

特集 とうがらし・わさび

I とうがらし【品種・栽培】

トウガラシ栽培における果実の辛味変動とその要因

信州大学学術研究院（農学系）准教授 松島 憲一

1. はじめに

1980年代の「激辛ブーム」を経て、辛味の強い食品を食べるとい文化は既に一過性の「ブーム」から「定着」している段階を迎えており、様々な唐辛子を使用した辛味の強い加工品、調味料などが年間を通して流通販売されるようになってい。一方で食の安心、安全を求める消費者の要望もあって、その多くを輸入品に頼る唐辛子についても国内産を求める声が多く、今後の国内産唐辛子の需要は大きいと考えられる。しかし、加工原料としての唐辛子に対して食品メーカーが求めるのは安定した高い品質であり、栽培環境によって辛味の強弱、すなわち辛味成分含量が増減するトウガラシ栽培においては、その安定化が大きな課題となっている。さらに、野菜用の‘ししとう’などの甘味トウガラシ品種においても、辛味を有する果実が混入することが問題となっている。

本報では、トウガラシ果実の辛味の変動について、これまでに明らかになっている要因を総括して報告する。

2. 辛味に与える土壌成分の影響

トウガラシの辛味強度と環境要因についての関係は、気温や施肥成分などの影響ではないかと生産者の間では経験的に言われてきたが、これまでに、施肥量、施肥成分と辛味成分含量の関係についての研究報告もいくつかある。

小菅および稲垣（1961）は‘ヤツブサ’を用いた施肥試験により、窒素施肥量の増加に伴い辛味成分であるカプサイシノイド（カプサイシンとその同属体の総称）含量が増加するが、リン酸施肥量によっては、むしろ減少するとしている。しかし、嵯峨（1972）の‘鷹の爪’を用いた培養液による砂耕栽培の結果によると、窒素、リン、カリ

ウムの三要素中でカプサイシン含量に最も影響するのはリンであるが、施用リン濃度がトウガラシの生育に適正な濃度以上に増してもカプサイシン含量が増加するというのではなく、リン欠乏条件下ではリン施用によるカプサイシン増加に対しての効果が大きいとしている。

一方で、筆者らによる施肥成分と辛味成分含量との関係を調べた試験結果においても、その傾向が明らかになっている。長野県内4ヶ所の圃場から採取した土壌を詰めたポットで‘鷹の爪’および‘三鷹’を栽培し、収穫した果実のカプサイシノイド含量と採取した土壌中に残存していた肥料成分含量の関係を調査したところ（川口ら2008）、土壌中に含まれる窒素およびカリウムについては、それぞれカプサイシノイド含量との間には関係はみいだされなかったが、可給態リン酸量とカプサイシノイド含量の間には有意な負の相関がみられ、土壌中の可給態リン酸量が増加すると果実の辛味が弱くなる傾向がみられた。なお、4地点からの採取土壌のうち2地点の土壌では、一般に推奨されるピーマン、トウガラシ栽培時のリン酸適正濃度を越えていた。

さらに詳細な関係を明らかにするために、施肥量を三要素ごとに変化させてカプサイシノイド含量との関係を調査したところ（北村ら2010）、カリウム施肥量と辛味成分含量との間には一定の関係は見られなかったが、窒素とリン酸で関係性がみられた。まず、窒素成分量との関係についてみると、窒素肥料の施肥量が多くなると、統計的に有意ではないが辛味成分含量もわずかに増加していく傾向がみられた。次に、リン酸の施肥量と辛味の関係についてみると、全くリン酸を施用しなかった場合や、リン酸を過剰に施用した場合は辛味が弱くなり、適量のリン酸を施肥した場合で、

最も辛味成分含量が高くなるという傾向にあった。

以上の結果から、トウガラシ果実中のカプサイシノイドはリン酸の施用量に影響を受け、欠乏していても過剰であってもその含量は低くなることと考えられたことから、安定したトウガラシ生産を行うためには、土壌診断とリン酸の施肥量の調節を行う必要があると考えられた。

