

鱼类保活运输中应激反应诱发因素及其影响研究进展

The inducing factors and effects of stress response in the live transport of fish

吴波^{1,2,3,4} 谢晶^{1,2,3,4}

WU Bo^{1,2,3,4} XIE Jing^{1,2,3,4}

(1. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306; 2. 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306;
3. 上海冷链装备性能与节能评价专业技术服务平台, 上海 201306;
4. 食品科学与工程国家级实验教学示范中心〔上海海洋大学〕, 上海 201306)

(1. Shanghai Ocean University College of Food Science and Technology, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Aquatic Products Processing and Storage Engineering Technology Research Center, Shanghai 201306, China;
3. Shanghai Professional Technology Service Platform on Cold Chain Equipment Performance and Energy Saving Evaluation, Shanghai 201306, China; 4. National Experimental Teaching Demonstration Center for Food Science and Engineering [Shanghai Ocean University], Shanghai 201306, China)

摘要:在分析鱼类运输应激反应的基础上,综合血液生化指标、非特异性免疫细胞、抗氧化功能等,从低氧胁迫、氨氮胁迫、密度胁迫、客观运输条件胁迫、温度胁迫等运输中可能产生不同胁迫的角度,详细综述鱼类保活运输中应激反应诱发因素及其影响。

关键词:鱼类;保活运输;应激反应;因素;影响

Abstract: On the basis of the analysis of fish transportation stress, the blood biochemical indexes, non specific immune cells and antioxidative functions were integrated, and the stress in the transportation of fish was reviewed in detail from different stress angles, such as hypoxia stress, ammonia nitrogen stress, density stress, objective transportation condition stress, temperature stress and so on. The reaction inducing factors and effects in the process of fish live transportation were proposed, in order to provide reference for the circulation and sale of live fish.

Keywords: fish; live transport; stress reaction; factors; influence

鱼体受到各种不利因素刺激后产生非特异性适应性反应则为应激反应^[1]。

鱼类保活运输方法包括:① 有水保活运输,是指在运输

前包装时对活鱼进行预处理如麻醉等方法并降低运输水的温度,通过曝气使水体中含有足够氧气从而提高鱼类存活率^[2-3];② 无水保活运输,是指在活鱼包装前用低温诱导等方式使鱼类进入休眠状态,降低其耗氧量及减缓新陈代谢,并进行无水包装,从而保证鱼类的存活率^[4-5]。在活鱼运输过程中水体污染、振动、包装密度过高、温度变化、运输时间过长等因素均会不同程度地引发鱼类运输应激,从而影响鱼体的机体功能及鱼肉品质。因此,研究鱼类保活运输中应激反应诱发因素,运输过程中鱼类体内血液生化指标和免疫功能的变化情况及运输应激对肉品质的影响,对活鱼流通和销售具有重要意义。

1 运输应激诱发因素

运输应激是指动物在运输途中因受到各应激源如环境变化等刺激后,机体所产生的一系列反应以适应变化^[6]。在鱼类保活运输过程中,鱼类产生应激反应的应激源诸多,如氨氮胁迫、拥挤胁迫、振动胁迫、温度胁迫等,这些均会对保活运输中鱼类的机体功能及肉品质产生不同程度的影响。

1.1 低氧胁迫

氧气在鱼类保活运输过程中起着至关重要的作用,在保活运输过程中,包装内含氧量过低则会对活鱼造成低氧胁迫,发生氧化应激反应,不同程度影响鱼体生长机能、器官组织形态、抗氧化功能、免疫系统等,从而降低鱼类的存活率及鱼肉品质。熊向英等^[7]对鲮幼鱼受到低氧胁迫后生长状态、抗氧化能力等进行了研究,测定其肝脏各项酶活力,结果表明缺氧较严重重组鱼体的各项指标及酶活性指标均显著低于其他组别,低氧胁迫对鲮幼鱼生长、抗氧化能力具有负面影

