

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2025.02.008

# 淀粉含量对酿酒玉米糊化特性的影响

王永轶, 龚利娟\*, 扎西尼玛, 李英杰, 郑欣荣, 袁佩瑶, 邓茜

(四川轻化工大学 生物工程学院 四川省酿酒专用粮工程技术研究中心, 四川 宜宾 644000)

**摘要:** 该研究选用4种酿酒玉米原料作为试验材料,对玉米粉的淀粉含量、支链淀粉含量以及结晶结构、热力学性质和糊化黏度特性进行系统研究。结果表明:4个酿酒玉米品种淀粉含量及特性有显著差异。总淀粉含量和支链淀粉含量会影响淀粉热力学性质、糊化黏度特性及相对结晶度,支链淀粉含量与成糊温度、峰值黏度、最低黏度、最终黏度和起始糊化温度、最高糊化温度、终止糊化温度、糊化焓呈负相关,支链淀粉的含量越高,其糊化特性越好,在酿造过程中,利于微生物利用发酵,从而具有更好的酿造特性。淀粉的相对结晶度与成糊温度、峰值黏度、最高糊化温度和终止糊化温度呈显著正相关;与起始糊化温度呈极显著正相关,相对结晶度越低,其结构越松散,糊化越容易。综上,相对结晶度低、高支链淀粉含量会降低玉米糊化温度,降低糊化焓值,这类玉米更易糊化,在酿酒过程中,其酿造特性也更优质。

**关键词:** 玉米; 玉米淀粉; 糊化黏度特性; 淀粉热力学性质; 淀粉晶体结构

## Effect of Starch Content on Gelatinization Properties of Wine Corn

WANG Yongyi, GONG Lijuan\*, Zhaxinima, LI Yingjie, ZHENG Xinrong, YUAN Peiyao, DENG Xi

(Sichuan Province Engineering Technology Research Center of Liquor-Making Grains, College of Bioengineering, Sichuan University of Science &amp; Engineering, Yibin 644000, Sichuan, China)

**Abstract:** With four kinds of brewing corn raw materials as experimental materials, this paper systematically studied the starch content, amylopectin ratio, crystal structure, thermodynamic properties and gelatinization viscosity characteristics of corn flour. The results showed that there were significant differences in starch content and characteristics among the four brewing corn varieties. The total starch content and amylopectin content affected the thermodynamic properties, pasting viscosity characteristics and crystallinity of starch. The amylopectin content was negatively correlated with pasting temperature, peak viscosity, minimum viscosity, final viscosity, initial pasting temperature, maximum pasting temperature, termination gelatinization temperature and gelatinization enthalpy. As the amylopectin content increased, the pasting properties improved. During the brewing process, it was conducive for microbes to gain better brewing properties by fermentation. The crystallinity of starch was significantly positively correlated with pasting temperature, peak viscosity, maximum gelatinization temperature, and termination gelatinization temperature. The crystallinity was significantly positively correlated with the initial gelatinization temperature. With the decrease in the relative crystallinity, the structure got looser and the gelatinization tended to be easier. In summary, the low relative crystallinity and the high amylopectin content will reduce the gelatinization temperature of corn and reduce the gelatinization enthalpy. This kind of corn could be easier to gelatinize with higher-quality brewing properties during brewing.

**Key word:** corn; corn starch; gelatinization viscosity characteristics; thermodynamic properties of starch; starch crystal structure

引文格式:

王永轶, 龚利娟, 扎西尼玛, 等. 淀粉含量对酿酒玉米糊化特性的影响[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(2): 57-62.

WANG Yongyi, GONG Lijuan, Zhaxinima, et al. Effect of Starch Content on Gelatinization Properties of Wine Corn[J]. Food Research and Development, 2025, 46(2): 57-62.

