

# 黄原胶的流变性及其与魔芋胶等的 协同性研究

郑梅霞<sup>1,\*</sup>, 朱育菁<sup>1,+</sup>, 刘波<sup>1,\*</sup>, 潘志针<sup>1</sup>, 陈峥<sup>1</sup>, 史怀<sup>1</sup>, 张连宝<sup>1,2</sup>

(1.福建省农业科学院农业生物资源研究所, 福建福州 350003;

2.厦门大学生命科学学院, 福建厦门 361005)

**摘要:** 研究前期筛选获得一株多糖胶质高产菌 *Xanthomonas axonopodis* 所产的黄原胶 FJAT-10151-DTJZ 的品质, 为该黄原胶的开发应用提供基础数据及参考。通过分析浓度、剪切速率、pH、加热温度、时间、冻融处理等对 FJAT-10151-DTJZ 粘度的影响研究其流变性, 并研究其与结冷胶、黄原胶、凝胶多糖、瓜尔豆胶、刺槐豆胶、魔芋胶、果胶和壳聚糖 8 种胶的协同性。实验结果表明, FJAT-10151-DTJZ 溶液的粘度随浓度的升高而升高, 且为非牛顿流体; 当 FJAT-10151-DTJZ 的浓度为 1% 时, 其粘度为 343 mPa·s, pH、冻融对 FJAT-10151-DTJZ 的粘度影响不大; FJAT-10151-DTJZ 的最佳加热温度为 75 °C, 粘度随加热时间先增大后减小, 当加热温度为 75 °C, 加热时间为 150 min, 1% 浓度的 FJAT-10151-DTJZ 溶液的粘度为 808 mPa·s。FJAT-10151-DTJZ 只与魔芋胶有强烈的协同增效作用, 与壳聚糖、结冷胶、黄原胶、凝胶多糖、瓜尔豆胶、刺槐豆胶、果胶无协同性。

**关键词:** 黄原胶; 流变性; 地毯草黄单胞菌; 协同性; 魔芋胶

## Study on the rheology of xanthan and synergistic interaction with konjac gum and other gum

ZHENG Mei-xia<sup>1</sup>, ZHU Yu-jing<sup>1,+</sup>, LIU Bo<sup>1,\*</sup>, PAN Zhi-zhen<sup>1</sup>, CHEN Zheng<sup>1</sup>, SHI Huai<sup>1</sup>, ZHANG Lian-bao<sup>1,2</sup>

(1. Agricultural Bio-resources Research Institute, Fujian academy of agricultural sciences, Fujzhou 350003, China;

2. School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** A *Xanthomonas axonopodis* strain producing xanthan gum had been screened, and researched the quality of xanthan gum FJAT-10151-DTJZ in order to provide basic data and reference for development and application. The rheology properties of FJAT-10151-DTJZ were discussed according to the viscosity variation with different conditions including concentration, shearing, pH, heating temperature, heating time and freezing-thawing. The synergistic interactions of FJAT-10151-DTJZ with chitosan, gellan gum, xanthan gum, curdlan, guar gum, locust bean gum and pectin were also investigated. The results showed that polysaccharide gum solution FJAT-10151-DTJZ was non-Newton fluid. Its viscosity rised with its concentration and reached to 343 mPa·s when the concentration was 1%. The pH change and freezing-thawing played negligible effects on its viscosity. Its viscosity was 808 mPa·s when it was heated at 75 °C for 150 min. Besides, FJAT-10151-DTJZ had no synergistic interaction with chitosan, gellan gum, xanthan gum, curdlan, guar gum, locust bean gum and pectin except konjac gum.

