

発芽小麦って パンに使われているの？



発芽1日目の小麦（原田講師提供）

一般社団法人日本パン技術研究所 製パン技術教育事業部 佐藤 淳

今回は発芽小麦のパンへの利用についてお話します。

みなさん発芽玄米は聞いたことがあっても、発芽小麦ってなに？と思われるでしょう。発芽玄米はスーパーに売られています。発芽玄米、玄米、白米、それぞれどのような違いがあるのかというと、収穫した米からもみ殻を取り除いたものが玄米、この玄米から果皮、種皮、胚芽を取り除いたものが白米です。発芽玄米は玄米を発芽させた状態のもので、玄米を水に漬け、半日から24時間程度で発芽するそうです。白米、玄米、発芽玄米で差のある栄養価（日本食品標準成分表八訂より）を表1に示します。

表1. 白米、玄米、発芽玄米の栄養価

	脂質	食物繊維	カリウム	カルシウム	マグネシウム	ビタミンB群 (B1, B2, B6, B12)
白米	0.9g	0.5g	89mg	5mg	23mg	0.22mg
玄米	2.7g	3.0g	230mg	9mg	110mg	0.9mg
発芽玄米	3.3g	3.1g	160mg	13mg	120mg	0.71mg

白米より玄米の方が食物繊維、カリウム、カルシウム、マグネシウム、ビタミンB群は多く含まれています。これは白米では取り除かれている果皮、種皮、胚芽にこれらの栄養素が含まれているためです。しかし、玄米と発芽玄米には大差ありません。ただ、GABA（Gamma-Amino Butyric Acid/ギャバ）といわれるγ-アミノ酪酸は100g中、白米の1mgに対して、玄米には3mg、発芽玄米には15mg含まれています。ギャバにはストレス軽減効果があるといわれています。また、血圧の上昇を抑える、睡眠の質を高める、中性脂肪を減らすなどの効果があるともいわれています。また、発芽玄米は玄米に比べて、うま味が強く、パサつきや芯の残りが少ないそうです。¹⁾

小麦の場合も米と似ています。小麦の粒全てを粉にしたものが全粒粉、そして外皮（ふすま）や胚芽の部分を取り除き、

粉にしたものが小麦粉です。発芽小麦粉は小麦を発芽させ、その粒全てを粉にしたものです。栄養価の違いは、外皮や胚芽に多くビタミン、ミネラル、食物繊維等の栄養素が含まれているので、全粒粉の方が小麦粉よりも栄養素が多く含まれています。小麦粉（強力粉）、全粒粉で差のある栄養価（日本食品標準成分表八訂より）を表2に示します。

表2. 小麦粉、全粒粉の栄養価

	脂質	食物繊維	カリウム	カルシウム	マグネシウム	ビタミンB群 (B1, B2, B6, B12)
強力粉 (1等粉)	1.5g	2.7g	89mg	17mg	23mg	0.19mg
全粒粉	2.9g	11.2g	330mg	26mg	140mg	0.76mg

小麦を発芽させたものが発芽小麦、それを粉にしたものが、発芽小麦粉になるため、全粒粉と発芽小麦粉の栄養価は大差ありません。後述しますが、発芽小麦粉の栄養価は発芽環境、発芽状態に左右されるためか、正式な値は見当たりません。

それでは、発芽はどのようにして起こるのでしょうか。発芽しないで種子の状態であることを休眠といい、発芽に必要な条件がそろい、種子が発芽状態に移行することを休眠打破といいます。発芽に必要な条件は水、酸素、温度の3つで、この条件が胚で受容されると、ジベレリンという植物ホルモンが合成されます。このジベレリンはアリュエロン層に対して分泌され作用し、このアリュエロン層からデンプン分解酵素であるアミラーゼが合成されます。これが胚乳に含まれるデンプンを糖に分解し、この糖は胚芽に吸収されることで胚芽が成長し、発芽します。²⁾

小麦の発芽による変化で体に有益な成分が増加するとの報告が「発芽穀物」について包括的レビューを記した論文³⁾があります。以下、小麦について触れられた箇所を抜粋します。

