

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.03.011

房子蔚, 王雨生, 李鑫, 等. 海藻酸钠和低甲氧基果胶抑制油炸甘薯淀粉吸油效果及结构变化[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(3): 96-104.
FANG Z W, WANG Y S, LI X, et al. Oil absorption-reducing and structural changes of fried sweet potato starch with the addition of sodium alginate and low methoxyl pectin[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(3): 96-104.

海藻酸钠和低甲氧基果胶抑制油炸甘薯淀粉吸油效果及结构变化

房子蔚¹, 王雨生¹, 李鑫¹, 陈海华^{1,2}✉

(1. 青岛农业大学 食品科学与工程学院, 山东 青岛 266109;
2. 青岛农业大学 巴瑟斯未来农业科技学院, 山东 青岛 266109)

摘要: 为探明海藻酸钠(sodium alginate, AG)和低甲氧基果胶(low methoxyl pectin, LMP)对油炸甘薯淀粉吸油率的影响, 使用低场核磁共振仪、激光共聚焦显微镜、X射线衍射仪、红外光谱及差示扫描量热仪分别分析了添加0.5% (w/w)、2% (w/w) AG和2% (w/w) LMP的油炸甘薯淀粉的油含量及其分布、热性质等。结果表明, 添加AG或LMP可以显著降低油炸甘薯淀粉总油含量, 油主要分布在淀粉颗粒表层, 淀粉结晶类型由A+V型变为V型, 糊化焓和相对结晶度明显降低。与添加LMP的油炸甘薯淀粉相比, 添加AG后总油含量、相对结晶度和糊化焓更低。添加AG质量分数为2%时, 油炸甘薯淀粉糊化程度最高, 淀粉颗粒表层呈连续、致密结构, 总油含量和表层油含量均为最低。可为健康、低脂油炸淀粉类食品加工提供参考。

关键词: 甘薯淀粉; 油炸; 低脂; 海藻酸钠; 低甲氧基果胶; 微观结构; 油相分布; 结晶特性

中图分类号: TS231 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2022)03-0096-09

网络首发时间: 2022-04-29 14:29:24

网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20220429.1158.002.html>

Oil Absorption-Reducing and Structural Changes of Fried Sweet Potato Starch with the Addition of Sodium Alginate and Low Methoxyl Pectin

FANG Zi-wei¹, WANG Yu-sheng¹, LI Xin¹, CHEN Hai-hua^{1,2}✉

(1. College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China; 2. Barthurst Future Agri-Tech Institute of Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China)

Abstract: In order to explore the oil reducing mechanism of sodium alginate (AG) and low methoxyl pectin (LMP) on the fried sweet potato starch, the oil content, distribution and thermal properties of fried sweet potato starch with 0.5% (W/W), 2% (W/W) AG or 2% (W/W) LMP were investigated by low field nuclear

收稿日期: 2022-01-17

基金项目: 山东省自然科学基金项目(ZR2016CM17); 山东省高等学校优秀中青年骨干教师国际合作培养项目(SD20130825); 青岛农业大学研究生创新立项(QNYCX20029)

Supported by: Natural Science Foundation of Shandong Province (No. ZR2016CM17); the International Cooperation Training Project for Outstanding Young and Middle-aged Backbone Teachers in Shandong Province (No. SD20130825); the Graduate Innovation Project of Qingdao Agricultural University (No. QNYCX20029)

作者简介: 房子蔚, 女, 1998年出生, 在读硕士生, 研究方向为食品加工与安全。E-mail: fangziwei42@163.com.

通讯作者: 陈海华, 女, 1973年出生, 博士, 教授, 研究方向为食品化学。E-mail: haihchen@163.com.

magnetic resonance, confocal laser scanning microscopy, X-ray diffractometer, Fourier transform infrared spectroscopic analysis and differential scanning calorimetric analysis, respectively. The results showed that the total oil content of fried sweet potato starch significantly decreased with adding AG or LMP, while most of the oil was distributed on the starch surface. The crystallization pattern of fried sweet potato starch with adding AG or LMP changed from A+V type to V type, as well as the gelatinization enthalpy and relative crystallinity significantly decreased. The fried sweet potato starch with AG showed an obviously lower total oil content, relative crystallinity and gelatinization enthalpy than that with LMP. The fried sweet potato starch with 2% AG exhibited the highest gelatinization degree to form a continuous and dense lamellar structure, while showed the lowest total oil content and surface oil content. The result of this study could provide a reference for processing the fried starchy foods with low oil content.

Key words: sweet potato starch; frying; low oil content; sodium alginate; low methoxyl pectin; microstructure; oil please distribution; crystalline characteristic

中国的甘薯种植面积和产量均居世界首位,为国内第四大粮食作物^[1]。甘薯富含淀粉、多酚、 β -胡萝卜素等营养成分,作为健康食品受到消费者的青睐^[2]。油炸是一种深受消费者欢迎的传统加工技术,能使食品产生酥脆口感、金黄色泽和独特的油炸风味,被广泛用于淀粉类食品的工业化生产和家庭烹饪,如薯条、甜甜圈、方便面等^[3-4]。油炸过程中,加热温度高,食品表面水分会迅速蒸发,产生蒸气梯度,促使内部的水分向表面迁移,导致食物表面产生较多的孔洞,增加了食品对油的吸收^[5],因而,油炸食品通常具有较高的油含量。Chen等^[6]发现,油炸过程中马铃薯淀粉的吸油量与淀粉结晶结构的破坏有关,且淀粉颗粒越小吸油越多。而高油含量食品并不利于身体健康,有研究表明,心血管和脑血管疾病的高发可能与过多食用高油含量食品有关^[7]。因而很多研究又关注于如何调控油炸食品吸油率,如优化油炸条件、改变油炸食品的初始含水率、添加亲水胶体等^[8]。Chen等^[9]指出调节面糊中小麦淀粉和小麦蛋白的比例,可以降低油炸鱼块的油含量。其中,添加亲水胶体是一种简便、安全的控油方法。亲水胶体含有较多的亲水基团——羟基,能在食品油炸时与淀粉相互作用,形成物理屏障层,抑制食品吸油^[10]。研究发现,黄原胶、果胶和 β -葡聚糖等亲水胶体均可抑制油炸甘薯淀粉吸油^[11]。Chen等^[8]研究发现油炸普鲁兰多糖-玉米淀粉混合物的结构比油炸玉米淀粉结构更致密,减少油炸过程中油分子渗入玉米淀粉,从而抑制玉米淀粉吸油。Oh等^[12]扫描电镜结果显示添加松香糖后

