

新解説 グルテンフリー穀物による 麦芽とビール醸造 (1)

瀬口 正晴 (SEGUCHI Masaharu)^{1,2}

竹内 美貴 (TAKEUCHI Miki)³ 中村 智英子 (NAKAMURA Chieko)³

¹ 神戸女子大学, ² 日本穀物科学研究会会長, ³ 神戸女子短期大学

Key Words : グルテンフリー グルテンフリービール

本論文「グルテンフリー穀物 食品と飲料, 新解説グルテンフリー穀物による麦芽とビール醸造 (1)」は, “Gluten-Free Cereal Products and Beverages” (Editted by E. K.Arendt and F.D.Bello) 2008 by Academic Press (ELSEVIER), の第 15 章 Malting and brewing with gluten-free cereals by B. P. N. Phiarais and E. K. Aren't 等の一部を翻訳し紹介するものである。

ビール醸造の歴史

ビール製造の技術と工夫は約 5000 年に遡ることができ, 世界の多くの地域の発掘によって証明されている。古代の醸造法の描写は古代エジプトの墓に書かれた中に見出される。ビールの記述は 2000BC のメソポタミア遺跡の記述に含まれている (Arnold, 1911)。ビールはパンとともに古代文明の食事で最も重要な食品である。さらに, 食品であるとともに, ビールは宗教的信仰, 儀式の中で中心的役割を担う (Corran, 1975)。Scythians (スキタイ), Celts (ケルト), Germanic (ゲルマン) 民族により好まれた飲料で, そこでは毎日の家庭の食事の仕事として女性により発酵の仕事が行われ, すべての文明の中でベーキング, 醸造は女性の仕事であった。醸造産業への変化はキリスト教の宗教的場所の醸造所で起こり, ビールは彼ら自身のためだけであったが他のものへの報酬ともされた (Arnold, 1911; Kunze, 1996a)。ひきつづいてそれは男性のための職業となり今日に至る (Bamforth, 2003)。

歴史的にビールは大麦からつくられるものと報告され, 1516 年のビール精製法の紹介以

来, 大麦は伝統的に主たるビール原料として用いられてきた (Arnold, 1911; Rich, 1974)。かつてから信じられたことはビールは大麦以外からは作れないということである; しかしながらよく言われたことは, 濁ったビールがソルガム (Owuama, 1997, 1999; Igyor *et al.*, 2001; Goode *et al.*, 2003; Nso *et al.*, 2003), アワ (Eneje *et al.*, 2001; Agu 1991, 1995), トウモロコシ (Ilori *et al.*, 1991; Lanares, 1992; Shephard *et al.*, 2005) の様な穀物から作られ, 熱帯においてはこれまでのビール醸造に変わる原料として価値が有ると信じられて来た。消費者の要求に答えるために, 他の穀物 (米, トウモロコシ), 擬似穀物 (ソバ, キノア, アマランス) が醸造原料として研究されたが, そこにはグルテンがないことと, 健康にプラスと思われる物質のあるためであった (Zarnkow *et al.*, 2005; Kreis *et al.*, 2005)。

麦芽と醸造プロセスの全体像

麦芽プロセス

麦芽プロセスは穀粒中に酵素を作り, 化学成分の変化を引き起こさせる (Kunze, 1996b)。麦芽プロセスは大麦ストックの洗浄と選別し,

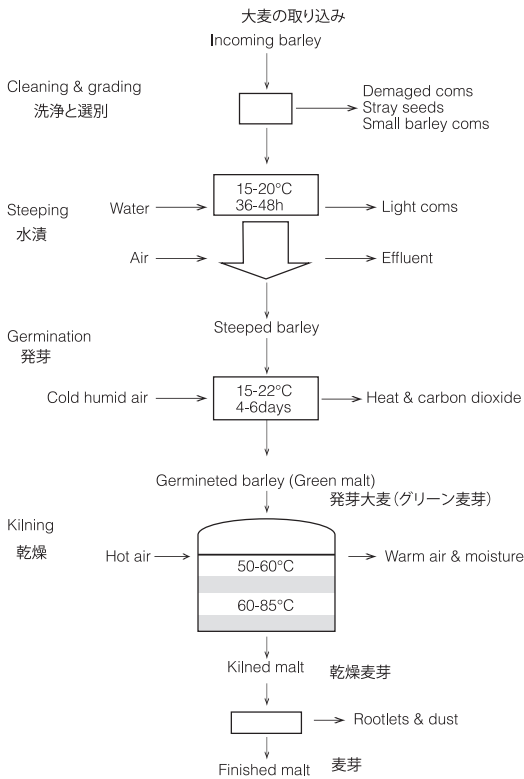


図 15.1 麦芽調製の図

粒を水に浸け、発酵させ、最後は釜で乾燥し、保存処理する (図 15.1)。

水に浸けている間に粒は水を吸い容積は増える。4-6 時間後、初めに浸けた水は捨てる。粒は大きく空気を吸い CO₂ をだす。粒の水分含量が 43-46% になった時、水に浸けることを中止する (Briggs *et al.*, 1981c)。

