

## 不同品种玉米酿造小曲清香型白酒品质差异分析

田新惠<sup>1,2</sup>, 刘茂柯<sup>1,2</sup>, 刘瑶<sup>1,2</sup>, 苏瑶<sup>1,2</sup>, 孔亮亮<sup>1</sup>, 唐玉明<sup>1,2</sup>, 冯军<sup>1,2</sup>, 刘成元<sup>1,2\*</sup>

(1.四川省农业科学院 水稻高粱研究所(四川省农业科学院德阳分院), 四川 德阳 618000;

2.四川省泸州市酿酒科学研究所, 四川 泸州 646100)

**摘要:**为解析不同品种玉米酿造小曲清香型白酒品质差异,该研究以4个品种玉米(编号分别为CYN912、CD716、CD6306、CD99)酿造小曲清香型白酒,通过常规检测方法分析其理化指标及感官品质,采用气相色谱(GC)分析其挥发性风味物质,并对玉米理化指标与显著差异挥发性风味物质( $P<0.05$ )进行相关性分析。结果表明,不同品种玉米的淀粉、蛋白质、脂肪含量差异较小,样品CYN912直链淀粉含量较低(9.1 g/100 g),其他3个样品直链淀粉含量较高(20.1~24.0 g/100 g);不同品种玉米酿造小曲清香型白酒共检出28种挥发性风味物质,其中异戊醇、 $\beta$ -苯乙醇、己酸乙酯、乙酸异戊酯、甲酸乙酯、丁酸、辛酸的含量差异显著( $P<0.05$ )。感官评价结果表明,高直链淀粉玉米CD716、CD6306、CD99酒样的感官评分(89分、87分、92分)优于低直链淀粉玉米CYN912酒样(84分)。相关性分析结果表明,玉米直链淀粉含量与异戊醇、己酸乙酯、乙酸异戊酯、丁酸呈极显著正相关( $P<0.01$ ),与甲酸乙酯呈极显著负相关( $P<0.01$ )。

**关键词:**玉米;品种;小曲清香型白酒;直链淀粉;理化指标;挥发性风味物质;差异分析

中图分类号:TS261.2

文章编号:0254-5071(2025)10-0064-05

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2025.10.010

引文格式:田新惠,刘茂柯,刘瑶,等.不同品种玉米酿造小曲清香型白酒品质差异分析[J].中国酿造,2025,44(10):64-68.

## Difference analysis of the quality of Xiaoqu light-flavor *Baijiu* brewed with different varieties corn

TIAN Xinhui<sup>1,2</sup>, LIU Maoke<sup>1,2</sup>, LIU Yao<sup>1,2</sup>, SU Yao<sup>1,2</sup>, KONG Liangliang<sup>1</sup>, TANG Yuming<sup>1,2</sup>, FENG Jun<sup>1,2</sup>, LIU Chengyuan<sup>1,2\*</sup>

(1. Institute of Rice and Sorghum Sciences (Deyang Branch of Institute of Sichuan Academy of Agricultural Sciences), Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Deyang 618000, China; 2. Institute of Luzhou Liquor Making Science of Sichuan Province, Luzhou 646100, China)

**Abstract:** To analyze the quality differences of Xiaoqu light-flavor (Qingxiangxing) *Baijiu* brewed with different varieties corn, the Xiaoqu light-flavor *Baijiu* was brewed with 4 varieties of corn (numbered as CYN912, CD716, CD6306 and CD99). The physicochemical indexes and sensory quality of corn were analyzed by conventional detection methods. The volatile flavor substances were analyzed by gas chromatography (GC), and the correlation between the physicochemical indexes of corn and the significantly different volatile flavor substances ( $P<0.05$ ) was analyzed. There was no difference in starch, protein and fat contents of different varieties corn. The amylose content of sample CYN912 was relatively low (9.1 g/100 g), while the amylose content of the other three samples was relatively high (20.1-24.0 g/100 g). A total of 28 volatile flavor substances were detected in Xiaoqu light-flavor *Baijiu* brewed with different varieties corn, among them, the contents of isoamyl alcohol,  $\beta$ -phenylethanol, ethyl caproate, isoamyl acetate, ethyl formate, butyric acid and caprylic acid were significantly different ( $P<0.05$ ). The sensory evaluation results showed that the sensory score (89, 87 and 92) of *Baijiu* samples with high-amylose corn CD716, CD6306, and CD99 was superior to that of *Baijiu* sample with low-amylose corn CYN912 (84). The results of the correlation analysis indicated that the contents of amylose in corn was extremely significantly positively correlated with four significantly differential volatile flavor substances such as isopentanol, ethyl caproate, isopentyl acetate, and butyric acid ( $P<0.01$ ), and extremely significantly negatively correlated with ethyl formate ( $P<0.01$ ).

