

## 不同直链占比 OSA 酯化淀粉对橙皮素增溶的影响

王璐<sup>1</sup>, 陆胜民<sup>2\*</sup>, 王璐<sup>2</sup>, 郑美瑜<sup>2</sup>, 王阳光<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup> 浙江海洋大学食品与医药学院 浙江舟山 316022

<sup>2</sup> 浙江省农业科学院食品科学研究所 浙江省果蔬保鲜与加工技术研究重点实验室  
农业农村部果品产后处理重点实验室 杭州 310021)

**摘要** 为探究不同直链/支链比的辛烯基琥珀酸淀粉酯(OSAS)在理化特性和增溶方面的差异,以不同直链/支链比玉米淀粉为原料,辛烯基琥珀酸酐(OSA)为酯化剂,制备相应的 OSAS,并测定其 OSA 的取代度(DS)、理化特性及对橙皮素的增溶效果。结果表明:经 OSA 酯化,所含直链淀粉高的淀粉酯,其 DS 高;OSAS 中所含支链淀粉含量越高,其膨润力越大,透明度越高;OSAS 中所含直链淀粉比例越高,越容易发生沉降;OSA 对淀粉的酯化作用主要发生在淀粉颗粒的表面;高直链占比的 OSAS 可使橙皮素的溶解度提高 5.4 倍。结论:具有不同直链/支链比的 OSAS 在理化特性上表现出明显差异,这些差异与淀粉的直链/支链比有关;直链淀粉含量越高的 OSAS 对橙皮素的增溶越明显。

**关键词** 辛烯基琥珀酸淀粉酯;直链/支链比;理化特性;橙皮素;增溶

**文章编号** 1009-7848(2022)04-0067-09 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.04.007

柑橘黄酮包括黄烷酮、黄酮和花色苷等,其中橙皮苷、柚皮苷等黄酮最为丰富<sup>[1]</sup>。橙皮素是橙皮素的糖苷配基,是一种二氢黄酮类化合物,具有抗氧化,消除自由基,调节心血管系统的功能,在保护神经系统,抗细菌及微生物,抗癌及基因毒性,抗过敏及皮炎,以及提高其它药物生物利用度等方面都有一定的效果<sup>[2-3]</sup>。然而,橙皮素等柑橘黄酮大多存在水溶性差的特点,在生物体内利用率低,限制了其在食品、医药、化妆品行业中的应用。选择合适的增溶辅料和增溶方法以提高橙皮素的溶解度非常重要。

辛烯基琥珀酸淀粉酯 (Octenyl succinic anhydride modified starches, OSAS) 是辛烯基琥珀酸酐(OSA)与淀粉酯化反应后得到的一种两亲性化合物,具有典型的亲水主干-疏水支链的结构<sup>[4]</sup>。OSAS 分子质量大,可在油-水界面处形成一层坚韧不易破裂的液膜,降低界面张力,可稳定水包油型的乳浊液<sup>[5]</sup>。同时,具有优良的自由流动疏水性,防止淀粉分子链的相互凝聚<sup>[6]</sup>。经 OSA 酯化后的淀粉黏度增大,可作为增稠剂使用,不存在配伍禁

忌且能与其它表面活性剂协同增效,这些特性使得 OSAS 在食品、化妆品、纺织、造纸、医药等工业化生产中应用广泛。

Shogren 等<sup>[7]</sup>研究表明,OSAS 淀粉颗粒横截面上 OSA 基团分布均匀,溶于水时多数支链淀粉分子带负电荷,而经酶处理部分去分枝后,相应的链更多地呈中性,提示 OSA 在分枝水平的取代是不均匀的。Klaohanpong 等<sup>[8]</sup>比较了不同浓度的 OSA 与糯米和糯马铃薯淀粉的粒状和脱支淀粉的反应,发现脱支淀粉的反应效率高于粒状淀粉,表明 OSA 难以进入淀粉颗粒结晶区域,因此在分散的淀粉链上更能有效地发生酯化反应。Li 等<sup>[9]</sup>制备了 OSA 淀粉并用于稳定乳液,结果表明:随着 OSA 改性淀粉取代度的增加,乳液的稳定性和对姜黄素的包封效率提高。淀粉中所含直链、支链含量的高、低会对 OSA 改性淀粉的取代度产生影响,同时 OSA 改性淀粉的两亲性会随取代度的变化而发生改变。

本文采用水相法制备不同直链/支链比的 OSAS,通过物性分析和结构表征,探究不同直链/支链比的 OSAS 与其理化性质的关系及其对橙皮素溶解度的影响,阐明淀粉链结构变化影响 OSAS 对难溶性黄烷酮溶解性的规律,为 OSAS 改善柑橘黄酮溶解性,扩大应用范围提供理论依据。

收稿日期: 2021-04-28

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31571892)

作者简介: 王璐(1997—),女,硕士生

通信作者: 陆胜民 E-mail: lushengmin@hotmail.com

王阳光 E-mail: 634449563@qq.com

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

4种直链、支链含量玉米淀粉,上海耐今实业有限公司;辛烯基琥珀酸酐(OSA)(纯度 $\geq 99.5\%$ ),山东济南浩化实业有限责任公司;直链淀粉标准品,美国Sigma公司;支链淀粉标准品,上海源叶生物科技有限公司;橙皮素(纯度 $\geq 98\%$ ),西安天本生物工程有限公司;甲醇(色谱级)、乙酸,上海国药集团化学试剂有限公司;纯净水,杭州娃哈哈集团有限公司。