発酵の間、粒は十分量の水中で、ルートレット (根)、アクロオスパイア (芽) を成長させる。この成長の間、デンプン分解、細胞溶解、およびタンパク質分解酵素が形成され活性化される。これらの酵素は、すりつぶしている間、大きな分子、例えばデンプン、タンパク質、β-グルカンの様な物を本質的に分解する。強い呼吸作用の結果、水につけた粒は十分な空気が与えられ、冷えて、CO₂ が除かれる。発酵はアクロオスパイア (芽) 長がほぼ粒の長さの 2/3-3/4 になった時、普通は止められ、粒はグリーン麦芽となる (Kunze, 1996b)。

乾燥 (Kilning) の間、グリーン麦芽から水は除去される。麦芽は脆くなるまで乾燥し、安定な貯蔵物質となり、そこからは根も簡単に除去できる。乾燥 (Kilning) は麦芽の層にいろいろなスピードの暖かい乾燥空気を流して行い、温度をあげて乾燥した麦芽穀物にする。麦芽中の酵素活性は、乾燥レジメの温度、時間で非常に大きく影響を受ける (Briggs *et al.*, 1981d)。

醸造プロセス

最も重要な 2 つのビール製造プロセスとは、マッシュの間デンプンの分解で糖にして、これらの糖を発酵してアルコールと CO₂ にすることである (Kunze, 1996d)。もっとも簡単には醸造は 7 段階からなる (図 15.2) ;

1. グリストミル (製粉機) 中で麦芽大麦をつぶして荒い粉にする (グリスト)。
2. マッシュタン (桶) 中に、麦芽グリストを温水と混ぜ粥状の粘性あるマッシュをつくる。麦芽酵素は、麦芽製造中調製されたものだが、つぶした麦芽の壊れた内胚乳を最も適した温度で可溶化して、できるだけ多くの可溶抽出物とする。
3. ロータータン (桶) 中で、麦汁中の可溶性

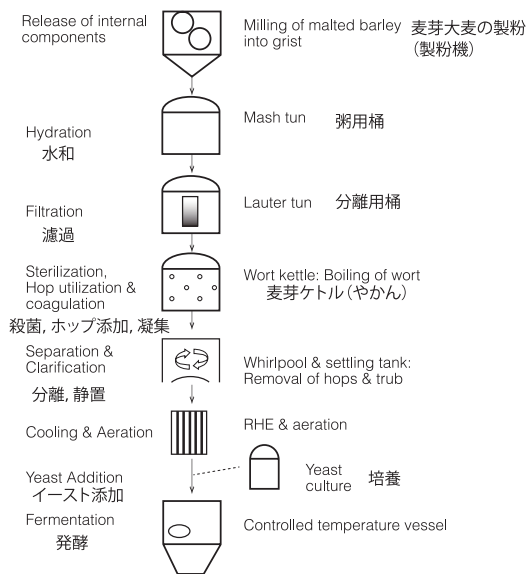


図 15.2 醸造プロセスの図

抽出物は、不溶の固形分（グレインハスク）から分離する。さらに、水をタンクの上からマッシュにスプレーして抽出液を増やす。

4. 次に麦芽ケトル（やかん）中で麦汁をホップとともに煮沸する。これで酵素活性を止め、麦汁を殺菌し、あるタンパク質を凝集し、ホップのはっきりしたフレーバー、香りを麦汁に着ける。
5. whirlpool（ジェットバス）で熱い麦汁を沈殿粒子（例えば trub）から分離する。
6. 麦汁の冷却、エアレーションを続け、そしてイースト発酵の理想的な培養液が作られる（Briggs *et al.*, 1981b; Hough, 1985b; Kunze, 1996d）。
7. イーストが次に加えられ麦汁を発酵し、存在する炭水化物はアルコールと CO₂ に変わる。他のイースト代謝物はフレーバー、アロマに寄与する。

熟成と精製にビールは引き継がれ、その間、ビールのフレーバー、アロマ、品質保持がすすむ。最後にビールはパックされ、普通はその後、無菌濾過あるいは殺菌が行われる（Hough 1985a; Kunze 1996c）。

