

不同冻结速率对冻后番木瓜品质的影响

刘艳春, 王维民*, 苏 阳, 尚朝杰

(广东海洋大学食品科技学院, 广东湛江 524088)

摘要: 研究木瓜在不同冻结方式下的冻结特性(冻结曲线、冻结速率、通过最大冰晶带时间、冻结点等)和品质变化。研究表明木瓜的冻结点随着速冻速率的改变而有所变化,但整体变化幅度不大,在-1.1~-1.7℃之间。提高冻结速率可减少通过最大冰晶带的时间。冻结后木瓜的pH均降低,且随着冻结速率的增大,干耗率、汁液损失率、褐变度逐渐减小,但冻结速率对木瓜中的V_C、可溶性固形物含量影响很小。冻结对木瓜的PPO和POD酶活性有一定的抑制作用,随着速冻速率的增大,两种酶活性均呈先增大后减小的趋势。综合理化指标和感官评价结果,冻结速率快有利于保持木瓜的品质。

关键词: 番木瓜, 冻结特性, 品质变化

Effect of different freezing rates on the quality change of *Carica papaya* L.

LIU Yan-chun, WANG Wei-min*, SU Yang, SHANG Chao-jie

(College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: The freeze features (freezing curve, freezing rate, the time through the largest ice crystals, freezing point) and the quality change of *Carica papaya* L. under the different freezing conditions were investigated. Results showed that the freezing point was changed with the freezing rate, it was ranges from -1.1℃ to -1.7℃. The time through the largest ice crystals were all reduced with the increase of the freezing rate. The pH of the *Carica papaya* L. were all reduced after freezing, and with the increase of the freezing rate, riploss, whiteness and browning degree decreased. And the freezing rate of V_C, soluble solids content of *Carica papaya* L. had little impact. Freeze on *Carica papaya* L. PPO and POD enzyme activity had certain inhibitory effect, with the increase of freezing rate both of the two enzyme activity were the trend of first increases and then decreases. According to the results of physical and chemical index and sensory evaluation, the high freezing rate was helpful for maintaining the quality of the *Carica papaya* L..

Key words: *Carica papaya* L.; freeze features; the quality change

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)14-335-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.14.060

番木瓜 (*Carica papaya*), 果实营养丰富, 含有多种维生素及矿物质元素、被誉为“岭南水果之王”^[1], 也是我国首批公布的“药食同源”类食物, 现代医学研究表明木瓜对淋巴性白血病细胞具有抗性^[2], 木瓜因此受到人们的喜爱。

木瓜一年多生, 产量很高, 但是采后很容易软化和腐烂, 贮藏期很短。目前对采后的木瓜一般采用降温或气调贮藏, 其贮藏期虽有一定延长, 但腐烂率仍很高。研究表明对适合冻藏的水果进行速冻及冷藏, 可以很好地改善水果的贮藏品质、延长贮期、降低腐烂率等^[3-4]。目前速冻水果的种类很多, 有草莓、杨梅、桃子、荔枝、苹果、葡萄、枇杷等。冻结速率是影响果蔬速冻品质的重要因素, 因为果蔬是含水量很高的物料, 不同的冻结速率会对冻结后果蔬中冰晶形成

的多少、大小、分布产生很大的影响, 进而影响冻结对果蔬细胞的损伤程度, 最终决定冻结后果蔬的品质的好坏。因此在果蔬速冻过程必须考虑冻结速率对果蔬品质的影响。郭忠春^[4]研究了冻结温度对速冻荔枝品质的影响, 结果表明冻结温度越低, 冻结速度越快, 解冻后荔枝果实汁液流失率也就越少。晏绍庆等^[5]研究了冻结速率对速冻苹果片品质的影响, 结果表明不同的冻结速率会引起可溶性过氧化物酶 (POD) 的活性较大幅度变化, 而可溶性多酚氧化酶 (PPO) 活性变化较小。Fuchigami^[6]比较了速冻和缓冻对胡萝卜质构和果胶物质的变化情况, 结果表明缓冻加速了果胶物质的释放, 较容易破坏胡萝卜的质构, 而速冻更能保持质构。而目前关于冻结速率对速冻木瓜品质的影响报道较少, 本文针对其冻结过程