3. ‘ししとう’の辛味果実発生について

通常は辛味を持たない‘ししとう’果実の中に辛味果実が混入していることがしばしばあるが、その発生要因については、栽培時の土壌の乾燥(橘1994)、高温・乾燥条件(吉田ら2003)が挙げられ、また、このような条件下で発生しやすくなる単為結果(吉田ら2003)がその原因とされている。さらに、28℃恒温条件下で栽培された‘ししとう’は辛味が強くなり、その種子数が少ないと報告されており(村上ら2008)、種子数と辛味強度には何らかの関係があると考えられる。そこで、筆者らが、全375個の‘ししとう’果実(市販品)の辛味の有無とその種子数を調べてみたところ、辛味が感じられなかったのは全体の86.6%にあたる321果で、1果実あたりの種子数の平均値は105.0個、最大で233個、最小で10個という結果になった。これに対して辛味が感じられた果実は全体の14.4%にあたり54果で、1果実あたりの種子数の平均値は29.5個、最大で78個、最小で3個という結果になった。このことから、種子の少ない果実の全てが辛くなる訳ではないが、辛い果実は概ね

種子数が少ないことが明らかになった。

さらに、筆者らは、人為的に単為結果を誘発させ、種子のない果実を作りだし、その果実の辛味の有無を調査した(桂川ら2010a、表1)。「ししとう」の開花前に雌ずいを切除しておき、子房に植物ホルモンである2, 4-Dを塗布することにより単為結果果実を誘発させ全く種子のない果実を得た上で、その辛味を調査した。これらの無種子果実はすべて辛味を有していたのに対し、比較として同時期に通常の受粉により獲得した正常な有種子果実は全く辛くなかった。同様にIskikawaら(2004)も人為的な単為結果により‘ししとう’の辛味果実を得たと報告している

辛味成分カプサイシノイドと種皮中に存在するリグニンはその合成経路の上流にある物質が同じフェニルアラニンであり、また、カプサイシノイドが分解することによりリグニン様物質なることも知られていることから、この二物質は競合すると考えられる。「ししとう」が単為結果により種子が形成されなくなった場合に、通常、種皮中に存在するはずのリグニンが合成されず、競合するカプサイシノイドが多く合成されるために辛くなるのではないかと推察されている。

なお、ピーマンやパプリカに分類される甘味トウガラシ品種は遺伝的にカプサイシノイドを産生する能力が完全に損なわれているが、「ししとう」、「伏見甘長」または「万願寺」などの甘味品種については、遺伝的にカプサイシノイドの生産する能力は保持している。このため、単為結果で辛味果実が現れるのは「ししとう」、「伏見甘長」もしくは「万願寺」などの品種であり、ピーマンやパプリカでは単為結果であっても辛味果実は発生しない。なお、筆者らの調査によると辛味品種の「鷹の爪とうがらし」の場合では、単為結果により、通常の果実よりもカプサイシノイド含量が多くなる、すなわち辛味が強くなることがわかっている(桂川ら2010a、表1)。

4. トウガラシ果実で辛味のメタキセニアは発生するか

トウガラシまたはピーマンや「ししとう」の生産者と話をしていると、良く問われるのが、「ししとう」

表1 単為結果果実および受精果実の辛味

品種・系統	結果方法	調査果実数	辛味
S3212	単為結果	11	辛くない
	受精果実	22	辛くない
ししとう	単為結果	31	辛い
	受精果実	16	辛くない
鷹の爪とうがらし	単為結果	24	辛い(強い辛味)
	受精果実	11	辛い

出展：桂川ら2010a

やピーマン、パプリカの花に‘鷹の爪’などの辛いトウガラシ品種の花粉が受粉することによって、その果実は辛くなるのか?という質問である。

通常、受粉後に花粉親の形質が現れるのは、次世代の種子から成長した植物体であるが、場合によっては受粉受精後の種子にその形質が現れることもある。例えばモチ性のイネを母本としてウルチ性のイネの花粉を交配してできる種子はウルチ性になる。このようなモチ・ウルチなどの種子中の胚乳の形質に交配当代の花粉親の影響がみられることを「キセニア」とよぶ。一方でナツメヤシでは果実の大きさや熟期が花粉親の影響を受けることが知られており、このような花粉親の影響が胚乳以外の果実などに及ぶ現象は「メタキセニア」と呼ばれており、リンゴ、ナス、カキ、ワタなどでも同様の現象がみられる(藪野ら1987)。

