

海带发泡缓冲材料的制备及性能研究

张星云,周灵青,鄂玉萍,王家俊

(浙江理工大学材料与纺织学院,杭州 310018)

摘要:以新鲜海带为原料,经盐酸酸化和 NaOH 溶液碱处理,利用真空冷冻干燥方法制备海带发泡缓冲材料,并对其结构和性能进行研究。结果表明:海带发泡缓冲材料呈致密的枝化结构,由薄壁构成开孔。当 NaOH 质量分数为 1.1% 时,缓冲材料的密度(ρ^*)、孔壁材料的密度(ρ_s)和相对密度(ρ^*/ρ_s)最小,分别为 0.0449 g/cm³、0.6483 g/cm³ 和 0.0693,而缓冲材料的平均孔径、初始弹性模量和压缩吸收能最大,分别为 0.4 mm、0.15 MPa 和 42.38 kJ/m³。随着 NaOH 质量分数的增加,海带发泡缓冲材料的平均孔径减小, ρ^* 、 ρ_s 和 ρ^*/ρ_s 则增大,初始弹性模量先减小后略微增大,压缩吸收能呈减小趋势。因此当 NaOH 浓度为 1.1% 时,海带发泡缓冲材料的静态缓冲性能最好。

关键词:海带;海藻酸钠;真空冷冻干燥;发泡缓冲材料;枝化结构

中图分类号: TB484.6

文献标志码: A

0 引言

缓冲材料被广泛用于产品的保护。泡沫塑料是目前普遍应用的缓冲材料,然而,泡沫塑料取自石油且难以降解,造成了严峻的资源环境问题。泡沫塑料现有的替代品如瓦楞纸板、蜂窝纸板、纸浆模塑、植物纤维发泡缓冲材料^[1-2],在制造过程中往往需要添加发泡剂和成核剂等,这可能产生双酚类或其他有毒物质而对环境产生严重污染^[3-4]。

海带是一种存量丰富、获取方便、成本低廉的生物物质原料,富含海藻酸盐。海藻酸盐具有无毒、可降解、稳定性好、黏度高^[5]和形成纤维能力强^[6]等特点,可制备成多孔支架等,广泛应用于化工和生物医药等领域,也有学者将其制备成薄膜应用于包装领域。应用挤出、注射等方法制备发泡材料一般都需要添加各种助剂,在生产过程中可能会产生有毒物质而产生环境问题。近年来,真空冷冻干燥法由于以无污染的水作为致孔剂而受到了广泛的关注,所制备材料呈多孔结构、外观也较好,已用于泡沫塑料^[7]、多孔支架^[8]、

多孔薄膜^[6]和多孔陶瓷^[9]等的制备。本文以海带为原料,通过真空冷冻干燥法制备可降解、可再生的海带发泡缓冲材料,探讨不同浓度 NaOH 溶液对缓冲材料性能的影响,并对其泡孔形貌,孔径分布、密度和孔隙率,以及静态缓冲性能进行研究。

1 实验

1.1 实验材料与仪器

实验材料:新鲜海带(购自杭州下沙农贸市场),盐酸(36.46%,分析纯,杭州高晶精细化工有限公司生产),氢氧化钠(分析纯,天津市永大化学试剂有限公司),去离子水(自制)。

主要仪器和设备:电子天平(PL203,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司),50克手提式高速万能粉碎机(DFT-50,温岭市林大机械有限公司),循环水式真空泵(SHZ-D,巩义市予华仪器有限责任公司),精密增力电动搅拌器(JJ-1,常州普天仪器制造有限公司),冰箱(BCD-182C,杭州华日电冰箱有限公司;U410,NBS),真空冷冻干燥系统(74200-30,

收稿日期: 2015-01-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(51303160);浙江省高校重点学科研究生创新基金项目(2013CLXK07)

作者简介: 张星云(1990-),女,浙江嵊州人,硕士研究生,主要从事包装缓冲材料的研究。

通信作者: 王家俊, E-mail: wangjijhz@163.com

Labconco 公司), 流变仪 (Physica MCR301, 德国 Anton Paar 商贸有限公司), 实体显微镜 (M165C, LEICA 公司), 万能试验机 (RGL-214, 深圳市瑞格尔仪器有限公司)。

