

基于知识图谱的白兰地研究进展可视化分析

张葆春¹, 苏晨雪², 车佳², 王悦², 申春华¹, 于立娜¹, 孙翔宇², 刘文政², 房玉林^{2,*}
(1.烟台可雅白兰地酒庄有限公司, 山东 烟台 264006; 2.西北农林科技大学葡萄酒学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 白兰地是一种以葡萄或其他水果为原料, 经发酵、蒸馏和橡木桶陈酿制成的高度蒸馏酒, 因其独特风味与悠久历史而广受欢迎。本文基于文献计量学方法, 利用CiteSpace软件对1985—2024年中国知网(China National Knowledge Infrastructure, CNKI)与Web of Science(WOS)核心合集中白兰地相关文献(中文947篇、英文758篇)进行统计与可视化分析。结果显示, 白兰地相关研究发文量自1990年起总体呈逐年上升趋势, 主要发文国家包括西班牙、美国和葡萄牙, 高产期刊为*Journal of Agricultural and Food Chemistry*和《酿酒科技》。CNKI数据库中核心作者张葆春、李记明、赵玉平之间合作紧密, WOS核心合集中Canas S为高产作者。国际上白兰地研究主要集中于欧洲机构, 且葡萄牙相关研究机构发文量最多, 并形成跨国合作团队; 国内研究则以酿酒企业和高校为主体, 其中山东烟台张裕集团贡献最多, 形成区域性紧密合作网络。此外, 白兰地香气成分分析是目前主要研究热点。该文通过对文献数据的系统梳理, 揭示了白兰地研究的发展趋势与热点演变, 为后续学术研究提供参考。

关键词: 白兰地; 可视化分析; 文献计量学; 研究热点

Visual Analysis of Brandy Research Progress Based on Knowledge Graphs

ZHANG Baochun¹, SU Chenxue², CHE Jia², WANG Yue², SHEN Chunhua¹, YU Lina¹, SUN Xiangyu², LIU Wenzheng², FANG Yulin^{2,*}

(1. Chateau Koya Brandy of Yantai Co. Ltd., Yantai 264006, China;

2. College of Enology, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: Brandy is a high-proof distilled spirit made from grapes or other fruits through fermentation, distillation, and oak barrel aging, and it is widely appreciated for its unique flavor and long history. This study, based on bibliometric methods and using CiteSpace software, conducted statistical and visualization analyses of brandy-related literature from the China National Knowledge Infrastructure (CNKI) and Web of Science (WOS) core collection between 1985 and 2024 (947 Chinese publications and 758 English publications). The results showed that the annual publication volume on brandy has generally increased since 1990; the main contributing countries were Spain, the United States, and Portugal; and the most prolific journals were the *Journal of Agricultural and Food Chemistry* and *Liquor-Making Science & Technology*. Among Chinese core authors, Zhang Baochun, Li Jiming, and Zhao Yuping maintain close collaboration, while Canas S is the most prolific author in the WOS core collection. Institutional analysis indicated that international brandy research was mainly concentrated in European institutions, with Portuguese institutions contributing the largest number of publications and forming cross-national collaborative networks; domestically, research was primarily conducted by liquor enterprises and universities, with Yantai Changyu Group in Shandong making significant contributions and forming a regionally close-knit collaboration network. Keyword co-occurrence analysis reveals that current research hotspots focus on aroma component analysis. This study provides a systematic review of the literature, revealing trends and the evolution of research hotspots in the field of brandy, offering a reference for future academic research.

Keywords: brandy; visual analysis; bibliometrics; research hotspots

DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2026.05.037

中图分类号: TS262.3

文献标志码: A

文章编号: 0254-5071 (2026) 05-0282-08

收稿日期: 2025-03-07

基金项目: “十四五”国家重点研发计划重点专项(2022YFD1602000); 山东省重点研发计划项目(2023TZX062)

第一作者简介: 张葆春(1966—), 女, 研究员, 硕士, 研究方向为发酵工程。E-mail: 13505356057@163.com

*通信作者简介: 房玉林(1973—), 教授, 博士, 研究方向为酿酒葡萄品质发育与调控、葡萄种质资源。

E-mail: fangyulin@nwsuaf.edu.cn

引文格式:

张葆春, 苏晨雪, 车佳, 等. 基于知识图谱的白兰地研究进展可视化分析[J]. 中国酿造, 2026, 45(5): 282-289.

DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2026.05.037. <http://www.chinabrewing.net.cn>

ZHANG Baochun, SU Chenxue, CHE Jia, et al. Visual analysis of brandy research progress based on knowledge graphs[J].

China Brewing, 2026, 45(5): 282-289. (in Chinese with English abstract) DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2026.05.037.

<http://www.chinabrewing.net.cn>

白兰地是以水果为原料, 经过发酵、蒸馏、贮藏陈酿而成。通常讲的白兰地是以葡萄为原料的蒸馏酒, 为葡萄白兰地^[1]。以其他水果为原料酿成的白兰地, 应冠以原料水果的名称, 如红枣白兰地、苹果白兰地、桃白兰地、李子白兰地等^[2]。白兰地是世界8大烈酒之一, 具有广阔的消费市场, 其全球销量居于烈酒中的第3位。近年来, 随着产品与服务质量的不断升级, 白兰地市场呈现爆发式增长。2019年, 我国白兰地行业市场规模达到74亿元。目前, 中国白兰地消费市场呈现明显的区域化, 主要集中在华北和东部沿海的一线城市, 且消费市场主要被法国高端白兰地品牌占领。全球最著名的10大白兰地品牌包括轩尼诗(Hennessy)、马爹利(Martell)、人头马(Rémy Martin)、御鹿(Hine)、卡慕(Camus)、拿破仑(Courvoisier)、张裕(Changyu)、百事吉(Bisquit)、路易老爷(Louis Royer)、豪达(Otard)。大多数品牌产自法国, 只有张裕是我国本土品牌^[3]。

