

基于环境压强控制的浸渍技术在食品业的应用

徐学明^{1,2}, 杨 哪², 金亚美², 马 倩², 赵娟娟², 金征宇^{1,2}

(1. 食品科学与技术国家重点实验室, 江南大学, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122)

摘要: 综述了国内外基于环境压强控制的快速浸渍技术的关键因素, 包括压强、多孔状材料特性、浸渍液浓度和压强保持时间, 介绍了各加工因素的特点, 同时介绍了快速浸渍技术在农产品加工领域的研究方向, 包括动物和植物原料, 以及禽蛋类产品快速盐渍加工, 果蔬类产品的营养强化、益生菌富集、抗氧化褐变、涂膜等功能化快速加工。控制浸渍体系环境压强是实现目标溶质快速渗入到多孔状的农产品组织内部的主要手段, 对于腌渍食品的快速加工及功能性产品的开发具有重要意义。

关键词: 环境压强; 农产品; 腌渍; 功能性食品

中图分类号: TS 219 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673—1689(2014)06—0561—09

Research Progress in Rapid Impregnation Based on the Change of Environmental Pressures in Food Processing

XU Xueming^{1,2}, YANG Na², JIN Yamei², MA Qian², ZHAO Juanjuan², JIN Zhengyu^{1,2}

(1. State Key Lab of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. School of Food Science and Technology, JiangNan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: The main phenomenon on rapid impregnation treatment is the hydrodynamic mechanism, mass transfer mechanism and water diffusion. The control of impregnation solution pressure and its duration is the main methods for target ion and molecular rapid penetrate into agricultural products and food materials. The knowledge of rapid impregnation based on the change of environmental pressures is important in developing of functional foods and pickled foods. Effectiveness of impregnation of food materials is widely affected by several factors such as concentration of the external liquid, operation variables and food microstructure including porosity, pore size, various kinds of shape and gas or liquid occupying the pores. Due to its unique characteristics, Vacuum impregnation was considered a technology with high potential industrial applications. The target of this rapid impregnation method is to increase the mass transfer of solid-liquid operation such as osmotic dehydration, acidification, brining of fish, beef and chicken products. In order to provide references for domestic research in this field, the key technical factors on rapid impregnation (compression ratio, brine concentration, the length of environmental pressure periods, sample microstructure) widely used at present in agro-products and food materials were introduced, and

收稿日期: 2014-01-20

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划(2012BAD37B01); 农业部公益性行业(农业)科研专项(201303070-02)。

作者简介: 徐学明(1968—), 男, 江苏苏州人, 教授, 博士研究生导师, 主要从事食品组分与物性研究。E-mail: xmxu@jiangnan.edu.cn

operational characteristics of each factor were also summarized. When external pressure is change, sample deformations coupled with impregnation. Greatly deformed matrices may relax the more mechanical energy stored in their elastic structural elements. The greater the elastic character, the higher the volume recovery and the more impregnation effectiveness. Saturated brines were recommended in impregnation treatments for the acceleration of mass transfer through the sample. Nevertheless, the solution concentration profile at a determined overall solute uptake will be different depending on the brine concentration used. The length of the different pressure period in impregnation process is that necessary to achieve mechanical equilibrium inside the product. Then, the reestablishment of atmospheric pressure will lead to the substitution of the gas-liquid volume lost for the external liquid phase if no pore compression occurs. The length of this period could affect the impregnation level if no mechanical equilibrium is reach when restoring atmospheric pressure. With high sample porosity, solute was conducive to penetrate into the tissue. Therefore, one consequence of the important role of food microstructure in impregnation operations is a greater variability in the final solute content of the product. The research progress of each application in rapid impregnation for agro-products and foods were reviewed including brining, mineral fortified, probiotic enriched, anti-browning, osmotic dehydration, edible film coating. In addition, from an engineering point of view two advantages could be considered: 1. rapid processing; 2. low energy consumption. But problems existing in present research and development trends were also proposed.

Keywords: environmental pressures, agricultural products, brining, functional foods, processing

浸渍技术在食品工业中应用广泛,其代表性产品主要包括腌渍和功能性食品。传统浸渍食品按加工性质分为5类,即盐渍、酱渍、糟渍、糖渍和酸渍^[1-5]。浸渍加工的产品种类繁多,代表性商品有泡菜、泡黄瓜、湿腌鱼、咸肉、泡椒凤爪、醉虾、盐蛋和泡山椒等^[6-9]。在自然条件下,溶液中的各类离子和分子渗透到食品组织空隙以及细胞中是一个非常缓慢的过程。为了缩短生产时间,提高生产效率,从业人员一般采用以下3种手段加速浸渍过程^[10-12]:1)提高体系溶质浓度;2)提高环境温度;3)改变环境压力。若提高溶质浓度,容易使产品过咸,咸胚需经历后期脱盐处理。提高温度易造成微生物滋生,使产品酸败变质,故腌渍温度通常在5℃左右。通过改变环境压强来提高浸渍效率是目前常用的手段。真空浸渍技术是利用往复压力差引起的流体动力学机理和变形松弛现象来提高溶质的渗透速率^[13],针对不同厚度的农产品原料通常可在数小时内快速完成食品浸渍处理,设备主要包括真空泵和浸渍罐。除了应用于盐渍产品的生产,也常用于功能食品的开发,如矿物质营养强化^[14]、益生菌富集^[15]、涂膜功能化^[16]、脱水处理^[17]和抗氧化褐变^[18]。近年来也有少

