

大米淀粉糊化过程的光谱分析^{*}

李 □ 钟 芳^{**} 麻建国 顾小红

(江南大学食品学院 食品科学与技术国家重点实验室 无锡 214036)

摘 要 采用衰减全反射傅立叶变换红外光谱仪跟踪测定了不同品种大米淀粉的糊化过程,同时与 X-射线衍射仪测定的淀粉结晶度相对比,研究了淀粉颗粒内结晶结构在糊化过程中变化的详细情况.利用红外光谱仪计算出天然大米淀粉及其在糊化过程中各个阶段代表结晶区特征的 1047 cm^{-1} 和代表非晶区特征的 1022 cm^{-1} 两处红外吸收峰强度的比值.结果表明,天然淀粉的结晶区主要由支链淀粉侧链的双螺旋结构所形成;在加热过程中淀粉的结晶结构被破坏,并且直链淀粉含量越高,其结晶结构在糊化过程中破坏越慢,说明直链淀粉能抑制淀粉结晶结构的破坏.利用 X-射线衍射仪测定了大米淀粉糊化过程各个阶段的结晶度,进一步验证了淀粉的结晶结构在糊化过程中的损失.虽然,两种测定方法对‘结晶度’的定义不同,但对于淀粉结晶程度的测定具有相关性和可比性,能为研究淀粉的糊化行为提供有利的补充信息.

关键词 大米淀粉, 傅里叶变换红外光谱, X-射线衍射, 结晶区, 非晶区

糊化是淀粉的一个非常重要的特性,在淀粉中由于直链淀粉和支链淀粉通过氢键缔合形成结晶胶束区,因此淀粉分子在冷水中是不溶的,但是随温度的上升,淀粉颗粒开始膨胀,随着可溶的直链淀粉及不可溶但分散在溶液中的支链淀粉颗粒的膨胀和破裂使溶液的粘度不断上升.以大米淀粉为功能性添加剂的产品在加热过程中的糊化特性是影响产品最终品质的重要因素之一^[1,2].

淀粉的傅里叶变换红外光谱 (FTIR) 对淀粉结晶、分子链的构象及螺旋结构的改变十分敏感^[3,4].与 X 射线衍射 (XRD) 法测量分子链堆砌形成的分子间次序 (或称为长程序列) 不同,FTIR 法测量的是一种短程的分子内作用的现象,但是短程范围内分子结构的变化对整个样品的物化特性却能产生重大的影响^[5].1995 年, van Soest 等在研究中得出淀粉在 1047 cm^{-1} 的红外吸收是淀粉结晶区的结构特征,代表了短程分子内的有序结构;而在 1022 cm^{-1} 的红外吸收则是淀粉非晶区的结构特征,两者的比值可用来表示淀粉颗粒在短程范围内的结晶程度^[6].目前,用衰减全反射傅里叶变换红外光谱 (ATR-FTIR) 技术研究淀粉品种与糊化特性关系鲜见报道.本文利用 FTIR 光谱仪,结合衰减全反射附件和 OMNI 采样器跟踪测定了不同品种的大米淀粉的加热糊化过程,同时与 XRD 测定的淀粉结晶度相对比,研究了不同直链

淀粉含量的大米淀粉在糊化过程中结晶结构随温度的变化情况.

1 实验部分

1.1 材料与仪器

大米淀粉样品, Cocodrie 淀粉、Koshi 淀粉、M202 淀粉和 Calmochi101 淀粉,美国大米协会大米研究中心 (Rice Experiment Station, Biggs, CA, USA); AR-1000 流变仪,英国源顺国际有限公司;傅里叶变换红外光谱仪 Nexus 470 型、三醋酸硫酸酯 (DTGS) 感光器、衰减全反射 (ATR) 附件 (基底材料为锗)、OMNI 采样器,美国 Thermo Nicolet 公司; X-射线衍射仪 D8S 型,德国 Bruker 公司.

1.2 实验过程

1.2.1 大米淀粉中直链淀粉含量测定 采用直链淀粉/支链淀粉分析试剂盒,根据 ConA 法进行测定^[7].

