

新型サンドポニックスによる工業的作物生産

Industrial Cultivation Using the Latest Sandponics System

馬場 将人*
Masato Baba

池口 直樹
Naoki Ikeguchi

サンドポニックスは、土からの脱却と温室の導入という現在の太陽光利用型植物工場に通じる理念に基づき、世界に先駆け1970年代に開発された当社独自の作物栽培システムである。サンドポニックスは当初より生産物の優れた食味において競合する他の栽培システムに対し優位性を保ってきたが、最近になりシステムが改良され、簡易な給水管理と設備費用の低減、さらなる食味向上が可能となった。最も市場性のある野菜であるトマトをモデル作物としてサンドポニックスで栽培したところ、ポリウムがありかつおいしいと評される適度な甘みをもつ従来にないトマトの生産に成功した。サンドポニックスは国内外の高品質作物需要に応える作物栽培システムとして期待される。

Sandponics is a unique cultivation system self-developed in 1970s ahead of the world based on the principle that leads to a sunlight-based modern plant factory utilizing a soil-free and greenhouse facility. Since the start of its development, the system has maintained competitive advantages of the high productivity and quality. Improved recently, the system now enables simple water supply management, reducing facility cost and further enhancing quality enhancement. We cultivated tomatoes, the most marketable vegetable, as a model, and successfully created an unconventional tomato fruit characterized by its volume and proper sweetness, receiving a high reputation, "tasty." Sandponics is expected to be a promising cultivation system that satisfies the demand for high quality vegetables both inside and outside Japan.

キーワード：農業ビジネス、作物栽培システム、サンドポニックス、食味、品質保証

1. 緒言

わが国の野菜生産量は農家の高齢化および減少により年々減少し、野菜出荷量(全国)は1993年から2012年の20年間で1363万tから1072万tへと21.4%減少、市場規模を示す卸売価格は2兆9,893億円から2兆1,182億円へと29.2%減少した(総務省統計局)。また環太平洋連携協定(TPP)交渉の進展に伴い、農産物においても国際競争力の強化が叫ばれるなど、わが国の農業をめぐる国内外の情勢は厳しさを増している。一方、2009年の農地法改正により企業の農業参入の規制が緩和されたことで、国内における農業ビジネスの機運はとみに高まってきた。

当社は国内農業をいちはやく活性化すべきとの判断から、1970年代にサンドポニックスの開発に着手した。その基本思想は農業の工業化^{(1),(2)}であり、工業において実用化されている装置化・システム化による生産管理方式の導入により、農業を工業に匹敵する産業に発展させて、衰退しつつある国内農業の再生に寄与することを目的としたものであった。また、工業化農業は工業同様に知財化により技術の攻守を充実させ海外展開を視野に入れたビジネスモデル構築も可能とされている。

本稿では、当社が農業の工業化に向けて開発してきたサンドポニックスに関する最新の研究成果を報告する。

2. サンドポニックスの特徴と課題

サンドポニックスは当社が独自に開発した砂を培地に用いた作物栽培システムであり、1979年に販売を開始した。サンドポニックスは温室を利用した周年栽培により生産性の向上を図る施設園芸栽培のひとつで、現在の太陽光利用型植物工場の先駆けである。そのシステム構成は当社規格に適合した砂を充填した通気底ベッド・点滴給水装置・液体肥料希釈装置から成り、土が持つ不安定な要因を排除して作物の安定生産を実現する当時としては画期的なシステムであった(図1)⁽³⁾。

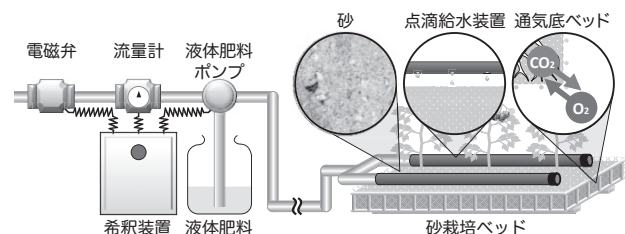


図1 サンドポニックス構成

当社が農業ビジネスに参入するにあたっては、独自技術であるサンドポニックスが競合作物栽培システムと拮抗し、か

つ独自の付加価値を提供することが期待される。ただ、最近の栽培方式において土からの脱却はさして珍しくなく、農業先進国オランダを規範とする太陽光利用型植物工場（高度な施設栽培）では、保水性・軽量性・使い捨てによる安定性の維持に優れたロックウールなどを培地とする作物栽培システムの導入が盛んである。そこで、サンドポニックスの特徴について改めて考察した。

