

[GRAPEVINE]

逆浸透膜を使用したワインの醸造

まるき葡萄酒（株）

池田 俊和

1. はじめに

日本のワインは概して香味が淡泊と言われている。一般的に国産ブドウの糖度は低く、甲州種ブドウの場合でも通常15～17度である。そのためアルコール分12%のワインにするため、果汁糖度を24度くらいにする必要があり、砂糖の添加が行われている。これは、日本の気候・風土やブドウのウィルス病、品種などによるものと思われるが、残念なことに未だ問題の解決に至っていない。糖度や酸度、成分不足のブドウから造られたワインは、香味も弱く、高級ワインになり得ない。

このため果汁を濃縮する方法が考えられ、真空蒸留法、凍結ブドウ果を利用した濃縮法、果汁の凍結法及び逆浸透法が行われている。真空蒸留法は真空下で低温加熱し濃縮する方法であるが、加熱による香りの変化や飛散、果汁の酸化褐変が起りやすくまた設備も大きくなり問題がある。ワイン原料用の濃縮マストはこの方法によって生産されている。凍結ブドウを圧搾し濃縮果汁を得る方法は、簡便であるが製造操作上ロスが大きくコスト高になり大量生産には向かない。果汁の凍結による方法は回収率などの問題がある。

逆浸透膜による果汁の濃縮は、果汁の特性を本来の成分のまま濃縮するため、最適な方法と思われる。濃縮果汁の回収率は非常に高く、操作や運転条件の設定も容易であり、任意の濃度の果汁が得られる。エネルギーコストも低く、ブドウ果汁の浸透圧と使用圧力の関係からも効率的な運営ができる。

2. 逆浸透膜を使用した濃縮原理

浸透膜を利用した濃縮とは、理想的な半透膜を介し水と溶液を入れると、水は溶液側に移動し、やがて浸透圧と釣り合った点で水の溶液側への移動が止まる。逆に、溶液側に浸透圧以上の圧力を加えると、溶液中の水は半透膜を透過し水側に移動する。これが逆浸透膜を使用した濃縮法で、正常な浸透（Osmosis）の逆（Reverse）であるので逆浸透（RO）と呼ばれている。

逆浸透法は最初海水の淡水化を目標として登場したものであるが、現在ではきれいな水を造るプラント（電子工業・半導体工業用の超純水製造）で広く使用されている。また乳工業におけるチーズのホエーの利用、公害廃水処理など広い範囲で使用されている。

逆浸透膜は孔径（Pore size）が小さいため、透過液はほとんど純水であり、被処理液

と透過液の浸透圧差が大となるため、この浸透圧差より高い圧力を必要とする。海水の浸透圧は25 kg/cm²であり、海水の淡水化には50~100 kg/cm²の圧力が使用されている。

3. 逆浸透膜の素材と仕様

逆浸透膜の材質には、酢酸セルロース（メーカー：ダイセル、東レ、東洋紡など）、芳香族ポリアミド（メーカー：Du Pont）、ポリアクリロニトル（メーカー：住友化学）、複合膜（ポリスルホン、芳香族ポリアミド系、メーカー：フィルムテック等）などがあり、それぞれ特性がある。ブドウ果汁において酢酸セルロース膜は酸の内リンゴ酸の阻止率が低く、複合膜（芳香族ポリアミド系）が高いという報告がある。逆浸透膜モジュールには管状型、平膜型、中空糸型、スパイラル型などがあり、使用方法に相違がある。管状型は構造が簡単、洗浄性がよい。中空糸型は構造は簡単であるが、洗浄が困難である。スパイラル型は構造が複雑となり、果汁の前処理が必要となり、また洗浄性もやや困難となりやすい。

以下に、実際に逆浸透膜を用いた甲州種ぶどう果汁の濃縮とワイン醸造について述べる。

4. 逆浸透膜濃縮装置

使用した逆浸透装置は、ダイセル化学工業（株）製造で、高圧ポンプ、逆浸透膜チューブ、自動洗浄システム、膜保存システム、冷却機を一式とする。名称はTCD-750である。

高圧ポンプは、ダイヤフラムポンプ、吐出圧力は65 kg/cm²である。逆浸透膜は酢酸セルロース膜、チューブ型モジュール、食塩排除率 92%（DRS-92）、チューブ168本を3系列にくみ、内径14.5 mm、一本あたり0.1 m²、総膜面積16.8 m²である。

膜洗浄はスポンジボールによる自動洗浄方式で、使用時間以外の膜保存のため保存液をチューブの中を送り、膜を透過した保存液を保存液タンクに戻す膜保存システムをつけた。冷却機はバスラン社のクリマット15を使用し、果汁タンクにセットした（図1）。

