

玉米淀粉与黄原胶复配体系流变和凝胶特性分析

张雅媛¹, 洪雁¹, 顾正彪^{1,2*}, 朱玲¹

(1. 江南大学食品学院, 无锡 214122; 2. 食品科学与技术国家重点实验室, 无锡 214122)

摘要: 为考察胶体对淀粉流变及凝胶特性的影响, 该文以玉米淀粉为原料, 加入不同比例黄原胶, 研究两者复配后流变及凝胶特性的变化, 对其相互作用机理进行了初步探讨。结果表明, 玉米淀粉及两者复配体系属于屈服-假塑性流体, 随着黄原胶比例的提高, 复配体系的稠度系数显著增加, 流体指数降低, 假塑性增强, 但黄原胶比例大于 10% 时, 增加不再显著。动态流变学试验显示, 复配体系具有更为优越的黏弹性, 黄原胶可与淀粉分子间相互作用形成氢键, 使得分子链段间的缠结点增加, 同时, 可延缓及阻止部分直链淀粉分子间的重新排列, 从而抑制淀粉凝胶体系的回生, 复配体系形成了质地更为柔软的凝胶。综合考虑, 在实际应用中选择玉米淀粉与黄原胶质量比为 9.0:1.0 g/g 较为适宜。研究结果可为更好的在食品工业中应用玉米淀粉/黄原胶复配体系及品质控制提供参考。

关键词: 淀粉, 凝胶, 流变, 黄原胶, 复配

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.09.062

中图分类号: TS231

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-09-0357-06

张雅媛, 洪雁, 顾正彪, 等. 玉米淀粉与黄原胶复配体系流变和凝胶特性分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 357-362.

Zhang Yayuan, Hong Yan, Gu Zhengbiao, et al. Rheological and gel properties of corn starch-xanthan mixed systems [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(9): 357-362. (in Chinese with English abstract)

0 引言

淀粉与非淀粉类亲水性胶体是食品中两类重要的组分, 在现代食品工业中, 两者通常被共同应用于食品体系中, 以起到控制水分流动、提高整个产品的质量和稳定性, 简化加工工艺等作用^[1]。将淀粉与胶体复配使用, 发挥两者间的协同互补作用, 既可克服原淀粉本身性能的不足, 降低用量及产品成本, 又可扩大淀粉和胶体的应用范围, 使其广泛应用于饮料、肉制品、焙烤食品以及调味品等的生产中。

淀粉糊化后能形成具有一定弹性和强度的凝胶, 凝胶的黏弹性、强度等特性直接影响到淀粉质食品的加工性能及品质, 加工过程中原料的输送、搅拌、混合、能量的损耗等均与凝胶体的流变特性密切相关^[2-3]。因此, 关于淀粉与胶体复配体系流变和凝胶特性的研究极为重要。玉米淀粉 (corn starch, CS) 是可利用的最廉价的淀粉, 其流变和凝胶特性有助于使调料既具有稠性又始终为短性糊丝, 可做零售业或公共饮食业的增稠剂^[4]。但因其易老化, 冻融稳定性差, 限制了在长货架期和冷冻食品中的应用。Ramsdem^[5-6]等的研究表明, 黄原胶 (xanthan gum, XG) 可有效地抑制玉米淀粉的回生, 提高其增稠

性和冻融稳定性。Alloncle^[7]等比较了黄原胶、瓜尔胶和刺槐豆胶对玉米淀粉糊黏弹性的影响, 结果表明黄原胶对玉米淀粉的黏弹性的增加作用最为显著。而后, Sikora^[8]等将玉米淀粉与黄原胶复配后, 作为增稠剂应用于可可糖浆中, 从感官评定, 质构和流变学性质等多方面评价了其应用效果。目前, 国外对玉米淀粉与黄原胶复配体系糊化和回生特性的研究报道较多, 对其流变和凝胶特性的报道较少。

