

# 微波对高链玉米淀粉颗粒抗消化性能的影响

李晓玺, 陈 玲, 邹芳建, 穆 燕, 李 琳

(华南理工大学轻工研究所, 广东 广州 510640)

**摘 要:** 高链玉米淀粉颗粒通过微波改性, 调节不同的水分质量分数、微波温度、微波时间和微波功率可以改变淀粉颗粒的抗消化性能。采用扫描电镜和生物体外(*in vitro*)降解方法, 对不同微波作用条件下的高链玉米淀粉的颗粒形貌和抗消化性能进行了研究。结果表明, 高链玉米淀粉经微波改性后, 颗粒形貌发生改变, 表面出现凹凸、小孔, 当抗消化淀粉质量分数达到22.0%时, 大部分淀粉颗粒已经发生破损、崩裂。在微波场中, 水分质量分数和微波温度对高链玉米淀粉抗消化性能的影响较大, 而微波功率和时间对其影响较小。

**关键词:** 微波改性; 高链玉米淀粉; 颗粒形貌; 抗消化性能

Effect of Microwave on Digestion Resistibility of High Amylose Maize Starch Granule

LI Xiao-xi, CHEN Ling, ZOU Fang-jian, MU Yan, LI Lin

(Light Industry and Chemical Engineering Research Institute, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** The high amylose maize starch granules were modified by the microwave and their digestion resistibility was changed under different moisture mass percents, microwave temperatures, treatment time and powers. The granule appearance and digestion resistibility of native and microwave modified high amylose starch granules under different microwave conditions were investigated by SEM and in *in vitro* digestion model. It was found that the microwave modified starch granule surface became roughness and most of them were damaged to some little fragment when the resistant starch content reached 22.0%. The results showed that under the microwave filed the moisture mass percent and microwave temperature had significant effects on the high amylose maize starch digestion resistibility but the microwave power and time had little effect.

**Key words** microwave modification; high amylose maize starch; granule appearance; digestion resistibility

中图分类号: TS23 0636.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2007)10-0105-04

抗消化淀粉具有不能被人体消化道内淀粉酶降解消化吸收, 但能够被结肠中的微生物所酵解的特性, 是近几年来引起国内外重视的功能型淀粉衍生物<sup>[1-2]</sup>。研究表明, 淀粉分子的结构决定自身的消化性能, 通过合适手段改变淀粉颗粒的结构, 可以调节淀粉颗粒的消化性能<sup>[3-4]</sup>。随着人们对健康、环保和食品安全的日益重视, 淀粉基产品的绿色加工、安全性、营养性及清洁化生产已成为目前国内外的研究热点。因此, 通过适当的物理方法改造淀粉分子结构, 从而调节淀粉的抗消化性能, 进而制备出新型抗消化淀粉倍显重要。

由于微波改性技术独特的作用方式, 微波可直接作用到物质分子内部, 通过极性分子转动机制、离子迁移作用机制和分子转动能级跃迁机制使分子结构和性质发生改变。因此, 本实验利用微波方法来调节淀粉的

抗消化能力, 并探讨不同微波作用条件对淀粉抗消化性能的影响规律, 为抗消化淀粉的制备和应用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

高链玉米淀粉 美国National Starch & Chemical公司。  
耐热 $\alpha$ -淀粉酶、葡萄糖淀粉酶 丹麦Novo Nordisk公司; 胃蛋白酶 德国Merck公司; 胰酶 美国Sigma公司。

### 1.2 仪器与设备

ETHOS SEL微波反应系统 意大利Milestone公司; LE01530VP扫描电镜 德国LEO公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 淀粉分子的微波改性

收稿日期: 2007-07-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(20436020; 20606014; 20376027); 广东省科技攻关项目(2005A10903002); 广州市科技成果推广项目(2005C13G0081)

作者简介: 李晓玺(1977-), 男, 博士, 主要从事天然高分子功能化修饰及生物材料的研究。

分别取一定量已按一定水分质量分数配好的高链玉米淀粉样品,放入反应罐中,密封后放入微波反应系统腔体中,控制一定的微波条件进行反应,结束反应后取出淀粉样品放入40℃烘箱内干燥12h后,过80目筛,密封保存,得到不同的微波改性淀粉样品。

### 1.3.2 微波改性淀粉颗粒形貌分析

将不同的微波改性淀粉样品均匀分布于玻片上,固定在载物台上,真空条件下镀金处理后,置于扫描电子显微镜下观察微波改性淀粉颗粒形貌的变化。

### 1.3.3 微波改性淀粉抗消化性能的测定

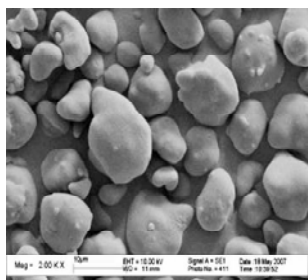
微波改性淀粉的抗消化性能的测定采用AOAC方法<sup>[5]</sup>,其抗消化性能以抗消化淀粉(resistant starch,RS)的质量分数WRS(%)的大小来表征。

