

解説

ウチワサボテンの果実生産技術 -定植から収穫まで-

堀部貴紀

中部大学応用生物学部

要 旨

ウチワサボテンの果実はトウナ(tuna), カクタスペア(cactus pear)などと呼ばれ, 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。ウチワサボテンは著しい環境ストレス耐性(耐高温・耐乾燥)をもっており, 比較的降水量の少ない地域でも生産することが可能である。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, ウチワサボテン果実が世界の食糧・食品生産において果たす役割は増々大きくなることが期待される。このようにウチワサボテン果実は新規の果物や加工品原料として高いポテンシャルを有するが, 我が国ではその存在はほとんど認知されていない。著者の知る限り国内では大規模な商業生産は行われていないが, ウチワサボテン果実は日本でも生産することは十分可能と思われる。

本稿ではウチワサボテン果実の生産技術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果実生産拡大の一助となれば幸いである。

1. はじめに

ウチワサボテンの果実は北半球・南半球の半乾燥地域など少なくとも18カ国(面積は10万ha以上)で生産されている(Inglese et al., 2002)(写真1)。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。その他にも, アルジェリア, ブラジル, コロンビア, エジプト, ギリシャ, ヨルダン, モロッコ, ペルー, スペイン, チュニジア, トルコなどでも生産されているが, 生産量に関する統計データは乏しく詳細は不明である(Inglese et al., 2004)。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)。

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。最も広く栽培されている種は *Opuntia ficus-indica* であるが, その他にも *O. streptacantha*, *O. lindhemeiri*, *O. amyclaea*, *O. megacantha* and *O. robusta* なども利用されることがある(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。品種により果皮や果肉の色, 果実重, 果実成熟日数, 種子数, 開花特性が異なっており, 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)。主要な品種の特性については以下の表にまとめる(表1)。本稿では最も広く普及している種である *O. ficus-indica* の果実生産技術について解説する。



写真1 ウチワサボテンの果実

表 1 ウチワサボテンの栽培品種. (FAO and ICARDA, 2017)より改変.

品種名	生産国	種	果皮色	果肉色	果実重(g)	果肉の割合(%)	Brix値 [※]
Algerian	南アフリカ	<i>O. ficus-indica</i>	赤	濃い桃色	162	59.4	13.9
Gymno Carpo	南アフリカ	<i>O. ficus-indica</i>	黄色	オレンジ	170	61.7	11.2
Meyers	南アフリカ	<i>O. ficus-indica</i>	赤	濃い桃色	176	60.7	13.6
Morado	南アフリカ	<i>O. ficus-indica</i>	緑	白	146	60	14.4
Roedtan	南アフリカ	<i>O. ficus-indica</i>	黄色	オレンジ	171	60.7	14.2
Turpin	南アフリカ	<i>O. ficus-indica</i>	黄色	オレンジ	181	55	13.6
Zastron	南アフリカ	<i>O. ficus-indica</i>	薄い緑	白	137	57.2	13.5
Reyna	メキシコ	<i>O. albicarpa</i>	薄い緑	薄い緑	120	63.7	16.4
Cristalina	メキシコ	<i>O. albicarpa</i>	薄い緑	薄い緑	207	60.2	12.7
Villanueva	メキシコ	<i>O. albicarpa</i>	緑	薄い緑	129	60.9	14.4
Burrona	メキシコ	<i>O. amyclaea</i>	薄い緑	薄い緑	217	59.8	12.7
Roja San Martin	メキシコ	<i>O. ficus-indica</i>	赤紫	紫	116	44.5	13.7
Naranjona	メキシコ	<i>O. megacantha</i>	黄色	オレンジ	170	51.7	13.1
Roja Vigor	メキシコ	<i>O. ficus-indica</i>	明るい赤	赤	174	情報なし	情報なし
Dellahia	モロッコ	<i>O. robusta</i>	薄い緑	薄い緑	100	53.1	14
Moussa	モロッコ	<i>O. ficus-indica</i>	黄色	オレンジ	101	51	14.4
Aissa	モロッコ	<i>O. ficus-indica</i>	黄色	オレンジ	96	50	情報なし
Gialla	イタリア	<i>O. ficus-indica</i>	情報なし	情報なし	103	51	13
Rossa	イタリア	<i>O. ficus-indica</i>	情報なし	情報なし	情報なし	情報なし	情報なし
Bianca	イタリア	<i>O. ficus-indica</i>	情報なし	情報なし	112	53.6	情報なし
Amarilla sin Espinas	アルゼンチン	<i>O. ficus-indica</i>	黄色	緑	情報なし	情報なし	13.9
Ofer	イスラエル	<i>O. ficus-indica</i>	黄色	オレンジ	情報なし	情報なし	情報なし
Verde	チリ	<i>O. ficus-indica</i>	緑	緑	132	49.6	13.3

※Brix 値(糖度): 可溶性糖含量の指標となる値

2. ウチワサボテンの形態的特徴

ウチワサボテンは分厚く肥大した茎を持っているが、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). 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。ウチワサボテンの茎節や果実は多糖類から構成される粘液を含んでいる。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).