方便面表面光滑,多孔结构少,使得方便面的油含量降低了20.8%。

AG和LMP均为含羧基的亲水胶体,常作为稳定剂、增稠剂等用于糕点、凝胶食品,可有效抑制有害金属(如镉、铅)等在体内积累^[13-14]。然而,目前关于采用AG和LMP在油炸食品中的控油研究较少,本文以甘薯淀粉、AG和LMP为研究对象,探讨亲水胶体的种类和添加量对油炸甘薯淀粉的油含量及其分布、热性质和结构等的影响,以期为开发低油脂含量的油炸淀粉类食品提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

甘薯淀粉(sweet potato starch, SPS),直链淀粉含量21.1%,食品级:青岛骏厨有限公司;海藻酸钠(sodium alginate, AG),甘露糖醛酸与古洛糖醛酸的比值约为1.17,食品级:青岛明月海藻集团有限公司;低甲氧基果胶(low methoxy pectin, LMP),酯化度40%,食品级:郑州万搏化工产品有限公司;菜籽油,食品级:山东鲁花集团有限公司;石油醚,分析纯:莱阳康德化工有限公司;尼罗红,分析纯:北京索莱宝科技有限公司。

1.2 仪器与设备

NMI20-040V-I 低场核磁共振仪(low-field NMR, LF-NMR):苏州纽迈分析仪器股份有限公司;Hitachi S-3400N 扫描电子显微镜(scanning electron microscope, SEM):日本日立株式会社;

TCSSP5 激光共聚焦显微镜 (laser confocal microscope, CLSM): 德国徕卡仪器有限公司; DSC1 型差示扫描量热仪 (differential scanning calorimeter, DSC): 瑞士梅特勒-托利多公司; D8 ADVANCE X 射线衍射仪 (X-ray diffractometer, X-ray): 德国布鲁克 AXS 有限公司; iS10 红外光谱仪 (infrared spectrometer, ATR-FTIR): 美国热电尼高力公司; DF35A 油炸锅: 桂林万卓商贸有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 油炸淀粉样品制备

参照 Chen 等^[8,10]的方法, 称取 5 g 甘薯淀粉与蒸馏水混合, 调节水分质量分数为甘薯淀粉的 30%, 在室温静置 24 h 平衡水分后, 放入 400 目的筛网中, 将筛网浸入 170 °C 的菜籽油中, 油炸 5 min 后取出筛网, 沥干, 冷却至室温。所得样品记为 Frying starch (FS)。

将上述蒸馏水分别更换为 AG 水溶液 (AG 质量分数为 0.5% 和 2%, 以甘薯淀粉干基为 100% 计, 下同) 和 LMP 水溶液 (LMP 质量分数为 2%), 重复上述步骤, 所得样品分别记为 FS+0.5%AG、FS+2%AG、FS+2%LMP, 用于测定总含油质量分数和表层油质量分数。预实验结果发现 2%AG 抑制油炸甘薯淀粉吸油效果优于 0.5%AG, 所以本文通过用 2%LMP 与 2%AG 对比研究两种亲水胶体抑制油炸甘薯淀粉的吸油效果。

分别向 FS、FS+0.5%AG、FS+2%AG、FS+2%LMP 的油炸样品中加入 3 倍体积的石油醚并充分搅拌后静置 5 min, 倒掉上清液, 重复 3 次。沉淀于室温下干燥至恒重, 研磨, 过 100 目筛, 脱油后的样品分别记为 FSPS、FSPS+0.5%AG、FSPS+2%AG、FSPS+2%LMP 用于测定扫描电子显微镜、激光共聚焦显微镜、结晶特性和热性质。

1.3.2 总含油质量分数测定

油炸淀粉样品中总含油质量与样品质量之比即为样品的总含油质量分数 (C_T , mg/g)。参照 Chen 等^[8]的方法, 采用 LF-NMR 法测定 C_T 。准确称取适量菜籽油于 10 mL 烧杯中, 用保鲜膜密封后, 将烧杯放入直径 25 mm 的核磁管。测试前, 样品在核磁仪器中预热 3 min, 质子衰变信号由 Carr-Purcell-Meiboom-Gill (CPMG) 序列捕获,

测量温度为 32 °C, 等待进样时间为 6 000 ms, 回声次数为 6 000, 回波时间为 0.25 ms, 重复扫描 32 次, 记录不同质量菜籽油的横向弛豫谱。以氢质子信号峰强度为纵坐标, 菜籽油质量为横坐标, 经线性拟合得标准曲线方程: $y=0.074 3x+7.807$, $R^2=0.950 5$ 。

准确称取油炸后沥干的样品 m_2 (1.00 ± 0.03) g, 按上述方法, 测定样品的横向弛豫谱, 记录横向弛豫峰强度, 根据标准曲线方程确定样品中菜籽油质量, 即总含油质量 m_1 , 根据 $C_T=m_1/m_2$ 计算样品的 C_T 。

