

「苦味価」は何を語っているのか？

ビールの苦味強度の指標として苦味価 (BU) が用いられる。苦味価はビールからのイソオクタン抽出物の吸光度を測定するという公定法によって測定される。測定された苦味価 (BU) はビール中のイソ α 酸含有量 (mg/L) を反映すると言われているが、本研究では、47.5 BU で 39.9 mg/L のイソ α 酸を含むビール、一方で 49.9 BU でありながらも 2.2 mg/L のイソ α 酸しか含まないビールを作成している。本解説では大きく、(1) 麦汁やビールの苦味価には、イソ α 酸以外に、非イソ化 α 酸、 α 酸の酸化劣化によって生じた極性化合物、および麦芽由来の極性成分が寄与すること、(2) α 酸のイソ化は 60°C 付近で始まり、高温であるほどイソ化は早く進むこと、(3) 非イソ化 α 酸は発酵中に消失し、このことが発酵工程中の苦味価の低下に影響すること、(4) 劣化したホップを用いると、苦味価への酸化劣化物質の寄与率が大きくなり、同じ苦味価であっても苦味強度が弱くなる、ということ述べている。

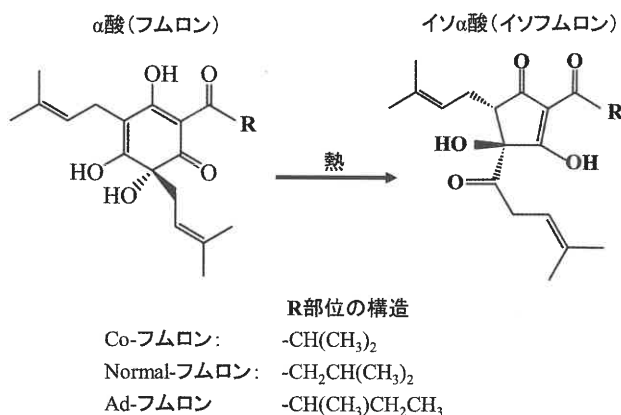
岸 本 徹

1. はじめに

ホップ (*Humulus lupulus* L.) は醸造工程において、ビールに特有の苦味と香りを付与するために用いられる。ホップ中の α 酸 (フムロン) は仕込工程の主に煮沸工程において異性化されてイソ α 酸 (イソフムロン) となり、そのイソ α 酸がビールの苦味として寄与する。 α 酸には、n-体 (normal の略)、co-体、ad-体

という同族体が存在し、それぞれ n-フムロン、co-フムロン、ad-フムロンと呼ばれ、それらを総称して α 酸と呼ぶ (第 1 図)。イソ α 酸中の同族体の呼称も同様である。

苦味強度、苦味物質の含有量を示す指標として、広く苦味価 (Bitterness Unit; 単位 BU) が使用され、その測定には国際的に定められた分析法^{1,2)}が用いられる。具体的には、試料となる 10 mL のビールまた



第 1 図 α 酸の異性化の様式と同族体の構造

第1表 異なるイソ化温度で作成した麦汁とビールの苦味価, イソ α 酸濃度, α 酸濃度

麦汁のイソ化温度 (°C)	麦汁				ビール							
	苦味価 (BU)	イソ α 酸 (mg/L)	α 酸 (mg/L)	α 酸のBUへの寄与率 (%)	苦味価 (BU)	発酵によるBU減少率 (%)	イソ α 酸 (mg/L)	α 酸 (mg/L)	α 酸のBUへの寄与率 (%)	アルコール (%)	外観エキス (%)	pH
20	33.7	6.9	27.3	56.5	19.1	43.5	7.2	3.3	14.6	4.6	2.4	4.2
30	33.4	7.0	27.5	56.2	19.1	42.7	6.9	3.2	14.6	4.6	2.3	4.2
40	33.4	6.6	26.9	56.8	18.7	44.2	7.1	3.2	14.3	4.6	2.3	4.2
50	34.5	7.3	26.8	55.1	19.5	43.5	7.4	3.3	14.2	4.6	2.3	4.2
60	35.8	8.7	26.2	51.6	20.0	44.2	7.3	3.4	15.6	4.6	2.4	4.2
70	35.7	11.8	23.6	44.0	22.6	36.7	11.1	4.2	14.0	4.5	2.4	4.2
80	39.9	18.7	23.2	35.8	27.8	30.2	17.2	4.1	10.0	4.6	2.4	4.2
90	50.1	34.4	18.1	21.2	38.4	23.3	28.5	2.8	4.8	4.5	2.3	4.2
100	55.8	40.1	10.3	11.9	47.5	14.9	39.9	2.5	3.1	4.7	2.4	4.2
無ホップ	5.6	0	0	-	3.7		0	0	-	4.8	2.4	4.1

