

人工光型植物工場における ワサビ栽培の試み

Cultivation of Wasabi in a Plant Factory with Artificial Light

岐阜大学
応用生物科学
教授



工学博士 田中 逸夫
Itsuo Tanaka

1. はじめに

ワサビは日本食に欠かせない香辛料であるだけでなく、抗菌・抗カビ作用、抗虫作用、抗酸化活性、血栓予防・消化管吸収促進作用、解毒酵素活性、抗癌活性などの各種機能性成分を含有した植物¹⁾であるため抗菌製品、健康補助食品および化粧品などの原材料としても使用されている。また、北米、ヨーロッパ、オセアニア、東南アジア、中東などでは日本食ブームや健康食ブームによってワサビの需要は大きくなっており、最近ではカナダ、アメリカ、イギリスなどの国々でもワサビの栽培が行われ始めている。

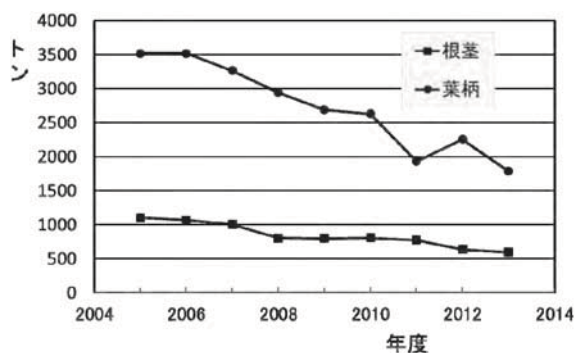


図1 最近のワサビ生産量の推移

しかし、原産国日本での生産量は年々減少し、農林水産省の特用林産基礎資料では塊茎（一般には“根茎”と称されている）の生産量は最盛期の1990年代には約2000トンであったものが現在は600トン程度にまで減少している（図1）。並行して、日本での沢ワサビ作付面積は2000年には320haあったものが2008年には210haにまで大幅に減少している。そのため近年、台湾や中国などの東アジアの国々やオーストラリア、ニュージーランドからの輸入も行われている¹⁾。日本におけるワサビ生産量の

減少の背景には自然災害によるワサビ田の減少、生産者の高齢化、さらには安価な外国産ワサビの輸入により単価が一時下落し栽培意欲が低下したこと²⁾も一因と思われる。なお、図2に主要卸売市場でのワサビ単価の推移を示したが、この数年間の単価は上昇傾向にある。

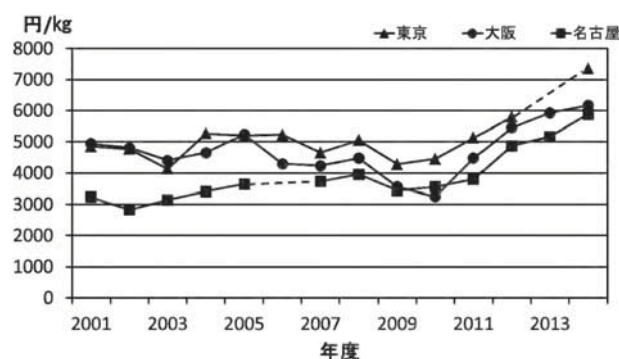


図2 最近の主要卸売市場でのワサビ単価の推移
（農畜産業振興機構野菜情報総合把握システムのデータより）

大量の水を使って行われる沢ワサビの栽培については、静岡県農業試験場ワサビ分場（当時）の長年の研究から以下のようなことが明らかにされている^{3, 4)}。

- ①ワサビは陰性植物であり強い日射が当たると葉やけを起こす。そのため5月から10月にかけての露地栽培では50～70%程度の遮光が必要である。
- ②成長温度範囲は気温、水温ともに約8～18℃、最適温度は12～15℃で成長温度範囲以外では成長の抑制ないしは停止が起こり、高温条件では高温ストレスによる枯死や軟腐病などの病害が多発する。
- ③ワサビの根は酸素要求度が高いために、沢ワサビ栽培においては水温16℃以上では必要な溶存酸素

