

砂仁多糖对小麦淀粉理化性质及消化特性的影响

Effects of *Amomum villosum* polysaccharide on physicochemical and in vitro digestibility properties of wheat starch

康志敏¹耿宁宁¹何梦影¹KANG Zhimin¹ GENG Ningning¹ HE Mengying¹许国震²王志伟³张康逸¹XU Guozhen² WANG Zhiwei³ ZHANG Kangyi¹

(1. 河南省农业科学院农副产品加工研究中心, 河南 郑州 450002; 2. 濮阳市农林科学院, 河南 濮阳 457000; 3. 濮阳县农业农村局, 河南 濮阳 457100)

(1. Center of Agricultural Products Processing, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou, Henan 450002, China; 2. Puyang Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Puyang, Henan 457000, China; 3. Agriculture and Rural Bureau of Puyang County, Puyang, Henan 457100, China)

摘要: [目的]探究砂仁多糖对小麦淀粉体系的作用机理, 揭示砂仁多糖对小麦淀粉品质形成影响的量效关系。

[方法]通过制备砂仁多糖—小麦淀粉复配体系, 研究砂仁多糖添加量对小麦淀粉糊化特性、流变特性、热力学特性、结晶结构及消化特性的影响。[结果]砂仁多糖可提高小麦淀粉复配体系的黏度和糊化温度, 减少糊化过程中直链淀粉浸出, 降低小麦淀粉糊化过程中结晶区的破坏程度, 延缓糊化过程。当砂仁多糖添加量为 1.00% 时, 复配体系崩解值为 299 mPa·s, 回生值为 532 mPa·s, 糊化焓为 666.29 J/g, 此时抗老化效果最佳且稳定性最好。红外光谱分析表明, 砂仁多糖与小麦间通过氢键相互作用, 当砂仁多糖添加量为 1.00% 时, 氢键作用最强。体外模拟消化结果显示, 砂仁多糖可以抑制小麦淀粉消化。[结论]添加砂仁多糖可有效提高小麦淀粉的热稳定性, 降低小麦淀粉的消化率。

关键词: 砂仁多糖; 小麦淀粉; 理化特性; 消化特性

Abstract: [Objective] This study aimed to explore the mechanism of action between *Amomum villosum* polysaccharide (AVP) and wheat starch and reveal the dose-effect relationship of AVP on

the quality of wheat starch. [Methods] an AVP-wheat starch compound system with different concentrations of AVP was prepared. The effects of different concentrations of AVP on the gelatinization characteristics, rheological properties, thermodynamic properties, crystal structure and digestion characteristics of wheat starch were studied. [Results] The AVP could increase the viscosity and gelatinization temperature of the wheat starch compound system, reduce the leaching of amylose during gelatinization and the damage degree of the crystalline region during wheat starch gelatinization, and delay the gelatinization process. When the concentration of AVP was 1.00%, the disintegration value of the compound system was 299 mPa·s, the retrogradation value was 532 mPa·s, and the gelatinization enthalpy was 666.29 J/g, indicating that the anti-aging effect and the stability were the best. Fourier infrared spectrum analysis showed that there was a hydrogen bond interaction between AVP and wheat, and the bond was the strongest when the mass concentration of AVP was 1.00%. The results of in vitro simulated digestion showed that AVP could inhibit the digestion of wheat starch. [Conclusion] Adding AVP can effectively improve the thermal stability of wheat starch and reduce the digestibility of wheat starch.

Keywords: *Amomum villosum* polysaccharide; wheat starch; physicochemical properties; digestion properties

基金项目: 河南省农业科学院优秀青年科技基金项目 (编号: 2022YQ27); 河南省科技攻关计划项目 (编号: 222102110035); 院县共建农业科技综合示范县项目—新县 (编号: 豫农科[2023]66 号)

作者简介: 康志敏, 女, 河南省农业科学院农副产品加工研究中心 副研究员, 硕士。

通信作者: 张康逸 (1981—), 男, 河南省农业科学院农副产品加工研究中心研究员, 博士。E-mail: kangyiz@163.com

收稿日期: 2023-05-27 **改回日期:** 2024-03-12

小麦淀粉 (wheat starch, WS) 为小麦粉的主要成分, 通常占小麦粉干重的 75%^[1]。近年来, 使用一些天然添加剂来改善淀粉的糊化性能引起了越来越多的关

注^[2-4],其中,亲水胶体和多糖等物理改性因其成本低、环保、方便等特点被广泛应用。例如,在淀粉中加入低聚糖、魔芋葡甘聚糖、黄原胶,以抑制淀粉颗粒的崩解^[5-7]。Raguzzoni 等^[8]发现壳聚糖可以提高糊化温度并阻碍淀粉的短期回生。陈忠秋等^[9]研究表明,WS 中添加香菇 β -葡聚糖后能够形成更加稳定的凝胶网络结构,还能够降低其消化性。

