

トピックス

食品の構造と乾燥～国際乾燥会議 (IDS2018) 論文から

食品のもつ様々な構造は、製品としての様々な特性の根幹のひとつである。食品の栄養価値は往々にして加工前の原料の含有成分に基づいて評価される場合が多いが、これが必ずしも生理学的に栄養価値を発揮することを意味するわけではなく、食品のもつナノ・マイクロサイズの構造的要因がバイオアベイラビリティやバイオアクセシビリティに大きく関わっていることを示す報告が近年多数見られるようになってきた [1-2]。

食品のナノ・マイクロサイズの物理的な構造に起因する生理学的な機能と関わる研究は、これまで見過ごされてきた領域とみることでもあるかもしれないが、適切な実験系設定のややこしさや必ずしも産業に直結しない課題であるが故に、後まわしになってきた領域と推察する。咀嚼、胃や腸での消化という、非常に複雑な多相系の混合・崩壊・反応のメカニズムと、さらに複雑な食品構造との関わりを明らかにすることの困難は想像に難くない。本学会誌にも報告の見ることでできる胃消化シミュレーターの開発などはこの困難を乗り越える強力なツール開発のひとつとして有望であろう [3]。iPS 細胞を使って個々人の消化器を再現し、これを食品の生理機能の試験ツールとするという話も耳にしたことがあるが、将来このようなことも実現するかもしれない。

さて、乾燥食品の製造に適用する乾燥方法が製品のマイクロ構造に影響を及ぼすことは既知の事実である。食品原料のオリジナルの細胞構造などは、多かれ少なかれ乾燥に伴って破壊される。蒸発を伴う乾燥においては毛管張力による力学的ストレスが構造変化の主要因である。昇華を利用する凍結乾燥では毛管張力によるストレスは生じない反

面、凍結に由来する多孔質な構造形成を伴う。Dalmau らは乾燥ビートの消化過程における組織構造変化を報告している [4]。in-vitro な模擬消化環境（立方体のビート試料（復水後約 200 g）を、80 mL 模擬唾液 30 s、800 mL 模擬消化液中で 3 h、37°C シューカー中でインキュベート）を設定し、未乾燥試料、熱風乾燥試料（気流温度 60°C、気流速度 2 m/s、最終含水率 0.17 g water/g dm）、凍結乾燥試料（トラップ温度 -50°C、庫内圧力 30 Pa、最終含水率 0.07 g water/g dm）それぞれについて SEM による観察結果を報告している。試料は液体窒素中で急速凍結させた後に破碎試料片を作成、これを凍結乾燥させて観察している。乾燥させていない試料の単位面積あたりの細孔数（細胞数）は約 290 個/mm²、これが模擬消化によって 170 まで減る。熱風乾燥させた試料の細孔数は約 425 個/mm²、凍結乾燥の場合で 370 個/mm² との測定結果を得ており、これは乾燥時の細胞の崩壊と収縮によるものと考察している。さて、これら乾燥試料が模擬消化を経ると、それぞれ約 250 個/mm²、約 190 個/mm² へと減少し、細孔数の減少率という観点では未乾燥のものとは有意な差はない。ただ、模擬消化に伴うマイクロ構造の形態変化は乾燥させた試料で明らかに顕著であったという。未乾燥の試料では細胞壁によって形成される細孔構造が細孔壁の消化によって単位面積あたりの個数が減るが、細孔構造は比較的保持されたまま消化反応が進行する。しかし、乾燥試料では細孔壁もろとも無くなる傾向があり、試料深部の細孔構造（細胞構造）が消化とともに現出してくる。とくに凍結乾燥試料に形成している細孔構造のほとんどは消化反応により消失してしまうという。もっと深く研究を進める必要があるとして締めくくられているが、乾燥処理の適用や条件選択によって消化と関わる食品の機能制御に繋がると考えると非常に興味深い。in-vitro な実験系で消化反応率を評価するだけでは違いは見え、構造的変化に着目すべき点が重要なポイントと考える。

もう一報、真空発泡乾燥を製剤に応用することに関する Langford らの論文を紹介する [5]。発泡を伴う真空乾燥をバイアル瓶内で進行させ、真空

中川 究也 (Kyuya Nakagawa)

平成 15 年 京都大学 工学研究科化学工学専攻博士後期課程
修了・工学博士

平成 15 年 チュラロンコン大学 (タイ) 博士研究員

平成 16 年 リヨン第一大学 (仏) 博士研究員

平成 18 年 兵庫県立大学工学研究科 機械システム工学専攻・助教

平成 25 年 京都大学農学研究科 食品生物学専攻・准教授

平成 31 年 京都大学工学研究科 化学工学専攻・准教授

凍結乾燥製品のように多孔性の製品をつくる報告である。これは一般的な凍結乾燥プロセスでいうコラプスを積極的に進行させる操作とみることもでき、100から1000 Paの圧力領域で既存の凍結乾燥機を使用して実施している。わざわざこのようなことを実施するのは、特定の医薬品の薬理活性を高く保持できる可能性があるからである。Langfordらは、 -150°C にて凍結保存されていたヒトT細胞を 1×10^6 個/mLの濃度となるように、凍結保存培地 (CryoStar[®])、20%スクロース溶液、20%トレハロース溶液にそれぞれ溶解させた溶液から乾燥試料を作製・比較している (細胞の生存率はいずれの溶液中でも約90%)。バイアル瓶内に入れた試料溶液を、棚板式凍結乾燥機に設置し、棚温度 30°C の設定にて670 Pa付近から6 Pa付近まで徐々に下げ、90分間乾燥させた。この乾燥法によるT細胞の生存率はいずれも約60%あり、通常の凍結乾燥よりも優れていた (凍結乾燥品では40%程度の生存率)。特筆すべきは貯蔵性の向上である。乾燥後の試料を貯蔵した場合、凍結乾燥品は2ヶ月間で80%もの生存率減少が進行するのに対し、発泡乾燥によればこのロスを20%程度にできるという。メカニズムについての言及はされていないが、今後マイクロ構造と物質の生理活性とをリンクさせる新しい工学 & 科学の進展を予感させる。

引用文献

- 1) I. Sensoy; A review on the relationship between food structure, processing, and bioavailability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **54**, 902-909 (2014).
- 2) J. Parada, J. Aguilera; Food microstructure affects the bioavailability of several nutrients. *Journal of Food Science*, **72**, R21-R32 (2007).
- 3) 小林功, 神津博幸, 王政, 市川創作; ヒト胃消化シミュレーターを利用した食品粒子の微細化プロセスの可視化および評価. *日本食品科学工学会誌*, **65**, 543-551 (2018).
- 4) M. E. Dalmau, J. A. Carcel, V. Eim, S. Simal; Influence of drying on *in vitro* gastric digestion of beetroot: evaluation of the microstructure, *Proceedings of 21st International Drying Symposium 2018*, (J. A. Cárcel ed.), pp. 57-64 (2018).
- 5) A. Langford, B. Balthazor, B. Bhatnagar, S. Tchessalov, M. J. Hageman, A. Lukas, M. Plitzko, B. Luy, S. Ohtake; Beyond freeze-drying of biologics: vacuum-foam drying and spray freeze-drying, *Proceedings of 21st International Drying Symposium 2018*, (J. A. Cárcel ed.), pp. 41-48 (2018).

* 本稿で紹介したIDS2018論文は下記ホームページで公開されている。

<http://ocs.editorial.upv.es/index.php/IDS/ids2018/schedConf/presentations>