



助教  
粉川 美踏

経歴

2014年 東京大学大学院博士後期  
課程修了 博士（農学）  
2014年 日本学術振興会特別研究  
員（PD）  
2015年 現職

## 食べる時に香る～

### 湿式微粉碎によるスパイスの香り放出制御技術の開発

#### 1. 研究背景と目的

食品の香りは「おいしさ」を左右する重要な項目であるが、スパイスやハーブの香り成分は揮発性が高いものが多く、食品の製造、貯蔵、調理中に失われてしまうことが多い。本研究では、食品の加工・貯蔵中に香り成分を揮発から守りつつ、喫食時には効果的に香りを放出させることのできる技術を開発することを目的とした。

本研究で用いた石臼湿式微粉碎機（図1）は、水分を多く含む農産物をマイクロメートルオーダーまで粉碎することで、細胞中に含まれる様々な機能性成分を放出させることができる[1, 2]。一方、私たちは本装置を用いてスパイス類を水とともに微粉碎する過程で、これらのスパイスに含まれる天然の乳化剤が放出することにより、粉碎と同時に乳化が自然と起こることを発見した。乳化が起こると、主に親油性である香り成分が油滴として水相に分散することで、油滴が小さな「カプセル」となって香り成分の揮発を防ぐことが知られている[3]。さらに、喫食時の pH 変化や塩添加、加熱等による解乳化（油と水への再分離）を利用して香り成分を一気に放出させることができる[4]。

これらの興味深い現象を詳細に解明すべく、本研究では、スパイスの種類や粉碎条件（溶媒の量や粉碎時間）がスパイス乳濁液の乳化特性および加熱時の香りの放出特性に与える影響を調べた。

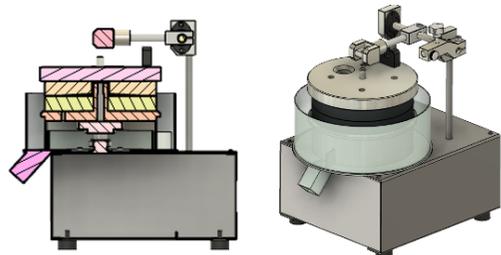


図1 石臼湿式微粉碎機

## 2. 方法

### 2.1 スパイス乳濁液に適した試料の特性

まず、石臼湿式微粉碎を用いたスパイス乳濁液製造に適したスパイスを選定すべく、以下に示すスパイス種子・果実を湿式微粉碎に供した：セロリシード、コリアンダーシード、クミンシード、キャラウェイシード、フェンネルシード、ディルシード、アニスシード、クローブ、スターアニス。このうち、トウシキミ (*Illicium verum*) の果実であるスターアニス、チョウジノキ (*Syzygium aromaticum*) の花蕾であるクローブ以外は、植物体の種子にあたる。

乾燥体であるスパイス試料に対し、試料：蒸留水の重量比が 1:10 となるよう蒸留水を加えた後、一晚浸漬させ、石臼湿式微粉碎に供した。スパイス乳濁液の特性として、粉碎したスラリーの粒度分布を計測（レーザー回折式粒子径測定装置）するとともに、光学顕微鏡を用いて観察した。また、粉碎後 1 日経過した際の相分離の度合いを記録した。

### 2.2 粉碎条件がスパイス乳濁液に及ぼす影響の検討

粉碎条件がスパイス乳濁液に及ぼす影響を検討するため、試料（コリアンダーシード）が湿式石臼を通る回数（ループ数）およびスパイスと水の重量比を変化させ、スパイス乳濁液の粒度分布、安定性、および分離率を求めた。分離率は、乳濁液に 1700×g の遠心力を 10 分間かけたときに分離した水の割合から求めた[5]。

