

青稞酒香气成分及其影响因素的研究进展

尹小庆, 张玉红*

(西藏自治区农牧科学院 农产品开发与食品科学研究所, 西藏 拉萨 850000)

摘要: 青稞酒因风味独树一帜而享誉高原, 其中以天佑德青稞酒最为著名。目前, 青稞酒香气成分及影响因素研究不充分、香气特征不明确, 制约着我国青稞酒品质的提升和发展。该文对青稞酒香气物质组成进行阐述, 分析梳理青稞酒的关键呈香物质和特征香气, 深入讨论青稞品种、发酵微生物及工艺条件对青稞酒香气的影响, 为充分掌握青稞酒风味特征进而提升青稞酒的品质提供参考。

关键词: 青稞酒; 挥发性风味物质; 关键香气成分; 影响因素

中图分类号: TS262.6

文章编号: 0254-5071(2024)01-0020-07

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2024.01.004

引文格式: 尹小庆, 张玉红. 青稞酒香气成分及其影响因素的研究进展[J]. 中国酿造, 2024, 43(1): 20-26.

Research progress on aroma compounds of highland barley liquor and its influence factors

YIN Xiaoqing, ZHANG Yuhong*

(Institute of Agricultural Development and Food Science, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850000, China)

Abstract: Highland barley liquor is famous for its unique flavor, among which Tianyoude highland barley liquor is the most famous. At present, the study on the aroma components and influence factors of highland barley liquor is not sufficient, and the aroma characteristics is not clear, restricting the improvement and development of highland barley liquor quality in China. Therefore, the aroma components of highland barley liquor were described, and the key aroma components and characteristic aroma were analyzed, and the influences of highland barley varieties, fermentation microorganisms and technological conditions on the aroma were discussed in detail, so as to provide references for mastering the flavor characteristics and improving the quality of highland barley liquor.

Key words: highland barley liquor; volatile flavor substance; key aroma component; influencing factor

青稞酒是我国青海及西藏等地区特产的一种白酒, 香味协调、清雅纯正、口感绵甜爽净, 属于清香型白酒的一个分支。根据工艺特点可分为青稞咂酒、青稞烤酒、青稞白酒及青稞保健酒、青稞啤酒、青稞清酒、青稞黄酒、青稞饮料酒等低度发酵酒^[1]。青稞酒富含硫胺素、核黄素、尼克酸等多种有益身体健康的微生物素, 可激活人体细胞, 保护心血管等脏器^[2]。青稞酒中的 β -葡聚糖^[3-4]有辅助降血糖、提高免疫力、调节生理节律等功效^[5-6]。青稞酒中还含有芳樟醇、橙花叔醇、香叶醇、*D*-柠檬油精、 β -大马酮、香叶基丙酮、橙花醇等萜烯类物质, 这些活性物质随着发酵和蒸馏保留在青稞酒中, 具有抗炎、抗氧化、抗肿瘤、镇咳、祛痰、抑菌等作用^[7-10]。

由于青稞酒地理环境独特、酿酒原料独特、大曲配料独特、制酒工艺独特、产品风格独特, 被全国酿酒专家誉为“高原明珠、酒林奇葩”^[11]。不同产区、不同品种青稞酒的感官风味各异, 青海青稞原酒清香纯正, 青稞香明显, 较醇甜, 较净; 而石首青稞原酒清香纯正, 有芝麻香、入口醇甜,

略有糠麸味、干净; 瓦蓝青稞清香较纯正, 陈香, 糠油味较重, 入口醇甜, 较净; 而黑老鸦青稞清香较纯正, 酯香明显, 入口醇甜, 较净^[12]。一糙和二糙青稞酒相比, 一糙青稞酒果香味更加浓郁, 而二糙青稞酒醇味更盛^[13]。加之, 发酵微生物多样化的代谢方式, 青稞酒风味特征更加丰富^[14]。然而目前对青稞酒的风味研究极少, 其特征风味成分尚不明确, 以至于青稞酒的生产和勾兑都仅凭经验而缺乏风味方面的理论指导, 难以确保酒质的稳定性。

因此, 本文旨在阐明青稞酒香气成分的种类和含量, 分析梳理青稞酒关键香气物质及特征, 探讨影响青稞酒香气的因素, 从青稞原料的选择、酿造微生物及工艺等方面为青稞酒品质的提升和青稞酒香气精准调控技术的发展提供一定的参考。

1 青稞酒香气物质的组成

青稞挥发性风味成分主要由醇类和醛类组成^[15], 而青稞酒中挥发性风味物质的复杂性随着青稞发酵时间的延长而增加^[16]。目前由刘志鹏等^[17]采用顶空固相微萃取结合

收稿日期: 2023-06-01

收稿日期: 2023-08-09

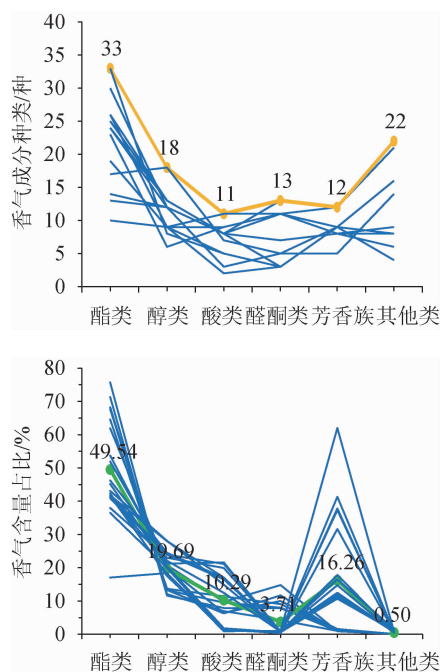
基金项目: 西藏自治区地区科学基金项目(32060532); 国家重点研发计划(2021YFD1000305); 西藏自治区财政专项(XZNKYSPS-2023-C-045)

