

6种不同种类直支链淀粉相互混合对其回生的影响

王丹丽¹, 姚 岚², 连喜军^{2*}, 郭俊杰², 康海岐³

(1. 天津商业大学理学院, 天津 300134; 2. 天津商业大学生物技术与食品科学学院, 天津市食品生物技术重点实验室, 天津 300134; 3. 四川省农业科学院作物研究所, 成都 610066)

摘要: **目的** 研究6种不同种类直支链淀粉相互混合对其回生的影响。**方法** 将玉米淀粉、甘薯淀粉、木薯淀粉、马铃薯淀粉、糯米淀粉、小麦淀粉等6种不同种类直支链淀粉分离出来, 然后两两混合, 研究不同直支链混合对其回生率的影响。**结果** 马铃薯支链淀粉与甘薯支链淀粉以2:8(*m:m*)混合回生率最低, 为60.0%, 玉米支链淀粉与木薯支链淀粉以8:2(*m:m*)混合回生率最低为52.6%, 小麦支链淀粉与糯米支链淀粉以8:2(*m:m*)混合回生率最低为51.2%, 甘薯支链淀粉与小麦支链淀粉以1:1(*m:m*)混合回生率最低为53.7%。木薯支链淀粉与小麦直支链淀粉以1:1(*m:m*)混合时所得淀粉回生率最大, 达到了92.0%, 混合淀粉回生后X射线晶型为B型。**结论** 不同种类直支链淀粉混合对其回生率影响很大, 食品加工中尽量不要混合使用木薯支链淀粉与小麦直支链淀粉。**关键词:** 直支链淀粉; 支链淀粉; 混合; 淀粉回生; 回生率

Effects of the mixture amylose and amylopectin from 6 different starches on the retrogradation

WANG Dan-Li¹, YAO Lan², LIAN Xi-Jun^{2*}, GUO Jun-Jie², KANG Hai-Qi³

(1. School of Science, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China; 2. Tianjin Key Laboratory of Food Biotechnology, School of Biotechnology and Food Science, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China; 3. Crops Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Science, Chengdu 610066, China)

ABSTRACT: Objective To study the effects of the mixture amylose and amylopectin from 6 different starches on the retrogradation. **Methods** Different kinds of amylose and amylopectin were separated from corn starch, sweet potato starch, tapioca starch, potato starch, glutinous rice starch and wheat starch, and then these starches were mixed in pairs. The effects of different straight-chain branches on their retrogradation rate were detected. **Results** Potato amylopectin and sweet potato amylopectin mixed 2:8 (*m:m*) had lowest regenerative of 60.0%. Corn amylopectin and

基金项目: 国家自然科学基金项目(31571834, 31871811)、天津市科技重大专项与工程(一二三产业融合发展科技示范工程)(18ZXYENC00080)、天津市自然科学基金重点项目(18JCZDJC98200)、四川省应用基础研究项目(2016JY0013)、天津市高等学校创新团队“农产品加工贮藏新技术及相关机理研究”(TD13-5087)

Fund: Supported by National Natural Science Foundation of China (31571834, 31871811), Tianjin Science and Technology Major Project and Engineering (Technology Demonstration Project for the Integration of Development of the First and Third Industries) (18ZXYENC00080), Tianjin Natural Science Foundation Key Project (18JCZDJC98200), Sichuan Province Applied Foundation Research Project (2016JY0013) and Tianjin University Innovation Team “Research on New Technologies and Related Mechanisms of Agricultural Products Processing and Storage” (TD13-5087)

*通讯作者: 连喜军, 博士, 副教授, 主要研究方向为回生淀粉研究。E-mail: lianliu2002@163.com

*Corresponding author: LIAN Xi-Jun, Ph.D, Associate professor, School of Science, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China. E-mail: lianliu2002@163.com

cassava amylopectin mixed 8:2 (*m:m*) had lowest regenerative of 52.6%. Wheat amylopectin and glutinous rice amylopectin mixed 8:2 (*m:m*) had lowest regenerative of 51.2%. Sweet potato amylopectin and wheat amylopectin mixed 1:1 (*m:m*) had lowest regenerative of 53.7%. Cassava amylopectin and wheat amylose mixed 1:1 had lowest regenerative of 92.0%. After the mixed starch was regenerated, the X-ray crystal form was B type. **Conclusion** Different kinds of straight amylopectin have a great influence on the retrogradation rate. Try not to mix cassava amylopectin and wheat amylose in food processing.

KEY WORDS: amylose; amylopectin; mixture; retrogradation; retrogradation rate

1 引言

不同种类淀粉具有不同的性质, 食品加工者常采用在特定食品中添加 2 种以上淀粉来改善食品品质^[1-7]。周秀琴^[8]将 85%~80% 的马铃薯淀粉与 15%~20% 的玉米淀粉混合后用于提高水产制品、鱼肉、鱼糕等的凝胶强度; Joana 等^[9]研究发现, 将小麦淀粉和玉米淀粉按不同比例混合后制备无麸质面包, 会影响其制品的口感和味道; Kawaljit 等^[10]研究发现, 以 1:1 的比例混合马铃薯和大米淀粉可产生更优质面条, 此时面条的烹饪时间较短, 烹调重量较高, 透明度和滑爽性较高。吴岷^[11]将籼米淀粉和羟丙基交联木薯淀粉混合后发现, 与单独籼米淀粉相比, 混合后淀粉的成糊温度和衰减值随羟丙基木薯淀粉比例的增加而降低, 而热糊粘度、峰值粘度、崩解值、终值粘度呈升高趋势。研究表明, 淀粉回生是引起淀粉及其制品品质劣变的主要原因, 因此淀粉回生机理一直是淀粉领域的研究热点。混合淀粉的回生速度减弱原因可能是羟丙基木薯淀粉可减少籼米淀粉球析出直链淀粉链内和链间氢键的形成, 降低其聚集速率, 抑制籼米淀粉老化过程中有序结晶结构的形成。而直链淀粉通过参与支链淀粉晶核的形成来影响支链淀粉的重结晶过程^[12]。课题组前期^[13]通过分析高压对甘薯直、支链淀粉回生过程回生淀粉晶型的作用发现, 不同比例直支链淀粉混合在不同回生条件下得到了不同晶型的晶体, 但不同种类的直支链淀粉两两混合对其回生率的影响规律尚不清楚。