在国际上, 白兰地乙醇体积分数多在40%左右, 白兰地的分级一般是根据酒龄划分。具体的等级界定方法, 不同的国家有不同的规定。我国借鉴了法国等白兰地生产发达国家的相关标准, 在GB/T 11856.2—2023《烈性酒质量要求第2部分: 白兰地》中将白兰地分为4个等级, 即特级(X.O)、优级(V.S.O.P)、一级(V.O)和二级(三星和V.S)。其中, X.O最低酒龄为6年, V.S.O.P最低酒龄为4年, V.O最低酒龄为3年, 二级最低酒龄为2年。除酒龄外, 各等级白兰地的质量与其香气成分密切相关^[4]。随着白兰地在食品领域的文献报道越来越多, 需要用统计学的方法进行整理和分析, 从而掌握研究热点和前沿^[5]。文献计量学就是用数学和统计学的方法, 根据科学文献数据库和计量学特征进行可视化分析^[6-9], 总结学术前沿和热点, 预测研究领域的科学发展趋势的一门科学, 也是一种快速获得相关类型知识结构的新方法^[10-11]。

为了解白兰地在食品领域的研究现状, 本文以中国知网(China National Knowledge Infrastructure, CNKI)数据库、Web of Science(WOS)核心合集为数据来源, 采用文献计量学方法, 利用Excel 2019及CiteSpace 6.1.R7对白兰地相关文献年度发文量、核心发文国家、发文期刊、发文机构、作者及关键词进行共现分析, 以期探究

目前国内外白兰地研究现状, 为未来白兰地行业相关研究提供参考依据。

1 数据来源及统计分析

1.1 数据来源

本文以CNKI数据库、WOS核心合集为数据来源。以CNKI学术期刊数据库作为中文文献数据库, 按照主题(检索式=“白兰地”), 设置时间限制1985—2024年, 共检索到947篇中文文献。以WOS核心合集作为外文文献数据库, 按照主题词(检索式=“TS = (Brandy)”)进行高级检索, 设置时间限制1985—2024年, 共检索到758篇外文文献。

1.2 研究方法

将CNKI数据库检索到的947篇文献以“纯文本”格式导出, 将WOS数据库检索到的758篇文献以“Refworks”格式导出。利用CNKI及WOS核心合集自带的可视化计量分析功能导出全部检索结果数据, 结合Excel 2019对年度发文量、发文国家、发文期刊、发文机构和检索到的文献数据绘图, 对该领域的研究和发展情况进行全面地统计; 使用CiteSpace 6.1.R7软件对文献作者及关键词进行提取, 构建高产作者合作网络图及高频关键词聚类网络图, 从而对作者、文献关键词进行共现分析, 归纳白兰地在国内外主流研究现状, 总结研究热点内容, 预测白兰地相关研究及发展趋势。

2 知识图谱分析

2.1 年度发文量

发文量可以展现一个领域的研究活跃程度及成果转化效率^[12-13], 由图1可知, 在检索时间段的早期阶段, 白兰地相关文献年度发文量较少; 自1990年起, 年度发文量整体呈上升趋势, 1991年后年度发文量超过20篇, 说明该领域的科学研究持续活跃, 科研成果不断产出。其中, WOS数据库中发文量在2021年达到峰值(45篇), CNKI则在2014年达到最高值(42篇)。值得注意的是, 随着科研国际化进程的推进, 越来越多的中国学者在国际期刊上发表英文论文, 因此WOS文献不仅代表国外研

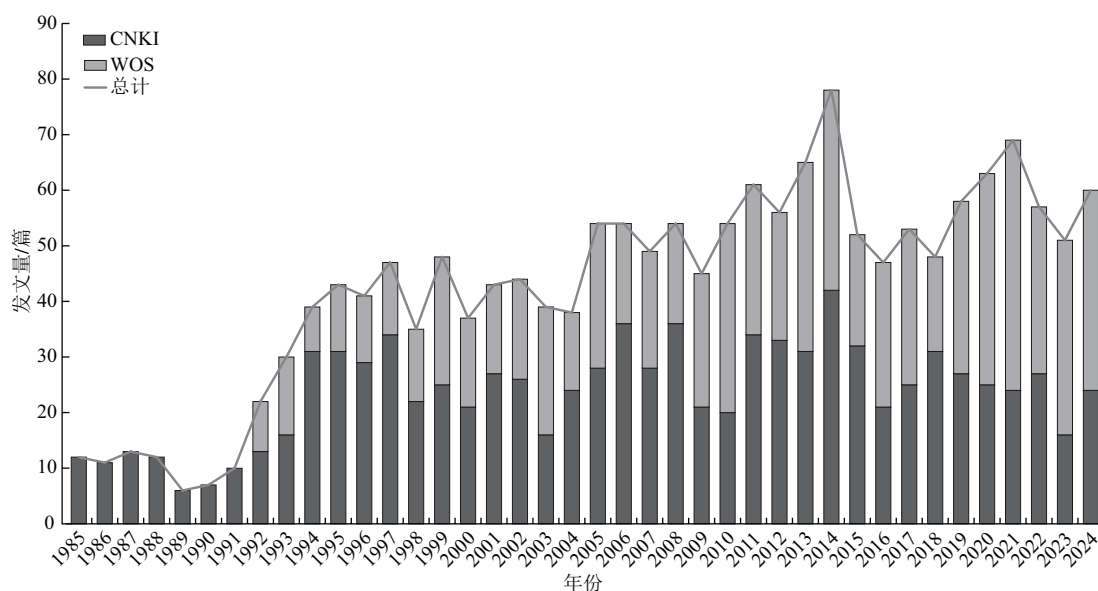


图1 1985—2024年WOS数据库及CNKI数据库白兰地相关文献年度发文量变化

Fig. 1 Annual publication trends of brandy-related literatures retrieved from the WOS core collection and CNKI from 1985 to 2024

