

脱気した種々のビールサンプルの起泡性、泡安定性、泡サイズの分析

1. はじめに

長い間、ビールの食品化学分析と品質テストは、この人気の飲み物の生物学的安定性に主に焦点を当ててきました。しかし、近年の重要性は変わってきました。醸造業界はビールの賞味期限に関して高く信頼できる基準を開発し、研究と品質保証はますます楽しみの側面に焦点を当てています [1]。これに関連して、現在、優先順位はビールの泡の形成、均一性、安定性などのトピックに移ってきています。

ビールの泡は、含まれる天然の界面活性剤と、醸造プロセス中に反応生成物として形成される二酸化炭素 (CO₂) の組み合わせによって形成されます。後者は追加されません。必要な圧力を発生させるために、追加の CO₂ が使用されるのはタッピング中のみです。この研究は、CO₂ 含有量とは無関係に、発泡性および発泡安定性に対する発泡形成物質の影響を分析する可能性を示しています。この目的のために、ドイツのポピュラーな地元特産ビールであるピルス、クリアウィートビール、ケルシュの泡の高さとサイズを、CO₂ を除去してから測定しました。分析の結果、測定のために標準化したビールサンプルの泡の挙動は、タップしたビールの特性とは大きく異なっていることがわかりました。特に、ケルシュビールをタップすると少ししか泡立たないという挙動は、大きな驚きをもたらしました。

2. 背景

ビールに含まれるタンパク質により泡が形成されます。これらは界面活性剤であり、泡の薄層の形成と安定化につながります。ただし、種々のビールやさまざまな製造方法の泡の挙動に対する泡形成物質の影響を比較することはそれほど簡単ではありません。その理由は、醸造プロセス中に形成される二酸化炭素 (CO₂) の含有量の違いにあり、タンパク質と一緒に泡の形成に関与しています。

同様に、泡の安定性は、タンパク質含有量だけでなく、CO₂ にも依存します。なぜなら、泡の薄層の水分への CO₂ ガスの溶解が泡の崩壊を加速するからです。一方、流体体積からのより多くの気泡の上昇には、安定化効果があります。これらの制御できない要因とは無関係に泡形成物質の影響を分析できるように、最初にサンプルから CO₂ を除去しました。

ガス溶解による不安定化が加速しないように、測定では脱気したサンプルから空気を使用して送気によって泡を生成しました。これにより、さまざまな種類のビールにおける泡立ちと泡の安定性の違いは、液体の組成にのみ関連することが保証されます。

3. 試料と測定方法

● 分析したビールの種類

異なる醸造プロセスで製造された 3 種類のライトビールを分析しました: クリアウィートビール、ピルス、ケルシュです。



シリアル麦芽（小麦または大麦）と使用される酵母（上面または下面発酵）に関して、異なるタイプのビールです。



表1: 調査したビールサンプル

	ウィートビール	ピルス	ケルシュ
ブランド	Paulaner Weißbier	Holsten	Reissdorf
酵母	上面発酵	下面発酵	上面発酵
シリアル	小麦	大麦	大麦

図 1 測定したビールの種類: Paulaner Weißbier kristallklar, Holsten Pilsener, Reissdorf Kölsch

脱泡しない場合のこれらのビールの発泡挙動はよく知られており、ウィートビールとピルスは大量の安定した泡を形成しますが、ケルシュの泡はわずかししか泡立たない傾向があり、泡は不安定です。

● 測定の準備

脱気プロセスでは、それぞれのビールを装置に移し、脱気バルブを備えた真空ポンプによって CO_2 を脱気しました。ビールが実際に完全に脱気されるまでこのプロセスを繰り返しました。

動的フォームアナライザ DFA100 の測定カラムに各サンプル 50 mL をシリンジで充填しました。

コンピューター制御により 0.3 L / min の一定流量で、ペーパーフィルターを介して測定カラム内のサンプルに 20 秒間空気を通すことにより、制御された方法でビールを発泡させました。測定温度は 25°C でした。

DFA100 では、フォームカラムの高さの時間依存測定によって、起泡性と泡安定性の測定が行われます。これは、測定カラムに沿ってそれぞれ配置された LED バーと光検出器バーによって実行されます。起泡性は、起泡時の最大高さに、泡安定性は泡の高さの経時的減衰に基づいて計算されます。特性パラメータとしての減衰半減期も、曲線の推移全体に加えて、いくつかのサンプル間の比較を行うために使用できます。