それでは、トウガラシのカプサイシン含量でメタキセニア現象が起こりうるのであろうか。太田(1962)は甘味品種である‘大獅子’と‘伏見甘長’に辛味品種の‘鷹の爪’の花粉を受粉させて、その交配当代果実の辛味成分含量を調べたところ、辛味成分含量には変化はなかった、すなわち、メタキセニア現象は起こらなかったとしている。また、筆者らのこれまでの研究(Minamiら1998、表2)においても、甘味品種‘ししとう’と‘伏見甘長’と辛味品種‘日光’をはじめとした辛味品種・系統とを正逆で受粉したところ、いずれの組合せでも辛味に花粉親の影響はみられず、メタキ

セニア現象はみられなかった。

これらの試験で供試した‘大獅子’、‘伏見甘長’および‘ししとう’は甘味品種ではあるが遺伝的にカプサイシノイド合成能力を持った品種であるので、これら品種を用いて辛味果実が着果した場合はメタキセニア現象ではなく、前述の様な開花期のストレスによる単為結果による影響と考えるべきであろう。しかし、ピーマンやパプリカなどのカプサイシノイド合成能力を全く持たない品種であっても辛味品種の花粉が受粉することにより果実に影響が出ると信じられている場合がある。推察するに、これは使用した種子がすでに辛味品種との自然交雑により雑種となっていた、もしくは、辛味品種を台木に使っており、台木から伸びた側枝に着果した果実を収穫してしまった、といったことが原因ではないかと考えられる。

5. 辛味の安定化に向けた遺伝的な改変

以上のように、トウガラシの辛味は土壤中の成分によって、また、開花期の環境ストレスによって変動することが明らかになっており、生産者は、施肥や温度管理、灌水などで栽培環境をコントロールすることでトウガラシの辛味の変動を軽減することできると考えられる。しかし、本報で紹介した要因以外の他の条件も関与していると考えられ、さらに、それらの相互作用も考えられることから、今後のより詳細な研究が待たれる。

一方で、品種開発時においても、辛みの遺伝的

表2 自殖および交配当代の果実のカプサイシノイド含量 (μg/g 乾物重)

自殖	交配 (♀×♂)			
	甘×甘	甘×辛	辛×甘	辛×辛
ししとう 0	ししとう×伏見甘長 0	ししとう×No.871292 0		
伏見甘長 0		伏見甘長×日光 37		
日光 2649			日光×伏見甘長 3520	
札幌 3016				札幌×No.871292 2212
No.871292 4129			No.871292×ししとう 4407	No.871292×札幌 3885

出展: Minamiら 1998

な制御に着目した研究は進められている。京野菜の一つ‘万願寺とうがらし’は‘ししとう’同様に甘味品種ではあるが辛味成分を合成する能力があり、前述の様な辛味果実の発生が問題とされていた。このため、京都府農業資源研究センター（現、京都府農林水産技術センター生物資源研究センター）では、‘万願寺とうがらし’のうち、舞鶴在来系統の中から辛味果実の発生率が低い系統を選抜していき、蒔培養により固定した新品種‘京都万願寺1号’を開発した。さらに、この‘京都万願寺1号’とピーマン品種を交配し、辛味成分合成の有無を支配するC遺伝子座に連鎖したDNAマーカー（Minamiyamaら2005）によるマーカー選抜と‘京都万願寺1号’の戻し交配により、遺伝的にカプサイシノイドの合成能力を全くない新品種‘京都万願寺2号’を開発した（南山ら2012）。

また、筆者らは、ピーマン、パプリカ類が持つ、辛味を完全に制御するC遺伝子とは異なり、カプサイシノイド含量を極低量に抑制することができ、さらには単為結果でも辛味を発生させない単一の遺伝子（*cf*遺伝子）を発見しており（Saritnumら2008、桂川ら2010a、表1）、それに連鎖するDNAマーカーの開発を実施しているところである（桂川ら2010b）。この*cf*遺伝子の野菜用トウガラシ品種育種への利用が可能になれば、極弱い辛さを「風味」として持ち、かつ、突発的な辛味果実の発生が起こらない野菜用トウガラシ品種の育成が期待できる。