**Key words:** xanthan gum; rheology; *Xanthomonas axonopodis*; synergy; konja gum

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2016)08-0303-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2016.08.055

食品胶具有粘着性、稳定性、乳化性和凝胶性等特点, 可作为悬浮剂、乳化剂、稳定剂、增稠剂等, 在食品、日化、石油开采、医药领域等有着广泛的应用<sup>[1-3]</sup>。

食品物料的流变特性与食品的质地稳定性和加工工艺设计等有着重要关系, 所以通过对食品流变

特性的研究, 可以了解食品的组成、内部结构和分子形态等, 这样可以为产品配方、加工工艺、设备选型及质量检测等提供理论依据<sup>[4]</sup>。利用食品增稠剂的流变性保持食品的色香味和相对稳定性<sup>[5]</sup>。利用海藻酸盐的流变性控制冰淇淋中冰晶的形成, 确保滑溜的

收稿日期: 2015-09-10 + 并列第一作者

作者简介: 郑梅霞(1986-), 女, 硕士, 实习研究员, 研究方向: 微生物生物技术, E-mail: zhengmeixia2005@163.com。

朱育菁(1972-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 农业生物药物与生物防治的研究, E-mail: zyjingfz@163.com。

\* 通讯作者: 刘波(1957-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 微生物生物技术与农业生物药物研究, E-mail: fzliubo@163.com。

基金项目: 国家948项目(2014-Z48), 福建省公益类科研院所专项(2015R1018-2), 福建省农业科学院科技创新项目(2015CX-7)。

口感,利用海藻酸钠的流变性制造快速固化的布丁甜食品、固化牛奶和果冻<sup>[6]</sup>,利用魔芋精粉的流变性加工成魔芋豆腐、粉丝、粉皮、八宝粥等<sup>[7]</sup>。通过流变性研究可代替感官评定法,定量地评定食品的品质;鉴定和预测顾客对某种食品是否满意;可解释食品在加工过程中所发生的组织结构变化;应用于有关的工艺设计和设备设计。

为了得到不同的效果,多糖在使用中经常配成复配胶。2种或多种多糖胶质在溶液中混合,多糖分子之间产生相互作用,使得溶液黏度增大。多糖分子的种类、排列方式、分子内部和分子间的作用力、取代基团的种类等条件都会影响多糖分子间的协同效应<sup>[8]</sup>。例如,黄原胶与瓜尔豆胶复合使用可提高粘性,在食品中有更好的口感和风味释放能力<sup>[9]</sup>;半乳甘露聚糖与芥末多糖的复配胶黏度提高并伴有微凝胶状的结构形成<sup>[10]</sup>;魔芋胶和瓜尔豆胶的复配胶在一定程度上改善了猪肉脯的色泽与质构特性<sup>[11]</sup>;魔芋胶和黄原胶的复配胶是药物中小分子的扩散给药系统的主要成分<sup>[12]</sup>。利用复配胶单体之间的相互作用有效改善性能,使其具有增稠、胶凝、稳定、组织改进等作用。

本研究采用醇沉法提取 *Xanthomonas axonopodis* FJAT-10151 发酵液中黄原胶 FJAT-10151-DTJZ。研究黄原胶的流变性,及与市售结冷胶、黄原胶、凝胶多糖、瓜尔豆胶、刺槐豆胶、魔芋胶、果胶和壳聚糖的协效性,以期对黄原胶 FJAT-10151-DTJZ 在生产实践中的开发应用提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与仪器

地毯草黄单胞菌 *Xanthomonas axonopodis* FJAT-10151 中国微生物菌种保藏中心;蔗糖、葡萄糖、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{MgSO}_4$ 、氢氧化钠、盐酸 均为分析纯;蛋白胨和酵母膏 均为生物纯;结冷胶 上海金穗生物技术有限公司;黄原胶 上海晶纯生物技术有限公司;凝胶多糖、瓜尔豆胶、刺槐豆胶、魔芋胶、果胶、壳聚糖 河南天祥食品添加剂有限公司。

85-2型恒温磁力搅拌器 国华电器有限公司;PB-10型酸度计 赛多利斯科学仪器有限公司;NDJ-8S型粘度计 上海方瑞仪器有限公司,为数显粘度计,其量程如表1所示。

### 1.2 实验方法

1.2.1 黄原胶 FJAT-10151-DTJZ 样品制备 培养基: NA 培养基。种子培养基:蔗糖 20 g/L,蛋白胨 5 g/L 酵

母膏 5 g/L, pH 7.0。发酵培养基:葡萄糖 30 g/L,蛋白胨 3 g/L,酵母膏 2 g/L,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  1 g/L,  $\text{MgSO}_4$  0.1 g/L, pH 7.0。