究动态,也反映了中国学者在全球白兰地研究领域的积极贡献。总体而言,白兰地研究经历了从起步到快速发展再到稳定成熟的过程。

2.2 期刊分布及国家分布分析

2.2.1 期刊分布分析

根据WOS数据库的检索结果,选取发文量 ≥ 10 篇的期刊进行统计分析,结果见表1。发文量超过10篇的期刊有12家,共计收录相关文献225篇,占WOS数据库总收录数的29.68%。其中发文量最多的期刊为*Journal of Agricultural and Food Chemistry*,收录54篇,占比为7.12%;其次为*Food Chemistry* 41篇、*Foods* 17篇、*Journal of the Institute of Brewing* 15篇、*European Food Research and Technology*和*Molecules*各14篇。

表1 WOS数据库中主要期刊白兰地相关文献发文量统计情况
Table 1 Statistics on publications of brandy-related literatures in major journals from the WOS core collection

出版物	发文量/篇	占比%
<i>Journal of Agricultural and Food Chemistry</i>	54	7.12
<i>Food Chemistry</i>	41	5.41
<i>Foods</i>	17	2.24
<i>Journal of the Institute of Brewing</i>	15	1.98
<i>European Food Research and Technology</i>	14	1.85
<i>Molecules</i>	14	1.85
<i>American Journal of Enology and Viticulture</i>	13	1.72
<i>LWT-Food Science and Technology</i>	13	1.72
<i>Journal of the Science of Food and Agriculture</i>	12	1.58
<i>Journal of Viticulture and Enology</i>	11	1.45
<i>Food Research International</i>	11	1.45
<i>Journal of Chromatography A</i>	10	1.32

根据CNKI数据库的检索结果,选取发文量 ≥ 10 篇的期刊进行统计分析,结果见图2。发文量 ≥ 10 篇的期刊共14家,共计收录相关文献533篇,占CNKI数据库总收录数的56.28%。其中发文量超过40篇的期刊共5家,分别为《酿酒科技》142篇,占比为14.99%;《中外葡萄与葡萄酒》73篇,占比为7.71%;《酿酒》69篇,占比为7.29%;《中国酿造》52篇,占比为5.49%;《中国酒》43篇,占比为4.54%。结果表明,国内关于白兰地的相关研究以食品工业为主,期刊分布相对集中。期刊均为食品科学领域期刊,期刊关注的方向反映了白兰地研究的热点和焦点,指导相关学者了解白兰地领域前沿发展。

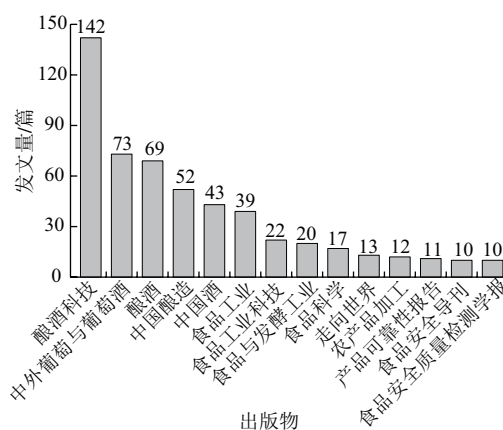
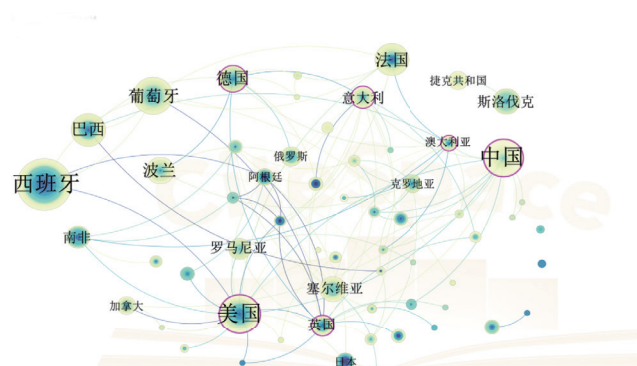


图2 CNKI数据库中主要期刊白兰地相关文献发文量统计结果
Fig. 2 Statistics on publications of brandy-related literatures in major journals from the CNKI

2.2.2 国家分布分析

一个国家在某领域研究的活跃程度通常与其发文量密切相关^[14-15]。对WOS数据库中1992—2024年白兰地相关文献进行国家共现分析,由图3可知,共有73个

国家参与该领域研究,发文量排名前12的国家依次为西班牙(132篇)、美国(71篇)、葡萄牙(65篇)、中国(57篇)、巴西(49篇)、法国(48篇)、德国(32篇)、塞尔维亚(28篇)、波兰(24篇)、斯洛伐克(24篇)、加拿大(20篇)和南非(20篇)。总体来看,西班牙、法国、葡萄牙等欧洲国家起步较早;美国、巴西等美洲国家以及日本也较早开展相关研究。近年来,我国在该领域的研究快速增长,发文量位居第4,显示出良好的发展趋势。国家合作网络分析表明,西班牙和美国在国际合作中最为活跃;美国、中国、德国、澳大利亚、英国、意大利等国家的中心性值均大于0.1(节点外圈有粉色外框),表明其在全球白兰地研究网络中具有重要影响力。