※1. 表記の温度で60分間静置することによりイソ化させた。イソ化前に麦汁のpHを5.1, 外観エキスを11.6%に調整した。

※2. α 酸の苦味価への寄与率(%)は, HPLCクロマトグラムのエリア面積値より算出した。

第2表 酸化劣化させたホップペレットを用いたビール中の苦味物質含有量

40°Cでの保管期間	ホップペレット中の α 酸含有量 (%)	発酵後の苦味価 (BU)	イソ-co-フムロン (mg/L)	イソ-normal-フムロン (mg/L)	イソ-ad-フムロン (mg/L)	co-フムロン (mg/L)	normal, ad-フムロン (mg/L)
0日	14.0	47.5	12.9	21.6	5.3	1.3	1.2
3日	13.4	48.2	11.4	19.1	4.6	0.8	0.8
5日	12.8	48.8	11.8	19.3	4.6	1.0	0.9
7日	12.1	47.1	12.4	20.4	4.9	0.9	0.8
10日	10.9	49.9	11.4	18.6	4.6	0.9	0.9
14日	9.8	48.9	11.0	17.9	4.4	0.8	0.7
21日	4.4	54.7	6.6	10.5	2.6	0.4	0.4
30日	1.2	51.1	3.4	5.1	1.3	0.1	0.1
90日	0.0	49.9	1.0	1.0	0.2	0.0	0.0

は麦汁に, 20 mlのイソオクタン (2,2,4-トリメチルペンタン)と0.5 mLの6 N塩酸を加えて振とうし, 遠心分離後, 上層 (イソオクタン層)を回収する。イソオクタン層の吸光度 (波長UV: 275 nm)を測定し, 得られた吸光度に50を乗じて求められる値が苦味価 (BU)である。

本研究では, ビールの仕込み工程において, 異なるイソ化温度にて製造した麦汁, 酸化劣化程度が異なるホップを添加した麦汁を用いて発酵試験を行った。麦

汁とビールの苦味価を測定し, その苦味価測定に用いたイソオクタン層のHPLCによる分析 (検出波長UV: 275 nm)を行うことによって, 苦味価 (BU)に寄与する化合物の挙動を調査した。用いた仕込み方法, 苦味価測定方法, イソオクタン層のHPLC分析方法, α 酸, イソ α 酸の定量方法は原著論文³⁾に詳述の通りである。

2. 試験方法

2-1. 小スケール設備による仕込み³⁾

外観エキスを11.6%, pHを5.1へと調整した麦汁1.5 Lに2.1 gのホップペレット (Hallertau Magnum種) を添加し, 各温度に麦汁を60分間置くことで, α 酸のイソ化を行った。イソ化をさせるために静置した温度を第1表および第5図に示す。

また, 同様に調整した麦汁に, 強制的に40°Cで劣化させたホップペレット2.1 gを添加し, 蒸発率8%/hrにて60分間煮沸した。ホップペレットの劣化条件, ペレット中の α 酸含有量を第2表に示す。

発酵試験は, 1 Lスケールにてビール用下面酵母を用いて行った³⁾。酵母による苦味物質等の持ち込みを抑制するために, 酵母添加前に無ホップ麦汁を用いて酵母の洗浄を行った⁴⁾。4°Cに冷却した麦汁に酵母を 15×10^6 cells/mLとなるように各麦汁に添加し, 10°Cにて7日間発酵させた。発酵終了後 $10,000 \times g$ にて30分間遠心し, その上清を分析に供した。

2-2. ビールおよび麦汁の分析³⁾

2-2-1. 外観エキスとアルコール濃度

Anton Paar[®]社製のAlcolyzer Beer ME, DMA4500 Mを用いて分析した。

2-2-2. 味覚センサーによる苦味強度の分析

測定に供するビールの苦味価を予め40 BUに揃えた。劣化ホップペレットを添加して作成したビールの, 液温25°Cにおける苦味強度をSA402 taste sensing system (Intelligent Sensor Technology 製) を用いて測定した。

2-2-3. 苦味価 (BU) の測定

American Society of Brewing Chemists (Method Beer-23A)¹⁾, またはEuropean Brewery Convention (Method 9.6)²⁾によって定められた公定法に従った。10 mLのビールまたは麦汁に, 0.5 mLの6 mol/L塩酸と20 mLのイソオクタンを添加した。15分間激しく振とう後, $1580 \times g$ にて5分間室温で遠心し, 上層 (イソオクタン層) の275 nmにおける吸光度を測定した。得られた吸光度に50を乗じた値を苦味価 (BU) とした。

2-2-4. イソオクタン層のHPLC分析³⁾

苦味価測定工程において得られたイソオクタン層を0.5 μ m PTFEメンブレンフィルターにて濾過し, HPLC分析に供した。移動相の作成においては, まず

リン酸150 gと10%水酸化テトラエチルアンモニウム150 mLを蒸留水に溶解し1200 mLにメスアップした。そこに2800 mLのメタノールを混合し, 脱気濾過したものを移動相とした。分離カラムとしてSim-pack CLC-ODS/H column (250 mm length \times 4.6 mm i.d.; Shimadzu) を用い, 移動相の流速を1.0 mL/minに, オープン温度40°Cに設定し分析した。分析カラムは分析終了ごとに0.05%リン酸を含む蒸留水で洗浄した。 α 酸とイソ α 酸の標準品として用いたDCHA-ISO StandardおよびICE-4 Hops Extract Standard (American Society of Brewing Chemists) のクロマトグラムピーク面積値より, α 酸とイソ α 酸の含有量 (mg/L) を算出した。