**Key words:** corn; variety; Xiaoqu light-flavor *Baijiu*; amylose; physicochemical index; volatile flavor substance; difference analysis

小曲清香型白酒是以高粱、玉米、大米、糯米等谷物为原料,小曲作为糖化发酵剂,固态发酵生产的一种清香纯正、尾净柔和、呈典型清香型白酒风格的中国白酒<sup>[1]</sup>。小曲清香型白酒具有发酵周期短、工艺简单,出酒率较高,口感绵甜净爽、酒体干净等特点。原料是白酒酿造的基础,酿

造原料中淀粉、单宁、蛋白、脂肪以及矿物质等理化成分,在发酵过程中微生物作用下发生生物、物理和化学变化生成不同的风味物质,对白酒风格形成具有重要作用<sup>[2-3]</sup>。禹潇等<sup>[4]</sup>在小曲清香型白酒酿造过程中添加一定比例的高粱单宁,可以提高小曲清香型白酒基酒中乙酸乙酯、辛酸

收稿日期:2025-01-18

修回日期:2025-04-30

基金项目:四川省生物育种重大科技专项(2022ZDZX0016);宜宾市对外科技合作项目(2024NYHZ007);泸州市科技计划应用基础研究项目(2023JYJ067);四川省财政前沿项目(2019QYXK026);四川省农业科学院1+9揭榜挂帅项目(1+9KJGG007)

作者简介:田新惠(1981-),女,副研究员,博士,研究方向为酿酒生物技术。

\*通讯作者:刘成元(1974-),男,副研究员,硕士,研究方向为酿酒工艺。

乙酯和乳酸乙酯等花果香较突出的酯类化合物含量,从而使基酒的花香和甜香属性显著提高。

不同原料对白酒风味贡献不同,让酒体呈现不同风格<sup>[5-6]</sup>,生产实践证明“高粱产酒香、玉米产酒甜、大米产酒净、小麦产酒冲”。同种原料不同品种之间存在的成分差异,形成白酒风格亦不同。糯高粱籽粒支链淀粉含量(64.02%~66.75%)显著高于粳高粱,支链淀粉相对于直链淀粉更容易糊化,且糊化后粘性较好,不易老化,有利于风味物质稳定生成,糯高粱发酵酒体风味更优<sup>[7-8]</sup>。谢正敏等<sup>[9]</sup>研究表明,不同品种的玉米蒸煮香气组分存在差异。ARVELLI S等<sup>[10]</sup>研究表明,不同品种玉米白酒发酵过程中鉴定出17种挥发性化合物,其中酯类、醇类、酸类和酚类风味物质含量差异显著。不同玉米品种理化品质对小曲清香型白酒风味物质的影响研究鲜见报道。

本研究以4个品种玉米为主要原料酿造小曲清香型白酒,计算不同品种玉米出酒率,并采用气相色谱(gas chromatography, GC)技术及感官评价分析酒样中的挥发性风味物质及感官品质,并对玉米理化指标与酒样挥发性风味物质成分进行相关性分析。以期揭示玉米原料理化指标与小曲清香型白酒品质关系,为玉米品种的改良及白酒品质的提升提供理论依据及技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

#### 1.1.1 供试玉米品

供试玉米品种:川玉糯912(CYN912)、成单716(CD716)、川单6306(CD6306)、川单99(CD99),以上品种玉米于2023年9月收获。

#### 1.1.2 试剂

叔戊醇、乙酸正戊酯、2-乙基正丁酸(纯度均>98%);美国Sigma-Aldrich公司;小曲:四川省泸州瑞华曲药厂;糠壳:四川省农业科学院水稻高粱研究所(四川省农业科学院德阳分院)泸县基地提供。

