

赵擎豪, 王升楠, 杜国荣, 等. 葡萄酒涩感物质及其评价研究进展 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(8): 426–432. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040215

ZHAO Qinghao, WANG Shengnan, DU Guorong, et al. Research Progress on the Astringency Substances and Evaluation of Wine[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(8): 426–432. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040215

· 专题综述 ·

葡萄酒涩感物质及其评价研究进展

赵擎豪¹, 王升楠¹, 杜国荣², 赵鹏涛^{1,3,4}, 成晨亚琼¹, 曹晓蒙¹, 刘 慧¹, 王晓宇^{1,3,4,*}

(1. 陕西师范大学食品工程与营养科学学院, 陕西西安 710119;

2. 西安文理学院生物与环境工程学院, 陕西西安 710065;

3. 西部果品高值利用教育部工程研究中心, 陕西西安 710119;

4. 国家苹果加工技术研发专业中心, 陕西西安 710119)

摘 要: 葡萄酒的涩感一直是葡萄酒研究的热点话题, 并由此演化成了涩感的研究体系。在涩感研究体系中, 有关葡萄酒中的涩感物质的定性定量方法多样, 但缺乏对方法适用性的探讨, 使得研究者在使用方法时存在方法的误用。此外, 关于涩感研究的文献多是介绍涩感的研究成果, 缺乏对体系的诠释。本文在总结葡萄酒中多酚类物质的基础上, 阐明了涩感物质的分析方法, 并进一步深入总结了有关涩感的研究体系, 探讨了未来葡萄酒涩感的研究方向。

关键词: 葡萄酒, 多酚, 单宁, 涩感, 分析方法, 综合评价

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)08-0426-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040215



本文网刊:

Research Progress on the Astringency Substances and Evaluation of Wine

ZHAO Qinghao¹, WANG Shengnan¹, DU Guorong², ZHAO Pengtao^{1,3,4}, CHENG Chenyaqiong¹,
CAO Xiaomeng¹, LIU Hui¹, WANG Xiaoyu^{1,3,4,*}

(1. School of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China;

2. School of Biological and Environmental Engineering, Xi'an University, Xi'an 710065, China;

3. Engineering Research Center of High Value Utilization of Western China Fruit Resources,
Ministry of Education, Xi'an 710119, China;

4. National Research & Development Center of Apple Processing Technology, Xi'an 710119, China)

Abstract: The astringency of wine has always been a hot topic in wine research, and a variety of research methods have evolved from it. In the astringency research system, there are various qualitative and quantitative methods related to the astringency substances in wine, but the lack of discussion on the applicability of the method has caused researchers to misuse the method when using the method. In addition, the literature on the sense of astringency mostly introduces the research results of the sense of astringency, and lacks the interpretation of the system. On the basis of summarizing the polyphenols in wine, this article clarifies the analysis method of astringency, and further summaries the research system of astringency, and discusses the future research direction of astringency in wine.

Key words: grape wine; polyphenols; tannins; astringency; analysis method; comprehensive evaluation

涩感是植物中含有的一些次生代谢产物在人的口腔中引起的粗糙、干燥、起皱、颗粒感和收敛感的

复杂感觉^[1]。在主流的三类饮料(茶、咖啡和酒)中, 葡萄酒因具有丰富的涩感体验成为世界上广受欢迎

收稿日期: 2021-04-26

基金项目: 陕西省重点研发计划(2020ZDLNY05-08); 西安市农业项目(20193041YF029NS029)。

作者简介: 赵擎豪(1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 葡萄酒化学, E-mail: 1721354328@qq.com。

* 通信作者: 王晓宇(1979-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 葡萄酒化学, E-mail: wangxiaoyu@snnu.edu.cn。

的饮料。高品质葡萄酒具有的均衡和细腻的涩感会给品酒者带来愉悦的享受,但由于葡萄酒会受到原料、酿造工艺和贮藏条件等因素的影响,使得葡萄酒中有关涩感的物质发生变化,最终导致酒的品质变化^[2-5]。

葡萄酒涩感的研究思路主要是对涩感物质的分析和口腔模型的建立,从而预测涩感。在对涩感物质的分析中,一类涩感物质的测定可能会对多种方法手段,但并不是所有的研究手段都适用在涩感相关的研究中。由于现有文献缺乏对涩感物质测定方法特点的总结评价,导致很多研究者在使用的方法上存在误用。为了便于在未来研究葡萄酒涩感时选用合适的方法,本文将对涩感物质研究和研究体系进行总结,指出各个方法在研究葡萄酒涩感中的优缺点,为进一步研究葡萄酒涩感提供理论依据。