国内关于淀粉与胶体复配的研究报道甚少, 柴春祥^[9]等考察了黄原胶与马铃薯复配体系的静态与动态流变学特性。表明黄原胶可增加马铃薯淀粉体系的黏弹性。对玉米淀粉与黄原胶复配体系的研究还未见报道, 目前还缺乏系统、全面的研究。本文以玉米淀粉为原料, 加入不同比例的黄原胶, 利用动态流变仪、物性测试仪和扫描电镜, 研究两者复配后体系流变和凝胶特性的变化, 为更好的在食品工业中应用玉米淀粉/黄原胶复配体系及品质控制提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

玉米淀粉: 山东诸城兴贸玉米开发有限公司提供, 含水率 13.6%; 黄原胶: 苏州丹尼斯克 (中国) 有限公司提供, 含水率 9.5%。

1.2 仪器与设备

AR-100 型流变仪 (美国 TA 公司), XT21-物性测试仪 (美国 TA 公司), QUANTA-200 型扫描电子显微镜 (美国 FEI 公司)。

收稿日期: 2011-01-25 修订日期: 2011-08-08

基金项目: 国家自然科学基金项目 (21076096); 高等学校博士学科点专项科研基金项目 (20100093110001)

作者简介: 张雅媛 (1981-), 女, 吉林省吉林市人, 博士生, 主要从事淀粉与生物大分子的相互作用研究。Email: yayuanzhang325@hotmail.com

*通信作者: 顾正彪 (1965-), 男, 教授, 博士生导师。研究方向: 碳水化合物资源的开发与利用。Email: zhengbiaogu@yahoo.com.cn

1.3 试验方法

1.3.1 样品制备

依据前期预试验结果,选取5个不同配比玉米淀粉/黄原胶复配体系(10:0, 9.5:0.5, 9.0:1.0, 8.5:1.5, 8.0:2.0, 质量比, g/g)。准确称取不同配比的玉米淀粉/黄原胶样品,加入去离子水调成质量分数6%的玉米淀粉与黄原胶悬浮液(以干基计),置于磁力搅拌器上800 r/min水化30 min,然后于沸水浴中加热糊化15 min。

1.3.2 流变特性的测定

流变特性的测定均取用按1.3.1方法调制成的样品。采用平板-平板测量系统,平板直径4 cm,设置间隙0.5 cm,加入样品,刮去平板外多余样品,加上盖板,并加入硅油以防止水分蒸发。每次测试均需更换样品。

静态剪切流变的测试:在25℃下,测量剪切速率($\dot{\gamma}$)从0~300 s⁻¹递增,再从300 s⁻¹~0递减范围内样品变化情况。采用Herschel-Bulkley模型对数据点进行回归拟合,决定系数 R^2 表示方程拟合和精度。Herschel-Bulkley方程:

$$\sigma = \sigma_0 + K\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

式中, σ 代表剪切应力,Pa; σ_0 代表屈服应力,Pa; K 代表稠度系数,Pa·sⁿ; $\dot{\gamma}$ 为剪切速率,s⁻¹; n 代表流体指数。

动态黏弹性测定:温度25℃,扫描应变1%,测定由低频率(0.1 Hz)至高频率(10 Hz)内贮能模量(G')、损耗模量(G'')及损耗角正切值($\tan\delta = G''/G'$)随角频率的变化。

动态时间扫描测定:温度4℃,频率设定为0.5 Hz,扫描应变1%,测定2h内样品弹性模量(G')和 $\tan\delta$ 的变化。

1.3.3 凝胶质构测定

取用按1.3.1方法调制成的淀粉/黄原胶复配物,直接在4℃下冷藏,24 h后取出放置至室温,采用物性测试仪对凝胶进行质地剖面分析。测定条件:测前速度为1.0 mm/s,测试速度1.0 mm/s,测后速度1.0 mm/s,触发力0.049 N,压缩程度40%。

