

解 説**食用ウチワサボテンの生産と産業利用****堀部貴紀**

中部大学応用生物学部

要 旨

サボテンは紀元前からラテンアメリカ地域で様々な用途に利用されてきた。現在でもウチワサボテンの果実や茎は野菜や家畜飼料、加工品として世界の広い地域で消費され、化粧品や医薬品の原料にも使われている。さらに近年では食用サボテンの著しい環境ストレス耐性(耐高温・耐乾燥)が注目され、乾燥地での作物生産や砂漠化・土壌侵食の防止にも活用されている。

砂漠化や人口増加に対する対策が喫緊の課題である現在において、環境ストレス耐性と高い生産性を併せ持つ食用サボテンは、健康的な食品や家畜飼料として、また特殊機能のメカニズムを解明するモデル植物としても期待される農業シーズである。このように食用ウチワサボテンは機能性野菜や加工品原料として高いポテンシャルを有するが、我が国ではその活用法はほとんど認知されていない。本稿では世界の食用サボテン産業に関する基本的な事柄について解説する。

1. はじめに

サボテン科は約 30 属 1450 以上の種を含み、さらにコノハサボテン亜科、マイフェニア亜科、ウチワサボテン亜科、カクタス亜科の 4 つの亜科に分けられる(Hernández-Hernández et al., 2011)。ウチワサボテン亜科は約 20 属 300 種を含み、このうちの数種が食用に利用される。ウチワサボテンの利用の歴史は古く、少なくとも 8,000 年前には栽培が行われていたと考えられている(FAO, 2017)。食用サボテンは、ウチワサボテンの若い葉状茎を可食部とし、野菜や加工品原料、家畜飼料として主に中南米や北アフリカなどの地域で利用されている。さらに食用サボテンは高い生産性・健康機能性・環境ストレス耐性を併せ持っており、健康的な食品や家畜飼料として、また乾燥・高温・強光などストレス耐性のメカニズムを解明するモデル植物としても活用が期待される作物である。本稿では食用サボテンの産業利用や生産に関して解説する。

2. 食用サボテンの生理的・形態的特徴**1) 多肉化した茎**

サボテンの多くは分厚く肥大した茎(多肉茎)を持っているが、これは肥大した茎の中に貯水組織が発達し、体

の中に多量の水分を貯められるようになっているためである(Mauseth, 2006)。またウチワサボテンの茎は節で区切られた形をしているため一般に茎節と呼ばれる。ウチワサボテンの貯水細胞は多糖類から構成される粘液を含んでおり、これが食用サボテンのねばねばとした食感の原因となる。多糖類は水を引き付ける性質を持ち、貯水細胞内の粘液は水の保持に機能していると考えられている(Mauseth, 2006)。茎節の 88~95%程度は水分で構成されるが(FAO, 2017)、収穫後は切り口から水分が蒸発するため、長期間放置すると萎凋し食味も変化する。後述のように茎節のトゲはナイフなどで処理した後販売されることが多いが、トゲを除去すると切り口が増え乾燥や病原菌に感染するリスクが増えるため管理には注意が必要である。また茎節が発達すると繊維質など貯水細胞以外の割合が増えるため植物体全体に対する水分の比率は小さくなる。発生後間もない茎節は薄く柔らかいため生食用に利用されることが多い。

2) トゲ

サボテンのトゲは葉が変化したものと考えられており、刺座(areole)と呼ばれるサボテン特有の器官から発生する(Ju et al., 2012)。トゲには動物からの食害を防ぐ以外にもさまざまな機能が報告されている(Ju et al., 2012; Loik,

2008). 1 つは温度調節である. 長く鋭いトゲや全身を覆う綿毛のようなトゲは, 強力な紫外線や温度変化から植物体を保護する役割がある. 繁殖範囲の拡大にトゲを利用するサボテンも存在する. アリゾナ州のソノラ砂漠などに自生するチョヤ(cholla cactus)と呼ばれるサボテンは非常に鋭いトゲを持ち, 一度刺さると容易には抜けない. 自身に触れた動物に付着して移動し, 落ちたところで根を張って生活を再開する. さらに最近では, トゲは水の吸収に役立つことも明らかとなっている. 砂漠など降水量の少ない乾燥地は昼と夜の寒暖差が激しい地域が多く, 霧や朝露が発生することがある. それらをトゲが吸着し, トゲの基部から水が植物体内に取り込まれる.

