果樹凍害の発生要因と対策技術マニュアル

果樹の幼木期安定生産コンソーシアム

農研機構果樹茶業研究部門
秋田県果樹試験場
岐阜県中山間農業研究所
石川県農林総合研究センター農業試験場

2025年1月

はじめに

凍害は果樹栽培において古くからの問題であり、植え付けた幼木が枯死する原因の一つです。これまでの凍害の対策技術としては、幼木の主幹部に稲ワラ等の資材を被覆するか、クリでは株ゆるめという、冬季に根を切ることで凍害発生を抑制する技術が開発されています。しかしながら、効果が限られており、十分な対策技術とはなっていないのが現状です。

そこで、落葉果樹の凍害被害を減らすために、みどりの食料システム戦略実現技術開発・実証事業のうち農林水産研究の推進（委託プロジェクト研究）「現場ニーズプロジェクト（果樹等の幼木期における安定生産技術の開発）」（JPJ008720）（2020 ～ 2024 年）において、植付けから果実生産に至るまでに発生が多い落葉果樹の凍害の発生要因を解明し、多発圃場における幼木期の枯死発生率を３割削減可能な対策技術を開発することを目標に、研究を進めてきました。

開発した技術の特徴として、凍害防止には地下部の対策、管理が不可欠であることを示すとともに、現時点でコスト面、労力面から実施可能な管理法とその凍害防止効果を取りまとめてマニュアルにしています。本マニュアルを活用することで、植え付けた苗木の凍害発生が抑制され、果実の安定生産につながることになれば幸いです。

果樹の幼木期安定生産コンソーシアムのうち、凍害対策担当

■免責事項

農研機構、秋田県果樹試験場、岐阜県中山間農業研究所、石川県農林総合研究センターは、利用者が本マニュアルに記載された技術を利用したこと、あるいは技術を利用できないことによる結果について、一切責任を負いません。

目　次

■ 総論

1. 落葉果樹の凍害の症状、発生要因について …… 1
2. 凍害の対策技術 …… 7
凍害の対応技術選択フローチャート …… 9

■ 定植時の凍害対策技術

3. 木材チップ堆肥等による土壌改良処理 …… 11
4. 暗きょの施工 …… 16
5. 植穴の土壌改良 …… 18

■ 定植後の凍害対策技術

6. 穿孔処理による排水改良 …… 20
7. カットブレーカー処理による排水改良 …… 22
8. 窒素の施用時期 …… 25

■ 参考資料

土壌改良、排水対策のコスト
凍害を受けにくい台木の利用
凍害と急性枯死症状

内容についての問い合わせ先

1、2、8	農研機構果樹茶業研究部門	(TEL 029-838-6416)
3	岐阜県中山間農業研究所中津川支所	(TEL 0573-72-2711)
4、5、6	石川県農林総合研究センター農業試験場	(TEL 076-257-6911)
7	秋田県果樹試験場	(TEL 0182-25-4224)

1　落葉果樹の凍害の症状、発生要因について

モモでの主な症状

不発芽・発芽遅延

芽枯れ（発芽、開花後に
萎凋、枯死）

主幹部の被害（割れ）

芽の周辺の褐変

主幹部の変色
（削ると褐変、発酵臭）

凍害部位の横断面
（形成層から木部まで褐変）

二次的な被害：キクイムシ

形成層の褐変

クリでの主な症状

芽枯れ（少し伸長した後、
黄化萎凋、枯死）

サメ肌状の枝幹
（削ると褐変、発酵臭）

不発芽・発芽遅延

主幹部の被害
（亀裂、褐変）

台芽の発生

二次的な被害：胴枯れ病

二次的な被害：キクイムシ

ナシでの主な症状

不発芽、発芽遅延

芽枯れ（少し伸長した後、萎凋し、枯死）

主幹部の被害（亀裂、褐変）

凍害部位の横断面（褐変）

リンゴでの主な症状

不発芽、発芽遅延

芽枯れ（少し伸長した後、萎凋し、枯死）

主幹部の被害
（亀裂、褐変）

凍害の主な症状

凍害は春先に芽が動かなかったり、樹が枯れたりすることで気が付くことが多く、その主な症状としては、芽枯れ、発芽不良、発芽の遅延、枝枯れ、主幹部の裂傷などがあり、枯死した枝や幹からは発酵臭がします。二次的に、主幹部等に胴枯れ病が見られることもあります。被害を受けた樹では、地上部は枯死していても、根は生きている場合が多く、しばらくすると台芽が発生してくることが多いです。

発生要因について

凍害は様々な要因が複雑に絡み合って発生しますが、主に気象、栽培、土壌の要因が挙げられます。

● 気象要因

気象要因の中で凍害の発生に大きく関与するのは、秋期と春期の気温です。凍害は樹体の耐凍性（低温に耐える力）を上回る低温に遭遇したときに発生しますが、耐凍性は季節で変動し、秋の気温低下に伴って高まり、春の気温上昇とともに低下します。近年は温暖化の影響で暖秋・暖春年が多くなり、耐凍性が不十分な状態で突発的に限界温度以下の低温に遭遇する機会が多くなったため、凍害のリスクが高まっていると考えられます。