1.3.4 扫描电镜观察

将按1.3.1方法调制成的玉米淀粉和玉米淀粉/黄原胶复配体系(9.0:1.0, g/g)两个样品,进行冷冻干燥后,

用四氧化锇气体在密壁容器内固定4 h,然后经离子溅射仪喷金,于扫描电子显微镜下进行观察。

1.3.5 统计分析

所有试验均重复3次,采用DPS软件计算平均值和标准差,使用Tukey法($p < 0.05$)比较平均值之间的差异性。

2 结果与分析

2.1 静态剪切流变特性的测定

由图1可见,黄原胶比例不同的淀粉糊在流动过程中所需的剪切应力随着剪切速率的增加而增大,随着胶体比例的增加,复配体系流动过程中所需的剪切应力减小。依据幂定律(Herschel-Bulkley)对各曲线数据点进行拟合(见表1),结果显示决定系数 R^2 均在0.99以上,Herschel-Bulkley模型对曲线具有较高的拟合精度。屈服应力 σ_0 大于0,流体指数 n 小于1,表明玉米淀粉/黄原胶复配体系为典型的屈服-假塑性流体^[10]。添加黄原胶后,复配体系上行曲线与下行曲线的稠度系数 K 显著增加, σ_0 及 n 值降低,说明复配体系具有更强的增稠性及假塑性,更易剪切稀化。统计分析结果表明,黄原胶比例为10%时,复配体系的 K , σ_0 及 n 值显著增加,大于10%时,增加不再显著。

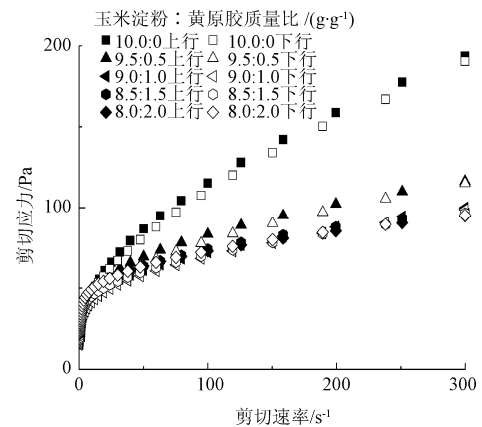


图1 玉米淀粉/黄原胶复配体系静态流变曲线

Fig.1 Flow curves of corn starch/xanthan gum mixed systems

表1 玉米淀粉/黄原胶复配体系 Herschel-Bulkley 方程拟合参数

Table 1 Herschel-Bulkley parameters for corn starch/xanthan gum mixed systems

样品配比(玉米淀粉:黄原胶)/(g·g ⁻¹)	屈服应力 σ_0 /Pa	稠度系数 K /(Pa·s ⁿ)	流体指数 n	决定系数 R^2	触变环面积/(Pa·s ⁻¹)
10.0:0	28.37±2.51 ^a /18.15±0.76 ^a	7.25±1.49 ^b /8.31±1.60 ^c	0.53±0.02 ^a /0.51±0.01 ^a	0.997/0.996	2276±73.50 ^a
9.5:0.5	21.68±1.72 ^b /15.78±1.59 ^a	11.44±2.13 ^b /11.86±1.09 ^{bc}	0.37±0.01 ^b /0.38±0.00 ^b	0.999/0.998	1064±27.39 ^b
9.0:1.0	8.94±0.57 ^c /8.10±0.36 ^b	20.73±2.45 ^a /16.92±1.85 ^{ab}	0.26±0.01 ^c /0.29±0.02 ^c	0.994/0.997	907±47.60 ^c
8.5:1.5	8.69±0.21 ^c /7.83±8.15 ^b	22.88±0.78 ^a /18.24±0.81 ^{ab}	0.23±0.01 ^{cd} /0.26±0.01 ^c	0.996/0.995	831±37.20 ^c
8.0:2.0	8.59±0.30 ^c /6.89±6.67 ^b	25.90±2.74 ^a /24.19±3.74 ^a	0.22±0.01 ^d /0.20±0.01 ^c	0.998/0.997	-51±21.93 ^d

注:“/”前数据为上行线拟合数据;“/”后数据为下行线拟合数据。在同一列里的平均值(±标准差)所带的不同字母表示差异显著($p < 0.05$)

剪切稀化是剪切引起的分子形变伴随着流体力学相互作用的变化及其作用下大分子既旋转又形变的状态。在淀粉糊中,线性大分子链(主要为直链淀粉)彼此之间相互缠结,使得由分子相对运动引起的流动变得困难。当受到剪切作用时,分子结构被拉直取向,缠结点减少,

