

バクテリアセルロースのナノファイバー制御に関する研究

沼田 ゆかり [旭川工業高等専門学校 / 助教]

背景・目的

微生物が産生したセルロースはバクテリアセルロース (bacterial cellulose, BC) とよばれ、植物パルプの約 1000 分の 1 という細いリボン状の繊維が複雑に絡み合い網目構造を形成し、高結晶性、高弾性、高吸収性など優れた物理的性質をもつ。BC はこれらの物理的特徴をいかして工業材料や食品材料としての利用が考えられていた。しかし、近年 BC の緻密な網目構造、ナノファイバーに注目が集まり、紙のように曲げられる次世代の薄型ディスプレイの基板づくりへの活用や、DNA を高精度に解析できるチップへの応用などさまざまな分野で研究開発が発表されている。本研究では今後 BC ナノファイバーを用いた材料開発で重要であると思われる、ナノファイバーの制御、それにともなう物性の変化について検討することを目的とする。

内容・方法

ナノファイバーの制御には BC 生成後に手を加える方法とフィブリル形成の段階で行う方法の 2 つが考えられるが、本研究ではフィブリル形成段階の制御に着目した。酢酸菌培養時に HS 培地中に水溶性多糖を添加することによって行った。添加する水溶性多糖の種類・濃度と網目の空孔サイズの相関を明らかにするため、グルカンであるデキストランと グルカンであるキサンタンガムを水溶性多糖として選択し、各濃度 (デキストラン: 0.1, 1, 2, 3, 5, 10 w/v % ; キサンタンガム: 0.1, 0.2 w/v %) で添加し BC を得た。得られた BC に対して赤外分光 (IR) スペクトルから取り込みの確認を行った。凍結乾燥し走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて表面観察を行った。SEM 写真の結果から、デキストランを添加したほうがナノファイバー制御に適していると判断した。デキストランを各濃度で添加した BC の物性変化を調べるため、電子式水分計を用いて保水性実験を行った。

結果・成果

赤外分光 (IR) スペクトルの結果、デキストランを高濃度で添加した試料では、デキストランに特徴的なピークが確認できたが、デキストランとキサンタンガムともに低濃度の場合、添加した多糖に特徴的なピークは確認できなかった。そのため、それぞれの多糖において、添加濃度が低い場合は IR スペクトルにはあらわれないほど取り込みは微量であることが示唆された。次に、走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて表面観察を行った。凍結乾燥後の BC は白色で厚みがあるが、デキストラン添加濃度が高くなるにつれ、透明で薄い部分が多くなってくる。この白色部分の SEM 写真の結果、デキストラン添加

濃度 0.1-3w/v% では繊維の太さや空孔について顕著な違いは見られない。しかし、5w/v% では 0.1-3w/v% と比べ空孔が極端に大きくなり、網目を形成している繊維が太くなっている。10w/v% では低濃度のものより繊維がより細く密になっているが、白色部分自体がほとんど見られない。一方、透明部分は 0.1-3w/v% で繊維の網目は確認できるが、空孔が少なく平面的になっている。また、5, 10w/v% では網目がまったく確認できず平面的になっている。キサンタンガム添加では、わずか 0.2w/v% 添加した試料でも高濃度でデキストランを添加した場合と類似した表面構造を示し、透明部分は平面的であるが、大きな空孔が不規則に見られる。これらのことから BC ナノファイバーの制御に用いる水溶性多糖にはデキストランのほうが適していることが明らかになった。デキストランは水に溶けやすく HS 培地に添加した場合、培地粘度の変化はほとんどない。一方、キサンタンガムは水への溶解度が小さく、培地に添加できる濃度は今回用いたものでは 0.2w/v% 程度が限界であり、粘度が非常に大きい。また、溶解度が小さいためさまざまな添加濃度の培地調製は困難である。よって、BC ナノファイバーをフィブリル形成段階で制御するためには培地に対する溶解度が大きな水溶性多糖を用いることが有効であることが示めされた。

デキストラン添加 BC の保水性実験の結果から、デキストラン添加濃度にかかわらず、すべての試料で含水率は 99.0-99.5% の範囲に収まり、通常の BC と等しいことが明らかになった。このことから、水溶性多糖を添加しても BC の保水性に影響を与えないことが明らかになった。さらに、乾燥後の重量を比較してみると、培養日数が同じ試料で添加濃度 0.1w/v% が最も大きく、濃度が高くなるにしたがって重量は小さくなった。特に、3w/v% と 5w/v% で顕著な減少が見られた。これは水溶性多糖添加による BC 産生量の減少を示しており、水溶性多糖を高濃度で添加した場合には得られる BC 重量が少ないことが明らかになった。また、この BC 重量変化は凍結乾燥後の試料の状態や SEM 写真の変化の挙動とよく一致していた。

以上の結果から、デキストランを添加した場合、3w/v% 以下では網目繊維の空孔サイズに変化は見られないが、5w/v% 添加によって網目繊維密度が大きく減少 (空孔サイズが増加) し、平面的な部分が増加する。さらに、10w/v% では大部分が平面的であるが、網目繊維部分の密度は増加していることが明らかになった。また、網目繊維密度の変化と BC 産生量の変化の挙動はよく一致し、保水性は水溶性多糖の添加によって影響を受けないことが明らかになった。

今後の展望

本研究により水への溶解度が高いデキストランを培地に添加することによって、BC のナノファイバーの形態変化と保水性および BC 産生量の関係が明らかになった。多糖添加により保水性は変化しないことが示されたが、今後さらにその他の物性試験を行う予定である。また、今回用いた水溶性多糖は枝分かれをもつ構造であったが、直鎖状で溶解度が高い水溶性多糖についても検討したい。