表1 作物栽培システムの比較

	養液栽培			土耕
	サンドポニックス (砂)	軽量培地耕 (ロックウール、ヤシガラなど)	水耕 (培地不要)	
土壌水分張力の作用 (食味向上効果)	○ ¹	×	×	△
培地品質の安定性	○ ²	○	—	×
連作障害	なし (培地交換不要)	なし (1-2作毎に培地交換必要)	なし (殺菌必要)	あり
土壌病害の発生	なし	なし	なし	あり
培地の廃棄性	○	×	—	○
トマト1株に必要な 培地重量	×	○ (0.4 kg)	○ (0 kg)	—
栽培容器のコスト	×	○ (低耐荷性)	○ (低耐荷性)	○ (不要)

¹ 作物の水分吸収を自在にコントロール可能
² SEIが砂の選定基準（粒径、pH等）を規格化

表1に作物栽培システムの比較結果を示す。砂・ロックウールなどの培地の物理性、化学性は、作物栽培システムを特徴づける最も重要な要素である。培地は適度な容水量（空隙量とほぼ一致）と土壌水分張力（水分の吸着力）を均一に持ち、経年劣化しにくいこと、軽量かつ安価であり、入手および廃棄が容易であることが期待される。砂は、ロックウールより大きな土壌水分張力を有する点が最大の特徴である。そのため砂中の水分はロックウール中の水分より作物に利用されにくく、作物中の水分が低下し成分が濃縮されることで、食味が向上する。また砂は経年劣化しにくく、病害虫が繁殖しにくいいため、培地品質が安定している。より本質的には、砂は独立した粒子の集合からなる単粒構造培地であり、土などの各種粒子からなる塊がさらに集合した団粒構造培地とは異なり、土づくりと総称される培地構造の維持が不要である。さらに砂は自然界に豊富に存在しているので入手しやすく、産業廃棄物であるロックウールとは異なり廃棄しやすい。一方、砂は容水量がロックウールの半分以下であるために高精度な水分管理が必要であり、ロックウールの約20倍重く培地を支える栽培ベッドが割高となる課題がある。これらの特徴と課題を踏まえて、我々はサンドポニックスを改良した。

なお、我々は以下に示す優れた特徴をもつトマトをシステム評価のモデル作物に採用した。

(a) 市場性

- ①野菜・果物で国内最大規模（2,051億円、生産農業所得統計2011）で成長市場
- ②世界的にも最大規模（野菜類で最大、FAO、2010）で成長市場

- ③日本人の年間摂取量は世界平均の48%であり伸びしろがある
- ④生産者の推定売上高は野菜で最大（年間850万円、当社試算）

(b) 高付加価値化

- ①味の差異を出しやすく糖度上昇と価格上昇に明らかな正の相関性がみられる作物
- ②栽培工程の制御・管理要素が多い
- ③サンドポニックスによる糖度上昇が見込める

(c) モデル作物

- ①葉、花、果実 全ての生育段階が含まれ、技術を応用転換しやすい

3. サンドポニックスの改良

競合となるロックウール栽培の特徴は、給水の簡易性と培地重量が軽いことによる設備費用の低さである。まず我々は、砂における好適水分条件の発見による給水の簡易化を行った。

ロックウールは給水管理に精度が要求されない培地であるが、砂は高精度な給水管理下でのみ安定して作物を栽培できることが実証されている。作物栽培試験において、サンドポニックス標準肥料に含まれるアンモニアが蓄積し、作物の成長停止により栽培が失敗する場合（図2A）と、アンモニアが酸素と反応して硝酸となる硝化作用（図2B）が進みアンモニアが蓄積せず、栽培が成功する場合は観察された。これらの栽培条件の違いから示唆された好適水分値を目標に給水管理を行うと、予想通り作物は良好に生育した。その後決定した好適水分値を基準とするフィードバック給水制御により、マニュアル化された簡易な給水管理を実現した。最後にたとえ蓄積しても毒性が小さい硝酸態窒素を含む肥料を併用し、成長停止を根絶した。

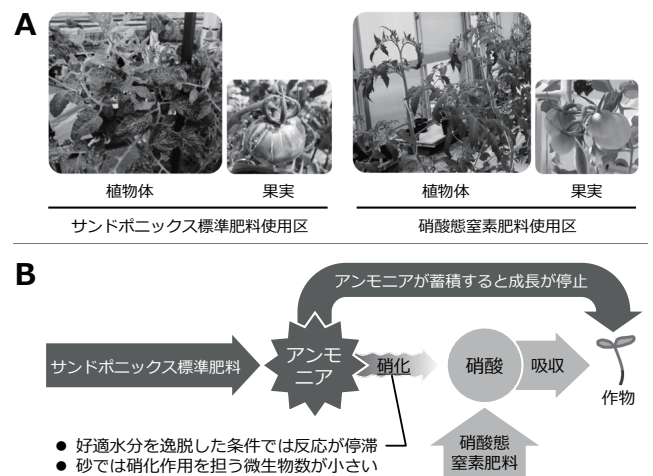


図2 生育異常の症状 (A) と発生モデル (B)