作者简介: 尹小庆(1993-), 女, 研究实习员, 硕士, 研究方向为食品微生物工程及青稞加工。

*通讯作者: 张玉红(1975-), 女, 高级研究员, 硕士, 研究方向为农产品加工。

全二维气相色谱-飞行时间质谱技术(comprehensive two-dimensional gas chromatography/time-of-flight mass spectrometry, GC×GC-TOF MS)检测鉴定出的青稞酒香气成分有448种,主要包括酯类、醇类、酸类、芳香族、醛酮类、呋喃类、含氮化合物、含硫化合物以及萜烯类化合物等。但研究集中在通过顶空固相微萃取(headspace solid-phase microextraction, HS-SPME)结合气相色谱-质谱联用仪(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)分析检测青稞酒中的挥发性物质,故种类相对较少,检出挥发性风味物质42~105种^[19,24-25,29]。

如图1所示,文献[19,24-29]中报道的青稞酒香气种类及含量占比,青稞酒中已检测到酯类物质50种以上,单一酒样中最多检测出33种,平均含量占比达49.54%。酯类物质可以通过醇酸酯化反应合成,也可以通过乙酰辅酶A和高级醇作为发酵底物,在醇-酰基转移酶的作用下于微生物细胞内合成酯类物质^[16]。其中乙酸乙酯、丙酸乙酯、丁酸乙酯、戊酸乙酯、己酸乙酯、庚酸乙酯、辛酸乙酯、壬酸乙酯、癸酸乙酯、乳酸乙酯、乙酸己酯、丁二酸二乙酯、乙酸异戊酯、2-甲基丙酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯等在大部分青稞酒中均被检出,主要赋予青稞酒果香和花香。而 γ -壬内酯、 γ -己内酯等内酯呈现果香、甜香、椰子香等,只在少部分青稞酒中检出。这可能是导致不同品种、地区青稞酒差异的原因之一。



每条蓝色折线代表1个酒样;A为香气成分种类统计结果,黄色折线为种类最大值;B为香气含量占比统计结果,绿色折线为含量平均值。

图1 青稞酒香气物质种类及含量占比统计结果

Fig. 1 Statistical results of types and contents proportion of aroma substances in highland barley liquor

醇类物质主要由酵母在发酵过程中通过酮酸合成途径和氨基酸降解途径产生^[18],适量的高级醇是酒香味的主要组成成分,但当含量过高时,会给酒体带来苦涩味。目前青稞酒中检测到的醇类物质30多种,单一酒样中最多检测出18种,平均含量占比约20%,正丁醇、正戊醇、正庚醇、正辛醇、正壬醇、2-辛醇、2-壬醇、2-甲基丙醇、3-甲基丁醇存在于多数青稞酒中,赋予青稞酒醇香和花香。而1-辛烯-3-醇、3-辛醇、2-甲基丁醇等呈现蘑菇、青草等香气,很好地展示了少部分青稞酒独特的香气特征。

芳香族化合物主要呈现怡人的花香和水果香气,香气强度普遍较高^[19]。在青稞酒中单次检测最高检出12种,主要有 β -苯乙醇、苯甲醇、苯甲酸、苯甲醛、苯乙醛、苯甲酸乙酯、苯乙酸乙酯、乙酸苯乙酯等,但含量差异较大(1%~62%)。其中, β -苯乙醇呈现玫瑰香和蜂蜜气味,在汾酒和宝丰酒中也具有很高的香气强度^[20-21]。此外,乙酸-2-苯乙酯、3-苯丙酸乙酯、苯乙醛和苯乙酸乙酯的平均香气强度在3.0以上,也是芳香族中较为重要的呈香物质,主要呈现玫瑰、蜂蜜、花香和水果香等香气特征^[19]。

另外,酸类、醛酮类等物质也普遍存在于青稞酒中。青稞酒中含量相对较高的酸类物质有乙酸、丙酸、丁酸、己酸等,酸类物质对各香味成分起协调、平衡作用,增加醇厚感。可以消除酒的苦味,减少杂味、增加甜感,是味觉改变剂^[22]。醛酮类物质主要起助香、呈味作用,由醇的氧化或脱氢反应生成^[23]或在脂氧合酶作用下由不饱和脂肪酸产生^[23]。多数青稞酒中有己醛、辛醛、壬醛、癸醛、乙缩醛和糠醛等,呈水果、花香、青草香,仅在少部分青稞酒样品中检出3-羟基-2-丁酮(乙偶姻)、2-壬酮、2-十一酮、糠醛、5-甲基糠醛、乙缩醛、异佛乐酮、 β -大马酮、香叶基丙酮等醛酮类物质,赋予青稞酒花香、甜香、奶油香气。

除了酯类、醇类、酸类、芳香族、醛酮类化合物,还有烷烃类、吡嗪类、呋喃类、内酯、酚类、烯萜类等其他化合物,这些化合物在青稞酒中种类多,但含量却不足1%,对青稞酒风味也具有一定的作用,如三甲基吡嗪、四甲基吡嗪等呈烘焙香, α -蒎烯、D-柠檬油精、 γ -蒎烯、p-伞花烃、长叶松烯等烯萜类物质呈植物、草木香。

综上,青稞酒香气成分中酯类和醇类的占比和种类较多,芳香族化合物种类和含量差异较大,酸类和醛酮类物质等较少,其他物质种类丰富但含量较少,共同为青稞酒丰富的香气表现奠定了物质基础。由于青稞多生长在高海拔地区,很大程度限制了青稞酒产业的发展,目前多数研究以天佑德青稞酒为主,非主流青稞酒产品的香气研究比较缺乏。

