

小麦「さとのそら」における穀粒の硬さと強度の特徴

大澤 実・石原 智・神谷未樹

要 旨

新たな加工品開発による6次産業化支援につなげるために、小麦「さとのそら」の特性調査を行った。調査は穀粒の微細構造観察と物理特性について実施し、試験には3品種、「さとのそら」「農林61号」「きたほなみ」を供試した。その結果、「さとのそら」は、「農林61号」と比較して、外表皮の表面が柔らかく厚さも薄いことが明らかとなった。外表皮の厚さと破断応力との間には有意な正の相関が認められていることから、「さとのそら」は外表皮の厚さが薄いために、穀粒硬度が低くなっていると考えられた。また、「さとのそら」のもろさ応力は、「農林61号」よりも小さいことから、「農林61号」よりも崩れにくい性質であった。「さとのそら」の柔らかい穀粒は、押し麦のような圧ぺん加工に向いていると考えられた。

結 言

「さとのそら」は2010年に品種登録された本県育成の小麦品種であり¹⁾、2014年播き実績における作付け面積は、各県への聞き取り調査によると群馬県(3,739ha)、埼玉県(3,892ha)、栃木県(640ha)、茨城県(3,875ha)の北関東地域を合計すると約12,000haである。さらに、北関東以外の地域においても、千葉県、神奈川県、三重県、岐阜県で奨励品種に採用され普及が進んでいることから、国産小麦の主要品種の一つといえる。

小麦は、収穫された後、通常、製粉会社に引き取られ、小麦粉に製粉されて利用される。しかし、6次産業化のような地域の個性や独自性が差別化のポイントとなるような利用を想定すると、従来の粉素材としての活用だけでなく、もっと幅広い活用、例えば粒素材としての活用等により、活用の幅を広げる必要がある。実際、海外における活用事例をみると、小麦を粒素材として活用したシリアルが定着しており、サラダ、リゾットなどの料理に活用されている(図1)²⁾。一方、国内における麦類の粒利用では、押し麦や精麦などの利用がみられるものの、使用されている素材は大麦であり、小麦の押し麦や精麦は見当たらない。その理由としては、小麦の外皮をうまく研削することは難しく手間がかかることが要因の一つと考えられる。

当センターでは2007年から小麦精麦の利活用について検討を重ね、これまでに、小麦の精麦技術の開

発(特開2007-49916)³⁾、栄養成分の分析⁴⁾、活用提案として小麦精麦を用いた麦味噌、および機能・成分解析として麦味噌の熟成と抗酸化性の特徴について報告してきた⁵⁾。そして、群馬県食品産業協議会、後にはJAたかさきを通じた小麦精麦の供給により、一部県内旅館等で小麦精麦を活用したメニューが提供されるなど、一定の成果をあげている。しかし、小麦精麦を利用した土産物や二次加工品の開発に至っていない現状をみると、新たな加工品開発のためには、素材の新しい特徴の発掘が必要と考えられる。そこで、これまで検討してこなかった小麦穀粒の微細構造と物理特性に着目し、電子顕微鏡による外皮構造の観察、クリープメーターによる穀粒物性の測定、微小硬度計による微小硬度測定および微小圧縮試験機による微小圧縮強度測定を行った。あわせて、6次産業化支援の目的で、穀粒の硬さと強度の特徴を生かした加工技術として小麦押し麦の簡易製造方法を提案したので、そのことについて報告する。



図1 小麦粒を利用した商品と料理
シリアル(左)とリゾット(右)

試験方法

1 供試材料

前橋市産(2013年)小麦を使用して試験を行った。品種は「さとのそら」、比較品種として「農林61号」および「きたほなみ」を用いた。「農林61号」は「さとのそら」が取って替わるまでの関東東海地域の主力小麦品種である。一方、「きたほなみ」は日本めん用として現在最も評価の高い北海道育成の小麦品種であり、品種改良における目標品種の一つである。供試した小麦粒のタンパク質含量は8.5~9.9%、水分含量は12.6~12.9%であり(表1)、胚乳は粉状質(軟質小麦)である。

