

モモの凍害発生とその対策

農研機構果樹茶業研究部門
果樹生産研究領域
堀井 幸江

はじめに

モモの産地で幼木が枯死する障害が問題となり、凍害がその原因の一つになっていると考えられている。凍害は、植物が凍結状態で、ある限界温度を超えて冷却されたときに細胞が凍結することによっておこる障害で、障害を受けた樹では、主幹部の裂傷、枝枯れがおり、発芽時期には、芽枯れや発芽の遅延などの症状がみられる（図-1）。凍害の発生は、障害が発生する状況から二つのパターンに整理して考えられることが多い。一つ目は、耐凍性、すなわち植物が低温に耐える能力を獲得していく段階で、秋冬季の高温により、耐凍性を十分に獲得できないまま厳冬季に強い冷え込みがあった時に発生する場合である。もう一つは、耐凍性が十分に獲得

できていても、生長に好適な条件を与えれば生長する状態で、高温になることで樹が生育を開始し、耐凍性が低下したところで寒気に遭遇し発生する場合である。露地栽培では、気温の調節が困難であるため、凍害対策として、耐凍性に優れる台木の利用や、耐凍性が低い幼木期には、稲わら等の資材で主幹を保護する事（長野県果樹試験場 2013）などが推奨されているが、凍害を完全に防ぐことはできていない。落葉樹の凍害は、地下水位の高い園や重粘土壤園など過湿になりやすい園で発生しやすく（黒田 1988）、凍害発生の多い園地では飽和透水係数が低い（宮下ら 2024）ことが報告されている。しかし、このような土壤環境がモモの耐凍性に与える影響についての知見は少ない。そこで、土壤環境がモモの耐凍性に及ぼす影響について調査を行った。なお、本稿は農業生

産管理学会誌第 32 巻 1 号に掲載された試験結果（堀井ら 2025）を元に加筆をしたものである。

高土壤水分条件で栽培したモモ樹の凍害発生危険温度

黒ボク土を充填した 25L ポットに‘あかつき’（‘モモ台木筑波 4 号’台）を試験に供試し、茨城県つくば市の果樹茶業研究部門で調査を行った。施肥は、毎年 4 月に LP コート 70（ジェイカムアグリ、東京）を 11.9g/ 樹となるように施用した。2021 年 9 月上旬より、ポットの下に直径 36cm 高さ 8.5cm の受け皿を設置し、2021 年 9 月上旬～2021 年 11 月下旬、2022 年 3 月下旬～2022 年 12 月上旬、2023 年 3 月下旬～2023 年 12 月上旬の間、ポット下部が常に水につかった状態を維持した（以後、高土壤水分区）。対照区は受け皿を設置せず、底穴から水が排出される通常のポット栽培の状態で管理した。

耐凍性は、Sakamoto *et al.* (2017) の方法に従い、2022 年度および 2023 年度の 2 か年調査した。結果枝を一定時間低温で処理し、花芽の状態を観察し、凍害発生危険温度（花芽の 50% が枯死する温度）を Spearman-Kärber 法で算出した（本條・大村 1987）。

高土壤水分区では、葉中窒素濃度が、対照区と比較して有意に低く、当年枝長も短かった。さらに、高土壤水分区で枯れ枝の重量が重かった（表-1）。このことから、土壤水分率が高い土壤



図-1 凍害の様子
（左）健全個体、（右）凍害個体

表-1 高土壌水分条件がモモ幼木の生育に及ぼす影響^z

		葉中窒素濃度(%)		当年枝長 (cm)		枯れ枝重量 (g)	
2022年	高土壌水分区	1.27 ±	0.04	5.0 ±	3.6	28.3 ±	15.7
	対照区	1.71 ±	0.04	15.9 ±	7.8	2.4 ±	0.8
	t	7.41		5.00		-1.69	
	P ^y	**		**		*	
2023年	高土壌水分区	1.13 ±	0.03	4.8 ±	1.9	23.6 ±	14.8
	対照区	1.67 ±	0.05	14.6 ±	7.1	4.4 ±	1.2
	t	8.82		5.46		2.14	
	P ^y	**		**		*	

^z 供試ポットごとの平均値±標準偏差 (n=16).