2 青稞酒关键呈香物质

青稞酒中挥发性物质种类多且香气复杂,但并不是每一种挥发性物质都对香气呈现作用,其中起主要作用的挥

发性风味物质被称为青稞酒的关键香气组分,这类物质通常有较高的风味稀释 (flavor dilution, FD) 因子^[30]或香气活度值 (odor activity value, OAV)。一般认为当OAV>1的化合物对酒的香气有重要贡献^[31],是关键呈香物质。青稞酒中关键呈香物质 (OAV>1) 总结见表1。由表1可知,青稞酒中关键呈香物质包括21种酯类、14种醇类、7种酸类、16种醛酮类、8种芳香族化合物、11种其他类物质。乙酸乙酯、2-甲基丙酸乙酯、丁酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯、3-甲基丁酸乙酯、乙酸-3-甲基丁酯、戊酸乙酯、己酸乙酯、丁酸-3-甲基丁酯、辛酸乙酯、2-甲基丙醇、乙酸、3-甲基丁醛、(E,Z)-2,6-壬二烯醛、苯乙醛、 β -大马酮、乙缩醛、二甲基三硫的OAV均>100,呈香作用最为突出。乙酸乙酯是青稞酒的主体香,具有愉悦的水果气味。在酸类物质中,乙酸的OAV最高,呈

酸味,对青稞酒的整体风味有协调作用。 β -大马酮呈水果香和蜂蜜香,因其阈值较低(0.05 $\mu\text{g/L}$)^[32],即使含量少对青稞酒也具有较大的香气贡献。进一步分析发现,青稞酒中共有的关键风味物质有乙酸乙酯、丁酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯、乙酸、 γ -壬内酯、 β -大马酮和 β -苯乙醇,构成了青稞酒的风味特征。除了18种OAV>100的关键呈香物质外,己醛、1-己醇、1-壬醇、癸醛呈青草味、花果香。戊酸、丁酸、2-甲基丙酸、3-甲基丁酸则表现为酸味、奶酪、腐臭等味道。苯乙酸乙酯、月桂酸乙酯、癸醛等表现类似于油脂、蜂蜜等修饰性气味。*D*-柠檬油精具有柠檬气味, α -蒎烯、 γ -蒎品烯、香叶基丙酮则呈植物、草本、花香。而青稞酒中0.1<OAV<1的香气物质也不容忽视,这些物质对提升青稞酒香气复杂性以及修饰香气有很大作用^[33-34]。

表1 青稞酒关键呈香物质
Table 1 Key aroma compounds in highland barley liquor

青稞酒种类	关键香气成分	参考文献
7种天佑德青稞酒	乙酸乙酯、2-甲基丙酸乙酯、丁酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯、3-甲基丁酸乙酯、乙酸-3-甲基丁酯、戊酸乙酯、己酸乙酯、丁酸-3-甲基丁酯、辛酸乙酯、2-甲基丙醇、乙酸、3-甲基丁醛、(E,Z)-2,6-壬二烯醛、苯乙醛、 β -大马酮、乙缩醛、二甲基三硫、乙酸-2-甲基丙酯、乙酸己酯、乳酸乙酯、癸酸乙酯、十一酸乙酯、月桂酸乙酯、1-丙醇、1-丁醇、3-甲基丁醇、1-戊醇、1-己醇、1-辛烯-3-醇、1-壬醇、2-甲基丙酸、丁酸、乙醛、己醛、辛酸、3-羟基-2-丁酮、壬醛、癸醛、2-十一酮、苯甲醛、苯乙酮、3-苯丙酸乙酯、 β -苯乙醇、 α -蒎烯、 <i>d</i> -柠檬油精、 γ -蒎品烯、香叶基丙酮、4-乙基愈创木酚、4-甲基苯酚、 γ -壬内酯、土味素	[19, 35]
2种天佑德青稞酒+ 2种西藏青稞酒	苯乙醛、葫芦巴内酯、3-甲硫基丙醛、2-甲基丁酸乙酯、 γ -壬内酯、 β -大马酮、3-甲硫基丙醇、异戊酸乙酯、乙酸乙酯、呋喃醇、 β -苯乙醇、4-乙基愈创木酚、乙酸、异戊醇、4-乙烯基愈创木酚、丁酸乙酯	[27]
高海拔青稞酒 (4 600米)	乙酸乙酯、2-甲基丙酸乙酯、乙酸丙酯、乙酸异丁酯、丁酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯、3-甲基丁酸乙酯、乙酸异戊酯、戊酸乙酯、己酸甲酯、己酸乙酯、乳酸乙酯、辛酸乙酯、苯乙酸乙酯、3-苯丙酸乙酯、乙酸、丁酸、2-甲基丁酸、3-甲基丁酸、戊酸、己酸、乙醛、2-甲基丁醛、3-甲基丁醛、己醛、香草醛、异丁醇、3-甲基-1-丁醇、1-己醇、1-辛烯-3-醇、1-辛醇、 β -苯乙醇、 β -大马酮、乙偶姻、 γ -壬内酯、2-甲氧基苯酚、二甲基三硫醚	[36]
低海拔青稞酒 (<2 800米)	乙酸乙酯、2-甲基丙酸乙酯、乙酸异丁酯、丁酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯、3-甲基丁酸乙酯、乙酸异戊酯、戊酸乙酯、己酸甲酯、己酸乙酯、乳酸乙酯、辛酸乙酯、苯乙酸乙酯、3-苯丙酸乙酯、乙酸、丁酸、2-甲基丁酸、3-甲基丁酸、戊酸、己酸、乙醛、2-甲基丁醛、3-甲基丁醛、己醛、香草醛、异丁醇、3-甲基-1-丁醇、1-己醇、1-辛烯-3-醇、1-辛醇、 β -苯乙醇、 β -大马酮、乙偶姻、 γ -壬内酯、2-甲氧基苯酚、二甲基三硫醚	[36]
互助青稞酒	乳酸乙酯、2-甲基丁醇、乙酸乙酯、甲基丙酯、3-甲基丁醇、乙酸、糠醛、苯乙醇、丁酸乙酯、己酸乙酯、乙酸异戊酯、异戊酸、乙酸苯乙酯、乙酸异丁酯、月桂酸乙酯、苯乙酸乙酯、戊酸乙酯、丁酸、 γ -壬内酯、3-甲基-2-丁酮-1-醇、3-辛醇、2-甲基丁酸乙酯、反-反-2,4-癸二烯醛、4-乙基愈创木酚、2,3-二甲基-5-乙基吡嗪、二甲基三硫化物、愈创木酚、 β -大马酮	[37]