基金项目: 四川省科技计划资助项目(2022ZDZX0016)

作者简介: 王永轶(1997—), 男(汉), 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全。

\*通信作者: 龚利娟(1980—), 女(汉), 副教授, 博士, 研究方向: 酿酒专用粮品种选育和酒粮关系研究。

玉米作为我国第一大粮食作物,与农业有着密不可分的关系,是重要的饲料和工业原料<sup>[1]</sup>。在玉米籽粒中,淀粉质量分数高达70%以上(以淀粉干基计),为主要营养成分<sup>[2]</sup>。因品种和基因的不同,不同品种玉米的总淀粉含量不同,直链淀粉和支链淀粉的占比也不尽相同,导致淀粉的结构和理化性质存在显著差异,一般来说直链淀粉含量占比越高,淀粉结晶度也会越高<sup>[3]</sup>。淀粉的糊化过程指的是淀粉晶体的解离和溶解,直链淀粉和支链淀粉的含量、支链淀粉精细结构、淀粉晶体间结合的紧密程度、淀粉分子的浸出、淀粉晶体中支链淀粉双螺旋结构的断裂和分解等均是影响糊化特性的原因<sup>[4]</sup>,且高直链含量淀粉具有高熔融起始温度、峰值温度、终止温度<sup>[5-7]</sup>。

在白酒酿造中,玉米是酿酒的优良原料之一。不同品种玉米由于淀粉含量、结构等的不同,其出酒率、酒醅还原糖、酸度等酿造特性也会不同,优良的玉米品种在蒸煮时易糊化,能在发酵过程为微生物提供能量,为酒体带来丰富的风味物质,以及产出优良品质的好酒;据此研究不同品种酿酒玉米原料淀粉品质性质可为玉米原料加工领域选用优质专用原料提供依据<sup>[8-9]</sup>。

本研究选取4种当地酿酒玉米品种,探究玉米淀粉含量与其热力学性质、糊化黏度特性和相对结晶度的相关性,以明确直链、支链淀粉含量对相对结晶度、糊化特性的影响,为酒厂酿酒玉米原料提供数据理论基础。

## 1 材料与试剂

### 1.1 材料与试剂

选用四川宜宾地区常用酿酒玉米4种:川单99、宜单15、成单3601、成单716。所用试验材料来自四川省酿酒专用粮工程技术研究中心。

直链淀粉标准品:广州佳途科技股份有限公司;浓硫酸、盐酸、石油醚、冰乙酸、无水亚硫酸钠、硫酸钾、酒石酸钾钠、氢氧化钠、硫酸铜:上海阿拉丁生化科技股份有限公司。所用试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

DPCZ-III直链淀粉测定仪:浙江托普云农科技股份有限公司;UV-5100B紫外可见分光光度计:上海元析仪器有限公司;D2 PHASER X射线衍射仪:德国布鲁克公司;DSC 200F3差示扫描量热仪:德国耐驰仪器制造有限公司;RVA4500快速黏度分析仪:瑞典波通仪器公司;HC-250Y粉碎机:永康市天祺盛世工贸有限公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 玉米淀粉的制备

玉米淀粉的制备参照文献<sup>[10]</sup>并稍作改动。玉米除杂、筛选、称重→玉米浸泡(采用质量分数为0.5%的乳酸和0.2%亚硫酸溶液以料液比1:3(g/mL)于52℃浸泡50h)→粗磨→胚芽分离→过筛→淀粉槽分离→

自然晾干→粉碎过筛→成品玉米淀粉。

#### 1.3.2 水分含量及淀粉含量测定

水分含量参照GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》恒重法测定;总淀粉含量(以干基计)参照GB 5009.9—2016《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》中的酸水解法测定;直链淀粉含量(Z,%)参照NY/T 55—1987《水稻、玉米、谷子籽粒直链淀粉测定法》中的方法进行测定;支链淀粉含量(Y,%)按公式 $Y=(1-Z) \times 100$ 计算。

#### 1.3.3 淀粉晶体结构的测定

玉米淀粉晶体结构测定根据Gao等<sup>[11]</sup>的方法稍作改进,通过X-射线衍射仪对不同玉米品种的淀粉进行衍射图谱绘制。射线衍射的条件为:CuK $\alpha$ 为靶,射线长1.5406 Å,石墨单色器,Ni滤波片,电压为40 kV,扫描速度为2°/min,电流为30 mA,步宽为0.02°,扫描的范围为5°~50°。淀粉相对结晶度参照刘健等<sup>[12]</sup>的方法使用Jade 5.0软件分析,分离结晶和非结晶峰值,将结晶峰面积除以总面积来计算相对结晶度百分比。

#### 1.3.4 玉米淀粉的热特性测定

玉米淀粉的热特性参照Zhang等<sup>[13]</sup>的方法,套用软件进行数据分析,采用差式量热扫描仪(differential scanning calorimetry, DSC)进行测定。称取3 mg左右的玉米淀粉于铝盒中,加入3倍体积的超纯水,室温下平衡2 h,放入DSC中进行测定,扫描速率为10 °C/min,扫描温度为5~100 °C,密封空铝盒为参照。测定各玉米淀粉的起始糊化温度( $T_0$ ),峰值糊化温度( $T_p$ ),终止糊化温度( $T_e$ ),糊化过程所吸收的热量( $\Delta H$ )。