基金项目:农业部海水鱼产业体系(编号:CARS-47-G26);2016年上海市科技兴农重点攻关项目[编号:沪农科攻字(2016)第1-1号];上海市科委平台能力建设项目(编号:16DZ2280300);上海市科委公共服务平台建设项目(编号:17DZ2293400)

作者简介:吴波,女,上海海洋大学在读硕士研究生。

通信作者:谢晶(1968—),女,上海海洋大学教授,博士。

E-mail:jxie@shou.edu.cn

收稿日期:2018-01-08

响。陈世喜等^[8]以鲟鳇幼鱼为试验对象也做了相关研究,结果表明低氧胁迫会使鲟鳇幼鱼产生氧化应激,抗氧化能力下降,产生病理变化。由此,在鱼类保活运输过程中应增加包装内溶氧量,使鱼类有足够的氧气以供生存,避免低氧胁迫出现,提高鱼的存活率,保证其品质。

1.2 氨氮胁迫

在运输过程中,鱼体的代谢产物及体表黏液是水体中氨氮的主要来源,而氨氮是主要的环境胁迫因子。氨氮因水的pH值、温度不同,分为离子氨和非离子氨,离子氨是一种大的水合离子,极易造成水体浑浊,浊物易堵塞鳃孔,阻碍鱼体正常摄氧;而非离子氨作为脂溶性物质易穿透鱼鳃的脂质性生物膜,对其造成损伤,使鱼体氨中毒,高浓度的氨氮胁迫亦会影响鱼类的生长特性、免疫指标、组织器官以及存活率等^[9-11]。

肖炜^[12]、徐杨^[13]将不同种类的罗非鱼作为研究对象,研究其在氨氮胁迫下生理功能、免疫及代谢的变化,发现氨氮浓度升高会阻碍鱼体生长,白细胞含量显著增加;就酶活性而言,2种鱼的肝脏酸性磷酸酶和碱性磷酸酶均随氨氮浓度的增加呈不同程度的上升趋势,相反,谷丙转氨酶和超氧化物歧化酶活力则显著降低,说明长期氨氮胁迫会一定程度上阻碍鱼类生长,降低其免疫能力和抗应激能力。因此,在鱼类保活运输过程中应多关注并调节氨氮浓度,防止氨氮胁迫给鱼体造成影响,从而提高活鱼存活率,保证活鱼运输的品质。

1.3 密度胁迫

在鱼类保活运输过程中,为了节约运输成本,往往会增加运输量,致使运输过程中鱼体生存环境变差,如含氧量降低,造成密度胁迫,影响鱼体激素水平。当发生密度胁迫时,鱼类内分泌系统中的下丘脑-垂体-肾上腺轴反应系统会调控胁迫,当该轴受到连续刺激时,会引起皮质醇合成与释放,当血液中皮质醇水平长时间上升会导致鱼类的免疫功能受阻,使其抗病能力下降^[14-15]。

运输密度过大会阻碍鱼体正常生长并改变其行为和生理生化状态,降低免疫力,增加患病几率,降低抗应激能力,严重时使鱼类死亡^[16]。陈成勋等^[17]研究半滑舌鳎在密度胁迫下各项血液指标的变化,发现活性氧中的过氧化氢等非自由基物质大量产生,使鱼体抗氧化能力下降,胆固醇在试验进行4~12 h升高随后恢复正常,该变化使其生理紊乱但最终恢复正常;试验开始3 h后血糖升高,试验结束时并未恢复到最初水平但有下降趋势,总蛋白及酶活性均逐渐升高,鱼体肝脏受到损伤,结果表明密度胁迫会短时间影响半滑舌鳎的生理机能。Liu等^[18]研究了密度胁迫对大菱鲆幼鱼离子调节和免疫相关基因表达的交互作用,检测免疫相关基因的生化指标和mRNA水平,结果表明,在密度胁迫下大菱鲆体内离子稳态和免疫状态受到不利影响。此外,Veisethkent等^[19]也以大西洋鲑鱼为研究对象,研究在装载密度过大的条件下其肌肉和血浆蛋白的变化,结果表明,过度拥挤会影响大西洋鲑鱼体内组织代谢。由以上各项试验研究可见,密

