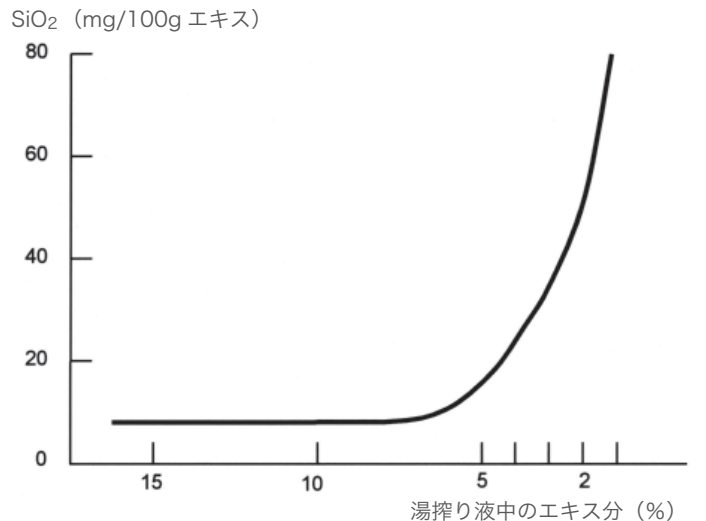


●▲■5. 糖化後の問題

糖化が終了すると、麦汁の温度を 78℃まで上げて諸酵素活性を失活させます。そして、麦芽粕中に残っている糖分を洗い出す湯搾りの段階に入ります。すなわち、麦芽重量の 7 から 8 割はエキス分として可溶性となっており、できてくる麦汁は濃い、20%ほどのエキス含量のもので、モロミ濃度が濃い方が酵素と澱粉の接触がよく多くのエキスが得られる上、その後の湯搾りで薄められるからです。すなわち、仕込みの際には湯の量の 1/4 程度の麦芽粉が投入されています。それらが水を吸っているわけですから、麦汁が濾過されて湿った穀皮層が見えてきた段階（ここまでに得られた麦汁を一番麦汁、あるいは、一番搾りと呼びます）でも、その穀皮層は厚く、その中には多量の糖化液が残っています。それを抽出するために、穀皮層が見え出す寸前に湯を注いで濾過を続けます。これが湯搾りと呼ばれる工程で、得られる麦汁は二番麦汁、二番搾りです。ここで重要なのが湯の温度です。

湯の温度は高いほど麦汁の粘度が低下し濾過が順調に進行するのですが、ビール麦には 2 種類の澱粉粒が存在し、数%含まれる小粒澱粉は量的には少ないのですが、糊化温度が格段に高いという特徴を持っています。この澱粉の挙動が濾過性に影響を及ぼします。すなわち、ビール造りに限らず、澱粉が発酵性の、分子量の小さな糖にまで分解されるには、前述のとおり、糊化、液化、糖化、と言う 3 段階の反応が必要です。麦芽中の澱粉が糖化される場合には、まず、澱粉粒を覆っている細胞壁物質の分解が起こり、澱粉粒が酵素による分解を受けやすい、裸の状態になる必要があります。この反応は、製麦工程中に進行します。これが十分に進行していないと澱粉がつまっている胚乳部分がガラス質を呈します。この部分が残っているかどうかは製麦過程で麦をつぶしてみてもその感触で調べます。細胞壁物質の分解が十分に進んでいるかどうかは状態を「溶(と)け」と表現します。製麦技術の問題となりますがすべての麦粒がそろってよく溶けていないと、仕込みのいろいろな面に影響が出てきます。

話が製麦の問題となってしまいましたが、まず、糊化と言うのは文字通りそのままでは水に溶けない（結晶化して素麺の束のような状態となっている）澱粉の構造の間に水を侵入させてほぐすことを言います。こうなった状態の澱粉でないと、酵素によって分解を受けません。糊化のための温度は、植物の種類によって異なり、大麦の場合、大粒澱粉は 60℃程度ですが小粒澱粉は 80℃程度の温度を必要とします。したがって、糖化工程中には小粒澱粉はまだ糊化されていない状態でモロミ中に存在します。糖化後の湯搾りの温度が小粒澱粉の糊化温度よりも高くなってしまえば、糊化された澱粉がモロミ中に混ざり、その温度ではすでにモロミ中の糖分解酵素はほとんど失活してしまっていますので、モロミの濾過性を阻害する結果となります。したがって、湯搾りの温度は小粒澱粉の糊化温度より、かならず低くしなければなりません。また、濾過された麦汁中に糊化澱粉がもし残っていると、長期のビール保存中に結晶状態に戻り、混濁発生の原因にもなります。



