



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Metabolic profiling for characterization of crop quality, and its application for evaluation of sensory traits [an abstract of entire text]
Author(s)	福田, 朋彦
Description	この博士論文全文の閲覧方法については、以下のサイトをご参照ください。 https://www.lib.hokudai.ac.jp/dissertations/copy-guides/
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第11384号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55781
Type	doctoral thesis
File Information	Tomohiko_Fukuda_summary.pdf



学 位 論 文 内 容 の 要 約

博士の専攻分野の名称： 博 士（農学）

氏名 福 田 朋 彦

学 位 論 文 題 名

Metabolic profiling for characterization of crop quality, and its application for evaluation of sensory traits.

（代謝物プロファイリングによる農産物の官能品質評価技術の開発と応用）

第一章 緒論

農産物は遺伝背景（品種）の違いや土壌、気候などの生育環境の違いにより、代謝物プロファイルの変化が検出される。ゆえに農産物中の代謝物のプロファイリングにより、品種の違いによる代謝動態の相違や環境に対する化学的な応答機序について解析を行うことが可能になる。一方、農産物や食品の官能的な特性はその品質を左右する非常に重要な因子であり、これらも代謝物プロファイルの変化によって異なる特徴を示すことが考えられる。官能評価法はそれらの官能品質を特徴づけ、また評価する唯一の方法として産業界において幅広く活用されており、同時に新しくより適切な評価法の開発およびアプリケーションとしての活用のために研究分野の一つとして日々発展が見られている。しかし製造業の分野とは異なり、育種における品種開発現場や圃場における作物の試験においてはそれら官能品質の特性が重要な評価要因となるにもかかわらず、適切な評価法が採用されている例はあまり多くはない。むしろ育種者の長年の経験をもとにした比較や試験担当者らを集めて行われる簡単な試食によってなされている事例が数多く見られる。

そこで、本研究においては体系的かつ科学的な議論に耐えうる官能評価手法を農産物の品質評価法として適用し、官能品質に対する遺伝背景や生育条件の影響を評価することを試みた。さらに作物に影響を与える遺伝的または環境的要因と作物の成分動態の関連性について解析し、その相互作用の一端に対して新たな知見を提供するとともに、代謝物プロファイルから官能評価の項目それぞれの得点を予測しうるモデルを開発する事を試みた。具体的には遺伝背景の異なる 14 種類のニンジン(*Daucus carota* L.) 品種／系統に対して香りの官能評価および揮発性成分のプロファイリングを適用し、その遺伝的多様性をあきらかにするとともに、PLS 回帰分析により香りの強度が既知の 7 品種系統から未知の 7 品種系統の強度を予測する事を試みた。さらに肥料条件などによる環境要因と作物の代謝プロファイルの関連性について農産物の官能特性を応答変数としたうえで知見を得ることを目的として、堆肥施与の有無を施肥条件としてミズナ(*Brassica rapa* L. var. *Nipponsinica*)を栽培し、官能評価および揮発性成分のプロファイリングを行った。ここで、明らかになったミズナの官能特性の違いと揮発性成分の関連性を解析し、肥料の違いによる栽培環境が及ぼす影響が官能特性に関連する成分にどのような影響を与えるのかを解明することを試みた。