砂仁属于药食同源物质,砂仁多糖(AVP)是一种具有吡喃环、结晶度低、热稳定性较好的片状酸性杂多糖^[10]。多糖对淀粉的加工学特性影响取决于多糖的种类、结构、相对分子质量以及原淀粉的来源^[10-12],而砂仁多糖具有良好的增稠乳化性,在淀粉基食品中有很大的应用潜力。研究拟通过制备不同的砂仁多糖—小麦淀粉复配体系,考察砂仁多糖添加量对小麦淀粉糊化特性、流变特性、热力学特性、结晶结构及消化特性的影响,探究砂仁多糖对小麦淀粉体系的作用机理,揭示砂仁多糖对小麦淀粉品质形成影响的量效关系,以期为砂仁多糖在面制食品中的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

85%砂仁多糖(AVP):兰州沃特莱斯生物科技有限公司;

小麦淀粉(WS):新乡良润全谷物食品有限公司;

直链淀粉标准品:上海源叶生物科技有限公司;

支链淀粉标准品:上海金穗生物科技有限公司;

唾液 α -淀粉酶(250 U/mg)、胃蛋白酶、胰酶(31.2 U/mL)、淀粉葡萄糖苷酶:美国 Sigma-aldrich 公司;

乙酸、氢氧化钠、95%乙醇、碘化钾、碘、溴化钾等均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

数显恒温磁力搅拌油浴锅:H CJ-6E 型,常州恩培仪器制造有限公司;

冷冻离心机:ST16R 型,郑州金友宁仪器有限公司;

紫外可见分光光度计:A590 型,翱艺仪器(上海)有限公司;

水分测定仪:MB45 型,美国 OHAUS 公司;

真空冷冻干燥机:FD-100S 型,北京惠诚佳仪科技有限公司;

电子天平:AL204 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

快速黏度分析仪:RVA4500 型,波通瑞华科学仪器(北京)有限公司;

傅里叶红外光谱仪:Nicolet iS5 型,上海米测科技有限公司;

差示扫描量热分析仪:HP DSC1 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

X 射线衍射仪(XRD):D8 DISCOVER 型,德国布鲁克公司;

葡萄糖分析仪:GM9 型,英国 Analox 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 砂仁多糖—小麦淀粉的制备 参照张晶等^[13]的方法稍作修改。称取不同含量的 AVP(添加量分别为 0%,0.50%,0.75%,1.00%,1.25%)于烧杯中,加入 100 mL 水,搅拌溶解后加入 WS(质量分数 14%),继续搅拌 10 min,得到 WS-AVP 溶液,沸水浴 30 min,得 WS-AVP 混合体系。

1.3.2 直链淀粉含量测定 按 GB/T 15683—2008 执行。

1.3.3 复合率测定 参照陈龙等^[14]的方法稍作修改。取 1 mL 样品于离心管中,加入 9 mL 纯水,漩涡 2 min,8 000 r/min 离心 15 min。取 0.4 mL 上清液,与 8.6 mL 纯水和 100 μ L 碘试剂充分混合,测定样品溶液在 690 nm 处吸光度值。按式(1)计算复合率。

$$C_1 = \frac{A_{\text{ref}} - A_{\text{mix}}}{A_{\text{ref}}} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

C_1 ——复合率,%;

A_{ref} ——WS 吸光度;

A_{mix} ——WS-AVP 吸光度。

1.3.4 糊化特性测定 利用快速黏度分析仪(RVA)测试样品的糊化性能。按 1.3.1 的方法制备复配体系,将样品放入 RVA 样品筒中。RVA 程序参数:样品于 50 $^{\circ}\text{C}$ 持续平衡 60 s,以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率加热至 95 $^{\circ}\text{C}$,保持 3 min;以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速度冷却至 50 $^{\circ}\text{C}$,保温 60 s。开始 10 s 内转速为 960 r/min,以便分散样品,其后转速为 160 r/min。通过软件获得峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、崩解值及回生值等参数。

1.3.5 差示扫描量热分析 按 1.3.1 中的比例称取淀粉和砂仁多糖,将样品于 160 r/min 的恒温培养振荡器中平衡 24 h。取 20 mg 样品放入坩埚中进行 DSC 分析,使用空铝盘作为对照。升温条件:以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速度从 30 $^{\circ}\text{C}$ 加热至 160 $^{\circ}\text{C}$ 。通过软件记录每个样品的起始温度(T_o)、峰值温度(T_p)、终止温度(T_c)、糊化焓变化(ΔH)等参数。

1.3.6 傅里叶红外光谱 参照文献^[15]的方法并改动。按 1.3.1 的方法制备样品,冻干后取 1 mg 与 100 mg 溴化钾研磨混匀,红外灯下干燥 2 min,20 MPa 下抽真空压片 30 s。样品测定前先进行背景扫描。测定条件:波长范围为 4 000~400 cm^{-1} ,扫描次数为 64 次,分辨率为 4 cm^{-1} 。

1.3.7 X 射线衍射 取 1.3.1 样品冻干后利用 X 射线衍射仪进行分析。管压为 40 kV,管流为 40 mA,扫描区域为 4 $^{\circ}$ ~40 $^{\circ}$,扫描速率 2 ($^{\circ}$)/min^[16]。