各类青稞酒关键呈香物质 (FD>16) 的分布情况见
图2^[36-37]。

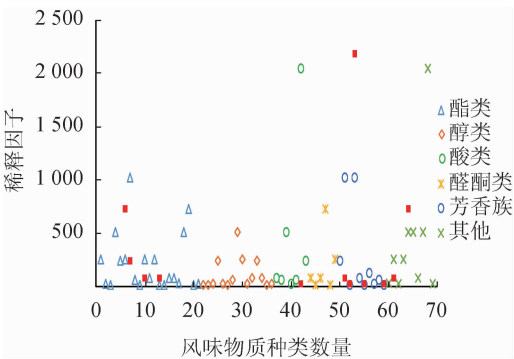


图2 青稞酒中风味稀释因子>16的香气物质
Fig. 2 Aroma components with flavor dilution factor>16 in highland barley liquor

由图2可知,青稞酒中大部分挥发性风味物质的FD值集中在16~512,而FD>1 024的挥发性风味物质有5种,分别是苯乙醛、3-甲硫基丙醛、 β -苯乙醇、乙酸、丁酸乙酯。不论是基于OAV还是FD, β -苯乙醇、乙酸、丁酸乙酯在青稞酒中均是感知强度突出的呈香物质。从分类看,酯类物质FD>16的最多,有21种,其次是醇类物质15种,故青稞酒主要呈果香、花香和醇香。从图2红色点可以看出,在不同的青稞酒中,虽然大部分同一种挥发性风味物质的香气强度很相近,但是少部分物质显示出极大的差异,比如乙酸、丁酸乙酯、己酸乙酯、苯乙醇,这可能是不同青稞酒风味差异的一个原因。

综上,青稞酒的关键呈香物质超过80种,表现出花香、果香、植物香和酒香等特征香气。需要指出的是,由于已有研究选用的青稞酒样品量和典型性有限,且多数研究采用顶空固相微萃取 (headspace solid phase microextraction,

HS-SPME)-GC-MS结合OAV的方法,气相色谱嗅闻(gas chromatography-olfactometry, GC-O)结合香气萃取物稀释分析(aroma extract dilution analysis, AEDA)的方法,香气重组和缺失实验的有效验证使用较少,故不能全面分析青稞酒香气特征。

3 影响青稞酒香气物质形成的因素

3.1 青稞品种

不同青稞品种中挥发性物质差异较大,瓦蓝青稞中含有344种挥发性风味物质,白浪散青稞有403种,黑老鸦青稞有352种^[38]。其中二氢月桂烯醇、 α -大马酮、4-氧代异佛尔酮、反式芳樟醇氧化物(呋喃型)、 α -柏木烯、 β -水芹烯等萜烯类物质既具有呈香或呈味作用,又体现着青稞独特的健康作用^[39-40]。据报道,藏青25青稞中风味物质种类高于藏青2000青稞和隆孜黑青稞,而藏青2000青稞中醛类、酸类、酯类、醇类、呋喃类及苯类化合物含量高于藏青25青稞和隆孜黑青稞中同类化合物的含量^[41]。为进一步探究青稞与青稞酒挥发性风味物质之间的关系,贾福晨等^[42]以7个不同品种的青稞及其酿造出的青稞酒为研究对象,采用气相色谱-质谱联用法分析发现,青稞原料中含量较高的挥发性风味物质是醛类和醇类,而青稞酒中含量最高的是醇类和酯类物质。姜欣等^[43]分别用隆子黑、苟芝黑、藏青2000、喜拉22、QB14、藏青25和藏青27青稞酿造了7种青稞酒,其中藏青25青稞酒风味物质以酯类居多;藏青27和喜拉22青稞酒以醇类物质为主;隆子黑青稞酒虽以酯类为主,但酯类的种类少于藏青25青稞酒,表现出与其他青稞酒不同的特殊风味;藏青2000和苟芝黑两种青稞酿造的青稞酒结构特征相似,酚类、醇类、醛类和酯类物质的影响较大。因此,青稞品种也是导致青稞酒风格多样化的原因之一,通过香气评价能更好的筛选出酿酒适用性高的青稞品种。

3.2 发酵微生物

微生物是影响青稞酒风味物质的关键因素之一。拉萨、林芝、日喀则、山南1号、山南2号藏曲酿造的青稞酒风味品质的差异,其中山南1号、山南2号和日喀则藏曲发酵的青稞酒所含挥发性风味物质较多,总酸含量较低,更适合酿造青稞酒^[24]。当青稞大曲与根霉小曲的配比为10:1时,酿造出的青稞酒与传统青稞酒比较,酯类物质更为丰富,风味更加香醇,且乙醇含量相对较低,使口感更加柔和^[44]。为进一步了解青稞酒风味与发酵微生物之间的关系,陈占秀等^[45]运用高通量测序技术(high-throughput sequencing, HTS),在青稞酒酿造过程中初步筛选出酵母菌、霉菌、细菌共329株,完成鉴定269株。对61株菌进行代谢分析发现,德尔布有孢圆酵母(*Torulaspora delbrueckii*)等微生物能产丰富的醇类、酯类、萜烯类等风味物质。青稞酒曲ZQ和青稞酒曲ZSQ中的优势真菌和细菌类群为根霉属(*Rhizopus*)、曲霉属(*Aspergillus*)、毕赤酵母属(*Pichia*)、醋酸杆菌属