收稿日期: 2014-10-20

作者简介: 刘艳春(1988-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与高效利用。

* 通讯作者: 王维民(1958-), 男, 教授, 研究方向: 食品加工与贮藏。

基金项目: 广东省科技计划项目(2012B2130106050); 广东海洋大学“创新强校工程”项目(GDOU2013041103)。

中的品质变化进行研究,旨在为速冻木瓜提供指导。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与仪器

台农5号木瓜(8成熟) 购自广东湛江水果市场;邻苯二酚、双氧水、愈创木酚、2,6-二氯酚靛酚、抗坏血酸、乙酸、乙酸钠、草酸、聚乙二醇(PEG)、交联聚维酮(PVPP)、聚乙二醇辛基苯基醚(Triton X-100) 均为分析纯。

722S分光光度计 上海精密科学仪器有限公司;UX420H、AUW120电子天平 日本岛津;HHS型电热恒温水浴锅 上海博迅实业有限公司医疗设备厂;TDZ5-WS台式低速离心机 湖南赫西仪器装备有限公司;BDC-216M冰箱 合肥美的荣事达电冰箱有限公司;Forma超低温冰箱 美国Thermo公司;PHS-25C酸度计 深圳市力源检测仪器有限公司;JK-24U多温路数显温度计 江苏常州金艾联电子有限公司;Ec215 Conductivity Meter电导率仪 上海天达仪器有限公司。

1.2 实验方法

前处理:挑选无机械损伤的木瓜,清洗去皮、去籽,按木瓜果实头部到尾部的方向纵向切分为四大大块,把每块的头尾少量切下后用直尺测量切分,3cm长度为一块,每块重量在28~32g。

冻结处理:将切分后的木瓜放入-20、-30、-45、-70℃四种不同温度的环境中进行冻结,直至冻结的中心温度达到-18℃。

解冻处理:将冻结好的木瓜放到4℃的冰箱中解冻。解冻后样品用于理化指标测定。

1.3 温度的测定

温度的测定采用经校正的多温路数显温度计进行测定和记录。选择木瓜块中最厚的3个位置作为测定点,将6个探头分别插于这3个位置的中心和表面处,每隔10s记录一次温度值。进行冻结速率计算时,取木瓜3个中心温度探头中温度下降最慢的探头点为中心温度点,对应该位置的表面探头温度作为表面温度点。

1.4 冻结速率的计算

冻结速率V按照国际制冷协会提出的计算方法^[7],计算公式如下。

$$V = \delta_0 / \tau_0$$

式中, δ_0 —食品表面与热中心的最短距离,cm;
 τ_0 —食品表面达0℃至热中心温度达初始冻结点以下10℃所需的时间,h。

计算时,取木瓜中心3个温度探头中温度下降最慢的探头点为中心温度点,对应该位置的表面探

头温度作为表面温度点。

1.5 理化指标的测定

1.5.1 干耗率和汁液流失率 参考AOAC的方法^[8-9]进行,公式如下。

$$\text{干耗率}(\%) = (\text{冻结前重量} - \text{冻结后重量}) / \text{冻结前重量} \times 100$$

$$\text{汁液流失率}(\%) = (\text{冻结后重量} - \text{解冻后重量}) / \text{冻结后重量} \times 100$$

1.5.2 电导率的测定 根据参考方法^[10]略做修改:把木瓜切成1cm长的立方体,用去离子水清洗表面3s,然后放在200mL去离子水中放置0.5h。用电导率仪测定浸泡液的电导值。

1.5.3 褐变度的测定 样品按1:5(g/mL)加蒸馏水,低温下打浆、4000r/min离心15min,上清液放置25℃水浴中保温5min,于420nm测定吸光度,褐变强度以 A_{420} 表示。

1.5.4 可溶性固形物的测定 采用手持式糖量计测定可溶性固形物含量^[11],样品按1:1(g/mL)加蒸馏水打浆用于测定,可溶性固形物含量单位为g/100g。

1.5.5 pH的测定 解冻后的番木瓜10g,加入40mL去离子水打浆,沸水浴1min,冷却后用pH计测其pH。

1.5.6 V_c 的测定 根据参考文献^[12]采用2,6-二氯酚靛酚微量滴定法。

1.5.7 酚氧化酶(PPO)、氧化酶(POD)相对酶活的测定 根据参考文献^[13-14]进行。相对酶活计算:在测定条件下,以新鲜木瓜酶的活性的最高值作为100%,相对酶活(%)=(不同冻结速率下木瓜酶活/新鲜木瓜酶活)×100。

