

アレルギー性、抗アレルギー性一次評価用 DNA チップの開発と利用

食品総合研究所
食品機能研究領域 機能性評価技術ユニット
小堀真珠子

はじめに

花粉症、喘息、アトピー性皮膚炎、食物アレルギー等のアレルギー性疾患の患者数と関節リウマチ等のリウマチ性疾患の患者数を合わせると、国民のおよそ30%以上にのぼると言われており、今後も増加すると予想されている。リウマチは炎症を伴う自己免疫疾患の一種であり、アレルギーや免疫疾患では、体内でサイトカインと呼ばれる様々なタンパク質がつくられ、アレルギー反応や炎症反応を引き起こすことが知られている。これらの免疫アレルギー疾患と食生活のとの関わりは深く、食品が食物アレルギーの原因となる一方で、食生活の改善によりアレルギーの症状や関節炎が緩和できると期待されている。

そこで、私達はアレルギーや炎症反応で増加するサイトカイン等の遺伝子を搭載するDNAチップを開発し、食品成分が示すアレルギー・炎症抑制効果の評価を行った。

アレルギー性、抗アレルギー性評価用DNAチップの開発

免疫・アレルギー反応が起こると、体内では様々なメッセンジャーRNA (mRNA) が作られ、そこからサイトカインと呼ばれるタンパク質が産生される。このタンパク質の産生に至るmRNAの産生を遺伝子発現と呼ぶが、免疫・アレルギー反応が起こっている組織の遺伝子発現変化は大きく、また特徴的であることが知られている。そこで私達は、免疫・アレルギー反応で増加する約200の遺伝子の発現変化を測定することにより、アレルギーや炎症の状態と食品成分によるその抑制効果の評価するDNAチップを開発した。図1は三菱レイヨンと共同で開発したアレルギー性・抗アレルギー性評価用DNAチップ（「アレルギーチップ ジェノパール[®]」）の画像とDNAチップを用いた炎症反応の評価例である。マクロファージは関節リウマチやアレルギーの組織で炎症を引き起こす。このマクロファージによる炎症反応は、バクテリアの細胞壁多糖（リポ多糖（LPS））を作用させることによっても起こることから、マクロファージにLPSを添加して炎症反応を誘導した細胞とLPSを添加していない細胞からRNAを抽出、蛍光標識して、DNAチップで測定した。その結果、炎症を起こしていないマクロファージ（A）の測定画像に比べ、LPSにより炎症が起こったマクロファージ（B）の測定画像では、より多くのスポットが明るく染色された。各スポットはそれぞれ異なる遺伝子に対応しており、また明るい程発現量が多いことを示している。LPSにより炎症反応が誘導された細胞では、搭載した209遺伝子のうち、炎症反応に関わる65遺伝子の発現が蛍光強度で3倍以上に増加することが明らかになり、開発したDNAチップを用いて炎症反応で誘導される遺伝子が効率よく検出できることが示された¹⁾。

また、これらのマクロファージを用いて、DNAチップ及び定量RT-PCRによる測定結果を比較した結果、開発したDNAチップの測定結果は定量PCR法と高い相関（相関係数 $r=0.93$ ）があり定量性のよい評価が可能であることが確認できた²⁾。

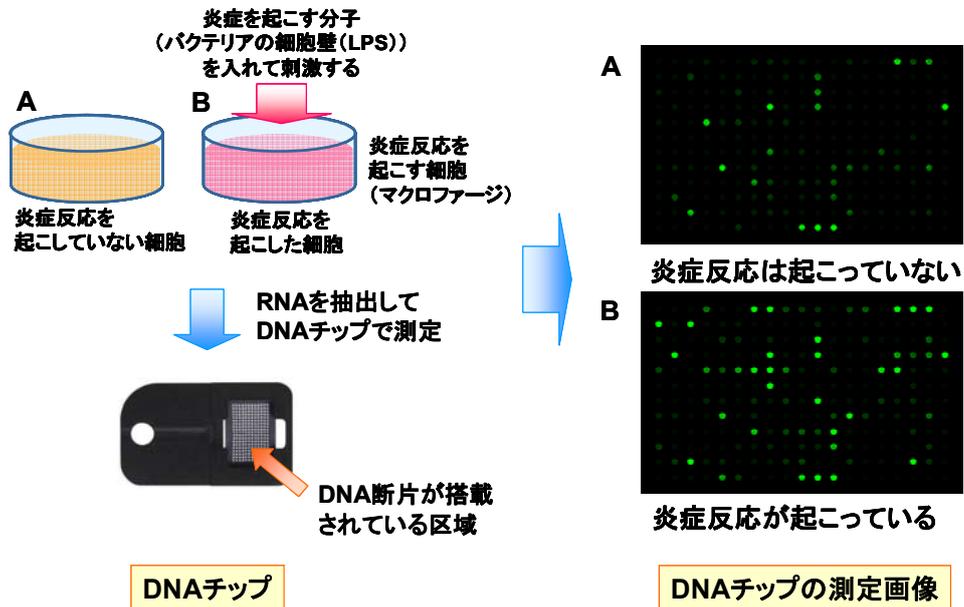


図1 アレルギー性、抗アレルギー性評価用DNAチップ（アレルギーチップ ジェノパール[®]（三菱レイヨン））を用いた炎症反応の評価例

ニガウリの炎症抑制効果の評価

開発したDNAチップを用いて、マクロファージの炎症反応が評価できたので、次に、食品成分の炎症抑制効果の評価を行った。ニガウリ (*Momordica charantia* L.) は、その苦みから健胃効果を示すこと等が期待されている。私達は、まずニガウリの抽出物をLPSと共に添加することにより、マクロファージにLPSで誘導される炎症性サイトカインTNF α の産生が抑制されることを明らかにした。そこで、DNAチップを用いて、LPSで炎症反応を誘導したマクロファージと、LPSと共にニガウリ抽出物を添加して培養したマクロファージの遺伝子発現を測定した結果、ニガウリ抽出物を添加したマクロファージでは、LPSで誘導されるすべての炎症性遺伝子の発現が、無処理のコントロールと同程度にまで抑制された (図2)¹⁾。このことは、ニガウリの抽出物がマクロファージにLPSで誘導される炎症反応を抑制することを示している。私達は、更に、ニガウリ搾汁液を毎日経口投与することにより、マウスにLPSで誘導された関節炎がより早く回復することを示唆する結果を得ている。また、またニガウリの抽出物より炎症性サイトカイン産生抑制効果を示す成分として、4種のリゾレシチン (1- α -linolenoyl lysophosphatidylcholine (LPC), 2- α -linolenoyl LPC, 1-lynoleoyl LPC及び2-linoleoyl LPC) を単離・同定した¹⁾。

