

综 述

明胶膜的性能研究进展

曹 娜^{1,2}, 符玉华^{1*}, 贺军辉¹

(1. 中国科学院理化技术研究所, 北京 100080; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:明胶膜具有良好的生物相容性和可降解性, 并且其物化性质能被调节, 因而应用比较广泛。本文综述了不同添加剂和制备条件对明胶膜的机械性能、阻隔性能、生物可降解性等的影响。通常增塑剂可以改善明胶膜的脆性, 减小其机械强度和热稳定性。交联能有效提高明胶膜的机械性能和热稳定性, 减缓明胶的降解速率。交联包括化学交联、生物相容性交联和物理交联。明胶与蛋白质、糖类、脂类复合, 其性能得以改进, 并且将明胶与高聚物共混、共聚改性, 可以改善明胶膜的性能以满足不同领域的应用。

关键词:明胶膜; 生物相容性; 生物可降解性; 机械性能; 阻隔性能

明胶是一种天然高分子材料, 是由胶原热变性或者经物理、化学降解得到的。明胶具有良好的生物相容性和生物可降解性, 具有溶胶-凝胶的可逆转换性、极好的成膜性以及入口即化等特性^[1,2]。明胶膜应用领域比较广泛, 例如在食品和药物包装领域, 可以用于方便面的调料袋、中成药的内包装等; 在医学材料方面, 可以用于修复神经组织, 可以将药物固定在明胶膜上制成载体膜等; 在农业方面, 可以作为自营养性的覆盖膜, 控制一些农药、化肥、除草剂等释放^[3-6]。

本文综述了不同添加剂和制备条件对明胶膜及其复合膜的机械性能、阻隔性能、生物可降解性等的影响。

1 增塑对明胶膜性能的影响

明胶的主要成分是蛋白质, 由分子间连接形成三维网络结构, 这个体系脱水而形成脆性膜。增塑剂能减少明胶的分子间力, 提高膜的弹性, 减小膜的脆性。增塑剂主要是一些多元醇, 如甘油、甘露糖、山梨醇、聚乙二醇、乙二醇等。水也是明胶膜有效的增塑剂, 吸收到膜中的水分影响增塑剂的增塑能力。增塑剂分子的结构和组成影响它破坏蛋白质的链间氢键和它吸收水分到蛋白质体系的能力。增塑剂的选择通常要考虑增塑剂与蛋白质间的相容性, 形成的增塑膜的渗透性及增塑剂的添加量等因素^[7]。

1.1 增塑剂对明胶膜机械性能的影响

亲水性的增塑剂能和蛋白质形成链间氢键, 减少蛋白质的分子间力^[8], 因而可以减小明胶膜的抗拉强度(TS)和弹性模量(EM), 增加断裂伸长率(EB)。通常增塑剂具有双重的增塑效果: 其一是增塑剂本身增塑, 其二是增塑剂具有强烈的吸湿性把一些水分吸到明胶的矩阵结构中^[9,10]。Arvanitoyannis 等^[11,12]研究了明胶分别与可溶淀粉和羟丙基淀粉复合, 用多元醇增塑的可食膜, 结果表明增加水、甘油或山梨醇的含量, 降低了膜的 TS 和 EM , 增加了膜的 EB 。Sobral 等^[13]用山梨醇增塑明胶膜, 随着山梨醇的浓度增加, 膜的穿刺强度下降, 穿刺变形和水蒸汽渗透系数增加, 并且玻璃转化温度变宽, 出现相分离的现象。Lim 等^[14]研究了甘油对用转谷氨酰胺酶交联的明胶膜的性能影响, 增加甘油的量时, 膜的湿含量增加,

作者简介:曹娜(1980-), 女, 山东济宁人, 博士研究生, 研究方向为生物高分子材料;

* 通讯联系人; E-mail: fuyuhua@mail.ipc.ac.cn.