グルテンフリー穀物

セリアック病のひろがりには約 100 名中 1 人と計算される（Hamer, 2005; Sollid and Khosla, 2005）。この比率はセリアック病が最も一般的な不耐性の病気と知られたものの一つであることを示す。この病気は小腸内の免疫（媒介応答）で起こるもので、グルテンが引き金になる遺伝的感受性もつ個体に起こる（Fasano and Catassi, 2001）。唯一の効果的治療法は穀物（小麦、スペルト、トリテケール、ライ麦、大麦）摂取をしっかりとさけることである。穀物にグルテンがあり、患者は生涯を通じてその摂取をさけることである（Ellis *et al.*, 1990）。

グルテンは小麦中タンパク質区分を述べるのに使う一般的用語である。グルテンタンパ

ク質は、2つの区分、それは水溶性アルコールへの可溶性により分けられるものである；可溶性グリアジンと不溶性グルテニンで全体的にはプロラミンとして知られる（Lewis, 2005）。小麦、ライ麦、大麦は全てグラスファミリー（Poaceae）のメンバーで有り、分類学的に近い関係にある。すべてこれらの穀物とそのプロラミン [グリアジン（小麦）、ホールデン（大麦）、セカリン（ライ麦）、多分、アベニン（オート麦）] は、セリアック病をもつ人々にとって有毒である（Kasarda, 2001）。

穀物でグルテンを含まないものには以下のものが含まれる；米（*Oryza Sativa*）、トウモロコシ（*Zea mais*）、ソルガム（*Sorghum bicolor*）、ミレット（例えば *Panicum miliaceum*, *Setaria italica*, *Pennisetum typhoideum* と *Eleusine coracana*）。他の炭水化物リッチ偽穀物はグルテンのないソバ（*Fagopyrum esculentum*）、キノア（*Chenopodium quinoa*）とアマランス（*Amaranthus*）である（Zarnkow *et al.*, 2005）。

グルテンフリー食事の中でオート麦食品の摂取は、米国、その他の多くの国々で反対されていたが、最近の研究からセリアック病患者は全くコンタミのないオート麦を小腸絨毛に害を受ける事もなく適当量の長期摂取しても大丈夫であることがわかった（Janatuinen *et al.*, 1995; Srinivasan *et al.*, 1996; Hoffenberg *et al.*, 2000; Thompson 2001; Peraaho *et al.*, 2004）。FCA（フィンランドセリアック協会）は、グルテンフリー食事の中にオート麦を入れた（Kanerra *et al.*, 2003）。1981年と2000年に World Health Organization（WHO）と Food and Agricultural Organization（FAO）から Codex スタンドアートのグルテンフリー食事見直し草案がでて、所謂グルテンフリー食品は次のように発表された。それは (i) グルテンレベル 20ppm を超えないと思われる如何なるプロラミンも含まないオート麦からなる、あるいはそれで作られるもの (ii) グルテンレベル 200ppm を超えないグルテンフリーとしてきたオート麦からなるもの（Gallagher *et al.*, 2004）。にもかかわらず、多

くの業者およびオーガナイザー、例えば CSA (Celiac Sprue Association), CDF (Celiac Disease Foundation), ADA (American Dietetic Association) は、オート麦に関する添加証拠のない安全性について彼らの考えを変更する事を躊躇している (Thompson, 2000)。

最も研究されたグルテンフリー穀物の1つはソルガムであり、これは元々セリアック病をもつ人のためにビールを作るために用いられたのではなく、1988年ナイジェリアの大麦芽の輸入禁止を乗り越えるために行われたものである。ソルガムに結びつくいくつか固有の問題点(低アマラーゼ酵素活性レベル、低抽出回収量、マッシュ濾過速度が遅い)があるが (Aisen, 1988; Dale, 1990), 大麦芽からソルガム麦芽に変わる可能性を示す研究がある (Okafor and Aniche, 1980; Goode, 2001; Odiboa *et al.*, 2003; Goode *et al.*, 2003)。最近、研究の数はグルテンフリー食品の域において顕著に増加してきた (Gallagher *et al.*, 2004)。

ソバ、キノア、アマランサスはグルテンフリー食事に加えてよいかどうかの問題点に対し、GIG (Gluten Intolerance Group) (Seattle, Washington) と CDF (Studio City, California) の両グループは、これらの植物食品を受け入れたが、一方 CSA (Omaha, Nebraska) はそれらを受け入れないとリストに述べた (Shewry, 2002)。しかしながら CSA はこれらの穀物にグルテンが含まれてるとは実際には言わない (Thompson, 2001)。ここで最近の証拠はこれらの穀物はグルテンフリー食品の生産に用いる事ができるという結論をより強く支持している。

