成分含量和酒体抗氧化活性等方面对不同储藏环境下的 DBL 稳定性进行系统考察, 并结合酒体的感官品评为佐证为配制酒行业选择合适的储藏环境以及储存时容易产生的问题进行规避, 进而为提高货架期提供了参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

没食子酸[纯度≥99.0%, 阿拉丁试剂(上海)有限公司]; 芦丁标准品[纯度≥93.2%, 英国 LGC 公司]; 石斛碱标准品[纯度≥98.0%, 上海源叶生物科技有限公司]; 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)(纯度≥97.0%)、2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ammonium salt, ABTS](纯度≥98.0%)、三氯乙酸、铁氰化钾(分析纯)(上海麦克林生化科技有限公司)。

1.2 仪器与设备

DNP-9022 型恒温培养箱(上海精宏实验设备有限公司); GC 7890B-5977B MSD 气相色谱-质谱联用仪(美国 Agilent 公司); VWR UV-1600PC 紫外/可见分光光度计(美国 VWR 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 DBL 的制备

参考前期实验结果, 采用超声波细胞破碎法制备 DBL^[15]。将铁皮石斛茎于 50°C 条件下干燥至含水量低于 8%, 粉碎过 80 目筛后置于密封袋中, 4°C 保存、备用。称取一定量的铁皮石斛粉于 250 mL 烧杯中, 加入 200 mL 小曲清香型白酒。使用超声波细胞破碎仪处理, 采用间歇式超声, 超声 5 s, 间歇 5 s。将盛有铁皮石斛粉和未超声小曲清香型白酒的烧杯置于冰浴中, 处理过程控制混合液温度保持在 40°C 以下, 使用食品级保鲜膜密封烧杯口, 只留出一个可以放进超声探头的孔隙, 以减少酒中低沸点微量成分的挥发。设置提取时间, 提取完毕后, 待混合液恢复至室温, 在 8000 r/min 条件下离心 5 min, 收集上清液放于 4°C 冰箱冷沉 3 d, 冷沉后的上清液即为石斛酒原液。其中超声时间为 2.2 h, 超声功率为 516 W, 酒精度为 52%vol,

石斛粉添加量为 10%。

1.3.2 DBL 酒体稳定性实验

一般实际贮存、运输、销售和食用过程中的条件为 4、25 和 37℃ 的闭光环境，保存时间为 6 个月，为加速酒体变化过程，减少实验周期，采用极端环境进行。最终选取 -10℃ (冰箱)、45℃ 的闭光环境 (电热恒温培养箱) 以及室温光照环境 (人工光照箱)，保存 3 个月。将 2 L 制备好的 DBL 于上述环境中放置 12 周，对不同环境储藏的 DBL 的稳定性进行研究。分别在第 0、1、2、3、4、6、8、10、12 周取样后混匀，并恢复至室温，再对酒体的外观稳定性 (褐变程度、色度、透光率、蛋白质含量)、风味稳定性 (主要风味指标和整体感官)、功效成分稳定性 (石斛多糖、石斛多酚、石斛总黄酮和石斛碱含量) 和酒体抗氧化能力稳定性 (DPPH 自由基清除能力、ABTS 阳离子自由基清除能力和铁氰化钾还原能力) 等进行检测。此外，分别在 0、4、8、12 周取样用于感官品评。

1.3.3 DBL 感官品评及理化指标

对 DBL 进行感官品评并进行打分，品评人员为湖北工业大学酿酒中试基地的 8 名经过专业培训的品评员，包括 5 男 3 女，每名品评员都拥有 3 年以上品酒经验。通过前期对 DBL 多次品评和鉴别，确定了 7 个主要风味 (药香 (石斛)、陈香、糟味、谐调、净爽、后苦和石斛酒独特的风格) 和 1 个外观 (微黄或黄红透明) 判别描述词对 DBL 的主要特征进行定量评价。根据风味特征的强弱或长短进行打分，定量评价细则为 0 分 (无)、1 分 (弱/轻微)、2 分 (稍弱/较弱)、3 分 (中等)、4 分 (稍强/稍长) 和 5 分 (强/长)。感官品评方法参照安徽省国韵酒业有限公司关于配制酒 (石斛酒) 的食品安全企业标准 [Q/GYJ0001S—2020《配制酒 (石斛酒)》] 进行打分，并稍作修改，感官评分细则如表 1。在收集品评人员的打分结果后，去掉一个最高分和一个最低分以降低实验误差，并将剩下的评分取平均值作为样品的最终得分。

1.4 分析方法

DBL 的褐变程度、色度、透光率分别参照戴立威^[16]和 MAGARINO 等^[17]的方法进行测定，蛋白质含量采用考马斯亮蓝比色法测定。风味成分采用顶空固相微萃取结合气相色谱联用质谱仪进行测定，操作条件及分析方法参照 ZHOU 等^[18]的研究，以甲基叔丁基醚为有机溶剂，将乙酸戊酯 (内标物) 和各标准品溶于有机溶剂中，形成混合标准品，进样气相色谱-质谱仪，以峰面积为纵坐标，浓度为横坐标定量。DBL 中石斛多糖、石斛多酚、石斛总黄酮和石斛碱的测定参考汪江波等^[15]的方法；DPPH 自由基清除能力、ABTS 阳离子自由基清除能力、铁氰化钾还原力分别参照 LUO 等^[19]、周广勇等^[20]和 BARROS 等^[21]的方法进行测定。

