

## 解説

## 食用ウチワサボテンの栄養特性と生理作用

堀部貴紀<sup>1,2)</sup><sup>1)</sup>中部大学応用生物学部, <sup>2)</sup>中部大学生物機能開発研究所

## 要 旨

ウチワサボテン(サボテン科オープンチア属およびノパレア属)の茎節と果実は、生食用や加工品原料として世界の広い地域で消費されている。サボテンは発達した貯水組織を含む茎節、厚いクチクラ層、環境条件に応じて変化する可変的な CAM 型光合成などの形質を発現し、乾燥や高温など過酷な環境ストレス下でも高い生産性を展開している。地球温暖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兼ね備えているサボテンは、健康的な食品や家畜飼料として、また特殊機能を解明するモデル植物として貴重である。本稿では、ウチワサボテンの栄養特性と生理作用に関する基本的な事柄について解説する。本稿が国内におけるウチワサボテン利用拡大の一助となれば幸いである。

## 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(茎節および果実生産)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 and ICARDA, 2017)。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。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) (写真 1・2)。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。しかしながら生産量に関する統計データは乏しく、各国での生産量に関する詳細は不明である(Inglese et al., 2004)。生産された茎節や果実は生食用, ジュース, 菓子類など様々な食品に利用される(Stintzing et al., 2001; Stintzing et al., 2003)。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)。

茎節および果実生産において最も広く利用されている種は *Opuntia ficus-indica* である。*Opuntia ficus-indica* は品種改良も進んでおり、「Milpa Alta」「Atlixco」「COPENA VI」などの多くの栽培品種が存在する(FAO and ICARDA, 2017)。その他にも茎節生産や果実生産に利用されるものとして、*O. amyclaea*, *O. robusta*, *O. streptacantha*, *O. leucotricha*, *O. lindhemeiri*, *O. hyptiacanth*, *O. chavena*, *O. megacantha*, *O. phaeacantha*, *O. atropes*, *Nopalea cochenillifera* などがある(Mizrahi et al., 1997; Pimienta Barrios and Muñoz-Urías, 1999)。またそれぞれの種に対して複数の栽培品種が存在する。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、果皮や果肉の色、果実重、果実成熟日数、種子数、開花特性などが異なっており、栽培環境や販売目的に合わせた選択が必要である (Liguori and Inglese, 2015)。



写真 1 ウチワサボテン茎節(メキシコ・モンテレイ)



写真 2 ウチワサボテン果実(イタリア・パレルモ)

## 2. 各部位の成分組成

本章では食用ウチワサボテン (*Opuntia ficus-indica*) の各部位における一般成分組成について述べる。しかしながら栄養組成や各成分の量は、栽培地域(気候)、栽培方法、種、品種、植物体の樹齢などの影響を受け変動するため、留意が必要である (Stintzing and Carle, 2005)。

### 2-1. 基本成分

ウチワサボテンの若く柔らかい茎節は野菜として、発

生後2~3年経過し木部や師部の細胞壁にリグニンが蓄積して部分的に固くなったものは加工食品の原料などに、そしてさらに年数が経ちリグニンの蓄積量が非常に多くなり木質化したものは燃料などに利用される (FAO, 2013)。一般に茎節の 88~95%程度は水分で構成されるが (FAO and ICARDA, 2017)、タンパク質や食物繊維含量など多くの成分量は発生後の年数により変化する (FAO, 2013)。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 程度に達すると収穫される (Stintzing and Carle, 2005)。表 1 に発生後の年数の異なるウチワサボテン茎節の栄養組成についてまとめた。茎節の栄養組成における特徴の 1 つは食物繊維とカルシウムの含量が高いことである (表 1, 3)。また栄養面の比較から、ウチワサボテンは世界で広く消費されているレタスよりも食品としての価値が高いとの報告もなされている (Stintzing and Carle, 2005)。ウチワサボテンは一定以上の栄養成分を有しており、さらに驚異的な環境ストレス耐性(高温や乾燥)により一般的な作物の栽培が困難な乾燥地域でも高い生産性を維持できる (FAO and ICARDA, 2017)。このような性質により、地球温暖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、ウチワサボテンは野菜・家畜飼料・加工品原料等としての役割が期待されている。

表 1 樹齢の異なる茎節の栄養組成

(100 g 乾燥重当たり)。(FAO, 2013 より改変)。

発生後年数	タンパク質	脂質	灰分	食物繊維
0.5	9.4 g	1 g	21 g	8 g
1	5.4 g	1.29 g	18.2 g	12 g
2	4.2 g	1.4 g	13.2 g	14.5 g
3	3.7 g	1.33 g	14.2 g	17 g
4	2.5 g	1.67 g	14.4 g	17.5 g

果実の基本的な栄養成分についてはこれまでに多数報告されている (El Kossori et al., 1998; Butera et al., 2002; Feugang et al., 2006)。主要成分は水分、糖類、食物繊維、ペクチン、粘液だが、その他にもタンパク質、ビタミン、ミネラルなどを含む (Tesoriere et al., 2005)。完熟した果実

の可溶性糖含量(Brix 値)は 12~17 に達し, イチゴ (Brix: 一般に 6~8) やリンゴ (Brix: 一般に 13~16) と比較しても遜色ない(門馬・興津, 1987; 梶川, 1997; Kuti and Galloway, 1994). 可溶性糖の大部分はグルコースとフルクトースで構成される(Kuti and Galloway, 1994). 果肉の pH は約 5~7 と比較的高いため, 収穫後に微生物が増殖しやすい事が課題となっている(FAO and ICARDA, 2017). また果皮や果肉の色は種や品種間により異なる. 果皮色には緑, 赤, 赤紫, オレンジなどがあり, 分量にも違いが見られる(FAO, 2013). 果実の基本的な栄養成分について表 2 にまとめた. 味も品種により異なるが, 著者の主観ではカキやパパイヤに似ている. 果実生産に利用される種や品種についての詳細は既報(堀部, 2019)を参照されたい.

表 2 果実(収穫期)の栄養組成

(新鮮重 100 g 当たり). (FAO, 2013 より改変).

項目	果皮色		
	緑	紫	オレンジ
水分	83.8 g	85.98 g	85.1 g
タンパク質	0.82 g	0.38 g	0.82 g
脂質	0.09 g	0.02 g	no data
灰分	0.44 g	0.32 g	0.26 g
食物繊維	0.23 g	0.05 g	no data
全糖量	14.16 g	13.25 g	14.8 g

## 2-2. ミネラルおよびビタミン

表 3 に茎節に含まれる主要なミネラルおよびビタミンについてまとめた. 主要なミネラルはリンとカルシウムであり, これにマグネシウム, ナトリウム, 鉄などが続く. カルシウムは多肉化した組織において水分の保持に機能していることが報告されている(Stintzing and Carle, 2005). 茎節には新鮮重 100g 当たり 7~22mg 程度のビタミン C が含まれており, これはホウレンソウと同程度の値である(Stintzing and Carle, 2005).

一方, 果実に最も多く含まれるミネラルはカリウムであり, カルシウム, マグネシウム, リンなどが続く. ミネラルおよびビタミンの含量も品種や成熟段階で違いがみられ, 赤色系の果肉ではベタレインの1種であるベタニンを含む(FAO, 2013). 表 4 に茎節に含まれる主要なミネラル

およびビタミンについてまとめた.

表 3 茎節(野菜として利用される時期)のミネラル・ビタミン含量

(新鮮重 100 g 当たり). (Stintzing and Carle, 2005; El-Mostafa et al., 2014 より改変).