アミノ酸

タンパク質が酵素により分解されるときアミノ酸含量が増えるといわれています。アミノ酸組成に最も影響を与えるのは、穀物の種類と発芽時間です。

ワキシー（もち種）小麦では、必須アミノ酸のイソロイシン、ロイシン、フェニルアラニン、バリンが発芽 36 時間後に最大レベルに達し、その他の必須アミノ酸（スレオニン、メチオニン）は 24、48 時間後にそれぞれ最も高くなるとのこと。

GABA (γ -アミノ酪酸)

穀類に関する限り、GABA 産生は玄米で深く研究されているが、小麦や大麦の発芽時にも GABA 含量の変化を観察した研究もあります。イネ科植物種間に関係なく、GABA は発芽中に劇的に増加します。この穀物苗中の GABA 含量は、発芽時の環境条件（温度または生物学的ストレス）および発芽前の穀物処理の両方によって大きく影響されます。

ミネラル

フィチン酸はミネラルイオンと強く結合しやすいため、亜鉛、鉄、カルシウム、マグネシウム、マンガン、銅などのミネラルを体内で利用しづらくします。フィチン酸の分解に関わる酵素がフィターゼです。フィターゼ活性は発芽中に増加

することが知られています。Lemmens らは、亜鉛と鉄分の生物学的利用率が発芽小麦 15%、14%から、温水で処理した発芽小麦ではそれぞれ 27%、37%に増加することを観察しています。

発芽小麦粉の加工、製パン性については「フェノール化合物の分析結果から、全粒粉を発芽小麦粉に置き換えることにより製パン性が改善される」という結果が論文⁴⁾で報告されています。ここでは、全粒粉を基準として発芽時間を変えた発芽小麦粉を一部全粒粉と置き換え、比較しています。以下、論文の中の試験結果の一部を抜粋します。

発芽なしの全粒粉と発芽時間を 24h、48h、72h と変化させた発芽小麦粉でのフォーリングナンバー^{*}、アミラーゼ活性、 α アミラーゼ活性、総フェノール化合物^{*}、抗酸化活性を比較したものを表3に示します。フォーリングナンバーは、発芽時間が増加するほど減少しています。24h では変化ないが 48、72h は発芽なしと比べて 59、69%低下、発芽なしの値は他の文献よりも低かったようですが、発芽後の変化は似ており、90s (秒) まで低下しています。

*フォーリングナンバー：フォーリングナンバー300 を基準とし、300 以下の場合、 α アミラーゼ活性が高いとする。

*フェノール化合物：論文では「フェノール化合物の摂取は心疾患、がん、II型糖尿病のリスク低減と関連している」と紹介されている。

表3. 全粒粉と発芽時間 24h、48h、72h の発芽小麦粉のフォーリングナンバー、アミラーゼ活性、 α アミラーゼ活性、総フェノール化合物、抗酸化活性

Parameters	Whole wheat flour	Sprouting time (h)		
		24	48	72
Falling Number (s)	297.0 \pm 3.0 ^a	292.0 \pm 1.0 ^a	123.0 \pm 2.0 ^b	92.0 \pm 1.0 ^c
Total amylolytic activity (U/g)	134.0 \pm 1.5 ^d	157.4 \pm 0.7 ^c	168.0 \pm 1.6 ^b	192.0 \pm 2.6 ^a
α -amylase activity (U/g)	38.7 \pm 0.8 ^d	43.1 \pm 0.9 ^c	60.1 \pm 0.4 ^b	66.8 \pm 0.9 ^a
Total Phenolic Compounds (mg GAE/g)	0.67 \pm 0.02 ^a	0.59 \pm 0.07 ^a	0.63 \pm 0.04 ^a	0.65 \pm 0.02 ^a
Antioxidant activity ABTS (mM TE/g)	0.10 \pm 0.00 ^c	0.23 \pm 0.01 ^b	0.21 \pm 0.04 ^b	0.38 \pm 0.02 ^a

Results are expressed on dry basis as average \pm standard deviation (n = 3). Different letters mean a significant difference (p < 0.05) between sprouting times. GAE (gallic acid equivalent), TE (Trolox equivalent), U (enzymatic activity unit).