フィセチン及びモウセンゴ抽出物のアレルギー抑制効果の評価

マスト細胞は、抗原及び抗原に対して産生されたIgE抗体の作用によりIgEレセプターを介して活性化され、ヒスタミン等の炎症メディエーターを放出すると共に、サイトカインを産生することによって、花粉症等のアレルギーの症状を発症させる。また、マスト細胞は活性化したT細胞膜によっても活性化されて、炎症性メディエーターの放出やサイトカイン

の産生を誘導するが、活性化T細胞によるマスト細胞の活性化は喘息の慢性化や重症化の原

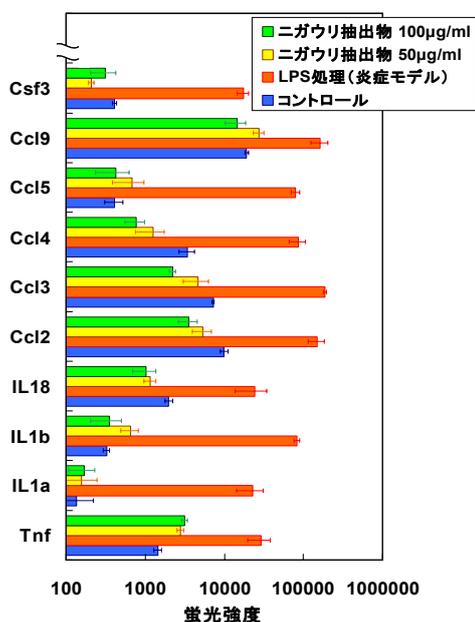


図2 ニガウリ抽出物がLPSでマクロファージに誘導される遺伝子発現に及ぼす影響

ニガウリ抽出物を添加することにより、マクロファージにLPSで誘導される炎症性遺伝子の発現が抑制された。

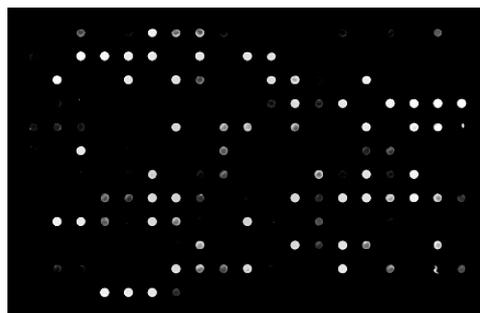


図3 活性化したヒトマスト細胞の測定画像
マスト細胞の活性化により、34遺伝子の発現が蛍光強度で3倍以上に上昇した。

因となることが報告されている。図3は、活性化T細胞膜によって活性化されたヒトマスト細胞における遺伝子発現をアレルギー性・抗アレルギー性評価用DNAチップで測定した画像である。マスト細胞の活性化により、炎症反応とは異なる発現パターンで、サイトカインや細胞膜タンパク質等の34遺伝子の発現が蛍光強度で3倍以上に誘導され、DNAチップによりアレルギーに関わるマスト細胞の活性化を評価することができた。

そこで、イチゴ等に含まれるフラボノイドのフィセチンを活性化T細胞膜と共にマスト細胞に添加して、マスト細胞の活性化に及ぼす影響を検討した結果、フィセチンは活性化により誘導された全ての遺伝子発現を抑制し、マスト細胞の活性化を抑制することが明らかになった³⁾。またフィセチンは、IgE抗体及び抗原によるマスト細胞の活性化も抑制した³⁾。

また、モウセンゴケは、伝統薬として、ヨーロッパ等で喘息等の治療に用いられてきた。そこで、モウセンゴケの抽出物を活性化T細胞膜と同時にマスト細胞に添加して、マスト細胞の活性化に及ぼす影響を検討した結果、モウセンゴケの抽出物は3種の例外を除いたすべての遺伝子発現を強く抑制し、マスト細胞の活性化を抑制すること明らかになった⁴⁾。

おわりに

以上のように、アレルギー性、抗アレルギー性評価用DNAチップを開発し、マクロファージの炎症反応及びアレルギーに関わるマスト細胞の活性化を評価すると共に、食品成分による抑制効果を明らかにすることができた。開発したDNAチップは、アレルギー及び炎症に関わる多数の遺伝子を同時に測定することができ、また再現性及び定量性が良いこと

から、ヒトや動物組織でのアレルギーや炎症の状態、及び食品成分のアレルギー、炎症抑制効果の評価に利用することができる。また、その他、化粧品等の安全性試験において、動物実験の代替法として注目されている再構成ヒト表皮モデルを用いて、皮膚刺激性の評価を行い、刺激性物質Sodium dodecyl sulfate (SDS)の刺激によりサイトカイン等の10遺伝子の発現が誘導されることを確認しており、様々な応用も期待できる⁴⁾。培養細胞だけでなく、モデル動物を用いた評価も可能であるが、目的にあった適切なモデル系を構築して測定サンプルの調整を行う必要があることから、評価には専門的知識と技術が必要である。今後は多様な応用例とより簡便な評価法を示していきたい。

参考文献

- 1) Kobori, M., Nakayama, H., Fukushima, K., Ohnishi-Kameyama, M., Ono, H., Fukushima, T., Akimoto, Y., Masumoto, S., Yukizaki, C., Hoshi, Y., Deguchi, T. and Yoshida, M., Bitter gourd suppresses lipopolysaccharide-induced inflammatory responses. *J. Agric. Food Chem.*, **56**, 4004-4011 (2008).
- 2) 三菱レイヨンホームページ、http://www.mrc.co.jp/genome/application/allergy_gx.html
- 3) Fukushima, K., Nagai, K., Hoshi, Y., Masumoto, S., Mikami, I., Takahashi, Y., Oike, H., Kobori, M. *Drosera rotundifolia* and *Drosera tokaiensis* suppress the activation of HMC-1 human mast cells. *J. Ethnopharmacology* **125**, 90-96 (2009).
- 4) K. Nagai, K., Takahashi, Y., Mikami, I., T. Fukusima, T., Oike H. and Kobori M., Fisetin suppresses mast cell activation induced by interaction with activated T cell membranes. *Br. J. Pharmacol.*, (2009), in press,
- 5) Niwa, M., Nagai, K., Oike, H., Kobori, M.: Evaluation of the skin irritation using a DNA microarray on a reconstructed human epidermal model. *Biol. Pharm. Bull.* **32**, 203-208 (2009).