^y t検定において**, *は1%, 5%水準で差があることを示す.

調査日 (葉中窒素濃度: 2022年10月18日, 2023年10月5日, 当年枝長: 2022年8月1日, 2023年8月21日, 枯れ枝重量: 2023年4月14日, 2024年4月10日)

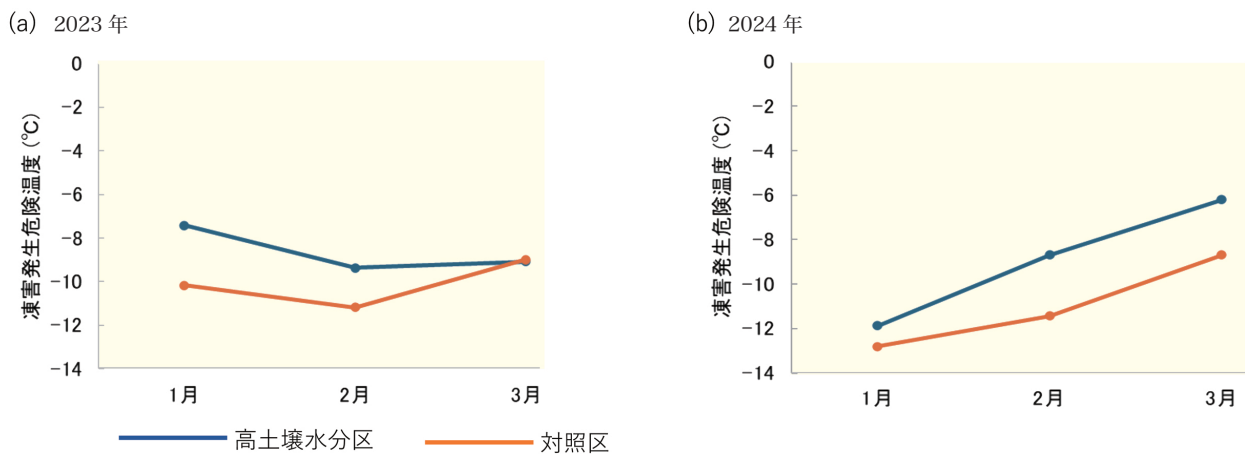


図-2 高土壌水分条件が凍害発生危険温度に及ぼす影響

条件において、モモが生育不良に陥っていたものと考えられた。2022年度の調査では、対照区および高土壌水分区の2023年1月の凍害発生危険温度は、それぞれ-10.2°Cおよび-7.4°Cで、高土壌水分区で凍害発生危険温度が高い、すなわち耐凍性が低い傾向がみられた(図-2(a))。2月の調査でも、対照区および高土壌水分区で-11.2°Cおよび-9.4°Cで、高土壌水分区で凍害発生危険温度が高い傾向であった。しかし、3月の調査では、処理区間における差は認められなかった。2023年度の調査について、2024年1月から2024年3

月のいずれの調査月においても、高土壌水分区で凍害発生危険温度が高い、すなわち耐凍性が低かった(図-2(b))。高土壌水分区と対照区の凍害発生危険温度の差は、1月、2月および3月にそれぞれ0.9°C、2.8°C、2.5°Cであった。

2023年3月24日および2024年4月1日に花芽を観察し、ポット毎に全花芽数に占める開花、花卉露出、不発芽の芽の割合を調査した。有意な差ではないものの、対照区と比較して高土壌水分区で、不発芽率が高い傾向がみられた。開花ステージに達した花芽の割合が高く、高土壌水分区において開花の

前進が認められた(図-3)。花芽のうち発芽がみられなかった芽(不発芽としてカウント)は、凍害により何らかの障害をうけたものと考えられる。高土壌水分区で開花が前進したことは、気温の変化が大きい時期に、生育ステージが前倒しとなっている状況で、急な低温に遭遇する危険性が高土壌水分区において高まっていると考えられる。

