

トウガラシ (*Capsicum* spp.) 果実の辛味成分含量の経時的变化

南 峰夫・豊田美和子・井上 匡・根本和洋・氏原暉男

信州大学農学部 応用生命科学科 生物資源開発学講座

要約 トウガラシ果実中の辛味成分であるカプサイシノイド含量の経時的变化を明らかにするために、*C.annuum* と *C.frutescens-chinense* complex の各2系統を供試し、開花後20日おきに果実を収穫し、カプサイシノイド含量を測定した。開花後20日目からカプサイシノイド3成分 (capsaicin, dihydrocapsaicin, nordihydrocapsaicin) が検出され、含量の系統間差、種間差が認められた。登熟ステージ (開花後日数) により含量は大きく変化し、経時的变化のパターンには系統間差が認められた。したがって、カプサイシノイド含量の評価にあたっては、果実の登熟ステージのばらつきを考慮した果実のサンプリング法が必要と考えられた。また、いずれの系統も果実の成熟期とは無関係に開花後40日目前後に最大含量を示したことから、カプサイシノイド含量の最大値を評価するためには、開花後40日目頃の果実を収穫、測定することが必要と結論した。カプサイシノイド3成分の組成比に系統間差がみられたが、登熟ステージによる変化は認められなかった。

キーワード : *Capsicum*, トウガラシ, カプサイシン, カプサイシノイド, 登熟期, 含有量

緒言

トウガラシ (*Capsicum* sp.) は果実に特有な風味と強力な辛味を持つ安価な香辛料として世界各地で広く栽培利用されている。その辛味成分は主成分であるカプサイシン (capsaicin) とその類似化合物の一群からなり、これまでに14種類の同族体が報告され、カプサイシノイド (capsaicinoid) と総称されている^{1,2)}。カプサイシノイドは、辛味による食欲増進効果だけでなく、抗酸化性、脂質代謝の促進と体熱産生亢進による肥満防止作用など生体内で様々な機能を発揮する機能性食品成分として注目されている^{3,4)}。

香辛料作物であるトウガラシの評価においては辛味成分含量が最も大きな比重を持つ。したがって、トウガラシの育種において、カプサイシノイドの的確な定量法が不可欠である。筆者らは高速液体クロマトグラフィー (HPLC) を用いた定量方法を確立し、分析用果実の採取方法と測定誤差の関係を考察した⁵⁾。このなかで個体内果実間の変動、すなわち、果実の登熟ステージの違いがカプサイシノイド含量測定値の変動の主要因であることを明らかにした。トウガラシの開花期間は長く、個体内には様々な登熟ステージの果実が存在する。したがって、カプサ

イシノイド含量の的確な定量のためには、登熟に伴う含量の変化を明らかにしておくことが必要である。

このような観点から、トウガラシ属2種における辛味成分含量を経時的に調査し、総含量および組成の変化、ならびに種・系統間差について考察した。

材料および方法

(1) 供試系統

実験を行う上で、多数の分析用果実が得られること、開花期が早く、長期間にわたり経時的变化を追跡できることを条件として、これまでの報告^{6,7)}をもとに、着果数が多く、早生の系統を *C.annuum* と *C.frutescens-chinense* complex からそれぞれ2系統ずつ選び、供試した。

C.annuum ; タカノツメ (日本産 TKI), 870756 (R) (ネパール産)

C.frutescens-chinense complex ; 870733 (ネパール産), T-1 (タイ産)