UV-1800型紫外分光光度计、LC-2030C高效液相色谱仪,日本岛津公司;LXJ-II B型离心机,上海安亭科学仪器厂;XMTD-8222型电热恒温水浴锅、DHG-9146A型电热恒温鼓风干燥箱,上海精宏实验设备有限公司;85-2型数显恒温磁力搅拌器,金坛市江南仪器厂;Regulus 8100超高分辨场发射扫描电子显微镜,日本Hitachi公司;VER-TEX 70型傅里叶红外光谱仪,德国布鲁克公司。

### 1.2 试验方法

1.2.1 不同直链、支链含量淀粉的直链/支链比的测定 双波长的选择及直链淀粉和支链淀粉含量的测定,参考金红玉等<sup>[10]</sup>的方法。

1.2.2 OSAS的制备 OSAS的制备方法参考钟敏贤<sup>[11]</sup>、张红利等<sup>[12]</sup>的方法。

1.2.3 OSA取代度的测定 OSA取代度的测定方法参考张红利等<sup>[12]</sup>、Klaohanpong等<sup>[8]</sup>的方法。

1.2.4 溶解度和膨润力的测定 溶解度和膨润力的测定方法参考江美都等<sup>[13]</sup>的方法。

1.2.5 凝沉性的测定 取50 mL质量浓度为1 g/100 mL的淀粉糊放入刻度试管中,在25~30℃下静置,每隔24 h记录上层清液或下方沉降物的体积,沉降物所占的体积即为沉降积,以毫升表示。另外,考察清液体积占糊总容积的百分比随静置时间的变化情况,两者均反映淀粉糊的凝沉性质。

1.2.6 透明度的测定 透明度的测定方法参考李鑫等<sup>[14]</sup>的方法。

1.2.7 扫描电子显微镜分析 将制备得到的不同直链/支链比的OSAS样品均匀地铺撒在附有胶性物质的样品台上,镀金处理后,在扫描电子显微镜样品室中,对样品进行观察,并选择在放大800倍和4 000倍条件下,对样品形貌进行拍照。

1.2.8 橙皮素-OSAS饱和水体系聚集体的制备 分别称取适量4种直链/支链比的OSAS,于纯净水中配制成质量浓度为4 g/100 mL的淀粉乳,室温下搅拌均匀使之充分分散。加入同等质量的橙皮素,在25℃条件下磁力搅拌4 h,4 000 r/min离心20 min后取上清液。

另制备一份未添加OSAS、在相同体积纯净水中添加上述同等质量橙皮素的溶液,在相同条件下磁力搅拌4 h,4 000 r/min离心20 min后取上清液。

1.2.9 橙皮素的测定 精准称取橙皮素标准品0.1 g,用甲醇(色谱纯)溶解并定容至100 mL,配制成质量浓度为1 mg/mL的标准储备液。取标准储备液用甲醇分别稀释,配成质量浓度为20~450  $\mu\text{g/mL}$ 的梯度标准工作液,使用HPLC测定吸光度,制备标准曲线,拟合得橙皮素线性回归方程为: $y=24889.69146x+77619.0379$ , $R^2=0.99978$ 。

高效液相色谱(HPLC)测定条件<sup>[15]</sup>为:色谱柱为Shim-pack GIST C18(150 mm $\times$ 4.6 mm $\times$ 5  $\mu\text{m}$ ),以0.2%乙酸水(A)和甲醇(B)为流动相,A:B=45:55,流速1 mL/min,进样量10  $\mu\text{L}$ ,柱温25℃,检测波长287 nm。

取橙皮素-OSAS水体系聚集体溶液和橙皮素水溶液经0.45  $\mu\text{m}$ 过滤,用甲醇适当稀释后进行测定,计算橙皮素浓度。

1.2.10 FT-IR分析 采用KBr压片法,波长扫描范围400~4 000  $\text{cm}^{-1}$ ,分辨率4  $\text{cm}^{-1}$ ,FT-IR分析不同直链/支链比OSAS粉末、未酯化的不同直链/支链比玉米淀粉、冷冻干燥后的橙皮素-OSAS聚集体样品。

### 1.3 数据处理

各组试验均重复3次,采用SPSS 25进行数据显著性差异分析( $P<0.05$ ),采用Origin 2020 b和Excel 2012作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 双波长的确定

用UV-1800分光光度计对淀粉液在400~800 nm波长范围内进行扫描,得到吸收光谱(图1),结果显示直链淀粉测定波长为499 nm,参比波长为586 nm;支链淀粉测定波长为540 nm,参比波

长为 725 nm。

2.2 淀粉样品的直链/支链比

以上述所选的双波长分别测定不同浓度的直链淀粉和支链淀粉的吸光值,得到直链淀粉含量的回归方程  $y=2.81083x-0.01586(R^2=0.99255)$ ,在 0~0.156 mg/mL 范围内符合比耳定律;支链淀粉含量的回归方程为  $y=1.52328x-0.00185(R^2=0.99762)$ ,在 0~0.200 mg/mL 范围内符合比耳定律。

