

# Study on the Thixotropy of Sericin

Hua Fu, Daqi Chen, Zhuping Yin, Feng Wu, Xiang Xue, Shenzhou Lu\*

College of Textile and Clothing Engineering, Soochow University, Suzhou Jiangsu  
Email: [lushenzhou@suda.edu.cn](mailto:lushenzhou@suda.edu.cn)

Received: Mar. 19<sup>th</sup>, 2017; accepted: Mar. 28<sup>th</sup>, 2017; published: Mar. 31<sup>st</sup>, 2017

---

## Abstract

Sericin has been proved to be a nature water soluble globular protein and is one of the main components of silk. As is known for its culinary and medical properties all the time, thixotropy property of the sericin has never been studied. When placed at room temperature for several hours, sericin solution forms gel. Then, applied a sequential set of shearing forces into the sericin gel, it exhibits reversible gel-sol changes and turns out to be thixotropy. The paper describes the critical gel concentration of sericin solutions, thixotropy characterization and structure. The result indicated that sericin prepared from silk cocoon under high pressure and high temperature can form gel even diluted at concentration 0.3 wt%. The structure of sericin didn't change after shear action. The regelation process is dependent on concentration and temperature.

## Keywords

Sericin, Thixotropy, Gelation, Shear Action

---

# 丝胶的触变性研究

付 华, 陈大旗, 殷祝平, 吴 峰, 薛 香, 卢神州\*

苏州大学纺织与服装工程学院, 江苏 苏州  
Email: [lushenzhou@suda.edu.cn](mailto:lushenzhou@suda.edu.cn)

收稿日期: 2017年3月19日; 录用日期: 2017年3月28日; 发布日期: 2017年3月31日

---

## 摘 要

丝胶是一种水溶性球状蛋白, 是蚕丝的主要成分之一。一直以来, 丝胶的药用价值、食用价值被人们所熟知, 而丝胶凝胶的触变性却很少有学者研究。将丝胶溶液置于常温条件下时, 丝胶溶液形成凝胶。此

---

\*通讯作者。

时,对丝胶溶液施加一定剪切力,丝胶凝胶出现可逆溶胶现象,表现出触变性。本文从丝胶凝胶临界浓度、触变性表征、结构变化及截面形态研究了高温高压制备的丝胶的触变性。结果表明,高温高压条件下制备的丝胶溶液常温条件下凝胶临界浓度为0.3%;丝胶凝胶触变作用前后不发生聚集态结构变化;丝胶的再凝胶过程仍与丝胶含固量和温度有关。

## 关键词

丝胶,触变性,凝胶,剪切作用

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

丝胶是蚕丝的主要成分之一,占蚕丝组分含量的25%~30% [1]。丝胶由18种氨基酸组成(其中有8种是人体必需氨基酸),含有羟基、羧基以及氨基等具有较强极性侧基的氨基酸约占总量的70% [2],因此丝胶是一种水溶性球状蛋白[3]。丝胶主要来源于茧壳和生丝、丝绸工业产生的废水和5龄幼虫解剖取出的中部丝腺[4]。丝胶的分子量超过200kDa,并且表现出层状结构[5]。目前被广泛认同的是,来自蚕茧的SS和从中间丝腺提取的天然SS包含无规卷曲和 $\beta$ -折叠,分别对应于无定形和结晶区域[6] [7],以及一些 $\beta$ -转角,但在大多数情况下没有 $\alpha$ -螺旋[8]。

虽然丝胶一直作为丝绸工业的副产品随废水排放,但由于其一系列的优良特性,近些年的研究表明丝胶蛋白在生物医学和化妆品应用领域有极大的潜力。大鼠在口服丝胶蛋白后血液中的胰岛素水平显著增加[9]。丝胶蛋白作为一种抗氧化剂,通过抑制过氧化氢诱导的氧化应激表现出抗氧化能力[10]。丝胶可以促进大鼠皮肤伤口和角膜上皮细胞的愈合[11]。以京尼平作交联剂的sericin-PVA三维支架也用于组织工程人工皮肤[12]。陈忠敏等[13]添加壳聚糖和甘油磷酸钠到丝胶中形成温敏性复合凝胶用于肝脏组织工程支架。

