

小麦粉生地と製パン性に対するセルロースナノファイバーの影響およびキチンナノファイバーとの比較

上中弘典, 江草真由美, 永江 (雨坪) 知音*, 岩本 涼*,
磯和由希子, 才所美晴, 伊福伸介*, 田中裕之

鳥取大学農学部

〒680-8553 鳥取県鳥取市湖山町南4丁目101番地

E-mail: kaminaka@muses.tottori-u.ac.jp

*鳥取大学大学院工学研究科

〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南4丁目101番地

Effects of cellulose nanofiber on dough strength and bread-making quality of wheat flour, and its comparison with chitin nanofiber

Hironori KAMINAKA, Mayumi EGUSA, Tomone NAGAE-AMATSUBO*, Ryo IWAMOTO*,
Yukiko ISOWA, Miharu SAISHO, Shinsuke IFUKU* and Hiroyuki TANAKA

Faculty of Agriculture, Tottori University, 4-101 Minami, Koyama-cho, Tottori-shi, Tottori 680-8553

E-mail: kaminaka@muses.tottori-u.ac.jp

*Graduate School of Engineering, Tottori University, 4-101 Minami, Koyama-cho, Tottori-shi, Tottori 680-8552

2017年7月20日 受理

Cellulose nanofibers are expected to be used in broad spectrum of commercial application owing to those unique physical properties. We previously reported that the addition of chitin nanofibers prepared from chitin, whose chemical structure is similar to cellulose, to wheat flour significantly improved the dough strength and the loaf volume of bread, inferring cellulose nanofibers would give similar effects. Here, effects of cellulose nanofibers on bread-making quality were evaluated and compared with those of chitin nanofibers. The sedimentation values were increased by addition of cellulose nanofibers into wheat flours in SDS sedimentation test, but significantly lower than by addition of chitin nanofibers. Similarly, cellulose nanofibers improved the dough strength and the loaf volume of bread using weak flour, but could not improve the loaf volume using strong flour unlike chitin nanofibers, suggesting that the nanofibrillated structure and the different strength of nanofibers would contribute to the improvement of bread-making quality.

Keywords: cellulose nanofiber, chitin nanofiber, wheat flour, bread-making quality

1. 緒論

セルロース, キチン, キトサン, アルギン酸などを含む天然多糖類は生分解性, 環境・生体親和性に優れ, 再生可能資源であることから, 様々な分野での用途開発が進んでいる。特にセルロースは, 植物の細胞壁構成成分であり, 地球上最大のバイオマスであるとともに, カーボンニュートラルな素材であるため注目されている。セルロースはD-グルコースが β -1, 4結合で直鎖状に連結した多糖類である。植物細胞壁は, 数十本のセルロース分子束から成るマイクロフィブリル, すなわちセルロースナノファイバー (NF) を構成要素とし, マイクロフィブリルの束であるフィブリルの集合体によって形成されている。樹木の細胞壁では, マイクロフィブリル間隙にヘミセルロースおよびリグニンが充填し, 植物体支持において強度と安定性に貢献している。一方, 野菜や果実ではヘ

ミセルロースやリグニンの他, ペクチンなどの多糖類が充填している。近年, これらの充填剤を除去し, 適切な解繊処理によって均質なセルロースNFを単離する技術が開発されている¹⁾。

セルロースNFは軽量で, 高強度, 高弾性, 低熱膨張など機械的特性に優れており, 補強用繊維としての利用が見込まれ, セルロースNF複合材料の開発が進められている²⁾。一方, 食品分野においては, セルロースが既に使用され, 長い食経験があることから, 既存添加物として登録されている。化学構造が天然セルロースと同じである天然セルロース系添加物は, 微結晶セルロース, 粉末セルロース, 微小繊維状セルロースが登録されており, このうち微小繊維状セルロースがパルプを高圧ホモジナイザー処理して得られるセルロースNFである。これらは, 分散・懸濁安定剤, 増粘性・流動性安定剤, 乳化剤, ゲル化剤などとして利用開発が進められている。