1.3.8 体外模拟消化性测定

(1) 唾液淀粉酶的配制:取 45 mL 磷酸盐缓冲溶液

(pH 7)与 1.125 g 唾液 α -淀粉酶混合。

(2) 胃蛋白酶的配制:取 65 mg 胃蛋白酶溶解至 105 mL 盐酸缓冲溶液(pH 2)。

(3) 胰酶混合液的配制:分别取 130 mg 胰酶和 58.8 mg 淀粉葡萄糖苷酶溶于 120 mL 醋酸钠缓冲溶液(pH 6, 0.2 mol/L)中。

(4) 样品测定:样品中加入 2 mL 唾液淀粉酶反应 5 min,加入 5 mL 胃蛋白酶反应 30 min,分别加入 5 mL 氢氧化钠溶液(0.02 mol/L)、25 mL 醋酸钠缓冲溶液(pH 6, 0.2 mol/L)以及 5 mL 胰酶混合液对样品进行消化,利用 GM9 型葡萄糖分析仪测定 0, 20, 120 min 时葡萄糖含量,并分别按式(2)~式(4)计算快速消化淀粉(RDS)、慢消化淀粉(SDS)和抗性淀粉(RS)含量^[17]。

$$S_{RD} = \frac{G_{20} - G_0}{T_s} \times 100\%, \quad (2)$$

$$S_{SD} = \frac{G_{120} - G_{20}}{T_s} \times 100\%, \quad (3)$$

$$S_R = T_s - \frac{(S_{RD} + S_{SD}) \times 0.9}{T_s} \times 100\%, \quad (4)$$

式中:

S_{RD} ——快消化淀粉含量,%;

S_{SD} ——慢消化淀粉含量,%;

S_R ——抗性淀粉含量,%;

G_{20} ——20 min 产生的葡萄糖含量,mg;

G_{120} ——120 min 产生的葡萄糖含量,mg;

G_0 ——0 min 产生的葡萄糖含量,mg;

T_s ——样品中总淀粉含量,mg。

1.4 数据处理

所有试验至少重复 3 次,结果以平均值±标准差表示。利用 SPSS 16.0 进行统计分析,通过 ANOVA 进行差异显著性分析。利用 Origin Pro 8.5 绘图;MDI Jade 6.0 计算相对结晶度。

2 结果与分析

2.1 对小麦淀粉中直链淀粉浸出量的影响

糊化是一个水分子进入淀粉颗粒内部与淀粉颗粒结合使其膨胀破裂,直链淀粉不断溶出形成凝胶的过程^[13]。由表 1 可知,随着 AVP 添加量的增加,WS 中直链淀粉浸出量逐渐降低,当 AVP 添加量为 1.25% 时,糊化的 WS 中的直链淀粉浸出量又增加。复配体系中直链淀粉浸出量均显著低于空白组($P < 0.05$),说明添加 AVP 会导致淀粉颗粒水化作用变差,阻碍糊化过程。与空白组相比,当 AVP 添加量分别为 0.50%, 0.75%, 1.00%, 1.25% 时,小麦淀粉中直链淀粉浸出量分别降低了 13.42%, 15.14%, 34.10%, 27.88%,说明在淀粉糊化过程中,AVP 可能通过与直链淀粉相连,覆盖在小麦淀粉颗粒表面,从而抑制了直链淀粉的渗漏。

表 1 砂仁多糖添加量对小麦淀粉中直链淀粉浸出量的影响[†]

Table 1 Effects of AVP addition on amylose leaching in wheat starch

AVP 添加量/%	直链淀粉浸出量/%
0	14.60±0.83 ^a
0.50	12.64±0.13 ^b
0.75	12.39±0.02 ^b
1.00	9.62±0.19 ^d
1.25	10.53±0.27 ^c

[†] 字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

2.2 对砂仁多糖—小麦淀粉复合率的影响

由表 2 可知,随着 AVP 添加量的增加,复配体系的复合率从 11.21% 增加至 40.83%,表明 AVP 与 WS 的复合程度增加,与银耳多糖添加量对马铃薯淀粉—银耳多糖复合物复合率的影响趋势相同^[14]。

表 2 砂仁多糖添加量对砂仁多糖—小麦淀粉复合率的影响[†]

Table 2 The compound rate of the complex system with different AVP concentrations

AVP 添加量/%	复合率/%
0.50	11.21±2.28 ^b
0.75	13.57±1.96 ^b
1.00	40.83±4.14 ^a
1.25	39.33±8.02 ^a

[†] 字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

2.3 对砂仁多糖—小麦淀粉复配体系糊化特性的影响

由图 1 和表 3 可知,随着砂仁多糖添加量的增加,复配体系的峰值黏度从 4 052 mPa·s 降到 918 mPa·s,谷值黏度从 3 123 mPa·s 降至 704 mPa·s,最终黏度从 5 135 mPa·s 降到 1 205 mPa·s。一方面是由于砂仁多糖作为亲水胶体会影响复配体系内自由水的分配,导致