TS 减小, EB 增加, 氧气的透过量也增加。Vanin 等^[8]比较了甘油、丙二醇、二甘醇、1,2-乙二醇等四种多元醇对明胶膜的机械强度等性能的影响, 发现甘油对明胶膜的机械性能影响最大。Thomazine 等^[15]研究了不同配比的甘油和山梨醇增塑的明胶膜的机械性能、阻水性等, 结果表明: 甘油和山梨醇组合增塑可以消除甘油和山梨醇单独增塑时, 增塑剂容易从膜中析出或结晶出来的现象。

1.2 增塑剂对明胶膜热稳定性的影响

通常, 增塑剂的加入降低了明胶膜的热稳定性。Barreto 等^[16]发现增塑剂山梨醇明显降低了酪蛋白钠、乳清蛋白和明胶可食膜的降解活化能, 降低了热降解的起始温度和最高温度。热稳定性的降低明显与山梨醇对蛋白质分子内和分子间氢键的影响有关。Goswami 等^[17]研究发现明胶和三甲基苯酚复合, 其热稳定性提高, 并且聚乙二醇 400 作增塑剂时, 复合物的热稳定性进一步提高, 但是当增塑剂用量超过 7.7% 时, 热稳定性又降低, 这是由于聚乙二醇 400 是通过化学键合作用结合到复合物的, 所以对其热稳定性的影响比较复杂。

1.3 水分对明胶膜性能的影响

水对于明胶膜有重要影响。Yakimets^[18]在研究不同水含量对玻璃态明胶膜的机械性能的影响时, 提出水合分成三个阶段: 1) 水被束缚在高能吸收区; 2) 结构水; 3) 多分子层间的水。在低于玻璃态-橡胶态转变温度时, 明胶膜比较脆; 在水的含量为 7%~14% 即以结构水存在时, 明胶复性为胶原的程度较高, 因而明胶膜的机械性能较高。Lukasik 等^[19]利用磷光来监控水和多元醇增塑的明胶膜的分子运动, 探讨增塑剂和物理交联对明胶膜中分子的运动和氧气透过性的影响。

2 交联对明胶膜性能的影响

交联在明胶膜制备过程中非常重要。交联能有效提高明胶膜的机械性能和热稳定性。交联包括化学交联、生物相容性交联和物理交联。化学交联是添加化学交联剂使得明胶分子中的氨基、羧基与交联剂的某些基团结合。常用的化学交联剂有甲醛、戊二醛、二异氰酸酯、碳二亚胺、聚环氧化合物和酰基叠氮化物等^[20]。生物相容性交联是用从生物体中提取的天然产物对明胶交联。物理交联是通过脱氢热处理、紫外、 γ 照射等物理方法对明胶交联^[20]。

2.1 化学交联

化学交联剂中, 醛类能快速与蛋白质反应, 因而被广泛用于交联明胶。Bigi 等^[21]发现戊二醛的浓度从 0.1 增加到 1% (wt) 时, 交联度从 60% 增到接近 100%, 同时明胶膜的变形减小, 断裂应力 (σ_b)、EM 增加; 交联能阻止明胶在缓冲液中的释放, 减小其溶胀性, 并且提高了膜的热稳定性。王映红等^[22]发现甲醛作为小分子交联剂, 对明胶膜的交联优于戊二醛, 且蒸汽交联比溶液交联完全。

Chiellini 等^[23]报道戊二醛 (GTA) 的浓度从 1 增到 2.5% (wt) 时, 交联的明胶膜的 EM 减小, EB 明显增加, 而 TS 变化不大。这种现象解释为明胶溶液冷凝时, 同时发生了化学交联和物理交联 (恢复为胶原的三螺旋结构), 增加 GTA 阻碍了明胶的物理交联。Matsuda 等^[24]发现随着明胶膜中 GTA 浓度的增加, 交联膜与生物组织的粘附强度增加。

Carvalho 等^[25]比较了甲醛、乙二醛化学交联和转谷氨酰胺酶 (Tgase) 交联对明胶膜性能的影响, 发现酶交联膜的水蒸气渗透性降低较明显, 甲醛交联显著提高了膜的机械性能, 化学交联膜的热稳定性提高较多。Lim 等^[14]指出 Tgase 催化酰基转移反应, 在蛋白质分子间和分子内形成 ϵ -(γ -谷氨酰胺酰基) 赖氨酸的交联。而通常使用的化学交联剂醛类, 是通过醛基与蛋白质中的氨基形成希夫碱而产生交联网络结构的。