(*Acetobacter*)、魏斯氏菌属(*Weissella*)、泛菌属(*Pantoea*)^[46]。真菌群落在青稞酒发酵过程中以根霉属(*Rhizopus*)和酵母菌(*Yeast*)为主,而细菌群落不断变化。在发酵48 h后,明串珠菌属(13.53%)和醋酸菌属(74.60%)的细菌属数由0 h的13个降至4个(相对丰度>0.1%)^[47]。根霉拥有糖化酶和液化酶^[48],与乙酸乙酯呈正相关。青枯菌属(*Ralstonia*)、暗单胞菌属(*Pelomonas*)、苍白杆菌属(*Ochrobactrum*)与酸类及其酸类前体物质呈显著正相关。明串珠菌显示了通过糖苷酶活性产生芳香物质的潜力^[49]。据报道,芽孢杆菌在发酵生物过程中产生淀粉酶和蛋白酶,有利于产生芳香物质^[50-51]。因此掌握好微生物与青稞酒挥发性物质的关系,便可通过混菌发酵的方式提升青稞酒的香气及综合质量。王三霞^[52]利用不同的霉菌和酵母进行组合发酵,以市售青稞酒作为对照,发现以米根霉(*Rhizopus oryzae*) ZFM1、酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*) ZFJ10和异常威克汉逊酵母(*Hansenula anomala*) ZSJ13发酵的青稞酒Q4与市售青稞酒相比,风味轮廓相差较大,酯类物质占比显著上升,而酸类物质占比显著下降。使青稞酒酸苦味明显改善,甜味、酒香和果香均评分较高且协调性好。祁万军等^[53]利用青稞酒酿造环境筛选获得的具有较高产醇产酯能力的酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*) QK6酿造青稞酒,不仅提升了乙酸乙酯、乳酸乙酯、丁酸乙酯的含量,还提高了青稞酒的产量。

3.3 工艺条件

青稞酒生产中涉及原料预处理、发酵、蒸馏或不蒸馏、陈酿、勾调等具体的工艺,不同工艺条件对青稞酒香气的影响见表2。

青稞预处理是将青稞进行炒制、蒸煮、磨粉等,对青稞淀粉受损含量、淀粉短程分子序数和相对结晶度的影响各不相同^[54]。用炒制后的青稞酿造青稞酒,其酯类、醇类、醛酮类物质种类均高于未炒制青稞酒^[29]。这可能是青稞在高温炒制过程中发生了美拉德反应和不饱和脂肪酸的氧化反应,生成了醇类、酮类和醛类物质,其中的醇类与发酵过程中生成的酸反应生成酯类,进一步提升青稞酒的风味。

添加辅粮会增加青稞酒风味物质的种类^[19],多粮青稞酒(青稞辅以豌豆、糯米酿造)比纯青稞酿造的青稞酒有更多的酯类、醇类、醛酮类物质,而呋喃、吡嗪、内酯、烯萜类物质则表现出极大的种类差异,差异的物质种类可以丰富青稞酒的香气,表现出独特性。从物质含量分析,添加辅料则提高了青稞酒香气物质总含量、总酯、酸类、烯萜类物质的含量,酯类中的乙酸乙酯和乳酸乙酯的含量显著提高,虽然酚类和醛类物质含量略有下降,但青稞酒的整体香气依然提升。

通过优化发酵条件可以提高青稞酒整体的香气,降低杂味、苦味^[52,55-56]。泡粮、蒸粮、糖化、料水比的设定以及发

酵时间、温度、菌种的选择都会对青稞酒的品质产生极大的影响。发酵初期较高的糖含量对酵母的繁殖极为有利，而较高的料液比会使发酵液的酒精度、总糖、总酸、pH值均下降，不利于酒曲中酵母的发酵作用^[57]。发酵时间过短会导致淀粉利用不完全，酿造时间过长则会导致青稞酒中总酸含量上升。只有合适的酿造条件，才能更好的利用青稞中的淀粉、蛋白质等物质，有更高的出酒率，并形成和富集更多的风味物质。

表2 不同工艺条件对青稞酒香气的影响
Table 2 Effects of different process conditions on aroma of highland barley liquor