黄原胶 FJAT-10151-DTJZ 样品制备 挑取 FJAT-10151 单菌落于种子液中 30 °C、170 r/min 培养 16 h 后,按 2% 的接种量接入发酵液中,30 °C、190 r/min 培养 72 h 后 7000 r/min 离心 15 min,收集上清液,用 3 倍体积的冰乙醇沉降多糖胶质,4 °C 静置过夜,7000 r/min 离心 10 min,无水乙醇洗涤 3 遍,氮气吹干,称量,粉碎得粗黄原胶产物 FJAT-10151-DTJZ,室温保存,备用。

1.2.2 浓度的影响 分别配制浓度为 0.03%、0.05%、0.08%、0.1%、0.2%、0.3%、0.5%、0.6%、0.8%、0.9%、1.0% 的 FJAT-10151-DTJZ 溶液,在磁力搅拌器上 60 °C 恒温搅拌 30 min,后降至 25 °C。用 NDJ-8S 型粘度计在 60 r/min 下测定其粘度变化。

1.2.3 剪切速率的影响 配制 1.0% 的 FJAT-10151-DTJZ 溶液,在磁力搅拌器上 60 °C 恒温搅拌 30 min,后降至 25 °C。用 NDJ-8S 型粘度计分别在 1.5、3、6、12、30、60 r/min 下测定其粘度变化。

1.2.4 pH 的影响 配制 0.5% 的 FJAT-10151-DTJZ 溶液,在磁力搅拌器上 60 °C 恒温搅拌 30 min,后降至 25 °C,分别用 1 mol/L 盐酸和 1 mol/L 氢氧化钠调 pH。用 NDJ-8S 型粘度计在 60 r/min 下测定不同 pH 时粘度变化。

1.2.5 加热温度的影响 配制 1.0% 的 FJAT-10151-DTJZ 溶液,分别在磁力搅拌器上 30、40、60、75、95 °C 恒温搅拌 30 min,后降至 25 °C。用 NDJ-8S 型粘度计在 60 r/min 下测定其粘度变化。

1.2.6 加热时间的影响 配制 1.0% 的 FJAT-10151-DTJZ 溶液,分别在磁力搅拌器上 75 °C 恒温搅拌 30、60、90、120、150、180 min 后降至 25 °C。用 NDJ-8S 型粘度计在 60 r/min 下测定其粘度变化。

1.2.7 冻融变化的影响 配制浓度为 0.5% 的 FJAT-10151-DTJZ 溶液,在磁力搅拌器上 60 °C 恒温搅拌 30 min,分别置于冷藏室(4 °C)、冷冻室(-20 °C)放置 24 h 后,取出解冻至 25 °C。用 NDJ-8S 型粘度计在 60 r/min 下分别测定其冷藏、冷冻前后粘度变化。

1.2.8 黄原胶 FJAT-10151-DTJZ 与其他胶的协同增效作用 FJAT-10151-DTJZ 与魔芋胶、壳聚糖、结冷胶、黄原胶、凝胶多糖、瓜尔豆胶、刺槐豆胶和果胶以 1:1 的比例混合配成 0.5% 浓度的溶液,在磁力搅拌器上 60 °C 恒温搅拌 30 min,后降至 25 °C。以 0.5% 的

表1 NDJ-8S 量程表

Table 1 The measurement range of NDJ-8S

转子	转速(r/min)							
	60	30	12	6	3	1.5	0.6	0.3
0	10	20	50	100	-	-	-	-
1	100	200	500	1000	2000	4000	10000	20000
2	500	1000	2500	5000	10000	20000	50000	100000
3	2000	4000	10000	20000	40000	80000	200000	400000
4	10000	20000	50000	100000	200000	400000	1000000	2000000

FJAT-10151-DTJZ、结冷胶、黄原胶、凝胶多糖、瓜尔豆胶、刺槐豆胶、魔芋胶、果胶、壳聚糖的单溶液为对照。用NDJ-8S型粘度计在60 r/min下测定其粘度变化。