1.3.3 表层油质量分数测定

样品中表层油质量与样品质量之比为表层油质量分数 (C_S , mg/g), 其测定方法参照 Chen 等^[14]的 ATR-FTIR 法并稍做修改。准确称取一定量菜籽油溶于石油醚中配制不同质量分数的菜籽油石油醚溶液, 使用 ATR-FTIR 采集菜籽油石油醚溶液的红外信号。1 743 cm^{-1} 处的峰代表菜籽油。因此, 以 1 743 cm^{-1} 处菜籽油的峰面积为纵坐标, 以菜籽油质量分数为横坐标, 经线性拟合得标准曲线方程: $y=0.218x+0.003 4$, $R^2=0.990 3$ 。

取适量油炸后沥干的样品, 使用 ATR-FTIR 采集样品的红外信号, 计算 1 743 cm^{-1} 吸收峰面积, 并根据曲线方程确定样品中的表层油质量分数 C_S 。

1.3.4 扫描电子显微镜观察

油炸甘薯淀粉的表观形貌观察参考 Wang 等^[15]的方法并稍做修改。将 FSPS 样品粉末固定在扫描电子显微镜的样品台上, 再喷上一层金薄膜, 在 5 kV 加速电压下放大 5 000 倍观察油炸淀粉的表观形貌。

1.3.5 激光共聚焦显微镜观察

用新配制的 1 g/mL 尼罗红乙醇溶液对 FSPS 淀粉样品染色后, 于 4 °C 暗处放置 12 h, 经 3 500 r/min 离心 15 min, 所得沉淀用无水乙醇洗涤 3 次, 去除多余的染料。将染色样品置于载玻片上, 用激光共聚焦显微镜观察样品中油的分布, 激发波长为 488 nm, 放大 200 倍观察。

1.3.6 热性质测定

参照 Yu 等^[16]方法, 在高纯度氮气气氛下, 用差示扫描量热仪测定油炸甘薯淀粉的热性质。

准确称量 6 mg FSPS 淀粉样品至 40 μL 铝坩埚中, 加入 12 μL 蒸馏水后密封铝坩埚, 在室温下平衡过夜。以空铝坩埚作为参比, 以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速度将样品从 25 $^{\circ}\text{C}$ 升温至 130 $^{\circ}\text{C}$, 记录 DSC 曲线。利用热分析软件 (STAR[®] Evaluation software) 计算糊化起始温度 (T_0)、峰值温度 (T_p)、终止温度 (T_c) 和糊化焓 (ΔH) 等参数。

1.3.7 结晶特性的测定

参考 Zhang 等^[17]的方法, 用 X-Ray 测定 FSPS 淀粉样品的结晶度。X-Ray 的工作电压和电流分别为 40 kV 和 40 mA, 测定温度为 25 $^{\circ}\text{C}$, 扫描范围为 4 $^{\circ}$ ~40 $^{\circ}$, 扫描速率为 1.0 ($^{\circ}/\text{min}$)。根据 X-Ray 衍射图谱, 用结晶区面积与总面积的比值来计算淀粉的相对结晶度 (relative crystallinity, RC)。

1.4 数据分析

采用软件 SPSS 17.0 和 Origin 8.0 进行数据和图像的处理与分析。数据以平均值 \pm 标准差的形式表示, 利用 LSD 和 Duncan 多重比较法分析不同处理样品间的差异显著性 ($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 总含油质量分数

LF-NMR 法是一种常用的分析样品中含油量的方法, 具有方便、快速等优点。20~1 000 ms 的弛豫峰是菜籽油的特征峰 (图 1), 其强度与菜籽油质量成正比^[8]。

根据图 1 和图 2, FS 的弛豫峰最强, C_T 最大, 分别为 36.8 a.u. 和 390 mg/g。添加亲水胶体显著改变了油炸淀粉的弛豫谱, 不同样品的弛豫峰强度和 C_T 降低了 13%~35%。Chen 等^[8]报道添加普鲁兰多糖能降低油炸玉米淀粉的油含量, Oh 等^[12]报道添加松二糖降低了油炸方便面的油含量。添加 AG 的质量分数由 0.5% 升高至 2% 时, C_T 降低了 22%, 说明油炸过程中提高 AG 的质量分数能有效抑制淀粉吸油。将 AG 更换为相同质量分数的 LMP 时, FS+2%LMP 的 C_T 比 FS+2%AG 增加了 25%, 即 AG 抑制油炸淀粉吸油效果更显著。亲水胶体能够抑制淀粉吸油, 这可能是由于亲水性胶体包裹在淀粉颗粒表面, 形成物理屏障, 阻碍了油脂向淀粉颗粒内部的渗透, 减少了油炸淀粉的 C_T ^[18]。与 LMP 相比, AG 具有更好的抑制

吸油效果则可能是由于相同质量分数的 AG 和 LMP 溶液, AG 的黏度较高, 且 AG 浓度越高, 黏度越大, 包裹淀粉颗粒的能力更强, 形成的物理屏障更致密, 表现出更强的阻碍油向淀粉颗粒内部渗透的能力。