再現性を確認するために、ビールの種類ごとに少なくとも 2 回の測定を行いました。

泡サイズ解析モジュール FSM を使用して、泡高さの測定と泡サイズの分析を同時に行うことができます。このモジュールには、プリズムを備えた特別な測定カラムがあり、ビデオカメラでガラスの壁にある発泡ラメラをキャプチャします。泡の構造と、泡サイズと数に関する経時的な変化を、ビデオ画像分析によって検出します。

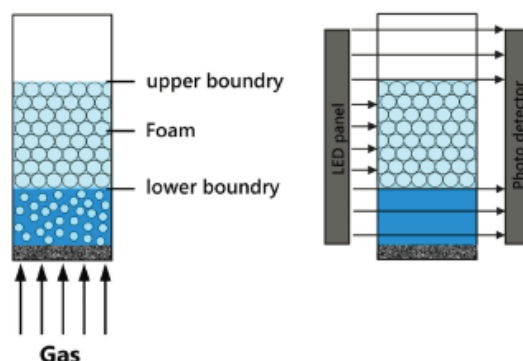


図 2: 動的フォームアナライザ DFA100 の起泡性と泡安定性の測定原理

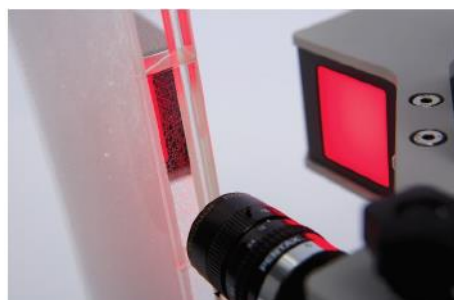


図 3: 泡サイズ解析モジュール FSM の泡で濡れたプリズムに対するカメラ

3. 測定結果

● 測定曲線の再現性

次の例が明確に示すように、繰り返し測定は、高さ曲線の非常に優れた再現性を示しました。上の曲線は測定した全高を示し、下の曲線は泡の下の液柱の高さを示します

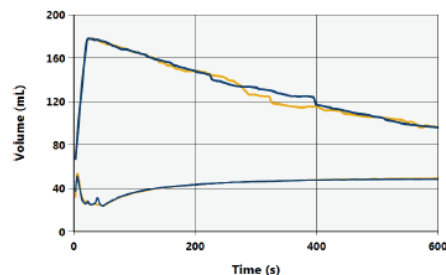


図 4: ホルステン ピルスナーの例: 最大泡体積と減衰 (上の曲線)、および泡柱の下の液体体積の変化 (下の曲線) 非常によく再現できている

● 発泡性

発泡性に関しては、最大泡の高さのわずかな違いからわかるように、サンプル間の違いはほとんどありません (図 5)。

一般的に知られているウィートビールの高い発泡性とケルシュの低い発泡性は、これらの測定値では反映されていません。したがって、未処理のビールのさまざまな発泡特性は、異なる CO₂ 含有量と関連していると結論付けることができます。脱気したサンプルでは何の意味もありませんでした。

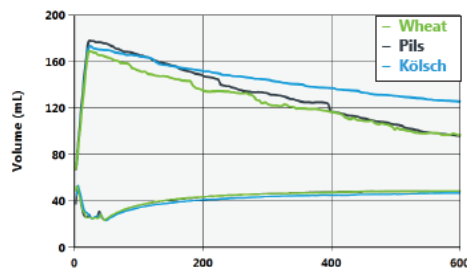


図 5: 総泡量の経時変化

● 泡の安定性

脱気したサンプルの安定性挙動は、CO₂ を含むビールの特性からさらに大幅に逸脱しました。ここで最も印象的な結果は、ケルシュビールの結果です。このビールの泡高さは、他のタイプよりもゆっくりと減少しました (図 5 を参照)。これは半減期を示す棒グラフ (図 6) でも見ることができ、ケルシュの半減期は他のタイプの約 2 倍です。したがって、ケルシュビール中の界面活性剤は泡のラメラを十分に安定化させ、ケルシュビールをタップした後の速い泡崩壊は、主に CO₂ の影響によるものであると結論付けることができます。