近年、我々はセルロースと構造的に類似しているキチンをNFとして調製する技術を開発している³⁾。またキチンNFを小麦粉へ添加することにより、小麦粉生地を強化し、有意にパン容積を増大できる、製パン性の向上について報告している^{4,5)}。小麦粉生地の膨化は、小麦粉中の種子貯蔵タンパク質がつくる分子間ジスルフィド結合を架橋の基本骨格としたネットワーク構造の強さにより規定される⁶⁾。比較的強靱な構造をもつキチン⁷⁾は、NF化により種子貯蔵タンパク質と同様の物性を獲得し、ネットワーク構造の強化に寄与することが可能になったため、キチンNFの添加により製パン性が向上したと考えられた⁴⁾。セルロースNFもキチンNFと同様に微小繊維状物質であり、かつセルロースとキチンは構造上類似しているため、セルロースNFを小麦粉に添加することで製パン性を向上させることが可能であると考えられた。そこで本研究では、セルロースNFを小麦粉へ添加することに伴う生地強度と製パン性への影響を評価するとともに、小麦粉への添加効果をキチンNFと定量的に比較した。

2. 実験方法

2.1 供試材およびナノファイバーの調製

小麦粉には市販の強力粉（カメリア、日清製粉（株））、中力粉（雪、日清製粉（株））および薄力粉（フラワー、日清製粉（株））を用いた。セルロース粉末はセルロース（ナカライテスク）を用いた。セルロースNFは、水で膨潤させた溶解パルプ（広葉樹、サルファイト法、王子製紙（株））をミキサーで粗破碎した後、1%（w/v）に調整し、石臼式磨砕機（スーパーマスコロイダー、MKCA6-2、増幸産業（株））を用いて2回処理した後、湿式粉碎装置（スターバーストミニ、HJP-25001S、（株）スギノマシン）を用いて200 MPaで30回衝突処理することで、水分散液を得た。同様に、カニ殻由来のキチン粉末（キチンTC-L、甲陽ケミカル（株））に水を添加して1%（w/v）に調整し、石臼式磨砕機を用いて2回処理した後、湿式粉碎装置を用いて200 MPaで10回衝突処理することで、キチンNFの水分散液を得た。

2.2 小麦粉生地の簡易物性評価

小麦粉生地物性を決定する主要因の1つである種子貯蔵タンパク質の量と質を簡易評価する方法として広く用いられているSDS沈降量テスト⁸⁾により、小麦粉の生地物性を簡易評価した。本研究ではTakata *et al.*の報告⁹⁾を参考に、小麦粉量を1gへスケールダウンして行った。セルロースに関する評価においては、小麦粉1gに対してセルロース重量が16 mgとなるよう、セルロース粉末あるいはNF分散液を添加した。セルロース粉末は16 mg添加し、セルロースNFは1%（w/v）の分散液を終濃度0.1%（w/v）となるように1.6 ml添加した。セルロースNFとキチンNFの添加効果の比較においては、小麦粉1gに対してセルロースあるいはキチン重量の総和が16 mgとなるよう、1%（w/v）のセルロースNF分散液あるいはキチン

NF分散液を合わせて1.6 ml添加した。どちらの場合も、沈降量を24時間後に測定した。

2.3 小麦粉の生地強度評価

小麦粉1 kgに水700 mlを加えて生地を調製した。1%（w/v）のセルロースNF分散液を150 ml添加する際は、同量の水を減じて調製した。また、セルロース粉末は1.5 g添加した。ミキサーには、N50（ホバート・ジャパン（株））を用いた。アタッチメントとして“ED” Dough Hookを用い、混捏条件はLow speed（Agitator: 136 rpm; Attachment: 60 rpm）で室温15分間とした。混捏中の消費電力をAF-1700 ヴァーサ・ロガー（アトー（株））により測定し、測定値の20秒ごとの移動平均値を求めた。この測定は3回ずつ行い、その平均値を混捏中の消費電力とした。

2.4 食パンの膨らみ評価

食パンの製造はホームベーカリー（Model:SD-BM105、パナソニック（株））を用い、取扱説明書の基本の食パン作成方法に従って行った。基本の原料配合は小麦粉200 g、バター10 g、砂糖17 g、スキムミルク6 g、塩5 g、ドライイースト2.8 g、水180 mlを用いた。セルロース粉末、セルロースNF分散液、キチンNF分散液、あるいはセルロースNFとキチンNFを1:1に混合した分散液は、それぞれ小麦粉量に対しセルロース重量、キチン重量、あるいはセルロースとキチンの総重量がいずれも0.15%となるように添加した。セルロース粉末は0.3 gを材料に添加した。1%（w/v）のNF分散液は、30 mlを水と合わせた加水量が180 mlとなるようにして添加した。パン生地の調製および焼成をホームベーカリーの食パンコース（メニュー番号1番）により行った。パンケースの中で膨らむパンの容積は、幅、奥行について全ての試験で同じであるため、パンの高さをその指標とし、製パン後、パンケースの中で膨らんだパンの高さを測定した。