最近の研究は、米、トウモロコシ、ミレットやソバ、キノア、アマランサスのような偽穀物と言ったグルテンフリー穀物を使った麦芽やビールの製造に焦点が絞られてきた (Bauer *et al.*, 2005; Nic Phiarais *et al.*, 2005, 2006b; Wijngaard and Arendt, 2006; Wijngaard *et al.*, 2006)。これらの研究で、一般に最も醸造に可能性の高い生材料はソバであることが別個にわかった。この理由からソバの麦芽、醸造のことがより詳細に取

り上げられた。

グルテンフリー生材料にもとづく麦芽とビールに関する研究は、ソルガムに焦点があわされたが、このレビューの目的はソルガムに変わるものとしてグルテンフリー穀物、例えば米、トウモロコシ、ミレット、そして同様に偽穀物のソバ、キノア、アマランサスの利用に焦点を合わせた。

グルテンフリー穀物の麦芽 穀物

ソルガム

大麦栽培は熱帯地帯ではできないので、アフリカでのビール生産には温帯域からの大麦麦芽輸入が必要でコストがかかる (Dufour *et al.*, 1992)。ナイジェリアの1988年大麦麦芽輸入禁止の結果、ソルガム麦芽とトウモロコシ麦芽が伝統的アフリカ飲料の醸造用に製造された (Igyor *et al.*, 2001; Okungbowa *et al.*, 2002; Nso *et al.*, 2003; Ogbonna *et al.*, 2004)。ソルガムは、大麦芽に変わるものとして、大きな可能性を示した (Aisen 1988; Ilori *et al.*, 1991)。しかしながら醸造業者の中に、市販ビール製造時、補助的にソルガムを利用した経験者がいて、その際に次のように問題に遭遇した; 時間のかかる不完全な麦芽の糖化、困難な麦汁の分離、さらに、困難なブライトビールの濾過であった (Aisen, 1988)。にもかかわらず、味覚に関して大麦と同様の効果のあるとまでは主張されてはいないが、100%ソルガム麦芽ビールはナイジェリアや他の地域の国々で、多くの人々にビールとしての品質は受け入れられている (Aisen and Muts, 1987)。

麦芽加工はソルガムの相対的栄養価を増加し、麦芽ソルガムは、離乳期の子供用の食事の低粘度粥を作るのに用いられた (Briggs, 1998a)。しかしながら、第1にソルガム麦芽は Kaffir ビール類似のビール醸造に用いられた (Aiser and Muts, 1987)。1つの重大な問題点は、普通ソルガム麦芽で醸造する実験研究結果で生じるものは、不十分な酵素レベルである事

だ。初期の研究では、ソルガム麦芽中に糖化用 β -アミラーゼが僅かあるいは全くなかったため、ソルガム麦芽使用は大型ビールの醸造用には不適切であるという間違った結論となった (Kneen, 1945, 1944)。しかしながら数名の人々は、用いたデンプン分解酵素の活性測定法が大麦用のものでソルガムのリサーチ研究には不適であったと議論した (Novellie, 1962; Okon and Uwaifo, 1984)。この考えのサポートとして Taylor and Robbins (1993) は、デンプン分解酵素力測定に異なった方法を使うとソルガム麦芽の β -アミラーゼ活性はあり、大麦麦芽の 25% 以下のレベルであると報告した。そこで著者等はソルガム中の β -アミラーゼは大麦中とは異なり活性化した可溶性の状態にあり、大麦では殆どの β -アミラーゼが不活性の結合状態で存在していると結論した。活性 β -アミラーゼレベルはソルガム、大麦両方で同一であると考えられた。

詳細な研究が最適のソルガムの麦芽加工のために行なわれた (Agu and Palmer, 1987b; Obeta *et al.*, 2000; Ogbonna *et al.*, 2004)。今日までソルガムで最適の麦芽加工は 20-25°C で 8 時間水につけ、続いて 2 時間空気中におき、さらに、14 時間水に浸ける。その時水分は 34-36% で同一の温度で発芽は 120 時間行う。これは次に 24 時間 50°C で乾燥に続く (Agu and Palmer 1999; Igyor *et al.*, 2001)。ソルガム、生と麦芽は、現在広くヨーロッパタイプのラガービール醸造に広く用いられている。多くの熱帯発展途上国では経済的な理由から広く用いられている。ナイジェリアでは、既に全ての大麦芽が国内で生産されたソルガムに置き換えられている (Okolo, 1996)。

米

米はアルコール飲料生産に広く用いられている。アルコール飲料、例えば日本の酒、中国の shaoshinshu (焼酒)、および東南アジアの種々雑多なアルコール飲料は、主成分は米であるが、時には一種類の穀物 (米) のみで作られる (Yoshizawa and Kishi 1985)。さらに、米は

