

鲜切水果磁电方法益生菌增效研究

杨 哪¹ 金亚美¹ 徐 悦¹ 徐学明^{1,2} 金征宇^{1,2}

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

摘要: 为实现鲜切水果的益生菌富集, 将感应交变电场施加于浸渍溶液体系, 同时在旋转磁场的影响下有效促进溶液中鼠李糖乳杆菌向鲜切苹果和草莓渗透, 考察了浸渍时体系场强、电场频率、磁场强度和频率、环境 pH 值和温度对样品中鼠李糖乳杆菌数的影响, 发现体系场强和磁场强度越高则越有利于菌体在样品中的扩散和渗透, 体系场强 3 V/cm, 磁场强度 0.13 T 时可获最高的菌数含量, 即鲜切苹果和草莓菌体浓度可达 9.23×10^8 个/g 和 1.22×10^8 个/g, 较低的 pH 值环境同样有利于菌体在样品中的富集, 但环境 pH 值为 6.9 和 8.1 时, 在试样期内其各自样品中最高菌体浓度分别只有 4.32×10^8 个/g 和 5.4×10^7 个/g, 即低于酸性环境下获得的活菌数, 处理鲜切苹果时存在最适电场频率和磁场频率各自分别为 200 Hz 和 1 Hz, 该研究为益生菌在鲜切果蔬中的快速富集提供了一种参考方法。

关键词: 鲜切水果; 益生菌增效; 磁电方法

中图分类号: TS255.54 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)02-0258-06

Enrichment of Probiotics in Fresh-cut Fruits Using Magnetic-electric Process Method

Yang Na¹ Jin Yamei¹ Xu Yue¹ Xu Xueming^{1,2} Jin Zhengyu^{1,2}

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China

2. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Probiotic enrichment in fresh-cut fruits was achieved in the impregnation system when induced alternating electric field was used in conjunction with rotating perpendicular magnetic field. The method was intended to promote the efficiency of *Lactobacillus rhamnosus* diffusion into the tissues of apples and strawberries based on the experimental transformer structure. The amount of probiotic in the sample tissues was investigated under the influence of voltage levels (1 V/cm, 2 V/cm, 3 V/cm), voltage frequencies (50 Hz, 200 Hz, 400 Hz), magnetic field intensities (260 Gs, 900 Gs, 1 300 Gs), rotating magnetic frequencies (0.1 Hz, 1 Hz, 10 Hz), temperature (20°C, 40°C, 60°C, 80°C) and the pH values (3.2, 3.5, 4.6, 5.5, 6.9, 8.1, 10.7) of the impregnation solutions. It was demonstrated that high voltage levels and magnetic field intensities were conducive to the diffusion of probiotics into the sample tissues. The highest amount of probiotic in the sample tissues was achieved at system voltage of 3 V/cm and magnetic field intensity of 1 300 Gs. The maximum amounts of probiotic in fresh-cut apples and strawberries were increased to 9.23×10^8 CFU/g and 1.22×10^8 CFU/g, respectively. Impregnation solutions with low pH values were conducive for the accumulation of probiotics in the samples. The highest amounts of *Lactobacillus rhamnosus* were 4.32×10^8 CFU/g and 5.4×10^7 CFU/g in the fresh-cut apples and strawberries, respectively, during processing at pH values of 6.9 and 8.1 which showed lower living bacterium content in fresh-cut fruits compared with the samples in the acidic impregnation solution.

收稿日期: 2015-05-11 修回日期: 2015-07-07

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD37B00)

作者简介: 杨哪(1982—), 男, 博士生, 主要从事食品浸渍技术开发研究, E-mail: yangna@jiangnan.edu.cn

通信作者: 徐学明(1968—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事食品组分与物性研究, E-mail: xmxu@jiangnan.edu.cn

The optimal electric field frequency and magnetic field frequency for impregnation treatment of fresh-cut apples through this magnetic-electric method were at 200 Hz and 1 Hz, respectively. The proposed impregnation method can provide a reference for probiotic enrichment of fresh-cut fruits.