### 2.3 スパイス乳濁液の加熱による香り成分放出特性の調査

スパイス乳濁液を加熱した際の香り成分放出量を調べることを目的に、コリアンダーシードに最も多く含まれる香り成分である  $\beta$ -リナロールを指標とし、Monotrap®を用いてヘッドスペース内から捕集した成分量をガスクロマトグラフィー質量分析器（GC-MS）で定量した。以下に具体的な方法を記す。

試料として、コリアンダーシードと水の比を 1:10、および 1:5 として調製したスパイス乳濁液を用い、バイアル瓶にこの乳濁液を 30 g 注入した。バイアル瓶を沸騰水中に入れ、蓋を開けた状態で 0 分、10 分、20 分、および 30 分加熱した。加熱が終了したバイアル瓶のヘッドスペースに Monotrap®のディスクを挿入し、60°C で 180 分間香り成分の捕集を行った後、ディスクをヘキサンとアセトンを同量混合した溶媒 600  $\mu$ L に浸漬し、超音波を照射しながら 5 分間脱着した。得られた溶液中の  $\beta$ -リナロール量を GC-MS で定量した（カラム：RESTEK Rtx-5MS, 30 m×0.25 mm I.D.×0.25  $\mu$ m, キャリアガス：ヘリウム, 注入量：1  $\mu$ L, 気化室温度：250°C）。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 スパイス乳濁液に適したスパイスの特性

水とともに石臼湿式微粉砕に供した際の挙動は、スパイスによって大きく異なった。図2に一例として、セロリシード、コリアンダーシード、クミンシードの粉砕結果を示す。セロリシード（図2のA1、A2、A3）は石臼湿式粉砕により十分に粉砕され、平均粒子径も比較的小さかったものの、粉砕一日後には明確に水相が分離し、乳濁液の安定性は低かった。一方、コリアンダーシードとクミンシードは安定的な乳濁液となった。この際、乳化を促進させるための安定剤や乳化剤は全く加えず、スパイスシードと水のみで安定性に優れた乳濁液が生成できた。コリアンダーシードは平均粒子径が比較的大きいものの、乳濁液の相分離はあまり観察されず、乳濁液の安定性は高かった（図2のB1、B2、B3）。クミンシードは粒子径も小さく、乳濁液の安定性も高かった（図2のC1、C2、C3）

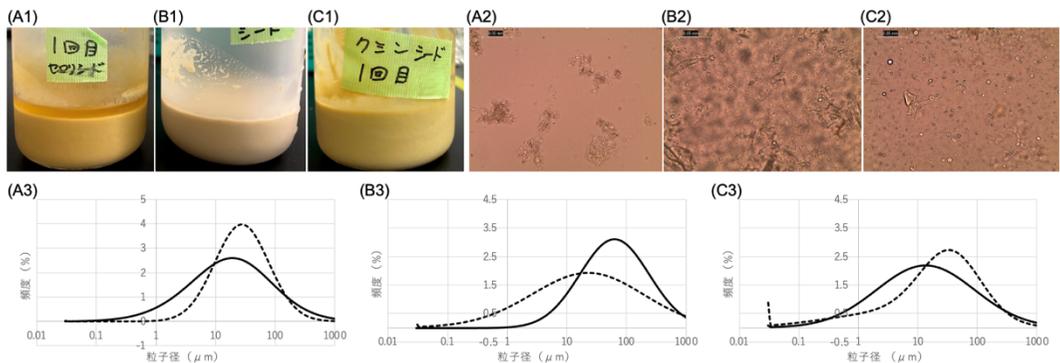


図2 スパイス乳濁液の(1)粉砕1日後の状態，(2)粉砕1日後の乳濁液の顕微鏡画像（×40），(3)粒度分布（実線：粉砕後1日，点線：粉砕後7日）  
(A)セロリシード，(B)コリアンダーシード，(C)クミンシード

スターアニスおよびクローブは種子類よりも大きく、そのままでは石臼に投入できなかったため、粗粉砕が必要であった。クローブは粗粉砕を行っても石臼では微粉砕されず、すぐに分離した。

