

# 酶解羟丙基马铃薯淀粉的制备 及其在空心胶囊中的应用

何绍凯<sup>1,2</sup>, 刘文娟<sup>1,2</sup>, 曹余<sup>1,2</sup>, 田映良<sup>3</sup>, 史琦云<sup>1</sup>

- (1. 甘肃省马铃薯变性淀粉工程技术研究中心, 甘肃定西 743022;  
2. 甘肃省变性淀粉工艺与应用重点实验室, 甘肃定西 743022;  
3. 甘肃圣大方舟马铃薯变性淀粉有限公司, 甘肃定西 743022)

**摘要:** 应用普鲁兰酶对羟丙基马铃薯淀粉进行酶解处理, 制备了酶解羟丙基马铃薯淀粉。研究了普鲁兰酶用量、酶解时间、酶解温度、pH 对酶解羟丙基马铃薯淀粉黏度的影响, 并比较了不同酶解程度羟丙基马铃薯淀粉的凝胶特性。通过测定空心胶囊成品率、胶囊壁厚度、透明度、水分含量、脆碎率等指标, 考察了酶解羟丙基马铃薯淀粉的酶解程度和配制浓度对空心胶囊品质的影响。结果表明: 羟丙基马铃薯淀粉酶解的较佳条件为: 普鲁兰酶用量 0.6%, 酶解温度 60 °C, pH 5.5, 酶解时间 2 h。酶解羟丙基马铃薯淀粉糊液的黏度随着温度降低而逐渐升高, 其凝胶温度为 55 °C。随着羟丙基马铃薯淀粉酶解程度的升高, 浸渍液黏度降低, 胶囊的透明度提高。选择黏度 1500 mPa·s 的酶解羟丙基马铃薯淀粉, 在配胶质量分数为 22.5% 时制作的空心胶囊透明度高, 脆碎率低, 成品率可达 94%。研究表明, 酶解羟丙基马铃薯淀粉适于空心胶囊的制造。

**关键词:** 普鲁兰酶, 马铃薯淀粉, 羟丙基淀粉, 空心胶囊, 黏度

## Preparation of enzyme-treated hydroxypropyl potato starch and its application in hollow capsules

HE Shao-kai<sup>1,2</sup>, LIU Wen-juan<sup>1,2</sup>, CAO Yu<sup>1,2</sup>, TIAN Ying-liang<sup>3</sup>, SHI Qi-yun<sup>1</sup>

- (1. Gansu Engineering and Technology Research Center of Modified Potato Starch, Dingxi 743022, China;  
2. Key Laboratory of Modified Starch Manufacture Techniques and Applications, Dingxi 743022, China;  
3. Gansu GLDARK Modified Potato Starch Co., Ltd., Dingxi 743022, China)

**Abstract:** The enzyme-treated hydroxypropyl potato starch was prepared by hydrolyzing hydroxypropyl potato starch with pullulanase. The influence of the amount of pullulanase, enzymolysis time, temperature and pH on the viscosity of the starch was studied. The gel properties of the starch with different enzymolysis degrees were compared. The influence of the enzymolysis degree and mass fraction of glue on the hollow capsules was investigated by determining the capsule yield rate, capsule wall thickness, transparency, water content and friability. The results indicated that the better enzymolysis conditions that could yield a product were as follows: 0.6 wt% of pullulanase, 60 °C, pH = 5.5, and for 2 hours. The viscosity of paste prepared from the enzyme-treated hydroxypropyl potato starch increases with the decreasing temperature. The gelatinization temperature was 55 °C. With the increasing enzymolysis degree, the viscosity of capsule impregnating liquid decreases, and the capsule transparency was improved. Hollow capsules with higher transparency and lower friability could be produced when the enzyme-treated hydroxypropyl potato starch with a viscosity of 1500 mPa·s was used, at 22.5% by mass fraction of glue. The formability of capsules could reach 94%. This study indicated that the enzyme-treated hydroxypropyl potato starch was suitable for capsule manufacture.