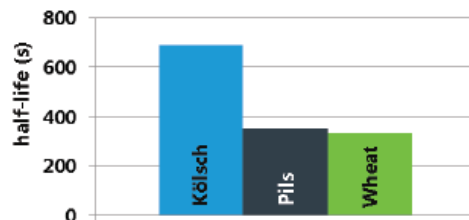


図 6: 泡の高さの半減期

● 泡サイズ

一般に、泡の崩壊は、大きな泡の形成と同時に起こる小さな泡の消滅 (オストワルド熟成) の傾向と密接に関係しています。この気泡サイズの変化は、3 つのサンプルすべてで観察できます。次の図 (図 7) は、最初の 3 分間の気泡構造の変化を示しています。

珍しいのは、ケルシュビールのより安定した泡が、オストワルド熟成の開始時に非常に動的であるという事実です。つまり、大きな泡が非常に迅速に形成されます。通常、急速に形成される気泡は、多くの場合、速い泡の減衰と密接に関係しています。

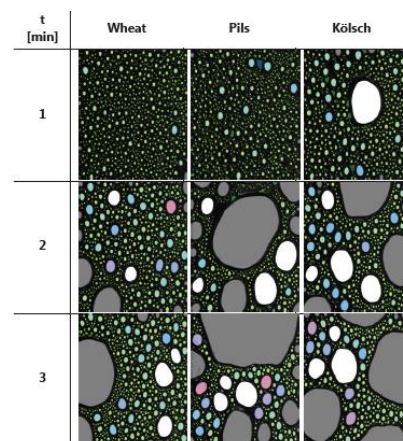


図 7: 最初の 3 分間での泡の構造と泡の数の変化

観察したセクションのビデオ画像分析でカウントした気泡は、同じ初期傾向を示しました（図 8）。ケルシュの気泡の数は、ウィートビールの場合よりも速く、ピルスと同様の速度で減少します。

それにもかかわらず、ウィートビールとピルスの泡の高さは、ケルシュの泡の高さよりも長期的に安定していませんでした（図 6 を参照）。これは、前述の最初の 2 種類のビールの場合、気泡のサイズが大きくなると、比較的早く破裂することを意味します。一方、ケルシュの泡形成タンパク質は、大きな泡のラメラをよく安定させるように見えるので、そのふわふわした大きな

穴の泡は、長期間無傷のままです。タップしたときのビールの挙動とは反対となるこの結果は、泡の崩壊が CO₂ の影響を受ける場合、タンパク質に関連したケルシュの安定化はもはや効果がないことを示唆しています。

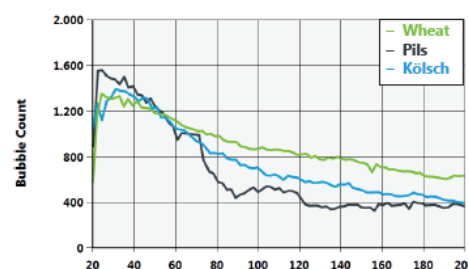


図 8: 時間の経過に伴う気泡の数

4. まとめ

3 つの脱気したビールサンプルを動的フォームアナライザー DFA100 でテストし、CO₂ を含まない状態で、ビール中の界面活性剤の効果および泡の挙動への影響を分析しました。クリアウィートビール、ピルス、ケルシュの起泡性、泡安定性、泡サイズを測定しました。調査結果は、これらのタイプの泡の挙動が、CO₂ を含むビールとは大きく異なることを示しました。特に、タップしたときにほとんど泡を形成しないケルシュは、脱気したときに良好な泡立ちと泡の安定性を示しました。

この研究により、ビールそのままの状態での発泡挙動から、発泡物質の含有量について言及することはできないことが明らかになりました。CO₂ を含まないサンプルの測定が完了するまでは、界面活性タンパク質の比較を行うことはできません。

DFA100 では空気の代わりに CO₂ を使用して発泡させることもできます。したがって、より広範な研究で、発泡層ラメラの水分中での CO₂ 溶解度の不安定化の影響を定量化することは可能です。

5. 参考文献

[1] Hughes, Paul: Improving the non-biological stability of beer, New Food Volume 17, 5 (2014), 30-35.

私たちのウェブサイトでもっと多くの興味深いアプリケーションレポートを見つけることができます

<https://www.kruss.de/services/education-theory/literature/application-reports/>