1.2.2 大米淀粉糊化特性参数的确定 采用 AR1000 流变仪的 Flow 模式测定糊化曲线^[8].淀粉溶液的浓度为 8.8% (以干基计),淀粉溶液脱气后再加入流变仪测试平台.测定选用 40 mm、4° 的锥板,设置间隙为 0.1 mm,剪切速率为 200 s^{-1} ,温度变化程序为 50℃ 保持 1 min,以 10 K/min 的速率升至 95℃,保持 3 min,再以 10 K/min 的速率降至 50℃,保持 1 min.

^{*} 2007-10-24 收稿,2007-11-29 修稿;国家高技术研究发展计划 (863 计划,项目号 2006AA10Z327) 和江苏省自然科学基金 (基金号 BK2007502) 资助项目; ^{**} 通讯联系人, E-mail: lzhong@jiangnan.edu.cn

1.2.3 大米淀粉的 FTIR 分析 先以水为背景在傅立叶红外光谱仪上进行波长扫描,再将大米淀粉样品配成 6% 的溶液,于加热台上从 50 至 90℃,以 5 K/min 的速率程序升温,同时以搅拌器不断搅拌均匀,分别于室温(25℃)、60、65、70、75、80 和 85℃ 取样 0.5 mL 加入到 OMNI 采样器中,对淀粉溶液样品进行波长扫描,操作温度都在室温下进行,ATR 的入射角为 45°,光谱范围 4000 ~ 650 cm^{-1} ,分辨率为 4 cm^{-1} ,扫描累加 64 次.利用 OMNIC 6.2 软件处理得到 FTIR 图谱和去卷积图谱,去卷积参数控制半峰宽为 26,增强因子为 2.4.

1.2.4 大米淀粉的 X-射线衍射分析 将大米淀粉样品配成 6% 的溶液,于加热台上从 50 至 90℃,以 5 K/min 的速率程序升温,同时以搅拌器不断搅拌均匀,分别于室温(25℃)、60、65、70、75、80 和 85℃ 取样,迅速冷冻至 - 80℃,进行冷冻干

燥.将冷冻干燥的样品过 200 目筛后用 BrukerD8S X-射线衍射仪进行测定,仪器的电压为 40 kV,电流 40 mA,发散狭缝 1°,防发散狭缝 1°,接受狭缝 0.2 mm,扫描速度 5 s/步,起始角度 3°,终止角度 55°.

2 结果与讨论

2.1 4 种大米淀粉的糊化特性参数

表 1 显示的是不同品种大米淀粉的直链淀粉含量和糊化特性参数,由表可以看出糊化起始温度和峰值温度随着不同大米淀粉中直链淀粉含量的增大而增大,崩解值则随直链淀粉含量的增大而减小,这些结论与之前的报道一致^[9,10].蜡质大米淀粉由于主要由支链淀粉组成,颗粒容易吸水膨胀,所以表现最高的峰值粘度,又由于其只含有极少量的与形成网络结构有关的直链淀粉,因此又表现出最低的回生值.

Table 1 Amylose content and paste viscogram data of different rice starches

Rice starch varieties	Amylose content (%)	Onset temp (°C)	Peak temp (°C)	Peak viscosity (Pa·s)	Break down (Pa·s)	Setback (Pa·s)
Calmochi101	0.80 ± 0.06	65.4 ± 0.2 ^a	73.1 ± 0.3 ^a	0.86 ± 0.03 ^c	0.34 ± 0.04 ^c	0.27 ± 0.04 ^a
M202	13.4 ± 0.3	66.5 ± 0.3 ^b	92.8 ± 0.2 ^b	0.55 ± 0.02 ^b	0.26 ± 0.03 ^b	0.37 ± 0.04 ^b
Koshi	14.4 ± 0.2	66.6 ± 0.3 ^b	93.7 ± 0.3 ^{b,c}	0.62 ± 0.03 ^c	0.25 ± 0.03 ^b	0.53 ± 0.05 ^c
Cocodrie	20.8 ± 0.4	72.8 ± 0.3 ^d	94.1 ± 0.3 ^c	0.48 ± 0.03 ^a	0.18 ± 0.03 ^a	0.30 ± 0.04 ^{a,b}

^{a-d}Mean values in the same column with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

