

岐阜県におけるクリ凍害発生状況と土壌物理性の関係

荒河 匠^{1*}・神尾真司¹・堀井幸江²・井上博道³・西垣 孝⁴

岐阜県中山間農業研究所中津川支所 508-0203 中津川市福岡
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹茶業研究部門 305-8605 つくば市藤本
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹茶業研究部門安芸津ブドウ・カキ研究拠点
739-2494 東広島市安芸津町
岐阜県農政部農業経営課 501-1152 岐阜市又丸

Relationship between soil physical properties and freezing injury of chestnut tree in Gifu prefecture.

Takumi Arakawa^{1*}, Shinji Kamio¹, Sachie Horii², Hiromichi Inoue³ and Takashi Nishigaki⁴

¹ *Gifu Prefectural Research Institute for Agricultural Technology in Hilly and Mountainous Areas, Nakatsugawa Branch, Fukuoka, Nakatsugawa, Gifu, 508-0203*

² *Institute of Fruit Tree and Tea Science, National Agricultural Research Organization, Fujimoto, Tsukuba, Ibaraki, 305-8605, Japan*

³ *Institute of Fruit Tree and Tea Science, National Agricultural Research Organization, Higashihiroshima, Hiroshima, 739-2494, Japan*

⁴ *Agricultural Administration Division, Department of Agriculture-Management, Gifu Prefectural Government, Gifu, 501-1152*

摘 要

クリでは、温暖化の影響などから凍害による幼木の枯死が頻発する一方で、既存の対策技術は適用条件やコストなどにより広く普及するには至っていない。従前より凍害の発生と土壌物理性について関連性が示唆されていたものの、十分な検証はなされていない。そこで、本報では、現地クリ園における凍害発生程度と土壌物理性の関連性を検討した。その結果、凍害発生園ならびに枯死樹根域では気相率および透水係数が低く、土壌硬度が高い傾向にあり、凍害発生にはこれら土壌物理性が影響していると考えられた。今後、土壌物理性が劣る園における凍害抑制技術として、土壌管理方法の開発を行う必要がある。

キーワード : 安定生産、土壌硬度、気候変動、三相分布

緒 言

凍害は冬季の低温により樹全体あるいは一部が枯死する現象である(酒井, 1982)。近年、気候変動の影響から落葉果樹における発生が顕著になっている(杉浦ら, 2007)。暖冬となると耐凍性の獲得が妨げられる、あるいは早期に耐凍性が低下することで急激な気温低下に樹体が耐えられず凍害が多発すると考えられている(Tominaga *et*

al. 2022)。

耐凍性の獲得には貯蔵養分(炭水化物や脂質など)の蓄積や樹体内水分の減少が密接に関与しており、季節的な生育ステージの移行および健全な生育が必須である(酒井, 1982; 黒田, 1988)。生育の良否を決定する主因の一つとして土壌物理性が挙げられる。物理性不良は根部ならびに地上部の生育を阻害し、光合成能力の低下すなわち炭水化物の欠乏を招き、耐凍性が低下する(黒田, 1988)。また、透水性および排水性が劣ると土壌水分が過剰となり、樹体内水分が低下せず凍害が発生すると報告されている(赤羽, 1961)。

本報告の一部は園芸学会 2021 年秋季大会において発表した。

*Corresponding author. E-mail: arakawa-takumi@pref.gifu.lg.jp

県内をはじめ兵庫県などのクリ産地においても凍害による幼木の枯死が頻発し、改植が必要になるばかりでなく、成園化が遅延するため、産地拡大の大きな障害となっている（神尾・水田・2017a）。発生実態とその要因について、圃場の立地条件（水田・織邊・2015）や気象（神尾・水田・2017a）、品種（沢野・1986；水田・織邊・2016）、施肥条件（青木・松浦・1973；井上ら2019；Sakamoto *et al.* 2015）等、栽培環境に関する知見が報告されているものの、土壌物理性に関する調査事例は僅少である。梅宮ら（1986）は圃場造成直後に定植した幼木で枯死が頻発したことを契機に調査を実施したところ、圃場内の物理性および化学性の不良が原因と結論付けているが、これは圃場内での発生実態調査に留まり、園地間での子細な比較は行われていない。