2 小麦穀粒外皮の微細構造の観察

穀粒外皮を対象に、走査型電子顕微鏡VE-8800S(キーエンス)を用い、カーボン蒸着によりSEM観察を行った。

3 小麦穀粒の破断応力

穀粒の破断応力等の物理特性はクリープメーターRE2-33005C(山電)を用いて測定した。測定条件は、ロードセル200N、測定速度0.5mm・秒⁻¹、測定ゆがみ率80%、プランジャーNo3(φ16.5×H25mm)で行った。測定には各品種60粒を供試し、その平均値を測定値とした。

4 小麦穀粒外表皮の微小硬度

ダイナミック微小硬度計DUH-211(島津製作所)⁶⁾を用いて測定した。測定条件は、試験力10gf、負荷保持時間10秒、圧子の種類triangular115、負荷速度1.0(1.3587gf・秒⁻¹)で行った。測定は10粒の外表皮について行い、その平均値を測定値とした。なお、本報告では、小麦穀粒表面の硬さを外表皮(図2)の硬さとした。

5 デンプン粒の圧縮強度

微小圧縮試験機MCTM500(島津製作所)⁷⁾を用いて測定した。測定対象は直径20~25μmの一次デンプン

粒とし、検鏡により選別した一次デンプン粒を、圧子の種類FLAT50、負荷速度5.0(0.0910gf・秒⁻¹)、計算圧縮率15.00で測定した。測定回数は3粒×5反復とし、その平均値を測定値とした。

6 小麦穀粒のSKCS硬度

単一穀粒分析装置SKCS4100(Perten)を用いて測定を行った。測定粒数は300粒である。SKCS硬度は小麦の育種や栽培試験において、収穫物の均一性や製粉特性の指標として活用されている硬さ指標である。

結果

1 小麦穀粒外皮の微細構造

小麦粒の組織は、果皮、種皮、糊粉層(アリユロン層)からなる外皮とデンプンを主体とする胚乳部で構成されている。なお、本報告では外皮から糊粉層を除いた画分を外表皮と表現することとする。外皮の形態観察では、厚さに違いが認められ、「さとのそら」と「きたほなみ」は、「農林61号」と比較して外皮および外表皮の厚さが薄い構造であった(図2)。また、「農林61号」では、外表皮が緻密に詰まった様相を呈していた。

2 小麦穀粒の破断応力

破断試験結果における最高荷重は破断力を、最高荷重と最低荷重の差がもろさを示し、各々を単位面積当たりに換算した数値が破断応力、もろさ応力である。本研究における破断試験では、品種による違いが認められ(図3)、「さとのそら」と「きたほなみ」は、「農林61号」と比較して破断応力ともろさ応力が小さかった(表1)。破断応力は、その値が大きいほど「硬い」ことを、もろさ応力は、その値が大きいほど「もろい」ことを示す。供試した3品種の中では、「農林61号」が一番硬くてもろい結果であった(図4)。

表1 試料小麦のSKCS硬度、破断試験結果、外表皮の厚さと硬さおよびデンプン強度

品種	原麦		クリープメーター		外表皮		デンプン粒 圧縮強度 kgf・mm ⁻²	
	タンパク質 %	水分 %	SKCS 硬度	破断応力 ×10 ⁶ Pa	もろさ応力 ×10 ⁴ Pa	厚さ μm		微小硬度 DTH115
さとのそら	9.7	12.6	12.8	10.1	5.3	31	2.2	4.9
農林61号	9.9	12.7	27.2	11.6	10.0	40	6.1	4.1
きたほなみ	8.5	12.9	20.5	9.9	3.3	29	9.0	3.7



図2 小麦粒断面の電子顕微鏡観察
走査型電子顕微鏡VE8800S（キーエンス）を用い、カーボン蒸着によるSEM観察（750×）果皮、種皮、糊粉層を合わせた画分を外皮、外皮から糊粉層を除いた画分を外表皮とした