量报道指出脉动压力和超高压技术可实现食品的快速浸渍,依靠提高体系压强来实现溶质的快速渗入^[19-20]。可见,基于环境压强控制的浸渍技术应用广泛,很有必要对国内外该技术的研究方法及其应用领域作一综合述评。

1 主要影响因素

改变浸渍体系环境压强是加快溶质渗透的主要手段之一,其工艺参数可通过控制环境压强来实现,包括3类循环方式(见图1):1)高压—常压—高压;2)负压—常压—负压;3)高压—负压—常压。改变浸渍体系压强环境,可导致溶质在细胞内外压差和毛细管效应的共同作用下的快速渗入。农产品属于多孔性材料,特别是在负压环境中物料会发生膨胀,导致细胞间距增大,能显著加快溶质的渗透和扩散速度,使加工效率提高。其优点包括^[21]:1)负压中物料膨胀,可去除细胞间隙中的部分氧气而防止褐变;2)短时大量的溶质迅速渗入细胞,聚集于细胞间隙中,能减少物料塌陷和细胞破裂,防止后续单元操作如干燥和冻结中的物料汁液损失,提高产品品质。通过控制环境压强而实现溶质的快速渗透

的研究多集中在以下4个方面:压强、物料多孔状特性、浸渍液浓度、体系压强保持时间。

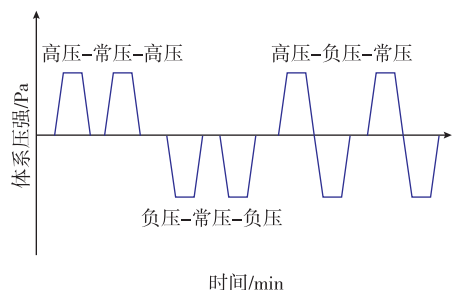


图1 浸渍溶液体系的循环压强控制方式

Fig. 1 Cycle control method of pressure in impregnation solution

1.1 压强

浸渍液中的溶质扩散进入样品的过程中,毛细管机制占主导地位,即当样品内部气体压缩时毛细管渗透发生,此时进入样品的浸渍液体积分数与毛细管张力(X_c)相关,且与毛细管压强(p_c),环境压强(p)和样品有效孔隙率(ε_e)呈现一定函数关系

$$X_c = \varepsilon_e \left(\frac{p_c}{p + p_c} \right) \quad (1)$$

可知,体系压强越低则越有利于毛细管渗透,这是实现溶质快速渗透的主要理论^[23]。当环境压强从负压(p_2)提升到常压(p_1)的过程中,流体动力学机制发生作用,浸渍液再次向物料组织快速渗透。此时进入样品的浸渍液的体积分数

$$X = \varepsilon_e \left(1 - \frac{1}{r} \right) \times 100\% \quad (2)$$

而固体样品的压缩比率

$$r = \frac{p_2 + p_c}{p_1 + p_c} \quad (3)$$

毛细管直径决定毛细管张力大小,对于已知的负压环境体系,相对于压缩比率,则毛细管张力可忽略,压缩比率可由浸渍环境的负压压强值和恢复到常压时的压强值得出^[23]。因此,抽真空时的负压水平越高,则当环境压力再次恢复到常压时,浸渍效果就越佳。食品中的基质多具有黏弹性,环境压力改变时会伴随一定的基质形变发生,其形变程度与负压次数和压缩时长有关^[24]。样品压缩伴随着局部基质孔隙塌陷,会削弱毛细管渗透效应。若浸渍溶液黏度较高且样品的毛细管直径较小,则在溶质渗透过程中样品的形变程度就较显著。Fito 教授提出的公式(4)可用于计算样品孔隙率 ε_e ,其中 X 为样品最

终相对体积, γ 为最终样品的相对形变率, γ_1 为样品在负压处理后的相对形变率^[25]。

$$\varepsilon_e = \frac{(X - \gamma)r + \gamma_1}{r - 1} \quad (4)$$

从负压恢复到常压时,样品形变率越高则表示其弹性基质储存的机械能就越高,并会伴随更好的溶质渗透效果。因此,在外部压强不变的情况下,变形松弛现象使流体动力学效应加强,这与农产品原料的弹性特质有关^[26]。

1.2 多孔状材料特性

农产品原料的孔隙率与浸渍处理时其溶质的渗透效率关系密切。植物原料的孔隙率较高,普遍为 20%~30%,细胞间隙多为气体占据,如苹果、菌类和梨类^[27]。而动物性原料如奶酪、火腿、鱼肉组织的孔隙率较低,其细胞间隙多为自由液体占据,但都可以通过环境压力的改变将其缓慢置换出来。圆柱形的曼切格奶酪中的游离水可以在负压 50 mbar 下缓慢释出,并与盐渍液交换,其最大置换出的液体量占样品体积的 3.4%。有人对不同体积的豆腐块也进行了类似的实验,研究发现豆腐也具有相似的盐渍液和样品自由液体置换体积比例^[28]。这些研究说明浸渍效率与孔隙率相关,而与样品的体积形状关系不大。