2.2 生物相容性的交联

虽然醛类是蛋白质的有效交联剂, 但是醛类有一定的毒性和钙化作用, 因而限制了其在医药和食品领域的应用。人们寻找新的交联剂和交联方法, 希望得到生物相容的交联产物, 不产生并发毒性。前面提到的 Tgase 就是其中一种生物相容性的酶交联剂。Kolodziejaska 等^[26]研究了交联剂 Tgase 和 1-乙烷-3-(3-二甲氨基丙烷) 对明胶/壳聚糖复合膜水溶性的影响。Bigi 等^[27]用天然交联剂京尼平交联明胶膜, 发现

交联度随京尼平的增加而增加到 85%, 交联膜的变形性减小、 EM 增加, 在生理溶液中的溶胀减少, 热稳定性提高。

Kim 等^[28]用无毒性的交联剂-前花色素交联壳聚糖/明胶复合膜。交联是通过氨基和酯基连接而成的网络结构, 这种交联结构在水溶液中稳定, 并且交联膜的机械性能和热稳定性提高。交联的复合膜更有利于细胞的粘附和增殖, 并且其降解速度降低。Dawlee 等^[29]把天然存在的粘多糖如软骨素-6-硫酸盐转化为醛后交联明胶, 发现多糖的氧化程度越高其交联度越大。这种交联的凝胶无毒且有良好的生物相容性。Draye 等^[30]用二醛葡聚糖交联明胶膜, 结果表明膜的机械性能随着贮存时间的延长而增加。

酶制剂 Tgase 和天然的交联剂京尼平等, 可以改善明胶膜的性能, 但其价格较高限制了其应用。作者^[31]采用两种天然的从植物中提取的酚类交联剂——阿魏酸和单宁酸交联明胶膜, 研究了交联剂添加量、成膜液 pH 值等因素对膜机械、溶胀等性能的影响。

2.3 物理交联方法

用物理方法交联, 也可以避免使用化学交联剂时产生的毒性问题。Jo 等^[32]研究了不同 γ 射线照射量对果胶和明胶复合膜机械性能的影响。Matsuda 等^[33]用紫外线交联明胶膜在外科手术中用作反粘附物质, 防止组织由于粘附产生的并发症。

Bigi 等^[1,20]在一定条件下单轴拉伸并用戊二醛交联明胶膜, 得到链各向异性、部分取向的明胶膜。发现膜的 EM 和 σ_b 随拉伸比例 (λ) 线性增加, 和未拉伸的膜比较增加了五倍。这种现象和明胶复性为胶原的三螺旋结构的程度有关, 三螺旋结构增加能够提高膜的机械强度, 降低其溶胀性, 并且三螺旋结构随着 Bloom 系数的增加而增加。Fakirov 等^[34]通过拉伸甲醛交联的明胶膜也得到类似的结果, 发现当 λ 为 4~5 时, E 和 σ_b 最大; λ 再增加时, E 和 σ_b 减小。Vassileva 等^[35]发现明胶膜有较高的表面微硬度, 并且经过热处理后, 其微硬度增加, 这是由于加热产生了分子间和分子内交联。

3 明胶膜的可降解性

明胶含有较多的碳和氮, 能为细菌的生长提高养分, 所以易于被降解。与合成的高聚物相比, 蛋白质沿多肽链不含有等同的重复单元, 这种不规则结构使得蛋白质链不如合成高分子那么容易结晶, 所以蛋白质比较容易被降解^[32]。通常交联剂的加入使明胶产生了三维网络结构, 减缓了明胶的降解速率。Patil 和 Dalev 等^[36,37]研究了交联的明胶膜在湖水、河水和土壤中的生物降解性, 发现在湖水和河水中甲醛、乙二醛、戊二醛交联的明胶膜的生物降解最慢, 降解最快的是环己二异氰酸酯交联的膜, 其完全降解仅需 3~4 天, 未交联的膜和双环氧丁二烯、二环氧辛烷交联的膜完全降解需 5~7 天; 在土壤中也发现类似的结果。