度胁迫对鲜活鱼类各项血液生化指标、免疫状态、组织代谢均产生了不同程度的影响,虽短时间密度胁迫影响最终能得到缓解,但仍应尽量减少或避免密度胁迫的发生,以更好地保证鱼类存活率及品质。综上可知,密度胁迫对鱼类不利,若长时间远距离鱼类活运应尽量减少或避免运载密度过大。

1.4 客观运输条件胁迫

鱼类保活运输方式多为陆路运输和水路运输,在运输过程中鱼类会受到颠簸,对其机体造成机械损伤,从而影响品质和存活率^[20-21]。

陆路运输时,因道路级别、车辆性能、车速等不同会导致运输车颠簸程度不同,而运输过程中的振动频率和加速度会影响鱼体^[22]。目前,关于陆路运输客观条件胁迫对鱼类影响的研究极少,大多数研究只是在试验中模拟路况的好坏,并对鱼体受到颠簸后引起机体内各项生理生化指标的变化进行研究。Hur等^[23]对鲈鱼进行振动胁迫试验,该试验分成3组,分别置于不同强度的电振动器中振动并在振动后的第1、3、5、7、9、11天取血清测定皮质醇、谷草转氨酶、谷丙转氨酶等指标,研究结果显示血液中皮质醇、谷草转氨酶和谷丙转氨酶水平持续升高,说明振动胁迫使鲈鱼生理上表现出典型的应激反应,对鲈鱼造成了负面影响,说明振动胁迫对鲈鱼血液学特性有显著影响。

水路运输时,船载有其特殊性,尤其是发动机以及船面设备的正常工作会产生大量的噪声和颠簸,大量研究显示环境中噪声会对鱼类生理生化、血清、血糖等指标产生影响^[24-26]。张宇雷等^[27]研究鱼类在船载振动条件下的应激反应,将斑石鲷置于不同频率振动条件下,观察其血液和生化指标变化,研究显示,30 Hz条件下振动5 min斑石鲷皮质醇和肾上腺素显著升高,说明机体通过神经作出适应性反应;长时间振动(如振动60 min)使斑石鲷皮质醇和肾上腺素指标显著升高且水质有所变化,水体内氨氮浓度上升,说明长时间振动会使斑石鲷产生应激反应。

1.5 温度胁迫

鱼类保活运输中,合适的生存环境温度对鱼类的存活率及品质的保证起着至关重要的作用,当温度发生突变时,则会产生温度胁迫,温度骤降则为低温胁迫,温度骤升则为高温胁迫。由于鱼的种类不同,其最适生存温度也有所不同,温度突变会对鱼类生理生化指标产生影响,从而引发应激反应。

1.5.1 低温胁迫 研究鱼类耐寒机理最重要的方法为低温胁迫。在活鱼保活运输过程中因运输地域及季节等环境的不确定性使其所处环境温度无法控制,温度骤降会使鱼类内环境失衡,使鱼体受到胁迫,出现应激反应。低温胁迫会影响鱼体摄食、生长、形体、肌肉组织、血清学指标、抗氧化酶活力等,其中,反应动物在应激状态下代谢水平和机体组织状态变化最重要的指标即为血清学指标^[28]。Shi等^[29]将石斑鱼的水温从17℃分别迅速降至9、13℃,低温胁迫7 d,结果表明随着低温胁迫强度和时间的增加,碱性磷酸酶、谷草转氨酶和乳酸脱氢酶活性显著升高,说明低温胁迫会降低石斑