一方、凍害を抑制する技術として最も普及したものは高接ぎ苗である（檜山ら・1970）。これは接ぎ木部および地際部が障害を受けやすいことから接ぎ木位置を高くしたものである。高接ぎ苗であっても近年では凍害が多発するため、樹体内水分を抑制する目的で断根処理（水田ら・2021；堀本・荒木・1999）や高盛およびマルチ処理（神尾・水田・2017b；水田ら・2022）、糖蜜処理（堀本・荒木・1999）などが開発された。しかし、いずれも適用条件やコストなどにより広く普及するには至っていない。新改植の際の対策として土壌管理方法は重要であり、その波及効果は高いと考えられる一方で、その検討の際には発生実態と土壌物理性の関連を詳細に検討する必要があると考えられた。

そこで、本報では、現地クリ園における凍害発生程度と土壌物理性の関連性を明らかにするため、岐阜県内における凍害発生調査を実施した後、被害程度ごとに圃場を選定し土壌物理性を調査するとともに、圃場の排水性の簡易的な測定を試みた。

なお、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により実施した。

材料および方法

試験 1 凍害発生状況および土壌物理性調査

2020年6～8月に岐阜県内5市町の現地クリ園の中から幼木が植栽されている32園地（表1）を抽出し、凍害発生状況、標高を調査した。

その結果を基に、凍害による枯死樹発生程度ごとに‘少’（0～数%）、‘中’（10%程度）、‘多’（30%以上）として各3園地を選定し、同年10～

12月に土壌調査を次のように実施した。各圃場の枯死樹・健全樹を各1樹選び、クリ樹周縁部（主幹から40～60cmの位置）において、根域の広がる深さ10～60cmの位置から100ml円筒コアで土壌を採取し、三相分布（デジタル実容積測定装置、大起理化工業）と飽和透水係数（変水位透水性測定器、大起理化工業）を測定した。さらに、山中式土壌硬度計（大起理化工業）を用いて、地下10～50cmを10cmごとに各3回以上計測し、その平均値を土壌硬度とした。

表 1 市町ごとの標高および調査園地数

市町	標高 (m)	園地数
中津川市	343-630	10
恵那市	487-706	6
可児市	93-108	11
八百津町	114-130	4
山県市	50	1
全体	50-706	32

試験 2 簡易な圃場透水性調査方法の検討

圃場の透水性を現場にて評価する方法として次の手順で評価を行った。各圃場の枯死樹・健全樹を各3樹選び、クリ樹周縁部において径15cm、深さ20cm・40cmの穴に塩化ビニルパイプ（φ25mm）を埋め込み、周囲に十分水を浸透させた後、注水直後、10分後、20分後、40分後の水位を計測し、排水速度（cm/h）を算出した（写真1）。



写真 1 塩化ビニルパイプを用いた圃場透水性測定の様子

結果および考察

試験 1 凍害発生状況および土壌物理性調査

枯死樹発生率の平均値は中山間地（標高300m以上；中津川市、恵那市）で14.6%、低地（標高150m未満；可児市、八百津町、山県市）では3.2%であり、凍害多発園（30%以上が枯死）は中山間地で3園地、低地では1園地であった（表2）。このように標高の高い地域の方が比較的発生率が高かったが、先行研究（中原1978；水田・織邊2015）の結果とは対照的であった。兵庫県では低地の方が凍害発生率は高く、水田・織邊（2015）はこの要因として、中山間地ではハードニング期（秋から冬）およびデハードニング期（

