

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (学術)	氏名	LE NGOC DANG TRINH
学位授与の要件	学位規則第4条第1・2項該当		
論 文 題 目			
Effect of trehalose on the mechanical properties of deep-fried foods (トレハロースがフライ食品の力学的性質に及ぼす影響)			
論文審査担当者			
主 査	教 授	川 井	清 司
審査委員	教 授	羽 倉	義 雄
審査委員	教 授	富 永	る み
審査委員	特任教授	鈴 木	徹
〔論文審査の要旨〕			
<p>調理直後のフライ食品（天ぷらなど）の衣はサクサクとした食感を示すが、時間が経過するとグニャっとした食感へと変化する。この食感変化はフライ衣がガラス-ラバー転移するため起こると理解されている。非晶質材料のガラス-ラバー転移挙動はガラス転移温度 (T_g) によって特徴付けられる。即ち、材料温度が T_g 以下のときガラス状態になり、サクサクとした脆性破壊を示すのに対し、T_g 以上のときラバー状態になり、グニャっとした延性破壊を示す。非晶質が親水性の場合、吸湿に伴う水の可塑効果によって T_g が低下するため、一定温度であってもガラス-ラバー転移が起こる。一般に常温を 25°C と設定し、T_g が 25°C になるときの水分を critical water content (w_c)、水分活性を critical water activity (a_{wc}) とそれぞれ呼ぶ。フライ衣のサク味を長時間維持するには、T_g (或いは w_c および a_{wc}) を高めることが重要といえる。</p> <p>非晶質材料の T_g は示差走査熱量測定によって決定することができる。しかし、フライ衣の様な多成分系多相系試料の T_g を捉えることは極めて困難である。先行研究において、食品のガラス-ラバー転移を力学的な軟化現象として捉える手法が提案され、この方法によってフライ衣モデル（揚げ玉）の T_g を mechanical T_g として決定可能なことが示された。また、フライ衣の mechanical T_g はトレハロースを配合することで上昇することが明らかになった。この結果はフライ衣のサク味を長時間維持するために重要な意味をもつが、高分子の T_g は低分子の配合によって低下すること（可塑効果）が広く知られているため、一般的な解釈とは矛盾する。一方、高分子に低分子を少量配合することで、高分子のギャップスペースが低分子によって満たされ、系の構造が強化する“アンチプラスチックサイジング効果”と呼ばれる現象があることが知られている。しかし、フライ衣の食感や mechanical T_g をアンチプラスチックサイジング効果と関連付けて詳細に検討した報告はこれまでになかった。本論文の目的は、1.トレハロースがフライ衣モデル（揚げ玉）の破断特性に及ぼす影響と、2.トレハロースが凍結乾燥アミロペクチンの破断特性および真密度に及ぼす影響を明らかにした上で、アンチプラスチックサイジング現象の観点からフライの食感制御について検討することであった。</p>			

1 章では上記の研究背景と目的が述べられた。

2 章では材料（バターおよびトレハロース）、試料調製（フライ衣モデルおよび凍結乾燥多孔質固体）、測定装置の概要と測定方法（応力緩和およびレオメーター）について説明された。

3 章ではトレハロースがフライ衣モデルの油脂含量、水分含量、水分収着挙動、水分活性、応力緩和挙動、破断挙動に及ぼす影響について調べた結果が報告された。トレハロースは乾燥小麦粉に対して最大 20%まで配合し、一定条件でフライ調理した試料の油脂含量、水分含量、水分活性が決定された。また、各種試料を飽和塩法によって様々な水分活性に調整し、応力緩和挙動および破断挙動が調べられた。10%トレハロース配合試料は、フライ後の油脂含量、水分含量、水分活性が最も低かった。また、無添加および 5%トレハロース配合試料と比較し、10%トレハロース配合試料は有意に高い a_{wc} 、低い破断荷重、多い破断ピーク数を示したが、10%トレハロースと 20%トレハロースの間に有意な差は認められなかった。

4 章ではトレハロースが凍結乾燥多孔質固体の破断特性に及ぼす影響と凍結乾燥粉末の真密度に及ぼす影響について調べた結果が報告された。小麦粉の主成分はアミロペクチンであるため、フライ衣モデルはガラス化したアミロペクチンの多孔質固体と捉えられるが、現実的には様々な因子（グルテンなど副成分の影響、油脂含量、高温加熱による影響など）が複雑に絡み合った状態にある。材料に小麦粉ではなくアミロペクチンを使用することで、試料の組成を簡素化できる。更にバターをフライするのではなく、予め糊化させたアミロペクチンを凍結乾燥することで、ガラス化したアミロペクチンの多孔質固体を非加熱で調製できる。凍結乾燥多孔質固体の破断特性を調べた結果、前章で示したフライ衣と同様の傾向を示すことが明らかにされた。一方、各種凍結乾燥試料を粉末化し、真密度を調べた結果、10%トレハロース配合試料の真密度が最も高いことが明らかにされた。

5 章では 3 章と 4 章の結果を踏まえた総合的な考察が述べられた。フライ過程において澱粉が糊化するとトレハロースはアミロペクチンに部分的に取り込まれる（内部トレハロース）。このことは凍結乾燥試料の真密度が高くなる結果からも支持される。内部トレハロースが生じた結果、油脂が入り込むスペースが減少し（油脂含量が低下し）、水が押し出されることで水分蒸発しやすくなる（水分含量および水分活性が低下する）。一方、アミロペクチンに取り込まれなかったトレハロースはアミロペクチンの外部に存在する（外部トレハロース）。破断はその構造体が最も弱い部分で発生する。外部トレハロースはアミロペクチン同士を水素結合によって結びつけることができるが、物理的に弱いため、破断点として作用する。したがって、トレハロース配合試料は破断荷重が低く、破断ピーク数が多くなる（脆くなる）。トレハロースと同様の効果は水分子においても期待される。しかし水分子はそれ自身の T_g が非常に低く、常温ではモバイルな状態にある。したがって、アミロペクチンとの混合系において内部と外部との区別がない。但し、トレハロースと比べて分子サイズが圧倒的に小さいため、トレハロースが埋めきれなかったギャップスペースを水分子は埋めることができる。以上の総合考察は実験結果を合理的に説明するものであり、高分子におけるアンチプラスチックサイジング効果をフライの食感制御に関連付けた点に独創的且つ高い学術的価値があり、また食品産業で実際に適用可能な点に高い実用的価値がある。

以上、審査の結果、本論文は統合生命科学研究科学学位論文評価基準を満たし、著者は博士（学術）の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。