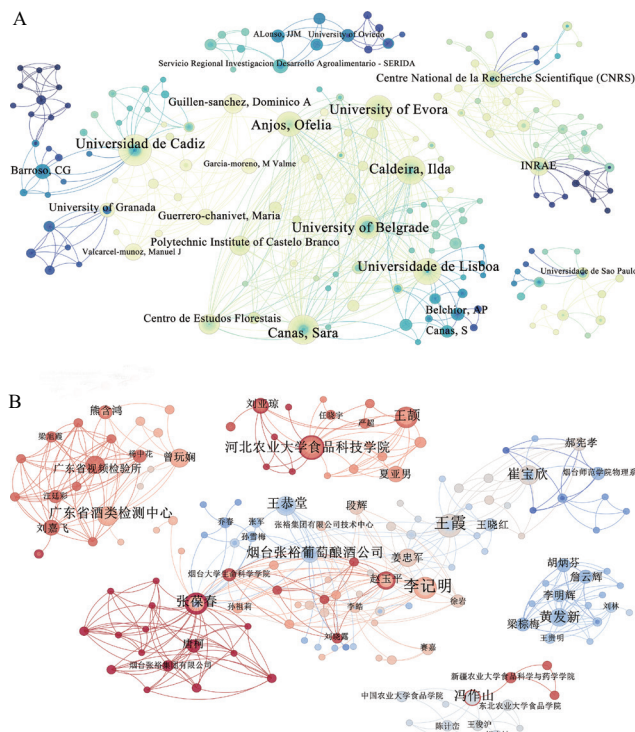
图中颜色由深至浅表示时间由远至近。图4~5同。

图3 WOS数据库中白兰地相关文献发文量国家共现分析
Fig. 3 Country co-occurrence analysis of brandy-related publications in the WOS core collection

2.3 作者及机构共现分析

研究领域的高频作者及其合作网络是该领域的关键力量,对文献作者及其合作关系进行共现分析,有助于从整体上掌握白兰地相关研究领域的核心学术群体及其学术交流的强度^[11]。由图4A可知,WOS数据库中检索到的白兰地相关文献中发文量最多的作者为Canas S,共计发表相关文献37篇;Caldeira I发文量仅次于Canas S,共计发表相关文献35篇,此外,Belchior A P、Anjos O发文量也较多,均超过20篇。通过对研究机构的分析可以看出,来自不同国家的机构存在合作状况,打破了地域限制。由图4B可知,早期主要形成了以王恭堂、黄发新、崔宝欣等为代表的合作团队,中期主要形成了以王颀、李记明等为代表的合作团队,近期形成了以张葆春、赵玉平等为代表的合作团队。对CNKI数据库中白兰地相关文献贡献度较高的作者是王颀,其来自河北农业大学,发文量为20篇;其次为张葆春、李记明、赵玉平等。其中,张葆春、李记明与赵玉平之间合作关系较为紧密,在作者合作网络中形成了较稳定的合作群体,是近年来白兰地研究领域的重要核心作者团队之一。通过对国内作者共现分析可知,白兰地领域已形成较为稳定的研究团队,团

队内部合作交流较为紧密,尤其是张葆春、李记明、赵玉平等核心作者之间联系密切;同时研究团队呈现一定的区域集聚特征,跨区域团队间合作联系相对较少。



图B中颜色由蓝至红表示时间由远至近。

图4 WOS核心合集(A)及CNKI数据库(B)中白兰地相关文献作者及机构共现及发展趋势

Fig. 4 Co-occurrence of authors and institutions and developmental trends for brandy-related publications in the WOS core (A) collection and CNKI (B)

进一步汇总WOS数据库(发文量>15篇)及CNKI数据库(发文量≥10篇)白兰地相关文献主要研究机构的发文量。由表2可知,WOS数据库中白兰地相关文献主要研究机构包括11家,大部分位于欧洲地区,其中葡萄牙的相关研究机构发文量最多,共4家;然而,我国的相关研究机构发文量目前均小于15篇。

表2 WOS核心集中白兰地相关文献主要研究机构发文量统计情况
Table 2 Publication statistics of major research institutions on brandy-related literatures in the WOS core collection

序号	发文机构	所属国家	发文量/篇	占比/%
1	加的斯大学	西班牙	45	5.94
2	里斯本大学	葡萄牙	36	4.75
3	埃武拉大学	葡萄牙	27	3.56
4	斯洛伐克技术大学	斯洛伐克	23	3.03
5	贝尔格莱德大学	塞尔维亚	22	2.90
6	卡斯托洛·布兰科理工学院	葡萄牙	21	2.77
7	法国国家农业食品与环境研究院	法国	20	2.64
8	圣保罗大学	巴西	17	2.24
9	格拉纳达大学	西班牙	17	2.24
10	森林研究中心	葡萄牙	15	1.98
11	斯泰伦博斯大学	南非	15	1.98

由表3可知, CNKI数据库中白兰地相关文献主要研究机构有13家, 多以酿酒企业、农业相关高校为主, 其中山东省烟台市张裕集团有限公司发文量最多, 达到35篇, 占比3.70%, 其次为山东省烟台市张裕集团葡萄酿酒股份有限公司, 发文量为29篇, 占比3.06%, 因此, 目前国内对于白兰地相关研究主要以酿酒企业以及全国各大高校为主体研究力量。