### 1.2 仪器与设备

XPR205D5/AC电子分析天平:瑞士Mettler Toledo公司;Agilent 8890气相色谱仪、CP97723A柱(50 m×0.25 mm×0.2 μm):美国安捷伦科技有限公司;HH-M8恒温水浴锅:江苏新春兰科学仪器有限公司;H03-B磁力搅拌器:上海梅颖浦仪器仪表制造有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 理化指标的测定

蛋白质的测定:参照GB 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定》;脂肪的测定:参照GB 5009.6—2016《食品中脂肪的测定》;淀粉的测定:参照GB 5009.9—2016《食品中淀粉的测定》;直链淀粉的测定:参照NY/T 2639—2014《稻米直链淀粉的测定 分光光度法》。

#### 1.3.2 小曲清香型白酒的生产酿造

酿造试验在泸州市泸县清香型小曲白酒机械化示范基地进行。每种玉米用3个不锈钢槽车发酵,每个槽车投入玉米500 kg、小曲1.25 kg,糠壳25 kg,发酵期7 d,在酿造过程中,玉米的起始发酵温度为23.6~28.7℃,最高发酵温度为37.0~40.1℃,结束发酵温度为31.9~35.8℃。发酵结束后,将酒醅上甑蒸馏取酒,取200 mL酒样供试,共12份酒样。出酒率为20℃条件下57%vol原酒质量与投粮量的比值。

#### 1.3.3 酒样挥发性风味物质分析

采用气相色谱(GC)测定酒样中挥发性风味物质含量。

酒样预处理:用无菌蒸馏水将酒样的酒精度稀释为60.5%vol,于10 mL待测酒样中添加200 μL内标溶液(乙酸正戊酯293 mg/L、叔戊醇335 mg/L、乙基正丁酸356 mg/L)混匀备用。

GC条件:载气为氮气(N<sub>2</sub>)(纯度99.999%);流速1 mL/min,高纯氢气(H<sub>2</sub>)(纯度99.999%);流速0.2 mL/min;最高柱箱温度220℃;进样量1 μL;程序升温为初始温度35℃保持8 min;2.5℃/min升高至40℃;5℃/min升高至120℃;10℃/min升高至210℃,保持15 min。

定性定量分析:根据标准品的保留时间定性,采用内标法定量。

#### 1.3.4 酒样感官评价

根据GB/T 33404—2016《白酒感官评品导则》和GB/T 10781.2—2022《白酒质量要求 第2部分:清香型白酒》,选取10名国家一级评酒师分别从酒体色泽、香气、口感、风格4个方面对小曲清香型白酒进行感官评分,满分为100分。

#### 1.3.5 数据分析

采用主成分分析(principal component analysis, PCA)和置换多元方差分析对酒样挥发性风味物质进行分析,通过R语言软件完成。多重比较分析以及线性回归分析等均由SPSS 26.0完成。采用GraphPad Prism 9.0绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同品种玉米理化指标及其出酒率的检测结果

不同品种玉米理化指标及其出酒率测定结果见表1。由表1可知,不同品种玉米淀粉、蛋白质、脂肪含量差异不大,其含量范围分别为61.5%~63.2%、7.65%~9.82%、4.4%~4.8%、直链淀粉含量有一定差异,样品CD716、CD6306、CD99直链淀粉含量较高(20.1~24.0 g/100 g),样品CYN912直链淀粉含量较低(9.1 g/100 g),根据直链淀粉含量分为低直链淀粉与高直链淀粉两类。不同品种玉米酿造小曲清香型白酒出酒率为37.1%~51.5%。研究表明,支链淀粉含量与出酒率之间存在着一定正相关性,支链淀粉含量更易被分解利用<sup>[11]</sup>。但在大生产酿造条件下,粮食在彻底糊化的条件下,直链淀粉与支链淀粉含量、比例对出酒率基本无影响<sup>[12-14]</sup>。因此,不同品种玉米对小曲清香型白酒出酒率无明显影响。