1.5.8 感官评定 选择10位经过训练的人员组成感官评定小组,采用接受性检验法,分别对样品的外观颜色、气味、口感进行评定。

1.6 数据处理

每个测定平行3次,分别平均取样,结果取平均值计算,所有实验数据运用Microsoft Excel、Origin数据处理系统进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同冻结速率对冻结曲线的影响

图1为木瓜块在不同冻结环境下的冻结曲线,揭示了木瓜在不同温度下降随冻结时间的变化规律。

由图1和表2可知,番木瓜的冻结速率随着冻结环境中温度的降低而增大。番木瓜的冻结曲线符合一般食品冻结曲线的趋势,其中在第2个阶段(曲线较平坦部分),食品内部80%以上水分被冻结生成冰晶,为最大冰晶生成带,该冰晶带的起始温度点即为冻结点^[15]。不同冻结速率下番木瓜的冻结点有一定

表1 感官评分标准

Table 1 The standards of sensory score

项目	评价标准(分)				
	9~10	7~8	5~6	3~4	1~2
颜色	鲜艳的亮黄橙色	较有光泽的黄橙色	没有光泽的黄色	暗淡的黄红色	很暗淡,颜色为黄褐色
气味	浓郁的木瓜香气	淡淡的木瓜香气	能感到木瓜香气	没有木瓜香气	有异味的出现
口感	木瓜香甜,口感好	淡淡的木瓜香甜,口感适中	几乎无木瓜口味,口感一般	口感较差	口感很差

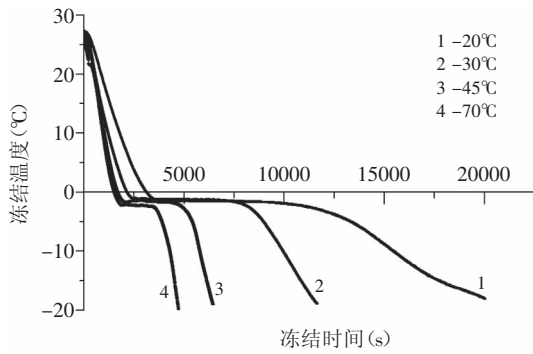


图1 不同冻结方式下木瓜中心部位冻结曲线

Fig.1 Freezing curve of the central part of *Caricapapaya* under different freezing conditions

表2 不同冻结条件下的冻结特性

Table 2 Freezing features under different freezing conditions

冻结室初始温度 (°C)	冻结点 (°C)	最大冰晶生成带 (°C)	通过最大冰晶生成带时间 (min)	δ_0 (cm)	τ_0 (h)	V (cm/h)
-20	-1.5	-1.5~-1.8	99.83	1.0	3.894	0.2568
-30	-1.1	-1.1~-1.6	82.67	1.0	2.425	0.4124
-45	-1.5	-1.5~-2.0	39.33	1.0	1.250	0.8000
-70	-1.7	-1.7~-2.4	18.33	1.0	0.874	1.1442

的差异,冻结速率为0.2568cm/h时木瓜冻结点为-1.5°C,冻结速率为0.4124cm/h时木瓜冻结点是-1.1°C,冻结速率为0.8000cm/h时木瓜冻结点是-1.5°C,冻结速率为1.1442cm/h时木瓜冻结点是-1.7°C,总体冻结点范围是-1.7~-1.1°C,该冻结点与一些果蔬的冻结点近似。但是不同的冻结速率下通过最大冰晶生成带所需的时间是不同的,冻结速率越大通过最大冰晶生成带的时间越短。冻结速率为1.1442cm/h通过最大冰晶生成带的时间为18.33min小于30min,属于速冻的范畴。冻结速率为0.8000cm/h时通过的时间为39.33min,略大于30min介于慢冻速冻之间,而当冻结速率为0.2568、0.4124cm/h时通过的时间为99.83、82.67min远大于30min,属于慢冻范畴。一般认为果蔬在冷冻过程应快速通过最大冰晶生成带,因为此时,所造成的干耗、汁液损失、营养物质损失较小。