表 1 感官评分细则
Table 1 Detailed rules for sensory scoring

项目	评分细则	评分标准/分
色泽 (15 分)	清澈透明，色泽均匀，呈黄红色，具有石斛酒特有的色泽	11-15
	稍浑浊、失光，色泽均匀，呈黄红色，具有石斛酒特有的色泽	6-10
	浑浊、失光，色泽不均匀，呈淡黄色	0-5
香气 (30 分)	具有石斛相应的植物香和酒香，诸香协调	21-30
	具有石斛相应的植物香和酒香，诸香较协调	11-20
	不具有石斛相应的植物香和酒香，诸香不协调	0-10
口味 (40 分)	酒体醇和，舒顺谐调，酒体完整，无异味	31-40
	酒体较醇和谐调，酒体较完整，无异味	11-30
	酒体不谐调，酒体不完整，稍有异味	0-10
风格 (15 分)	具有石斛酒特有的风格	11-15
	风格较明显	6-10
	风格不明显	0-5

1.5 数据处理

所有实验重复 3 次，结果用平均值±标准偏差表示。采用 Origin 9.0 制图，使用 SPSS 25.0 软件进行统计学分析，并采用单因素方差分析进行显著性分析，其中 P<0.05 的差异被认为是显著的。其他数据采用 Microsoft Excel 2016 进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同储藏环境对 DBL 外观稳定性的影响

储考察了不同储藏环境对 DBL 外观稳定性的影响，结果显示。在 12 周时间内，不同储藏条件的 DBL 褐变程度和色度总体上均呈下降趋势。其中，-10℃ 储藏的 DBL 的褐变程度和色度先上升后缓慢下降，光照条件下储藏的 DBL 褐变程度和色度持续下降，各储藏条件下褐变程度的下降幅度大小依次为光照 (0.687)>45℃ (0.237)>-10℃ (0.144)，色度的下降幅度大小依次为光照 (0.775)> 45℃ (0.456)>-10℃ (0.297)。这与 ZHANG 等^[22]研究杨梅酒时的色泽变化趋势相一致。新制备的配制酒中，花色素苷多以单体形式存在，陈酿期间花色素苷会发生缩合、聚合和氧化反应，从而改变配制酒的颜色，表现为颜色强度降低和出现黄褐色色调，反应过程受温度和光线的显著影响^[23]。飞燕草素-3-O-p-香豆酰葡萄糖苷是从铁皮石斛酒中检测出的铁皮石斛主要红色素，其易被氧化、降解，因此石斛及其制品 (石斛酒) 的颜色极不稳定^[16]。REMY 等^[24]报道，陈酿过程中一些花色苷还可以通过 C-C 键和醚键与酚类物质聚合生成无色的二聚体，降低酒体的总体色度。ZHENG 等^[25]也发现浸泡青梅酒的色泽随着储藏时间延长，缩合物

沉淀增多, 青梅酒的色度值相应下降。如图 1C, -10°C 储藏的 DBL 透光率先升高后降低, 光照和 45°C 储藏的 DBL 透光率持续呈现下降趋势。其中, DBL 的透光率在光照条件下降低较为明显, 达到 7.2%, 酒液浑浊失光现象显著, 其次为 45°C 和 -10°C 。如图 1D, DBL 中蛋白质含量的变化幅度大小依次为光照(22.4%)> 45°C (20.4%)> -10°C (18.0%)。高温会导致蛋白质的热变性聚合而析出^[26], 这可能是引起 DBL 热沉淀的主要原因。同时, 在氢键与疏水键的作用下, 酒体中的蛋白质与多酚类物质发生缔合反应, 这也可能是导致酒体浑浊的原因之一。此外, 高温条件下酒体中分子运动加快, 促进酒体中沉淀的析出, 且在析出并沉降的过程中, 酒体中的其他物质会因其沉淀效应而析出^[27]。综上所述, 低温(-10°C)避光储藏更有利于维持 DBL 的外观稳定性。

2.2 不同储藏环境对 DBL 风味和感官评分的影响

研究不同储藏环境对 DBL 风味和感官评分的影响, 结果如图 2 所示。不同环境储藏的 DBL, 其色泽、透明度随储藏时间的延长均出现一定程度的下降, 储藏 12 周后的下降幅度依次为光照> 45°C > -10°C (图 2A~C)。 -10°C 储藏会增强 DBL 的药香, 45°C 、光照储藏会促使药香减弱, 且光照储藏的药香减弱更加明显。 -10°C 和 45°C 储藏可略微增强 DBL 的陈香, 而光照储藏会使 DBL 的陈香变差。在 12 周的储藏时间内, 不同环境储藏 DBL 的糟味均减弱, 且 -10°C 储藏减弱程度最为明显。在 -10°C 下储藏的 DBL 的协调感、净爽感略微变差, 45°C 储藏的 DBL 的协调感、净爽感有所变好, 这可能是由于高温有助于加速酒体中分子间的运动, 促进酒液快速达到平衡状态^[28]。光照储藏会

使 DBL 的协调感和净爽感随储藏时间的延长变差。不同环境储藏的 DBL 的酒体后苦味随时间延长均呈减弱趋势, 下降幅度依次为 45°C >光照> -10°C 。随着储藏时间的延长, -10°C 和 45°C 储藏的 DBL 的风格变得更加突出, 且 45°C 储藏效果最好, 而光照储藏会使 DBL 特有的风格遭到破坏。由图 2D 可知, DBL 储藏在 -10°C 条件下, 随着储藏时间的延长, DBL 感官得分变化趋势不明显($P>0.05$); 光照条件下储藏的 DBL 感官得分呈持续下降的趋势, 且储藏 8~12 周的 DBL 与对照(0 周)相比, 感官得分出现显著差异($P<0.05$); 45°C 条件下储藏的 DBL 感官得分呈现持续上升的趋势, 且储藏 8~12 周后与对照(0 周)相比, 感官得分出现显著提升($P<0.05$)。综上所述, 低温(-10°C)储藏有助于增强 DBL 的药香、减弱糟味, 且不会对配制酒的香气特征产生不利影响^[29]。高温(45°C)储藏有助于 DBL 协调、净爽感方面的提升, 而光照会严重破坏 DBL 的外观、香气、口感和整体风格。这一结果与施鹏等^[30]研究透明玻璃瓶装酒在长期光照条件下, 酒体的色度、颜色均出现明显变化, 香气、口感会出现异味和杂味的结论相一致。