芽の含水率および糖含量

2023年度の凍害発生危険温度の調査日に、高土壌水分区および対照区の

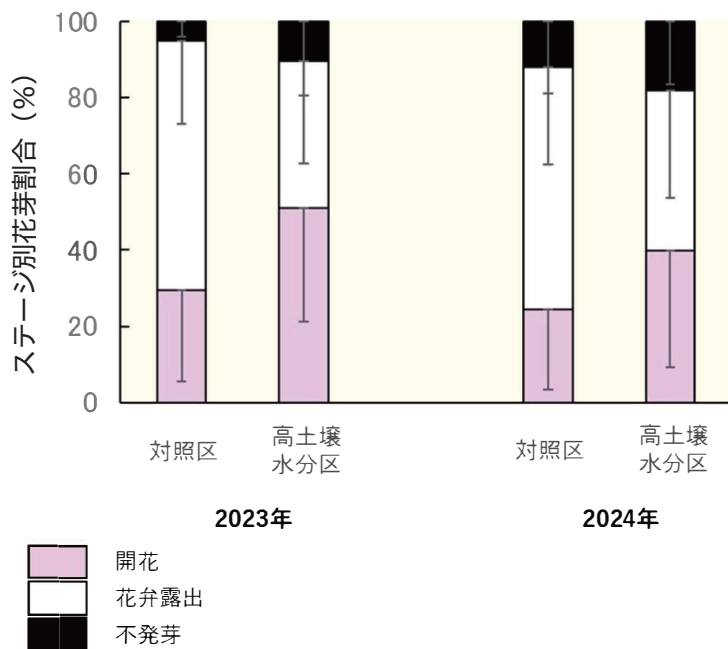


図-3 高土壌水分条件が開花に及ぼす影響
図中の垂線は平均値±標準偏差を示す (n=16).

表-2 高土壌水分条件がモモ幼木の花芽の含水率およびソルビトール含量に及ぼす影響^z

		含水率 (%)		ソルビトール含量 (mg/g DW)	
1月	高土壌水分区	41.4 ± 0.29	c	26.8 ± 1.42	a
	対照区	42.4 ± 0.03	B	28.1 ± 1.28	A
	t	3.14		0.94	
	P ^y	N.S.		N.S.	
2月	高土壌水分区	47.8 ± 1.53	b	22.3 ± 0.59	b
	対照区	46.0 ± 0.90	B	23.1 ± 0.63	B
	t	-1.94		-0.64	
	P ^y	N.S.		N.S.	
3月	高土壌水分区	62.0 ± 5.55	a	14.3 ± 0.65	c
	対照区	55.6 ± 6.34	A	18.1 ± 0.70	C
	t	-3.19		-5.62	
	P ^y	*		**	

^z 平均値±標準偏差 (n=3).

^y t検定において**, *は1%, 5%水準で差があることを示す. N.S.は有意差なし.

異なるアルファベット間には同一処理区間で調査月によって,

Tukey-Kramer法により5%水準で差があることを示す.

結果枝から、花芽および葉芽をサンプリングし、70℃で乾燥させ含水率を測定した。サンプルをミルで粉砕した後、Ito *et al.* (2012) の方法に従い、HPLCを用いて糖濃度を測定した。

芽の含水率は、2024年1月に両区とも42%程度で、2月には急激に増加していた。3月は高土壌水分区の含水

率が62.0%で、対照区の55.6%と比較して有意に高かった（表-2）。また、ソルビトール濃度は、3月に高土壌水分区で有意に低かった、対照区、高土壌水分区とも1月から3月にかけてソルビトール濃度が有意に減少していた。落葉樹では、秋季に炭水化物を蓄積し、その炭水化物を可溶性の糖に変えること