2.2 冻结速率对冻木瓜块品质的影响

2.2.1 冻结速率对冻木瓜块干耗率、汁液损失率的影响

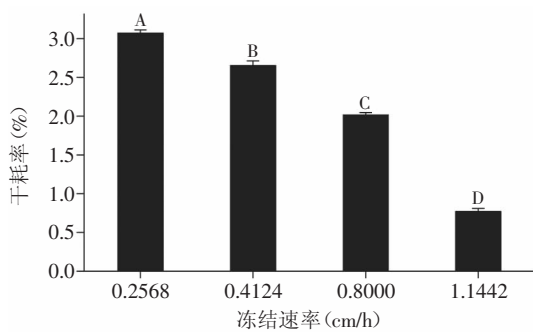


图2 不同冻结速率木瓜的干耗率

Fig.2 Moisture loss under different freezing rate

注:不同大写字母代表差异显著($p < 0.05$),图3同。

影响 在冻结过程中,会发生木瓜块表面水分的蒸发即干耗现象,不同冻结速率下木瓜块表面与速冻环境的水蒸气压力差和到达速冻终点时间的不同,造成了木瓜干耗率的差异。如图2所示,随着冻结速率的增加干耗率逐渐减小($p < 0.05$),最快冻结速率下木瓜的干耗率是最慢冻结速率木瓜干耗率的1/5左右,干耗不仅会造成速冻产品的水分损失,还会导致产品质量、口感的下降,因此有必要在速冻过程中考虑速冻速率对冻制品干耗的影响。

汁液损失对冻藏食品的品质有很大影响,冷冻和解冻过程会造成食品物料细胞性质的变化,导致解冻后木瓜的水分不能被全部吸收,汁液流失导致一定的营养成分和呈味成分的损失,同时汁液的流失使食品物料的重量相对减少,给生产者带来一定的经济影响。因此,汁液损失的多少成为衡量冻藏食品质量的重要指标^[7]。图3为不同冻结速率下的木瓜块解冻汁液损失率,从图3中可以看出,样品的汁液损失率随着冻结速率的增加而明显减少($p < 0.05$),其中冻结速率1.1442cm/h木瓜块的汁液损失率是冻结速率为0.2568cm/h木瓜块的1/2。

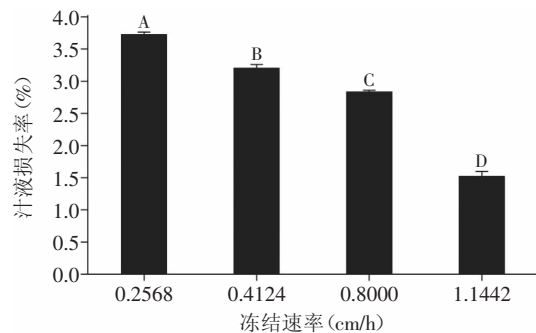


图3 不同冻结速率木瓜的汁液损失率

Fig.3 Drip loss under different freezing rate

2.2.2 冻结速率对冻木瓜V_C含量、可溶性固形物含量、pH、电导率的影响 由表3可知,木瓜经冻结后样品中的V_C含量变化不大,不同冻结速率下样品中V_C含量差异不显著($p > 0.05$)。冻结后木瓜中的可溶性固形物含量均增加,可溶性固形物主要指能溶于水的糖、酸、维生素、矿物质等,可能是冻结过程对木瓜细胞造成一定损伤,使细胞内的有些物质释放,使冻后木瓜中可溶性固形物含量增加。新鲜木瓜的pH为5.68,

表3 不同冻结条件下的理化指标

Table 3 Physicochemical indexes of papaya under different freezing conditions

冻结速率 (cm/h)	V _C 含量 (mg/100g)	可溶性固形物含量 (g/100g)	pH	电导率 (μS/cm)
新鲜样品	83.4782±0.01 ^{AB}	5.00	5.68±0.07 ^A	99.7±0.87 ^D
0.2568	83.4595±0.02 ^B	5.10	5.20±0.09 ^D	230.8±0.14 ^A
0.4124	83.5004±0.04 ^A	5.10	5.27±0.03 ^{CD}	213.0±8.19 ^B
0.8000	83.4652±0.01 ^{AB}	5.05	5.33±0.05 ^C	176.0±3.04 ^C
1.1442	83.4768±0.01 ^{AB}	5.05	5.47±0.02 ^B	104.7±1.65 ^D

