

## 研究紹介

トウガラシにおける  
新規カプサイシン類似物質・  
カプシコニノイドの含量田中 義行  
(応用植物科学コース)Research on capsiconinoid contents,  
nonpungent capsaicinoid analogues,  
in *Capsicum* cultivarsYoshiyuki Tanaka  
(Course of Applied Plant Science)

In the course of analyses of nonpungent capsaicinoid analogs named capsinoids, two unknown compounds were discovered in pepper fruits. These compounds were isolated from the fruit of 'CCB' (*Capsicum baccatum* var. *praetermissum*). Their structures were determined to be coniferyl (*E*)-8-methyl-6-nonenoate and coniferyl 8-methylnonanoate. These novel capsaicin analogs were named capsiconiate and dihydrocapsiconiate, respectively, and the coniferyl ester group was named capsiconinoid. Capsiconinoids have agonist activity for transient receptor potential vanilloid type 1, and their pungency is very low, as similar to that of capsinoids. Cultivars containing high levels of capsiconinoid are considered to be important for vegetable or dietary supplement. HPLC analysis was conducted to determine capsiconinoid content in fruits of 54 *Capsicum* cultivars: 28 cultivars of *C. annuum*, 9 of *C. baccatum*, 12 of *C. chinense*, 4 of *C. frutescens*, and 1 of *C. pubescens*. Twelve cultivars contained capsiconinoids. 'CCB' showed the highest capsiconinoid content level (3314  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  DW) and 'Charapita' (*C. chinense*) had the second highest (2694  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  DW). The other 10 cultivars contained much lower capsiconinoid than these two cultivars (<300  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  DW). Time-course analysis during fruit development clarified that capsiconinoid content increased and reached maximum level in green mature fruit. Capsaicinoid contents also increased, correspondingly. As fruits matured, capsiconinoid contents decreased rapidly, while capsaicinoid content either did not change or decreased slightly.

Key words: pepper, capsaicinoid analogs, capsiconinoid

## 緒 言

トウガラシは、ナス科トウガラシ (*Capsicum*) 属の植

物である。トウガラシ属の果実には、香辛料として利用される辛味品種と青果用の非辛味品種があり、どちらも世界中で重要な野菜になっている。トウガラシの辛味の原因となる主要な成分は、無色の脂溶性アルカロイドのカプサイシンである<sup>1)</sup>。トウガラシ果実には、カプサイシンに加えてジヒドロカプサイシン、ノルジヒドロカプサイシン、ホモカプサイシン、ホモジヒドロカプサイシンなどの同族体が存在し、これらを総称してカプサイシノイドと呼ぶ<sup>2)</sup>。カプサイシノイドには、体熱産生作用、脂肪代謝促進作用など様々な生理作用があることが知られている<sup>3)</sup>。このような生理作用はカプサイシノイドがバニロイドレセプター transient receptor potential vanilloid type 1 (TRPV1) を活性化することによると報告されている<sup>4,5)</sup>。生理作用を十分得るためには、多量のカプサイシノイドを摂取することが必要である。しかし、カプサイシノイドは激しい辛味を呈するため、ヒトが多量に摂取することは難しい。

1979年に矢澤はタイから食用の辛味品種 'CH-19辛' (*C. annuum*) を導入した。これを栽培している中で辛味の少ない個体を発見し、ほとんど辛味のない非辛味品種として分離・固定することに成功し、これを 'CH-19甘' と名付けた。'CH-19甘' 果実中の成分を逆相薄層クロマトグラフィーで分析するとカプサイシノイドとはRf値の異なるスポットがいくつか見出され<sup>6)</sup>、これらを単離・構造解析したところ、カプサイシン、ジヒドロカプサイシンと化学構造のよく似た新規物質であることが判明し、それぞれカプシエイト、ジヒドロカプシエイト、総称をカプシノイドと名付けられた<sup>7)</sup>。カプシノイドは無色のペースト状の物質であり、カプサイシノイドの1000分の1程度しか辛味を呈さないが、カプサイシノイドと同様の生理作用がある。カプシノイドの生理作用としては、カプサイシノイドと同程度にTRPV1を活性化すること、エネルギー代謝促進作用、体熱産生促進作用などが報告されている<sup>8)</sup>。カプシノイドは 'CH-19甘' に多量に含まれる天然物質であることから、健康機能性食品への利用が期待され、カプシノイドを含む健康食品や医薬品の実用化に向けていくつかの食品関連企業と共同研究が行われ、現在カプシノイドを含むサプリメントが開発され市販されている。

