

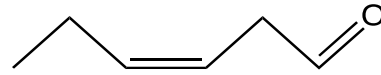
酵素パワーで青臭さを減らす ～ヘキサナールイソメラーゼ～

神戸大学大学院 農学研究科
准教授 山内靖雄

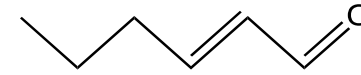
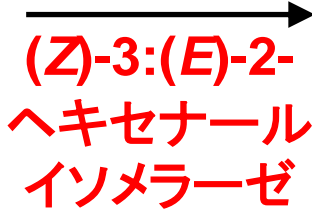
2023年10月19日

本技術の要点

本酵素の反応経路



(Z)-3-Hexenal



(E)-2-Hexenal

植物の青臭い匂いのもと
(青汁、草刈りのときの匂い)

不快臭

植物の甘い果実の匂い

快い匂い

ポイント:

パプリカ、赤ピーマンに含まれている。特にパプリカに多い。
本酵素は当研究室で初めて単離・同定された。

本酵素の特徴

- ・酵素のみ(補因子など添加物なし)で活性が発揮される。
- ・中性～弱酸性(一般的な植物性食品の範囲)で高活性を示す。
- ・パプリカを用いた場合、果実の乾燥粉末で使用可能。

従来技術とその問題点

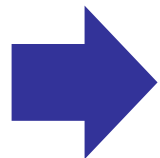
植物性食品(野菜)には独特の香り物質を含むものも多く、青臭い匂いはその代表格の物質である。



その軽減策には、
・より強い香りを加えるマスキング
・加熱処理による揮発除去
が用いられてきたが...

