



准教授
近藤友大

2013年 京都大学大学院農学研究科博士修了
2013年 京都大学大学院農学研究科研究員
2014年 東京大学大学院農学生命科学研究科
研究員
2015年 宮崎大学地域資源創成学部講師
2020年 京都大学大学院農学研究科准教授

硫化水素施与によって晩秋の低温下におけるアボカド の光合成を促進し果実油分を増加させる栽培技術の開発

1. 背景および目的

アボカド (*Persea americana*) の国内消費量は増加している。国内で流通しているアボカドの多くはメキシコ産のハスという品種である (Kondo and Honsho, 2018)。輸入果実は棚もち期間を長くするために未熟で収穫される。一方、アボカドは樹上に長くおくことで、棚持ち期間は短くなるが、油分が増加し食味が向上する (Barnmore, 1976)。国産果実であれば、棚持ち期間が短くても問題はないので、樹上に長くおいた油分の高い果実を生産できる。つまり国産果実は、味の面で輸入果実を上回り、一大産業になる可能性がある。さらに、アボカドは低温に比較的強いので、西南暖地で露地栽培が始まっている。

しかし、露地栽培が広がるにしたがって、樹上に長くおいても、期待されたほどには油分が増加しないことが分かってきた。樹上に長くおくことで油分が増加するのは、光合成産物の転流量が増加するためである。しかし、国内において果実成熟期は11月から2月にあたる。この時期には、低温による軽度な葉の損傷などの影響によって、光合成速度が低下するので、樹上に長くおいても油分が増加しないと可能性が極めて高い。したがって、11-2月の果実成熟期の低温による葉の損傷を軽減し、光合成を促進することが、果実の油分増加のための必要条件の1つになるであろう。

晩秋から初冬の低温ストレスは、植物体内で酸化ストレスとして作用することが報告されている (Wise, 1995; Shen *et al.*, 1999)。さらに、低濃度の硫化水素 (H_2S) を施与することで、植物体内の酸化ストレスが軽減することも報告されている (Sunda *et al.*, 2002; Mikami

et al., 2011; Shatalina *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2011; Kondo, 2021). そこで、晩秋のアボカドに H₂S を施与することで、低温ストレスおよび葉の損傷の軽減によって、光合成が促進される可能性が高い。さらに、光合成の促進によって果実の油分が増加し高品質果実を生産できる可能性がある。

そこで本研究では、H₂S 施与によって、アボカドの葉の低温障害を軽減させることで光合成は促進されるという仮説を検証する。

2. 材料および方法

宮崎大学の露地圃場において 100 L 鉢で栽培されているアボカド（品種：ベーコン）の 5 年生接木苗 10 個体を供試して試験をおこなった。鉢土は宮崎県の典型的な畑土壌を用い、灌水および施肥は適宜おこなった。4-5 月に開花した花に受粉したが十分な数の果実が着果しなかったため、6 月に全て摘果した。

5 個体に対して、10 月 2 日から 3 月 6 日まで、週に 1 回 0.5 mM の NaHS 水溶液を 1 鉢あたり 1 L 施与した。NaHS は水に溶解すると H₂S を発生する試薬である。残りの 5 個体は対照区として NaHS 施与と同じ日に 1 L/鉢の水道水を施与した。

11 月 24 日、12 月 28 日、1 月 27 日、3 月 8 日に、先端から 5-8 枚目の日当たりの良い葉の光合成速度、気孔コンダクタンス、SPAD 値、Fv/Fm を測定した。光合成速度は光合成速度測定装置 (MIC-100, 株式会社マサイインターナショナル, 日本) を用いて午前 11 時から 12 時におこなった。測定条件は光強度 1200 μmol/m²/s, 安定時間 3 秒, 測定開始 CO₂ 濃度 400 ppm, 測定 CO₂ 濃度幅 20 ppm とした。気孔コンダクタンスはリーフポロメーター (SC-1, METER Group, Inc., アメリカ合衆国) を用いて午前 11 時から 12 時に測定した。SPAD 値は葉緑素計 (SPAD-502plus, コニカミノルタ株式会社, 日本) を用いて測定した。Fv/Fm はクロロフィル蛍光測定機 (FluorPen-FP100, PSI spol. s.r.o., チェコ共和国) を用いて午後 7 時から 8 時に測定した。3 月 9 日にリーフパンチを用いて葉を採取し、50 ml の遠沈管に蒸留水 10 ml を加えて 28°C で 2 時間静置した後に電気伝導度 (EC-1) を測定した。さらに遠沈管を 100°C で 20 分間静置した後に再度電気伝導度 (EC-2) を測定を測定し、EC-1/EC-2 を算出しこれを EL とした。EL は細胞膜の損傷の程度の指標として利用できる。すべてのデータは t-test により 5% 水準で有意差を検定した。

