

文章编号:0253-4339(2015)05-0113-06

doi:10.3969/j.issn.0253-4339.2015.05.113

不同冻结速率对毛豆冻藏过程中品质的影响

赵菲¹ 张旭² 荆红彭¹ 关文强^{1,3} 邳冠男¹ 杨瑞丽⁴ 刘斌⁴

(1 天津市食品生物技术重点实验室 天津商业大学生物技术与食品科学学院 天津 300134;

2 天津市农作物研究所 天津 300384; 3 中国农业科学院农产品加工研究所 北京 100193;

4 天津市制冷技术重点实验室 天津商业大学工学院 天津 300134)

摘要 以毛豆为试材,研究了-35℃鼓风冻结(风速8 m/s)、-35℃静止冻结和-18℃静止冻结三种冻结方式对毛豆冻结温度变化曲线及冷冻毛豆在-18℃冻藏过程中解冻后汁液流失率、硬度、细胞膜透性、丙二醛、叶绿素、维生素C等品质指标的变化,为选择适宜的毛豆速冻方式提供参考。结果表明:-35℃鼓风冻结冷冻速度最快,毛豆通过最大冰晶生成带的时间最短,仅为40 s,而-35℃和-18℃静止冻结所用时间分别为6 min和1 h左右。三种不同冻结方法对冷冻毛豆贮藏过程中解冻后的质构和汁液流失率,及冻藏过程中的细胞膜透性、丙二醛、叶绿素和维生素C含量等指标有显著影响。毛豆冻结过程中冻结温度越低、风速越高,毛豆冻藏过程中的质构、细胞膜完整性和营养成分等劣变速度越慢。-35℃鼓风冻结的毛豆在冻藏过程中品质显著好于-18℃静止冻结,是较好的毛豆冻结方法。

关键词 毛豆;速冻;冻结速率;冻藏

中图分类号:TS205.7;S379

文献标识码:A

Effects of Different Freezing Rates on the Characteristics of Vegetable Soybean during Frozen Storage

Zhao Fei¹ Zhang Xu² Jing Hongpeng¹ Guan Wenqiang^{1,3} Pi Guannan¹ Yang Ruili⁴ Liu Bin⁴

(1. Tianjin Key Laboratory of Food Biotechnology, Department of Food Engineering, Tianjin University of Commerce, Tianjin, 300134, China; 2. Tianjin Crops Research Institute, Tianjin, 300384, China; 3. Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing, 100193, China; 4. Key Laboratory for Refrigeration Technology in Tianjin, Tianjin University of Commerce, Tianjin, 300134, China)

Abstract In order to determine optimal freezing methods for vegetable soybean, effect of three freezing rates of -35℃ with 8 m/s wind, -35℃ and -18℃ on freezing temperature curve and the quality index changes of frozen vegetable soybean stored at -18℃ were investigated. The results showed that freezing at -35℃ with 8 m/s wind had best freezing speed. Under the condition, the zone of maximum ice crystal formation in vegetable soybeans took the shortest time of 40 s, while freezing at -35℃ and -18℃ took about 6 minutes and 1 h, respectively. Freezing methods had significantly influence on the texture, drip loss rate, membrane permeability, MDA content, chlorophyll content, Vc content. In general, the lower temperature and faster freezing speed during freezing, the obviously lower speed of quality deterioration during storage. Quality of soybean frozen at -35℃ with 8 m/s wind was significantly better than that frozen at -18℃, so freezing at -35℃ with 8 m/s is suitable for the rapid freezing of vegetable soybean.