スパイス乳濁液の安定性と乳濁液の粒子径には明確な相関は見られなかった。研究開始時点では、湿式微粉砕によって細かく粉砕されるスパイスほど、安定的な乳濁液が生成されるのだろうと予想していたため、この結果は予想に反していた。クローブのように全く微粉砕できない試料は別として、スパイス乳濁液の安定性には別の要素が関わっていると考えられる。

以後の実験はコリアンダーシードを用いて行ったが、キャラウェイシード、フェネルシード、ディルシード、アニスシードでも安定的なペーストが得られたため、今後は様々なスパイスを用いてスパイス乳濁液を調製し、安定的な乳濁液につながる特性

を調査する予定である。

### 3.2 粉砕回数・固液比がスパイス乳濁液の特性に及ぼす影響

次に粉砕条件がスパイス乳濁液の特性に及ぼす影響を調査した。まず試料が湿式石臼を通る回数（ループ数）を変化させ、スパイス乳濁液の粒度分布と安定性を調べた（図 3A）。コリアンダーシードと水の重量比を 1:10 に設定し、直接石臼に投入して粉砕を行なった。ループ数を増やすことでスパイス乳濁液のメディアン粒径は小さくなり、調製一週間後の固液分離が抑制された。ただし、4 回粉砕を行った試料では、粉砕 1 日後に比べて 7 日後のメディアン径が大きく、凝集が起こっていることが示唆された。

次に、スパイスと水の重量比を 1:10, 1:7, 1:5 と変化させ、同様に粉砕を行なったところ、図 3B の写真のように乳濁液は次第にペースト状に変化した。乳濁液の含水率は原料の割合を反映した結果となったが、低速で遠心分離させた際に分離した水の割合である分離率は、水の量が減るにしたがって大きく低下した。分離率の低下は乳濁液の安定性の向上も示しており、特にコリアンダーシードと水の重量比が 1:5 となるペーストは非常に高い安定性を示した。

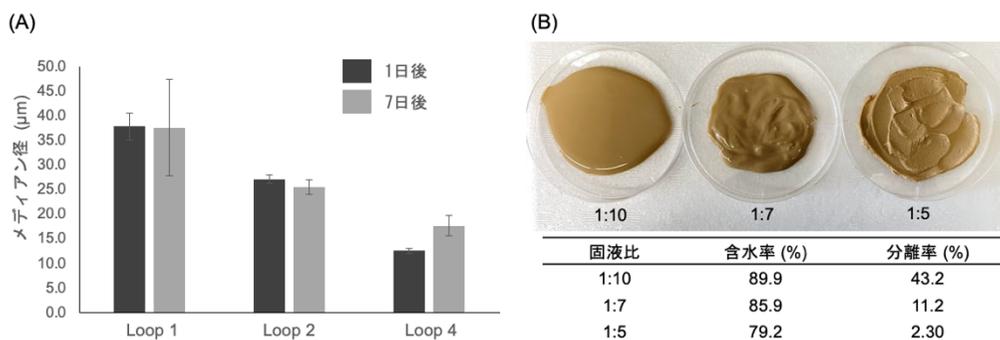


図 3 粉砕条件がスパイス乳濁液の特性に及ぼす影響  
(A) 粉砕回数と粒子径の関係, (B) 固液比が異なる乳濁液の特性

### 3.3 加熱時の香り成分放出

最後に、コリアンダーシードから調製したスパイス乳濁液の香り成分放出特性を調べた。固液比 1:10, および 1:5 の乳濁液を用意し、沸騰水中で 0 分から 30 分まで加熱した際に捕集された香り成分（βリナロール）量を定量した。固液比が異なるスパイス乳濁液では同量の乳濁液に含まれるスパイス量が異なるため、図 4 ではスパイス 1 g あたり捕集