第 2 図 湯搾り経過中のシリカの溶出状況

湯搾りは通常糖度 5%程度で切り上げ、それ以下の糖度の麦汁は、続いて仕込みをするのであればその際の仕込み水に使用します。糖度が 5%以下になると、タンニンや塩類の溶出が急激に促進されることが報告されています。特に問題となるのはシリカで第 2 図にその様子を示します。横軸が糖度当りですので絶対量としてはこのようには増えませんが、主として穀皮由来の成分も同様な挙動をとりますので、糖度的（経済的）には残念ですが、ビールの品質面からは、早めに湯搾りは終わらせるに越したことはありません。湯搾りのエキスを利用して、原麦汁糖度の低いビールを造っている例がドイツではあるようです。

糊化温度は穀粒の状態や水分含量などによって必ずしも一定しませんが、馬鈴薯澱粉や小麦澱粉は低く米やとうもろこし澱粉は高く、後者を副原料として使う場合には、糊化の段階で麦芽の酵素類が失活してしまうので、麦芽モロミとは別に糊化しておいてから使う必要があります。この場合、10%程度の麦芽を添加して一緒に加熱し、そのアルファアミラーゼ（液化酵素とも呼ばれる）活性によって同時に液化（低分子化）も進行させ、粘度の低下を促すことは必須なことです。仕込みに際しても、インフュージョン法の場合には糊化と液化、糖化が同時に進行することになりますので、温度プログラムの厳密な設定が必要で、どうしてもエキス収量はデコクション法の場合に比べて低くなります。したがって、インフュージョン法で使う麦芽は製麦段階でよく酵素を生成させた、すなわち、溶けを良くしたエール麦芽（前編の第 1 表参照）のようなものを使わなければなりません。このようなこともあり、上面発酵と下面発酵は、酵母が発酵の終期に液の上に泡と一緒に浮くか、タンクの底に沈むかの違いのほかにも、いろいろな点で違っています。昔は、エールは、ホップも使わない全く別種の飲み物であったそうです。今でも英国では、荒っぽく言えば、ビールは瓶や缶に詰められて家で飲むもの、エールはパブで生で飲むもの、と言えるでしょう。なお、アミノ酸の生成は下面発酵用のピルスナー麦芽に於いても製造段階ですでに大部分進行していると前述しましたが、エール麦芽ではより一層進んでいるので、仕込み初期の「蛋白休止」期間（45 - 50℃の温度に置く時間帯）を省略して 60℃近くから仕込をはじめるケースもあるようです。しかし、この温度帯は濾過に関係するグルカンを分解するためにも必要な温度帯なので、十分な予備試験による確認が必要です。

濃縮麦汁を購入して発酵のみを行う場合もあるようですが、麦芽の場合も含めて、購入に関しては特に注意が必要です。欧米では濃縮麦汁も麦芽も、ビール以外の用途がたくさんあり、カタログにはいろいろな種類の製品が用途別に載っています。入念に読み込んで間違いのないものを購入してください。

●▲■6. ホップ煮沸

ホップはお茶のようなものだとよく言われます。高温で抽出すると渋みが出、低温だと香りが残ります。したがって、香りのよいホップは煮沸工程の後期に用いられるのが通例です。ホップがビールに苦味を与えることはよく知られていることですが、その苦味は麦汁中で煮沸されることによってはじめて生ずることは一般の消費者はおそらく知らないことでしょう。ホップの苦味成分はそうように熱によって変化しやすいものですから、適した条件でないと苦味以外の成分になってしまう可能性もあります。おまけに、ホップは天然物ですので、苦味を与える成分は一種類ではなく多くの成分の混合物ですし、それらの保存安定性も同じではありません。したがって、ホップの、(購入)、保管、管理、使用は、ビール製造職人にとってもっとも高い技術を要求されることであると言ってよいでしょう。

近年は、昔のように、乾燥したホップの毬花を使うことはなくなり、ペレット状に固められて真空包装されたものを使う場合が多いと思いますので、保存中の品質変化は少ないと考えられますが、冷蔵することは必須です。開封後の保管管理は特に重要です。ホップの苦味質や香りのもととなる精油成分は酸素のある状態で保存されると酸化されてやや水溶性となり、苦味は変質し、精油成分は煮沸中に揮散しにくくなります。それは必ずしも悪いことではなく、ベルギーのランビックビールの製造所では、1年以上保存したものでないと言わないと言っています。一口で言えば、苦味はマイルドで弱くなり、香りは枯草的な香りが残る傾向となります。ペレットやホップエキスを使うのであればこのような調節は、大きくは不可能でしょう。品種の違いが大きく影響することとなるでしょう。ホップは産地