1.2.9 数据分析 采用Origin 7.0软件以各变量参数为横坐标,粘度为纵坐标进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 浓度对黄原胶FJAT-10151-DTJZ溶液粘度的影响

由实验结果可得,FJAT-10151-DTJZ溶液的粘度与随浓度呈正相关,如图1所示,FJAT-10151-DTJZ溶液的浓度从0.03%增大到0.2%时,粘度由2.2 mPa·s增大到3.1 mPa·s,增大了41%;FJAT-10151-DTJZ溶液浓度从0.2%增大到1.0%时,粘度由3.1 mPa·s增大到343 mPa·s,增大了10900%;以FJAT-10151-DTJZ溶液的浓度的对数值为横坐标,粘度的对数值为纵坐标,建立两者线性回归方程为 $y=1.532x+2.365$ , $r=0.9750(n=11)$ 。

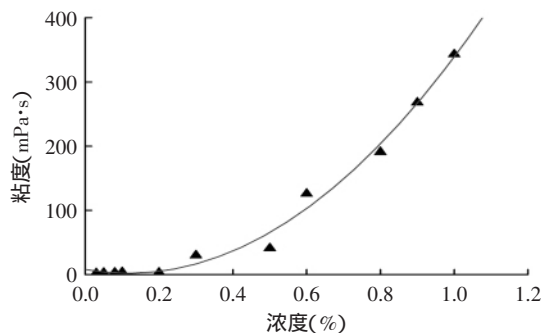


图1 FJAT-10151-DTJZ溶液粘度随浓度的变化

Fig.1 Viscosity changes with concentration

### 2.2 剪切速率对黄原胶FJAT-10151-DTJZ溶液粘度的影响

由实验结果可得,FJAT-10151-DTJZ溶液的粘度与剪切速率呈反比,即随着剪切速率的增加溶液的粘度明显降低,如图2所示,当剪切速率从1.5 r/min增大到60 r/min时,粘度由952 mPa·s降低到343 mPa·s,降低了64%;以FJAT-10151-DTJZ溶液测定的剪切速率为横坐标,粘度的对数值为纵坐标,其线性回归方程为 $y=-0.007x+2.960$ , $r=0.9808(n=6)$ 。即FJAT-10151-

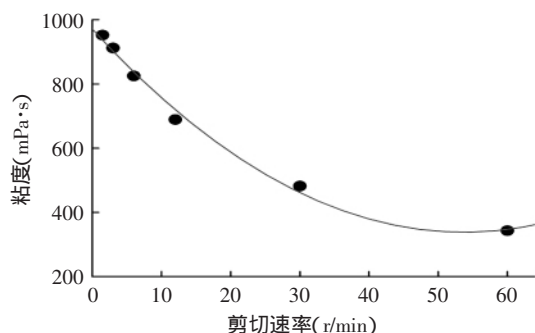


图2 FJAT-10151-DTJZ溶液粘度随剪切速率的变化

Fig.2 Viscosity changes with shearing

DTJZ溶液为“非牛顿流体”溶液,具有“假塑性”。

### 2.3 pH对FJAT-10151-DTJZ溶液粘度的影响

由实验结果可得,FJAT-10151-DTJZ溶液的粘度随着pH的变化有所变化,如图3所示,FJAT-10151-DTJZ溶液的固有pH为7.45,粘度为80 mPa·s,在pH<4时,其粘度由63 mPa·s降低到24 mPa·s,降低了62%;在4<pH<12时,其粘度由63 mPa·s平缓增大到78 mPa·s,增大了24%。总的来说,该FJAT-10151-DTJZ溶液在酸性和碱性条件下较为稳定。