能力は、250 l/hr、果汁糖度15~16度を24度まで濃縮できる。

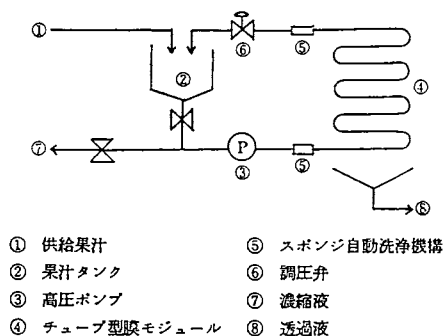


図1 果汁の逆浸透濃縮のプロセスシート

5. 製造工程

常法通り、搬入された甲州種ぶどうは除梗・破碎機に投入され、スクリュウコンベアで圧搾機（バスラン22h）に送られ、搾汁する（搾汁率60%）。この果汁に亜硫酸100ppm及びペクチン分解酵素（スクラーゼN、三共）0.005%を添加し、一昼夜静置、混濁物質を沈殿・清澄化させる。この上澄み液を濃縮用タンクに入れ、直ちに逆浸透濃縮を行う。濃縮された果汁は発酵用タンクに移動し、発酵させる。

発酵終了後、通常通り、オリ引き、濾過、清澄操作、貯蔵・熟成させる。

6. ぶどうの搾汁と果汁の清澄化

ぶどうは出来るだけ完熟したものを選び（10月下旬）、常法通り、除梗・破碎し、圧搾した。搾汁率は60%以内とし、これに亜硫酸が100ppmとなるようにし、ペクチン分解酵素（スクラーゼN）を0.005%（1kl当たり50g）を添加し、一昼夜静置清澄化する。

逆浸透膜を使って果汁の濃縮を行う場合、供給する果汁は清澄したものが最も望ましく、ペクチンやセルロースなどの不溶性固形分が多ければ多いほど透過速度の低下が著しい。これは逆浸透膜面上にゲル状の付着物が形成し、眼づまり現象を生ずるためであり、透過流速の低下（Fouling）、運転効率の低下を招く。

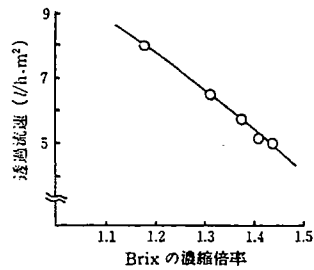
従って、効率的な果汁の濃縮をするためには清澄した果汁を用いることが必要である。果汁の清澄方法として、清澄剤による清澄、濾過、遠心分離機の使用が考えられる。清澄剤にはペクチナーゼ、セルラーゼなどの酵素剤があり、酸化防止剤である亜硫酸も効果がある。また、ペントナイトなどの併用も考えられ、遠心分離やケイソウ土濾過による果汁の清澄は非常に効率的である。果汁を清澄する事によりペクチンなどの混濁物質やバクテリア、酵母などの分離が出来、逆浸透による濃縮を効率的に行うことが出来る。最近、限外濾過を使用した方法も報告されている。

本装置では、循環流量が860 l/hrと速く、そのためモジュール表面の洗浄効果があること、自動洗浄システムの採用により濃縮中でも任意にスポンジボール洗浄が短時間にしかも容易に操作できる。このため経済的である静置法を用いている（図2）。

7. 逆浸透膜濃縮と果汁の成分

果汁の濃縮は循環方式により流量860 l/hr、吐出圧力45 kg/cm²で行った。果汁の温度は15℃以下になるように保った。その結果、Brix 15.8°の甲州種ぶどう果汁2,362 lを用いて、Brix 22.7°の濃縮果汁1,498 lを得た。果汁の濃縮倍率は1.58倍であった。

転化糖分、総ポリフェノールの濃縮倍率は1.56~1.58倍と高く、損失率も極めて低い。これらの阻止率が非常に大きいことが分かる。しかし、酸は20%前後の損失率であり、酸の1/5は膜透過によって失われているが、特に酒石酸の損失率が27.3%と高く、膜



逆浸透膜 チューブ型モジュール (酢酸セルロース)
 膜面積 16.8m² DRS-92
 圧力 45kg/cm² 循環流量 360 l/h
 使用温度 10~15℃

図2 ぶどう果汁の濃縮倍率と透過流速

透過と共に結晶化による酒石の析出によるものと考えられる。リンゴ酸はやや濃縮率、損失率共に酒石酸よりは良く、酒石酸に対するリンゴ酸の割合が高くなる。

総ポリフェノールは完全に濃縮され、膜透過されず、果汁の濃縮率と同様の上昇を示した。白ワインにとって、この値が高くなることは苦みあるいは渋みの原因となるため好ましくない。OD430は着色の度合いを示すが、増色率1.58倍は酸化による増色より、むしろ濃縮による増色と考えるのが適当であり、亜硫酸（遊離）による果汁の酸化褐変の防止の効果があったものと思われる。亜硫酸における濃縮は、遊離亜硫酸の場合わずかの濃縮倍率であり、一部は透過されまた酸化されたものであろう。結合型の亜硫酸がないことはこれと結合している物質の透過がないためである（表1）。