#### 1.3.5 玉米淀粉的糊化黏度特性测定

参考ESPINOSA-RAMÍREZ J等<sup>[14]</sup>和李娜等<sup>[15]</sup>的方法,采用快速黏度分析仪(rapid visco analyzer, RVA)测定淀粉的糊化黏度特性。准确称取(3.00±0.10)g粉转试样,置于铝罐中,加入(25.0±0.1)mL的超纯水,用搅拌器上下多次搅动,使其分散均匀。在加热前10 s,以960 r/min速率旋转搅拌,然后恒定以160 r/min旋转搅拌。将旋转搅拌完成的样品在50 °C下保持1 min,然后以12 °C/min的速率从50 °C加热至95 °C,并且在95 °C保持2.5 min,接着再以12 °C/min的速率从95 °C冷却至50 °C,并且在50 °C保持2 min。

### 1.4 数据统计与分析

每个样品进行3次平行试验,数据采用Excel 2021进行整理;SPSS26.0统计软件对试验数据进行单因素方差和相关性分析(Pearson相关系数法);Origin2021进行作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同玉米品种的淀粉含量

不同玉米品种淀粉含量如表1所示。

表 1 不同品种玉米粉中淀粉含量

Table 1 Starch content in different corn flour varieties

品种	总淀粉含量/%	直链淀粉含量/%	支链淀粉含量/%	支链淀粉含量:直链淀粉含量
川单 99	70.48±0.78 <sup>e</sup>	25.62±0.49 <sup>a</sup>	74.38±0.49 <sup>d</sup>	2.90±0.07 <sup>d</sup>
宜单 15	74.35±0.77 <sup>a</sup>	20.89±0.13 <sup>d</sup>	79.11±0.13 <sup>a</sup>	3.79±0.03 <sup>a</sup>
成单 3601	72.48±1.00 <sup>b</sup>	22.50±0.23 <sup>c</sup>	77.50±0.23 <sup>b</sup>	3.44±0.05 <sup>b</sup>
成单 716	73.96±0.53 <sup>ab</sup>	23.56±0.18 <sup>b</sup>	76.44±0.18 <sup>c</sup>	3.24±0.03 <sup>c</sup>

注:同列不同小写字母表示差异显著( $p<0.05$ )。

粮食储藏过程中,水分含量是确保粮食是否变质的关键,一般要求水分控制在一定范围。4种玉米原料含水量在9.70%~12.90%,均符合酿酒原料14%以下含水量的要求<sup>[16]</sup>。淀粉是酿酒微生物可利用的主要碳源之一,淀粉含量和组成直接影响发酵体系中有关微生物的代谢。由表1可知,川单99的总淀粉含量最低,70.48%;宜单15的总淀粉含量最高,74.35%,与成单716(73.96%)总淀粉含量虽然相近,但无显著差异,但其直链淀粉和支链淀粉含量却有明显差异。宜单15的支链淀粉含量均高于其他品种。

## 2.2 不同玉米品种的晶体结构

不同玉米品种的晶体结构以X-射线衍射呈现,如图1所示。

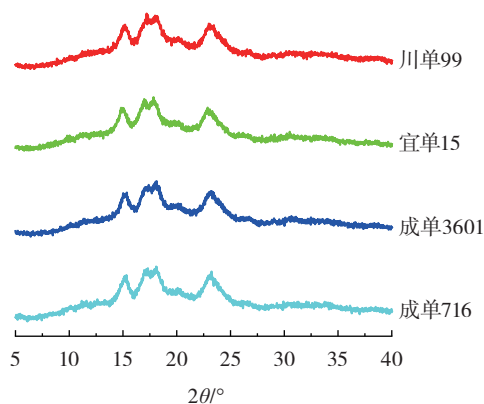


图 1 不同玉米品种淀粉 X-射线衍射图

Fig.1 X-ray diffraction patterns of starch from different corn varieties

由图1可知,各玉米淀粉在 $2\theta$ 为 $15^\circ$ 、 $17^\circ$ 、 $18^\circ$ 和 $23^\circ$ 处存在明显的衍射峰,且在 $17^\circ$ 和 $18^\circ$ 附近的衍射峰为连续的双峰,属于典型的A型晶体<sup>[17]</sup>。研究发现,A型晶体结构致密紧凑,其热稳定性较强<sup>[12]</sup>。A型的淀粉相对于B型和C型具有较低的糊化温度(paste temperature, PTM)、峰值温度、终止温度等,更适宜用于酿造生产<sup>[18]</sup>。