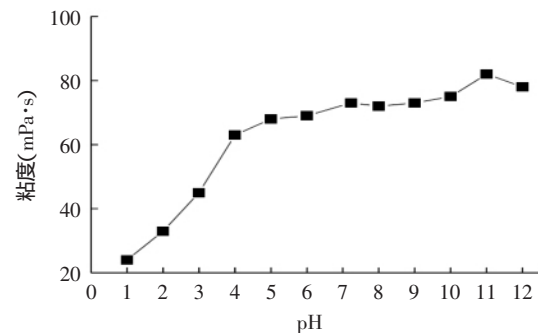


图3 FJAT-10151-DTJZ溶液粘度随pH的变化

Fig.3 Viscosity changes with pH

### 2.4 加热温度对黄原胶FJAT-10151-DTJZ溶液粘度的影响

由实验结果可得,FJAT-10151-DTJZ溶液的加热温度对粘度的影响如图4所示,当加热温度<75℃时,FJAT-10151-DTJZ溶液的粘度随加热温度的升高而升高,由254 mPa·s增大到496 mPa·s,增大了95%;在加热温度为75℃时粘度达到最大值,为496 mPa·s;当加热温度从75℃增大到95℃时,粘度由496 mPa·s降低到398 mPa·s,降低了19%。

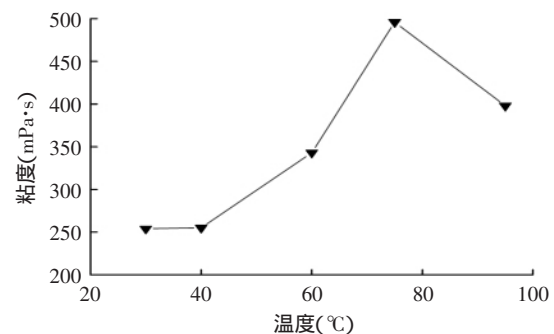


图4 FJAT-10151-DTJZ溶液粘度随加热温度的变化

Fig.4 Viscosity changes with heating temperature

### 2.5 加热时间对黄原胶FJAT-10151-DTJZ溶液粘度的影响

由实验结果可得,FJAT-10151-DTJZ溶液的加热时间对粘度的影响如图5所示,当加热时间在150 min内,其粘度随加热时间的增加而增加,由496 mPa·s增大到808 mPa·s,增大了63%。当加热时间为150 min粘度达到最大值,为808 mPa·s,当加热时间增大到180 min时,粘度降低为510 mPa·s,降低了37%。



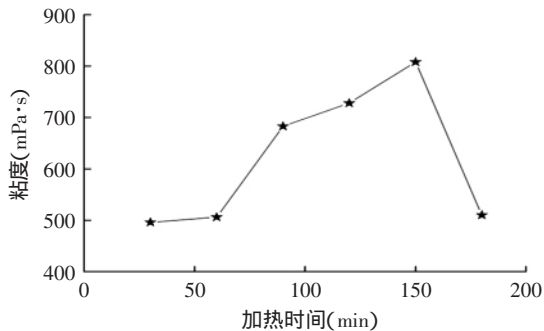


图5 FJAT-10151-DTJZ溶液粘度随加热时间的变化

Fig.5 Viscosity changes with heating time

## 2.6 冻融处理对黄原胶FJAT-10151-DTJZ溶液粘度的影响

由实验结果可得, FJAT-10151-DTJZ溶液的冻融处理对粘度的影响如图6所示, 冷藏处理使FJAT-10151-DTJZ溶液的粘度由82 mPa·s增大到100 mPa·s, 增大了22%, 冷冻处理使FJAT-10151-DTJZ溶液的粘度由82 mPa·s增大到88 mPa·s, 增大了7.3%。说明冻融处理对FJAT-10151-DTJZ基本没有影响。