項目	量
リン	2.35~55.2 mg
カルシウム	5.64~17.95 mg
マグネシウム	8.8 mg
ナトリウム	0.3~0.4 mg
亜鉛	0.08 mg
鉄	0.09 mg
ビタミンC	7~22 mg
ビタミンB1	0.14 mg
ビタミンB2	0.6 mg
ビタミンB3	0.46 mg
βカロテン	11.3~53.5 μg

表 4 果実のミネラル・ビタミン組成

(新鮮重 100 g 当たり). (FAO, 2013 より改変).

項目	果皮色		
	緑	紫	オレンジ
リン	32.8 mg	4.9 mg	8.5 mg
カルシウム	12.8 mg	13.2 mg	35.8 mg
マグネシウム	16.1 mg	11.5 mg	11.8 mg
ナトリウム	0.6 mg	0.5 mg	0.9 mg
カリウム	217 mg	19.6 mg	117.7 mg
鉄	0.4 mg	0.1 mg	0.2 mg
ビタミンC	20.33 mg	20 mg	24.1 mg
βカロテン	0.53 mg	no data	2.28 mg
ベタニン	no data	100 mg	no data

## 2-3. アミノ酸

表 5 に茎節と果実に含まれるタンパク質のアミノ酸組成をまとめた. 茎節において最も含量の多いアミノ酸はグルタミンであり, ロイシン, リジン, バリン, アルギニン, フェニルアラニン, イソロイシンが続く(El-Mostafa et al., 2014). 一方, 果実における主要なアミノ酸はプロリンとタウリンで, 両者で全アミノ酸の過半数を占める(El-Mostafa et al., 2014).

表 5 茎節・果実のアミノ酸組成

(タンパク質 100 g 当たり). (El-Mostafa et al., 2014 より改変).

アミノ酸の種類	茎節	果実(可食部)
アラニン	1.25 g	3.17 g
アルギニン	5.01 g	1.11 g
アスパラギン	3.13 g	1.51 g
アスパラギン酸	4.38 g	Trace
グルタミン	36.12 g	12.59 g
グルタミン酸	5.43 g	2.4 g
システイン	1.04 g	0.41 g
ヒスチジン	4.18 g	1.64 g
イソロイシン	3.97 g	1.13 g
ロイシン	2.71 g	0.75 g
リジン	5.22 g	0.63 g
メチオニン	2.92 g	2.01 g
フェニルアラニン	3.55 g	0.85 g
セリン	6.68 g	6.34 g
スレオニン	4.18 g	0.48 g
チロシン	1.46 g	0.45 g
トリプトファン	1.04 g	0.46 g
バリン	7.72 g	1.43 g
プロリン	Trace	46 g
タウリン	Trace	15.79 g

## 2-4. 有機酸

ウチワサボテンは環境条件や生育段階に応じて C<sub>3</sub> 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。CAM

表 6 茎節の有機酸含量 (新鮮重 100 g 当たり).

(Stintzing and Carle, 2005 より改変).

項目	午前6時	午後6時
シュウ酸	35 mg	36 mg
リンゴ酸	985 mg	95 mg
クエン酸	178 mg	31 mg
マロン酸	36 mg	Trace

型光合成では夜間にリンゴ酸が蓄積し、昼間に消費されるため、時間帯によって有機酸含量が異なり食味も変化する(表 6).

## 2-5. その他の部位 (種子と種子油)

ウチワサボテンの果実は肥大した果皮と果肉から構成される。果肉部には多数の種子(100~400個/果実)が含まれ、重量は果肉部の 10~15%に達する(FAO and ICARDA, 2017). 可食部は果皮と果肉だが、種子は硬く大きいためかみ砕くことは難しい。そのため種子は吐き捨てられることもあるが、果肉と一緒に飲み込んで消費されることも多い。

種子に含まれる油は種子重量の 7~15%と比較的少ない。脂肪酸の組成は、不飽和脂肪酸が全脂肪酸の約 80%を占めている(Ennouri et al., 2005). リノレン酸とオレイン酸が主要な不飽和脂肪酸で、それぞれ 61.4~68.9%, 12.4~16.5%程度含まれることが報告されている(FAO and ICARDA, 2017). ウチワサボテン種子に含まれる油の量は少ないが、その脂肪酸の組成から、ヘルスケア業界や化粧品業界での利用可能性が注目されている(Labuschagne and Hugo, 2010). 近年でも、ウチワサボテンの種子油がアンチエイジングやしわ予防の化粧品として非常に高い値段で販売されている。しかしながら種子の成分や機能性に関する研究報告は、果実や茎節に比べると未だ非常に少ないのが現状である。

## 3. 生理作用

サボテンは紀元前から中南米の先住民によって、火傷、痛みの緩和、胃疾患、皮膚疾患、肝障害、アルコール依存症などの治療を目的とした伝統医療において使用されてきた(Hitchcock et al., 1997; Shapiro and Gong, 2002ab; Stintzing and Carle, 2005; FAO and ICARDA, 2017). 本章では、ウチワサボテンの生理作用に関する近年の研究報告をいくつか紹介する。なおウチワサボテンの生理作用に関して英文のレビューは多数あるため、さらに詳しく調べたい方は参考にされたい(Stintzing and Carle, 2005; FAO, 2013; Del Socorro Santos Díaz et al., 2017; FAO and ICARDA, 2017). なお、ウチワサボテンの生理作用報告を表 7 にまとめた。