Keywords vegetable soybean; quick freezing; freezing rate; frozen storage

毛豆是指豆荚鼓粒后期、未转色前采收的大豆总称^[1]。毛豆营养丰富,质地脆嫩,是一种保健蔬菜^[2]。毛豆采摘时气温较高,易发生黄化、腐烂等现象,降低了营养价值和食用品质^[3]。速冻加工可以较好的保持原料原有的色泽、风味和营养价值^[2-5],速冻毛豆已成为一种新兴的营养保健型冷冻食品,我国90%以上的速冻毛豆销往国外,速冻毛豆已成为

重要的出口产品^[6-7]。

果蔬的主要冻结方式有鼓风速冻、接触速冻、浸渍速冻等,冻结方式直接影响到冷冻速度,冻结速度越快,水会在原位置形成细小冰晶而非转移到细胞间隙形成大冰晶。冻结速率越快,对细胞的破坏作用越小^[8]。不同产品需选择合适的冻结方式,鼓风冻结是适宜于大多数果蔬的冷冻方式。

目前,关于毛豆速冻工艺已有研究^[2,9],但大多集中在毛豆热烫等前处理的优化或不同解冻方式的差异,对于不同风速、不同温度冻结的毛豆在冻藏过程中品质变化规律的研究鲜见报道。本研究通过研究不同冻结速率对冻藏过程中毛豆解冻后质地和汁液流失率、细胞膜完整性、营养成分等指标的影响,为毛豆的最佳速冻工艺选择和冻藏过程中品质变化规律提供参考,为其他果蔬的适宜速冻方式提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 材料、仪器与设备

供试青毛豆(津鲜3号)采于天津市农作物研究所武清基地,当天运回天津商业大学冰温库(天津商业大学与日本政府 NEDO 部门共建)预冷;TA.XT plus 物性测试仪(Stable Micro Systems 公司,英国);Evolution 201 紫外分光光度计(Thermo Fisher 科技有限公司,美国);DDS-307A 电导率仪(雷磁,上海仪电科学仪器股份有限公司);SY21-Ni 4C 电热恒温水浴锅(北京市长风仪器仪表公司);MX100-E-1R 温度巡检仪(YOKOGAWA,日本);SD-100 隧道式速冻机(天津市七星速冻设备有限公司),配备 JZL/SD4.0-2 轴流风机。

1.2 毛豆的速冻工艺

1.2.1 挑选

毛豆品质的优劣直接影响到成品的质量。挑选豆荚新鲜、成熟适度、豆粒饱满的青绿色毛豆,剔除虫蛀、破裂和带锈斑及发育不良的干瘪豆荚。

1.2.2 清洗

用清水将附着在豆荚表面的泥土、杂质等充分清洗干净,清洗后将水分沥干。

1.2.3 热烫

热烫是速冻毛豆保鲜的重要工序,也称烫漂。其主要作用是钝化鲜豆中酶的活性,保证毛豆保持良好品质,不产生黄化和异味,同时热烫可以减少豆荚表面的农药残迹和附着的微生物。用水浴锅对毛豆进行热烫,温度为 96~98℃,时间为 3 min,处理过程中上下翻动豆荚,使其受热均匀。

1.2.4 冷却

热烫后及时冷却可以保证毛豆在贮藏过程中保持新鲜绿色、不变色。采用卫生的冷水喷淋降温以达到冷却目的。

1.2.5 冻结处理与冻藏

将热烫冷却后的毛豆分别进行 -35℃ 鼓风冻结(风速 8 m/s)、-35℃ 静止冻结和 -18℃ 静止冻结,冻结至目标温度后装入 0.05 mm 的自封塑料袋,在

-18℃ 中冻藏。每个冻结处理重复 3 次,冻藏过程中定期从袋中取样测定指标。

1.3 指标测定

1.3.1 冻结温度曲线的测定

取大小均匀的单个饱满毛豆仁,把热电偶温度计探针插入到毛豆仁中央,记录温度随时间的变化情况,绘制冻结温度曲线。每种处理测定 3 个样品,取其平均值。

1.3.2 汁液流失率的测定

参考刘春泉等^[2]的方法并稍作修改。取 4 粒冻结的毛豆籽粒称重(W_1),在 25℃ 的空气条件下解冻 2 h,用吸水纸将解冻流失的汁液除去,再次称重(W_2)。每种处理测定 3 个样品,取其平均值。解冻汁液流失率按照下式计算:

$$TL = [(W_1 - W_2) / W_1] \times 100\% \quad (1)$$

式中:TL 为汁液流失率,%; W_1 为解冻前样品质量,g; W_2 为解冻后样品质量,g。

1.3.3 硬度的测定

参考刘春泉等^[2]的方法并稍作修改。采用质构仪测定毛豆籽粒的硬度。将 25℃ 空气条件下解冻 2 h 的豆粒置于测试台上,采用圆柱形的 P/2 探头进行测定,穿刺深度为 2 mm,测定前速度为 5 mm/s,测试速度为 1 mm/s,测试后速度为 5 mm/s,触发力为 5 g。通过仪器软件分析出有关硬度的指标,每种处理测定 6 个样品,取其平均值。