問題点

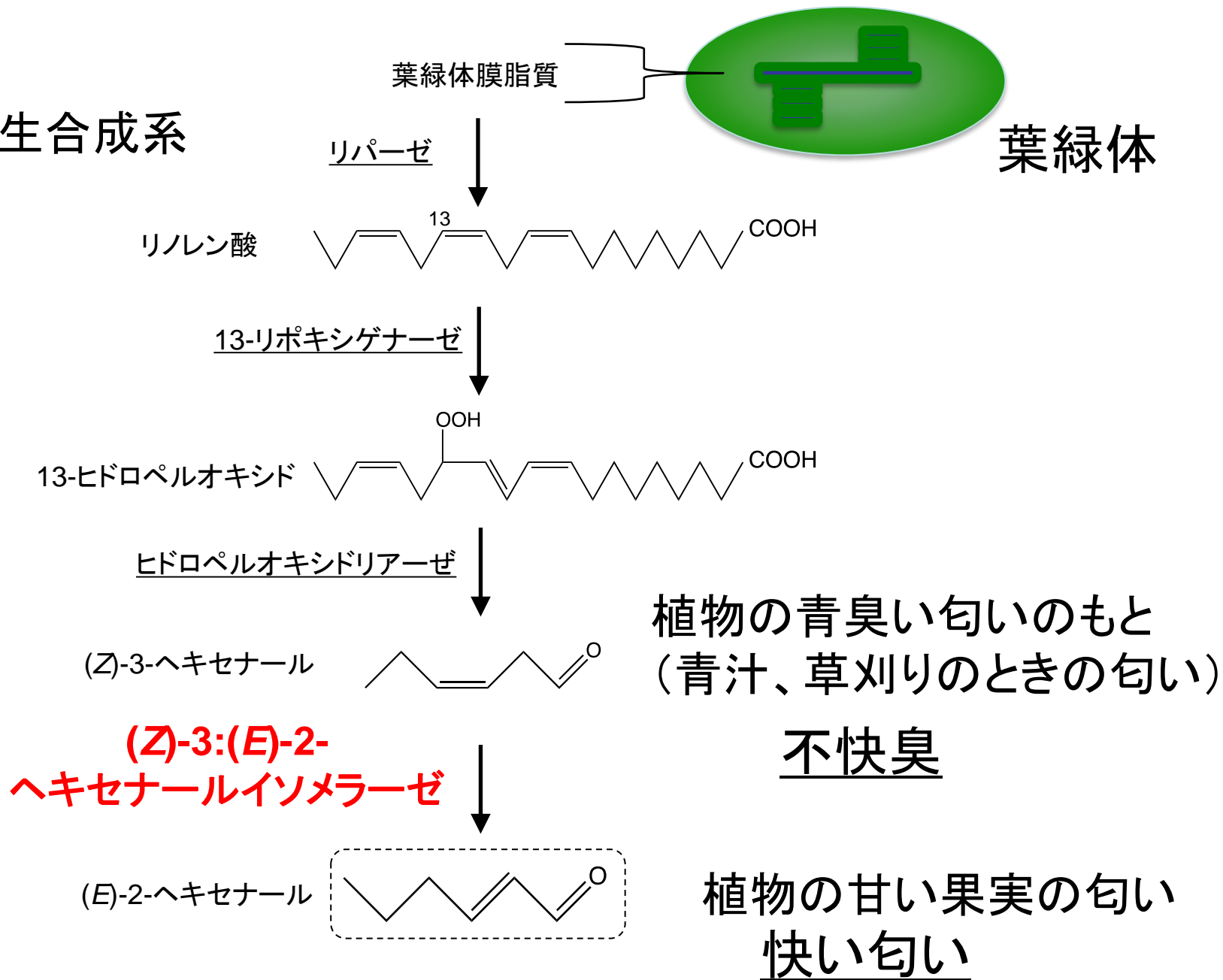
香りを加えるコスト・手間・風味の変化
加熱処理の手間・コスト・風味の変化



簡便で風味大きな変化を与えず、安全安心な方法が望まれる。

新技術の特徴

ヘキセナール生合成系



新技術の特徴

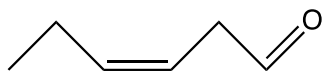
ヒトが香りを感じする閾値

Table II. Odor Thresholds of Tomato Paste Volatile Components and log Odor Unit Values (Concentration/Threshold) for Components in Tomato Paste

compound	odor threshold, ppb in water ^a	log U_o for paste ^b
dimethyl sulfide	0.3	3.8
β -damascenone	0.002	3.8
β -ionone	0.007	2.5
3-methylbutanal	0.2	2.1
1-nitro-2-phenylethane	2	1.5
eugenol	6	1.2
methional	0.2	1.2 ^c
3-methylbutyric acid	250	0.9
6-methyl-5-hepten-2-one	50	0.87
phenylacetaldehyde	4	0.65
linalool	6	0.5
(Z)-3-hexenal	0.25	0.4
hexanal	4.5	0.3
2-isobutylthiazole	3.5	0.16
1-penten-3-one	1	0
2-phenylethanol	1100	-0.04
2-pentylfuran	6	0.07
methyl salicylate	40	-1
β -cyclocitral	5	-0.2
geranylacetone	60	-0.5
acetoin	800	-0.6
geranial	32	-0.9
(E)-2-heptenal	13	-1
α -terpineol	330	-1
(E)-2-hexenal	17	-1.2
(Z)-3-hexenal	70	-1.2
3-methylbutanol	250	-1.2
furfural	3000	-1.3
phenylacetonitrile	1000	-1.4
1-nitro-3-methylbutane	150	-1.6
hexanoic acid	3000	-1.7
6-methyl-3,5-heptadien-2-one	380	-1.8
isobutyl cyanide	1000	-2.2
pseudoionone	800	-2.3
1-penten-3-ol	400	-2.3
2-acetylfuran	10000	-2.4
benzaldehyde	3500	-2.4
pentanol	4000	-2.6
6-methyl-5-hepten-2-ol	2000	-2.6
2-methyl-2-butenal	500	-2.7

植物の青臭い匂いのもと
(青汁、草刈りのときの匂い)