2.3 不同储藏环境对 DBL 风味成分的影响

采用顶空固相微萃取结合气相色谱联用质谱仪对不同环境下储藏 12 周的 DBL 的风味成分进行测定, 结果如表 2 所示。基酒(小曲清香型白酒)中共检出 43 种风味成分; 其中醛酮类 4 种、酯类 20 种、醇类 8 种、酸类 3 种、烯类 2 种、酚类 4 种和其他类 2 种。未储藏的 DBL 中共检出 56 种风味成分, 包括醛酮类 6 种、酯类 21 种、醇类 11 种、酸类 3 种、烯类 2 种、酚类 5 种和其他类 8 种。与基酒相比, 多出的 13 种风味成分为 2-十一酮、大茴香醛、乙酸苄

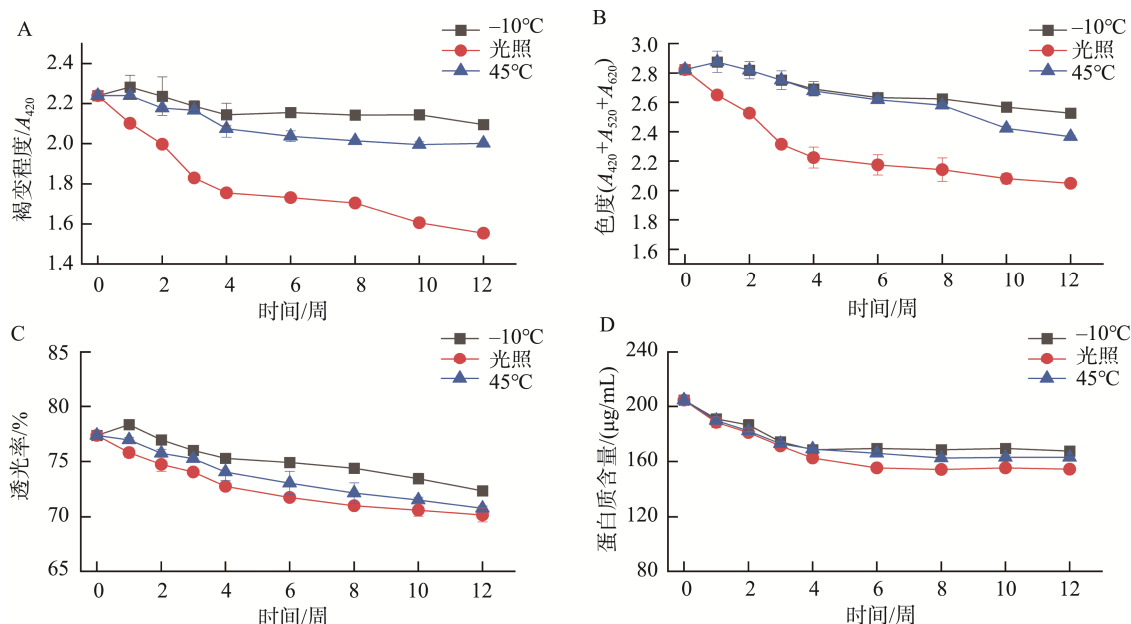
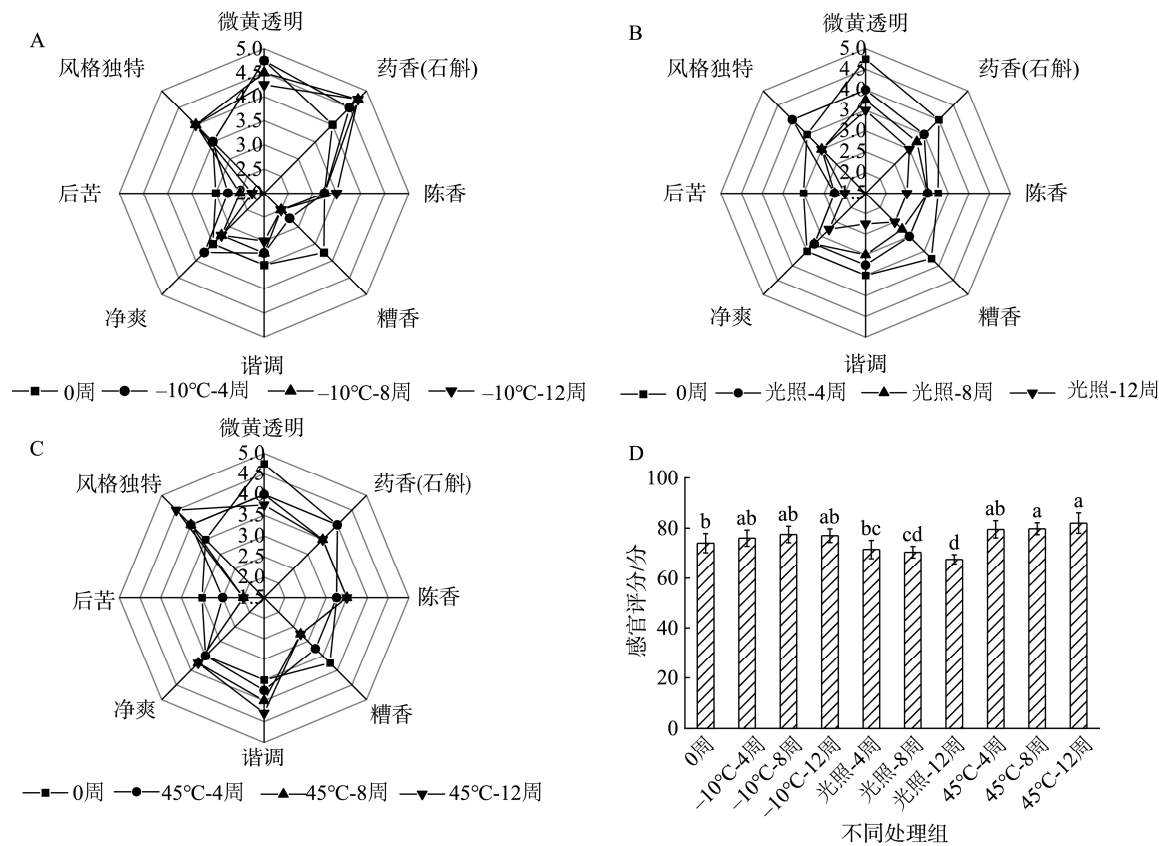