在禽肉和鱼肉制品中,原料由肌肉结构和血管网络构成,肌肉组织由肌原纤维组成(约 30 cm 长的细胞),具有磷脂双分子层结构的肌膜。虽然在动物宰杀和分割过程中,血管作为与外界相连通的通道可吸收一定气体,但动物性原料内部实际只含有极少量的气体,故孔隙率较小^[29]。目前,在环境压强改变的情况下其肌肉对浸渍液的响应机理还不明朗。Ftito 建立的真空浸渍理论与常规浸泡用到的溶质自由扩散机理差异巨大,这是因为在建模时引入了物料孔隙率、变形率及不同压强环境下物料内外气液相置换体积分数等多个参数。尽管如此,真空浸渍理论使研究人员可以通过精确测量以上参数后实现对样品浸渍效果的预测,并能够进行分析和优化。

1.3 浸渍液浓度

浸渍液的浓度是影响溶质渗透效率的重要因素之一,一般常使用饱和溶液进行浸渍处理。设改变浸渍环境压强时溶质渗入样品液相区域的质量分数为 z , 根据样品最后的体积分数和体积形变率

X 和 γ , 样品中溶质和水分的初始质量分数 x_0 和 x_0^w , 浸渍液密度与其溶质浓度 ρ_s 和 γ , 样品最初质量和体积 m_0^0 和 V_0^0 , 则溶质渗入量可通过式(5)进行计算^[23]:

$$z = \frac{m_0^0 x_0 + (1 + \gamma) V_0^0 X \rho_s \gamma}{m_0^0 x_0^w + m_0^0 x_0 (1 + \gamma) V_0^0 X \rho_s} \quad (5)$$

由式(5)可知, γ 值越高则浸渍效率越高。然而, 当使用不同浓度的浸渍液来处理样品, 在达到相同的溶质渗入量时, 其溶质在样品中液相区域的分布可能并不一致。溶质在样品液相区域的分布与样品基质和水分子的结合能力、样品内部液相区到其表面的距离、样品表面积和体积尺寸及形状有关。肉制品腌渍过程中, 肌肉蛋白质与水的结合能力与盐渍液浓度相关^[30]。当肉制品达到某盐分水平时, 肌肉蛋白质表现出开放的结构, 此时大量的自由水被滞留其中。肉中肌原纤维蛋白质的聚合也可导致水分从此结构中被驱除, 从而造成样品总质量和总体积的减少^[31]。

1.4 体系压强保持时间

控制浸渍环境中不同压强的保持时间, 可使样品内部和外部的溶质快速平衡, 这是物料内部气液相与浸渍液的置换过程。若浸渍体系环境压强及时间控制不当, 会降低样品压缩率或削弱流体动力学效应而减少溶质渗入。相对于溶质自然扩散, 流体动力学效应可促使样品孔隙更快速地“吸入”溶质, 这也取决于物料内部压强下降的程度, 并与浸渍液浓度和毛细管直径有关^[22]。厚度为 2 cm 的植物原料样品其组织内部具有大量的间隙, 每次负压时间至少保持 5 min 以上并进行多次循环, 这样可使一些高黏度的浸渍液如糖浆等实现充分的浸渍^[32]。若当样品体积更大且毛细管直径更细时, 其内部的气体更难去除, 为达到样品内外环境溶质平衡则需进一步延长负压时间。同时, 相对于较软的样品基质, 硬质样品所需的浸渍时间更长, 这是由于在相同的环境压强差下硬质样品内部压强下降更大且气体排出时间更长^[33]。

2 快速浸渍技术在食品领域的应用

2.1 腌渍食品加工

2.1.1 植物类原料 真空浸渍可应用于蔬菜的快速盐渍处理。通过分析溶质的迁徙, Chiralt^[32]表述通过控制负压时间、温度、材料厚度, 可提高植物性材

料的盐渍效率, 同时可使产品的盐分分布更均匀。H. Mújica-Paz^[34]发现将墨西哥黑椒先在真空度 666 mbar 下浸渍 5 min 再常压浸渍, 可使腌渍时间由原来 30 d 缩减至 15 d, 且产品的水分含量更低。Derossi^[33]将胡萝卜和茄子分别于真空度 400 mbar 和 200 mbar 下处理 2 h, 再常压浸渍 12 h, 发现相较于传统腌渍处理, 脉动真空浸渍可有效提高酸渍效率, 产品的 pH 值更快地降低。浸渍环境压强的梯度提升或者梯度下降, 也可促进溶质的渗透。王晓拓^[11]采用脉动加压力的方式快速盐渍双孢菇, 在 130 kPa, 脉动比 0.5 (3 min/6 min) 下, 27 min 处理后使得产品的脱水率为 52.84%, 表明采用脉动压力盐渍该产品可使加工效率大幅提高。由于原料在加压下的组织形变率会有最大限度, 所以当环境压强继续提升并不利于盐分继续渗入。孙元宾等^[35]利用脉动负压加工并开发低盐的甜葫芦腌菜产品, 该法处理下其盐分渗透速度快且乳酸菌生长较佳, 在常温及真空度 85 kPa 加工条件下, 产品的脆度和可食性、感观品质和营养性方面均优于传统腌制的产品, 且生产周期最多可缩短 3/4。