ビールのようなアルコール飲料の生産に付加物として用いられる (Cours, 1976)。ビール、酒は最もポピュラーな米ベースのアルコール飲料であり、大量に生産されている (年間、ほぼ 9×10^{10} L ビール, 15×10^8 L 酒)。醸造にともない、米には非常にナチュラルな匂いと香りが有り、適当に醸造ハウスでは、軽くてクリーンな味のビールとなる (Canales 1979)。もっと最近麦芽米で興味あるのは食品材料での利用の可能性の引き金となってきたため、遊離糖の増加、アミラーゼ含量の増加、さらに、発芽後の粘度低下のためである (Malleshi and Desikachar 1986b)、さらに、アフリカの或る地域では必要性から輸入大麦に変わるものとして関心が持たれている。さらに、発芽は、米の栄養価のレベルをあげる事が示される (Capanzana and Buckle 1997)。

初期の研究ではビールが米麦芽から醸造できる事を示した (Malleshi and Desikachar, 1986b; Okafor and Zwouno, 1990; Aniche and Palmer 1992)。これらのトライアルで California 粒米が用いられた。粒は 48-60 時間、15°C で水につけ、17.8-18.0 度で 72 時間発芽させ、そして最後に 48 時間で乾燥するが、32.2-65.5°C の温度上昇による。これらの低い温度は粒のガラス化を抑えるためである。しかしながらできた物は酵素活性が貧弱で、生産するのに高価であり、内胚乳物質は修飾が貧弱であった。にもかかわらず、麦芽化した米に対して、クッカー中で溶液化はす早く、比較的低温で起こる。さらに、高抽出回収よく、できた物のフレーバー、香りがこの材料を用いるとすばらしい (Briggs, 1988a)。

Okafor and Iwoouno (1990) は、麦芽した米の麦芽ロスがしばしば非常に高くなるので醸造材料としては満足のゆくものではないことを示した。米麦芽は、最終的には従来のやり方でひかれて砕かれた時、糖化が不十分で麦汁の流出はゆっくりであった。さらに、米麦芽は非常に苦くなることがわかった (Malleshi and Desikachri 1986b)。米に関する研究の不一

致性から、抽出回収量増加とフレーバー改良のために、最適の麦芽処理体制を探す強いニーズのあることが判る。

トウモロコシ

トウモロコシはメキシコの Tarahumara Indians の伝統的な Tesuino トウモロコシビールを作るのに用いられて来た (Lanares, 1992)。さらに、ホーム - 醸造の Xhosa トウモロコシビールの生産と消費は、南アフリカの伝統的なものとして広がっている (Shephard *et al.*, 2005)。醸造関連のものとして、トウモロコシはビールのアワ・ダメージング効果を制限するために胚芽除去をせねばならない。

トウモロコシは麦芽がソルガムよりもかなり少なく、報告された試験のほとんどの報告では、醸造業者の見地から不満足な結果であった (Briggs, 1998a)。この穀物の麦芽の特徴についての我々の知識は少ない。Mang and Fields (1978) の記録しているのは、或る面では、トウモロコシの発芽はその栄養価を強めることができるという。しかしながらトウモロコシデンプンの糊化温度は高いので、もしも修正したマッシング (加水) 方法を用いれば、多分ソルガム麦芽と同様、改良された抽出回収量を得る事ができるだろう (Hough, 1985b)。Singh and Bains (1984) は、麦芽作成法で、粒を 36°C で 12 時間事前に乾燥して、25°C で 40% 水分含量になるように水に浸け、25°C で 168 時間発芽させ、最終的に 45°C で 24 時間乾燥させることを推奨している。

そこでソルガムのようにトウモロコシで麦芽をつくるのに「湿と温」が必要で、そのためカビ感染の極端な広がりとなった。グリーン麦芽は、酵素活性のために低温で乾燥すべきである。増加した抽出量、酵素レベル、Kolbach 指数、および麦芽ロスが得られる。さらに、ジベレリン酸添加で α -アミラーゼ、プロテアーゼ抽出物、Kolbach 指数値を上昇させた (Singh and Bains, 1984; Malleshi and Desikachari, 1986a)。最近、上等の麦芽品質選択のための、とうもろこし品質を選ぶというはっきりした努力は行われ

ていない。

キビ

キビは小粒の熱帯性穀物の総称のグループである。不透明なビール、少なくとも実験的には透明なビールであるが、麦芽にして食品材料として利用している。キビの品種間、あるいは 1 つの品種中でも麦芽品質にかなりの違いがある (Briggs, 1998b)。初期の研究から、麦芽と醸造、さらに、キビからのラガービールの生産は可能であるが、ビールのフレーバー、色調改良にはまだ高度の研究が必要である (Eneje *et al.*, 2001; Pelembe *et al.*, 2002)。