3. 結果と考察

3-1. 苦味価 (BU) に寄与する物質について

苦味価の測定工程において得られたイソオクタン層のHPLCクロマトグラム (検出波長UV: 275 nm) を, 第2図のA-E (ビール) および第3図のF-J (麦汁) に示す。 α 酸およびイソ α 酸のn-体, co-体, ad-体のピークを図中に示している。第4図に示されるように, この総ピーク面積値と苦味価 (BU) がほぼ相関する。

第2図-Aに通常の未劣化のホップを用いたときのビール, 第2図-Dに劣化させたホップ (40°Cで90日間保管) を用いたビールのイソオクタン層のHPLCクロマトグラムを示す。図に示されるように, 劣化したホップを用いた場合には, イソ α 酸のピーク以前のリテンションタイム (RT) に現れるピーク群が大きくなり, 同時にイソ α 酸のピークが小さくなるのがわかる。このイソ α 酸よりも前のRTに現れるピーク群は, ホップの酸化劣化により生成した高極性物質群の寄与によるものであり^{5,6)}, ここではOPC (Oxidative Polar Compounds) と略す。ホップ中の成分は収穫後に酸化を受け易く, それによって生成されるOPCは概して水溶性 (極性) が高い物質群である。そのOPCは, 収穫された後のホップにも若干量が既に存在し, 保存状態が悪いと大きく増加する^{7,8)}。このOPCには, ホップの苦味物質 (α 酸, β 酸), ポリフェノール, 脂肪酸, 香气成分の酸化劣化物が含まれることが報告されている^{5,6,7,9,10,11,12,13)}。

第1表に示す通り, ホップを添加していない無ホップ麦汁, および無ホップビールの苦味価はそれぞれ

5.6 BUと3.7 BUとなり、0 BUではない。それらのイソオクタン層のHPLCクロマトグラムを第2図-E、-Jに示す。このことから、ホップ以外の「麦芽等に由来する」高極性成分も苦味価に寄与していることがわかる。

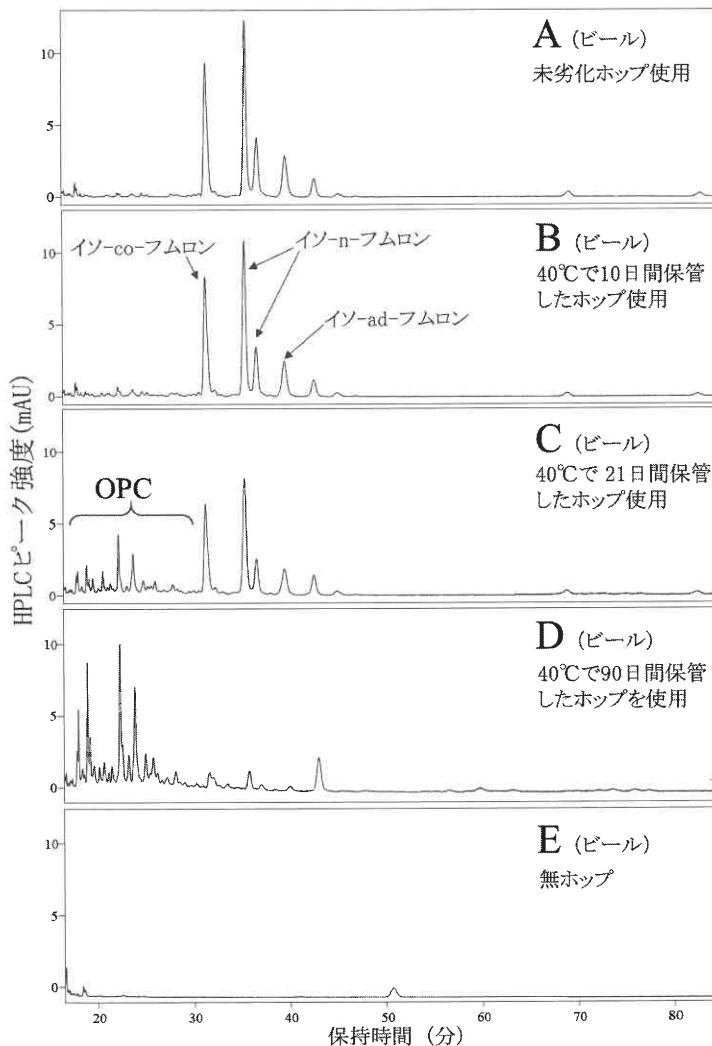
「苦味価 (BU) はイソ α 酸含有量を反映する」と言われているが、イソオクタン層に抽出されたあらゆる化合物が持つ二重結合構造が275 nm紫外線の吸収を示すため、第2, 3図に示すようにイソ α 酸以外の様々な化合物の濃度が苦味価 (BU) に反映されることとなる¹⁴⁾。具体的には、イソ α 酸以外に、OPC、 α 酸、麦芽由来の高極性物質が苦味価の測定値 (BU)