表1 逆浸透濃縮による果汁の成分分析値（図3参照）

	Brix	比重	転化糖分 %	pH	遊離酸 g/l	全酸 g/l	酒石酸 g/l	リンゴ酸 g/l	遊離SO ₂ mg/l	総SO ₂ mg/l	OD ₄₃₀	総ポリフェノール mg/l
原果汁	15.8	1.066	15.32	3.31	5.93	9.16	4.8	1.5	39.3	69.8	0.048	513
濃縮果汁	22.7	1.098	23.96	3.17	7.50	11.48	5.5	1.9	40.9	90.6	0.076	809
透過液	0.7	1.004	—	3.29	1.89	2.46	0.8	1.1	13.6	13.6	—	12.4
濃縮倍率	1.44	—	1.56	—	1.26	1.25	1.15	1.27	1.04	1.30	1.58	1.58
損失率(%)	8.9	—	0.8	—	19.8	20.5	27.3	19.7	34.0	17.7	0	0

8. 逆浸透膜濃縮ぶどう果汁の発酵

逆浸透濃縮の果汁に培養しておいた酒母（低温性酵母、*Saccharomyces cerevisiae* W-3）10%を転化、発酵させた。

発酵は、初期の果汁温度15℃より最高18℃までの上昇があり、平均室温15℃の中で行い、特別な温度管理はしなかった。発酵は順調に進んだが、後半になるに従って緩やかになった。

逆浸透濃縮の果汁は普通の果汁の発酵に比べて、発酵経過が遅くアルコール生成が緩慢になりやすく、長期にわたる。これは果汁の清澄化や濃縮による酸の高濃度によるものと

思われる。発酵日数は約3週間で、亜硫酸200 ppmを添加し発酵を停止させた(図3)。

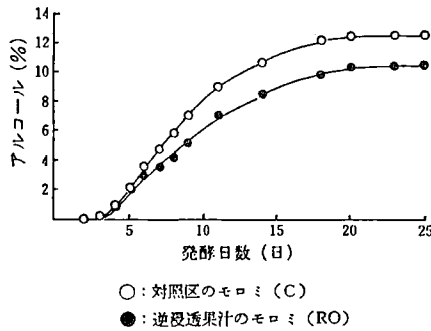


図3 逆浸透濃縮果汁の発酵曲線(アルコール生成量)

9. 逆浸透濃縮ワイン

製造されたワインはアルコール分10.5%、エキス分6.94%、甘口ワインである。酸は全酸で果汁時の11.48 g/Lから9.29 g/Lと減少している。これは塩類と結合し結晶として沈殿したものと考えられる。遊離酸は果汁時の7.50 g/lから7.29 g/lとわずかな減少が見られたが、通常のワインと比較して、酸が高く、このためコクを感じる。特にリンゴ酸の割合が高くなるためすっきりした酸味を受ける(表2)。

表2 逆浸透濃縮果汁および普通果汁より造ったワインの成分分析値

ワイン	比重	アルコール vol. %	エキス g/100ml	pH	遊離酸 g/l	総酸 g/l	酒石酸 g/l	リンゴ酸 g/l	OD ₁₃₀	総ポリフェノール mg/l
RO*	1.012	10.5	6.9	3.25	7.3	9.3	1.7	2.7	0.034	582
C**	0.999	11.5	3.9	3.32	5.4	8.3	1.3	1.8	0.023	314

* 逆浸透濃縮果汁のワイン ** 普通果汁のワイン

しかし、ポリフェノール物質の含量も582.1 g/lと、普通の300~400 g/lに比べると高く、渋みを感じるワインとなった。総窒素成分も濃縮に比例して増加し、アミノ酸も増加する傾向を示した。

10. 要約

逆浸透膜によるワインは、通常のワインに比べて濃厚な味、しっかりしたボディ、コクのあるワインになった。欠点としてやや雑味が残るが、この成分であるポリフェノールを除去したところ口当たりの素晴らしいワインとなった。従って、逆浸透膜濃縮によるワインの醸造はタンニンやポリフェノールの苦味、渋味の問題があるが、この問題を解決することにより、逆浸透膜をワインの醸造に生かすことが出来る。例えば、全濃縮を行わず糖分20%位に濃縮し、酸のバランスをはかりながら補糖を行い醸造する。また、膜の特性を十分に生かし糖分30%位まで濃縮し、貴腐的な甘味の強いワインの醸造も可能である。

現在、逆浸透膜によるワインの醸造は数社で行われ製品化されている。近代的なワイン醸造の中で特徴のある製品造りの技術として導入・定着化している。