1.3.4 细胞质膜透性的测定

参考刘战丽等^[10]的方法。将毛豆粒均匀切成 2 mm 厚的小圆片,称取 5 g,用去离子水清洗 3 次,将 50 mL 去离子水加入三角瓶中,25℃ 恒温,在摇床上振荡浸泡 1 h,搅拌均匀后用电导率仪测定浸提液的电导率,然后将三角瓶放入沸水浴中煮沸 15 min,自然冷却至 25℃,再次测定全渗透率。以毛豆初始电导率与全渗透率的比值作为细胞质膜透性变化的指标,每种处理测定 3 个样品,取其平均值。

1.3.5 丙二醛(MDA)含量的测定

参考李宁等^[11]的方法并稍作修改。称取 1 g 毛豆粒,加入 5.0 mL、100 g/L 三氯乙酸(TCA)溶液,研磨匀浆后,在 4℃、12000 r/min 条件下离心 20 min;取 2.0 mL 上清液(空白对照管中加入 2.0 mL、100 g/L TCA 溶液代替提取液),加入 2.0 mL、0.67% 硫代巴比妥酸(TBA)作为反应液,混合后在沸水浴中煮沸 20 min 进行反应,取出冷却后再离心一次。分别测定反应液在 450 nm、532 nm、600 nm 波长下的吸光度值。每种处理测定 3 个样品,取平均值。

根据植物学实验原理计算得到提取液中丙二醛

浓度 $C_1, \mu\text{mol/L}$:

$$C_1 = 6.45 \times (A_{532} - A_{600}) - 0.56 \times A_{450} \quad (2)$$

式中: A 为在所指定波长下,反应液的吸光度值。

每克毛豆中丙二醛含量 $C_2, \text{nmol/g}$:

$$C_2 = C_1 \times V_s \times (V/V_s) / (m \times 1000) \times 1000 \quad (3)$$

式中: V 为提取液总体积, mL; V_s 为测定时所取

样品提取液体积, mL; m 为样品质量, g。

1.3.6 叶绿素含量的测定

参考周小理等^[12]的方法并稍作修改。称取 1 g 毛豆粒于研钵中,加入少许石英砂和碳酸钙粉末及 2 ~ 3 mL 80% 丙酮溶液,研成匀浆,再加入 5 mL 80% 丙酮溶液研磨至组织发白,静置 3 ~ 5 min 后提取。将提取液过滤到 25 mL 棕色容量瓶中,冲洗研钵、残渣等数次倒入漏斗中,最后用丙酮定容至 25 mL。用分光光度计分别于 645 nm 和 663 nm 波长下,以 80% 的丙酮作为空白参比,测定提取液的吸光度值。按照式(4)分别计算毛豆豆粒中总叶绿素含量 $m_1, \text{mg/g}$ 鲜重。每种处理测定 3 个样品,取平均值。

总叶绿素含量:

$$m_1 = [20.2(A_{645}) + 8.02(A_{663})] \times V / (1000 \times W) \quad (4)$$

式中: W 为所用毛豆组织的质量, g。

1.3.7 维生素 C 的测定

参考李军^[13]的方法并稍作修改。称取 20 g 毛豆粒,加入草酸-EDTA 溶液,捣碎后在 100 mL 容量瓶中定容,在 4 °C、4000 r/min 条件下离心 5 min,过滤上清液,吸取 2 mL 滤液于 50 mL 容量瓶中,加入 1 mL 的偏磷酸-醋酸溶液,5% 的硫酸 2 mL,摇匀后,加入 4 mL 的钼酸铵溶液,用蒸馏水定容至 50 mL,15 min 后在 705 nm 下测定其吸光度值。每种处理测定 3 个样品,取其平均值。