さらなる給水の簡易化を目的に新型サンドポニックスを開発した(特許出願済み)。従来型と新型の装置構成を図3に、機能を表2に比較して示す。

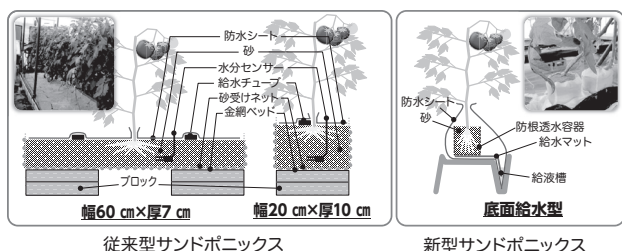


図3 従来型および新型サンドポニックスの装置構成比較

表2 従来型および新型サンドポニックスの機能比較

	従来型サンドポニックス		新型サンドポニックス
	幅60 cm×厚7 cm	幅20 cm×厚10 cm	底面給水型
調節性	△	×	○
自動化	△	△	○
トマト1株に必要な培地量	× (100%)	△ (47%)	○ (3%)
節水性	× (100%)	△ (47%)	○ (14%)
栽培設備費	× (100%)	△ (51%)	○ (25%)
新技術特徴	<ul style="list-style-type: none"> 水分センサー測定値に基づきフィードバック給水制御 過去の水分変化データに基づき水分予測 水分センサーによる可視化で水分枯渇を回避 	<ul style="list-style-type: none"> 水位調節を介した連続水分制御 軽量化およびユニット化 水位による可視化で水分枯渇を回避 	<ul style="list-style-type: none"> 水位調節を介した連続水分制御 軽量化およびユニット化 水位による可視化で水分枯渇を回避
糖度	7-9 (吸水制限) 5-6 (通常)	(評価中)	7-9 (吸水制限)
1000 mあたり年間換算収量	18 t (吸水制限) 34 t (通常)	(評価中)	29 t (吸水制限)

新型サンドポニックスでは培地の土壌水分張力を駆動力に給水を行う底面給水方式を採用した。給液槽の水位調節により給水圧力を無段階調節でき、従来型以上に高精度な水分制御が可能である(図4)。

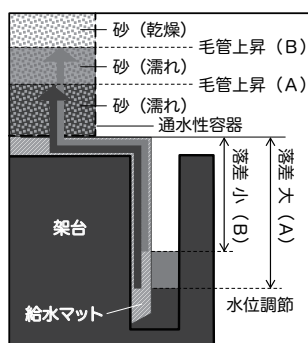


図4 新型サンドポニックスの水分制御

従来型サンドポニックスが採用した点滴給水方式が間欠的であるのに対し、底面給水方式は連続的であり、水分条件の維持がよりしやすい。砂の土壌水分張力は吸水の駆動力とし

て十分大きく、かつ25年以上栽培に使用した後でも性能低下は僅かであり、底面給水に適している。底面給水方式は培地表面からの水分蒸発が起こりにくいため節水となり、水消費量は従来型から86%減少した。

好適水分条件の発見による給水の簡易化や、給水方式の変更により水分条件の維持が容易となったので、大量の砂で水分変化を緩衝する必要がなくなり、砂量の削減が可能となった。従来型では砂量を半減しても安定した栽培が可能となり、底面給水型では当初の砂量から97%削減できた。砂量の削減による設計の見直しにより、栽培設備費用は改良型で49%、新型で75%低下すると試算され、ともに標準的なロックウール栽培システムより安価となった。

サンドポニックスの特徴をさらに際立たせるため、水分が枯渇する直前まで砂への給水を控えることで、飛躍的な成分濃縮と食味の向上を狙う吸水制限処理を導入した。吸水制限処理は公知の技術であるが、同時に生じる培地の水分枯渇の危険性を排除する方法は確立されていなかった。しかし砂は単粒構造培地であり、長期に渡って物理化学性が変化しないため、水分枯渇の発生を予測し、制御することで安全な吸水制限処理が可能となった。吸水制限処理以外にも成分濃縮を引き起こす方法はあるが、本処理は砂の特長を活かし、別途塩類などを添加することなく、節水的な水分管理の延長として行う方法であり、サンドポニックスの特徴を十分活かした栽培技術である。