表2 標高と凍害枯死樹発生率ごとの園地数の関係

標高 (m)	園地数	枯死樹発生率					平均値
		0%	<10%	<20%	<30%	30%~	
0-150	16	13	1	1	0	1	3.2%
300-706	16	3	5	4	1	3	14.6%
合計	32	16	6	5	1	4	

表3 兵庫県および岐阜県における月別平均気温 (°C)

市名	標高 (m)	11月	12月	2月	3月
丹波	98	10.9	5.2	4.0	7.5
中津川	378	9.5	3.5	2.3	6.5
美濃加茂	74	11.5	5.5	4.3	8.4

値はアメダス観測地点に基づき、気温は2011～2020年の平均値を示す

早春) にかけての気温が低地よりも低いことから耐凍性が比較的高く維持されるためとしている。そこで、調査が実施された地点付近のアメダスデータ (兵庫県丹波市、岐阜県中津川市、岐阜県美濃加茂市; 標高はそれぞれ 98m、378m、74m) を比較した。兵庫県丹波市の11～12月および2～3月の平均気温 (2011～2020年の10年平均値) は、凍害発生‘少’地域付近の美濃加茂市とほぼ同等かわずかに低く、凍害発生‘多’地域付近の中津川市よりも気温が高い傾向にあった (表3)。日較差はほぼ同等であったことから (データ略)、気温のみでは説明できない可能性が高く、圃場の前歴や土壌条件が影響していることが考えられた。

表4 凍害発生程度ごとの園地条件および土壌物理性

凍害発生程度	No.	市町	標高 (m)	前歴	土壌分類	枯死樹発生率 (%)	樹の生存	深さ (cm)	透水係数 ^z (cm/s)	気相 ^y (%)	液相 (%)	固相 (%)	透水性 ^x (cm/h)
無～少	1	中津川市	395	竹林	黒ボク土	0.0	健全	20	8.3×10^{-3}	28.0	52.4	19.6	56.9 ± 54.8
								40	1.2×10^{-6}	6.8	55.3	38.0	79.5 ± 95.2
								20	6.8×10^{-4}	22.1	34.7	43.2	50.2 ± 22.2
中	4	中津川市	343	水田	灰色低地土	10.1	健全	20	9.7×10^{-4}	29.1	32.5	38.4	31.0 ± 19.0
								40	5.6×10^{-3}	26.9	41.5	31.7	59.2 ± 32.2
								40	8.1×10^{-4}	30.1	42.4	27.5	128.4 ± 58.2
多	7	恵那市	493	放棄地	黒ボク土	10.3	健全	20	2.1×10^{-6}	20.1	26.1	53.9	18.4 ± 20.6
								50	8.1×10^{-4}	20.9	32.2	46.9	56.4 ± 40.1
								20	4.3×10^{-6}	7.7	32.7	59.6	66.5 ± 56.4
多	8	可児市	93	水田	灰色低地土	32.1	健全	50	1.0×10^{-5}	2.2	46.5	51.3	22.7 ± 25.6
								20	5.4×10^{-3}	21.1	38.8	40.1	19.0 ± 11.9
								40	2.3×10^{-7}	17.5	23.7	58.9	22.2 ± 25.4
多	9	中津川市	630	水田	灰色低地土	65.5	健全	20	1.9×10^{-6}	29.1	24.7	46.3	11.4 ± 16.2
								40	8.4×10^{-3}	26.6	25.7	47.8	20.7 ± 11.1
								60	4.5×10^{-5}	10.9	32.5	56.6	
多	9	中津川市	630	水田	灰色低地土	65.5	健全	20	9.3×10^{-3}	20.8	46.2	33.0	90.0 ± 80.8
								40	1.5×10^{-5}	7.7	52.0	40.3	51.3 ± 3.1
								20	1.9×10^{-2}	21.7	44.0	34.4	30.0 ± 49.4
多	9	中津川市	630	水田	灰色低地土	65.5	健全	40	1.3×10^{-6}	3.9	63.9	32.1	61.3 ± 78.0
								20	2.0×10^{-5}	6.5	37.3	56.3	9.8 ± 11.0
								40	2.0×10^{-5}	12.5	31.0	56.6	36.9 ± 19.8
多	9	中津川市	630	水田	灰色低地土	65.5	健全	20	1.1×10^{-5}	11.3	24.1	64.6	29.0 ± 28.2
								40	5.5×10^{-6}	2.3	31.1	66.6	35.9 ± 27.4
								20	3.2×10^{-3}	28.2	22.3	49.4	106.0 ± 30.2
多	9	中津川市	630	水田	灰色低地土	65.5	健全	40	3.1×10^{-4}	14.3	28.9	56.8	81.5 ± 107.4
								20	5.1×10^{-4}	24.7	15.7	59.6	61.0 ± 52.2
								40	4.5×10^{-6}	7.9	33.4	58.6	30.5 ± 17.0
多	9	中津川市	630	水田	灰色低地土	65.5	健全	20	6.7×10^{-7}	4.1	49.1	46.8	17.5 ± 4.9
								40	8.6×10^{-7}	3.4	54.4	42.1	58.9 ± 59.2
								20	1.1×10^{-7}	0.0	48.7	51.3	6.5 ± 8.3
多	9	中津川市	630	水田	灰色低地土	65.5	健全	40	5.3×10^{-7}	1.6	44.8	53.7	19.4 ± 20.8

