

耕作放棄茶および柑橘園再生のための矮性アボカド新品種の選抜 および新規日光温室の開発

松本和浩¹⁾・岡 愛香梨¹⁾・竹内真一²⁾・森口卓哉³⁾
静岡大学農学部¹⁾・東海大学海洋学部²⁾・
静岡県立農林環境専門職大学生産環境経営学部³⁾

1. 研究の概要

静岡県はチャやミカンの産地であるが、近年、価格低下や後継者不足に伴う耕作放棄地の増加が問題となっている。このような状況を打開するため、耕作放棄地にチャやミカンに代わる新たな作物を導入することが求められている。

亜熱帯果樹であるアボカド (*Persea americana* Mill.) は国内で消費が伸びている数少ない果物の一つである。一方で、我が国のアボカド消費量の99%は輸入品であり、まとまった量の供給が可能な国内産地は未だに形成されていない。これは、国内での冬の寒さが問題となり、アボカドの栽培が可能な地域が一部の温暖な地域に限られているためだ。一方で、降雪のない静岡県内では、1915年にアメリカ農務省より静岡市清水区興津の園芸試験場興津市場にアボカドが導入されたことを皮切りに、各地で試験栽培が行われており(米本, 2019)、アボカドの露地栽培が十分に可能である。さらに、アボカドは傾斜地のような排水性がよく、冷気が停滞しない土地での栽培に適することも知られており(米本, 2019)、多くが急傾斜地に存在するチャ、柑橘の耕作放棄地はアボカド栽培の適地である。アボカドはニーズが高まっていることに加え、栽培条件が静岡県の気候的、環境的特徴と合致しており、耕作放棄茶園および柑橘園に導入する作物として最適だと言えよう。

県内の放棄された茶園や柑橘園へアボカドを導入するにあたり、検討すべき事項は厳冬期の凍害対策と、高齢者や新規参入者でも管理しやすい栽培法の確立である。本研究では、この課題の解決に向け、以下の4点からアプローチを行った。

- ① アボカドの露地栽培試験: 牧之原市に植栽している、アボカドの耐寒性品種‘ベーコン’および‘メキシコーラ’2個体について継続的な露地栽培試験を行った。
- ② 新規日光温室の開発: アボカドは幼木期の耐凍性が低いことが知られている。幼木期の耐凍性を補助する目的で、牧之原市および静岡市久能地区に、太陽熱を利用した新規日光温室を試作した。
- ③ アボカドのブランド化における先進地からの知見収集: アボカド栽培の先進地である長崎県および佐賀県を訪問し、耐凍性の品種間差異や越冬方法、産地化戦略についての知見を得た。
- ④ 耐寒性を有する矮性アボカド新品種の選抜: 高齢者や新規参入者が管理しやすいよう矮性アボカド品種の選抜に向けて準備を進めた。メキシコとの共同研究を前提に開始したが、コロナ禍において、種子の輸入が間に合わなかった。今後輸入が実現した際、円滑

に選抜試験を開始できるよう、発芽の最適条件決定のための栽培試験を実施した。

2. 牧之原市におけるアボカドの試験栽培

牧之原市の海岸線より約6 km内陸に位置する茶園跡傾斜地(南向き)を栽培試験地に選定し、耐凍性を有するアボカド品種、‘メキシコーラ’ (Aタイプ) および‘ベーコン’ (Bタイプ) の2品種6個体を植栽している。このうち、成木の‘メキシコーラ’ および‘ベーコン’ 各1個体にそれぞれ樹液流速計測のための計測器を設置している。また、試験対象樹周辺には気象観測のための装置も設置している。以降2020年度の露地栽培試験の概要を示す。