と品種が、大文字のアルファベットの3文字で明示されることになっており、最初の一字が産地を、あとの2字が品種を表しています。なお、ホップには防腐作用があるといわれていますが、その濃度は現在のビールに存在するホップ苦味質濃度の数倍が必要で、現在のビールにそれを求めるのは無理なことです。

ホップ中の苦味質前駆体が煮沸によって苦味質に変化するには30分程度で充分ですが、精油成分をどの程度揮散させてどの程度の香りをビールに残すかは、醸造家の腕の見せ所です。通常の煮沸時間は1時間ほどですが、煮沸強度や蒸散率が影響してきます。凝縮水は麦汁中に戻らないような構造になっているはずですが。

ホップ煮沸はビール造りの工程中、殺菌が行われうる最後の工程です。濃度調整のための水や、糖液を副原料として使用する場合には、それらを煮沸終了の10分ほど前に投入します。したがって、麦汁の糖度は熱い状態で測定されますので、温度補正をして正しい値を求めます。エキス収量判定のため、麦汁の量もこの段階で測定します。

●▲■7. 麦汁冷却と清澄化

酵母を添加する状態での麦汁の清澄度は、ビールの香味生成に非常に重要なファクターです。したがって、ホップ煮沸の後には清澄化が、麦汁の冷却の際に同時に行われます。麦汁は栄養価の高いものですし、煮沸以降の殺菌工程はありませんので、酵母添加までのこれらの作業は、特に清潔な環境で、迅速に行われなければなりません。

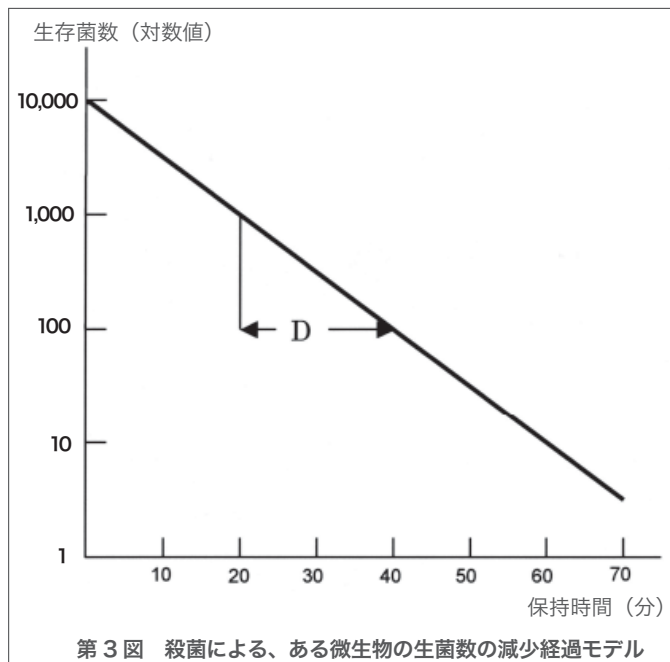
ホップ煮沸によって、麦汁中の蛋白質の一部が変性し、凝固物となります。また、ホップ中の苦味質や精油成分以外のものも混入していますので、これらは量的にも、以下に述べる冷却混濁物質よりも多く、麦汁がまだ熱いうちにワールプール等の装置により取り除かれます。いったん清澄となった麦汁も、50℃以下に冷却されてゆくうちにまた混濁してきます。これを寒冷混濁といい、高い温度では現れていなくても温度が低くなると現れる性質を持っています。したがって、麦汁はいったんできるだけ冷やして遠心分離や珪藻土濾過によって清澄化します。ホップの苦味質は脂溶性の物質ですので、大豆中の油脂成分がほとんど豆腐の中に移行するように、混濁物質に付着してロスとなります。また、冷却混濁には麦芽中の脂質が多く含まれており、それらは酵母の増殖を盛んにする効果をもっており、発酵制御を困難にします。具体的には、エステル成分の生成が減り、香りが乏しくなります。なお、これらの混濁物質は発酵開始によるpHの低下によっても生じ、酵母自体も混濁成分と同じようなものですので、発酵前の麦汁を清澄化してもそれで透明なビールができるという保証とはなりません。発酵中に生ずる混濁物質などへの吸着もありますので、ホップ中に含まれていた苦味質のビールへの移行率はせいぜい30%といわれています。しかし、一言で言えば、麦汁の清澄化によってビールの香味はすっきりとなります。清澄化の後には、既述のように迅速に麦汁への通気と酵母添加がおこなわれ、発酵が開始されます。