分别测定 4 种玉米淀粉样品在 499,586,540,725 nm 波长下的吸光度值。根据双波长分光光度法的回归方程计算样品 1~4 中直链淀粉和支链淀粉质量分数,结果见表 1。由表可知 3 号样品中所含直链淀粉最高,2 号和 4 号样品中含有较高的支链淀粉,而 1 号样品中所含的直链淀粉和支链淀粉均不高,推测其中可能含有较多的直链淀粉与支链淀粉的分子中间体、短链葡聚糖等<sup>[16]</sup>。

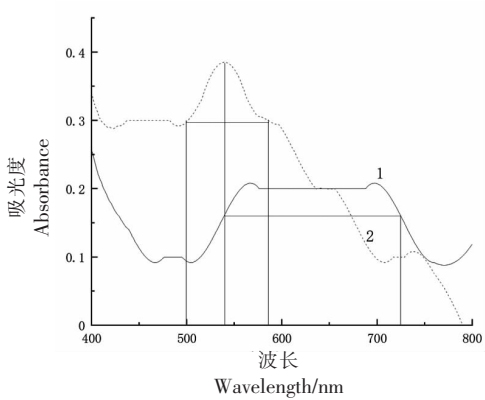
2.3 不同直链/支链比 OSAS 的 OSA 取代度

OSA 取代度(Degree of substitution,DS)是淀粉分子中每个基本脱水葡萄糖单元(AGU)上含有的 OSA 基团的平均数量。淀粉分子经与 OSA 酯化反应后形成两性亲化合物,它既有亲水性基团羧酸基,也有疏水性基团辛烯基长碳链。因此,OSA 基团的取代程度决定了淀粉的包埋性和乳化性<sup>[17]</sup>。如表 2 所示,4 种直链/支链比 OSAS 的 DS 值均小于 0.02,符合美国食品药品监督管理局(FDA)对食品中 OSAS 添加标准的要求。同时各样品的 DS 值由高到低依次为 3-OSAS>1-OSAS>2-OSAS>4-OSAS,说明淀粉的直链/支链比越大,OSA 基团的取代程度越高,可依此结果预测这 4 种 OSA 淀粉对橙皮素的增溶效果。

2.4 不同直链/支链比 OSAS 的溶解度和膨润力

如图 2 所示,溶解度由高到低依次为 1-OSAS>4-OSAS>2-OSAS>3-OSAS,其中 3 号样品含直链淀粉较高,较难糊化,因而溶解度最低。1-OSAS、2-OSAS、4-OSAS 溶解度相差不大,均有一定程度的糊化。淀粉糊化过程中,微晶束结构不断松动,使淀粉团粒分解,游离出的直链淀粉溶于水,使淀粉的溶解度增加<sup>[18]</sup>。

图 2 中 3-OSAS 样品的膨润力小于 1-OSAS、2-OSAS、4-OSAS 淀粉,这是由于其含有的支链淀



注:1. 碘-直链淀粉复合物;2. 碘-支链淀粉复合物。

图 1 作图法确定直链淀粉/支链淀粉检测波长

Fig.1 Graphical construction of detection wavelength for amylose and amylopectin

表 1 4 种玉米淀粉样品中直链淀粉和支链淀粉的质量分数

Table 1 Contents of amylose and amylopectin in four corn starch samples

样品	直链淀粉质量 分数/%	支链淀粉质量 分数/%	直链/支链比
1	32.33 ± 0.73	27.97 ± 3.14	1.15
2	17.03 ± 3.40	61.49 ± 1.09	0.27
3	63.21 ± 1.69	19.22 ± 1.86	3.28
4	3.62 ± 0.28	81.22 ± 1.09	0.04

注:结果为 3 次平行试验的“平均值±标准偏差”。

表 2 不同直链/支链比 OSAS 的取代度

Table 2 DS values of OSAS with different straight/branched chain ratios

样品	取代度
1-OSAS	0.013964 ± 0.000703
2-OSAS	0.009125 ± 0.000156
3-OSAS	0.014132 ± 0.000209
4-OSAS	0.005959 ± 0.000576