表1 不同品种玉米理化指标及其出酒率  
Table 1 Physicochemical indexes of different varieties corn and liquor yield

类别	编号	淀粉/(g·100 g <sup>-1</sup> )	直链淀粉/(g·100 g <sup>-1</sup> )	蛋白质/(g·100 g <sup>-1</sup> )	脂肪/(g·100 g <sup>-1</sup> )	出酒率/%
低直链淀粉	CYN912	61.7	9.1	9.82	4.6	51.5
	CD716	61.5	20.6	9.58	4.8	41.6
高直链淀粉	CD6306	63.2	20.1	7.65	4.4	37.1
	CD99	63.1	24.0	8.24	4.4	50.7

2.2 不同品种玉米酒样挥发性风味物质分析

不同品种玉米酒样挥发性风味物质的组成含量见图1。

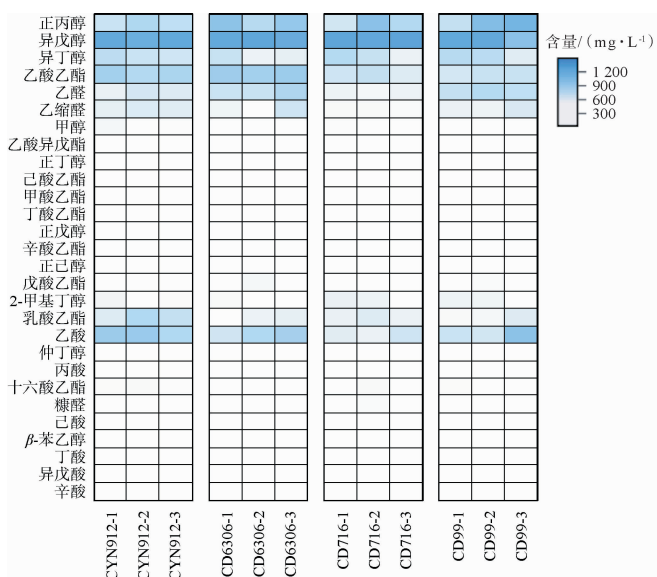


图1 不同品种玉米酒样挥发性风味物质的组成

Fig. 1 Composition of volatile flavor substances in Baijiu samples brewed with different varieties of corn

由图1可知,4个品种玉米酒样共检出28种挥发性风味物质,包括醇类10种,酯类9种,酸类6种,醛类3种。对不同品种玉米酒样共有的28种挥发性风味物质进行分析发现,异戊醇(740~1 272 mg/L)、正丙醇(450~786 mg/L)、异丁醇(339~603 mg/L)、乙酸乙酯(489~861 mg/L)和乙酸(271~689 mg/L)含量均较高,正己醇(4~8 mg/L)、丁酸乙酯(3~6 mg/L)、异戊酸(3~7 mg/L)含量较低,丁酸与辛酸未检出。

醇类物质主要来源于酵母菌代谢糖类和氨基酸,也是合成酯类物质的前体物质。王涵钰<sup>[15]</sup>研究发现,玉米酒有14种醇类风味物质,并明确缬氨酸、丙酮酸代谢等为醇类生成关键代谢通路之一。异戊醇是白酒中杂醇油物质之一<sup>[16]</sup>,含量过高会引起头痛、味苦、饮后舒适度不佳<sup>[17-19]</sup>。研究表明,玉米酒发酵过程中异戊醇含量呈上升趋势<sup>[15]</sup>,在发酵结束时含量最高(1 430 mg/L),与本研究结果基本一致。

乙酸乙酯是小曲清香型白酒核心特征香味物质,乙酸是重要的辅助风味物质。在低直链淀粉玉米酒样中,乙酸乙酯

与乙酸含量分别为(738~861 mg/L)与(432~689 mg/L),高于高直链淀粉玉米酒样(489~701 mg/L)与(271~430 mg/L)。乙酸乙酯含量偏低,乳酸乙酯、杂醇油占比相对更高,易出现“粮杂味残留、口感偏涩”的问题。有研究发现,脱胚处理会显著降低玉米酒的乙酸乙酯含量,下降率达21.2%<sup>[20]</sup>,李媛媛等<sup>[21]</sup>研究表明,玉米先蒸粮再粉碎,酒样中乙酸乙酯的含量能由200 mg/L提升至600 mg/L,说明处理工艺玉米小曲酒中的乙酸乙酯含量有明显影响。因此,低直链淀粉玉米结合适配酿酒工艺,口感风味可能优于高直链淀粉玉米品种。