トウガラシ果実中のカプシノイド含量の測定を行った際、HPLCクロマトグラム上に未知の2本のピークが見出された。これらのピークに対応する物質が単離され、それらの化学構造が決定され、カプサイシンと化学構造が類似した新規物質であることが明らかになった。それぞれの物質はカプシコニエイト (coniferyl (*E*)-8-methyl-6-nonenoate) およびジヒドロカプシコニエイト (coniferyl 8-methylnonanoate) と命名され、総称をカ

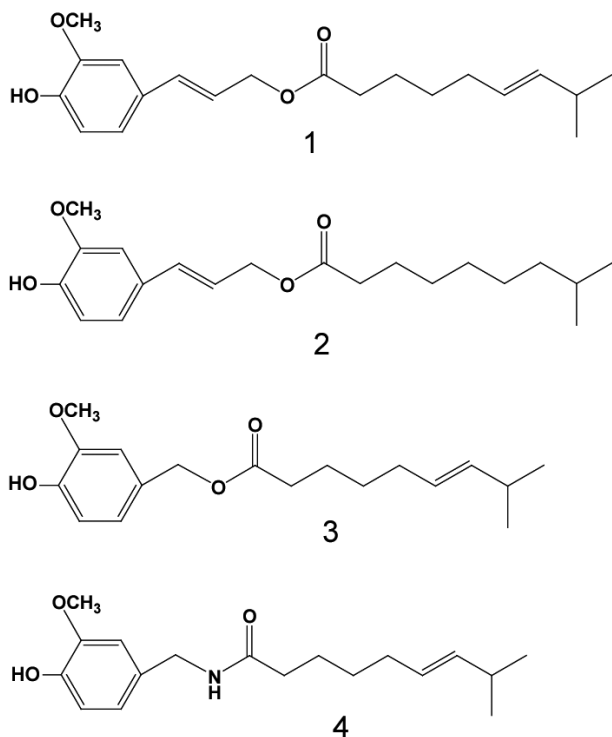


Fig. 1 Chemical structures of capsiconiate (1), dihydrocapsiconiate (2), capsiate (3) and capsaicin (4).

プシコニノイドとされた (Fig. 1)<sup>9)</sup>. カプシコニノイドはコニフェリルアルコールと脂肪酸がエステル結合した化学構造を有する. カプシコニノイドは辛味はほとんどなく, カプサイシンレセプター TRPV1 を活性化する作用があることからカプシノイドのように生理的機能成分として利用できると考えられる.

カプシコニノイドを生理的機能性成分として利用する上で, またその生理作用を詳細に調査する上で, カプシコニノイドを高含量で含む品種を明らかにすることは重要である. またカプサイシノイドやカプシノイドも TRPV1 を活性化する作用をもっており, カプシコニノイドを含めたこれら3種の類似物質が果実にどのような組成で含まれているかを把握することは, トウガラシ果実全体の生理活性を検討する上で重要である. 本実験では, トウガラシ品種のカプシコニノイド含量を HPLC 分析で調査し, 併せて同一果実内のカプサイシノイドおよびカプシノイド含量も定量した. またカプシコニノイド含量が最大になる果実発達段階を明らかにするために, カプシコニノイド含量が高いことが明らかになった品種を材料として, 果実発達に伴うカプシコニノイド含量の変化も併せて明らかにした.