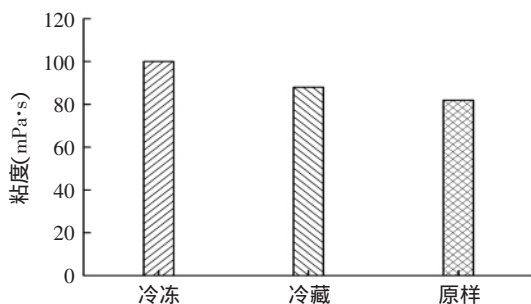


图6 FJAT-10151-DTJZ溶液粘度随冻融处理的变化

Fig.6 Viscosity changes with freezing-thawing

## 2.7 黄原胶FJAT-10151-DTJZ与其他胶的协同增效作用

结冷胶、壳聚糖、瓜尔豆胶、黄原胶、凝胶多糖、刺槐豆胶、魔芋胶和FJAT-10151-DTJZ单溶液的粘度及与FJAT-10151-DTJZ复合胶的粘度如表2所示, FJAT-10151-DTJZ与魔芋胶混合液的粘度(1251 mPa·s)大于二者单溶液的粘度(FJAT-10151-DTJZ单溶液的粘度41 mPa·s, 魔芋胶单溶液的粘度469 mPa·s), 说明FJAT-10151-DTJZ和魔芋胶有协同增效作用。结冷胶、壳聚糖、瓜尔豆胶、黄原胶、凝胶多糖、果胶和刺槐豆胶的粘度分别为90、1.3、167、384、593、1.9和473 mPa·s, 它们与FJAT-10151-DTJZ溶液的混合液的粘度分别

为44、51、90、261、278、16和224 mPa·s, 由此可知FJAT-10151-DTJZ与果胶、结冷胶、壳聚糖、瓜尔豆胶、黄原胶、凝胶多糖和刺槐豆胶没有协效性。

## 3 结论与讨论

FJAT-10151-DTJZ溶液浓度为1%时, 加热温度为75 °C, 加热时间为150 min时, 粘度为808 mPa·s, 比羟乙基淀粉(260 mPa·s)高<sup>[13]</sup>, 比结冷胶的102.1 mPa·s高<sup>[14]</sup>, 可改善食品加工过程的粘性<sup>[15]</sup>。

FJAT-10151-DTJZ在切变速度为0时以聚合体的状态存在, 在高切变速度下, 聚合体结构解聚为无规线团结构使粘度迅速降低, FJAT-10151-DTJZ溶液为“非牛顿流体”, 具有“假塑性”, 可作为悬浮液和乳浊液的稳定剂<sup>[16]</sup>, 在食品领域赋予烘烤食品、冰淇淋、火腿肠和饮料等以优良口感等。用FJAT-10151-DTJZ作为添加剂可赋予加工品假塑性流体的特征而易于泵送和灌注, 便于高固体物质的混合搅拌<sup>[17]</sup>。

FJAT-10151-DTJZ溶液的固有pH为7.45, 对酸碱、冻融处理基本没有影响, 而多数食品的pH体系在4~10之间, 这使FJAT-10151-DTJZ在食品领域将有广阔的应用前景。FJAT-10151-DTJZ的最佳加热温度为75 °C, 粘度随加热时间的增加而增大。据报道, 黄原胶在超过150 °C时会发生热降解<sup>[18]</sup>, 本实验中温度高于75 °C导致FJAT-10151-DTJZ溶液的粘度降低是否是由于部分结构破坏还有待进一步研究。

FJAT-10151-DTJZ与魔芋胶具有协同增效作用, 这将提高其乳化能力、凝胶硬度、弹性和保水性等<sup>[19]</sup>。协同增效作用是非常复杂的高聚物大分子之间的相互作用, 与两种胶的化学组成、分子结构具有一定程度相似性密切相关<sup>[20]</sup>。在化学组成上, 魔芋胶的成分是葡甘聚糖, 其结构主要由D-甘露糖和D-葡萄糖以β-1,4糖苷键连接起来的大分子杂多糖, 大约按1.6:1的比例聚合而成<sup>[21]</sup>, 而FJAT-10151-DTJZ也含有甘露糖和葡萄糖, 他们的化学组成相似, 在分子结构上, 魔芋葡甘聚糖分子平滑, 没有分支链的部分可与黄原胶双螺旋结构以次级键形式相互结合形成三维网状结构<sup>[22]</sup>, 与卡拉胶的协同效应是建立在卡拉胶形成有序的双螺旋结构的基础上<sup>[14]</sup>, 推测FJAT-10151-DTJZ可能形成双螺旋结构, 有待进一步验证。另外, FJAT-10151-DTJZ溶液的流变性与魔芋胶<sup>[7]</sup>相似, 这也可能是他们具有协同增效作用的原因之一。