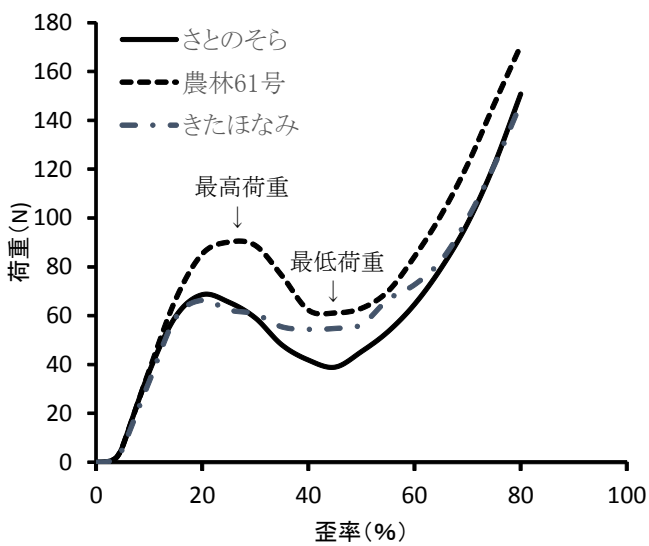


図3 破断試験結果
図中の最高荷重、最低荷重は農林61号における各々を例として示す
最高荷重は破断力の大きさを、最高荷重と最低荷重の差はもろさを示す

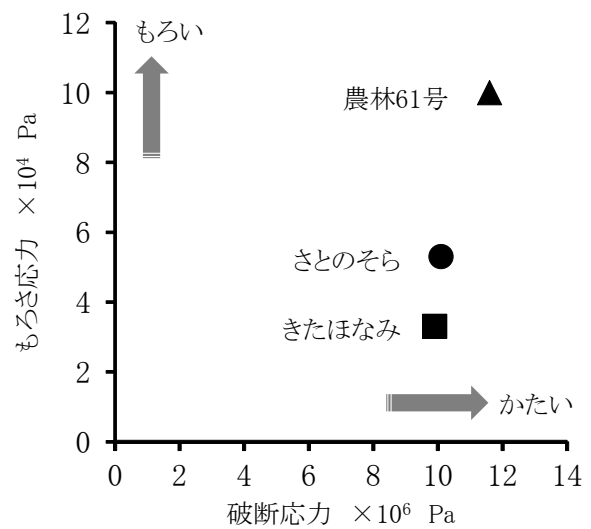


図4 破断応力ともろさ応力の散布図

3 小麦穀粒外表皮の微小硬度

穀粒表面の微小硬度は、「農林61号」と比較して、「さとのそら」は柔らかく、「きたほなみ」は逆に硬い結果であった(表1)。

4 デンプン粒の圧縮強度

微小圧縮試験におけるデンプン粒の圧縮強度は、「さとのそら」の値が一番大きく、「農林61号」は中間、「きたほなみ」の値が一番小さくなった(表1)。

5 小麦穀粒のSKCS硬度

SKCS硬度は「さとのそら」の値が一番小さく、「農林61号」で最も大きな値となった(表1)。「きたほなみ」は「さとのそら」と「農林61号」の間であった。

考 察

素材の特徴を生かした加工品開発による6次産業化支援を目的に、小麦「さとのそら」穀粒の微細構造観察と物理特性の調査を行った。小麦「さとのそら」は本県で育成された小麦品種であり、これまでに栽培特性や製粉特性等について、様々な調査検討が行われている^{8, 9, 10, 11, 12)}。また、加工利用については、従来の製粉利用の他に、小麦精麦での活用提案が行われ、小麦精麦を活用した料理メニューの開発が進められてきたところである。しかし、現状では土産物となるような二次加工品の開発は進んでおらず、新たな加工品開発のためには、素材の新しい特徴の発掘が必要と考えられる。そこで、これまでに検討してこなかった小麦穀粒の微細構造と物理特性に着目し、小麦「さとのそら」の新しい特徴の発掘を試みた。