二方向引っ張り試験による業務用カットキャベツの加工適性評価

食品総合研究所

食品機能研究領域食品物性ユニット

神山 かおる

はじめに

近年、野菜は従来の生食用ばかりではなく、業務用に一次加工された後に流通するものが増えている。食の安心・安全の観点から、加工・業務用の原料としても国産農産物が好まれており、そのニーズは周年的にある。しかしながら、野菜は収穫期が短いため、端境期が存在することも多い。例えば、外食、弁当・総菜、ホテル等で需要が多い、千切りや角切りのキャベツは、国産原料が4~5月に不足する。

そこで、加工・業務用キャベツの力学特性について、加工適性に優れるものを選定するため、機器による力学特性評価法を開発した。とくに、同時入手が困難な試料間についても客観的に比較することを目指した。例として、端境期に当たる春期にカット用原料として提供可能な国産のキャベツを取り上げ、品種、栽培条件、貯蔵条件等の影響を検討した結果を述べる。

二方向引っ張り試験の方法

次のような手順で、試験を行う。

1. キャベツの外側から数えて第五葉を用い、第二葉脈に対し平行と直交方向に短冊状(10mm×60mm)の試験片を、できるだけ広い部位を含むように、それぞれ10片程度調製する(図1)。この試験片は、カットキャベツのモデルである。

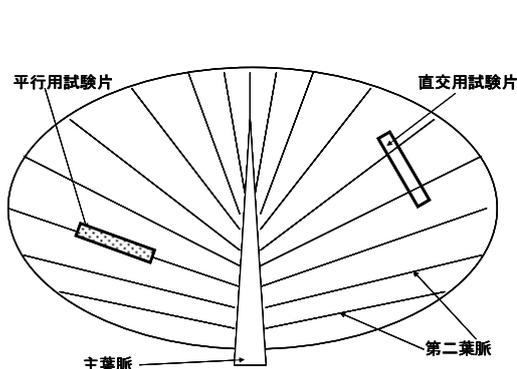


図1. キャベツ第五葉から試験片調製の模式図.

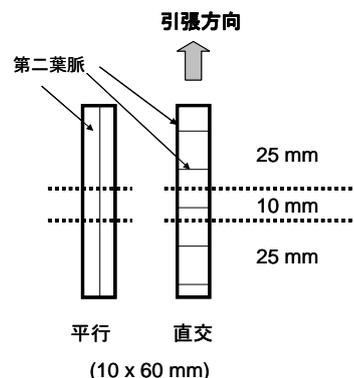


図2. 試験片と引張方向の関係.

上下25mm部分をチャックで挟み引っ張り破壊する。

2. 試料片の上下25mm部分を、インストロン製万能力学測定装置の引張用チャックで挟み、毎分250mmの等速で引っ張り、破壊するまでの荷重値を測定する(図2)。等速で稼働し、連続的に荷重を測定することができる装置であれば、機種は問わない。
3. 第二葉脈に直交方向に引っ張ると、薄い葉肉部分が破壊される。この破壊力は、従来行われていた葉の貫入破壊試験結果とよく相関した(図3)。この性質は、繊維に沿って破壊される葉肉の性質であることがわかった。
4. 一方、図4に示すように、第二葉脈に平行方向に引っ張る時に得られる力学特性は、直交方向の試験で得られた結果よりも強度が高かった。平行方向に引っ張ると、噛みごたえや筋っぽさ等と関係すると考えられる、葉脈を含む部位の破壊、すなわち繊維を切るときの力学特性が評価できる。

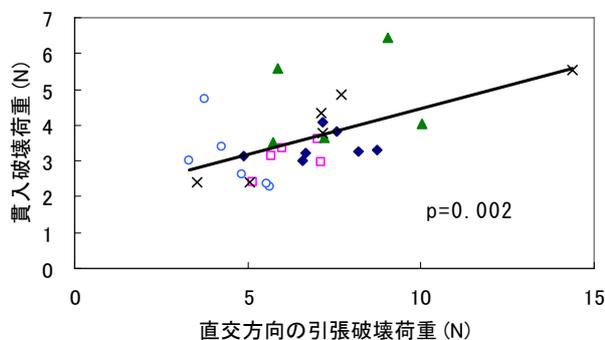


図3. 葉脈に直交方向の引張試験と貫入試験における破壊荷重の関係.

同じ記号は同一個体からの試料を示し、各点は5cm以内の近い部位の異なる破壊試験結果の比較。

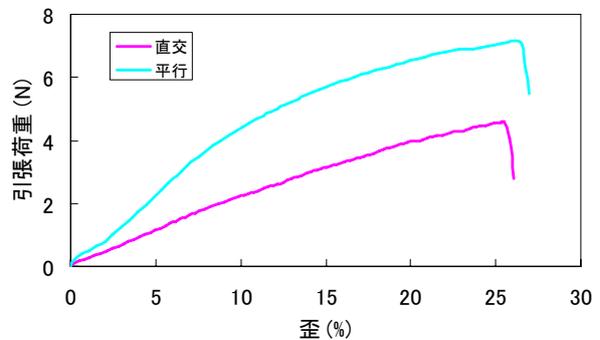


図4. 二方向の引張曲線の例.

葉肉部が切れる直交方向よりも、葉脈を切る平行方向へ引っ張るときの破壊荷重が大きい。

5. 直交と平行方向の試験結果は、互いに相関しなかった。したがって、両方向の試験結果を用いることにより、カットキャベツの力学特性をより詳しく表現することができる。
6. キャベツでは一個体、一枚の葉内における部位差が、品種差、収穫条件差や同一部位を調べた個体差よりも大きいことが少なくない。例えば、図3に見られるように、一枚の葉上の異なる部位間の力学特性は2倍以上違うことがある。このように、大きな部位差があるため、各方向について多数(できれば10試料片以上が望ましい)の測定を行う必要がある。また、キャベツの個体差もあるので、できれば同条件のキャベツ試料が5個体以上あると望ましい。
7. 平行と直交の二方向の、破壊断面の厚さ、破壊歪、破壊荷重、破壊応力、弾性率という計10変数の同一個体における平均値を用いて、主成分分析を行う。
8. 多くの場合、3から4個の変数が抽出でき、単独変数では説明できなかった試料の力学的な

特徴を明らかにできる。第1、第2主成分を軸として、試料毎の平均値をプロットすると、試料の特徴が理解しやすくなる。

実施例

一例として、カット加工用キャベツが端境期のため不足する4～5月に、神奈川県三浦市で収穫された品種の比較を示す。一般に、業務用機械を用いて千切りカット加工するのに向いているのは、寒玉といわれる、扁平型で葉の枚数が50枚程度と多く、結球部の密度（結球緊度）が高いキャベツである。神奈川県では春期に春系品種の“金系201号”が旬であり、多く栽培されている。しかし、春系キャベツは、縦に長い球状の形状をし、薄い葉が球あたり30枚程度、緩く結球するもので、機械を用いたカット加工の歩留まりが悪い。