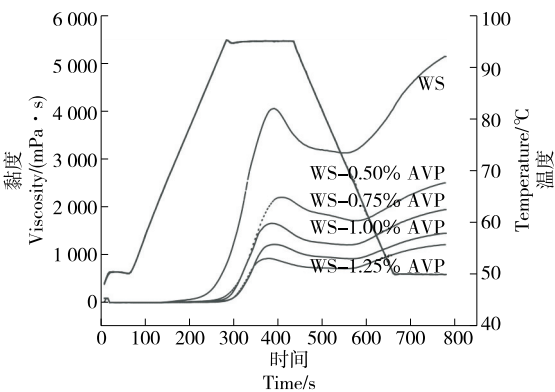


图 1 砂仁多糖—小麦淀粉的 RVA 曲线

Figure 1 RVA curves of AVP wheat starch

表 3 砂仁多糖—小麦淀粉复配体系的糊化特性[†]

Table 3 Gelatinization characteristics of the AVP wheat starch remixing system

AVP 添加量/%	峰值黏度/ (mPa·s)	谷值黏度/ (mPa·s)	崩解值/ (mPa·s)	最终黏度/ (mPa·s)	回生值/ (mPa·s)
0	4 052±52.65 ^a	3 123±5.85 ^a	929±10.02 ^a	5 135±8.50 ^a	2 012±8.74 ^a
0.50	2 195±7.51 ^b	1 706±10.02 ^b	489±10.53 ^b	2 497±6.51 ^b	791±8.50 ^b
0.75	1 650±9.50 ^c	1 200±8.72 ^c	450±7.00 ^c	1 936±21.52 ^c	736±12.00 ^c
1.00	1 210±10.00 ^d	911±6.51 ^d	299±6.03 ^d	1 443±7.00 ^d	532±10.01 ^d
1.25	918±8.62 ^e	704±8.54 ^e	214±5.53 ^e	1 205±7.21 ^e	501±6.55 ^e

[†] 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

流动相中的水分大量减少,因此在加热过程中,淀粉颗粒的溶胀、糊化以及淀粉的溶出分散受到了抑制,增强了 AVP 与 WS 的相互作用,使 AVP 与 WS 分子之间的交联更为紧密,这与 Yang 等^[12]的研究结果一致;也可能是由于 AVP 包裹淀粉颗粒,抑制了直链淀粉的浸出,从而抑制了淀粉颗粒的膨胀。此外,AVP 自身具有一定的黏度,多糖附着在淀粉颗粒表面,增加了淀粉颗粒的体积,从而使 AVP-WS 复配体系黏度升高。在淀粉糊化过程中,崩解值越低,淀粉的颗粒越不容易被破坏,AVP 附着在 WS 表面提高了小麦淀粉颗粒的稳定性,降低了复配体系的崩解值。

回生值代表淀粉糊老化过程的短期老化,本质上是淀粉分子链通过分子内或分子间氢键的结合、排列和聚集,淀粉分子从无序状态转变为有序状态的过程^[17]。随着砂仁多糖添加量的增加,WS 回生值从 2 012 mPa·s 降至 501 mPa·s,说明 AVP 干扰了直链淀粉的重排,阻碍了淀粉初始网络结构的形成,延缓了 WS 的短期老化,短期回生对大部分食品是不利的,因而添加砂仁多糖可有效改善糊化小麦淀粉食品的品质,与谯银强等^[18]的研究结果相似。

2.4 差示扫描量热分析

差示量热扫描分析通常用来测量物质在升温过程中发生相态转变的起始温度、终止温度、峰值温度及其相应的热效应等^[19]。由表 4 可知,当 AVP 添加量 $<1.00\%$ 时,随着砂仁多糖添加量的增加,峰值温度、终止温度和焓变 ΔH 显著增加($P<0.05$),可能是因为随着 AVP 添

加量的增加,AVP 与小麦淀粉之间的相互作用不断加强,二者形成了稳定的网络结构,降低了淀粉链的流动性^[20],需要更多的热量来破坏分子结构;而 AVP 具有较高的持水能力,使得体系内自由水含量减少,影响了淀粉的膨胀,抑制了淀粉的糊化,复配体系稳定性增高,最终导致糊化温度升高,糊化焓增大^[21]。此外,有研究^[22]表明,添加多糖会提高淀粉糊化终止温度,降低糊化焓值,而起始温度、峰值温度或升高或不变。也有研究^[23]表明,水胶体对淀粉的糊化温度和焓值无影响。当 AVP 添加量为 1.25%时,复配体系糊化的起始温度、终止温度和峰值温度降低,可能与 AVP 与 WS 的复合程度有关。