上述结果表明, 添加亲水胶体可以抑制油炸过程中淀粉的吸油行为, 抑制效果与亲水胶体种类和添加量有关。

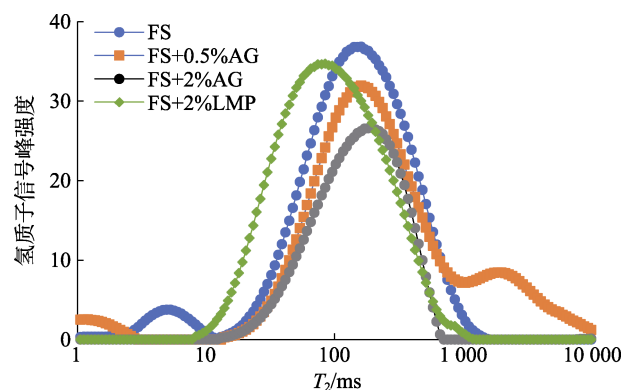


图 1 油炸甘薯淀粉样品的横向弛豫谱
 Fig.1 CPMG proton distributions of FSPS with addition of AG and LMP

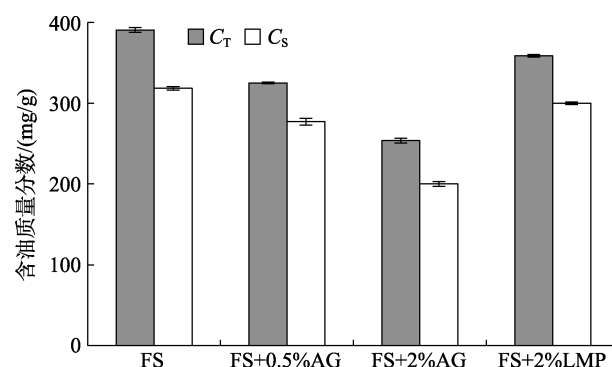


图 2 油炸甘薯淀粉样品的含油质量分数
 Fig.2 The total oil content and surface oil content of FSPS with the addition of AG and LMP

2.2 表层油质量分数

ATR-FTIR 法是一种可靠的油脂定性/定量分析方法, ATR-FTIR 光谱中, 1 743 cm^{-1} 处的吸收峰是菜籽油的特征峰, 峰面积越大, 则样品表层油质量分数越大^[19], 因此 1 743 cm^{-1} 处吸收峰面积可以用于定量分析油炸淀粉的 C_S ^[14]。如图 3 所示, 淀粉样品经油炸后, 在 1 743 cm^{-1} 处生成一个明显的吸收峰, 这正是菜籽油的特征峰, 说明油炸后样品表面吸附了一定量的菜籽油。不同处理的特征峰面积有明显差别, 未添加 AG 或 LMP

的甘薯淀粉油炸后的特征峰最强, 添加亲水胶体的吸收峰明显减弱, 说明亲水胶体显著影响了油炸淀粉的吸油能力。

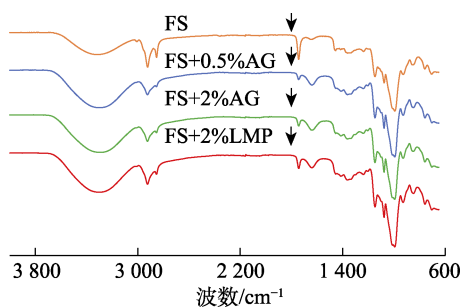


图 3 油炸甘薯淀粉样品的红外光谱
Fig.3 The ATR-FTIR spectra of FS with AG and LMP

在所有样品中,FS的 C_s 最高(图2),为320 mg/g。油炸过程中,与淀粉颗粒内部相比,表层淀粉分子间的氢键更容易被较高的油温破坏,使表层淀粉吸水增多,淀粉结构变得疏松多孔,容易吸附油脂,因此淀粉颗粒表面吸附油多^[14]。添加AG或LMP后, C_s 显著降低了20~210 mg/g,表层吸油明显被抑制。Yang等^[20]也发现,添加亲水胶体可显著降低油炸淀粉的表层油含量。添加的亲水胶体包裹在淀粉颗粒表面,减少了淀粉与油的接触,可能是降低 C_s 的主要原因^[8]。

与FS+0.5%AG相比,FS+2%AG的 C_s 降低了约33%,说明提高AG的添加量可以进一步降低油炸淀粉的 C_s 。Chen等^[6]研究类似地得出,油炸玉米淀粉的表层油含量随普鲁兰多糖的质量分数的增加而降低。与FS+2%AG相比,FS+2%LMP的表层油含量较高,说明添加相同质量分数的AG和LMP,AG抑制油炸甘薯淀粉表层吸油效果更好,这与AG溶液的黏度大、吸水能力和持水能力强,易在淀粉颗粒表面形成致密保护层,使淀粉糊化程度增加,淀粉的比表面积减少,与油的接触面积减少可能有关系^[21-22]。

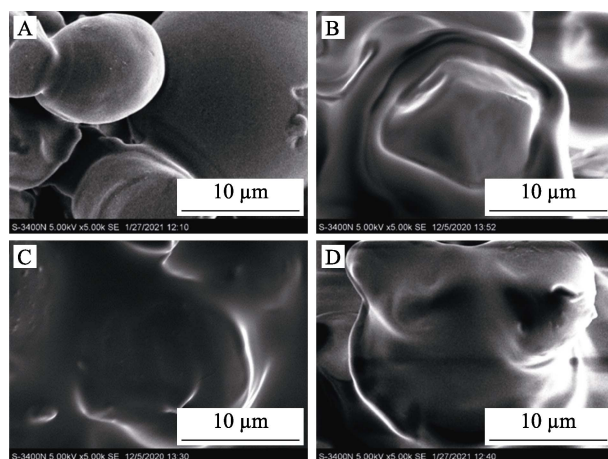
另外,所有油炸淀粉样品中, C_T/C_s 约为80%(图2),说明油炸过程中淀粉吸收的油主要分布在淀粉表层,Moreir等^[23]同样发现油炸马铃薯片的表层油占总含油量的比值很高。