本研究以玉米、小麦、马铃薯、甘薯、木薯、糯米为原料, 通过对其进行直、支链的分离和重组(以不同的质量分数(*m:m*)2:8、4:6、1:1、6:4、8:2)两两混合), 研究不同种类淀粉直支链两两混合后对其回生率的影响, 以期为加工含玉米、小麦、甘薯、木薯、马铃薯、糯米等混合淀粉的高品质食品的工艺选择提供了相关理论基础, 为生产保质期长的优质淀粉食品提供了可借鉴的方法。

2 材料与方 法

2.1 材料与仪器

玉米淀粉、甘薯淀粉、木薯淀粉、马铃薯淀粉、糯米淀粉、小麦面粉(市售)。

盐酸、KOH、NaCl(分析纯), 脂肪酶(20000 U/g)、蛋白酶(20000 U/g)、高温淀粉酶(200000 U/mL)、低温淀粉酶(20000 U/g)(天津诺奥酶制剂有限公司)。

电热恒温水浴锅(天津市中环实验电炉有限公司); DH-101 电热恒温鼓风干燥箱(天津市中环实验电炉有限公司); BCD-229KB 海尔冰箱(青岛海尔股份有限公司); LXJ-II离心沉淀机(上海医用分析仪器厂); YD202N 电子天平(上海精密科学仪器有限公司); D-500 Siemens X-射线衍射仪(德国西门子公司)。

2.2 实验方法

2.2.1 淀粉直链和支链淀粉的制备

按文献^[13]方法制备直链淀粉(马铃薯、甘薯、小麦、木薯、玉米)和支链淀粉(马铃薯、甘薯、小麦、木薯、玉米、糯米)。

2.2.2 不同种类的直、支链淀粉混合回生

将制得的马铃薯、甘薯、小麦、木薯、玉米等 5 种直链淀粉与马铃薯、甘薯、小麦、木薯、玉米、糯米等 6 种支链淀粉按照总质量为 2 g, 按比例 2:8、4:6、1:1、6:4、8:2(*m:m*)进行混合, 再分别将其放入 80 °C 的水浴锅中糊化 20 min, 置于高压锅内(0.1 MPa)高压 20 min, 取出冷却后放冰箱 4 °C 老化 12 h。取出加入少量的低温淀粉酶置于 80 °C 水浴中酶解 2~3 h 至回生后的淀粉完全液化, 加水离心, 去上层液, 取沉淀进行干燥, 对干燥物进行称量, 求出回生率=(沉淀干重/直支链淀粉总重量)×100%^[14]。

2.2.3 X-射线衍射

采用 X-射线衍射仪扫描淀粉样品, 扫描电流为 27 mA, 电压为 50 kV, 扫描衍射角(2 θ): 4 °~80 °, 步长为 0.05 °, 间隔时间为 2 s。淀粉样品采用铜箔和镍箔进行包裹处理。

2.3 统计学处理

每个数据均取自 3 个重复实验的均值。采用 *F* 检验进行差异性分析, 数据处理采用 SPSS 分析软件

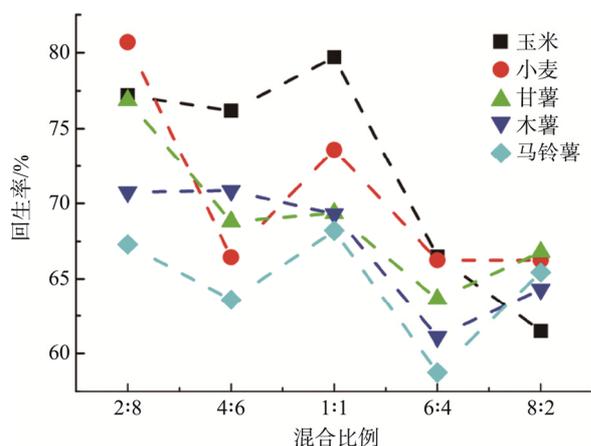
3 结果与分析

3.1 不同种类支链与直链淀粉混合结果

3.1.1 马铃薯支链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率

图 1 为马铃薯支链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率。

由图 1 可知, 马铃薯支链淀粉与玉米、小麦、甘薯、木薯、马铃薯直链淀粉混合后, 回生率最低比例分别为 8:2、8:2、6:4、6:4、6:4(*m:m*), 回生率最高比例分别为 1:1、2:8、1:1、1:1、1:1(*m:m*)。因此, 为了降低回生率, 马铃薯支链淀粉与薯类淀粉混合时比例应高于 6:4, 而与谷类的玉米和小麦淀粉混合时比例应大于 1:2。马铃薯支链淀粉与小麦直链淀粉以 2:8 比例混合时所得淀粉回生率最大, 达到了 80.7%, 所以 2 种淀粉混合使用时尽量避开这个比例。在所有混合组中, 马铃薯支链与马铃薯直链以 6:4 混合回生率最低为 58.7%, 说明马铃薯直支链淀粉以此比例混合后淀粉回生速度降低。



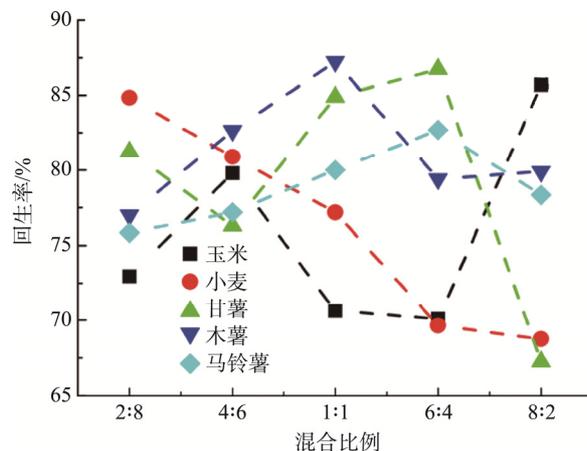
注: 图中所有平均数的显著性检验值 P 均为 $P < 0.05$
 图 1 马铃薯支链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率($n=3$)
 Fig.1 Retrogradation rates of potato amylopectin and different amyloses ($n=3$)