以上により、サンドポニックスの課題であった水分管理と設備費用を改善する一方、特徴である食味の向上をさらに強化した。

4. サンドポニックス生産物の食味品質評価

作物取引において優先される品質は食味や外観、供給安定性である。すなわち食味の良い作物は高価格で取引される傾向がある。ただ、サンドポニックス生産物の食味の良さを主張するためには、その品質を評価する必要がある。

試食は食味の評価手法として最も基礎的であるが、その結

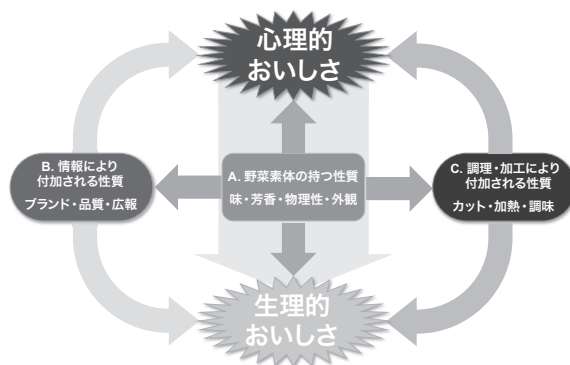


図5 おいしさの構成要素

果は生理的おいしさに対して心理的おいしさで定義される要素によっても影響を受けるため客観性を欠き、品質保証に用いることができない(図5)。

一方、客観性に富む成分分析は、以下の特徴を備えるトマトにおいては評価手法として不十分である。

- (a) 複雑性：味に対する微量成分の寄与率が大きく複雑で、分析や再現が困難
- (b) 構造的性：外果皮・中果皮・内果皮・子室組織と部位ごとに味や食感が異なり、部位毎に評価が必要であるが、その場合試食の結果と照合不可能
- (c) 環境性：輸送条件や調理といった管理不能な外因があるべき姿を大きく左右

その点、例えば糖度(可溶性固形成分濃度・Brix)は、試食評価と相関性がある成分として見出され、国内の消費者に受け入れられつつある。このように試食評価との相関性がある成分の計測が品質保証として一部で実用化されている。

吸水制限処理により、サンドポニックスでは市場の普通品から高級品相当まで広範な糖度のトマトを生産できる。このうち国内市場において高価格が狙えるのは高糖度のトマトである。実際、サンドポニックスで生産した高糖度トマトサンプルは、社外バイヤーから普通品を大幅に上回る評価を得ており、高糖度トマトの生産に目処をつけた。

一方、高級品に見られる極端な高糖度のトマトには、果実重量の低下による収量の減少や硬い食感などの問題点がある。そこで普通品と高級品の狭間に位置する、ボリュームがありかつやや高糖度のトマトが生産者と消費者の両方にとって魅力的な生産物となる。収量と食味を両立したトマトの生産は、精緻な水分制御が可能なサンドポニックスの極意でもある。

試験的に行った社内試食会において、現時点における当社のバランス型トマトサンプルは「皮が口内に残らない/食感がやわらかい/香りが良い/みずみずしい」と評され、「色、形が良い/甘くない/みずみずしさが無い」と評されたA社品(代表的市販高リコピントマト)より高く評価され、「甘い/皮が口内に残る/食感がかたい/小さい」と評されたB社品(代表的市販高糖度トマト)に肉薄する結果を得た。

このようにサンドポニックスではボリュームがありかつおいしいと評される適度な甘みをもつ従来にないトマトを生産することができる。食味向上を特徴とするサンドポニックスは、国内外の高品質作物需要に応えうる作物栽培システムと言える。トマトをモデルに培った栽培技術や食味の品質保証は他の高単価作物にも応用でき、独自規格を共有する商品群としてのブランド展開も期待できる。

5. 結 言

当社の独自技術であるサンドポニックスは当初より生産物の優れた食味において競合に対し優位なシステムであったが、最近になり簡易な吸水管理と設備費用の低減、さらなる

食味向上を可能とするシステムに改良された。食味の品質保証方法について検討した上で試験的に行った社内試食会では、ボリュームがありかつおいしいと評される適度な甘みをもつ従来にないトマトを生産するという目標に合う結果を得た。

今後は作物栽培システムおよび温室環境制御の性能向上を目的とする大規模実証試験を行い、サンドポニックスによる作物生産事業の収益性を適正に評価する。さらにはサンドポニックスを軸とした農業ビジネスモデルの国内外への展開を検討する。

参 考 文 献

- (1) 福島栄二、岸本博二、砂栽培の理論と実際、富民協会出版部(1966)
- (2) 装置化する農業、大阪科学技術センター編、科学情報社(1971)
- (3) 鈴木明夫、「植物の砂栽培システムに関する研究」、東京大学博士論文(1988)

執 筆 者

馬場 将人*：新領域技術研究所
博士(理学)



池口 直樹：新領域技術研究所 室長



*主執筆者