2.3 不同品种及不同类型玉米酒样挥发性风味物质的含量差异

不同品种及不同类型玉米酒样挥发性风味物质的主成分分析结果见图2。

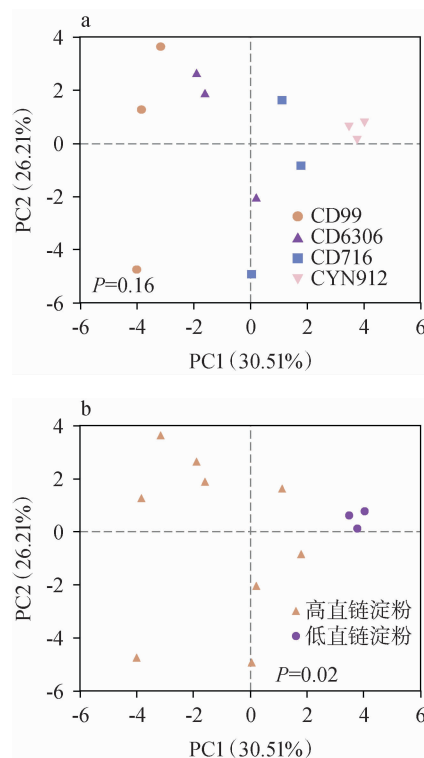


图2 不同品种(a)及不同直链淀粉含量(b)玉米酿造小曲清香型白酒样挥发性风味物质的主成分分析结果

Fig. 2 Principal component analysis results of volatile flavor substances in Xiaoqu light-flavor Baijiu samples brewed with different varieties (a) and different amylose contents (b)

由图2可知,主成分1(PC1)和主成分2(PC2)的累计方差贡献率为56.72%,已提取到原始数据的绝大部分信息。分别以玉米品种和类型分组进行置换多元方差分析,由图2a可知,4个品种玉米酒样挥发性风味物质结构的差异不显著( $P>0.05$ ),PCA不能将其区分。由图2b可知,不同类型(高直链淀粉与低直链淀粉)玉米酒样挥发性风味物质结构的差异显著( $P<0.05$ ),PCA可将它们进行区分。

以 $P<0.05$ 为依据,通过t检验分析结果表明,两类玉米酒样中有7个挥发性风味物质的含量具有显著差异,不同类型小曲清香型白酒中含量具有差异的挥发性风味物质测定结果见表2。

表2 不同品种玉米酿造小曲清香型白酒中含量显著差异挥发性风味物质

Table 2 Significantly differential volatile flavor substances in Xiaoqu light-flavor Baijiu brewed by with different varieties of corn

挥发性风味化合物	玉米酒样			
	CD99	CD6306	CD716	CNY912
异戊醇	1 264.00±115.6a	996±99.32b	1 191.33±101.56a	839.33±98.02c
$\beta$ -苯乙醇	44.00±10.21a	30.33±12.46b	27.66±3.01b	22.67±2.52c
己酸乙酯	14.60±3.24a	11.67±3.52b	9.33±2.03b	0.01±0c
乙酸异戊酯	13.00±2.15a	6.00±2.76b	13.33±3.25a	4.67±0.58c
甲酸乙酯	5.33±1.02b	4.00±1.62c	6.00±1.21b	8.67±1.15a
丁酸	9.67±2.12a	4.33±2.30b	1.66±0.65c	0±0d
辛酸	2.67±1.26a	2.33±0.85a	2.66±1.55a	0±0b