3.1.2 玉米支链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率

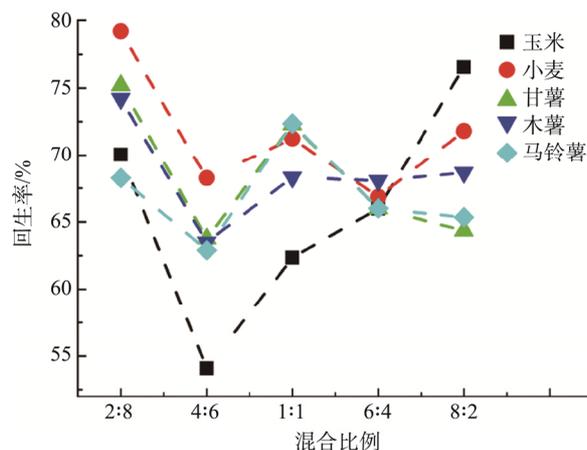
图 2 为玉米支链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率。由图 2 可知, 玉米支链淀粉与玉米、小麦、甘薯、木薯、马铃薯直链淀粉混合后, 回生率最低比例分别为 6:4、8:2、8:2、2:8、2:8(*m:m*), 回生率最高比例分别为 8:2、2:8、6:4、1:1、6:4(*m:m*)。在所有混合组中, 玉米支链与甘薯直链以 8:2 混合回生率最低为 67.2%, 食品加工中二者以此比例混合可以减少回生。玉米支链淀粉与甘薯直链淀粉以 6:4 比例混合时所得淀粉回生率最大, 达到了 86.7%, 所以 2 种淀粉混合使用时尽量避开这个比例。

3.1.3 小麦支链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率

图 3 为小麦支链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率。由图 3 可知, 小麦支链淀粉与玉米、小麦、甘薯、木薯、马铃薯直链淀粉混合后, 回生率最低比例分别为 4:6、6:4、4:6、6:4、4:6(*m:m*), 回生率最高比例分别为 8:2、2:8、2:8、2:8、1:1(*m:m*)。在所有混合组中, 小麦支链与玉米直链以 4:6(*m:m*)混合回生率最低为 54.1%, 食品加工中二者以此比例混合可以减少回生。小麦支链淀粉与小麦直链淀粉以 2:8(*m:m*)比例混合时所得淀粉回生率最大, 达到了 79.2%, 所以 2 种淀粉混合使用时尽量避开这个比例。



注: 图中所有平均数的显著性检验值 P 均为 $P < 0.05$
 图 2 玉米支链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率($n=3$)
 Fig.2 Retrogradation rates of maize amylopectin and different amyloses ($n=3$)



注: 图中所有平均数的显著性检验值 P 均为 $P < 0.05$
 图 3 小麦支链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率($n=3$)
 Fig.3 Retrogradation rates of wheat amylopectin and different amyloses ($n=3$)

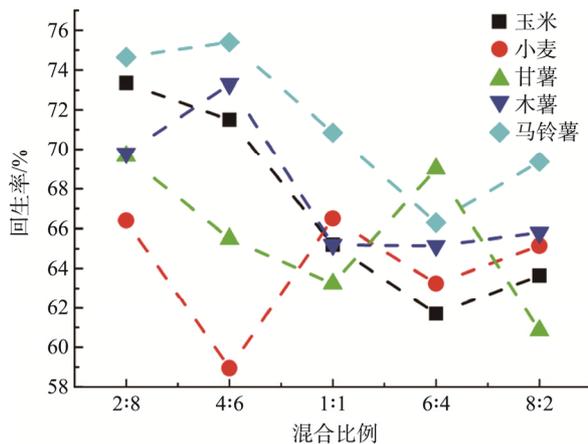
3.1.4 甘薯支链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率

图 4 为甘薯支链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率。由图 4 可知, 甘薯支链淀粉与玉米、小麦、甘薯、木薯、马铃薯直链淀粉混合后, 回生率最低比例分别为 6:4、4:6、8:2、1:1、6:4(*m:m*), 回生率最高比例分别为 2:8、1:1、6:4、4:6、4:6(*m:m*)。在所有混合组中, 甘薯支链与小麦直链以 4:6(*m:m*)混合回生率最低为 58.9%, 食品加工中二者以此比例混合可以减少回生。甘薯支链淀粉与马铃薯直链淀粉以 4:6(*m:m*)混合时所得淀粉回生率最大, 达到了 85.0%, 所以 2 种淀粉混合使用时尽量避开这个比例。

3.1.5 木薯支链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率

图 5 为木薯支链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率。由图 5 可知, 木薯支链淀粉与玉米、小麦、甘薯、木薯、马铃薯直链淀粉混合后, 回生率最低比例分别为 4:6、8:2、1:1、8:2、1:1(*m:m*), 回生率最高比例分别为 8:2、1:1、6:4、

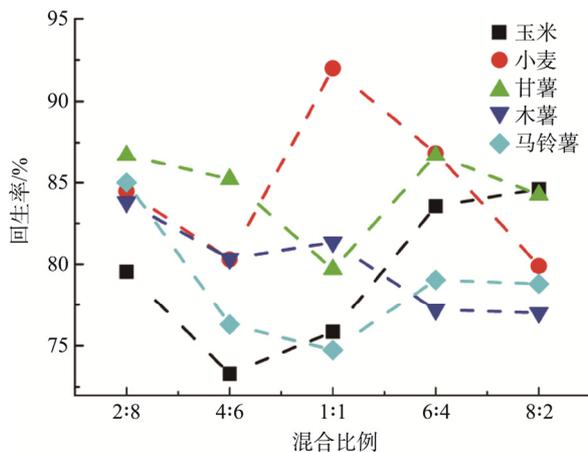
2:8、2:8(*m:m*)。在所有混合组中,木薯支链与玉米直链以4:6(*m:m*)混合回生率最低为73.3%,食品加工中二者以此比例混合可以减少回生。木薯支链淀粉与小麦直链淀粉以1:1(*m:m*)比例混合时所得淀粉回生率最大,达到了92.0%,所以2种淀粉混合使用时尽量避开这个比例。相比较其他支链淀粉,木薯淀粉与各直链淀粉混合后淀粉的回生率更高,所有木薯支链淀粉可用于制备回生淀粉产品的品种。



注: 图中所有平均数的显著性检验值 P 均为 $P < 0.05$

图4 甘薯支链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率($n=3$)

Fig.4 Retrogradation rates of sweet potato amylopectin and different amylopectins ($n=3$)



注: 图中所有平均数的显著性检验值 P 均为 $P < 0.05$

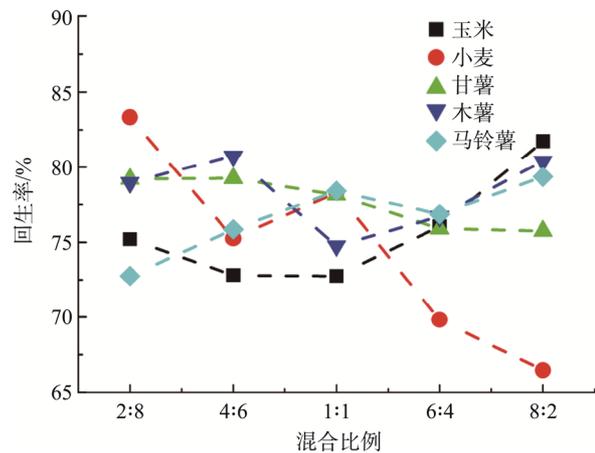
图5 木薯支链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率($n=3$)