Kim 等^[28]发现前花色素交联的壳聚糖/明胶复合膜被消化酶降解的速率, 明显低于明胶膜和未交联的复合膜的降解速率。Shu 等^[38]发现透明质酸/明胶复合膜经二硫化物交联后, 其降解性降低。Chiellini 等^[39]研究了废明胶与聚乙烯醇复合膜, 甘蔗渣作填充物, 戊二醛作交联剂时在土壤中的降解性, 发现包含 17%~20% 聚乙烯醇和甘蔗渣的复合物, 包埋 30 天后只降解了 40%, 而纯的废明胶膜在相同条件下降解 60%, 所以这些填充物不利于膜的降解, 并且交联也降低了明胶膜的可降解性。Goswami 等^[40]研究了用苯甲醛树脂改性的明胶在土壤中的降解性, 发现复合物中明胶量的增加, 复合物易于降解。Huang 等^[41]研究发现壳聚糖/明胶复合物的降解性优于单纯的壳聚糖的降解性。

4 明胶与蛋白质、糖类、脂类及合成高聚物复合改性

4.1 明胶与蛋白质、糖类的复合膜

明胶与生物高分子如蛋白质、淀粉、纤维素等复合制成膜, 既可以改善其性能, 又可以有效降低成本。各组元间的相容性在复合过程中起重要的作用, 可以由热分析如 DSC 测定玻璃转化温度 (T_g) 来评价两种组元的相容性。对于二元混合物若只有一个 T_g 出现在两母体聚合物之间, 则说明有良好的相容性; 若

有两个 T_g , 但是和母体聚合物相比位置有所移动, 则说明形成了半穿连网络结构的多相体系。Jagannath 等^[42]将明胶与淀粉用热混和与非热混和的方法复合成可食膜, 发现非热混和时出现了两个 T_g , 热混和时只出现一个 T_g , 表明了组分间的相容性。Arvanitoyannis 等^[11]报道了用水和甘油、山梨醇、蔗糖增塑的明胶与淀粉复合膜, 增塑剂增加, 复合膜的 EM 和 TS 降低, 而 EB 、气体通透性增加; 低温(20°C)干燥的膜比高温(60°C)干燥的膜, 具有较高的结晶度和较低的气体通透性。

Li 等^[43]将魔芋葡甘聚糖与明胶复合成快速溶解、具有热封性的可食膜, Xiao 等^[44]发现这种复合膜的热稳定性和机械性能提高, 脆性得到改善。Lee 等^[45]将结冷胶与明胶复合成具有较好的机械性能的膜。Dong 等^[46]把海藻酸盐和明胶共混并用钙盐交联, 用于药物控释系统, 发现当明胶含量为 50% (wt) 时, 复合膜的 TS 和 EB 最大。

生物高聚物壳聚糖具有良好的生物相容性、可降解性、价格比较低并具有独特的抗菌性能, 在医学等领域应用比较广泛。明胶在高于其等电点 $\text{pH}=4.7$ 时形成阴离子聚电解质, 带阳离子电荷的壳聚糖能与之作用。Yin 等^[47]将壳聚糖与明胶复合成聚电解质膜, 发现壳聚糖能提高复合膜的机械性能, 即使在较高水含量时, 仍能保持一定的 TS 和较高的 EB 。Arvanitoyannis 等^[48]分别在较低和较高温度下干燥制备壳聚糖/明胶复合膜, 并研究了水和多元醇对膜的机械性能、热性能等的影响。Huang 等^[41]为了提高壳聚糖的机械和生物性能, 做成壳聚糖/明胶复合材料用于组织工程。Cheng 等^[49]制备了壳聚糖/明胶复合膜, 发现两者具有良好的相容性, 明胶量增加时, 膜的吸水量增加, 机械性能提高, 并且有较低的 EM , 较高的 EB , 复合膜与神经细胞有良好的亲合力。

Chambi 等^[50]发现明胶/酪蛋白钠复合膜比单独的明胶膜、酪蛋白钠膜的 EB 大, 但对膜的 TS 和阻水性的影响不大。Noorjahan 等^[51]制备纤维蛋白/明胶复合膜, 提高了纤维蛋白膜的机械性能, 并且为提高这种复合膜的功能性, 对其进行化学调节。Li 等^[52]用海藻酸盐、壳聚糖、胶原、明胶或其中两者的混合物做成膜材料, 用于肝细胞的培养。

4.2 明胶与脂类的复合膜

明胶膜有较好的机械性能, 但是由于其固有的亲水性, 所以对水很敏感。脂类膜阻水性较好, 但是不透明、较脆、机械强度也较低, 可以将明胶和脂类做成复合膜, 提高膜的阻水和机械性能。常用的脂类物质有脂肪酸、蜂蜡、巴西棕榈胶、植物油等^[53]。