## 2 结果与分析

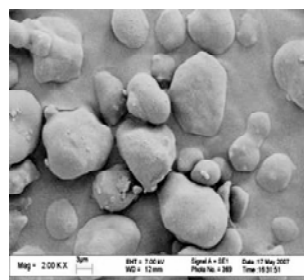
### 2.1 微波作用对高链玉米淀粉颗粒形貌的影响

在微波功率为600~1000W、反应温度为60~140℃、反应时间为0.5~4h、淀粉水分质量分数为15%~35%范围内,调节不同微波作用条件,制得抗消化淀粉质量分数分别为12.8%、15.3%、22.0%的微波改性高链玉米淀粉。采用扫描电子显微观察,结果如图1所示。高链玉米淀粉经微波改性后,表观形貌发生改变,当水分质量分数达到35%时,大部分淀粉颗粒已经发生破损、崩裂。

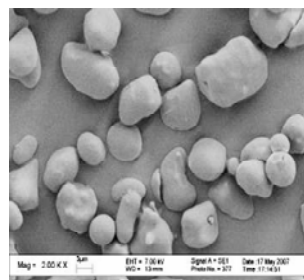
在微波场中,淀粉颗粒中水分子以及淀粉分子链中的极性基团由于在微波的作用下发生高频转动,微波作用的强弱与水分含量有很大的关系,当水分含量较低时,淀粉颗粒吸收微波的能力较弱,分子链在一定运动范围内做有限的振荡,不足以引起整个分子结构的破坏,所以高链淀粉颗粒在水分含量较低的情况下颗粒形貌保持完整,由于高链玉米淀粉中大部分为链淀粉,结构比较松散,所以在高水分含量时,由于分子链吸收微波能量产生剧烈的运动,使得维系其聚集态结构的主要分子间作用力氢键在分子链的高频转动中发生松弛、重排,导致整个淀粉颗粒的形貌发生变化,表面出现凹凸、小孔甚至崩裂。



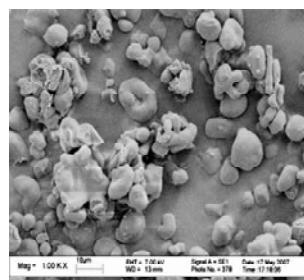
(a) 高链玉米淀粉(2000×)



(b) 微波改性淀粉(RS=12.8%)(2000×)



(c) 微波改性淀粉(RS=15.3%)(2000×)



(d) 微波改性淀粉(RS=22.0%)(1000×)

图1 微波改性前后高链玉米淀粉颗粒形貌

Fig.1 SEM-microphoto of high amylose maize starch before and after microwave modification

### 2.2 微波对高链玉米淀粉颗粒抗消化性能的影响

#### 2.2.1 淀粉中水分质量分数的影响

在微波功率为1000W、反应时间为30min、反应温度为100℃的条件下,考察了淀粉中不同水分质量分数

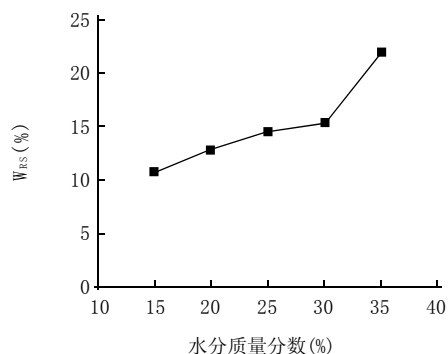


图2 水分质量分数对高链玉米淀粉抗消化淀粉含量的影响

Fig.2 Effects of moisture on digestion resistibility of high amylose maize starch

对高链淀粉抗消化性能的影响规律,结果如图2所示。实验结果表明,微波改性后高链玉米淀粉中RS含量随着淀粉水分含量的增加呈上升的趋势。

### 2.2.2 微波温度的影响

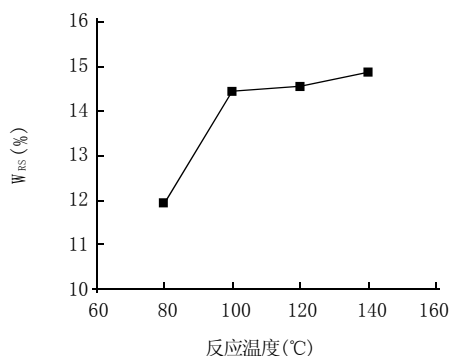


图3 微波反应温度对高链玉米淀粉抗消化淀粉含量的影响

Fig.3 Effects of temperature on digestion resistibility of high amylose maize starch