南アフリカでは、伝統的にパールキビが麦芽、発酵に使われた。麦芽したパールキビは、粘度のない子供用 (乳児) の離乳食に用いられる (Pelembe *et al.*, 2002)。大麦、ソルガムと違い、キビ麦芽の技術については知見が少ない。パールキビ麦芽のベストの加工方法は、25°C で水に着け、1 サイクル 2 時間湿地、2 時間空気中で休ませ、全 8 時間行い、25-30°C で 72-96 時間発芽させ、最後に 50°C 24 時間の乾燥が示されている (Pelembe *et al.*, 2002)。これらの条件は、高ジアスターゼ活性、 α -、 β -アミラーゼ活性、遊離アミノ態窒素、適当な麦芽ロスを示す。ある場合には、さらに、ジベレリン酸添加で回収量を高め、酵素活性はすぐにピークに達しより高い α -アミラーゼ活性になる (Agu and Okeke, 1991)。

キビ麦芽化の限定された仕事は、主にフィンガーキビですすめられた (Chandrasekhara and Swaminathan 1953; Nout and Davies, 1987; Malleshi and Desikachari 1986a, 1986b; Nirmala and Muralikrishna, 2003)。フィンガーキビは非常に良い麦芽を作り、伝統的アフリカ不透明ビールの醸造に使われ、さらに、消化の良い液状食にも使われている。フィンガーキビ麦芽は非常に納得ゆくフレーバーと受け入れやすい味があると報告されているが、しかし短時間の貯蔵の間これらの麦芽は苦い味に変化してゆく (Malleshi and Desikachari, 1986a)。未麦芽のフィンガーキビ粒は、非常に僅かのアミラーゼ、ブ

ロテアーゼ、フォスファターゼ活性ではあるが、粒が発芽がするとこれらの酵素活性はかなり増加する (Chandrasekhara and Swaminathan, 1953)。さらに、フィンガーキビは、カルシウムと食物繊維に富んでいる。Malleshi and Desikachar (1986b) は、麦芽のレジメは粒を 24 時間 25°C の水に浸け、25°C で発芽 9 時間行い、最後に 24 時間 45°C で乾燥することがすすめている。これまでの研究からパールキビとフィンガーキビ麦芽は大量タイプのビール製造に大麦置き換え価値の有る事がわかった。

オート麦

オート麦の食品利用は伝統的にオートミール、オートフレーク、朝食のセリアルである (Wilhelmson *et al.*, 2001)。天然のオート麦は可溶性食物繊維、価値のある脂肪酸の高含量、ビタミン、ミネラル、ステロール、抗酸化剤の大量精選され健康増進穀物として知られている (Peterson, 2001)。さらにオート麦は FDA (Food and Drug Administration) 承認の健康宣言によると、オートミールからの可溶性食物繊維、低飽和脂肪酸、低コレステロール食事は心臓病のリスクを低下させることが、消費者間で興味を増加させた (Anderson and Chen, 1986)。オート麦は普通好ましいナッツ臭、粒の匂いが有り、発芽はフレーバー、官能の特徴を良くするのに用いられ、それとともに金属の生化学的利用性の増加にも有効である (Lanson and Sandberg, 1995) (Heydanek and McCorrin, 1986)。

最近、オート麦麦芽はまれにしか用いられないので、利用できるデータは僅かである (Larsson and Sandberg, 1995; Peterson, 1998, 2001; Wilhelmson *et al.*, 2001)。オート麦麦芽は大麦麦芽に比べれば少量である。オート麦麦芽は、時たま多くの国の人々ためにヨーロッパ醸造家により利用されたが、その利用も今では僅かである。時にはオート麦麦芽は英国でエールビール用に用いられ、さらに、ストウトの醸造に用いられ、さらに、特別の食品成分に用いられる (Briggs *et al.*, 1981a; Little, 1994)。

Avena Sativa と *Avena byzantina* の 2 種 は、最も広く育てられたオート麦品種である (Schrickel, 1986)。しかし麦芽醸造には僅かの量しか用いられない (Little, 1994)。

主なるオート麦品種で麦芽に用いられるのは *A. Sativa* (Wilhelmson *et al.*, 2001) と、醸造用には *A. gramineae* である。研究からはっきりしたのは、デンプンはゆっくり発芽中に分解され、発芽したオート麦中のデンプン含量は未発芽オート麦よりも同じかあるいはわずかに低い (Peterson, 1998)。さらに、オート麦の発芽は、不可欠アミノ酸 (特にリジン、トリプトファン) 含量の増加を引き起こし、僅かのプロラミン含量の低下を引き起こす。 (Dalby and Tsai, 1976)。