Fig.5 Retrogradation rates of tapioca amylopectin and different amylopectins ($n=3$)

3.1.6 糯米支链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率

图6为糯米支链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率。由图6可知,糯米支链淀粉与玉米、小麦、甘薯、木薯、马铃薯直链淀粉混合后,回生率最低比例分别为1:1、8:2、8:2、1:1、2:8(*m:m*),回生率最高比例分别为8:2、2:8、4:6、4:6、8:2(*m:m*)。在所有混合组中,糯米支链与小麦直链以8:2(*m:m*)混合回生率最低为66.4%,食品加工中二者以此

比例混合可以减少回生。糯米支链淀粉与小麦直链淀粉以2:8(*m:m*)比例混合时所得淀粉回生率最大,达到了83.3%,所以2种淀粉混合使用时尽量避开这个比例。



注: 图中所有平均数的显著性检验值 P 均为 $P < 0.05$

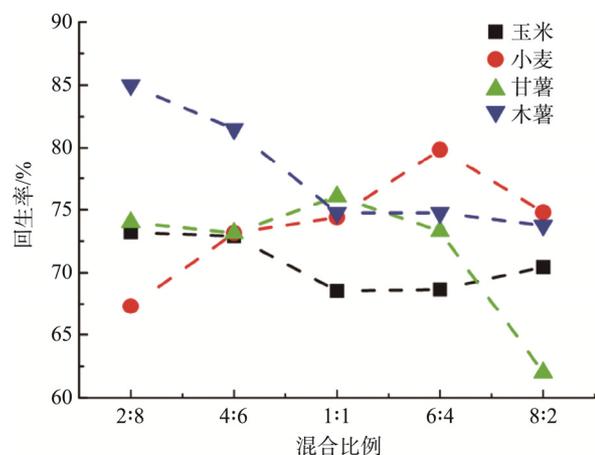
图6 糯米支链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率($n=3$)

Fig.6 Retrogradation rates of waxy rice amylopectin and different amylopectins ($n=3$)

3.2 直链与直链混合结果

3.2.1 马铃薯直链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率

图7为马铃薯直链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率。由图7可知,马铃薯直链淀粉与玉米、小麦、甘薯、木薯直链淀粉混合后,回生率最低比例分别为1:1、2:8、8:2、8:2(*m:m*),回生率最高比例分别为2:8、6:4、1:1、2:8(*m:m*)。在所有混合组中,马铃薯直链淀粉与甘薯直链以8:2(*m:m*)混合回生率最低为62.0%,食品加工中二者以此比例混合可以减少回生。马铃薯直链淀粉与木薯直链淀粉以2:8(*m:m*)比例混合时所得淀粉回生率最大,达到了85.0%,所以2种淀粉混合使用时尽量避开这个比例。



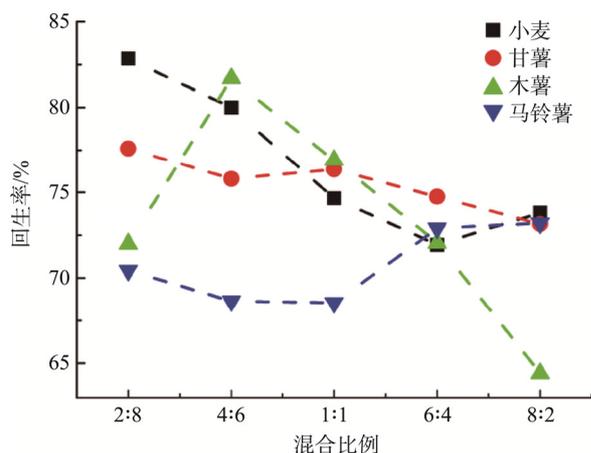
注: 图中所有平均数的显著性检验值 P 均为 $P < 0.05$

图7 马铃薯直链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率($n=3$)

Fig.7 Retrogradation rates of potato amylose and different amylopectins ($n=3$)

3.2.2 玉米直链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率

图 8 为玉米直链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率。由图 8 可知, 玉米直链淀粉与小麦、甘薯、木薯、马铃薯直链淀粉混合后, 回生率最低比例分别为 6:4、8:2、8:2、1:1(*m:m*), 回生率最高比例分别为 2:8、2:8、4:6、8:2(*m:m*)。在所有混合组中, 玉米直链淀粉与木薯直链以 8:2(*m:m*)混合回生率最低为 64.4%, 食品加工中二者以此比例混合可以减少回生。玉米直链淀粉与小麦直链淀粉以 2:8 比例混合时所得淀粉回生率最大, 达到了 82.8%, 所以 2 种淀粉混合使用时尽量避开这个比例。



注: 图中所有平均数的显著性检验值 P 均为 $P < 0.05$

图 8 玉米直链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率 ($n=3$)

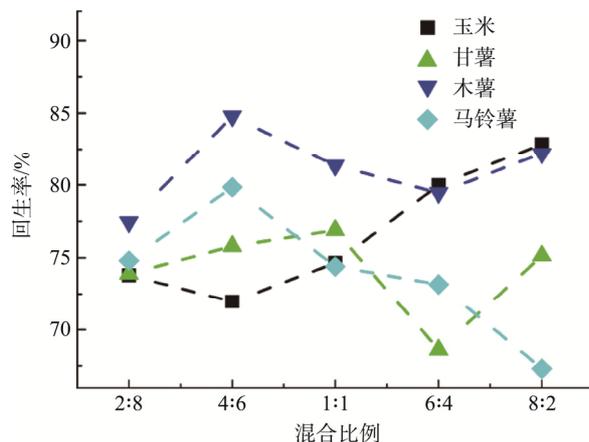
Fig.8 Retrogradation rates of maize amylose and different amyloses ($n=3$)

3.2.3 小麦直链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率

图 9 为玉米直链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率。由图 9 可知, 小麦直链淀粉与玉米、甘薯、木薯、马铃薯直链淀粉混合后, 回生率最低比例分别为 4:6、6:4、2:8、8:2(*m:m*), 回生率最高比例分别为 8:2、1:1、4:6、4:6(*m:m*)。在所有混合组中, 小麦直链淀粉与马铃薯直链淀粉以 8:2(*m:m*)混合回生率最低为 67.3%, 食品加工中二者以此比例混合可以减少回生。小麦直链淀粉与木薯直链淀粉以 4:6 比例混合时所得淀粉回生率最大, 达到了 84.8%, 所以 2 种淀粉混合使用时尽量避开这个比例。