に寄与していることがわかる。

3-2. α 酸のイソ化率と苦味価への寄与

イソ化率の異なる麦汁を作成するために、ホップペレットを添加した麦汁を20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100℃にて60分間保持した。その結果得られた麦汁のイソ α 酸量, イソ化率を第1表および第5図に示す。なおイソ化率 (%) は「イソ α 酸総量 (mg/L) \div (α 酸総量 (mg/L) + イソ α 酸総量 (mg/L))」によって求めた。

第5図と第1表に示されるように、イソ化率とイソ α 酸濃度は60℃付近にて上昇し始めている。このこ



第2図 ビールから抽出したイソオクタン層のHPLCクロマトグラム

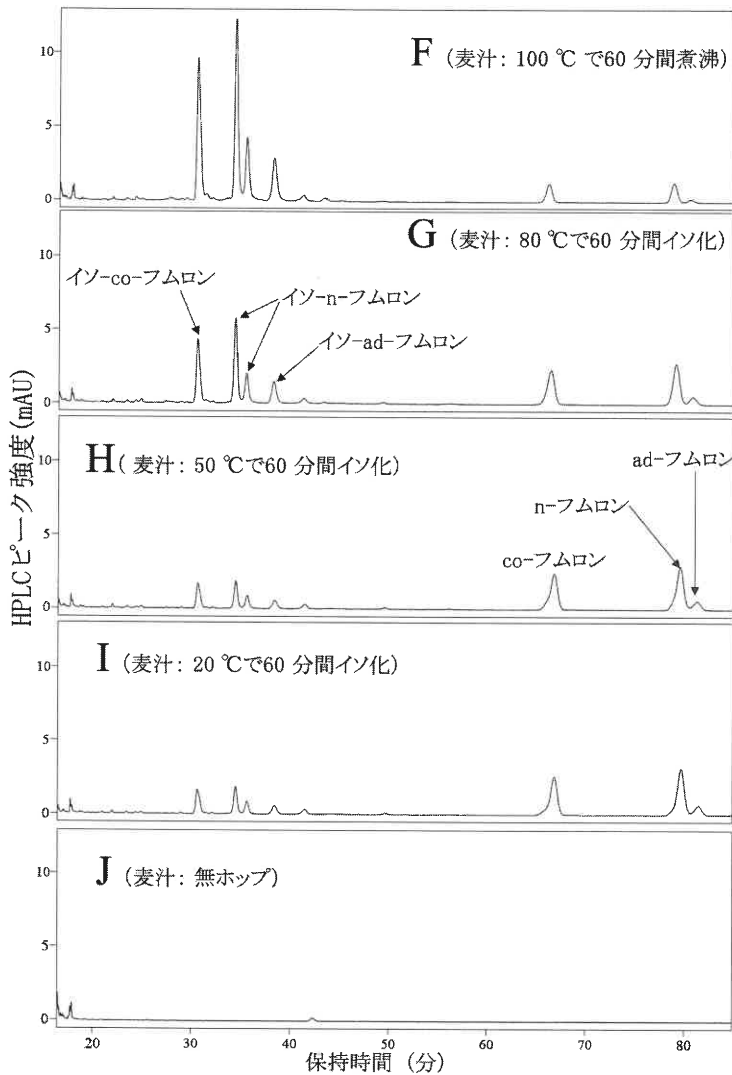
とから α 酸のイソ化自体は 60℃ 付近にて起こり始め、高温であればあるほどイソ化率が上昇する。このことは、 α 酸のイソ化は麦汁の煮沸工程だけではなく、煮沸工程後のワールプール静置工程（熱凝固物を除去する工程）においても進むことを意味している。ビール製品の苦味価をコントロールするためには、このワールプール静置工程の温度および静置時間も考慮せねばならない。

第1表に示すように、100℃で60分間煮沸した麦汁では、 α 酸（非イソ化）は苦味価の11.9%に寄与して

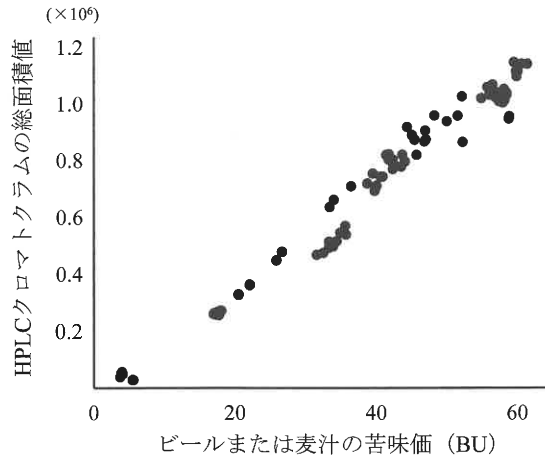
いるに過ぎないが、イソ化温度として20-50℃で静置した麦汁においては、苦味価（BU）の55%以上に α 酸（非イソ化）が寄与している。