## 材料および方法

### カプシコニノイド含量の品種間差

本実験では第1表に示した *C. annuum* 28品種, *C. baccatum* 9品種, *C. chinense* 12品種, *C. frutescens* 4品種, *C. pubescens* 1品種, 計54品種を供試した. 植物体はすべて京都大学附属農場京都農場で栽培した. 栽培方法は慣行法に従って行った. 開花後約30日目の緑色果実を収穫し, HPLCでカプシコニノイド, カプシノイド, カプサイシノイド含量を決定した. カプシコニノイド含量は, Kobataら (2008) の方法で人工合成したカプシコニエイトを用いて検量線を作成し, カプシコニエイトとジヒドロカプシコニエイト含量の合計として算出した<sup>9)</sup>.

### 果実発達に伴うカプシコニノイド含量の経時変化

‘CCB’ を実験に供試した. 2005年3月上旬にパーミキュライトを培地として播種した. ハウス内で育苗し, 6月上旬に京都大学附属農場京都農場に定植した. 施肥や病害防除は慣行法にならった. 2005年9月下旬に開花した花に印をつけ, 開花後15日, 20日, 25日, 30日, 35日, 40日目の果実を収穫し HPLC 法でカプシコニノイドおよびカプサイシノイド含量を測定した. 測定は3反復を行った.

## 結果および考察

### カプシコニノイド含量の品種間差異

調査を行った品種の中で, ‘CCB’ と ‘Charapita’ が顕著に多くのカプシコニノイドを含んでいることが明らかになった (Table 1). ‘CCB’ および ‘Charapita’ におけるカプシコニノイド含量はそれぞれ 3314, 2694  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{DW}$  であった. 10品種が少量であるがカプシコニノイドを含んでいたが (<300  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{DW}$ ), 残りの品種でカプシコニノイドは検出限界以下であった. カプシコニノイドは *C. annuum* 4品種, *C. baccatum* 3品種, *C. chinense* 4品種, *C. frutescens* 1品種に含まれていたこと (Table 1) から, カプシコニノイドは特定の種に含まれるのではなく *Capsicum* 属に広く存在する物質であると考えられた. カプシコニノイドを含む品種が南アメリカ, アフリカおよび日本で入手したものであったことから, カプシコニノイドはある特定地域のトウガラシにのみ含まれる物質ではないと考えられる.

‘伏見甘’ やベル型ピーマン品種ではカプシコニノイド, カプシノイド, カプサイシノイドのいずれも検出されなかった (Table 1). 全体として, 辛味品種はカプサイシノイドを主要成分として含んでおり, 非辛味成分であるカプシノイドとカプシコニノイドは微量にしか含まれていなかった. 例外的に, ‘CCB’ と ‘Charapita’ がカプサイシノイドと同程度の含量でカプシコニノイドを含んでいた. これらの結果から, カプシコニノイドは辛

Table 1 Capsiconinoid, capsinoid and capsaicinoid contents in fruits of *Capsicum* cultivars