表 7 ウチワサボテンの生理作用報告まとめ。(FAO and ICARDA, 2017 より改変)。

種と使用部位	実験系と参照
抗ウイルス作用(Antiviral action)	
<i>O. streptacantha</i> , 茎節抽出物	マウス、ウマ、ヒト(Ahmad et al., 1996)
抗高脂血症作用およびコレステロール減少作用(Anti-hyperlipidemic effect and cholesterol level reduction)	
<i>O. robusta</i> , 果実	ヒト (Wolfram et al., 2002)
<i>O. ficus-indica</i> , 茎節	ラット (Galati et al., 2003b)
<i>O. ficus-indica</i> , 種子・種子油	ラット(Ennouri et al., 2006a, b, 2007)
<i>O. ficus-indica</i> , 茎節	マウス (Oh and Lim, 2006)
<i>Opuntia</i> sp., 茎節	モルモット(Fernández et al., 1994)
抗肥満因子(Anti-obesity factor)	
<i>Opuntia</i> sp., 茎節	ヒト (Frati Munari et al., 2004)
<i>O. megacantha</i> , 茎節	ラット (Bwititi et al., 2000)
<i>O. lindheimeri</i> , 茎節抽出物	ブタ (Laurenz et al., 2003)
血糖低下作用および抗糖尿病作用(Hypoglycemic and antidiabetic effects)	
<i>O. ficus-indica</i> , <i>O. lindheimeri</i> , <i>O. robusta</i> , 果実	ラット (Enigbocan et al., 1996)
<i>O. streptacantha</i> , 茎節	ヒト (Meckes Lozyoa, 1986)
<i>O. monacantha</i> , 茎節抽出物	ラット (Yang et al., 2008)
<i>O. ficus-indica</i> , 種子・種子油	ラット (Ennouri et al., 2006a, b)
<i>O. streptacantha</i> , 茎節	ヒト (Frati Munari et al., 1992)
<i>O. filiginosa</i> , 果実抽出物	ラット (Trejo González et al., 1996)
抗炎症作用(Anti-inflammatory actions)	
<i>O. humifusa</i> , 茎節抽出物	マクロファージ系細胞(Cho et al., 2006)
<i>O. ficus-indica</i> , 果実抽出物	ラット (Allegra et al., 2014)
<i>O. ficus-indica</i> , 茎節	ヒト (Hegwood, 1990)
神経保護作用(Neuroprotection)	
<i>O. ficus-indica</i> , 果実抽出物・茎節抽出物	培養神経細胞 (Dok Go et al., 2003)
<i>O. ficus-indica</i> , 果実抽出物	培養神経細胞(Kim et al., 2006)
抗潰瘍作用(Antiulcerogenic effects and antigastritis)	
<i>O. ficus-indica</i> , 茎節	ラット (Galati et al., 2001, 2002a)
<i>O. ficus-indica</i> , 果実ジュース	ラット (Galati et al., 2003a)
<i>O. ficus-indica</i> , 茎節	ラット (Lee et al., 2002)
<i>O. ficus-indica</i> , 果実	ラット (Lee et al., 2001)
抗酸化作用(Decreasing effect on the oxidative stress)	
<i>O. ficus-indica</i> , 果実	ヒト (Tesoriere et al., 2004)
<i>O. robusta</i> , 果実	ヒト (Budinsky et al., 2001)
二日酔い症状の軽減(Alcohol hangover symptoms alleviation)	
<i>O. ficus-indica</i> , 果実抽出物	ヒト (Wiese et al., 2004)
利尿作用(Diuretic effect)	
<i>O. ficus-indica</i> , 茎節・花・果実	ラット (Galati et al., 2002b)
発がん抑制作用(Cancer preventive properties)	
<i>O. ficus-indica</i> , 果実抽出物	卵巣細胞・子宮頸部上皮細胞・卵巣がん細胞・膀胱がん細胞 (Zou et al., 2005)
<i>O. humifusa</i> , 果実抽出物	グリオブラストーマ細胞 (Hahm et al., 2010)
<i>Opuntia</i> spp., 果実ジュース	前立腺がん細胞・大腸がん細胞・肝がん細胞(Chávez Santoscoy et al., 2009)
<i>O. humifusa</i> , 果実粉末	マウス(Lee et al., 2012)
肝臓保護作用(Liver protection)	
<i>O. ficus-indica</i> , 果実ジュース・果実抽出物	マウス・ラット(Galati et al., 2005; Alimi et al., 2012; Brahmi et al., 2011)
骨密度上昇(Bone density increase)	
<i>O. humifusa</i> , 茎節	ラット (Kang et al., 2012)
インスリン感受性改善(Insulin sensitivity improvement)	
<i>O. humifusa</i> , 茎節	ラット (Kang et al., 2013)

### 3-1. 糖尿病・血糖値に対する作用

糖尿病患者や動物を対象にした複数の研究により、ウチワサボテンの血糖低下作用が指摘されている。ウチワサボテン (*O. ficus-indica*) の食事摂取は、2 型糖尿病患者が高炭水化物食および高タンパク質食の朝食を摂食した後の血糖値、血中インスリン値、グルコース依存性インスリン分泌刺激ポリペプチド (GLP) およびグルカゴン様ペプチド-1 (GLP-1) の値を改善することが報告されている (López-Romero et al., 2014)。Frati-Munari ら (1988) は茹でたウチワサボテン (*O. streptacantha*) 茎節 500 g の摂食により、インスリン非依存型糖尿病患者の血糖値と血中インスリン値が低下することを報告している (Frati-Munari et al., 1988)。ストレプトトシシ誘発糖尿病ラットを用いた実験でも、ウチワサボテン (*O. fuliginosa*) 抽出物を与えると血糖値と糖化ヘモグロビン量が正常値に下がることが確認されている (Trejo-González et al., 1996)。同様に、ウチワサボテン (*O. humifusa*) 茎節の摂食はストレプトトシシ誘発糖尿病ラットの血糖値およびコレステロール値の減少を促進することが報告されている (Hahm et al., 2011)。

近年の研究では、ウチワサボテン (*O. streptacantha*) 抽出物をストレプトトシシ誘発糖尿病ラットに経口ブドウ糖負荷試験 (OGTT) の前に摂食させると、血糖低下作用が確認されることが報告されている (Andrade-Cetto and Wiedenfeld, 2011)。同様の結果が OpunDia™ (*O. ficus-indica* の茎節と果実抽出物の混合物) を肥満気味で前糖尿病期の患者 (男女) に 16 週間摂取させた研究でも確認されている (Godard et al., 2010)。OpunDia™ を経口ブドウ糖負荷試験 (OGTT) の前に摂取すると血糖値の上昇がプラセボ摂取群に比べて減少した (Godard et al., 2010)。これらの結果は、ウチワサボテンの摂取が食後の血糖値上昇を抑制する効果があることを示唆している。

ウチワサボテンの摂取による血糖低下作用は、ペクチンや粘液などの食物繊維により消化管での食物の粘性が上昇し、グルコースの吸収が緩やかになることで引き起こされる可能性がある (Frati-Munari et al., 1988; Shapiro and Gong, 2002ab; Lopez, 2016)。同様に、ウチワサボテン (*O. ficus-indica* および *O. streptacantha*) か

ら分離された多糖には、糖尿病モデルマウスにおける血糖低下作用が報告されている (Alarcon-Aguilar et al., 2003)。Becerra-Jiménez と A. Andrade-Cetto (2012) は、ウチワサボテン (*O. streptacantha*) の血糖低下作用は、二糖類分解酵素 ( $\alpha$ -グルコシダーゼ) の活性や二糖の加水分解には関係しないことを報告している。その他にも、ウチワサボテンの成分が膵臓の  $\beta$  細胞への直接作用を介してインスリン分泌に影響するという仮説が提唱されている (Butterweck et al., 2011)。

さらに、ウチワサボテンの抗酸化特性は 2 型糖尿病患者の心血管合併症の予防に機能する可能性がある (Del Socorro Santos Díaz et al., 2017)。糖尿病の主要な合併症である心血管疾患やアテローム性動脈硬化症の発症など、酸化ストレスは 2 型糖尿病患者の病態生理において極めて重要な役割を果たしている (Giacco and Brownlee, 2010)。Berraouan ら (2015) は、ウチワサボテン (*O. ficus-indica*) 種子油が、マウスへのアロキサン投与による高血糖症の誘発を活性酸素種 (ROS) の生成阻害により抑制することを報告している。このように、高血糖症下で増強された酸化ストレスに対して、ウチワサボテンが抗酸化成分を介して阻害効果を発揮する可能性が指摘されている (Berraouan et al., 2015)。

作用メカニズムは未だ明確でないが、ここまでで紹介した研究報告はウチワサボテンの成分が血糖低下作用や抗糖尿病作用を持つことを示している。

### 3-2. コレステロール低下作用

ウチワサボテンの抗酸化作用および抗動脈硬化作用は複数の研究で指摘されている (Osuna-Martínez et al., 2014)。Tesoriere ら (2004) は、ウチワサボテン果実の摂食が酸化ストレスを防ぎ生体内の酸化還元状態を改善することを報告している。また Budinsky ら (2001) は、家族性高コレステロール血症患者がウチワサボテン (*O. robusta*) を定期的に摂食したところ、酸化ストレスマーカーである F2-イソプロスタナンや 8-エピプロスタグランジン F2 $\alpha$  の血漿および尿中含量、血漿中の LDL コレステロール値が減少することを報告している。同様に、内臓脂肪型肥満の女性がウチワサボテン (*O. ficus-indica*) の乾燥粉末を栄養補助食品として 6 週間摂取したところ、プラ

セボ摂取群と比較して血中 LDL コレステロール値の減少と HDL コレステロール値の上昇が観察されたことが報告されている(Linarès et al., 2007). これらの結果は, ウチワサボテンの摂取がコレステロール低下作用をもたらす事を示唆している. ウチワサボテンの脂質低下作用は, 高コレステロール飼料を与えたマウスを用いた研究でも報告されている. マウスにウチワサボテン (*O. joconostle*) 種子のメタノール抽出物を与えると, プラセボを与えたマウスに比べて血中 LDL コレステロール値と中性脂肪(トリグリセリド) 値が著しく減少することが確認されている (Osorio-Esquivel et al., 2012).