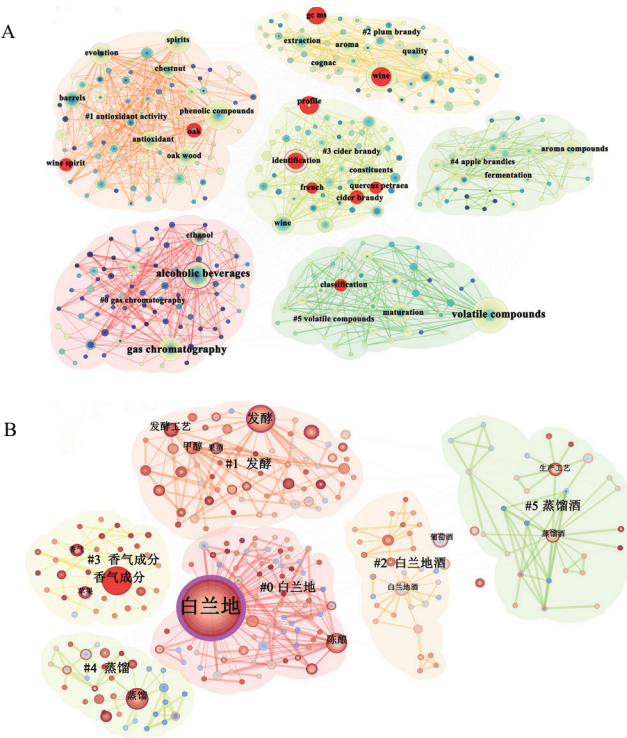
表3 CNKI数据库中白兰地相关文献主要研究机构发文量统计情况
Table 3 Publication statistics of major research institutions on brandy-related literatures in the CNKI

序号	发文机构	发文量/篇	占比/%
1	山东省烟台市张裕集团有限公司	35	3.70
2	山东省烟台市张裕集团葡萄酿酒股份有限公司	29	3.06
3	河北农业大学	24	2.53
4	烟台大学	16	1.69
5	江南大学	15	1.58
6	广东酒类检测中心	12	1.27
7	西北农林科技大学	12	1.27
8	烟台师范学院	12	1.27
9	华南理工大学	12	1.27
10	新疆农业大学	11	1.16
11	甘肃省农业科学院农产品贮藏加工研究所	11	1.16
12	广东省食品卫生监督检验所	11	1.16
13	山东农业大学	10	1.06

2.4 关键词共现分析

关键词是作者精炼出的概括文章主题的词汇, 是作者对于某一具体研究的学术思想、研究主题和研究内容的高度概括和提炼, 故关键词亦可以成为分析研究主题的途径与方法。同时, 可以通过考察该领域中关键词的出现频率了解掌握该领域的研究热点, 判断该领域研究内容的更新速度及学科研究活力^[15-16]。因此, 分别对WOS核心合集和CNKI数据库中检索到的白兰地相关文献中的关键词进行聚类分析。由图5A可知, 从WOS数据库白兰地相关文献中共筛选到6个关键词聚类, 其中以“Gas chromatography (气相色谱)”为主题的关键词聚类最大, 该主题下“Alcoholic beverages”“Ethanol”和“Gas chromatography”出现频次较多, 且“Ethanol”为研究热点。该聚类下“Alcoholic beverages”和“Ethanol”节点的中心性大于0.1, 即该节点作为桥梁与其他节点连接较多。聚类大小排名第2的主题为“Cider brandy”, 其中研究热点为“Idehtification”“Profile”“Quercus petraea”“French”。通过对关键词的分析可以推断, 白兰地的相关研究主要集中在利用气相色谱技术对其香气成分进行分析。目前, 除了葡萄白兰地

之外, 梅子白兰地和苹果白兰地也成为白兰地品类中的重要研究热点。此外, 梅子白兰地中的“GC-MS”“Wine”也是热门主题。



GC-MS.气相色谱-质谱 (gas chromatography-mass spectrometry)。
图5 WOS核心合集 (A) 及CNKI数据库 (B) 中白兰地相关文献关键词聚类分析结果

Fig. 5 Keyword clustering analysis of brandy-related publications in the WOS core collection (A) and CNKI (B)

由图5B可知, 从CNKI数据库白兰地相关文献中也筛选到6个关键词聚类, 其中以“白兰地”为主题的关键词聚类最大, 该主题下的关键词“白兰地”中心性大于0.1, 该节点作为桥梁与其他节点连接较多。聚类大小排名第2的主题为“发酵”, 该主题下的关键词“发酵”中心性大于0.1; 次之关键词为“发酵工艺”与“甲醇”, 表明在白兰地中发酵的相关研究聚焦在发酵工艺与甲醇含量。此外, 国内对于白兰地的研究聚焦在香气成分 (带红色圆圈标记的节点)。

综上, 无论是国际还是国内研究, 白兰地相关研究热点均围绕其香气成分展开, 研究内容主要集中在香气物质的鉴定、组成特征及其形成机制等方面。GC等技术作为核心分析手段, 被广泛应用于对白兰地挥发性成分的解析。同时, 不同原料类型 (如葡萄、苹果、李子等)、发酵过程及其控制条件以及陈酿过程中的物质转化, 均被视为影响白兰地香气品质的重要因素。这些研究热点表明, 白兰地风味形成具有明显的多因素耦合特征, 涉及原料、工艺和贮藏等多个层面。在此基础上可以进一步得出, 白兰地香气品质的形成并非由单一因素

决定,而是受到原料特性、生态环境及后续加工条件等多重因素的共同影响。现有研究为深入探讨这些关键影响因素提供了理论支撑和研究路径。围绕原料差异、环境条件以及陈酿方式等方面展开系统分析,有助于从更细致的层面揭示白兰地香气形成与演变的内在规律,从而为后续研究的深入开展奠定基础。