上述结果表明,油炸过程中,淀粉的吸油以表面吸附为主。添加亲水胶体后可以在淀粉表层形成致密的保护层,减少了油炸过程中油脂向淀

粉表层的渗入,从而降低了淀粉表层的油含量。

2.3 微观结构

扫描电镜常用于观察食品加工前后淀粉颗粒形态和尺寸变化^[15]。如图4A所示,油炸后,甘薯淀粉颗粒发生一定程度的膨胀,但依然保持较好的颗粒形态,颗粒间形成大的团聚体。这可能是因为油炸过程中渗漏的直链淀粉沉积在淀粉颗粒周围,淀粉颗粒因此相互粘结^[8,24]。添加亲水胶体后,淀粉明显容易糊化,添加AG质量分数为0.5%的油炸甘薯淀粉,表面淀粉颗粒糊化,冷却后形成光滑的膜状结构覆盖在淀粉颗粒表面,但内部依然有明显的、未完全糊化的块状淀粉颗粒存在(图4B);提高AG质量分数至2%后油炸,淀粉几乎完全糊化,颗粒消失,呈连续、致密的结构(图4C)。而将AG更换为相同质量分数(2%)的LMP时,油炸淀粉中存在明显的未糊化淀粉颗粒(图4D)。这说明,提高AG的添加量,会促进油炸甘薯淀粉的糊化,而相比LMP,添加相同质量分数的AG更有利于甘薯淀粉的糊化,形成一层连续致密膜状结构覆盖在淀粉颗粒表面,这可能是油炸甘薯淀粉中油含量降低的原因。



A: FSPS, B: FSPS+0.5%AG, C: FSPS+2%AG, D: FSPS+2%LMP
图 4 扫描电子显微镜观察油炸甘薯淀粉表面形貌照片(5000×)

Fig.4 Scanning electron micrographs of FSPS (A), FSPS+0.5% AG (B), FSPS+2% AG (C) and FSPS+2% LMP (D)

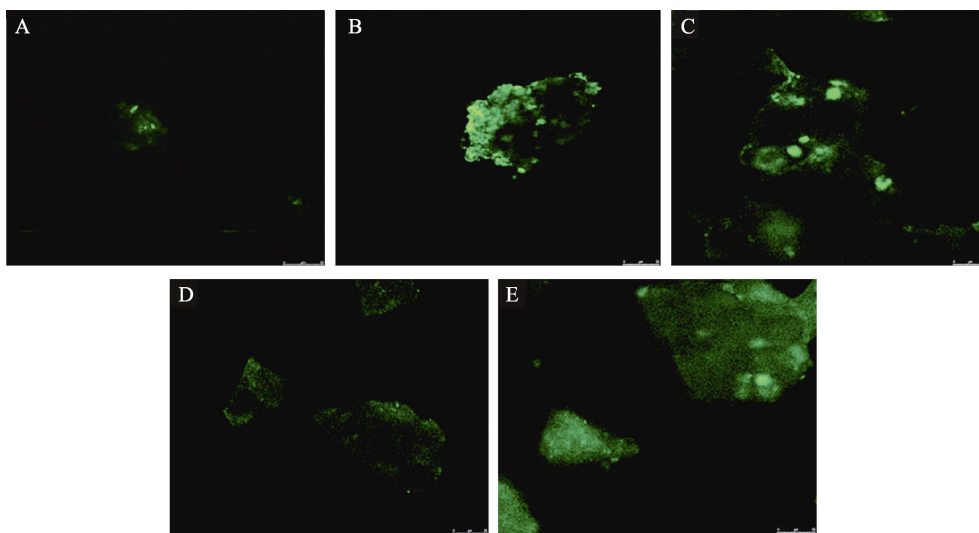
2.4 油相分布

CLSM 能从微观水平上观察样品内部油相的分布。通常,荧光染色剂尼罗红在油脂丰富的环境中发出绿色荧光,可根据显微照片中绿色区域的亮度和分布(图5)推断油炸样品中油含量和

油相分布的变化^[25]。图5中,未添加亲水胶体的甘薯淀粉油炸后,荧光最明亮(图5B),绿色荧光集中分布在淀粉颗粒表面,这说明FSPS油含量很高,且油主要分布在颗粒表面。添加亲水胶体明显降低了油炸甘薯淀粉的荧光强度,改变了荧光分布区域,FSPS+2%AG(图5D)的荧光强度最弱,颗粒内部油脂分布更为均匀,虽然颗粒表面存在少许的、面积很小的明亮荧光点,但与FSPS相比,表面荧光强度明显降低、范围减小,说明表层含油量占比降低,这与图2中表层油分布变化一致。

分析上述结果说明,添加亲水胶体AG和LMP显著降低了油炸淀粉的油含量,表层油分布减少,AG的控油效果更明显,提高AG的添加量

可以进一步提高其抑制吸油效果,明显降低油炸淀粉表层油含量。Chen等^[8]研究发现普鲁兰多糖和果胶均能降低油炸过程中淀粉对油的吸收,这可能是因为随着油炸过程中水分不断的损失,亲水胶体逐渐析出并沉积于淀粉颗粒表面,形成一层物理隔离膜,减少油的吸附^[20,26]。淀粉颗粒内部之所以出现较为均匀的荧光分布可能是由于AG和LMP的添加促进了油炸过程中甘薯淀粉的糊化,使直链淀粉形成单螺旋结构,更容易与油脂结合形成淀粉-脂复合物,分布于颗粒内部。另外,LMP本身含有疏水基团,油炸过程中,部分LMP的疏水基团与淀粉分子通过疏水相互作用形成复合物,也促进了颗粒内部荧光的呈现。