アミラーゼ活性(総澱粉分解活性)、 α アミラーゼ活性は発芽時間が長いほど増加しています。アミラーゼ活性は、発芽時間が24、48、72hと増えるごとに、発芽なしと比べて18、25、43%増加しています。これは胚盤やアリューロン層でデンプン分解酵素が合成されるためです。1日目からデンプンを分解する酵素の合成が確認されます。発芽中、デンプンは主に α アミラーゼにより分解され、マルトース、グルコース、デキストリン、オリゴ糖になります。この液化・糖化によって生地の粘度は落ちます。

フェノール化合物については、発芽中の大きな変化は認められていません。ある文献では、小麦の発芽時間と温度の影響を調べており、フェノール化合物は92h後に増えることが確認されています。つまり、今回設定した発芽時間の範囲ではフェノール化合物に影響を与えるには不十分であったと考えられます。

発芽なしの全粒粉に発芽時間を24h、48h、72hと変えた発芽小麦粉を、5、15、25%置き換えた小麦粉のファリノグラフ、エクステンソグラフでの各測定値を表4に示します。この表には、吸水率(硬さの指標を500B.U.にするための吸水率)、生地安定度(生地混捏時の抵抗値が安定している時間)、生地形成時間(加水開始から抵抗値が落ち始める直前までの時間)、混捏耐性指数(最大抵抗値と、その最大値から5分後の抵抗値の差)、抗張力E(生地伸長時の引っ張り抵抗値)、伸張度R(生地の引き伸ばし開始から切れるまでの長さ)、抗張比(R/E 生地の抵抗値を伸張度で割った値)を示してい

ます。吸水率は発芽小麦粉の置換割合が多く、発芽時間が長くなるほど減少しています。発芽過程は澱粉の分解を進めます。水は非健全澱粉のアミロース、アミロペクチンの枝、アミロペクチンのらせん構造に水素結合により保持されるため、これらの加水分解が進むことで吸水率は減少します。水は水和やグルテン物性の伸長に重要な役割をします。また、発芽過程はプロテアーゼを活性化し、その作用によりタンパク質の加水分解が促進され、可溶性ペプチドが作られます。結果として、グルテンの弾力性に必要な凝集性が損なわれます。生地安定度は発芽小麦粉の置換割合を増やし、その発芽時間を増すことで10.5分から4.1分に61%減少させています。発芽過程は12h後に生地安定度を低下させ、72h後に最大87%低下させました。生地安定性は一般的に小麦粉の強さを表し、その低下はグルテンの凝集力の低下によるものと考えられます。発芽過程中、合成された酵素はグリアジンやグルテニンの分子内結合や分子間結合を加水分解します。今回の生地形成時間は他の論文よりも大きい値であったとのこと。それでも発芽小麦との置換割合が大きくなるほど、発芽時間が長くなるほど、生地形成時間は短くなっています。発芽時間72h、置換割合25%で最も短く、小さい値となり、発芽なし全粒粉よりも42%も減少させています。混捏耐性指数は発芽時間24h、置換割合5~25%と、発芽時間48h、置換割合5~15%で大きく減少しています。混捏耐性指数は生地形成時間に達した後、どれだけの速さでグルテンが抵抗を失う(生地の腰が抜ける)のかを示すものであるため、値が大きいということは小麦粉の強さが弱いことを指します。抗

