

東京理科大学・先進工学部生命システム工学科



教授  
有村 源一郎

- 1998年 広島大学理学研究科博士課程後期修了
- 1998年 生物系特定産業技術推進機構派遣研究員  
(京都大学農学研究科)
- 2002年 日本学術振興会海外特別研究員  
(カナダ・ブリティッシュコロンビア大学)
- 2004年 日本学術振興会特別研究員  
ドイツ・マックスプランク化学生態学  
研究所研究員
- 2008年 京都大学大学院理学研究科  
グローバル COE 准教授
- 2012年 京都大学生態学研究センター准教授
- 2013年 東京理科大学基礎工学部准教授
- 2019年 東京理科大学基礎工学部教授  
(2021年より先進工学部に名称変更)

## 新規免疫活性化剤を利用した有機野菜栽培 システムの開発

### 【序論】

植物が害虫によって傷つけられると大気中に放出する揮発性化合物（テルペン等）は、害虫の忌避や害虫にとっての天敵の誘引といった機能を有するだけでなく、植物間コミュニケーション（*talking plants*）における情報化学物質としての役割を担う（Arimura, 2021）。例えば、ミントの近傍で栽培され、メントール等を含むミントの香気成分に曝されたダイズやコマツナは病害虫に対する抵抗性が高まる（Sukegawa et al., 2018）。当該現象は生態系における生物間相互作用や生物の共進化の作用機序に深く関わることから、様々な植物種における実態の解明や植物の嗅覚システムに関する理解が深められてきた。また、植物間コミュニケーションは植物の潜在的防御能力を高める現象であることから、この現象および情報化学物質である香気成分を活用した害虫防除システムの開発が期待されている。

筆者らは、ミントの主要香気成分であるメントールの水酸基にバリンを付加したメントールバリン(ment-Val)を開発した。ment-Val が処理されたダイズ葉では、防御遺伝子 (*pathogenesis-related 1* [*PR1*]) 等の発現が誘導され、害虫抵抗性が獲得されることが明らかにされている (Tsuzuki et al., 2022)。本研究ではさらに、この ment-Val (塩酸塩) を植物工場栽培種であるレタスとトマトの栽培における害虫防除に実装するための基盤構築を試みた。

### 【結果・考察】

メントール溶液、ment-Val 溶液、ment-Val 塩酸塩溶液 (0.1、1、10  $\mu\text{M}$ ) をそれぞれレタスおよびトマトのポット内の土壌 (根) および葉にそれぞれ処理し、24 時間後の葉における *PR1* の発現誘導レベルを解析した (図 1)。その結果、ment-Val もしくは ment-Val 塩酸塩が根に処理されたレタス葉における *PR1* の発現レベルは、コントロール溶液 (MES バッファー) が処理された葉における *PR1* の発現レベルよりも高まった。トマトでは、ment-Val 溶液および ment-Val 塩酸塩溶液が処理された葉と根の何れにおいても、葉における *PR1* の発現誘導レベルは高まった。興味深いことに、レタスとトマトのどちらの場合でも 1  $\mu\text{M}$  でのみ有効であった。これらの結果から (レタスの結果を特に重視して)、ment-Val と ment-Val 塩酸塩溶液 (1  $\mu\text{M}$ ) を根に処理する方法が有効であると結論され、今後は安価で製造しやすい ment-Val 塩酸塩を解析に用いることにした。

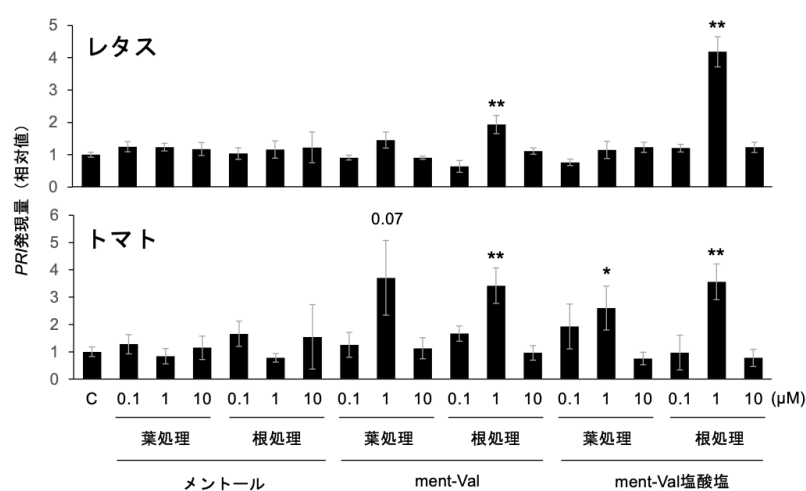


図 1 葉およびポット内土壌 (根) にメントール、ment-Val、ment-Val 塩酸塩溶液が処理されたレタス、トマト葉における 24 時間後の *PR1* 発現量