虽然4个品种有相似的吸收峰,但每个品种相对结晶度<sup>[19]</sup>却不同,不同玉米品种淀粉相对结晶度见表2。

由表2可知,相对结晶度顺序为川单99>成单716>成单3601>宜单15,这可能与直链淀粉含量有关,有

表 2 不同玉米品种淀粉相对结晶度

Table 2 Starch relative crystallinity of different corn varieties

品种	相对结晶度/%
川单 99	26.17±0.35 <sup>a</sup>
宜单 15	19.37±0.45 <sup>d</sup>
成单 3601	22.33±0.40 <sup>c</sup>
成单 716	24.50±0.40 <sup>b</sup>

注:同列不同字母表示差异显著( $p<0.05$ )。

研究表明,支链淀粉的含量越高,其淀粉聚合度越高,导致淀粉相对结晶度下降,相对结晶度越低,淀粉结构越不稳定<sup>[20]</sup>。一般相对结晶度低的淀粉具有更好的膨胀性和黏性,在糊化过程中,水分子进入淀粉颗粒内部结构更容易,淀粉更容易被糊化<sup>[21]</sup>。

## 2.3 不同玉米品种的淀粉热力学性质

玉米淀粉的DSC特征值见表3。

表 3 不同玉米品种淀粉热力学性质参数

Table 3 Parameters of starch thermodynamic properties of different corn varieties

品种	起始温度 $T_i/^\circ\text{C}$	峰值温度 $T_p/^\circ\text{C}$	终止温度 $T_f/^\circ\text{C}$	糊化焓 $\Delta H/(\text{J/g})$
川单 99	72.70±0.00 <sup>a</sup>	77.55±0.07 <sup>a</sup>	83.05±0.07 <sup>a</sup>	15.30±0.28 <sup>a</sup>
宜单 15	71.20±0.00 <sup>d</sup>	76.20±0.14 <sup>b</sup>	81.35±0.07 <sup>b</sup>	14.50±0.04 <sup>b</sup>
成单 3601	71.35±0.07 <sup>c</sup>	76.05±0.07 <sup>b</sup>	81.15±0.07 <sup>b</sup>	13.89±0.01 <sup>c</sup>
成单 716	72.00±0.00 <sup>b</sup>	76.20±0.00 <sup>b</sup>	81.35±0.07 <sup>b</sup>	14.26±0.01 <sup>bc</sup>

注:同列不同字母表示差异显著( $p<0.05$ )。

$T_o$ 是晶体结构开始被破坏时的温度,表征淀粉晶体结构稳定性,由表3可知,4个品种的 $T_o$ 大小为川单99>成单716>成单3601>宜单15,与淀粉相对结晶度一致。糊化焓值( $\Delta H$ )是淀粉在糊化过程所需要的能量, $\Delta H$ 值越小,所需要的能量也就越少,粮食糊化度越高<sup>[4]</sup>,成单3601的 $\Delta H$ 最小,成单716次之,较其他品种糊化度高,更利于分解利用。成单716与成单3601的 $T_p$ 、 $T_e$ 、 $\Delta H$ 差异不显著,仅 $T_o$ 差异显著,可能与较高直链淀粉含量有关。

## 2.4 不同玉米品种的糊化黏度特性

4个参试品种的糊化黏度特性测定结果见表4。

由表4可知,成单716糊化起始温度最低,到达峰值黏度时间最短。对比各品种崩解值,成单716显著高于其他品种,说明成单716在蒸煮糊化过程中淀粉易膨胀,且在胶稠化的过程中其籽粒更易变软、破裂、析出;而成单3601的BD值最小,在糊化过程中淀粉不易崩解析出,最终导致其糊化困难。此外,成单716回生值和最终黏度也较小,表明淀粉在冷却过程中稳定性越好,不易老化。川单99除BD以外其他糊化黏度特性参数均高于其它品种;且川单99的PV显著高于其他品种,表明其结合水的能力更强,糊化后的淀粉