**Key words:** pullulanase; potato starch; hydroxypropyl starch; hollow capsule; viscosity

中图分类号: TS236.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2017)06-0163-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2017.06.023

空心胶囊包裹的药物成分可以避免药物对人体感觉器官的刺激, 并达到缓释效果。长期以来, 以明胶为原料的空心胶囊在医药、食品领域得到了广泛

应用<sup>[1]</sup>。近年来, 明胶的缺陷逐渐显现, 如胶囊自身蛋白质易受酸、碱影响, 对环境温、湿度敏感, 不适宜伊斯兰教和犹太教信仰者使用。此外, 受“疯牛病”、

收稿日期: 2016-08-16

作者简介: 何绍凯(1984-)男, 硕士, 工程师, 主要从事变性淀粉研究与应用方面的研究, E-mail: gahsk@163.com。

基金项目: 国家科技支撑计划(2012BAD32B01); 甘肃省科技计划资助(093NTGJ012)。

“毒胶囊”事件的影响,民众对明胶胶囊的不信任感与日俱增。于是,利用植物原料进行空心胶囊的研究逐渐成为热点<sup>[2-4]</sup>。

美国辉瑞公司率先研发了商品名为 Vcaps<sup>®</sup> 和 Plantcaps<sup>™</sup> 的植物空心胶囊。随后,日本 Shionogi Qualicaps 公司也开发了 Quali-V<sup>®</sup> 羟丙甲纤维素(HPMC)空心胶囊<sup>[5]</sup>。此外,已见有关于 HPMC<sup>[6]</sup>、普鲁兰多糖<sup>[7]</sup>、果胶<sup>[8]</sup>、沙蒿胶<sup>[9]</sup>、大豆蛋白<sup>[10]</sup>、魔芋<sup>[11]</sup>、海藻多糖<sup>[12]</sup> 等植物空心胶囊的专利申请和文献报道。至今,仅有 HPMC 和普鲁兰多糖为原料的植物空心胶囊成功投入生产<sup>[13]</sup>。以 HPMC 为原料制备空心胶囊过程中,存在胶液水料比大、除水困难、成型难度大<sup>[14]</sup> 等问题;普鲁兰多糖价格昂贵,生产成本高,难以推广。因此,目前国内植物胶囊的市场占有率并不高。

淀粉是重要的食品原料之一,具有原料来源广泛、天然、安全、廉价等优点,被认为是最有潜力的胶囊原料<sup>[2]</sup>。马铃薯淀粉的优点是糊化温度低、透明度高、成膜性能好。由于淀粉易老化,在以其为原料制作胶囊的过程中,存在糊液黏度高、难于蘸胶、成膜后脆性大、成品率低等缺陷,难以制得强度高、耐填充的空心胶囊<sup>[15]</sup>。因此,尝试通过对淀粉进行物理、化学或酶改性,使其成为较好的植物空心胶囊原料便成为人们关注的重要课题。羟丙基改性可以增加淀粉分子的亲水性,抑制淀粉的回生,并起到增加韧性和强度的作用<sup>[16]</sup>,是一个良好的候选材料;经普鲁兰酶脱支处理的淀粉在流变学特性、成膜性等方面有突出的特点<sup>[17]</sup>,是一种良好的淀粉改性方法。因此,本研究采用羟丙基马铃薯淀粉为原料,利用普鲁兰酶对其进行酶解,制备了酶解羟丙基马铃薯淀粉,研究了其在空心胶囊中的应用。以期为空心胶囊用变性淀粉的制备和生产奠定基础,也为淀粉基植物空心胶囊的研制提供技术参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

羟丙基马铃薯淀粉 羟丙基含量 4.7%,食品级,甘肃圣大方舟马铃薯变性淀粉有限公司; Promozyne D2 普鲁兰酶 活力为 1000 NPUN/g,诺维信(中国)投资有限公司;卡拉胶 食品级,绿新(福建)食品有限公司;甘油、氢氧化钠 烟台市双双化工有限公司;硝酸镁 天津市巴斯夫化工有限公司;盐酸 北京化工厂,所有试剂均为分析纯。