C : MES バッファー (コントロール) 処理。データは平均 $\pm$ SE ( $n = 7$ ) を示す。アスタリスクはコントロールと比べて統計的に有意に異なることを示す (\*\*  $P < 0.01$ , \*  $0.01 \leq P < 0.05$ ,  $P = 0.07$  : ANOVA with Holm's sequential Bonferroni post-hoc test)。

根に ment-Val 塩酸塩溶液が処理されたトマト葉におけるナミハダニ（害虫）の産卵数はコントロール処理植物と比べて低かったことから、ment-Val 塩酸塩処理によってトマトの虫害抵抗性が付与されることが示された（図2）。一方で、レタス葉におけるナミハダニの産卵数はコントロール処理植物と同程度であった。レタス葉上で2日間のコントロールにおける産卵数はトマト葉上でコントロールにおける産卵数と比較して、0.7倍であったことから、レタスはナミハダニに寄主として好まなく、そのため ment-Val の有効性も得られ難かったものと考察される。

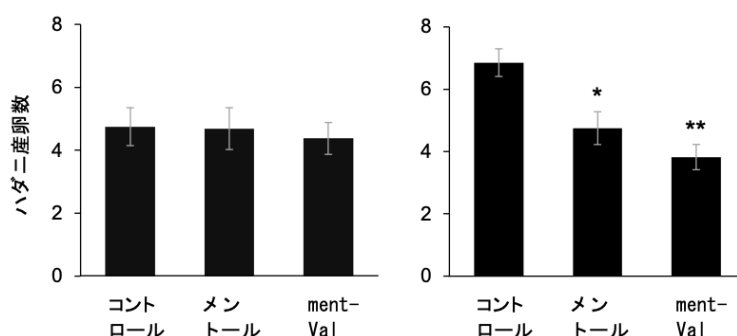


図2 ポット内土壌（根）にさまざまな液量で ment-Val 塩酸塩溶液（ment-Val; 1  $\mu$ M）が処理されたレタス・トマト葉におけるハダニ産卵数

ment-Val 塩酸塩溶液処理1日後の葉にハダニ雌成虫を載せ、48時間に産卵された数を定量した。データは平均 $\pm$ SE ( $n = 8$ )を示す。アスタリスクはコントロールと比べて統計的に有意に異なることを示す (\*\*  $P < 0.01$ , \*  $0.01 \leq P < 0.05$ : ANOVA with Holm's sequential Bonferroni post-hoc test)。

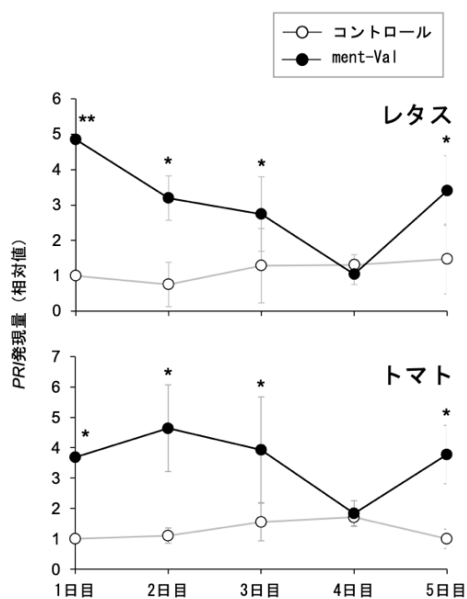


図3 ポット内土壌（根）に ment-Val 溶液（ment-Val; 1  $\mu$ M）が処理されたレタス、トマト葉における PR1 発現量の経時的变化

最初の ment-Val 溶液が処理されてから4日後に ment-Val 塩酸塩溶液は再処理された。C: MES バッファー（コントロール）処理。データは平均 $\pm$ SE ( $n = 8$ )を示す。アスタリスクはコントロールと比べて統計的に有意に異なることを示す (\*\*  $P < 0.01$ , \*  $0.01 \leq P < 0.05$ : Student's *t* test)。

ment-Val 塩酸塩溶液 (1  $\mu\text{M}$ ) が根に処理されたレタスとトマトの葉における *PR1* 発現誘導は3日間継続し、処理4日後にはコントロールレベルの閾値に戻った (図3)。さらに、最初の処理から4日後に ment-Val 塩酸塩溶液を再処理したところ、*PR1* の発現量は再び高まった。したがって、ment-Val 塩酸塩の効果は処理後3日間持続し、その後再処理することで再活性化されることが示唆された。