2.2 4 种天然大米淀粉的 FTIR 分析

在未加热前(室温 25℃)4 种大米淀粉溶液的 FTIR 去卷积图谱见图 1.图中 1150,1124 和 1103 cm^{-1} 附近的吸收峰为 C—O—C 的伸缩振动和 C—C、C—H 的骨架振动;而 1080 cm^{-1} 附近的振动则是 C—O 的伸缩振动和 C—C 的骨架振动的复合表现.在 1047 cm^{-1} 附近的红外吸收是淀粉结晶区的结构特征,对应于淀粉聚集态结构中的有序结构;1022 cm^{-1} 附近的红外吸收则是淀粉非晶区的结构特征,对应于淀粉大分子的无规线团结构^[6,11,12,13];995 cm^{-1} 附近的吸收峰主要是由于 C—OH 的弯曲振动引起的,对应于淀粉大分子的羟基间所形成的氢键结构^[5];而 930 cm^{-1} 附近的吸收峰则为葡萄糖环的振动吸收峰.可以看出,对不同品种的淀粉其红外吸收峰的位置并无差别,但吸收峰的强度因大米淀粉的品种不同而有差异.

由于大米淀粉在 1047 和 1022 cm^{-1} 两处的比值表示淀粉分子结构中的结晶结构和非晶结构的

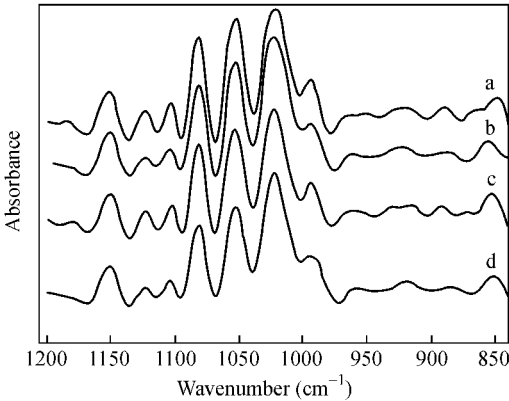


图 1 4 种大米淀粉在 1200 ~ 850 cm^{-1} 范围内的去卷积 FTIR 光谱
a) Calmochi101; b) M202; c) Koshi; d) Cocodrie

比例关系,其比值越大,颗粒内结晶区域越大^[6,11,12],因此我们计算了 $R(A_{1047}/A_{1022})$,得出各淀粉在室温下结晶程度的相对大小,见表 2.从表中可以看到,在室温下从 Calmochi 101 到 Cocodrie 随着淀粉中直链淀粉含量的增加, $R(A_{1047}/A_{1022})$

的值从 0.85 下降到 0.77,比值的减小说明随着不同品种的淀粉中直链淀粉含量的增加,淀粉结晶区的结构特征逐渐减弱,而非晶区的结构特征逐渐增强,这就证明了大米淀粉的结晶区主要由支链淀粉构成,这与一些学者的观点是一致的. Jacobs 等报道大米淀粉颗粒是一种局部结晶的网状结构,巨大的支链淀粉分子形成整个骨架,大米淀粉的结晶区主要由支链淀粉侧链的双螺旋结构构成,而支链淀粉的各个分支点则在非晶区域内^[14,15,16].

Table 2 The ratios (*R*) of the absorbance of the bands at 1047 and 1022 cm⁻¹ of different native rice starches before heating

<i>R</i> (<i>A</i> ₁₀₄₇ / <i>A</i> ₁₀₂₂)			
Calmochi101	M202	Koshi	Cocodrie
0.85	0.81	0.79	0.77

2.3 大米淀粉糊化过程的 FTIR 分析

天然淀粉含有大量的羟基极性基团,分子链之间具有较强氢键作用^[17].当淀粉颗粒在水溶液中加热时,由于暴露在水中的直链淀粉和支链淀粉中的羟基与水分子的相互作用,使淀粉颗粒开始吸水膨胀,水分子进入到淀粉颗粒内部致使淀粉链与链之间的氢键作用力被破坏,同时形成水合层,进一步打破其分子作用力,使颗粒膨胀到原体积的数倍以上,并导致直链淀粉溶出,部分支链淀粉分散到水溶液中^[18,19].为了获得大米淀粉糊化的详细信息,本实验运用红外光谱技术,跟踪测定了不同品种大米淀粉在加热过程中的变化.