DV2TRVTJ0 型 Brookfield 黏度仪 美国 Brookfield 公司;0 号空心胶囊模具 兰州平山机械制造有限公司;不锈钢反应罐 温州市商泰轻工机械有限公司;722-N 可见分光光度计 上海欣茂仪器有限公司;CH-1-ST 型薄膜测厚仪 上海精密仪器仪表有限公司;JJ-1 型增力电动搅拌器 金坛市恒丰仪器厂;101-1 型鼓风干燥、HH-1 型恒温水浴锅 北京科伟永兴仪器有限公司;FA2004 型电子天平 上海良平仪器仪表有限公司;PHS-3C 型酸度计 上海大普仪器有限公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 酶解羟丙基马铃薯淀粉的制备 称取 300 g 羟丙基马铃薯淀粉于反应罐中,用纯水将其配制成质量分数 25% 的乳液,搅拌均匀后,加入 0.1% (相对淀粉干基量) 的 CaCl<sub>2</sub>,用质量分数为 5% 的盐酸将乳液 pH 调至 4.0~7.0,于 95 °C 水浴中糊化 30 min,冷却至规定温度后,加入普鲁兰酶进行酶解,酶解结束后,于 95 °C 灭酶 20 min,即得到酶解羟丙基马铃薯淀粉。

在单因素优化酶解条件的实验中:固定酶解温度 60 °C、酶解时间 2 h、pH5.5,考察了普鲁兰酶用量(0.02%、0.04%、0.06%、0.08%、0.10%)对酶解羟丙基马铃薯淀粉黏度的影响;固定普鲁兰酶用量 0.6%、酶解温度 60 °C、pH5.5,考察了酶解时间(0.5、1.0、1.5、2、2.5 h)对酶解羟丙基马铃薯淀粉黏度的影响;固定普鲁兰酶用量 0.6%、酶解 2 h、pH5.5,考察了酶解温度(45、50、55、60、65、70 °C)对酶解羟丙基马铃薯淀粉黏度的影响;固定普鲁兰酶用量 0.6%、酶解温度 60 °C、酶解 2 h,考察了 pH(4.0、4.5、5.0、5.5、6.5、7.0)对酶解羟丙基马铃薯淀粉黏度的影响。

在单因素优化的酶解条件(酶解温度 60 °C,酶解 2 h,酶解 pH5.5)下,使用不同的酶用量(0.7%、0.6%、0.5%、0.4%、0.3%)制备了酶解程度从高到低的 5 个样品,对应编号分别为 1、2、3、4、5 号,用于考察不同酶解程度羟丙基马铃薯淀粉的凝胶特性及对空心胶囊品质的影响。

1.2.2 空心胶囊的制作 参照闫丰文等<sup>[13]</sup>的方法,采用浸渍成型方法,将酶解羟丙基马铃薯淀粉用纯水配制成一定浓度后,加热至 95 °C,缓慢加入 1.5% (相对淀粉干基量) 卡拉胶,完全溶解后,加入 5% (相对淀粉干基量) 的甘油,搅拌均匀即得到胶液浸渍液(60 °C 保温,备用)。将胶囊模具涂抹润滑油,插针浸入胶液中蘸胶,取出翻转,冷却,胶液在插针上胶凝形成膜,经干燥后,将膜从插针上剥离、切割、套合,即得到空心胶囊。

在空心胶囊制作过程中,必须确保浸渍液黏附于胶囊模具插针表面,并且当插针从浸渍液中抽出时,胶液能够快速胶凝,避免胶液在插针表面上流动而影响胶囊成型。淀粉的凝胶特性将直接影响胶囊的成型性和质量,掌握淀粉的凝胶温度和凝胶强度尤其重要。

1.2.3 黏度测定 用纯水将酶解羟丙基马铃薯淀粉配制成质量分数 20% (相对淀粉质量) 的糊液,加热至 60 °C,采用 Brookfield 黏度仪测定,测定转速为 20 r/min,时间 30 s。淀粉的黏度越低,表明酶解程度越高。

1.2.4 凝胶特性测定 用纯水将酶解羟丙基马铃薯淀粉配制成质量分数 20% 的糊液,加热至 70 °C 后自然冷却,用 Brookfield 黏度仪,分别测定其在 70、65、60、55、50、45 °C 下的黏度。当样品黏度迅速升高时的温度即为凝胶温度<sup>[6]</sup>。凝胶强度采用 45 °C 和 70 °C 时的黏度之比表示。