1.2 实验方法

海带发泡缓冲材料的制备过程如图 1 所示, 主要包括海带预处理和真空冷冻干燥两个过程。其中, 海带预处理包括粉碎、酸化、清洗、碱处理以及机械搅拌几个步骤, 真空冷冻干燥包括冷冻和一次干燥两个步骤。

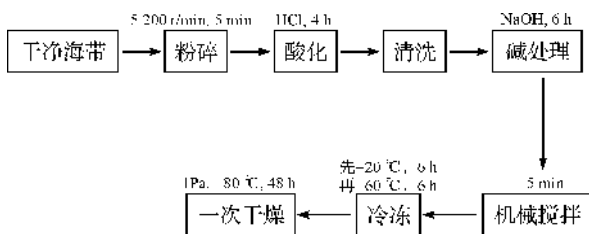


图 1 海带发泡缓冲材料的制备流程

1.2.1 海带预处理

首先, 用自来水冲洗新鲜海带, 在将其切成长 3~4 cm、宽 0.5 cm 左右的小片; 随后, 将小片海带放进手提式高速万能粉碎机中粉碎约 5 min。在室温下, 将粉碎的海带完全浸没在质量分数 3% 的 HCl 溶液中, 浸泡 4 h。酸化使海带中的不溶性海藻酸盐转化为海藻酸, 其化学反应式为^[10]:



其中: M 为 Ca、Fe 等金属离子, Alg 代表海藻酸根。

用去离子水冲洗酸化的海带, 直至海带处理液的 pH 值为 6~7。接着, 用循环水真空泵抽滤多余的水, 过滤纸的孔径为 20 μm 。然后, 取 50 g 酸化的海带加入 50 mL 的一定浓度的 NaOH 溶液中进行碱处理。由于 Na^+ 对酸化后海带影响较大, 本实验控制 NaOH 的质量分数分别为 0.2%、1.1%、2.3%、4.6%、7.0%、9.3% 和 11.7%。在碱处理过程中海藻酸转化为可溶性的海藻酸钠, 其化学反应式为^[11]:



1.2.2 真空冷冻干燥

将碱处理的海带先在 -20°C 的冰箱中冷冻 6 h, 再在 -80°C 的冰箱中冷冻 6 h。碱处理后的海带中含有海藻酸钠等多种成分, 而海藻酸钠等属天然多糖其共晶温度一般为 -20°C , 所以在 -80°C 下可全部冻结。碱处理的海带在 -80°C 中直接冷冻形成小颗粒冰晶后会使得一次干燥时间过长, 为防止一次干燥时间过长, 本实验采用了两步冷冻。最后, 在真

空冷冻干燥系统中一次干燥 48 h 后取出, 获得海带发泡缓冲材料。缓冲材料一般在一定的温湿度条件下进行使用, 所以结合水的存在并不影响其缓冲性能, 故未进行二次干燥。

1.3 测试与表征

1.3.1 流变特性

碱处理的海带的粘弹性通过 Physica MCR301 流变仪的动态振荡测试来衡量, 测试温度 ($25 \pm 0.5^\circ\text{C}$), 角频率范围 0.1~500/s。

1.3.2 结构与形貌

选用横截面平整的试样, 通过实体 M165C 显微镜观察其形貌和结构。

1.3.3 孔径及孔径分布

孔径及孔径分布是缓冲材料的重要性能指标之一。利用软件 Nano Measurer 1.2 对光学显微图进行分析, 得到试样孔径的类面积分布图。

1.3.4 密度及孔隙率

根据国标 GB/T 8168—2008 测量缓冲材料的密度 (ρ^*): 将试样切成边长为 30 mm 的立方体, 量出其质量 (m_0) 和体积 (V)。 ρ^* 根据下式计算得到:

$$\rho^* = \frac{m_0}{V} \quad (3)$$

孔壁材料的密度 (ρ_s) 可利用质量体积法来测定: 将试样粉碎至 0.15 mm 以下。称取 2 g 试样粉末 (m_s) 加入比重瓶中, 比重瓶放置在 23°C 的恒温水浴中, 随后向其加入无水乙醇 (至刻线处)。擦干比重瓶外壁, 称量含有样品和乙醇的比重瓶质量记为 m_1 。然后清洗烘干比重瓶, 向其加入无水乙醇刚好至刻线处, 称量其质量, 记为 m_2 。利用下式计算 ρ_s :

$$\rho_s = \frac{m_s \rho}{m_s + m_2 - m_1} \quad (4)$$

其中, ρ 表示无水乙醇的密度。以上实验重复 3 次。

缓冲材料的孔隙率 (θ) 可由下式来计算:

$$\theta = 1 - \frac{\rho^*}{\rho_s} \quad (5)$$

其中, ρ^* / ρ_s 表示试样的相对密度。

1.3.5 静态缓冲性能

用微机控制 RGL-214 电子万能试验机对试样进行静态压缩测试, 讨论其静态缓冲性能。在压缩测试之前, 取边长为 30 mm 的立方体试样在恒温恒湿箱 (温度 23°C , 相对湿度 50%) 中放置 24 h。参考国标 GB/T 8168—2008, 将试样放在压缩机平台上, 以静态压缩速度 12 mm/min 压缩试样直至压缩载荷急剧增加, 得到应力—应变曲线。

2 结果与讨论

2.1 流变特性

不同浓度 NaOH 溶液处理海带的动态振动频率扫描曲线如图 2 所示。图 2 可见,碱处理海带的复数黏度遵循一般聚合物的剪切稀化规律,随着频率增加其复合黏度近似线性减小。在频率扫描中分子键的破坏和重组可能会导致结构变化而影响碱处理海带的流变特性^[5]。高频率时,没有足够的时间使断裂的内部分子键进行重组,可能导致永久性的分子取向或长链聚合物的解缠结,因此,复数黏度在高频率下减小^[5]。

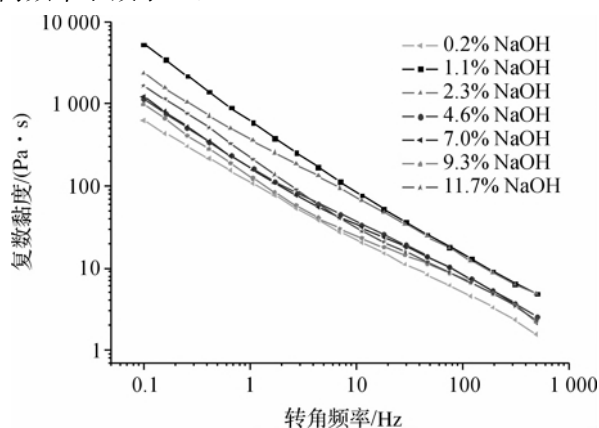


图2 不同浓度 NaOH 溶液处理海带的动态振动频率扫描曲线

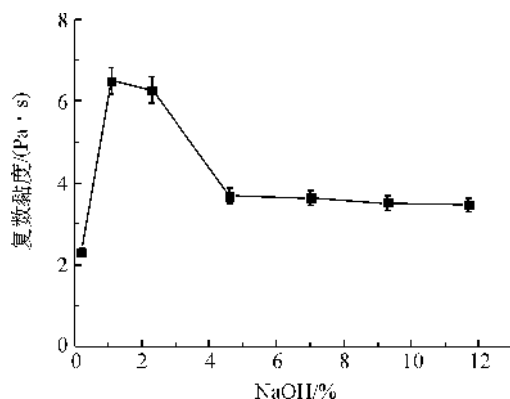


图3 转角频率为 312 Hz 时不同浓度 NaOH 溶液处理海带的复数黏度

同一频率时不同浓度 NaOH 溶液处理海带的复数黏度变化见图 3。图 3 可见,随着 NaOH 溶液浓度的增加,碱处理海带的复数黏度先增大后减小,当浓度超过 4.6% 时,复数黏度略微下降。这是由于不同浓度 NaOH 溶液使海藻酸钠的含量发生变化^[8]。当 NaOH 溶液浓度 0.2% 时,海藻酸钠的含量太少而使复数黏度较低;随着 NaOH 溶液浓度的

增加,海藻酸钠含量增加,使碱处理的海带的复数黏度提高。然而,当 NaOH 溶液浓度超过 1.1% 时,NaOH 溶液可能过量,在逐渐增强的碱性环境下,海藻酸钠的糖苷键发生断裂^[10],使海藻酸钠解聚,导致复数黏度下降^[12-13]。但当 NaOH 溶液浓度超过 4.6% 时,进一步增加 NaOH 的含量,其对海藻酸钠解聚作用差异不大,即海藻酸钠的解聚作用达到了极限,因此复数黏度只略微下降。