図5に示すように、5月に収穫できる寒玉キャベツは、4月収穫の寒玉よりも中間系・春系に近い特徴を示した。5月収穫の遺伝的に中間系の品種は、春系に近い品種と寒玉に近い品種に二分される。このうち、寒玉に近い品種はまずまずの加工適性であるが、春系と同等の力学特性を示す品種は加工には向かないと言えよう。

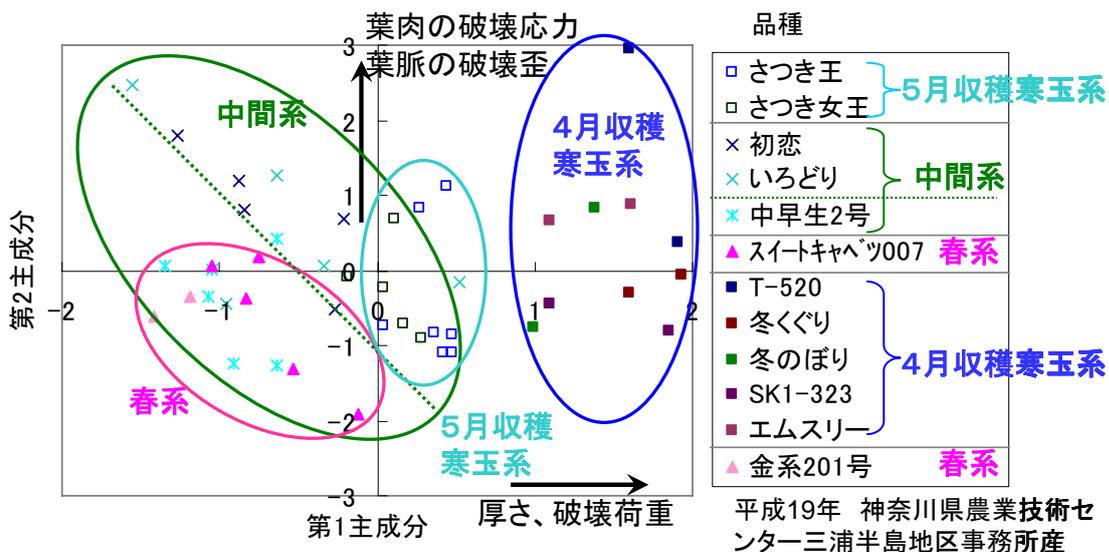


図5. 12品種の春収穫キャベツの主成分分析結果.

各プロット点は一個体の第五葉から8回以上測定した平均値の主成分得点を示す.

また、2～3月ごろ収穫したキャベツを低温倉庫で保存して、端境期に供給することも行われている。本法で調べたところ、品種や収穫時期に依らず、収穫後常温あるいは低温保存したキャベツは、破壊までに大きく変形した。噛み切りにくく食感が好ましくないだけでなく、機械によるカット加工も難しいと考えられ、著しく加工適性が低いことが示唆される。

4月に収穫できる寒玉系キャベツ品種は、3月から収穫可能であるが、そのまま畑においてお

く在圃期間を伸ばしても、肥料や農薬のコスト増は、低温保存のコストよりも少ない。在圃期間中に、結球後の芯伸び(球内抽だい)や裂球、腐敗が起こり、品質が落ちて使えなくなるため、一般には普及していないが、在圃性の高い品種を選んで、品質劣化が起きない範囲で収穫時期を遅らせれば、4月に業務用キャベツの提供ができると考えられる。在圃中に、球重(結球部の大きさ)や結球緊度が大きくなるが、同品種の標準的な球と比較して、葉の力学特性は有意な差がないことが、本方法から明らかになった。

以上の結果から、春期に加工・業務用キャベツを提供するには、球内抽だいしにくい寒玉品種を品質劣化が起こらない限り過熟させて大玉とし、収穫後貯蔵せずに加工するのが好ましいと示唆される。

今後の展開

カットキャベツ加工適性評価法として、キャベツの葉の葉脈に対し平行及び垂直方向への引っ張り破壊試験結果を主成分分析することにより、カットキャベツの力学的特徴を示すことができた。試験方法は確立したので、野菜試験研究者あるいは加工業者が、品種、栽培法、貯蔵条件、収穫時期等が異なるキャベツの加工適性評価に使えると考えている。レタス等の他の葉菜類にも応用可能である。

本研究では加工業者の好む高い歩留まりを示す力学特性を指標として、加工適性を判断した。同時に存在しない試料間の比較を行いたかったためである。したがって、加工業者の好みと消費者の好みが違う場合、例えば栄養成分や味質について、本法で高く評価された試料が、必ずしも高いとは言えない。消費者の観点からの評価も必要であろうが、主成分分析は、力学特性のみならず、化学成分値や官能評価点を加えた解析にも容易に応用できる。

引用文献

- 1) Kohyama, K., Takada, A., Sakurai, N., Hayakawa, F. and Yoshiaki, H.: Tensile test of cabbage leaves for quality evaluation of shredded cabbage. *Food Science and Technology Research*, **14**(4), 337-344 (2008).
- 2) Kohyama, K., Takezawa, Y., and Takada, A.: Effects of head size on the mechanical properties of shredded cabbage. *Food Science and Technology Research*, **14**(6), 541-546 (2008).
- 3) Kohyama, K., Saito, T., Takezawa, Y., Matsumoto, I., and Yoshiaki, H.: Effects of head density of cabbages (*Brassica oleracea* var. *Capitata*) on mechanical properties. *Food Science and Technology Research*, **15**(1), 11-18 (2009).

パン酵母のストレス耐性に関する遺伝子情報データベースの構築

食品総合研究所 微生物利用研究領域 酵母ユニット
安藤 聡、中村敏英、島 純

【はじめに】 酵母はパン生地の発酵や酒類の醸造等に欠かせない微生物である。酵母には様々な種が存在するが、パン生地発酵に用いられるパン酵母の多くは、清酒酵母やワイン酵母の多くと同様、出芽酵母 *Saccharomyces cerevisiae* に分類される。パン酵母製造や製パン過程において、パン酵母は乾燥や高浸透圧、冷凍等、多岐にわたるストレスに曝される。例えば、ドライイースト製造時には高温を伴う乾燥が、菓子パン生地には30%（対小麦粉比）を超える高濃度ショ糖による浸透圧が、冷凍生地製パン法においては凍結・融解等の複合的ストレスが負荷される。そのため、パン酵母のストレス耐性は、実用的観点から極めて重要であると言える。そこで、我々はパン酵母のストレス耐性に着目したポストゲノム解析を行ってきた。解析手法としては、DNAマイクロアレイを用いた遺伝子発現解析、および出芽酵母の遺伝子破壊株セットを用いた表現型解析という二つのアプローチを採用した。本稿で紹介するデータベースは、これらの解析によって得られた情報を整理して構築されたものである。