表4 不同玉米品种淀粉糊化黏度特性参数

Table 4 Characteristic parameters of starch gelatinization viscosity of different corn varieties

品种	PTM/°C	PV/(mPa·s)	TV/(mPa·s)	BD/(mPa·s)	FV/(mPa·s)	SB/(mPa·s)	峰值时间/min
川单 99	82.60±0.52 <sup>a</sup>	3 125±21 <sup>a</sup>	2 369±20 <sup>a</sup>	756±7 <sup>b</sup>	3 881±11 <sup>a</sup>	1 512±12 <sup>a</sup>	5.11±0.03 <sup>a</sup>
宜单 15	80.75±0.00 <sup>b</sup>	2 974±25 <sup>b</sup>	2 201±34 <sup>b</sup>	773±10 <sup>b</sup>	3 655±50 <sup>b</sup>	1 455±27 <sup>ab</sup>	5.07±0.00 <sup>ab</sup>
成单 3601	80.75±0.05 <sup>b</sup>	2 890±36 <sup>c</sup>	2 177±17 <sup>b</sup>	714±38 <sup>b</sup>	3 545±41 <sup>c</sup>	1 368±46 <sup>c</sup>	5.00±0.00 <sup>b</sup>
成单 716	80.70±0.09 <sup>b</sup>	3 006±7 <sup>b</sup>	2 090±40 <sup>c</sup>	916±47 <sup>a</sup>	3 484±9 <sup>c</sup>	1 394±45 <sup>bc</sup>	4.78±0.08 <sup>c</sup>

注:同列不同字母表示差异显著( $p<0.05$ );PV 为峰值黏度(peak viscosity, PV);TV 为最低黏度(minimum viscosity, TV);BD 为崩解值(break-down value, BD);FV 为最终黏度(final viscosity, FV);SB 为回生值(setback, SB)。

糊更为黏稠。对于酿酒原料而言, BD 值高, 在粮食蒸煮过程中淀粉分子能更好从颗粒中浸出; SB 值越小, 粮食在微生物发酵过程中淀粉越不容易老化, 更能被微生物利用发酵<sup>[22]</sup>。综上分析, 成单 716 的低 PTM、高 BD、低 SB 和低峰值时间使其具有更好的糊化特性, 更能符合酿酒原材料的基本要求。

### 2.5 淀粉含量和组成与淀粉糊化特性参数的相关性

淀粉含量和组成与相对结晶度、糊化特性之间的相关性见表 5、表 6。

由表 5、表 6 可知, 支链淀粉含量及支链淀粉含量:

表5 淀粉含量和组成与相对结晶度的相关性

Table 5 Correlation of starch content and composition with crystallinity

参数	总淀粉含量	支链淀粉含量	支链淀粉含量:直链淀粉含量	结晶度
总淀粉含量	1	-	-	-
支链淀粉含量	0.757**	1	-	-
支链淀粉含量:直链淀粉含量	0.739**	0.998**	1	-
相对结晶度	-0.648*	-0.972**	-0.984**	1

注:\*表示显著相关( $p<0.05$ );\*\*表示极显著相关( $p<0.01$ );-表示无。

表6 淀粉含量与淀粉糊化及热力学性质参数间的相关性

Table 6 Correlation of starch content and starch gelatinization with thermodynamic parameters

参数	PTM	PV	TV	BD	FV	SB	$T_0$	$T_p$	$T_c$	$\Delta H$
总淀粉含量	-0.797**	-0.496	-0.777**	-0.379	-0.679*	0.471	-0.678*	-0.762**	-0.776**	-0.593*
支链淀粉含量	-0.807**	-0.755**	-0.55	-0.392	-0.531	-0.103	-0.961**	-0.812**	-0.814**	-0.641*
支链淀粉含量:直链淀粉含量	-0.769**	-0.719**	-0.502	-0.34	-0.477	-0.127	-0.949**	-0.775**	-0.776**	-0.589*
相对结晶度	0.658*	0.657*	0.357	0.247	0.339	0.242	0.925**	0.683*	0.682*	0.492