1.2.5 胶囊成品率 根据成品数量和蘸胶所制备的

空心胶囊数量计算成品率<sup>[12]</sup>, 成品率的计算式为:

$$\text{成品率}(\%) = \text{成品个数} / \text{实验所制个数} \times 100$$

1.2.6 透明度 选取 10 粒空心胶囊, 将胶囊壳裁成 2.3 cm × 1 cm 的膜, 压平后紧贴于比色皿的一侧, 采用分光光度计, 在 480 nm 波长下测定其透光率(T), 以空比色皿作对照, 透光率越高, 表明空心胶囊的透明度越好<sup>[18]</sup>。

1.2.7 空心胶囊壁厚度 选取 10 粒空心胶囊, 每个胶囊随机取 3 个点, 采用薄膜测厚仪进行空心胶囊壳厚度的测定<sup>[19]</sup>, 取平均值, 厚度单位为 mm。

1.2.8 脆碎率 选取无黏结、无变形、无破裂的空心胶囊 50 粒, 置表面皿中, 放入盛有硝酸镁饱和溶液的干燥器内, 在 25 °C 条件下恒温 24 h 后, 取出, 立即分别逐粒放入直立木板(厚度 2 cm)上的玻璃管(内径为 24 mm, 长为 200 mm)内, 将圆柱形砝码(材质为聚四氟乙烯, 直径为 22 mm, 重 20 g)从玻璃管口处自由落下, 观察胶囊是否破裂<sup>[20]</sup>。脆碎率按下式计算:

$$\text{脆碎率}(\%) = \text{脆碎的胶囊个数} / \text{实验胶囊个数} \times 100$$

1.2.9 水分含量 称取 10 粒空心胶囊样品, 将帽、体分开, 在 105 °C 干燥 6 h 后对空心胶囊再称重, 两次重量之差与空心胶囊的原重之比即为胶囊的水分含量<sup>[20]</sup>。

1.2.10 数据处理 所有待测参数重复测定 3 次, 取平均值。采用 Microsoft Excel 2010 进行数据处理和作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 普鲁兰酶用量对酶解羟丙基马铃薯淀粉黏度的影响

普鲁兰酶用量(占干羟丙基马铃薯淀粉质量百分数, 下同)对酶解羟丙基马铃薯淀粉黏度的影响结果如图 1 所示。

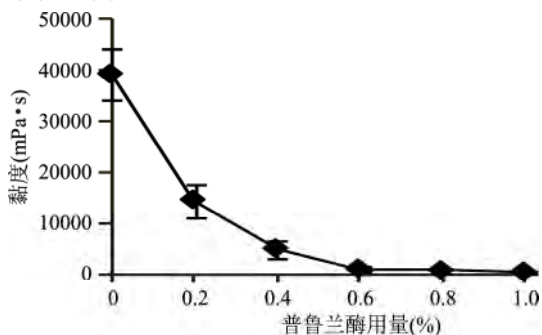


图 1 普鲁兰酶用量对酶解羟丙基马铃薯淀粉黏度的影响

Fig.1 Influence of amount of pullulanase on the viscosity of enzyme-treated hydroxypropyl potato starch

普鲁兰酶能专一水解支链淀粉分子中的  $\alpha$ -1, 6 葡萄糖苷键, 降低淀粉聚合度, 形成以  $\alpha$ -1, 4 糖苷键连接的多聚物<sup>[21]</sup>。因此, 随着酶用量的增加, 酶解程度逐渐增大。由图 1 可见, 酶解羟丙基马铃薯淀粉的黏度随着普鲁兰酶用量的增加而下降。当普鲁兰酶用量在 0.6% 以下时, 淀粉的黏度下降较快; 酶用量超过 0.6% 后, 黏度下降缓慢, 呈基本不变的趋势。

因此, 适宜的普鲁兰酶用量为 0.6%。

### 2.2 酶解时间对酶解羟丙基马铃薯淀粉黏度的影响

酶解时间对酶解羟丙基马铃薯淀粉黏度的影响结果如图 2 所示。

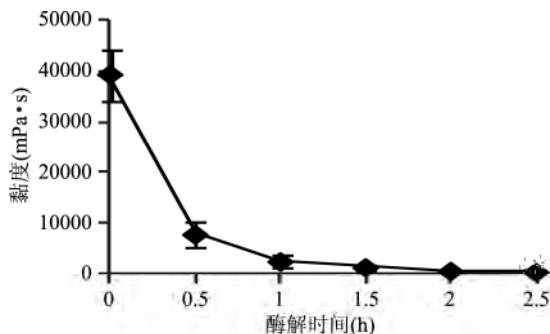


图 2 酶解时间对酶解羟丙基马铃薯淀粉黏度的影响

Fig.2 Influence of enzymolysis time on the viscosity of enzyme-treated hydroxypropyl potato starch