图 1 不同储藏环境对 DBL 褐变程度(A)、色度(B)、透光率(C)和蛋白质含量(D)的影响

Fig.1 Effects of different storage environments on degree of browning (A), chromaticity (B), light transmittance (C) and protein content (D) of DBL



注: D 图中不同字母表示数值间差异显著($P<0.05$); 相同字母表示差异不显著($P>0.05$)。

图 2 不同储藏环境对 DBL 风味(A~C)和感官评分(D)的影响

Fig.2 Effects of different storage environments on flavor (A-C) and overall sensory scores (D) of DBL

表 2 不同环境储藏 DBL 的风味成分及其含量

Table 2 Flavor components and content of DBL stored in different environments

化合物	保留时间 /min	质量浓度/(mg/L)				
		基酒	未经储藏	-10°C	45°C	光照
醛酮类		1441.4±42.3 ^{bc}	1577.8±113.2 ^a	1531.6±43.4 ^{ab}	1384.1±30.0 ^c	1256.4±39.8 ^d
乙醛	0.547	96.1±8.0	57.5±3.4	69.4±1.9	81.3±6.5	63.2±3.3
糠醛	14.125	381.1±17.4	323.4±75.1	375.8±33.6	336.3±17.3	296.9±41.5
苯甲醛	15.736	919.5±50.0	990.7±128.8	894.3±32.3	819.8±13.5	768.3±13.6
2-十一酮	18.066	—	55.5±2.5	51.4±1.1	35.5±8.0	53.2±5.0
苯乙醛	19.071	44.8±9.2	34.5±5.2	26.1±1.8	16.4±3.6	—
大茴香醛	30.879	—	116.3±11.4	114.8±16.1	94.9±11.2	74.9±16.3
酯类		5830.1±273.6 ^b	6389.6±310.5 ^a	5581.4±277.4 ^b	5195.7±202.7 ^{cd}	5048.1±249.5 ^d
乙酸乙酯	1.766	2231.7±114.7	2289.2±207.3	2184.4±117.5	1965.1±70.7	1915.1±60.7
乙酸异戊酯	5.610	284.8±5.5	161.8±6.4	211.8±11.3	264.3±27.5	244.8±22.3
己酸乙酯	8.292	351.8±43.3	399.1±13.0	301.2±40.4	438.9±31.0	472.6±33.0
乳酸乙酯	11.006	428.8±31.4	378.3±31.4	346.5±40.4	217.3±19.9	290.9±12.4
辛酸乙酯	13.452	419.8±54.6	424.1±50.3	313.5±46.1	291.5±9.9	313.6±62.6
壬酸乙酯	16.276	48.7±5.9	88.6±11.0	58.2±19.4	35.2±2.7	35.8±8.0
甲酸辛酯	16.969	135.3±11.2	135.8±10.1	110.2±17.5	120.3±10.6	85.0±7.8
癸酸乙酯	19.262	367.7±46.9	449.5±55.1	350.3±64.2	261.2±44.6	293.2±37.5
硅烷二醇二甲酯	19.779	69.6±6.9	116.1±18.5	101.2±11.8	86.1±21.9	66.1±9.3
安息香酸乙酯	19.910	129.5±7.2	249.6±22.8	118.5±12.1	111.9±14.5	84.5±8.4
丁二酸二乙酯	20.342	36.9±6.0	55.7±12.2	46.8±14.2	49.8±2.4	47.4±4.0
乙酸苄酯	21.810	—	12.9±0.9	8.0±3.4	10.3±2.5	7.0±0.1
十一酸乙酯	22.406	71.6±9.2	62.7±15.3	60.0±8.1	55.6±10.5	57.1±7.0

表 2(续)

