

Application News

ダイナミック粒子画像解析システム iSpect™ DIA-10
GC-MS GCMS-TQ™ 8040 NX

粒子径分布測定装置とGC-MSによる野菜ジュース製品の品質評価

中川 裕貴、前田 裕貴

ユーザーベネフィット

- ◆ Smart Aroma Database™を用いることで、Scanモードでは検出困難な低濃度の香気成分をMRMモードにより高感度で検出できます。
- ◆ マルチオミクス解析パッケージを用いることで一次代謝物測定データだけでなく、粉体測定データを読み込み、試料間差異に寄与する粒子径濃度やサイズを検出できます。

■はじめに

近年、健康意識の高まりと共に、野菜ジュースの需要が増加しています。健康を意識した食生活を求める人々が増えているため、野菜ジュースは栄養豊富であり、手軽に摂取できることから、多くの人々に支持されています。しかし、市場にはさまざまな野菜ジュースがあり、消費者の好みも多様化しています。例えば、トマトやキャベツ、にんじんなどの野菜を組み合わせた野菜ジュースや、果物と野菜を組み合わせたスムージーなど、さまざまな種類の野菜ジュースが存在します。そのため、野菜ジュースの開発においては、消費者の好みやニーズに合わせた商品を提供することが求められています。

野菜ジュースの開発においては、粒度や香気成分の濃度などの要素を統合的に解析することが重要です。例えば、野菜の粒度が大きすぎると、口当たりが悪くなったり、飲みやすさが低下する可能性があります。また、香気成分の濃度が適切でない場合、消費者にとって魅力的な香りを楽しむことができないかもしれません。

野菜は季節によって成長し、収穫時期によって栄養価や風味が変わるため、一貫した品質を保つことが難しいです。さらに、野菜の品質には栽培方法や土壌の状態、気候条件なども影響を及ぼします。これらの要素が異なると、野菜ジュースの品質や味にもばらつきが生じる可能性があります。このような課題に対応するため、製品開発者は客観的に評価する手段を必要とします。

本報では4種類の市販の野菜ジュースをダイナミック粒子画像解析システムiSpect DIA-10と、AOC-6000Plusを搭載したガスクロマトグラフ質量分析計GCMS-TQ™ 8040 NXを用いて測定した例をご紹介します(図1)。粒子径分布測定は300 µmセル(特型)を用いて粒子濃度と形状を評価しました。GC/MSはSmart Aroma Databaseを用いて484成分の香気成分を測定しました。得られた結果は、マルチオミクス解析パッケージ(Garuda)により統合解析しました。



図1 iSpect™ DIA-10 (左) と GCMS-TQ™ 8040 NX (右)

■実験

粒子径分布測定では4種類の市販野菜ジュースを純水で100倍と500倍に希釈して測定しました。GC/MS測定では、市販野菜ジュース原液200 µLを20 mL HSバイアルに封入しました。測定はSmart Aroma Databaseに沿って実施しました。



図2 4種類の市販野菜ジュース

■粒子濃度と香気成分の統合解析

粒子濃度測定では、試料AとBは希釈率100倍、試料CとDは希釈率500倍の測定結果から原液での粒子濃度を換算しました。試料Aの粒子濃度は170個/mLに対し、試料Cは1520個/mLでした(図3)。またメディアン径に関しても試料Aが最も低い値でした。ヒトは10 µm程度の粒子径でも舌の上で粗いと感じることができることから、今回測定した全ての試料で粗さが感じられることが分かりました¹⁾。

試料	粒子濃度 (個/mL)				
	全区间	20-50 µm	50-100 µm	100-250 µm	250-500 µm
A	170	168	2	0	0
B	546	464	51	24	7
C	1520	1333	139	49	0
D	1299	1140	108	46	4