表4. 発芽なしの全粒粉に発芽時間を24h、48h、72hと変えた発芽小麦粉を5、15、25%置き換えた。そのファリノグラフ、エクステンソグラフでの各分析値

Samples	Sprouting time (h)	Replacement (%)	Water absorption (W_{abs} , %)	Stability (min)	Dough development time (min)	Mixing tolerance index (MTI)	Resistance to extension (R) (g)	Extensibility (E) (mm)	R/E ratio
WWF	-	-	73.0 \pm 0.1 ^a	10.5 \pm 0.1 ^a	9.6 \pm 0.1 ^a	30.3 \pm 0.1 ^e	65.3 \pm 0.6 ^c	16.8 \pm 0.3 ^d	3.89
ST24-5%	24	5	72.0 \pm 0.0 ^b	9.9 \pm 0.1 ^b	8.2 \pm 0.1 ^b	21.0 \pm 1.0 ^h	67.7 \pm 3.1 ^{abc}	17.4 \pm 0.1 ^{cd}	3.89
ST24-15%	24	15	71.9 \pm 0.1 ^b	8.8 \pm 0.1 ^c	7.7 \pm 0.1 ^c	23.7 \pm 0.6 ^g	69.3 \pm 0.6 ^{ab}	17.6 \pm 0.2 ^{bcd}	3.94
ST24-25%	24	25	71.5 \pm 0.1 ^c	8.7 \pm 0.1 ^c	7.8 \pm 0.1 ^c	23.3 \pm 1.1 ^g	65.7 \pm 1.7 ^{bc}	17.7 \pm 0.1 ^{bcd}	3.71
ST48-5%	48	5	71.4 \pm 0.1 ^{cd}	8.6 \pm 0.1 ^c	7.2 \pm 0.1 ^d	25.7 \pm 0.6 ^f	60.7 \pm 0.6 ^d	19.3 \pm 0.6 ^{bc}	3.15
ST48-15%	48	15	71.2 \pm 0.1 ^{de}	6.3 \pm 0.1 ^d	6.6 \pm 0.1 ^e	30.3 \pm 0.6 ^e	70.7 \pm 0.8 ^a	22.0 \pm 1.7 ^a	3.21
ST48-25%	48	25	71.2 \pm 0.1 ^{de}	5.8 \pm 0.1 ^e	5.8 \pm 0.1 ^f	37.3 \pm 0.6 ^d	51.4 \pm 0.2 ^e	19.5 \pm 0.4 ^b	2.64
ST72-5%	72	5	71.1 \pm 0.1 ^e	5.5 \pm 0.1 ^f	6.5 \pm 0.1 ^e	43.3 \pm 0.6 ^c	49.7 \pm 0.8 ^e	17.6 \pm 0.2 ^{bcd}	2.82
ST72-15%	72	15	70.8 \pm 0.1 ^f	4.6 \pm 0.1 ^g	5.7 \pm 0.1 ^f	53.7 \pm 0.6 ^b	20.5 \pm 1.0 ^f	19.0 \pm 0.6 ^{bc}	1.08
ST72-25%	72	25	70.6 \pm 0.1 ^f	4.1 \pm 0.1 ^h	5.6 \pm 0.1 ^f	65.3 \pm 0.6 ^a	8.9 \pm 0.7 ^g	16.2 \pm 0.6 ^d	0.55

Results are expressed as average \pm standard deviation (n = 3). Different letters mean a significant difference (p < 0.05). WWF (whole wheat flour), ST (sprouting time) and R/E (ratio between resistance to extension and extensibility).

張力と伸長度は、発芽時間、置換割合での傾向ははっきりしていません。また、R/Eの値は発芽時間24hでは置換割合が増えても大きな変化は認められていませんが、48、72hでは置換割合が増えるほど減少しています。つまり、これより長い発芽時間では置換割合が少なくとも製パンに悪い影響を与えることを伺い知ることができます。

以上より、小麦粉では発芽により栄養価のプラスは多少あるものの、製パン工程においてのマイナス要因が大きくなります。ただ、このデメリットは使用方法によっては最小にとどめることができるでしょう。例えば、製パン性を低下させる酵素の働きを抑えるように小麦粉を熱処理するとか、発芽小麦粉の使用量を減らすなど、悪影響は配合量を少なくすることである程度抑えることができると考えられます。

アメリカでは発芽小麦を使用した製品が、実際にスーパーで売られています。2019年の渡米時、私がスーパーで見た製品は Silver Hills Bakery というメーカーの製品でした。このメーカーは食パン、ベーグル、バーガーバンズ、ホットドッグバンズ、トルティーヤなどに発芽小麦、発芽小麦粉を使用しています。同社製品では発芽小麦と発芽小麦粉が別々に記されています。理由は粉碎していない発芽小麦粒を使用しているためです。アメリカでは穀物が多く入ったパンが売られており、16 grains & seeds (穀物や種子)、24 grains & seeds などがあります。その練り込み穀物として炊いた発芽小麦を使用しているためです。粉では製パンにマイナスとなる発芽小麦に対して、粒による利用は納得する使用方法でした。また、ベーグルやトルティーヤには全量ではありません