流动阻力降低,从而使表观黏度下降^[11-12]。黄原胶是由3种不同单糖(D-甘露糖、D-葡萄糖、D-葡萄糖醛酸)构成的高分子杂多糖,由于自身负电荷间的相斥性使之分子内无法形成氢键,分子链较为舒展^[13],因而,易于与淀粉分子间相互作用形成氢键,使得分子链段间的缠结

点增加。对流动产生的黏性阻力增强，使剪切稀化程度增加。同时，分子缠结使得其体系黏度增加，因此，复配体系表现出更高的增稠性。

触变性是水溶性高分子溶液重要流变学特性之一。淀粉经外部剪切作用后，由于内部结构破坏而使表观黏度不同程度回升，因而呈现出具有不同面积大小的滞后回路，黏性保持好，触变环面积小，用触变环面积可以确定淀粉结构被打破所需要能量^[14-15]。由图 1 和表 1 可知，随着胶体比例的增加，复配体系触变环面积显著减小，当玉米淀粉与黄原胶比例为 8.0 : 2.0 g/g 时，体系曲线表现出逆时针环状，这表明此比例下的复配体系经剪切作用后，在短时间内形成新的结构体系，从而导致流动阻力增大，与上行曲线相比，下行曲线剪切应力增加。

2.2 动态黏弹性测定

糊凝胶体系的动态黏弹性与其实际应用性能直接相关。储能模量 (G') 代表能量贮存而可恢复的弹性性质。损耗模量 (G'') 代表能量消耗的黏性性质^[16]。由图 2 可见，所测样品的可见，所测样品的 G' 均远大于 G'' ，损耗角正切值 ($\tan\delta$) 小于 1， G' 与 G'' 随频率增加而上升，表现为一种典型的弱凝胶动态流变学谱图^[17]。添加黄原胶后，复配体系的 G' 和 G'' 均显著增加，且随着黄原胶比例的增加而增大，复配体系表现出更为优越的黏弹性。这进一步表明复配体系结构内部的分子链段间的缠结点增多，凝胶体系网络结构加强。 $\tan\delta$ 为 G'' 与 G' 比值， $\tan\delta$ 越大，表明体系的黏性比例越大，流动性强，

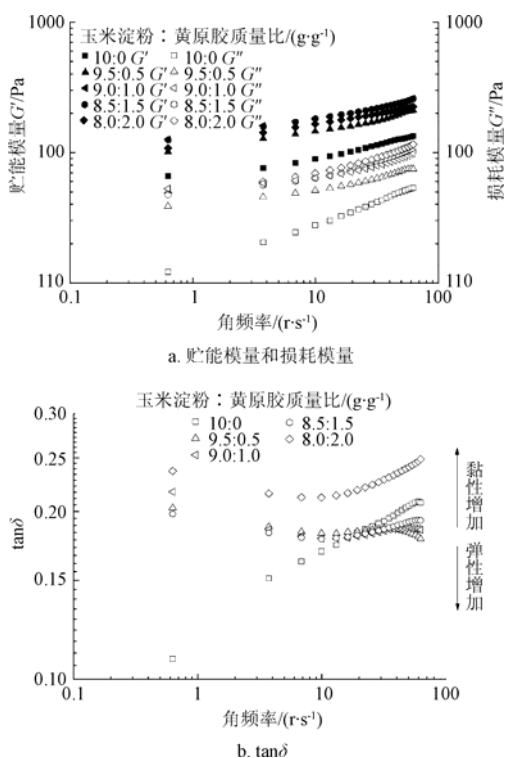


图 2 玉米淀粉与黄原胶复配体系动态模量及 $\tan\delta$ 随频率变化曲线

Fig.2 Curves of dynamic modulus and $\tan\delta$ with frequency of corn starch/xanthan gum mixed systems

反之则弹性比例较大^[18]。与玉米淀粉相比，复配体系 $\tan\delta$ 的频率依赖性降低，当玉米淀粉与黄原胶比例为 8.0 : 2.0 g/g 时， $\tan\delta$ 最高，复配体系具有更好的协同增稠作用。

2.3 动态时间扫描的测定

淀粉回生的重要表现是 G' 显著升高， $\tan\delta$ 变小。在回生的初始阶段（糊化后的几小时内），主要为渗漏的直链淀粉分子间进行定向迁移，分子间沿链排列的大量羟基通过链间氢链与邻链上的羟基相结合，形成三维凝胶网状结构，导致 G' 快速升高^[19-20]， G' 值可作为直链淀粉的回生量度。