鱼机体免疫力和抗氧化能力。谢妙^[30]将水温分别为 30, 25, 20 °C 中的斜带石斑鱼以 1 °C/24 h 降温速率降至 17 °C, 低温胁迫 15 d, 研究发现各组石斑鱼体重、肥满度、肝体指数、脏体指数均下降, 且试验后 30 °C 组因温度突变率最高, 其血清蛋白含量显著低于其他组, 谷丙转氨酶、谷草转氨酶活性显著高于其他组, 说明低温胁迫会引发强烈应激反应, 并影响石斑鱼生理生化指标。由此可见低温胁迫会给鱼类造成一定的应激反应, 但应激反应程度由许多因素决定, 在鱼类保活运输过程中应尽量避免温度骤降的情况发生, 若无法避免则尽量降低低温胁迫强度和时长, 从而使其对鱼体的影响降至最低。

1.5.2 高温胁迫 高温胁迫是指温度骤升引起鱼体发生一系列生理变化, 打破鱼体内环境稳态, 使鱼体产生应激反应。高温胁迫会影响鱼类血清生化指标及血清酶指标, 主要包括血液葡萄糖浓度、糖原含量、在氨基酸代谢中具有催化作用的转氨酶、会随环境变化而变化的碱(酸)性磷酸酶^[31-32]等。邵彦翔等^[33]研究石斑鱼在 25, 29, 33, 36 °C 条件下的血清生化指标, 结果表明石斑鱼高温半致死温度为 37.9 °C, 且随着高温胁迫时间的延长和温度的增加, 各项指标略有波动, 说明高温胁迫会使鱼类产生较弱应激反应。李庆昌等^[34]对大黄鱼进行突变高温胁迫试验, 将 23 °C 水温骤升至 33 °C, 高温胁迫 2 h, 结果表明高温胁迫下大黄鱼血清皮质醇、血糖及乳酸含量显著升高, 呼吸加快, 游动剧烈, 应激反应强烈, 并陆续死亡。说明高温胁迫会使鱼类产生应激反应, 高温胁迫时间过长、温度过高均不利于鱼类存活, 因而在鱼类保活运输过程中, 应避免高温胁迫出现, 给鱼类一个适宜且稳定的运输温度。

2 应激反应对鱼体生理功能的影响

2.1 应激反应影响鱼类血液生化指标

在鱼类保活运输过程中, 研究运输应激对鱼类的影响时, 血液生化指标是一个重要的研究内容, 血液生化指标研究主要包含血液激素水平、血清中酶含量和代谢产物三方面^[35]。其中, 皮质醇被认为是评价鱼类应激状态的重要应激激素指标。田兴等^[36]将黄颡鱼置于 10.4~11.2 °C 下运输 4 h, 结果显示黄颡鱼血清皮质醇、血糖浓度、超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶均显著升高, 但运输结束后有恢复趋势。Pilinkovskij 等^[37]以大西洋鲟鱼幼鱼为研究对象, 发现运输过程中大西洋鲟鱼的红细胞、血红蛋白均显著增高, 但运输后各项血液指标均有恢复趋势。以上研究表明, 在运输过程中运输应激会使鱼类血液指标有显著变化, 短时间运输应激产生的变化可逐渐恢复, 但若影响产生时间过长则会造造成不可逆伤害。

2.2 应激反应影响鱼类非特异性免疫细胞

在研究鱼类保活运输中应激反应对鱼类机体的影响时, 研究其对鱼类非特异性免疫细胞的影响至关重要。鱼类免疫功能的降低将直接导致各种疾病的发生, 主要通过研究鱼类的外周血细胞、头肾巨噬细胞等细胞, 分析检测血清皮质醇等指标, 从而研究应激反应对鱼类非特异性免疫细胞的影

响。其中, 血清溶菌酶活性降低, 鱼类免疫能力下降, 因此血清溶菌酶活性高低是研究免疫力的重要指标^[38]。因而, 研究鱼类非特异性免疫细胞是基础, 能从根源防止其免疫系统受到损伤。

薛宝贵等^[39]以黄姑鱼幼鱼为研究对象, 研究密度胁迫对其非特异性免疫的影响, 结果显示随着密度的增加, 血清溶菌酶活性逐渐下降, 说明密度胁迫会降低黄姑鱼幼鱼的免疫能力。刘小玲^[40]也研究了运输应激对鱼类非特异性免疫细胞的影响, 研究表明运输应激抑制黄颡鱼成鱼外周血白细胞吞噬的功能, 头肾吞噬细胞的结构和功能逐渐衰退, 一定程度上降低了其免疫功能。由此可见, 随着应激反应的发生, 鱼类非特异性免疫细胞功能逐渐衰退, 影响了鱼类正常免疫功能, 应从根源入手防止鱼类免疫系统受到损伤。