オート麦は高金属含有の穀物であると記録されている (Anderson and Chen, 1986)。しかしながらラジオアイソトープ技術を用いた最近の研究から、オート麦粥、オート麦ふすまパンを含む朝食からの鉄、亜鉛の低レベルの人体への取り込みが示された (Sandstrom *et al.*, 1987; Rossander-Hulten *et al.*, 1990)。オート麦の高フィチン酸含量は、低フィターゼ活性とともに、低鉄吸収の説明と考えられる (Zhou and Erdman, 1995)。ここでより良好な金属利用性を得るために研究者は加工中のフィチン酸分解の適当な条件を研究し、オート麦のフィチン酸含量を低下させるための発芽条件を見出した (Larsson and Sandberg, 1995)。最適のオート麦の麦芽条件はつぎのようである ; 16°C の水に 16 時間浸け、発芽は 16°C で 144 時間行い、引き続き 49-85°C で 22 時間乾燥する (Peterson, 1998)。巨大分子の水解の基本的知識を用い発芽粒のアミラーゼ分解活性、解糖活性、タンパク質分解活性の利用をコントロールして、オート麦麦芽から多量タイプのビールを作る事ができた。

偽穀物 (ソバ, キノア, アマランス)

ソバ

ソバは大部分の穀物とは違い Polygonaceae 属に属する交換作物である。ソバは小麦とは関係

なく、その名前は多分トライアングルの種子に基づくものであり、それはピーナッツのずっと大きい種子に似て、これが小麦のように使われる事実だ (Biacs *et al.*, 2002)。ソバ粒は、栄養価が高く、よいタンパク質源である。ソバの栄養価は、キビより高くあるいは米、小麦のような穀物よりも高い (Marshall and Pomery, 1982)。その成分は栄養・生化学的見地からも好ましく、健康保持食事によくあっている。ソバの一定の消費は、“栄養生まれの文明病”(消化不良、肥満、便秘、コレステロール、糖尿病、高血圧等)を防ぐ事ができる (Qian and Kuhn, 1999b; Li and Zhang, 2001; Prestamo *et al.*, 2003; Sun and Ho, 2005)。

ソバは殻付き殻なしの両方がある (Biacs *et al.*, 2002)、しかし最近の研究から殻なしソバの利用が殻付きのものより長所が有り、それは水吸収が遅く、その結果麦芽は改良されるという物である (Wijngaard *et al.*, 2005b)。麦芽ロスに加えて、もう1つの殻無し材利用のメリットは、濾過性の改良であった。水につける時間、温度のソバモルト品質に与える効果の研究は、次の事を示した。即ち最適の水浸時間後の水分含量は 35-40% で、その時に薦められる水浸時間は、温度 10°C で 7-13 時間である (Wijngaard *et al.*, 2005a, 2005c)。この水分レベルでの麦芽ロスは受け入れられる範囲内にあり、麦芽品質は最適である。ソバ麦芽中の至適酵素活性は、ソバが 15°C で 96 時間、発芽する時に得られた (Wijngaard *et al.*, 2005b, 2006)。このとき粒は十分に修正され、しかし栄養価は消費されていない。さらに、ルチンは機能性をもつポリフェノールの1つだが、麦芽の間、顕著に増加した。

いくつかの最適条件が最近ソバ麦芽に提案された。殻なしソバを用いたソバを含め、広範囲のグルテンフリー穀物の最適麦芽条件を定めるのに、RSM (応答曲面法) が用いられた (Zarnkow *et al.*, 2005)。著者らは 96 時間の水浸時間、水分 47% の程度で、発芽時間は 19°C で 120 時間を薦めた。これらの麦芽条件はかなりバラバラであり、Wijngaard *et al.*, (2005b, 2006),

NicPhiarais *et al.*, (2006b) が報告しており、ここでは水浸時間は僅か 10 時間で水浸の程度は 35-40% の間で発芽時間は、15°C で 95 時間が推薦された。Bauer *et al.*, (2005) は、いろいろなグルテンフリー麦芽を用いて広いフレーバー分析を行い、ソバ結晶状麦芽には強い甘い香り、モルト臭、ナッツの香りを見出し、エール生産醸造成分として用いる可能性を示した。NicPhiarais *et al.*, (2005) は、ソバ麦芽中の酵素活性への乾燥の重要性を研究した。