これら4系統を1997年4月15日にビニルポットに播種し、温室内で育苗した。5月27日に本学部附属農場に定植し、慣行法で栽培した。

(2) 開花調査、収穫および分析方法

登熟期間の気象条件の相違による影響を除くため、各系統の開花最盛期に分析に必要な数の花に開花日を記したラベルを付けた。各系統のラベル付けの間隔は以下の通りである。

受理日 5月14日

採択日 7月7日

タカノツメ；7/23～8/3, 870756(R)；8/2～8/13, 870733；8/11～8/22, T-1；8/11～8/22

開花後20, 40, 50, 60, 80日目に、系統ごとに各10個体から1果実以上収穫し、混合サンプルとした。なお、タカノツメにおいては開花後100日目まで、870756(R)においては開花後90日目まで収穫を行った。収穫後の乾燥、粉碎、抽出、HPLC分析は Minami *et al.* (1998)⁵⁾の方法で行った。

実験結果

全ての系統で開花後20日目から capsaicin (CAP), dihydrocapsaicin (DC), nordihydrocapsaicin (NDC) の3種類のカプサイシノイドが検出された(第1表)。

(1) *C. annuum*

870756(R)とタカノツメにおけるカプサイシノイド3成分とその総含量の経時的变化を第1図に示し

た。

総含量についてみると、どちらの系統も開花後40日目まで同じような増加傾向を示して最大となり、その後60日目まで急激に減少した。減少率はタカノツメの方が大きく、開花後60日目にタカノツメでは最大値の約38%、870756(R)では約70%となった。しかし、60日目以後、タカノツメは100日目まで減少を示さなかったのに対して、870756(R)は80日目まで一定であったが、90日目には減少を示した。

カプサイシノイド3成分の組成比には系統間差がみられた。870756(R)のNDCの割合はタカノツメより明らかに小さく、CAPの割合は大きい傾向がみられた。しかし、登熟ステージによる組成比の変化は、開花後20日目を除き、両系統においてみられず、常にCAP>DC>NDCであった(第1表)。

果実の登熟過程についてみると、両系統ともに開花後20日目頃に果実の肥大が止まり、タカノツメでは50～60日目に果実が赤反(果実の色が赤くなること)した。870756(R)では60日目頃から果実が濃緑

Table 1. Capsaicinoid contents at different stages after flowering.

Species	Days after flowering (days)	Capsaicinoid content ¹⁾				
		Total ($\mu\text{g/gDW}$)	NDC (%)	CAP (%)	DC (%)	
<i>C. annuum</i>						
Takanotsume	20	2730	3.7	64.5	31.8	
	40	5102	14.0	46.0	40.0	
	50	3392	14.2	47.2	38.6	
	60	1954	15.5	44.0	40.5	
	80	2636	14.0	46.7	39.3	
	90	2129	14.2	46.8	39.1	
	100	2439	12.3	47.5	40.2	
	870756(R)	20	3779	5.5	66.2	28.3
		40	5053	7.3	63.6	29.2
		50	4657	8.5	59.8	31.7
60		3552	6.9	63.4	29.7	
80		3592	6.6	59.3	34.1	
90	2903	6.2	57.3	36.5		
<i>C. frutescens-chinense</i> complex						
870733	20	13839	3.8	57.9	38.3	
	40	22724	4.9	53.9	41.2	
	50	18656	4.8	54.4	40.9	
	60	16900	6.0	52.5	41.6	
	80	11429	1.8	64.3	33.9	
T-1	20	8711	2.9	75.0	22.1	
	40	8577	3.9	72.2	23.9	
	50	8242	3.6	72.2	24.1	
	60	6985	3.5	71.9	24.6	
	80	5819	2.8	70.5	26.7	