注:结果为 3 次平行试验的“平均值±标准偏差”。

粉最少。淀粉的膨润力大小主要由支链淀粉含量决定,支链淀粉含量越多,膨润力越大<sup>[18]</sup>。

2.5 不同直链/支链比 OSAS 的凝沉性

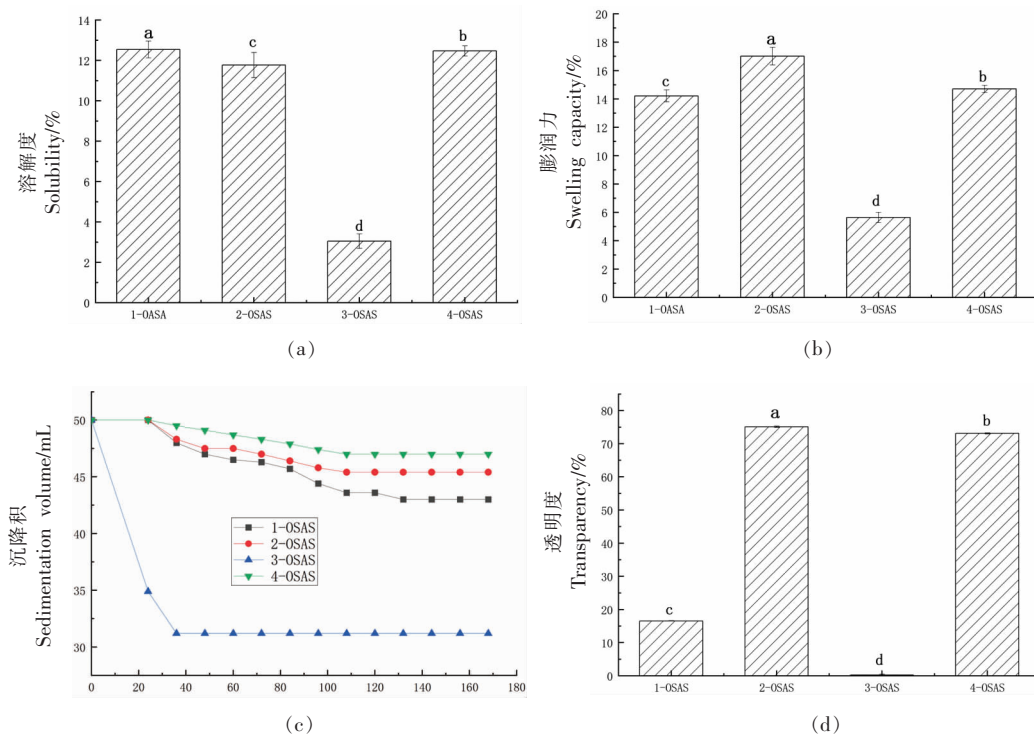
淀粉糊的沉降积反映了淀粉糊化后重新聚集成凝胶的能力。由图 2 可知,3-OSAS 的沉降时间早于 1-OSAS、2-OSAS 和 4-OSAS,而最终的沉降积 3-OSAS 小于 1-OSAS、2-OSAS 和 4-OSAS。淀

粉颗粒在加热过程中吸水膨胀,发生糊化,形成紧密结构且不溶于水,从而使淀粉糊出现凝沉现象。淀粉糊的沉降与直链淀粉含量有关,直链淀粉含量越高,越容易发生沉降<sup>[19]</sup>。

## 2.6 不同直链/支链比 OSAS 的透明度

2-OSAS 和 4-OSAS 样品具有较高的透明度,而 3-OSAS 样品的透明度最低(图 2)。2-OSAS 和

4-OSAS 样品具有较高的透明度主要与其中含有较多的支链淀粉有关;3-OSAS 样品含有较多的直链淀粉,在相同处理条件下未完全糊化,呈悬浊液,因而透明度低。淀粉中支链淀粉含量越多,分子间缔合作用越小,越不易发生分子间聚合,因而透明度越高<sup>[20]</sup>。



注:图中不同的小写字母表示试验组间数据差异显著( $P < 0.05$ )。

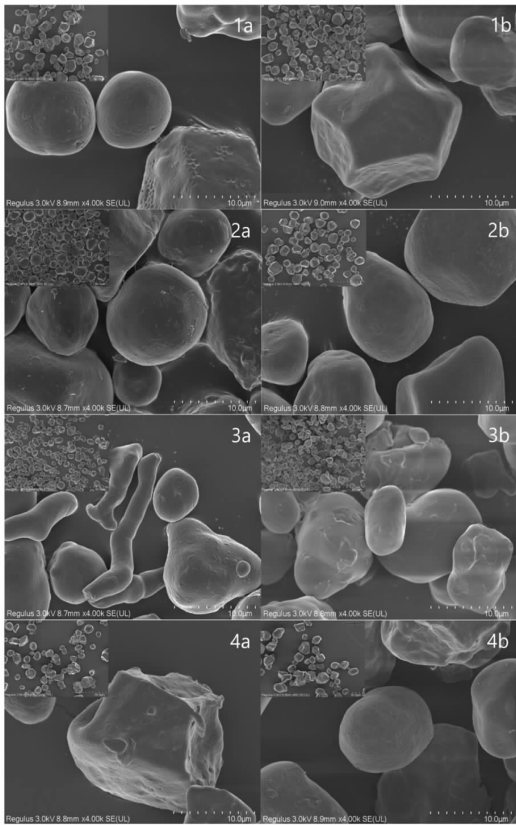
图 2 不同直链/支链比 OSAS 的理化性质

Fig.2 Physicochemical properties of OSAS with different straight chain/branched chain ratios