一般に、アボカド果実1 kgの収量を得るために必要な水量は2,000 lと言われ、当試験地においても、無降雨期には灌水が必要である。加えて、アボカドは浅根性のため、地表面近傍の乾燥は、収量の低下をもたらす。そのため、灌水設備の導入は重要課題の一つである。本試験地は畑地用水が未整備であることから、低標高部の井戸からエンジンポンプを用いて高標高部に設置したタンクに揚水し、そこからは重力のみで点滴灌漑を駆動するシステムを採用し灌水を行った。水の取り出し口であるエミッターは‘メキシコーラ’に6か所、‘ベーコン’に7か所の計13か所設け、1回あたり280～300 Lの灌水を行った。灌水は5月9日に開始し、以降継続的に灌水を行っている。本システムは、無降水期間が長く続くような特殊な気象条件でも容易に灌水が行えるため、土壌乾燥に伴う水ストレスの軽減が期待できる。

2020年度は梅雨空けが遅延した後長期の乾燥期間が2回襲来した。連続干天日数は、7月29日からの19日間と11月23日からの34日間であった。アボカドは常緑樹であり、冬期間も蒸散活動が鈍化しないため、11月～12月にかけても灌水が必要であった。灌水開始後は、土壌水分はおよそ30%以上を維持した。ヒートパルス速度(樹液流速)は2019年度に比べて、最大値が‘メキシコーラ’で約1 cm/h、‘ベーコン’で5 cm/h増加した。一方、乾燥期の水ストレスに伴うヒートパルス速度の低下割合は、‘メキシコーラ’で0.78、‘ベーコン’で0.65となった。

2020年度収穫できた‘ベーコン’は10果実であった。昨年度は238 gの1果実のみであったことから、灌水の効果で大きな進展が見られた。また、収穫した果実の新鮮重は108～288 gで平均は210 gであった。国内で流通している‘ベーコン’は1玉200 g程度であることから、今回収穫した10果実のうち、7果実が商品価値を有するものであったといえる。贈答品として流通する350 g程度の大型果実の収穫を1つの目標値として、今後は芽掻きや枝の誘引などの栽培技術を用い、積極的な灌水を行うことで水ストレスを軽減させ、落果量を減少させることが課題である。

3. 新規低コスト無加温温室の開発

アボカドは成木になれば露地栽培が可能であるが、幼木期は成木期と比較して耐凍性が低い。したがって、静岡県にアボカド栽培を導入するにあたり、幼木期の防寒対策は最重要課題である。本研究では、厳冬期の防寒対策に向け、中国東北部で野菜栽培などに用いられる日光温室を参考に、加温設備を必要としない新規低コスト無加温温室の開発を行った。日光

温室とは、特殊な蓄熱・保温構造を持ち、最低気温が -20°C の中国北方地域の冬季において、無加温で野菜が栽培可能な園芸施設である(陳ら, 2000)。昼間の太陽熱をレンガや土塊、石などで作られた蓄熱体に集熱することで、夜間に蓄熱体からの放熱が起こり、加えてコモなどの保温資材による被覆を行うことで保温効果を高めている。このような太陽熱を利用した蓄熱システムは、冬期に雨が少なく、晴天が続く静岡地区では特に効果的に利用できると考えられる。本研究では、レンガ壁のような特別な構造を持たずとも、市販されているビニールハウスへの簡易的な施工のみで蓄熱・保温機能を付与できるような新規日光温室のプロトタイプ作成を目指した。研究は、2020年度および2021年度の2か年で実施し、試験地として、2020年度は前出の牧之原市の露地栽培試験地下の平地を、2021年度は静岡市久能地区を設定した。牧之原市では、アボカドと、同じく亜熱帯果樹であるグアバの苗木を温室内で栽培し、越冬試験を行った。以下、各試験地で実施した試験の概要を示す。