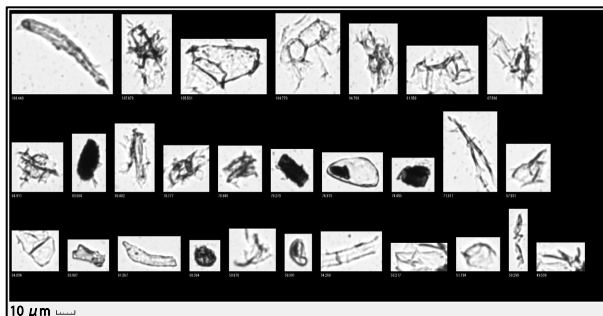


図3 粒子濃度と粒子画像

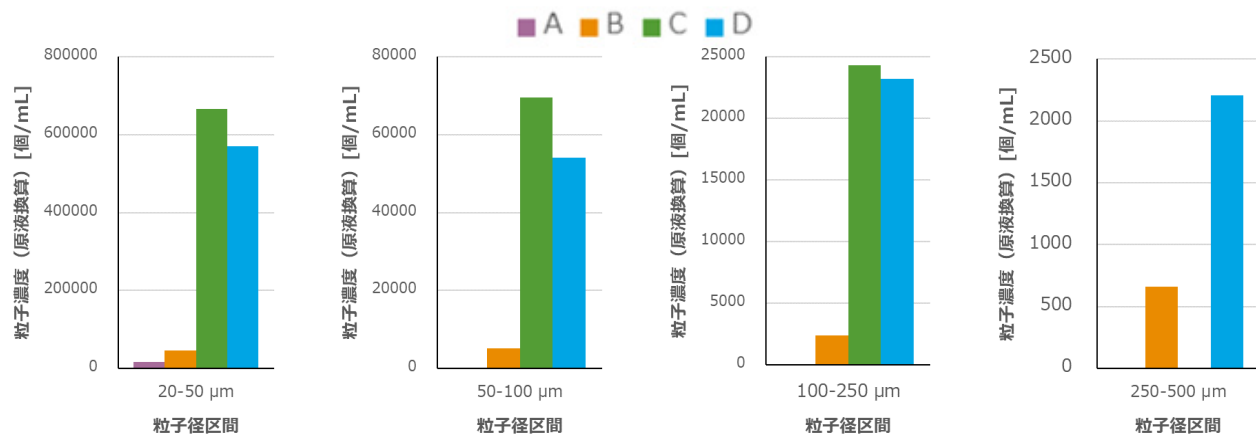


図4 粒子濃度 (原液換算)