化合物	保留时间 /min	质量浓度/(mg/L)				
		基酒	未经储藏	-10℃	45℃	光照
1-苯乙酸乙酯	23.555	110.2±14.2	122.6±22.6	100.3±9.1	135.2±8.7	85.2±18.9
1-乙酸苯乙酯	24.520	368.2±25.2	422.7±18.3	488.2±27.4	441.3±18.4	268.2±18.6
月桂酸乙酯	25.638	154.1±18.4	340.8±55.1	191.0±13.4	215.8±32.7	305.7±58.1
十四酸乙酯	32.083	212.6±35.4	219.7±7.5	222.7±12.6	193.7±10.9	184.8±9.5
十五酸乙酯	35.209	166.2±27.6	170.6±31.8	120.6±26.3	91.1±22.0	145.6±21.9
十六酸乙酯	38.255	172.9±22.4	213.7±16.7	182.6±22.9	155.2±7.7	116.2±5.7
邻苯二甲酸二甲酯	39.006	43.2±14.9	33.4±8.0	32.5±3.4	26.2±4.6	29.8±3.7
邻苯二甲酸二丁酯	48.274	27.0±11.9	43.2±7.4	33.3±3.9	30.1±12.3	—
醇类		4685.6±270.7 ^c	5632.8±354.3 ^b	5803.5±198.2 ^b	6372.8±218.7 ^a	6291.3±223.5 ^a
2-甲基-2-丁醇	4.351	319.3±240.9	405.1±381.6	357.0±97.1	273.3±25.2	323.3±20.3
异丁醇	5.163	782.7±79.1	893.1±73.6	865.1±56.6	935.0±112.4	983.5±112.3
异戊醇	7.784	2706.4±109.4	3087.0±128.8	3425.1±183.0	4026.5±259.8	3900.7±242.2
正己醇	11.37	71.8±12.4	69.8±7.7	57.7±12.4	62.7±12.4	68.2±8.5
芳樟醇	16.624	—	108.9±20.8	118.9±15.6	103.9±5.5	88.9±3.1
正辛醇	16.987	134.1±18.7	128.4±12.8	134.2±7.7	144.1±4.9	167.1±3.8
正壬醇	20.021	67.3±18.2	74.5±12.2	84.2±7.1	89.3±5.2	97.1±3.0
1-癸醇	23.197	75.9±11.3	62.4±6.2	62.4±6.4	54.9±2.5	62.4±6.4
2-苯乙醇	27.597	528.2±51.6	522.2±57.6	427.0±37.6	459.5±23.5	445.5±22.1
喇叭茶醇	28.101	—	159.8±4.8	149.3±12.2	129.6±12.9	110.2±22.2
(+)-雪松醇	33.823	—	117.7±7.7	107.7±10.7	104.6±4.2	94.6±8.5
烯类		302.7±22.0 ^a	326.8±19.1 ^a	289.6±26.9 ^a	251.1±36.1 ^a	329.4±31.6 ^a
苯乙烯	8.976	181.8±15.0	222.7±9.4	206.7±17.2	195.3±27.7	279.8±23.2
4-甲氧基苯乙烯	20.181	120.9±7.1	104.1±9.8	82.9±9.7	55.9±8.5	49.7±8.4
酸类		126.4±16.6 ^c	170.8±21.1 ^b	198.6±17.6 ^b	245.3±19.5 ^a	254.6±24.4 ^a
丁酸	18.889	39.7±9.3	59.6±4.2	69.8±12.7	74.3±7.7	84.8±17.7
辛酸	32.339	44.4±5.5	60.6±4.3	69.5±3.0	73.2±6.4	79.5±7.0
正癸酸	38.683	42.3±9.7	50.6±10.9	59.4±12.0	97.9±7.0	90.4±7.0
酚类		328.8±29.5 ^b	397.4±23.2 ^a	375.6±25.8 ^{ab}	330.1±25.2 ^b	253.6±19.2 ^c
愈创木酚	25.871	67.1±12.7	162.3±22.6	142.2±12.8	101.7±22.5	134.8±17.6
2-甲氧基-4-甲基苯酚	28.866	98.3±28.3	57.0±14.0	51.5±23.5	81.1±17.9	89.1±20.5
4-乙基-2-甲氧基苯酚	31.159	—	62.3±2.6	46.9±7.4	68.0±2.3	—
4-乙基苯酚	35.598	49.2±7.1	43.2±4.6	46.2±2.1	28.5±5.0	29.8±4.0
2,4-二叔丁基酚	39.746	114.3±11.0	72.8±2.5	89.0±5.7	50.9±2.9	—
其他		311.0±19.7 ^c	792.9±47.7 ^a	615.7±55.2 ^{ab}	594.4±48.3 ^b	373.4±25.1 ^c
(2,2-二乙氧基乙基)-苯	21.568	75.9±2.5	123.3±5.2	109.6±5.8	90.6±5.2	82.6±4.0
萘	21.946	235.1±17.2	257.3±5.1	154.4±12.3	149.4±4.6	105.3±4.0
环辛烷	23.196	—	81.8±12.4	71.9±7.4	61.9±9.6	53.1±7.1
1-甲基萘	25.381	—	51.9±4.9	91.3±11.3	43.3±1.2	—
2-甲基萘	26.465	—	105.2±5.4	82.2±2.5	68.7±2.3	68.7±3.8
1,2-二甲氧基-4-乙基苯	26.585	—	81.3±12.6	41.2±7.1	63.9±4.2	63.9±8.0
氰化苄	27.766	—	73.0±9.6	35.9±2.6	85.9±11.7	—
2,6-二甲基萘	29.935	—	19.4±2.7	29.4±6.4	31.1±9.7	—
合计		13154.1±645.1 ^b	15362.4±844.9 ^a	14395.8±594.5 ^{ab}	14298.9±528.5 ^{ab}	13678.5±572.5 ^b

注: —表示无相关数据; 同行不同字母表示数值间差异显著($P<0.05$); 相同字母表示差异不显著($P>0.05$)。

酯、芳樟醇、喇叭茶醇、(+)-雪松醇、4-乙基-2-甲氧基苯酚、环辛烷、1-甲基萘、2-甲基萘、1,2-二甲氧基-4-乙基苯、

氰化苄和 2,6-二甲基萘, 这些风味化合物可能贡献了 DBL 的药香风味。DBL 中风味物质的总含量相比于基酒出现明

显提升($P<0.05$),但储藏 12 周后, DBL 中风味物质总含量呈下降趋势,且光照储藏条件下的减少最为显著($P<0.05$)。与基酒相比,未经储藏 DBL 中醛酮类物质含量明显增加, -10°C 储藏 12 周后,醛酮类物质含量未发生明显变化,但是 45°C 和光照储藏条件下,醛酮类含量均出现明显的下降($P<0.05$)。这表明高温和光照储藏会加速醛酮的氧化过程从而显著降低 DBL 中醛酮类物质的含量。此外,未经储藏的 DBL 中酯类物质含量较高,在不同环境下储藏 12 周后,酯类物质含量均明显下降($P<0.05$),且光照条件下储藏时下降最为显著。未经储藏 DBL 中醇类物质的含量与基酒相比有所增加,储藏 12 周后, -10°C 储藏的 DBL 中醇类物质变化不明显($P>0.05$),而 45°C 和光照储藏条件下 DBL 中醇类物质的含量显著增加($P<0.05$),这可能是由于高温和光照条件下加速了 DBL 中酯类物质的水解,以及添加石斛粉导致酒体中的分子重新排列组合,达到新的平衡状态。DBL 中的酸类物质在储藏过程中均出现增加,而烯类物质变化不明显,酚类物质的含量呈现先增加后减少的趋势。