Species	Cultivars	Country to obtain	Content ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ DW fruit)		
			Capsiconinoid	Capsinoid	Capsaicinoid
<i>C. annuum</i>	Ecuadorian Hot Pepper	Ecuador	239.2 ± 26.6 <sup>†</sup>	807.3 ± 69.0	7442.7 ± 372.3
	CH-19 Sweet	Japan	75.5 ± 1.5	5632.5 ± 280.0	109.7 ± 3.1
	Bolivian Rainbow	Bolivia	79.0 ± 0.2	228.2 ± 4.8	4741.1 ± 64.6
	Corn Red	Japan	11.8 ± 7.5	145.2 ± 19.3	6993.1 ± 625.2
	Himo	Japan	nd.	1240.0 ± 105.0	nd. <sup>‡</sup>
	Patagonia	Chile	nd.	1021.6 ± 164.3	6141.1 ± 540.8
	Demon Red	U.K.	nd.	560.1 ± 148.2	13845.2 ± 973.0
	Fish	Japan	nd.	402.1 ± 21.9	7362.3 ± 478.9
	Corn Yellow	Japan	nd.	397.6 ± 47.4	7503.2 ± 183.2
	Numex Bailey Piquin	U.S.A	nd.	284.0 ± 81.3	3207.9 ± 269.4
	Hana-matsuri	Japan	nd.	147.5 ± 14.1	4736.5 ± 384.6
	Yatsufusa	Japan	nd.	145.4 ± 27.8	3706.8 ± 993.5
	No. 3446	Peru	nd.	135.1 ± 25.5	5568.8 ± 368.5
	Nikko	Japan	nd.	50.7 ± 35.6	1054.2 ± 443.9
	Peperone	U.K.	nd.	46.8 ± 3.8	866.9 ± 64.6
	Chamelcon	Japan	nd.	22.3 ± 11.2	3291.2 ± 267.2
	Ordone	U.S.A	nd.	nd.	4649.4 ± 376.3
	Hungarian Yellow Wax	U.S.A	nd.	nd.	1353.9 ± 65.5
	Escondida	Chile	nd.	nd.	927.0 ± 12.3
	Noumi-kurojishi	Japan	nd.	nd.	880.2 ± 232.0
	Heat Wave	U.K.	nd.	nd.	661.2 ± 299.8
	Kagura-nanban	Japan	nd.	nd.	425.2 ± 170.8
	Chimayo	U.S.A	nd.	nd.	201.1 ± 112.3
	Fushimi-ama	Japan	nd.	nd.	nd.
	California Wonder	Japan	nd.	nd.	nd.
	Wonder Bell	Japan	nd.	nd.	nd.
	Orange Bell	Japan	nd.	nd.	nd.
Medousa	Japan	nd.	nd.	nd.	
<i>C. baccatum</i> var. <i>praetermissum</i>	CCB	Mexico	3314.6 ± 357.4	45.7 ± 5.1	7885.3 ± 477.1
<i>C. baccatum</i> var. <i>pendulum</i>	Super	Côte d'Ivoire	106.7 ± 15.5	67.3 ± 1.0	5073.3 ± 93.5
<i>C. baccatum</i> var. <i>baccatum</i>	Mexico1	Mexico	30.3 ± 1.6	264.8 ± 18.6	5250.2 ± 111.4
	No. 3188	Peru	nd.	506.4 ± 149.0	1950.1 ± 133.4
	Peruvian Orange	Peru	nd.	70.3 ± 6.9	905.6 ± 72.5
	Paraguay Red	Paraguay	nd.	61.3 ± 12.8	1197.7 ± 47.3
	UFO	U.S.A	nd.	nd.	511.0 ± 20.9
	Aji Cito	Peru	nd.	nd.	82.1 ± 4.3
	Aji Amarillo	Japan	nd.	nd.	86.1 ± 24.1
<i>C. chinense</i>	Charapita	Peru	2694.1 ± 91.9	1801.9 ± 23.8	5036.7 ± 200.6
	Devil Hot Tongue	U.S.A	238.7 ± 42.0	622.2 ± 60.0	11174.3 ± 859.9
	Sy-2	Seychelles	83.8 ± 7.9	1046.2 ± 112.1	7329.8 ± 325.4
	Bhut Jolokia	India	19.2 ± 9.7	710.5 ± 118.9	14179.9 ± 5146.5
	Zavory Hot	U.S.A	nd.	1812.0 ± 692.4	38.6 ± 22.3
	Aji Dulce Strain2	Venezuela	nd.	1797.0 ± 486.2	39.0 ± 6.0
	Peruvian Shiny Red	Peru	nd.	897.1 ± 136.5	9062.6 ± 618.3
	Red Habanero	Japan	nd.	768.1 ± 40.5	11839.1 ± 1066.1
	Belize Sweet	Belize	nd.	732.0 ± 154.6	41.1 ± 3.0
	USDA152452	Brazil	nd.	281.0 ± 48.1	10270.6 ± 541.9
	Orange Habanero	Japan	nd.	nd.	7246.2 ± 30.5
	Guyana Tragedy	Guyana	nd.	nd.	2329.2 ± 224.0
<i>C. frutescens</i>	Costa Rica15	Costa Rica	39.3 ± 2.0	170.0 ± 12.3	7980.1 ± 413.4
	Shima	Japan	nd.	2056.6 ± 165.7	12148.4 ± 1000.0
	Tabasco	Japan	nd.	nd.	5012.9 ± 324.7
	Af-erect	Kenya	nd.	nd.	2451.0 ± 365.9
<i>C. pubescens</i>	Indonesia-1	Indonesia	nd.	nd.	3621.7 ± 541.1

<sup>†</sup> Mean ± standard error (n=3).