上記のようにトゲには様々な役割があるが, トゲの存在は食用サボテンの商品価値を下げる形質として扱われている. 食用に利用されるウチワサボテンは育種の過程でトゲが少ないものが選抜されているが, 完全にトゲのない品種の作出には至っていない. 収穫された茎節のトゲはナイフやバーナーで除去されてから販売されることが多い.

3) CAM 型光合成

ウチワサボテン(食用サボテン)は環境条件や生育段階に応じて C_3 型光合成と CAM 型光合成の変換を行い, 乾燥・高温・強光下でも高い光合成能を発揮するため過酷な環境ストレス下でも生育できる(Winter et al., 2011). 食用サボテンの食味は酸味があるのが特徴だが, これは収穫期の茎節が CAM 型光合成を行っており, 茎節内にリンゴ酸が蓄積しているためである. 「酸味」に関して食用としての評価基準は特にはないが, 収穫した茎節を暗所で保存するとリンゴ酸が消費され酸味は低下するため, 茎節の酸味を調節することは可能である.

3. 食用サボテンの生産

1) 食用サボテンの栽培種

Opuntia ficus-indica と *Nopalea cochenillifera* が食用に利用されることが多い. *Opuntia ficus-indica* は品種改良も進んでおり, 「Milpa Alta」「Atlixco」「COPENA V1」などの多くの栽培品種が存在する(FAO, 2017). 栽培品種は生育速度が早くトゲが少ないなど, 生食や加工に都合の良い性質をもつものが多い. しかし栽培品種間でも茎節

の色や柔らかさ, トゲの数と長さ, 耐寒性, 耐病性, 生育速度, 茎節の大きさなど, 様々な側面で性質が異なっている. その他に食用や家畜飼料に利用されるものとして, *O. robusta*, *O. streptacantha*, *O. leucotricha*, *O. hyptiacantha*, *O. chavena*, *O. megacantha*, *O. phaecantha*, *O. atropes* などがある(Mizrahi et al., 1997).

2) 生産国

食用サボテンは茎節や果実などを目的に 30 カ国以上で商業栽培されており, 世界全体の栽培面積は 10 万 ha を越える(Inglese et al., 2002; Nobel and Bobich, 2002). 生産国はメキシコ, 地中海地域(エジプト, イタリア, ギリシャ, トルコ), アメリカ(カリフォルニア州), 南アメリカ(アルゼンチン, ブラジル, チリ, コロンビア, ペルー), 中東(イスラエル, ヨルダン), 北アフリカ(アルジェリア, モロッコ, チュニジア), 南アフリカ, アジア(韓国, 日本)などを含む. 生産量が最も多い国はメキシコであり, 栽培面積は 1 万 ha, 年間生産量は 60 万 t 以上に達する. メキシコでは食用サボテンが 300 万 ha 以上の面積に渡って自生しており, これら野生のサボテンからも果実や茎節が収穫されている. 従って実際の生産量はさらに多いと考えられる.

3) 一般的な栽培方法(茎節の露地栽培)

野菜用・家畜飼料用の茎節は一般に栄養繁殖により生産される. 食用サボテンは根を張った親茎節から新しい茎節(娘茎節)を発生して積み上げるように成長する. 発生した娘茎節を親茎節から切り取り, それらを 1 週間程度暗所で乾燥させたものを定植苗として使用する. 定植苗のサイズはその後の娘茎節の発生と成長に強く影響するため, 定植苗には茎節の表面積が 500 cm^2 以上または乾燥重が 70~100 g 以上の茎節を用いることが望ましい. 採取した茎節を乾燥させる際は, 茎節を立てて置いておくと茎節が曲がるのを防ぐことができる. またこの時に茎節を殺菌剤等で処理しておくこと定植前の病害防除に有効である. 定植する際は茎節の 1/3 程度まで植える. 深く植えると土壤中の病原菌が感染しやすくなるが, 一方浅く植え過ぎると茎節が倒伏してしまう. 定植密度に関しては, メキシコの露地栽培では 1 万~4 万本/ha が一般的である. 多くのウチワサボテンの生育適温は 15~30 $^{\circ}\text{C}$ 程度であり(Nobel and Bobich, 2002),

定植後の生育が良好になるよう春先～初夏に定植することが多い。注意すべきは冬季の低温で、 $-10\sim-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下の低温に遭遇すると枯死することもある(Nobel and Bobich, 2002)。冬季の最低気温が低い地域では、低温障害を避けるため温室内での栽培が適当である。また食用サボテンは一般に耐湿性に優れるが、根腐れを減らすためには排水性の高い土壌が望ましい。