2.4 不同储藏环境对 DBL 中功效成分含量的影响

如图 3 所示,在 -10°C 、 45°C 和光照条件下, DBL 中 4 种功效成分的含量均呈下降趋势,且下降幅度依次为光照 $>45^{\circ}\text{C}>-10^{\circ}\text{C}$ 。其中,石斛多糖含量在前 6 周下降较快,并在 6 周后趋于平稳, -10°C 、 45°C 和光照条件下石斛多糖含量分别降低 6.5%、9.7% 和 13.6% (图 3A)。DBL 的石斛多酚含量在前 4 周下降较为明显,4 周后达到相对稳定状态,

储藏结束时 -10°C 、 45°C 和光照条件下的石斛多酚含量分别减少 7.2%、11.3% 和 13.7% (图 3B)。在 -10°C 条件下,石斛总黄酮含量在前 6 周下降较为明显,随后趋于平稳, 45°C 和光照条件下石斛总黄酮含量前 4 周下降较快,储藏结束时 -10°C 、 45°C 和光照条件下的石斛总黄酮含量分别降低 14.1%、16.3% 和 18.5% (图 3C)。这与 ZHENG 等^[25]研究储藏过程杨梅酒中总黄酮和多酚含量的变化结果相一致。DBL 中石斛碱含量在前 2 周下降较为明显,随后达到相对稳定状态,储藏结束时 -10°C 、 45°C 和光照条件下石斛碱含量分别降低了 13.0%、15.9% 和 18.3% (图 3D)。综上所述,低温 (-10°C) 储藏更有利于维持 DBL 的功效成分稳定性。

2.5 不同储藏环境对 DBL 抗氧化活性的影响

考察了不同储藏环境对 DBL 抗氧化活性的影响,结果如图 4 所示。在 -10°C 、 45°C 和光照条件下, DBL 对 DPPH 自由基的清除率随储藏时间延长而逐渐下降,储藏 12 周后,其清除率分别降低 5.9%、12.7% 和 26.3%, DBL 中功效成分的析出和酒体中抗氧化成分的分解可能是导致抗氧化能力降低的主要原因。DBL 对 ABTS 阳离子自由基的清除率也呈下降趋势,在 -10°C 、 45°C 和光照条件下的降幅依次为 7.5%、9.9% 和 15.0%。此外, DBL 对铁氰化钾的还原能力也逐渐下降,且经高温和光照储藏的酒体抗氧化能力下降幅度更大,在 -10°C 、 45°C 和光照条件下分别降低了 14.6%、27.4% 和 34.6%。这一结果与胡奇恒^[31]研究葡萄酒抗氧化活性的结果相一致。综上可知,低温 (-10°C) 环境是维持 DBL 抗氧化活性稳定的较优储藏条件。

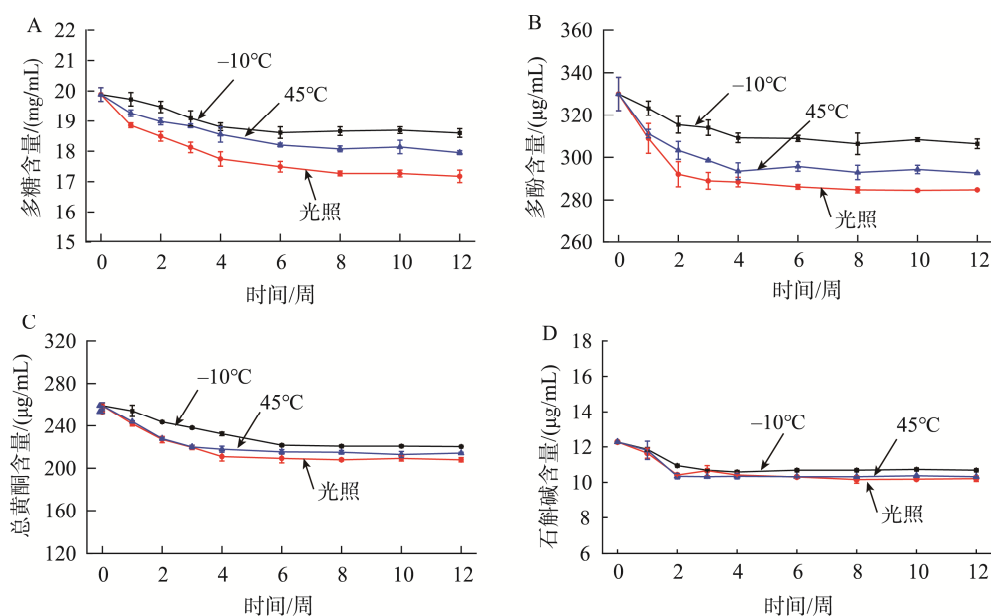


图 3 不同储藏环境对 DBL 中石斛多糖(A)、石斛多酚(B)、石斛总黄酮(C)和石斛碱(D)含量的影响
Fig.3 Effects of different storage environments on content of *Dendrobium* polysaccharides (A), *Dendrobium* polyphenols (B), *Dendrobium* total flavonoids (C) and dendrobine (D) in the DBL