2.5 傅里叶红外光谱分析

由图 2 可知,与 WS 相比,添加 AVP 后未出现新的吸收峰,说明 AVP 与小麦淀粉之间无共价结合。3 410 cm^{-1} 附近为羟基的伸缩振动峰,1 360 cm^{-1} 附近为 C—O—H 基团的变形震动,而 1 154,1 078 cm^{-1} 附近为淀粉的 C—O 伸缩振动、C—C 单键骨架振动。929, 852 cm^{-1} 附近吸收峰分别为 α -1,4 糖苷键的对称伸缩振动和 α -1,4 糖苷键的骨架振动,763 cm^{-1} 附近吸收峰为—CH₂ 的摇摆振动。随着 AVP 添加量的增加,1 640 cm^{-1} 逐渐向低波数移动,即发生红移^[24],该峰为 O—H 的弯曲振动^[25],说明存在与淀粉的—OH 结合的组合水,该信号周围的红移表明 AVP 的—OH 可能与小麦淀粉,特别是浸出的直链淀粉的—OH 形成氢键,AVP 与直链淀粉之间的相互作用强于直链淀粉之间的,这可能是在糊化过程中,AVP 与淀粉颗粒中先浸出的直链淀

表 4 砂仁多糖—小麦淀粉复配体系的 DSC 热力学关键参数[†]

Table 4 Thermodynamic parameters of the complex system with different AVP concentrations

AVP 添加量/%	起始温度/℃	峰值温度/℃	终止温度/℃	$\Delta H/(\text{J}\cdot\text{g}^{-1})$
0	57.20±0.30 ^d	62.80±0.18 ^e	70.50±0.50 ^d	8.49±0.30 ^d
0.50	62.89±0.16 ^a	67.47±0.50 ^d	76.65±0.69 ^c	10.68±0.05 ^c
0.75	61.23±0.06 ^c	74.03±0.51 ^c	79.30±0.26 ^b	11.26±0.20 ^b
1.00	62.04±0.40 ^b	76.10±0.38 ^a	81.06±0.50 ^a	12.09±0.09 ^a
1.25	59.20±0.30 ^d	75.54±0.60 ^b	80.43±0.08 ^a	12.10±0.10 ^a

[†] 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

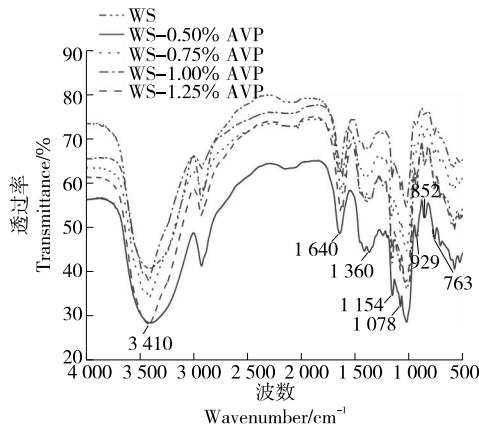


图2 砂仁多糖—小麦淀粉复配体系的红外图谱

Figure 2 Infrared spectra of the complex systems with different AVP concentrations

粉形成氢键连接,然后包围在淀粉颗粒表面,导致糊化程度降低。同时,由于 AVP 与直链淀粉的相互作用强于直链淀粉之间的相互作用,AVP 抑制了浸出的直链淀粉之间形成氢键,从而延缓了小麦淀粉的短期降解。这与 Kong 等^[26]的结论一致。

2.6 X-射线衍射分析

文献^[27]报道,淀粉的 XRD 图谱有 A 型、B 型、C 型和 V 型 4 种结晶类型,A 型淀粉在 15°,17°,18°,23°附近有强衍射峰;B 型淀粉在 5.5°,17°,22°,24°附近有较强衍射峰;而 C 型结晶为 A 型与 B 型的混合物;V 型结晶的衍射峰主要在 7.4°,13°,20°附近出现。根据图 3 可知,淀粉仅在 20°左右出现较强吸收峰,说明其晶体结构在糊化过程中被破坏。而添加了 AVP 后的复配体系,随着 AVP 添加量的增加,其 X-衍射图谱在 17°左右逐渐出现弱吸收峰,且在 20°左右也有吸收峰,说明其结晶程度随 AVP 的添加而加强,添加 AVP 具有促进小麦淀粉长期回生的作用,与孔祥如^[28]的研究结果一致。

2.7 砂仁多糖—小麦淀粉复配体系的消化特性

由表 5 可知,当 AVP 添加量 < 1.00 % 时,随着 AVP

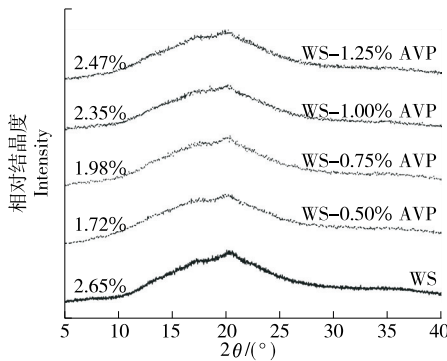


图3 砂仁多糖—小麦淀粉的 X-衍射曲线

Figure 3 X-diffraction curves of AVP wheat starch

表 5 砂仁多糖添加量对小麦淀粉消化特性的影响

Table 5 Effects of AVP on the digestive characteristics of wheat starch %

AVP 添加量	RDS	SDS	RS
0	83.15±0.32 ^a	11.34±0.31 ^e	5.51±0.14 ^e
0.50	75.63±0.14 ^b	14.36±0.12 ^d	10.01±0.27 ^d
0.75	68.57±0.04 ^c	15.20±0.04 ^c	16.23±0.38 ^c
1.00	58.34±0.25 ^e	25.53±0.51 ^a	18.13±0.41 ^a
1.25	59.42±0.14 ^d	24.31±0.22 ^b	17.27±0.54 ^b