● 栽培要因

耐凍性には樹齢、樹体の栄養状態、施肥の時期などの栽培要因が関与します。定植３～４年目までの幼木、衰弱樹や徒長的に生育した樹は凍害の発生が多くなります。このような樹は、秋期の１年生枝へのデンプン蓄積量が少ないことが報告されており、このことが耐凍性の低い原因と考えられています。また、晩秋期の堆肥施用が凍害を助長すると言われていますが、これは窒素の遅効きにより生長が停止せず、耐凍性の獲得が遅れるためとされています。

● 土壌要因

土壌条件もまた樹の生育に密接に関わり、耐凍性を左右します。落葉果樹の園地土壌を調査した結果、凍害発生園では空気の割合（気相率）が低く（図 1-3)、水はけが悪い傾向が見られました。また、積雪地帯では、冬から春にかけて長期間土壌の過湿状態が続き、障害発生園ではその傾向が顕著で、樹体の耐凍性も低いことが調査の結果明らかとなりました（図 1-4)。硬い土や水はけの悪い場所では、根の発達が不十分となり、樹が健全に生育できないことが、凍害発生につながると考えられます。

図 1-3　モモの健全園および凍害発生園における土壌の気相率の変化

凍害発生園では気相率が低く、水分過多

図 1-4　健全樹および障害樹の凍害発生危険温度の推移（モモ、秋田県）

本マニュアルでは土壌要因の改善を図る対策技術を中心に取りまとめています。主要果樹では土壌診断基準（表 1-1）があり、本マニュアルで凍害対策が必要と考えているモモ、クリ、ナシ、リンゴでは、土壌の粗孔隙率で 10 ～ 15%以上、透水係数は 10^{-3} ～ 10^{-4}cm / 秒以上であるので、各樹種共通で粗孔隙率（本マニュアルでは気相率）15%以上、透水係数 10^{-3}cm / 秒以上を目標とした対策技術の開発を行いました。本マニュアルでは、それぞれの対策技術を行っている樹種は一つですが、上記の基準を満たすのであれば、モモ、クリ、ナシ、リンゴのいずれの樹種でも対応可能と考えています。

表 1-1　主要果樹で求められる根域と根の特性、土壌診断基準（粗孔隙率、透水係数）

樹種	主要根群域※1 深さ（cm以上）	根域※2（cm以上）	地下水位（cm以下）	耐湿性	耐干性	粗孔隙率（%<）	透水係数（cm/秒）
モモ	30	60	100	弱	中～やや強	15	2×10^{-4}
クリ	40	60	100	弱	強	15	10^{-4}
ナシ	40	70	100	中くらい	弱	10	10^{-4}
リンゴ	30	60	100	中くらい	やや弱	15	10^{-3}
ブドウ	30	50	80	強	やや弱	12	10^{-4}
カキ	40	60	100	比較的強	弱	15	10^{-4}
ミカン	30	60	100	弱	強	15	10^{-4}

※１　主要根群域とは、細根が７～８割以上分布する範囲
※２　根域とは、根が９割以上分布する範囲
農林水産省果樹試験場編（1985）果樹園土壌の現状と診断基準　より作成
粗孔隙率と透水係数は褐色森林土、低地土、赤黄色土での基準値

2　凍害の対策技術

土壌環境の改善方法

苗を健全に生育させるためには、深く根を張れる環境が必要です。このため、あらかじめ園地の土壌環境を確認しておく必要があります。判断のためには、定植予定の園地で深さ50cm を目安にシャベルで穴を掘ります。深く掘ることが難しい場合、その土壌は「硬い」と判断できます。硬い土壌は水はけが悪く（透水性が低く）、通気性が悪い（気相率が少ない）傾向にあります。このような土壌は、根の伸長が抑制されて根域が浅くなり、乾燥に弱いうえ養分の吸収が抑制されて衰弱しやすい樹となるため、土壌改良が必要です。

また、降雨後１日を経過しても掘った穴に水が溜まっているような場合（図 2-1）は、透水性が非常に悪いと判断され、根の生育に影響しますので後述の土壌改良、排水対策が必要となります。

図 2-1　植え穴の水の停滞

⑴ 植穴の改良

気相率や透水性の改善方法の一つとして、植え穴への土壌改良資材の投入があります。有効なものとしてはパーライト（真珠岩、黒曜石）やガラス発泡資材（スーパーソル等）など物理的に隙間を増やす資材があり、投入した部分の土壌の気相率や透水性は大きく改善されます（P. 18 ～）。なお、ガラス発泡資材は pH が 10 程度と高いため、圃場の pH が高い園地での使用には、作物の適正 pH を超えないようにする等の注意が必要です。

⑵ 深耕による改良

実際には、植え穴の土壌改良だけでは、十分な透水性の改善につながらない場合があります。これは、その周辺土壌（未改良部分）の土壌の影響を受けるためであり、特に硬い層が下にある場合はその傾向が強くなります。その場合はトレンチャーや深耕ロータリーで深耕を行い、硬い層を粉砕する必要があります（P. 11 ～）。