迄今为止,凝胶化行为已经被广泛研究[14] [15]。凝胶化归因于丝胶蛋白的构象变化。丝胶蛋白的凝胶化导致 $\beta$ -折叠结晶,同时,凝胶化程度决定了 $\beta$ -折叠构象的丝胶蛋白的形成量[16]。然而,丝胶蛋白凝胶表现的触变性却被忽视。触变性是流变学研究的重要部分。最初由Peterfi在1927年[17]提出的描述胶体溶液从流体条件到弹性固体凝胶的可逆变化[18]。在大量胶体体系中观察到类似的趋势后,文献中已广泛研究了胶体稀释悬浮液的触变性[19]。触变性的定义在科学界已达到普遍一致,即当流体施加到先前已经静止的样品时粘度随时间的连续降低,以及当流动时间随后的粘度恢复时停止[20]。因此,在本研究中,围绕丝胶凝胶的触变性展开了一系列研究。

## 2. 实验

### 2.1. 实验材料

家蚕蚕茧(苏豪生物技术有限公司),实验室用水均为去离子水。

### 2.2. 丝胶溶液的制备

本实验方法依据茧壳表层丝胶易溶于热水中,并且加压能加速这种溶解现象的原理[1]。取新鲜蚕茧,

削口去除蚕蛹，去除茧衣与内衬，剪成  $1\text{ cm}^2$  小块。称取一定质量的蚕茧，与去离子水按一定比例放入密闭容器中，将容器置于高温灭菌锅中加热一段时间后，弃去茧壳，所得溶液即为丝胶溶液。将丝胶溶液储存于  $80^\circ\text{C}$  水浴中，测量溶液的质量分数后使用。

### 2.3. 溶液浓度随高温高压煮茧时间的关系

将洗净茧壳与去离子水按 1:20 置于高温高压灭菌锅中加热，以高温高压灭菌锅超压( $0.15\text{ MPa}$ ,  $126^\circ\text{C}$ ) 喷气时开始计时，分别测量 0 min, 1 min, 5 min, 10 min, 15 min, 20 min, 25 min, 30 min 时所得丝胶溶液的浓度。

称取一定量的家蚕茧壳称重，其质量为  $m_1$ ，制备完丝胶溶液后，将茧壳在热的去离子水中反复洗净，于  $60^\circ\text{C}$  烘干，称重，其质量为  $m_2$ ，按下式计算各组的脱胶率。

$$\text{脱胶率}/\% = (m_1 - m_2)/m_1 \quad (1)$$

### 2.4. 凝胶临界浓度

将丝胶溶液配制成不同浓度 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4%.....1.0%，常温下静置 10 h 后，找出丝胶能够形成凝胶的临界浓度。

### 2.5. 粘度测试

选用 AR2000 型流变仪(美国)TA Instruments 公司)测定按蚕茧和去离子水(w/v)比例 1:10 制备的丝胶溶液在  $25^\circ\text{C}$ 、 $37^\circ\text{C}$  和  $60^\circ\text{C}$  时的粘度变化。剪切速率是  $1000\text{ rad/s}$ ，剪切时间 1 min，取点 80 个。以第一次剪切作用开始计为 0 时刻，剪切后放置一段时间再次测试，共计间隔三段时间，分别为 5 min, 5 min, 10 min。

### 2.6. 结构分析

丝胶溶液质量浓度为 1.5%，在  $37^\circ\text{C}$  条件下放置 10 h 后形成凝胶，将丝胶凝胶经过摇变后形成半凝胶状态，最后将半凝胶状态的丝胶再次静置于  $37^\circ\text{C}$  条件下 10 h 使其再次凝胶。取溶液、凝胶、半凝胶及再凝胶四种状态下的丝胶在液氮中迅速冷冻固定，然后真空干燥备用。使用全自动 X'PERT PRO MPD 射线衍射仪(荷兰帕纳科公司)，Cu K $\alpha$  射线，X 射线波长为  $\lambda = 1.5406$ ，衍射角选取  $5^\circ\sim 45^\circ$  间的衍射强度曲线。

丝胶溶液质量浓度为 1.0%，在  $37^\circ\text{C}$  条件下放置 10 h 后形成凝胶，将丝胶凝胶经过摇变后形成半凝胶状态，最后将半凝胶状态的丝胶再次静置于  $37^\circ\text{C}$  条件下 10 h 使其再次凝胶。使用 Aviv Model 410 型圆二色光谱仪测定丝胶蛋白构象变化。吸取 0.5 ml 的混合溶液置于光径为 0.1 mm 的石英样品池中，在室温 ( $25^\circ\text{C}$ ) 下进行远紫外波段的光谱测试，扫描范围为 190~250 nm。测量参数：波长步长为 1.0 nm，扫描间隔 0.5 nm，扫描速率 50 nm/min，响应时间 5 s。测量时对光源系统通氮气以除去空气和水汽，且所有样品的旋光度数值均扣除溶剂水自身所造成的背景值。