3.2.4 甘薯直链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率

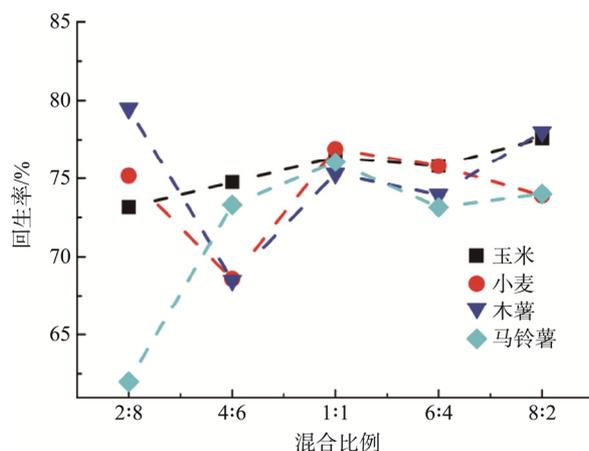
图 10 为玉米直链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率。由图 10 可知, 甘薯直链淀粉与玉米、小麦、木薯、马铃薯直链淀粉混合后, 回生率最低比例分别为 2:8、4:6、4:6、2:8(*m:m*), 回生率最高比例分别为 8:2、1:1、2:8、1:1(*m:m*)。在所有混合组中, 甘薯直链淀粉与马铃薯直链淀粉以 2:8(*m:m*)混合回生率最低为 62.0%, 食品加工中二者以此比例混合可以减少回生。甘薯直链淀粉与木薯直链淀粉以 2:8(*m:m*)比例混合时所得淀粉回生率最大, 达到了 79.5%, 所以 2 种淀粉混合使用时尽量避开这个比例。



注: 图中所有平均数的显著性检验值 P 均为 $P < 0.05$

图 9 小麦直链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率 ($n=3$)

Fig.9 Retrogradation rates of wheat amylose and different amyloses ($n=3$)



注: 图中所有平均数的显著性检验值 P 均为 $P < 0.05$

图 10 甘薯直链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率 ($n=3$)

Fig.10 Retrogradation rates of sweetpotato amylose and different amyloses ($n=3$)

3.2.5 木薯直链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率

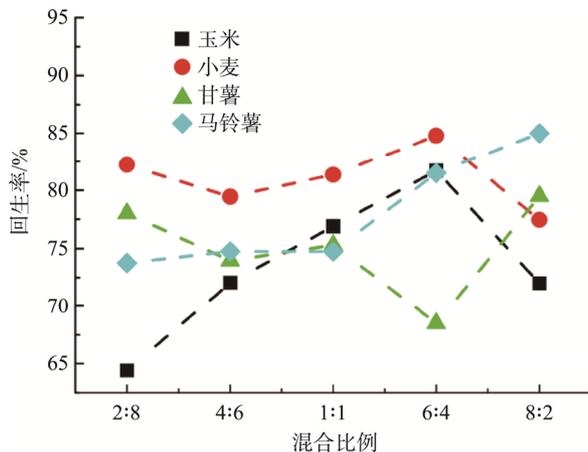
图 11 为木薯直链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率。由图 11 可知, 木薯直链淀粉与玉米、小麦、甘薯、马铃薯直链淀粉混合后, 回生率最低比例分别为 2:8、8:2、6:4、2:8(*m:m*), 回生率最高比例分别为 6:4、6:4、8:2、8:2(*m:m*)。在所有混合组中, 木薯直链淀粉与玉米直链淀粉以 2:8(*m:m*)混合回生率最低为 64.4%, 食品加工中二者以此比例混合可以减少回生。木薯直链淀粉与小麦直链淀粉以 6:4(*m:m*)混合时所得淀粉回生率最大, 达到了 84.8%, 所以 2 种淀粉混合使用时尽量避开这个比例。

3.3 支链与支链混合结果

3.3.1 马铃薯支链淀粉与各支链淀粉混合后的回生率

图 12 为马铃薯支链淀粉与各支链淀粉混合后的回生率。由图 12 可知, 马铃薯支链淀粉与玉米、小麦、甘薯、

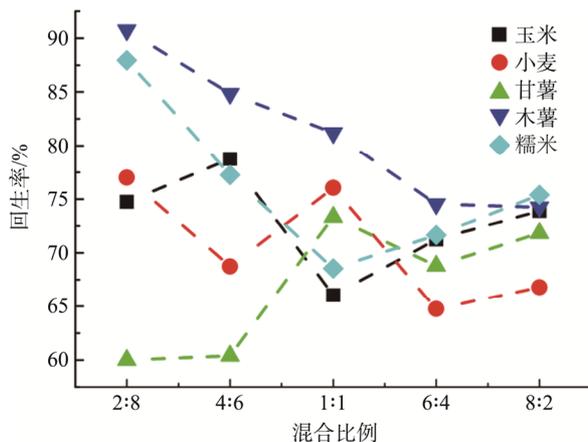
木薯、糯米支链淀粉混合后, 回生率最低比例分别为 1:1、6:4、2:8、8:2、1:1(*m:m*), 回生率最高比例分别为 4:6、2:8、1:1、2:8、2:8(*m:m*)。在所有混合组中, 马铃薯支链淀粉与甘薯支链淀粉以 2:8(*m:m*)混合回生率最低为 60.0%, 食品加工中二者以此比例混合可以减少回生。马铃薯支链淀粉与木薯支链淀粉以 2:8(*m:m*)比例混合时所得淀粉回生率最大, 达到了 90.7%, 所以 2 种淀粉混合使用时尽量避开这个比例。



注: 图中所有平均数的显著性检验值 P 均为 $P < 0.05$

图 11 木薯直链淀粉与各直链淀粉混合后的回生率 ($n=3$)

Fig.11 Retrogradation rates of tapioca amylose and different amylopectins ($n=3$)