工艺条件	参数	香气成分变化	香气特征	参考文献
原料预处理	炒制(180~200 ℃, 13~15 min)对比未炒制	香气种类和含量增加, 关键风味物质含量增加	面包香、花香更浓	[29]
	青稞加辅粮(豌豆、糯米)对比纯青稞	香气物质总含量、总酯、酸类、烯萜类增加, 乙酸乙酯、乳酸乙酯增加, 酚类、醛酮类下降, 呋喃、吡嗪、内酯、烯萜类种类差异大	花香、水果香、草本香增加	[19]
	55 ℃泡粮24 h、蒸粮4 h、糖化2 d、料水比1:2.3 (g:mL)、32 ℃发酵52.32 h	醇类物质相对含量高达79.93%, 其次是酯类(10.70%)。其中异戊醇、苯乙醇、异丁醇、乙酸异戊酯等含量较高	醇香、水果香、奶油香、香蕉香等	[55]
发酵	料水比为1:4.8、发酵温度24.4 ℃、发酵时间12 d	乙酸乙酯含量增加	整体香气提升	[56]
	霉菌、酵母发酵对比市售青稞酒	酯类明显增加; 酸类明显下降	酸苦味明显下降, 甜味、酒香、果香上升	[52]
	不蒸馏(6种传统青稞酒)	风味物质种类具有较强的稳定性和一致性, 但含量差异显著。其中异戊醇、 β -苯乙醇、异丁醇、乙酸乙酯、乙酸异戊酯、己酸乙酯相对含量较高	整体香气及浓郁度有差异, 醇类(61%~90%)、酯类(4%~24%)等物质含量占比差异较大	[25]
蒸馏	原酒对比基酒(掐头去尾)	高级脂肪酸乙酯(棕榈酸乙酯、油酸乙酯、亚油酸乙酯)更低	呈香呈味的作用增强	[58]
	酒头对比基酒(掐头去尾)	总酯含量、乙酸乙酯、杂醇油、醛类物质含量更多; 而总酸和乳酸乙酯的含量较低	香气浓郁, 但杂味也更强	[59]
	一糙酒(酒头、酒身、酒尾)	香气物质总含量、酯类、醇类、醛酮类、缩醛类逐步降低; 酸类、芳香族逐步上升	苦味杂味降低, 果香、醇香上升	[19]
	二糙酒对比一糙酒	醇类、醛类、2-甲基-1-丁醇、3-甲基-1-丁醇、2-甲基-1-丙醇、糠醛、苯甲醛上升; 酯类、酚类、4-乙基-2-甲氧基苯酚、2,4-二叔丁基苯酚降低	水果香降低, 醇香、香气浓郁度上升	[13]
	陈酿(0~11个月)	总酯、总醇含量、乙酸乙酯、乳酸乙酯下降; 总酸含量、乙酸上升	甜香、杏仁香上升, 果香、丁香下降	[61]
陈酿	老坛及新坛加2%的老坛碎片对比新坛	老坛的酸酯含量均较高, 变化趋势明显, 其次是添加了2%陶坛碎片的原酒	陈香陈味、酒体丰满醇厚、回甜感上升	[62]
勾调	互助青稞酒	乳酸乙酯与乙酸乙酯的比值控制在0.4~0.9, 丁酸乙酯与乙酸乙酯的比值控制在0.01~0.08	清雅纯正、绵甜柔和、醇厚爽净	[63]

在蒸馏过程中掐头去尾, 可以掐掉酒头中甲醇等有害物质, 也可以去掉酒尾中浓度过高的乳酸乙酯、乙酸等高沸点(高于150 ℃)的物质, 而高级脂肪酸乙酯含量表现为酒身低, 酒头、酒尾高的特点, 通过掐头去尾可以更好的控制青稞酒的品质^[19, 25, 58-59]。

新酒通常含有较多的硫化氢、硫醇、硫醚等刺激性物质, 入口辛辣^[60]。在陈酿过程中, 空气中的氧气进入坛内与酒产生微氧循环, 加速酒的酯化、氧化、还原反应的速度, 有效排除醛类、硫化物等物质, 减少辛辣味, 增加酒的芳香。陈酿后的青稞酒与刚蒸馏的青稞酒在聚类分析时明显分为两类, 陈酿使得总酯和总醇含量下降, 总酸含量上升^[61], 酒体变得醇和, 产生陈香。在实际应用中, 可以用老坛或者添加老坛碎片的新坛储藏新酒, 加速催陈效果, 使青稞酒陈香陈味突出, 入口绵柔, 有回甜感^[62]。

勾调可以改善酒的品质, 提高酒的档次, 突出酒的风

格。选用不同质量和风格的基础酒, 以口感为主, 结合色谱骨架成分, 总酸、总酯及乙酸乙酯、丁酸乙酯、乳酸乙酯等微量成分, 使组合后的基础酒基本达到绵甜柔和、香味协调等特征。在此基础上加入特制的香、甜、陈、净、多粮型等调味酒, 弥补基酒的不足, 进而可以奠定青稞酒产品的风格^[63]。

4 结论与展望

青稞酒香气成分主要以酯类和醇类为主, 芳香族化合物种类和含量差异较大, 酸类和醛酮类物质等较少, 表现出共性和差异。青稞酒的关键呈香物质超过80种, 主要呈花香、果香、植物香和酒香等特征香气。其中 β -苯乙醇、乙酸、丁酸乙酯是青稞酒中强度突出的呈香物质。优良的青稞、合适的发酵剂和优化工艺均能提高青稞酒风味, 改善青稞酒的品质。但是多数研究的研究对象均是天佑德青稞酒, 并采用GC-MS结合OVA法分析青稞酒香气物质成分和

特征,因此不能全面掌握青稞酒的风味特征。下一步拟采用GC×GC-TOF MS、GC-O等更高灵敏度和准确度的检测工具和多元统计分析方法,开展典型品种和商品青稞酒的香气研究,掌握青稞酒香气精准调控方法和机理。进而锁定青稞酒的风味特征,指导青稞的种植、核心功能微生物的筛选、企业生产工艺参数的确定,为我国青稞种植业转型升级,青稞酒品质的提升及青稞酒市场蓬勃发展提供参考。

参考文献:

- [1] 王晓芹,代宇,张宿义,等. 青稞酒酿造研究进展[J]. 酿酒科技,2015(3): 102-104.
- [2] 焦兴弘. 舟曲青稞酒的营养价值及保健功能[J]. 食品安全导刊,2020(12): 95.
- [3] 游茂兰,邓婧,覃小丽,等. β -葡聚糖对传统青稞酒发酵的影响[J]. 食品与发酵工业,2019,45(10): 149-154.
- [4] LIN S, GUO H, GONG J, et al. Phenolic profiles, β -glucan contents, and antioxidant capacities of colored Qingke (*Tibetan hulless barley*) cultivars [J]. *J Cereal Sci*, 2018, 81: 69-75.
- [5] 胡辉,刘鹏,程佩佩,等. 小分子青稞 β -葡聚糖辅助降血糖功能研究[J]. 食品研究与开发,2018,39(21): 33-37,99.
- [6] 谭海运. 青稞加工工艺现状及发展对策[J]. 现代农业科技,2019(9): 217-218.
- [7] SHARMA S, HAMEED S, FATIMA Z. Monoterpenoid geraniol improves anti-mycobacterial drug efficiency by interfering with lipidome and virulence of mycobacteria[J]. *Infectious Disorders-Drug Targets*, 2020, 20(4): 467-485.
- [8] 蔡析锐,于晓兰,刘家仁. 香叶醇抗肿瘤活性及其他生物学作用的研究进展[J]. 实用肿瘤学杂志,2023,37(1): 58-62.
- [9] YOUNIS N S, ELSEWEDY H S, SOLIMAN W E, et al. Geraniol isolated from lemon grass to mitigate doxorubicin-induced cardiotoxicity through Nrf2 and NF- κ B signaling[J]. *Chem-Biol Interact*, 2021, 347: 109599.
- [10] DA SILVA C E H, GOSMANN G, DE ANDRADE S F. Limonene and perillyl alcohol derivatives: synthesis and anticancer activity[J]. *Mini Rev Med Chem*, 2021, 21(14): 1813-1829.
- [11] 徐岩. 白酒挥发性风味数据库的构建及青稞酒风味特征研究与应用[R]. 无锡:江南大学,2019.
- [12] 左可成,乐细选,吴鑫,等. 不同产区、不同品种青稞酒的质量差异性研究[J]. 酿酒,2023,50(2): 62-66.
- [13] 匡桂佳,谢子怡,王进英,等. 不同楂次天佑德青稞酒挥发性物质分析[J]. 现代食品,2022,28(21): 170-176.
- [14] 刘冲冲,冯声宝,吴群,等. 青稞酒发酵过程中的风味功能微生物及其风味代谢特征解析[J]. 微生物学通报,2020,47(1): 151-161.
- [15] HU M, LIN Q L, LUO Z, et al. Analysis of nutrition compositions and volatile compounds of two cereals from Tibet[J]. *Sci Technol Food Ind*, 2016, 37(14): 49-58.
- [16] FAN W, QIAN M C. Headspace solid phase microextraction and gas chromatography-olfactometry dilution analysis of young and aged Chinese "Yanghe Daqu" liquors[J]. *J Agr Food Chem*, 2005, 53(20): 7931-7938.
- [17] 刘志鹏,车富红,李善文,等. 全二维气相色谱-飞行时间质谱法分析不同季节酿造的青稞酒挥发性组分特征[J]. 食品与发酵工业,2019,45(15): 218-226.
- [18] JIANG X H, LU Y Y, LIU S Q. Effects of pectinase treatment on the physicochemical and oenological properties of red dragon fruit wine fermented with *Torulaspora delbrueckii*[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2020, 132: 109929.
- [19] 高文俊. 青稞酒重要风味成分及其酒醅中香气物质研究[D]. 无锡:江南大学,2014.
- [20] 丁云连. 汾酒特征香气物质研究[D]. 无锡:江南大学,2008.
- [21] 郭俊花. 大曲清香宝丰米查次酒及其大曲香气物质的研究[D]. 无锡:江南大学,2010.
- [22] 宋波. 白酒中各种成分对酒质的影响[J]. 酿酒科技,2011(12): 65-67.
- [23] OUYANG X Y, YUAN G S, REN J, et al. Aromatic compounds and organoleptic features of fermented wolfberry wine: Effects of maceration time[J]. *Int J Food Prop*, 2017, 20(10): 2234-2248.
- [24] 樊杉杉,董雅君,杨兴华,等. 不同地区来源藏曲对西藏传统酿造青稞酒风味特征的影响[J]. 食品与发酵工业,2019,45(2): 7-14.
- [25] 王雪薇,江伟,孙志伟,等. 藏区传统青稞发酵酒的风味特征剖析[J]. 食品与发酵工业,2018,44(11): 286-291.
- [26] 吉生军,韩鸿萍. 液-液萃取结合GC-MS法测定青稞酒中的香气成分[J]. 食品研究与开发,2022,43(15): 187-194.
- [27] FAN S, TANG K, XU Y, et al. Characterization of the potent odorants in Tibetan Qingke Jiu by sensory analysis, aroma extract dilution analysis, quantitative analysis and odor activity values[J]. *Food Res Int*, 2020, 137: 109349.
- [28] ZHANG K, YANG J, QIAO Z, et al. Assessment of β -glucans, phenols, flavor and volatile profiles of hulless barley wine originating from highland areas of China[J]. *Food Chem*, 2019, 293: 32-40.
- [29] 杨海晴,彭钰钊,任柳阳,等. 炒制工艺对青稞酒风味和品质的影响[J]. 食品与机械,2020,36(9): 183-187,200.
- [30] CHENG Y, LI G, WU H, et al. Identification of light-induced key off-flavors in ponkan mandarin juice using MDGC-MS/O and GC-MS/PFPD[J]. *J Agr Food Chem*, 2021, 69(47): 14259-14269.
- [31] 郭志君,杨磊,骆红霞,等. 苹果酸-乳酸发酵对刺梨酒香气的影响[J]. 食品与机械,2022,38(3): 197-204,233.
- [32] FERREIRA V, LÓPEZ R, CACHO J F. Quantitative determination of the odorants of young red wines from different grape varieties[J]. *J Sci Food Agr*, 2000, 80(11): 1659-1667.
- [33] WILLNER B, GRANVOGL M, SCHIEBERLE P. Characterization of the key aroma compounds in bartlett pear brandies by means of the sensomics concept[J]. *J Agr Food Chem*, 2013, 61(40): 9583-9593.
- [34] 王琛. 白酒酒醅中酵母菌的分离鉴定及特性研究[D]. 成都:四川大学,2013.
- [35] 高文俊,范文来,徐岩. 西北高原青稞酒重要挥发性香气成分[J]. 食品工业科技,2013,34(22): 49-53,57.
- [36] QIAN Y L, AN Y, CHEN S, et al. Characterization of Qingke liquor aroma from Tibet[J]. *J Agr Food Chem*, 2019, 67(50): 13870-13881.
- [37] WANG R F, ZHU Q Z, QIAO L N, et al. Characterization of the key aroma-active compounds in Qingke Baijiu by application of the sensory approach[J]. *J Food Compos Anal*, 2023, 118: 105196.
- [38] 车富红,冯声宝,李善文,等. 不同青稞品种与高粱中结合态风味成分和萜烯类物质的对比研究[J]. 酿酒科技,2019(12): 119-125,129.
- [39] 龚凌霄. 青稞全谷物及其防治代谢综合征的作用研究[D]. 杭州:浙江