3 热点研究内容

关键词聚类分析显示,白兰地研究的核心关注仍集中在“香气”上。基于这一研究热点,以下内容将着重介绍不同原料品种、产区风土条件及橡木桶陈酿对白兰地香气特征的影响。白兰地因酿造涉及的材料多样、工艺复杂,所以形成的挥发性香气成分种类很多,这些香气成分的组成和含量受葡萄品种、种植产区、栽培模式、发酵和蒸馏工艺以及橡木桶陈酿等因素的影响^[17]。香气特征作为白兰地品质评价的核心感官指标,其复杂程度体现在已鉴定的400余种芳香物质构成体系上,这些化合物的浓度范围跨越3个数量级($\text{ng/L} \sim \text{mg/L}$)^[18]。从化学分类学角度,白兰地香气组分可系统划分为8大类:醇类、有机酸类、酯类、羰基化合物、酚类衍生物、含氮化合物、萜烯类化合物及其他微量成分。其中,酵母代谢活动是醇类、酸类及羰基化合物的主要生物合成途径^[19];而酚类物质、内酯类化合物与萜烯类物质则主要来源于橡木桶陈酿过程中的木质成分溶出及氧化反应^[17]。

3.1 不同葡萄品种对白兰地香气特征的影响

白兰地酿造中,白葡萄品种的遗传特性对其香气轮廓具有显著调控作用^[20]。产业常用品种包括白玉霓(Ugni Blanc)、白羽(Rkatsiteli)、白福儿(Folle Blanche)、哥笼白(Colombard)及龙眼等,这些品种普遍具有糖度低、酸度高、产量高且抗病性强的特征,属于弱香型或中性香型代表^[21-23]。近年研究发现,“公酿1号”原白兰地含有10种醇类、16种醛类、2种酮类、3种酸类及34种酯类化合物,其中中链脂肪酸乙酯(如己酸乙酯、辛酸乙酯等)含量较高,显著提升酒体的香气层次与丰满度^[20-21]。贵人香蒸馏酒则检测到55种挥发性香气成分,以萜酚类与酯类为主,醛酮类次之,显示其花香与果香特征更为突出^[19-20,24]。总体来看,不同白葡萄品种的香气特征主要由主导挥发性化合物类型决定,可分为3类:以酯类为主(如白玉霓),以醛酮类为主(如小芒森),以及以花果香酯类为主(如贵人香)^[24-25]。其中,白玉霓白兰地以31种酯类和6种缩醛类物质突出;威代尔蒸馏酒兼具青草香与辛辣香;小芒森因醛酮类物质突出形成复杂香气;而贵人香通过乙酸异戊酯等花果香酯类形成特征标识^[26-28]。进

一步研究表明,品种代谢特性与蒸馏热效应的交互作用共同塑造了白兰地香型的分化,如杨凌地区高温高湿气候下,爱格丽与霞多丽蒸馏酒虽中链脂肪酸含量高,但香气贡献受阈值限制^[27]。这说明化合物含量与香气感知并非线性关系,仍需结合阈值及相互作用效应进行综合评估。

近年来,红葡萄品种如赤霞珠(Cabernet Sauvignon)与西拉(Syrah)等也被应用于白兰地酿造。其挥发性成分在发酵阶段生成己酸乙酯、辛酸乙酯等中链脂肪酸酯类及3-甲基丁醇等次级代谢产物,经蒸馏与熟化后,这些物质进一步转化或富集为癸酸乙酯、月桂酸乙酯等关键香气组分,显著提升果香与成熟香的表现^[27]。对比研究发现,赤霞珠白兰地中萜烯类、芳香族及醇类物质总含量最高,但酯类(24种)数量相对较少;蛇龙珠白兰地则显著富集醇类、酸类及醛酮类组分(5种醛酮类与4种酸类),表现出更浓郁的发酵香与协调口感^[21-23]。红葡萄品种特有的萜烯类次生代谢产物,如橙花醇(馥郁花香)、黄樟醚(蜜甜香调)、松油醇与 β -松油醇(松柏/肉豆蔻复合香韵),共同构成其独特的香气指纹特征^[23-25,29]。值得注意的是,赤霞珠中脂肪酸组成更有利于陈酿过程中的酯化与氧化平衡,从而促进风味的精细化演变,其最终酯类谱系与国际知名白兰地的香气特征高度契合^[21-23]。秦丽娜等^[29]研究证实,品种因素对香气的影响超过产地因素,这一结果提示原料品种选择在香气调控中具有关键作用。

3.2 产区风土条件对白兰地香气特征的影响

葡萄产区的风土条件对白兰地香气特征有显著影响^[30]。以白玉霓为例^[23],不同产区的气候条件差异显著,新疆以干旱少雨、强日照为特征,而烟台则属温湿季风气候,这种差异直接导致挥发性成分的分化。烟台白兰地检出69种挥发性风味化合物,其中酯类占比达45%,并含标志性癸酸丙酯等果香物质;新疆则鉴定出57种挥发性风味化合物,包括特有糠醛类物质3种,表现出明显的焦糖与烘烤香特征。两地产物共享26种成分。主成分分析进一步揭示,15种关键骨架香气化合物(如乙酸异戊酯、大马酮等)的相对含量受产区气候显著驱动,形成差异性香气表达。具体而言,烟台地区较高的湿度有利于酯类合成与保留,从而强化果香特征;而新疆强光照与干热环境则促进醛类氧化及糠醛生成,使其香气更偏向焦糖与坚果风格。因此,产区气候差异通过调节前体物质代谢与氧化还原反应途径,在一定程度上塑造了白兰地的地域性香气指纹。