¹⁾NDC: nordihydrocapsaicin, CAP: capsaicin, DC: dihydrocapsaicin

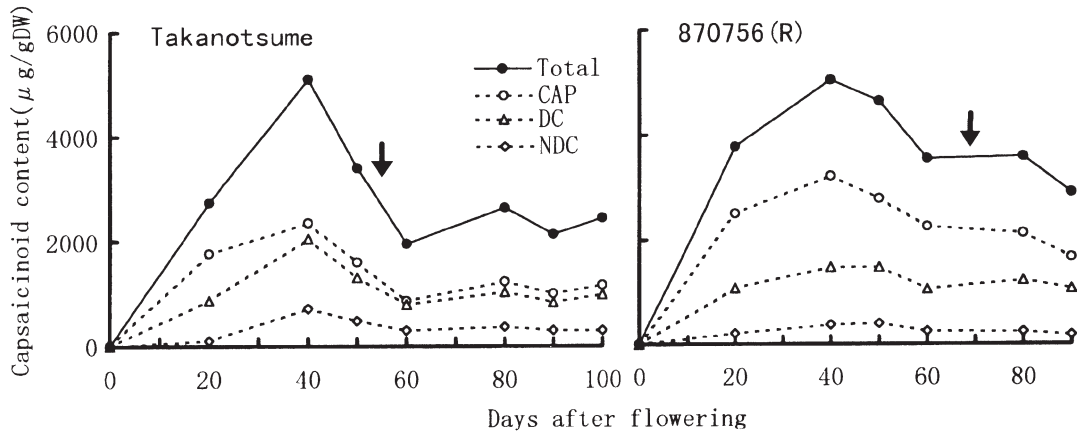


Fig. 1. Capsaicinoid contents of *C. annuum* at different stages after flowering. Arrows indicate the time when fruits colored red. CAP: capsaicin, DC: dihydrocapsaicin, NDC: nordihydrocapsaicin

色になり、70日目前後に赤反した。このように果実中のカプサイシノイド含量のピークと赤反時期（成熟期）には差が認められた。

(2) *C. frutescens-chinense* complex

870733とT-1におけるカプサイシノイドの3成分とその総含量の経時の変化を第2図に示した。

総含量についてみると、870733では開花後40日目まで急激な増加がみられ、22,700 μ g/g DW以上の高含量となった。しかしその後の減少が著しく、開

花後80日目まで減少が続き、最大値の約50%まで減少した。一方、T-1では、20日目に最高となったが、20日目から50日目までほとんど差がなく、明らかなピークは認められなかった。その後の減少率は870733に比べて小さく、減少は約67%までであった。

カプサイシノイド3成分の組成比について両系統を比較すると、T-1は870733よりも総含量に対するDCの割合が明らかに小さく、CAPの割合が大きい傾向を示した。しかし、*C. annuum*と同様に明らかな経時の変化は認められず、常にCAP>DC>NDCであった（第1表）。

果実の登熟過程についてみると、両系統ともに開花後20日目頃に果実の肥大が止まり、870733では60日目頃から果実が黄褐色になり、70~80日目に赤反し、T-1では80日目頃に赤反した。両系統ともに赤反までの日数が*C. annuum*より長く、含量のピークと成熟期には大きなずれがあった。

考 察

果実の肥大生長が終わる開花後20日目から、全ての系統で3種類のカプサイシノイドが検出され、含量の種内系統間差と種間差が明らかに認められた。種間で比較すると、*C. frutescens-chinense* complexの含量が明らかに高く、その差は開花後20日目においてすでに顕著であり、*C. annuum*の最大値を上回っていた（第1表）。Suzuki *et al.* (1980)⁸⁾は、*C. annuum*の1系統を用いてカプサイシノイド生成組織を解剖学的に調査し、開花後20日目頃から果実の胎座の表皮組織に形態的变化が生じ、この部分でカプサイシノイドが生成蓄積されると報告している。しかし、この時期にすでに大きな種・系統