M202 淀粉在糊化过程中不同温度下的 FTIR 去卷积图谱见图 3.从图中可以看到,在加热过程中,1047 和 1022 cm⁻¹ 两处的吸收峰都有一定的变化,而其他波长下的吸收峰变化并不明显.随着温

度的升高,在 1047 cm⁻¹附近的吸收峰强度越来越小,当温度达到 70℃ 时,也就是高于其糊化起始温度 5℃(各淀粉糊化起始温度见表 1),其强度已明显小于 60℃,说明在糊化过程中,淀粉结晶区的结构损失很快,支链淀粉的双螺旋结构由于受热和水分子的作用而被破坏.

与 M202 淀粉相似,其他不同品种的大米淀粉在糊化过程中,随着温度的升高,在 1047 和 1022 cm⁻¹ 两处的吸收峰强度都有明显的变化.图 4 对比了不同品种的大米淀粉在糊化过程中各温度下,1047 和 1022 cm⁻¹ 两处红外吸收比值的变化.淀粉糊化的本质是水分子进入淀粉颗粒中,结晶相和非晶相的分子之间的氢键断裂,破坏了淀粉分子间的缔合状态,使其分散在水中成为亲水性的胶体溶液^[16].从室温到 60℃,各淀粉的 *R*(*A*₁₀₄₇/*A*₁₀₂₂) 值基本保持不变,在这段温度范围内,水分子只是单纯地进入淀粉颗粒的微晶束的间隙中,淀粉粒缓慢地吸收少量的水分,产生有限的膨胀,而颗粒内部保持原来的晶体结构.当温度从 60℃ 升高到 65℃,从图中可以看到, Calmochi101、M202 和 Koshi 淀粉的 *R*(*A*₁₀₄₇/*A*₁₀₂₂) 值都有明显下降,而直链淀粉含量高的 Cocodrie 和 L-205 淀粉降低较为缓慢,因为 65℃ 已经接近前 3 种淀粉的糊化起始温度,水分子进入淀粉粒的内部,与一部分淀粉分子相结合,淀粉颗粒不可逆地吸收大量水分致使颗粒迅速膨胀,氢键断裂,从而打破了分子间的缔合状态,双螺旋伸直,破坏了支链淀粉的结晶结构.当温度进一步升高, Cocodrie 和 L-205 淀粉的 *R*(*A*₁₀₄₇/*A*₁₀₂₂) 值在接近其糊化起始温度(68.5 和 72.8℃)时也开始下降,而另外 3 种淀粉的 *R*(*A*₁₀₄₇/*A*₁₀₂₂) 值也继续下降,但下降幅度有所降低.在高温阶段,淀粉糊化后,继续加热,则大部分淀粉分子溶于水,分子间作用力很弱,淀粉颗粒全部失去原形,微晶束相应解体,变成碎片.我们注意到,在糊化过程中长粒米 Cocodrie 和 L205 淀粉的 *R*(*A*₁₀₄₇/*A*₁₀₂₂) 值都要高于中粒米 M202 和 Koshi 淀粉.根据图 4 我们计算了从室温到 85℃,加热过程中淀粉颗粒结晶结构的损失率分别为 Calmochi101 41%、M202 39%、Koshi 35%、L-205 30.6% 和 Cocodrie 27%.从以上数据可以看出,直链淀粉含量越低,淀粉颗粒的结晶结构在糊化过程中损失得越多,这就再一次验证了直链淀粉能够抑制淀粉颗粒的糊化膨胀,同时也说

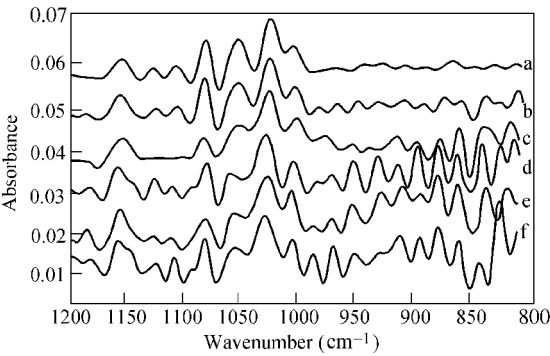


Fig. 2 Deconvoluted FTIR spectra of M202 starch at different temperatures during pasting
a) 60℃ ; b) 65℃ ; c) 70℃ ; d) 75℃ ; e) 80℃ ; f) 85℃