2.1.2 肉制品原料 盐渍加工是腌肉制品常见的预处理手段, 为达到快速盐渍效果, 国内外有诸多关于改变浸渍环境压强的研究报告。Villacis 等^[36]探究了超高压浸渍对火鸡肉中 NaCl 扩散系数的影响, 研究表明 NaCl 的扩散系数与压力大小和维持时间有关, 即火鸡肉在 150 MPa 下处理 15 min, NaCl 的扩散系数达到最大且肉的硬度、咀嚼性、黏性显著降低。Fulladosa^[37]等考察了超高压对火腿安全性和品质的影响, 发现在高压 600 MPa 维持 6 min 后火腿中的微生物数量显著下降, 产品颜色、亮度、盐分含量显著提高。Francois 等^[38]采用脉动真空浸渍处理火鸡, 发现盐分在鸡肉组织中的分布更加均匀, 缩短了火鸡的腌渍时间。张爽等^[20]研究了在 0.1~300 MPa 环境下的鸭胸脯肉腌渍效果, 发现在 150 MPa 下腌渍速度最快且高压腌渍造成肌原纤维断裂, 有助于浸渍液体系和物料间的 NaCl 快速达到平衡。对于鱼肉制品的调味, 罗环等^[39]采用间歇真空浸渍处理鱼肉, 可将风味物质快速地渗入组织, 在真空度 0.05 MPa、时间 10 min 及常压 25 min 时, 循环处理 4 次, 可提高调味效率且避免了长时间泡制造成的鱼肉质构软烂现象。而目前的醉鱼调味都是在真空包装前通过添加调料来实现, 通常要放置

一个月以上香气风味才会散发出来。滚揉腌制是畜肉制品通常采用的处理手段。采用脉动加压的方式腌渍,在脉动压力 150 kPa,时间 25 min 和常压保持 21 min 的情况下,相对于常规湿法腌渍,在处理相同时间下可使猪肉的渗盐量提高 33.9%^[40]。

2.1.3 禽蛋类原料 咸蛋为典型的非发酵腌制品,其产品的快速腌渍方法集中在脉动加压浸渍上。因腌蛋产品地域性强,故目前都为国内工作者作研究。刘国庆等^[9]采用加压装置快速腌渍鸭蛋,发现环境压强水平是影响 NaCl 渗透率高低的最主要因素,在 0.13 MPa 的环境压力下可将鸭蛋的腌制时间从 30 d 缩短至 5 d,并提出若再提高环境压强水平还可以进一步提高盐渍效率。王晓拓等^[19]采用自行研制的脉动加压禽蛋腌制器,通过控制环境压力的周期性变化,比较了不同的脉动频率和压强下鸭蛋的腌渍效率,发现在高压幅值 140 kPa 和 0.5 (2.5 min/5 min) 脉动比下,加入柠檬酸后可明显促进盐分的渗透,并能在 4 d 时间腌渍出合格咸蛋。其他专利如一种环保型快速咸蛋腌制生产方法及装置,快速压力腌蛋方法及设备,也是基于对腌渍环境的脉动加压应用^[41-42],其主要装备都为空压机和压力罐。

2.2 功能性食品加工

2.2.1 矿物质营养强化 对于营养强化食品的开发,国内外采用真空浸渍手段可使微量矿物质快速渗入到组织内部,研究多集中于对植物性原料的浸渍。Gras^[43]等人配制乳酸钙和蔗糖等渗溶液,对胡萝卜、平菇、茄子采用真空浸渍的方式制备钙强化蔬菜,采用 X 衍射分析发现钙离子主要分布于平菇和茄子的细胞间隙中,而对于胡萝卜则钙离子分布于木质部位,即非细胞间隙。在研究各自样品的形变程度时,发现真空浸渍下由于茄子和胡萝卜细胞含有果胶质而具有一定的形变响应,但平菇不具备此特性。Fito^[44]则根据人体对钙、铁元素的需求量,将蔗糖、葡萄糖酸锌、葡萄糖酸钙配制成混合溶液,对茄子进行真空浸渍处理,使每 200 g 产品所含有的钙和铁含量达到每日平均摄入量的需求。Park 等人^[44]研究了乳酸锌和酪蛋白钙溶液真空浸渍鲜切富士苹果的矿物质增值情况,采用真空度 13.332 kPa (100 mmHg) 保持 15 min,常压保持 30 min,发现样品矿物质含量提高了 20 倍,且在 7 d 的储藏时间内样品的微生物数量均达到工业要求。Moraga 等人^[45]采用蔗糖配制的等渗溶液浸渍柚子,采用脉动负压

处理 180 min,真空度 50 mbar,发现产品货架期比未做渗透处理的对照样延长 5~8 d,而当等渗溶液中添加质量分数 2% 的乳酸钙时,货架期可延长 11 d。徐珠洁等^[46]于常温下采用乳酸钙、葡萄糖酸锌和蔗糖混合溶液浸渍处理苹果片,负压处理分别为 30 min 和 25 min 时,可使每 200 g 苹果样品中的钙和锌元素含量达到每日参考摄入量的 16.53% 和 37.67%,并发现负压处理时间长短与矿物质渗入量具有相关性,在实现果蔬矿物质强化的同时也利于产品的颜色稳定。