2.3 应激反应影响鱼类抗氧化功能

鱼体具有抗氧化防御系统, 其主要由各种抗氧化酶类及抗氧化物质谷胱氨肽组成, 可维持鱼体内自由基平衡。若应激强度过强或时间过长, 使自由基大量产生, 机体组织因承受过大清除压力而受到严重损伤, 则机体抗氧化水平随之降低, 多余自由基无法及时清除, 使其平衡被打破^[41-42]。高金伟等^[43]研究运输应激对刀鲚肝脏抗氧化指标的影响, 结果显示运输应激可以明显降低肝脏过氧化氢酶的活性, 丙二醛含量显著升高, 表明运输应激降低了机体的抗氧化能力。谢明媚等^[44]对运输中银鲈幼鱼进行胁迫试验, 诱发运输应激, 发现肝脏和血清中的超氧化物歧化酶、过氧化氢酶活性均先上升后下降, 丙二醛含量随着时间的延长呈先下降后上升的趋势, 表明急性温度胁迫对银鲈鱼幼鱼肝脏造成了一定的损伤, 并对其抗氧化能力产生了一定的影响。由此可见, 运输应激在一定程度上会降低鱼类抗氧化能力, 使其机体受到不同程度损伤, 在鱼类活运中应减少各类应激源的发生, 使鱼类机体内环境保持平衡, 维持其抗氧化能力。

3 展望

保活运输一直以来都是鱼类流通的重要环节。运输过程中鱼体会受到温度胁迫、密度胁迫、振动胁迫、氨氮胁迫等多方面因素的影响, 产生运输应激反应, 因各类胁迫程度和时间长短不同, 会不同程度地影响鱼类的血液生化指标、免疫功能及抗氧化功能。在今后的研究中, 就运输应激诱发因素而言, 应根据不同鱼类不同运输时间的要求分别研究其运输工艺, 分析诱发应激的因素, 并通过大量试验数据分析改善运输工艺, 从而尽可能地降低对鱼类生理生化指标、免疫功能、抗氧化功能的负面影响; 同时亦可从鱼类机体出发, 研究其血液或组织器官内优势酶类, 使鱼类自身维持内环境稳定, 双向研究可更好地保证鱼类保活运输, 提高其品质。此外, 运输后因运输工艺的不同对鱼类食用风味的影响也值得研究。

参考文献

- [1] MOBERG G P, MENCH J A. 动物应激生物学[M]. 卢庆萍, 张宏福, 译. 北京: 中国农业出版社, 2005: 10-11.