图3显示了微波功率为1000W、反应时间为30min、淀粉水分含量为25%时,反应温度对高链玉米淀粉抗消化淀粉含量的影响规律。结果表明,随着反应温度的升高,高链玉米淀粉中抗消化淀粉的含量增大,但随着温度的进一步升高,抗消化淀粉的含量反而降低,并且发现淀粉在高温下出现部分炭化现象;而高链玉米淀粉抗消化淀粉含量则随着温度的升高先上升,之后再升高温度,抗消化淀粉含量变化不大。

### 2.2.3 微波时间的影响

当微波功率为1000W、反应温度为100℃,淀粉水分含量为25%时,反应时间对高链淀粉抗消化淀粉含量的影响如图4所示。

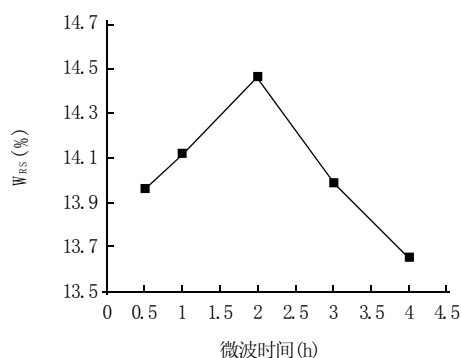


图4 微波时间对高链玉米淀粉抗消化淀粉含量的影响

Fig.4 Effects of microwave time on digestion resistibility of high amylose maize starch

从图4中可以看出,随着反应时间的增加,微波改性后高链玉米淀粉中的抗消化淀粉含量先呈上升趋势,

但当微波时间增大到一定值后,抗消化淀粉含量开始下降。

### 2.2.4 微波功率的影响

在反应温度为100℃、反应时间为30min、淀粉水分含量为25%的情况下,研究了不同微波功率对高链玉米淀粉抗消化淀粉含量的影响规律,结果如图5所示。研究发现,随着微波功率的增大,高链玉米淀粉中抗消化淀粉含量呈上升的趋势,但上升幅度不大。

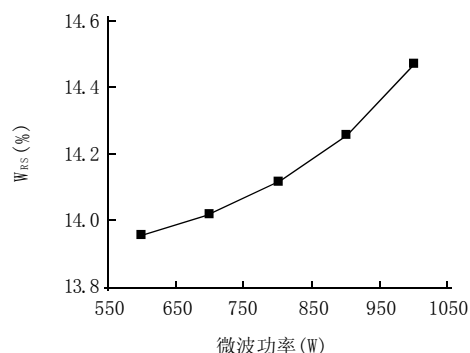


图5 微波功率对高链玉米淀粉抗消化淀粉含量的影响

Fig.5 Effects of microwave power on the digestion resistibility of high amylose maize starch

### 2.2.5 不同微波条件对高链玉米淀粉抗消化性能的影响

不同微波条件对高链玉米淀粉RS影响如表1所示。从表1中可以看出,微波条件对RS含量的影响大小顺序为:水分质量分数>温度>功率>时间。

表1 不同微波条件对高链玉米淀粉抗消化性能的影响

Table 1 Effects of different microwave conditions on digestion resistibility of high amylose maize starch

微波条件	WRS 增加量 (%)
水分质量分数	12.5
微波温度	2.5
微波时间	0.5
微波功率	0.5

淀粉颗粒中结晶结构和非晶结构、有序和无序部分在一定条件下处于一个亚稳状态,在外界条件作用下,淀粉颗粒的聚集态会由原来的平衡状态过渡到另一个平衡状态。当外界条件合适时,淀粉颗粒由无序化向有序化转变,因此其抗消化性能得以提高。由于淀粉分子中存在大量的羟基、糖甙键等极性基团,在微波的作用下,极性分子在高频转动中,极性变换可能产生键的振动、撕裂和粒子之间的相互摩擦、碰撞,促进分子极性部分更好地接触和反应。因此,在适当微波条件下,淀粉分子链重新排列而造成其消化性能发生改变。物质对微波的吸收能力,主要是由介电常数和介电损耗正切来决定。介电常数是介质阻止“微波通过

能力”的量度,介电损耗正切是介质耗散微波能量的效率,物质对微波吸收功率的大小和两者的乘积成正比。物质介电常数和介电损耗大小与该物质的密度、结构有关,同时也随其本身的含水量和温度的变化而变化。在一般情况下,物质含水量越大,其介电损耗也越大,有利加大微波的加热效率。有实验表明,对淀粉介电常数影响最大的因素是淀粉的含水量,影响到其对微波吸收的性能,从而影响微波场中淀粉改性的效果。所以,在微波改性过程中,水分质量分数起决定性作用。水分质量分数的增加对高链淀粉RS提高贡献最大。