注:同列不同大写字母代表差异显著($p < 0.05$)。

冻后木瓜pH均下降,冻结速率越低,其pH下降越大,导致以氢离子为代表的各种成分从细胞中析出,这表明木瓜因冻结速率越慢,组织受损程度越严重。对物料电导率的检测可反映其细胞完整性状态,通过表3可知,冻结后木瓜的电导率均增大,即冻结使木瓜的细胞通透性变大。冻结速率越低,冻后木瓜电导率越大($p < 0.05$),此时木瓜细胞受到的损伤也越大。

2.2.3 冻结速率对木瓜块酶活、褐变度的影响 多酚氧化酶(PPO)是冷冻果蔬褐变的主要影响因素,过氧化物酶(POD)与冷冻果蔬的风味流失有直接关系^[9]。虽然冻结、低温对物料中的酶有一定的破坏和抑制作用,但是在低温环境中各种酶仍具有活性,因此对冻结和冻藏过程中酶活性变化进行研究是十分必要的。冻结过程中不同冻结速率对木瓜酶活及褐变的影响如图4和图5所示。

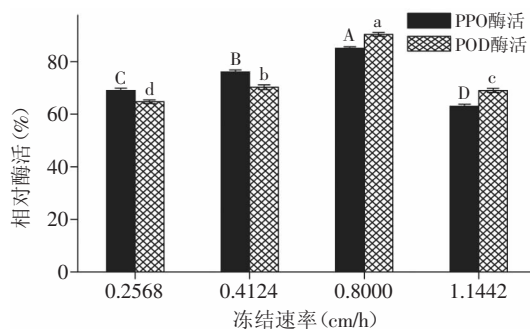


图4 不同冻结速率下木瓜中PPO、POD相对酶活

Fig.4 The PPO and POD relative enzyme activity under different freezing rate

注:不同大、小写字母代表不同冻结速率间差异显著($p < 0.05$),图5同。

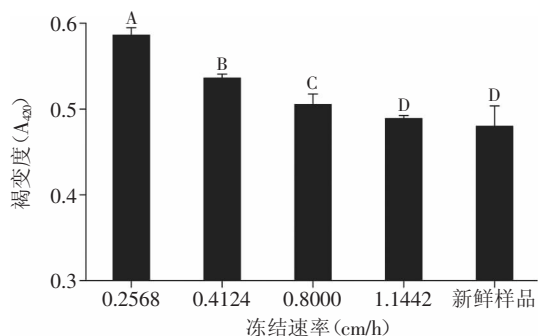


图5 不同冻结速率木瓜的褐变度

Fig.5 The browning degree under different freezing rate

由图4可知冻结对PPO、POD的酶活都有一定的抑制作用,经过冻结后木瓜块中的PPO、POD酶活性都有一定程度的降低。随着速冻速率的增加酶活呈先上升后下降的趋势。0.2568cm/h到0.4124cm/h的冻结速率下PPO、POD的活性随着冻结速率的增加而变大,当冻结速率为1.1442cm/h时PPO、POD的活性又降低。

由于木瓜中含有大量的酚类物质和氧化酶,在加工过程中极易发生褐变反应,会影响产品的感官品质、营养价值和市场价值。通常认为冻结过程中氧化酶的活性受到抑制或是破坏,且冻结时间短暂是

不会发生褐变反应的,但是通过本实验即如图5可知,在冻结过程中木瓜发生了褐变反应。随着冻结速率的增加褐变度逐渐减小,当冻结速率为1.1442cm/h时与新鲜样品的褐变度差异不显著($p > 0.05$),没有发生褐变反应。

褐变反应通常与氧化酶的含量、活性、反应的底物浓度、时间、温度有关。本实验选用的原材料是相同的,因此可以排除氧化酶含量、反应底物浓度的影响,在不同冻结速率时能影响褐变程度的应是氧化酶的活性、反应的温度和时间。由图4可知-20℃冻结下对POD酶活的抑制作用明显,但是在-20℃冻结环境下通过最大冰晶带所需的时间也最长、形成的大冰晶对细胞的破坏作用最大,使细胞内的一些物质释放,加速了褐变反应。在-70℃的冻结环境下,POD的酶活得到一定的破坏,同时冻结时通过最大冰晶生成带和冻结终点的时间短,综合作用使得-70℃冻结环境下的木瓜的褐变度最小。