ウチワサボテンの茎節と果実は表面にトゲを有する。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). この刺座に隣接するように側芽(生長点)が表皮下に存在しており、ここから新しい茎節や花芽が発生する。そのためウチワ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。*O. ficus-indica* の茎節は1枚60~70cmまで成長し、植物体全体の高さは3.5~5 mにも達する。圃場では定期的に剪定が行われ、植物体のサイズ調整が行われている。またウチワサボテン

果実のトゲは果実の商品価値を下げる形質として扱われている。果実生産に利用される品種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。収穫された果実のトゲは箒や専用の機械、バーナーなどで除去されてから販売されることが多い(FAO and ICARDA, 2017).

3. ウチワサボテン果実の構造と成分

ウチワサボテンの花は、花床が子房を包み込むように発達して子房が花卉やがくより下に位置する子房下位であるため、果実は肥大した果皮と果肉から成る偽果である(FAO, 2013). 果皮と果肉部が可食部となるが、果肉部には多数の種子(100~400個/果実)が含まれる(FAO and ICARDA, 2017). 果実の重さは種や品種によりばらつきがあるが、平均的な重さは100~200 g程度のものである。また果実はノンクライマクテリック型に分類され、成熟に伴う呼吸量やエチレン生成量の増大は観察されない(Cantwell, 1995). 収穫された果実は生食用の他、缶詰、ジャム、シロップ、ジュース、酒類などの加工品としても利用される(Cushman et al., 2015).

ウチワサボテン果実の基本的な栄養成分についてはこれまでに様々な研究で調べられている(El Kossori et al., 1998; Butera et al., 2002; Feugang et al., 2006). 糖類, 食物繊維, ペクチンや粘液が主要な構成要素だが, 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 に達するが, 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). また果肉の 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). ウチワサボテン果実の基本的な栄養成分について表 2 にまとめた.

表 2 ウチワサボテン果実の栄養組成.

(Shetty et al., 2012)より改変.

項目	
果肉(%)	43~57
種子(%)	2~10
果皮(%)	33~55
水分(%)	84~90
Brix値	12~17
pH	5.3~7.1
タンパク質(%)	0.2~1.6
脂質(%)	0.09~0.7
食物繊維総量(%)	0.02~3.1
ビタミン C (mg/100 g)	1~41
カルシウム (mg/100 g)	12.8~59
マグネシウム (mg/100 g)	16.1~98.4
カリウム (mg/100 g)	90~217
ナトリウム (mg/100 g)	0.4~1.5

4. 圃場の構成(栽植方式とスペーシング)

ウチワサボテンの栽植方式(仕立て方)と定植数は圃場の大きさ, 管理方法, 気候, 栽培方法, 販売目的などを考慮して決定される(Inglese, 1995). 栽植方式には主に①株間を詰めた生け垣状(hedgerow)に仕立てる方法と②株間を空けて球状に仕立てる方法がある. 近年は収量増加を目的に栽植密度を高めて生け垣状に仕立てる方法が南アフリカ, イスラエル, アメリカ, アルゼンチンなどの大規模圃場で一般的に採用されている(Nerd and Mizrahi, 1993; Felker and Guevara, 2001; FAO and ICARDA, 2017). 株間と畝間の距離は生産国や圃場に

よって差があるが, 生け垣状に仕立てる場合は株間 1.5~4 m×畝間 4~6 m(830~1666 個体/ha)に設定されることが多い(Bunch, 1996; FAO and ICARDA, 2017). 株間を空けて球状に仕立てる方法はイタリアで広く採用されている(Inglese et al., 1995). こちらの方法では, 株間 4~6 m×畝間 6 m(278~416 個体/ha)が一般的である(Inglese, 1995; Inglese et al., 2002; Tudisca et al., 2015).