Key words: fresh-cut fruits; probiotics enrichment; magnetic-electrical method

引言

膳食健康日益受到关注,目前关于鲜切果蔬的功能性研究集中在矿物质和微量元素强化、抗氧化抗褐变、涂膜、益生菌富集等领域^[1-5]。开发富含益生菌的功能性食品也是当前研究的热点之一。商业化的方便鲜切果蔬制品近来快速增加,在终端消费的各大超市也日渐趋多。为了提高生产效率,缩短浸渍处理时间,果蔬益生菌的富集研究多采用真空浸渍技术^[6]。机理源于在反复抽真空的脉动负压状态下造成植物组织的膨胀和收缩,从而使其利于“吸入”富含各类溶质的浸渍溶液。Christion等^[7]对鲜切苹果进行了鼠李糖乳杆菌的富集研究,发现常规方法浸泡后的产品在10 d试样期内都有 10^8 个/g的菌数含量,该类益生菌对寄主的肠道产生有益影响,特别适用于酸奶产品中。Betoret等^[8]利用真空浸渍和热风干燥相结合的方式开发了低湿度富含益生菌的苹果休闲食品,利用含乳杆菌的果汁等渗溶液浸渍使其产品的最终菌体浓度为 $(9.486 \pm 0.013) \times 10^7$ 个/g。高蕙文等^[9]同样采用真空浸渍技术制备了富含乳酸菌的鲜切苹果产品,发现温度 35°C ,抽真空时间10 min,浸渍时间80 min时加工的鲜切苹果粒对乳酸菌的吸附率最高,其样品菌数在 10^9 个/g以上。而早期Betoret等对真空浸渍技术在鲜切果蔬的益生菌富集制备和应用方面也做了先期研究^[10]。益生菌特别是乳酸菌属可耐受较低的pH值环境且菌体表面带正电。同时,Pryor等^[11]报道了基于单相变压器结构的仿真系统,表明利用磁电感应的方式在海水中可得到感应电压和感应电流;Jin等^[12]利用磁电感应方法发现在交变感应电压的影响下盐渍黄瓜汁液中有明显的离子传导加剧现象,造成汁液中的固形物发生快速凝聚和结团。本文利用交变感应电场及旋转磁场对不同孔隙率的鲜切苹果和草莓进行益生菌强化处理,分别考察体系场强、电场频率、磁场强度、磁场频率和温度对样品中鼠李糖乳杆菌菌体浓度的影响规律,以期对益生菌在果蔬中的高效富集提供一种参考技术。

1 材料与方法

1.1 试验装置

采用函数信号发生器(Agilent,美国,型号

33521B)生成不同频率的信号,经过功率放大器(Pintech,台湾,型号HA-802)将其放大,并激励环形硅钢铁芯(硅钢长度56.5 cm,高度2 cm)上的初级线圈(匝数 $N_p = 20$),则相应变化规律的磁通在充满益生菌浸渍液的螺旋管(耐腐蚀,医疗级)次级线圈绕组(5组,匝数 $N_s = 10$)中生产感应电压作为“源动力”以驱动溶液体系中的带电菌体,使其发生往复运动。同时浸渍液还受到径向旋转磁场的影响即带电菌体受交变洛伦兹力的作用,加强其向植物组织的渗透和扩散效果。装备组成单元有:函数信号发生器、功率放大器、环形硅钢铁芯、初级线圈绕组、硅胶管(次级线圈)、浸渍腔体、密封盖、伺服电机、径向旋转磁场、真空泵、恒温循环水浴。旋转径向磁场内部磁力线分布如图1a所示,利用Comsol Multiphysics 4.3b绘制,红色虚线为样品区域,试验装置如图1b所示。

1.2 加工方法

1.2.1 菌悬液获取

将鼠李糖乳杆菌ATCC7469(购于菌种保藏中心)于MRS试管中培养2次,再以3%的接种量接入200 mL MRS三角瓶中 37°C 培养24 h至菌液浑浊,将其倒入离心杯中于 5000 r/min 离心10 min,倒出上清液,再加入等体积的果蔬等渗溶液混合,其配制方法见1.2.2节,菌落计数后,得到初始菌数^[9]。

1.2.2 样品制备

当地超市购买新鲜、无霉变、大小均一的苹果和草莓,将其清洗干净,切丁为边长 $(4+2) \text{ mm}$ 的正方体粒状。为了防止浸渍时造成果蔬样品固形物大量损失且技术方法的实现主要依靠电场力和磁场力的作用,为减小溶液渗透压对菌体浸渍的影响,配制2种水果样品的蔗糖等渗溶液,配比分别为:苹果等渗溶液为1000 mL蒸馏水+158 g蔗糖,草莓等渗溶液为1000 mL蒸馏水+151 g蔗糖。每次试验采用质量160 g鲜切水果样品装入尼龙纱网打包,置入浸渍腔体中,如图1c所示,然后将菌悬液倒入使其完全浸没,液料比为4 mL/g。

1.2.3 加工参数设置

处理时的信号波形选正弦波,频率为50、200、400 Hz,调节有效电压幅值分别为200、400、600 V,其中浸渍体系回路长度100 cm,初级线圈与次级线圈匝数比为2,则浸渍体系作为次级回路的体系电