图 3 为不同配比的玉米淀粉/黄原胶复配体系在加热糊化后 2 h 内储能模量 (G') 与 $\tan\delta$ 随时间变化曲线。在测量的初始阶段，复配体系的 G' 大于单独玉米淀粉凝胶体系的 G' ，这亦与动态黏弹性的测定结果一致。随着时间变化，两者 G' 值均逐渐增加，同时伴随着 $\tan\delta$ 的逐渐降低。与复配体系相比，玉米原淀粉凝胶体系 G' 在最初 30 min 内升高很快，然后增长速度延缓，进入较稳定阶段。复配体系 G' 增长速度随着黄原胶比例的增加而延缓，最终，复配凝胶体系的 G' 反低于玉米淀粉凝胶体系的 G' 。表明，复配体系在短时间内具有更好的稳定性，其应用于食品中时可更好地改善因产品老化而产生的品质变化。黄原胶对淀粉短期回生的抑制作用主要存在以下两方面的原因，一方面，黄原胶的添加避免了淀粉体系内海绵状结状结构的形成发展，从淀粉颗粒中析出的直链淀粉与黄原胶结合，减少了淀粉自身的结合。另一方面，水作为增塑剂有助于淀粉分子链的迁移，参与

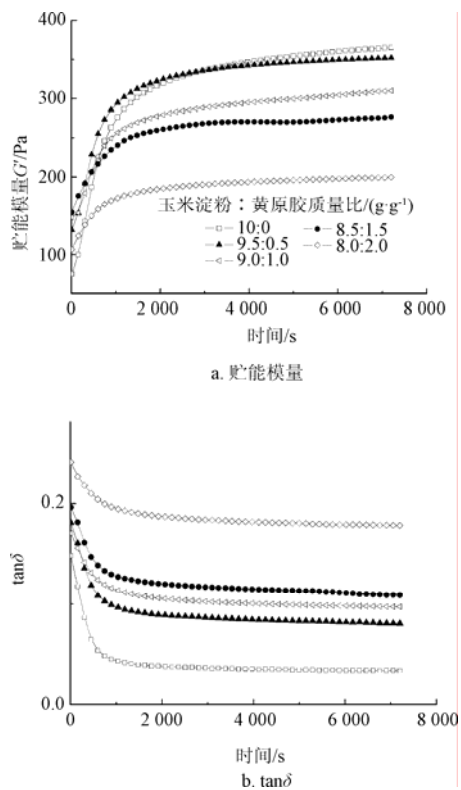


图 3 玉米淀粉与黄原胶复配体系储能模量及 $\tan\delta$ 随时间变化曲线

Fig.3 Curves of storage modulus and $\tan\delta$ with time of corn starch/xanthan gum mixed systems

淀粉分子链的重结晶,而黄原胶具有较强的亲水性,与水的结合能力强。因此,复配体系内的淀粉分子链由于自由水含量的减少,重排变得困难,降低了淀粉的回生程度^[21-22]。

2.4 玉米淀粉与黄原胶复配体系凝胶质构分析

由表2凝胶质构分析结果来看,与玉米原淀粉相比,添加黄原胶引起了复配体系凝胶硬度值、弹性值、内聚性及黏合度降低。但变化趋势未随黄原胶添加比例的增加而呈现规律性变化。其中内聚性和黏合度随着黄原胶比例的增加呈现出先降低后升高的趋势。淀粉凝胶的硬度与直链淀粉含量密切相关,一般而言,直链淀粉含量越大,分子相互间交连和缠绕的程度就越高,由此淀粉凝胶的强度越大,支链淀粉分子的相互缠绕则使得淀粉凝胶具有软的结构而不易破坏^[23-24]。黄原胶的添加阻碍了直链淀粉分子间的聚集重排,削弱了直链淀粉分子间的作用力,黄原胶与淀粉分子间的缠绕使其复配体系形成了质地更为柔软的凝胶。