により耐凍性を高めていることが知られている（酒井 1967）。モモでは、宮本ら（2004）は秋季に幼木の摘葉処理を行うことにより、秋季に樹体内のデンプン含量を低下させた場合、冬季における糖含量の増大が阻害され、耐凍性が低下したことを報告している。ニホンナシでは自発休眠覚醒時に糖代謝の変化により、耐凍性が獲得されることが示されており（Ito *et al.* 2012）、花芽においてはソルビトールやスクロース等の糖含量と低温耐性に強い相関が認められている（瀬古澤・弦間 2003）。ソルビトールは、バラ科植物の主要な転流糖で、糖アルコール類に分類され、水溶性が高いため、多くの植物における主要糖分子であるスクロースより細胞保護機能が強く耐凍性回避効果に優れていることが報告されている（Hinch and Hagemann 2004）。細胞内に多量の糖を蓄積することは、細胞内の浸透圧を増加させ、凝固点降下により、凍結脱水（細胞外凍結による細胞内の脱水収縮）による細胞膜構造の損傷の程度を緩和させる（吉田 1999）と考えられている。今回の結果から、高土壌水分区と対照区における糖代謝過程の差異を説明することはできないが、高土壌水分区においてソルビトール含量が低値であったことは、高土壌水分区における耐凍性の低さに関係していることが示唆される。ただし、1月および2月の調査では、ソルビトール濃度には差が認められていない。ニホンナシでは脂質含量や脂質不飽和度が耐凍性に影響していることが報告されており（Liao *et al.* 1996; 松本ら 2010）、モ

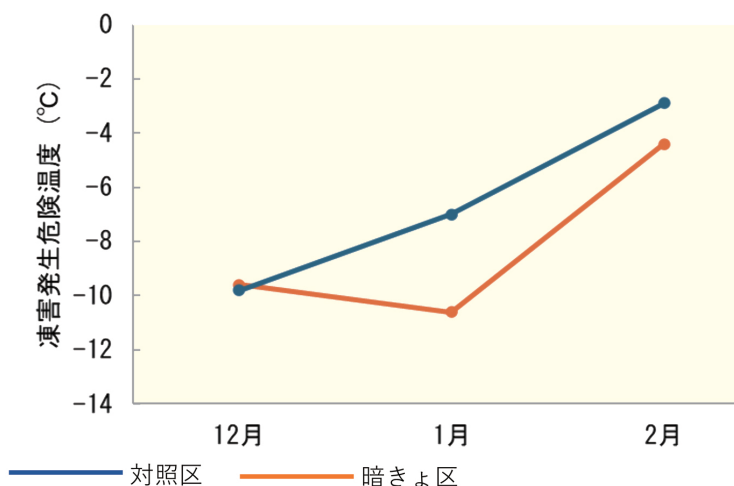


図-4 暗きょ設置が凍害発生危険温度に及ぼす影響

モにおいても、糖含量だけではなく様々な物質の生合成が耐凍性に関係すると考えられ、モモ樹の物質代謝と耐凍性の関係についてのより詳細な調査が必要である。

暗きょ設置の影響

高土壌水分区において、耐凍性の低下がみられたことから、土壌排水性の改善によりモモの耐凍性が高まることが期待される。そこで、暗きょ設置による排水改善が凍害発生危険温度に及ぼす影響を調査した。石川県農林総合研究センター場内（石川県金沢市）の圃場において調査を実施した。深さ 60～80cm を目安にトレンチャーで溝を掘り、コルゲート管（内径 75mm, TDW75Y, デンカ㈱）を入れ、充填材のもみがらや碎石などを入れて埋め戻した。暗きょから水平方向 1m の位置にモモ‘あかつき’（‘野生桃’台）（2 年生）を 2021 年 3 月に植栽した。2022 年 12 月～2023 年 2 月に凍害発生危険温度を調査した。

花芽の凍害発生危険温度について、2022 年 12 月は対照区と暗きょ区間で差はみられなかった（図-4）。暗きょ区の花芽の凍害発生危険温度は、2023

年 1 月に対照区より 3.6℃対照区より低かった。同様に暗きょ区の花芽の凍害発生危険温度は、2023 年 2 月に、対照区より 1.6℃低く、暗きょ区で耐凍性が向上しているものと考えられた。暗きょの設置により根圏の排水性が改善されることで、凍害発生危険温度が低下、すなわち耐凍性が向上したことが示唆される。