写真1 ALVARADO STREET BAKERY
マルチグレインブレッド

が発芽小麦粉が使用されていました。写真1は、アメリカの ALVARADO STREET BAKERY というメーカーのマルチグレインブレッドです。Sprouted wheat という発芽小麦の表記があります。原料には sprouted organic whole wheat berries と書かれており、これは有機発芽小麦粒であり粉ではありません。別に whole wheat flour という表記があり、これが全粒粉です。そのまま食べると酸っぱい香りがあり（アメリカのパンらしい？）、ボソボソの食感で食べづらいのですが、トーストすると多種の穀物の食感と相まって好ましいザクザクとした食感になります。

他方、アメリカでは発芽小麦粉のパン専門書 Bread Revolution (写真2) も出版されています。これは2014年、Peter Reinhart 氏により出版されたもので、弊所、原田講師がアメリカへ視察に行った際にサンフランシスコサワーブレッドで有名な Boudin Bakery 社で購入したものです。本書では発芽小麦粉使用の様々なレシピが掲載されています。著者は発芽小麦粉によりパン職人にとって新たな時代が来ると述べ、発芽小麦粉を使用した各種のパンを紹介しています。

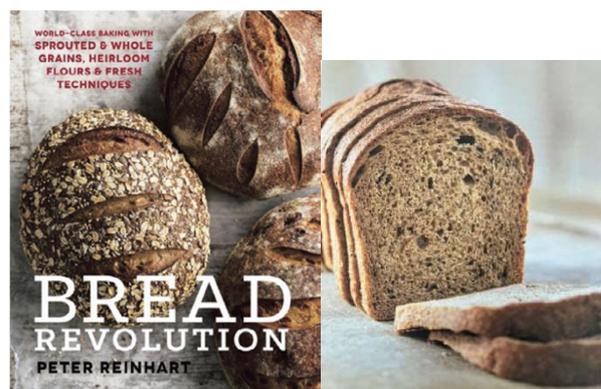


写真2 左) Bread Revolution 表紙
右) Sprouted Sandwich

最後に、このようにアメリカでは全粒粉の製品が多く出回っています。それらの中でさらに商品の差別化を目的に発芽小麦が広まってきています。栄養価では全粒粉とは大差なくとも、「発芽」には消費志向に対して何かしら良いイメージがあるのでしょうか。日本では、全粒粉の普及もまだ十分とはいえませんが、いずれアメリカのようにパンに対して「健康」という付加価値が求められ、そのアイテムの一つとして「発芽小麦」が認知され、利用される日が来るのかもしれない、そのように感じました。

参考文献)

1) ごはん彩々 ホームページ

<https://www.gohansaisai.com/fun/entry/detail.html?i=800>

「玄米、発芽玄米って？精白米との違いや玄米と発芽玄米の違いを解説！」

2) TryIT ホームページ

[https://www.try-it.jp/chapters-15371/sections-15372/](https://www.try-it.jp/chapters-15371/sections-15372/lessons-15373/point-3/)

[lessons-15373/point-3/](https://www.try-it.jp/chapters-15371/sections-15372/lessons-15373/point-3/)

「5分でわかる！発芽に関する植物ホルモン」

3) Benincasa P., Falcinelli B., Lutts S., Stagnari F., Galieni A..

「Sprouted Grains: A Comprehensive Review」

Nutrients. 2019; 11(2):421.. Available from:

<https://www.mdpi.com/2072-6643/11/2/421/htm>,

accessed December 4, 2019.

4) Tatiana Cauduro, Carolina T.S D'Aimeida, Barbara Biduski

…「Whole wheat flour replaced by sprouted wheat improved

phenolic compounds profile, rheological and bread-making

properties」 Journal of Cereal Science, 2023