注:\*表示显著相关( $p<0.05$ );\*\*表示极显著相关( $p<0.01$ )。

直链淀粉含量与淀粉相对结晶度呈极显著负相关。相对结晶度与 PTM、PV、 $T_p$  和  $T_c$  呈显著正相关;与  $T_0$  呈极显著正相关。这可能由于支链淀粉含量越高, 导致支链淀粉与直链淀粉无法形成稳定的晶体结构, 从而导致相对结晶度下降, 其次支链淀粉结构也会影响淀粉晶体结构的形成, 高占比长链的支链淀粉, 其长链形成的双螺旋结构可能较长且稳定从而导致淀粉解离时需要较高的温度, 导致  $T_0$ 、 $T_p$ 、 $T_c$  高;而高占比短链的支链淀粉, 其短链由于堆积到晶体片层中的可能性大大减少, 晶体化从而变差, 导致其晶体结构不稳定, 就会导致  $T_0$ 、 $T_p$ 、 $T_c$  低<sup>[23-24]</sup>。高金梅等<sup>[25]</sup>研究也证实支链淀粉的精细结构、不同链长的占比会使双螺旋结构的形成和晶体结构的堆积方式的不同, 导致淀粉的糊化特性存在差异, 进而影响淀粉糊化的特征值<sup>[26-28]</sup>。

总淀粉含量、支链淀粉含量与 PTM、 $T_p$ 、 $T_c$  呈极显著负相关;与  $\Delta H$  呈显著负相关。Lii 等<sup>[29]</sup>研究结果也表明, 对于玉米淀粉来说, 直链淀粉含量越高, 淀粉糊

化越难, 糊化温度就越高, 其糊化时间越长, 所需要的热量也就越多, 糊化焓值也会随着直链淀粉的含量增加而增加。

进一步分析参试玉米品种的淀粉糊化特性间的相关性见表 7。

由表 7 可知, 在糊化黏度特性参数中, 除 BD 与 PTM、PV、FV、SB 无显著相关性外, 其他参数间均存在显著相关性, 其中 BD 与 TV 呈显著负相关, SB 与 PTM、TV 以及 TV 与 PV 间均存在显著正相关, 余下参数间均呈极显著正相关。 $T_p$ 、 $T_c$ 、 $\Delta H$  与除 BD 以外的所有糊化黏度特性参数之间均呈极显著正相关,  $T_0$  与 PTM、PV 呈极显著正相关, 与 FV 呈显著正相关, 与 TV、BD、SB 相关性不显著。此外, 淀粉热力学性质 4 个参数间均呈极显著正相关。综上, 糊化黏度特性和淀粉热力学性质有着密不可分的关联, 两种糊化特性参数作为评判玉米糊化难易程度的指标, 缺一不可。

表7 淀粉糊化特性间的相关性

Table 7 Correlation between starch gelatinization properties

参数	PTM	PV	TV	BD	FV	SB	$T_o$	$T_p$	$T_c$	$\Delta H$
PTM	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PV	0.832**	1	-	-	-	-	-	-	-	-
TV	0.889**	0.659*	1	-	-	-	-	-	-	-
BD	-0.253	0.227	-0.584*	1	-	-	-	-	-	-
FV	0.886**	0.769**	0.955**	-0.407	1	-	-	-	-	-
SB	0.701*	0.794**	0.687*	-0.032	0.871**	1	-	-	-	-
$T_o$	0.823**	0.872**	0.567	0.206	0.601*	0.534	1	-	-	-
$T_p$	0.959**	0.889**	0.876**	-0.174	0.901**	0.759**	0.873**	1	-	-
$T_c$	0.961**	0.887**	0.866**	-0.164	0.902**	0.778**	0.875**	0.993**	1	-
$\Delta H$	0.867**	0.918**	0.813**	-0.062	0.899**	0.857**	0.761**	0.924**	0.934**	1

注: \*表示显著相关( $p < 0.05$ ); \*\*表示极显著相关( $p < 0.01$ ); -表示无。

### 3 结论

总淀粉含量和支链淀粉含量会影响淀粉相对结晶度、热力学性质及糊化黏度特性, 淀粉的相对结晶度对淀粉的糊化特性也有影响。支链淀粉含量与 PTM、PV、 $T_o$ 、 $T_p$ 、 $T_c$  呈极显著负相关; 与  $\Delta H$  呈显著负相关。因此, 高淀粉含量, 低直链淀粉含量, 低相对结晶度的品种糊化黏度特性较好, 糊化温度低, 热焓值小, 更易糊化。综合供试 4 个玉米品种的淀粉特性, 成单 716 相较于其他品种, 更适合作为酿酒原料。