统计学分析表明,当黄原胶比例大于10%,即玉米淀粉与黄原胶比例小于9.0:1.0 g/g时,复配体系凝胶的稠度系数(K)和硬度变化不再显著。即增稠作用和抑制回生效果不再显著。因此应用中选择玉米淀粉与黄原胶的比例为9.0:1.0 g/g时较为适宜。实际生产中若代替木薯交联酯化淀粉作为增稠剂应用于酱类食品时,可节约成本约40%。

表2 玉米淀粉/黄原胶复配体系凝胶质构参数

Table 2 Parameters of texture profile of corn starch/xanthan gum mixed systems

样品配比 (玉米淀粉:黄原胶)/(g·g ⁻¹)	硬度/N	弹性/N×10 ⁻³	内聚性	黏合度/N·s
10:0	1.202±0.065 ^a	9.095±0.029 ^a	0.658±0.010 ^a	-0.434±0.003 ^a
9.5:0.5	0.800±0.058 ^b	8.950±0.012 ^a	0.620±0.006 ^b	-0.237±0.005 ^c
9.0:1.0	0.233±0.030 ^c	9.006±0.020 ^a	0.533±0.007 ^d	-0.190±0.004 ^c
8.5:1.5	0.218±0.032 ^c	8.820±0.059 ^b	0.576±0.003 ^c	-0.225±0.002 ^d
8.0:2.0	0.202±0.010 ^c	8.869±0.049 ^b	0.577±0.025 ^c	-0.270±0.005 ^b

2.5 玉米淀粉与黄原胶复配体系微观结构

选用玉米淀粉/黄原胶比例9.0:1.0 g/g,观察复配体系微观结构的变化。由图4可见,添加黄原胶后,复配体系的微观结构发生显著变化,凝胶表面孔洞大小和分布的均匀性存在显著差异。玉米淀粉糊化后的凝胶体系(图4a)存有大量淀粉颗粒碎片,表面结构较为粗糙,孔洞多,且分布不均匀,结构松散。加入黄原胶后(图4b),复配体系表面孔洞缩小,数量减少,与玉米原淀粉相比,更为光滑。黄原胶填充于淀粉颗粒片段间,与渗漏出的直链、支链淀粉组成了较为均匀连续相,形成了结构致密的类蜂窝状结构。微观结构的显著变化导致了复配体系与玉米原淀粉体系间流变及凝胶特性的不同,玉米淀粉/黄原胶复配体系表现出更好的协同增效性。

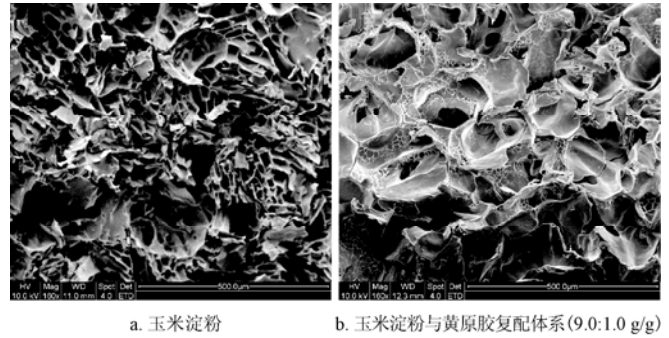


图4 玉米淀粉与黄原胶复配体系微观结构(放大倍数×160)

Fig.4 Microstructure of CS and CS/XG mixed system (×160 times)

3 结论

1) 玉米淀粉与黄原胶可通过分子间的相互作用而达到协同增效的作用,复配后的体系具有更高的稠度系数 K 及动态模量。在外力剪切作用下,体系的流体指数 n 降低,假塑性增强。

2) 在冷却阶段,黄原胶与直链淀粉分子间发生相互作用,从而使分子链段间的缠结点增多,胶体与淀粉分子段间的作用延缓及阻止了部分直链淀粉分子之间凝胶化作用,抑制了淀粉由于自身分子链的重排而引起的回生。与原淀粉凝胶体系相比,复配体系糊化后2 h内的贮藏能量 G 增长速度延缓,放置24 h后形成的凝胶硬度更低。