由图 2 可见, 当酶解时间小于 2 h 时, 随酶解时间的延长, 酶解羟丙基马铃薯淀粉的黏度逐渐降低。当酶解时间大于 2 h 时, 酶解马铃薯羟丙基淀粉的黏度变化趋于平缓。可能的原因是: 淀粉酶解一定时间后, 淀粉中绝大部分可酶解的支链淀粉已被切断。另外, 随时间的延长, 酶的活性会有所降低。因此, 适宜的酶解时间为 2 h。

### 2.3 酶解温度对酶解羟丙基马铃薯淀粉黏度的影响

酶解温度对酶解羟丙基马铃薯淀粉黏度的影响结果如图 3 所示。

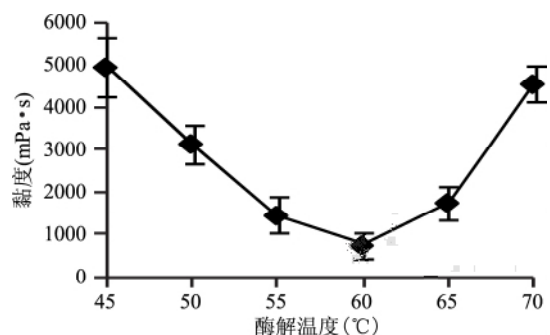


图 3 酶解温度对酶解羟丙基马铃薯淀粉黏度的影响

Fig.3 Influence of enzymolysis temperature on the viscosity of enzyme-treated hydroxypropyl potato starch

由图 3 可见, 酶解温度对酶解羟丙基马铃薯淀粉黏度的影响呈一个 U 字型。在 45~60 °C 的范围内, 随着酶解温度的升高, 酶解羟丙基马铃薯淀粉的黏度迅速下降; 在酶解温度为 60 °C 时, 黏度达到最小值, 酶解程度最大; 酶解温度超过 60 °C 时, 酶解羟丙基马铃薯淀粉的黏度不降反升。说明适当提高酶解温度可以增加酶的活性, 但过高的酶解温度可能会导致酶蛋白变性, 使酶失活。因此, 适宜的酶解温度为 60 °C。

### 2.4 pH 对酶解羟丙基马铃薯淀粉黏度的影响

pH 对酶解羟丙基马铃薯淀粉黏度的影响结果如图 4 所示。

由图 4 可知, 酶解羟丙基马铃薯淀粉的黏度随

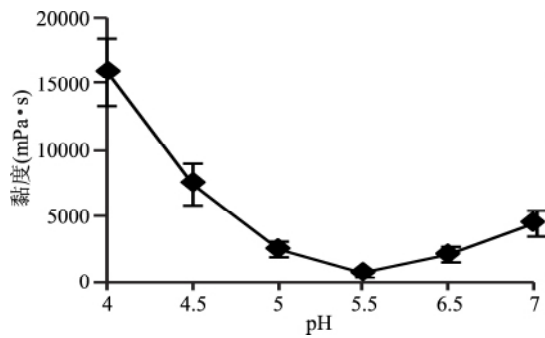


图4 pH对酶解羟丙基马铃薯淀粉黏度的影响

Fig.4 Influence of pH values on the viscosity of enzyme-treated hydroxypropyl potato starch

pH 升高呈现先降低后升高的趋势: 在较低的 pH 条件下, 淀粉的黏度很高; 当 pH 为 5.5 时, 黏度最低, 仅 800 mPa·s; 当 pH 大于 5.5 时, 酶解羟丙基马铃薯淀粉的黏度却随 pH 升高而逐渐增大。这种现象可归因为: 较强的酸性或较强的碱性都会抑制酶的活性, 甚至会导致酶失活。因此, 适宜的 pH 为 5.5。