本研究における外皮の微細構造観察では、「さとのそら」と「きたほなみ」は、「農林61号」と比較して外表皮および外皮の厚さが薄い構造であった。池田ら¹³⁾は「きたほなみ」の外表皮が「農林61号」と比較して薄いことを報告しており、今回の結果はそれと矛盾しない結果であった。このことは、「さとのそら」は「きたほなみ」と同様に外表皮が薄いタイプの穀粒であることを示唆するものである。

次に小麦穀粒の物理特性について考察する。外表皮の厚さや硬さは穀粒の物性に大きく関与している。佐竹ら¹⁴⁾は、小麦穀粒の微細構造と物性を関連づけた研究の中で硬質小麦と軟質小麦との比較を行い、果皮の硬さは硬質小麦のほうが軟質小麦より

も硬い組織で覆われていることを報告している。すなわち、硬質小麦と軟質小麦では外表皮の硬さに違いがあるということを示している。それに対し、本研究における供試品種は全て軟質小麦であるが、外表皮の硬さには、品種間で違いが認められた。このことは、小麦品種の硬軟質の違いだけでなく、軟質小麦品種間においても外表皮の硬さに品種間差が存在することを示すものである。

また、佐竹ら¹⁴⁾は同時に、硬質小麦、軟質小麦ともに果皮の最外層の硬さが特に硬く内部に移るにつれて硬さが低下すること、デンプン単粒の圧壊強度は軟質小麦のほうが硬質小麦よりも大きく損傷デンプンが発生しにくいことを報告している。損傷デンプンは、デンプンの吸水性や保水性に影響を及ぼし^{15, 16)}、その含有量の多い粉は吸水量は多くなるものの保水性が劣る。そのため、食品加工原料としては損傷デンプン含量の少ないものが好まれる。本試験におけるデンプン粒の圧縮強度は、「さとのそら」の値が一番大きく、「農林61号」は中間、「きたほなみ」の値が一番小さい結果であった。このことから、「さとのそら」は供試した3品種の中で最も損傷デンプンが発生しにくいと考えられる。この点は「さとのそら」の優位な特性といえよう。

また、一ノ瀬ら¹⁷⁾は、小麦の色相支配要因を解析するなかで、「きたほなみ」はアラビノキシラン量当たりのジフェルラ酸結合量が多いため、種皮の柔軟性が低いことを示している。このことは、「きたほなみ」の外表皮が最も硬い結果であったことと関連があると考えられる。一方、「さとのそら」は外表皮が柔らかい結果であったことから、「きたほなみ」とは異なり、ジフェルラ酸結合量が少ないと推察されるが、詳細は不明であり、その点は今後の検討課題として残されている。

測定項目間の相互関係を明確にするために、破断応力や外表皮の厚さ等の各測定項目間の相関係数を表2にまとめた。これによると、外表皮の厚さと破断応力との間に有意な正の相関が認められている。また、外表皮の厚さは、もろさ応力にも影響を及ぼしているようである。これらのことから、外表皮の厚さは小麦穀粒の物性を決定する主要な支配要因と推察される。また、外表皮の微小硬度とデンプン粒の強度との間には負の相関傾向が示されている。すなわち、詳細は不明だが、外表皮の硬い穀粒はデンプン粒が柔らかい傾向にあるということである。このことは佐竹ら¹⁴⁾が硬質小麦と軟質小麦の比較で

表2 主な測定項目の単相関係数

	SKCS 硬度 HI	破断 応力 $\times 10^6 \text{Pa}$	もろさ 応力 $\times 10^4 \text{Pa}$	最低 荷重 N	外皮 厚さ μm	外表皮 微小硬度 DTH115	デンプン粒 圧縮強度 $\text{kgf}\cdot\text{mm}^{-2}$
SKCS硬度	—						
破断応力	0.783	—					
もろさ応力	0.653	0.983	—				
最低荷重	0.982	0.651	0.499	—			
外皮厚さ	0.742	0.998*	0.992+	0.602	—		
外皮表面微小硬度	0.604	-0.023	-0.209	0.743	-0.087	—	
デンプン粒圧縮強度	-0.684	-0.082	0.105	-0.810	-0.019	-0.994+	—

表中の*印は5%水準で、+印は10%水準で有意であることを示す
相関係数は供試3品種の各測定値を用いて求めた(n=3)