しかしながら, ウチワサボテンの脂質低下作用のメカニズムは十分に解明されていない. 抗酸化物質は脂質過酸化を阻害するが, 通常は血漿脂質プロファイルには影響を与えない(Zern et al., 2005). しかしながらブドウのポリフェノール(レスベラトロールなど)は, 超低密度リポタンパク質 (VLDL) の代謝を変化させ, 血漿中の中性脂肪(トリグリセリド) 値を減少させることが報告されている. ウチワサボテンの脂質低下作用は, 食物繊維に由来すると推測されている (Wolfram et al., 2002). Wolfram ら (2002) はウチワサボテン (*O. robusta*) が高脂血症患者のコレステロール値を下げることを報告しているが, これらの作用は水溶性食物繊維(ペクチン)に由来すると推察している. ペクチンによる脂質低下作用メカニズムには, 肝臓でのコレステロール代謝変化が関与することが提唱されている (Garcia-Diez et al., 1996; Gunness and Gidley, 2010). またウチワサボテン (*O. ficus-indica*) から単離された糖タンパク質は, 血漿中リポプロテイン(リパーゼ)の阻害剤である WR-1339 を与えたマウスを用いた実験でも強力な抗酸化作用および脂質低下作用を示すことが報告されている (Oh and Lim, 2006).

### 3-3. 肥満に対する作用

サボテンの種子 (Ennouri et al., 2006ab), 茎節の乾燥粉末 (Morán-Ramos et al., 2012; Kang et al., 2013), ウチワサボテンの茎節を使ったメキシコ先住民の食事 (Avila-Nava et al., 2016) などが食事誘導性肥満に与える影響について, 動物モデルを用いた研究で複数報告されている.

ウチワサボテン (*O. ficus-indica*) 種子を用いた研究では, 種子粉末の摂取が血清脂質プロファイルと血糖値に好影響を与え, アテローム性動脈硬化症, 糖尿病, 肥満に対して有益な効果をもたらす可能性を指摘している (Ennouri et al., 2006ab). その他にも, ウチワサボテンは脂肪細胞の分化に関与する遺伝子の発現調節を通じてインスリン感受性に好影響を及ぼすこと (Kang et al., 2013), Zucker fatty ラット(遺伝性肥満ラット)の脂肪肝を肝臓におけるインスリンシグナリングの改善により減衰させること (Morán-Ramos et al., 2012), 高脂肪食による食事誘導性肥満ラットの腸内細菌叢の多様性低下 (dysbiosis) と認知機能低下を阻害すること (Avila-Nava et al., 2016) などが報告されている.

Rodríguez-Rodríguez ら (2015) はウチワサボテン (*O. ficus-indica*) 抽出物が食事誘導性肥満マウスモデルの代謝に与える影響を測定するため, 高脂肪食にウチワサボテン抽出物を添加したものを 12 週間マウスに投与した (Rodríguez-Rodríguez et al., 2015). その結果, ウチワサボテン抽出物を添加した高脂肪食を与えられたマウスは, 高脂肪食だけを与えられたマウスと比較して, 体重, LDL コレステロール値と HDL コレステロール値が有意に低下した (Rodríguez-Rodríguez et al., 2015). この結果は, 食事誘導性肥満に関連する代謝異常の発生がウチワサボテン抽出物により阻害されたことを示している. 上記の動物モデルを使った研究では, ウチワサボテン抽出物がエネルギー代謝, 遺伝子発現調節, インスリンシグナリングに影響することを示しており, ヒトの肥満症に対しても有効である可能性を示唆している.

ヒトを対象とした研究も行われている. Grube ら (2013) は Litoramine という製品 (*O. ficus-indica* の繊維質を主成分とする錠剤) と軽い運動 (30 分のウォーキングまたはサイクリング) を組み合わせた試験を行っている. 肥満の参加者 125 人を対象とした 12 週間の試験では, プラセボと比較して試験開始日より有意に体重が減少した (Grube et al., 2013). さらに, Litoramine を摂取した参加者は BMI (ボディマス指数), 体脂肪率, および腹囲についても有意な減少を示した. 副作用も確認されなかったことから, Grube ら (2013) は Litoramine が体重減少の促進に有効であることを指摘している. Chong ら (2014)

は、ウチワサボテン由来の食物繊維は、摂食した食物に含まれる脂質に結合してその排泄量を増加させることで脂質の吸収を減少させることや、脂質吸収阻害による食物からの摂取エネルギー減少が体重減少につながることを報告している。

### 3-4. 傷の治癒(皮膚)に対する作用

ウチワサボテンは火傷、皮膚疾患、傷の治療を目的として中南米の伝統医療において長期間利用されている(FAO and ICARDA, 2017)。さらに近年の分子レベルおよび細胞レベルでの有効性の実証は、ウチワサボテンの外皮用剤としての利用可能性を示している(Ribeiro et al., 2015)。

近年、複数の研究でウチワサボテン(*O. ficus-indica*)抽出物に傷の治癒作用があることが指摘されている。Nakaharaら(2015)は、ウチワサボテン(*O. ficus-indica*)抽出物が、フィラグリンとロリクリンの発現促進により、ケラチノサイト(角化細胞)と皮膚バリア機能を保護する可能性を報告している。またこの研究によると、ウチワサボテン抽出物の保護効果は、炎症によって引き起こされる活性酸素種(ROS)生成の阻害や芳香族炭化水素受容体(AhR)の活性化によって特徴付けられる(Nakahara et al., 2015)。ウチワサボテンによる傷の治癒作用には、直線状のガラクトサン重合体や高度に分岐したキシロアラビナン(xyloarabinan)などの高分子量多糖成分に加え、乳酸、D-マンニトール、2-ヒドロキシ-4-(メチルチオ)酪酸などの低分子量成分も同様に関与すると考えられている(Del Socorro Santos Díaz et al., 2017)。ウチワサボテン(*O. ficus-indica*)の抽出物は、傷ついたケラチノサイト上で細胞再生を早めることが確認されており、この結果はウチワサボテンの含有成分が高い抗炎症作用と傷の治癒作用を持つことを示唆している(Deters, 2012)。

同様に、ウチワサボテン(*O. ficus-indica*)茎節から抽出された多糖類は線維芽細胞とケラチノサイトの増殖を促すことが報告されている(Di Lorenzo et al., 2017)。ウチワサボテン抽出物に含まれる成分のうち、diglycoside isorhamnetin-glucosyl-rhamnoside (IGR)などのイソラムネチン配糖体は、腫瘍壊死因子(TNF- $\alpha$ )、インターロイキン-6(IL-6)、シクロオキシゲナーゼ(COX-2)などの炎