(1) 牧之原市における土壌蓄熱システムを利用した日光温室の概要

牧之原市のアボカド露地栽培試験地下の平坦農地に、市販のビニールハウス(幅190 cm, 奥行き300 cm, 高さ215 cm)を2棟設置した。一方の温室を、土を蓄熱体とした日光温室、もう一方の温室を対照区に設定した。日光温室の蓄熱体は、単管パイプ、エキスパンダーメタルにより作成した骨組みに、赤土を充填することで作成した。さらに、日光温室の被覆資材の効果を検証するため、①被覆なし②遮光ネットによる被覆の2条件で実験を行った。遮光ネットによる被覆は、日没前および日没後の被覆と日の出後の被覆開放作業を50日間行った。温熱環境を評価するために、両温室内の中央部に高さ45, 90, 180 cmに熱電対を設置した。また、アボカドおよびグアバの苗木を温室内で栽培し、実際の越冬試験も実施した。

遮光ネットによる被覆条件下では、日光温室の最低気温が、対照区の温室に比べ、常に 1°C 以上高かった。一方で、被覆なしの条件下では、放射冷却により温室内温度が外気温よりも低下することがあった。試験期間中、最も外気温が低下した2020年1月8日の結果を見ると、対照区では温室内温度が -4°C まで低下したが、遮光ネットによる被覆を行った日光温室では最低気温を 0°C に保つことができた。また、温室内で栽培したアボカドおよびグアバの苗木をみると、対照区の温室内では1月8日の寒波でグアバの葉が完全落葉した一方で、日光温室内のグアバの葉は緑色を維持していた。また、アボカドは、日光温室内の個体が対照区の温室と比較して、花序の成長が早い傾向が確認できた。

以上のように、蓄熱体の設置と保温管理を組み合わせることで、一定の蓄熱・保温効果が認められた。一方で、夜間の被覆処理に労力を要するという課題が残った。

(2) 久能地区における水蓄熱システムを用いた日光温室

試験地である久能地区では、海岸沿いの南向き斜面という立地を活かし、古くから、石垣イチゴと呼ばれる太陽の輻射熱と石の放射熱を利用したイチゴの促成栽培が行われてきた。日光温室の太陽熱蓄熱効果は、このような好立地条件下では特に効果が高いと考えられ、久能

地区を試験地として設定した。

2020年度の牧之原市における実験では、夜間にハウス全体を被覆しなければ、蓄熱体の有無に関わらずハウス内温度が外気温を下回る場合があることが明らかとなった。このように夜間の放熱を抑えることの重要性が示唆された一方で、被覆資材の開閉作業には労力を要する。そこで、2021年度は被覆作業を伴わずに夜間の放熱を抑える方法を検討した。具体的には、蓄熱体を急激な放熱が起こらない物質に変更し、さらに北側に断熱素材を常設するという改良を行った。蓄熱体には水を用いた。水は身近な物質の中で熱容量が最も高く、いわゆる温まりにくく冷めにくい性質を持つ。この性質により、夜間の放熱がゆっくりと進むと考えられ、夜間の被覆を行わない温室には水が最適な蓄熱素材と言えるだろう。一方で、温まりにくいという問題点があり、これを改善するため集熱効果の高い黒色の水タンクを使用した。また、昼間に取り入れた熱をハウス内に効率的に溜め込み、夜間の放熱を防ぐため日当たりの悪い北側に押出法ポリスチレンフォーム断熱材を常設した。以下、実施方法と結果の概要を示す。

2021年12月に、静岡市久能地区において、幅2.2 m×奥行2.7 m×高さ2.2 mのビニールハウスを2棟建設した(第1図)。一方の温室には、ビニール被覆を行う前に、蓄熱、断熱加工を施した。温室北側には、幅100 cm×奥行200 cm×高さ60 cmの寸法で土嚢を積み重ねた。なお、土嚢には近隣の農家から提供を受けた砂壤土を充填した。積み重ねた土嚢の上に、蓄熱体として、水を充填した500 L容のローリータンクを2個設置した。なお、水は近隣の井戸水を使用した。さらに、北側壁面、および一部の西側、東側壁面には押出法ポリスチレンフォーム断熱材(XPS1bC, デュボン・スタイロ株式会社)を設置した。両温室の中心付近の高さ60, 120, 180 cmの位置に温度計(MR5320, CHINO)を各3カ所(計9カ所)設置した。12月14日から測定を開始し30分間隔で両温室内の気温および試験地の外気温を測定した。試作した日光温室の内部写真を第2図に示す。