5. 定植作業

1) 定植に用いる茎節の用意

果実生産用の茎節は一般に栄養繁殖により生産される. ウチワサボテンは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. 一定のサイズに達した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挿し木することで増殖を行う(FAO and ICARDA, 2017). 定植には茎節が 1 枚のもの(single cutting)または娘茎節を持つ茎節(multiple cutting)が使用される(図 1). いずれの場合もサイズが比較的大きく, かつ病原菌や害虫による被害がないものが選抜される. 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.

single cutting の場合は特に定植する茎節のサイズがその後の娘茎節の発生と成長に強く影響するため, 茎節の表面積が 500 cm²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. また茎節には発生して 1~2 年以内のものが使用されることが多い(Arba, 2009). single cutting は苗の輸送コストが multiple cutting よりも安く抑えられる事, また定植操作が容易になる点でメリットがある(FAO and ICARDA, 2017). 一方, multiple cutting では複数の娘茎節を持つ茎節を定植に使用するため, 発生して 2~3 年経た茎節が使用される. 植物体の倒伏を避けるために, 最も下側の茎節は大部分が地中に埋められる(Inglese, 1995). この方法では植物体の生長が single cutting に比べ早くなり, 早期の開花結実が期待できる(Homrani Bakali, 2013; Nasr, 2015). しかしながら, 定植苗のサイズが大きくなり, また形も均一でないことから, 輸送や定植

作業の効率性は single cutting に比べ劣る。multiple cutting を用いた定植はイタリア・シチリア島の果実生産で広く採用されている(Tudisca et al., 2015)。

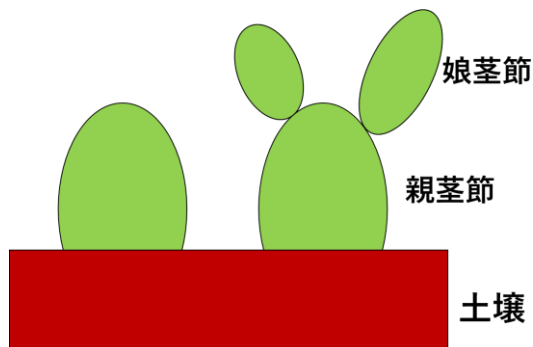


図1 single cutting(左)と multiple cutting(右)

2) 定植方法と定植時期

茎節を植える穴は深さ 50 cm 程度とし、茎節の半分程度を地中に植える。定植する際は茎節の切り口を下側にする。この時、元肥として中に 30 g の窒素を含む化成肥料または有機質肥料を入れておく(Liguori and Inglese, 2015)。土壌が砂質の場合は茎節の倒伏を避けるため若干深めに定植を行う。茎節を植える角度は、垂直に植える方法や 30～45 度程度傾けて植える方法などがあるが、垂直に植えるのが最も一般的である(Inglese, 1995)。また定植する方向は茎節の広い面が通路側を向くようにする(広い面が通路と並行)。こうすることで、茎節が成長した際に通路側に大きくはみ出ることを予防することができる。ウチワ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。

定植時期は栽培する地域の気候により変化する。地中海地域では春の終わり頃に定植を行う。これは地中海地域では春の終わりから初夏の時期に茎節と根の生長がピークに達するためである(FAO and ICARDA, 2017)。夏季に雨が降る地域では初夏に定植しても発根と成長が見込める(Singh, 2006)。冬季が温暖な地域であれば夏半ばまで定植を伸ばす事も可能である。いずれにしても気温が下がる冬季までに茎節に十分に発根させ、冬を乗り切れるようにしておくことが重要である。日本は冬季の気温が低いいため露地で栽培する場合は初春から初夏までに定植することが望ましい。多くのウチワサボテンの生育適温は 15～30℃程度だが、-10～-5℃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やトンネル下での栽培が適当である。

6. 管理作業

1) 雑草の防除

雑草の防除は茎節の生育促進に有効で、特にその効果は定植後間もない若い圃場で顕著である(Inglese et al., 1995)。生育が他の雑草との競合の影響を受けやすいのは、ウチワサボテンが浅く広く分布する根を持つことに起因する(Inglese et al., 1995; Snyman, 2005)。これまでに、十分に成長したウチワサボテンの根は深さ 40～470 mm の範囲に約 95 % が分布すること、また定植後 2 年の茎節でも周囲 2.5 m の範囲にまで根を伸ばす事が報告されている(Nobel and De la Barrera, 2003; Snyman, 2006)。雑草の防除には様々な方法があるが、耕耘や雑草を引き抜く際にはウチワサボテンの根を痛める危険性があるので注意が必要である。日本のように降水量の多い地域では、マルチングなどで雑草を繁茂させないようにする対策が有効と思われる。