### 2.7. 截面形貌

丝胶溶液质量浓度为 1.5%，在  $37^\circ\text{C}$  条件下放置 10 h 后形成凝胶，将丝胶凝胶经过摇变后形成半凝胶状态，最后将半凝胶状态的丝胶再次静置于  $37^\circ\text{C}$  条件下 10 h 使其再次凝胶。取溶液、凝胶、半凝胶及再凝胶四种状态下的丝胶在液氮中迅速冷冻固定，然后真空干燥备用。用切片器取一定体积的冻干样品，表面喷金 90 s 取出，采用日本 Hitachi S-4800 型扫描电子显微镜(SEM)观察凝胶的截面形貌。

## 2.8. 剪切作用前后丝胶的凝胶时间

静置丝胶溶液，将盛装丝胶溶液的容器倾斜 45 度后不发生流动，即凝胶形成，这段时间称为凝胶时间。丝胶溶液凝胶后，经摇变使其变为半凝胶状态，再次将容器静置，若容器倾斜 45 度不发生流动，这段时间称为再凝胶时间。取质量浓度为 1.5% 的丝胶溶液置于 5 ml 离心管中，将离心管分别放在 4℃, 25℃, 37℃ 环境中，测其凝胶时间和再凝胶时间。取质量浓度为 0.6%, 0.9%, 1.2%, 1.5%, 1.8% 的丝胶溶液置于 5 ml 离心管中，将离心管分别放在 37℃ 环境中，测其凝胶时间和再凝胶时间。

## 3. 结果与讨论

### 3.1. 丝胶凝胶

#### 3.1.1. 丝胶溶液浓度和脱胶率随高温高压时间的关系

由图 1 中高温高压条件下不同煮茧时间所得丝胶溶液浓度所知，随着茧壳在水浴中时间越长，蚕丝表层的丝胶溶解于水中越多，丝胶溶液浓度越大，当高温高压灭菌锅内完成加压过程，即 0 min 时，丝胶溶液浓度已经达到约 0.2%，当煮茧时间长达 30 min 时，丝胶溶液浓度已经高达 1.349%；同时，从图中随煮茧时间而变化的脱胶率来看，时间越长，脱胶率越大，大概 10 min 左右时，脱胶率已经约高达 23%，蚕茧表层丝胶大部分溶解于溶液中。将丝胶溶液浓度和脱胶率结合起来看，在高温高压条件下，10 min 以前，变化速率较快，说明蚕茧表层丝胶更加容易溶解出来，10 min 以后，速率变化变慢，且 25 min 和 30 min 时的结果基本一致，说明蚕茧表层丝胶溶出随着时间增长变得更加困难，这些结果也正好与文献 [7] 中一致。此种煮茧方式，蚕茧表层的大部分丝胶大约在 30 min 左右基本全部溶解出来。

#### 3.1.2. 临界浓度

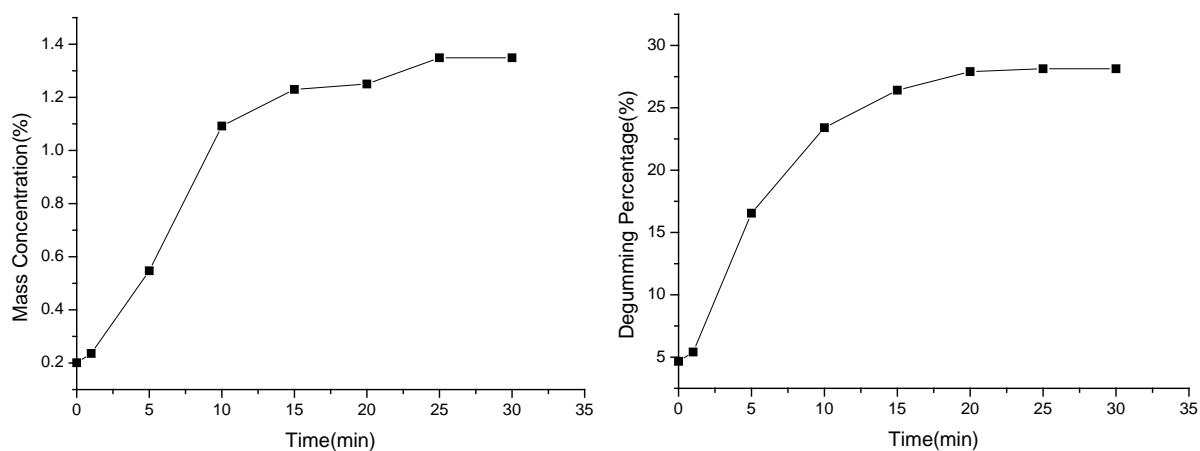
丝胶的凝胶化过程与氢键有关，而丝胶溶液的浓度会影响氢键的形成 [21]。由图 2 所示，在室温 (25℃) 条件下，一定浓度的丝胶溶液经一段时间的静置后会形成凝胶。当丝胶溶液含固量低于 0.3% 时，即使经过长达 10 h 的静置时间，丝胶仍未凝胶；当丝胶溶液浓度高于 0.3% 时，丝胶溶液完成凝胶化转变。