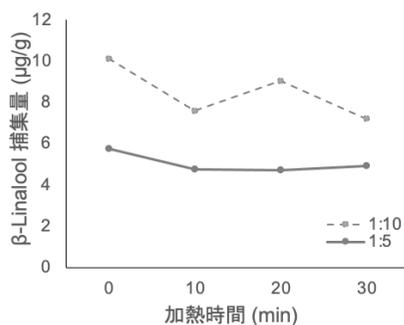


図 4 加熱時の香り成分の放出特性

された香気成分量を示している。

30 分間を通して、固液比が 1:10 の乳濁液の方が多量の香気成分が放出されることがわかった。一方、固液比 1:10 の乳濁液では加熱時間が長くなるとともに捕集させる香気成分は減少したが、1:5 の乳濁液ではほとんど変化がなかった。この理由として、固液比 1:5 の乳濁液は図 3B に示した通り、分離率が低く、加熱中も解乳化（油相、水相、固相への分離）しなかったことが考えられる。乳濁液の安定性と香気成分の放出特性の間の関連性は他にも報告がある[3]。

以上の結果から、今回調製したスパイス乳濁液を食品に添加することを考える際、長時間安定した香り放出が必要な場合は水の割合が低い乳濁液を、加熱直後に強い香りが必要とする場合は水の割合が高い乳濁液を選択するといった使い分けが考えられる。また、解乳化を促進させる操作として、塩添加や冷凍・解凍などが知られており、これらの操作がスパイス乳濁液に及ぼす影響の調査も必要である。

#### 4. まとめ

本研究では、スパイスと水のみを石臼湿式微粉碎することにより、安定的なスパイス乳濁液が生成される現象を調査した。スパイスの種類によって、生成される乳濁液の安定性は大きく異なり、粒子径以外の要素が乳濁液の安定性に寄与していることが示唆された。同じスパイスを用いた場合は、粉碎回数を多いほど、また水の割合が低いほど、乳濁液の安定性は向上した。乳濁液の安定性は、香気成分の放出特性にも関係があり、安定的な乳濁液は香気成分をゆっくりと放出することが示された。

乳濁液は香気成分の放出制御を行う手段として効果的であるだけでなく、食品や食素材として扱いが容易であるため、今後も応用範囲が広がることが期待される。好みのスパイスから製造されたスパイスペーストを喫食時に食事に追加し、加熱や塩添加によって一気に香りを放出させて楽しむ、といった使い方ができるようになれば、より豊かな食経験が可能になるのではないかと考えている。

#### 5. 謝辞

本研究遂行にあたり、ご支援いただきました公益財団法人サッポロ生物科学振興財団に深く感謝いたします。また、研究の遂行に尽力していただいた研究室の学生諸氏に感謝申し上げます。

#### 6. 引用文献

1. Li, X., et al., *Effects of micro wet milling on bioaccessibility of phosphatidic acid and lysophosphatidic acid in komatsuna during in vitro digestion*. Food Research

- International, 2019. **121**: p. 926-932.
2. Odgerel, U., et al., *Effect of micro wet milling process on particle sizes, antioxidants, organic acids, and specific phenolic compounds of whole sea buckthorn (Hippophae rhamnoides L.) juices*. Journal of Food Processing and Preservation, 2021. **45**(6): p. e15474.
  3. Doi, T., M. Wang, and D.J. McClements, *Emulsion-based control of flavor release profiles: Impact of oil droplet characteristics on garlic aroma release during simulated cooking*. Food Research International, 2019. **116**: p. 1-11.
  4. Benjamin, O., et al., *Multilayer emulsions as delivery systems for controlled release of volatile compounds using pH and salt triggers*. Food Hydrocolloids, 2012. **27**(1): p. 109-118.
  5. 坂井悦郎, et al., *無機電解質を添加した CaCO<sub>3</sub> サスペンションの流動性に及ぼす楕形高分子の分子構造の影響*. Journal of the Ceramic Society of Japan, 2003. **111**(2): p. 0117-0121.