3. 実験結果

3.1 セルロース添加小麦粉生地の簡易物性と生地強度の評価

強力粉、中力粉、薄力粉にセルロース粉末、あるいはセルロースNF分散液を添加し、SDS沈降量テストにより各小麦粉生地の物性を簡易評価した（図1）。その結果、セルロース粉末の添加では、各小麦粉において無添加の対照区との間に有意差は認められなかった。一方、いずれの小麦粉においても、セルロースNFを0.1%（w/v）添加した場合に沈降量が高まった。また、薄力粉にセルロースNFを添加した場合には中力粉、強力粉と同程度、中力粉に添加した場合は強力粉より高い沈降量を示し、強力粉に添加した場合に最も沈降量が高かった。セルロースNFを薄力粉に添加することで、タンパク質含量の高い小麦粉と同程度の生地強度になることが期待されたため、セルロースNFを添加した薄力粉生地の強度を評価した（図2）。その結果、セルロース粉末およびNF分散液を添

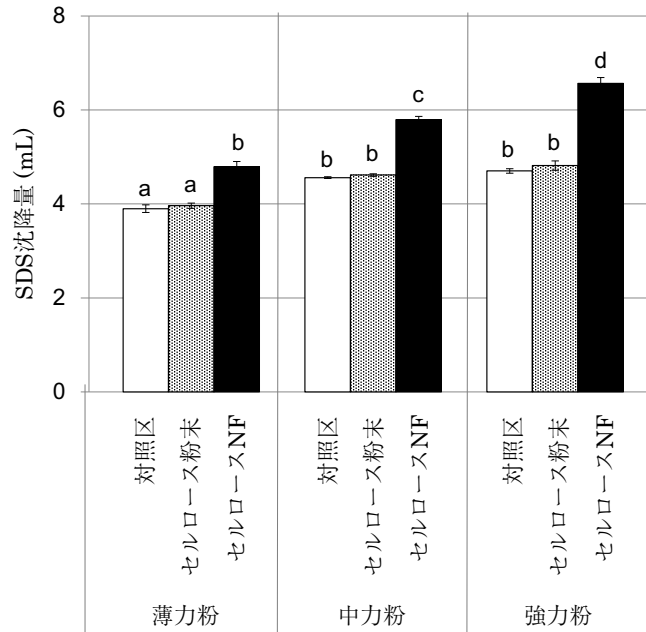
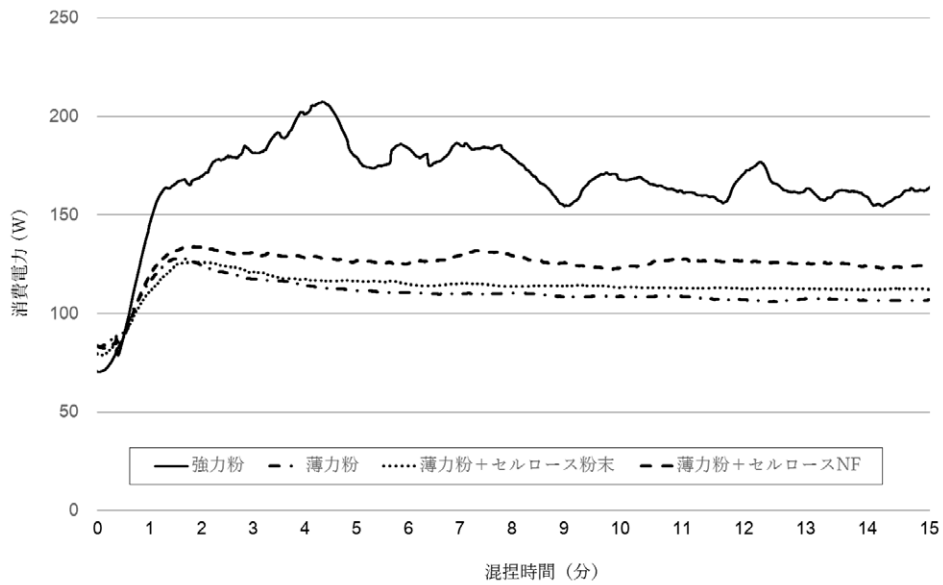


図1 セルロースを添加した小麦粉の簡易物性評価

平均値±標準誤差 (n=3). Tukey-KramerのHSD検定により, 異なるアルファベット間で $p < 0.05$ にて有意差あり.