### 3.2. 触变性

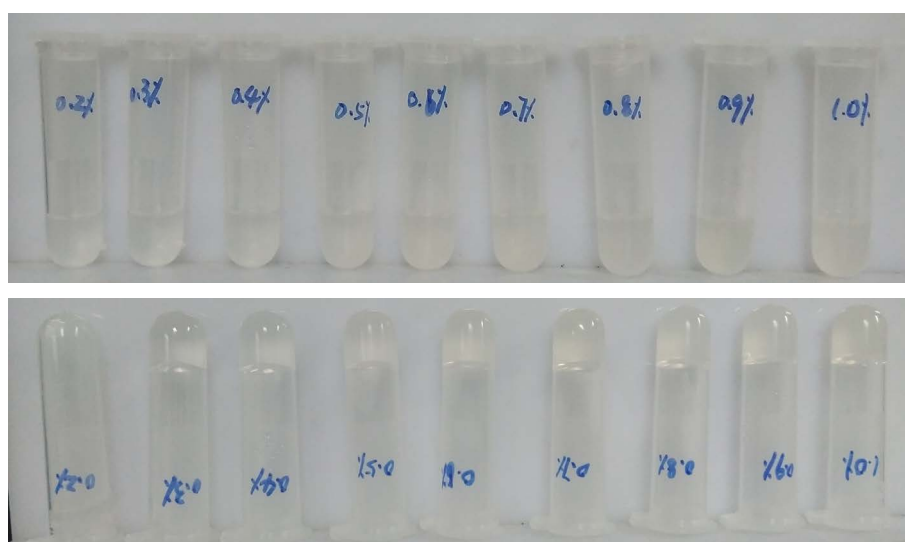
对丝胶凝胶施加一小段持续的剪切力作用后，丝胶凝胶变成半凝胶状态，可以发生流动，如图 3 所示。丝胶凝胶受到剪切力作用时，粘度急剧下降，待静置一段时间后，溶液再次形成凝胶，粘度恢复，重复施加剪切作用后，粘度又一次下降，丝胶凝胶表现出的即是正触变性。在这个过程中，丝胶凝胶经触变后，氢键遭到破坏，体系恢复的过程实质上也是断裂的氢键再次形成的过程，且体系恢复的快慢与温度有关。如图 4 所示，25℃ 和 37℃ 环境中，丝胶蛋白从半凝胶状态完全转变成凝胶状态只需要 5 min 就能完成，而在 60℃ 环境中这个过程需要 10 min 以上。丝胶触变后的再凝胶过程与温度的依赖性规律符合文献中的研究 [22]。

### 3.3. 结构分析

丝胶的二级结构由图 5 中 XRD 和 CD 所示。图 5(a) 中四种状态下的丝胶衍射峰是隆峰，且峰形基本一致，表明丝胶的聚集态结构以无规卷曲为主。如图 5(b) 中圆二色谱分子构象显示，丝胶在溶液状态无明显峰形，分子构象基本呈无规卷曲状态；凝胶状态在 197 nm 出现正峰和 217 nm 附近出现负峰，表明丝胶分子构象从无规卷曲变成  $\beta$ -折叠结构 [23]；半凝胶状态和再凝胶状态与凝胶状态分子构象变化不大。由丝胶的结构分析知，丝胶溶液形成凝胶分子构象从无规卷曲转变成  $\beta$  折叠构象，但聚集态结构上呈非晶结构，且触变剪切作用并不改变丝胶分子的聚集态结构，也从侧面验证了前人提出的丝胶凝胶的形成与氢键 [21] 有关。