おわりに

凍害には様々な要因が関係していると考えられている。岐阜県で選抜された‘ひだ国府紅しだれ’の実生（神尾ら 2006）を台木に使用すると、一般的な台木に比べて凍害の発生が抑制される傾向が認められた（八重垣ら 2016）。富田ら（2025）は、‘ひだ国府紅しだれ’および‘払子’の 2 種類の台木を用いることで、枯死障害の発生が低く抑えられたことを報告している。このようにモモでは、台木の種類によって、耐凍性が異なることが報告されており、モモ樹の耐凍性を高めるためには、台木の選択も重要と考えられる。また落葉果樹において施肥時期が凍害発生に関係していることが報告されており（井上 2018）、圃場の排水性を改善したうえで、圃場環境

に応じて対策を行っていくことが重要であると考えられる。

謝辞

本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究「果樹等の幼木期における安定生産技術の開発」JPJ008720 の補助を受けて行った。研究にあたりご協力頂いた石川県の担当者の皆様、長谷川律子氏、杉原佳世氏に改めて感謝の意を表す。

引用文献

- Hincha, D.K. and M. Hagemann 2004. Stabilization of model membranes during drying by compatible solutes involved in the stress tolerance of plants and microorganisms. *Biochem. J.* 383, 277-283.
- 本條均・大村三男 1987. ニホンナシの耐凍性の季節変化. *農業気象* 43, 143-146.
- 堀井幸江ら 2025. 高土壌水分条件がモモ幼木の耐凍性に及ぼす影響. *農業生産技術管理学会誌* 32, 53-58.
- 井上博道 2018. 水稲以外の作物における気候変動への土壌肥料的適応技術 1. 適応技術研究の現状：果樹. *土肥誌* 89(6), 529-532.
- Ito, A. *et al.* 2012. Carbohydrate metabolism and its possible roles in endodormancy transition in Japanese pear. *Scientia Horticulture* 144(6), 187-194.
- 神尾真司ら 2006. モモ幼木の凍害による主幹部障害と枯死樹発生に及ぼす台木品種の影響. *園学研* 5, 447-452.
- 黒田治之 1988. 寒冷地果樹の寒害. *北海道農業試験場研究資料* 37, 1-101.
- Liao, R. *et al.* 1996. Seasonal variations in fatty acid composition and cold hardiness of Japanese pear in response to air temperature and growing stages. *Environ. Control Biol* 34, 303-311.
- 松本和浩ら 2010. 秋季の窒素施肥量がニホ

ンナシの耐寒性と脂質含量に及ぼす影響．園学研 9, 339-344.

宮本善秋ら 2004. モモ幼木への秋季摘葉処理による樹体内糖含量の低下と凍害の人為的誘発．岐阜県中山間農業技術研究所研究報告 4, 32-36.

宮下博行ら 2024. 石川県内の水田転換園における暗渠施工と土壌改良資材の植穴施用による土壌物理性の改善とモモ幼木期の凍害に及ぼす影響．日本土壌肥科学会講演要旨集 70, 115.

長野県果樹試験場 2013. リンゴ，モモの樹

体凍害軽減技術マニュアル～白塗剤・稲わらに替わる新資材活用マニュアル～．

酒井昭 1967. 植物の耐凍性．化学と生物 5, 73-79.

Sakamoto, D. *et al.* 2017. Application of livestock waste compost as a source of nitrogen supplementation during the fall-winter season causes dead flower buds in Japanese Pear 'Kosui'. The Horticulture Journal 86, 19-25.

瀬古澤由彦・弦間洋 2003. 果樹の凍霜害防止対策の現状．植物の生長調節 38, 240-

248.

富田晃ら 2025. 台木の違いがモモ若木樹の枯死発生および生産性に及ぼす影響．山梨果試研報 21, 1-10.