按下式计算样品中维生素 C 的含量, mg/g:

$$m_c = C \times V_1 / (W \times V_2) \quad (5)$$

式中: C 为样液中维生素 C 的含量, mg; V_1 为测定用样液体积, mL; W 为样品重量, g; V_2 为样液定容体积, mL。

1.4 数据处理

利用 Excel2003 和 spss16.0 等统计软件对实验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同冻结过程中毛豆的温度变化

在冻结过程中,毛豆的冻结速率是影响产品的重要因素,它与冰晶体的大小、水分的迁移、物料的品质保持关系密切。

食品冻结过程中,大部分食品 80% 的水分在 -1

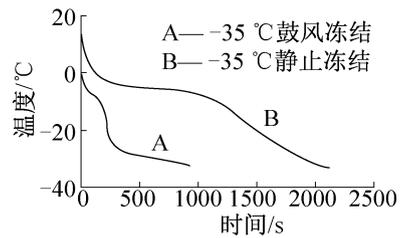


图 1 -35 °C 下毛豆中心部位冻结曲线

Fig. 1 Freezing curve of the central part of green soybean under -35 °C

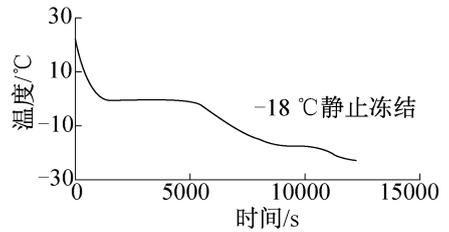


图 2 -18 °C 下毛豆中心部位冻结曲线

Fig. 2 Freezing curve of the central part of green soybean under -18 °C

~ -5 °C 温度范围内冻结成冰,此温度范围称为冰晶最大生成带^[14],此阶段产品内部产生冰晶,大部分水分冻结成冰,同时放出相变热,温度下降平缓^[15]。通过最大冰晶生成带的时间长短影响到速冻产品质量,是判断冻结方式优劣的重要标准。由图 1 ~ 图 2 可知,毛豆冻结曲线中温度的变化可以分为 3 个阶段:第一阶段和第三阶段中毛豆的温度下降都较快,而第二阶段(曲线的平坦部分)温度随时间的变化缓慢,此阶段为毛豆的冰晶最大生成带。-18 °C 静止冻结方式中毛豆通过冰晶最大生成带的时间最长,约 1 h; -35 °C 静止冻结所用时间为 6 min,仅为 -18 °C 静止冻结的 1/10; -35 °C 鼓风冻结时间最短,约 40 s,为 -18 °C 静止冻结的 1/100。果蔬冰点的测定依据降温过程中液体结冰相变时释放潜热,导致产品温度从过冷点回升至冰点来确定,根据图 2 中 -18 °C 静止冻结过程中毛豆温度变化曲线可认为本实验中毛豆的过冷点为 -0.9 °C 左右,冰点为 -0.4 °C 左右,而有报道认为毛豆冰点是 -1.01 °C^[16],这可能与毛豆不同或者测试方法不同有关。其它两种冻结方式中毛豆冻结曲线下落过快,通过毛豆的过冷点和冰点的时间过快,本实验所用方法未能精确测出过冷点温度和冰点温度。

2.2 冻藏过程中毛豆解冻后汁液流失率和硬度的变化

对于冻藏毛豆而言,品质下降的重要指标是解冻后毛豆的汁液流失和硬度下降,与产品的组织结构有

直接关系,受冻结速率与解冻方式的影响很大,是评价冻结方式优劣的重要参考依据^[2]。汁液流失会导致呈味物质和营养成分随之流失,从而降低毛豆物料的营养、口感和质地^[14]。硬度可以反映毛豆仁的坚硬度和饱和度,也可以一定程度上反映冻结过程中细胞的破坏程度,对评价毛豆口感起决定性作用^[2]。