### 参考文献:

- [1] 赵久然, 王荣焕. 中国玉米生产发展历程、存在问题及对策[J]. 中国农业科技导报, 2013, 15(3): 1-6.  
ZHAO Jiuran, WANG Ronghuan. Development process, problem and countermeasure of maize production in China[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2013, 15(3): 1-6.
- [2] TIAN Y, WANG Y, HERBUGER K, et al. High-pressure pasting performance and multilevel structures of short-term microwave-treated high-amylose maize starch[J]. Carbohydrate Polymers, 2023, 322: 121366.
- [3] 曾凯骁, 王鹏杰, 任发政, 等. 高直链玉米 III 型抗性淀粉制备及其结构和特性[J]. 食品科学, 2022, 43(22): 52-59.  
ZENG Kaixiao, WANG Pengjie, REN Fazheng, et al. Preparation, structure and properties of high-amylose maize type III resistant starch[J]. Food Science, 2022, 43(22): 52-59.
- [4] 倪德让, 孔祥礼, 孙崇德, 等. 红缨子高粱淀粉分子结构及糊化特性研究[J]. 中国酿造, 2019, 38(12): 75-79.  
NI Derang, KONG Xiangli, SUN Chongde, et al. Molecular structure and gelatinization characteristics of starch from Hongyingzi sorghum[J]. China Brewing, 2019, 38(12): 75-79.
- [5] 王丽, 句荣辉, 贾红亮, 等. 淀粉的功能特性与加工品质间关系的研究进展[J]. 食品工业, 2019, 40(12): 256-259.  
WANG Li, JU Ronghui, JIA Hongliang, et al. Research on the relationship between functional characteristics and processing quality of starch[J]. The Food Industry, 2019, 40(12): 256-259.
- [6] LI W D, SUN S L, GU Z B, et al. Effect of protein on the gelatinization behavior and digestibility of corn flour with different amylose contents[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 249: 125971.
- [7] 高卫帅, 张燕萍, 徐海娟. 3 种玉米淀粉的性质比较[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(9): 65-69.  
GAO Weishuai, ZHANG Yanping, XU Haijuan. Properties comparison of three kinds of corn starch[J]. Food and Fermentation Industries, 2007, 33(9): 65-69.
- [8] 侯汉学, 董海洲, 宋晓庆, 等. 不同品种玉米淀粉的理化性质及相关性研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(1): 60-64.  
HOU Hanxue, DONG Haizhou, SONG Xiaoping, et al. Correlations among physico-chemical properties of starches from different maize cultivars[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2009, 24(1): 60-64.
- [9] 刘晓, 刘广瑞, 隋璐, 等. 以玉米为主要原料半固态法酿造浓香型白酒工艺优化研究[J]. 酿酒科技, 2020(3): 35-40.  
LIU Xiao, LIU Guangrui, SUI Lu, et al. Optimization of the production of Nongxiang Baijiu by semi-solid fermentation with corn as main raw material[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2020 (3): 35-40.
- [10] 沈健, 洪雁, 顾正彪, 等. 高直链淀粉玉米籽粒特性对淀粉提取的影响及工艺优化[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(7): 54-60.  
SHEN Jian, HONG Yan, GU Zhengbiao, et al. Influence of high-amylose maize kernel characteristics on starch extraction and process optimization[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2023, 38(7): 54-60.
- [11] GAO S S, LIU H, SUN L J, et al. The effects of dielectric barrier discharge plasma on physicochemical and digestion properties of starch[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 138: 819-830.
- [12] 刘健, 文莉, 张晓祥, 等. 糯小麦淀粉结构特征和理化品质研究[J]. 核农学报, 2023, 37(10): 2019-2027.  
LIU Jian, WEN Li, ZHANG Xiaoxiang, et al. Study on starch structure and physicochemical quality of waxy wheat[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2023, 37(10): 2019-2027.
- [13] ZHANG Y K, XIA J N, ZHANG C M, et al. Characterization of the stability of vegetable oil by synchronous fluorescence spectroscopy and differential scanning calorimetry (DSC)[J]. Analytical Letters, 2021, 54(16): 2676-2686.
- [14] ESPINOSA-RAMÍREZ J, DE LA ROSA-MILLAN J, PÉREZ-CARRILLO E, et al. Assessment of the quality of fresh nixtamalized maize doughs with different degrees of cooking and milling: A comparison of Mixolab and RVA analyses[J]. Journal of Cereal Science, 2021, 102: 103321.
- [15] 李娜, 张英华. 用 RVA 仪分析玉米淀粉的糊化特性[J]. 中国粮