3. 結果および考察

栽培試験中の気温の推移を Fig. 1 に示す。最低気温は 10 月中下旬から 10°C 以下に、11

月下旬から12月上旬に5°C以下に、12月中旬からは氷点下になる日がしばしば観察された。期間中の最も低い気温は1月8日の-3.1°Cであった。ベアコンは-4.5°C程度の低温では枯死しないことが報告されており (Bender, 2013), 本試験での低温は枯死に至るものではなかったといえる。

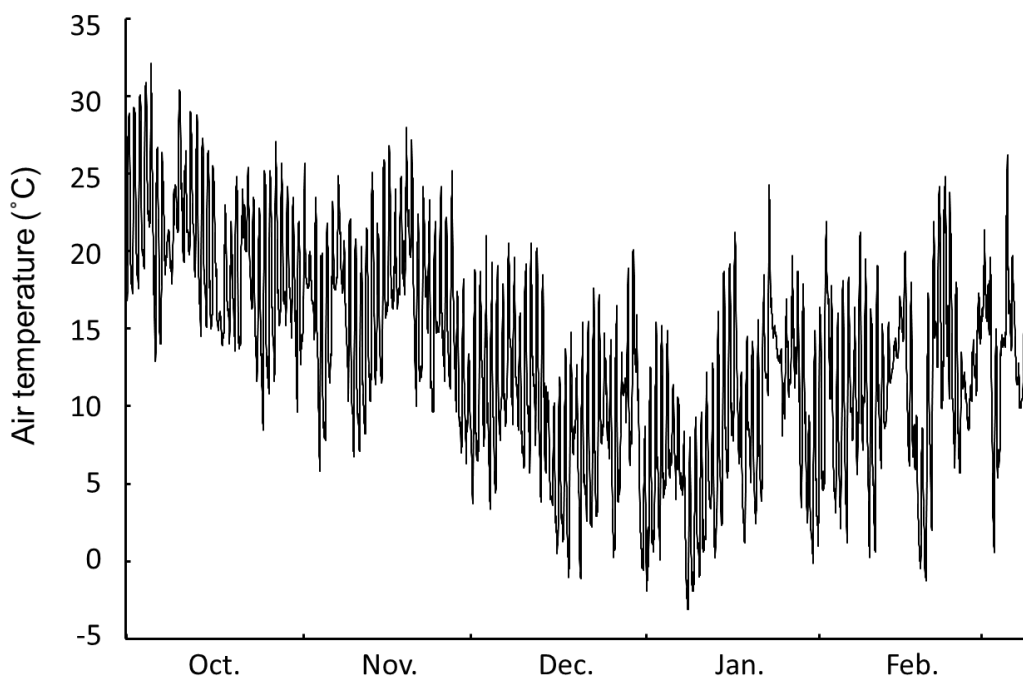


Fig. 1 Air temperature during the experiment

光合成速度はNaHS施与によって、1月および3月の低温条件下においては促進された (Fig. 2)。一方で、11月の測定では、対照区の光合成速度のほうが高かった。気孔コンダクタンスにはNaHS処理の影響はみられなかった (Fig. 3)。SPAD値・Fv/FmにもNaHS施与の影響はみられなかった (Fig. 4; 5)。3月に測定した葉のELにもNaHS処理の影響はみられなかった (データ示さず)。光合成速度、SPAD値、Fv/Fmのいずれの値も、11月から3月にかけて低下しており、低温ストレスの影響によって葉が損傷したと推察される。葉の外観も、Kondo and Honscho (2018) で報告されている低温障害と酷似した症状であったので、低温ストレスで葉が損傷していたと判断できる。気孔コンダクタンスは、他のパラメーターと異なり、3月に上昇しているが、これは測定条件の違いによる影響が強く出たものと推察できる。