## 2.7 不同直链/支链比 OSAS 的显微结构分析

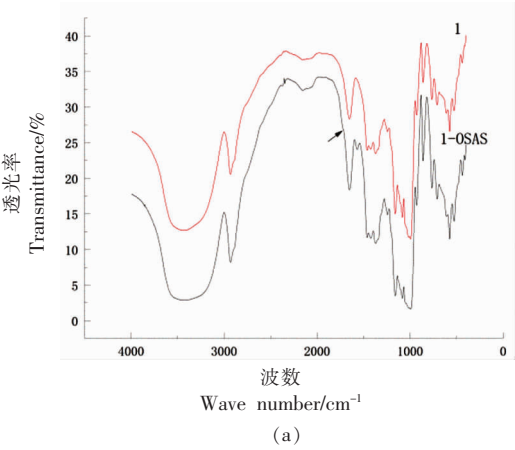
如图 3-1a 所示,在较大的颗粒之间夹杂着较多小颗粒,这与前文试验 1-OSAS 样品中直链淀粉和支链淀粉含量均较低的结果相对应,图中的小颗粒推测可能为短链葡聚糖等小分子。酯化改性后的淀粉颗粒表面不光滑,可能是由淀粉分子上酯基的引入所造成的,表面显示点状腐蚀,与文献报道结果一致<sup>[21-22]</sup>。2-OSAS 样品中含有直链淀粉和较高的支链淀粉,图 3-2a 中既有多面体也有卵形。图 3-2b 中部分卵形颗粒呈畸形,可能是淀

粉与 OSA 反应所致。图 3-3a 中有较多棒状颗粒,图 3-3b 中的棒状颗粒减少,推测棒状颗粒可能为直链淀粉,经与 OSA 酯化反应后变化为椭圆形。图 3-4a 中的颗粒多呈多角形,表面粗糙,而与 OSA 酯化反应后形成的颗粒形状更为圆润,推测可能为 OSA 基团对淀粉的修饰作用。4 种淀粉改性后形貌基本保持不变,未发现明显裂痕和破损,说明 OSA 酯化反应在淀粉的无定形区进行,未破坏淀粉的结晶区<sup>[23]</sup>。



注:1a 和 1b 分别为 1 号原淀粉和 1-OASA 淀粉放大 800 倍和 4 000 倍;2a 和 2b 分别为 2 号原淀粉和 2-OASA 淀粉放大 800 倍和 4 000 倍;3a 和 3b 分别为 3 号原淀粉和 3-OASA 淀粉放大 800 倍和 4 000 倍;4a 和 4b 分别为 4 号原淀粉和 4-OASA 淀粉放大 800 倍和 4 000 倍。

图 3 不同直链/支链比玉米淀粉 OSA 酯化反应前、后的扫描电镜图片  
Fig.3 Scanning electron micrographs of corn starches with different straight/branched chain ratios before and after esterification by OSA



2.8 不同直链/支链比 OSAS 对橙皮素溶解度的影响

不同直链/直链比 OSAS-橙皮素聚集体中橙皮素含量如图 4 所示。1-OSAS、2-OSAS、3-OSAS 和 4-OSAS 分别对橙皮素的溶解度提高了 3.7, 5.2,5.4,2.3 倍,其中对橙皮素增溶明显的 3-OSAS 样品所含直链淀粉最多,取代度最高,OSAS 对橙皮素的增溶效果可能与直链淀粉含量和高取代度有关。

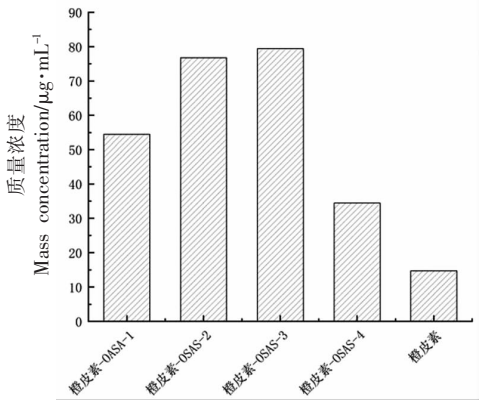
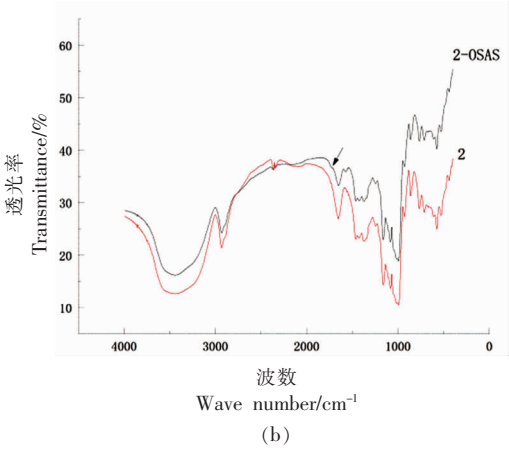