⑶ 暗きょによる土壌改良

図 2-1 のような滞水園地は、地下水位が高い傾向にあります（図 2-2）が、暗きょの設置により、滞水の解消が期待できます。しかし、暗きょ（本暗きょ）が設置されているにもかかわらず、水がたまる場合は、管への土の流入などにより暗きょが機能していない可能性があります。降雨後、暗きょ管の出口から水が排出されているかを確認し、排水が見られない場合には、管の清掃と合わせて排水路（側溝）の掃除を行いましょう（図 2-3）。

図 2-2　滞水園における地下水位の推移
地下水位は、60cm 付近より上部を計測

図 2-3　暗きょ出口の清掃前（左）と清掃後（右）

暗きょは、主に土壌中にできた亀裂などの孔隙によって土壌を浸透した水が集水して園外に排水されますが、水がうまく暗きょまで到達しない場合には、園地から迅速な排水を期待することはできません。これを補うために補助暗きょを設置するのが有効です。補助暗きょは、本暗きょより浅い位置に土中の空間を作るために行います。補助暗きょの手法としては、心土破砕、トレンチ、せん孔暗きょ、弾丸暗きょなどがあります。

また、暗きょの埋設位置が浅い事例がみられており、その場合は根域下部の排水が不十分となるため、根の生育が強く抑制されます。このため、暗きょを設置する場合は、深さが50cm より深くなるように設置します。

凍害の対応技術選択フローチャート（定植時）

スコップで深さ 50cm の穴を掘ることができますか？
（土壌の硬さは根域の深さを知る目安になります）

YES

NO

土壌改良が必要です。
深耕、土壌改良資材の施用などの対応をしてください。【P. 11 へ】

圃場の滞水

積雪地域では春先、圃場で雪解け水がたまりませんか？

YES

NO

水はけは良いですか？
掘った穴に水がたまりませんか？

NO

排水対策が必要です。
暗きょもしくは明きょがありますか？

YES

NO

掘穴での滞水

暗きょや明きょは機能していますか？

NO

YES

暗きょもしくは明きょを新たに施工してください。【P. 16 へ】
暗きょ等の施工後は、植穴の土壌改良もご検討ください。【P. 18 へ】

暗きょや明きょの清掃をしてください。【P. 8 へ】

YES

土壌改良、排水対策は必要ありません。耕種的防除に努めましょう。窒素の施肥時期についてもご検討ください。【P. 25 へ】

現在ある暗きょ、明きょだけでは排水が不十分だと考えられます。暗きょもしくは明きょの追加を検討ください。【P. 16 へ】

凍害の対応技術選択フローチャート（定植後）

スコップで深さ 50cm の穴を掘った場合、掘った穴に水がたまりませんか？

YES

NO

掘穴での滞水

積雪地域では春先、圃場で雪解け水がたまりませんか？

NO

排水対策が必要です。暗きょもしくは明きょがありますか？

YES

圃場の滞水

YES

NO

暗きょもしくは明きょを新たに施工してください。【P. 16 へ】
暗きょ等の施工後は、植穴の土壌改良もご検討ください。【P. 18 へ】

排水対策は必要ありません。耕種的防除に努めましょう。窒素の施肥時期についてもご検討ください。
【P. 25 へ】

暗きょや明きょは機能していますか？

NO

YES

暗きょや明きょの清掃、穿孔処理【P. 20 へ】もしくはカットブレーカーの施工をしてください。【P. 22 へ】

現在ある暗きょ、明きょだけでは排水が不十分だと考えられます。暗きょもしくは明きょの追加を検討ください。
【P. 16 へ】

カットブレーカーの施工

3 木材チップ堆肥等による土壌改良処理（定植時の対策技術）

ねらい

土壌の硬い圃場では根の伸長が抑制されるため生育不良になりやすく、凍害のリスクが高まります。そこで土壌の物理性を改善するために、定植予定場所を深耕しながら木材チップ堆肥又は多孔質資材（ガラス発泡資材、パーライト）等の土壌改良資材を投入・混和し、地表面から 40cm 程度の高さに土を盛り上げた場所に苗木を植え付けます。これにより、土壌の透水性が高まり生育が良くなると共に冬期の樹体水分の上昇を抑えることができるため、凍害の発生を抑制することが期待されます。

実施場面

凍害の対応技術選択フローチャートで、土壌硬度が高く透水性が不良な場合や過去に凍害の発生が多かった園地の場合に実施します。使用する土壌改良資材は、痩せ地で腐植が少ない園地では木材チップ堆肥、重粘土で気相が少ない園地では多孔質資材（ガラス発泡資材、パーライト）が適します。なお、実証試験地の土壌は赤黄色土です。

❶深耕
深さ 60cm 以上に深耕する

→

❷改良資材混和
土壌改良資材を土に混和する

→

❸盛り土
1.5m 程度の幅で 40cm 程度盛り土する

対策方法（作業手順）

実施する時期としては、降雨後や積雪時など土壌水分が多い時に土壌改良処理を行うと、土をこねて排水性がかえって悪化するため、必ず 10 ～ 11 月の晴天が続き土壌が乾いた時に作業を行います。