症反応や免疫反応において機能する物質の生成量に作用することが示唆されている(Antunes-Ricardo et al., 2015)。

さらにウチワサボテン(*O. humifusa*)茎節の抽出物は、紫外線(UV-B)にさらされたケラチノサイトでヒアルロン酸合成酵素の発現を増加させることで、ヒアルロン酸の生産を制御する可能性が報告されている(Park et al., 2017)。この研究では、ウチワサボテン(*O. humifusa*)抽出物が紫外線照射(UV-B)によるヒアルロニダーゼ(ヒアルロン酸を分解する酵素)遺伝子の発現誘導を抑制することも報告している(Park et al., 2017)。興味深いことに、同様の保護作用がヘアレスマウスに紫外線照射(UV-B)を行った際にも確認されており、ウチワサボテン(*O. humifusa*)抽出物が強いスキンケア効果を持つことを示している(Park et al., 2017)。

### 3-5. その他の作用

#### 3-5-1. 二日酔いに対する作用

ウチワサボテンは(*O. ficus-indica*)はヒトの二日酔いの症状改善に有効であることも報告されている(Wiese et al., 2004)。実験では64名の参加者をランダムに2つのグループに分け、アルコール摂取の5時間前にプラセボまたはウチワサボテン果実抽出物(商品名:Tex-OE)を摂取させ、翌日の二日酔いの症状(吐き気、口の渇き、食欲不振など)を点数化した。その結果、果実抽出物の摂取群ではプラセボ摂取群に比べ二日酔いの症状が有意に減少していた。

#### 3-5-2. 抗ウイルス作用

ウチワサボテン(*O. streptacantha*)抽出物には、単純ヘルペスウイルスなどのDNAウイルスと、A型インフルエンザウイルスやヒト免疫不全ウイルス1型(HIV-1)などのRNAウイルスに対して抗ウイルス作用を示す事が報告されている(Ahmad et al, 1996)。ウチワサボテン抽出物はDNAウイルスとRNAウイルスの両者の複製を阻害した。抗ウイルス作用を示す成分はウチワサボテン抽出物に含まれるタンパク質であると考えられ、クチクラ層や道管液・師管液ではなく、主に細胞壁に存在すると考えられている(Ahmad et al, 1996)。また Ahmadら(1996)はウチ



ワサボテン抽出物(茎節粉末から滅菌水で抽出)の安全性試験を, マウス・ウマ・ヒトで行っている。マウスには抽出物 70 mg の静脈内注射を実施。ウマには 1 日に抽出物 27 g の経口投与を 14~28 日間実施。そしてヒトには 1 日に抽出物 3 g の経口投与を 6 カ月間実施している。その結果, いずれの場合も毒性は確認されなかった (Ahmad et al, 1996)。

#### 4. 食用ウチワサボテンの機能性向上を目指した研究

作物の栄養組成や各成分の量は, 栽培方法や光強度や温度条件を含む栽培環境の影響を受ける (Stintzing and Carle, 2005)。著者の研究室では食用ウチワサボテンの生産性・機能性の向上を目的として, 水耕栽培技術や植物工場での生産システムの開発を目指している。従来 of 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, さらに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)。

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や (Horibe, 2017), LED を用いた光環境制御により収量増加や抗酸化力の向上が可能であることなどが明らかとなっている (Horibe et al., 2018)。さらに水耕液の亜鉛含量を調節することで, 亜鉛含量を通常の 10 倍以上に増加させた食用ウチワサボテン (可食部 100g 当たりの亜鉛含量が 10 mg 以上) の栽培にも成功している (Horibe et al., 2019)。

#### 5. おわりに

近年, 国内では青果物に対し食品の三次機能いわゆる機能性を求める傾向が強まっている。ウチワサボテンは生食用や加工品原料として世界の広い地域で利用されており, 本稿で紹介したように生理作用に関しても多数の研究報告がある。しかしながらウチワサボテンは日本国内では一般的に利用されておらず, 生理作用に関する研究もほとんど行われていないのが現状である。

本稿ではウチワサボテンの栄養成分や生理機能

について解説した。本稿が国内におけるウチワサボテン利用の拡大や研究推進の一助となれば幸いである。

#### 引用文献

- 梶川千賀子. 1997. リンゴの品質特性と価格水準. 農業経済研究 68(4), 199-206.
- 堀部貴紀. 2019. ウチワサボテンの果実生産技術—定植から収穫まで—. 中部大学生物機能開発研究所紀要 第19号, 42-52.
- 門馬信二, 興津伸二. 1987. イチゴ果実の糖度及び酸度の品種間差異並びに糖度及び酸度と他の形質との関係. 野菜試験場報告 B(盛岡) .7, 11-19.
- Ahmad, A., Davies, J., Randall, S., Skinner, G. R. 1996. Antiviral properties of extract of *Opuntia streptacantha*. Antiviral Res. 30, 75-85.
- Alarcon-Aguilar, F. J., Valdes-Arzate, A., Xolalpa-Molina, S., Banderas-Dorantes, T., Jimenez-Estrada, M., Hernandez-Galicia, E., Roman-Ramos, R. 2003. Hypoglycemic activity of two polysaccharides isolated from *Opuntia ficus-indica* and *O. streptacantha*. Proceedings of the Western Pharmacology Society 46, 139-142.
- Alimi, H., Hfaeidh, N., Mbarki, S., Bouoni, Z., Sakly, M., Ben Rouma, K. 2012. Evaluation of *Opuntia ficus-indica* f. *inermis* fruit juice hepatoprotective effect upon ethanol toxicity in rats. Gen Physiol. Biophys. 31, 335-342.
- Allegra, M., Ianaro, A., Tersigni, M., Panza, E., Tesoriere, L., Livrea, M. A. 2014. Indicaxanthin from cactus pear fruit exerts anti-inflammatory effects in carrageenin-induced rat pleurisy. J.

Nutr. 144, 185-192.

Metab. 8, 73-89.

- Andrade-Cetto, A. Wiedenfeld, H. 2011. Anti-hyperglycemic effect of *Opuntia streptacantha* Lem. Journal of Ethnopharmacology 133, 940-943.
- Antunes-Ricardo, M., Gutiérrez-Urbe, J. A., Martínez-Vitela, Serna-Saldívar, S. O. 2015. Topical anti-inflammatory effects of isorhamnetin glycosides isolated from *Opuntia ficus-indica*. BioMed Research International, Article ID 847320.
- Avila-Nava, A., Noriega, L. G., Tovar, A. R., Granados, O., Perez-Cruz, C., Pedraza-Chaverri, J., Torres, N. 2016. Food combination based on a pre-hispanic Mexican diet decreases metabolic and cognitive abnormalities and gut microbiota dysbiosis caused by a sucrose-enriched high-fat diet in rats. Molecular Nutrition and Food Research, 61. DOI: 10.1002/mnfr.201501023.
- Becerra-Jiménez, J. Andrade-Cetto, A. 2012. Effect of *Opuntia streptacantha* Lem. on alpha-glucosidase activity. Journal of Ethnopharmacology 139, 493-496.
- Berraouan, A., Abderrahim, Z., Hassane, M., Abdelkhaleq, L., Mohammed, A., Mohamed, B. 2015. Evaluation of protective effect of cactus pear seed oil (*Opuntia ficus-indica* L. MILL.) against alloxan-induced diabetes in mice. Asian Pacific Journal of Tropical Medicine 8, 532-537.
- Brahmi, D., Bouaziz, C., Ayed, Y., Ben Mansour, H., Zourgui, L., Bacha, H. 2011. Chemopreventive effect of cactus *Opuntia ficus-indica* on oxidative stress and genotoxicity of aflatoxin B1. Nutr. Metab. 8, 73-89.
- Budinsky, A., Wolfram, R., Oguogho, A. Efthimiou, Y., Stamatopoulos, Y., Sinzinger, H. 2001. Regular ingestion of *Opuntia robusta* lowers oxidation injury. Prostaglandins, Leukotrienes, and Essential Fatty Acids 65, 45-50.
- Butera, D., Tesoriere, L., Di Gaudio, F., Bongiorno, A., Allegra, M., Pintaudi, A. M., Kohen, R., Livrea, M. A. 2002. Antioxidant activities of Sicilian prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit extracts and reducing properties of its betalains: betanin and indica-xanthin. J. Agric. Food Chem. 50, 6895-6901.
- Butterweck, V., Semlin, L., Feistel, B., Pischel, I., Bauer, K., Verspohl, E. J. 2011. Comparative evaluation of two different *Opuntia ficus-indica* extracts for blood sugar lowering effects in rats. Phytotherapy Research 25, 370-375.
- Bwititi, P., Musabayane, C. T., Nhachi, C. F. B. 2000. Effects of *Opuntia megacantha* on blood glucose and kidney function in streptozotocin diabetic rats. J. Ethnopharmacol. 69, 247-252.
- Chávez Moreno, C. K., Tecante, A., Casas, A. 2009. The *Opuntia* (*Cactaceae*) and *Dactylopius* (*Hemiptera, Dactylopiidae*) in Mexico, a historical perspective of use, interaction and distribution. Biodiversity Conserv. 18, 3337-3355.
- Cho, J. Y., Park, S. C., Kim, T. W., Kim, K. S., Song, J. C., Kim, S. K., Lee, H. M., Sung, H. J., Park, H. J., Song, Y. B., Yoo, E. S., Lee, Ch., Rhee, M. H. 2006. Radical scavenging and anti-inflammatory activity of extracts from *Opuntia humifusa* Raf. J.