(a)



(b)

	強力粉	薄力粉	薄力粉 +セルロース粉末	薄力粉 +セルロースNF
ピークタイム	4分03秒	1分30秒	1分46秒	1分44秒
ピーク電力値(W)	207	128	126	134

図2 セルロースを添加した生地の混捏過程における消費電力の変化

(a) 測定値の20秒ごとの移動平均値を3回測定した平均値, (b) 消費電力のピークタイムとピーク電力値 (W).

加した薄力粉生地の場合、ピークタイムは強力粉の場合よりも短時間であり、無添加の場合とほぼ変わらなかった。しかしながら、ピーク電力値において、セルロースNF分散液添加の薄力粉生地は、強力粉には及ばないものの、無添加あるいはセルロース粉末添加の場合よりも明らかに高い値を示した。また、セルロースNF分散液を添加した薄力粉生地では、ピークからの時間経過に対しても高い値を維持し続けた。すなわち、セルロースNF分散液の添加により、薄力粉の生地強度が無添加あるいはセルロース粉末添加の場合よりも強くなること示された。

3.2 セルロース添加小麦粉の製パン性の評価

SDS沈降量テストおよび小麦粉の生地強度評価により、セルロースNFの添加により小麦粉生地を強化できると考えられたため、セルロースNFによる食パンの膨らみへの効果を評価した。製パンには、生地強度評価でセルロースNFの添加効果が示された薄力粉を用いた。その結果、薄力粉200gへセルロース粉末を添加した場合、パンの膨らみは認められず、無添加の場合と同程度であり、有意差は無かった(図3a, b)。一方、セルロースNF分散液の添加では、無添加の場合と比べ有意に膨らみが増した(図3a, b)。

3.3 セルロースNFとキチンNFの添加効果の比較

セルロースNFの添加による小麦粉生地の強化と製パン性の向上効果が、キチンNFの添加による効果^{4,5)}と同様であったことから、これらNFの添加効果を定量的に比較した。まず、セルロースNF分散液、キチンNF分散液、あるいは混合比率を変えたこれらNF分散液の混合液を

強力粉、中力粉、薄力粉に添加し、SDS沈降量テストによる生地の物性の簡易評価を行った(図4)。その結果、いずれの小麦粉においてもキチンNFの添加により、セルロースNFによる沈降量よりも有意に高い沈降量を示した。混合比率を変えたNF分散液の添加により、特に強力粉にてキチンNFの添加量が増えるにつれ、沈降量が有意に増加する傾向がみられたため、強力粉への添加によりセルロースNFとキチンNFの添加効果を比較しやすいと考えられた。そこで、強力粉を用いて食パンの膨らみへの効果も評価した。その結果、強力粉200gにキチンNFを添加して製パンした場合にのみ、無添加の場合と比べ有意に膨らみが増した(図5a, b)。セルロースNFあるいはセルロースNFとキチンNFの1:1の混合液の添加では、無添加の場合と同程度であり、有意差は無かった(図5a, b)。

4. 考察

その形状や特徴的な物性から、セルロースNFは幅広い分野での応用利用が期待される新素材として注目されている。食品分野においては主に物性を利用した食品添加物としての利用が進められているが、他の添加物でも利用できる用途しかなく、本素材独自の用途開発はできていなかった。また、セルロースを小麦粉の代替材料として利用する低カロリーパンが検討されているが、多量のセルロースの添加はパンの膨化を妨げ、良好な膨らみを得るためのセルロース粒子径とその効果が評価課題となっている¹⁰⁾。それに対して、我々はセルロースと類似の構造をもつキチンをナノファイバー化することで、小麦粉量に対しわずか0.15%の添加でパンの膨化が可能な