明直链淀粉能够阻止淀粉结晶结构在加热糊化过程中的破坏. 根据 Tsai 等的报道,直链淀粉加热溶出后,在开始阶段会缠绕在淀粉颗粒的表面,从而抑制淀粉颗粒的膨胀和受损^[20,21]. 另一方面,由于未溶出的直链淀粉分布在淀粉颗粒内,与支链淀粉的分支缠绕混合构成淀粉的半晶体结构^[22~24],所以未溶出的直链淀粉也会对支链淀粉的双螺旋结构起到一定的保护作用.

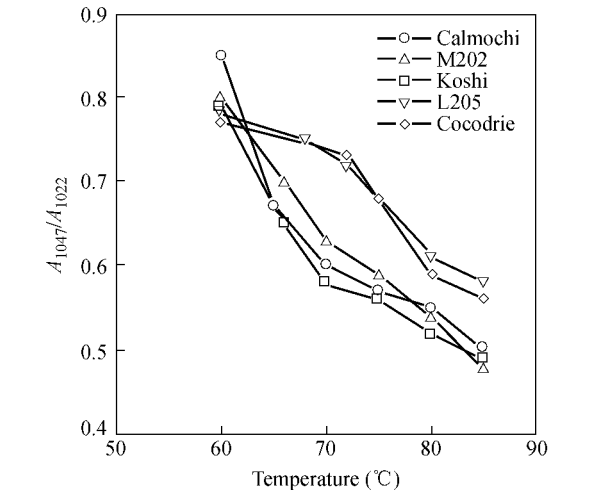


图 3 Ratio of absorbance at wavenumber 1047 cm^{-1} to 1022 cm^{-1} from FTIR of different starches during heating

2.4 大米淀粉糊化过程中的 XRD 分析

由于大米淀粉的半晶体结构,因此可以用广角度 X-射线衍射仪来测定其相对结晶度. 图 5 给出的是天然 M202 淀粉(a)及糊化至 85℃ 时的 M202 淀粉(b)的 X-射线衍射图谱. 由图可以看出,天然 M202 大米淀粉在 2θ 为 15° , 17° , 18° 和 23.5° 时都有出峰,这是典型的晶型为 A-型的淀粉特征^[25]. 当温度加热到 85℃ 时,结晶区的 X-射线衍射峰已经很不明显. 根据衍射峰的强度,可以计

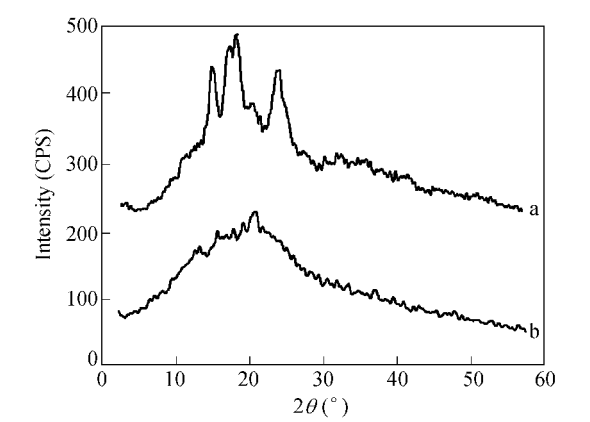


图 4 X-ray diffraction diagrams of M202 native rice starch (a), and the pasted rice starch heated to 85℃ (b)

算出大米淀粉在糊化过程中结晶度的变化,将所得衍射峰分解为结晶部分和非结晶部分,相对结晶度 X_c 即为结晶峰的面积与总面积的比值. 表 3 列出的是天然淀粉及糊化至不同温度的 M202 淀粉的相对结晶度. 由表可以看出,当糊化至起始糊化温度时,淀粉的相对结晶度就明显降低,过了糊化温度继续加热至 70℃ 时,相对结晶度显著下降至 21.2%,再继续加热至 85℃ 以后,相对结晶度下降至 10% 以下,因此,大米淀粉在加热至起始糊化温度以后其晶体结构就会很快被破坏.