<sup>‡</sup> nd.: not detected.

味品種でのみ検出されるものの、その含量は品種間で大きな違いが認められた。‘CH-19甘’、‘ひも’、‘Zavory Hot’、‘Aji Dulce Strain 2’ および ‘Belize Sweet’ の5品種がカプサイシノイドをほとんど含まず、カプシノイドを多量に含んでいた。さらに辛味品種の中にはカプシノイドを比較的多く含む品種があった。‘Charapita’ や ‘シマ’ は他の辛味品種と比べて有意に多くのカプシノイドを含んでおり、含量は2056, 1801  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{DW}$  であった。調査した品種の中で ‘Charapita’ はカプシコニノイド、カプシノイド、カプサイシノイドという3成分を高レベルで含むという特徴的な成分組成をしていた。カプシコニノイドはコニフェリルアルコール部分を除いてカプサイシノイドおよびカプシノイドと化学構造が同一であることから、カプサイシノイド生合成で利用される脂肪酸とコニフェリルアルコールが縮合することでカプシコニノイドが合成されると考えられる。トウガラシ果実内でカプサイシノイドとその類似物質の組成がどのように決定されるのかを調査する上で、3成分すべてを含む ‘Charapita’ は今後有用な実験材料となるであろう。

### Capsicum 属植物におけるカプシコニノイド含量

カプシコニノイドとしては、これまでにカプシコニエイトとジヒドロカプシコニエイトという2成分を同定した。トウガラシ果実においては、バニルアミンと炭素数10の脂肪酸が縮合した構造をもつカプサイシンとジヒドロカプサイシンが主要なカプサイシノイドである。カプサイシンとジヒドロカプサイシンの脂肪酸側の構造は、カプシコニエイトとジヒドロカプシコニエイトの脂肪酸部分の構造と同一である。カプサイシンとジヒドロカプサイシンの比率 (CAP/DCAP) は品種間でかなりの違いがあるが<sup>10)</sup>、本実験において測定された CAP/DCAP とカプシコニエイトとジヒドロカプシコニエイトの比率 (CSCT/DCSCT) との間には強い関係があるように思われた。例えば、CAP/DCAP は ‘CCB’ において1.8であるが<sup>8)</sup>、‘Charapita’ ではカプサイシンの占める割合が大きいために CAP/DCAP は5.1になる。同様に CSCT/DCSCT も ‘CCB’ において3.6であるが、‘Charapita’ ではカプシコニエイトが占める割合が大きく10.9であった (Table 2, 3)。

Table 2 Capsiconiate and dihydrocapsiconiate contents in *Capsicum* fruits

Species	Cultivars	Content ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{DW}$ fruit)				c/d <sup>x</sup>
		Capsiconiate		Dihydrocapsiconiate		
<i>C. annuum</i>	Ecuadorian Hot Pepper	200.3	± 23.1 <sup>z</sup>	38.8	± 3.5	5.2
	CH-19 Sweet	48.4	± 1.5	27.1	± 0.2	1.8
	Bolivian Rainbow	59.9	± 0.1	19.0	± 0.3	3.1
	Corn Red	8.3	± 5.2	3.5	± 3.5	2.4
<i>C. baccatum</i> var. <i>praetermissum</i>	CCB	2594.6	± 272.6	720.0	± 84.9	3.6
<i>C. baccatum</i> var. <i>pendulum</i>	Super	69.3	± 11.5	37.4	± 4.3	1.9
<i>C. baccatum</i> var. <i>baccatum</i>	Mexico1	30.3	± 1.6	nd. <sup>y</sup>		-
<i>C. chinense</i>	Charapita	2467.0	± 100.3	227.1	± 8.4	10.9
	Devil Hot Tongue	212.3	± 36.6	26.4	± 5.5	8.0
	Sy-2	83.8	± 7.9	nd.		-
	Bhut Jolokia	19.2	± 9.7	nd.		-
<i>C. frutescens</i>	Costa Rica15	39.3	± 2.0	nd.		-

<sup>z</sup>Mean ± standard error (n=3).