- 油学报, 2011, 26(6): 20-24.
- LI Na, ZHANG Yinghua. Analysis on pasting properties of maize starch by RVA[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2011, 26(6): 20-24.
- [16] 毛祥, 温雪瓶, 黄丹, 等. 5种常用酿酒高粱的主要成分及淀粉特性差异分析[J]. 中国酿造, 2020, 39(3): 57-62.
- MAO Xiang, WEN Xueping, HUANG Dan, et al. Difference analysis on main components and starch properties in five commonly used liquor-making sorghum[J]. China Brewing, 2020, 39(3): 57-62.
- [17] CHEN D, ZHAO Z, WU Y Y, et al. Dissolution behaviour of corn starch with different amylose content in ionic liquids[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 228: 207-215.
- [18] ZHANG K Y, ZHAO D, GUO D X, et al. Physicochemical and digestive properties of A- and B-type granules isolated from wheat starch as affected by microwave-ultrasound and toughening treatment[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 183: 481-489.
- [19] ENRÍQUEZ-CASTRO C M, RAMÍREZ-WONG B, CONTRERAS-JIMÉNEZ B L, et al. Effect of extrusion on the crystallinity, viscosity, damage starch, and thermal properties of corn flour, masa, and tortilla[J]. Applied Food Research, 2022, 2(2): 100198.
- [20] 郭爱良, 周湘寒, 姚亚亚, 等. 不同玉米品种理化特性及淀粉品质的研究[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(5): 39-47.
- GUO Ailiang, ZHOU Xianghan, YAO Yaya, et al. Physicochemical properties and starch quality of different corn varieties[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2022, 37(5): 39-47.
- [21] 王宏伟, 余颜圃, 张菁, 等. 冻藏处理对糯玉米淀粉微观结构和理化特性的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(14): 35-40.
- WANG Hongwei, YU Yanpu, ZHANG Jing, et al. Effect of frozen storage on microstructure and physicochemical properties of waxy corn starch[J]. Food Science, 2022, 43(14): 35-40.
- [22] 张艳霞, 丁艳锋, 李刚华, 等. 直链淀粉含量不同的稻米淀粉结构、糊化特性研究[J]. 作物学报, 2007, 33(7): 1201-1205.
- ZHANG Yanxia, DING Yanfeng, LI Ganghua, et al. Starch structure and paste property of rice with different amylose content[J]. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(7): 1201-1205.
- [23] LIN L S, GUO K, ZHANG L, et al. Effects of molecular compositions on crystalline structure and functional properties of rice starches with different amylopectin extra-long chains[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 88: 137-145.
- [24] 周慧颖, 彭小松, 欧阳林娟, 等. 支链淀粉结构对稻米淀粉糊化特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(8): 25-30, 36.
- ZHOU Huiying, PENG Xiaosong, OUYANG Linjuan, et al. Effects of amylopectin structure on gelatinization characteristics of rice starch[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2018, 33(8): 25-30, 36.
- [25] 高金梅, 黄倩, 郭洪梅, 等. 冻融循环处理对玉米淀粉凝胶结构及颗粒理化特性的影响[J]. 现代食品科技, 2017, 33(2): 181-189.
- GAO Jinmei, HUANG Qian, GUO Hongmei, et al. Effect of freeze-thawing cycles on the physicochemical properties of corn starch gels and granules[J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 33(2): 181-189.
- [26] HOOVER R, RATNAYAKE W S. Starch characteristics of black bean, chick pea, lentil, navy bean and pinto bean cultivars grown in Canada[J]. Food Chemistry, 2002, 78(4): 489-498.
- [27] LIN L S, CAI C H, GILBERT R G, et al. Relationships between amylopectin molecular structures and functional properties of different-sized fractions of normal and high-amylose maize starches[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 52: 359-368.
- [28] 韩晴, 沈渊, 孙小淋, 等. 品种及地理位置对糯玉米糊化特性和食味品质影响[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(9): 65-71.
- HAN Qing, SHEN Yuan, SUN Xiaolin, et al. Flour pasting property, quality of waxy maize varieties in variety and region[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2023, 38(9): 65-71.
- [29] LII C Y, LAI V M F, SHEN M C. Changes in retrogradation properties of rice starches with amylose content and molecular properties[J]. Cereal Chemistry, 2004, 81(3): 392-398.

加工编辑:王雪  
收稿日期:2023-11-03