3) 与玉米原淀粉相比,复配体系的微观结构发生显著变化,形成了更为均匀致密的类蜂窝状结构。

综合考虑成本和复配效果,表明在实际应用中选择玉米淀粉与黄原胶的比例为9.0:1.0 g/g较为适宜。复配是一种成本低、效果好、工艺简单、适合工业化生产的方法,采用复配的方法,可改善玉米淀粉本身性能的不足,从而减少或替代变性淀粉在食品中的应用。对玉米淀粉与黄原胶复配体系流变及凝胶特性的研究是深入探讨大分子多糖间复配机理及其性能影响规律的基本依据。

[参考文献]

- [1] Kim C, Yoo B. Rheological properties of rice starch-xanthan gum mixtures[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 75(1): 120-128.
- [2] 吕振磊, 李国强, 陈海华. 马铃薯淀粉糊化及凝胶特性研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(3): 22-27.
Lü Zhenlei, Li Guoqiang, Chen Haihua. Gelatinization and gel properties of potato starch[J]. Food and machinery, 2010, 26(3): 22-27. (in Chinese with English abstract)
- [3] 许永亮, 程科, 赵思明, 等. 不同品种大米淀粉的流变学特性研究[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(4): 16-20.
Xu Yongliang, Cheng Ke, Zhao Siming, et al. Rheological properties of starches from different rice variety[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2006, 21(4): 16-20. (in Chinese with English abstract)
- [4] 二国二郎. 淀粉科学手册[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1989.

- [5] Lo C T, Ramsdem L. Effects of xanthan and galactomannan on the freeze/thaw properties of starch gels[J]. *Nahrung*, 2000, 44(3): 211—214.
- [6] Weber F H, Clerici M T P S, Collares-Queiroz F P, et al. Interaction of guar and xanthan gums with starch in the gels obtained from normal, waxy and high-amylose corn starches[J]. *Starch/Stärke*, 2009, 61(1):28—34.
- [7] Alloncle M, Doublier J L. Viscoelastic properties of maize starch/hydrocolloid pastes and gels[J]. *Food Hydrocolloids*, 1991, 5(5): 455—467.
- [8] Sikora M, Juszczak L, Sady M, et al. Use of starch/xanthan gum combinations as thickeners of cocoa syrups[J]. *Nahrung*, 2003, 47(2): 106—113.
- [9] 柴春祥, Sundaran gunasekaran. 黄原胶对马铃薯淀粉流变学特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2007, 23(8): 115—118.
- [10] 张伏, 付三玲, 佟金, 等. 玉米淀粉糊的流变学特性分析[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(9): 294—297.
Zhang Fu, Fu Sanling, Tong Jin et al. Rheological properties of maize starch pastes[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(9): 294—297. (in Chinese with English abstract)
- [11] Wang Yong, Wang Lijun, Li Dong, et al. Effect of flaxseed gum addition on rheological properties of native maize starch[J]. *Journal of Food Engineering*, 2008, 89(1): 87—92.
- [12] 张喻, 谭兴和, 熊兴耀, 等. 60Co- γ 射线辐照处理后马铃薯淀粉糊的流变特性[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(11): 379—383.
Zhang Yu, Tan Xinghe, Xiong Xingyao, et al. Rheological properties of potato starch pastes treated by 60Co- γ radiation[J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(11): 379—383. (in Chinese with English abstract)
- [13] 詹晓北, 王卫平, 朱莉. 食用胶的生产、性能与应用[M]. 中国轻工业出版社, 2003.
- [14] 谭洪卓, 谷文英, 刘敦华, 等. 甘薯淀粉糊与绿豆淀粉糊的流变行为共性与区别[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(7): 32—37.
Tan Hongzhuo, Gu Wenying, Liu Dunhua, et al. Sameness and difference of rheological behavior between sweet potato and mung bean starch pastes[J]. *Transactions of the CSAE*, 2006, 22(7): 32—37. (in Chinese with English abstract)
- [15] 邹海魁, 陈建峰, 王国全, 等. 纳米 CaCO₃ 用 VC 增塑糊体系触变性能研究[J]. *高校化学工程学报*, 2003, 17(2): 207—211.
Zou Haikui, Chen Jianfeng, Wang Guoquan et al. Study on mechanism of thixotropy of polyvinyl chloride paste resin filled with nano-sized calcium carbonate[J]. *Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities*, 2003, 17(2): 207—211. (in Chinese with English abstract)
- [16] Yuvaret Viturawong, Piyada Achayuthakan, Manop Suphantharika. Gelatinization and rheological properties of rice/xanthan mixtures[J]. *Food Chemistry*, 2008, 111(1): 106—114.
- [17] 顾娟, 洪雁, 顾正彪. 荞麦淀粉理化性质的研究[J]. *食品与发酵工业*, 2008, 34(4): 36—39.
Gu Juan, Hong Yan, Gu Zhengbiao. Study on physico-chemical properties of buckwheat starch[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2008, 34(4): 36—39. (in Chinese with English abstract)
- [18] Dirk Eidam, Werner-Michael Kulicke, Hamburg. Formation of maize starch gels selectively regulated by the addition of hydrocolloids[J]. *Starch/Stärke*, 1995, 47(10): 378—384.
- [19] Biliaderis C G, Zawistowski J. Viscoelastic behavior of aging starch gels: effects of concentration, temperature, and starch hydrolysates on network properties[J]. *Cereal Chem*, 1990, 67(3): 240—246.
- [20] Takao Nagano, Eri HTamaki, Takahiro Funami. Influence of guar gum on granule morphologies and rheological properties of maize starch[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2008, 72(1): 95—101.
- [21] Lee M H, Baek M H, Cha D S. Freeze-thaw stabilization of sweet potato starch gel by polysaccharide gums[J]. *Food Hydrocolloids*, 2002, 16(4): 345—352.
- [22] 周裔彬, 汪东风, 宛晓春, 等. 茶多糖对面包粉及其淀粉糊化和老化特性的影响[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(增刊1): 228—232.
Zhou Yibin, Wang Dongfeng, Wan Xiaochun, et al. Effects of tea polysaccharide on gelatinization and retrogradation properties of wheat flour and its starch[J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(Supp.1): 228—232. (in Chinese with English abstract)
- [23] 朱帆, 徐广文, 丁文平. 表观直链淀粉含量对小麦淀粉凝胶流变特性影响的研究[J]. *食品科学*, 2008, 29(2): 43—47.
Zhu Fan, Xu Guangwen, Ding Wenping. Research on effects of apparent amylose content on rheological properties of wheat starch gels[J]. *Food science*, 2008, 29(2): 43—47. (in Chinese with English abstract)
- [24] 陈海华, 薛长湖. 淀粉对竹荚鱼糜流变性质和凝胶特性的影响[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(5): 293—298.
Chen Haihua, Xue Changhu. Effects of starch on rheological and gel properties of horse-mackerel surimi[J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(5): 293—298. (in Chinese with English abstract)