2.2 结构与形貌

图 4 为海带发泡缓冲材料的数码照片。图 4(a) 可见试样的横截面有大量的泡孔;图 4(b) 可见试样坍塌易碎,不宜切割。

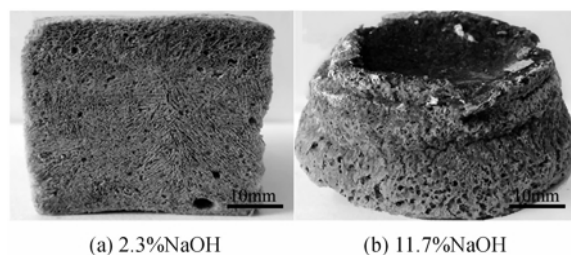


图4 不同浓度 NaOH 处理海带发泡缓冲材料的数码照片

图 5 为不同浓度 NaOH 处理得到的海带发泡缓冲材料的光学显微镜照片。由图 5 可见,海带发泡缓冲材料呈开孔结构,泡孔的四周由薄壁组成,相互之间连通,排列形成致密的枝化结构。NaOH 溶液浓度小于 1.1% 时,海藻酸钠的含量太少,海带发泡缓冲材料的胶黏性太差,发生松散的现象。随着 NaOH 溶液浓度的增加,形成多孔结构变得明显,可清楚看到泡孔之间相互连通。当 NaOH 溶液浓度增加到 4.6% 时,海带发泡缓冲材料的孔洞较小,孔壁粘连变差。尤其是浓度大于 7.0% 时,海带发泡缓冲材料坍塌严重,多孔结构很难保持。产生这样的现象

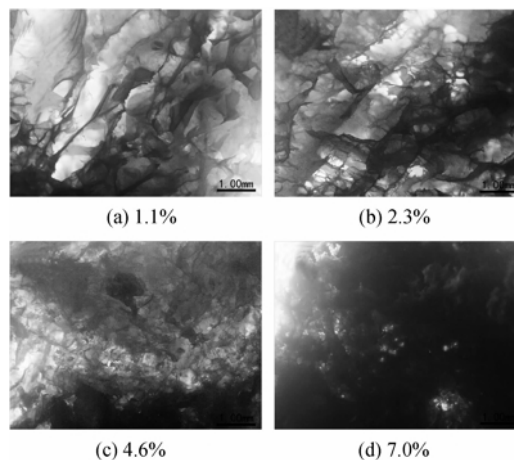


图5 不同浓度 NaOH 处理得到的海带发泡缓冲材料的光学显微镜照片

可能是因为,随着 NaOH 溶液浓度增加,海藻酸钠发生剧烈解聚,使碱处理的海带之间已不能很好地连接在一起。故后续实验未对 NaOH 溶液浓度小于 1.1% 和大于 7.0% 的试样进行测试。