3-3. 発酵工程中における苦味価の低下

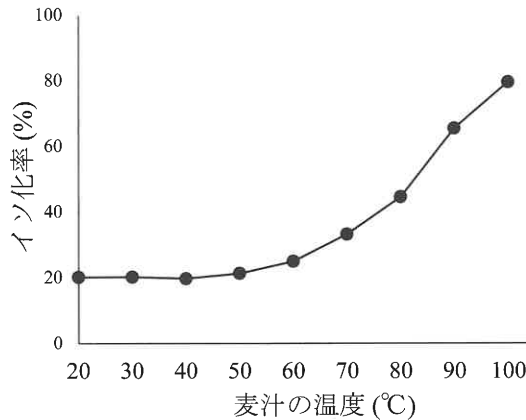
第1表に見られるように、いずれの麦汁においても発酵工程中には苦味価が低下していることがわかる。第1表、およびイソオクタン層のHPLCクロマトグラム第2図-A（ビール）と第3図-F（麦汁）を比較すると、イソ α 酸の濃度やピークエリア面積は発酵工程中にほとんど変化していないが、イソ化していない



第3図 麦汁から抽出したイソオクタン層のHPLCクロマトグラム



第4図 イソオクタン層(ビールおよび麦汁)のHPLCクロマトグラムの総面積値と苦味価との相関



第5図 麦汁のイソ化温度とイソ化率の関係

※ 1. 各温度にて 60 分間保持した際のイソ化率を表す

※ 2. イソ化率は「(イソ α 酸(mg/L))÷(イソ α 酸(mg/L)+ α 酸(mg/L))」により算出した。

α 酸は、発酵中にほぼ消失していることがわかる。このことから苦味価の低下は主にイソ化していない α 酸の消失によるものであることがわかる。イソ化していない α 酸などの疎水性の高い物質の発酵中の消失については、過去の報告^{15,16,17)}においても議論されている。発酵中に pH が下がるとそれらの物質は水に溶解難くなると同時に、発酵で生成する高泡に吸着され、凝固物としてタンク壁に吸着または沈殿し、さらに酵母細胞壁にも吸着され、ビール中から除去されていく。イソ化していない α 酸はその疎水性の高さから発酵中に消失するため、イソ化していない α 酸含有量が多い

ほど著しい苦味価の低下につながる。一方で水溶性の高いイソ α 酸の濃度は発酵中も安定である(第1表および第6図)。

興味深いことに、20℃で静置した麦汁にも既に6.9 mg/Lのイソ α 酸が含まれていた。畑で収穫してすぐに凍結した同品種の穂花からはこのイソ α 酸が検出されなかったことから、このイソ α 酸はホップ穂花の乾燥およびパレット加工工程にて生成したと推察される。

3-4. ホップ由来酸化劣化物の含有量と苦味価

劣化の程度が異なるホップを用いることによって、OPC 比率が異なる麦汁を作成した。開封したホップ

第3表 ビールの苦味価(BU)への各成分の寄与率(%)

ペレットの40℃での保管日数	麦芽由来成分(%)	OPC (%)	イソα酸 (%)	α酸 (%)
0日	7.7	8.4	80.7	3.3
3日	7.6	9.3	80.7	2.4
5日	7.5	9.5	80.3	2.8
7日	7.8	10.7	79.2	2.3
10日	7.3	12.2	78.0	2.5
14日	7.5	13.6	76.7	2.3
21日	6.7	36.9	55.0	1.4
30日	7.1	59.1	33.5	0.3
90日	7.3	83.4	9.3	0.0

※ 1. イソオクタン層のHPLCクロマトグラム面積値より算出した。

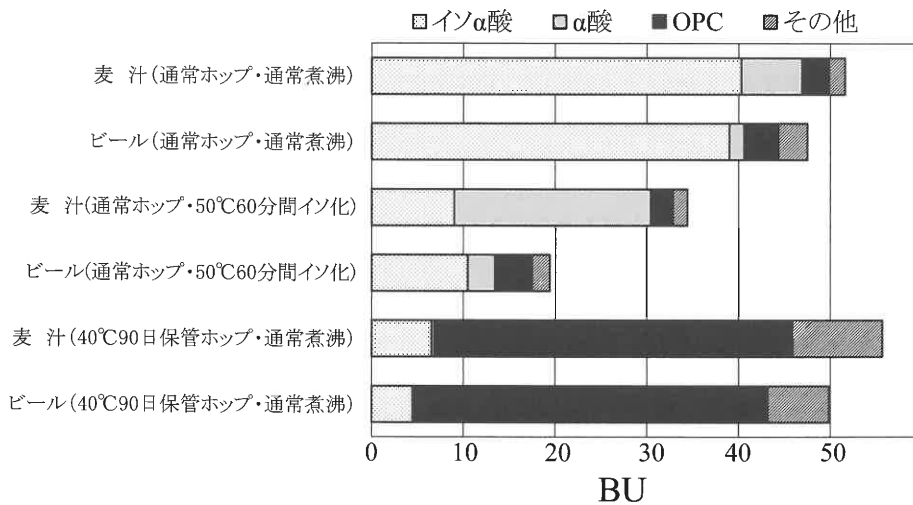
※ 2. OPC：ホップの酸化劣化により生じた高極性物質群(Oxidative Polar Compounds)