FJAT-10151-DTJZ是一种非牛顿流体, 粘度与浓度正相关, 在酸碱及冻融处理下稳定, 1%浓度在75 °C加热150 min时, 粘度为808 mPa·s, 且它与魔芋胶具有强烈的协同增效作用。这为FJAT-10151-DTJZ在工农业、石油、建筑等领域的应用提供理论基础。

表2 复合胶的粘度关系

Table 2 The viscosity of compound gum

粘度(mPa·s)	种类								
	FJAT-10151-DTJZ	魔芋胶	结冷胶	壳聚糖	瓜尔豆胶	黄原胶	凝胶多糖	果胶	刺槐豆胶
单种胶	41	469	90	1.3	167	384	593	1.9	473
与FJAT-10151-DTJZ的复配胶	-	1251	44	51	90	261	278	16	224

注:“-”表示非处理。

(下转第322页)

- 预测模型[J]. 食品科学, 2012, 33(14): 290-295.
- [3] 付英. 原料花生贮藏技术研究综述[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(11): 312-314.
- [4] 申晓曦, 李沛生, 阮征, 等. 水分含量对花生仁储藏过程中的品质影响研究[J]. 现代食品科技, 2011, 27(5): 495-498, 501.
- [5] 高奇, 张瑛, 刘泽, 等. 花生种子脂肪酶活力定量测定及其与储藏特性的相关性[J]. 作物学报, 2011, 37(9): 1676-1682.
- [6] Lee C M, Resurreccion A V A. Consumer acceptance of roasted peanuts affected by storage temperature and humidity conditions [J]. LWT-Food Science and Technology, 2006, 39(8): 872-882.
- [7] 欧阳玲花, 冯健雄, 朱雪晶, 等. 花生原料贮藏技术研究进展与展望[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(8): 125-128.
- [8] 邵亮亮, 苏秀榕, 李妍妍, 等. 大米贮藏过程中氨基酸含量的变化研究[J]. 食品科技, 2009, 34(7): 125-127.
- [9] 罗印, 蒋立勤, 杨钦钦. 新昌小京生花生的营养品质分析[J]. 中国食物与营养, 2013, 19(2): 72-75.
- [10] 程安玮, 张奇志, 王守经, 等. 抗氧化剂对辐照花生脂肪酸含量及过氧化值的影响[J]. 核农学报, 2011, 25(1): 93-96.
- [11] 王燕, 王斌, 徐银峰, 等. 基于聚类分析法和双指标分析法的淡菜红外指纹图谱比较研究[J]. 中国食品学报, 2013, 13(1): 178-182.
- [12] 徐嘉杰, 苏秀榕, 邵亮亮, 等. 养殖大黄鱼不同部位营养成分研究[J]. 中国水产, 2009, 52(6): 45-46.
- [13] 黄沁怡, 孙静, 李芳, 等. 运用化学传感器研究煎炸大豆油的品质变化[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(9): 124-128.
- [14] 黄冰艳, 张新友, 苗利娟, 等. 花生油酸和亚油酸含量的遗传模式分析[J]. 中国农业科学, 2012, 45(4): 617-624.
- [15] 刘飞, 刘刚. 核桃和花生傅里叶变换红外光谱分析[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(14): 7206-7207, 7215.
- [16] 姜科声, 孔黎春, 余鹏, 等. 不同花生品种的红外光谱分析[J]. 光谱实验室, 2008, 25(4): 550-553.
- [17] 徐维盛, 张桂雨, 朱婧, 等. 气味指纹分析技术在调和油风味研究中的应用[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(18): 51-55.
- [18] XU Xin qing. Electronic nose for characterisation of flavour patterns of deep frvina oils[J]. Food Australia, 2006, 58(3): 89-91.
- [19] ZHENG Hai, WANG Jun. Electronic nose and data analysis for detection of maize oil adulteration in sesame oil[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2006, 119(2): 449-455.
- [20] 史文青, 薛雅琳, 何东平. 花生挥发性香味识别的研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(7): 58-62.
- [21] 惠国华, 倪彧. 基于电子鼻系统的粮食霉变检测方法研究[J]. 中国食品学报, 2011, 11(5): 162-168.