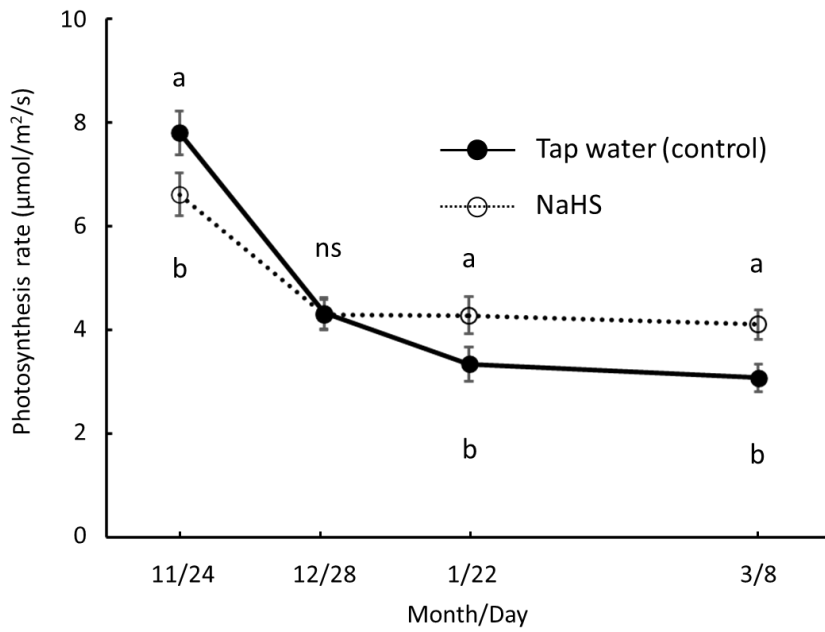


Fig. 2 Effect of NaHS application on photosynthesis rate in 'Bacon' avocado

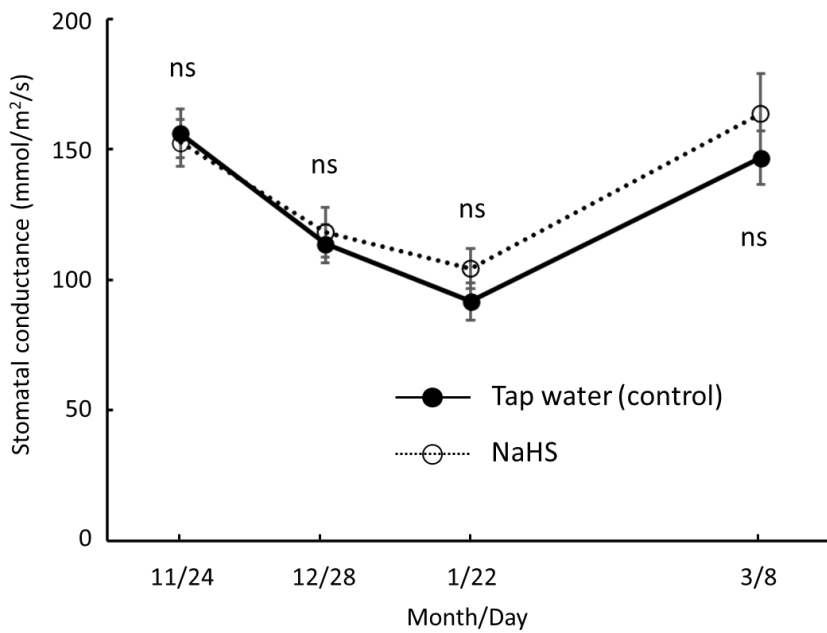


Fig. 3 Effect of NaHS application on stomatal conductance in 'Bacon' avocado

枯死にまで至らないものの低温障害の発生するストレス下において、NaHS 施与によって光合成は 30%程度促進された。NaHS によって誘導される H₂S は、低濃度では種を問わず酸化ストレスを軽減することが報告されており (Sunda *et al.*, 2002; Mikami *et al.*, 2011; Shatalina *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2011; Kondo, 2021), 本試験でも低温ストレスによって発生した酸化ストレスを軽減し、光合成の促進につながったと考えられる。気孔コンダクタンス, SPAD 値, Fv/Fm, EL では有意な差がなかったことから、酸化ストレスの軽減効果は限定的であったが、光合成速度が 30%促進されたことは果実品質にとっては重要な効果を持つ可能性がある。本試験では果実収穫が出来なかったため、果実品質に関する考察はおこなえないが、今後の課題としたい。また、低温ストレスのかかっていない 11 月の測定においては、対照区の光合成速度のほうが高かった。H₂S は低濃度であれば酸化ストレスの軽減につながるが、高濃度では害作用がある。本試験で施用した濃度では、低温ストレスのない条件で H₂S が害作用をおよぼした可能性はある。今後、生産者が利用できる農業技術とするためには、濃度や施用時期、頻度などの検討が必要になる。