2) 施肥

必須元素など肥料成分の欠乏はウチワサボテン果実の収量と品質に悪影響を与える(Zegbe Dominguez et al., 2014)。土壌中の肥料成分は茎節に吸収され、また降雨などにより圃場から溶脱するので、毎年一定量を施肥する必要がある。施肥の方法には追肥として圃場に有機質肥料または化成肥料を散布する方法、灌液に希釈して与える方法などがある。FAO と ICARDA による報告書(2017)では茎節の生育段階に応じて、毎年窒素を 50～100 kg/ha、リンを 10～30 kg/ha、カリウムを 20～50 kg/ha、マグネシウム 10～40 kg/ha 与えることが推奨されている。

3) 灌水

ウチワサボテンが半乾燥地域や灌水設備のない環境で広く栽培されているのは、乾燥に対する耐性が強く、また水利用効率が高いことが大きな理由である(Han and Felker, 1997; Zegbe Dominguez et al., 2015)。ウチワサボテンは年間降水量が 200 mm の地域でも生存することができるが、果実生産には年間 400～600 mm 程度の降水

量が望ましい(FAO and ICARDA, 2017). 実際には土壌の保水性などの性質も、順調な生育に必要な降雨の量に影響する。降水量が少なくてもウチワサボテン果実の生産は可能だが、年間降水量が 300 mm 以下の地域では補給灌水が推奨される (Mulas and D'Hallewin, 1997; Van der Merwe et al., 1997). また降水量が例外的に少ない年や、乾季での灌水も果実の生産性向上に有効である。冬季に降雨の大部分が集中する地中海地域では、夏季の灌水は高い生産性や品質の維持には不可欠となっている(Mulas and D'Hallewin, 1997; Homrani Bakali, 2013). イタリア、イスラエル、ヨルダン、モロッコ、チリなど冬季に降水量の多い地域では、補給灌水は広く行われている(FAO and ICARDA, 2017).

補給灌水の効果はこれまでによく調べられており、果実の収量だけでなく茎節の発生数や伸長速度にも促進的な効果をもたらすことが報告されている(García de Cortázar and Nobel, 1992; Mulas and D'Hallewin, 1997). また灌水の効果はウチワサボテンの発達段階によって変化し、果実発達期での灌水が果実重量や果肉比率の増加に有効であることが明らかとなっている(Zegbe Dominguez et al., 2015). Gugliuzza ら (2002b)は果実発達期での 2~3 回の灌水(60~100 mm)が果実品質と収量を向上させることを報告している。次に灌水には様々な方法があるが、チューブを使ったドリップ灌水とスプリンクラーの利用が一般的である(Inglese, 1995). スプリンクラーは広範囲に散水することができ、浅く広い根をもつウチワサボテンに適している。

日本のように年間を通じて降水量の多い地域では、露地栽培する場合は補給灌水の必要性は少ないと思われる。国内にも野菜生産(若い茎節)を目的にウチワサボテンを露地栽培している生産者は存在しており(愛知県春日井市)、国内でも果実の露地生産は可能と思われる。ウチワサボテンは水耕栽培が可能ほど耐湿性は高いが(Horibe, 2017)、露地栽培する際は土壌病害を避けるためにもある程度排水性の高い土を使用するのが適当である。

4) 剪定作業

他の多くの果樹と同様に、ウチワサボテンの栽培にお

いても樹形の調節、光合成の促進、栄養生長と生殖生長の調節などを目的に剪定が行われる。剪定の仕方どのような樹形に仕立てるか(生垣状、球状)によって若干異なるが、最も重要な点は茎節に十分に光を当て光合成を促し、果実の生産性と品質を向上させる事である(FAO and ICARDA, 2017). 花芽は通常、主に最も外側に位置する茎節から発生する。十分に光を受けている茎節は開花・結実するが(Nerd and Mizrahi, 1995)、日陰にある茎節は一般に花芽をあまりつけず、さらに不稔になることもある(Inglese et al., 2010). また植物体が大きくなりすぎると収穫作業が困難になり、さらに他の株が陰に隠れて光合成が阻害されてしまう。従って適切な剪定を行い、各茎節に光が十分に当たるよう樹形を整えることが重要である(図 2). 梯子や脚立を使わずに収穫を行うためには、植物体の高さが 1.8 m を超えないように剪定により調節することが望ましい(Nasr, 2015). ウチワサボテンを連続した生垣状に仕立てる場合は、植物体の高さが畝間の距離の 80%を超えないようにすることで、隣の畝にある株が陰に覆われることを防ぐことができる(Stassen et al., 1995). 剪定の頻度は栽培環境や仕立て方によって異なるが、新しく発生した茎節のおおよそ 20~50%は剪定により除去される(Oelofse et al., 2006). しかしながら、過度の剪定はその年の果実収量を下げ、また次の年の旺盛な栄養生長を誘導するので注意が必要である(Inglese et al., 2002).