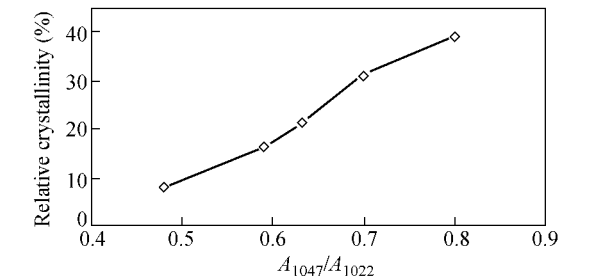


图 5 Relationship between the absorbance ratio A_{1047}/A_{1022} and relative crystallinity

Table 3 Relative crystallinity of native M202 starch and pasted starch at different temperatures

Rice starch pastes at different temperature	Total area of X-ray diffraction	Crystallinity area of X-ray diffraction	Relative crystallinity X_c (%)
Native rice starch	7385.4	2899.3	39.3
Pastes at 65℃	6150.7	1928.4	31.4
Pastes at 70℃	4822.5	1022.4	21.2
Pastes at 75℃	3979.3	625.1	16.4
Pastes at 85℃	3245.8	261.6	8.06

通过 X-射线衍射和傅里叶红外光谱两种测量手段都能得到有关淀粉结晶程度方面的信息, 图 6 比较了用红外光谱法和 X-射线衍射两种方法测定淀粉结晶程度的相关性. 其中, X 轴为红外光谱法测得的 $R(A_{1047}/A_{1022})$ 值, Y 轴为 X-射线衍射法测得的相对结晶度 X_c , 二者的相关系数达到 0.9925. 一般地讲,红外光谱测量的结晶度是基于测量有利于形成晶态所需要的旋转异构体,与平均密度有关,它所测量的是一种短程序列(或称为分子内作用现象),而 X-射线衍射法测量的是分子链堆砌形成的分子间次序(或称为长程序列)^[26]. 长程分子间的有序必须以短程的、分子内的有序为先决条件,但短程有序不一定非要形成长程序列. 红外光谱可以检测出结晶畴区的重复单元,但 X-射线衍射则检测不出. 从图 6 可以看

出,虽然两种测量手段的定义不同,但是能够相互印证,对于淀粉结晶程度的测定具有一定的相关性和可比性,能为研究淀粉的糊化行为提供有利的补充信息.

REFERENCES

1 Kar A, Jacquier J C, Moran D J, Lyng J G, McKenna B M. J Agric Food Chem, 2005, 53 : 8259 ~ 8264

2 Yeh A I, Li J Y. J Cere Sci, 1996, 23 : 277 ~ 283

3 Wu Hang (吴航), Ran Xianghai (冉祥海), Zhang Kunyu (张坤玉), Zhuang Yugang (庄宇刚), Dong Lisong (董丽松). Chem J Chinese Universities (高等学校化学学报), 2006, 27 (4) : 775 ~ 778

4 Higgins H G, Stewart C M, Harrington K J. J Poly Sci, 1961, 51 : 59 ~ 84

5 Sevenou O, Hill S E, Farhat I A. Int J Biol Macromol, 2002, 31 : 79 ~ 85

6 van Soest J J G, Toumois H, de Wit D. Carbohydr Res, 1995, 279 : 201 ~ 214

7 Yun S H, Matheson N K. Starch/Stärke, 1990, 42 : 302 ~ 305

8 Li Y, Shoemaker C F, Ma J, Kim J M, Zhong F. Food Chemistry, 2008, 106 : 1105 ~ 1112

9 El-Khayat G, Samaan J, Brennan C S. Starch/Stärke, 2003, 55 : 358 ~ 365

10 Varavinit S, Shobsngob S, Varanyanond W, Chinachoti P, Naivikul O. Starch/Stärke, 2003, 55 : 410 ~ 415

11 Kirill I S. Carbohydr Res, 2002, 337 : 1445 ~ 1451

12 Smits A L M, Ruhnau F C, Vliegenthart J F. Starch/Stärke, 1998, 50 : 478 ~ 483

13 Goodfellow B J, Wilson R H. Biopolymer, 1990, 30 : 1183 ~ 1189

14 Jacobs H, Delcour J A. J Agric Food Chem, 1998, 46 (8) : 2895 ~ 2905

15 Jenkins P J, Donald A M. Int J Biol Macromol, 1995, 17 (6) : 315 ~ 321

16 Zhang Yanpin (张燕萍). Production and Application of Modified Starches (变性淀粉制造与应用). Beijing (北京) : Chemistry Industry Press (化学工业出版社), 2001. 28 ~ 29