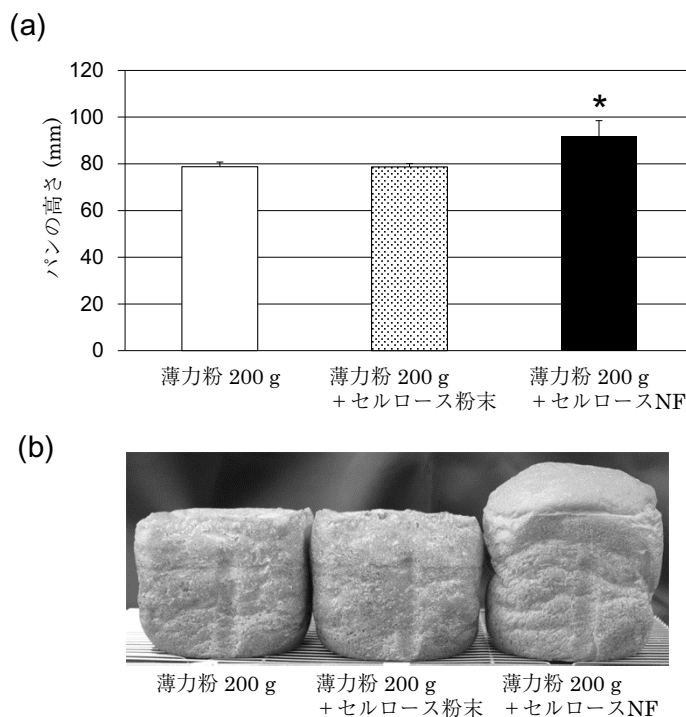


図3 セルロース添加パンの高さ(a)と形状(b)

平均値±標準誤差 (n=4-6). *: Student-t 検定により $p < 0.05$ にて対照区である薄力粉200gとの間に有意差あり。

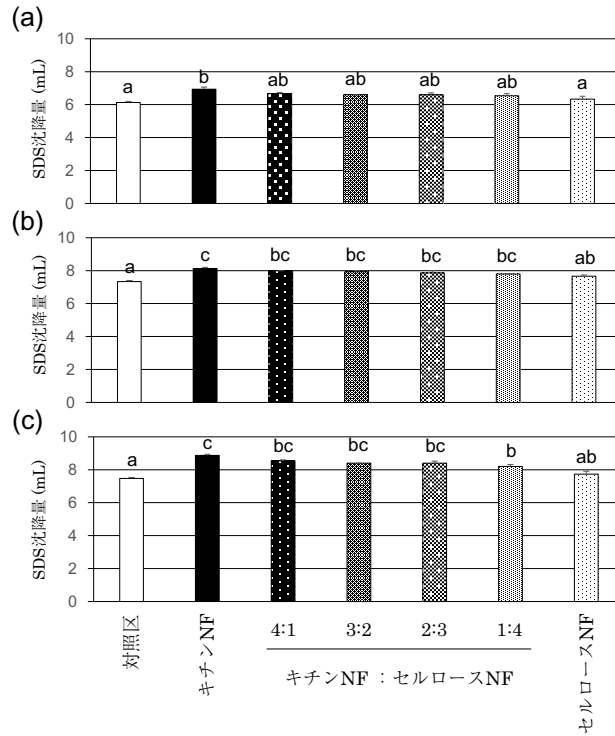


図4 ナノファイバーを添加した小麦粉の簡易物性評価

(a) 薄力粉, (b) 中力粉, (c) 強力粉. 平均値±標準誤差 (n=3).
各小麦粉においてTukey-KramerのHSD検定により, 異なるアルファベット間で $p < 0.05$ にて有意差あり.