【ゲノム情報の活用】 出芽酵母は、発酵産業上有用なだけでなく、真核細胞のモデル生物として生物学の発展に大きく寄与してきた。生物学実験に汎用される酵母株は実用株と異なり、実験室酵母と呼ばれる。実験室酵母の全ゲノム配列は、他の真核生物に先駆けて1996年に解読された。その結果、実験室酵母ではDNAマイクロアレイを用いた全ゲノム網羅的な遺伝子発現解析がいち早く可能となった。また、実験室酵母では一倍体での生育が可能なことに加え、相同組換えによる遺伝子導入が容易であること等、遺伝子操作の簡便さを背景として、ゲノム情報を利用した様々な遺伝子改変株の作製が全ゲノムを網羅する形で行われている。現在までに、実験室酵母の全遺伝子（約6,000）の約80%に相当する非必須遺伝子について遺伝子破壊株が作製され、約4,700株から成る遺伝子破壊株セットとして入手可能となっている。このような株のセットをツールとして、個々の遺伝子機能の欠損によってもたらされる表現型の網羅的解析が可能である。パン酵母は実験室酵母と近縁であるため、上述のゲノム情報等をパン酵母研究に応用することが可能である。そこで、我々はポストゲノム解析を活用し、パン酵母のストレス応答及び耐性機構に関する遺伝子情報を取得した。

【データベースの構築】 遺伝子発現解析： DNAマイクロアレイを用いた網羅的遺伝子発現解析によって、まず、製パン過程における実用パン酵母の遺伝子発現プロファイルを取得した。その結果、製パン初期過程における遺伝子発現変化を明らかにした¹⁾。次に、ストレス負荷条件における実用パン酵母細胞の遺伝子発現プロファイルを取得した。具体的には、パン酵母生産や製パン等の実用工程をシミュレートした乾燥、冷凍及び高濃度ショ糖の各ストレスをパン酵母細胞に負荷し、その細胞より抽出したmRNAを用いてマイクロアレイ解析を行った（図1）。その結果、各ストレスがパン酵母の遺伝子発現に与える影響を明らかにした²⁻³⁾。**表現型解析：** 上述の遺伝子破壊株セットを解析ツールとして活用し、全ゲノム網羅的な表現型解析を実施した（図2）。すなわち、乾燥、冷凍及び高濃度ショ糖の各ストレスに対する感受性を全ての遺伝子破壊株について評価した。その結果、それぞれのストレスに対する耐性に必要な遺伝子機能を明らかにすることが出来た⁴⁻⁶⁾。また、液胞型プロトンポンプに関連する遺伝子の多くが、全てのストレス耐性に共通して不可欠であったことから、液胞型プロトンポンプがストレス耐性において極めて重要な役割を担っていると考えられた。

以上の解析によって得られた情報を整理してデータベースを構築し、「パン酵母遺伝子データベース」として食総研ホームページ上で公開している(図3)。本データベースは、解析データのみならず、各解析の概要及び関連論文へのリンク等を含み、利便性を考慮した構成となっている。

【データベース活用の可能性】

1. 実用パン酵母の利用高度化という観点から、培養・発酵過程のモニタリング及びストレス耐性株の育種等を目的とした分子マーカーの構築や分子育種のための情報基盤としての活用が可能である。
2. パン酵母等の真核細胞におけるストレス応答・耐性機構の解明のための情報基盤としての活用が期待される。

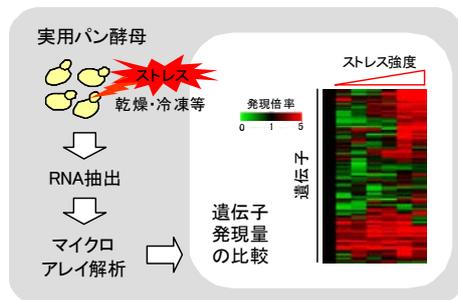


図1 DNAマイクロアレイを用いた網羅的遺伝子発現解析

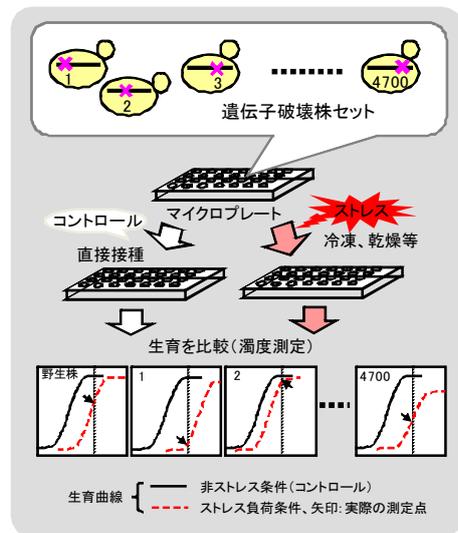


図2 出芽酵母遺伝子破壊株セットを用いた網羅的表現型解析

DGBY

パン酵母遺伝子データベース Yeast Lab

Database for Gene Function and Expression of Baker's Yeasts

[> English](#)

DGBYの概要

パン酵母の製造や製パン過程は、パン酵母にとって過酷なストレス(製パンストレス)を伴います。製パンストレスは、ドライイースト製造における乾燥(乾燥ストレス)、菓子パン生地に添加される高濃度のショ糖による高浸透圧(高ショ糖ストレス)、冷凍生地製パン法における凍結・融解(冷凍ストレス)等、広範かつ複合的なものであり、パン酵母の発酵力を著しく低下させます。

乾燥

水分4~8%

(ドライイースト製造)

高浸透圧

ショ糖30%以上

(菓子パン生地)

冷凍

-20~-30℃

(冷凍生地製パン法)

パン酵母の製造および製パン過程において、パン酵母には過酷なストレスが負荷されます

私共は、これら3つの製パンストレスに着目したパン酵母のポストゲノム研究を行ってきました。この研究では、1) DNA マイクロアレイを用いた網羅的遺伝子発現解析(トランスクリプトミクス)、2) 酵母遺伝子破壊株セットを用いた網羅的表現型解析(フェノミクス)、という二つのアプローチによって、ストレス耐性に関連する遺伝子の情報を取得しました。これらの情報を皆様にご活用頂けるようにデータベース化し、DGBY (Database for Gene function and expression of Baker's Yeast)として公開致しました。

*本データベースは、「農研機構・生研センターの新技术・新分野創出のための基礎研究推進事業」により行われた研究結果を活用して構築しております。都合により現在は部分運用になっておりますが、随時更新する予定です。

データベース

[> DNA マイクロアレイを用いた網羅的遺伝子発現解析](#)