## 2.5 酶解程度对酶解羟丙基马铃薯淀粉凝胶特性的影响

酶解程度对酶解羟丙基马铃薯淀粉的凝胶特性的影响如图 5 和图 6 所示。

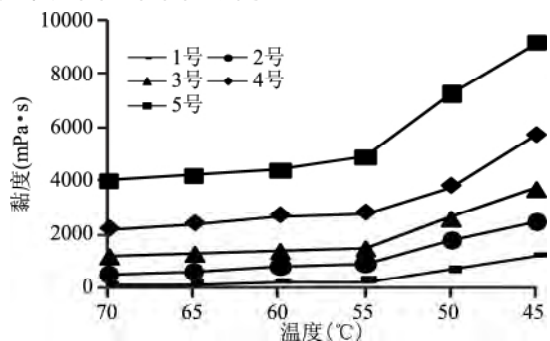


图5 不同温度下的酶解羟丙基马铃薯淀粉黏度

Fig.5 Viscosities of enzyme-treated hydroxypropyl potato starch at different temperatures

由图 5 可见, 5 个样品的黏度随温度变化均呈现一致的趋势: 随着温度的降低, 淀粉的黏度逐渐升高; 温度高于 55 °C, 酶解羟丙基马铃薯淀粉的黏度基本恒定; 温度低于 55 °C 时, 黏度迅速升高。这个结果表明: 酶解羟丙基马铃薯淀粉的凝胶温度与酶解程度无关, 5 个样品的凝胶温度均为 55 °C。

从图 6 可知, 酶解程度高, 酶解羟丙基马铃薯淀粉的凝胶强度大。1 号样品的凝胶强度最大, 冷黏是

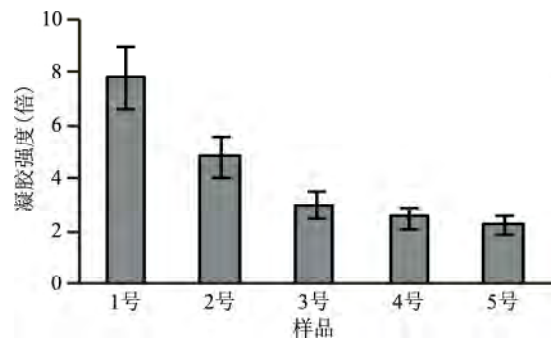


图6 不同酶解羟丙基马铃薯淀粉的凝胶强度

Fig.6 The gel strength of enzyme-treated hydroxypropyl potato starch with different enzymolysis degrees

热黏的 7.9 倍。羟丙基马铃薯淀粉通过普鲁兰酶处理后, 切断了支链淀粉分子中的  $\alpha$ -1,6 糖苷键, 增加了淀粉中直链分子的比例, 从而提高了酶解羟丙基马铃薯淀粉的凝胶强度<sup>[21]</sup>。

## 2.6 酶解程度对胶囊品质的影响

选取不同酶解程度的 1、2、3、4、5 号酶解羟丙基马铃薯淀粉样品, 按照酶解羟丙基马铃薯淀粉质量分数 20% 进行配胶, 控制蘸胶温度 55 °C, 考察酶解程度对酶解羟丙基马铃薯淀粉糊黏度、胶囊成品率、厚度、水分含量、透光率的影响, 其结果见表 1。

由表 1 可以看出, 由不同酶解程度的羟丙基马铃薯淀粉所制作的空心胶囊在成品率和胶囊质量上存在较大差异, 并呈现以下规律: 羟丙基马铃薯淀粉的酶解程度越高, 黏度越低, 所配制的胶液流动性则大, 蘸胶后, 胶液凝胶不充分, 导致在干燥期间出现胶液从针顶向下流淌, 使得胶囊壁薄, 成型不好, 成品率低。其中: 酶解程度最高的 1 号样品成品率仅为 14%, 胶囊壁最薄, 壁厚仅为 0.036 mm。酶解羟丙基马铃薯淀粉的黏度较低, 所制备的胶囊壁较薄, 干燥较容易, 水分含量也较低。胶囊壁越薄, 其透明度越高, 但胶囊脆碎率高。综合看来, 采用黏度为 1500 mPa·s 的 3 号样品所制成的胶囊成品率最高, 为 91.7%, 胶囊的质量也甚优。