不快臭



(Z)-3-ヘキセナル



(Z)-3:(E)-2-ヘキセナルイソメラーゼ



(E)-2-ヘキセナル

植物の甘い果実の匂い

快い匂い

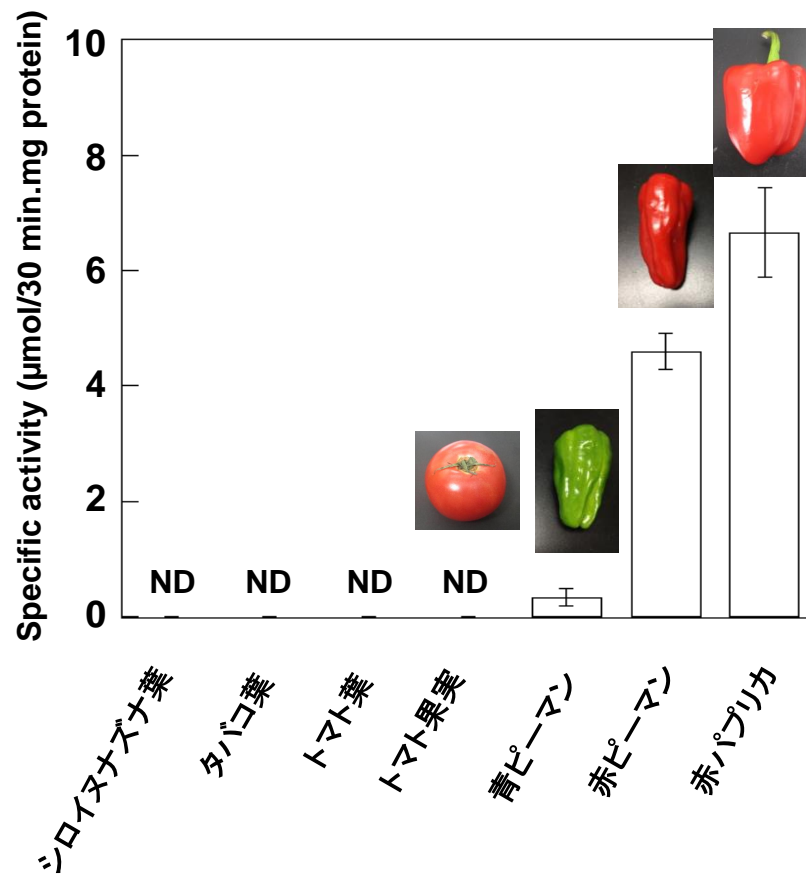
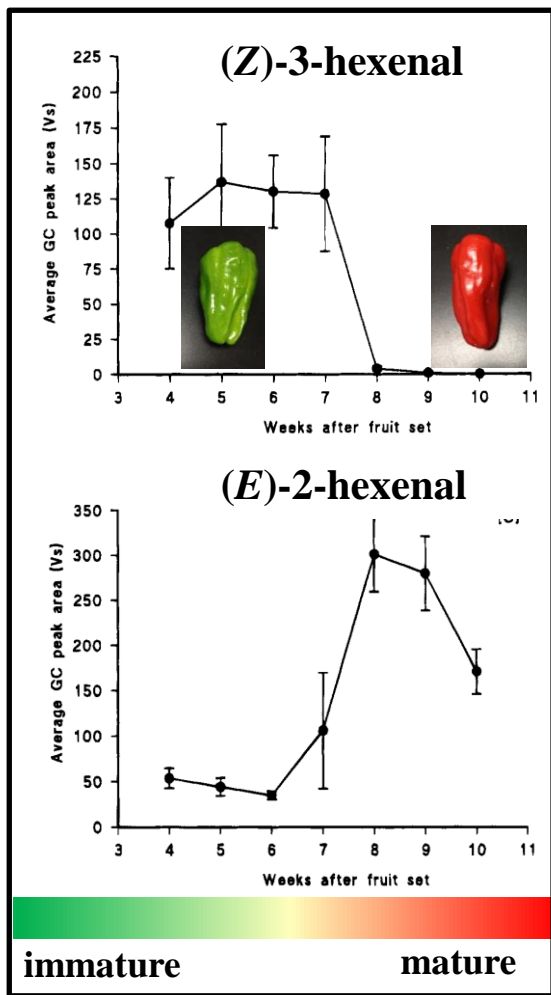
より低濃度で
人は感知する

約70倍鈍くなる

青臭い匂いが
減り、快い匂い
に変化する

^a Parts (mL) of compound per 10⁹ parts (mL) of water. ^b Log of concentration in tomato paste divided by odor threshold in water solution (odor unit value, U_o). ^c Exact concentration and log U_o value uncertain.