由图 3 可知,不同冻结速率处理的毛豆,解冻后汁液的流失率随贮藏时间的延长均增大,其增大速率为: $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 鼓风冻结 $<$ $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 静止冻结 $<$ $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 静止冻结,其中鼓风冻结对毛豆制品的保持最有效,它与 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 静止冻结差异显著($p < 0.05$),与 $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 静止冻结差异不显著($p > 0.05$)。由图 4 可知, $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 鼓风冻结可以较好的保持毛豆的硬度。解冻后毛豆的硬度大于 $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 静止冻结,大约是 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 静止冻结解冻后毛豆硬度的两倍。三种不同冻结速率处理的差异彼此显著($p < 0.05$)。高冻结速率可以减少解冻汁液流失和产品质下降,这与 Chevalier D 等^[17]的研究一致。可能的原因是:不同冻结速率对毛豆产生的机械损伤不同。快速冻结时冰结晶大多在细胞内形成,冰晶量多而细小,而缓慢冻结时冰结晶大多在细胞的间隙内形成,结晶量少而粗大,比快速冻结对产品的机械损伤更大^[18]。

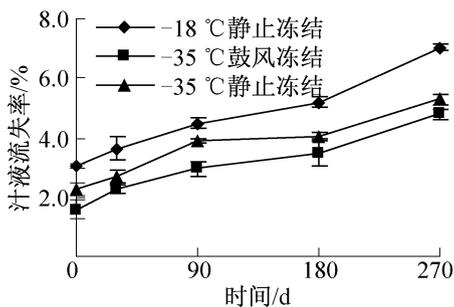


图 3 不同的冻结速率对汁液流失率的影响

Fig. 3 Effect of freezing rate on drip loss of green soybean

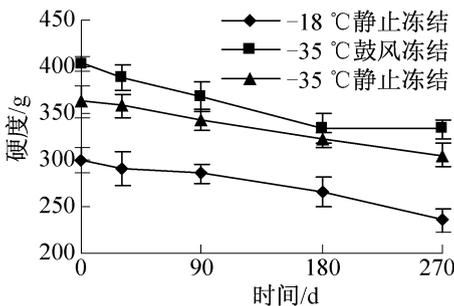


图 4 不同的冻结速率对解冻后毛豆硬度的影响

Fig. 4 Effect of freezing rate on firmness of green soybean

2.3 毛豆冻藏过程中细胞膜透性和丙二醛含量的变化

细胞膜在植物的新陈代谢过程中至关重要,细胞

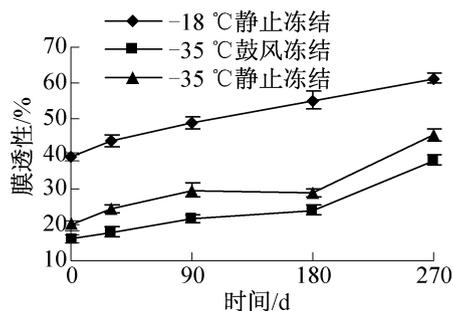


图 5 不同的冻结速率对膜透性的影响

Fig. 5 Effect of freezing rate on membrane permeability of thawed green soybean

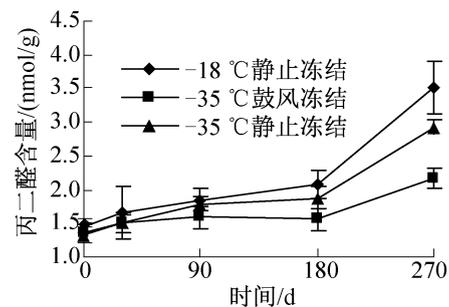


图 6 不同的冻结速率对丙二醛含量的影响

Fig. 6 Effect of freezing rate on MDA content of green soybean

膜透性的高低可以反映细胞膜的稳定性和完整性,一定程度上也反映细胞的受伤害程度^[10]。另外,细胞膜透性的大小与冻结过程中冰晶的大小和形成过程有关。MDA 也是膜脂过氧化反应的主要产物之一,其含量的增加代表膜脂过氧化的增加、膜受伤和老化加剧,MDA 含量的高低可以反映膜脂过氧化的程度^[19]。