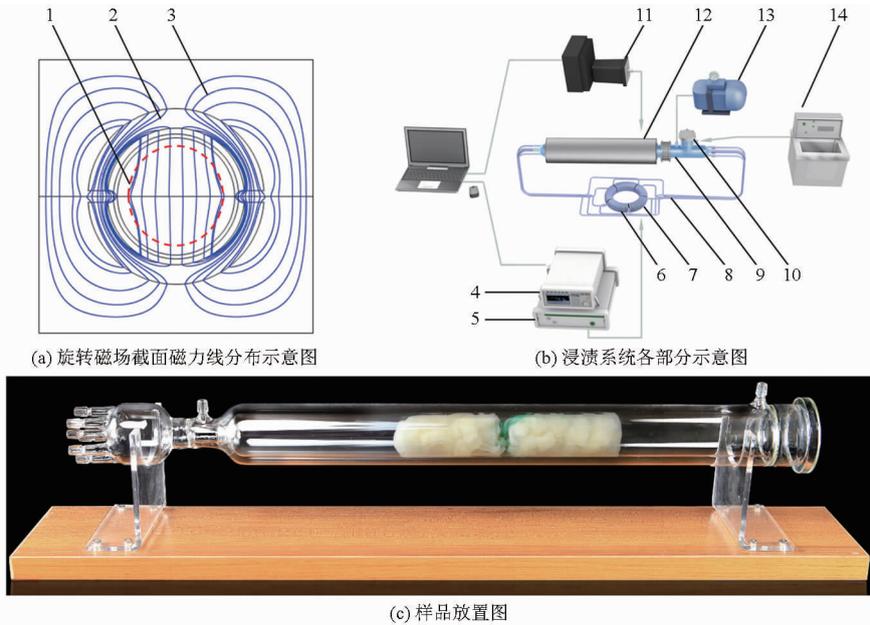


图1 基于磁电方法下的益生菌富集系统图

Fig. 1 Diagram of impregnation system for probiotics enrichment based on magnetic-electrical method

1. 样品放置区 2. 钕铁硼磁瓦 3. 磁力线分布 4. 函数信号发生器 5. 功率放大器 6. 环形硅钢铁芯 7. 初级线圈绕组 8. 硅胶管(次级线圈) 9. 浸渍腔体 10. 密封盖 11. 伺服电机 12. 径向旋转磁场 13. 真空泵 14. 恒温循环水浴

压分别为1、2、3 V/cm,系统额定输出功率为80 W且不会对浸渍体系有任何热效应。伺服电机控制旋转磁场匀速转动,控制频率为0.1、1、10 Hz,采用不同规格即型号为N25、N40、N50的钕铁硼磁瓦,使腔体中心磁场强度分别为0.026、0.09、0.13 T(由特斯拉计测得,型号HT20A,上海亨通磁电科技有限公司),温度为室温((20±2)℃),溶液体系中的气泡采用真空泵抽出,样品处理时间0、20、40、60、80、100、120 min,期间取出样品进行菌落总数的测定。同时以常规浸泡的样品作为对照样。

1.3 植物孔隙率

采用干燥法测定样品含水率,首先称量约5 g样品,置于105℃干燥箱中直到质量恒定,记录其前后质量,计算方法为

$$\chi_w = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \quad (1)$$

式中 χ_w ——样品含水率, g/g

M_1 ——样品干燥前的质量

M_2 ——样品干燥后的质量

植物组织的表观密度采用改进的比重瓶法于25℃测定:称量并记录已干燥至质量恒定的空温控比重瓶质量,将约5 g样品置于比重瓶中,然后称量装有试样的比重瓶质量。注入去离子水(25℃,密度0.9968 g/cm³)直到浸没试样,将比重瓶抽真空至0.01 MPa保持10 min,排除试样孔隙空气,放气后再将比重瓶放入恒温水浴25℃中,再注入浸渍液至比重瓶某刻度处并标记,待比重瓶恒温后,再调节

浸渍液面至比重瓶此前标记的刻度。取出比重瓶擦干并记录质量。然后将比重瓶倒空,清洗后只装入去离子水,进行抽真空排气处理,恒温后再调节液面至比重瓶此前标记的刻度处并再次记录质量,故表观密度计算公式为

$$\rho_a = \frac{(W_1 - W_0)\rho_{25}}{m_2 - m_1} \quad (2)$$

式中 ρ_a ——样品表观密度, g/cm³

ρ_{25} ——25℃水的密度, g/cm³

W_0 ——空温控比重瓶质量, g

W_1 ——装有试样的比重瓶质量, g

m_1 ——排气后含样品的浸渍体系质量, g

m_2 ——排气后不含样品的浸渍体系质量, g

因环境难以达到绝对真空,故真实环境下除去植物样品孔隙中的所有气体较困难,所以真实密度计算公式为^[13]

$$\rho_r = 1.590(1 + 0.590\chi_w)^{-1} \quad (3)$$

式中 ρ_r ——样品真实密度, g/cm³

孔隙率计算公式为

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}\right) \times 100\% \quad (4)$$