## 2.7 浸渍液配制浓度对胶囊品质的影响

选取 2.6 中的 3 号酶解羟丙基马铃薯淀粉样品, 分别配制成质量分数为 15.0%、17.5%、20.0%、22.5%、25.0% (按酶解羟丙基马铃薯淀粉干基质量计) 的浸渍液, 蘸胶温度为 55 °C, 考察酶解羟丙基马铃薯淀粉浸渍液的配制浓度对糊液黏度、胶囊成品率、壁厚、水分含量、透光率和脆碎率等特性的影响, 其结果见表 2。

表1 酶解程度对胶囊品质的影响

Table 1 Influence of enzymolysis degree on hollow capsule qualities

淀粉	黏度 (mPa·s)	成品率 (%)	胶囊壁厚 (mm)	水分含量 (%)	透光率 (%)	脆碎率 (%)
1号	200.0 ± 16.3	14.0 ± 5.8	0.036 ± 0.013	5.4 ± 0.5	88.7 ± 0.4	54.0 ± 4.3
2号	800.0 ± 40.8	61.3 ± 5.4	0.061 ± 0.018	7.2 ± 0.4	87.8 ± 0.3	28.7 ± 3.4
3号	1500.0 ± 81.6	91.7 ± 3.9	0.096 ± 0.015	9.6 ± 0.4	86.2 ± 0.3	7.3 ± 1.9
4号	2700.0 ± 141.4	82.3 ± 4.3	0.147 ± 0.031	11.3 ± 0.3	84.3 ± 0.2	6.7 ± 0.9
5号	4800.0 ± 216.0	43.7 ± 4.1	0.247 ± 0.042	15.7 ± 0.5	80.2 ± 0.3	6.0 ± 1.6

表2 酶解羟丙基马铃薯淀粉浸渍液质量分数对空心胶囊品质的影响

Table 2 Influence of glue mass fraction of enzyme-treated hydroxypropyl potato starch glue on hollow capsule qualities

样品浓度 (%)	黏度 (mPa·s)	成品率 (%)	胶囊壁厚 (mm)	水分含量 (%)	透光率 (%)	脆碎率 (%)
15.0	500.0 ± 40.8	49.0 ± 6.7	0.051 ± 0.012	6.7 ± 0.5	88.2 ± 0.5	38.0 ± 7.1
17.5	900.0 ± 70.7	68.0 ± 5.4	0.063 ± 0.017	8.3 ± 0.4	87.3 ± 0.4	22.7 ± 4.7
20.0	1500.0 ± 81.6	91.7 ± 3.9	0.096 ± 0.015	9.6 ± 0.5	86.2 ± 0.3	7.3 ± 1.9
22.5	2400.0 ± 141.4	94.0 ± 4.3	0.104 ± 0.013	10.5 ± 0.4	85.6 ± 0.3	6.0 ± 2.8
25.0	4200.0 ± 188.6	58.0 ± 6.2	0.165 ± 0.034	14.2 ± 0.7	82.5 ± 0.5	7.3 ± 2.5

由表2可以看出,随着配制浓度的提高,胶囊浸渍液的黏度增加,制成的胶囊壁厚度增大,透明度降低,胶囊脆碎率降低。当酶解羟丙基马铃薯淀粉配制浓度较低时,胶液黏度低,流动性大,凝胶不充分,胶囊的成型不好,成品率低,制成的胶囊壁薄,强度差,脆碎率高。同时,过高的酶解羟丙基马铃薯淀粉浓度导致胶液黏度过高,流动性差,胶囊成型也不好,成品率低,且胶囊壁较厚,透明度低。在酶解羟丙基马铃薯淀粉配制质量分数为22.5%时,所制成的胶囊成品率最高,达94%,胶囊壁厚合适,脆碎率低。

### 3 结论

经普鲁兰酶处理,降低了羟丙基马铃薯淀粉糊液黏度,改善了羟丙基马铃薯淀粉因为黏度高,不能配制成高浓度、低黏度胶液使用的性能缺陷。增加普鲁兰酶用量和延长酶解时间均可提高酶解程度,酶解羟丙基马铃薯淀粉较佳条件是:普鲁兰酶用量0.6%,酶解温度60℃,pH5.5,酶解时间2h。随着酶解程度的提高,酶解羟丙基马铃薯淀粉的黏度逐渐降低,凝胶强度增强。