- ▶ [> 製パン初期過程における遺伝子発現変化](#)
- ▶ [> 高ショ糖ストレス](#)
- ▶ [> 冷凍ストレス\(準備中\)](#)
- ▶ [> 乾燥ストレス](#)

[> 遺伝子破壊株セットを用いた網羅的表現型解析](#)

- ▶ [> 高ショ糖ストレス](#)
- ▶ [> 冷凍ストレス](#)
- ▶ [> 乾燥ストレス](#)

図3 パン酵母遺伝子データベース 食総研ホームページで公開中 <http://nfri.naro.affrc.go.jp/yakudachi/yeast/index.html>

【参考文献】

- 1) Tanaka *et al.* (2006) *Food Microbiol.* **23**:717-728
- 2) Tanaka *et al.* (2007) *Yeast* **24**:901-911
- 3) Nakamura *et al.* (2008) *J. Biosci. Bioeng.* **106**:405-408
- 4) Ando *et al.* (2006) *FEMS Yeast Res.* **6**:249-267
- 5) Ando *et al.* (2007) *FEMS Yeast Res.* **7**:244-253
- 6) Shima *et al.* (2008) *Yeast* **25**:179-190

米粉新規利用食品

食品総合研究所

米粉戦略技術研究ワーキンググループ

食品素材科学研究領域長 松倉 潮

はじめに

昨年平成20年に農林水産省が発表した「21世紀新農政2008～食料事情の変化に対応した食料の安定供給体制の確立に向けて～」において、米を「ご飯」としてだけでなく、「米粉」としてパン、麺類等に活用する取り組みを本格化する、と記載されている。すなわち、小麦粉を原料とする食品へ米粉を利用していこうということである。振り返ると、我が国は戦前も含め「米余り」の状況が幾度かあり、昭和50年代にも米余りの状況から、米粉の小麦粉製品への利用に関する試験研究が行われた。実際に、幾つかの企業がライスヌードルやライスブレッドを市販していた。残念ながら、これらの米粉食品は人気を得られず、消えていったり、わずかに残って来たに過ぎなかった。とはいえ、数年前から、学校給食用や様々なベーカリーでの米粉パンあるいは米飯配合パンの製造・販売が増えてきていた。それが昨年になって急に脚光を浴びたという状況である。米粉パン、米粉麺、米粉洋菓子は製品開発・市販が先行し、学術的研究はまだ多くないという現状である。本講演では、まず、米粉新規利用食品の概略を述べ、食品総合研究所の米粉研究成果の一端を紹介する。

米粉利用食品の種類

米粉は我が国では煎餅、団子、餅といった和菓子への利用が主であり、一方、以前から中国から東南アジアにかけてはビーフンやフォーなどの米粉の麺やライスシートがある。ここに、米粉麺（うどん）、米粉パン、米粉洋菓子という加工用途が加わってきた（表1）。言い換えると、これまで小麦粉で作られてきた食品のほとんどが米粉で作れるようになってきた。和菓子用等にはそれぞれの製品に対応して、うるち米ともち米といった原料米の違い、糊化させているか生のままかの違い、加熱方法の違い、粉碎方法・粉碎程度の違いにより様々な米粉がある。以下に述べる小麦粉食品において小麦粉の代わりに利用される主な米粉は、うるち米を生のまま粉碎した「上新粉」に属するものである。糊化させた米粉も一部の食品に使用されている。

表1 米粉利用食品の種類

分類	食品例
和菓子類	煎餅、おかき、大福餅、桜餅、草餅、団子、求肥、ういろう、最中、かるかん饅頭、落雁
麺類	ビーフン、フォー、うどん、ラーメン、パスタ
パン類	米粉配合パン、米粉パン
洋菓子類	スポンジケーキ、シフォンケーキ、パウンドケーキ、マドレーヌ、クッキー、アイスクリーム
シート類	ライスペーパー、餃子の皮
その他	乳児食、重湯、天ぷら用バター、ホワイトソース たこ焼き、お好み焼き、飲料

米粉パンの分類

米粉パンには、大部分が小麦粉であり米粉が少しだけ配合された「米粉含有パン」というべきものから、小麦粉を全く含まない米粉だけのパンまで多種多様なパンがある。

小麦粉中には、グリアジンとグルテニンという蛋白質が存在し、小麦粉に水を加えてこねると、それら蛋白質が絡み合って編目構造を形成する。形成された構造体（および成分）をグルテンと呼んでいる。小麦粉生地中では、グルテンの周りに澱粉が存在し、膜構造を形成していると思われる。パン生地の発酵の際に生成する二酸化炭素をこのグルテン澱粉複合体がトラップするために、パン生地が膨張し、気泡を多数含んだふんわりとしたパンが形成される。しかし、米はグルテン様の構造体を形成する蛋白質を含んでいないため、発酵の際に生成する二酸化炭素を保持することができず、米粉だけでは膨らんだパンは形成されない。そのため、米粉で小麦粉パンのように膨らんだパンを作り出すには、グルテンを配合するか、あるいはグルテンの役目をはたす代替りの何かが必要である。この点に着目して米粉パンを分類すると、表2のようである。

図1には、小麦粉+米粉パンを示した。小麦粉割合が少なくなるとその分だけグルテンが薄まるため、パンの体積が低下する。図2に、米粉+グルテンパンを示した。小麦粉そのものは使用しないが、膨らむにはグルテンの網目構造に依存している。米粉パンと呼ばれているものの多くはこのパンである。図3には米粉100%のパンを示した。ある粘度特性であれば懸濁している溶質にかかわらず発泡するというプラスチック発泡形成技術を適用したもので、糊化させた米粉と未糊化の米粉の懸濁液を発泡形成に適した粘度に調製して発泡させたパンであり、市販されている。

表2 米粉パンの種類

種類	特徴
小麦粉 + 米粉	米粉割合20%程度まで可 通常の製パン法に適用可能
米粉 + グルテン	グルテンの割合は15～20% 米粉パン用製パン条件
小麦粉 + 米粉 + グルテン	グルテンの割合は米粉 + グルテンの15～20% 大型製パン工場等
米粉 + 増粘多糖類	グアーガム等を1～2%配合 小麦粉やグルテン不使用
米粉 + 糊化米粉	米粉割合100% 特別な製パン方法