収穫は親茎節(基部)から3段目以降の娘茎節を収穫することが多い。4段目以降だと植物体の高さが人の背丈を越えることもあり作業性が落ちる。娘茎節は成長すると繊維質が増え食味が悪くなるため、若い茎節(一般的には発生後1カ月以内)を生食用に利用する。一方、粉末にして加工用を使う場合は木質化の進んだ古い茎節も使用できる。食用(野菜)に使用する場合は、*Opuntia ficus-indica* は長さ15～20 cm程度で新鮮重90～100 g程度、*Nopalea cochenillifera* は長さ11～13 cm程度で新鮮重40 g程度に達すると収穫される(Stintzing and Carle, 2005)。食用サボテンの生産性は高く、*Opuntia ficus-indica* の平均的な収量は30～80 t/haに、収量の多い圃場では200 t/ha以上に達する(Mizrahi et al., 1997; Stintzing and Carle, 2005)

4. 伝統的な利用法と加工品

食用サボテンには血糖値の上昇抑制、脂肪の吸収抑制、便通の改善、抗酸化作用など多くの機能性が報告されており、健康的な野菜として様々な用途に利用されている(Shetty et al., 2014)。本章では食用サボテンの伝統的な利用法と加工品について紹介する。

1) 野菜

O. ficus-indica, *O. streptacantha*, *O. amyclaea*, *O. robusta*, *Nopalea cochenillifera* などの若い茎節が野菜として消費される(Mizrahi et al., 1997)。食感の特徴は粘液による独特のぬめりと、リンゴ酸の蓄積による酸味である。食感はオクラやメカブに近いと思われる。トゲを処理した茎節はそのまま刻んでサラダとしたり、焼いて肉料理の付け合わせに利用されることが多い。食用サボテンにはぬめりがあるため、鶏肉や赤身肉などパサついて飲み込みにくい肉との相性が良いようである。



写真1 収穫後トゲを処理された茎節

2) 茎節を使用した加工品

食用サボテンの加工品には水煮やピクルスなどがあるが、サボテンを乾燥粉末にして他の食材に混ぜた商品が多い。これらにはクッキー、トルティーヤ、飴などの菓子、飲料などが含まれる。サボテンの茎節や乾燥粉末はサプリメントや、シャンプー、石鹸、日焼け止めなどの化粧品の原料にも使用される。またサボテンから抽出された食物繊維が接着剤や増粘剤として利用されることもある(Sáenz, 2002; Stintzing and Carle, 2005)。



写真2 食用サボテンの加工品(サプリメント)

3) 家畜飼料

食用サボテンは乾燥に強く、また茎節内に水分を多く含むため、乾燥地や干ばつ時の家畜飼料(ウシ、ヒツジ、ヤギなど)としてブラジル、チリ、アメリカ(カリフォルニア州、アリゾナ州)、モロッコ、メキシコ、南アフリカ、チュニジアなどで利用されている(Stintzing and Carle, 2005)。食用サボテンのタンパク質量やカロリーはトウモロコシなどの飼料に比べると低いため、他の飼料と合わせて利用するのが一般的である。食用サボテンを家畜飼料に利用することにより、食肉生産量や牛乳の品質が改善するとの報告もある(Russell and Felker, 1987; Tegegne, 2002)。家

畜飼料用のウチワサボテンを圃場で栽培することもあるが、メキシコなどでは野生に生えているウチワサボテンを収穫して家畜飼料に利用すること多い。



写真 3 家畜飼料としても利用

4) 果実

ウチワサボテンの果実はトゥナ、カクタスペアなどと呼ばれ、少なくとも 18 カ国で生産されている(Inglese et al., 2002). 最も生産量の多い国はメキシコだが、イタリア、チリ、アルゼンチン、南アフリカ、イスラエルなどでも大規模な商業生産が行われている。生産された果実は生食用、ジュース、菓子類などに利用される(Stintzing et al., 2001; Stintzing et al., 2003).



写真 4 ウチワサボテンの果実(トゥナ)

5) 染料生産

ウチワサボテンの食用以外の利用法として代表的なものが染料の生産である。染料は実際にはウチワサボテンに寄生するコチニール(*Dactylopius* spp.)という昆虫の体液から精製される。コチニールはウチワサボテンの茎節上に白い繭を作り、その中で茎節を吸汁して生活する。この昆虫は体液にカルミン酸を含んでおり、これが深い赤色を呈色する。カルミン酸はコチニールがアリなどの捕食者から身を守るための防御物質として機能すると考

えられている(Eisner et al., 1980). 19 世紀に石炭を原料とする安価なアニリン染料が開発されるまでコチニールから作られた染料は赤色色素の中心であった。生産量は減少したが、現在でもペルー、メキシコ、カナリア諸島などで生産は続けられており、日本を含めた世界各国で食品や化粧品などの加工品に利用されている(Stintzing and Carle, 2005).