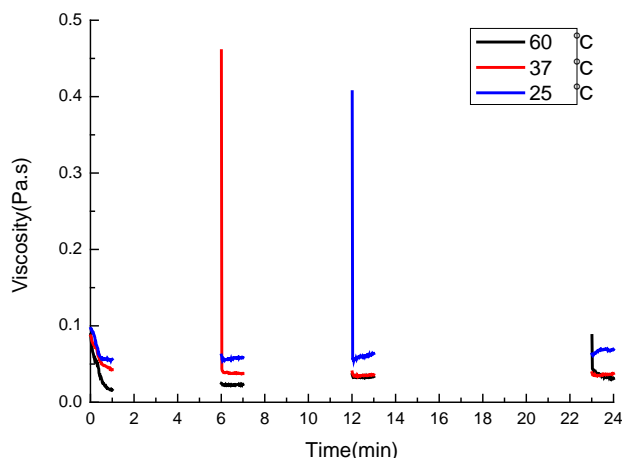
**Figure 1.** Mass concentration and degumming percentage of sericin  
**图 1.** 高温高压条件下丝胶的溶液含固率和脱胶率



**Figure 2.** Critical gel concentration  
**图 2.** 丝胶凝胶的临界浓度

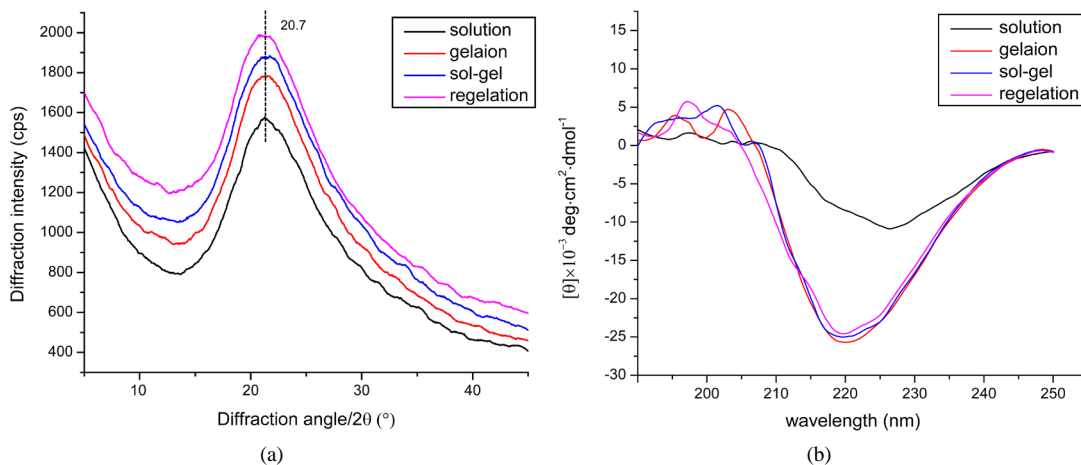


**Figure 3.** (a) Sol-gel system before shear; (b) Sol-gel system after shear  
**图 3.** (a) 剪切作用前的丝胶凝胶; (b) 剪切作用后的丝胶凝胶



**Figure 4.** Viscosity of gel under a discrete shearing forces. The sericin solution boiled at a ratio of 1:10, then formed gel at room temperature

**图 4.** 不同温度下的丝胶溶液收到剪切作用后的粘度变化



**Figure 5.** (a) XRD images of sericin whose mass concentration is 1.5% in 4 different state at 37°C; (b) CD images of sericin whose mass concentration is 0.93% in 4 different state at 37°C