添加量的增加,混合体系的 RDS 含量显著降低 ($P < 0.05$),缓慢消化淀粉和抗性淀粉含量显著升高 ($P < 0.05$),说明 AVP 的添加可以降低 WS 的消化率,有助于血糖含量的控制。添加 AVP 后小麦淀粉消化特性的变化可能有以下原因:AVP 在 WS 分子周围形成物理屏障,包裹住 WS,阻止了淀粉酶与淀粉的反应^[29];AVP 可能与酶之间的分子吸附产生了非竞争性抑制反应,从而使 WS 的消化率降低^[30];AVP 与 WS 之间的相互作用增加了体系的黏度,水的流动性受到抑制,减少了 WS 的水解物葡萄糖的释放和扩散,与 Goff 等^[31]的研究结果一致。

3 结论

研究了砂仁多糖添加量对小麦淀粉—砂仁多糖复配体系直链淀粉浸出量、复合率、糊化特性、热特性、结构特性和体外消化率的影响。结果表明,添加砂仁多糖能显著抑制小麦淀粉颗粒中直链淀粉浸出量;提高小麦淀粉的糊化温度,显著增加其糊化焓,从而延缓其糊化;糊化特性表明,砂仁多糖的添加降低了体系的峰值黏度、谷值黏度、崩解值和最终黏度等参数,抑制了小麦淀粉的短期老化;傅里叶红外光谱和 X-射线衍射结果表明,砂仁多糖与小麦淀粉通过氢键结合,增加了复配体系的结晶度,从而抑制小麦淀粉的短期老化,增强了复配体系的网络结构。体外模拟消化试验表明,添加砂仁多糖后,慢消化淀粉和抗性淀粉含量升高,表现出了一定的抗消化性。因此,添加砂仁多糖可有效提高小麦淀粉的热稳定性,降低小麦淀粉的消化率。由于砂仁多糖具有生物活性,砂仁多糖与小麦淀粉的结合可能会将这些功能带到小麦淀粉中,开发功能性食品,仍需进一步研究。

参考文献

[1] SAYASLAN A, CHUNG C K, SEIB P A, et al. Volatile compounds in five starches I[J]. Cereal Chemistry, 2000, 77(2): 248-253.
[2] LIU D, LI Z, FAN Z W, et al. Effect of soybean soluble polysaccharide on the pasting, gels, and rheological properties of kudzu and lotus starches[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 89: 443-452.
[3] BILIADERIS C, MAURICE T, VOSE J. Starch gelatinization phenomena studied BY differential scanning calorimetry[J]. Journal of Food Science, 1980, 45(6): 1 669-1 674.