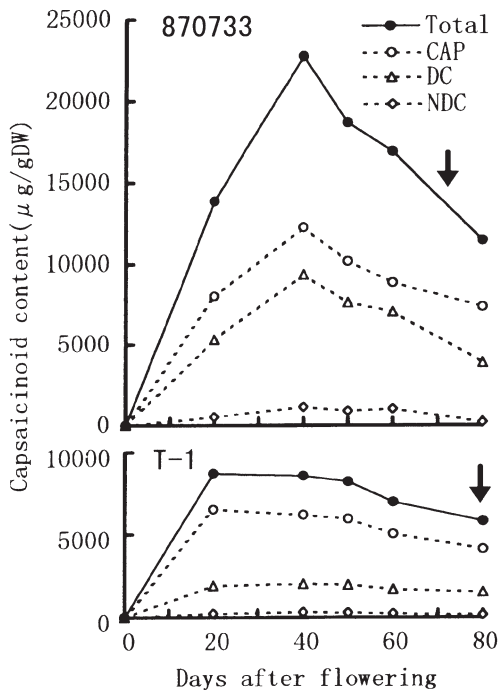


Fig. 2. Capsaicinoid contents of *C. frutescens-chinense* complex at different stages after flowering. Arrows indicate the time when fruits colored red. CAP: capsaicin, DC: dihydrocapsaicin, NDC: nordihydrocapsaicin

間差が認められたことから、カプサイシノイドの生成がより早い時期から始まっており、開始時期に種・系統間差があると考えられる。実際に著者らは開花後10日目の T-1の果実からカプサイシノイドを検出している⁹⁾。カプサイシノイドはフェニルアラニンおよびバニリンまたはロイシンから酵素反応により生合成される¹⁰⁾。したがって、開花受精後の果実の発育に伴うカプサイシノイド生合成に関与する酵素の活性、基質の含量などについて今後調査する必要がある。

その後、カプサイシノイド含量は増加し、T-1を除く他の3系統では開花後40日目に最大となった。この結果は、*C. annuum* についてのこれまでの報告^{8,10,11)}と一致した。T-1は20日目に最大値を示したが、20日目から50日目までほとんど差が無く、明らかなピークは認められなかった。この T-1の経時変化のパターンは1996年の調査結果⁹⁾と同様であったが、最大値に達したのは10日早かった。1997年は1996年と比べて開花チェック後(8月下旬以降)の気温が高く、気温の上昇がカプサイシノイドの生成を促進し¹²⁾、含量のピーク到達時期を早めたものと考えられる。

40日目以降は各系統とも総含量の低下を示したが、その変化の仕方には大きな種内系統間差があり、種間による違いは明らかでなかった。カプサイシノイド含量の減少要因として酵素反応、光酸化反応などによる分解が挙げられている¹⁰⁾。これらは温度や光などと関係し、その影響の受け方は果実の特徴(形態、果肉の厚さ、着果の仕方など)により異なると推察される。本研究では球形果実を持つ870733の減少率が著しかったが、果実形質との関係を考察することはできなかった。今後、果実形質あるいは他の形質と減少率との関係を解明することで、カプサイシノイド含量の保持期間が長い、つまり収穫適期が長い高辛味品種の育成が可能になると考えられる。

以上のようにカプサイシノイド含量には登熟ステージによる大きな変化が認められたことから、分析に用いる果実のステージにより測定値が変動することが明らかである。トウガラシは主にスパイス(乾果)用として赤反した成熟果実が収穫されるため、トウガラシ品種・系統のカプサイシン含量の評価は成熟果実を対象として行われきた。しかし、第1, 2図にみられるように赤反後も含量が減少することから、赤反後の日数の違いによる成熟果実間の含量の変動を考慮した分析用果実のサンプリング法⁵⁾を取り入れる必要がある。ただし、機能性食品成分

であるカプサイシノイドの供給源としてその最大収量を評価する場合、両種ともに開花後40日前後にカプサイシノイド含量が最大となったことから、開花後40日目頃の果実を収穫し、測定する必要がある。

一方、カプサイシノイド3成分の組成比には系統間差が認められたが、ステージによる変化は認められなかった。したがって、Iwai *et al.* (1979)¹⁰⁾の報告しているように、DCからCAPへのようなカプサイシノイド間の相互転換は起こらなかったと推察され、組成比については果実の登熟ステージによる影響を考慮する必要はないと考えられた。