濃度が確保できず 18 °C 以上では根が酸素不足によって成長阻害を起こす。

④大量の用水を掛け流すため施肥の効果があまり期待できず、用水や砂礫などに含まれるわずかな養分で成長するので塊茎の収穫まで 1 年半以上かかる。

⑤サイズが大きくて品質の良いものを生産するためには年間を通して水温 13°C 前後の湧き水が大量に必要である。

⑥高温を嫌うために夏季に比較的冷涼な気候が得られる山間地が適地となるので、栽培地が限定される。

⑦山の斜面にワサビ田を造成することが多いため、大雨・台風などの自然災害を受けやすい。

⑧白錆病、墨入れ病、軟腐病、萎縮病などの病気や蝶類の幼虫、アブラムシ等による葉の捕食害が多発し、さらに有効な防除法が少ない。

このように、沢ワサビ栽培においては、環境条件がかなり限定されるために栽培適地が少ないことや収穫までに長期間必要であるために自然災害や病虫害の発生という危険性が伴うことも生産量や作付面積の減少に影響していると思われる。

2. ワサビの人工光型植物工場生産に向けて実施した基礎研究

ワサビ生産に関する上記のような状況を踏まえて、著者らは図 3 に示した三波長型蛍光灯を用いた循環式水耕栽培における光強度、明期の長さ、気温、液温、養液濃度がワサビの成長に及ぼす影響を調査してきた⁵⁻⁷⁾。これら一連の調査結果からは、

①光強度 (PPFD) 60~230 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ の範囲での消費電力当りの生育は、約 110 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ が最も良い。

②明期 8~16 h の範囲では明期に比例して成長が促進される。

③気温 16~25 °C の範囲では 16 °C が最も成長が良く、気温は 20 °C 以下が望ましい。

④養液温度が 20 °C 以上の場合は 13 °C に比べて成長が極端に悪くなるが、養液温度 18°C の場合は 13°C の場合と同等の成長となる。

⑤大塚ハウス A 処方を用いて、養液濃度 (EC) を

0.1~2.4 dS m^{-1} の範囲で処理区を設けて生育調査をした結果、EC が大きい区ほど成長が促進される。

⑥根への酸素供給促進を目的とした 1 時間おきの間欠給液によるベッド内水位の上下 (4 cm と 1 cm) 操作による栽培では、養液温度 20 °C の場合には初期成長の促進効果は見られるが、処理開始後約 90 日目以降から根の褐変化が起こり次第に成長が抑制されるため、塊茎収穫を目的とする長期栽培では問題がある。

⑦葉幅が 10 cm 以上の葉と葉柄を収穫するほうが栽培終了時に一斉収穫するよりも光環境などが改善されるために成長が大幅に促進される。

⑧畑ワサビは塊茎の肥大性が沢ワサビに比べて劣るが、これはワサビの根から排出される自家中毒物質 (イソチオシアネート) による塊茎肥大抑制が原因であるといわれている。そこで、養液の定期的一斉更新を行った場合と減少した分の養液を追加した場合の比較実験を行ったが、塊茎肥大に相違は見られなかった。

⑦養液温度 17°C での噴霧耕は養液温度 13°C で液位 4cm の循環式水耕よりも生育が良い。などが明らかになっている。

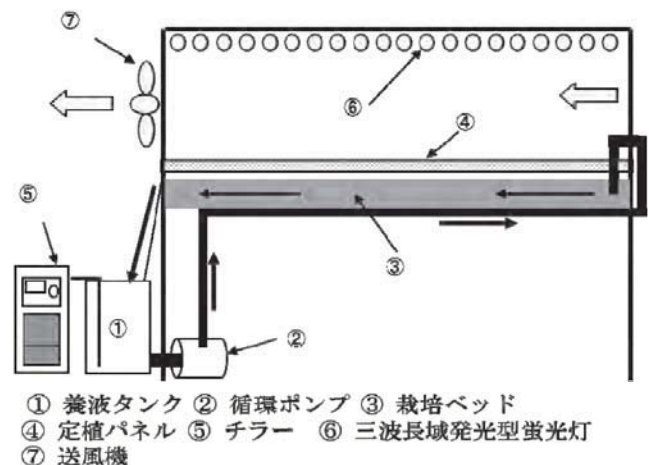


図3 栽培装置の概要

なお、本栽培方式の特徴は、①大量の湧水を必要としない、②水道水に肥料を混入した養液の循環使用と減った養液量だけ補充することで栽培が可能である、③比較的簡易な栽培装置である、④土壌や礫を使用しないので洗浄や消毒が不要であり栽培終了後のメンテナンスが容易であることなどである。