完熟したパプリカに高いヘキセナールイソメラーゼ活性が検出される



Luning et al (1995) *J. Agric. Food Chem.*

パプリカ果実からのヘキサナールイソメラーゼの単離



果実を破碎



疎水クロマトグラフィー



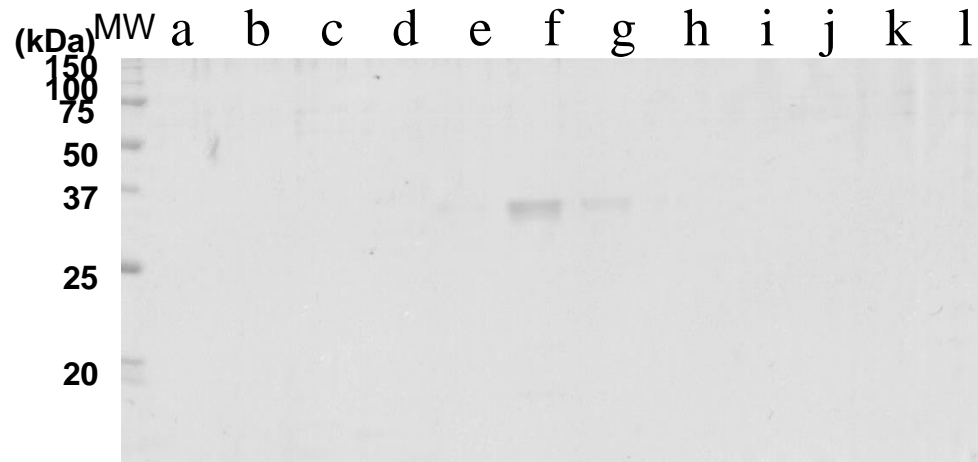
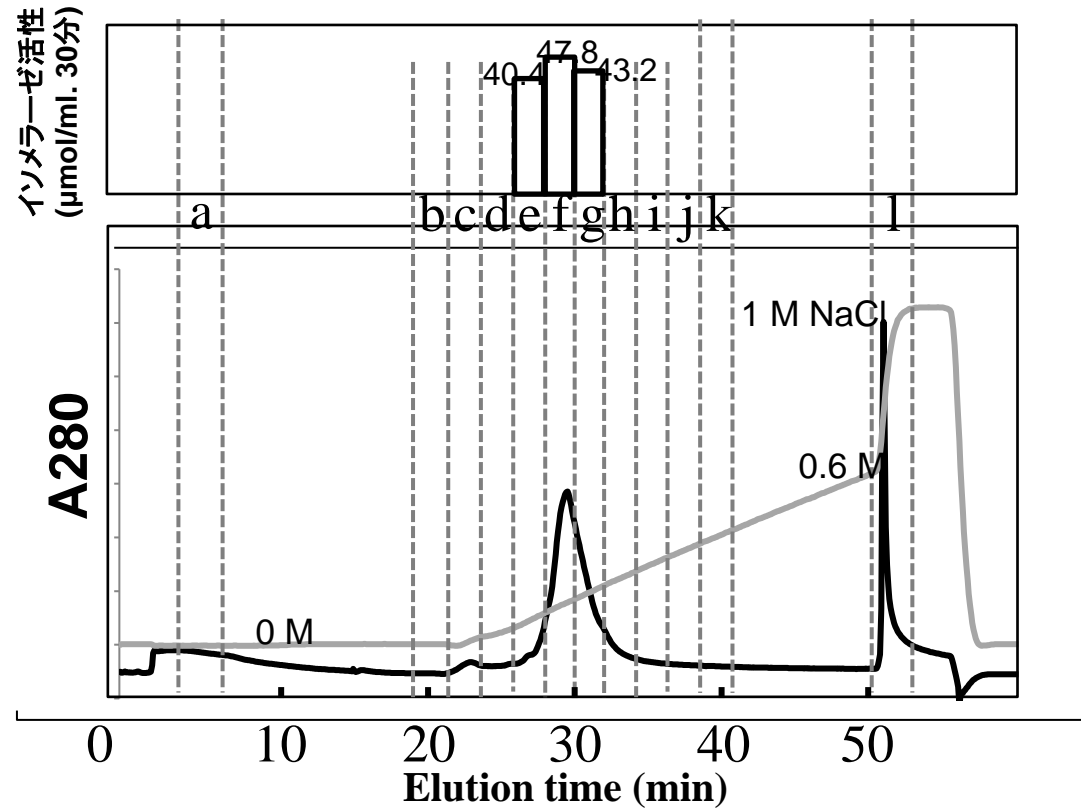
ハイドロキシアパタイトクロマトグラフィー



陰イオン交換クロマトグラフィー(一回目)