第1図 久能地区の試験地全景
(写真左が対象区, 右が日光温室)



第2図 久能地区に作成した
日光温室の内部写真

対照区では夜間の放射冷却により、最低気温が外気温を下回る日があったが、一方で、日光温室内の最低気温は、実験期間を通して常に外気温を2~4℃程度上回った。2021年12月

27日の寒波で、外気温は-1.6℃まで低下したが、日光温室内の最低気温はいずれの測定位置でも2.5℃以上だった。一方で、同日の対照区のハウス内最低気温はすべての測定箇所ですべて氷点下となり、いくつかの測定箇所では外気温を下回った。以上の結果から、蓄熱体として水を使用し、北側に断熱素材を用いるという簡易的な加工により、被覆作業を行わずとも夜間の放熱を緩和できることが明らかとなった。

4. ブランド化先進地における調査

温帯地域に属する日本でアボカドを栽培するためには防寒対策をはじめとした日本独自の栽培法を確立する必要がある。そこで、アボカドのブランド化に先行して取り組んでいる長崎県および佐賀県の3団体を訪問し、耐凍性の品種間差異や冬季の凍害対策、産地化やブランド化の戦略について調査した。以下に、先進地での調査結果から考えられる静岡県へアボカド栽培を導入するための有効策を列挙した。

① 柑橘をベースとした栽培や技術指導

アボカドの生理生態は柑橘と類似しており、柑橘と同様の剪定方法で管理することが可能である。実際に佐賀県ではミカンと同様の開心自然形での栽培が行われていた。また、長崎県諫早市で行ったアンケートでもアボカドを栽培するメリットとして複数の農家から「ミカン農家としての経験が活かせること」が挙げられた。柑橘の産地である静岡県では、農家や普及指導員等が柑橘の栽培管理に精通している。したがって静岡県でも、柑橘栽培をベースとした栽培を前提とすることで、容易にアボカドの技術指導体制を整えることが可能だろう。

② 簡易的な防寒対策

露地栽培を行う場合は、耐凍性を有し、かつ年内に果実を収穫できる品種を選択することが重要である。‘ペーコン’、‘フェルテ’および‘ピンカートン’はこの特徴と合致する品種であり、露地栽培でも商品価値を有する果実が収穫可能である。しかし、これらの品種も苗木の段階では防寒対策が必須である。長崎県および佐賀県では苗木の防寒対策としてワラやコモを用い、冬季に苗木を完全被覆することで防寒対策を行っていた。鉢植えの苗木を我々が開発した新規日光温室で越冬させるとともに、定植後はワラやコモを用いた防寒対策により徐々に環境順化させることで、防寒対策の必要がない成木期を迎えることが可能だろう。

③ 実生からの苗木育成

アボカドの苗は市販されているものの、非常に高価である。3団体の農家は、苗木購入に際して、行政からの補助を受けているが、それでも諫早市の団体へのアンケートでは、アボカド栽培の課題として「苗木が高価である」という回答が最も多かった。

長崎県西海市の団体では代表者らが自ら台木の育成を行い、行政からの補助を受けて農家に安価で苗木を販売している。また、苗木販売の際、接ぎ木苗と同時に台木苗を販売している。これは、接ぎ木苗が寒波等の影響で枯れてしまった場合に備え、耐凍性の強い台木苗を確保しておく目的である。経済的な観点のみならず、リスクマネジメントの面からも、このように地域内で苗木を育成することは重要だろう。

アボカドは挿し木等の栄養繁殖が難しいため、実生から苗木を育成する必要がある。視察地では、海外から種子を輸入し、苗木を育成していた。一方で、我々が今回メキシコから種子を輸入できなかったように、海外からの種子輸入は、コロナウイルスや遺伝資源に関する権利問題等、国際情勢に左右されやすい。地域内で苗木を育成するためには、今後地域内で種子採取が可能な木を育成するとともに、発芽、接ぎ木技術に関する研究や講習会等を実施していくことが有効だろう。