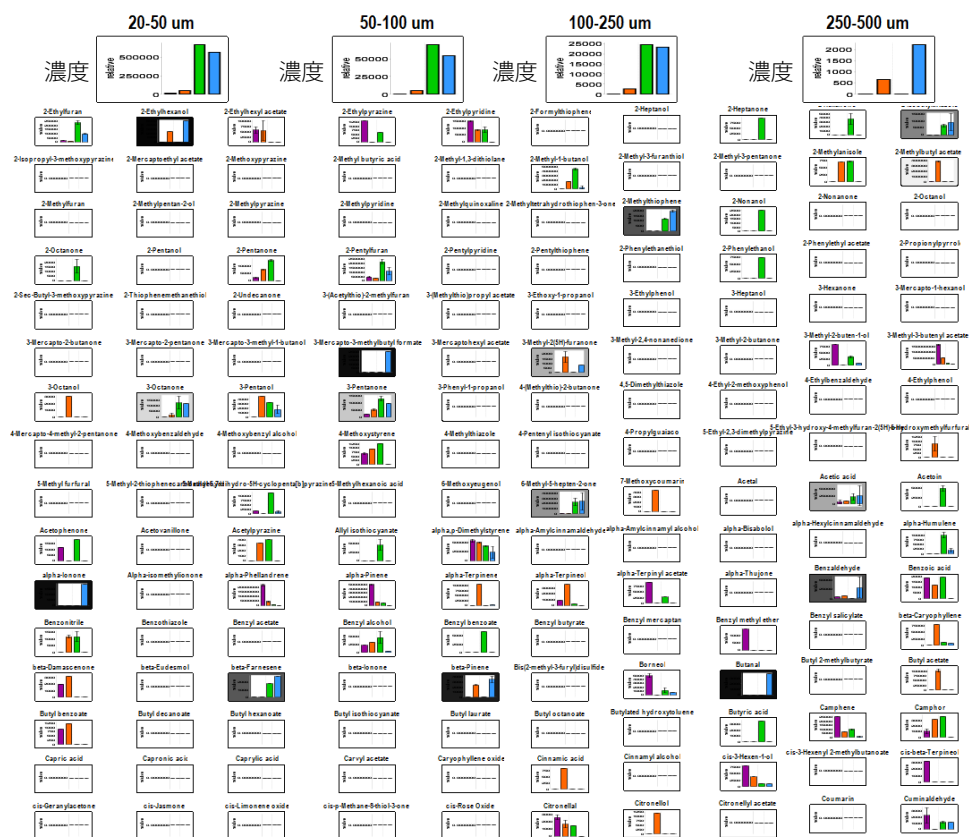


図5 香気成分と粒子径の相関関係可視化 (250-500 μmに類似する香気成分探索)

*各化合物の背景色が黒であるほど正の相関関係が高いです

野菜ジュースを調製する際の破碎方法や、裏ごし時の温度およびメッシュサイズの違いによって、野菜粒子の濃度や大きさは変化します。それにより粒子の大きさや形が口中において異なる粒子感覚を呈します。しかし、味質や風味が粒子感覚の知覚に及ぼす影響については検討されることは稀です。

そこで、香気成分と粒子径の相関関係を測定しました。香気成分はGC/MSにより484成分が測定され、各試料で約100成分強が検出されました。粒子の大きさは20-50 μm、50-100 μm、100-250 μm、250-500 μmの4区画に区切り粒子径分布を算出しました (図4)。算出された濃度分布を棒グラフで可視化し、マルチオミクス解析パッケージの白地図機能を用いて香気成分と相関解析を実施しました。その結果、大きい粒子径は2-エチルヘキサノール (ゴムのような不快臭) やβ-ピネン (森林のにおい) や酢酸プロピル (洋梨のにおい) と高い相関があることが分かりました。また小さい粒子径は2-ペンチルフラン (甘い香り)、酪酸ゲラニル (果実香)、酪酸ペンチル (甘い香り)、3-オクタノン (果実臭) と相関を持つことが分かりました (図6)。

これらの相関関係がある化合物を特定することで、これらを添加 (例：大きい粒子径と相関のあるβ-ピネンを小さい粒子径のジュースへ添加) し、官能評価を実施することで風味が粒子感覚の知覚に及ぼす影響 (例：粗さの感覚の増強やマスキング) について研究計画を立てることができます。

20-50 μm (粒子濃度)

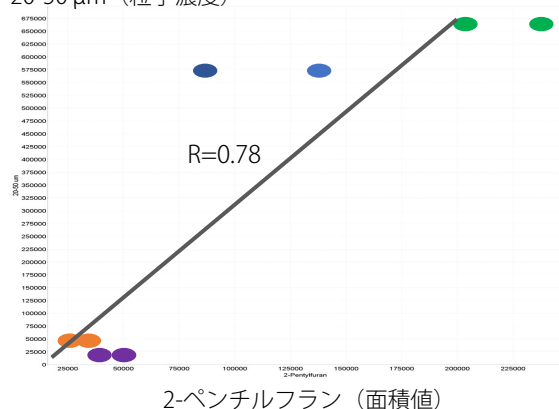


図6 20-50 μmの粒子径と2-ペンチルフランの相関関係

またボルケーノプロットを用いて、粒子が小さい試料群（AとB）を粒子が大きい試料群（CとD）に比較することで、各粒子サイズ群に特異的な香気成分を検出しました（図7）。

粒子が小さいジュースで特異的な香気成分は1-ヘキサノール（不快臭）、オクタナール（果実臭）、エチル 2-メチルブチレート（果実臭）など11成分でした。一方で、粒子が大きいジュースで特異的な香気成分は6-メチル-5-ヘプテン-2-オン（柑橘臭）、2-エチルフラン（チョコレートの臭い）、2-ブタノン（ミントのようなにおい）など10成分でした（図8）。また共通に存在する、あるいはどちらの試料群にも存在しない成分も明らかになりました（例：バター臭のジアセチルは共通して存在）。