^z 透水係数 1.0×10^{-4} に満たない区を灰色で塗りつぶした

^y 気相率 15% に満たない区を灰色で塗りつぶした

^x 塩化ビニルパイプ内水位の1時間あたりの減少量を示し、値は調査した3カ所の平均値±標準偏差で示す

次に、凍害発生程度ごとに調査園地の土壌物理性について調査を行ったところ、区分‘中’および‘多’の園地では透水性と気相率が‘少’に比べて低く、そのほとんどが土壌改良基準値（農水省、1997；透水係数： $1.0 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 、粗孔隙率：15%）を下回った（表 4、図 1）。さらに土壌硬度については‘多’で基準値である 20mm を上回った（図 2）。来歴別にみると水田転換園が 5 園地あり、凍害発生が見られたのは 4 園地であり、いずれも透水係数の最低値は 1.0×10^{-4} を下回った（表 4）。このことは水田転換園が排水不良により凍害が多発する傾向にあるという知見（水田・織邊、2015）と一致する。一方で、凍害の発生が見られなかった園地（No.2）および多発していた No.8 の健全樹の周縁部では透水係数が大きかった（表 4）。後者については、生産者への聞き取りによると地下水位が高く降雨後に土を掘ると水が湧いてくるという（宮田、私信）。このことは、根域内の土壌物理性のみならず園地に溜まった水分を排水する経路が重要であることを示すとともに、低地（標高：93m）かつ比較的温暖であったとしても排水

不良により凍害が発生し得ることを示唆している。固相率は‘多’で最も高く平均値が 55.2%（42.1～66.6%）であった一方で、‘中’および‘少’はそれぞれ 45.4%、33.1%であった（表 4）。液相率には凍害発生の寡少との関係は見られなかった（表 4）。

次に、同一圃場内における枯死樹・健全樹の周縁部間での土壌物理性の違いについて検討した。透水係数（ cm/s ）については、健全樹周縁部の平均値が 1.1×10^{-5} であり枯死樹の値 1.7×10^{-6} を有意に上回った（図 3、 $p=0.043$ ；対数変換値を用いた対応のある t 検定）。一方で、気相率については健全樹の平均値が 10.1%と枯死樹の 3.3%よりも有意に高かった（図 3、 $p=0.024$ ；アークサイン変換値を用いた対応のある t 検定）。同様に、土壌硬度についても枯死樹周縁部は健全樹よりも測定値が高い傾向にあり、深さ 20cm においては 22.1mm と最も高く、健全樹と有意な差が認められた（図 4、 $p=0.023$ ；対応のある t 検定）。その他については両者間で差が判然としなかった（表 4）。