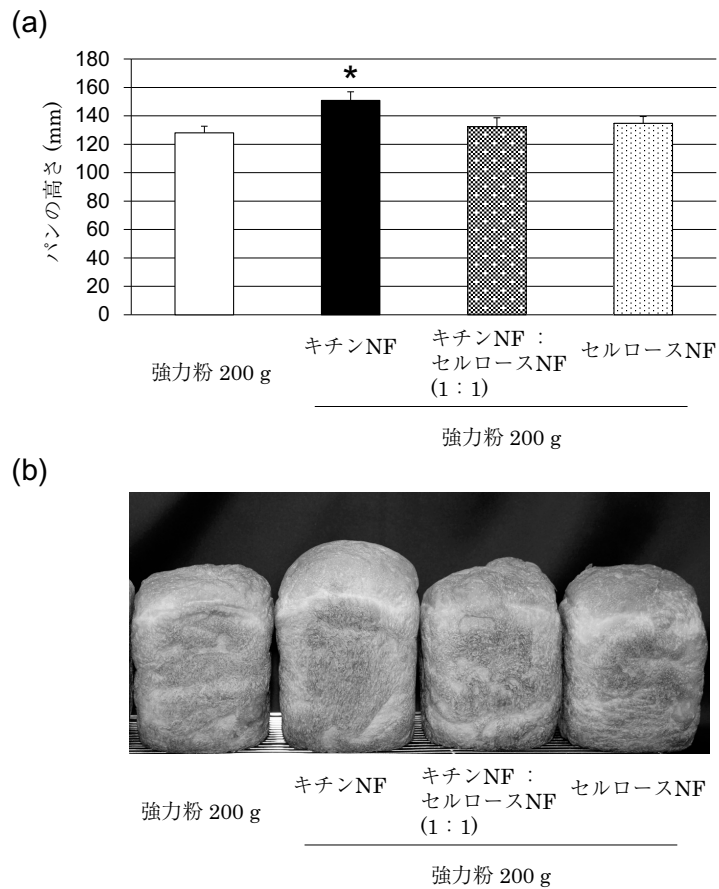


図5 ナノファイバー添加パンの高さ (a) と形状 (b)

平均値±標準誤差 (n=4). * : Student-t 検定により $p < 0.05$ にて対照区である強力粉200 gとの間に有意差あり.

ことを示してきた^{4,5)}。本研究では、先行研究の知見を基にセルロースNFに関して小麦粉への添加に伴う生地強度と製パン性への影響を調査した。その結果、予想通りセルロースNFの添加により小麦粉生地が強化されるとともに、キチンNFの場合と同じ量の添加によりパンの膨らみを向上可能であることが示された。また、キチンNFとの添加効果を定量的に比較した結果、セルロースNFよりもキチンNFを添加した方が、より小麦粉生地が強化され、製パン性が向上することが明らかになった。

セルロース添加小麦粉生地の簡易物性評価では、NF分散液を小麦粉へ添加することにより、SDS沈降量の高まりが観察できた。一方、セルロース粉末の添加では無添加と同程度のSDS沈降量であった。セルロース粉末は水に不溶性であるため、水中で沈降するが、セルロースNFは水中で均一分散可能である。そのため、NFの高分散性がSDS沈降量の高まりに寄与している可能性が考えられる。小麦粉生地強度の評価により、セルロースNFの添加による薄力粉生地強化の効果が確認され、SDS沈降量テストの結果を支持する結果が得られた。パンの膨らみ評価においては製パンに適さない薄力粉を用いたが、SDS沈降量テストおよび小麦粉生地強度試験の結果と同様に、セルロースNFの添加により有意にパンの膨らみが向上した。これらの結果はキチンならびにキチンNFを用いた際の結果⁴⁾と同様であった。セルロースNFとキチンNFはどちらも補強繊維としての優れた力学性能が評価されている^{7,11)}。そのため、NFの高分散性ならびに微小繊維構造が小麦粉生地の強化と製パン性の向上に寄与していると考えられる。

セルロースNFとキチンNFの小麦粉生地への添加効果を、これらの混合液も用いて簡易物性評価にて調べた結果、キチンNFのみを添加した場合にはどの小麦粉を使用した場合でも無添加の対照区よりも有意に高いSDS沈降量が示された。しかしながら、セルロースNFのみを添加した場合は、キチンNFのみを添加した場合と比べると明らかにSDS沈降量の高まりが少なく、キチンNF含量が増えるにつれSDS沈降量が高まる結果となった。また、タンパク質含量が多い強力粉を使うことで、キチンNFによる沈降量の増加傾向がよりはっきりと観察された。強力粉を用いたパンの膨らみ評価においても、同様の結果が示された。理論的なキチンNFの結晶弾性率は150 GPaと見積もられるとの報告がある¹²⁾。この値はセルロースNFの弾性率を上回る¹²⁾。また、小麦粉中の種子貯蔵タンパク質の主要な構成成分はグルタミン酸であり、カルボン酸を多く含む。一方、キチンは骨格の一部にアミノ基を有する。それゆえ、種子貯蔵タンパク質とキチンNFの間には静電的な相互作用がはたらいていると考えられる。さらに、キチンはアセトアミド基を有しているため、種子貯蔵タンパク質の分子間結合を構成するアミド結合と水素結合を形成していると容易に予想される。一方で、セルロースはアミノ基やアセトアミド基をもたないため、これらの相互作用や結合は起こらないと考えられる。以上の理由から、セルロースNFよりも優れた物性、なら

びに独自の静電的相互作用あるいは水素結合による種子貯蔵タンパク質との強力な結合により、キチンNFは種子貯蔵タンパク質により形成されるネットワーク構造をセルロースNFよりも強化可能であり、それに伴う製パン性の更なる向上を可能にしていると考えられる。