- [2] IWAMA G K, PICKERING A D, SUMPTER J P, et al. Fish stress and health in aquaculture[M]. London: Cambridge University Press, 2011: 35-72.
- [3] POPOVIC N T, STRUNJAK-PEROVIC I, COZ-RAKOVAC R, et al. Tricaine methane-sulfonate (MS-222) application in fish anaesthesia[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2012, 28(4): 553-564.
- [4] 张成林, 管崇武, 张宇雷. 鲜活水产品主要运输方式及发展建议[J]. 中国水产, 2016(11): 106-108.
- [5] 刘骁, 谢晶, 黄硕琳. 鱼类保活运输的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(8): 255-260.
- [6] 谢京君, 李前勇, 张德志, 等. 运输应激对动物机体影响的研究现状[J]. 四川畜牧兽医, 2014, 41(1): 35-37.
- [7] 熊向英, 黄国强, 彭银辉, 等. 低氧胁迫对鲮幼鱼生长、能量代谢和氧化应激的影响[J]. 水产学报, 2016, 40(1): 73-82.
- [8] 陈世喜, 王鹏飞, 区又君, 等. 急性和慢性低氧胁迫对卵形鲳鲹幼鱼肝组织损伤和抗氧化的影响[J]. 动物学杂志, 2016, 51(6): 1 049-1 058.
- [9] FOTEDAR S, EVANS L. Health management during handling and live transport of crustaceans; a review[J]. Journal of Invertebrate Pathology, 2011, 106(1): 143-152.
- [10] ISLAM M N, HOSSAIN M A. Mortality Rate of fish seeds (labeorohita) during traditional transportation system in the northwest bangladesh[J]. Journal of Scientific Research, 2013, 5(2): 383-392.
- [11] IP Y K, CHEW S F. Ammonia production, excretion, toxicity, and defense in fish; a review[J]. Frontiers in Physiology, 2010, 1(1): 134-140.
- [12] 肖炜, 李大宇, 徐杨, 等. 慢性氨氮胁迫对吉富罗非鱼幼鱼生长、免疫及代谢的影响[J]. 南方水产科学, 2015, 11(4): 81-87.
- [13] 徐杨, 肖炜, 李大宇, 等. 慢性氨氮胁迫对尼罗罗非鱼幼鱼生长及生理功能的影响[J]. 南方农业学报, 2015, 46(2): 327-331.
- [14] 于森. 拥挤胁迫对鱼类影响研究进展[J]. 安徽农业科学, 2008(3): 1 078-1 080, 1 082.
- [15] 周显青, 孙儒泳, 牛翠娟. 应激对水生动物生长、行为和生理活动的影响[J]. 动物学研究, 2001(2): 154-158.
- [16] 徐贺, 王桂芹, 陈秀梅, 等. 拥挤胁迫对水生生物影响的研究进展[J]. 中国饲料, 2015(19): 9-12, 19.
- [17] 陈成勋, 邢克智, 孙学亮. 急性拥挤胁迫对半滑舌鳎血液指标的影响[J]. 华北农学报, 2011, 26(1): 229-233.
- [18] LIU Bao-liang, RUI Jia, HUANG Bin, et al. Interactive effect of ammonia and crowding stress on ion-regulation and expression of immune-related genes in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) [J]. Marine & Freshwater Behaviour & Physiology, 2017(50): 179-194.
- [19] VEISETHKENT E, GROVE H, FÆRGESTAD E M, et al. Changes in muscle and blood plasma proteomes of Atlantic salmon (*Salmo salar*) induced by crowding[J]. Aquaculture, 2010, 309(1): 272-279.
- [20] 曾媛媛, 王锡昌, 周然, 等. 运输振动对哈密瓜贮藏品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(3): 141-144, 148.
- [21] 张哲, 张治权, 毛力, 等. 运输过程中机械振动对猕猴桃贮藏品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(1): 104-109.
- [22] 邓红雨, 郑立, 范佳英, 等. 动物运输应激源与应激反应影响因素研究进展[J]. 家畜生态学, 2015, 36(5): 81-88.
- [23] HUR J W, KIM D H, LEE J Y. Physiological responses to three different levels of vibration stress in catfish, *silurusasotus*[J]. Ecology and Resilient Infrastructure, 2015, 2(4): 337-344.
- [24] CELI M, FILICIOTTO F, MARICCHIOLO G, et al. Vessel noise pollution as a human threat to fish: assessment of the stress response in gilthead sea bream (*Sparusaurata*, Linnaeus 1758)[J]. Fish Physiology & Biochemistry, 2016, 42(2): 631-641.
- [25] 王利娟. 大口黑鲈保活运输的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2015: 22-23.
- [26] 张饮江, 黎臻, 谢文博, 等. 金鱼对低温、振动胁迫应激反应的试验研究[J]. 水产科技情报, 2012, 39(3): 116-122.
- [27] 张宇雷, 管崇武. 船载振动胁迫对斑石鲷影响实验研究[J]. 渔业现代化, 2017, 44(3): 29-34.
- [28] 彭士明, 施兆鸿, 李杰, 等. 运输胁迫对银鲱血清皮质醇、血糖、组织中糖元及乳酸含量的影响[J]. 水产学报, 2011, 35(6): 831-837.
- [29] SHAO Yan-xiang, CHEN Chao, LI Yan-lu, et al. Effects of low-temperature stress on serum biochemical parameters and metabolic enzyme activity in juvenile *Epinephelus moara* [J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34(8): 2 222-2 228.
- [30] 谢妙. 低温胁迫对斜带石斑鱼生理、生化、脂肪酸的影响[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2012: 27-29.
- [31] REN M, LIU B, HABTE-TSION H M, et al. Dietary phenylalanine requirement and tyrosine replacement value for phenylalanine of juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala* [J]. Aquaculture, 2015, 442: 51-57.
- [32] YANG Qi-hui, TAN Bei-ping, DONG Xiao-hui, et al. Effects of different levels of *Yucca schidigera* extract on the growth and nonspecific immunity of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and on culture water quality [J]. Aquaculture, 2015, 439: 39-44.
- [33] 邵彦翔, 陈超, 张廷廷, 等. 高温胁迫对2种杂交石斑鱼存活率及血清生化指标的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2017, 37(6): 1-7.
- [34] 李庆昌, 陈小明, 刘贤德. 突变高温胁迫对大黄鱼血清生理指标的影响[J]. 渔业研究, 2016, 38(6): 437-444.
- [35] PEÑA F, AVILÉS C, DOMENECH V, et al. Effects of stress by unfamiliar sounds on carcass and meat traits in bulls from three continental beef cattle breeds at different ageing times[J]. Meat Science, 2014, 98(4): 718-725.
- [36] 田兴, 马玲巧, 李大鹏, 等. 运输对养殖黄颡鱼血液生化和肌肉物性分析指标的影响[J]. 淡水渔业, 2016, 46(3): 87-91, 98.
- [37] PILINKOVSKIJ A, VOSYLIEN M Z, KAZLAUSKIEN N, et al. Hematological effects of transportation stress on Atlantic sturgeon *Acipenser oxyrinchus Mitchill L. 1815* [J]. Journal of Applied Ichthyology, 2017(4): 1 021-1 023.