米粉30% 米粉20% 米粉10% 小麦粉100%
小麦粉70% 小麦粉80% 小麦粉90%

図1 小麦粉 + 米粉パン

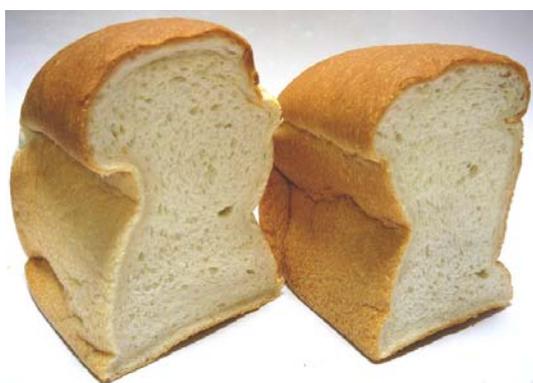


図2 米粉 + グルテンパン



ラブライス プレーン。スライスして、電子レンジで温めると、焼き立てのようになふくらする(525円)

図3 米粉100%パン
写真は市販品

米粉麵（うどん様麵）の分類

小麦粉を原料とするうどん等の日本麵の製造にはやはりグルテンが関与している。グルテンを形成させた小麦粉の生地は、引っ張れば簡単にはちぎれずに伸長するとともに、ちぎれても合わせてこねるとくっついて粘弾性を有する生地が再形成される。すなわち、小麦粉生地は生の状態で成形が可能であるという性質を有しており、この性質を利用して生で麵線を形成させている。これに対し、生の米粉に水を加えて練った生地は、簡単にちぎれてしまい、麵線状に加工するのが困難である。そのため、米粉麵を製造するためには、グルテンを加えるか、グルテンの役割の代わりにする何かを補う必要がある。この点から米粉麵を分類すると、表3のようである。グルテンの力によって生で成形する方法と、糊化した澱粉の粘りを利用して成形する方法がある。後者の中の原料全体を蒸す方法で製造された麵は、すでに糊化しているため、食べる時のゆで時間は1～3分と短くてすむ。

表3 米粉麵（米粉うどん）の種類

種類	特徴
小麦粉 + 米粉	グルテンの力により、生で麵線を成形
米粉 + グルテン	通常の製麵装置利用可能
糊化した澱粉の粘りを利用	
生米粉 + 澱粉：湯ごね	馬鈴薯澱粉等を20%程度配合 熱水を加える。
生米粉 + 糊化米粉	糊化した米粉を20%程度配合
生米粉 + 澱粉：蒸し	馬鈴薯澱粉などを20%程度配合 原料全体を蒸す。

米粉洋菓子

スポンジケーキのふわっと膨らみは、卵を泡だてた際に形成される気泡に由来している。泡だてた後に加える小麦粉はサクッと混ぜるだけであり、小麦粉のグルテンは形成させないのが基本である。すなわち、グルテンを形成しない米粉は、基本的には、そのまま小麦粉の代わりに使えることを意味している。実際、米粉粒度構成を洋菓子に適するように調製し、洋菓子用と銘打った米粉が発売されている。この中には、薄力小麦粉に似せてグルテンを配合した米粉もある。スポンジケーキをはじめとして、シフォンケーキ、パウンドケーキやマドレーヌのようなバターケーキ、クッキーなど様々な洋菓子類への米粉利用が可能である。

食品総合研究所の米粉研究

食品総合研究所においては、昨年米粉研究の推進・情報整理・提供のため、所内に米粉戦略技術研究ワーキンググループを設置した。米、澱粉、酵母、製粉、物性の研究者で構成されている。本ワーキンググループ以外の研究成果も含めて、その一端を紹介する。

米の製粉研究

米の製粉には粉碎原理の異なる様々な製粉機が使用されている。それらのうち、ジェットミル（高速の空気の流れに載せて試料を送り込み、衝突版に衝突させて粉碎する装置。非常に細かい粉に粉碎される。）ハンマーミル（高速回転するハンマーの打撃により、試料を粉碎する。）臼式製粉機（回転する上下の臼の狭い隙間で粉碎する。）の3種類の製粉機による製粉で、平均粒度が、それぞれ、10 μm 、50 μm 、100 μm 前後の米粉が得られた（図4）。これらの米粉は、糊化粘度特性や損傷澱粉含量が異なることを明らかにした。