式中 ε ——样品孔隙率, %

1.4 菌落计数

参照文献[5]中的平板计数法进行操作,为消除误差,样品在测试前用去离子水对其表面进行30 s的冲洗,并用试纸沥干其表面水分,然后取其5 g并混入45 mL氯化钠蛋白胨缓冲液进行搅碎,再

稀释 10^{-6} 倍,并于双层 MRS 琼脂平板于 37°C 培养 24 h,计菌落数。

2 结果与分析

2.1 体系场强

当电场频率为 200 Hz,磁场强度为 0.09 T,磁场频率 1 Hz,浸渍体系 pH 值 5.5 时,从图 2 可看出浸渍体系场强对鲜切苹果和草莓中的鼠李糖乳杆菌数具有显著的增效作用,体系场强越高则样品的菌体含量就多,3 V/cm 体系场强下处理的样品中菌数最高,但 80 min 后鲜切苹果和草莓中的菌体数量增加趋势变得缓慢,这是因为草莓的孔隙率为 3.5%,而苹果的孔隙率为 16.6%。即苹果组织中的细胞间隙较多,可以载容更多的益生菌体,故苹果中的菌体含量在相同处理时间下均高于草莓样品,随着时间延长,细胞间隙逐渐“满载”则样品中菌体数量趋于稳定,120 min 时 1、2、3 V/cm 处理后苹果中的菌体浓度分别为 7.33×10^8 、 8.85×10^8 、 9.23×10^8 个/g 则相对于对对照样提高了 16.0、19.6、20.5 倍,而草莓中的菌体浓度分别为 1.05×10^8 、 1.12×10^8 、 1.22×10^8 个/g,相对于其对对照样提高了 6.0、6.5、7.2 倍。

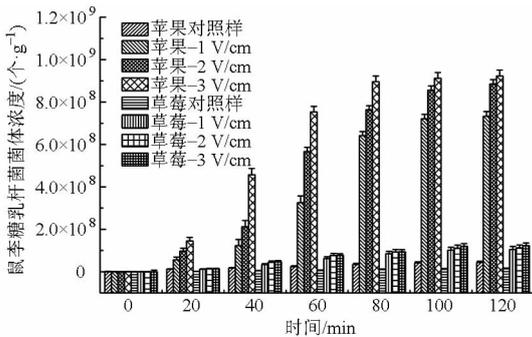


图2 体系场强对鲜切水果中鼠李糖乳杆菌数的影响

Fig. 2 Effect of system electric field strength on amount of *Lactobacillus rhamnosus* in fresh-cut fruits

2.2 电场频率

当体系场强为 2 V/cm,磁场强度为 0.09 T,磁场频率 1 Hz,浸渍体系 pH 值 5.5 时,从图 3 可看出浸渍体系的电场频率对鲜切苹果和草莓中鼠李糖乳杆菌数的影响,不同频率下样品中菌体含量均随时间呈现上升的趋势,体系中施加不同的电场频率对鲜切草莓中的菌体含量无显著影响,这是由草莓本身的低孔隙率造成的,而鲜切苹果当频率为 200 Hz 时样品的菌体数量均高于 50 Hz 和 400 Hz 处理的样品,在 120 min 时菌数分别高出 6.1% 和 2.6%。同样于 80 min 后样品中的菌数增加缓慢。不同的电场频率意味着菌体在每个周期内受到不同方向电场力的作用时间有差异,造成特异性的迁徙效果,频率高则菌体每个周期所受电场力作用持续时间较短则

迁移距离相对较低,故渗透效果减弱,频率低则菌体每个周期所受电场力作用持续时间较长则迁移距离较高,但菌体间的彼此碰撞摩擦机率增加会造成一定的能量损耗,使渗透效果弱化,故存在最适的系统电场频率。

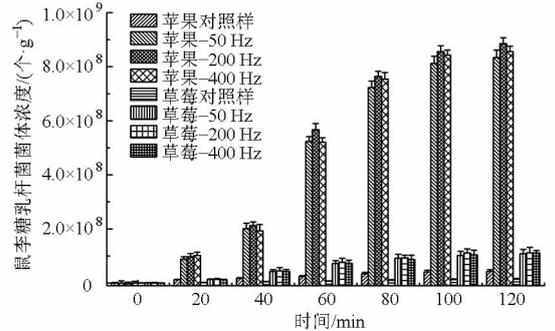


图3 电场频率对鲜切水果中的鼠李糖乳杆菌数影响

Fig. 3 Effect of electric field frequency on amount of *Lactobacillus rhamnosus* in fresh-cut fruits