(上接第306页)

### 参考文献

- [1] Cho HM, Yoo W, Yoo B. Effect of NaCl Addition on Rheological Behaviors of Commercial Gum-Based Food Thickener Used for Dysphagia Diets[J]. Prev Nutr Food Sci, 2015, 20(2): 137-42.
- [2] 任宏洋, 王新惠. 黄原胶的特性、生产及应用进展[J]. 酿酒, 2010, 37(2): 17-19.
- [3] Sergey N Fedorov, Svetlana P Ermakova, Tatyana N Zvyagintseva. Anticancer and Cancer Preventive Properties of Marine Polysaccharides: Some Results and Prospects[J]. Mar Drugs Dec, 2013, 11(12): 4876-4901.
- [4] 周宇英, 唐伟强. 食品流变特性研究的进展[J]. 粮油加工与食品机械, 2001(8): 7-9.
- [5] 杨湘庆. 食品增稠剂的结构和流变性的关系[J]. 食品科学, 1986(6): 1-4.
- [6] 杨湘庆. 海藻酸盐的流变性及其在食品中的应用[J]. 食品研究与开发, 1985(4): 29-32.
- [7] 杨湘庆, 沈悦玉. 魔芋胶的理化性、功能性、流变性及其在食品中的应用[J]. 冷饮与速冻食品工业, 2002(4): 29-33.
- [8] 张洁, 史劲松, 孙达峰, 等. 白苕多糖胶-瓜尔胶复配溶液的流变性[J]. 中国野生植物资源, 2010, 29(1): 55-61.
- [9] 梁英红. 黄原胶在冰淇淋在生产中的应用[J]. 食品科技, 2002(2): 120-123.
- [10] 周煜竣, 张黎明. 海藻酸钠/明胶混合水溶液的流变性能[J]. 胶体与聚合物, 2005, 23(4): 12-13, 17.
- [11] 赵谋明, 杨园媛, 孙为正, 等. 魔芋胶/瓜尔豆胶对猪肉脯品质的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(3): 121-125.
- [12] Alvarez-Manceñido F, Landin M, Lacik I, et al. Konjac glucomannan and konjac glucomannan/xanthan gum mixtures as excipients for controlled drug delivery systems. Diffusion of small drugs[J]. Int J Pharm, 2008, 349(1-2): 11-8.
- [13] Walker AM, Xiao Y, Johnston CR, et al. The viscous characterization of hydroxyethyl starch (HES) plasma volume expanders in a non-Newtonian blood analog[J]. Biorheology, 2013, 50(3-4): 177-90.
- [14] 马彩霞, 祝根平, 边界. 结冷胶与卡拉胶/魔芋胶的复配机理研究[J]. 中国食品添加剂, 2007(2): 102-106.
- [15] Oberg EN, Øberg CJ, Motawee MM, et al. Increasing stringiness of low-fat mozzarella string cheese using polysaccharides[J]. J Dairy Sci, 2015, 98(7): 4243-54.
- [16] Akkarachaneeyakorn S, Tinrat S. Effects of types and amounts of stabilizers on physical and sensory characteristics of cloudy ready-to-drink mulberry fruit juice[J]. Food Sci Nutr, 2015, 3(3): 213-20.
- [17] 吉武科, 赵双枝, 董学前, 等. 新型微生物胞外多糖-韦兰胶的研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2011(1): 210-215.
- [18] Smith I H. Recovery of microbial polysaccharides[J]. J Chem Tech Biotechnol, 1982, 32: 119.
- [19] 贾娜, 韩齐, 芦嘉莹, 等. 复配食用胶对肌原纤维蛋白功能特性的影响[J]. 中国食品学报, 2014(10): 141-148.
- [20] 刘良忠, 卢耀辉. 魔芋精粉与瓜尔豆胶等稳定剂的协同增效作用及配比分析研究[J]. 食品工业科技, 2001, 22(4): 34-36.
- [21] 黄明发, 鲁兴容, 刁兵, 等. 魔芋胶的功能特性及其在肉制品中的应用[J]. 中国食品添加剂, 2012(1): 186-190.
- [22] 陈运中. 魔芋精粉与黄原胶的协同增效作用及应用研究[J]. 食品科学, 1999(9): 12-14.