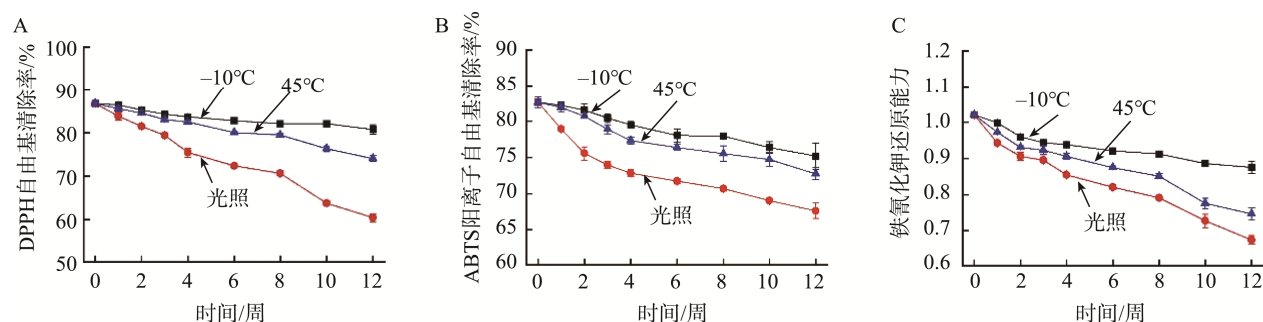


图 4 不同储藏环境对 DBL 清除 DPPH 自由基(A)、ABTS 阳离子自由基(B)能力以及铁氰化钾还原能力(C)的影响

Fig.4 Effects of different storage environments on scavenging ability of DPPH radicals (A) and ABTS cation radicals (B) and reduction ability of potassium ferricyanide (C) by DBL

3 结 论

本研究系统研究不同储藏环境对 DBL 外观、风味、功效成分和酒体抗氧化活性的影响。结果表明低温(-10°C)储藏最有利于保持 DBL 外观、功效成分含量和酒体抗氧化活性的稳定,并且有助于保留药香、减弱糟味。高温(45°C)储藏对维持 DBL 外观、功效成分含量和酒体抗氧化活性的稳定效果较差,但有助于 DBL 整体感官,特别是谐调、劲爽和陈香方面的提升。光照储藏会严重破坏 DBL 外观、风味、功效成分含量和酒体抗氧化活性的稳定,风味成分总含量下降明显。因此选择低温(-10°C)储藏最有利于维持 DBL 的外观、功效成分含量和酒体抗氧化活性的稳定,同时低温(-10°C)储藏有助于药香、酒体风格的向好变化,而谐调感、净爽感会变差,但对 DBL 整体感官影响不明显。本研究为石斛酒等配制酒的货架期理化参数变化提供参考,并为其长期稳定储藏提供指导。

参考文献

- [1] TANG HX, ZHAO TW, SHENG YJ, *et al.* *Dendrobium officinale* Kimura et Migo: A review on its ethnopharmacology, phytochemistry, pharmacology, and industrialization [J]. *Evid-Based Complement Alternat Med*, 2017, 2017(3): 7436259.
- [2] LUO AX, HE XJ, ZHOU SD, *et al.* *In vitro* antioxidant activities of a water-soluble polysaccharide derived from *Dendrobium nobile* Lindl. extracts [J]. *Int J Biol Macromol*, 2009, 45(4): 359–363.
- [3] 孙细珍, 杜佳伟, 黄盼, 等. 现代工艺和传统工艺酿造小曲清香型白酒感官表征及风味成分分析[J]. *食品科学*, 2021, 42(6): 282–290.
- [4] SUN XZ, DU JW, HUANG P, *et al.* Analysis of sensory characteristics and flavor components in light-flavor chinese liquor (Baijiu) made with Xiaoqu starter by modern and traditional technology [J]. *Food Sci*, 2021, 42(6): 282–290.
- [5] LIU YG, YANG LL, ZHANG Y, *et al.* *Dendrobium officinale* polysaccharide ameliorates diabetic hepatic glucose metabolism via glucagon-mediated signaling pathways and modifying liver-glycogen structure [J]. *J Ethnopharmacol*, 2020, 248(C): 112308.
- [6] JIANG W, JIANG B, MANTRI N, *et al.* Comparative ecophysiological analysis of photosynthesis, biomass allocation, polysaccharide and alkaloid content in three *Dendrobium candidum* cultivars [J]. *Plant Omics*, 2014, 7(2): 117–122.
- [7] WANG YJ, JIA N, WANG PY, *et al.* Flavonoid biosynthesis in four *Dendrobium* species based on transcriptome sequencing and metabolite analysis [J]. *Mol Biol Rep*, 2022, 49(3): 2047–2057.
- [8] 张寅, 赵小龙. 铁皮石斛膨化提取物的抗氧化和抗疲劳活性的评价[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(10): 3328–3334.
- [9] ZHANG Y, ZHAO XL. Evaluation of antioxidant and anti-fatigue activity of puffed extracts from *Dendrobium officinale* [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(10): 3328–3334.
- [10] STÉPHANE Q. Understanding wine chemistry [J]. *Angew Chem Int Ed*, 2017, 56(11): 2839–2839.
- [11] GRANT-PREECE P, BARRIL C, SCHMIDTKE LM, *et al.* Light-induced changes in bottled white wine and underlying photochemical mechanisms [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2017, 57(4): 743–754.
- [12] ANA IF, VANDA P, JOÃO ML, *et al.* A simple emulsification-assisted extraction method for the GC-MS/SIM analysis of wine markers of aging and oxidation: Application for studying micro-oxygenation in madeira wine [J]. *Food Anal Method*, 2018, 11(8): 2056–2065.
- [13] MAKHOTKINA O, PINEAU B, KILMARTIN PA. Effect of storage temperature on the chemical composition and sensory profile of Sauvignon blanc wines [J]. *Austral J Grape Wine Res*, 2012, 18(1): 91–99.
- [14] JAMES A, YAO T, KE H, *et al.* Microbiota for production of wine with enhanced functional components [J]. *Food Sci Human Well*, 2023, 12(5): 1481–1492.
- [15] 张久峰. 探寻白酒在货架期感官和理化指标的变化规律[J]. *中国酿造*, 2014, 33(2): 112–114.
- [16] ZHANG JF. Changing rules of sensory and physicochemical indicators in Chinese liquor shelf life [J]. *China Brew*, 2014, 33(2): 112–114.
- [17] 雷良波, 王士超, 胡鹏刚, 等. 酱香型蓝莓利口酒贮存过程中品质稳定性研究[J]. *中国酿造*, 2017, 36(9): 36–40.
- [18] LEI LB, WANG SC, HU PG, *et al.* Quality stability in the storage process of Moutai-flavor blueberry liqueur [J]. *China Brew*, 2017, 36(9): 36–40.
- [19] 汪江波, 蒋祥瑞, 叶成玉, 等. 铁皮石斛配制酒制备工艺优化及其体外抗氧化活性研究[J]. *中国酿造*, 2022, 41(2): 156–163.
- [20] WANG JB, JIANG XR, YE CY, *et al.* Optimization of preparation technology of *Dendrobium officinale* blended liquor and its antioxidant