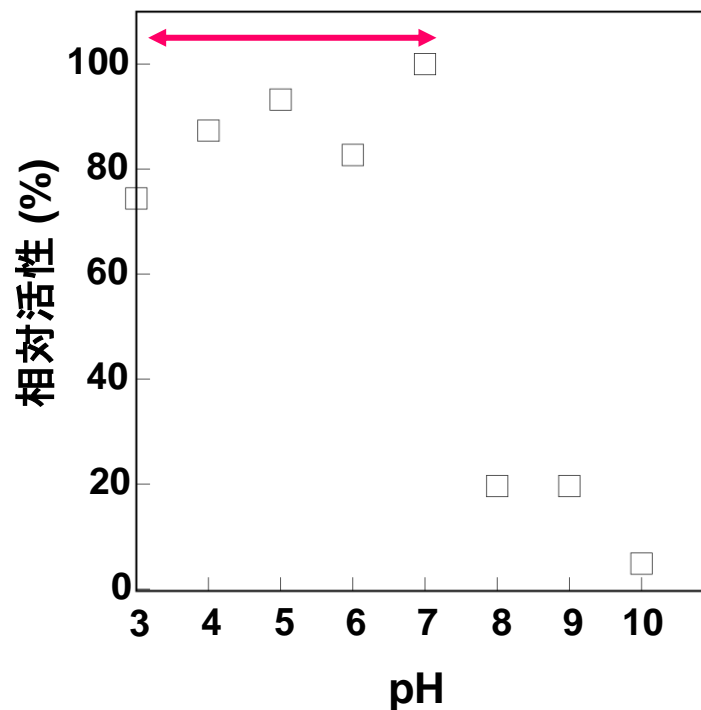
陰イオン交換クロマトグラフィー(二回目、右図)