A: SPS, B: FSPS, C: FSPS+0.5%AG, D: FSPS+2%AG, E: FSPS+2%LMP

图5 激光共聚焦显微镜观察油炸甘薯淀粉油相分布照片(200×)

Fig.5 CLSM analysis of SPS (A), FSPS (B), FSPS+0.5% AG (C), FSPS+2% AG (D) and FSPS+2% LMP (E)

2.5 热性质

DSC是研究淀粉热力学性质的常用方法。加热过程中,淀粉的相变温度(即糊化转变温度)反映淀粉晶体熔融的难易程度,相变焓(即糊化焓 ΔH)则与淀粉双螺旋结构或淀粉结晶结构的损失有关^[27]。如图6所示,FSPS有一个明显的吸热峰,糊化转变温度 T_0 、 T_c 、 T_p 和糊化焓 ΔH 分别为66.25℃、71.68℃、79.41℃和2.85 J/g。添加亲水胶体AG或LMP后,糊化转变温度和糊化焓值均明显降低。与FSPS相比,FSPS+2%AG和FSPS+2%LMP的 T_0 分别降低了1.75℃、1.03℃, ΔH 分别降低了2.13 J/g和1.73 J/g,即添加亲水

胶体能促进油炸甘薯淀粉的糊化,这与前文所述结果一致。Chen等^[8]研究发现,加入普鲁兰多糖可以降低油炸玉米淀粉的 T_0 ,这可能是由于亲水胶体具有较强的持水能力,能够减少油炸过程中水分的散失,充足水分的存在有利于淀粉从晶态向无定形态的转变。

与FSPS+0.5%AG相比,FSPS+2%AG的 ΔH 降低了1.60 J/g,这说明提高AG的添加量能够促进油炸过程中淀粉结构的破坏,Li等^[13]也发现,AG的添加量越高,结合的水分越多,油炸过程中马铃薯淀粉结构破坏的程度越高。与FSPS+2%LMP相比,FSPS+2%AG的 ΔH 更低,这应该

与 AG 的吸水能力更强有关, 可以为淀粉提供更多的水分, 促进淀粉晶体结构的破坏和淀粉颗粒的糊化^[28]。

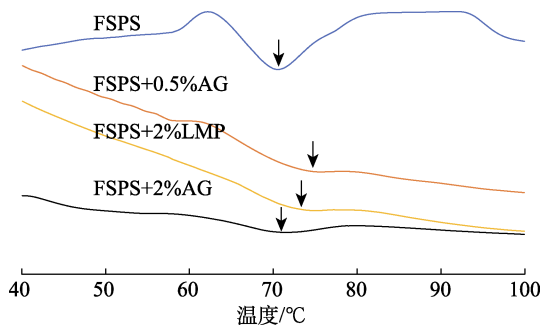


图 6 油炸甘薯淀粉样品的 DSC 图谱

Fig.6 DSC curve of FSPS with or without AG and LMP

2.6 结晶特性

XRD 常用于研究淀粉与添加剂之间的相互作用。如图 7 所示, FSPS 在 2θ 为 15.19° 、 17.13° 、 18.02° 、 20.05° 和 22.96° 处存在强衍射峰, 即油炸后甘薯淀粉颗粒仍保持较好的结晶结构, 为 A+V 型结晶, 相对结晶度为 13.6%。添加 AG 或 LMP 后, 油炸甘薯淀粉仅在 20° 有一个强衍射峰, 其他的衍射峰几乎完全消失, 结晶结构转变为典型的 V 型, 这与 Chen 等^[8]的研究结果一致, 说明添加亲水胶体后, 油炸过程中甘薯淀粉颗粒原有的结晶结构被破坏, 并形成了呈 V 型结晶结构的淀粉-脂复合物^[17]。

与 FSPS 相比, 添加 AG 或 LMP 后的油炸甘薯淀粉相对结晶度明显降低, 且 AG 的添加量越高, 相对结晶度越低, FSPS+0.5%AG 的相对结晶度为 9.1%, FSPS+2%AG 的相对结晶度为 5.7%, 分别比 FSPS 降低了 4.5% 和 7.9%, Chen 等^[8]也有类似发现。亲水胶体包裹在淀粉表面, 可以阻止油炸时淀粉中水分的损失, 有利于淀粉的糊化^[29], 提高 AG 添加量后, AG 进一步保护甘薯淀粉中水分, 从而促进淀粉的糊化、结晶结构的破坏, 降低相对结晶度^[30]。Chen 等^[6]也发现提高水分含量能降低油炸淀粉的相对结晶度。另外, 提高 AG 含量并没有提高油炸后样品的相对结晶度, 说明形成的 V 型结晶结构减少, 这可能是由于 AG 质量分数较低时, 淀粉糊黏度较小, 渗漏的直链淀粉可以与油形成淀粉-脂复合物, 冷却后呈 V 型

结晶结构; 而 AG 质量分数较高时, 渗漏的直链淀粉首先与较多的 AG 相互作用, 形成更加致密的三维网络空间, 使淀粉糊黏度大增, 从而阻碍了直链淀粉与油的接触和淀粉-脂复合物的形成, 导致相对结晶度较低。

与 FSPS+2%AG 相比, FSPS+2%LMP 的相对结晶度增加了 1.5%, 说明亲水胶体种类影响油炸甘薯淀粉的相对结晶度, 且添加 AG 后油炸甘薯淀粉的相对结晶度降低程度更大。Chen 等^[8]研究发现, 添加果胶的油炸玉米淀粉的相对结晶度明显高于添加普鲁兰多糖的样品。这可能是由于 LMP 含有较多的疏水基团, 与淀粉分子通过疏水相互作用结合, 抑制了油炸过程中淀粉分子链的迁移, 可以减少油炸对淀粉有序结构的破坏^[13]。