第3図 先進地視察調査の様子

5. 耐凍性を有する矮性品種の選抜に向けた発芽試験

チャヤミカンの代替作物としてアボカドを導入するにあたり、高齢者や新規就農者による管理を容易にする必要がある。本研究では、この手段として矮性品種の導入に着目しており、かねてより親交のあるメキシコ州立自治大学農学部より矮性アボカド品種の種子を輸入し、矮性形質や耐凍性を有する実生の選抜試験を計画していた。しかし、コロナウイルスの影響で交渉が難航し、助成期間中の種子の輸入は実現しなかった。助成期間終了後もメキシコと交渉を続ける予定であり、種子の輸入が実現した際、円滑に発芽および選抜試験を開始できるよう、発芽の最適条件決定のための発芽試験を行った。

アボカドの種子は、種皮の除去後、土耕もしくは水耕栽培によって発芽させる方法が一般的である。しかし、この方法では、発芽率は高いものの、発芽に数か月を要するという問題点がある。これまで、発芽を早めるため、種々の研究が行われており、播種前に種子を傷つける、あるいは種皮を除去すること(Whileyら, 2005)、また、種皮を除去した種子を500 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ジベレリン溶液に24時間浸すことで発芽が早まることが明らかとなっている(Lealら, 1976)。

このような中、近年、海外の園芸家の間で、種皮を除去したアボカド種子を水で湿らせた紙で包み、密閉袋で発芽させる発芽法が行われている。この方法ではジベレリン処理のような化学的処理を行っていないにも関わらず、4~6週間でほぼすべての種子が発芽するという。一般に、高い湿度条件は種子発芽に有利であるとされており、この方法では高い湿度条件が維持されていることで発芽が促進されていると考えられる。

これまで、この発芽法は園芸家の間で行われてきたが、この方法により発芽が促進されると

いう学術的なデータはない。また、密閉袋発芽法は暗所で行なう場合と明所で行なう場合がある。光条件が発芽に及ぼす影響は植物種によって異なるが、これまでにアボカド種子の発芽への光条件の影響を調べた研究はない。本研究では、密閉袋での発芽がアボカド種子の発芽を促進することを学術的に明らかにし、また、明条件と暗条件のどちらがより適しているか明らかにした。さらに、これまで多くの植物種で発芽促進効果が確認されている KNO_3 溶液やアセトンへの浸漬処理を組み合わせることでさらなる発芽促進をはかった。以下、実験方法と結果の概要を示す。

県内の小売店から提供を受けた‘ハス’から種子を取り出し、洗浄、乾燥後、種皮を除去した。その後、①蒸留水(対照区)、②0.1% KNO_3 溶液、③0.5% KNO_3 溶液、④1.0% KNO_3 溶液への24時間の浸漬処理および、⑤アセトンへの1時間の浸漬処理を、各20個の種子について行った。白色の紙ウエス(キムタオル、日本製紙クレシア)に蒸留水をしみ込ませ、ポリエチレン製の密閉袋に入れ(第4図)、25°Cのインキュベーター内で、各処理区のうち10個を日長16時間の明条件、残る10個を暗条件で発芽させた。