この作用は単一のタンパク質によるもの

新技術の特徴

本酵素が活性を示すpH範囲



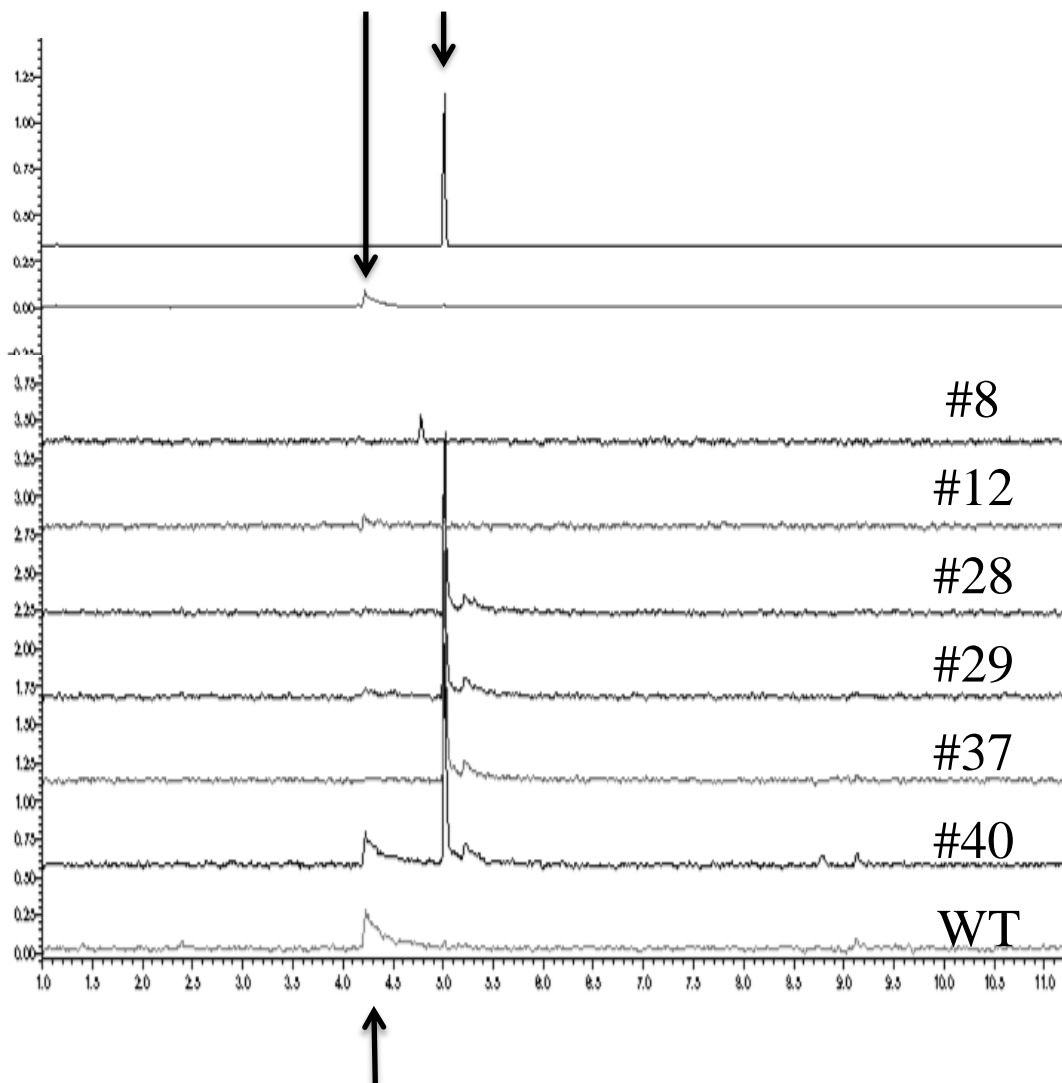
中性から弱酸性で高い活性を示す



ほとんどの植物性食品のpHが当てはまると考えられる

本酵素を強化した遺伝子組換えトマトでは 2-ヘキセナールが主要な緑の香りになった

3-ヘキセナールのピーク 2-ヘキセナールのピーク



ヘキセナールイソメラーゼを高発現した遺伝子組換えトマト(特に#28,#29,#40)の葉では3-ヘキセナールが減少し、2-ヘキセナールが増加した。



今後、トマト果実でも2-ヘキセナールが増加していること(青臭さが低減)が期待される。

野生株 (wild-type: WT)は3-ヘキセナールのみが検出された。

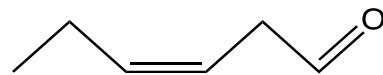


本技術の優位性

- ・ 安全安心な，酵素のみで野菜の青臭い匂いの軽減が可能
- ・ 今まででは難しかった，風味・味・食感等の色の展開が可能
- ・ 消費者の嗜好に合わせた食品展開が可能
- ・ コスト・手間を低減可能

本技術の要点

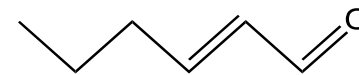
本酵素の反応経路



(Z)-3-Hexenal



(Z)-3:(E)-2-
ヘキセナル
イソメラーゼ



(E)-2-Hexenal

植物の青臭い匂いのもと
(青汁、草刈りのときの匂い)

不快臭

植物の甘い果実の匂い

快い匂い

ポイント:

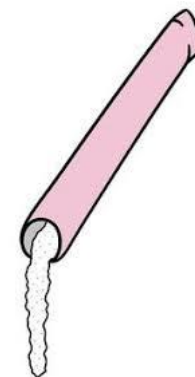
パプリカ、赤ピーマンに含まれている。特にパプリカに多い。
本酵素は当研究室で初めて単離・同定された。

本酵素の特徴

- ・酵素のみ(補因子など添加物なし)で活性が発揮される。
- ・中性～弱酸性(一般的な植物性食品の範囲)で高活性を示す。
- ・パプリカを用いた場合、果実の乾燥粉末で使用可能。