1 葡萄酒中的涩感物质

葡萄酒中的涩感物质主要指多酚或者单宁^[6]。依据 Li 等^[7-8]的分类方法(表 1),葡萄酒中的酚类物质分为类黄酮和非类黄酮两大类。葡萄酒的总酚含量约在 1500~3000 mg/L 之间,且总酚的含量受原料和酿酒工艺影响大。众多的酚类物质中,能引起葡萄酒涩感的主要物质就是单宁,且不同的单宁的涩感贡献不同^[9]。现有的研究表明,葡萄酒中的缩合单宁是影响涩感的主要物质,但过高的聚合度反而会使单宁发生沉淀,降低涩感^[10]。事实上,葡萄酒的 pH、酒精度、酚酸、乙醛、温度等,都会对葡萄酒的涩感产生一定程度的影响^[11]。

单宁依据化学结构的不同,分为缩合单宁和水解单宁。缩合单宁又称原花青素,是由黄烷-3-醇单体不同程度的聚合产生,而黄烷-3-醇单体具有苦味,在形成缩合形式后苦味下降,涩感升高。葡萄籽中的原花青素聚合度为 4.7~17.4,葡萄皮来源的原花青素聚合度为 9.3~73.8^[12]。Scollary 等^[13]认为原花青素聚合程度小于 7 之前,涩感随着聚合程度增加而增大,随后出现涩感降低。在橡木桶陈酿期间,橡木中的鞣花单宁会转移到酒体中,赋予酒以更丰富的口感体验^[14]。缩合单宁的口感是干燥、收敛的涩感,低浓度水解单宁的涩感则更加柔和。

除了单宁可以引起涩感外,酒中的花色素也可以产生涩感。Singleton 等^[15]将酒中的单宁和花色素

片段分离后,通过感官实验证实了葡萄酒中花青素也会产生涩感,且两者都具有苦味。受限于现有对多酚的分离纯化方法,导致对花色素引起的涩感研究很少。

2 葡萄酒中涩感物质的结构分析

单宁的聚合度和亚基组成会对涩感有很大的影响。现有对聚合度的检测方法有两种(苄硫醇法和间苯三酚法)^[16]。亲核试剂在催化裂解缩合单宁后,释放出末端单元(黄烷-3-醇单体)和延伸单元(黄烷-3-醇衍生物),通过液相色谱分离后,计算聚合度。间苯三酚法和苄硫醇法都有广泛的应用,但苄硫醇试剂具有较大的刺激味,使用时需在通风橱使用,且需要单独存放。间苯三酚方法相较于苄硫醇方法出现的时间较晚,此方法的优势是不会产生较大刺激味并且更容易从 2,3-反式黄烷-3-醇延伸亚基中生成 3,4-反式加合物。两种方法都具有较好的准确性和重现性。等温微量量热法(ITC)可以通过测定单宁与其他大分子物质之间反应导致的热力学参数变化来间接表征单宁的结构。Jennifer 等^[17]在 ITC 基础上提出利用高效液相色谱法测定单宁活性,为进一步研究单宁构像变化提供了新的方法。单宁活性是研究单宁和大分子物质疏水性表面相互作用的热力学性质,其与单宁和蛋白质等其他大分子结构的非共价结合能力有关,活性大小与收敛性强弱有关^[18-19]。

受限于现有的分离方法,上述结构分析方法都是对涩感混合物作宏观分析,不能得出单宁的具体信息,聚合度反映的是单宁的平均聚合度,不能说明寡聚体或者高聚体的含量多少;ITC 和单宁活性都是研究单宁的热力学性质,结果能间接反映单宁的性质,却不能直接对单宁进行表征。单宁的定性研究需要有纯度较高的标准品,在现有的分离纯化方法中,固相分离柱、大孔树脂和色谱技术的应用最为广泛^[20]。国内外对于葡萄酒中单宁的分离只能达到对聚合度低于 5 的单宁的分离,而只有聚合度低于 2 及以下的单宁的纯度可以达到 95% 以上^[21]。现有对单宁的性质研究仍然是停滞在对一类复杂的混合物的探索,上述所有的定性方法所反映的结果都是混合物所表现的整体性质。为了能更直观的了解涩感物质的结构,质谱技术和核磁共振技术为涩感物质的定性提供了新的技术手段,并且对样品的纯度要求不高。葡萄酒研究中最常用的质谱技术是离子阱、三重串联四