- Pharm. Pharmacol. 58, 113-119.
- Chong, P. W., Lau, K. Z., Gruenwald, J., Uebelhack, R. 2014. A review of the efficacy and safety of Litramine IQP-G-002AS, an *Opuntia ficus-indica* derived fiber for weight management. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, Article ID 943713.
- Del Socorro Santos Díaz M, Barba de la Rosa AP, Héliès-Toussaint C, Guéraud F, Nègre-Salvayre A. 2017. Oxida. Med. Cell Longev. Article ID: 8634249, 1-17. DOI: 10.1155/2017/8634249.
- Deters, A. M., Meyer, U., Stintzing, F. C. 2012. Time-dependent bioactivity of preparations from cactus pear (*Opuntia ficus indica*) and ice plant (*Mesembryanthemum crystallinum*) on human skin fibroblasts and keratinocytes. Journal of Ethnopharmacology 142, 438-444.
- Di Lorenzo, F., Silipo, A., Molinaro, A., Parrilli, M., Schiraldi, C., D'Agostino, A., Izzo, E., Rizza, L., Bonina, A., Bonina, F., Lanzetta, R. 2017. The polysaccharide and low molecular weight components of *Opuntia ficus indica* cladodes: structure and skin repairing properties. Carbohydrate Polymers 157, 128-136.
- Dok Go, H., Lee, K. H., Kim, H. J., Lee, E. H., Lee, J., Song, Y. S., Lee, Y. H., Jin, C. Lee, Y. S., Cho, J. 2003. Neuroprotective effects of antioxidative flavonoids, quercetin, (+)-dihydroquercetin and quercetin 3-methyl ether, isolated from *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*. Brain Res. 965, 130-136.
- El-Mostafa K, El Kharrassi Y, Badreddine A, Andreoletti P, Vamecq J, El Kebbj MS, Latruffe N, Lizard G, Nasser B, Cherkaoui-Malki M. 2014. Nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease. Molecules 19, 14879-14901.
- El Kossori, R.L., Villanume, C., El Boustani, E., Sauvaire, Y., Mejean, L. 1998. Composition of pulp, skin and seeds of prickly pears fruit (*Opuntia ficus-indica* sp.). Plant Foods Hum. Nutr. 52, 263-270.
- Enigbocan, M. A., Felder, T. B., Thompson, J. O., Kuti, J. O., Ekpenyong, K. I. 1996. Hypoglycaemic effects of *Opuntia ficus-indica* Mill., *Opuntia lindheimeri* Engelm. and *Opuntia robusta* Wendl. in streptozotocin-induced diabetic rats. Phytother. Res. 10, 379-382.
- Ennouri, M., Evelyne, B., Laurence, M., Hamadi, A. 2005. Fatty acid composition and rheological behaviour of prickly pear seed oils. Food Chem. 93, 431-437.
- Ennouri, M., Fetoui, H., Bourret, E., Zeghal, N., Attia, H. 2006a. Evaluation of some biological parameters of *Opuntia ficus indica*. 1. Influence of a seed oil supplemented diet on rats. Bioresource Technology 97, 1382-1386.
- Ennouri, M., Fetoui, H., Bourret, E., Zeghal, N., Attia, H. 2006b. Evaluation of some biological parameters of *Opuntia ficus indica*. 2. Influence of seed supplemented diet on rats. Bioresource Technology 97, 2136-2140.
- Ennouri, M., Fetoui, H., Hammami, M., Bourret, E., Hamadi, A., Zeghal, N. 2007. Effects of diet supplementation with cactus pear seeds and oil on serum and liver lipid parameters in rats. Food

- Chem. 101, 248-253.
- Feugang, J.M., Konarski, P., Zou, D., Stintzing, F. C., Zou, C. 2006. Nutritional and medicinal use of cactus (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Front. Biosci.* 11, 2574-2589.
- Fernández, M., Lin, E. C. K., Trejo, A., McNamara, D. J. 1994. Prickly pear (*Opuntia* sp.) pectin alters hepatic cholesterol metabolism without affecting cholesterol absorption in Guinea pigs fed a hypercholesterolemic diet. *J. Nutr.* 124, 817-824.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. Agro-industrial utilization of cactus pear. 2013.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations and the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas. Crop ecology cultivation and uses of cactus pear. 2017.
- Frati-Munari, A. C., Gordillo, B. E., Altamirano, P., Ariza, C. R. 1988. Hypoglycemic effect of *Opuntia streptacantha* Lemaire in NIDDM. *Diabetes Care* 11, 63-66.
- Frati Munari, A. C., Vera Lastra, O., Ariza Andraca, C. R. 1992. Evaluation of nopal capsules in diabetes mellitus. *Gac. Med. Mex.*, 128, 431-436.
- Frati Munari, A. C., Fernández Harp, J. A., de la Riva, H., Ariza Andraca, R., del Carmeritorres, M. 2004. Effect of nopal (*Opuntia* sp.) on serum lipids, glycaemia and body weight. *Am. J. Clin. Nutr.* 80, 668-673.
- Galati, E. M., Monforte, M. T., Tripodo, M. M., d'Aquino, A., Mondello, M. R. 2001. Antiulcer activity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (*Cactaceae*), ultrastructural study. *J. Ethnopharmacol.* 76, 1-9.
- Galati, E. M., Pergolizzi, S., Miceli, N., Monforte, M. T., Tripodo M. M. 2002a. Study on the increment of the production of gastric mucus in rats treated with *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. cladodes. *J. Ethnopharmacol.* 83, 229-233.
- Galati, E. M., Tripodo, M. M., Trovato, A., Miceli, N., Monforte M. T., 2002b. Biological effects of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (*Cactaceae*) waste matter. Note I: diuretic activity. *J. Ethnopharmacol.* 79, 17-21.
- Galati, E. M., Mondello, M. R., Giuffrida, D., Dugo, G., Miceli, N., Pergolizzi, S., Taviano, M. F. 2003a. Chemical characterization and biological effects of Sicilian *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Fruit juice, Antioxidant and antiulcerogenic activity. *J. Agric. Food Chem.* 51, 4903-4908.
- Galati, E. M., Tripodo, M. M., Trovato, A., d'Aquino, A., Monforte, M. T. 2003b. Biological activity of *Opuntia ficus-indica* cladodes II, Effect on experimental hypercholesterolemia in rats. *Pharm. Biol.* 41, 175-179.
- Galati, E. M., Mondello, M. R., Lauriano, E. R., Taviano, M. F., Galluzzo, M., Miceli, N. 2005. *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Fruit juice protects liver from carbon tetrachloride induced injury. *Phytother. Res.* 19, 796-800.
- Garcia-Diez, F., Garcia-Mediavilla, V., Bayon, J. E., Gonzalez-Gallego, J. 1996. Pectin feeding influences fecal bile acid excretion, hepatic bile acid and cholesterol synthesis and serum