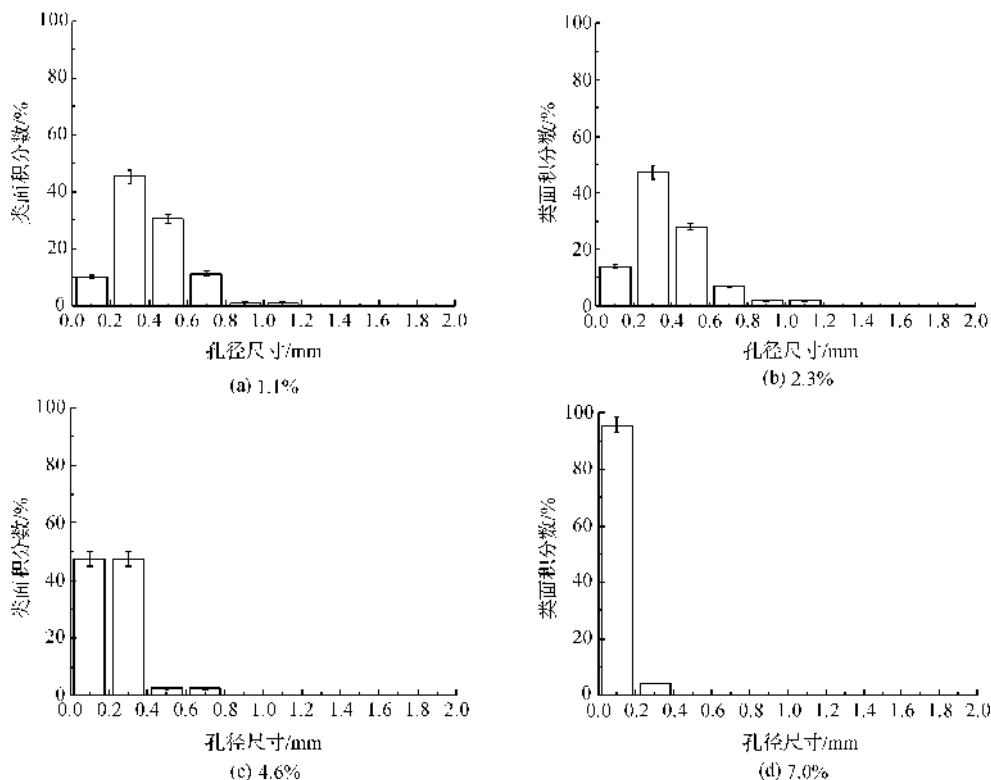


图6 不同浓度 NaOH 溶液处理海带发泡缓冲材料的孔径类面积分布

图 7 为不同浓度 NaOH 溶液处理海带发泡缓冲材料的平均孔径。由图 7 可以看出,泡孔的平均尺寸随着 NaOH 溶液浓度的增加而减小,由 0.4 mm 减小到 0.11 mm。海带发泡缓冲材料的泡孔主要由冰晶升华产生。在冷冻过程中,碱处理海带中含有海藻酸钠等多种成分,所以冰异相成核^[14]。海藻酸钠等天然多糖的共晶温度(也称共晶点)一般为 -20°C ^[15],在 -80°C 中可保证碱处理的海带全部冻结。冰晶一旦形成,外部增长比内部快,冰晶的生长呈各向异性;在生长中会发生多尖端分裂,从而在主

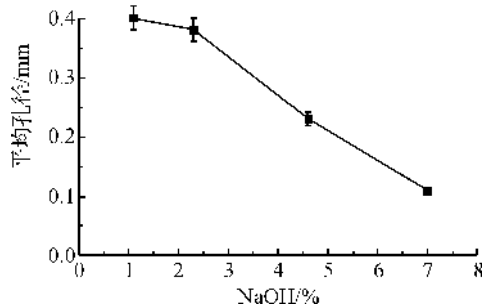


图7 不同浓度 NaOH 溶液处理海带发泡缓冲材料的平均孔径

2.3 孔径及孔径分布

随着 NaOH 溶液浓度的增加,各组试样的泡孔孔径分布的范围由宽变窄,从 0~1.2 mm 到 0~0.4 mm,如图 6 所示。

枝上形成许多分枝,并在一定的生长方向上分解,因此整体结构又呈准各向同性^[16]。随着 NaOH 溶液浓度的增加,碱处理海带的冰点降低,冰晶的生长受阻,使冰晶的尺寸变小^[17]。同时,海藻酸钠解聚致使缓冲材料的泡孔结构被破坏,故海带发泡缓冲材料的平均孔径减小。

2.4 密度及孔隙率

如表 1 所示, ρ^* 、 ρ_s 和 ρ^*/ρ_s 随 NaOH 溶液浓度的增加而增加。用 7% NaOH 溶液处理后其 ρ^* 、 ρ_s 和 ρ^*/ρ_s 值最大,分别为 0.1734 g/cm^3 、 0.8643 g/cm^3 和 0.2006。在包装运输中, ρ^* 越小,意味着材料越轻便,则成本越低^[18]。

表1 不同浓度 NaOH 溶液处理海带发泡缓冲材料的 ρ^* 、 ρ_s 和 ρ^*/ρ_s

试样	$\rho^*/(\text{g/cm}^3)$	$\rho_s/(\text{g/cm}^3)$	ρ^*/ρ_s
1.1% NaOH	0.0449	0.6483	0.0693
2.3% NaOH	0.0532	0.7102	0.0750
4.6% NaOH	0.1260	0.8001	0.1575
7.0% NaOH	0.1734	0.8643	0.2006

根据式(5), θ 与 ρ^*/ρ_s 存在一定的关系。因此, θ 随 NaOH 溶液浓度的增加而逐渐减小。图 8 为不同浓度 NaOH 溶液处理的海带发泡缓冲材料的孔隙率。图 8 可见,NaOH 溶液浓度为 1.1%和 2.3%时, θ 较高,可达 90%以上。当浓度大于 2.3%后,缓冲材料的多孔结构减少,导致 θ 下降^[19]。