由图 5 和图 6 可知,随着贮藏期的延长,三种不同冻结方式处理的毛豆,细胞膜透性均增大,丙二醛含量增加,这与贮藏过程毛豆细胞膜的受伤程度有关,影响产品的品质。 $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 鼓风冻结、 $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 静止冻结的细胞膜透性均与 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 静止冻结的效果差异显著($p < 0.05$),两者彼此差异不显著($p > 0.05$)。 $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 鼓风冻结毛豆的细胞膜透性小于 $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 静止冻结,且小于 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 静止冻结的 1/2。丙二醛与细胞膜透性的变化程度相比较慢,不同冻结速率处理的初期,毛豆的 MDA 含量差别不大(图 6),随着冻藏时间的延长,MDA 的含量表现为: $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 鼓风冻结 $<$ $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 静止冻结 $<$ $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 静止冻结,鼓风速冻的毛豆膜过氧化程度最低,它与 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 静止冻结相比,丙二醛含量差异显著($p < 0.05$),与 $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 鼓风冻结相比,差异不显著($p > 0.05$)。

2.4 毛豆冻藏过程中叶绿素和维生素 C 含量的变化

近年来,人们对速冻食品的消费逐渐增加,随之对速冻产品感官和营养成分的关注也越来越多。产品色泽是评价速冻果蔬新鲜度和营养价值的一个指标^[20]。叶绿素 a 和 b 是绿色果蔬呈色的主要物质。叶绿素降解会造成果蔬色泽改变,影响消费者的购买^[21],维生素 C 是果蔬加工最易被破坏的维生素,自动氧化和酶促氧化(抗坏血酸氧化酶和过氧化物酶是引起维生素 C 直接氧化的酶)是降解的主要原因。在冻结贮藏过程中,果实组织中、包装袋和贮藏环境中均有氧气存在,低温只能部分降低酶的活性而不能完全使酶失活,因而维生素 C 含量逐渐降低^[22]。

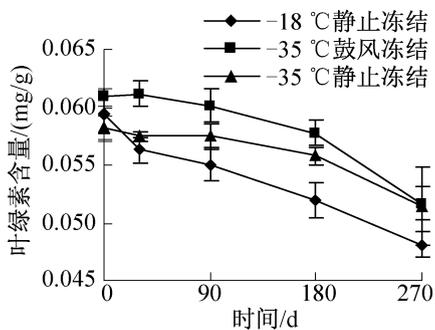


图 7 不同的冻结速率对叶绿素含量的影响

Fig. 7 Effect of freezing rate on chlorophyll content of green soybean

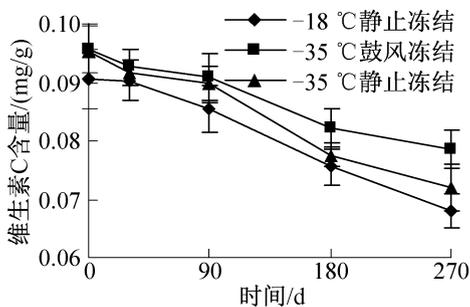


图 8 不同的冻结速率对维生素 C 的影响

Fig. 8 Effect of freezing rate on Vc content of green soybean

由图 7 可知,在冻藏过程中,毛豆的叶绿素含量前 3 个月降低相对较少,后期降低速率增大,这与 Reid D S 等^[23]的研究结论:在 -18 °C 条件下贮藏的青毛豆,叶绿素含量在 140 d 内基本维持稳定相一致。在冻藏过程中,毛豆中叶绿素含量由高到低的处理方式依次为: -35 °C 鼓风冻结、-35 °C 静止冻结、-18 °C 静止冻结,且 -35 °C 鼓风冻结与 -18 °C 静止冻结对毛豆中叶绿素的保持作用差异显著 ($p < 0.05$),其与速冻机鼓风静止差异不显著 ($p > 0.05$)。由图 8 可知,在冻藏过程中,毛豆的维生素 C 含量不

断降低,维生素 C 的含量为 -35 °C 鼓风冻结 > -35 °C 静止冻结 > -18 °C 静止冻结,三种冻结处理的效果差异不显著 ($p > 0.05$)。