<sup>y</sup>nd.: not detected.

<sup>x</sup>Ratio of capsiconiate to dihydrocapsiconiate.

Table 3 Capsaicin and dihydrocapsaicin contents in *Capsicum* fruits

Species	Cultivars	Content ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ DW fruit)		c/d <sup>x</sup>
		Capsaicin	Dihydrocapsaicin	
<i>C. annuum</i>	Ecuadorian Hot Pepper	4360.6 ± 195.0 <sup>z</sup>	3082.1 ± 177.4	1.4
	CH-19 Sweet	109.1 ± 3.1	nd. <sup>y</sup>	-
	Bolivian Rainbow	2674.6 ± 73.6	2066.6 ± 9.0	1.3
	Corn Red	4326.1 ± 364.6	2667.0 ± 3.5	1.6
<i>C. baccatum</i> var. <i>praetermissum</i>	CCB	5047.6 ± 222.1	2837.8 ± 192.2	1.8
<i>C. baccatum</i> var. <i>pendulum</i>	Super	2419.8 ± 107.1	2653.5 ± 39.1	0.9
<i>C. baccatum</i> var. <i>baccatum</i>	Mexico1	3093.1 ± 137.4	2157.2 ± 87.4	1.4
<i>C. chinense</i>	Charapita	4205.0 ± 206.5	830.7 ± 5.9	5.1
	Devil Hot Tongue	7372.2 ± 546.7	3802.1 ± 313.5	1.9
	Sy-2	4611.2 ± 167.1	2718.6 ± 221.0	1.7
	Bhut Jolokia	10190.3 ± 3668.0	3989.6 ± 2578.5	2.6
<i>C. frutescens</i>	Costa Rica15	4973.8 ± 220.2	3007.1 ± 199.3	1.7

<sup>z</sup>Mean±standard error (n=3).

<sup>y</sup>nd.: not detected.

<sup>x</sup>Ratio of capsaicin to dihydrocapsaicin.

現在カプシコニノイドの生合成経路は不明である。カプサイシノイドはバニルルアミンと脂肪酸が縮合することで合成されるが、カプサイシノイドとカプシコニノイドとの脂肪酸側は同一の脂肪酸であること、またCAP/DCAPとCSCT/DCSCTの間に強い関係が認められたことから、カプシコニノイドはコニフェリルアルコールとカプサイシノイドの前駆体である脂肪酸が縮合することで合成されると考えられる。カプサイシノイドの合成経路においてバニルルアミンと脂肪酸の縮合反応は*Pun1* 遺伝子にコードされているアシルトランスフェラーゼの働きで行われる<sup>11)</sup>。*Pun1* が分類されるクレードのアシルトランスフェラーゼには、幅広いアルコールを基質にするという特徴があることが報告されている<sup>12)</sup>。このことから*Pun1* はコニフェリルアルコールも基質として脂肪酸との縮合を触媒し、カプシコニノイドの生合成にも関わると考えられる。

#### 果実発達に伴うカプシコニノイド含量の経時変化

‘CCB’において、開花後15日目から25日目にかけてカプシコニノイド含量が増加し、開花後35日目で3800  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  DW になった (Fig. 2)。カプシコニノイド含量とともに、カプサイシノイド含量も開花後15日目から25日目にかけて増加した。開花後40日目には、カプシコニ

ノイドおよびカプサイシノイド含量はともに減少した。この果実発達に伴うカプシコニノイド含量の変化は、これまでに報告されているカプサイシノイドまたはカプシノイド含量の変化と類似している<sup>6,13,14)</sup>。‘辛八房’を用いて行った実験でも、カプサイシノイドは開花後20日目に増加し始め開花後40日目に最大になると報告されている<sup>13)</sup>。カプシノイドに関しても‘CH-19甘’においてカプシノイド含量は開花後10~30日目の間で増加し、開花後30日目以降は減少することが分かっている<sup>6,15)</sup>。