Bertan 等^[53]研究了脂肪酸、巴西榄香脂与明胶复合膜的性能, 发现添加脂类物质后膜有较好的阻水性能, 但机械性能降低, 而不透明度和可溶物增加。Bertan 等^[54]研究了月桂酸对明胶、乙酸甘油酯及硬脂酸、棕榈酸复合膜的影响, 发现月桂酸能有效降低复合膜的水蒸气透过性, 同时膜的水溶性和氧气透过性增加、 TS 降低、 EB 增加, 但对膜的透明性影响不太明显。Karnnet 等^[55]发现用硬脂酸改性后的明胶膜具有较低的 TS 、较低的湿度吸收和较好的生物降解性, 并且硬脂酸为天然产物用于改性明胶比其它化学合成试剂更环保。

4.3 明胶与合成高聚物的复合膜

合成高分子具有良好的机械性能, 易加工成型且价格比较低廉; 生物高分子具有良好的生物相容性, 但其机械性能较差, 价格也比较高; 可以利用两者的优点将两种高分子复合做成生物高分子材料。Xiao 等^[56]混和不同比例的明胶、聚丙烯酰胺得到透明的、有较好的机械性能和热稳定性的复合膜。Cascone^[57]将合成类的聚合物如聚乙烯醇、聚丙烯酸与明胶复合, 做成既有好的机械性能又有良好生物相容性的仿生聚合物。Tanaka 等^[58]研究了聚乙烯醇/明胶混和体系的相容性, 并且与聚乙烯醇/丝心蛋白复合物的机械性能做了比较。El-Kader 等^[59]用明胶掺杂聚乙烯醇膜并用快速中子照射, 研究了其紫外和红外光谱的变化。Wang 等^[60]用明胶对聚(3-羟丁酸-共-3-羟基己酸酯)膜改性控制其降解速度, 并且发现明胶可以提高复合物表面的多孔性和机械性能, 更有利于细胞在其上的生长。

明胶含有多种官能团如羟基、羧基、氨基, 可以与高聚物共混、共聚改性, 改善明胶的性能以满足不同领域的应用。Scherzer 等^[61]用缩水甘油基甲基丙烯酸甲酯对明胶改性, 使其含有 $\text{C}=\text{C}$, 然后用电子束对其交联改性。Scherzer 等^[62]用缩水甘油基的异丁烯酸对明胶改性, 并用电子束照射交联改性, 改善明胶的

溶解性。Goswami 等^[40]用苯甲醛树脂有效提高了明胶抵抗细菌侵蚀的能力。Derkatch 等^[63]还研究了表面活性剂的浓度、pH 值对明胶乳液膜的界面特征的影响。

此外,一些无机物也可以与明胶膜复合改性。Bigi 等^[64]研究发现当拉伸羟基磷灰石/明胶复合膜时,胶原分子沿变形方向取向,无机晶体相包埋在明胶层中坚固明胶膜,得到各向异性的膜。Qiang 等^[65]利用明胶膜的诱捕和银纳米颗粒的嫁接的共同作用将反- α -胎蛋白固定在铂电极表面做成电位免疫传感器。

5 结束语

明胶膜具有良好的生物相容性和生物可降解性,并且其物化性质易被调节,因而应用领域比较广泛。可以通过添加增塑剂、交联剂以及与其它天然高聚物、合成高聚物复合等手段改善其性能,为明胶及其复合膜在可食性包装、自营养覆盖膜以及医学材料等领域的广泛应用奠定了基础。

参考文献:

- [1] Bigi A, Panzavolta S, Rubini K. *Biomaterials*, 2004, 25:5675~5680.
- [2] 吉静,黄明智.明胶科学与技术,2001,21(1):12~22.
- [3] 符玉华.CN 1095033 A,1994.
- [4] Wylie M O B E, Lond M S, F R C S. *The Lancet*, 1952, 259 (6715):943~945.
- [5] 尹立志,徐桂珍,虞光明,等.天津医学院学报,1990,14(5):5~8.
- [6] Kandil S, Kenawy E, Azza E, et al. *J Appl Polym Sci*, 2004, 94: 1420~1427.
- [7] Sothorvit R, Krochta J M. *J Food Eng*, 2001, 50:149~155.
- [8] Vanin M, Sobral P J A, Menegalli F C, et al. *Food Hydrocolloids*, 2005, 19:899~907.
- [9] Coupland J N, Shaw N B, Monahan F J, et al. *J Food Eng*, 2000, 43:25~30.
- [10] 曹娜,符玉华,贺军辉.华东理工大学学报(自然科学版),2006,32(10),50~54.
- [11] Arvanitoyannis I, Nakayama A, Aiba S, et al. *Food Chem*, 1997, 60(4):593~604.
- [12] Arvanitoyannis I, Nakayama A, Aiba S. *Carbohydr Polym*, 1998, 36:105~119.
- [13] Sobral P J A, Menegalli F C, Hubinger M D, et al. *Food Hydrocolloids*, 2001, 15:423~432.
- [14] Lim L T, Mine Y, Tung M A. *J Food Sci Chem/Biochem*, 1999, 64(4):616~622.
- [15] Thomazine M, Carvalho R A, Sobral P J A. *J Food Sci-E: Food Engineering and Physical Properties*, 2005, 70(3):172~176.
- [16] Barreto P L M, Pires A T N, Solidi V. *Polym Degrad Stab*, 2003, 79:147~152.
- [17] Goswami T H, Maiti M M. *Polym Degrad Stab*, 1998, 62:447~454.
- [18] Yakimets I, Wellner N, Smith A C, et al. *Polymer*, 2005, 46:12577~12585.
- [19] Lukasik K V, Ludescher R D. *Food Hydrocolloids*, 2006, 20:88~95.
- [20] Bigi A, Bracci B, Cojazzi G, et al. *Biomaterials*, 1998, 19:2335~2340.
- [21] Bigi A, Cojazzi G, Panzavolta S, et al. *Biomaterials*, 2001, 22:763~768.
- [22] 王映红,程树军,慕朝伟,等.功能高分子学报,2003,16(1):36~40.
- [23] Chiellini E, Cinelli P, Fernandes E G, et al. *Biomacromolecules*, 2001, 2: 806~811.
- [24] Matsuda S, Iwata H S N, et al. *J Biomed Mater Res*, 1999, 45(1):20~27.
- [25] Carvalho R A de, Grosso C R F. *Food Hydrocolloids*, 2004, 18: 717~726.
- [26] Kołodziejaska I, Piotrowska B, Bulge M, et al. *Carbohydr Polym*, 2006, 65(4):404~409.
- [27] Bigi A, Cojazzi G, Panzavolta S, et al. *Biomaterials*, 2002, 23:4827~4832.
- [28] Kim S, Nimni M E, Yang Z, et al. *J Biomed Mater Res Part B: Applied Biomaterials*, 2005, 75B (2):442~450.
- [29] Dawlee S, Sugandhi A, Biji B, et al. *Biomacromolecules*, 2005, 6:2040~2048.
- [30] Draye J, Delaey B, Voorde A V de, et al. *Biomaterials*, 1998, 19:99~107.
- [31] Cao N, Fu Y, He J. *Food Hydrocollids*, Available online 17 August 2006 (in press).
- [32] Jo C, Kang H, Lee N Y, et al. *Radiat Phys Chem*, 2006, 72:745~750.
- [33] Matsuda S, Se N, Iwata H, et al. *Biomaterials*, 2002, 23:2901~2908.
- [34] Fakirov S, Sarac Z, Anbar T, et al. *Colloid Polymer Science*, 1996, 274:334~341.
- [35] Vassileva E, Calleja F J B, Cagiao M E, et al. *Macromol Chem Phys*, 1999, 200:405~412.
- [36] Patil R D, Dalev P G, Mark J E, et al. *J Appl Polym Sci*, 2000, 76:29~37.
- [37] Dalev P G, Patil R D, Mark J E, et al. *J Appl Polym Sci*, 2000, 78:1341~1347.