剪定は植物体の若返り(樹勢の回復)にも用いられる。定植後の年数が長い圃場では果実の生産性が落ちることがある(Mulas and D'Hallewin, 1992). 若返りを目的とする場合は、植物体を地上 0.5 m 程度残して全て切り戻しを行う(FAO and ICARDA, 2017). この時、新しい茎節の発生のために3~4本の太い茎節を残すようにする。切り戻した植物体は既に十分根を張っているため、剪定後 2~3 年頃には再び花芽をつけるようになる(Mulas and D'Hallewin, 1992).

5) 摘果作業

一般に市場におけるウチワサボテン果実の価格は果実の大きさ(果実重)に大きく依存しており、大きな果実ほど高値で取引される(FAO and ICARDA, 2017). 果実重

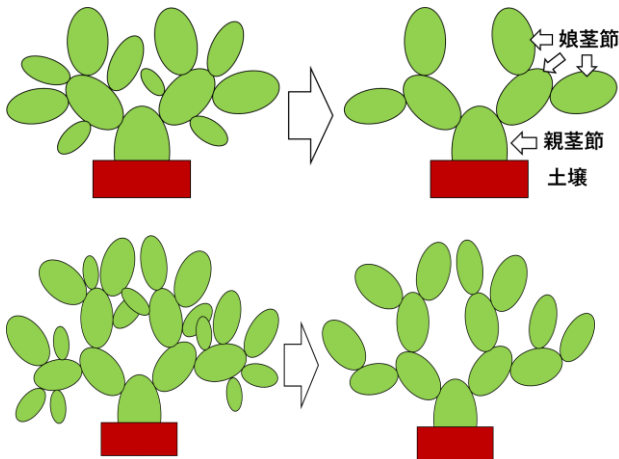


図2 定植2年後(上), 3年後(下)の剪定作業。

(Liguori and Inglese, 2015)より改変。

には水の利用状況や施肥量などが影響するが、最も強く影響するのは茎節への着果数である(Ochoa et al., 2002; Brutsch, 1992; Inglese et al., 1995)。1枚の茎節には通常3~7個程度の花芽が形成されるが、日の良くあたる位置にある茎節には25個以上の花芽ができる場合もある(Liguori and Inglese, 2015)。さらにウチワサボテンの花芽は発達中に器官離脱することが少なく、また結実率も95%程度と非常に高い(FAO and ICARDA, 2017)。そのため摘果作業を行わないと着果数が過剰となって果実重が小さくなり、また重さに耐えられず茎節が折れてしまうこともある。Brutsch(1992)は摘果された茎節では摘果が行われていない茎節に比べて果実が大きくなる事を報告している。その他にも、摘果は果実中糖含量の上昇など品質向上にも有効であることが示されている(Zegbe Dominguez and Mena Covarrubias, 2010a, b)。

摘果は茎節から発生した花芽を除去することで行われるが、受粉後3週間以降では摘果を行っても果実サイズを大きくする効果が低い。そのため摘果作業は花芽発生後早期に行われる必要がある(Gugliuzza et al., 2002a)。Ingleseら(1994)は、120g以上の果実を得るためには茎節1枚当たりの着果数を6個以内にすることが有効であることを報告している。また南アフリカの圃場の多くでは、茎節1枚当たりの着果数ではなく、果実間の距離が50~70mmとなるように摘果を行うことが標準となっている(FAO and ICARDA, 2017)。この方法では果実間に十分なスペースを残すことで、生育期間や収穫作業時に果

実同士がこすれて痛むことを防ぐ効果もある。

ウチワサボテンの開花習性で注目すべき点は、夏に花芽をつけた茎節が再び秋に開花するなど、同じ個体(茎節)が1年間に繰り返し開花・結実できることである。ウチワサボテン果実は一般に夏に最も収量が多いが(栽培地の気候により変化)、秋など通常の収穫期と異なる時期に収穫された果実は流通量から価格が高くなる。このウチワサボテンの開花習性を利用し、摘果を利用した収穫時期の調節が広く行われている。特に有名なのは、イタリアのウチワサボテン果実生産でスタンダードとなっている「scozzolatura」という摘果技術である。この方法では春先に発生した新しい茎節と花芽を全て除去する。すると花芽を除去された茎節上で2回目の花芽形成が誘発され、通常よりも6~8週遅く果実が収穫期を迎える(Barbera et al., 1991, 1992)。発生する花芽の総数は少なくなるが、果実の価格が高い時期に収穫を迎える(Boujghagh and Bouharroud, 2015)。そのため摘果作業により下がった収量を価格で補うことができる。