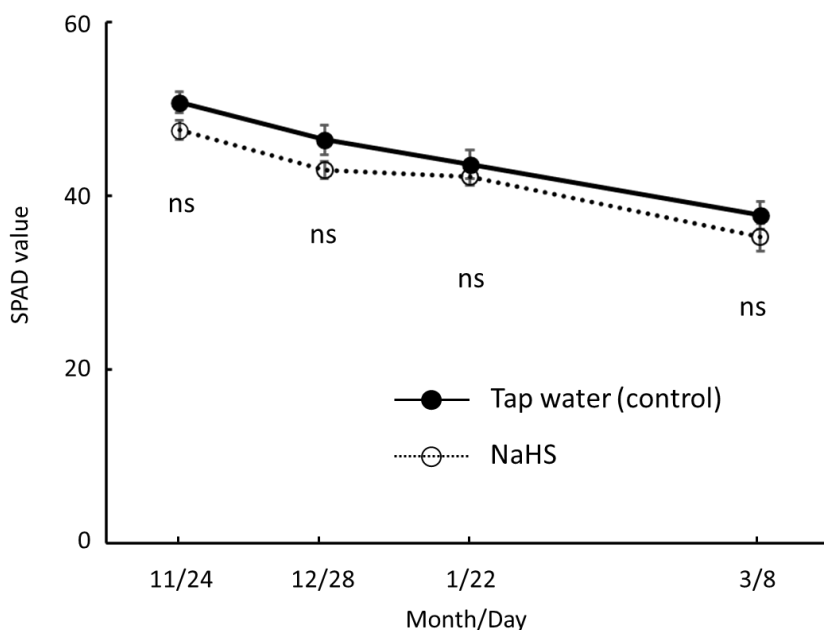


Fig. 4 Effect of NaHS application on SPAD value in 'Bacon' avocado

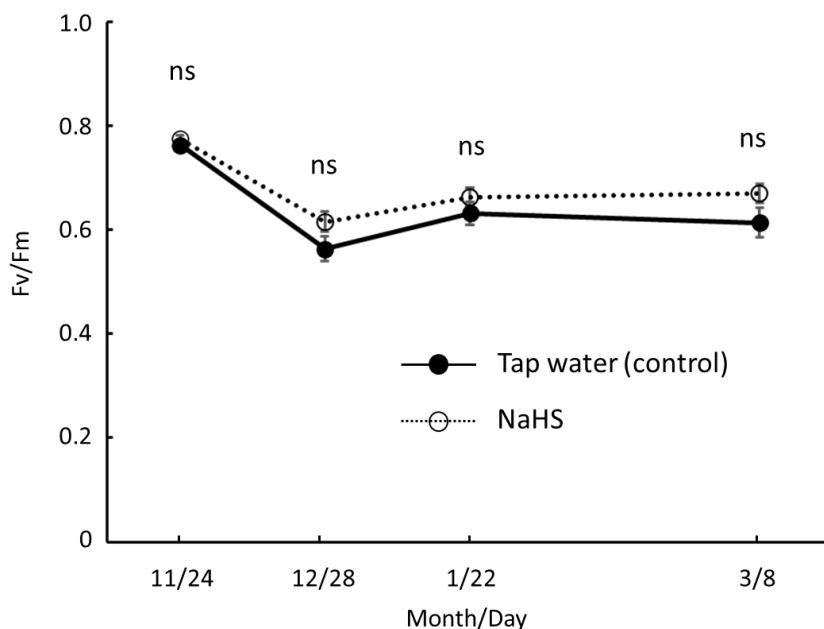


Fig. 5 Effect of NaHS application on Fv/Fm in 'Bacon' avocado

4. 引用文献

- Barmore, C. R., 1976. The Avocado. (J.W. Sauls, R.L. Phillips, and L.K. Jackson eds.) Proc. of the 1st International Tropical Fruit Short Course. Fla. Univ. Press (Gainesville) pp.103-109.
- Bender, G.S., 2013. Avocado production in California. pp.19-32. [Online] <http://ucanr.edu/sites/alternativefruits/> (browsed on Apr. 28, 2021)
- Kondo, T. 2021. Trop. Agr. Develop. **65**: 54-57.
- Kondo, T. and C. Honsho 2018. Trop. Agr. Develop. **62**: 132-135.
- Mikami, Y., N. Shibuya, Y. Kimura, N. Nagahara, M. Yamada and H. Kimura 2011. J. Biol. Chem. **286**: 39379-39386.
- Shatalin, K. E. Shatalin, A. Mironov and E. Nudler 2011. Science **334**: 986-990.
- Shen, W., K. Nada and S. Tachibana 1999. J. Japan. Soc. Hort. Sci. **68**: 967-973.
- Sunda, W., D. J. Kieber, R. P. Kiene and S. Huntsman 2002. Nature **418**: 317-320.
- Wise, R. R. 1995. Photosynthesis Res. **45**: 79-97.
- Zhang, H., S. Hu, Z. Zhang, L. Hu, C. Jiang, Z. Wei, J. Liu, H. Wang and S. Jiang 2011. Postharvest Biol. Tech. **60**: 251-257.

5. 謝辞

ご支援をいただいたサッポロ生物科学振興財団に深く感謝申し上げます。