想定される用途

- ・パプリカを粉末化することにより，青臭さを除去する食品添加物が製造可能。



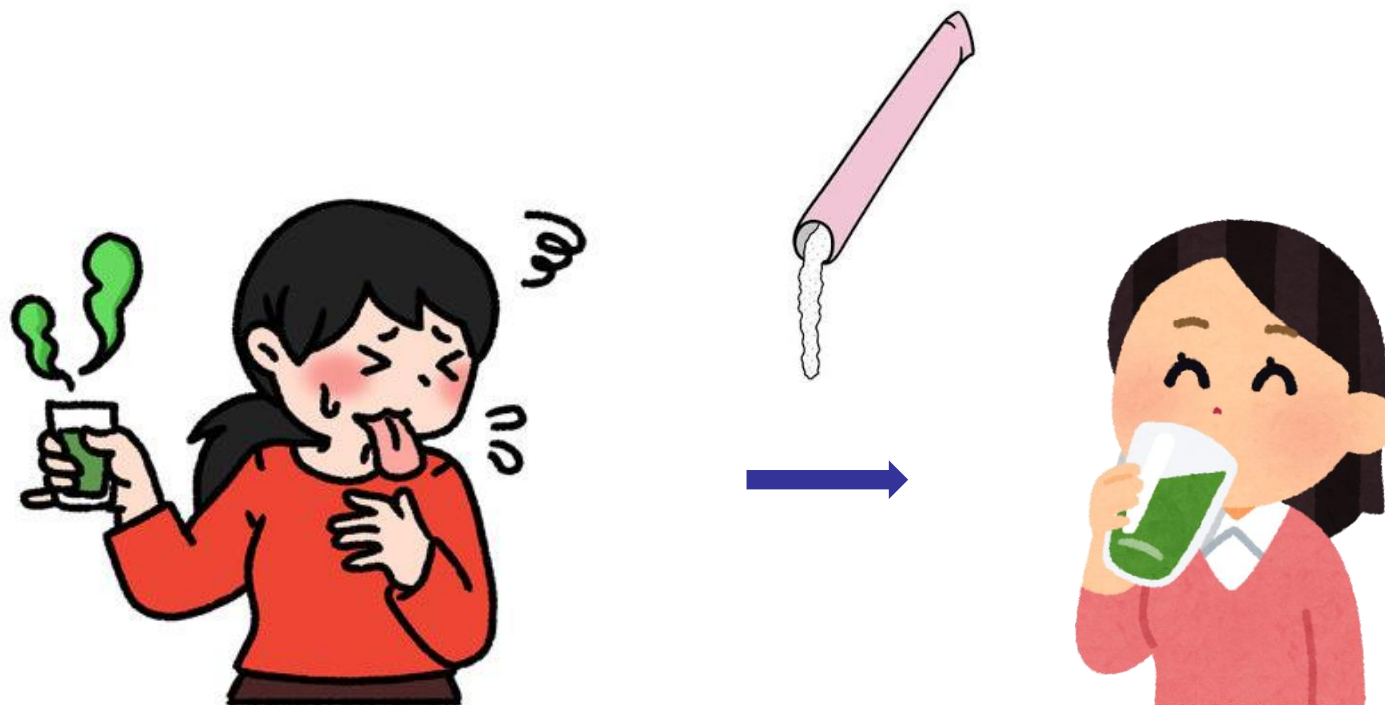
粉末化

脱色
(タンパク質に影響を
与えない溶媒の利用)

色味には影響のない
透明粉末

想定される用途

- 植物由来の酵素のため、安心・安全に使用可能
- 甘い匂いを付与することが可能



想定される用途

- ・ 遺伝子組み換え技術により、青臭い匂い（3-ヘキセナール臭）が主体の食材（トマトや葉菜類）で本酵素を発現させる事により、食材の青臭い匂いを低減する効果が期待されます。