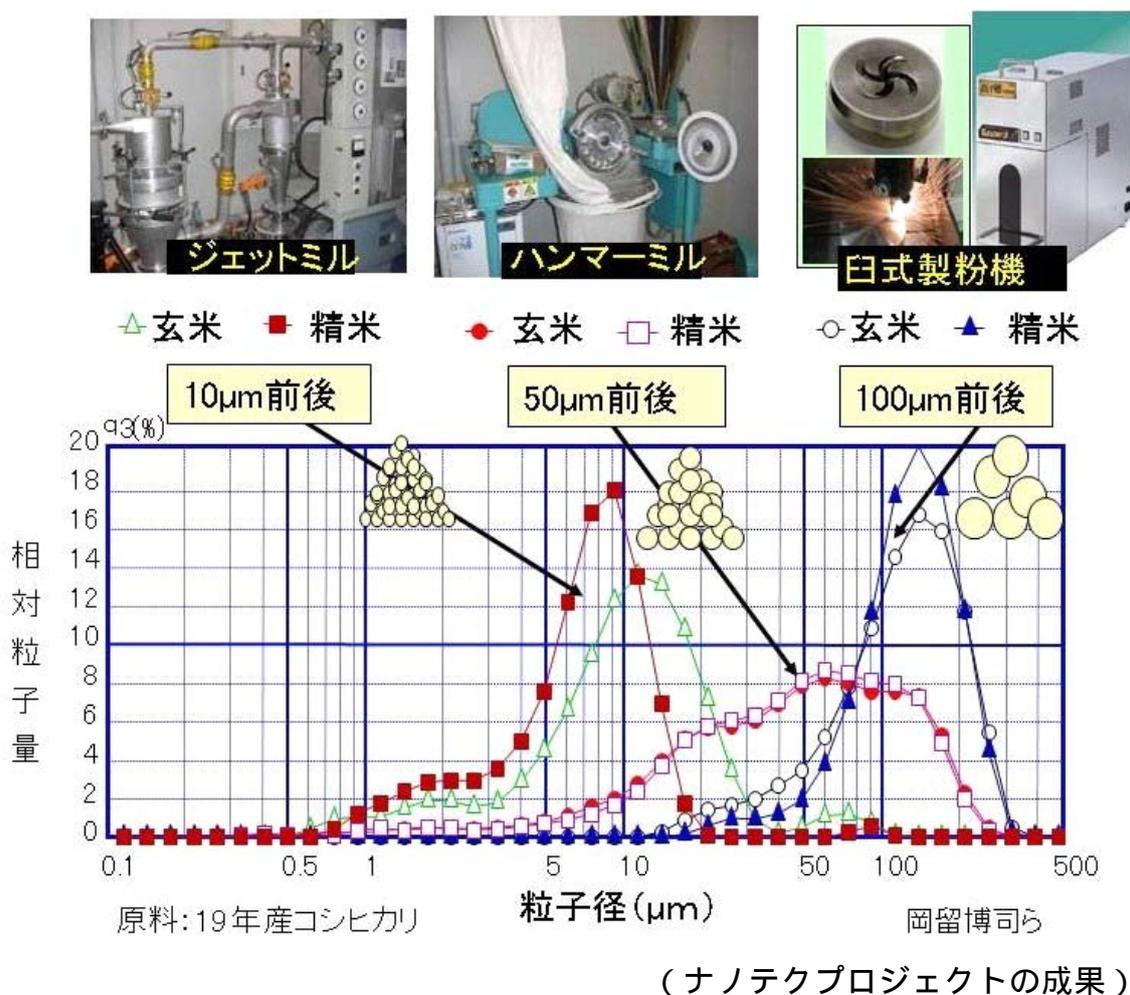


図4 3種類の製粉方法により製粉した米粉の粒度分布

米粉パン製パン（試験）条件

米粉パンでは、データーの蓄積が少ないため、多くの方が妥当と認める基本的な製パン方法あるいは製パン試験方法が存在しない。例えば、加水量に関して、図5に加水量を変えた時の焼成後の米粉パンの写真、図6に加水量とパンの比容積の関係を示した。図に示した米粉（湿式気流粉碎米粉）では、加水量76%～80%で比容積が高いパンとなった。しかし、特性が異なる米粉でも最適な加水量が同じであるとは限らない。小麦粉パンではファリノクラフィーにより得られた粉の吸水率を参考にして製パン時の加水量を決めることができるが、同様の手法が米粉パンに適用できるかどうか不明である。米粉パンの場合、配合、ミキシング条件、発酵条件、焼成条件など適した製パン条件（米粉の特性に対応して異なる）を決めるには、まだまだデーターの蓄積が必要である。

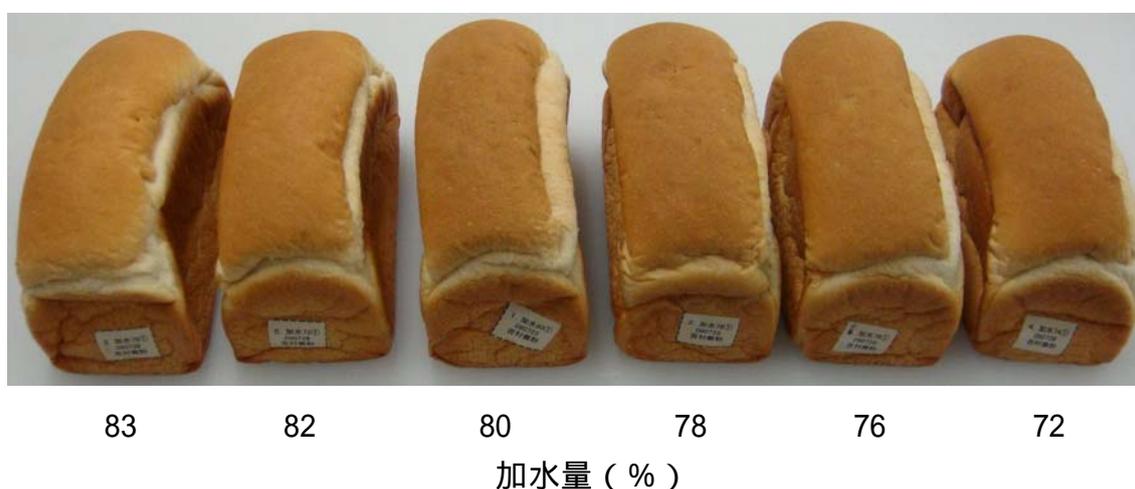


図5 加水量を変えた米粉パン
湿式気流粉碎米粉を用いた米粉80%グルテン20%パン

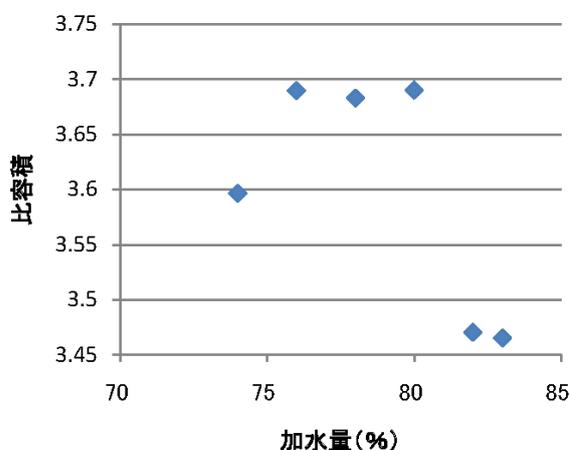


図6 加水量を変えた米粉パンの比容積

米粉の特性と製パン性

米粉戦略技術研究ワーキンググループでは、平成19年茨城県産コシヒカリを原料米とし、衝撃式粉碎機（ピンミル、ハンマーミル）、気流粉碎機（乾式、湿式）、石臼、サイクロンミル、超遠心粉碎機を用いて、様々な米粉を調製した。これらの米粉について、粉体特性、理化学的特性を分析するとともに、米粉パン製パン試験を実施した。米粉パンは、米粉80%とグルテン20%の配合による山形食パンとした。

これら様々な米粉の試験の結果、米粉パンの総合的な好ましさは、パンの比容積（パンの体積を重量で除した値）と相関が高く、パンの内層の硬さと比容積と相関が高かった。また、比容積は、米粉の損傷澱粉率と高い相関がみられたが、平均粒径とは相関がみられなかった。

現在、製粉方法と米粉の特性との関係、米粉の特性と米粉パンの品質との関係、米粉パンの老化性などの研究を実施しているところである。また、米粉ではなく炊いたご飯を加えた米パン（ご飯パン）の研究も実施している。

おわりに

米粉の新規利用（小麦粉製品への利用）に関する研究成果は、学術雑誌への発表がいくつかみられるようになってきた。今後、より多くの研究成果が発表・活用され、世の中により美味しい米粉利用食品が供給されることを願う。

参考文献

- 與座宏一ら、米粉利用の現状と課題 - 米粉パンについて -、日本食品科学工学会誌、55、444～454(2008)
- 奥西智哉、炊飯米を生地に添加したパンの官能評価、日本食品科学工学会誌、56、424～428(2009)
- 松倉 潮、米粉利用食品、食品工業、52(12)、20～28(2009)
- 岡留博司、米粉の微粉碎化技術の開発、食品工業、52(12)、47～53(2009)
- 與座宏一、新規需要米を取り巻く動向と米粉加工技術の現状と方向性、食品と開発、44(6)、4～6(2009)