【土壌改良処理の手順】

1. 畝を立てる場所を列状に幅 1.5m、深さ 60cm 以上で深耕しながら土を掘り上げます。植穴処理の場合も同様に深耕しながら土を掘り上げます。
2. 掘った溝や穴と掘り上げた土に木材チップ堆肥又は多孔質資材（ガラス発泡資材あるいはパーライト）を入れます。
3. 資材投入量は、木材チップ堆肥の場合は土壌容積の 50%、多孔質資材（ガラス発泡資材、パーライト）の場合は 20% を目安とします。
4. 樹列間の土壌も寄せ集めながら資材と土壌をよく混和して埋め戻し、畝幅 1.5m、畝高 40cm 程度になるように成型します。

列状処理の場合

畝直下を 60cm 程度深耕しながら土を掘り下げ

木材チップ堆肥を土壌容積の 50% 入れる

木材チップ堆肥と土壌を混和

畝高が 40cm 程度になるように盛り土

植穴処理の場合

植穴直下を 60cm 程度深耕しながら
土を掘り上げる

パーライトを土壌容積の
20% 入れる

パーライトと土壌を混和

盛り土の高さが
40cm 程度になるよう成型

対策効果

土壌が硬いところでは、土の密度が高い傾向にあり、空気の割合（気相率）が低くなっています。土壌改良を行うことで、固相率（固体部分の割合）が低下し、気相率と液相率（土壌水分の割合）が増加します（図 3-1）。また、土壌の通気性と排水性を高める資材を混和することで、土壌の透水性も高まります（図 3-2）。土壌改良によりクリ幼木の生育が向上し（図 3-3）、無処理区に対して凍害の発生が大幅に軽減され、枯死樹の発生は 8 割以上抑制されました（表 3-1）。

図 3-1　クリ園の土壌改良処理が土壌物理性改善に及ぼす影響
（土壌深さ 20cm と 40cm の平均値 [三相分布] あるいは中央値
50% 区：木材チップ堆肥を 50% 混和、深耕区：60cm 深耕のみで改良資材の混和なし、30-20 区：木材チップ堆肥を 30%、ガラス発泡資材を 20% 混和、無処理区：植穴のみで改良処理なし。）

図 3-2　深耕後のガラス発泡資材（粒径 4 ～ 15mm）20% 混和による透水性改善効果（R3 年 7 月降雨直後撮影）
改良区では、滞水がみられない。

図 3-3　土壌改良処理が定植 2 年目のクリの生育に及ぼす影響
木材チップ堆肥 50% 区（50%区）、
木材チップ堆肥 30%+ ガラス発泡資材 20% 区（30-20 区）、深耕区。

表 3-1　土壌改良処理が定植 3 年目までのクリ樹の凍害発生に及ぼす影響

		凍害による枯死樹	
試験区	供試樹数	樹数	発生率（%）
無処理区	6	3	50
深耕区	15	0	0
50%区	13	0	0
30-20区	14	1	7.1

深耕区、木材チップ堆肥 50% 区、
木材チップ堆肥 30%+ ガラス発泡資材 20% 区（30-20 区）

技術活用上の留意点

1. 畝の下や植穴の土壌を深耕しないで畝部分だけを改良し成型すると、畝部分の土壌水分が高まり逆効果となる場合があるので、必ず深耕し排水を確保した上で畝の下や植穴を土壌改良する必要があります。
2. 深耕する際は雨水がたまらないように下層部の硬い層を破砕し、水の地下浸透を促します。
3. 使用する木材チップ堆肥は、完熟で窒素分が少ないものを使用し、牛糞堆肥や豚ふん堆肥などの窒素分の多い堆肥は使用しない（例. N:1.2%、P_2O_5:0.4%、K_2O:0.3%、C/N 比 25.4% は乾物当たり）。
4. 多孔質資材は、パーライト（黒曜石、真珠岩）、ガラス発泡資材が利用できます。
5. 干ばつが続くと生育への影響が懸念されるため、その場合は株元への敷き草マルチやかん水等を行います。

4　暗きょの施工（定植時の対策技術）

ねらい

水田転換園など地下水位が高く、排水性の劣る園地では、凍害のリスクが高いので、暗きょを施工してから植え付けます。

地下水位が高く、穴を掘ると水がたまる

実施場面

凍害の対応技術選択フローチャートで排水対策が必要と判断され、明きょや暗きょがない、もしくは不十分な場面で実施します。ここで対策を行った園地はモモの凍害発生ほ場であり、穴を掘ると、土の深さ 50 ～ 60cm に滞水があったことから、排水対策が必要だと診断されました。なお、実証試験地の土壌は低地土です。