■ 粒子形状の統計解析

iSpect DIA-10により各試料の粒子濃度だけでなく、形状も同時に分析しました。試料Aで検出された323個の各粒子を面積相当径、最大長、円形度、アスペクト比、フェレー径、輝度など31項目で形状を数値化しました。また試料Bは836個、試料Cは2060個、試料Dは1409個の粒子も同様に31項目で形状を観察しました。合計約4500個の粒子形状情報をマルチオミクス解析パッケージに読み込み、主成分分析を実施しました（次項 図9）。その結果、面積相当径が試料Aで特異的に低いことが分かりました。また円形度の分布と試料タイプには相関関係が無いことが分かりました（次項 図10）。

主成分分析により試料Bの粒子番号58や72が4試料の粒子のなかで特徴的であることが分かりました。粒子番号58や72は面積相当径（307 μm 、344 μm ）や最大長垂直長（296 μm 、306 μm ）が大きく、食感に大きな影響を及ぼすと考えられます。甘い味成分（糖）は粒子感を低下させることが知られていますが、甘い香りと粒子感の関係は今後の調査が必要です²⁾。

■ まとめ

4種類の市販の野菜ジュースをダイナミック粒子画像解析システムiSpect DIA-10と、AOC-6000Plusを搭載したガスクロマトグラフ質量分析計GCMS-TQTM 8040 NXを用いて測定しました。粒子径分布測定は300 μm セル（特型）を用いて20-500 μm の粒度分布を評価しました。GC/MSはSmart Aroma Databaseを用いて484成分の香気成分を測定し、各試料で100強の成分を検出しました。粒子濃度と香気成分の測定結果は、マルチオミクス解析パッケージ（Garuda）により統合解析されました。粒子径の大きさに相関関係のある香気成分を検出し、野菜ジュースの品質管理や製品開発に活かせることが分かりました。

<参考文献>

- 1) [Particle Size Analysis for Food & Beverage](#)、島津製作所、2023年12月27日参照
- 2) [温度及び味・風味が粒子に関連する口中感覚に及ぼす影響](#)、農研機構研究報告、2023年12月27日参照

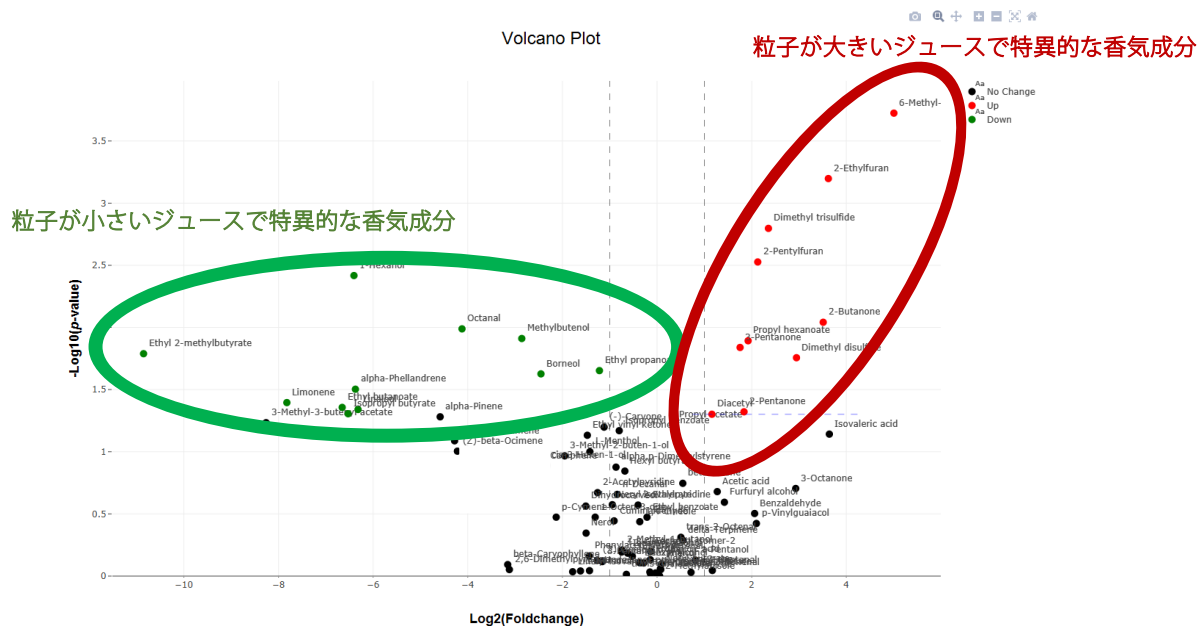
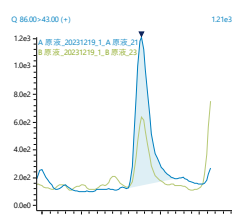
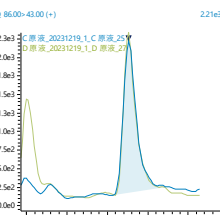