淀粉分子发生运动需要一定的能量和柔性,由分子热运动的规律可知,当温度低于淀粉的玻璃化转变温度时,分子链的刚性较强,分子运动受阻。当温度升高到玻璃化温度之上,分子链的自由体积增大,柔性增强,分子运动变易。柔性的淀粉分子链在微波作用下,淀粉颗粒的晶面出现滑动,分子之间发生重排行为。温度的升高,有利于重排行为的进行,所以随温度升高,RS升高,但过高的温度容易引起淀粉的糊化和焦化,反而降低RS含量。

在一定条件下,淀粉分子在微波作用下的重排需要一定时间,延长反应时间,有利于重排的进行,但当微波作用达到一定时间时,重排达到平衡状态,再延长反应时间对RS含量影响不大,而且延长反应时间,可能导致微波淀粉颗粒中晶体结构的破坏,反而不利于RS提高。

### 3 结 论

通过改变不同的微波条件,对高链玉米淀粉进行改

性。在此基础上,研究了微波改性条件对淀粉颗粒形貌和抗消化性能的影响规律,得出以下结论。

3.1 在微波场中,高链玉米淀粉颗粒中水分子以及淀粉分子链中的极性基团由于在微波的作用下发生高频转动,使得维系其聚集态结构的主要分子间作用力氢键在分子链的高频转动中发生松弛、重排,导致整个淀粉颗粒的形貌发生变化,表面出现凹凸、小孔甚至崩裂。

3.2 调节不同的微波作用条件可以使高链玉米淀粉抗消化性能发生改变。在淀粉水分含量为35%以下的情况下,其抗消化淀粉含量随着水分含量的增大而不断升高。提高反应温度,有利于提高高链玉米淀粉的抗消化淀粉含量,但当温度升高到100℃以上时,升高温度对抗消化淀粉含量的提高影响不是很大。延长微波作用时间,高链玉米淀粉的抗消化淀粉含量先升高后降低。微波功率的升高有利于提高高链玉米淀粉的抗消化性能,但不是很明显。

### 参考文献:

- [1] ASPNG. Resistant starch[J]. Europe Journal Clinical Nutrition, 1992, 46(suppl 2): S1.
- [2] CHEN Ling, LI Xiao-xi, LI Lin, et al. Enzyme-resistant starch for oral colon-targeting drug delivery system[J]. Key Materials Engineering, 2005, 288-289: 129-132.
- [3] 李晓玺,陈玲,李琳,等. Effect of cross-linking of  $\text{POCl}_3$  on *in vitro* digestibility and formation of enzyme resistant starch of tapioca starch[J]. 食品科学, 2006, 27(6): 64-69.
- [4] 李晓玺,陈玲,李琳. 物理修饰对淀粉抗消化性能和分子结构的影响[J]. 精细化工, 2007, 24(6): 587-591.
- [5] AOAC. Method 991.43 Total dietary fiber. Enzymatic gravimetric method [M]. Gaithersburg, MD, 2000.



### 信 息

## 新加坡制成 H5N1 病毒检测设备 半小时内即可出结果

新加坡生物工程和纳米研究院研制出一种检测设备,仅需30min时间,就可从人的咽喉抹片样本中检测出H5N1禽流感病毒,大大提升了快速抑制该病毒的传播几率。该研究出版在最新一期的《自然·医学》杂志上。

研究人员称,世界卫生组织抑制计划的目标是阻止禽流感在当地蔓延,以抑制其成为全球性的灾难。如果暴发禽流感,快速的鉴定将有利于迅速抑制病毒蔓延。在许多公共健康资源有限的国家,常规的监控可能会有问题,因此费用低廉、容易使用的检测手段将会大展身手。

该项研究负责人于尔根·皮蓬说:“传统的实验室检测大约需要4h,并且在测试前需要仪器来隔离和放大病毒。但使用该设备,30min之内你就会知道自己是否被感染,如果已被感染,已经到什么程度。我们已在该设备上进行了几百次测试,它能隔离、净化和放大鸟类咽喉抹片样本中有毒的DNA,并让它接受H5N1检测,其准确率可与传统设备相媲美,但这个设备更快更便宜。”该设备还可以对H5N1病毒进行分散测试。

科学家希望利用该设备同时测试别的病毒,如SARS、AIDS和B型乙肝等。他们说:“该设备可能不仅应用于测试禽流感,而且也能测试其它容易发生感染的疾病,并可用来检测身体的血液或唾液等。”