対策方法（作業手順）

1. トレンチャーやバックホーなどで溝を掘ります（深さ 60 ～ 80cm 目安）。
   排水を促すために、溝に傾斜をつけます。

2. 溝にコルゲート管を入れ、集水パイプ（排水用塩ビ管）に接続します。

排水できるように、コルゲート管が傾いていることを確認

排水できるように、パイプが傾いていることを確認

3. 溝に充填材のもみがらや砕石などを入れて埋め戻します。

もみ殻は沈み込みやすいので、踏み固めながら充填

コルゲート管の先端を地上に出すことで、管の内部を清掃しやすい

対策効果

地下水位が高く、排水性が悪いところでは、土壌中の隙間（気相率＋液相率：空気と水の割合）の大部分が水で占められている状態なので、暗きょを施工することで、たまっていた水が流れ、気相率が高まります（図 4-1）。実際に排水不良園で暗きょを設置した場合、モモの凍害は暗きょを設置しなかったところで 33%発生したのに対し、暗きょの設置により発生がなくなりました（図 4-2）。樹体生育については、暗きょ設置により生育がやや良好になる傾向が見られ（表 4-1）、気相率も高いことから凍害の発生抑制が期待できます。

図 4-1　深さ40cmの気相率
（R5 年12 月～R6 年3 月）
緑の点線は改良目標（15%以上）

暗きょによって気相率が向上

暗きょによって凍害の発生が抑制

図 4-2　モモの凍害発生割合
（5 年生、R6 年 5 月）

表 4-1　モモの樹体生育（5 年生、R6 年 11 月）

試験区	樹高 (cm)	幹周 (cm)	主枝延長 枝長(cm)
暗きょ区	333	23.1	74.3
対照区	310	21.7	42.0

暗きょによって生育がやや良好になる傾向

技術活用上の留意点

土壌の気相率や透水性が低いほ場では、排水対策だけでは効果が不十分なため、暗きょに加えて、植穴への土壌改良資材の投入等が必要です。

5　植穴の土壌改良（定植時の対策技術）

ねらい

水田転換園などで、土壌の気相率が低いまたは透水性が低いほ場では、暗きょ等の排水対策に加えて、苗木の生育を促進するため、植穴の土壌改良をしてから植え付けます。

実施場面

排水対策を行った後の土壌物理性不良園において、さらに苗木の根域の土壌改良が必要な場面で実施します。ここで対策を行った園地はナシの凍害発生ほ場であり、深さ 40cm の土壌の透水係数は 10^{-7}cm/ 秒（約 5mm/ 日）と低く、透水性の向上が必要だと診断されました。なお、実証試験地の土壌は低地土です。

対策方法（作業手順）

1. 植穴を掘り（目安：縦横 57cm× 深さ 50cm= 約 160L）、土壌容量の 20％相当（目安：約 40L）の土壌改良資材（パーライトなど）を植穴の土壌に混和します。

植穴の土と、資材をよく混和する

2. 苗木を植え付けます。

対策効果

植穴の土壌改良をすることで、気相率が高まり（図 5-1）、透水性も向上しました（図 5-2）。対策園地でのニホンナシの凍害発生率は、対照区で 16.7%（1 樹 / 6 樹）だったのに対して、パーライト区で発生がありませんでした（図 5-3）。また、樹体生育には差は認められないものの（表 5-1）、排水性が向上した区では凍害の発生抑制が期待できます。

図 5-1　深さ40cmの気相率（R4年12月～R5年3月）
緑の点線は改良目標（15%以上）

パーライトによって気相率が向上

図 5-2　パーミアテストによる土壌の排水性（R4 年 6 月）

植穴の土壌改良によって排水性が向上

植穴の土壌改良によって凍害の発生が抑制

図 5-3　ナシの凍害発生割合（5 年生、R6 年 5 月）

表 5-1　ナシの樹体生育（5 年生、R6 年 11 月）

試験区	幹周 cm	総新梢長 cm
ガラス発泡資材区	15.7	1635
パーライト区	16.7	2271
対照区	15.1	1500
有意性※	ns	ns

※ F 検定、ns は有意差なし

植穴の土壌改良によって樹体生育に悪影響は無い

技術活用上の留意点

気相率が低い、または透水性が低いほ場では、暗きょ等のみでは凍害の発生抑制は不十分であるので、基本的には、定植時に植穴の土壌改良も実施する必要があります。

6 穿孔処理による排水改良（定植後の対策技術）

ねらい

定植後の凍害対策として、樹体の周囲にオーガー（穿孔機、写真）による穿孔処理を行い、部分的に水の通り道を作ることで排水改良を行う方法があります。

実施場面

凍害の対応技術選択フローチャートで、暗きょ等があるものの排水が不十分で、すでに樹が植栽されている場面で実施します。対策を行った園地はモモの凍害発生ほ場であり、土壌の透水係数は 10^{-7}cm ～ 10^{-6}cm / 秒と低く、透水性の向上が必要だと診断されました。なお、実証試験地の土壌は低地土です。