Rheological and gel properties of corn starch-xanthan mixed systems

Zhang Yayuan¹, Hong Yan¹, Gu Zhengbiao^{1,2*}, Zhu Ling¹

(1. *School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;*

2. *The State Key Laboratory of Food Science and Technology, Wuxi 214122, China*)

Abstract: In order to investigate the effects of hydrocolloid on the rheological and gel properties of starch paste, rheological and gel behaviors of corn starch and corn starch/xanthan gum mixed systems were studied. The mechanism of interaction between corn starch and xanthan gum was also analyzed. The results showed that corn starch and corn starch/xanthan gum mixed pastes were the typical yield-pseudoplasticity. A significant synergistic effect on consistency index was evident. The flow behavior index of mixed pastes was increased as the ratio of xanthan gum in the mixtures was raised. The mixture pastes exhibited more pseudoplasticity, but the effect was not pronounced as the proportion of xanthan gum was greater than 10%. The dynamic oscillatory test showed that the mixture pastes had a more superior viscoelastic property. The xanthan gum molecules exerted intermolecular interactions with the amylose molecules by hydrogen bond. The short-term retrogradation of amylose was prolonged and restricted by the presence of xanthan gum. The mixed gels were softer. Based on an overall consideration, a 9.0:1.0 (g/g) mixture of corn starch and xanthan gum proved to be the optimal additive. The research results will provide a theoretical basis for application and quality control of corn starch/xanthan gum mixed system in food industry.

Key words: starch, gels, rheology, xanthan gum, mix