- [4] LEE H H, BAE Y. Effect of hydroxy propylation on physical and rheological properties of sweet potato starch[J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(3): 765-770.
- [5] ZHOU D N, ZHANG B, CHEN B, et al. Effects of oligosaccharides on pasting, thermal and rheological properties of sweet potato starch [J]. Food Chemistry, 2017, 230: 516-523.
- [6] WANG X X, KOTESWARA C, XU R B. A systematic comparative study on morphological, crystallinity, pasting, thermal and functional characteristics of starches resources utilized in China [J]. Food Chemistry, 2018, 259: 81-88.
- [7] MA S P, ZHU P L, WANG M C. Effects of konjac glucomannan on pasting and rheological properties of corn starch [J]. Food Hydrocolloids, 2019, 89: 234-240.
- [8] RAGUZZONIJ C, DELGADILLO I, SILVA J A L. Influence of a cationic polysaccharide on starch functionality [J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 150: 369-377.
- [9] 陈忠秋, 冯涛, 庄海宁, 等. 香菇 β -葡聚糖的提取及其对淀粉消化性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(10): 71-77.
CHEN Z Q, FENG T, ZHUANG H N, et al. Extraction of β -glucan from *Lentinus edodes* and its effect on starch digestibility[J]. Food Science, 2018, 39(10): 71-77.
- [10] KIM H R, PAULRAYER A, KWON Y G, et al. Acute effects of *Amomum villosum* Lour. fruit extract on postprandial glycemia and insulin secretion: a single-blind, placebo-controlled, crossover study in healthy subjects[J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2020, 27(11): 2 968-2 971.
- [11] 何俊叶, 刘成, 于宪洋, 等. 黄皮不同部位多糖的结构特性及体外降血糖活性[J]. 食品与机械, 2024, 40(3): 156-164.
HE J Y, LIU C, YU C Y, et al. Structural characteristics and hypoglycemic activity of polysaccharides from different parts of *wampee*[J]. Food & Machinery, 2024, 40(3): 156-164.
- [12] YANG F, DU Q L, MIAO T, et al. Interaction between potato starch and *Tremella fuciformis* polysaccharide [J]. Food Hydrocolloids, 2022, 127: 107509.
- [13] 张晶, 张美莉. β -葡聚糖对燕麦淀粉凝胶特性及老化的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(8): 91-100.
ZHANG J, ZHANG M L. Effects of β -glucan on gel properties and retrogradation of oat starch[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(8): 91-100.
- [14] 陈龙, 陈晖, 朱静, 等. 茶多糖对海藻酸钠-淀粉-茶末复合膜性能的影响[J]. 食品与机械, 2023, 39(10): 112-117, 122.
CHEN L, CHEN H, ZHU J, et al. Effects of tea polysaccharide on the properties of sodium alginate/starch/tea powder composite membrane[J]. Food & Machinery, 2023, 39(10): 112-117, 122.
- [15] 董伟, 马生健, 郭俊先, 等. 凉粉草多糖提取、结构特征和生物活性研究[J]. 食品与机械, 2022, 38(11): 168-175.
DONG W, MA S J, GUO J X, et al. Extraction process, structural characteristics and biological activity of *Mesona chinensis* polysaccharide[J]. Food & Machinery, 2022, 38(11): 168-175.
- [16] 郑排云. 壳聚糖与淀粉干热交联对复合物性质影响研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2015: 15.
- ZHENG P Y. Studies of cross-links between chitosan and starch effecting on its properties [D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2015: 15.
- [17] 罗玉. 凉粉草多糖对不同直链含量玉米淀粉凝胶特性的影响及凉粉草布丁产品的研发[D]. 南昌: 南昌大学, 2021: 15.
LUO Y. Effects of *Mesona chinensis* polysaccharides on gel properties of maize starch with different amylose content and the development of new *Mesona chinensis* pudding [D]. Nanchang: Nanchang University, 2021: 15.
- [18] 骞银强, 刘松继, 陈江平, 等. 麦冬多糖对大米淀粉凝胶化及凝胶特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(11): 48-53.
HUO Y Q, LIU S J, CHEN J P, et al. Effects of *Ophiopogon japonicus* polysaccharide on gelation and gel properties of rice starch[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(11): 48-53.
- [19] 许巍萍, 李伟, 云杉杉, 等. 山药及零余子酸、酶处理淀粉的理化性质[J]. 食品科学, 2014, 35(13): 118-121.
XU W P, LI W, YUN S S, et al. Effect of acid and enzymatic treatment on physical and chemical characteristics of starches from yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) tuber and bulbil [J]. Food Science, 2014, 35(13): 118-121.
- [20] ZHANG K Y, ZHANG Y, XU N, et al. Study of the protein, antioxidant activity, and starch during in vitro simulated digestion of green wheat and wheat cooked flours[J]. International Journal of Food Properties, 2020, 23(1): 722-735.
- [21] 李妍, 崔维建, 赵城彬, 等. 玉米淀粉-玉米耳多糖复配体系理化及结构性质[J]. 食品科学, 2021, 42(4): 58-64.
LI Y, CUI W J, ZHAO C B, et al. Physicochemical and structural properties of corn starch *Auricularia cornea* Ehrenb. polysaccharide blends[J]. Food Science, 2021, 42(4): 58-64.
- [22] 焦昆鹏, 马丽苹, 张晓宇, 等. 水溶性大豆多糖对马铃薯淀粉理化性能的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(14): 54-59.
JIAO K P, MA L P, ZHANG X Y, et al. Effect of soluble soybean polysaccharides on the physical and chemical properties of potato starch[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(14): 54-59.
- [23] BEMILLER J N. Pasting, paste, and gel properties of starch-hydrocolloid combinations [J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 86(2): 386-423.
- [24] SUN Y, WANG M C, MA S P. Physicochemical characterization of rice, potato, and pea starches, each with different crystalline pattern, when incorporated with Konjac glucomannan [J]. Food Hydrocolloids, 2020, 101: 105499.
- [25] SHENG L, LI P S, WU H Q, et al. Tapioca starch-pullulan interaction during gelation and retrogradation [J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 96: 432-438.
- [26] KONG X R, ZHU Z Y, ZHANG X J, et al. Effects of cordyceps polysaccharides on pasting properties and in vitro starch digestibility of wheat starch[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 102: 105604.

(下转第 110 页)

征、色彩特征、文化特征,将其转译到乡土食品包装设计中。通过现代设计手法赋予乡土食品包装新的文化内涵,创造出具有地域文化特色和现代感强的特色包装,使该地区的乡土食品区别于同类产品,提升食品附加值与文化内涵,传递宣传民族民间文化。同时,要重视树立独特的地域文化,提升农产品档次,展示和传播地域文化的艺术魅力,传承与活化促进传统文化的现代传播^[11]。

未来应当结合消费者的喜好,构建消费者感知的文化因子筛选体系,以进一步推进包装的品质升级与文化基因的广泛传播,以此为更多本土化食品的包装设计提供可行性的参考,实现文化传播与经济提升的双赢^[12]。促进当地文化遗产传承传播、文旅融合、农旅融合,赋能乡村振兴战略大计。