対策方法（作業手順）

1. 落葉後に樹体の周囲 4 か所にオーガーで穿孔。
2. （粘土質の土壌では、）パーライトなどの土壌改良資材と、土とを混和しながら穿孔を埋め戻します。

電動オーガー

①電動オーガーで樹の周囲を穿孔処理

②土壌改良資材を混和※して埋め戻す

※施用例
パーライト 3.2L を（穿孔の 20%）
土と混和して埋め戻す

穿孔処理イメージ

対策効果

オーガーによる穿孔処理によって、樹体周囲の排水性が高まり、根域周辺の気相率が改善されることで（図 6-1、図 6-2、表 6-1）、凍害発生の抑制につながります。樹体生育については、3 年生時点では、差は認められていません。

図 6-1　パーミアテストによる排水性（R6 年 6 月）

穿孔処理によって透水性が向上

図 6-2：気相率と日合計降水量の推移（R5 年 12 月～ R6 年 3 月）
緑の点線は改良目標（15%以上）

穿孔処理によって土壌の気相率が向上

表 6-1　穿孔の気相率と透水係数（R6 年 6 月）

試験区	透水係数 cm/秒	気相 %	仮比重
穿孔+ガラス発泡資材区	1.2×10^{-3}	12.2	1.05
穿孔+パーライト区	2.0×10^{-3}	12.1	1.01
穿孔のみ区	1.4×10^{-3}	14.4	1.06
対照区	6.0×10^{-4}	5.5	1.22
有意性※	ns	ns	ns

穿孔処理によって土壌改良目標に近づく

技術活用上の留意点

1. 地下水位が高く、掘った穴に水が溜まる圃場は、本対策による効果は期待できず、適しません。
2. 生育中の根を傷めないように、穿孔処理の時期は落葉後とし、処理位置は樹体から 50cm 以上離してください。
3. 穿孔処理時に資材を混和した方が、安定した土壌改良効果が期待できます。
4. 圃場の下層に硬い層があり、そこに穴をあければ排水性が良好になるような場合、定植時の処理としても穿孔処理は有効と考えられますが、現時点では有効性を確認していません。

7 カットブレーカー処理による排水改良（定植後の対策技術）

ねらい

定植後の凍害対策として、園地の広い面積での排水不良を改善する目的で、樹列間にカットブレーカー（全層心土破砕機）により溝切処理を行い、排水改良を促す方法があります。

実施場面

凍害の対応技術選択フローチャートで、暗きょ等があるものの排水が不十分で、すでに樹が植栽されている場面で実施します。

対策を行った園地はモモの凍害発生ほ場であり、消雪期には園地に滞水か所が散見され、透水性の向上が必要だと診断されました（図 7-1）。なお、実証試験地の土壌は低地土と黒ボク土です。

図 7-1　雪解け水が溜まった圃場

対策方法（作業手順）

1. 施工は晩秋期もしくは春に行う。
   トラクター（20 ～ 50 馬力）にカットブレーカー mini を装着する（図 7-2）。

図 7-2　カットブレーカー mini の構造

2. トラクターを低速（2 km/h）で走行させ、溝を掘る（深さ 50cm まで可）。
   目安は、深さ 30 ～ 35cm 程度、施工幅 2 ～ 5 m 程度（図 7-3）。

図 7-3　カットブレーカー mini 施工の様子（左）と施工後の断面（右）

●モモ樹　　カットブレーカー施工箇所

図 7-4　カットブレーカー施工のイメージ（7 m ×7 m植、左：整列、右：千鳥）

対策効果

枯死率低減効果：カットブレーカー処理（図 7-4）を行うことで気相率が高まりました（図 7-5）。対策園地のモモの枯死率は対照区で 40%（2 樹 / 5 樹）だったのに対して、カットブレーカー処理区では枯死が発生しませんでした（図 7-6）。

図 7-5　深さ 40cm の気相率（R5.12 月～ R6.5 月）
緑の点線は改良目標（15%以上）

図 7-6　モモの枯死率（3 年生時点）

暗きょの排水改良効果：施工により排水が見られなかった暗きょからの排水が見られるようになりました（図 7-7）。

図 7-7　施工前（左）と施工後（右）
融雪時の暗きょ排水口（左：R4 年、右：R5 年）

技術活用上の留意点

1. カットブレーカー処理により地表面が盛り上がるため、乗用草刈り機や運搬車が作業できる程度に重機のクローラー等で軽く転圧する必要があります。
2. 本技術は地下水位が高い圃場での効果が見られません。

8　窒素の施肥時期

ねらい

落葉果樹の施肥時期としては、春から冬にかけていろいろな時期に行われていますが、凍害対策を考えるうえでは、晩秋から冬季の施肥は避けた方がいいでしょう。リンゴ、ニホンナシ、クリでは冬季の施肥によって幼木の芽枯れや樹の枯死が発生することが確認されており、モモにおいてもその可能性が示唆されています。

窒素は、根の周辺に適度にあるとそこに根が集まることが知られています。春から夏に窒素を吸収した樹では枝を伸ばし、窒素施肥量が過剰であれば徒長枝を出してしまうなど、樹体生育に大きな影響を与えます。さらに成木に比べると幼木では窒素施肥に対する反応性が高いです。