表 1 葡萄酒中多酚分类
Table 1 Classification of polyphenols in wine

葡萄酒中多酚		分类	
类黄酮	酚酸	羟基苯甲酸 羟基肉桂酸	没食子酸、香草酸、丁香酸、原儿茶酸、水杨酸、龙胆酸、 咖啡酸、香豆酸、阿魏酸、芥子酸
	芪类		反式白藜芦醇、葡萄素
	黄烷-3-醇	单体形式 聚合物形式	儿茶素、儿茶酸、表儿茶素、表儿茶素 缩合单宁(原花青素、花翠素)
非类黄酮	黄酮醇		槲皮素、杨梅酮、山奈酚、异鼠李糖、西伯利亚落叶松黄酮
	花青素		花青色素、飞燕草素、锦葵色素、芍药素、矮牵牛色素

极杆以及四极杆飞行时间质谱仪^[22]。质谱技术是依据解离后不同的质荷比定性单宁物质,但不能检测痕量物质,所以新涩感物质的发掘仍然需要高分辨率的质谱技术。核磁共振技术利用氢核质子在磁场下的偏转运动变化来研究单宁结构变化,在研究单宁结构和探讨反应机制时具有广泛应用。核磁共振图谱能够得到有机物分子构架最直接的信息以及相互作用的有机物质之间的结合特征,但由于其对样品的纯度要求高于质谱,也限制了其发展。

3 涩感物质的定量方法评价

葡萄酒中的总酚、总单宁、总原花色素、香草醛指数、盐酸指数、没食子单宁和鞣花单宁含量等作为反映涩感的几个基础指标,在现有文献中多被引用^[23]。总酚反映了酒中酚类物质的总含量;总单宁反映了能与唾液蛋白结合单宁的含量;总原花色素反映了酒中缩合单宁的含量;香草醛指数是指寡聚态缩合单宁的含量;盐酸指数代表高聚合单宁的含量;水解单宁的含量则是通过测定酸解后的鞣花酸和没食子酸含量来计算。每一种涩感物质的量化指标都对应

了多种研究手段,且各种手段都具有各自的优势与不足。为便于研究者对于涩感物质研究方法的选择,表 2 中分别列出了各种研究方法对应的优缺点与使用现状。

3.1 总酚测定方法

测定总酚是利用酚类物质的芳香环在紫外光区域有吸收的特性,通过用紫外分光光度计或液相色谱的紫外检测器监测 280 nm 处的吸光值,就可以用来定量酚类物质含量。但此方法存在缺陷是,如果样品存在氨基酸类和核酸类物质,其含有的芳香环,会导致在 280 nm 处的吸收值偏高^[24]。福林-肖卡法、三氯化铁显色是利用酚类物质与显色剂发生显色反应。福林肖卡法相较于另外两种方法具有较高的灵敏性,但酒样中的果糖、亚硫酸氢盐、还原性氨基酸、嘌呤和抗坏血酸等都会对结果产生干扰。三氯化铁法作为显色剂,可以与多酚物质发生显色反应,不会受到果糖、亚硫酸氢盐的影响,但不能与单羟基酚物质和花青素发生显色,故此方法只能部分反映葡萄酒中的能与铁离子发生显色的酚类物质^[25]。目前

表 2 葡萄酒中多酚的定量方法评价

Table 2 Evaluation of quantitative methods of polyphenols in wine

多酚	定量方法	方法评价
总酚	福林肖卡法	a.主流方法 b.灵敏度高 c.受还原性杂质的影响大
	三氯化铁法	a.使用较少 b.显色结果不包含单羟基酚和花青素的含量
	分光光度法	a.无需过多的试剂配制 b.无法区分非酚类物质的芳香环 c.结果重现性好
总单宁	BSA沉淀法	a. BSA蛋白缓冲液受pH和盐离子强度影响大 b.试剂保存时间短 c.测定结果可靠
	MCP沉淀法	a.主流方法 b.试剂易于保存 c.结果准确
	酸解法	a.常用方法 b.试剂配制简单
	福林-丹尼斯法	a.不适用于涩感研究中单宁的测定
原花青素	DMACA法	a.主流方法 b.灵敏度高,受干扰少 c.试剂配制简便 d.适用于涩感研究且结果可靠
	香草醛-盐酸法	a.常用方法 b.精密性、稳定性高 c.能更好反映低聚态单宁含量
	正丁醇-盐酸法	a.常用方法 b.精密性和稳定性较差 c.准确性高于香草醛法
	铁盐法	a.铁盐催化比色法的结果重现性差 b.高铁盐-铁氰化钾法具有简单、快速、灵敏性高的特点
	液相色谱法	a.样品前处理复杂,但所需样品少 b.定量结果准确,重现性好,灵敏度高
水解单宁	液相色谱法	a.主流方法 b.准确性高,结果可靠 c.样品需要经过酸解
	电子舌	a.相关研究较少,技术不成熟
	核磁共振	a.成本高且前处理复杂 b.对样品的纯度和浓度有一定要求