注:同行不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

由表2可知,不同类型小曲清香型白酒中含量无差异挥发性风味物质有21种,差异挥发性风味物质有7种,包括异戊醇、 $\beta$ -苯乙醇、己酸乙酯、乙酸异戊酯、甲酸乙酯、丁酸、辛酸,除甲酸乙酯外,其余风味物质在高直链淀粉玉米酒样的含量均显著高于低直链淀粉玉米酒样( $P<0.05$ )。醇类化合物可使酒体丰满醇厚,同时也是酯类化合物形成的前驱物质<sup>[22]</sup>,其中 $\beta$ -苯乙醇是米香型白酒的主体香味物质,具有玫瑰花香与蜜香,其含量与口感甜度密切相关<sup>[11,23]</sup>,是玉米酿造白酒口感略甜的原因之一;异戊醇属于杂油醇类物质,略带酸味<sup>[24]</sup>。乙酸异戊酯是构成小曲清香型白酒独特风味的重要物质之一,具有类似香蕉、梨等水果的清新香气,直接影响白酒的风味特征和品质。在小曲清香型白酒的酿造过程中,与其他酯类、醇类、酸类等物质共同作用,增添香气的丰富度和愉悦感,使白酒的香气更具辨识度。甲酸乙酯在白酒中能呈现特定果香风味,赋予葡萄酒李子味<sup>[25]</sup>。甲酸乙酯表现为清淡的花果香,香气柔和且阈值较低(即少量即可被感知),能为酒体增添清新感,提升整体风味的层次感。丁酸在白酒的发酵和陈酿过程中,与乙醇发生酯化反应生成丁酸乙酯,其含量的高低会直接影响酒的香气风格。辛酸略带脂肪味、蜡质味,在白酒中与其他风

味物质共同作用,影响酒体的香气和口感平衡。

上述差异挥发性风味物质被认为是影响小曲清香型白酒风味的主要因子之一<sup>[19]</sup>。高直链淀粉玉米酒样差异风味物质中异戊醇含量显著高于其他风味物质,可能是由于高直链淀粉玉米的结构特性影响了发酵过程中微生物的代谢途径,为产异戊醇的微生物提供了良好的营养环境。

#### 2.4 感官评价

不同小曲清香型白酒样品感官评价结果见表3。由表3可知,按感官评分从高到低依次排序为品种CD99>CD716>CD6306>CYN912。因此,品种CD99酿造小曲清香型白酒感官品质最佳,达92分,酒体清香纯正,粮香突出,味醇甜,后味回甘。

表3 不同品种玉米酿造小曲清香型白酒样品感官评价结果

Table 3 Sensory evaluation results of Xiaoqu light-flavor Baijiu samples brewed with different varieties corn

类型	编号	感官特征	感官评分/分
高直链淀粉	CD99	清香纯正,粮香突出,味醇甜,后味回甜	92
	CD716	清香突出,入口清甜,有甜感,后味长	89
	CD6306	清香较纯正,入口甜,味较醇和,较闷,尾净	87
低直链淀粉	CYN912	清香突出,略显香闷,有醇厚感,带涩味,尾较净	84

#### 2.5 玉米理化指标与显著差异挥发性风味物质的相关性分析

以玉米理化指标为自变量,显著差异挥发性风味物质含量为因变量进行回归分析,结果见表4。由表4可知,除甲酸乙酯外,差异挥发性风味物质与淀粉与直链淀粉含量均呈正相关,与蛋白质呈负相关。乙酸异戊酯及甲酸乙酯与脂肪呈正相关,而其他5种差异挥发性风味物质呈负相关。直链淀粉与异戊醇、己酸乙酯、乙酸异戊酯、甲酸乙酯及丁酸呈极显著正相关( $P<0.01$ ),与 $\beta$ -苯乙醇呈显著正相关( $P<0.05$ ),直链淀粉分子结构中线性链段占比高,在酿酒发酵过程中,更易被微生物(如酵母菌、乳酸菌)分解为小分子糖(如葡萄糖、麦芽糖),进而通过“糖酵解-丙酮酸代谢”路径生成酯类、醇类等风味前体物质。蛋白质与6种差异挥发性风味物质呈负相关,玉米蛋白质(如醇溶蛋白、谷蛋白)在发酵过程中会被微生物分解为氨基酸,部分氨基酸(如亮氨酸、异亮氨酸)会通过“Ehrlich途径”生成高级醇(如异戊醇),高级醇过量积累,会抑制酯类合成相关酶的活性;另一方面,蛋白质分子易与淀粉颗粒结合<sup>[26]</sup>,降低淀粉的水解效率,间接减少风味前体物质的生成。张旭东等<sup>[26]</sup>研究表明,玉米蛋白质、脂肪等成分可以与淀粉颗粒相结合,使玉米粉的衰减值、溶解度、回生值、焓变值和膨胀势升高,增加玉米粉的冷热稳定性、抗机械剪切能力和溶胀性。玉米中脂肪<sup>[27]</sup>、蛋白质<sup>[28]</sup>附着在淀粉颗粒表面,并通过相互作用影响淀粉的性质与功能。因此,玉米不同理化指标对酒体挥发性风味物质含量的影响具有差异。