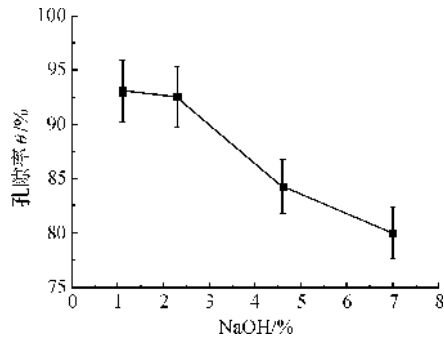


图 8 不同浓度 NaOH 溶液处理的海带发泡缓冲材料的孔隙率

2.5 静态缓冲性能

在静态压缩测试开始时,发泡缓冲材料都会出现一个线弹性阶段,然后是应力基本恒定的屈服阶段,最后进入一个应力大幅增加的密实化阶段。其中,线弹性阶段主要受孔壁的弯曲控制;载荷继续增加时,孔穴发生弹性屈曲继而产生屈服平台;随着应变的进一步增加,孔穴几乎完全坍塌,以至于各壁面接触,缓冲材料被大幅压缩,应力也迅速增大。

不同浓度 NaOH 溶液处理海带发泡缓冲材料的应力—应变曲线形状(与泡沫塑料的相似)明显可见线弹性、平台屈服和密实化三个阶段,如图 9 所示。其中屈服应变为 0.74~0.413,密实化应变为 0.596~0.873。

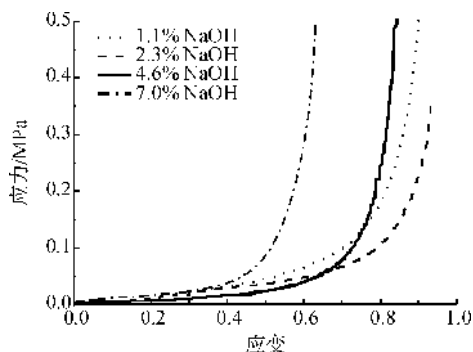


图 9 不同浓度 NaOH 溶液处理海带发泡缓冲材料的应力—应变曲线

静态压缩测试中所得的屈服应力、屈服应变、密实化应力和密实化应变数据如表 2 所示。其中,屈服应力和屈服应变是从线弹性阶段到平台屈服阶段的屈服点得到,密实化应力和密实化应变由平台屈服阶段切线和密实化阶段切线的交点来确定^[20]。

表 2 静态压缩试验中海带发泡缓冲材料的力学性能测试结果

试样	屈服应力 /MPa	屈服应变	密实化应力 /MPa	密实化应变
1.1% NaOH	0.011	0.074	0.214	0.824
2.3% NaOH	0.017	0.171	0.174	0.873
4.6% NaOH	0.017	0.413	0.314	0.819
7.0% NaOH	0.016	0.259	0.281	0.596

图 10 为不同浓度 NaOH 溶液处理海带发泡缓冲材料的初始弹性模量。图 10 可见,不同浓度 NaOH 处理后,缓冲材料的初始弹性模量在 0.04~0.15 MPa 之间;随着 NaOH 溶液浓度的增加,初始弹性模量先大幅减小后轻微增加,在浓度为 4.6%时,达到极小值。通常多孔材料的初始弹性模量受两个方面因素的影响:一是孔壁材料的初始弹性模量,其他条件相同时,多孔材料的初始弹性模量随着孔壁材料的初始弹性模量减小而减小;二是多孔材料的孔隙率,与孔壁材料初始弹性模量影响相反,多孔材料的孔隙率越小,多孔材料的初始弹性模量越大。本实验中,随着 NaOH 溶液浓度增加,海藻酸钠的解聚加剧,这从图 3 也可以看出。这会导致孔壁材料的胶黏性变弱,从而使孔壁材料的初始弹性模量急剧下降。另一方面,当 NaOH 溶液浓度增加时,孔隙率降低,一定程度上补偿孔壁材料初始弹性模量降低对多孔材料初始弹性模量减小的影响。因此,随着 NaOH 溶液浓度的增加,多孔材料的初始弹性模量呈现先急剧减小后略微增加的趋势。