晩秋から冬季にかけては、樹体は徐々に休眠に向かい、耐凍性を高めていく時期です。そのような時期に窒素を与えてしまうと、樹が施肥窒素に反応し、活動的になり、耐凍性の向上が抑制されてしまうのではないかと考えられます。そのため、幼木では、晩秋から冬季の施肥は避け、果実生産が始まってからも 10 月下旬以降の施肥については避けた方が望ましいと考えられます。

実施場面

凍害が発生している園地で、施肥を晩秋（10 月下旬ごろ）から冬季の間に行っている園地での実施を想定しています。

対策方法

施肥時期を春に移行します。樹勢強化のため秋に施肥を行っている場合には、9 月中に施肥を終わらせ、10 月以降は施肥を行わないようにします。これまで晩秋から冬季に施肥していた窒素は、その大部分が春までに失われます。そのため、施肥時期を春に移行する場合には、施肥量も減らす必要があります。まずは晩秋から冬季に施肥していた窒素量を半減させましょう。

対策効果

これまでにポット樹を用いた試験においては、クリ、ニホンナシ、リンゴにおいて、晩秋から冬季の窒素施肥では枯死芽率あるいは障害を受ける芽の割合が高いのに対して、3 月や 4 月の施肥では大幅に低くなることが示されています（図 8-1、8-2）。

水田転換園に植栽したモモにおいても、窒素肥料（尿素）を 12 月に施用した場合には凍害発生率が 25% であったのに対し、3 月施肥では 0% になりました（図 8-3）。

図 8-1　異なる窒素施肥時期におけるクリの枯死芽率
各月上旬に尿素を施用。調査は４月下旬。
（井上ら、2019 より作成）

図 8-2　異なる窒素施肥時期における
リンゴの障害芽率
各月上旬に尿素 5gN 施用。
調査は４月下旬。
（井上・草塲、2019 より作成）

図 8-3　モモの枯死率
（植栽３年目までの積算）

技術活用上の留意点

1. 晩秋～冬季から春季への施肥時期の変更により凍害発生を低下させる効果があるのは窒素成分であり、リンやカリウムの肥料成分の施肥時期を変えても凍害への影響は確認されていません。
2. 窒素の単肥（尿素、硫安）および化成肥料、配合肥料（単肥の肥料成分が混合されたもの）では施肥時期の変更の効果が期待されます。家畜ふん堆肥（牛ふん、豚ぷん、鶏ふん）ではその効果の確認ができていませんが、凍害が主要因と考えられるナシの発芽不良については、堆肥の春施用による軽減効果が示されている（Sakamoto et al., 2017）ため、時期の影響はあると考えられます。ただし、家畜ふん堆肥では肥料成分の効果が次年度以降も影響するため、たとえ春に堆肥を施用しても当年の冬季まで窒素供給されることから、幼木への施用は、時期を問わず凍害発生のリスクを助長する可能性があります。

参考資料

土壌改良、排水対策のコスト

3. 植木材チップ堆肥等による土壌改良処理【P. 11 ～】

堆肥は、40樹 /10aで 2万 5千円程度、パーライトは 20万円程度。

表 10-1　対策技術のコスト試算

処理方法	投入資材		資材費※1	
	種類・割合	容量/樹	1樹あたり	10aあたり
列状4.5m^3/樹（22.5m^3/5樹・列；25×1.5×0.6）	スーパーソル20%	900L	52,200	417,600
	木材チップ堆肥50%	2250L	11,250	90,000
	スーパーソル20%＋木材チップ堆肥30%	900L＋1350L	58,950	471,600
植穴1.35m^3/樹（1樹・穴；1.5×1.5×0.6）	スーパーソル20%	270L	15,660	125,280
	木材チップ堆肥50%	675L	3,375	27,000
	スーパーソル20%＋木材チップ堆肥30%	270L+405L	17,685	141,480
	ネニサンソ20%	270L	4,860	38,880

備考
・植栽密度は樹幹 5m、列間 5m で 40 本 /10a とする。
・重機による処理の場合、別途オペレータ費用が必要となる。
※ 1　運搬費および人件費は別途必要（参考:木材チップ堆肥は大型車 1 台で距離 81km 運搬時、運搬費 50,000 円）
資材は納入形態により価格変動あり（参考：表中の資材は袋での納入時の価格）
※ 2　資材を定植場所まで運搬する時間を除く

表 10-2　人件費と作業時間

処理方法	人件費（円）※1	作業時間（10aあたり）		
		植穴掘削	資材投入混和	成型
列状	185,900	80分	264分	160分
植穴	249,700	64分	328分	104分

備考
※ 1　岐阜県における R6 年 10 月現在の労働基準賃金により算出
オペレータ単価は 28,300 円（岐阜県、R6.10 現在）

4. 暗きょの施工【P. 16 ～】

部 材 費：183,000 円 /10a
機械レンタル費：179,500 円
作業時間：31.1h/10a
人 件 費：38,400 円（1,200 円 /h）
費 用 計：400,900 円