表3 「さとのそら」の外表皮の形態と穀粒の物性の「農林61号」を標準とした相対評価

項	目	さとのそら	農林61号	きたほなみ
外表皮	厚さ	薄	並	薄
	硬さ	柔	並	硬
胚乳(デンプン)	圧縮強度	やや大 (やや硬)	並	やや小 (やや柔)
穀粒	破断応力	やや小 (やや柔)	並	やや小 (やや柔)
	もろさ応力	小 (壊れにくい)	並	極小 (極壊れにくい)
	SKCS硬度	小 (柔)	並	やや小 (やや柔)

示した、硬質小麦の方が穀粒の表面が硬くデンプン粒の強度が低い、という結果と矛盾していない。品種の特徴を整理する目的で、小麦穀粒外皮の形態観察の結果と物性測定の結果を、「農林61号」を標準にした相対評価として表3にまとめた。「さとのそら」の特徴は、外表皮が柔らかく厚さも薄く、小麦穀粒が柔らかい（SKCS硬度；小）ことである。しかし、穀粒は「農林61号」ほど、もろくない（もろさ応力；小）。一方、「きたほなみ」は外表皮は硬いが厚さが薄く、穀粒の硬さが「農林61号」と「さとのそら」の中間（SKCS硬度；やや小）である。そして、3品種の中で最も穀粒がもろくなく（もろさ応力；極小）、壊れにくい特徴を有する。

明らかになったこれら品種の違いの中で、特に外表皮の形態的特徴について、やや視点を変え、品種改良の視点で考えてみたい。小麦の品種改良における3つの柱は①収量性の向上と安定化、②製粉性の向上、③粉の色相改善、である。今回試験に供試した3品種の育成年あるいは品種登録年をみると、「農林61号」の育成年は1944年、「さとのそら」の品種登録は2010年、「きたほなみ」は2009年である。言

い替えると、「農林61号」は「昔の品種」、それに対し「さとのそら」と「きたほなみ」は「最近の品種」である。「農林61号」の育成から、「さとのそら」「きたほなみ」の誕生までに60年以上の年月が経過している。この間、品種育成者は製粉性の向上を目標に掲げ、選抜を繰り返している。外表皮が薄いことは、製粉性における皮離れなどの点で有利である。製粉性の改善された系統の選抜を重ねてきた結果として、「最近の品種」（「さとのそら」「きたほなみ」）は「昔の品種」（「農林61号」）と比較して外皮が薄くなってきているのかもしれない。

本研究の最終的な目標は素材の特徴を生かした加工品を開発し、6次産業化に貢献することである。そこで、「さとのそら」の穀粒が柔らかい特徴を生かした活用方法を検討した。まずは、過去の試験結果と照らし合わせてみることから始めた。当センターでは小麦精麦技術の開発の際に、「さとのそら」は精麦の作業効率が良いことを経験していた。その経験を今回の結果と考え合わせてみると、それは「さとのそら」の外皮が薄く、表面が柔らかいという特徴に由来していたと考えられた。一方で、精麦以外



図5 家庭用製麵機を利用した押し麦製造



図6 小麦押し麦の活用事例

クッキー、シリアルバー、チョコランチ等

では、穀粒が柔らかく崩れにくい性質は、押し麦のような圧ぺん加工に適応があると考えた。麦類の穀粒利用に目を向けると、既存の押し麦は大麦を原料に使用しており、小麦の押し麦は存在しない。また、6次産業に適した小型の押し麦製造機も存在しない。そこで、家庭用小型製麵機を活用した押し麦製造方法を提案した(図5)。あわせて、原料に小麦精麦を用いると良いこと、製造をスムーズに行うためには吸水量を40%とし、低温で吸水させる必要があること等の条件を明らかにし、県内の普及指導員向けの技術資料(2017年 普及指導員資料)としてとりまとめを行った。この技術は、女性農業者グループ等で簡便に利用することができることから、地域小麦を活用した加工品作りが期待できる。現在までのところ、この技術を利用した小麦押し麦入りのクッキー、乾燥野菜と組み合わせたシリアルバー等(図6)が試作され、地域小麦の活用利用されている。