7. 果実の収穫作業

定植方法(single cutting または multiple cutting)や栽培環境によって変化するが、ウチワサボテンは定植後2~3年で開花・結実するようになる。収穫時期は夏~秋頃となる場合が多いが、冬の気温が比較的温暖な地域では冬季に収穫が行われることもある(Liguori and Inglese, 2015)。果実の収穫適期を判断する指標は生産国ごとに異なるが、収穫時期の目安として、果皮色、果実中の可溶性糖含量、還元糖の割合、果実硬度、果実表面のトゲの離脱しやすさ、などが利用される(FAO and ICARDA, 2017)。

ウチワサボテン果実の表面にはトゲが多く存在し、収穫作業には困難が伴う。このトゲは鋭い上に果実表面から離脱しやすいため、収穫時にはグローブや保護メガネの使用が推奨される。湿度の高い朝方はトゲの離脱や空気中での浮遊が起きにくいいため、この時間帯に収穫作業が行われることが多い(FAO and ICARDA, 2017)。また収穫時の注意すべき点は、ウチワサボテンの果実は非常に柔らかく、雑な扱いをするとすぐに傷んでしまうことである。果肉の傷やへこみは果実の保存期間の短縮

や病害菌の繁殖の原因となる。手で果実をひねって収穫すると果肉が痛んだり、果実の茎節側との接点にある果皮が破れたりすることがある。従ってナイフやハサミを使って収穫し、果実に強い力がかからないようにすることが望ましい。収穫後の輸送時においても同様に、包装資材の利用など果実に負荷をかけない工夫が必要である。

8. 圃場の生産性

果実は発生後 1 年以内の茎節(一番外側にある茎節)に形成され、発生後 2 年目以降の茎節からは新しい茎節が形成されることが多い(Inglese et al., 1994)。ウチワサボテンの花成時期には、樹齢、光量、降水量、剪定や摘果の有無などが影響する(Nobel and Bobich, 2002)。また乾物重が重い茎節はより多くの花芽(果実)を茎節上に形成することが報告されている(García de Cortázar and Nobel, 1992)。圃場の生産性は定植後 6~8 年頃に生産量のピークを迎えるが、適切な栽培管理下では定植後 25~30 年以上は高い生産性を維持することができる(FAO and ICARDA, 2017)。

果実収量はメキシコの大部分の圃場では年間 2~8 t/ha だが(Pimienta Barrios, 1994)、灌水の行われている圃場では年間 25 t/ha に達する(Gallegos Vazques et al., 2009)。アルゼンチンの灌水設備のない圃場では年間 8~11 t/ha、灌水が行われている圃場では年間 22 t/ha 程度である(FAO and ICARDA, 2017)。イスラエルやイタリアの圃場は生産性が高く、年間収量は 20~30 t/ha に達する(Nerd et al., 1993; FAO and ICARDA, 2017)。また南アフリカ・カルーやアメリカ・テキサス州では年間収量が 50 t/ha を越える圃場も報告されている(Brutsch, 1979; Parish and Felker, 1997)。このようにウチワサボテン果実の収量は栽培されている地域や栽培方法による差が非常に大きい。果実の収量には、圃場のある土地の気候、栽培している品種、圃場の茎節定植数や仕立て方、灌水の有無などが影響すると考えられている(Nerd et al., 1991; Inglese, 1995)。

9. 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。ウチワサボテンの果実は生食や加工品として世界の広い地域で利用されており、食味も良好である。またビタミンやカルシウムなどのミネラルが豊富に含まれており、機能性野菜としてのポテンシャルを有している。現在広く流通している青果物に対して新たな機能性を見出すことも行われているが、新しい機能性食品の発掘は国内の農業生産分野や食品産業に対するインパクトがより大きいと考えられる。

本稿ではウチワサボテン果実の基本的な生産方法について解説した。本稿が国内におけるウチワサボテン果実の普及や生産拡大の一助となれば幸いである。

引用文献

- Arba, M. 2009. Rooting of one year and second year old cladodes of cactus pear. *Acta Hortic.* 811, 303-307.
- Barbera, G., Carimi, F., Inglese, P. 1991. The reflowering of prickly pear *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, influence of removal time and cladode load on yield and fruit ripening. *Adv. Hortic. Sci.* 5, 77-80.
- Barbera, G., Carimi, F., Inglese, P., Panno, M. 1992. Physical, morphological and chemical changes during fruit development and ripening in three cultivars of prickly pear *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. *J. Hortic. Sci.* 67(3), 307-312.
- Boujghagh, M., Bouharroud, R. 2015. Influence of the timing of flowers and young cladodes removal on reflowering and harvest periods, yields and fruit quality of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*). *Acta Hortic.* 1067, 79-82.
- Brutsch, M. O. 1979. The prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) as a potential fruit crop for the drier regions of the Ciskei. *Crop Prod.* 8, 131-137.