2.2.4 冻结速率对木瓜感官的影响 由于发生了干耗、汁液流失、褐变、pH降低等现象,不同冻结速率下木瓜的色泽、气味、口感在解冻后较新鲜木瓜有一定变化,但是解冻后的木瓜仍然有较好的食用品质,评价小组对速冻后番木瓜在色泽、气味、口感上的接受度较高。高冻结速率冻结后的木瓜,由于干耗小、解冻后汁液损失少在感官上更能符合人的口感,得到了最高的感官评分。

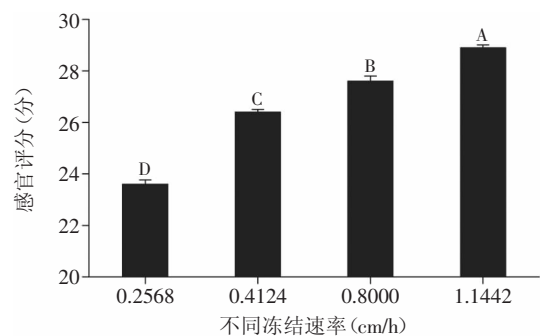


图6 不同冻结速率番木瓜感官评分

Fig.6 The sensory analysis under different freezing rate

3 结论

番木瓜的冻结符合一般果蔬的冻结特性,分为明显的三个阶段。冻结环境的温度越低,则速冻番木瓜过程中,通过最大冰晶生成带的时间越短。木瓜的冻结点随着速冻速率的改变而有所变化,但整体变化幅度不大,在-1.1℃~-1.7℃之间。冻结后木瓜的pH均降低,且随着冻结速率的增大,干耗率、汁液损失率、褐变度逐渐减小,但冻结速率对番木瓜中的V_C、可溶性固形物含量影响很小。冻结对木瓜的PPO和POD酶活性有一定的抑制作用,随着速冻速率的增大,酶活性均呈先增大后减小的趋势。

综合理化指标和感官评价结果表明,速冻后的木瓜仍然具有较好的食用品质,而且冻结速率快有利于保持木瓜的品质,故本文选取的最佳冻结温度为-70℃。这为番木瓜的速冻加工提供了一定的理论