第二章 ニンジンの代謝成分プロファイリングによる、官能特性強度予測システムの開発

第二章では、GC-MS を用いた揮発性成分のプロファイリングによってニンジン香りの官能特性を表現する事が可能かどうかを検証するために、全 14 種類の遺伝背景の異なるニンジン香りの揮発性成分について GC-MS を用いたプロファイリングを行い、同時に官能評価（定量的記述分析法；QDA 法）を実施した。官能特性と用いた 14 種類のニンジン香りの関連性について主成分分析のバイプロットにて示した（図 2-1）。の得られた揮発性成分プロファイリング結果と官能評価結果に対して PLS 回帰分析を実施したところ、官能評価にて特徴付けられた 6 つのニンジン香りの官能特性に対して良好な直線性の関連性を見いだす事ができた。さらに 14 種類のニンジン香りを 2 つのサンプルセット「test セット」と「training セット」に分類し、training セットで作成したモデルを用いて test セットの揮発性成分値から官能評価値を予測したところ、予め測定しておいた分析値と予測値の誤差は 6 つすべての官能特性において 10%以下に収められた（表 2-1）。また 6 つの官能特性のうちニンジン香りの特徴をもっともよく表す特性である、“ツンとした”、“インク”および“フルーティな”について寄与の高い成分を抽出したところ、多くのモノテルペン類が見いだされ、その貢献度を数値化する事に成功した（表 2-2）。これらの結果により、GC-MS を用いた揮発性成分を対象とした成分プロファイリング解析により、ニンジン香りの強度を予測できることが明らかになった。

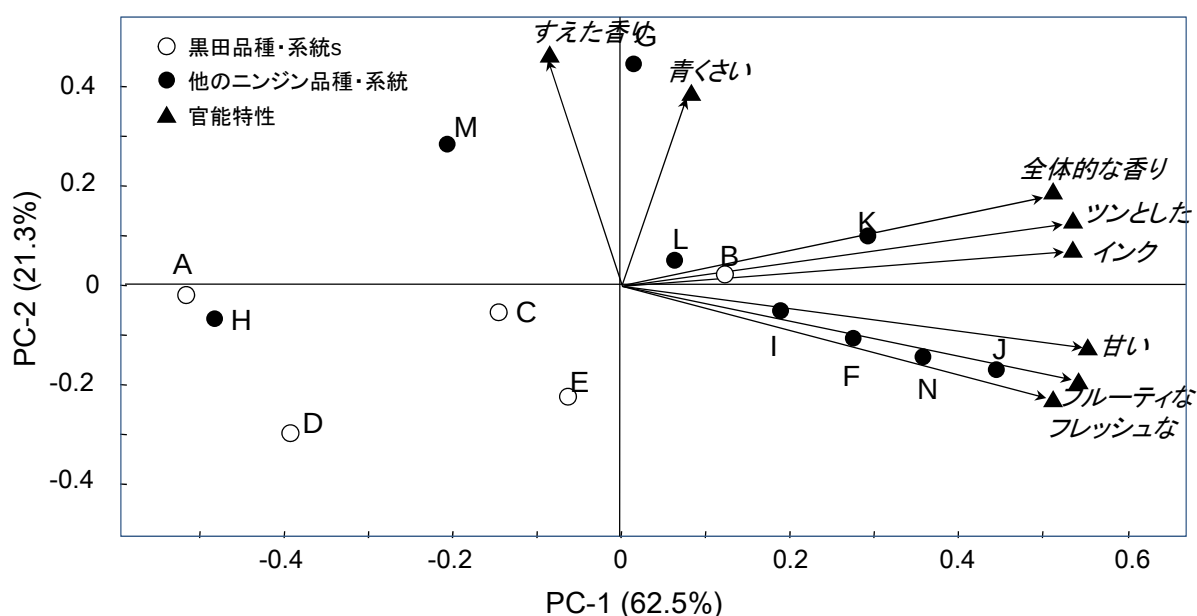


図 2-1 主成分分析によるニンジン品種・系統と官能特性の関連性

表 2 - 1 各官能特性の予測誤差 (15 点満点中)

官能特性	RMSEP 予測誤差
全体的な香り	0.499
フルーティーな	0.718
ツンとした	0.832
甘い	0.550
フレッシュな香り	0.448
インク	0.695