3.3 橡木桶及替代木材对白兰地风味的调控作用

随着橡木桶陈酿白兰地研究的深化,传统橡木的替代材料体系已取得突破性进展。美国、澳大利亚和智利等国通过系统筛选非传统陈酿木材(桃木、核桃木、桑

木、栗木等),发现木材孔隙率与氧气透过率的差异显著影响白兰地香气组分的形成与演化^[28,31-33]。其中,樱桃木陈酿可显著提升酚类化合物含量,包括丁香醛、松柏醛及3,4,5-三甲氧基苯酚;而栗木陈酿则有助于富集更多优质香气前体物质^[33]。研究进一步证实,木材产地属性(法国橡木FO、美国橡木AO、日本蓝橡木JO)、热加工工艺(180℃烘烤40 min,标准木片尺寸20 mm×5 mm×5 mm)与陈酿容器类型(新桶、旧桶、雪利酒调味桶)共同构成白兰地香气的多维调控网络^[34-38]。新桶释放的木质素降解产物浓度较高(单宁质量浓度约1.8 g/L),可增强结构感但易造成口感失衡;而使用超过32年的旧桶仍能持续释放香兰素(年均释放量约0.12 mg/L),从而塑造更复杂的风味层次^[34-38]。对比实验显示,FO/AO体系以单宁与烟熏特征见长,樱桃木体系则表现出更突出的蜂蜜与果香风格。此外,栗木-利穆森橡木复合体系通过不锈钢内嵌木条技术,在降低酚类提取量23%的同时加速色泽演化(ΔE 值提升1.6倍),表明多木材协同技术可兼顾经济性与风味完整性^[39-41]。陈化机理研究表明,木桶内氧化代谢作用与乙醇体积分数(55%阈值效应)共同调控香气化合物稳定性;采用无二氧化硫发酵工艺可使乙醛含量降低19.7%,从而显著改善酒体平衡性^[42]。人工加速陈化模型显示,在30℃条件下添加15 g/L橡木片可使桑甚白兰地中乙酸乙酯质量浓度提升至(2 337±6.4) mg/mL。利用GC-MS/液相色谱-质谱技术,共确定12种关键风味标志物(包括威士忌内酯、丁香酚等),为定向调控香气特征提供了可量化的工艺参数^[43]。这些研究进展不仅拓展了木材代谢组学在白兰地陈酿研究中的应用边界,也构建了从分子机制解析到产业工艺优化的完整技术路径。

4 结 语

通过对1985—2024年CNKI与WOS数据库中白兰地相关文献(中文947篇、英文758篇)进行统计与可视化分析发现,白兰地研究领域发文量自1990年后逐年上升;西班牙、美国、葡萄牙为主要发文国家;*Journal of Agricultural and Food Chemistry*、《酿酒科技》发文量较多;CNKI数据库中发文量最多的作者为王颖, WOS数据库中发文量最多的作者为Canas S;国际上白兰地研究主要集中于欧洲机构,且葡萄牙相关研究机构发文量最多,并形成跨国合作团队,国内研究则以高校和酿酒企业为主体,其中山东烟台张裕集团贡献最多,形成区域性紧密合作网络;关键词共现分析发现白兰地香气分析是目前的主要研究热点。白兰地风味的形成是多因素协同作用的结果,本文可为未来品质优化、差异化发展及创新研究提供科学依据。

参考文献:

- [1] 李华, 王华, 袁春龙, 等. 葡萄酒工艺学[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 237-240.
- [2] 任晓宇, 锁然, 裴晓静, 等. 红枣白兰地中特征风味物质的感官组学[J]. 食品科学, 2019, 40(4): 199-205.
- [3] 朱秋鹰. 樱桃李蒸馏酒(白兰地)消费市场及消费行为分析[J]. 现代商业, 2015(4): 97-98.
- [4] 游义琳, 战吉成, 黄卫东. 不同等级白兰地(V.S.O.P、X.O、EXTRA)香气成分的分析与评价[J]. 酿酒科技, 2009(1): 114-117; 119.
- [5] 李嘉宁, 张子林, 吕毅, 等. 基于文献计量学的葡萄酒中铜研究进展分析[J]. 食品工业科技, 2023, 44(16): 470-479.
- [6] 关胜男, 荆惠, 谢凯, 等. 基于文献计量学的中医药治疗社区获得性肺炎的可视化分析[J]. 中国药事, 2023, 37(9): 1089-1100.
- [7] LI X, XIANG P, LIANG J F, et al. Global trends and hotspots in esketamine research: a bibliometric analysis of past and estimation of future trends[J]. Drug Des Dev Ther, 2022, 16: 1131-1142.
- [8] MOSTAFA M M. A knowledge domain visualization review of thirty years of halal food research: themes, trends and knowledge structure[J]. Trends Food Sci Technol, 2020, 99: 660-677.
- [9] 袁取予, 高晨旭, 赵沁雨, 等. 基于文献计量的分子感官科学研究现状与发展趋势分析[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(20): 319-325.
- [10] 冯衍, 王章凯, 余雪巍, 等. 基于Web of Science对土壤介质中抗生素抗性基因的文献计量分析[J]. 生态毒理学报, 2023, 18(6): 302-313.
- [11] 葛谦, 姜文广, 周新明, 等. 基于文献计量学可视化分析酿酒葡萄成熟度研究现状[J]. 酿酒科技, 2023(6): 46-57.
- [12] 周志新. 基于CiteSpace的我国科技期刊出版伦理研究现状与趋势分析[J]. 科技与出版, 2020(8): 129-136.
- [13] 张仕林, 杨海峰, 惠林冲, 等. 基于文献计量分析洋葱研究热点与趋势[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(4): 118-134.
- [14] 尹静娴, 孙芷珊, 赵翰卿, 等. 1993—2022年恶性疟原虫RIFIN蛋白研究文献计量学分析[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2024, 36(2): 184-190.
- [15] 罗阳, 易子程, 常腾文, 等. 基于文献计量学可视化分析发酵乳风味研究现状[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(22): 399-408.
- [16] 黄福全, 朱惠云, 杜奕奇, 等. 基于Web of Science数据库中小肠镜研究的文献计量与可视化分析[J]. 海军军医大学学报, 2024, 45(2): 198-205.
- [17] 王鑫, 李华, 王华. 白兰地香气成分的研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(19): 287-295.
- [18] 彭军, 盛慧, 姜忠军, 等. 白兰地中的香气成分[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2005(1): 46-47.
- [19] 熊子书, 秦朝秀. 威士忌、白兰地酒中的主要物质[J]. 酿酒, 1987(1): 13-17.
- [20] 战吉成, 李德美. 酿酒葡萄品种学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2010: 113-116.
- [21] 刘静. ‘公酿1号’原白兰地酿造关键技术的研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2020.
- [22] 刘晓露. 烟台与新疆产区不同葡萄品种及不同酵母对酿造原白兰地香气成分的比较研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2021.
- [23] 周洪江, 刘晓露, 姜文广, 等. 烟台产区三个葡萄品种原白兰地香气成分及感官特征的对比[J]. 中国酿造, 2022, 41(8): 44-50.
- [24] 李洋, 李娜娜, 王艳君, 等. 基于GC-MS的贵人香葡萄酒与蒸馏酒香气成分分析[J]. 中国酿造, 2020, 39(2): 189-194.
- [25] 李元一, 邢可馨, 张葆春, 等. 基于全二维气相色谱-飞行时间质谱及感官分析的中法白兰地香气特征研究[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(14): 198-203.