注: 图中所有平均数的显著性检验值 P 均为 $P < 0.05$

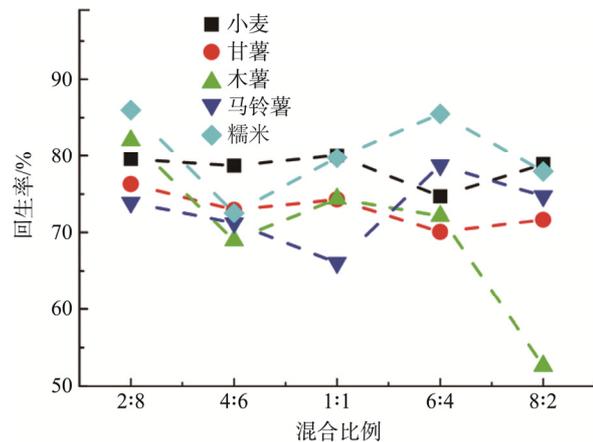
图 12 马铃薯支链淀粉与各支链淀粉混合后的回生率 ($n=3$)

Fig.12 Retrogradation rates of potato amylopectin and different amylopectins ($n=3$)

3.3.2 玉米支链淀粉与各支链淀粉混合后的回生率

图 13 为玉米支链淀粉与各支链淀粉混合后的回生率。由图 13 可知, 玉米支链淀粉与小麦、甘薯、木薯、马铃薯、糯米支链淀粉混合后, 回生率最低比例分别为 6:4、6:4、8:2、1:1、4:6(*m:m*), 回生率最高比例分别为 2:8、2:8、2:8、6:4、2:8(*m:m*)。在所有混合组中, 玉米支链淀粉与木薯支链淀粉以 8:2(*m:m*)混合回生率最低为 52.6%, 食品加

工中二者以此比例混合可以减少回生。玉米支链淀粉与糯米支链淀粉以 2:8(*m:m*)比例混合时所得淀粉回生率最大, 达到了 86.0%, 所以 2 种淀粉混合使用时尽量避开这个比例。



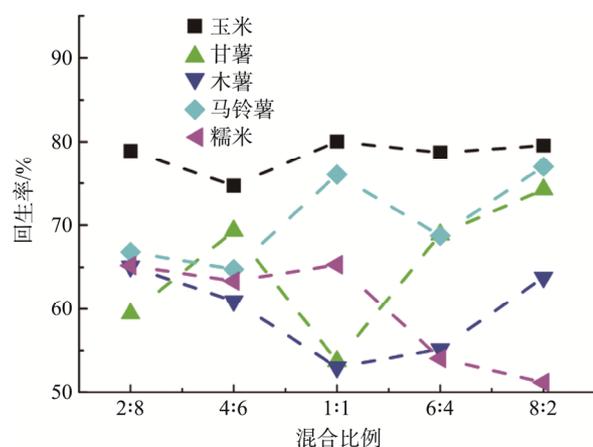
注: 图中所有平均数的显著性检验值 P 均为 $P < 0.05$

图 13 玉米支链淀粉与各支链淀粉混合后的回生率 ($n=3$)

Fig. 13 Retrogradation rates of maize amylopectin and different amylopectins ($n=3$)

3.3.3 小麦支链淀粉与各支链淀粉混合后的回生率

图 14 为小麦支链淀粉与各支链淀粉混合后的回生率。由图 14 可知, 小麦支链淀粉与玉米、甘薯、木薯、马铃薯、糯米支链淀粉混合后, 回生率最低比例分别为 4:6、1:1、1:1、4:6、8:2(*m:m*), 回生率最高比例分别为 1:1、8:2、2:8、2:8、1:1(*m:m*)。在所有混合组中, 小麦支链淀粉与糯米支链淀粉以 8:2(*m:m*)混合回生率最低为 51.2%, 食品加工中二者以此比例混合可以减少回生。小麦支链淀粉与玉米支链淀粉以 1:1(*m:m*)比例混合时所得淀粉回生率最大, 达到了 80.0%, 所以 2 种淀粉混合使用时尽量避开这个比例。



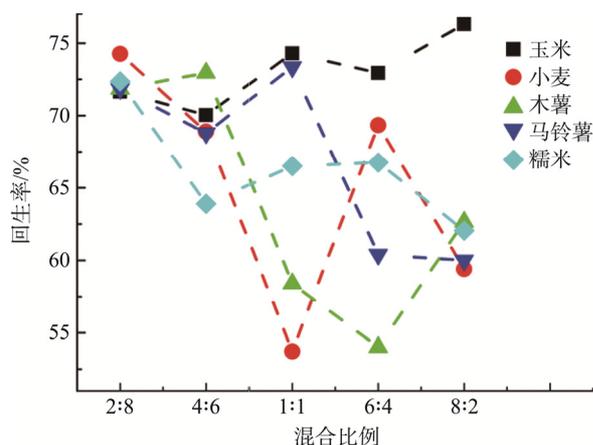
注: 图中所有平均数的显著性检验值 P 均为 $P < 0.05$

图 14 小麦支链淀粉与各支链淀粉混合后的回生率 ($n=3$)

Fig. 14 Retrogradation rates of wheat amylopectin and different amylopectins ($n=3$)

3.3.4 甘薯支链淀粉与各支链淀粉混合后的回生率

图 15 为甘薯支链淀粉与各支链淀粉混合后的回生率。由图 15 可知, 甘薯支链淀粉与玉米、小麦、木薯、马铃薯、糯米支链淀粉混合后, 回生率最低比例分别为 4:6、1:1、6:4、8:2、8:2(*m:m*), 回生率最高比例分别为 8:2、2:8、4:6、1:1、2:8(*m:m*)。在所有混合组中, 甘薯支链淀粉与小麦支链淀粉以 1:1(*m:m*)混合回生率最低为 53.7%, 食品加工中二者以此比例混合可以减少回生。甘薯支链淀粉与玉米支链淀粉以 8:2(*m:m*)比例混合时所得淀粉回生率最大, 达到了 76.3%, 所以 2 种淀粉混合使用时尽量避开这个比例。



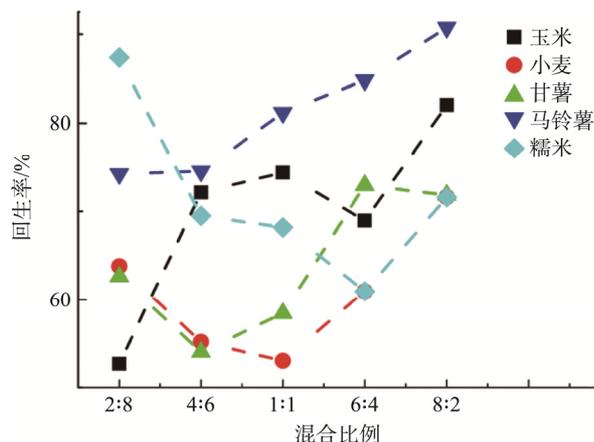
注: 图中所有平均数的显著性检验值 P 均为 $P < 0.05$
 图 15 甘薯支链淀粉与各支链淀粉混合后的回生率 ($n=3$)
 Fig.15 Retrogradation rates of sweetpotato amylopectin and different amylopectins ($n=3$)