17 Jiang Wenbo (姜闻博), Qiao Xiuying (乔秀颖), Tang Zhongzhu (唐忠柱), Sun Kang (孙康). Acta Polymerica Sinica (高分子学报), 2006, (1) : 97 ~ 101

18 Tester R F, Morrison W R. Cereal Chemistry, 1990, 67 (6) : 551 ~ 557

19 Tester R F, Morrison W R. Cereal Chemistry, 1990, 67 (6) : 558 ~ 563

20 Tsai M L, Li C F, Lii C Y. Cereal Chemistry, 1997, 74 (6) : 750 ~ 757

21 Hoover R, Hadziyev D. Starch/Stärke, 1981, 33 : 290 ~ 300

22 Noosuk P, Hill S E, Pradipasena P. Starch/Stärke, 2003, 55 : 337 ~ 344

23 Patindol J, Wang Y J. J Agric Food Chem, 2003, 51 : 2777 ~ 2784

24 Lii C Y, Tsai M L, Tseng K H. Cereal Chemistry, 1996, 73 (4) : 415 ~ 420

25 Phothiset S, Charoenrein S. Food Research International, 2007, 40 : 266 ~ 272

26 Xue Gi (薛奇). Spectra Analysis on Macromolecule Structure (高分子结构研究中的光谱方法). Beijing (北京) : Higher Education Press (高等教育出版社), 1995. 147 ~ 148

SPECTRA ANALYSIS ON RICE STARCHES FROM DIFFERENT VARIETIES DURING PASTING

LI Yue, ZHONG Fang, MA Jianguo, GU Xiaohong

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, State Key Lab of Food Science and Technology (Jiangnan University), Wuxi 214122)

Abstract The pasting behavior of rice starches from different varieties was investigated using both attenuated total reflectance Fourier-transform IR spectroscopy and X-ray diffraction. For IR spectroscopy analysis, absorbance spectra were recorded on a spectrometer equipped with a deuterated triglycine sulphate detector using the Digilab attenuated total reflectance accessory. Starch dispersions (6%) heated to different temperatures were loaded on the OMNI sampler. Each spectrum, obtained at a resolution of 4 cm^{-1} , was an average of 64 scans, recorded against an empty cell as background and was subtracted from the spectrum of water. Spectra were baseline-corrected at 1200 cm^{-1} and 800 cm^{-1} by drawing a straight line. All spectra were deconvoluted.

The results indicated that the crystalline areas of the granule were mainly ascribed to double helices formed by amylopectin branches. The crystallinity of the granules was disrupted during pasting. The short-range order of waxy (Calmochi101) and medium (Koshi and M202) grain rice starches decreased rapidly with the temperature increasing from 60°C to 65°C , which indicated that the loss of crystallinity was significant as soon as the temperature reached the pasting onset temperature of each rice starch. At temperatures above 70°C a relative small decrease of short-range order was observed. In the case of long grain rice starch (Cocodrie and L205), significant decrease of short-range order was observed when the temperature was over 70°C . This was due to the higher pasting onset temperature of long grain rice starch. The rice starches with high amylose content were found to lose the crystallinity more slowly as compared to those starches with low amylose content. It suggested that the amylose could restrain the swelling and disruption of starch granules and inhibit the loss of the crystalline areas of rice starch granules during pasting. Relative crystallinity of pasted starches at different temperatures was determined using X-ray diffraction. The results verified the loss of crystallinity of starch granules during pasting and were consistent with the results obtained by IR spectroscopy analysis. Although the definitions of “crystallinity” were different for the two methods, the results were correlative and comparable and could provide useful information for the study of starch pasting.

Keywords Rice starch, FTIR, X-ray diffraction, Crystalline areas, Amorphous areas