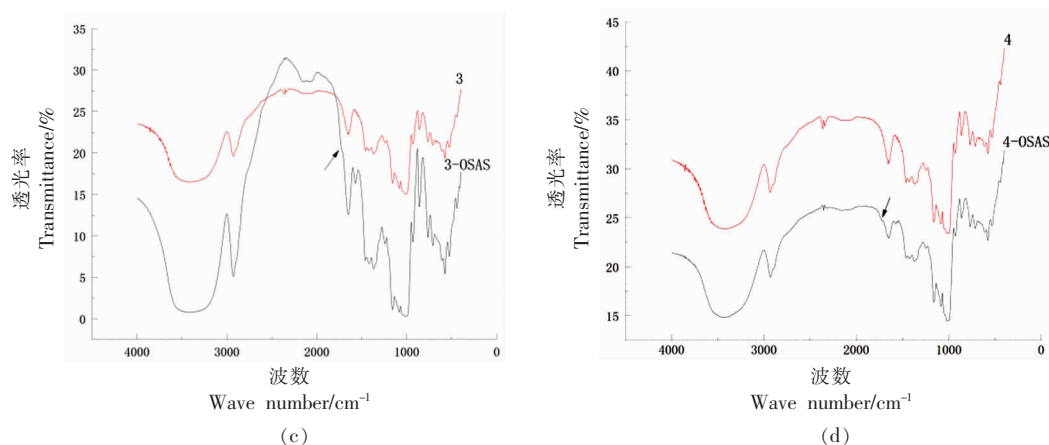
图 4 不同直链/支链比 OSAS 与橙皮素水体系中的橙皮素含量

Fig.4 Hesperetin content in different straight chain/branched chain ratio of aqueous systems  
OSAS-hesperetin

2.9 不同直链/支链比玉米淀粉、OSAS 及 OSAS-橙皮素聚集体的 FT-IR 光谱

由图 5 可知,在特征光谱的区域里,各淀粉在 3 500~3 400  $\text{cm}^{-1}$  区域内有一较大吸收峰,是由 O-H 的伸缩振动所产生;在 2 930  $\text{cm}^{-1}$  附近的





注:1和1-OSAS分别为1号原淀粉样品与其OSA酯化淀粉的FT-IR光谱;2和2-OSAS分别为2号原淀粉样品与其OSA酯化淀粉的FT-IR光谱;3和3-OSAS分别为3号原淀粉样品与其OSA酯化淀粉的FT-IR光谱;4和4-OSAS分别为4号原淀粉样品与其OSA酯化淀粉的FT-IR光谱。

图5 不同直链/支链比玉米淀粉OSA酯化前、后FT-IR光谱的变化

Fig.5 Changes of FT-IR spectra of corn starch with different straight chain/branched chain ratios before and after OSA esterification

特征峰是由C-H伸缩振动所产生。1 157, 1 015, 930  $\text{cm}^{-1}$ 这几处强烈吸收峰是C-O伸缩振动所产生。出现在1 650  $\text{cm}^{-1}$ 特征峰值可能与淀粉分子中的结合水有关。与原淀粉相比,OSAS在1 724  $\text{cm}^{-1}$ 处有一个新的吸收峰,此特征峰为羰基的伸缩振动峰,同时在1 570  $\text{cm}^{-1}$ 处附近出现新的吸收峰可能是形成的羧酸盐的不对称伸缩振动吸收峰<sup>[11]</sup>。除了这2个新的吸收峰以外,OSAS的其余各峰与原淀粉相差不大,证明淀粉OSA酯化后未引入其它杂质。谱图显示不同直链/支链比OSAS的吸收峰无明显差异。

图6为不同直链/支链比OSAS-橙皮素聚集体的红外谱图,橙皮素在1 670~1 560, 1 465~1 230, 900~800  $\text{cm}^{-1}$ 区域内有吸收峰,这是由苯环C=C伸缩振动、苯环与酚羟基/甲氧基之间的C-O伸缩振动以及C-H的弯曲振动所引起<sup>[24]</sup>。与橙皮素单体谱图相比,聚集体中部分橙皮素特征谱带消失,3 117  $\text{cm}^{-1}$ 处橙皮素的-OH中的氢键被破坏,橙皮素与OSAS在2 900~3 000  $\text{cm}^{-1}$ 处形成了新的氢键,且聚集体谱图中并未出现新的官能团吸收峰,表明没有生成新的化学键。橙皮素-OSAS聚集体谱图中1 517  $\text{cm}^{-1}$ 处的吸收峰相较于橙皮素出现偏离,可能是由于橙皮素与OSAS形成的氢键所影响。氢键的形成会使电子云密度降低,从而使伸缩振动频率降低,吸收峰向低波数移动<sup>[25]</sup>。

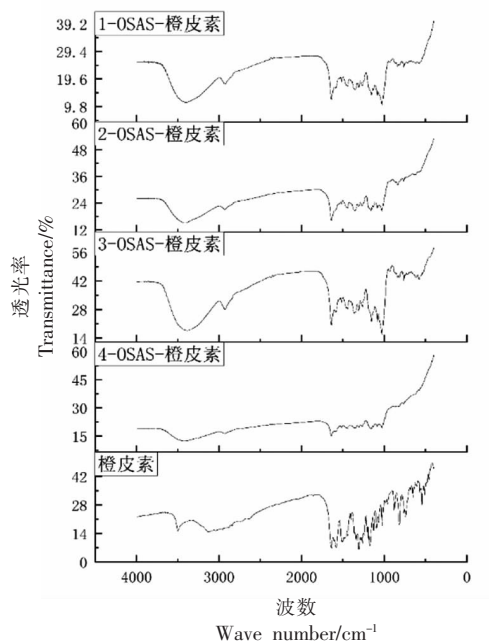


图6 不同直链/支链比OSAS-橙皮素聚集体的红外谱图

Fig.6 FT-IR spectra of OSAS-hesperetin aggregates with different straight chain/branched chain ratios