2.2.2 益生菌富集 植物类原料中的细胞直径为 50~500 μm ,间隙距离为 210~350 μm ,这样的空间足以让微生物在食材中容纳富集。但关于肉制品的益生菌快速富集还未见研究报道,这是由动物性原料的低孔隙率特性所致。Betoret 等人^[15]分别采用含 108 cfu/mL 干酪乳杆菌的全脂乳和苹果汁浸渍柱状苹果条,在真空度 50 mbar 保持 10 min,常压保持 10 min 时,发现处理后苹果条的干酪乳杆菌菌数含量均达到 10^7 cfu/g 左右,再结合热风干燥成功制备了益生菌含量在 10^7 ~ 10^8 cfu/g 的脱水苹果产品。Wunwisa^[47]则采用含干酪乳杆菌数 10^8 cfu/mL、固形物含量分别为 15 °Brix 和 30 °Brix 的果汁作浸渍液,在真空度 50 mbar 下处理番石榴和木瓜,得到了益生菌含量在 10^7 ~ 10^8 cfu/g 的产品,并发现浸渍液的固形物含量对益生菌渗入有最适的效量关系。Vidal^[48]等人也采用干酪乳杆菌浸渍液处理胡萝卜,利用 50 mbar 真空度保持 10 min 以及常压保持 10 min 的方法,开发了菌数含量在 10^7 cfu/g 的鲜切胡萝卜益生菌产品。国内的高惠文^[49]等也采用真空浸渍的手段将保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌快速渗入到多孔状的苹果肉组织中,开发乳酸菌苹果粒产品,并在温度 35 °C,负压保持 80 min 条件下,使乳酸菌进入果肉组织的比率最高达到 80% 以上,从而使产品具备高的活菌数。

2.2.3 抗氧化褐变 鲜切果蔬片为了保持良好的品相需进行抗氧化和抗褐变处理,其中常见的手段是热烫和灭酶。有研究报道,采用真空浸渍手段可将抗氧化剂快速注入果蔬片表层的组织以达到抑制褐变的效果。Lin 等人^[50]将维生素 E 与体积分数 20% 的蜂蜜混合作为浸渍液对新鲜梨片进行真空浸渍处理,在 13.332 kPa (100 mmHg) 的真空度下保持 15 min 并在常压下保持 30 min,于温度 2 °C 和 88%

的湿度下储藏 2 周,经感官评定,发现真空浸渍的梨片具有较低的褐变指数和较高的感官接受程度,并成功开发了维生素 E 强化鲜切梨片。Hironaka 等人^[51]也利用体积分数 10% 的抗坏血酸溶液对土豆进行真空浸渍处理,得到的土豆抗坏血酸含量比经过常压浸泡的土豆高 10 倍,同时褐变现象得到一定程度抑制。Perez-Cabrera 等人^[18]利用真空浸渍方法将抗褐变复合溶液(EDTA、4-己基间苯二酚、柠檬酸盐、抗坏血酸盐)注入梨细胞组织间隙中,发现储藏期间梨片的颜色变化差异不大,表明负压处理可有效抑制梨片褐变并延长其货架期。

2.2.4 涂膜与功能化 对于高黏度的浸渍液同样可采用改变环境压强的方式进行涂膜处理,这样可确保产品在储藏期间与外界环境隔绝,使产品具有防腐、抗冻性能并改善风味。高乐怡等人^[52]分别利用真空和脉动加压技术对草莓进行奶油快速浸渍处理,通过对比发现,在负压保持 30 min,常压保持 50 min,循环处理 3 次,能使草莓中的奶油渗入量最大,另外经脉动加压处理后的草莓,其奶油分布的均匀性要优于真空浸渍的草莓,并且随着温度的提高,草莓的奶油渗入量也增加,但温度过高会导致草莓中的维生素和营养物质的损失。Vargas 等人^[53]

采用可食用的壳聚糖等渗溶液作为浸渍液,对比了经过真空浸渍和常压浸泡处理后的新鲜胡萝卜块的品质变化情况,研究发现与常压浸泡相比,鲜切胡萝卜块的保水性、色泽和呼吸速率指标都有较大提升,产品色泽较为稳定。Rui 等^[16]利用真空-压力循环处理的方式将抗冻蛋白质快速浸入到西洋菜组织中,58 kPa 环境压强下浸渍 5 min,再常压浸渍 5 min,可使抗冻蛋白质溶液均匀地快速浸入到西洋菜组织内部,降低其细胞内游离水的凝固点,减小冰晶大小,改善了产品解冻后的质地。

3 结 语

为加快浸渍液中的目标溶质向农产品组织扩散,目前都采用改变环境压强的手段。国外已建立了一套完整的分析方法和数理模型。应用领域大量集中在肉制品腌渍和果蔬功能性改善中。我国在快速浸渍领域的研究起步相对较晚,研究形式和产品较为单一。国内功能食品多为重组产品,如重组的营养强化米、复合配方膨化谷物、功能性奶粉,均采用直接添加方式实现功能性改善。因此,针对浸渍液的不同特性,可通过改变浸渍环境的大气压强,实现对食品的非破坏性营养强化和功能化开发。

参考文献:

- [1] 杨君,贺云川,何家林,等. 榨菜腌制过程中有机酸变化[J]. 食品科学,2012,33(19):182-187.
YANG Jun, HE Yunchuan, HE Jialin, et al. Variations in organic acids in mustard during pickling [J]. **Food Science**, 2012, 33(19):182-187. (in Chinese)
- [2] 李红枚,刘忠华,段秀军. 酱渍卜留克工业化生产新工艺[J]. 中国调味品,2012,37(10):41-45.
LI Hongmei, LIU Zhonghua, DUAN Xiujun. Sauce stained by the brassica napobrassica mill industrialized production of the new technology[J]. **China Condiment**, 2012, 37(10):41-45. (in Chinese)
- [3] 张长贵,曾文强,张伟,等. 糟黄瓜加工工艺的研究[J]. 中国调味品,2013,38(6):51-54.
ZHANG Changgui, ZENG Wenqiang, ZHANG Wei, et al. Study on the processing technology of pickled cucumber [J]. **China Condiment**, 2013, 38(6):51-54. (in Chinese)
- [4] 王君,房升,陈杰,等. 糖渍甘薯热风干燥特性及数学模型研究[J]. 食品科学,2012,33(7):105-109.
WANG Jun, FANG Sheng, CHEN Jie, et al. Hot air drying characteristics and mathematical modeling of sugar infused sweet potato slices[J]. **Food Science**, 2012, 33(7):105-109. (in Chinese)
- [5] 陈义伦,许苗苗,尚艳艳. 泡菜产品保藏过程中亚硝酸盐含量的变化及控制[J]. 食品与发酵工业,2009,35(1):78-81.
CHEN Yilun, XU Miaomiao, SHANG Yanyan. Variation of nitrite content and its control in pickle during storage [J]. **Food and Fermentation Industries**, 2009, 35(1):78-81. (in Chinese)
- [6] 陈功. 中国泡菜的品质评定与标准探讨[J]. 食品工业科技,2009,30(2):335-338.
CHEN Gong. Quality evaluation and standard discussion of Chinese pickle [J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2009, 30(2):335-338. (in Chinese)
- [7] 李瑾,李汴生,李威. 罗非鱼片腌制工艺研究[J]. 现代食品科技,2009,25(6):646-649.

- LI Jin,LI Biansheng,LI Wei. Study of tilapia pickling technique[J]. **Modern Food Science and Technology**,2009,25(6):646-649.(in Chinese)
- [8] 汪莉莎,谭雁文,陈光静,等. 不同腌制条件下大叶麻竹笋质构特性及色泽变化规律的研究[J/OL]. [2013-05-17]. <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20130517.1547.007.html>.
- [9] 刘国庆,江力,钱晓勇,等. 咸鸭蛋快速腌制工艺优化研究[J]. 食品科学,2008,29(12):234-237.
LIU Guoqing,JIANG Li,QIAN Xiaoyong,et al. Optimization of processing technology of salted duck eggs [J]. **Food Science**, 2008,29(12):234-237.(in Chinese)
- [10] 汤春辉,黄明,樊金山,等. 调理鸭胸肉制品滚揉腌制工艺优化[J]. 食品科学,2013,34(14):63-67.
TANG Chunhui,HUANG Ming,FAN Jinshan,et al. Optimization of vacuum tumbling conditions for prepared duck breast fillets [J]. **Food Science**,2013,34(14):63-67.(in Chinese)
- [11] 王晓拓,高振江,曾贞,等. 脉动压腌制双孢菇工艺参数优化[J]. 农业工程学报,2012,28(7):282-287.
WANG Xiaotuo,GAO Zhenjiang,ZENG Zhen,et al. Optimization of technical parameters of pickling on agaricus bisporus under pulsed pressure[J]. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**,2012,28(7):282-287.(in Chinese)
- [12] 刘然,吕飞,丁玉庭. 不同腌制方式对草鱼腌制速率和理化性质的影响[J]. 食品工业,2012,33(12):67-71.
LIU Ran,LU Fei,DING Yuting. Influence of different salting methods on the salting rate and physicochemical property of grass carp[J]. **Food Industry**,2012,33(12):67-71.(in Chinese)
- [13] Panarese V,Dejmek P,Rocculi P,et al. Microscopic studies providing insight into the mechanisms of mass transfer in vacuum impregnation[J]. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**,2013,18:169-176.
- [14] Vidal-Brotóns D,Gras M L,Esteras I,et al. Fresh or blanched vegetables enriched in calcium by vacuum impregnation [C].[S.I.]: International Conference on Food Innovation,2010.
- [15] Betoret N,Puente L,Díaz M J,et al. Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation[J]. **Journal of Food Engineering**,2003,56:273-277.
- [16] Cruz R M S,Vieira M C,Silva C L M. The response of watercress (*Nasturtium officinale*) to vacuum impregnation:Effect of an antifreeze protein type I [J]. **Journal of Food Engineering**,2009,95:339-345.
- [17] Moreno J,Simpson R,Sayas M,et al. Influence of ohmic heating and vacuum impregnation on the osmotic dehydration kinetics and microstructure of pears[J]. **Journal of Food Engineering**,2011,104:621-627.
- [18] Perez-Cabrera L,Chafer M,Chiralt A,et al. Effectiveness of antibrowning agents applied by vacuum impregnation on minimally processed pear[J]. **LWT-Food Science and Technology**,2011,44:2273-2280.
- [19] 王晓拓,高振江,王雅维,等. 腌制剂对脉动压腌制咸鸡蛋的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(增刊2):394-398.
WANG Xiaotuo,GAO Zhenjiang,WANG Yawei,et al. Influences of preserved preparations on salted eggs under pulsed pressure [J]. **Transactions of the CSAE**,2010,26(Supp 2):394-398.(in Chinese)
- [20] 张爽,张文成,薛秀恒,等. 高压对鸭胸肉盐渍速度与品质的影响[J]. 食品科学,2009,30(19):117-119.
ZHANG Shuang,ZHANG Wencheng,XUE Xiuheng,et al. Effect of high pressure treatment on salt pickling speed and quality of duck breast meat[J]. **Food Science**,2009,30(19):117-119.(in Chinese)
- [21] Badillo G M,Segura L A,Laurindo J B. Theoretical and experimental aspects of vacuum impregnation of porous media using transparent etched networks[J]. **International Journal of Multiphase Flow**,2011,37:1219-1226.
- [22] Salvatori D,Andrés A,Chiralt A,et al. The response of some properties of fruits to vacuum impregnation [J]. **Journal of Food Process Engineering**,1998,21:59-73.
- [23] Chiralt A,Fito P,Barat J M,et al. Use of vacuum impregnation in food salting process [J]. **Journal of Food Engineering**, 2001,49:141-151.
- [24] Fito P,Andrés A,Chiralt A,et al. Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous-liquid systems[J]. **Journal of Food Engineering**,1996,27:229-240.
- [25] Fito P,Pastor R. Non-diffusional mechanism occurring during vacuum osmotic dehydration [J]. **Journal of Food Engineering**, 1994,21:513-519.
- [26] Fito P,Chiralt A,Barat J M,et al. Mass transport and deformation relaxation phenomena in plant tissues [M]//Welti J,Chanes G B-C,Agilera J M. Engineering and Food for the 21st Century. Lancaster:Technomic Publishing Co Inc,2001.