結論として 40°C で長く乾燥すると加水分解酵素の不活性化が起こる。多段階乾燥ステップがそこで研究され、酵素活性は乾燥プロセスの間乾燥を行う温度によって示された。ソバの酵素活性の最適レベルのためにソバ麦芽は 40°C 5 時間、50°C で 3 時間さらに、60°C で 3 時間フォローすべきであるとした (Nic Ohiarais *et al.*, 2006b)。この条件下で、最も高いレベルのアミラーゼ酵素、全可溶性窒素、遊離アミノ態窒素が観察された。得られた結果から強く示されることは、ソバは最適にまで麦芽化すると、健康保持、醸造目的に用いられるソルガム麦芽に変わるグルテンフリーとして有益である可能性を示す。

キノア

偽穀物である Chenopodiaceae 属の穀物キノアは、良好な栄養成分を持つもの、さらに、離乳食として顕著に貢献していると認識されている (Caperuto *et al.*, 2000)。キノアはリジン、メチオニンが高含量含まれていると言われている (Mahoney *et al.*, 1975)。世界中で多くの研究がキノアの農学レベルでなされてきたが (Sigstad and Garcia, 2001)、生理学的レベルあるいは麦芽、醸造面では少ない。キノア種子は *in vitro* では早い発芽といういい面があるが、土壌では非常に貧弱な発芽である (Aufhammer *et al.*, 1996)。36 時間麦芽処理すると、キノアの α -アミラーゼ活性は 4 倍に増加する (Atwell *et al.*, 1988) が、外胚乳のデンプン粒は発芽の間アミラーゼで強く分解するようには見えない (Varriano-Marston and DeFrancischi, 1984)。これ

は麦芽プロセスにとり有利ではないが、マッシング(すりつぶし)と醸造にとり多少いい所である。もし α -アミラーゼレベルが麦芽製造の間このように消費されないならば、残った酵素はマッシングプロセスに利用されるであろう。Kunze (1996d) は、マッシングの間、 α -アミラーゼが存在しないと、糖化は不完全になり低抽出の wort(麦中)になると述べた。RSMを使って、Zarnkow *et al.*, (2005) はキノアの最適の麦芽条件を探すと、水漬時間 36 時間、水分 54%、発芽温度 8°C で 144 時間であった。

麦芽化したキノア粒はまた栄養的利用性を改良した。発芽の間、フィチン酸は 35-39% まで落ち、一方鉄溶解性は生理的条件下(および生体中の鉄利用度の計測から)は 2-4 倍に増えた (Valencia *et al.*, 1999)。消費者は食品、飲み物を消費しながら、革新的なものを求めている、さらに健康に価値のあるものを求めているため、キノアの栄養的性質は麦芽と醸造目的用のやりがいのあるこれからの材料の研究をしようとしている。

アマランス

アマランスは、Amaranthaceae 属の一品種であり、ほとんど亜熱帯、熱帯域で見られる (Berghofer and Schoenlechner, 2002)。食物栄養源として価値あるこの植物は、野菜として食べられ、その種は穀物として用いられる (Irving and Becher, 1985)。文献上僅かに、現在利用できるアマランスの醸造用材料の情報があるだけである。

種子の発芽あるいは麦芽では、一般に生原料中の内胚乳酵素を使って一部加水分解されたもの

の (pre-digest)、好ましい物質が合成されたもの、そして好ましくないものの破壊が進んだものが用いられる (Kunze, 1996b)。Paredes-Lopez and Mora-Escobedo (1989) は、初めてこのアマランスの技術の詳細な利用を述べた。水に漬けて 10 分後、アマランス種子は 35°C で 72 時間発芽のために放置する。発芽 48 時間後、リジン量は変化せず、72 時間後タンパク質消化性が増加するに伴ってリジンは僅かに減った。対照として Balasubramanian and Sadasivam (1989) は、12 時間アマランス種子を水に浸け、192 時間までそれらは発芽した。この条件下では 48-182 発芽時間の間、タンパク質は減少し、リジンは発芽 24 時間後 31% 増えることが観察された (Paredes-Lopez and Mora -Escobedo, 1989)。これらのモルト条件は、明らかに Zarnkow *et al.*, (2005) の報告と違うが彼は RSM を使って最適のアマランス麦芽条件を探した。これらの麦芽条件では、水に漬ける時間 36 時間、水分は 54%、発芽温度は 8°C で 168 時間とした。そのため麦芽と醸造目的ではこの Zarnkow *et al.*, の方法がアマランス麦芽を調製するのに用いるべきだとされた。

発芽前後の高級な栄養的成分のため、ソルガムに変わるアマランスの存在はグルテンフリーの興味深い原料である (Colmenara DeRuiz and Bressani, 1990)。しかしアマランスの麦芽、醸造成分としての利用にはもっと研究が必要だ。

以下、次号へつづく

連絡先：瀬口 正晴 (Masaharu Seguchi)
Email: :gr228587@wf7.so-net.ne.jp