表4 玉米理化指标与显著差异挥发性风味物质的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of physicochemical indexes of corn and significantly differential volatile flavor substances

挥发性风味物质	蛋白质	脂肪	淀粉	直链淀粉
异戊醇	-0.633*	-0.252	0.528*	0.686**
$\beta$ -苯乙醇	-0.767**	-0.594*	0.763**	0.629*
己酸乙酯	-0.743*	-0.371	0.667	0.823**
乙酸异戊酯	-0.143	0.176	0.095	0.661**
甲酸乙酯	0.622*	0.220	-0.526*	-0.781**
丁酸	-0.773**	-0.648*	0.821**	0.739**
辛酸	-0.317	-0.006	0.240	-0.550

注:表中数值为回归方程斜率,正值代表正相关、负值代表负相关。  
\*\*表示影响显著( $P<0.05$ );\*\*\*表示影响极显著( $P<0.01$ )。

### 3 结论

本研究以4个玉米品种(CYN912、CD716、CD6306、CD99)为原料,测定其理化指标结果表明,不同品种玉米的淀粉、蛋白质、脂肪含量差异不大,样品CYN912直链淀粉含量较低(9.1 g/100 g),其他3个样品直链淀粉含量较高(20.1~24.0 g/100 g),其酿造小曲清香型白酒出酒率为37.1%~51.5%;不同品种玉米酿造小曲清香型白酒共检出28种挥发性风味物质,其中,异戊醇、 $\beta$ -苯乙醇、己酸乙酯、乙酸异戊酯、甲酸乙酯、丁酸、辛酸等7种化合物在高直链淀粉玉米CD716、CD6306、CD99酒样中含量显著高于低直链淀粉玉米CYN912酒样,且CD716、CD6306、CD99酒样的感官评分(89分、87分、92分)优于低直链淀粉玉米CYN912酒样(84分)。玉米直链淀粉含量与异戊醇、己酸乙酯、乙酸异戊酯、丁酸呈极显著正相关( $P<0.01$ ),与 $\beta$ -苯乙醇呈显著正相关( $P<0.05$ )。本研究结果初步揭示了玉米理化指标对小曲清香型白酒生产的影响。

### 参考文献:

[1] 唐洁. 清香型小曲酒微生物群落结构及功能的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012.  
[2] ZHENG X W, HAN B Z. Baijiu (白酒), Chinese liquor: History, classification and manufacture[J]. *J Ethn Foods*, 2016, 3(1): 19-25.  
[3] 牛姣, 沈毅, 张贵虎, 等. 白酒酿造原料与酒体品质关系的研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(9): 322-328.  
[4] 禹潇, 肖雄峻, 黄慧玲, 等. 不同高粱单宁含量对川法小曲酒发酵过程及基酒风味的影响[J]. *食品工业科技*, 2025, 44(10): 191-201.  
[5] 陈翔, 滕抗, 胡海洋, 等. 白酒酿造原料对酒体风味影响的试验及讨论[J]. *酿酒*, 2008, 35(1): 19-22.  
[6] LIU H, SUN B. Effect of fermentation processing on the flavor of Baijiu [J]. *J Agr Food Chem*, 2018, 66(22): 5425-5432.  
[7] 刘茂柯, 田新惠, 刘成元, 等. 不同品种高粱酿造清香型白酒的香味物