一方で、トマトの果実の収穫は播種後数ヶ月である。これまでの実験に使用した播種後3週令の苗は根も発達していないため、5 mL の ment-Val 塩酸塩溶液を用いて効果的に *PR1* の発現を誘導させることができたが (図1)、6週令のトマトはより多くの液量が必要であるかもしれない。そこで、6週令のトマトポット内土壌 (根) に様々な液量の ment-Val 塩酸塩溶液 (1  $\mu\text{M}$ ) を処理した。その結果、葉における24時間後の *PR1* の発現量は50 mL で有意に増加した (図4)。故に、より成長したトマトでは、ment-Val 塩酸塩溶液の処理量も増やす必要があることが示された。

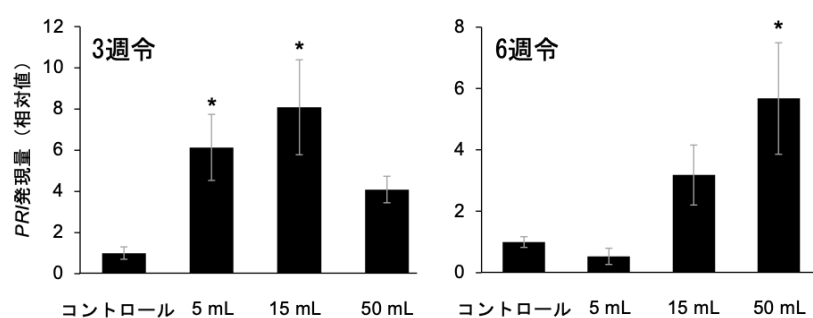


図4 ポット内土壌 (根) にさまざまな液量で ment-Val 塩酸塩溶液 (1  $\mu\text{M}$ ) が処理された播種後3週令トマトと6週令トマトの葉における *PR1* 発現量 (24時間後)

C: MES バッファー (コントロール) 処理。データは平均 $\pm$ SE ( $n = 6$ ) を示す。アスタリスクはコントロールと比べて統計的に有意に異なることを示す (\*\*  $P < 0.01$ : ANOVA with Holm's sequential Bonferroni post-hoc test)。

最後に、ment-Val 塩酸塩処理レタス葉の味分析を実施した。ment-Val 塩酸塩がレタス3週令から5週令まで4日毎に処理された結果、コントロール処理葉と比べて、先味である渋味刺激、旨味、塩味がわずかに低下することが見出された (表1)。今回は解析個体数が1であったため当該結果は参考的なもので、今後、圃場試験等における収穫野菜の品質のさらなる調査が必要である。

表1 味覚項目試験結果

	先味					後味		
	酸味	苦味 雑味	渋味 刺激	旨味	塩味	苦味	渋味	旨味 コク
コントロール	-17	9.53	2.73	5.47	4.72	1.79	0.87	2.18
ment-Val	-15.8	10.46	1.86	4.43	2.82	2.2	0.97	2.28

## 【結論】

本研究において、ment-Val 塩酸塩を免疫活性化剤として利用したレタスとトマトの長期栽培システムを開発するための基盤研究として、土壌（根）に ment-Val 塩酸塩を処理することで、レタスとトマトの防御応答は3日間維持され、再処理することで継続的な免疫活性を維持できるシステムが構築された。

## 【謝辞】

ment-Val 塩酸塩は日本カーリット(株)によって合成され、提供された。本研究における実験はすべて森源起、ラヒミアン サリラ（東京理科大学）によって実施された。

## 【引用文献】

Arimura G. (2021) Making sense of the way plants sense herbivores. *Trends in Plant Science* 26:288-298

Sukegawa S., Shiojiri K., Higami T., Suzuki S., Arimura G. (2018) Pest management using mint volatiles to elicit resistance in soy: mechanism and application potential. *Plant Journal* 96:910-920

Tsuzuki C., Hachisu M., Iwabe R., Nakayama Y., Nonaga Y., Sukegawa S., Horito S., Arimura G. (2022) An amino acid ester of menthol elicits defense responses in plants. *Plant Molecular Biology* 109:523-531