- activity *in vitro* [J]. China Brew, 2022, 41(2): 156–163.
- [16] 戴立威. 混合菌发酵铁皮石斛酒的工艺优化及其品质研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2017.
- DAI LW. South study on process optimization and quality characteristics of dendrobium candidum wine fermented by lactic-acid producing *Bacillus* sp. and *Saccharomyces cerevisiae* [D]. Guangzhou: China Agricultural University, 2017.
- [17] MAGARINO SP, SANJOSE MG. Physico-chemical parameters justifying the vintage qualifications in wines from Spanish protected designation of origin [J]. Eur Food Res Technol, 2002, 214(5): 444–448.
- [18] ZHOU R, CHEN X, XIA Y, *et al.* Research on the application of liquid-liquid extraction-gas chromatography-mass spectrometry (LLE-GC-MS) and headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry (HS-GC-IMS) in distinguishing the Baiyunbian aged liquors [J]. Int J Food Eng, 2020, 17(2): 83–96.
- [19] LUO AX, GE ZF, FAN YJ, *et al.* *In vitro* and *in vivo* antioxidant activity of a water-soluble polysaccharide from *Dendrobium denneanum* [J]. Molecules, 2011, 16(2): 1579–1592.
- [20] 周广勇, 缪冶炼, 陈介余, 等. 黑大蒜贮藏中主要成分和自由基清除能力的变化[J]. 中国食品学报, 2010, 10(6): 64–71.
- ZHOU GY, MIAO YL, CHEN JY, *et al.* Changes in the main components and free radical scavenging ability of black garlic during storage [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2010, 10(6): 64–71.
- [21] BARROS LC, BOAS L, CARVALHO MV, *et al.* Chemical, biochemical and electrochemical assays to evaluate phytochemicals and antioxidant activity of wild plants [J]. Food Chem, 2011, 127(4): 1600–1608.
- [22] ZHANG ZW, LI JY, FAN LP. Evaluation of the composition of Chinese bayberry wine and its effects on the color changes during storage [J]. Food Chem, 2018, 276: 451–457.
- [23] JAN S, BARBORA P, JOSEF B, *et al.* Effect of storage conditions on various parameters of colour and the anthocyanin profile of rose wines [J]. Int J Food Propert, 2012, 15(5/6): 1133–1147.
- [24] REMY TS, LE GC, MEUDECE E, *et al.* Characterization of a colorless anthocyanin-flavan-3-ol dimer containing both carbon-carbon and ether interflavanoid linkages by NMR and mass spectrometry [J]. J Agric Food Chem, 2003, 51(12): 3592–3597.
- [25] ZHENG XH, ZHANG M, FANG ZX, *et al.* Effects of low frequency ultrasonic treatment on the maturation of steeped greengage wine [J]. Food Chem, 2014, 162: 264–269.
- [26] KUNIO Y, MAKOTO S, TSUYOSHI A. Milk fat globule membrane proteins in aseptically packed ultra-heat-treated milk: Changes during storage [J]. Agric Biol Chem, 2014, 46(3): 823–825.
- [27] 林峰, 白少勇. 黄酒非生物浑浊和沉淀的特点与解决方法[J]. 酿酒科技, 2005, (10): 68–74.
- LIN F, BAI SY. Non-biological turbidity of yellow rice wine & precipitation characteristics & the solutions [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2005, (10): 68–74.
- [28] 蒋祥瑞, 蒋燕明, 张娟, 等. 白酒人工催陈技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(17): 389–396.
- JIANG XR, JIANG YM, ZHANG J, *et al.* Research advances in artificial aging technology of Baijiu [J]. Sci Technol Food Ind, 2021, 42(17): 389–396.
- [29] XIA NY, CHENG HT, YAO XC, *et al.* Effect of cold stabilization duration on organic acids and aroma compounds during *Vitis vinifera* L. cv. riesling wine bottle storage [J]. Foods, 2022, 11(9): 1179–1179.
- [30] 施鹏, 倪书干, 易翔, 等. 玻璃瓶透光性对酒类产品质量的影响[J]. 酿酒科技, 2021, (10): 49–52, 56.
- SHI P, NI SG, YI X, *et al.* Effect of glass bottle transmittance on the quality of alcohol products [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2021, (10): 49–52, 56.
- [31] 胡奇恒. 敞口条件下红葡萄酒稳定性及新型抗氧化剂研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2019.
- HU QH. Study on stability and new antioxidants of red wine under open bottle conditions [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2019.

(责任编辑: 韩晓红 郑 丽)

作者简介

汪江波, 教授, 主要研究方向为传统酿造过程的现代化改造。
E-mail: wangjb117@163.com

徐 健, 博士, 副教授, 主要研究方向为酿酒新工艺、新产品的研发及发酵废弃物的综合利用。
E-mail: xujian0218@126.com