羟丙基马铃薯淀粉的酶解程度过高或配制浓度过低,均会导致胶囊浸渍液黏度低、胶液流动性大、凝胶不充分、胶囊的成型不好、成品率低和脆碎率高。羟丙基马铃薯淀粉的酶解程度低或配制浓度过高,则会导致浸渍液流动性差,成品率不高。胶囊壁越薄,其透明度越高,但壁厚度较薄的胶囊壳强度差,脆碎率高。选择黏度值为1500 mPa·s的酶解羟丙基马铃薯淀粉,胶液配制质量分数为22.5%时,胶囊成型好、成品率高、透明度高、脆碎率低,品质最好,具有替代明胶空心胶囊的潜力和良好的市场开发前景。

### 参考文献

[1] Jones B E. The manufacture and properties of two-piece hard capsules. In: Podczek F, & Jones B E, eds. Pharmaceutical capsules [M]. London: Pharmaceutical Press, 2005: 79-100.  
 [2] 张良, 王燕斐, 刘宏生, 等. 天然植物高分子药用胶囊的研究与发展[J]. 高分子学报, 2013(1): 1-10.  
 [3] 王晓芳, 冯瑞, 林好, 等. 应用于空心胶囊氧化魔芋葡甘聚糖-马铃薯淀粉复合膜制备及性能测试[J]. 粮食与油脂,

2014, 27(4): 15-18.  
 [4] 刘李梅, 韩丽, 杨明, 等. 植物空心胶囊的研究进展[J]. 中药与临床, 2014, 5(5): 60-63.  
 [5] Al-Tabakha M M. HPMC capsules: current status and future prospects [J]. Pharm Pharmaceut Sci, 2010, 13(3): 428-442.  
 [6] 多米尼克·N·凯德, 何雄伟. 羟丙基甲基纤维素硬胶囊及制备方法: 中国, CN101595133B [P]. 2012-11-14.  
 [7] 黎丹, 金保林, 马俊, 等. 一种普鲁兰多糖空心胶囊的制备方法: 中国, CN104840447A [P]. 2015-08-19.  
 [8] 徐宏辉. 一种采用果胶的肠溶空心胶囊: 中国, CN104523647A [P]. 2015-04-22.  
 [9] 哈斯额尔德尼·阿拉腾巴根. 一种采用沙蒿胶制备空心胶囊的方法: 中国, CN105193765A [P]. 2015-12-30.  
 [10] 王大威, 张树, 袁功道. 一种改性大豆蛋白空心胶囊材料及其制备方法: 中国, CN105055366A [P]. 2015-11-18.  
 [11] 张小菊, 姜发堂. 羧甲基魔芋葡甘聚糖的制备及应用于空心胶囊的研究[J]. 食品科学, 2004, 25(10): 200-203.  
 [12] 于海宁, 郭正昭, 刘研, 等. 海藻多糖空心胶囊的制备工艺研究[J]. 浙江工业大学学报, 2016, 44(1): 92-98.  
 [13] 闫丰文, 袁国卿. 用于制备空心胶囊的变性淀粉胶及其淀粉基质空心胶囊: 中国, CN103937037A [P]. 2014-07-23.  
 [14] Kendall R A, Basit A W. Polym drug delivery [M]. Boca Batlon Fla: Taylor Francis, 2006: 35-46.  
 [15] Chen Jianguang, Liu Changhua, Chen Yanqing, et al. Structural characterization and properties of starch/konjac glucomannan blend films [J]. Carbohydrate Polymers, 2008, 74(4): 946-952.  
 [16] 何绍凯, 田映良, 曹余, 等. 交联和羟丙基改性对蜡质玉米淀粉糊性能的影响[J]. 中国食品添加剂, 2014(2): 75-79.  
 [17] 陈雪, 邹锁柱, 曾荣妹. 用普鲁兰酶改进淀粉膜质量的研究[J]. 食品工业科技, 2002, 23(10): 20-22.  
 [18] 高凌云, 张本山. 木薯氧化淀粉-壳聚糖复合膜的成膜特性研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(10): 322-324.  
 [19] YBX-2000-2007, 明胶空心胶囊[S]. 中国医药包装协会, 2007.  
 [20] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(四部) [M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.  
 [21] SU Nair, RS Singhal, MY Kamat. Induction of pullulanase production in Bacillus cereus FDTA-13 [J]. Bioresource Technology, 2007, 98(4): 856-859.