- [38] Shu X Z, Liu Y, Palumbo F, et al. *Biomaterials*, 2003, 24; 3825~3834.
- [39] Chiellini Emo, Cinelli Patrizia, Corti Andrea, et al. *Polym Degrad Stab*, 2001, 73; 549~555.
- [40] Goswami T H, Mrinal M M. *Poly Degrad Stab*, 1998, 61; 355~359.
- [41] Huang Y, Onyeri S, Siewe M, et al. *Biomaterials*, 2005, 26; 7616~7627.
- [42] Jagannath J H, Nanjappa C, Das G D K, et al. *J Appl Polym Sci*, 2003, 88; 64~71.
- [43] Li B, Kennedy J F, Jiang Q G, et al. *Food Res Int*, 2006, 39(5); 544~549.
- [44] Xiao C, Lu Y, Gao S, et al. *J Appl Polym Sci*, 2001, 79; 1596~1602.
- [45] Lee K Y, Shimb J, Lee H G. *Carbohydr Polym*, 2004, 56; 251~254.
- [46] Dong Z, Wang Q, Du Y. *J Membr Sci*, 2006, 280(1-2); 37~44.
- [47] Yin Y J, Yao K D, Cheng G X, et al. *Polym Int*, 1999, 48; 429~433.
- [48] Arvanitoyannis I S, Nakayama A, Aiba S, et al. *Carbohydr Polym*, 1998, 37; 371~382.
- [49] Cheng M, Deng J, Yang F, et al. *Biomaterials*, 2003, 24; 2871~2880.
- [50] Chambi H, Grosso C. *Food Res Int*, 2006, 39(4); 458~466.
- [51] Noorjahan S E, Sastry T P. *J Appl Polym Sci; Part A: Polymer Chemistry*, 2004, 42; 2241~2252.
- [52] Li K, Qu X, Wang Y, et al. *J Biomed Mater Res*, 2005, 75A; 268~274.
- [53] Bertan L C, Tanada-Palmu P S, Siani A C, et al. *Food Hydrocolloids*, 2005, 19; 73~82.
- [54] Bertan L C, Fakhouri F M, Siani A C, et al. *Macromol Symp*, 2005, 229; 143~149.
- [55] Karnnet S, Potiyaraj P, Pimban V. *Polym Degrad Stab*, 2005, 90; 106~110.
- [56] Xiao C, Lu Y, Jing Z, et al. *J Appl Polym Sci*, 2002, 83; 949~955.
- [57] Cascone M G. *Polym Int*, 1997, 43(1); 55~69.
- [58] Tanaka T, Ohnishi S, Yamaura K. *Polym Int*, 1999, 48; 811~818.
- [59] El-Kader F H, Abd, Gaafar S A, Rizk M S, et al. *J Appl Polym Sci*, 1999, 72; 1395~1406.
- [60] Wang Y, Wu Q, Chen G. *Biomacromolecules*, 2005, 6; 566~571.
- [61] Scherzer T, Beckert A, Langguth H, et al. *J Appl Polym Sci*, 1997, 63; 1303~1312.
- [62] Scherzer T, Schubert R. *Polym Adv Technol*, 1998, 9, 777~785.
- [63] Derkach S R, Petrova L A, Izmailova V N. *Colloids and Surfaces A; Physicochemical and Engineering Aspects*, 1999, 152; 189~197.
- [64] Bigi A, Panzavolta S, Roveri N. *Biomaterials*, 1998, 19; 739~744.
- [65] Qiang Z, Yuan R, Chai Y, et al. *Electrochimica Acta*, 2006, 51(18); 3763~3768.

Review of Study on Properties of Gelatin Film

CAO Na^{1,2}, FU Yu-hua^{1*}, HE Jun-hui¹

(1. *Technical Institute of Physics and Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China;*

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

Abstract: Gelatin film has excellent biocompatibility and biodegradability. In addition, the properties of gelatin film could be adjusted according to the application, so gelatin film is applied in many fields. The influences of some additives and preparation on the mechanical, barrier, and biodegradability properties of gelatin film were reviewed in this paper. Commonly, plasticizer could overcome brittleness of gelatin film, decrease mechanical strength and thermal stabilization of gelatin film. Cross-linking could effectively improve mechanical strength and thermal stabilization of gelatin film, and decrease degradability of gelatin. There were chemical, physical and biocompatible cross-linking. Blend with proteins, polysaccharides, lipids could improve properties of gelatin film. The properties of gelatin film could be modified through combination or copolymerization with polymers, in order to meet the application of different fields.

Key words: Gelatin film; Biocompatibility; Biodegradability; Mechanical property; Barrier property