2.3 磁场强度

当体系场强为 2 V/cm,电场频率为 200 Hz,磁场频率 1 Hz,浸渍体系 pH 值 5.5 时,从图 4 可看出浸渍体系的磁场强度对鲜切苹果和草莓中鼠李糖乳杆菌数的影响,磁场强度越高则越有利于菌体向样品中的细胞间隙渗透,这是因为磁场强度越高则体系中的菌体所受磁场力就越高,在与电场力的共同作用下,相同周期内菌体运动轨迹的偏移率就越高,则每个周期内粒子运动规律就越复杂,从而有利于菌体在多孔状样品组织中的扩散。0.13 T 下样品中的菌数在不同时间均高于其他磁场强度处理的样品菌数,且 120 min 时苹果中经 0.13 T 处理的样品菌数高出 0.026 T 处理的样品菌数 36.1%,而草莓则高出 89.1%。各磁场强度下处理的草莓样品菌数在 80 min 后增加趋势变缓,但苹果样品于 0.026 T 磁场强度时在 120 min 内菌数随时间呈现梯度上升,这是因为菌体所受的磁场力即洛伦兹力较弱,造

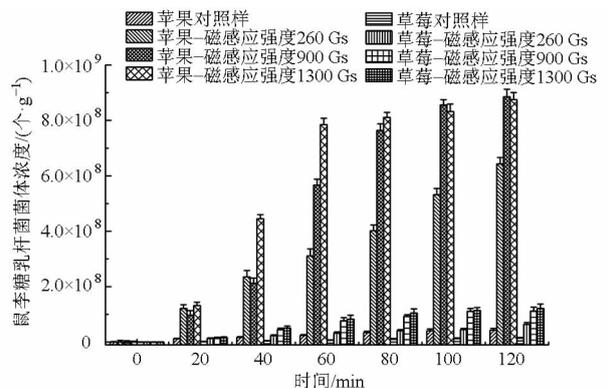


图4 磁场强度对鲜切水果中鼠李糖乳杆菌数的影响

Fig. 4 Effect of magnetic field strength on amount of *Lactobacillus rhamnosus* in fresh-cut fruits

成菌体在多孔状样品中的扩散效果减弱,从而使其菌体缓慢的向苹果组织间隙渗透,而磁场强度 0.09 T 和 0.13 T 处理下的样品在 80 min 后菌数增加缓慢即趋于稳定。

2.4 磁场频率

当体系场强为 2 V/cm, 电场频率为 200 Hz, 磁场强度 0.09 T, 浸渍体系 pH 值 5.5 时, 从图 5 可看出浸渍体系的旋转磁场频率对样品中鼠李糖乳杆菌数的影响, 磁场频率对草莓中的菌数没有显著影响, 在 60 min 后菌数变化趋于稳定, 0.1、1、10 Hz 处理下的菌体浓度分别为 4.3×10^7 、 1.02×10^8 、 1.12×10^8 、 1.11×10^8 个/g, 相对于对照样提高了 137.2%、160.4%、158.1%。而 1 Hz 旋转磁场频率处理后的苹果中菌数最高, 相对于 0.1、10 Hz 则提高了 12.7% 和 7.6%, 并于 100 min 后变化趋势稳定。旋转磁场在浸渍体系中会产生交变磁通, 引起微小的感应电流, 这来源于菌体表面的自由电子或离子传导。同时也与溶液体系的 pH 值有关, 菌体表面不同方向的环形电流会造成菌体间的相互排斥或吸引, 进而影响其在多孔状样品中的扩散和渗透效果, 故存在最适的旋转磁场频率。因为在该磁场频率值下, 体系中所有菌体的排斥和吸引行为保持平衡, 可更有效地在多孔状植物组织中进行扩散渗透。

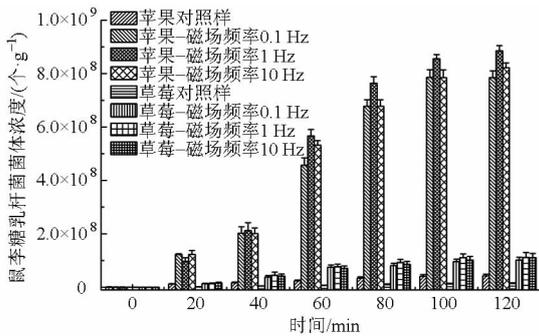


图5 旋转磁场频率对鲜切水果中鼠李糖乳杆菌数的影响

Fig.5 Effect of rotating magnetic frequency on amount of *Lactobacillus rhamnosus* in fresh-cut fruits