表 2 - 2 各官能特性の高度寄与成分

官能特性	成分	VIP	相関性
インクの香り	サビネン	2.901	正
	ボルニルアセテート	2.372	正
	テルピノレン	2.171	正
	β -ミルセン	2.078	正
	γ -テルピネン	1.814	正
	Volatile_24	1.399	正
	α -テルピネン	1.276	正
	β -ピネン	1.174	正
	ボルネオール	1.062	正
ツンとした	サビネン	3.388	正
	ボルニルアセテート	3.195	正
	テルピノレン	2.661	正
	γ -テルピネン	2.437	正
	β -ミルセン	2.395	正
	β -ピネン	2.106	正
	Volatile_24	1.833	正
	α -ピネン	1.570	負
	Volatile_27	1.534	正
	α -ビサボレン(Z)	1.429	正
	α -テルピネン	1.428	正
	ボルネオール	1.321	正
	リモネン	1.216	正
	γ -ビサボレン(Z)	1.156	負
	γ -ビサボレン(E)	1.057	正
フルーティーな	サビネン	3.191	正
	Volatile_24	1.997	正
	ボルニルアセテート	1.974	正
	テルピノレン	1.783	正
	Volatile_27	1.480	正
	γ -ビサボレン(Z)	1.464	負
	α -ビサボレン(Z)	1.313	負
	β -ミルセン	1.265	正
	α -ピネン	1.184	負

表 2－2（続き）

α -テルピネン	1.121	正
ボルネオール	1.045	正
β -キュベベン	1.029	正
γ -ビサボレン(E)	1.012	負
カリオフィレン	1.010	正

第三章 施与条件の異なるミズナの代謝成分と官能特性のプロファイリング

第三章においては栽培環境の違いが作物の成分動態に与える影響と、その結果見いだされる表現型の変化にどのような意味があるのかについて検証するために、ミズナの官能品質を応答変数と捉え、揮発性成分プロファイルの変動との関連性について解析した。先行研究においては化学肥料／有機肥料の施与の違いにより、一次代謝産物プロファイルに影響が出ることが示唆されていたが、食味や揮発性成分においては有意な変動は検出されなかった。一方、堆肥を施与したミズナはその特徴的な官能特性の強度や揮発成分含有量が減少する傾向があることが明らかになった。官能評価においては”苦み”および”辛み”が堆肥施与により減少し、テクスチャー項目である”水っぽさ”も有意に影響された（図3－1）。味およびフレーバー項目であるこれらの”苦み”および”辛み”について寄与の高い成分を抽出したところ、窒素（N）や硫黄（S）化合物であるニトリル類やイソチオシアネート類の貢献度が高いことが明らかになった（表3－1）。これら N、S 化合物はミズナを始めとするアブラナ科に特徴的な成分であるが、堆肥施与によりこれらの揮発性成分が有意に影響を受け、さらに官能品質が変化する事が明らかになった。