质差异及其与理化品质的相关性[J]. *中国酿造*, 2023, 42(2): 70-75.  
[8] 程度. 酿酒用高粱原料对酱香型白酒品质影响的初步研究[D]. 贵州: 贵州大学, 2022.  
[9] 谢正敏, 练顺才, 叶华夏, 等. 玉米蒸煮香气成分的研究[J]. *酿酒科技*, 2012(9): 68-71.  
[10] ARVELLI S, LIU M C, CHEN G J, et al. Solid-state fermentation of corn to make Chinese liquor: Effect of corn variety and dynamic microbial community variation[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2024, 203: 116-128.  
[11] 李诗铁, 寻思颖, 郝金竹, 等. 饮料酒中 $\beta$ -苯乙醇标准物质标准浓度的测量不确定度评定[J]. *中国计量*, 2013(1): 88-90.  
[12] 蒋力力, 尹艳艳, 杨军林, 等. 酿酒原料高粱对白酒品质影响的研究进展[J]. *中国酿造*, 2022, 41(8): 6-11.  
[13] 郭敏, 保玉心, 黄永光, 等. 不同高粱品种酿造酱香型白酒发酵特性的研究[J]. *中国酿造*, 2018, 37(1): 102-107.  
[14] 李秋涛, 练顺才, 常亮, 等. 直链淀粉对白酒生产的影响[J]. *食品与发酵科技*, 2013, 49(6): 76-79.  
[15] 王涵钰. 玉米酒发酵过程中微生物多样性及风味品质研究[D]. 贵州: 贵州大学, 2021.  
[16] KANG H R, HWANG H J, LEE J E, et al. Quantitative analysis of volatile flavor components in Korean alcoholic beverage and Japanese sake using SPME-GC/MS[J]. *Food Sci Biotechnol*, 2016, 25(4): 979-985.  
[17] 方颂平, 刘飞翔, 邢爽, 等. 白酒饮用舒适度评价及其与主要风味成分相关性分析[J]. *食品科学技术学报*, 2024, 42(3): 70-80.  
[18] 格绒泽仁, 皇甫洁, 韩兴林, 等. 浓香型白酒饮用后不适感关键高级醇类物质关联性判定新方法[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(14): 191-195.  
[19] 徐娟, 刘忠军, 钟吉安, 等. 基于仿生学和GC-IMS技术分析市售不同酒曲清香型白酒的风味特征[J]. *中国酿造*, 2023, 42(12): 244-248.  
[20] 张永光, 何美琳, 杨小平, 等. 脱胚对玉米酒中高级醇含量及风味的影响[J]. *酿酒科技*, 2024(9): 65-71.  
[21] 李媛媛, 邓杰, 姚亚林, 等. 玉米和高粱小曲酒酿造特性研究对比[J]. *中国酿造*, 2020, 39(6): 115-118.  
[22] 孙金沅, 宫俐莉, 刘国英, 等. 古井贡酒酒醅挥发性香气成分的GC-MS与GC-O分析[J]. *食品科学*, 2016, 37(24): 87-93.  
[23] 吴轩德, 李洲, 周世水. 二步法酿造 $\beta$ -苯乙醇调味酒的工艺优化[J]. *中国酿造*, 2017, 36(9): 45-49.  
[24] 宗秀丽. 糯玉米发酵酒加工工艺的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2016.  
[25] 韦广鑫, 杨笑天, 周永文, 等. 葡萄酒中酯类化合物研究进展[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(14): 394-399.  
[26] 张旭东, 郭东伟, 钟雨越, 等. 不同直链淀粉含量玉米粉和玉米淀粉的理化特性差异分析[J]. *西北农业学报*, 2017, 26(4): 568-573.  
[27] BALDWIN P M, MELIA C D, DAVIES M C. The surface chemistry of starch granules studied by time-of-flight secondary ion mass spectrometry [J]. *Cereal Sci*, 1997, 26(3): 329-346.  
[28] SVIHUS B, UHLEN A K, HARSTAD O M. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review[J]. *Animal Feed Sci Technol*, 2005, 122(3): 303-320.