3. コンテナ型植物工場でのワサビ栽培と採算性の評価

冷凍コンテナを利用した植物工場での採算性の検証実験を行ったので、以下に概要を紹介する。詳細は拙著^{8, 9)}を参照願いたい。

3.1 使用したコンテナ型植物工場および栽培装置の概要

使用したコンテナ式植物工場は 20 フィートタイプ（幅 2.2m、長さ 6m、高さ 2.2m）の冷凍コンテナ（断熱材厚さ 70mm）の中古を再利用したエスペックミック（株）製（TAF-12SS）のものである。図 4 にコンテナ内に設置した栽培装置の概略を示した。栽培室の床面積は 10.6m² であり、栽培装置は上下 2 段、2 列合計 4 ヶ所に設置した。ベッド形状（内寸）が幅 60×深さ 8×長さ 270cm の循環式水耕栽培装置を用い、液位を 4cm、養液量 160 L、流量 8 L min⁻¹ とした。栽培ベッドには 16 穴定植パネル（59 cm×89 cm×3 cm）を 3 枚設置し、その穴に水耕栽培用ウレタンマットで苗を定植した。光源として三波長型高周波蛍光灯（32W、昼白色）を用いた。各種栽培環境の設定値は表 1 に示したとおりである。養液温度調整器は使用しなかったが、気温の影響で 16~17℃ の範囲で推移した。養液は大塚化学（株）（現大塚アグリテクノ（株））製の養液栽培用肥料を用いた A 処方により作成し、養液の管理は EC と pH を最低でも 1 週間に 1 回は計測・調整し、2~3 週間毎に減少した分の養液を追加した。使用したワサビはダルマ系品種の組織培養苗であり、176 株定植して 8 月から 6 月までの約 300 日間栽培した。図 5~8 に栽培風景、水耕栽培中のワサビの根、塊茎の状態および収穫した塊茎を示した。

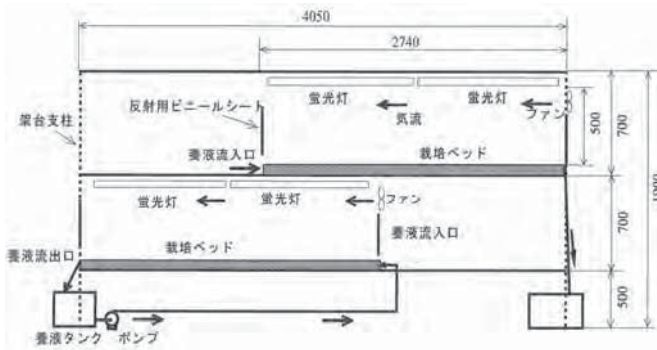


図 4 コンテナ型植物工場に設置した栽培装置の概要

表 1 栽培環境条件

PPFD	110 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (定植面平均)
明期	16 時間 (17 時~9 時)
暗期	8 時間 (9 時~17 時)
気温	18/16℃ (明期/暗期)
養液温度	16~17℃
養液濃度	1.8~2.0 dS m ⁻¹ (EC)
相対湿度	60 %
CO ₂ 濃度	700 /300ppm (明期/暗期)



図 5 栽培風景



図 6 ワサビの根



図 7 栽培中の塊茎

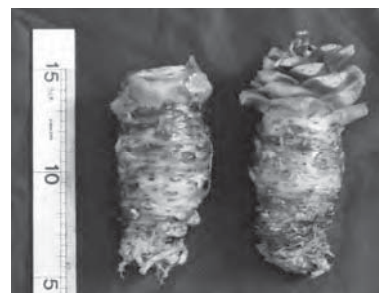


図 8 収穫した塊茎

3. 2 収穫量、消費電力量および収支の試算結果

1週間に1度の割合で、葉幅が10cm以上になった葉と葉柄および花茎長が30cm以上になった花茎を収穫して生体重を計測し、終了時までの重さを積算した。塊茎は最終日に収穫して生体重を計測した。総収穫量をもとにして販売額を算出した。またランニングコストとして蛍光灯、空調機、除湿機および循環ポンプでの総消費電力量、消耗品費（苗代、水耕用肥料およびCO₂ガス）および人件費を算出した。これらを基に収支式を作成した結果を図8に示した。