- 大学, 2013.
- [40] 朱伟岸, 吴群, 李记明, 等. 白酒酿造谷物类原料中结合态香气物质的分离及检测分析[J]. 食品与生物技术学报, 2015, 34(5): 456-462.
- [41] 张文会, 于翠翠, 陈锋, 等. 三种青稞品质及风味物质比较分析[J]. 粮食加工, 2020, 45(3): 66-68.
- [42] 贾福晨, 辜雪冬, 薛洁, 等. 青稞原料与青稞酒风味物质相关性分析[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(4): 92-98.
- [43] 姜欣, 江伟, 谢三款, 等. 青稞品种对青稞发酵酒营养与感官品质的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(5): 38-44.
- [44] 袁玉蛟, 易欣, 吴正云, 等. 新型青稞酒混曲发酵工艺研究[J]. 酿酒科技, 2015(12): 78-81.
- [45] 陈占秀, 李善文, 黄和强, 等. 高原青稞酒的功能性酿造微生物及代谢产物研究[J]. 酿酒科技, 2022(11): 72-81.
- [46] CHEN L, WANG S, LI D, et al. Correlations between microbes and metabolites of hulless barley wines fermented with varieties of hulless barley and different starters[J]. **LWT—Food Sci Technol**, 2021, 152: 12228.
- [47] GUO L, LUO Y, ZHOU Y, et al. Exploring microbial dynamics associated with flavours production during highland barley wine fermentation [J]. **Food Res Int**, 2020, 130: 108971.
- [48] YU F, LIN Q. Study of *Rhizopus* amylase applied in sweet rice wine Qu [J]. **Modern Food Sci Tech**, 2005, 21(1): 187-189.
- [49] CAPPELLO M S, ZAPPAROLI G, LOGRIECO A, et al. Linking wine lactic acid bacteria diversity with wine aroma and flavour[J]. **Int J Food Microbiol**, 2016, 243: 16-27.
- [50] CHANG M, MOON S H, CHANG H C. Isolation of *Bacillus velezensis* SSH100-10 with antifungal activity from Korean traditional soy sauce and characterization of its antifungal compounds[J]. **Korean J Food Preserv**, 2012, 5: 757-766.
- [51] ZHU B F, XU Y, FAN W L. High-yield fermentative preparation of tetramethylpyrazine by *Bacillus* sp. using an endogenous precursor approach[J]. **J Ind Microbiol Biot**, 2010, 37(2): 17-22.
- [52] 王三霞. 纯菌混合发酵青稞酒的风味物质代谢规律研究[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2022.
- [53] 祁万军, 李善文, 陈占秀, 等. 一株酿酒酵母在青稞酒生产中的应用[J]. 酿酒科技, 2021(10): 112-119.
- [54] LU C, ZHAO Z X, HUANG G B, et al. The contribution of cell wall integrity to gastric emptying and *in vitro* starch digestibility and fermentation performance of highland barley foods[J]. **Food ResInt**, 2023, 169: 112912.
- [55] 贾福晨, 张晓蒙, 于佳俊, 等. 基于响应面法西藏传统青稞酒的酿造工艺[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(22): 171-178.
- [56] 王晓芹, 李勇, 徐勇, 等. 响应面法优化新型青稞酒发酵工艺[J]. 酿酒科技, 2015(10): 89-93.
- [57] 李蓉, 缪园欣, 陈清婵, 等. 葛根黄酒发酵工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(24): 75-78.
- [58] 梅怀文, 车富红, 王文忠, 等. 采用GC-MS分析青稞酒蒸馏过程中高级脂肪酸乙酯的含量[J]. 酿酒, 2023, 50(3): 70-73.
- [59] 陶兰德, 牛青青, 马菊兰, 等. 青稞酒原酒酒头主要成分的研究[J]. 酿酒, 2023, 50(1): 114-118.
- [60] 沈怡方. 白酒生产技术全书[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2013: 237-240.
- [61] 秦丹, 何菲, 冯声宝, 等. 不同贮存时间青稞酒挥发性香气成分分析[J]. 食品科学, 2021, 42(16): 99-107.
- [62] 许锦文, 牛青青, 朱广燕, 等. 陶坛贮存对青稞酒的老熟效果研究[J]. 酿酒, 2021, 48(6): 76-78.
- [63] 文守海, 赵生元. 互助青稞酒风格成因探讨[J]. 酿酒科技, 2011(9): 74-75, 80.