- Brusch, M. O. 1992. Crop manipulation in spineless prickly pear *Opuntia ficus-indica* in South Africa. In: Proceedings of the Second International Conference on Prickly Pear and Cochineal. Santiago, pp. 40-47.
- Bunch, R. 1996. Cactus pear products at D'Arrigo Bros. J. Prof. Assoc. Cactus Dev. 1, 100-102.
- 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.
- Cantwell, M. 1995. Post-harvest management of fruits and vegetable stems. In: Barbera, G., Inglese, P., Pimienta Barrios, E., eds. Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO Plant Production and Protection Paper No. 132. Rome, pp. 120-141.
- Cushman, J. C., Davis, S. C., Yang, X., A. M. Borland. 2015. Development and use of bioenergy feedstocks for semi-arid and arid lands. J. Exp. Bot. 66: 4177-4193.
- 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.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2013. Crop ecology cultivation and uses of cactus pear. Agro-industrial utilization of cactus pear.
- 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.
- Felker, P., Guevara, J. C. 2001. An economic analysis of dryland fruit production of *Opuntia ficus-indica* in Santiago del Estero, Argentina. J. Prof. Assoc. Cactus Dev. 20-30.
- 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.
- 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.
- Gallegos Vazques, C., Mondragon Jacobo, C., Reyes Agüero, J. A. 2009. An update on the evolution of the cactus pear industry in Mexico. Acta Hortic. 811, 69-76.
- Garcia de Cortazar, V., Nobel, P. S. 1992. Biomass and fruit production for the prickly pear cactus, *Opuntia ficus-indica*. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 117, 558-562.
- Gugliuzza, G., Inglese, P., Farina, V. 2002a. Relationship between fruit thinning and irrigation on determining fruit quality of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruits. Acta Hortic. 581, 205-210.
- Gugliuzza, G., La Mantia, T., Inglese, P. 2002b. Fruit load and cladode nutrient concentrations in cactus pear. Acta Hortic. 581, 221-224.
- Han, H., Felker, P. 1997. Field validation of water-use efficiency of the CAM plant *Opuntia ellisiana* in south Texas. J. Arid Environ., 36, 133-148.
- 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.
- Homrani Bakali, A. 2013. Impact of irrigation frequencies on the installation and the production of two forms of *Opuntia ficus-indica*. *Acta Hort.* 995, 145-156.
- Horibe, T. 2017. A Cost-Effective, Simple, and Productive Method of Hydroponic Culture of Edible *Opuntia* “Maya”. *Environmental Control in Biology*, 55, 171-174.
- Inglese, P. 1995. Orchard planting management. In: Barbera, G., Inglese, P., Pimienta Barrios, E., eds. *Agro-ecology cultivation and uses of cactus pear*, FAO Plant Production and Protection Paper No. 132. Rome, pp. 78-91.
- Inglese, P., Israel, A. I., Nobel, P. S. 1994. Growth and CO₂ uptake for cladodes and fruit of the Crassulacean acid metabolism species *Opuntia ficus-indica* during fruit development. *Physiol. Plant.* 91, 708-714.
- Inglese, P., Barbera, G., La Mantia, T., Portolano, S. 1995. Crop production, growth and ultimate fruit size of cactus pear following fruit thinning. *HortScience* 30, 227-230.
- Inglese, P., Gugliuzza, G., La Mantia, T. 2002. Alternate bearing and summer pruning of cactus pear. *Acta Hort.* 581, 201-204.
- Inglese, P., Costanza, P., Gugliuzza, G., Inglese, G., Liguori, G. 2010. Influence of within-tree and environmental factors on fruit quality of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) in Italy. *Fruits* 65, 179-189.
- 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.
- 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.
- Kuti, J.O., Galloway, C. M. 1994. Sugar Composition and invertase activity in prickly pear fruit. *J. Food Sci.* 59, 387-388.
- 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.
- Mauseth, J.D. 2006. Structure-function relationships in highly modified shoots of cactaceae. *Ann. Bot.* 98, 901-26.
- Mulas, M., D'hallewin, G. 1992. Improvement pruning and the effects on vegetative and yield behaviour in prickly pear (*Opuntia ficus-indica* Mill.) cultivar ‘Gialla’. *Acta Hort.* 296, 139-146.
- Mulas, M., D'hallewin, G. 1997. Fruit quality of four cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Mill.) cultivars as influenced by irrigation. *Acta Hort.* 438, 115-121.
- Nasr, Y. 2015. Cactus pear in Jordan: current status, potential and opportunities. *Acta Hort.* 1067, 299-303.