参考文献

- 1) 小菅貞良・稲垣幸男. 蕃椒辛味成分に関する研究（第10報）施肥と辛味成分含量. 1961. 農産加工技術研究会誌. 8(6) : 297-302.
- 2) 嵯峨紘一. 1972. トウガラシ果実の辛味成分に関する研究. 無機養分、とくにリンが辛味成分含量におよぼす影響. 弘前大学農報. 18 : 96-105.
- 3) 川口奏子・松島憲一・室賀豊・中谷まゆみ・南峰夫・根本和洋. 2008. 土壌成分の違いがトウガラシの生育・収量・辛味成分含量に与える影響. 園芸学会東海支部大会・第39回長野県園芸研究会合同大会研究発表要旨 : 27
- 4) 北村和也・松島憲一・川口奏子・南峰夫・根本和洋. 2010. 窒素およびリンの施用量がトウガラシ辛味成分含量に与える影響. 園学研. 9(別2) : 488.
- 5) 橘昌司. 1994. III-3 ピーマン. 日本の園芸（園芸学会監修・朝倉書店）東京. 76-79.
- 6) 吉田裕一・大井美知男・矢澤進. 2003. 主要野菜の特性一覧. 214-233. 図説野菜新書（矢澤進編著、朝倉書店）東京.
- 7) 村上賢治・井戸睦己・梶田正治. 2006. 蛍光灯連続光下における暗期挿入および暗期の温度がシシトウ果実の辛味発現に及ぼす影響. 植物環境工学. 18(4) : 284-289
- 8) 桂川あやな・松島憲一・南峰夫・根本和洋・瀧渦康範. 2010a. 単為結果が極低辛味系統 S3212 (*Capsicum frutescens*) の辛味に与える影響. 園学研. 10(別1) : 352.
- 9) Ishikawa, K., S. Sasaki, H. Matsufuji, O. Nunomura. 2004. High β -carotene and Capsaicinoid Contents in Seedless Fruits of 'Shishitoh' Pepper. HortScience. 39(1) : 153-155
- 10) 藪野友三郎・木下俊郎・村松幹夫・三上哲夫・福田一郎・坂本寧男. 1987. 植物遺伝学.（朝倉書店）東京.
- 11) 太田泰雄. 1962. トウガラシの辛味に関する生理学的ならびに遺伝学的研究V辛味の遺伝. 遺伝学雑誌 37(2)、169-175
- 12) Minami, M., K. Matsushima, A. Ujihara. Quantitative Analysis of Capsaicinoid in Chili Pepper (*Capsicum* sp.) by High Performance Liquid Chromatography Operating Condition, Sampling and Sample Preparation. 1999. Jour. Fac. Agric. Shinshu Univ. 34(2). 97-102.
- 13) Minamiyama, Y., S. Kinoshita, K. Inaba, M. Inoue. 2005. Development of a cleaved amplified polymorphic sequence (CAPS) marker linked to pungency in pepper. Plant Breeding. 124 : 288-291
- 14) 南山泰宏・古谷規行・稲葉幸司・浅井信一・中澤尚. 2012. 辛味果実の発生しない甘トウガラシ新品種‘京都万願寺2号’の育成. 園学研. 11(3) : 411-416
- 15) Saritnum, O., M. Minami, K. Matsushima, Y. Minamiyama, M. Hirai, T. Baba, H. Bansho. 2008. Inheritance of Few-pungent Trait in Chili Pepper 'S3212' (*Capsicum frutescens*). J. Japan. Soc. Hort. Sci. 77 : 265-269
- 16) 桂川あやな・松島憲一・Orapin Saritnum・平井正志・南山泰宏・三村裕・南峰夫・根本和洋・千菊夫・中島美幸. 2010b. キダチトウガラシ (*Capsicum frutescens*) 系統 S3212 が有する極低辛味性に連鎖したマーカーの開発. 園学研. 9(別2) : 161