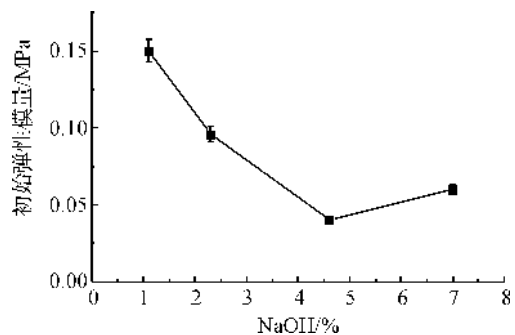


图 10 不同浓度 NaOH 溶液处理海带发泡缓冲材料的初始弹性模量

在静态压缩测试开始时的线弹性阶段,缓冲材料几乎不吸收能量;而在平台屈服阶段,开始吸收大量能量^[21]。应用-应变曲线中,达到名度 ϵ 时单位体积材料吸收的能量为, $W = \int_0^\epsilon \sigma d\epsilon$ 密实化应变时单位体积材料吸收的能量称为缓冲材料的能量吸收值,反映包装缓冲材料吸收能量的能力。如图 11 所

示,不同浓度 NaOH 溶液处理的海带发泡缓冲材料的能量吸收值在 26.42~42.38 kJ/m³ 之间,其值随着 NaOH 溶液浓度的增加而减小,反映了缓冲材料吸收能量的能力降低。本实验中,随着 NaOH 溶液浓度的增加,海藻酸钠的解聚作用增强(如图 3 所示),从而孔壁材料的强度降低,所以使缓冲材料吸收能量的能力降低,缓冲性能变差。

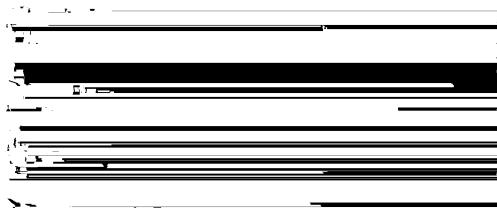


图 11 不同浓度 NaOH 溶液处理海带发泡缓冲材料的能量吸收值

3 结 论

以新鲜海带为原料,将其经过酸化和碱处理后,利用真空冷冻干燥方法制备海带发泡缓冲材料。光学显微显示,海带发泡缓冲材料呈致密的枝化结构,由薄壁构成开孔。当碱处理的 NaOH 浓度为 1.1% 时,缓冲材料的密度(ρ^*)、孔壁材料的密度(ρ_s)和相对密度(ρ^*/ρ_s)最小,分别为 0.0449、0.6483g/cm³ 和 0.0693,而缓冲材料的平均孔径、初始弹性模量和压缩吸收能最大,分别为 0.4 mm、0.15 MPa 和 42.38 kJ/m³。随着 NaOH 浓度的增加,海带发泡缓冲材料的平均孔径减小, ρ^* 、 ρ_s 和 ρ^*/ρ_s 则增大,初始弹性模量先减小后小幅地增大,压缩能量吸收值呈减小趋势,使缓冲性能变差。

参考文献:

- [1] 曹绍文, 吴其叶. 发泡型植物纤维缓冲包装材料[J]. 中国包装工业, 2002(9): 8-11.
- [2] 吕 禹. 生物质缓冲包装材料成型机理及缓冲特性研究[D]. 济南: 山东大学, 2012: 1-3.
- [3] Li F, Guan K, Liu P, et al. Ingredient of biomass packaging material and compare study on cushion properties[J]. International Journal of Polymer Science, 2014, 2014: 146509-146515.
- [4] Kaisangsri N, Kerdchoechuen O, Laohakunjit N. Characterization of cassava starch based foam blended with plant proteins, kraft fiber, and palm oil[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 110: 70-77.
- [5] Ma J, Lin Y, Chen X, et al. Flow behavior, thixotropy and dynamical iscoelasticity of sodium alginate aqueous solutions[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 38: 119-128.
- [6] Blanco P N, Montero M P, Guillén M G. Antioxidant film development from unrefined extracts of brown seaweeds *Laminaria digitata* and *Ascophyllum nodosum* [J]. Food Hydrocolloids, 2014, 37: 100-110.
- [7] Therese A, Egil M J, Olav G, et al. Ionically gelled alginate foams: physical properties controlled by type, amount and source of gelling ions [J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 99: 249-256.
- [8] Guo P, Yuan Y, Chi F. Biomimetic alginate/polyacrylamide porous scaffold supports human mesenchymal stem cell proliferation and chondrogenesis [J]. Materials Science and Engineering C: Materials for Biological Applications, 2014, 42: 622-628.
- [9] 刘培生. 多孔材料引论[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 190.
- [10] Vauchel P, Leroux K, Kaas R, et al. Kinetics modeling of alginate alkaline extraction from *Laminaria digitata* [J]. Bioresource Technology, 2009, 100 (20): 1291-1296.
- [11] 张善明, 刘 强, 张善奎. 从海带中提取高粘度海藻酸钠[J]. 食品加工, 2002, (3): 86-87.
- [12] Lupo B, Maestro A, Porras M, et al. Preparation of alginate microspheres by emulsification/internal gelation to encapsulate cocoa polyphenols [J]. Food Hydrocolloids, 2014, 38: 56-65.
- [13] Holmea H K, Lindmoa K, Kristiansena A, et al. Thermal depolymerization of alginate in the solid state [J]. Carbohydrate Polymers, 2003, 54(4): 431-438.
- [14] Sman R G M, Voda A, Dalen G, et al. Ice crystal interspacing in frozen foods [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 116(2): 622-626.
- [15] 熊春华. 海藻酸钙多孔材料的制备与性能研究[D]. 武汉: 武汉纺织大学, 2012: 1-40.
- [16] Shibkov A A, Golovin Y I, Zheltov M A, et al. Morphology diagram of nonequilibrium patterns of ice crystals growing in supercooled water [J]. Physica: A, 2003, 319: 65-79.
- [17] 华泽钊. 冷冻干燥新技术[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 88-89.
- [18] 巨杨妮. 环保型纸纤维发泡缓冲材料的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012: 21.
- [19] Kanungo B P, Gibson L G. Density-property relationships in collagen-glycosaminoglycan scaffolds [J]. Acta Biomaterialia, 2010, 6(2): 344 - 353.
- [20] 朱 宏. 发泡聚乙烯醇的缓冲与吸液特性研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2014: 13.
- [21] Gibson L J, Ashby M F. Cellular solids: structure and properties [M]. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1997: 277-279.

Preparation of Laminaria Japonica Foamed Cushioning Material and the Research on Its Properties

ZHANG Xing-yun, ZHOU Ling-qing, E Yu-ping, WANG Jia-jun

(College of Materials and Textiles, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The laminaria japonica foamed cushioning materials were prepared by taking fresh laminaria japonica as raw material, acidification and NaOH solution treatment as well as vacuum freeze-drying method, and the structure and properties were studied. The results exhibited that laminaria japonica foamed cushioning materials presented dense-branching structure and an open pore formed by thin walls. when NaOH concentration was 1.1%, the density of the cushioning material (ρ^*), density of pore wall material (ρ_s), and relative density (ρ^*/ρ_s) were the smallest, 0.0449 g/cm³, 0.6483g/cm³ and 0.0693 respectively. In addition, average pore size of cushioning material, initial elastic modulus and compression energy absorption reached the largest, 0.4 mm, 0.15 MPa, and 42.38 kJ/m³, respectively. With the increase in NaOH concentration, average pore size of laminaria japonica foamed cushioning materials decreased; ρ^* , ρ_s and ρ^*/ρ_s increased; initial elastic modulus first decreased and then increased slightly; compression energy absorption showed decreasing trend. Thus, when NaOH concentration was 1.1%, static cushioning property of laminaria japonica foamed cushioning materials reached the best.

Key words: laminaria japonica; sodium alga acid; vacuum freeze-drying; foamed cushioning material; dense-branching structure

(责任编辑: 张祖尧)

(上接第 760 页)

Extraction of Naturally Green Cotton Pigment Component and Property Research

HU Zhi-hua, MA Ming-bo, HE Xiao, LU Geng, ZHOU Wen-long

(College of Materials and Textiles, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou, Zhejiang, 310018, China)

Abstract: In this paper, the extractions of green cotton pigment are segmented by using normal phase chromatography, and the spectral characteristics of enriched components with UV-VIS spectrum are analyzed. Besides, scavenging activities of free radicals DPPH \cdot and ABTS⁺ \cdot are analyzed. The experimental result shows that normal phase column is more effective for the separation of pigment in green cotton; the yellowish green component can be enriched by the 0% methanol. Green cotton pigment and its segmented enrichment component have good DPPH \cdot and ABTS⁺ \cdot scavenging activities.

Key words: natural colored cotton; green cotton; pigment; separation; antioxidation

(责任编辑: 张祖尧)