2.5 pH 值

因不同的 pH 值环境对菌体/蛋白质表面的净

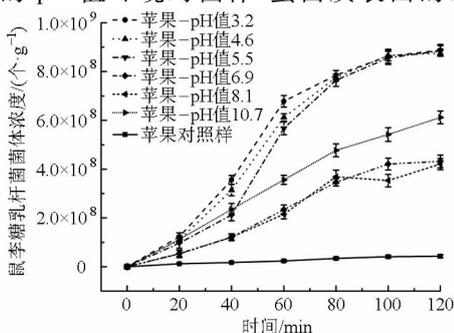


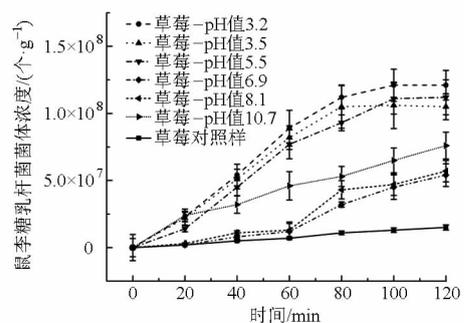
图6 浸渍溶液 pH 值对鲜切水果中鼠李糖乳杆菌数的影响

Fig.6 Effect of pH values on amount of *Lactobacillus rhamnosus* in fresh-cut fruits

电荷数量有显著性影响, 进而改变菌体所受的电场力和磁场力, 从而造成特异性的浸渍效果, 故考察体系 pH 值对菌体含量的影响, 试验所采用的苹果和草莓的汁液的 pH 值分别为 4.6 和 3.5。当体系场强为 2 V/cm, 电场频率为 200 Hz, 磁场强度为 0.09 T, 磁场频率 1 Hz 时, 从图 6 可看出浸渍体系 pH 值对样品鼠李糖乳杆菌数的影响, 在酸性 pH 值环境中, 益生菌在鲜切苹果和草莓中的增效最为显著, 这是因为鼠李糖乳杆菌属于乳酸菌, 能耐受较高的 pH 值环境且菌体带正电, 在交变磁场和交变电场的影响下加快其传质效率, 即带电菌体受周期性交变电场力和交变磁场力的影响加速多孔状植物组织的渗透。但是, 当环境 pH 值位于偏中性时即 pH 值为 6.9 和 8.1, 样品中菌数含量无显著增效, 且菌体浓度最高分别只为 4.32×10^8 个/g 和 5.4×10^7 个/g, 即低于酸性环境下获得的活菌数。这可能是因中性环境造成菌体带有的净电荷数量较少引起, 故其受电场力和磁场力的影响减弱。同样, 碱性的环境即 pH 值 10.7 时, 样品中的菌体含量较酸性环境低, 这也是由于碱性环境中菌体所带静电荷数量较酸性环境少的原因造成的。120 min 时, 苹果样品在酸性 pH 值为 3.2、4.6 和 5.5 环境下处理后的菌数较 pH 值 10.7 环境提高了 44.9%、42.9% 和 44.6%, pH 值为 3.2、3.5 和 5.5 环境下的草莓含菌数较 pH 值 10.7 环境提高了 59.2%、38.1% 和 47.3%。

2.6 温度

当体系场强为 2 V/cm, 电场频率为 200 Hz, 磁场强度 0.09 T, 磁场频率 1 Hz, 浸渍体系 pH 值 5.5 时, 从图 7 可看出温度对样品中鼠李糖乳杆菌数的影响, 磁电辅助处理时 20℃ 和 40℃ 环境下的样品菌体含量显著提高, 但无显著性差异, 而当温度达到 60℃ 时样品中的活菌量呈现下降的趋势, 而温度在 80℃ 时, 样品中的活菌量于 20 min 后几乎无显著的提高, 这是因为鼠李糖乳杆菌的最适温度为 37 ~ 42℃, 高温导致了大量鼠李糖乳杆菌死亡, 所以相对于



20℃和40℃下处理的样品活菌数则急剧下降^[14]。

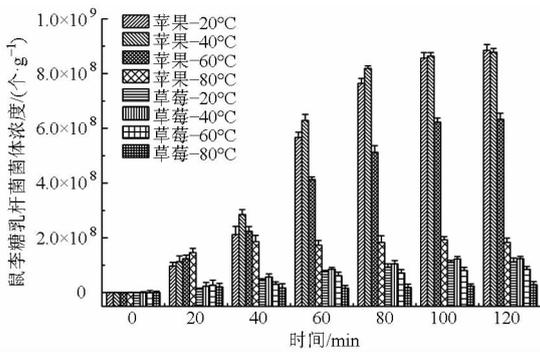


图7 温度对鲜切水果中鼠李糖乳杆菌数的影响

Fig. 7 Effect of temperature on amount of *Lactobacillus rhamnosus* in fresh-cut fruits