(下转第 203 页)

表3 对比试验结果

Table 3 Results of comparison experiments

试验号	初始 pH	温度/℃	接种量/%	含糖量/(g·L ⁻¹)	pH _{max}	总酸度/(g·L ⁻¹)
0(未接种)	3.00	20	0	3.9	3.01	11.93
2(B ₂ C ₂ A ₁ D ₂)	3.00	20	4	10.9	3.19	9.26
y(B ₂ C ₂ A ₃ D ₃)	3.00	20	8	20.9	9.92	

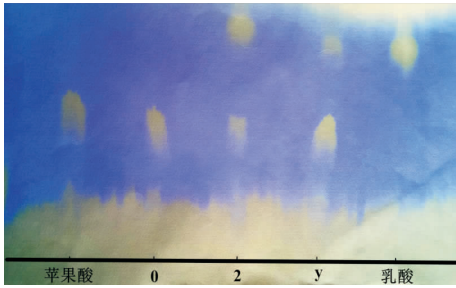


图5 对比试验纸层析图

Figure 5 Paper chromatography picture of comparative experiment

10.7 g/L。在此工艺条件下,MLF 启发顺利,pH 升高 0.19 ± 0.05 ,总酸度降低(2.67 ± 0.10) g/L,使山葡萄酒尖酸口感有一定程度的改善。

通过查阅资料和试验^[9-10]发现苹果酸—乳酸发酵降酸幅度有限,一般为 2~3 g/L,山葡萄酒酸度大,起始 pH 值低,一般在 2.85~2.95,仅利用苹果酸—乳酸发酵降酸难以降到适宜酸度。山葡萄酒的降酸应采用物理降酸、化学降酸和生物降酸 3 种方法相结合。从菌种选育方面,进一步加强生物降酸菌种的选育,选育耐酸、代谢苹果酸能力强的菌株,能够将苹果酸转化为乙醇等非酸性产物^[11-12]。降低山葡萄酒中酸味尖刻的苹果酸含量,改善山葡萄酒酸味,提高山葡萄酒适口性和质量,是今后努力的方向。

参考文献

[1] 崔长伟,刘丽媛,王华,等. 山葡萄综合开发利用研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(13): 276-282.