单独用三氯化铁测定多酚的方法不常见。总酚含量的测定必须依据样品中可能含有的物质来选择方法,对于氨基酸含量高的样品不能选择 280 nm 的吸光度作为评测方法,样品中含有其他较多的还原性物质则不能使用福林肖卡法,具有花青素和单羟基酚的样品不能选用三氯化铁显色法。

3.2 单宁测定方法

单宁是能沉淀生物碱、明胶及其它蛋白质,分子质量为 500~3000 kDa 的水溶性多酚化合物^[26]。总单宁的含量测定中广泛使用的有生物活性法和常规法。生物活性法是基于牛血清蛋白(BSA)对单宁的沉淀作用,结果具有良好的稳定性和重现性。由于 BSA 是蛋白质,会受到变性剂(pH、离子浓度、温度、酒精浓度)的影响,所以 BSA 缓冲液应严格控制 pH 和盐离子强度。另外,此方法需要较长的反应时间才能得到较完全的单宁与蛋白的复合物,消耗的时间较长,结果偏差受时间影响大。Sarneckis 等^[27]提出的利用甲基纤维素(MCP)沉淀单宁测定总单宁含量的方法,是对生物活性法的改良。与 BSA 相比,MCP 不会受到儿茶素和花青素的影响,利用 MCP 替代 BSA 作为单宁的沉淀剂,可以有效弥补蛋白质缓冲液配制和保存的缺陷,降低成本。常规法中,酸解法是通过比较盐酸酸解缩合单宁前后吸光度的变化得到总单宁含量,在涩感研究中没有生物活性法使用广泛。福林-丹尼斯法更适用于植物中总单宁的测定。因此,在探讨总单宁含量与涩感的关系的测定中,应首先使用 MCP 法和 BSA 法,不建议使用酸解法和福林丹尼斯法。

3.3 原花青素测定方法

原花青素总含量与涩感的关系有良好的相关性。总原花青素的检测方法有:对二甲氨基肉桂醛(DMACA)显色法、香草醛-盐酸法、香草醛-硫酸法、正丁醇-盐酸法、铁盐催化法和液相色谱法。DMACA 会与单宁的亲核位点发生颜色反应,颜色深浅随单宁量的增加而增加,随聚合度增加而降低。正丁醇-盐酸法是测定缩合单宁的方法,此方法需要在沸水浴条件下反应,实验过程相对于 DMACA 法较为繁琐,且标准曲线的绘制需要制备纯度较高的原花青素,导致标准曲线获取繁琐。蒋静等^[28]比较了香草醛-盐酸法、香草醛-硫酸法、正丁醇-盐酸法对原花青素含量检测,结果表明香草醛-盐酸法回收率最低,准确性有待考量,而正丁醇-盐酸法有较高的回收率。笔者认为,出现这个问题的原因在于,香草醛与黄烷-3-醇,二氢查尔酮和原花青素的二、三和四聚体反应生成红色复合物,在 500~550 nm 处有吸收^[29]。这表明香草醛并不能反映总的原花青素含量,只能表示寡聚体原花青素含量。铁盐法是利用三价铁离子的氧化作用,监测生成的花青素(铁盐催化比色)或是还原生成的二价铁离子与铁氰化钾生成络合物(高铁盐-铁氰化钾比色),铁盐催化比色的重现性不好,高

铁盐-铁氰化钾比色法具有操作简单、快速、灵敏等特点^[30]。高效液相色谱法检测原花青素含量的方法相比于其他方法准确性较高,但比较费时。盐酸可酸解多聚单宁,所以盐酸指数可以表征高分子量单宁的比例,并且此方法不需要复杂的溶液配制,从原理上看,具有很高的实用性,是衡量高分子单宁的主流方法,但从本实验室原先的研究结果来看,此方法的重现性差,结果不准确^[31]。由于现有的原花青素测定方法都会受到黄烷-3-醇单体的影响,所以在测定原花青素含量前,样品应得到充分纯化,以减少对结果的干扰。同时,也应该明确香草醛法并不是反映总原花青素的一种方法,这是很多研究者选择方法时的误区。

3.4 水解单宁测定方法

水解单宁的检测方法只有色谱法,但需要明确的是,鞣花单宁和没食子单宁不能被检测到,需经过酸解成鞣酸和没食子酸后,利用色谱法定量^[32]。

所有的定量方法中,涩感物质的测定都需要利用光学手段,改变的只是样品的前处理方法。涩感物质的定量检测会在很长一段时间内仍然是利用光学手段,方法的改良也只是对光源、试剂、仪器和样品前处理方面的改变。其中,样品的前处理方法对研究结果起关键作用,所以对涩感物质的测定方法优化会更倾向于纯化样品来提高准确性。此外,电子舌技术和核磁共振技术被认为是一种具有更好前景的对涩感物质的定量方法,因为其对样品的纯度要求不苛刻。电子舌能够根据不同单宁的化学性质将其很好地分辨出来,比如三个主要的酿酒单宁(没食子单宁、鞣花单宁及缩合单宁)能够被分别鉴定出来^[33]。核磁共振技术的样品需含有氢、碳、氮等元素,且定量方面不需要校正因子,具有较高的灵敏性^[34]。