文 献

- 1) 芝 哲夫: 味とにおいの化学, 日本農芸化学会編: 147, 東京大学出版会, 東京, 1976.
- 2) Suzuki, T. and Iwai, K.: *The Alkaloids*, 23: 227, Academic Press, New York, 1984.
- 3) 河田照雄: 香辛料辛味成分の機能に関する栄養生化学的研究, 日本栄養・食糧学会誌45: 303-312, 1992.
- 4) 岩井和夫・河田照雄: 香辛料辛味成分の体熱産生亢進作用とその発現機構, 岩井和夫・中谷延夫編「香辛料成分の食品機能」: 97-129, 光生館, 東京, 1989.
- 5) Minami, M., Matsushima, K. and Ujihara, A.: Quantitative analysis of capsaicinoid in chili pepper (*Capsicum* sp.) by high performance liquid chromatography-Operating condition, sampling and sample preparation-, J. Fac. Agr. Shinshu Univ. 34: 97-102, 1998.
- 6) 南 峰夫・松島憲一・氏原暉男: ネパールで収集したトウガラシについて, 育種学雑誌41 (別2): 176-177, 1991.
- 7) 松島憲一・全 雪琴・南 峰夫・唐澤傳英・氏原暉男: タイから収集したトウガラシ (*Capsicum* sp.) の諸特性と辛味成分について, 熱帯農業36 (別2): 30-31, 1992.
- 8) Suzuki, T., Fujiwake, H. and Iwai, K.: Intracellular localization of capsaicin and its analogues, capsaicinoid, in *Capsicum* fruits 1. Microscopic investigation of the structure of the placenta of *Capsicum annuum* var. *annuum* cv. Karayatsubusa, Plant and Cell Physiol. 21: 839-853, 1980.
- 9) 伊藤利信: トウガラシにおける辛味成分の育種学的研究, 信州大学農学部植物育種学研究室卒業論文, 1997.
- 10) Iwai, K., Suzuki, T. and Fujiwake, H.: Formation and accumulation of pungent principle of hot pepper fruits, capsaicin and its analogues, in *Cap-*

- sicum annuum* var. *annuum* cv. Karayatsubusa at different growth stages after flowering, Agric. Biol. Chem. 43 : 2493-2498, 1979.
- 11) 岩井和夫：食品有用特殊成分の生合成機構の解析 とその応用，日本農芸化学会誌60：219-226，1986.
- 12) 太田泰雄：トウガラシの辛味成分に関する生理学的ならびに遺伝学的研究II．辛味と環境，生研時報 11：73-77，1960.
-

Changes of Capsaicinoid Contents during Maturing Stage in Chili Pepper (*Capsicum* spp.)

Mineo MINAMI, Miwako TOYOTA, Tadasu INOUE,
Kazuhiro NEMOTO and Akio UJIHARA

Department of Bioscience and Biotechnology,
Faculty of Agriculture,
Shinshu University

Summary

To make clear the changes of capsaicinoid (CND) contents during maturing stage in chili pepper, fruits of two varieties each of *Capsicum annuum* and *C. frutescens-chinense* complex were harvested every twenty days from 20 to 100 days after flowering, and their CND contents were measured by using HPLC. Three kinds of CND (capsaicin, dihydrocapsaicin, nordihydrocapsaicin) were detected and intervarietal and interspecific differences in CND contents were found to appear already 20 days after flowering. Considerable changes of CND contents during maturing stage were observed in all varieties. Therefore, we have to take a care of the variation of maturing stage among fruits for selecting the most suitable sampling method of fruits for the analysis. Because CND contents reached maximum around 40 days after flowering in all varieties, at which time fruits should be sampled for the evaluation of maximal CND contents of varieties. Although CND composition differed among varieties, each variety didn't show any appreciable change in CND composition during its maturing stage except 20 days after flowering.

Key word : *Capsicum*, chili pepper, capsaicin, capsaicinoid, maturing stage, content