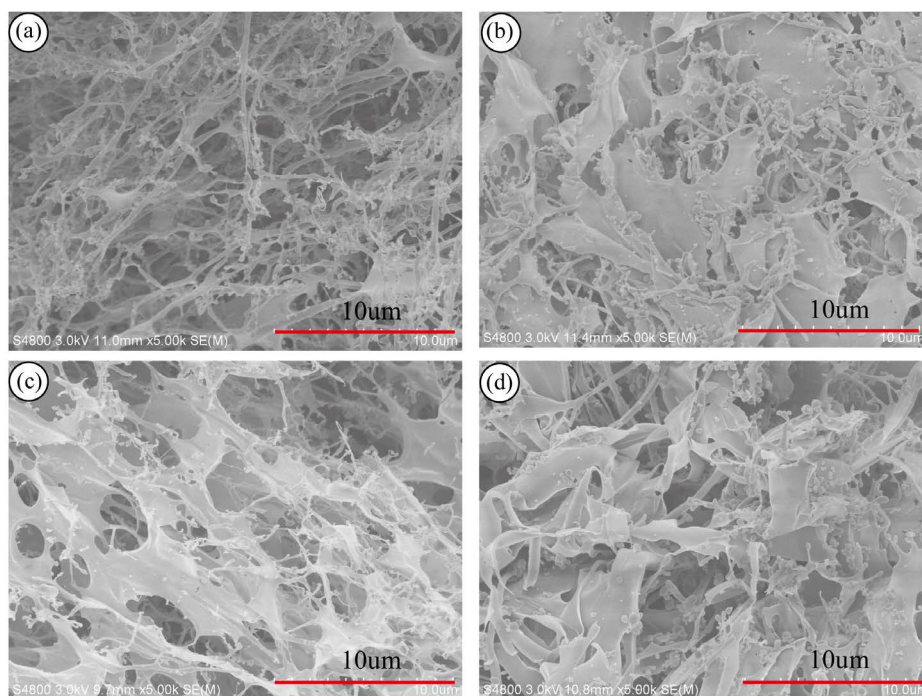
**图 5.** (a) 1.5%的丝胶在四种状态下的 XRD; (b) 0.93%的丝胶在四种状态下的 CD

### 3.4. 截面形貌

如图 6 所示, 在触变过程中四种状态下丝胶截面形貌。图 A 是丝胶溶液, 有大量的微球结构和线型结构。图 B 是凝胶结构, 微球结构逐渐聚集成线型结构, 线型结构逐渐聚集成片状结构, 结构中片状结构为主, 少量微球、线型结构, 说明凝胶化进程中形成了较为稳定的网状结构。图 C 是丝胶凝胶经剪切后的半凝胶状态, 部分片状结构和线型结构被破坏, 但仍以片状结构为主, 此过程中网状结构被破坏。图 D 是半凝胶状态的丝胶经再次静置后形成的凝胶, 与图 C 半凝胶状态相比, 聚集效应明显, 微球逐渐聚集成线型, 线型逐渐聚集成较小的片状, 破坏的片状结构再次聚集成片; 与图 B 中凝胶状态相比, 结构更分散, 片状结构没有图 B 完整, 说明丝胶凝胶的网状结构遭到破坏以后, 即使能再次聚集形成网状结构, 但难以恢复到破坏前的稳定状态。丝胶的截面形貌分析也说明丝胶凝胶的形成是氢键引起的分子聚集, 触变剪切作用只是破坏这种网状结构部分的连接点, 但丝胶分子仍以稍小的聚集成片的形式存在, 与结构分析结果相符。

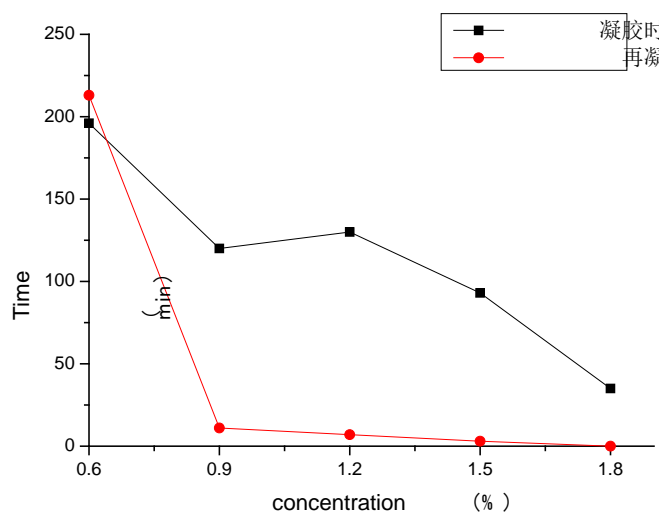
### 3.5. 剪切作用后的凝胶时间和再凝胶时间

由图 7 可知, 丝胶溶液的浓度对丝胶凝胶化进程影响很大。总体上来讲, 随着丝胶溶液浓度的增大, 凝胶速度较快, 凝胶时间逐渐缩短。此结果与文献[24]中结果相同, 1.8% 的丝胶溶液凝胶时间相比于 0.6% 的丝胶溶液凝胶时间缩短了将近 4 倍。将丝胶凝胶切稀后, 不同含固量的丝胶凝胶再凝胶时间差异明显。