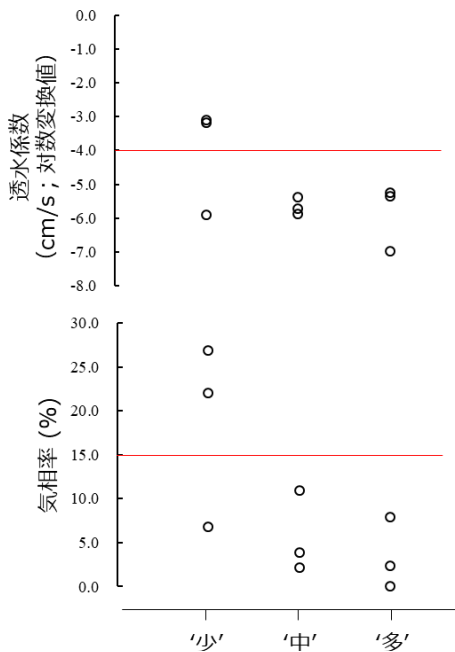


図 1 凍害による枯死樹発生程度ごとの土壌物理性

白丸は各園地の測定値を示し、土壌深さ 20～60cm において値がもっとも低いものを代表値とした。‘少’は健全樹、‘中’および‘多’は枯死樹の根域における測定値を用いた。改良基準値である透水係数 $1.0 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 、気相率 15%（基準値における粗孔隙率）を実線で示した。

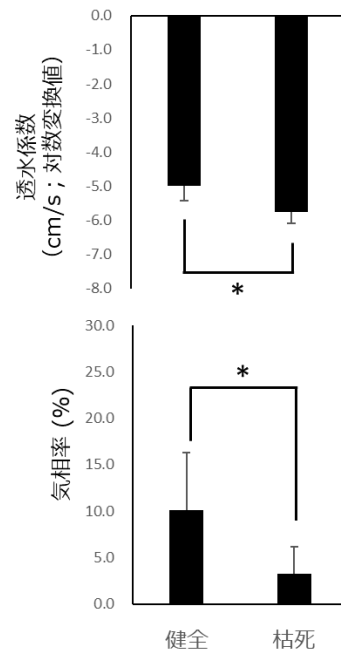


図 3 健全樹および枯死樹の根域の土壌物理性

棒グラフは調査園地の透水係数（上）および気相率（下）の平均値（ $n=5$ ）を示し、土壌深さ 20～60cm において値がもっとも低いものを代表値とした。エラーバーは標準誤差を示し、 t 検定により平均値の差の有意性を検定した（*、 $p < 0.05$ ；透水係数は対数変換値、気相率はアークサイン変換後の値を用いた）。

以上の結果から、透水性や気相率の低い土壌条件では凍害発生を助長する可能性が示唆され、圃場内における物理性のばらつきでも同様のことが起こり得ると考えられた。このことは先行研究（赤羽, 1961; 梅宮ら, 1986）と一致した。土壌物理性が不良である場合は樹体の生育に影響を及ぼし、例えば、耐凍性に重要とされるデンプン等の貯蔵養分の蓄積（酒井, 1964）が阻害されることや土壌水分が過剰である（阪本ら, 2015; 沢野, 1980）ために耐凍性が低下することで凍害が発生しやすい状態になったと考えられた。このことについては実験的な検証が必要である。

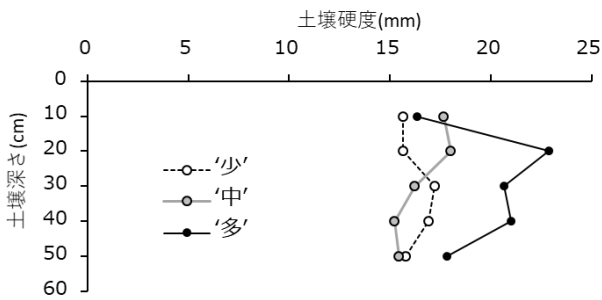


図 2 凍害による枯死樹発生程度ごとの土壌硬度
各点は、土壌深さごとの 3 圃地の平均値を示し、エラーバーは標準誤差を示す。‘少’は健全樹、‘中’および‘多’は枯死樹の根域における測定値を用いた。