3 讨论

利用磁电辅助的方法使浸渍液中的带电菌体受到不同变化规律且相互垂直的交变电场力和磁场力影响,加速了菌体在多孔状植物组织中的扩散和渗透,如图8a所示,当未施加交变电场和磁场时,浸渍

液中的菌体主要受环境温度的影响做无规则的热力学运动,向多孔状植物组织缓慢扩散,当施加周期性的交变电场 $E(t)$ 和旋转磁场 $B(t)$ 后,带电菌体则受到电场力和磁场力合力的影响,发生定向性的大规模迁徙,从而加速向样品组织的各个表面扩散,进入到细胞组织间隙,如图8b所示。有研究发现当直接在腌渍液中插入通电极板后,适宜强度的电场可有效促进自由离子向蔬菜组织的渗透,即电场提高了传质效率^[15]。宏观体系中,有报道指出地球和大气层间的电场和地球自身旋转磁场对大气漩涡的生产有贡献作用,即表明带电粒子受交变磁场和电场的综合影响会引起带电粒子的大规模迁移^[16]。本研究中所使用的交变电场来源于感应电压,故无需向浸渍液中直接插入电极。由于采用的低频硅钢铁芯,则将来进一步的研究可采用其他频率范围的铁芯材料进行高频电场的浸渍效果研究,而对于更高磁场强度下的浸渍效果研究则可采用通电螺线管进行。

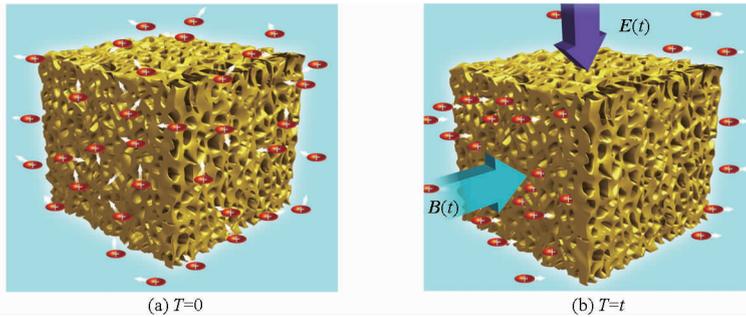


图8 磁电辅助下的益生菌浸渍原理示意图

Fig. 8 Schematic diagram of impregnation of probiotics in fresh-cut fruits assisted by magnetic-electrical method

4 结束语

利用周期性的交变电场和交变磁场可以有效地促进浸渍液中的菌体向鲜切苹果和草莓样品中的渗透,体系场强和磁场强度越高则越有利于菌体的扩散和渗透,即体系场强 3 V/cm, 磁场强度 0.13 T 时最佳,其鲜切苹果和草莓的菌体浓度最高可达 9.23×10^8 个/g 和 1.22×10^8 个/g。同时,较低的 pH 值环境有利于菌体的浸渍,这与菌体表面所带净电

荷含量有关,但中性环境下处理后的样品活菌数较酸性和碱性环境下少。浸渍处理苹果时电场频率和磁场频率存在最适值即分别为 200 Hz 和 1 Hz,但电场频率和磁场频率对草莓样品中的菌数无显著性影响,草莓由于具有较低的孔隙率故处理后的益生菌的数量较苹果样品少,随着处理时间的延长,样品于 80 min 后其菌数变化趋于稳定,当浸渍体系温度超过 60℃ 后样品中的活菌数呈现下降的趋势。

参 考 文 献

- Zhao Y, Xie J. Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing [J]. Trends in Food Science and Technology, 2004, 15(9): 434 - 451.
- Luo Y G, Lu S M, Zhou B, et al. Dual effectiveness of sodium chlorite for enzymatic browning inhibition and microbial inactivation on fresh-cut apples[J]. LWT—Food Science and Technology, 2011, 44(7):1621 - 1625.
- Arnon H, Zaitsev Y, Porat R, et al. Effects of carboxymethyl cellulose and chitosan bilayer edible coating on postharvest quality of citrus fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 87:21 - 26.
- Tripathi M K, Giri S K. Probiotic functional foods: survival of probiotics during processing and storage[J]. Journal of Functional Foods, 2014, 9:225 - 241.