キチンNFについては、その添加により製パンに使用する強力粉量を減らしても十分なパンの膨らみが得られることを報告し、低カロリー食品の開発に活用できる可能性を示している⁴⁾。また、キチンNFには大腸菌炎症抑制効果があること¹⁶⁾、ならびに表面をキトサン化することで得られる表面キトサン化キチンNFにはキトサン同様の肥満抑制効果¹⁷⁾があることが明らかになっている。価格面ではセルロースNFには及ばないが、キチンNFにはセルロースNFにはないこれらの機能性を付与できることから、本素材は薄力粉から強力粉までの様々な小麦粉を用いた機能性食品の創出に利用可能であると期待される。

一方、セルロースNF活用の利点は、膨大な資源量と価格である。セルロースはパルプを原料として容易かつ安価に入手できる。植物細胞壁の原料としては、農業・食品の廃棄産物を利用することも可能であり、リンゴやナシからのセルロースNFの調製も報告されている¹³⁾。また、木材、稲ワラ、ポテトパルプの異なる植物原料よりセルロースNFを調製し、それらの物理的性質が大きく異なることが報告されている¹⁴⁾。さらに酢酸菌が糖類の発酵によって合成するバクテリアセルロースの利用も進んでいる¹⁵⁾。このことより、セルロースNFは、出発原料による制限を受けず、膨大な資源から安定的に調製して活用できる。セルロースNFによるパンの膨化効果は薄力粉を使用した際に観察できたが、強力粉を使用した場合には対象区との間に有意差は認められなかった。強力粉を用いて製パンを行うと対象区でもパンが膨化するが、薄力粉を用いた場合は全く膨化しない。このような対象区の膨化状態の違いから、強力粉よりも薄力粉を使用した場合の方が膨化効果の差を観察しやすい。そのため、小麦粉生地の強化効果が劣るセルロースNFの添加による製パン性の向上効果が、強力粉を用いた場合では十分に観察されなかったと考えられる。国内における小麦粉製品においては、パンの消費量が高いにも関わらず、国内産小麦の利用率が低い。国内産小麦はパン用に不向きなタンパク質含量が低い薄力粉、中力粉向け品種が多いため、セルロースNFがもつ製パン性の向上効果と価格面での優位性を活用することで、国内産小麦の使用用途範囲を拡大できると期待される。

本研究により、キチンNFの方がセルロースNFよりも小麦粉生地の強化と製パン性の向上の効果が高いが、セルロースNFの添加によっても十分にこれらの効果が期待できることが明らかになった。特に、価格面での優位性が高いセルロースNFが小麦粉量に対しわずか0.15%の添加でパンの膨化効果を示したため、キチンNFと比べてコストをあまり気にせず利用可能と考えられる。そのため、タンパク質含量の少ない薄力粉や中力粉やグルテン

を使用する食品に添加することで、強力粉の代わりとしての利用やグルテンの量を減らした食品の製造など、これまでの食品添加物を代替する用途で利用できると期待される。一方で、キチンNFによる効果も0.15%の添加で見られるが、添加コストを考えると、キチンNFについては小麦粉生地強化や製パン性の向上だけでなく、キチンNFだけがもつ健康機能性も発揮する食品の創出を目的とすることが、その産業利用において必須であるといえる。本研究での知見を活用するためには、より効果が高いNF量、繊維径などを明らかにすることが今後の課題であると考えられる。

謝 辞

本研究は、大学発新産業創出拠点プロジェクト（START、科学技術振興機構）、研究成果展開事業研究成果最適展開支援プログラムフェーズビリティスタディステージ探索タイプ（科学技術振興機構）、鳥取大学産学・地域連携推進機構・異分野融合研究の育成支援事業、科学研究費補助金（16H02998）、公益財団法人エリザベス・アーノルド富士財団、ならびに公益財団法人飯島藤十郎記念食品科学振興財団の助成を受けて実施されたものです。