4 涩感评价及模型

感官评价是涩感研究中最为准确、可靠的手段,但是感官评价需要经过专门培训的评价小组,会受到主观因素影响。因此,涩感量化方法作为辅助手段,可以帮助更好理解葡萄酒涩感发生变化时酒体中物质的变化。广泛的观点认为,葡萄酒涩感的产生有两种机理:a.单宁与唾液蛋白产生沉淀,导致口腔唾液层润滑缺失;b.单宁与唾液蛋白结合后黏附在口腔细胞表面,导致涩感产生。依据机理的不同,现有的涩感量化方法主要集中在模拟口腔环境和建立细胞模型。

4.1 感官评价

感官品评在葡萄酒的涩感研究中占据极其重要的地位,具有简单、快速、准确等优势。现有的感官评分方法有打分法和划线法,品尝小组会为不同强度的涩感给出分值或者是画不同长度的线条来代表涩感强度,但这种标尺法只能记录最高强度的涩感,无法给出更为全面的涩感评价结果。时间-强度感官法通过记录涩感强度随时间的变化趋势,可以更细致的捕捉品尝过程中的细微的变化,结果也更加具有说服力。

力。涩感的差异性测试中,金属铝离子溶液经常被用来模拟涩感,三角品尝法和二三品尝法则是评判小组成员是否可以进行感官实验的方法,要求评价小组成员的正确率达到 60% 以上为合格^[21]。

4.2 模拟口腔

唾液蛋白中含有 25%~42% 脯氨酸、16%~22% 甘氨酸和 15%~28% 谷氨酸/谷氨酰胺,其中富脯氨酸和富组氨酸是沉淀单宁最主要的蛋白^[32]。由于唾液来源的富脯氨酸较难获取,研究者们利用明胶、乳清蛋白、BSA 来模拟富脯氨酸,并取得了良好效果^[35]。唾液蛋白模型是为了模拟口腔真实唾液的情况,明胶、卵清蛋白、粘蛋白、 α -淀粉酶、富脯氨酸和 BSA 等都是使用较多的沉淀单宁的蛋白制剂,其中明胶和卵清蛋白是使用最早,应用最广泛的蛋白制剂。马婧等^[36]利用明胶沉淀法分析了不同产地的葡萄酒,发现涩感在 4.0~7.0 范围内,明胶指数可以较好的反映葡萄酒涩感强度。Llaudy 等^[37]在明胶沉淀法的基础上,提出了卵清蛋白沉淀法,相比于明胶沉淀法,卵清蛋白沉淀法对涩感评估有着更好的涩感预测性。

绝大部分的涩感研究手段都是在不同角度量化单宁和蛋白结合生成的沉淀量,比如:浊度、唾液沉降指数(SPI)、荧光猝灭和 BAT(BSA activity Tannins)。浊度法是利用浊度仪测定蛋白-单宁复合物颗粒引发的光照强度的分散变化。此方法便捷迅速,结果可靠,但是需要较稳定的澄清体系。蛋白电泳法量化涩感原理是利用唾液蛋白和单宁结合后,对照唾液蛋白结合前后蛋白条带灰度值降低比率。Gambuti 等^[38]于 2005 年提出蛋白质电泳研究涩感的方法,并通过计算 SPI 来量化涩感强度。蛋白电泳法量化涩感方法中利用的蛋白是人全唾液蛋白,所以可以辨别唾液蛋白中各蛋白片段与多酚的结合。Lee 等^[39]也利用此方法鉴别了明矾、单宁酸对富脯氨酸和粘蛋白的结合能力,发现单宁和明矾会沉淀富脯氨酸,但不受酸的影响;同时,粘蛋白会被酸和明矾沉淀,但不会被单宁沉淀。荧光猝灭是蛋白质残基的着色基团与溶液中的一些荧光猝灭分子结合以后,蛋白质发生折叠,导致发光残基暴露,荧光强度降低。Lei 等^[40]利用荧光猝灭法和蛋白质电泳联用研究了多糖对黄烷-3-醇和 BSA 蛋白结合的抑制作用。蛋白质电泳法与荧光猝灭法是涩感研究中最常用的方法,两者联用可以互相验证实验结果。