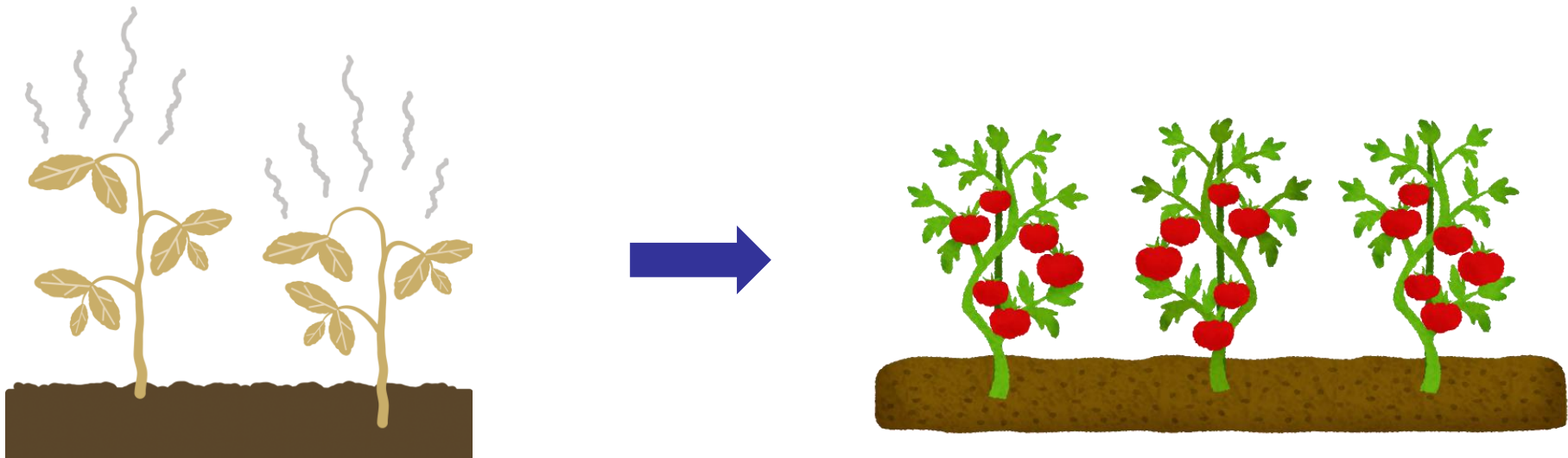


これまで青臭い香りが問題となっていた食品例

想定される用途

- 2-ヘキセナールには植物の高温耐性を高める作用があります。常にこの酵素活性を高めた植物は高温耐性が高まっている可能性があります。

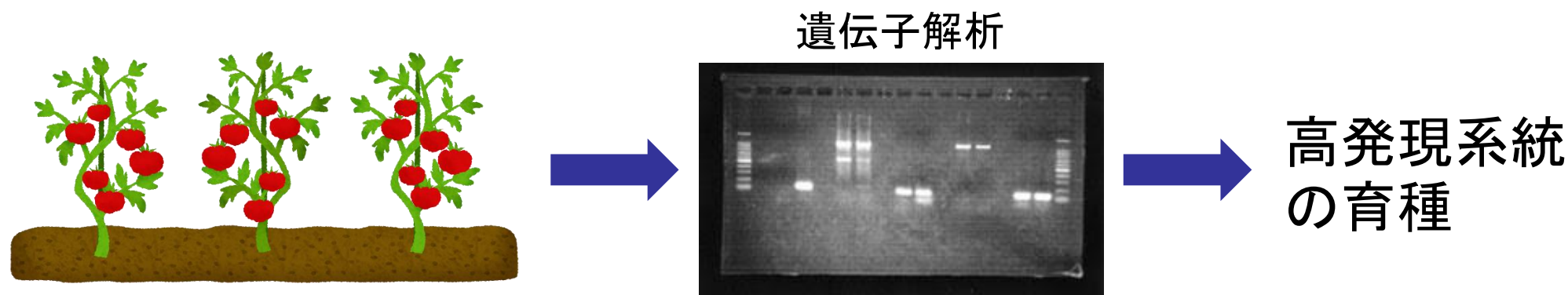
ヘキセナールイソメラーゼ遺伝子の導入



高温耐性を獲得

想定される用途

- これまでのトマト栽培化の歴史では、3-ヘキセナール放出量が低い品種が選抜されてきているようです。そこでこの遺伝子をマーカーとして、本酵素がより強く働いている品種を選抜する事で、青臭い匂いが低減された品種を特定する事が可能になると考えられます。



想定される用途

- 本技術の特徴を植物性食品製造に適用することで、より多くの人々の嗜好性に沿った食品加工品が実現するメリットが大きいと考えられる。
- また、達成された酵素に着目すると、作物育種に展開することも可能と思われる。

実用化に向けた課題

- 現在、粉末化については可能。しかし、より純度の高い粉末化の点が未解決である。
- 今後、食品加工時の実験データを取得し、食品製造過程に適用していく場合の条件設定を行っていく。

企業への期待

- 未解決の粉末化については、脱脂や脱色素の技術により克服できると考えている。
- 食品加工技術を持つ企業との共同研究を希望。
- パプリカを粉末化することにより、青臭さを除去する食品添加物が製造可能。

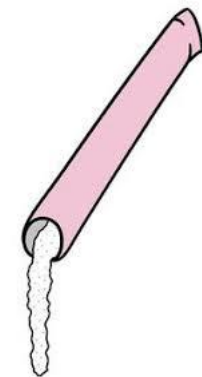


粉末化



脱色

(タンパク質に影響を与えない溶媒の利用)



色味には影響のない
透明粉末

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : (Z) - 3 : (E) - 2 -
ヘキサナールイソメラーゼ
- 出願番号 : 特願2016-560318
- 出願人 : 神戸大学
- 発明者 : 山内靖雄

産学連携の経歴

- 2006年-現在 ファイトクローム社と共同研究実施
- 2008年 JSTシーズ発掘事業に採択
- 2014年-現在 MVM商事と共同研究実施
- 2020年-現在 花王株式会社と共同研究実施
- 2023年- JST・大学発新産業創出基金事業可能性検証事業に採択

お問い合わせ先

神戸大学

産官学連携本部 産学連携・知財部門

TEL 078 - 803 - 5945

FAX 078 - 803 - 5389

e-mail oacis-sodan@office.kobe-u.ac.jp