本実験により、カプシコニノイド含量は成熟する前の緑色果実で最大になることが明らかになった。カプシコニノイドを大量に得るためには、‘CCB’では開花後30日目あたりの緑色果実を収穫すべきであろう。‘CCB’果実が成熟し橙色に着色してくると、カプサイシノイド含量は最大時の22%減少した。一方、カプシコニノイド含量は、58%減少した。‘CH-19甘’においてもカプシノイド含量は果実成熟に伴い大きく減少すると報告されている<sup>6)</sup>。これらのことから、カプシコニノイドやカプシノイドはカプサイシノイドより分解しやすいと考えられる。これまでに様々な溶媒中でのカプサイシノイドおよびカプシノイドの安定性が検討されている。カプサイシノイドはバニルルアミンと脂肪酸のアミド化合物であ

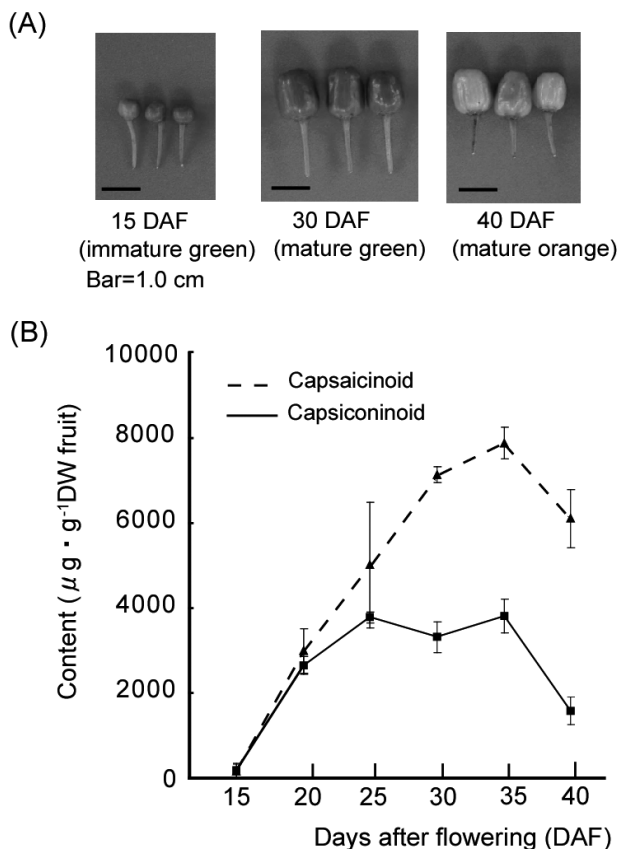


Fig. 2 The change of capsinonoid and capsaicinoid content during CCB fruit development. (A) Fruit color and size change through fruit development and maturation, and (B) The change of capsinonoid and capsaicinoid content during fruit development. Vertical bars indicate standard errors (n=3).

り、非極性溶媒でも極性溶媒中でも安定である。一方カプシノイドはバニルアルコールと脂肪酸のエステルであり、酢酸エチルような非極性溶媒中では安定であるが水やメタノールのような極性溶媒中では分解されることが分かっている<sup>16)</sup>。カプシコニノイドはコニフェリルアルコールと脂肪酸のエステル化合物であり、カプシノイドと同様に極性溶媒中で不安定であると考えられる。水に対する不安定性がカプシコニノイドおよびカプシノイド含量が果実成熟に伴いカプサイシノイド含量より大きく減少する原因であると考えられる。また、ペルオキシダーゼによってトウガラシ果実内でカプサイシノイドが酸化されるという報告もなされており<sup>14)</sup>、ペルオキシダーゼがカプシコニノイドおよびカプシノイド含量の減少に関わっている可能性もある。今後トウガラシ果実全体でカプサイシン類似物質の生理活性を評価する場合、例えばヒトがトウガラシ果実を食べることで得られる生理作用を評価する場合には、果実発達段階による成分組成の違いを十分に考慮しなければならないだろう。