ペレットを40℃で保管開始し3, 5, 7, 10, 14, 21, 30, 90日目にサンプリングすることによって、酸化劣化の程度が異なるホップペレットを準備した。

酸化劣化を施したホップペレットを用いたビール中のα酸およびイソα酸含有量を第2表に示す。結果に見られるように、ホップペレットの酸化劣化の程度が大きく異なっても、苦味価はほとんど変わらない。しかし保管期間が長くなるほど、ホップペレット中のα

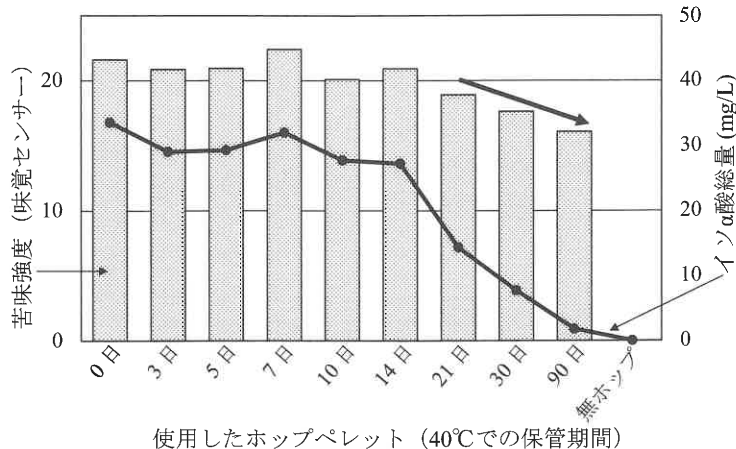
酸含有量、そしてそのペレットを用いたビール中のイソα酸含有量も低下する。一方で第3表および第2図に示すようにHPLCクロマトグラムに占めるOPCの割合(%)が著しく上昇する。そして苦味価に寄与するイソα酸、OPCは発酵中にはほとんど低下しない。

未劣化ホップを用いた47.5 BUのビールには39.9 mg/Lのイソα酸が含まれ、苦味価には主にイソα酸が寄与しており、OPCによる寄与は8.4%であった。



第6図 苦味価(BU)に寄与する成分の割合

※イソオクタン層 HPLC クロマトグラムの総面積値に占めるイソα酸、α酸、OPC、の各面積値の割合と苦味価より算出した。



第7図 ビール(40 BU)の苦味強度(味覚センサー)とイソ α 酸含有量

※無ホップビールを用いて希釈することによって苦味価を40BUに統一し、分析に供した。

しかし、40°Cで90日間保管したホップペレットを用いたビールは、苦味価がほとんど変わらないにも関わらず、わずか2.2 mg/Lのイソ α 酸しか含まれず、苦味価の80%以上にOPCが寄与していることがわかる(第6図)。

3-5. 酸化劣化ホップを用いたビールの苦味強度

味覚センサーを用いて、酸化劣化を施したホップを用いたビールの苦味強度を測定した。味覚センサーを用いた評価は様々な飲料について行われている^{18, 19, 20, 21, 22, 23, 24}。そのうち苦味センサーは単に苦味物質の濃度に応答するだけでなく、ヒトが感じる苦味と高い相関があることが報告されており¹⁸、官能評価において問題となり得るパネリスト間のバラツキを、本装置を用いることによって回避することができる。

苦味強度を測定するにあたり、全てのビールの苦味価を無ホップビールで希釈することによって40 BUに統一した。測定時のコントロールとして無ホップビールを置き、苦味センサーによる強度を測定した。第7図に味覚センサーによる応答値とイソ α 酸濃度を示す。縦軸に示す味覚センサーの応答値として0.5の差があればビールを飲みなれたパネリストは識別でき、1.0の差があれば飲み慣れていない人でも識別できるとされる¹⁸。

保管21日目以降のホップを使用したビールにおいてイソ α 酸濃度が著しく低下し、それに伴い苦味強度

も低下している。OPCを構成する物質はビールの苦味にも寄与するが、その苦味強度は概して弱いことが報告されている^{13, 25, 26, 27, 28}。故に酸化劣化ホップを用いたビールにおいては、同じ苦味価であってもイソ α 酸による寄与が小さくなり、苦味強度が低くなることがわかる。