- cholesterol in rats. *The Journal of Nutrition* 126, 1766-1771.
- Giacco, F., Brownlee, M. 2010. Oxidative stress and diabetic complications. *Circulation Research* 107, 1058-1070.
- Godard, M. P., Ewing, B. A., Pischel, I., Ziegler, A., Benedek, B., Feistel, B. 2010. Acute blood glucose lowering effects and long-term safety of *Opuntia* supplementation in prediabetic males and females. *Journal of Ethnopharmacology* 130, 631-634.
- Gunness, P., Gidley, M. J. 2010. Mechanisms underlying the cholesterol-lowering properties of soluble dietary fibre polysaccharides. *Food and Function* 1, 149-155.
- Grube, B., Chong, P. W., Lau, K. Z., Orzechowski, H. D. 2013. A natural fiber complex reduces body weight in the overweight and obese: a double-blind, randomized, placebocontrolled study. *Obesity* 21, 58-64.
- Hahm, S. W., Park, J., Son, Y. S. 2010. *Opuntia humifusa* partitioned extracts inhibit the growth of U87MG human glioblastoma cells. *Plant Foods Hum. Nutr.* 65, 247-252.
- Hahm, S. W., Park, J., Son, Y. S. 2011. *Opuntia humifusa* stems lower blood glucose and cholesterol levels in streptozotocin-induced diabetic rats. *Nutrition Research* 31, 479-487.
- Hegwood, D. A. 1990. Human health discoveries with *Opuntia* sp. (prickly pear) *indica* (L.) Mill. cladodes in the wound-healing process. *J. Hortic. Sci.* 25, 1315-1316.
- 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.
- Hitchcock Noel, P., Pugh, J. A., Larme, A. C., Marsh, G. 1997. The use of traditional plant medicines for non-insulin dependent Diabetes mellitus in South Texas. *Phytother. Res.* 11, 512-517.
- Horibe, T. 2017. A Cost-Effective, Simple, and Productive Method of Hydroponic Culture of Edible *Opuntia* “Maya”. *Environmental Control in Biology*, 55, 171-174.
- Horibe, T., Imai, S., Matsuoka, T. 2018. Effects of light wavelength on daughter cladode growth and quality in edible cactus *Nopalea cochenillifera* cultured in a plant factory with artificial light. *Journal of horticultural research* 26, 71-80.
- Horibe, T., Sumi, H., Teranobu, R. 2019. Zinc biofortification of the edible cactus *nopalea cochenillifera* grown under hydroponic conditions. *Environmental Control in Biology*, in press.
- Inglese, P., Gugliuzza, G., La Mantia, T. 2002. Alternate bearing and summer pruning of cactus pear. *Acta Hort.* 581, 201-204.
- Inglese, P., Giugliuzza, G., Liguori, G. 2004. Cactus pear fruit production: from knowledge to development. In: Esparza-Frausto, G., Valdez-Cepeda R. D., and Mendez-Gallegos, S. J., eds. *El Nopal. Topics de actualidad*. Universidad Autonoma de Chapingo. Colegio de

- Postgraduados, Mexico, pp. 89-108.
- Kang J., Park, J., Choi, S. H., Igawa, S., Song, Y. 2012. *Opuntia humifusa* supplementation increased bone density by regulating parathyroid hormone and osteocalcin in male growing rats. *Int. J. Mol. Sci.* 13, 6747-6756.
- Kang, J., Lee, J., Kwon, D., Song, Y. 2013. Effect of *Opuntia humifusa* supplementation and acute exercise on insulin sensitivity and associations with PPAR- $\gamma$  and PGC-1 $\alpha$  protein expression in skeletal muscle of rats. *Int. J. Mol. Sci.* 14, 7140-7154.
- Kim, J. H., Park, S. M, Ha, H. J., Moon, C. J., Shin, T. K., Kim, J. M., Lee, N. H., Kim, H. C., Jang, K. J., Wie, M. B. 2006. *Opuntia ficus-indica* attenuates neuronal injury in in vitro and in vivo models of cerebral ischemia *J. Ethnopharmacol.* 104, 257-262.
- Kuti, J.O., Galloway, C. M. 1994. Sugar Composition and invertase activity in prickly pear fruit. *J. Food Sci.* 59, 387-388.
- Labuschagne, M. T., Hugo, A. 2010. Oil content and fatty acid composition of cactus pear seed compared with cotton and grape seed. *J. Food Biochem.* 34, 93-100.
- 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.
- Laurenz, J. C., Collier, C. C., Kuti, J. O. 2003. Hypoglycaemic effect of *Opuntia lindheimeri* Englem. in a diabetic pig model. *Phytother. Res.* 17, 26-29.
- Lee, E. B., Hyun, J. E., Li, D. W., Moon, Y. I. 2001. The effect of *Opuntia ficus-indica* var. saboten fruit on gastric lesion and ulcer in rats. *Nat. Prod. Sci.* 7, 90-93.
- Lee, E. B., Hyun, J. E., Li, D. W., Moon, Y. I. 2002. Effects of *Opuntia ficus-indica* var. Saboten stem on gastric damages in rats. *Arch. Pharmacol Res.* 25, 67-70.
- Lee, J. A., Jung, B. G., Lee, B. J. 2012. Inhibitory effects of *Opuntia humifusa* on 7,12-dimethylbenz[a]anthracene and 12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate induced two-stage skin carcinogenesis. *Asian Pac. J. Cancer Prev.* 13, 4655-4660.
- Liguori, G., Inglese, P., 2015. Cactus pear fruit production: orchard planting and management of *Opuntia ficus-indica*. In: De Waal, H. O., Louhaichi, M., Taguchi, M., Fouche, H. J. and De Wit, M., eds. Development of a cactus pear agro-industry for the sub-Sahara Africa Region. Proceedings of International Workshop, University of the Free State, Bloemfontein, South Africa, pp. 13-16.
- Linarès, E., Thimonier, C., Degre, M. 2007. The effect of NeOpuntia on blood lipid parameters-risk factors for the metabolic syndrome (syndrome X) . *Advances in Therapy* 24, 1115-1125.
- López-Romero, P., Pichardo-Ontiveros, E., Avila-Nava, A., Vázquez-Manjarrez, N., Tovar, A. R., Pedraza-Chaverri, J., Torres, N. 2014. The effect of nopal (*Opuntia ficus indica*) on postprandial blood glucose, incretins, and