- [27] Fito P, Chiralt A. Vacuum impregnation of plant tissues [M]//Alzamora S M, Tapia M S, López-Malo A. Design of minimal process technologies for fruit and vegetables. Maryland: Aspen Publishers, 2000: 189–201.
- [28] Guamis B, Trujillo A J, Ferragut V. Ripening control of manchego type cheese salted by bine vacuum impregnation [J]. **International Dairy Journal**, 1997(7): 185–192.
- [29] Deumier F, Bohuon P, Trystram G, et al. Pulsed vacuum brining of poultry meat: experimental study on the impact of vacuum cycles on mass transfer [J]. **Journal of Food Engineering**, 2003, 58: 75–83.
- [30] Offer G, Trinick J. On the mechanism of water holding in meat: the swelling and shrinking of myofibrils [J]. **Meat Science**, 1983 (8): 245–281.
- [31] Wilding P, Hedges N, Lifford P J. Salting-induced swelling of meat: the effect of storage time, pH, ion-type and concentration [J]. **Meat Science**, 1986, 18: 55–75.
- [32] Chiralt A, Fito P, Andrés A, et al. Vacuum impregnation: a tool in minimally processing of foods [M]//Oliveira F A R, Oliveira J C. Processing of foods: Quality optimization and process assessment. Boca Ratón: CPC Press, 1999: 341–356.
- [33] Derossi A, Pilli T D, Severini C. Application of vacuum impregnation techniques to improve the pH reduction of vegetables: Study on carrots and eggplants [J]. **Food and Bioprocess Technology**, 2013(6): 3217–3226.
- [34] Mújica-Paz M, Argüelles-Pina L D, Pérez-Velázquez L C, et al. Vacuum pulse and brine composition effect on pickling kinetics of whole jalapeno pepper [J]. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 2006(7): 195–202.
- [35] 孙元宾, 田海娟, 朱珠, 等. 使用真空动态腌制法开发低盐甜葫芦腌菜 [J]. 食品科学, 2009, 30(6): 285–287.
SUN Yuanbin, TIAN Haijuan, ZHU Zhu, et al. Development of low-salt sweet calabash pickle by dynamic vacuum pickling method [J]. **Food Science**, 2009, 30(6): 285–287. (in Chinese)
- [36] Villacís M F, Rastogi N K, Balasubramaniam V M. Effect of high pressure on moisture and NaCl diffusion into turkey breast [J]. **LWT-Food Science and Technology**, 2008, 41: 836–844.
- [37] Fulladosa E, Serra X, Gou P, et al. Effects of potassium lactate and high pressure on transglutaminase restructured dry-cured hams with reduced salt content [J]. **Meat Science**, 2009, 82: 213–218.
- [38] Deumier F, Bohuon P, Trystram G, et al. Pulsed vacuum brining of poultry meat: experimental study on the impact of vacuum cycles on mass transfer [J]. **Journal of Food Engineering**, 2003, 58: 75–83.
- [39] 罗环, 夏文水, 许艳顺, 等. 醉鱼间歇式真空浸渍快速入味工艺优化 [J]. 食品与机械, 2012, 28(5): 197–219.
LUO Huan, XIA Wenshui, XU Yanshun, et al. Optimization of flavor impregnation bases on vacuum osmotic technology of marinating drunk fish [J]. **Food and Machinery**, 2012, 28(5): 197–219. (in Chinese)
- [40] 郭良, 马美湖, 靳国锋. 脉动压法腌制猪肉工艺优化 [J]. 肉类研究, 2012, 26(3): 13–17.
GUO Liang, MA Meihu, JIN Guofeng. Process optimization for pork curing by pulsed pressure treatment [J]. **Meat Research**, 2012, 26(3): 13–17. (in Chinese)
- [41] 佟林功. 快速压力腌蛋方法及装置: 中国, 85103390 [P]. 1985–04–19.
- [42] 谢小华. 一种环保型快速咸蛋腌制生产方法及其生产装置: 中国, 200810121075.X [P]. 2008–09–23.
- [43] Gras M L, Vidal D, Betoret N, et al. Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation Interactions with cellular matrix [J]. **Journal of Food Engineering**, 2003, 56: 279–284.
- [44] Park Su-Il, Kodihalli O, Zhao Y Y. Nutritional, sensory, and physicochemical properties of Vitamin E- and mineral-fortified fresh-cut apples by use of vacuum impregnation [J]. **Journal of Food Science**, 2005, 70: 593–599.
- [45] Moraga M J, Moraga G, Fito N, et al. Effect of vacuum impregnation with calcium lactate on the osmotic dehydration kinetics and quality of osmodehydrated grapefruit [J]. **Journal of Food Engineering**, 2009, 90: 372–379.
- [46] 徐珠洁, 谢晶, 刘世雄. 真空浸渍对苹果强化营养的研究 [J]. 食品科学, 2008, 29(11): 142–146.
XU Zhujie, XIE Jing, LIU Shixiong. Study on enrichment effect of vacuum impregnation on Fuji apple nutrition [J]. **Food Science**, 2008, 29(11): 142–146. (in Chinese)
- [47] Krasaekoopt W, Suthanwong B. Vacuum impregnation of probiotics in fruit pieces and their survival during refrigerated storage [J]. **Kasetsart Journal**, 2008, 42: 723–731.
- [48] Vidal-Brotóns D, Arroyave A, Betoret N, et al. Carrots enriched in probiotic bacteria by vacuum impregnation [C]. [S.I.]: International Conference on Food Innovation, 2010.