3 结论

采用 -35 °C 鼓风冻结(风速 8 m/s)、-35 °C 静止冻结和 -18 °C 静止冻结三种冻结方式冻结毛豆,并测定分析了冻结温度变化曲线及冷冻毛豆在 -18 °C 冻藏过程中品质指标的变化,为有效保持速冻毛豆制品的冻结方法提供依据。结果表明: -35 °C 鼓风冻结冷冻速度最快,毛豆通过最大冰晶生成带的时间最短,仅为 40 s,而 -35 °C 和 -18 °C 静止冻结所用时间分别为 6 min 和 1 h 左右。冷冻毛豆解冻后,三种不同冻结方式对硬度的影响差异显著, -35 °C 鼓风冻结与 -18 °C 静止冻结对汁液流失率的影响差异显著, -35 °C 鼓风冻结的毛豆品质优于其他处理。 -35 °C 鼓风冻结与 -18 °C 静止冻结处理的冷冻毛豆,在叶绿素含量、丙二醛含量、细胞膜透性等指标方面均差异显著, -35 °C 鼓风冻结的毛豆品质优于其他处理。 -35 °C 鼓风冻结条件下毛豆的冻结速率快,可有效保持冷冻毛豆冻藏过程中及解冻后的品质,是毛豆速冻生产中的较好冻结方法。

本文受天津市农作物研究所所长基金重点项目(2013005),天津市高等学校创新团队培养计划(TD12-5049)和天津市科技支撑计划重点项目(14ZCZDNC00016)资助。(The project was supported by the Key Projects Funded by Director of Tianjin Crops Research Institute (No. 2013005), Tianjin Municipal Training Program for University Innovative Team (No. TD12-5049) and Tianjin Science & Technology Pillar Program (No. 14ZCZDNC00016).)

参考文献

- [1] 顾卫红, 郑洪建, 张燕, 等. 菜用大豆的国际需求及科研生产动态(综述)[J]. 上海农业学报, 2002, 18(2): 45-48. (Gu Weihong, Zheng Hongjian, Zhang Yan, et al. International demand and research & production dynamics for vegetable soybean (review) [J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2002, 18(2): 45-48.)
- [2] 刘春泉, 卓成龙, 李大婧, 等. 不同冻结与解冻方法对毛豆仁品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(1): 176-180. (Liu Chunquan, Zhuo Chenglong, Li Dajing, et al. Effect of freezing and thawing methods on quality of edamame [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2012, 28(1): 176-180.)
- [3] 李初英, 陈怀珠, 杨守臻, 等. 热烫、冷却、速冻处理对毛豆品质的影响研究[J]. 食品科学, 2006, 27(6):