写真 5 コチニールの繁殖に利用(染料生産)

5. 日本のサボテン産業と「サボテンのまち」

サボテンは遅くとも 1690 年頃には日本に渡来していたと考えられている。長期間に渡りサボテンは貴重品であり一部の趣味家が保持するのみであったが、1900 年頃にはサボテンの生産と販売を行う園芸店が出現した。その後全国で生産農家や通信販売業者が現れ、1930 年頃にはサボテンは大流行する。1950-60 年頃にはドイツやオランダ、アメリカなどに輸出も行われていた。現在でもサボテンは多肉植物とともに観賞植物としての地位を確固たるものになっている。国内各県のサボテン出荷量の統計調査は現在行われていないが、2006 年の時点では愛知県が 1 位であり、岐阜県、埼玉県が続く(農林水産省「花き生産出荷統計」, 2006)。

日本ではサボテンはあくまで観賞植物であり、野菜や食品として認識されていないが、食用サボテンを使った地域活性化を目指している地域がある。それが「サボテンのまち」と呼ばれる愛知県春日井市である。春日井市は種から観賞用のサボテンを育てる実生栽培で知られており、過去には出荷量全国 1 位の実績も持つサボテン産地である(山野, 2012)。しかし現在は農家の高齢化と

後継者不足が深刻な問題となっており、存続が危ぶまれる状態に陥っている。このような状況を打破するため、市ではサボテンを利用した地域活性化を目指す取り組み「春日井サボテンプロジェクト」が行われている。具体的な取り組みとしては、食用サボテンを使った商品開発、料理教室の開催、マスコットの開発など多様な活動が実施されている。

日本で食用サボテンは新しい機能性野菜として大きなポテンシャルを有しており、様々な展開が期待できる農業シーズである。今後、我が国でも健康的な野菜や加工品原料として食用サボテンの需要が増加することも十分に考えられる。またサボテンはワシントン条約により輸出入の規制を受けることもあり、国内有数の産地である春日井市は日本の観賞用・食用サボテン産業にとって最重なる拠点でもある。著者はサボテンの研究を行う傍ら、春日井市のサボテンプロジェクトにも専門家として参加している。今後の「サボテンのまち」の取り組みに注目して頂きたい。

6. 食用サボテンの生産性向上を目指した研究

前述のように国内でも春日井市を中心に食用ウチワサボテンの普及を目指した取り組みが行われており、今後は国内でも食用サボテンの業務・加工用途への利用の需要の増加や安定生産の要望が高まると予想される。現在、春日井市内では食用サボテンは主にポット栽培か土耕によって生産されているが、肥料管理に多大な労力を要することや低い収益性が深刻な問題となっている。従って、より簡易的で収益性の高い栽培法の確立が求められている。

そこで著者の研究室では食用サボテンの生産性・機能性の向上を目的として食用サボテンの水耕栽培や植物工場での生産システムの開発を目指している。土を使用しない水耕栽培では栽培の労力軽減や綿密な肥料管理が可能となる(Lakkireddy et al., 2012)。さらに土を使用した栽培では土壌病害や塩類集積への対応が課題となるが、水耕栽培でそのような課題も解消することができる。これまでウチワサボテンは水耕栽培の研究対象として注目されておらず、食用サボテンの水耕栽培や人工光型植物工場での生産に関する知見は乏しい。しかしこれま

での著者らの研究により、食用サボテンの湛液型水耕栽培では土壌を使った栽培に比べ生育が促進されること(Horibe, 2017)、トゲの発生が抑えられること(Horibe and Yamada, 2016)、照射する光の波長が娘茎節の発生や成長に影響すること(Horibe et al., 2017)などが明らかとなっている。

7. おわりに

上記のようにウチワサボテンは野菜や家畜飼料、加工品、化粧品等の原料として世界の広い地域で利用され、多様な産業として成立している。また環境ストレス耐性と高い生産性を併せ持ち、特殊機能のメカニズムを解明するモデル植物としての役割も期待される。本稿が読者の方々がサボテンに興味を持つきっかけになれば幸いである。