参考文献

- [1] 刘英. 梅山文化园开发建设模式研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2014: 10-15.
LIU Y. The study on the development and construction mode of Msishan culture pard rict[D]. Changsha: Hunan University, 2014: 10-15.
- [2] 欧阳国辉, 郭佳. 乡土食品的文化意义与现代传承[J]. 食品与机械, 2017, 33(8): 218-220.
OUYANG G H, GUO J. Cultural significance and modern inheritance of local food[J]. Food & Machinery, 2017, 33(8): 218-220.
- [3] 孙博. 从大学生创业视角探讨特产食品营销策略[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(22): 233.
SUN B. Exploring marketing strategies for specialty foods from the perspective of college student entrepreneurship[J]. Food Research & Development, 2020, 41(22): 233.
- [4] 王巧星. 乡土食品包装的文化价值与创新策略[J]. 食品与机械, 2021, 37(9): 117-120.
WANG Q X. Cultural value and innovative strategy of local food pack aging under the rural revitalization process [J]. Food & Machinery, 2021, 37(9): 117-120.
- [5] 童玲. 基于梅山傩文化的湖南新化地方特色食品公用品牌设计与应用[J]. 食品与机械, 2023, 39(10): 118-122.

- TONG L. Meishan Nuo culture-based design and application of apublic brand for local specialty foods from Xinhua, Hunan[J]. Food & Machinery, 2023, 39(10): 118-122.
- [6] 李鑫莹, 肖小英, 王丽, 等. 梅山傩面具艺术符号琐谈[J]. 湖南包装, 2015, 29(3): 57-59, 77.
LI X Y, XIAO X Y, WANG L, et al. A brief discussion to the artistic symbols of Meishan nuo masks[J]. Hunan Packaging, 2015, 29(3): 57-59.
- [7] 谢琪, 秦雨场. 信息可视化在茶叶包装设计中的应用[J]. 食品与机械, 2022, 38(11): 130-135.
XIE Q, QIN Y Y. Application of information visualization technology inteapackaging design[J]. Food & Machinery, 2022, 38(11): 130-135.
- [8] 孟燕. 非遗保护视角下的湘西傩面具艺术再设计应用[J]. 湖南包装, 2023, 38(4): 150-152, 201.
MENG Y. The artistic redesign and application of Nuo mask in western hunan from the perspective of in tangible heritage protection[J]. Hunan Packaging, 2023, 38(4): 150-152, 201.
- [9] 肖沛听. 梅山傩元素在紫鹊界农产品包装中的应用[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2019: 42-50.
XIAO P X. Meishan Nuo elements application in the package of agriculture products of Ziquejie[D]. Changsha: Changsha University of Science and Technology, 2019: 42-50.
- [10] 邱族周, 钱惠, 刘云. 基于闽东传统民居特色的非遗食品包装设计[J]. 食品与机械, 2022, 38(7): 138-143.
QIU Z Z, Q H, LIU Y. Packaging design of intangible culture heritage food based on the characteristics of traditional folk in east Fujian[J]. Food & Machinery, 2022, 38(7): 138-143.
- [11] 吴余青, 陈昊炜. 非遗传承视域下的地域性农产品包装设计探索[J]. 湖南包装, 2021, 36(2): 38-40.
WU Y Q, CHEN H W. Exploration of regional agriculture product packaging design from the perspective of intangible cultural heritage inheritance[J]. Hunan Packaging, 2021, 36(2): 38-40.
- [12] 魏可欣, 詹秦川. 基于窑洞文化的延安特产食品包装设计[J]. 食品与机械, 2022, 38(2): 104-110.
WEI K X, ZAN Q C. Research on Yan'an specialty food packaging design based on regional culture[J]. Food & Machinery, 2022, 38(2): 104-110.

(上接第 24 页)

- [27] 栾惠宇. 基于 XRD 对淀粉晶体结构表征方法的探索[D]. 天津: 天津科技大学, 2020: 4.
LUAN H Y. Exploration of the characterization method of starch crystalstructure by XRD[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2020: 4.
- [28] 孔祥如. 蛹虫草多糖对小麦淀粉理化性质及消化特性的影响[D]. 天津: 天津科技大学, 2020: 35-36.
KONG X R. Effects of cordyceps polysaccharides on wheat starch physicochemical and digestive properties [D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2020: 35-36.

- [29] BRENNAN C S, BLAKE D E, SCHOFIELD J D. Effects of guar galactomannan on wheat bread microstructure and on the in vitro and in vivo digestibility of starch in bread[J]. Journal of Cereal Science, 1996, 24(2): 151-160.
- [30] BRENNAN C S, BLAKE D E, ELLIS P R, et al. Influence of guar gum on the in vitro starch digestibility-rheological and microstructural characteristics [J]. Food Biophys, 2010, 5(3): 149-160.
- [31] GOFF H D, REPIN N, FABEK H, et al. Dietary fibre for glycaemia control: towards a mechanistic understanding [J]. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 2018(14): 39-53.