**Figure 6.** Cross section morphology of sericin whose mass concentration is 1.5% at 37°C: (a) Liquid; (b) Gel; (c) Sol-gel; (d) Re-gel

**图 6.** 在 37°C 条件下, 1.5% 的丝胶在不同状态下的 SEM 图片: (a) 溶液状态; (b) 凝胶状态; (c) 半凝胶状态; (d) 再凝胶状态



**Figure 7.** Gelation and regelation time of sericin solution with different concentration at 37°C

**图 7.** 37°C 下不同浓度的丝胶溶液的凝胶时间和再凝胶时间

对于浓度比较低的 0.6% 的丝胶凝胶, 再凝胶时间长达 3.5 h, 长于凝胶时间。更加值得关注的是, 含固量高于 0.9% 以上的丝胶凝胶在几分钟之内完成了再凝胶过程, 远远低于 0.6% 的丝胶凝胶再凝胶时间。导致这种结果的原因是, 丝胶中含有极性侧链的氨基酸相互之间形成氢键, 分子间的空隙较大, 结合较弱, 这种现象越明显[21] [25]; 当氢键形成的网状结构遭到剪切力作用后, 结合力越弱的很容易就被破坏, 氢键再次形成难度大, 丝胶浓度越大, 氢键再次形成更加容易。

#### 4. 结论

丝胶溶液的临界凝胶浓度为 3 mg/ml, 高于此浓度则容易凝胶化。丝胶凝胶后具有触变性, 在剪切应力下具有流动性, 消除剪切应力后又会上凝, 为一种可逆凝胶。丝胶凝胶在剪切应力作用下, 凝胶内部的氢键网络被破坏, 从而造成体系粘度下降并呈现出半凝胶状态; 停止剪切作用静置一段时间后, 氢键重建, 体系粘度恢复。剪切作用不破坏丝胶大分子的聚集态结构。丝胶凝胶经触变后体系恢复的快慢与丝胶含固量和温度有关。该可逆凝胶预计可以用于可注射生物材料。