- [49] 高蕙文,陈晓红,吕欣,等.真空浸渍法制备固定化乳酸菌苹果粒的研究[J].食品科学,2006,27(7):155-158.
GAO Huiwen, CHEN Xiaohong, LU Xin, et al. Study on lactic acid bacteria enriched apple pieces prepared with vacuum impregnation[J]. **Food Science**, 2006, 27(7):155-158. (in Chinese)
- [50] Lin D S, Leonard S W, Lederer C, et al. Retention of fortified vitamin E and sensory quality of fresh-cut pears by vacuum impregnation with honey[J]. **Journal of Food Science**, 2006, 71:553-559.
- [51] Hironaka K, Kikuchi M, Koaze H, et al. Ascorbic acid enrichment of whole potato tuber by vacuum-impregnation [J]. **Food Chemistry**, 2011, 127:1141-1148.
- [52] 高乐怡,张慊,安建申,等.真空含浸奶油草莓的工艺[J].食品与生物技术学报,2009,28(5):603-606.
GAO Leyi, ZHANG Min, AN Jianshen, et al. Study of the vacuum impregnation technology of strawberry [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2009, 28(5):603-606. (in Chinese)
- [53] Vargas M, Chiralt M, Albors A, et al. Effect of chitosan-based edible coatings applied by vacuum impregnation on quality preservation of fresh-cut carrot[J]. **Postharvest Biology and Technology**, 2009, 51:263-271.

会议信息

会议名称(中文):第十一届全国高等院校农业工程及相关学科建设与教学改革学术研讨会

所属学科:农林基础,教育学

开始日期:2014-07-11

所在城市:新疆维吾尔自治区 石河子市

主办单位:国务院学位委员会农业工程学科评议组、中国农业工程学会、全国高等院校农业工程相关学科(校长)

联谊会

协办单位:石河子大学

主题:加强学科建设,为培育新型农业经营主体提供技术支撑,促进现代农业建设

联系人:耿梅 13199938022

联系电话:0993-2057219

E-MAIL:jd2057219@163.com

会议网站:http://www.csae.org.cn/news_look.asp?typecode=0602&Id=2368

会议名称(中文):第五届全国农业微生物研究及产业化研讨会

开始日期:2014-07-18

结束日期:2014-07-20

所在城市:云南省 昆明市

主办单位:中国微生物学会农业微生物专业委员会、农业部农业微生物资源利用学科群和云南大学

承办单位:云南省遗传学会、云南省生物资源保护与利用重点实验室

联系人:邹成钢教授 15912105790

联系电话:0871-65031092

E-MAIL:fushu111@qq.com

会议注册费:正式代表 1000 元/人,学生代表 600 元/人(凭学生证),家属 600 元/人,企业代表 1500 元/人

会议网站:<http://csm.im.ac.cn/templates/team/introduction.aspx?nodeid=9&page=ContentPage&contentid=2535>