4.3 细胞模型

口腔上皮细胞是口腔中可以感知收敛感的细胞,所以利用口腔上皮细胞与单宁的结合能力也会很好的解释涩感。袁缓缓等^[6]综述了涩感机理可能是单宁-蛋白复合物的形成引起口腔润滑的降低,也可能是单宁直接与口腔细胞发生结合反应产生涩感。据此,为了明确涩感产生的可能机理,有必要研究口腔上皮细胞与单宁或者单宁-蛋白复合物的作用。Ramos-pineda 等^[41]在研究各种添加剂对涩感的影响

时,选取了蛋白质电泳和口腔上皮细胞结合单宁两种手段,发现单宁是可以与上皮细胞直接结合,而单宁-蛋白复合物则不会与上皮细胞结合。细胞模型实验作为口腔环境模拟的补充研究方法,从另外一个角度分析了涩感产生机制,为葡萄酒涩感研究拓宽了方法手段,具有很好的发展前景。

依据第一种涩感产生的机理来看,涩感物质与蛋白结合会导致唾液蛋白的消耗,从而引起口腔的粗糙感增加,此机理只能解释口腔的粗糙感和颗粒感,但不能解释感官评价时口腔中拥有的干燥感、鹅毛绒感、皱缩感和复杂感^[42]。依据第二种涩感机理,唾液蛋白对涩感物质的亲和力越高反而会减弱口腔对涩感的感知。所以利用涩感物质与蛋白的亲和力研究涩感具有很大的局限性。从感官评价角度来看,口腔的涩感并不只有上颚,上唇、下唇、牙齿、舌尖、舌根、两腮都会感知涩感,且感知的涩感类型不同。在细胞模型中,细胞多是选择口腔上皮细胞,缺乏对不同部位细胞的研究^[43]。最近,Canon 等^[44]提出一种新的涩感机理,涩感产生还有可能是口腔细胞上的 MUC1 结构,在与单宁结合后发生断裂,导致细胞表面的物理化学性质的改变,同时诱发乙酰胆碱的释放,导致三叉神经受体被激活并引发涩感。现有对涩感的研究方法是远远不足以解释涩感给口腔带来的丰富体验,涩感研究中,缺乏研究单宁-蛋白复合物对口腔的影响以及口腔受食物刺激导致的唾液蛋白的分泌对涩感的持久性影响。未来,通过建立更加全面的口腔细胞模型和口腔内壁表面的模拟可以更有利于我们对涩感的认知。

5 展望

有关单宁与涩感的研究,一直是一个复杂的进程。先进的技术手段及多样的研究方法极大地推动了葡萄酒涩感的研究进程,但现有的研究仍然不能满足我们对于葡萄酒涩感的认知。葡萄酒体系复杂,且口腔对涩感的感知受到酒石酸、pH、酒精度、温度以及食物中的油脂、乳清蛋白和各类食品添加剂等多种因素的影响。到目前为止,这些因素对涩感的影响机制仍然缺乏相应的研究,从分子水平上探讨这些因素对葡萄酒涩感的影响机制是涩感研究中具有较大潜力的方向。因此,对葡萄酒的涩感研究在着重于技术手段的不断创新外,更应该研究涩感的影响因素对涩感产生的协同或抑制作用。

参考文献

- [1] PLOYON S, MORZEL M, BELLOIR C, et al. Mechanisms of astringency: Structural alteration of the oral mucosal pellicle by dietary tannins and protective effect of bPRPs[J]. *Food Chemistry*, 2018, 253: 79-87.
- [2] DUC-TRUC P, RISTIC R, STOCKDALE V J, et al. Influence of partial dealcoholization on the composition and sensory properties of *Cabernet sauvignon* wines[J]. *Food Chemistry*, 2020, 325: 1-8.