3.3.5 木薯支链淀粉与各支链淀粉混合后的回生率

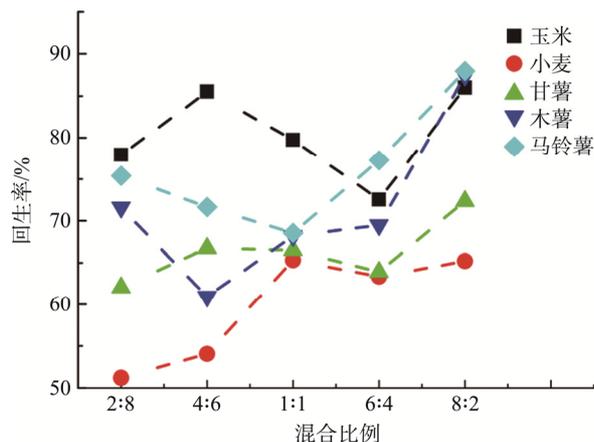
图 16 为木薯支链淀粉与各支链淀粉混合后的回生率。由图 16 可知, 木薯支链淀粉与玉米、小麦、甘薯、马铃薯、糯米支链淀粉混合后, 回生率最低比例分别为 2:8、1:1、4:6、2:8、6:4(*m:m*), 回生率最高比例分别为 8:2、8:2、6:4、8:2、2:8(*m:m*)。在所有混合组中, 木薯支链淀粉与玉米支链淀粉以 2:8(*m:m*)混合回生率最低为 52.6%, 食品加工中二者以此比例混合可以减少回生。木薯支链淀粉与马铃薯支链淀粉以 8:2(*m:m*)混合时所得淀粉回生率最大, 达到了 90.7%, 所以 2 种淀粉混合使用时尽量避开这个比例。

3.3.6 糯米支链淀粉与各支链淀粉混合后的回生率

图 17 为糯米支链淀粉与各支链淀粉混合后的回生率。由图 17 可知, 糯米支链淀粉与玉米、小麦、甘薯、木薯、马铃薯支链淀粉混合后, 回生率最低比例分别为 6:4、2:8、2:8、4:6、1:1(*m:m*), 回生率最高比例分别为 8:2、1:1、8:2、8:2、8:2(*m:m*)。在所有混合组中, 糯米支链淀粉与小麦支链淀粉以 2:8(*m:m*)混合回生率最低为 51.2%, 食品加工中二者以此比例混合可以减少回生。糯米支链淀粉与马铃薯支链淀粉以 8:2(*m:m*)混合时所得淀粉回生率最大, 达到了 87.9%, 所以 2 种淀粉混合使用时尽量避开这个比例。



注: 图中所有平均数的显著性检验值 P 均为 $P < 0.05$
 图 16 木薯支链淀粉与各支链淀粉混合后的回生率 ($n=3$)
 Fig.16 Retrogradation rates of tapioca amylopectin and different amylopectins ($n=3$)



注: 图中所有平均数的显著性检验值 P 均为 $P < 0.05$
 图 17 糯米支链淀粉与各支链淀粉混合后的回生率 ($n=3$)
 Fig.17 Retrogradation rates of waxy rice amylopectin and different amylopectins ($n=3$)

3.4 回生率高低的混合淀粉回生所得回生淀粉的 X 衍射图分析

根据不同混合淀粉回生率选择了两种回生率比较高和比较低的淀粉做 X 射线衍射分析, 探讨混合淀粉回生率发生变化的可能途径。回生率高的选择回生率为 84.8% 的玉米支链淀粉与小麦直链淀粉混合(图 18)。回生率低的选择回生率为 58.75% 的马铃薯支链淀粉与马铃薯直链淀粉混合回生 X-衍射图(图 19)。

由图 18 可知, 玉米支链淀粉与小麦直链淀粉混合后所得回生淀粉的衍射角 2θ 为 16.92° 、 22.38° 、 23.92° 。由图 19 可知, 马铃薯支链淀粉与马铃薯直链淀粉的衍射角 2θ 为 16.92° 、 21.96° 、 23.86° 。接近于 B 型淀粉 X 射线图(衍射角 2θ 为 5.5° 、 17.2° 、 22.2° 、 24.0°)^[15], 但缺少 2θ 为 5.5° 左右的衍射峰。说明此种混合淀粉属于 B 型淀粉。

与文献中淀粉球完整的 B 型原淀粉的 X 射线相比,直支链混合后所得淀粉的衍射峰更加尖锐,说明结晶度越高。 2θ 为 5.5° 左右晶面间距表较大,缺少该衍射峰说明形成该晶面的直支链淀粉分子量比较大,淀粉链侧支有序排列能支撑起更宽的平行晶面。

对比图 18 和图 19 可知,二者衍射峰基本相同,唯一明显区别是回生率比较低的马铃薯支链淀粉与马铃薯直链淀粉在 2θ 为 24° 附近的衍射峰更尖锐。该峰的形成可能会降低淀粉链的运动速度从而减少淀粉链间氢键的形成,最终降低了混合淀粉的回生率。

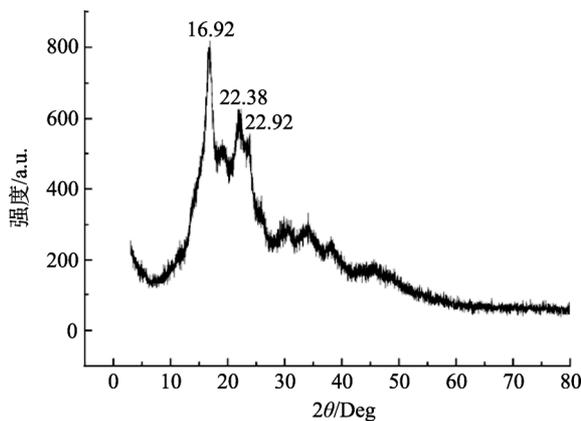


图 18 玉米支链淀粉与小麦直链淀粉混合回生 X-衍射图
Fig.18 X-ray diffraction of retrograded mixture of maize amylopectin and wheat amylose