- antioxidant activity in Mexican patients with type 2 diabetes after consumption of two different composition breakfasts. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics* 114, 1811-1818.
- Lopez, J. L. J. 2016. Use of *Opuntia* cactus as a hypoglycemic agent in managing type 2 diabetes mellitus among Mexican American patients. *Nutrition Bytes* 12, 1-7.  
<http://escholarship.org/uc/item/555845bf>.
- Mauseth, J.D. 2006. Structure-function relationships in highly modified shoots of cactaceae. *Ann. Bot.* 98, 901-26.
- Meckes Lozyoa, M., Roman Rams, R. 1986. *Opuntia streptacantha*, a coadjutor in the treatment of Diabetes mellitus. *Am. J. Chin. Med.* 14, 116-118.
- Mizrahi, Y., Nerd, A., Nobel, P. S. 1997. Cacti as crops. *Hort. Rev.* 18, 291-320.
- Morán-Ramos, S., Avila-Nava, A., Tovar, A. R., Pedraza-Chaverri, J., López-Romero, P., Torres, N. 2012. *Opuntia ficus indica* (nopal) attenuates hepatic steatosis and oxidative stress in obese Zucker (fa/fa) rats. *The Journal of Nutrition* 142, 1956-1963.
- Nakahara, T., Mitoma, C., Hashimoto-Hachiya, A., Takahara, M., Tsuji, G., Uchi, H., Yan, X., Hachisuka, J., Chiba, T., Esaki, H., Kido-Nakahara, M., Furue, M. 2015. Antioxidant *Opuntia ficus-indica* extract activates AHR-NRF2 signaling and upregulates filaggrin and loricrin expression in human keratinocytes. *Journal of Medicinal Food* 18, 1143-1149.
- Nobel, P. S., Bobich, E. G. 2002. Environmental Biology. In: Nobel, P. S. eds. *Cacti. Biology and Uses*, University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London, pp. 57-74.
- Oh, P. S., Lim, K. T. 2006. Glycoprotein (90 kDa) isolated from *Opuntia ficus-indica* var. saboten MAKINO lowers plasma lipid level through scavenging of intracellular radicals in triton WR-1339-induced mice. *Biological and Pharmaceutical Bulletin* 29, 1391-1396.
- Osorio-Esquivel, O., Ortiz-Moreno, A., Garduño-Siciliano, L., Alvarez, V. B., Hernández-Navarro, M. D. 2012. Antihyperlipidemic effect of methanolic extract from *Opuntia joconostle* seeds in mice fed a hypercholesterolemic diet. *Plant Foods for Human Nutrition* 67, 365-370.
- Osuna-Martínez, U., J. Reyes-Esparza, J., Rodríguez-Fragoso, L. 2014. Cactus (*Opuntia ficus-indica*): a review on its antioxidants properties and potential pharmacological use in chronic diseases. *Natural Products Chemistry and Research* 2, 153.
- Park, K., Choi, H. S., Hong, Y. H., Jung, E. Y., Suh, H. J. 2017. Cactus cladodes (*Opuntia humifusa*) extract minimizes the effects of UV irradiation on keratinocytes and hairless mice. *Pharmaceutical Biology* 55, 1032-1040.
- Pimienta Barrios, E., Muñoz-Urías, A. 1999. Domesticación de nopales tuneros (*Opuntia spp.*) y descripción de las principales variedades cultivadas. In: Barbera, G., Inglese, P., Pimienta Barrios, E., eds. *Agroecología, cultivo y usos del nopal*. FAO Plant Production and Protection

Paper 132. Rome, pp. 61-67.

- Ribeiro, R. C., Barreto, S. M., Ostrosky, E. A., da Rocha-Filho, P. A., Veríssimo, L. M., Ferrari, M. 2015. Production and characterization of cosmetic nanoemulsions containing *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill extract as moisturizing agent. *Molecules* 20, 2492-2509.
- Rodríguez-Rodríguez, C., Torres, N., Gutiérrez-Urbe, J. A., Noriega, L. G., Torre-Villalvazo, I., Leal-Díaz, A. M., Antunes-Ricardo, M., Márquez-Mota, C., Ordaz, G., Chavez-Santoscoy, R. A., Serna-Saldivar, S. O., Tovar, A. R. 2015. The effect of isorhamnetin glycosides extracted from *Opuntia ficus-indica* in a mouse model of diet induced obesity. *Food and Function* 6, 805-815.
- Shapiro, K., Gong, W. C. 2002a. Natural products used for diabetes. *Journal of the American Pharmaceutical Association* 42, 217-226.
- Shapiro, K., Gong, W. C. 2002b. Use of herbal products for diabetes by Latinos. *J. Am. Pharmaceut. Assoc.* 42, 278-279.
- Stintzing, F. C., Schieber, A., Carle, R. 2001. Phytochemical and nutritional significance of cactus pear. *Eur. Food Res. Technol.* 212, 396-407.
- 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.
- 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.
- Tesoriere, L., Butera, D., Pintaudi, A. M., Allegra, M., Livrea, M. A. 2004. Supplementation with cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit decreases oxidative stress in healthy humans: a comparative study with vitamin C. *The American Journal of Clinical Nutrition* 80, 391-395.
- Tesoriere, L., Fazzari, M., Allegra, M., Livrea, M. A. 2005. Biothiols, taurine, and lipid-soluble antioxidants in the edible pulp of Sicilian cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruits and changes of bioactive juice components upon industrial processing. *J. Agric. Food Chem.* 53, 7851-7855.
- Trejo-González, A., Gabriel-Ortiz, G., Puebla-Pérez, A. M., Huízar-Contreras, M. D., Munguía-Mazariegos, M. R., Mejía-Arreguín, S., Calva, E. 1996. A purified extract from prickly pear cactus (*Opuntia fuliginosa*) controls experimentally induced diabetes in rats. *Journal of Ethnopharmacology* 55, 27-33.
- Wiese, J., McPherson, S., Odden, M. C., Shlipak, M. G. 2004. Effect of *Opuntia ficus indica* on symptoms of the alcohol hangover. *Arch Intern Med.* 164, 1334-1340.
- 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.
- Wolfram, R. M., Kritz, H., Efthimiou, Y., Stomatopoulos, J., Sinzinger, H. 2002. Effect of prickly pear (*Opuntia robusta*) on glucose- and



lipid-metabolism in non-diabetics with hyperlipidemia- a pilot study. Wiener Klinische Wochenschrift 114, 840-846.

Yang, N., Zhao, M., Zhu, B., Yang, B., Chen, C., Cui, C., Jiang, Y. 2008. Anti-diabetic effects of polysaccharides from *Opuntia monacantha* cladode in normal and streptozotocin-induced diabetic rats. Innovative Food Sci. Emerging Technol. 9, 570-574.

Zern, T. L., Wood, R. J., Greene, C., West, K. L., Liu, Y., Aggarwal, D., Shachter, N. S., Fernandez, M. L. 2005. Grape polyphenols exert a cardioprotective effect in pre- and postmenopausal women by lowering plasma lipids and reducing oxidative stress. The Journal of Nutrition 135, 1911-1917.

Zou D. M., Brewer, M., Garcia, F., Feugang, J. M., Wang, J., Zang, R., Liu, H., Zou, C. P. 2005. Cactus pear - a natural product in cancer chemoprevention. Nutr. J. 4, 25-29.

**Title** : Nutritional and medicinal properties of edible *Opuntia*.

**Author** : Takanori Horibe

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

**Keywords** : Cladode, edible Cacti, fruit, nutrition, *Opuntia*, pharmacological profile, production