第4図 紙ウエスと密閉袋を用いた発芽試験の様子



第5図 発芽した種子

播種後50日目の発芽率を見ると、アセトン浸漬処理を行った種子は、暗条件では発芽せず、明条件でも発芽率が10%に留まった。一方、対照区の播種後50日目の発芽率は明条件で90%、暗条件で60%だった。また、 KNO_3 溶液浸漬処理を行った種子では明条件で70%~90%の範囲であり、暗条件では60~80%の範囲だった。以上の結果から、アボカド種子の発芽には明条件の方が適しており、 KNO_3 溶液やアセトン浸漬処理による発芽促進効果は得られないことが明らかとなった。Lealら(1976)の行った研究では、種皮を除去した種子の発芽率が70%に達するまでに10週間を要しており、本研究の対照区の明条件で播種後50日目(約7週間)の発芽率が90%に達したという結果は驚くべきことである。特別な化学処理を行わずして発芽が大幅に促進されることから、この発芽法は一般の農家や新規就農者でも容易に取り入れることが可能であるとともに、実生からの台木選抜の時間短縮にもつながるだろう。

6. まとめ

アボカドの産地形成を目的として①アボカドの露地栽培試験、②新規日光温室の開発、③

アボカドブランド化先進地からの知見収集, ④耐凍性を有する矮性アボカド品種の選抜に向けた発芽試験を行った。

①では点滴灌漑システムによる積極的灌水を行った結果, ‘ベーコン’から前年度の10倍の果実を収穫し, その70%が200 g以上の商品価値の高い果実であった。今後は350 g程度の果実の収穫を目標に, 様々な栽培技術の効果を検証するとともに, 灌水による水ストレスの軽減で落果量を減少させることを目指す。

②では, 牧之原市および静岡市久能地区に日光温室を作成した。牧之原市で作成した日光温室では, 厳冬期の最低気温を0°C程度に保ち, アボカドの耐寒温度を下回ることはなかった。また, 日光温室内で栽培したアボカド個体は, 対照区の温室で栽培した個体と比較し, 花序の成長が早い傾向が確認できた。久能地区では, 牧之原市の日光温室の課題として残った, 夜間のハウス被覆作業にかかる手間を解消するため, 蓄熱体を熱容量の高い水に変更し, 温室内北側に断熱材を用いるという改良を行った。その結果, 日光温室内の気温は被覆作業なしに外気温を常に2~4°C上回り, 厳冬期の最低気温も2.5°C程度に保つことができた。

③では, アボカドの産地化先進地である長崎県・佐賀県の3団体の訪問調査を行った。ヒアリング調査, 圃場調査およびアンケート調査により, 耐凍性の品種間差異や, 冬季の凍害対策, 産地化戦略についての知見を得た。静岡県での産地化に際しては, 柑橘をベースとした技術指導体制を整えること, 簡易的な防寒対策に向けた日光温室の普及に取り組むこと, 実生からの苗木育成体制を整えていくことが有効だと考えられる。

④では, コロナウイルスの影響によりメキシコとの交渉が難航し, 助成期間中の種子輸入は実現しなかった。代替案として実施した紙ウエスと密閉袋を用いた発芽試験では, 特別な化学処理を行わずとも, 明条件では播種後50日目の発芽率が90%に到達した。アボカドは栄養繁殖が難しく, 産地形成には実生苗の育成が重要になるが, この発芽法は一般の農家でも容易に取り入れることが可能であり, 産地形成の一助となるだろう。

①~④の結果から, 今後, 灌水・防寒設備を実用化するとともに, 柑橘栽培をベースとした技術指導体制や実生苗の育成体制を整えていくことで, アボカドは静岡県の耕作放棄茶園・柑橘園へ導入可能だと言えよう。

7. 引用文献

Leal, F.J., A.H. Krezdorn and R.J. Marte.1976., The Influence of Gibberellic Acid on the Germination of Avocado Seeds. Proceedings of the Florida State Horticultural Society. 89:258-261

陳 青雲, 山口智治, 畔柳武司. 2000. 中国の省エネルギー園芸施設「日光温室」について. 農業施設. 31(2):113-118

Whiley, A.W. and D.G. Whiley. 2005. Rootstock Improvement for the Australian Avocado Industry — a Preliminary Report. New Zealand and Australia Avocado Grower’s Conference.

米本仁巳.2019. 新特産シリーズ アボカド—露地でつくれる熱帯果樹の栽培と利用—. p.1-36. 農山漁村文化協会