- [3] CANON F, PLOYON S, MAZAUIC J P, et al. Binding site of different tannins on a human salivary proline-rich protein evidenced by dissociative photoionization tandem mass spectrometry[J]. *Tetrahedron*, 2015, 71(20): 3039–3044.
- [4] RINALDI A, VECCHIO R, MOIO L. Differences in astringency subqualities evaluated by consumers and trained assessors on *Sangiovese* wine using Check-All-That-Apply (CATA)[J]. *Foods*, 2021, 10(2): 1–10.
- [5] TORRES N, MARTINEZ-LUSCHER J, PORTE E, et al. Impacts of leaf removal and shoot thinning on cumulative daily light intensity and thermal time and their cascading effects of grapevine (*Vitis vinifera* L.) berry and wine chemistry in warm climates[J]. *Food Chemistry*, 2021, 343: 1–9.
- [6] 袁缓缓, 王晓宇, 陈彤国, 等. 红葡萄酒涩感研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(13): 269–274. [YUAN H H, WANG X Y, CHEN T G, et al. Research progress on red wine astringency[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(13): 269–274.]
- [7] LI S Y, DUAN C Q. Astringency, bitterness and color changes in dry red wines before and during oak barrel aging: An updated phenolic perspective review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2018, 59(12): 1840–1867.
- [8] SOARES S, BRANDO E, MATEUS N, et al. Sensorial properties of red wine polyphenols: Astringency and bitterness[J]. *C R C Critical Reviews in Food Technology*, 2015, 57(5): 937–948.
- [9] JAVIER E, MARTA B, MARIA F, et al. Bottle aging and storage of wines: A review[J]. *Molecules*, 2021, 26(3): 1–26.
- [10] MA W, GUO A, ZHANG Y, et al. A review on astringency and bitterness perception of tannins in wine[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2014, 40(1): 6–19.
- [11] WANG S, MANTILLA S M O, SMITH P A, et al. Astringency sub-qualities drying and pucker are driven by tannin and pH - Insights from sensory and tribology of a model wine system[J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 109: 1–13.
- [12] LABARBE B T, CHEYNIER V, BROSSAUD F, et al. Quantitative fractionation of grape proanthocyanidins according to their degree of polymerization[J]. *J Agric Food Chem*, 1999, 47(7): 2719–2723.
- [13] SCOLLARY G R, PÁSTI G R, KÁLLAY M, et al. Astringency response of red wines: Potential role of molecular assembly[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2012, 59(12): 1840–1867.
- [14] FERRERO-DEL-TESO S, SUÁREZ A, JEFFERY D W, et al. Sensory variability associated with anthocyanic and tannic fractions isolated from red wines[J]. *Food Research International*, 2020, 136: 1–9.
- [15] SINGLETON V L, TROUSDALE E K. Anthocyanin-tannin interactions explaining differences in polymeric phenols between white and red wines[J]. *American Journal of Enology & Viticulture*, 1992, 42(1): 63–70.
- [16] VIDAL S, FRANCIS L, NOBLE A, et al. Taste and mouth-feel properties of different types of tannin-like polyphenolic compounds and anthocyanins in wine[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2004, 513(1): 57–65.
- [17] JENNIFER A, BARAK. HPLC retention thermodynamics of grape and wine tannins[J]. *Chemical Reviews*, 2013, 61(18): 4270–4277.
- [18] 谭立杭. 红葡萄酒中缩合单宁特性与感官收敛性的关系研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019. [TAN L H. Relationship between condensed tannins properties and sensory astringency of wine[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2019.]
- [19] 袁缓缓. 酿酒单宁的特性及其对红葡萄酒涩感的影响[D]. 西安: 陕西师范大学, 2019. [YUAN H H. The characteristics of wine-making tannins and their influence on the astringency of red wine[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2019.]
- [20] 徐佳慧, 陈明舜, 陈军, 等. 不同聚合度原花青素分离制备的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(2): 345–350. [XU J H, CHEN M Y, CHEN J, et al. Advances in the separation and preparation of proanthocyanidins with different degree of polymerization[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(2): 345–350.]
- [21] 马雯. 酿酒葡萄缩合单宁的化学合成、分离与分析[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016. [MA W. Chemical synthesis, isolation and analysis of condensed tannins derived from wine grapes[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2016.]
- [22] 张欣珂, 赵旭, 成池芳, 等. 葡萄酒中的酚类物质 I: 种类、结构及其检测方法研究进展[J]. *食品科学*, 2019, 40(15): 255–268. [ZHANG X K, ZHAO X, CHENG C F, et al. Phenolics in wines I: A review of categories, structures and detection methods[J]. *Food Science*, 2019, 40(15): 255–268.]
- [23] 赵宇, 沙青, 孔彩琳, 等. 西北地区干红葡萄酒质量相关理化指标的判别功能解析[J]. *食品科学技术学报*, 2020: 1–11. [ZHAO Y, SHA Q, KONG C L, et al. Discriminant analysis of physicochemical indexes related to the quality of dry red wines from northwest China[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2020: 1–11.]
- [24] 宋建强, 梁海忠, 姜文广, 等. 果穗日光暴露对葡萄酒酚类物质和感官品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(4): 137–141. [SONG J Q, LIANG H Z, JIANG W G, et al. Influence of grape bunch sunlight exposure on phenolic compounds and sensory properties of wine[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2018, 44(4): 137–141.]
- [25] HARBERTSON J F, KENNEDY J A, ADAMS D O. Tannin in skins and seeds of cabernet sauvignon, syrah, and pinot noir berries during ripening[J]. *American Journal of Enology & Viticulture*, 2002, 53(1): 54–59.
- [26] 李蕊蕊, 赵新节, 孙玉霞. 葡萄和葡萄酒中单宁的研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(4): 260–265. [LI R R, ZHAO X J, SUN Y X. Research advances on tannins in grape berries and wine[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2016, 42(4): 260–265.]
- [27] SARNECKIS C J, DAMBERGS R G, JONES P, et al. Quantification of condensed tannins by precipitation with methyl cellulose: Development and validation of an optimised tool for grape and wine analysis[J]. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 2010, 12(1): 39–49.
- [28] 蒋静, 王伟华. 原花青素含量测定方法考察及应用[J]. 食