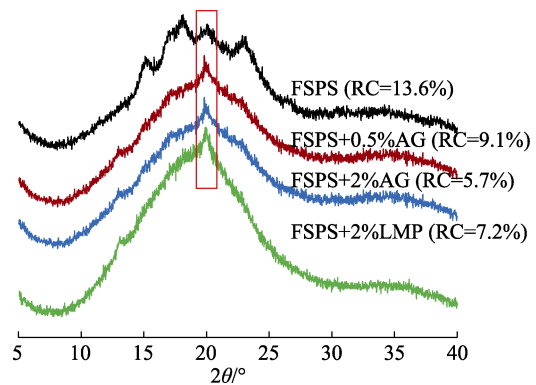


图 7 油炸甘薯淀粉样品的 X 射线衍射图谱

Fig.7 The X-ray diffraction patterns of FSPS with the addition of AG and LMP


3 结论

本文研究了添加不同质量分数的 AG 和 LMP 对油炸甘薯淀粉吸油率的影响。结果表明, AG 和 LMP 的添加显著降低了油炸甘薯淀粉的油含量, 且 AG 抑制效果更好。提高 AG 的质量分数能进一步促进油炸淀粉糊化, 形成连续、致密结构, 并形成一定量的淀粉-脂复合物, 减少油炸甘薯淀粉颗粒总油含量和表层油含量。本研究为开发健康、低油的油炸淀粉食品提供了理论依据。

参考文献:

- [1] LV Z F, YU K K, JIN S Q, et al. Starch granules size distribution of sweet potato and their relationship with quality of dried and fried products[J]. Starch-Stärke, 2019, 71(5-6): 1800175. DOI:

- 10.1002/star.201800175.
- [2] LEE D, MO C, LEE C J, et al. Change in dielectric properties of sweet potato during microwave drying[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2019, 28(3): 731-739. DOI: 10.1007/s10068-018-0522-y.
- [3] 史苗苗, 李丹, 解慧芳, 等. 油炸对马铃薯淀粉特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(1): 6-10.
SHI M M, LI D, XIE H F, et al. Effect of high temperature frying on the structure and properties of potato starch[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(1): 6-10.
- [4] 崔亚鹏, 张国治, 张康逸, 等. 降低可微波预油炸食品含水量及含油量的研究进展[J]. *粮食加工*, 2020, 45(6):47-52.
CUI Y P, ZHANG G Z, ZHANG K Y, et al. Research progress on effects of microwave treatment on food flavor and nutritional components[J]. *Grain Processing*, 2020, 45(6): 47-52.
- [5] CHEN L, MCCLEMENTS D J, ZHANG H H, et al. Impact of amylose content on structural changes and oil absorption of fried maize starches[J]. *Food Chemistry*, 2019, 287:28-37. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.02.083.
- [6] CHEN L, MA R R, MCCLEMENTS D J, et al. Impact of granule size on microstructural changes and oil absorption of potato starch during frying[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 94: 428-438. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2019.03.046.
- [7] MELLEMA M. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2003, 14(9): 364-373. DOI: 10.1016/s0924-2244(03)00050-5.
- [8] CHEN L, MCCLEMENTS D J, ZHANG Z P, et al. Effect of pullulan on oil absorption and structural organization of native maize starch during frying[J]. *Food Chemistry*, 2020, 309: 125681. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125681.
- [9] CHEN C F, CHEN J W, YUAN Z J, et al. Effect of the wheat starch/wheat protein ratio in a batter on fat absorption and quality attributes of fried battered and breaded fish nuggets[J]. *Journal of Food Science* 2020, 85(7):2098-2104. DOI: 10.1111/1750-3841.15303.
- [10] CHEN L, TIAN Y Q, BAI Y X, et al. Effect of frying on the pasting and rheological properties of normal maize starch[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 77: 85-95. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2017.09.024.
- [11] KUREK M, ŠČETAR M, GALIĆ K. Edible coatings minimize fat uptake in deep fat fried products: A review[J]. *Food Hydrocolloids*, 2017, 71:225-235. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2017.05.006.
- [12] OH I, PARK Y, LEE S. Effect of turanose on the rheology and oil uptake of instant fried noodles[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2019, 55(3):1336-1342. DOI: 10.1111/ijfs.14381.
- [13] LI W H, ZHANG W, GONG S X, et al. Low and high methoxyl pectin lowers on structural change and digestibility of fried potato starch[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 132: 109853. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109853.
- [14] CHEN L, TIAN Y Q, SUN B H, et al. Measurement and characterization of external oil in the fried waxy maize starch granules using atr-ftir and xrd[J]. *Food Chemistry*, 2018, 242: 131-138. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.09.016.
- [15] WANG Y S, LIU W H, ZHANG X, et al. Preparation of V₁₁-type normal cornstarch-lauric acid complexes with high yield and stability using a combination treatment of debranching and different complexation temperatures[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 154:456-465. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.03.142.
- [16] ZHAO A Q, YU L, YANG M, et al. Effects of the combination of freeze-thawing and enzymatic hydrolysis on the microstructure and physicochemical properties of porous corn starch[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 83:465-472. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.04.041.
- [17] ZHANG X, WANG Y S, CHEN H H. Effect of annealing temperature on morphology and physicochemical properties of cornstarch complexed with oleic acid and molecular dynamics simulation[J]. *Cereal Chemistry*, 2019, 96(4):668-677. DOI: 10.1002/cche.10163.
- [18] CHEN L, TIAN Y Q, SUN B H, et al. Rapid, accurate, and simultaneous measurement of water and oil contents in the fried starchy system using low-field nmr[J]. *Food Chemistry*, 2017, 233: 525-529. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.04.147.
- [19] WANG C, SU G Q, WANG X, et al. Rapid assessment of deep frying oil quality as well as water and fat contents in french fries by low-field nuclear magnetic resonance[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(8):2361-2368. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b05639.
- [20] YANG D, WU G C, LI P Y, et al. Effect of microwave heating and vacuum oven drying of potato strips on oil uptake during deep-fat frying[J]. *Food Research International*, 2020, 137: 109338. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109338.
- [21] XIE F, GU B J, SAUNDERS S R, et al. High methoxyl pectin enhances the expansion characteristics of the cornstarch relative to the low methoxyl pectin[J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 110: 106131. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.106131.
- [22] 解丹, 陈季旺, 曾恒, 等. 亲水胶体对油炸外裹糊鱼块油脂含量及品质的影响[J]. *食品科学*, 2016, 37(23): 45-50.
XIE D, CHEN J W, ZENG H, et al. Effect of hydrophilic colloid on the fat content and quality of fried battered and breaded fish nuggets[J]. *Food Science*, 2016, 37(23): 45-50.
- [23] MOREIR R G, SILVA P F D, GOMES C. The effect of a de-oiling mechanism on the production of high quality vacuum fried potato chips[J]. *Journal of Food Engineering*, 2009, 92(3): 297-304. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2008.11.012.
- [24] 于修焯, 宋丽娟, 张建新, 等. 薯片在油炸过程中品质变化及其货架期预测[J]. *食品科学*, 2012, 33(18):102-107.
YU X Z, SONG L J, ZHANG J X, et al. Quality change of potato