### 3 结论

采用不同直链、支链比例的玉米淀粉制备得到的辛烯基琥珀酸淀粉酯(OSAS)的取代度测定结果表明,直链淀粉含量占比高的淀粉与辛烯基

琥珀酸酐(OSA)反应的取代度更高,与OSA的反应效率更高。理化性质测定结果显示,OSAS中所含支链淀粉含量越高,膨润力越大且透明度越高;OSAS中所含直链淀粉量越高,越容易发生沉降。结构表征结果表明,OSA主要在淀粉颗粒表面发生作用,即反应只在淀粉的无定形区进行,淀粉的结晶区未发生改变。不同直链/支链比OSAS对橙皮素的增溶结果显示,直链/支链比高的OSAS增溶效果更好,原因可能是OSA酯化主要发生在无定形区,无定形区主要由直链淀粉构成,OSA更容易接枝在直链淀粉上,所形成的OSAS具有更好的两亲性。相较于橙皮素在水中的溶解度,高直链OSAS-橙皮素聚集体溶液中橙皮素溶解度增加了5.4倍。

### 参 考 文 献

- [1] 彭燕, 盛雪飞, 吴丹, 等. 柑橘属中黄酮类化合物的研究与应用进展[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(7): 113-118.  
PENG Y, SHENG X F, WU D, et al. Progress in research and application of citrus flavonoids[J]. Food and Fermentation Industries, 2009, 35(7): 113-118.
- [2] 邹淑君, 于子惠, 许树军, 等. 橙皮苷及橙皮素清除自由基活性的研究[J]. 中医药学报, 2013, 41(1): 65-67.  
ZOU S J, YU Z H, XU S J, et al. Scavenging activities of fress radical of hesperidin and hesperitin[J]. Acta Chinese Medicine and Pharmacology, 2013, 41(1): 65-67.
- [3] 李丽, 任周新, 赵鹏, 等. 橙皮苷及橙皮素抗肿瘤药理活性研究进展[J]. 中医学报, 2018, 33(12): 2304-2308.  
LI L, REN Z X, ZHAO P, et al. Research progress in antitumor pharmacological activities of hesperidin and hesperetin[J]. Acta Chinese Medicine, 2018, 33(12): 2304-2308.
- [4] 孔令晓, 崔波. 辛烯基琥珀酸淀粉酯的研究现状[J]. 中国食品添加剂, 2010(2): 178-181, 187.  
KONG L X, CUI B. Advances in starch modified with octenyl succinic acid[J]. China Food Additives, 2010(2): 178-181, 187.
- [5] 胡飞. 辛烯基琥珀酸淀粉酯的表面性质(I)[J]. 食品与生物技术学报, 2005(2): 27-29.  
HU F. The study on surface properties of starch octenyl succinate anhydride (I)[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2005(2): 27-29.
- [6] 胡飞, 何熙. 辛烯基琥珀酸淀粉酯的表面性质(II)[J]. 食品与生物技术学报, 2005(3): 30-33.  
HU F, HE X. The study on surface properties of starch octenyl succinate anhydride (II)[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2005(3): 30-33.
- [7] SHOGREN R L, VISWANATHAN A, FELKER F, et al. Distribution of octenyl succinate groups in octenyl succinic anhydride modified waxy maize starch[J]. Starch-Strke, 2000, 52(6/7): 196-204.
- [8] KLAOCHANPONG N, PUNCHA-ARNON S, UTTA-PAP D, et al. Octenyl succinylation of granular and debranched waxy starches and their application in low-fat salad dressing[J]. Food Hydrocolloids, 2017, 66: 296-306.
- [9] LI W, YU Y, PENG J, et al. Effects of the degree of substitution of OSA on the properties of starch microparticle-stabilized emulsions[J]. Carbohydrate Polymers, 2021, 255: 117546.
- [10] 金玉红, 张开利, 张兴春, 等. 双波长法测定小麦及小麦芽中直链、支链淀粉含量[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(1): 137-140.  
JIN Y H, ZHANG K L, ZHANG X C, et al. Determination of amylose and amylopectin in wheat and wheat malt by dual-wavelength spectrophotometry[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils, 2009, 24(1): 137-140.
- [11] 钟敏贤. 辛烯基琥珀酸马铃薯淀粉酯的制备、性能及应用研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.  
ZHONG M X. The preparation, properties and application of octenyl succinic anhydride modified potato starch[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014.
- [12] 张红利, 韩舜愈, 虎玉森, 等. 辛烯基琥珀酸马铃薯淀粉酯的制备条件研究[J]. 食品工业科技, 2007(11): 185-188.  
ZHANG H L, HAN S Y, HU Y S, et al. Study on preparation conditions of octenyl succinic anhydride esterified potato starch[J]. Science and Technology of Food Industry, 2007(11): 185-188.
- [13] 江美都, 顾振宇, 王强林, 等. 板栗淀粉加工特性的研究[J]. 中国粮油学报, 2001(6): 55-58.  
JIANG M D, GU Z Y, WANG Q L, et al. Study on processing properties of chestnut starch[J]. Journal