- 223-227. (Li Chuying, Chen Huaizhu, Yang Shouzhen, et al. Quality study on vegetable soybean by optimal heating, cooling and quick-freezing treatment [J]. Food Science, 2006, 27(6): 223-227.)
- [4] 冯志哲. 食品冷藏学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001: 324-327.
- [5] 邢淑婕, 刘开华. 蔬菜速冻工艺研究进展[J]. 长江蔬菜, 2004, 24(1): 37-41. (Xing Shujie, Liu Kaihua. Progress on technology of quick frozen vegetable[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2004, 24(1): 37-41.)
- [6] 林真, 林梅西, 陈梅英, 等. HACCP体系对出口速冻毛豆微生物的控制效果研究[J]. 食品科学, 2007, 28(12): 222-225. (Lin Zhen, Lin Meixi, Chen Meiyang, et al. Study on microbial control effect of HACCP system on quick-frozen green soybean[J]. Food Science, 2007, 28(12): 222-225.)
- [7] 张国治. 速冻及冻干食品加工技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 186-187.
- [8] 陈运中. 速冻食品生产工艺原理[J]. 冷饮与速冻食品工业, 1998, 4(1): 14. (Chen Yunzhong. Quick-frozen food production process principle [J]. Beverage & Fast Frozen Food Industry, 1998, 4(1): 14.)
- [9] 许韩山, 张懋, 孙金才. 速冻毛豆漂烫工艺[J]. 食品与生物技术学报, 2009, 28(1): 38-43. (Xu Hanshan, Zhang Min, Sun Jincan. Blanch treatment technology of vegetable before quick freezing [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2009, 28(1): 38-43.)
- [10] 刘战丽, 王相友, 朱继英, 等. 高氧气调贮藏下双孢蘑菇品质和抗性物质变化[J]. 农业工程学报, 2010, 26(5): 362-366. (Liu Zhanli, Wang Xiangyou, Zhu Jiying, et al. Effects of high oxygen atmosphere on quality and resistant substance of mushroom [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(5): 362-366.)
- [11] 李宁, 阎瑞香, 王步江. 不同包装方式对白灵菇低温保鲜效果的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 377-382. (Li Ning, Yan Ruixiang, Wang Bujiang. Effect of different package methods on quality of pleurotus nebrodensis during cold storage [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(7): 377-382.)
- [12] 周小理, 杨晓波, 林晶, 等. 不同工艺条件对菠菜汁叶绿素含量的影响[J]. 食品科学, 2003, 24(6): 93-96. (Zhou Xiaoli, Yang Xiaobo, Lin Jing, et al. The influence of different process conditions on spinach juice to form a chlorophyll content [J]. Food Science, 2003, 24(6): 93-96.)
- [13] 李军. 钼蓝比色法测定还原型维生素C[J]. 食品科学, 2000, 21(8): 42-45. (Li Jun. Molybdenum blue colorimetric method to determine reduced vitamin C [J]. Food Science, 2000, 21(8): 42-45.)
- [14] 马长伟, 曾名勇. 食品工艺学导论[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002: 89-91.
- [15] 阮征, 李沛生, 朱志伟, 等. 不同冻结速率对脆肉鲩鱼片冻结特性的影响研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 250-254. (Ruan Zheng, Li Biansheng, Zhu Zhiwei, et al. Effects of different freezing rates on the freezing characteristics of *Ctenopharyngodon idellus* C. et V filets [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(2): 250-254.)
- [16] 刘春泉, 卓成龙, 宋江峰, 等. 外源添加剂对毛豆仁熔融相变区热特性的影响[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(3): 652-656. (Liu Chunquan, Zhuo Chenglong, Song Jiangfeng, et al. Effect of exogenous additives on thermo-physical properties of soybean kernels during melting phase transition [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2012, 28(3): 652-656.)
- [17] Chevalier D, Le B A, Chourot J M, et al. High pressure thawing of fish (whiting): influence of the process parameters on drip losses [J]. LWT-Food Science and Technology, 1999, 32(1): 25-31.
- [18] 彭丹, 邓洁红, 谭兴和, 等. 果蔬速冻保鲜技术研究进展[J]. 保鲜与加工, 2009, 9(2): 5-9. (Peng Dan, Deng Jiehong, Tan Xinghe, et al. Advances of research on quick-freezing fruits and vegetables [J]. Storage & Process, 2009, 9(2): 5-9.)
- [19] 朱广廉, 钟海文, 张爱琴. 植物生理学实验[M]. 北京: 北京大学出版社, 1990.
- [20] Haisman D R, Clarke M W. The interfacial factor in the heat-induced conversion of chlorophyll to pheophytin in green leaves [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1975, 26(8): 1111-1126.
- [21] Canjura F L, Schwartz S J, Nunes R V. Degradation kinetics of chlorophylls and chlorophyllides [J]. Journal of Food Science, 1991, 56(6): 1639-1643.
- [22] 王璋. 食品酶学[M]. 北京: 轻工业出版社, 1998: 360-361.
- [23] Reid D S, Kotte K, Kilmartin P, et al. A new method for accelerated shelf-life prediction for frozen foods [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2003, 83(10): 1018-1021.

通信作者简介

关文强,男,博士,教授,天津商业大学生物技术与食品科学学院,15122577003, E-mail: gwq18@163.com。研究方向:生鲜食品保鲜与食品安全控制技术。

About the corresponding author

Guan Wenqiang, male, doctor, professor, Department of Food Science and Biotechnology, Tianjin University of Commerce, +86 15122577003, E-mail: gwq18@163. Research fields: fresh food storage and safety control technology.