[2] 宋润刚,路文鹏,张庆田,等. 酿造冰红山葡萄酒新品种北冰红的区域试验[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2014, 4(3): 25-29.

[3] BOUIX M, GHORBAL S. Rapid assessment of *Oenococcus oeni* activity by measuring intracellular pH and membrane potential by flow cytometry, and its application to the more effective control of malolactic fermentation[J]. International Journal of Food Microbiology, 2010, 20(16): 64-72.

[4] 李瑞国,韩焯,周志江. 葡萄酒苹果酸乳酸发酵研究进展[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(8): 228-233.

[5] LI Nan, DUAN Jin-ting, GAO Da-wei, et al. Mutation and selection of *Oenococcus oeni* for controlling wine malolactic fermentation[J]. European Food Research and Technology, 2014, 240(1): 93-100.

[6] RUIZ P, IZQUIERDO P, SESENA S, et al. Malolactic fermentation and secondary metabolite production by *Oenococcus oeni* strains in low pH wines [J]. Journal of Food Science, 2012, 77(10): 579-585.

[7] 金刚. 苹果酸—乳酸发酵细菌的多样性及其耐酒精分析[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2015: 66-71.

[8] 彭传涛,贾春雨,文彦,等. 苹果酸—乳酸发酵对干红葡萄酒感官质量的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 2(14): 261-268.

[9] 何翠婵. 微生物降酸技术在青梅汁中的应用[D]. 广州: 华南理工大学, 2014: 33-42.

[10] 熊健,何翠婵,林伟锋,等. 植物乳杆菌在青梅汁中的生长及苹果酸乳酸发酵特性研究[J]. 现代食品科技, 2013, 29(12): 2850-2854, 2914.

[11] 刘东旭,高鹏飞,丁玉萍,等. 东北山葡萄酒 MLF 乳杆菌最佳培养基的筛选[J]. 佳木斯大学学报: 自然科学版, 2017, 35(6): 996-1000.

[12] 高鹏飞,丁玉萍,刘东旭,等. 工艺条件对寒地东北山葡萄酒生物降酸的影响探究[J]. 中国酿造, 2016, 35(12): 90-93.

[13] IZQUIERDO P, GARCIA E, MARTINEZ J L, et al. Selection of lactic bacteria to induce malolactic fermentation in red wine of cv. Cencibel[J]. Vitis, 2015, 43(3): 149-153.

(上接第 172 页)

[38] 廖雅丽,张晨捷,彭士明,等. 盐度对云纹石斑鱼抗氧化酶及溶菌酶活性的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2016, 25(2): 169-176.

[39] 薛宝贵,楼宝,徐冬冬,等. 密度胁迫对黄姑鱼幼鱼生长、代谢及非特异性免疫的影响[J]. 渔业科学进展, 2013, 34(2): 45-51.

[40] 刘小玲. 应激对黄颡鱼非特异性免疫细胞的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006: 33-35.

[41] 马艺丹,刘红,廖小伟,等. 神秘果种子多酚超声双水相复合提取工艺及其抗氧化活性[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 173-178.

[42] 徐燕燕,孙杰,陈雅卉. 莲藕多酚浸提工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 128-132.

[43] 高金伟,杜富宽,顾若波,等. 运输应激对刀鲚生理生化指标和 HPI 轴基因表达影响及甘草甜素的作用[J]. 上海海洋大学学报, 2015, 24(6): 817-825.

[44] 谢明媚,彭士明,张晨捷,等. 急性温度胁迫对银鲳幼鱼抗氧化和免疫指标的影响[J]. 海洋渔业, 2015, 37(6): 541-549.