- Nerd, A., Mizrahi, Y. 1993. Modern cultivation of prickly pear in Israel. *Acta Hortic.* 349, 235-237.
- Nerd, A., Mizrahi, Y. 1995. Reproductive biology. In: Barbera, G., Inglese, P., Pimienta Barrios, E., eds. *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO Plant Production and Protection Paper No. 132. Rome, pp. 49-57.
- Nerd, A., Karadi, A., Mizrahi, Y. 1991. Out of season prickly pear: fruit characteristics and effect of fertilisation and short droughts on productivity. *J. Hortic. Sci.* 26, 527-529.
- Nerd, A., Mesika, R., Mizrahi, Y. 1993. Effect of N fertiliser on autumn floral flush and cladode N in prickly pear *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. *J. Hortic. Sci.* 68, 545-550.
- 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.
- Nobel, P. S., De la Barrera, E. 2003. Tolerances and acclimation to low and high temperatures for cladodes, fruits and roots of a widely cultivated cactus, *Opuntia ficus-indica*. *New Phytol.* 157, 271-279.
- Ochoa, M. J., Leguizamon, G., Uhart, S. A. 2002. Effects of nitrogen availability on cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. Mill.) postharvest quality. *Acta Hortic.* 581, 225-230.
- Oelofse, R. M., Labuschagne, M., Potgieter, J. P. 2006. Plant and fruit characteristics of cactus pear (*Opuntia* spp.) cultivars in South Africa. *J. Sci. Food Agric.*, 86, 1921-1925.
- Parish, J., Felker, P. 1997. Fruit quality and production of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones selected for increased frost hardiness. *J. Arid Environ.* 37, 123-143.
- Pimienta Barrios, E. 1994. Prickly pear (*Opuntia* spp.): a valuable fruit crop for the semiarid lands of Mexico. *J. Arid Environ.* 28, 1-11.
- Pimienta Barrios, E., Muñoz-Urías, A. 1999. Domesticacion de nopales tuneros (*Opuntia* spp.) y descripcion de las principales variedades cultivadas. In: Barbera, G., Inglese, P., Pimienta Barrios, E., eds. *Agroecologia, cultivo y usos del nopal*. FAO Plant Production and Protection Paper 132. Rome, pp. 61-67.
- Shetty, A. A., Rana, M. K., Preetham, S. P. 2012. Cactus: a medicinal food. *J. Food Sci. Technol.* 49, 530-536.
- Singh, G. 2006. An overview of cactus pear research and development in India. *Acta Hortic.* 728, 43-48.
- Stassen, P. J. C., Davie, S. J., Snijder, B. 1995. Principles involved in tree management of higher density avocado orchards. *S. Afr. Avoc. Grow. Assoc. Yearb.* 18, 47-50.
- 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.
- Snyman, H.A. 2005. A case study on *in situ* rooting profiles and water-use efficiency of cactus pears, *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta*. *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.* 7, 1-21.

Snyman, H.A. 2006. Root distribution with changes in distance and depth of two-yearold cactus pear *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta* plants. S. Afr. J. Bot. 72, 434-441.

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.

Tudisca, S., Di Trapani, A.M., Sgroi, F., Testa, R. 2015. Costs, revenues and income of Sicilian farms that cultivate cactus pear. Acta Hort. 1067, 371-377.

Van Der Merwe, L. L., Wessels, A. B., Ferreira, D. I. 1997. Supplementary irrigation for spineless cactus pear. Acta Hort. 438, 77-82.

Zegbe Dominguez, J. A., Mena Covarrubias, J. 2010a. Two reproductive bud thinning alternatives for cactus pear. HortTechnol. 20, 202-205.

Zegbe Dominguez, J. A., Mena Covarrubias, J. 2010b. Postharvest changes in weight loss and quality of cactus pear undergoing reproductive bud thinning. J. Prof. Assoc. Cactus Dev. 12, 1-11.

Zegbe Dominguez, J. A., Serna Perez, A., Mena Covarrubias, J. 2014. Mineral nutrition enhances yield and affects fruit quality of 'Cristalina' cactus pear. Sci. Hortic., 167, 63-70.

Zegbe Dominguez, J.A., Serna Perez, A., Mena Covarrubias, J. 2015. Irrigation enhances postharvest performance of 'Cristalina' cactus pear fruit. Acta Hort. 1067, 417-422.

Title : Fruit Production of Edible Cacti.

Author(s) : Takanori Horibe

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

Keywords : edible cacti, cultivation, fruit, nutrition, usage