- chips during frying process and their shelf life predication[J]. Food Science, 2012, 33(18): 102-107.
- [25] ZHU Y D, ZOU X B, SHI J Y, et al. Observation of the oil content of fried lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) root slices by confocal laser scanning microscopy based on three-dimensional model[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(1): 1745-4549. DOI: 10.1111/jfpp.12762.
- [26] ZHAO Y Y, BI J F, YI J Y, et al. Comparison of dynamic water distribution and microstructure formation of shiitake mushrooms during hot air and far infrared radiation drying by low-field nuclear magnetic resonance and scanning electron microscopy[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(6): 2826-2834. DOI: 10.1002/jsfa.9494.
- [27] SUN B H, TIAN Y Q, CHEN L, et al. Effect of acid-ethanol treatment and debranching on the structural characteristics and digestible properties of maize starches with different amylose contents[J]. Food Hydrocolloids, 2017, 69: 229-235. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2017.01.040.
- [28] ALMEIDA F S, SILVA K C G, TOLEDO A M N D, et al. Modulating porosity and mechanical properties of pectin hydrogels by starch addition[J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 58(1): 302-310. DOI: 10.1007/s13197-020-04543-x.
- [29] HE H, BIAN H W, XIE F W, et al. Different effects of pectin and κ -carrageenan on the multiscale structures and in vitro digestibility of extruded rice starch[J]. Food Hydrocolloids, 2021, 111: 106216. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.106216.
- [30] XU Z T, ZHONG F, LI Y, et al. Effect of polysaccharides on the gelatinization properties of cornstarch dispersions[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(2): 658-664. DOI: 10.1021/jf204042m. 
- 备注：本文的彩色图表可从本刊官网（<http://lyspkj.ijournal.cn>）、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。

· 信息窗 ·

二十国集团财长和央行行长会议 | 联合国粮农组织 呼吁设立进口融资基金

2022 年 4 月 20 日，华盛顿/罗马—联合国粮食及农业组织（粮农组织）呼吁建立全球粮食进口融资基金（FIFF），帮助贫困国家应对因乌克兰战争而持续飙升的粮食价格。

全球粮食进口融资基金是粮农组织为应对危机而提出的六项政策建议之一，其目标还包括以可持续方式提高全球农业产量和生产力。

俄罗斯和乌克兰是全球粮食市场的重要参与力量，近 50 个国家依赖俄乌两国满足自身至少 30% 的小麦进口需求。俄罗斯还是主要的肥料出口国。2020 年，该国氮肥出口量居世界之首，钾肥出口量排名第二，磷肥出口量位列第三。与此同时，能源价格也在市场条件推动下一路上行。

一方面，新冠疫情已造成各国预算紧张；另一方面，东欧发生的冲突推动粮农组织食品价格指数创下历史新高，弱势群体所受冲击最为严重。同时，肥料价格走高导致全球粮食收获前景面临风险。

粮农组织估算显示，冲突可导致 2022 至 2026 年间陷入饥饿的民众新增多达 1310 万。

粮农组织总干事屈冬玉今天在美国华盛顿举行的二十国集团财政部长和中央银行行长会议上发表视频讲话，指出“这场战争可能会对全球市场和粮食安全产生多重影响”。

屈总干事表示，全球粮食进口融资基金将严格用于满足紧急需求并且仅限于向低收入和中等偏下收入粮食净进口国提供援助，对联合国系统内的现有机制形成补充。

此外，基金将要求符合条件的受援国承诺对可持续农业粮食体系开展更多投资，面向未来加强韧性。屈总干事表示，粮农组织已经就全球粮食进口融资基金对全球市场的影响进行了压力测试，确保其便于管理和大规模实施。

屈总干事在讲话中强调：“应坚持两手抓，一方面提高世界农业产量和生产水平，另一方面努力实现可持续发展”，“让我们齐心协力，同舟共济，推动在世界范围内消除饥饿和营养不良。”

应二十国集团轮值主席国印度尼西亚邀请，屈总干事在会上发表讲话，阐述乌克兰战争所引发的经济后果，尤其是对粮食安全的影响。

（来源：联合国粮农组织微信公众号，2022 年 4 月 21 日）