図3－1 主成分分析による施与条件の異なるミズナと官能特性の関連性

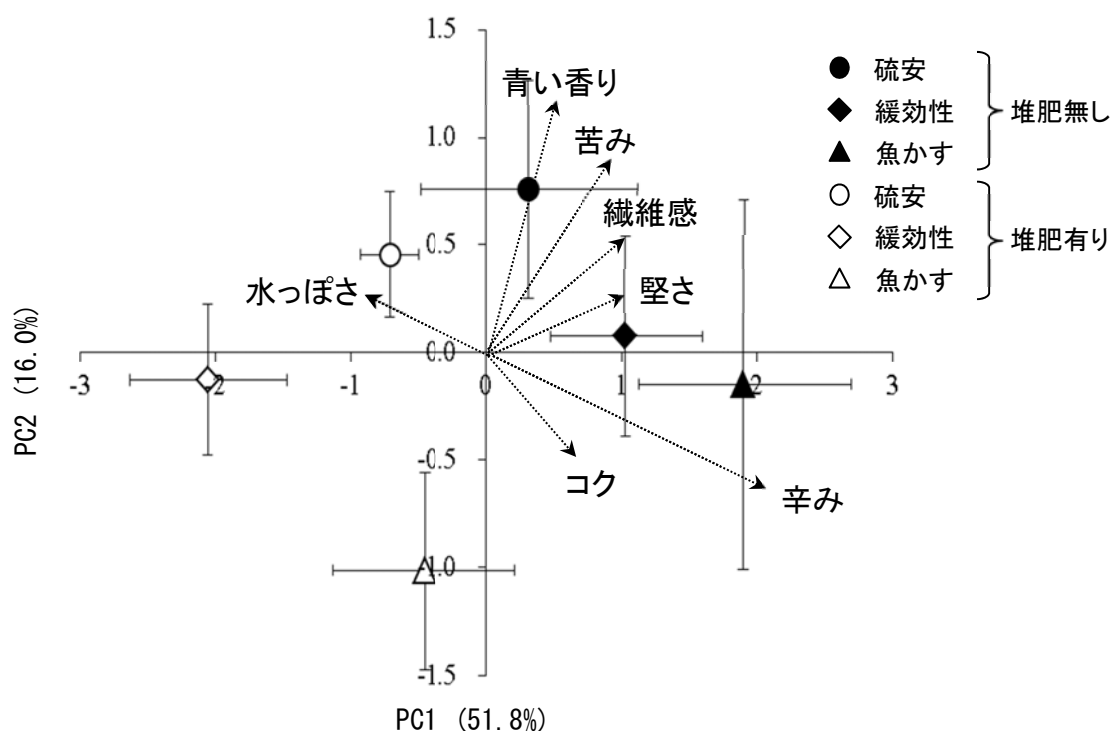


表 2 - 1 各官能特性の高度寄与成分

官能特性	成分	VIP	相関性
苦み	チアゾール 4,5-ジメチル	2.471	正
	5-ヘキセンニトリル	2.279	負
	アリルイソチオシアネート	2.127	負
	ノナナール	1.599	負
	2-ヘキセナール(E)	1.486	負
	フェニルエチルイソチオシアネート	1.430	正
	メタンジブロモクロモ	1.322	正
	2-ヘキサニイソチオシアネート	1.281	正
	4-エチル-5-メチルチアゾール	1.272	負
	ベンゼンプロパンニトリル	1.258	正
	ヘキシルイソチオシアネート	1.194	正
	3-ペンテンニトリル	1.169	正
	デカン, 5-エチル-5-メチル	1.056	正
	β _イオノン	1.027	負
辛み	チアゾール 4,5-ジメチル	2.765	正
	アリルイソチオシアネート	2.220	正
	5-ヘキセンニトリル	2.072	正
	2-ヘキセナール(E)	2.028	正
	フェニルエチルイソチオシアネート	1.778	正
	デカン, 5-エチル-5-メチル	1.640	正
	3-ペンテンニトリル	1.602	正
	ベンゼンプロパンニトリル	1.512	正
	Unknown_RI=1668	1.432	正
	4-エチル-5-メチルチアゾール	1.385	正
	Unknown_RI=1699	1.071	正

第四章 総合討論

GC-MS を用いた揮発性成分のプロファイリングによって 14 種類の遺伝背景が様々なニンジンの香りに関与する官能特性を精度よく予測することができる官能評価予測モデルを作成した。また施与条件の異なるミズナにおいて、栽培環境と成分変動の関連性を解明するためにミズナの官能特性を応答変数として解析したところ、堆肥の施与により N や S 化合物が有意に低下し、それに伴いフレーバー項目である”苦み”および”辛み”が減少し、マイルドな食味に変化した事が明らかになった。これにより官能特性の変化を指標として栽培環境と成分変動について関連付ける事ができた。本研究では揮発性成分のプロファイリングを適用する事で、遺伝背景や栽培環境により影響された農産物の官能特性との関連性を示し、その変動を成分の貢献度によって定量的に表現する事ができた。今後の展望として、第 2 章ではニンジンの香りの予測モデルを作成したが、育種分野へのさらなる貢献するためにニンジンの品質に関与する化合物をマーカーとして抽出し、より多様な特性を予測できるモデルの作成が望まれる。また第 3 章では官能特性とそれらにインパクトの強い成分の関連性を示したが、栽培環境によって変化する一次代謝物をはじめとした作物代謝自体の関連性を解明するというゴールが存在する。本研究により、成分プロファイリング技術を活用した農産物の様々な品質に相当する表現型の解明が可能となり、それらの知見を基にした品質の予測や設計、管理に関わる応用技術の開発に道を開くことができた。