指导,但是经过贮藏后番木瓜食用品质的变化需要进一步研究。

参考文献

- [1] 林兰清. 番木瓜的贮藏保鲜与加工[J]. 广西热作科技, 2000, 26(4):45.
- [2] 夏杏洲, 胡雪琼. 番木瓜资源的开发利用与产业化发展[J]. 热带农业科学, 2002(3):71-75.
- [3] 刘升, 金同铭. 不同冻藏时间对速冻草莓营养品质的影响[J]. 制冷学报, 2006, 27(5):48-50.
- [4] 郭忠春. ‘桂味’荔枝果实速冻保藏研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [5] 晏绍庆, 刘宝林, 华泽钊. 冻结速率对苹果片多酚氧化酶和过氧化物酶活性影响的研究[J]. 食品工业科技, 2000, 21(2):8-10.
- [6] Fachigami M, Hyakumoto N, Miyazaki K, et al. Texture and histological structure of carrots frozen at a programmed rate and thawed in an electrostatic field[J]. Journal of Food Science, 1994, 59(6):1162-1167.
- [7] 曾庆孝, 芮汉明, 李汴生. 食品加工和保藏原理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007:148-149.
- [8] AOAC. Official method of analysis(16th ed)[M]. Washington DC: Association of the Official Analytical Chemists, 1995.
- [9] Sirintra B. Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80:292-299.
- [10] 茅林春, 方雪花, 庞华卿. 1-MCP对杨梅果实采后生理和品质的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(10):1532-1536.
- [11] S Remon, A Ferrer, P Marquina, et al. Use of modified atmospheres to prolong the postharvest life of Burlat cherries at two different degrees of ripeness[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000, 80:1545-1552.
- [12] 王启军. 食品分析实验[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012: 41-42.
- [13] 张国庆, 董明. 宣木瓜多酚氧化酶酶学特性与抑制剂研究[J]. 食品科学, 2011, 32(10):288-291.
- [14] Cano M P, Lobo M G. Peroxidase and polyphenoloxidase in long-term frozen stored papaya slices. Differences among hermaphrodite and female papaya fruits[J]. J Sci Food Agric, 1998(76):135-141.
- [15] 马长伟, 曾名勇. 食品工艺学导论[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001:48-581.
- [16] 吴锦铸, 张昭其. 果蔬保鲜与加工[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- [17] Lin Y, Ng K M, Chan C, et al. High-impact polystyrene/halloysite nanocomposites prepared by emulsion polymerization using sodium dodecyl sulfate as surfactant[J]. J Colloid Interf Sci, 2011, 358(2):423-429.
- [18] 陈义勇, 徐宇. 花生蛋白膜的特性研究[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(3):58-62.
- [19] Zhou J J, Wang S Y, Gunasekaran S. Preparation and Characterization of Whey Protein Film Incorporated with TiO₂ Nanoparticles[J]. J Food Sci, 2009, 74(7):N50-N56.
- [20] 刘聪, 罗远芳, 贾志欣, 等. PVC/改性埃洛石纳米管纳米复合材料的制备与性能[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2011, 39(6):71-76.
- [21] Li Y, Jiang Y, Liu F, et al. Fabrication and characterization of TiO₂/whey protein isolate nanocomposite film[J]. Food Hydrocolloid, 2011, 25(5):1098-1104.
- [22] Kowalczyk D, Baraniak B. Effects of plasticizers, pH and heating of film-forming solution on the properties of pea protein isolate films[J]. J Food Eng, 2011, 105(2):295-305.
- [23] 蔡晓佳, 郭宝春, 杜明亮, 等. 白炭黑对PP/埃洛石纳米管复合材料结构与性能的影响[J]. 塑料工业, 2008, 36(2):64-66.
- [24] 秦嘉旭, 赵斌伟, 林雅逢, 等. 埃洛石纳米管的改性及应用研究[J]. 河南化工, 2011, 28(11):27-30.
- [25] Kadam D M, Thunga M, Wang S, et al. Preparation and characterization of whey protein isolate films reinforced with porous silica coated titania nanoparticles[J]. J Food Eng, 2013, 117(1):133-140.
- [26] 刘立华. 十二烷基硫酸钠改性氢氧化镁阻燃剂的实验研究[J]. 化工科技市场, 2009, 32(12):17-20.
- [27] Tian H, Xu G, Yang B, et al. Microstructure and mechanical properties of soy protein/agar blend films: Effect of composition and processing methods[J]. J Food Eng, 2011, 107(1):21-26.
- [28] Pasbakhsh P, Ismail H, Fauzi M N A, et al. EPDM/modified halloysite nanocomposites[J]. Appl Clay Sci, 2010, 48(3):405-413.

(上接第329页)

Properties of Edible Rapeseed Protein Films[J]. J Food Sci, 2011, 76(2):C218-C223.

[8] 王梅, 成兰英. 菜籽粕蛋白质混凝土发泡剂的制备及性能[J]. 精细化工, 2011(1):74-80.

[9] 郑美瑜, 陈剑兵, 陆胜民, 等. 菜籽蛋白的提取和纯化[J]. 农业工程学报, 2008(8).

[10] 杨晓泉, 姜燕, 唐传核, 等. 蛋白质膜的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2006, 127(9):185-188.

[11] 刘国琴, 李琳, 胡松青, 等. 共混改性对大豆分离蛋白膜物理性能影响的研究[J]. 食品工业科技, 2005, 26(6):76-78.

[12] 原霞. SPI-HNTs纳米复合凝胶材料制备和性能研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2012.

[13] 马智, 王金叶, 高祥, 等. 埃洛石纳米管的应用研究现状[J]. 化学进展, 2012, 24(2/3):275-283.

[14] 伍巍, 吴鹏君, 何丁, 等. 埃洛石纳米管在聚合物纳米复合材料中的应用进展[J]. 化工进展, 2011, 30(12):2647-2651.

[15] 张中杰, 卢昶雨. 埃洛石纳米管的改性及其在水处理中的应用[J]. 应用化工, 2013, 42(2):325-327.

[16] 戴宇翔, 钱志娟, 曾晓雄, 等. 菜籽蛋白提取工艺的优化[J]. 食品工业科技, 2011, 32(3):304-306.

[17] Lin Y, Ng K M, Chan C, et al. High-impact polystyrene/halloysite nanocomposites prepared by emulsion polymerization using sodium dodecyl sulfate as surfactant[J]. J Colloid Interf Sci, 2011, 358(2):423-429.

[18] 陈义勇, 徐宇. 花生蛋白膜的特性研究[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(3):58-62.

[19] Zhou J J, Wang S Y, Gunasekaran S. Preparation and