図からは電気料金が約11円/kWhの場合にランニングコストと生産額がほぼ同じになることが分かる。したがって、夜間電力を使用しても現状では採算性は悪いと評価された。この植物工場で使用した空調機の成績係数COPは2.8とかなり性能が悪い（最近の空調機はCOPが5を超えている）ことも消費電力を多くした一因である。また最近では家庭用白色LEDが普及している。そこで図中には参考のために、COPが5の空調機および光源と点灯装置を合わせた消費電力が三波長型蛍光灯に比べて30%削減される家庭用白色LEDを使用するとして計算した収支（図中の直線A）、さらに空調費もかからない（地下空間や地下水の利用を想定）として計算した収支（図中の直線B）も示した。このように最近の機器を使用すれば採算性がかなり向上するのがわかる。

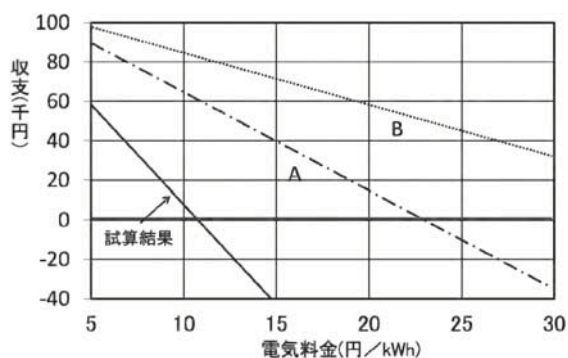


図8 収支の試算結果

直線 A : LED と COP=5 の空調機を使用した場合（概算）

直線 B : A の条件で、さらに空調費が不要な場合

3. 3 採算性向上に向けた課題

一般に人工光型植物工場を用いた栽培では消費電力や設備に係るコストが極めて大きいので、これらの経費削減による採算性の向上が重要となっている。特に低温を要求されるワサビ栽培においては、可能な限り気温と水温を高めて冷房と水温調節にかかるコストを削減すると同時に成長促進をはかる技術の開発は重要である。また、外気温が低い夜間に照明を当てることで空調効率を高める工夫も必要である。植物工場の設備に関しては、建屋の断熱性向上、植物工場の規模拡大によるスケールメリットの追求、高効率な LED と空調機の利用さらには地下空間（廃トンネル・鉱山）や地下水を利用した空調費の大幅な削減が考えられる。また、不要となった建物の利活用をはじめとして植物工場建設費の可能な限りの削減が重要である。栽植密度を生育に合わせて変えること、すなわち定植時から生育初期の2~3ヶ月間は16穴パネル使用時の栽植密度を2倍~3倍高めることは消費電力の大幅な削減につながる。その他、苗を業者などから購入すると1株が100~200円とかなり高価であるので、自家製の苗を種や分けつを使って育成することも重要である。著者の経験では、直径1~2cm、長さ2~4cmの塊茎から発根・発芽させた分けつ苗を使用すると、塊茎肥大が促進されるというメリットもある。

なお、本報告は SHITA REPORT No.33(日本生物環境工学会編)に掲載された講演要旨の一部を修正したものである。

参考文献

- 1) 木苗直秀・小嶋操・古郡三千代：ワサビのすべて。学会出版センター。東京。43-164。2006。
- 2) 山根京子：ワサビにおける農産物直売所が果たす役割と文化地理学的傾向。農耕および園芸。86(11)。1078-1091。2011。
- 3) 足立昭三：ワサビ栽培。秀潤社。東京。44-97。1987。
- 4) 星谷佳功：ワサビ—栽培から加工・売り方まで—。農山漁村文化協会。東京。35-111。2001。

- 5) 田中逸夫・舟橋芳仁・嶋津光鑑：ワサビの人工光栽培に関する研究. *Eco-Engineering*. 20. 119-124. 2008.
- 6) 田中逸夫・伊藤佳洋・篠塚真理・嶋津光鑑：ワサビの室内人工光栽培に関する研究—気温および養液温度が成長に及ぼす影響—. *植物環境工学*. 21. 175-178. 2009.
- 7) 田中逸夫：完全制御型植物工場におけるワサビ生産のための環境制御法とその評価. *植物工場とその照明技術*. サイエンス&テクノロジー. 東京. 184-195. 2009.
- 8) 田中逸夫：コンテナ型植物工場でのワサビの栽培および採算性評価. 2013 生態工学会年次大会発表論文集. 33-34. 2013.
- 9) 田中逸夫：冷凍コンテナを用いた完全制御型植物工場におけるワサビの栽培および採算性評価. *植物工場生産システムと流通技術の最前線*. NTS. 東京. 343-349. 2013.