引用文献

- 1) Eisner, T., Nowicki, S., Goetz, M., Meinwald, J. 1980. Red cochineal dye (carminic Acid): its role in nature. *Science* 208, 1039-42.
- 2) Food and Agriculture Organization of the United Nations and the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas. 2017. Crop ecology cultivation and uses of cactus pear.
- 3) Hernández-Hernández, T., Hernández, H.M., De-Nova, J.A., Puente, R., Eguiarte, L.E., Magallón, S. 2011. Phylogenetic relationships and evolution of growth form in Cactaceae (Caryophyllales, Eudicotyledoneae). *Am. J. Bot.* 98, 44-61.
- 4) Horibe, T. 2017. A Cost-Effective, Simple, and Productive Method of Hydroponic Culture of Edible *Opuntia* “Maya”. *Environmental Control in Biology*, 55, 171-174.
- 5) Horibe, T., Iwagaya, Y., Kondo, H., Yamada, K. 2016. Hydroponics Culture of Edible *Opuntia* ‘Maya’: Effect

- of Constant Red and Blue Lights on Daughter Cladodes Growth and Spine Development. *Environmental Control in Biology*, 54, 165-169.
- 6) Horibe, T., Yamada, K. 2016. Hydroponics culture of edible *Opuntia* 'Maya': drought stress affects the development of spines on daughter cladodes. *Environmental Control in Biology*, 54, 153-156.
- 7) Inglese, P., Basile, F., Schirra, M. 2002. Cactus per fruit production. in: Nobel, P. S. (Ed.), *Cacti. Biology and Uses*, University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London, pp.163-183.
- 8) Loik, M.E. 2008. The effect of cactus spines on light interception and Photosystem II for three sympatric species of *Opuntia* from the Mojave Desert. *Physiol. Plant.* 134, 87-98.
- 9) Ju, J., Bai, H., Zheng, Y., Zhao, T., Fang, R., Jiang, L. 2012. A multi-structural and multi-functional integrated fog collection system in cactus. *Nat. Commun.* 3, 1247.
- 10) Lakkireddy, K. K. R., Kasturi K., Sambasiva, R. K. R. S. 2012. Role of hydroponics and aeroponics in soilless culture in commercial food production. *JAST*. 1:26-35.
- 11) Mauseth, J.D. 2006. Structure-function relationships in highly modified shoots of cactaceae. *Ann. Bot.* 98, 901-26.
- 12) Mizrahi, Y., Nerd, A., Nobel, P. S. 1997. Cacti as crops. *Hort. Rev.* 18, 291-320.
- 13) Nobel, P. S., Bobich, E. G. 2002. Environmental Biology. in: Nobel, P. S. (Ed.), *Cacti. Biology and Uses*, University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London, pp. 57-74.
- 14) Russell, C. E., Felker, P. 1987. The prickly pears (*Opuntia* spp., Cactaceae), a source of human and animal food in semiarid regions. *Econ. Bot.* 41, 433-445.
- 15) Sáenz, C. 2002. Cactus pear fruit and cladodes: a source of functional components for foods. *Acta Hort.* 581, 253-263.
- 16) Shetty, A.A., Rana, M.K., Preetham, S.P., 2012. Cactus: a medicinal food. *J. Food Sci. Technol.* 49, 530-536.
- 17) Stintzing, F.C., Carle, R. 2005. Cactus stems (*Opuntia* spp.): a review on their chemistry, technology, and uses. *Mol. Nutr. Food Res.* 49, 175-94.
- 18) Stintzing, F. C., Schieber, A., Carle, R. 2001. Phytochemical and nutritional significance of cactus pear. *Eur. Food Res. Technol.* 212, 396-407.
- 19) Stintzing, F. C., Schieber, A., Carle, R. 2003. Evaluation of colour properties and chemical quality parameters of cactus juices. *Eur. Food Res. Technol.* 216, 303-311.
- 20) Tegegne, F. 2002 Fodder potential of *Opuntia ficus-indica*. *Acta Hort.* 581, 343-346.
- 21) Winter, K., Garcia, M., Holtum, J.A. 2011. Drought-stress-induced up-regulation of CAM in seedlings of a tropical cactus, *Opuntia elatior*, operating predominantly in the C3 mode. *J. Exp. Bot.* 62, 4037-4042.
- 22) 農林水産統計 (2012) 農林水産省大臣官房統計部 平成 18 年産花きの作付 (収穫) 面積及び出荷量
- 23) 山野明男. 2012. 名古屋大都市圏の農業. 株式会社あるむ.

Title : Industrial Use of Edible *Opuntia*.

Author : Takanori Horibe

Address : Graduate School of Bioscience and
Biotechnology, Chubu University, 1200 Matsumoto
-cho, Kasugai, Aichi 487-8501, Japan

Keywords : Edible Cacti, *Opuntia*, hydroponics
culture, invention, LED, light environment, plant
factory, spines