図7 粒子が小さい試料群（AとB）と粒子が大きい試料群（CとD）のボルケーノプロット

粒子径に関係なく存在する香気成分
例) バター臭 ジアセチル (p値 >0.05)

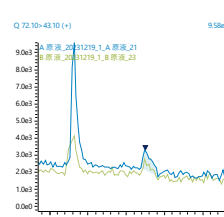


粒子が小さい試料群

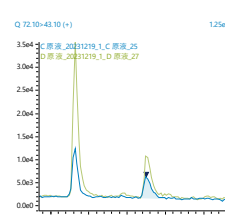


粒子が大きい試料群

粒子が大きいジュースで特異的な香気成分
例) ミントのようなにおい 2-ブタノン (p値 0.009)



粒子が小さい試料群



粒子が大きい試料群

図8 粒子が小さい試料群（AとB）と粒子が大きい試料群（CとD）のクロマトグラム例
(左がAとBの重ね書き、右がCとDの重ね書き)



図9 主成分分析による粒子形状分布の可視化

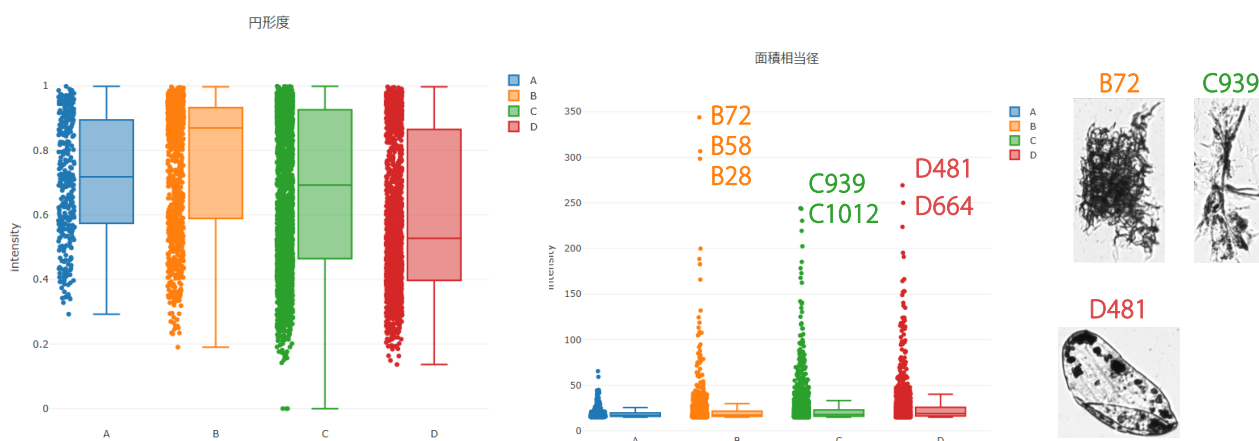


図10 ボックスプロットによる粒子形状分布の可視化 (左: 円形度で差異無し、右: 面積相当径では試料Aが低い)

iSpect、GCMS-TQ、Smart Aroma Databaseは、株式会社島津製作所またはその関係会社の日本およびその他の国における商標です。

＞ アンケート

関連製品 一部の製品は新しいモデルにアップデートされている場合があります。



＞ GCMS-TQ™ 8040 NX

トリプル四重極型 ガスクロマトグラフ質量分析計



＞ iSpect DIA-10

ダイナミック粒子画像解析システム

関連分野

＞ 食品・飲料

＞ におい、香り分析

＞ 価格お問い合わせ

＞ 製品お問い合わせ

＞ 技術お問い合わせ

＞ その他お問い合わせ