- of the Chinese Cereals and Oils, 2001(6): 55–58.
- [14] 李鑫, 赵燕, 廖斌, 等. 甘薯淀粉糊透明度及凝沉性初探[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(3): 34–37.
- LI X, ZHAO Y, LIAO B, et al. Preliminary research on clarity and retrogradation of sweet potato starch paste[J]. Food Research and Development, 2011, 32(3): 34–37.
- [15] 李珍柱. 三类黄酮纯度标准物质的研制[D]. 重庆: 西南大学, 2018.
- LI Z Z. Development of three flavonoid certified reference materials[D]. Chongqing: Southwest University, 2018.
- [16] 李莉. 玉米淀粉中直链淀粉含量的分析测定方法研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2018.
- LI L. Study on analysis of the amylose content in corn starch [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2018.
- [17] 王玲, 郑温时, 陈永富, 等. 辛烯基琥珀酸淀粉酯取代度与理化特性关系研究[J]. 粮油食品科技, 2016, 24(4): 33–37.
- WANG L, ZHENG W S, CHEN Y F, et al. Study on the relationship between degree of substitution and physicochemical properties of OSA–starch[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2016, 24(4): 33–37.
- [18] 刘雪唯. 不同直链淀粉含量的玉米淀粉的理化性质及应用研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2015.
- LIU X W. Study on physical–chemical properties and application of cornstarch with different content of amylose[D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2015.
- [19] 张杰, 何义萍, 韩小贤, 等. 燕麦淀粉与常见淀粉的性质对比研究[J]. 粮食与饲料工业, 2012(11): 20–22, 28.
- ZHANG J, HE Y P, HAN X X, et al. Comparative study on properties of oat starch and commonly used starches[J]. Cereal and Feed Industry, 2012(11): 20–22, 28.
- [20] 向露, 唐伟敏, 陆胜民. 不同分子量辛烯基琥珀酸蜡质玉米淀粉酯的制备及其性能[J]. 食品工业科技, 2019, 40(22): 44–48.
- XIANG L, TANG W M, LU S M. Preparation and properties of octenyl succinic anhydride esterified waxy corn starches with different molecular weights [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(22): 44–48.
- [21] LI C Y, LIAO C D, STOBINSKI L, et al. Effects of hydrogen, oxygen, and ammonia low–pressure glow plasma on granular starches [J]. Carbohydrate Polymers, 2002, 49(4): 449–456.
- [22] TOMASIK P, MICHALSKI O, BIDZINSKA E, et al. Radioprotective thermally generated free–radical dextrans[J]. Chinese Science Bulletin, 2008, 53(7): 984–991.
- [23] 梁蓉. 以 OSA 变性淀粉为乳化剂的纳米乳液制备及特性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
- LIANG R. Research on the preparation and characteristics of nanoemulsions using OSA modified starch as emulsifier[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.
- [24] GUO J, TANG W, LU S, et al. Solubility improvement of hesperetin by using different octenyl succinic anhydride modified starches[J]. LWT– Food Science and Technology, 2018, 95: 255–261.
- [25] 彭善丽. 茶多酚–OSA 淀粉复合体的营养特性研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2017.
- PENG S L. Nutritional property of the complex of tea polyphenols and OSA starch[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017.

### Effect of OSA Esterified Starch with Different Linear/Branched Chain Ratios on Solubilization of Hesperetin

Wang Lu<sup>1</sup>, Lu Shengmin<sup>2\*</sup>, Wang Lu<sup>2</sup>, Zheng Meiyu<sup>2</sup>, Wang Yangguang<sup>1\*</sup>

<sup>(1)</sup>College of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, Zhejiang

<sup>2</sup>Institute of Food Science, Zhejiang Academy of Agricultural Science, Key Laboratory of Fruit and Vegetables Postharvest and Processing Technology Research of Zhejiang Province, Key Laboratory of Post–Harvest Handling of Fruits, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Hangzhou 310021)

**Abstract** To investigate the differences in physicochemical properties and solubilization efficiencies of octenyl succinic

anhydride esterified starches (OSAS) with different linear/branched chain ratios, the corresponding OSAS were prepared using corn starches with different linear/branched chain ratios as raw material and octenyl succinic anhydride (OSA) as an esterification agent, and their degrees of substitution (DS) of OSA, physicochemical properties and solubilizing effects on hesperetin were determined. The results showed that after OSA esterification, the starch with high amylose content had a high DS value. The higher the amylopectin content in OSAS, the greater its swelling capacity and the higher its transparency, while the higher the amylose content in OSAS, the easier it was to sediment. The esterification of starch by OSA mainly occurred on the surface of starch granules. OSAS with high amylose content had a significant solubilizing effect on hesperetin, with its solubility increased by 5.4 folds. Conclusion: OSAS with different linear/branched chain ratios showed significant differences in physicochemical properties, and these differences were attributed to the content ratio of amylose to amylopectin. The higher amylose content in OSAS, the more obvious its solubilization efficiency to hesperetin.

**Keywords** octenyl succinic anhydride modified starches; linear/branched chain ratio; physicochemical properties; hesperetin; solubilization