酸化劣化したホップを用いた場合の苦味質に関する見解は報告によっても異なる。「キレの悪い雑味・渋味に似た、好ましくない苦味を呈するようになる」との報告²⁹がある一方で、「イソ α 酸の苦味を改善し、マイルドな苦味となる」という報告⁶も存在する。イソ α 酸や苦味の認知は様々な受容体によって引き起こされ、その敏感さも様々であることが報告されている^{30, 31}。このことから苦味質の感じ方は個人によっても差があると考えられる。

4. まとめ

苦味価(BU)は苦味強度を表す指標として広く用いられているが、公定法を用いて測定された苦味価には、第6図に示すようにイソ α 酸以外の様々な物質の濃度が寄与し得る。例えば、使用したホップの酸化劣化程度が変化しても測定された苦味価は大きく変わらないが、苦味価に寄与する成分が全く異なることがわかる。

近年では様々な原料や醸造方法によってビールがつくられるようになったが、原料やホップの添加方法に

よっても苦味価 (BU) に寄与する物質が異なってくることを意味する。単に苦味価を比較するだけでは苦味強度を比較できず、どのような原料や醸造方法を用いられて作られたビールであるかを見ながら、「そのビールの苦味価が語ること」を吟味する必要がある。

〈独立行政法人 酒類総合研究所〉

参考文献

- 1) American Society of Brewing Chemists. Method Beer-23A, Methods of analysis of the ASBC 8th ed., MN, USA, 1992.
- 2) European Brewery Convention. Analytica-EBC Method 9.6. Brauerei- und Getränke-Rundschau, Zurich, Switzerland 4th ed., E155 1987.
- 3) Kishimoto, T., Teramoto, S., Fujita, A., Yamada, O., Evaluation of Components Contributing to the International Bitterness Unit of Wort and Beer. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* **79** : -, 2021 (DOI 10.1080/03610470.2021.1878684)
- 4) Kishimoto, T., Wanikawa, A., Kono, K., Shibata, K. Comparison of the odor-active compounds in unhopped beer and beers hopped with different hop varieties. *J. Agric. Food Chem.* **54** : 8855-8861, 2006.
- 5) Ono, M., Kakudo, Y., Nagami, K., Kumada, J. Simultaneous analysis of hop bittering components by high-performance liquid chromatography. III. Development of on-line sample enrichment by precolumn switching. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* **45** : 70-76, 1987.
- 6) Kowaka, K., Fukuoka, Y., Kawasaki, H. and Asano, K., The true value of aroma hops in brewing. Proceedings of the European Brewery Convention Congress, London. IRL Press : Oxford, 1983, pp. 71-78.
- 7) Maye, J. P., Smith, R., Leker, J. Humulinone formation in hops and hop pellets and its implications for dry hopped beers. *Tech. Q. Master Brew. Assoc. Am.* **53** : 23-27, 2016.
- 8) Oladokun, O., Cowley, S. J., Smart, K., Hort, J., Cook, D. Dry-hopping : the effects of temperature and hop variety on the bittering profiles and properties of resultant beers. *Brewing-Science.* **70** : 187-196, 2017.

- 9) Haseleu, G., Lagemann, A., Stephan, A., Intelmann, D., Dunkel, A., Hofmann, T. Quantitative sensomics profiling of hop-derived bitter compounds throughout a full-scale beer manufacturing process. *J Agric Food Chem.* **58** : 7930-7939, 2010.
- 10) Dresel, M., Dunkel, A., Hofmann, T. Sensomics analysis of key bitter compounds in the hard resin of hops (*Humulus Lupulus* L.) and their contribution to the bitter profile of pilsner-type beer. *J Agric Food Chem.* **63** : 3402-3418, 2015.
- 11) Kishimoto, T., Wanikawa, A., Kono, K., Aoki, K. Odorants comprising hop aroma of beer : hop-derived odorants increased in the beer hopped with aged hops. In *Proceedings of the 31st European Brewery Convention Congress* ; Venice, Italy, 226-235, 2007.
- 12) Taniguchi, Y., Matsukura, Y., Ozaki, H., Nishimura, K., Shindo, K. Identification and quantification of the oxidation products derived from α -acid and β -acid during storage of hops (*Humulus Lupulus* L.). *J Agric Food Chem.* **61** : 3121-3130, 2013.
- 13) Algazzali, V. A., Shellhammer, T. H. Bitterness intensity of oxidized hop acid : humulinones and hulupones. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* **74** : 36-43, 2016.
- 14) Peacock, V. The international bitterness unit, its creation and what it measures. *Hop Flavor and Aroma, Proceedings of the 1st International Brewers Symposium, USA : Master Brewers Association of the Americas : Minnesota*, 157-166, 2009.
- 15) Popescu, V., Soceanu, A., Dobrin, S., Stanicu, G. A study of beer bitterness loss during the various stages of the Romanian beer production process. *J. Inst. Brew.* **119** : 111-115, 2013.
- 16) Kishimoto, T., Uemura, K., Aizawa, M. A new insight for controlling the hop aroma using hydrophobicity of yeast cell surface. *34th European Brewery Convention Congress*, Luxembourg, 2013, DOI : 10.13140/RG.2.2.34844.64643.
- 17) Haslbeck, K., Bub, S., Schönberger, C., Zarnkow, M., Jacob, F., Coelhan, M. On the fate