#### 基金项目

国家自然科学基金项目(51373114); 江苏省高校自然科学研究重大项目资助(15KJA540001)。

#### 参考文献 (References)

- [1] Altman, G.H., Diaz, F., Jakuba, C., *et al.* (2003) Silk-Based Biomaterials. *Biomaterials*, **24**, 401-416.
- [2] Dash, R., Mukherjee, S. and Kundu, S.C. (2006) Isolation, Purification and Characterization of Silk Protein Sericin from Cocoon Peduncles of Tropical Tasar Silkworm, *Antheraea Mylitta*. *International Journal of Biological Macromolecules*, **38**, 255-258. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2006.03.001>
- [3] Dash, R., Ghosh, S.K., Kaplan, D.L., *et al.* (2007) Purification and Biochemical Characterization of a 70 kDa Sericin from Tropical Tasar Silkworm, *Antheraea Mylitta*. *Comparative Biochemistry & Physiology Part B*, **147**, 129-134. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2007.01.009>
- [4] 张瑶琴. 基于制备环境的家蚕丝胶蛋白分子形态构象与生物学性能研究[D]: [博士学位论文]. 重庆: 重庆理工大学, 2011.
- [5] Wang, Y.J. and Zhag, Y.Q. (2011) Silk Fibroin Fiber from Bombyx Mori Cocoon and Their Amino Acid Composition. *Advanced Materials Research*, **175-176**, 158-163.
- [6] Dash, B.C., Mandal, B.B. and Kundu, S.C. (2009) Silk Gland Sericin Protein Membranes: Fabrication and Characterization for Potential Biotechnological Applications. *Journal of Biotechnology*, **144**, 321-329. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2009.09.019>
- [7] Oh, H., Ji, Y.L., Kim, M.K., *et al.* (2011) Refining Hot-Water Extracted Silk Sericin by Ethanol-Induced Precipitation. *International Journal of Biological Macromolecules*, **48**, 32-37.
- [8] Kundu, S.C., Dash, R., Dash, B.C., *et al.* (2008) Natural Protective Glue Protein, Sericin Bioengineered by Silkworms: Potential for Biomedical and Biotechnological Applications. *Progress in Polymer Science*, **33**, 998-1012. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2008.08.002>
- [9] Ogawa, A., Terada, S., Kanayama, T., *et al.* (2004) Improvement of Islet Culture with Sericin. *Journal of Bioscience & Bioengineering*, **98**, 217-219. [https://doi.org/10.1016/S1389-1723\(04\)00270-1](https://doi.org/10.1016/S1389-1723(04)00270-1)
- [10] Dash, R., Acharya, C., Bindu, P.C., *et al.* (2008) Antioxidant Potential of Silk Protein Sericin against Hydrogen Peroxide-Induced Oxidative Stress in Skin Fibro BLASTs. *BMB Reports*, **41**, 236-241. <https://doi.org/10.5483/BMBRep.2008.41.3.236>
- [11] Nagai, N., Murao, T., Ito, Y., *et al.* (2009) Enhancing Effects of Sericin on Corneal Wound Healing in Rat Debrided Corneal Epithelium. *Biological & Pharmaceutical Bulletin*, **32**, 933-936. <https://doi.org/10.1248/bpb.32.933>
- [12] Aramwit, P., Siritientong, T., Kanokpanont, S., *et al.* (2010) Formulation and Characterization of Silk Sericin-PVA Scaffold Crosslinked with Genipin. *International Journal of Biological Macromolecules*, **47**, 668-675. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2010.08.015>
- [13] 陈忠敏, 熊佳庆, 王锐, 等. 一种温敏性溶胶-凝胶转化材料的制备方法[P]. 中国. CN102433006A. 2012-05-02.
- [14] Huang, J., Valluzzi, R., Bini, E., *et al.* (2003) Cloning, Expression, and Assembly of Sericin-Like Protein. *Journal of*



- Biological Chemistry*, **278**, 46117-46123. <https://doi.org/10.1074/jbc.M307792200>
- [15] Teramoto, H., Nakajima, K. and Takabayashi, C. (2005) Preparation of Elastic Silk Sericin Hydrogel. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, **69**, 845-847. <https://doi.org/10.1271/bbb.69.845>
- [16] Zhu, L.J., Arai, M. and Hirabayashi, K. (1995) Relationship between Adhesive Properties and Structure of Sericin in Cocoon Filaments. *Journal of Insect Biotechnology & Sericology*, **64**, 415-419.
- [17] Péterfi, T. (1927) Die Abhebung der Befruchtungsmembran bei Seeigeleiern. *Wilhelm Roux Archiv Für Entwicklungsmechanik Der Organismen*, **112**, 660-695. <https://doi.org/10.1007/BF02253780>
- [18] Barnes, H.A. (1997) Thixotropy—A Review. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, **70**, 1-33. [https://doi.org/10.1016/S0377-0257\(97\)00004-9](https://doi.org/10.1016/S0377-0257(97)00004-9)
- [19] Vasanathan, T. and Temelli, F. (2006) WO002539.
- [20] Usui, H. (1995) A Thixotropy Model for Coal-Water Mixtures. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, **60**, 259-275. [https://doi.org/10.1016/0377-0257\(95\)01383-8](https://doi.org/10.1016/0377-0257(95)01383-8)
- [21] Zhu, L.J., Arai, M. and Hirabayashi, K. (1995) Gelation of Silk Sericin and Physical Properties of the Gel. *American Journal of Psychiatry*, **117**, 120-124.
- [22] Zhu, L.J., Arai, M. and Hirabayashi, K. (1996) Sol-Gel Transition of Sericin. *Insect Biotechnology and Sericology*, **65**, 270-274.
- [23] Greenfield, N.J. and Fasman, G.D. (1969) Computed Circular Dichroism Spectra for the Evaluation of Protein Conformation. *Biochemistry*, **8**, 4108-4116. <https://doi.org/10.1021/bi00838a031>
- [24] 朱良均. 丝胶的凝胶特性研究[J]. 浙江大学学报农业与生命科学版, 1996(4): 353-358.
- [25] 朱良均, 姚菊明, 李幼禄. 蚕丝蛋白——丝胶和丝素凝胶特性的比较[J]. 科技通报, 1998(1): 12-1

#### 期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ms@hanspub.org](mailto:ms@hanspub.org)