- [26] 李娜娜. 杨凌地区主要白色酿酒葡萄品种酿造白兰地的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [27] MATIJAŠEVIĆ S, POPOVIĆ-DJORDJEVIĆ J, RISTIĆ R, et al. Volatile aroma compounds of brandy 'Lozovača' produced from Muscat table grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.)[J]. Molecules, 2019, 24(13): 2485.
- [28] 杜展成, 王淼, 李瑞龙, 等. 白兰地中香气成分的来源及陈酿期间香气物质变化研究进展[J]. 中国酿造, 2021, 40(5): 8-13.
- [29] 秦丽娜, 倪元颖, 梁方华, 等. 利用香气成分识别葡萄酒品种和产地的初步研究[J]. 酿酒科技, 2008(2): 40-44; 46.
- [30] 王卉青. 贺兰山东麓产区白兰地品种风格及关键酿造工艺研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2020.
- [31] COLDEA T E, SOCACIU C, MUDURA E, et al. Volatile and phenolic profiles of traditional Romanian apple brandy after rapid ageing with different wood chips[J]. Food Chem, 2020, 320: 126643.
- [32] GRANJA-SOARES J, ROQUE R, CABRITA M J, et al. Effect of innovative technology using staves and micro-oxygenation on the odorant and sensory profile of aged wine spirit[J]. Food Chem, 2020, 333: 127450.
- [33] MARANGON C M, ROSSO M D, CARRARO R, et al. changes in volatile compounds of grape pomace distillate (Italian grappa) during one-year ageing in oak and cherry barrels[J]. Food Chem, 2020, 344: 128658.
- [34] SÁNCHEZ-GUILLÉN M M, SCHWARZ-RODRÍGUEZ M, RODRÍGUEZ-DODERO M C, et al. Discriminant ability of phenolic compounds and short chain organic acids profiles in the determination of quality parameters of Brandy de Jerez[J]. Food Chem, 2019, 286: 275-281.
- [35] CERNÎȘEV S. Analysis of lignin-derived phenolic compounds and their transformations in aged wine distillates[J]. Food Contr, 2017, 73: 281-290.
- [36] VALCÁRCEL-MUÑOZ M J, GUERRERO-CHANIVET M, GARCÍA-MORENO M V, et al. Comparative evaluation of brandy de jerez aged in american oak barrels with different times of use[J]. Foods, 2021, 10(2): 288.
- [37] COELHO E, TEIXEIRA J A, TAVARES T, et al. Reuse of oak chips for modification of the volatile fraction of alcoholic beverages[J]. LWT-Food Sci Technol, 2025, 135: 110046.
- [38] GUERRERO-CHANIVET M, VALCÁRCEL-MUÑOZ M J, GARCÍA-MORENO M V, et al. Characterization of the aromatic and phenolic profile of five different wood chips used for ageing spirits and wines[J]. Foods, 2020, 9(11): 1613.
- [39] CANAS S, CALDEIRA I, ANJOS O, et al. Physicochemical and sensory evaluation of wine brandies aged using oak and chestnut wood simultaneously in wooden barrels and in stainless steel tanks with staves[J]. Int J Food Sci Technol, 2016, 51(12): 2537-2545.
- [40] FLAMINI R, PANIGHEL A, DE MARCHI F. Mass spectrometry in the study of wood compounds released in the barrel-aged wine and spirits[J]. Mass Spectrom Rev, 2023, 42(4): 1174-1220.
- [41] DUAN B, CHANG W, ZHANG L, et al. Characterization of volatile compounds and sensory properties of spine grape (*Vitis davidii* Foex) brandies aged with different toasted wood chips[J]. Food Chem: X, 2024, 23: 101777.
- [42] HU R, DUAN C, LAN Y. Investigating the effects of distillation system, geographical origin, and aging time on aroma characteristics in brandy using an untargeted metabolomic approach[J]. Foods, 2024, 13(12): 1922.
- [43] HAN B, TIAN S, ZHENG S, et al. Uncovering changes in mulberry brandy during artificial aging using flavoromics[J]. Eur Food Res Technol, 2024, 250(7): 1959-1967.