八重垣英明ら 2016. ‘ひだ国府紅しだれ’台木の凍害抑制効果に関する連絡試験の概要．果樹研究所研究報告 21, 43-52.

吉田静夫 1999. 極限温度に対する生理応答．pp. 24-35. 渡邊昭ら監修．植物の環境応答—生存戦略とその分子機構．秀潤社．東京.

くさくさ 田畑の草種

銀杏浮苔（イチョウウキゴケ）

須藤 健一

ウキゴケ科イチョウウキゴケ属の日本で唯一の浮遊性のコケ植物。北海道から沖縄まで全国に分布する。ウキクサ等に混じって水田や池等に浮遊するが、泥の上でも陸生形を取って生育できる。多年生で暖かいとほぼ1年中生育するが、氷が張るようになると赤くなって枯れる。1属1種。日本在来ではあるがほぼ全世界に分布することから汎世界的な種である。

一般にコケ植物（苔類）は植物の体の構造として、根、茎、葉の区別がはっきりせず、全体が平らで分化していない構造の葉状体を持つが、イチョウウキゴケの葉状体はイチョウの葉のような形をして扇状の半円形をしている。長さは10～15mm、幅は5～8mm程度で、表面に浅い溝がある。葉状体の内部には気室があり、それによって水に浮くことができる。表面は濃緑色～青緑色を帯び、時に多少赤みを帯びることもある。

葉状体の裏側には、紫色で柔らかく長さ5mm～15mmほどの鱗片が多数垂れて根のようにみえる。これは腹鱗片と呼ばれ、乾燥から保護したり水分を吸収したりする役割を持つ。一方で水がなくなってくると腹鱗片はあまり発達せず、仮根が伸び陸生形として生育する。

雌雄同株で雌器、雄器ともに葉状体のなかに埋もれている。イチョウウキゴケの場合、コケ植物であり種子は作らないが晩秋に胞子を形成する。一方、栄養繁殖が旺盛で、銀杏の葉のような形の葉状体が半円を超えるようになると二つに分かれて増える。これを二分分裂というが、強光下など環境条件が良ければ倍々ゲームのように増えていく。

ところで、環境省などのHPによると、イチョウウキゴケは、かつて田んぼの乾田化や除草剤の使用などで絶滅が心配され絶滅危惧Ⅰ類に指定されていたことがあった。しかし今では「準絶滅危惧」のカテゴリにまで格下げされている。準絶滅危惧種とは「現時点では絶滅危険度は小さいが、生息条件の変化によっては『絶滅危惧』に移行する可能性のある種」のことをいう。さらに、本種は全国に分布するが、HPによると秋田、宮城、福島、愛媛、大分の各県では未だに絶滅の危機に瀕している種（絶滅危惧Ⅰ類）と位置付けられている。一方で、筆者の

住む兵庫県では準絶滅危惧でもないことから、絶滅という心配は少ないのかもしれない。実際に、筆者の住む近所の田んぼでイチョウウキゴケが稲の株の間に浮遊しているのを見ていた。特に観察していたわけではないが、その田んぼのイチョウウキゴケは、田んぼ全面に発生していたわけではない。一部分に見られただけであり、それもウキクサやアオウキクサと一緒に浮遊していた。田んぼの水を出し入れするとき、ウキクサやアオウキクサは塊として動いていくがイチョウウキゴケはさほど動かないように思う。葉状体の縁からはみ出すように広がっている腹鱗片が水の抵抗に逆らって踏みとどまろうとしていたのだろうか。隣接する田んぼにイチョウウキゴケが広がることはなかった。

しかしそのイチョウウキゴケが見られた田んぼは、5年ほど前から耕作が放棄され、今ではヒレタゴボウが優占する放棄田になってしまっている。イチョウウキゴケが絶滅危惧にカテゴリ化されるのは、そんな耕作放棄田の増加などが関係しているのかもしれないと思ったりする。そうすると兵庫県のイチョウウキゴケが準絶滅危惧種とされるのも時間の問題なのかもしれない。