- Liu Jujiang, Wu Jian, Huang Ruijing, et al. Development and experiment of control strategy for start/stop system[J]. *Vehicle Engine*, 2012(5):15-18. (in Chinese)
- 12 GB 18352.5—2013 轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国第五阶段)[S]. 北京:中国环境科学出版社, 2013:44-49. GB 18352.5—2013 Limits and measurement methods for emissions from light-duty vehicles(CHINA 5)[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2013:44-49. (in Chinese)
- 13 钱国刚,李菁元,陆红雨. 轻型乘用车在中国的怠速起停循环外油耗测试评价[J]. *汽车安全与节能学报*, 2015, 6(2):171-178. Qian Guogang, Li Jingyuan, Lu Hongyu. Off-cycle fuel consumption test and evaluation on start-stop light duty vehicles in China[J]. *Automotive Safety and Energy*, 2015, 6(2):171-178. (in Chinese)
- 14 Victor E G. Pneumatic start-stop system[C]. SAE Paper 2007-01-2767, 2007.
- 15 Alberto B. Improvements of vehicle fuel economy using mechanical regenerative braking[C]. SAE Paper 2010-01-1683, 2010.
- 16 Jason C, Samuel T. Technological evaluation of fuel efficiency improvement concepts to meet future regulatory requirements in the North American market[C]. SAE Paper 2002-01-2809, 2002.
- 17 尹安东,李领领. 基于 CRUISE 的轻度 ISG 型 HEV 控制策略研究[J]. *合肥工业大学学报:自然科学版*, 2012, 35(1):5-8. Yin Andong, Li Lingling. Research on control strategy for mild ISG HEV based on CRUISE[J]. *Journal of Hefei University of Technology: Natural Science Edition*, 2012, 35(1):5-8. (in Chinese)
- 18 隗寒冰,秦大同,刘永刚,等. ISG 轻度混合动力汽车冷起动排放仿真与试验[J]. *中国公路学报*, 2012, 25(6):147-153. Wei Hanbing, Qin Datong, Liu Yonggang, et al. Cold start emission simulation and experiment of ISG type mild hybrid electric vehicle[J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2012, 25(6):147-153. (in Chinese)
- 19 陈威,陈慧. 基于模糊控制的电动汽车起停控制系统研究[J]. *山东交通学院学报*, 2011, 19(3):1-6. Chen Wei, Chen Hui. Stop & start control system of electrical vehicle based on fuzzy logic control[J]. *Journal of Shandong Jiaotong University*, 2011, 19(3):1-6. (in Chinese)
- 20 张博,李君,杨世春,等. 混合动力汽车发动机起停控制策略[J]. *吉林大学学报:工学版*, 2009, 39(3):561-565. Zhang Bo, Li Jun, Yang Shichun, et al. Control strategy for engine start stop in hybrid electric vehicle[J]. *Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition*, 2009, 39(3):561-565. (in Chinese)

(上接第 263 页)

- 5 Noorbakhah R, Yaghmaee P, Durance T. Radiant energy under vacuum (REV) technology: a novel approach for producing probiotic enriched apple snacks[J]. *Journal of Functional Foods*, 2013, 5(3):1049-1056.
- 6 Martins E M F, Ramos A M, Vanzela E S L, et al. Products of vegetable origin: a new alternative for the consumption of probiotic bacteria[J]. *Food Research International*, 2013, 51(2):764-770.
- 7 Christian Rößle, Auty M A E, Brunton N, et al. Evaluation of fresh-cut apple slices enriched with probiotic bacteria[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2010, 11(1):203-209.
- 8 Betoret E, Betoret N, Arilla A, et al. No invasive methodology to produce a probiotic low humid apple snack with potential effect against *Helicobacter pylori*[J]. *Journal of Food Engineering*, 2012, 110(2):289-293.
- 9 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, Lü 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)
- 10 Betoret N, Puente L, Diaz M J, et al. Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation[J]. *Journal of Food Engineering*, 2003, 56(2-3):273-277.
- 11 Pryor R W. Inductive conductivity measurement of seawater[C]//2013 COMSOL Conference, 2013.
- 12 Jin Yamei, Yang Na, Ma Qian, et al. The salt and soluble solids content evaluation of pickled cucumbers based on inductive electrical parameters[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2015, 8(4):749-757.
- 13 杨哪,金亚美,马倩,等. 感应离子电流盐渍腌菜工艺研究[J]. *农业机械学报*, 2014, 45(10):238-244. Yang Na, Jin Yamei, Ma Qian, et al. Vegetable salting process based on inductive ion current[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014, 45(10):238-244. (in Chinese)
- 14 黄寅. 鼠李糖乳杆菌 NCU239 高密度培养技术研究[D]. 南昌:南昌大学, 2011. Huang Yin. High cell density culture of *Lactobacillus rhamnosus* NCU239[D]. Nanchang: Nanchang University, 2011. (in Chinese)
- 15 Chitra Kusnadi, Sudhir K Sastry. Effect of moderate electric fields on salt diffusion into vegetable tissue[J]. *Journal of Food Engineering*, 2012, 110(3):329-336.
- 16 Dehel T F, Dickinson M, Lorge F, et al. Electric field and Lorentz force contribution to atmospheric vortex phenomena[J]. *Journal of Electrostatics*, 2007, 65(10-11):631-638.