●▲■8. 本題からは外れますが・・・

今、盛んに話題となっている、ニューバイオテクノロジーの最古のものは醸造であると言われていています。その理由は、生物(酵母細胞)を人為的に扱い始めたのが醸造だからと言えるからでしょう。それを、経験(芸)から科学(技術)へと進歩させたのがルイ・パスツールです。パスツールはワインの殺菌の必要性から微生物を発見したのですが、それまでは雑菌汚染の回避が醸造ではもっとも大切な技術だったのです。雑菌汚染の防止、すなわち、殺菌は今でも醸造には最重要な技術です。そこで、本題から外れますが殺菌技術の基本について、ここで紙面を借りて述べさせていただきます。

今、あなたに、「ビールに生えてくる乳酸菌は何度で殺菌すれば全滅させられるでしょうか」と質問すれば、「60℃で30分」とかの返事がかえってくることでしょう。しかし、殺菌に於いては、全滅と言うことは実現不可能なものです。第3図に示しましたように、60℃なりの、ある特定の温度で殺菌した場合に、微生物の生菌数の減少は対数的に進行し、ゼロとなることはないのです。これは膜濾過に於いても同じです。理論的には、生菌数を一桁低下させるに要する時間を、その温度でのD値(単位は時間)と言い、その工場での全製品中の生菌数を何桁減少する必要があるかと言う経営的判断で決められます。そのため、耐熱性が高く、当該工場内で頻度多く見つかる危険性の高い代表的な菌を決めておいて、その菌のD値を元

に決めることになります。缶詰業界では12Dと言う値がよく使われているそうです。この図の例の温度ではD値が20分ですので、12Dとは240分、つまり、4時間と言うことになります。



第3図 殺菌による、ある微生物の生菌数の減少経過モデル

この殺菌の法則はいろいろな重要なことを示唆しています。すなわち、全滅させることが不可能であるならば、菌数を減少させるためには、その生育を阻止する必要がありますので、清掃は頻繁に行う必要があるということです。また、汚れは菌濃度の濃い個所を作ることになりますので、機械的に(こすって)除去する必要があります。汚れは菌と同じように殺菌剤を消費しますので、汚れのある状態で殺菌剤を使うのは意味がありません。また、麦汁やビールの滞留する個所を、製造工程内はもとより、排水設備内にも作らないことも構造的に必要です。

もう一つこの原則から言えることは、殺菌する対象の汚染の程度が低ければ低いほど、殺菌の強度をそれだけ低くできると言うことです。加熱殺菌であれば、PUすなわち、パストリゼーション・ユニットを低くしても大丈夫だと言うことです。低くできれば、生ビールに近い品質のビールを容器入りで供給できると言うことになります。

したがって、現代に於いても「どんなに強い殺菌であっても菌が完全に死滅することはない」と言う大原則を常に心にもち、洗浄、殺菌を頻繁に、入念に行い純粋培養状態を維持することが、醸造技術の根幹であることを忘れてはなりません。

●▲■9. 最後に

最後に、醸造とは狭い意味での発酵と違って原料、製品共に複雑なものです。したがっていくら精密な計器で測定しても、その結果だけによって品質を判定することはできません。したがって、五感を精一杯働かせ、工程や品質を実感することが欠かせません。当然のことですが、付言させていただきます。

text.T.Inoue

井上 喬 (いのうえ たかし)

(プロフィール) 1935年、東京都に生まれる。東京大学農学部卒業。キリンビール・ビール科学研究所所長、秋草学園短期大学教授を歴任。「ビールのダイアセチルに関する研究」にて農学博士号。全北米大陸醸造者協会(MBAA)より功績賞。米国醸造化学者協会(ASBC)より栄誉賞。日本醸造学会幹事。前MBAA技術委員会アジア地区代表委員。前Institute of Brewing, Asia Pacific Section日本代表委員。(著作)「ジアセチル」(幸書房)、「やさしい醸造学」(工業調査会)、「お酒のはなし」(学会出版センター、共著)、「Recent Advances in Japanese Brewing Technology」(Gordon and Breach Scientific Publishers)など。米国醸造化学者協会(ASBC)から「DIACETYL」が出版予定。

QA? 本稿に関するご質問・ご意見等は、きた産業 (info@kitasangyo.com) にご連絡ください。筆者に転送いたします。