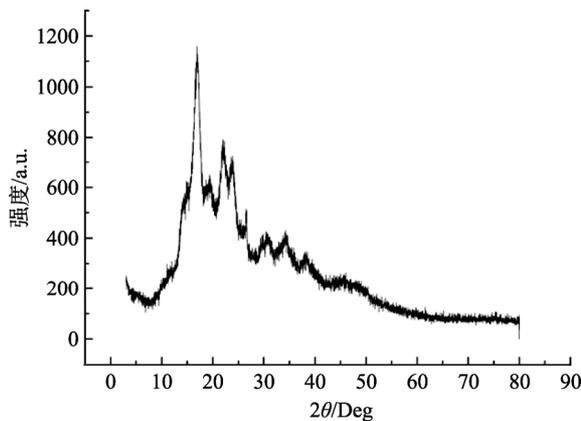


图 19 马铃薯支链淀粉与马铃薯直链淀粉混合回生 X-衍射图
Fig.19 X-ray diffraction of retrograded mixture of potato amylopectin and amylose

4 结论

马铃薯支链淀粉与甘薯支链淀粉以 2:8(*m:m*)混合回生率最低为 60.0%,玉米支链淀粉与木薯支链淀粉以 8:2(*m:m*)混合回生率最低为 52.6%,小麦支链淀粉与糯米支链淀粉以 8:2(*m:m*)混合回生率最低为 51.2%,甘薯支链

淀粉与小麦支链淀粉以 1:1(*m:m*)混合回生率最低为 53.7%。木薯支链淀粉与小麦直链淀粉以 1:1(*m:m*)比例混合时所得淀粉回生率最大,达到了 92.0%,食品加工中尽量不要混合使用此 2 种淀粉。不同种类的直、支链淀粉相互混合所得的回生率不同而且差异较大,若在许多面包与糕点等食品的制作过程中需要添加淀粉作为原配料或膳食纤维的强化剂时,可根据测得的不同淀粉混合的回生率作为依据来进行适当的添加,使面团质地和结构更加良好或使其膳食纤维成分得到了强化,而且可使其在气孔结构、均匀性、体积和颜色等感官品质方面均比添加其他传统膳食纤维的营养强化面包好。若添加到馒头中,可使其质地和弹性大为改善。混合淀粉回生后 X 射线晶型均为 B 型,回生率比较低的混合淀粉在 2θ 为 24° 附近的衍射峰更尖锐,该峰的形成可能是降低混合淀粉的回生率的原因。

参考文献

- [1] Zhu F, Hua YY, Li GT. Physicochemical properties of potato, sweet potato and quinoa starch blends [J]. Food Hydrocolloid, 2019, In Press.
- [2] Kim HS, Kim KM, Han GJ, *et al.* Effect of wheat flour addition on retardation of retrogradation in waxy rice cake, Ingeolmi [J]. J Korean Soc Appl Biol Chem. 2015, 58(2): 285–291.
- [3] Waterschoot J, Gomand SV, Delcour JA, *et al.* Direct evidence for the non-additive gelatinization in binary starch blends: A case study on potato starch mixed with rice or maize starches [J]. Food Hydrocolloid, 2015, (50): 137–144.
- [4] Gunaratne A, Corke H. Gelatinizing, pasting, and gelling properties of potato and amaranth starch mixtures [J]. Cere Chem, 2007, 84(1): 22–29.
- [5] Santhanee PA, Worayudh P, Chureerat P, *et al.* Gelatinization, pasting, and gelling properties of sweetpotato and wheat starch blends [J]. Food Res Int, 2008, 41(5): 552–561.
- [6] Bajaj R, Singh N, Kau A. Effect of native and gelatinized starches from various sources on sponge cake making characteristics of wheat flour [J]. J Food Sci Technol, 2019, 56(2): 1046–1055.
- [7] Waterschoot J, Gomand SV, Willebrords JK, *et al.* Pasting properties of blends of potato, rice and maize starches [J]. Food Hydrocoll, 2014, (41): 298–308.
- [8] 周秀琴. 马铃薯淀粉和玉米淀粉混合能提高水产制品的凝胶强度[J]. 食品研究与开发, 1988, (1): 62.
Zhou XQ. Mixing potato starch with corn starch can improve the gel strength of aquatic products [J]. Food Res Dev, 1988, (1): 62.
- [9] Joana P, Beatriz A, Laura R, *et al.* Selection of the most suitable mixture of flours and starches for the improvement of gluten-free breads through their volatile profiles [J]. Eur Food Res Technol, 2019, (245): 1755–1766.
- [10] Kawaljit SS, Maninder K, Mukesh A. Studies on noodle quality of potato and rice starches and their blends in relation to their physicochemical, pasting and gel textural properties [J]. LWT-Food Sci Technol, 2010, 43(8): 1289–1293.
- [11] 吴頔. 籼米淀粉/羟丙基交联木薯淀粉混合体系的性质研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2014.
Wu D. The research of rice starch/hydroxypropyl cross-linked tapioca starch mixed system [D]. Nanchang: Nanchang University, 2014.

- [12] 丁文平, 王月慧, 丁霄霖. 大米淀粉理化指标对其回生特性的影响[J]. 郑州工程学院学报, 2003, 24(1): 38-42.
Ding WP, Wang YH, Ding XL. Effects of physicochemical properties of rice starch on its retrogradation [J]. J Henan Univ Technol (Nat Sci Ed), 2003, 24(1): 38-42
- [13] 冯霞, 代欢欢, 周润生, 等. 高压湿热对甘薯直、支链回生淀粉晶体晶型的作用[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2016, 37(3): 13-20.
Feng X, Dai HH, Zhou RS, *et al.* Influence of autoclaving on crystal pattern of retrograded amylose and amylopectin of sweet potato [J]. J Henan Univ Technol (Nat Sci Ed), 2016, 37(3): 13-20.
- [14] 王雪青, 蒋荣霞, 郭志鹏, 等. 藻蓝蛋白及其水解物促进玉米直支链淀粉回生机理研究[J]. 农业工程学报, 2019, 35(8): 324-334.
Wang XQ, Jiang RX, Guo ZP, *et al.* Mechanism of retrogradation enhancement of maize amylose and amylopectin by phycocyanin and its hydrolysate [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2019, 35(8): 324-334.
- [15] Sun Y, Ye H, Hu B, *et al.* Changes in crystal structure of chickpea starch samples during processing treatments: An X-ray diffraction and starch

moisture analysis study [J]. Carbohydr Polym, 2015, (121): 169-174.

(责任编辑: 陈雨薇)

作者简介



王丹丽, 博士, 讲师, 主要研究方向为淀粉回生的研究。

E-mail: lxywdl@tjcu.edu.cn

连喜军, 博士, 副教授, 主要研究方向为回生淀粉研究。

E-mail: lianliu2002@163.com