- of β -myrcene during fermentation – the role of stripping and uptake of hop oil components by brewer's yeast in dry-hopped wort and beer. *Brew. Sci.* **70** : 159–169, 2017.
- 18) Kobayashi, Y., Habara, M., Ikezaki, H., Chen, R., Naito, Y., Toko, K. Advanced Taste Sensors Based on Artificial Lipids with Global Selectivity to Basic Taste Qualities and High Correlation to Sensory Scores. *Sensors*. **10** : 3411–3443, 2010.
 - 19) Toko, K. Taste sensors. In *Biomimetic Sensor Technology* : Cambridge University Press : Cambridge, U.K., 113–180, 2000.
 - 20) Ezaki, S., Yuki, T., Toko, K., Tsuda, Y., Nakatani, K. Analysis of taste qualities and ingredients of beer by taste sensing system. *IEEJ Transactions on Sensors and Micromachines*, 117-E : 449–455, 1997.
 - 21) Kobayashi, Y., Hamada, H., Yamaguchi, Y., Ikezaki, H., Toko, K. Development of an artificial lipid-based membrane sensor with high selectivity and sensitivity to the bitterness of drugs and with high correlation with sensory score. *IEEJ Trans.* **4** : 710–719, 2009.
 - 22) Takagi, S., Toko, K., Wada, K., Ohki, T. Quantification of suppression of bitterness using an electronic tongue. *J. Pharm. Sci.* **90** : 2042–2048, 2001.
 - 23) Hayashi, N., Ujihara, T., Chen, R., Irie, K., Ikezaki, H. Objective evaluation methods for the bitter and astringent taste intensities of black and oolong teas by a taste sensor. *Food Res. Int.* **53** : 816–821, 2013.
 - 24) Hayashi, N., Chen, R., Hiraoka, M., Ujihara, T., Ikezaki, H. β -Cyclodextrin/surface plasmon resonance detection system for sensing bitter-astringent taste intensity of green tea catechins. *J. Agric. Food Chem.* **58** : 8351–8356, 2010.
 - 25) Intelmann, D., Kummerlowe, G., Haseleu, G., Desmer, N. ; Schulze, K., Frohlich, R., Frank, O., Luy, B., Hofmann, T. Structures of storage-induced transformation products of the beer's bitter principles, revealed by sophisticated NMR spectroscopic and LC-MS techniques. *Chem. Eur. J.* **15** : 13047–13058, 2009.
 - 26) Haseleu, G., Intelmann, D., Hofmann, T. Identification and RPHPLC-ESI-MS/MS quantitation of bitter-tasting β -acid transformation products in beer. *J. Agric. Food Chem.* **57** : 7480–7489, 2009.
 - 27) Intelmann, D., Batram, C., Kuhn, C., Haseleu, G., Meyerhof, M., Hofmann, T. Three TAS2R bitter taste receptors mediate the psychophysical responses to bitter compounds of hops (*Humulus lupulus* L.) and beer. *Chem. Percept.* **2** : 118–132, 2009.
 - 28) Haseleu, G., Intelmann, D., Hofmann, T. Structure determination and sensory evaluation of novel bitter compounds formed from b-acid of hop (*Humulus lupulus* L.) upon wort boiling. *Food Chem.* **116** : 71–81, 2009.
 - 29) Ono, M. ; Kakudo, Y. ; Yamamoto, Y. ; Nagami, K. ; Kumada, J. Simultaneous Analysis of Hop Bittering Components by High-Performance Liquid Chromatography and Its Application to the Practical Brewing. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* **1985**, 43, 136–144.
 - 30) Schönberger, C., Bitter is better. *Brewing Science*, 2006, **59**, 56–66.
 - 31) Intelmann, D., Batram, C., Kuhn, C., Haseleu, G., Meyerhof, W. and Hofmann, T., Three TAS2R bitter taste receptors mediate the psychophysical responses to bitter compounds of hops (*Humulus lupulus* L.) and beer. *Chem. Perc.*, 2009 (DOI 10.1007/s12078-12009-19049-12071).

岸本 徹 < Toru KISHIMOTO >

<現所属>独立行政法人酒類総合研究所品質・評価研究部門<受賞>日本醸造協会技術賞(2021年), 日本醸造学会奨励賞(2012年)<略歴>2019年より現職, 2008年博士号(京都大学:農学)を取得, 1999年京都大学農学研究科修士課程修了, 同年アサヒビール株式会社入社<抱負>ビール香味を向上させるための技術開発に尽力して行きたいと志しています