部材費内訳（10a あたり）：
コルゲート管 95,000 円、集水管 64,000 円、再生砕石 24,000 円、もみがら 0 円。
※充填剤が有料の場合、費用を加算
機械レンタル費内訳：
トレンチャー 42,000 円、搬入出費 100,000 円、ミニバックホウ 7,500 円、
搬入出費 30,000 円
（試験ほ場での施工面積 23.5m×50m=12a、コルゲート管 240m）

5. 植穴の土壌改良【P. 18 ～】

部 材 費：パーライト 40,000 円 /10a
作業時間：14.7h/10a
人 件 費：18,000 円
（40 本植え /10a）
費 用 計：58,000 円

6. 穿孔処理による排水改良【P. 20 ～】

部 材 費：パーライト 16,000 円 /10a
作業時間：9.3h/10a
人 件 費：12,000 円
充電式オーガー（本体 + ドリル + 充電バッテリー）：約 150,000 円
費 用 計：178,000 円
（40 本植え /10a）

7. カットブレーカー処理による排水改良【P. 22 ～】

カットブレーカー mini 本体：1,030,000 円（税抜）
ウェイト（100kg）×2：128,000 円 / 個 ×2（税抜）
作業時間：取り付け 30 分、施工 30 分 /10a
（価格は R6 年時点のもの）

凍害を受けにくい台木の利用

モモでは凍害が原因とみられる主幹部の障害は、使用する台木によって発生に差があることが分かってきています。岐阜県でモモ台木として選抜された‘ひだ国府紅しだれ’は、他の台木に比べ、主幹部の障害が少なく、生存樹率が高いことが明らかになりました（表 10-3）。

これは、‘ひだ国府紅しだれ’は温度に対する反応が鈍感で、水あげが遅く、休眠覚醒が遅れるため、春期の耐凍性が低下しにくく、凍害を受けにくいためと推察されています。

表 10-3　台木の違いが‘さくら白桃’の生存樹率に及ぼす影響

台木品種	供試本数（本）		年度別枯死樹数(本)							生存樹率[2)]（%）
	2016年接木苗	2017年接木苗	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
ひだ国府紅しだれ	22	7	2	5	0	0	0	0	1	72.4
払子	12	12	4	7	0	0	0	4	0	37.5
富士野生	18	9	7	8	8	4	0	0	0	0
おはつもも	14	7	10	9	1	0	0	1	0	0

注 1）2016 年に各台木 30 本ずつ芽接ぎし、活着しなかった場合は 2017 年に再度芽接ぎをし、各年で活着した樹数を供試本数とした。
2）生存樹率は R6 年 6 月時点の数値

‘ひだ国府紅しだれ’は令和 6 年現在、11 社の種苗業者（山形 2、福島 1、新潟 1、山梨 1、長野 3、和歌山 1、岡山 1、福岡 1）と取扱い契約が結ばれており、苗木もしくは台木が販売されています。希望品種でのひだ国府紅しだれ台の苗木の入手は難しい可能性がありますが、販売されている台木への接ぎ木により苗木を育成することができます。

凍害と急性枯死症状

落葉果樹の幼木期において樹が枯死する原因としては、春先に枯死が確認される凍害以外にも夏から秋にかけて枯死する急性枯死症状があります。従前のモモ急性枯死症、ナシさび色胴枯病、リンゴ急性衰弱症は同じ病原細菌によって引き起こされる胴枯細菌病であることが分かっています。

凍害は気象条件としては暖冬年、土壌条件としては水田転換園等の土壌の通気性・排水性が悪い園地で発生が多くなるのに対し、急性枯死症状は気象条件としては高温時（主に７～９月）の多雨、土壌条件としては土壌の通気性・排水性が悪い園地で発生が多くなることが確認されており、土壌の物理性不良（特に通気性・排水性）が共通しています。モモの凍害対策試験を行った圃場においては、対策をしていないところで急性枯死症状（モモ胴枯細菌病）の発生が確認された（図 10-1）のに対し、凍害対策として暗きょを設置した圃場では急性枯死症状の発生は確認されませんでした。このことから、凍害対策としての土壌の通気性・排水性の改善は、急性枯死症状の抑制に対しても効果があると考えられます。

図 10-1　凍害発生園で発生したモモの急性枯死症状（胴枯細菌病）

問い合わせ先

■（国研）農業・食品産業技術総合研究機構 果樹茶業研究部門
茨城県つくば市藤本 2-1　TEL：029-838-6416

■秋田県果樹試験場
秋田県横手市平鹿町醍醐字街道下 65　TEL：0182-25-4224

■岐阜県中山間農業研究所中津川支所
岐阜県中津川市福岡 1821-175　TEL：0573-72-2711

■石川県農林総合研究センター農業試験場
石川県金沢市才田町戊 295-1　TEL：076-257-6911

本マニュアルは、みどりの食料システム戦略実現技術開発・実証事業のうち農林水産研究の推進（委託プロジェクト研究）「現場ニーズプロジェクト（果樹等の幼木期における安定生産技術の開発）」（JPJ008720）（2020 ～ 2024 年）により実施した研究成果に基づき作成しました。
本資料は、「私的利用」または「引用」など著作権法上認められた場合を除き、無断で転載、複製、放送、販売などの利用をすることはできません。