謝辞

試験実施にあたり、東洋大学生命科学部長坂征治教授、群馬県立産業技術センター五十嵐昭独立研究員に協力と助言をいただいた。ここに記して厚く感謝の意を表す。

引用文献

1)高橋利和ら. 2010. 小麦新品種「さとのそら」の育成. 群馬県農業技術センター研究報告. 7: 1-12
 2)http://www.ebly.fr/ (2017/8/25 閲覧)
 3)高畑浩之. 小麦の精麦方法及び小麦を利用した味

噌の製造方法及び装置. 特開2007-49916

4)高畑浩之ら. 2014. 小麦精麦の成分と利用. 群馬県農業技術センター研究報告. 11: 87-88
 5)高畑浩之. 2011. 県産小麦の精麦を活用した地域農産加工品の開発. 群馬県農業技術センター研究報告. 8: 1-10
 6)山本靖則ら. 1993. 島津ダイナミック超微小硬度計DUH-201, 201Sについて. 島津評論. 50: 321-329
 7)垣尾尚史ら. 1991. 島津微小圧縮試験機MCTM/MCTEシリーズの機能と応用. 島津評論. 48: 71-75
 8)大澤実ら. 2012. 群馬県における秋播性早生コムギ品種さとのそらの生育・収量特性. 日本作物学会紀事. 81: 343-348
 9)渡邊和洋ら. 2016. 生育後期重点施肥がコムギの生育と収量に及ぼす影響. 日本作物学会紀事. 85: 373-384
 10)蒲田淳ら. 2015. 小麦新品種「さとのそら」専用肥料の開発と生育特性について. 日本土壌肥料学会講演会要旨集. 61: 257
 11)大澤実ら. 2010. 異なる地域で栽培されたコムギ新品種「さとのそら」の収量性. 日本作物学会講演会要旨集. 230th: 66-67
 12)大澤実ら. 2011. コムギ「さとのそら」と「農林61号」における幼穂長推移の品種間差異. 日本作物学会講演会要旨集. 232th: 72
 13)池田達也. 2008. 製粉歩留りの高い「きたほなみ」は外表皮と胚乳細胞壁が薄い. 近畿中国四国農業研究センター2008年成果情報
 14)佐竹覺ら. 2000. 小麦粒の組織と硬さおよび強度に関する研究. 農業機械学会 62: 37-49
 15)庄子真樹ら. 2012. 製粉方法の異なる米粉の粉

体特性と吸水特性の評価. 日本食品科学工学会誌.
59 : 192-198
16) Matsuki, Jら. 2015. Development of a simple
method for evaluation of water absorption rate
and capacity of rice flour samples. Cereal

Chemistry. 83 : 465-471
17) 一ノ瀬靖則ら. 2010. 良色相小麦品種の色相支
配要因の解析. 日本作物学会講演会要旨集. 229th
: 366-367

(Key Words : ‘Satonosora’ , Pearled wheat, Hardness, Rolled wheat)

Characteristics of Hardness and Stiffness of Wheat Grain 'Satonosora'

Minoru OSAWA, Satoru ISHIHARA, Miki KAMIYA

Summary

To support the development of the sixth-order industry which is primary producer's diversification in processing and distribution, by the development of new processed foods, characteristics of the wheat cultivar Satonosora were investigated. The investigation was conducted with respect to microstructural observations and physical characteristics of the grain, and 3 varieties, namely Satonosora, Norin 61, and Kitahonami, were subjected to examination. The results clearly showed that the epicuticular surface of Satonosora was softer and thinner than that of Norin 61. Based on the fact that there is a significant positive correlation between epicuticular thickness and breaking stress, the hardness of Satonosora grain was considered to be low, because of the thinness of the epicuticle. Additionally, because of its lower brittleness under stress than that of Norin 61, Satonosora showed higher resistance to disintegration than Norin 61. It was considered that because of its softness, Satonosora grain is suitable for flaking, such as for rolled wheat production.