引用文献

- 1) Isogai, A: Wood nanocelluloses: fundamentals and applications as new bio-based nanomaterials. *J Wood Sci* 59: 449-459, 2013
- 2) Lavoine, N, Desloges, I, Dufresne, A, Bras, J: Microfibrillated cellulose – Its barrier properties and applications in cellulose materials: A review. *Carbohydr Polym* 90: 735-764, 2012
- 3) Ifuku, S: Chitin and chitosan nanofibers: preparation and chemical modifications. *Molecules* 19: 18367-18380, 2014
- 4) 田中裕之, 江草真由美, 竹村圭弘, 岩田侑香里, 永江知音, 伊福伸介, 上中弘典: キチンナノファイバー添加小麦粉による製パン性の向上. *日本食品科学工学誌* 63: 18-24, 2016
- 5) 伊福伸介, 上中弘典, 阿部賢太郎: キチンナノファイバーの製造と応用開発, キチン・キトサンの最新科学技術 – 機能性ファイバーと先端医療材料 –, 日本キチン・キトサン学会, pp 125-139, 技報堂出版, 2016
- 6) Frater, R, Hird, JF, Moss, HJ, Yates, JRA: A role for thiol and disulphide groups in determining the rheological properties of dough made from wheaten flour. *Nature* 186: 451-454, 1960
- 7) Ifuku, S, Morooka, S, Nakagaito, AN, Morimoto, M, Saimoto, H: Preparation and characterization of optically transparent chitin nanofiber/(meth)acrylic resin composites. *Green Chem* 13: 1708-1711, 2011
- 8) Axford, DWE, McDermott, EE, Redman, DG: Small-scale tests of bread-making quality. *Milling Feed Fert* 66: 18-20, 1978.
- 9) Takata, K, Yamauchi, H, Iriki, N, Kuwabara, T: Prediction of bread-making quality by prolonged swelling SDS-sedimentation test. *Breed Sci* 49: 221-223, 1999
- 10) Seguchi, M, Tabara, A, Fukawa, I, Ono, H, Kumashiro, C, Yoshino, Y, Kusunose, C, Yamane, C.: Effects of size of cellulose granules on dough rheology, microscopy, and breadmaking properties. *J Food Sci* 72: 79-84, 2007
- 11) Nakagaito, AN, Yano, H: Novel high-strength biocomposites based on microfibrillated cellulose having nano-order-unit web-like network structure. *Appl Phys A* 80: 155-159, 2005
- 12) Vincent, JFV, Wegst, UGK: Design and mechanical properties of insect cuticle. *Arthropod Struct Dev* 33: 187-199, 2004.
- 13) Ifuku, S, Adachi, M, Morimoto, M, Saimoto, H: Fabrication of uniform cellulose nanofibers from parenchyma cells of pears and apples. *繊維学会誌*: 67, 86-90, 2011
- 14) Abe, K, Yano, H: Comparison of the characteristics of cellulose microfibril aggregates of wood, rice straw and potato tuber. *Cellulose* 16: 1017-1023, 2009
- 15) Jozala, AF, de Lencastre-Novaes, LC, Lopes, AM, de Carvalho Santos-Ebinuma, V, Mazzola, PG, Pessoa-Jr, A, Grotto, D, Gerenutti, M, Chaud, MV.: Bacterial nanocellulose production and application: a 10-year overview. *Appl Microbiol Biotechnol* 100: 2063-2072, 2016
- 16) Azuma, K, Osaki, T, Wakuda, T, Ifuku, S, Saimoto, H, Tsuka, T, Imagawa, T, Okamoto, Y, Minami, S: Beneficial and preventive effect of chitin nanofibrils in a dextran sulfate sodium-induced acute ulcerative colitis model. *Carbohydr Polym* 87: 1399-1403, 2012
- 17) Azuma, K, Ifuku, S, Osaki, T, Okamoto, Y, Minami, S: Preparation and biomedical applications of chitin and chitosan nanofibers. *J Biomed Nanotechnol* 10: 2891-2920, 2014



上中弘典 (Hironori KAMINAKA)

- 1994年 3月 京都府立大学農学部農芸化学科 卒業
 1996年 3月 京都府立大学大学院農学研究科農芸化学専攻修士課程 修了
 1996年 4月 日本学術振興会 特別研究員 (DC1)
 1999年 3月 京都府立大学大学院農学研究科農芸化学専攻博士課程 修了
 1999年 3月 博士 (農学) (京都府立大学)
 1999年 4月 生物系特定産業技術研究機構 派遣研究員 (独立行政法人農業生物資源研究所)
 2002年 4月 科学技術振興事業団 若手研究者海外派遣事業 長期在外若手研究員 (米国・ノースカロライナ大学チャペルヒル校)
 2004年 4月 米国・ノースカロライナ大学チャペルヒル校 博士研究員
 2004年10月 鳥取大学農学部生物資源環境学科 助手
 2007年 4月 鳥取大学農学部生物資源環境学科 助教
 2009年 4月 鳥取大学農学部生物資源環境学科 准教授
 2017年 4月 鳥取大学農学部生命環境農学科 准教授