- 品工业, 2019, 40(4): 168–172. [JIANG J, WANG W H. Procyanidins content determination method and application[J]. The Food Industry, 2019, 40(4): 168–172.]
- [29] RINALDI A, ERRICHELLO F, MOIO L. Alternative fining of sangiovese wine: Effect on phenolic substances and sensory characteristics[J]. Australian Journal of Grape and Wine Research, 2020, 27(1): 128–137.
- [30] 朱宏, 徐佳, 王晓宇, 等. 国内外葡萄籽提取物(低聚原花青素)质量标准对比分析[J]. 中国标准化, 2020(4): 187–192. [ZHU H, XU J, WANG X Y, et al. Comparative analysis of standards of grape seed extract (oligomeric proanthocyanidins) at home and abroad[J]. China Standardization, 2020(4): 187–192.]
- [31] 李春阳, 许时婴, 王璋. 香草醛—盐酸法测定葡萄籽、梗中原花青素含量的研究[J]. 食品科学, 2004(6): 157–161. [LI C Y, XU S Y, WANG Z. Vanillin-HCl assay for the proanthocyanidins content of grape seed and stem[J]. Food Science, 2004(6): 157–161.]
- [32] SARNI-MANCHADO P, CANALS-BOSCH J M, MAZEROLLES G R, et al. Influence of the glycosylation of human salivary proline-rich proteins on their interactions with condensed tannins[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2008, 56(20): 9563–9569.
- [33] 李辉. 贺兰山东麓赤霞珠干红葡萄酒陈酿特性的研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2018. [LI H. Study on the aging characteristics of Cabernet sauvignon dry red wine from the eastern foot of Helan[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2018.]
- [34] 黄挺, 张伟, 全灿, 等. 定量核磁共振法研究进展[J]. 化学试剂, 2012, 34(4): 327–332. [HUANG T, ZHANG W, JIN C, et al. Review on quantitative nuclear magnetic resonance[J]. Chemical Reagents, 2012, 34(4): 327–332.]
- [35] GOLDNER M C, ZAMORA M C. Effect of polyphenol concentrations on astringency perception and its correlation with gelatin index of red wine[J]. Journal of Sensory Studies, 2010, 25(5): 761–777.
- [36] 马婧, 袁春龙, 杨丽, 等. 红葡萄酒呈涩物质的化学分析[J]. 食品科学, 2016, 37(4): 132–138. [MA J, YUAN C L, YANG L, et al. Comparative evaluation of chemical methods for analyzing astringent taste compounds of red wine[J]. Food Science, 2016, 37(4): 132–138.]
- [37] LLAUDY M C, CANALS R, CANALS J M, et al. New method for evaluating astringency in red wine[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2004, 52(4): 742–746.
- [38] GAMBUTI A, RINALDI A, PESSINA R, et al. Evaluation of aglianico grape skin and seed polyphenol astringency by SDS-PAGE electrophoresis of salivary proteins after the binding reaction[J]. Food Chemistry, 2006, 97(4): 614–620.
- [39] LEE C A, ISMAIL B, VICKERS Z M. The role of salivary proteins in the mechanism of astringency[J]. Journal of Food Science, 2012, 77(4): 381–387.
- [40] LEI X, ZHU Y, WANG X, et al. Wine polysaccharides modulating astringency through the interference on interaction of flavan-3-ols and BSA in model wine[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 139: 896–903.
- [41] RAMOS-PINEDA A M, CARPENTER G H, GARCÍA-ESTÉVEZ I, et al. Influence of chemical species on polyphenol-protein interactions related to wine astringency[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2019, 68(10): 2948–2954.
- [42] BROSSARD N, GONZALEZ-MUNOZ B, PAVEZ C, et al. Astringency sub-qualities of red wines and the influence of wine-saliva aggregates[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2021, 56(10): 15065.
- [43] EDMONDS R S, FINNEY T J, BULL M R, et al. Friction measurements of model saliva-wine solutions between polydimethylsiloxane surfaces[J]. Food Hydrocolloids, 2021, 113: 1–7.
- [44] CANON F, BELLOIR C, BOURILLOT E, et al. Perspectives on astringency sensation: An alternative hypothesis on the molecular origin of astringency[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2021, 69(13): 3822–3826.