## 謝 辞

本研究は、京都大学大学院農学研究科教授・矢澤 進博士の指導の下で行われたものである。ここに感謝を申し上げます。

## 引用文献

- 1) Nelson, E. K. and L. E. Dawson. The constitution of capsaicin, the pungent principle of *Capsicum*. III. J. Am. Chem. Soc., **45**, 2179-2181 (1923)
- 2) Bennett, D. J. and G. W. Kirby. Constitution and biosynthesis of capsaicin. J. Chem. Soc. C : 442-446 (1968)
- 3) 岩井和夫・渡辺達夫・川崎博己・河田照雄・木村修一・中谷延二・伏木 亨・柳梨娜・倉田忠男・高畑京也・富永真琴：辛味成分の生理作用。改訂増補 トウガラシ—辛味の科学—(岩井和夫・渡辺達夫 編), pp. 128-217, 幸書房, 東京 (2008)
- 4) Caterina, M. J., M. A. Schumacher, M. Tominaga, T. A. Rosen, J. D. Levine and D. Julius. The capsaicin receptor: a heat-activated ion channel in the pain pathway. Nature, **389**, 816-824 (1997)
- 5) Szallasi, A. Vanilloid (capsaicin) receptors in health and disease. Am. J. Clin. Pathol., **118**, 110-121 (2002)
- 6) 矢澤 進・末留 昇・岡本佳奈・並木隆和。'CH19甘'を片親としたトウガラシ (*Capsicum annuum* L.) の雑種におけるカプサイシノイドならびにカプサイシノイド様物質の含量。園学雑., **58**, 601-607 (1989)
- 7) Kobata, K., T. Todo, S. Yazawa, K. Iwai and T. Watanabe. Novel capsaicinoid-like substances, capsiate and dihydrocapsiate, from the fruits of a nonpungent cultivar, CH-19 Sweet, of pepper (*C. annuum* L.). J. Agric. Food Chem., **46**, 1695-1697 (1998)
- 8) Luo, X. J., Peng, J., Li, Y. J. Recent advances in the study on capsaicinoids and capsinoids. Eur. J. Pharmacol., **650**, 1-7 (2011)
- 9) Kobata, K., H. Tate, Y. Iwasaki, Y. Tanaka, K. Ohtsu, S. Yazawa and T. Watanabe. Isolation of coniferyl esters from *Capsicum baccatum* L., and their enzymatic preparation and agonist activity for TRPV1. Phytochem., **69**, 1179-1184 (2008)
- 10) Zewdie, Y. and P. W. Bosland. Capsaicinoid profiles are not good chemotaxonomic indicators for *Capsicum* species. Biochem. Syst. Ecol., **29**, 161-169 (2001)
- 11) Stewart Jr., C., B.-C. Kang, K. Liu, M. Mazourek, S. L. Moore, E. Y. Yoo, B.-D. Kim, I. Paran and M. M. Jahn. The *Pun1* gene for pungency in pepper encodes a putative acyltransferase. Plant J., **42**, 675-688 (2005)
- 12) D'Auria, J. C. Acyltransferases in plants: a good time to be BAHD. Curr. Opin. Plant Biol., **9**, 331-340 (2006)
- 13) Iwai, K., T. Suzuki and H. Fujiwake. 1979. Formation and accumulation of pungent principles of hot pepper fruits, capsaicin and its analogues in *Capsicum annuum* var. *annuum* cv. Karayatsubusa at different growth stages after flowering. Agric. Biol. Chem., **43**, 2493-2498 (1979)
- 14) Díaz, J., F. Pomar, Á Bernal and F. Merino. 2004. Peroxidases and the metabolism of capsaicin in *Capsicum annuum* L. Phytochem. Rev., **3**, 141-157 (2004)
- 15) 前田 智・米田祥二・細川宗孝・林 孝洋・渡辺達夫・矢澤 進。2006。トウガラシ 'CH-19甘' (*Capsicum annuum* L.)

の果実発育中の新規物質カプシノイド含量の変化と胎座組織の変態変化ならびに果実の貯蔵条件とカプシノイド含量. 京大農場報告, **15**, 5-10 (2006)

16) Sutoh, K., K. Kobata and T. Watanabe. Stability of capsinoid in various solvents. J. Agric. Food Chem., **49**, 4026-4030 (2001)