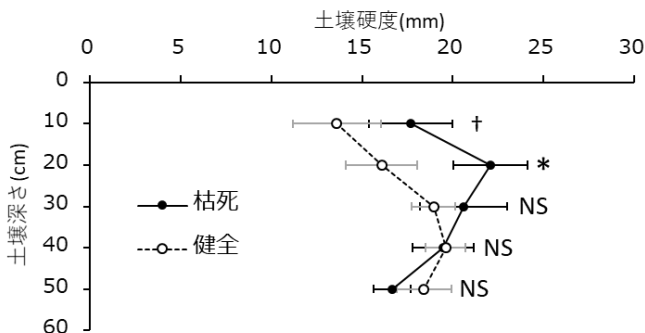


図 4 健全樹と枯死樹の土壌深さ別の土壌硬度
各点は土壌深さごとの平均値 ($n=5$) を示し、エラーバーは標準誤差を示す。 t 検定により平均値の差の有意性を検定した (NS, 有意差なし; †, $0.05 < p < 0.10$; *, $p < 0.05$)。

試験 2 簡易な圃場透水性調査方法の検討

先述の土壌コアを用いて測定した透水係数は、供試する箇所が限られることや周囲の土壌条件により実際の排水性が異なること、コア採取および測定に労力がかかることから、現場で実施可能かつ簡易的な圃場透水性調査方法について検討を行った。

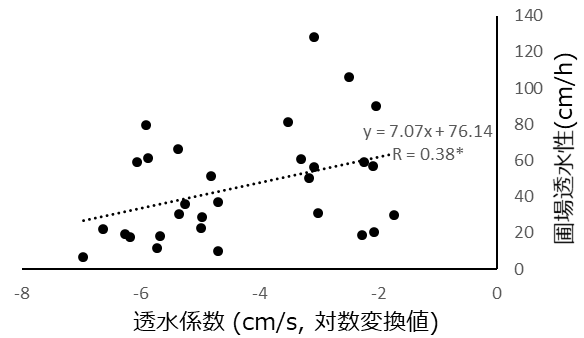


図 5 凍害による枯死樹発生程度ごとの土壌硬度
各調査樹の根域（土壌深さ 20cm、40cm）における透水係数ならびに圃場透水性をプロットした ($n=30$)。点線は近似直線を示し、その右上部に近似式およびピアソンの相関係数を示す。 t 検定により相関の有意性を検定した (*, $p < 0.05$)。

本手法により試験 1 と同様の圃にて各 3 反復の測定を実施したところ、土壌深さ 20cm、40cm いずれにおいても、枯死樹発生程度‘中’ならびに‘多’は、‘少’に比べ排水速度（以後、圃場透水性とする）が低い傾向にあった（表 4）。さらに、圃場透水性と土壌コアを用いた透水係数を比較したところ、有意な正の相関が見られた ($r=0.38$ 、 $p=0.036$; t 検定、図 5) ことから、透水性を一定の精度で評価できているものと思われた。しかし、各測定値の分散は平均値と同程度であることから反復間の誤差が大きい（表 4）。このことは、圃地内の不均一性や測定時のエラー（塩ビパイプを埋め込む際に土壌との隙間が空く、あるいは葉や石がパイプの穴を塞ぐ等）に起因する可能性が考えられ、今後、現場で利用するためには設置方法などの改良が必要である。

以上のことから、凍害発生圃および枯死樹根域の土壌は、気相率および透水係数が低いことが明らかとなった。したがって、クリの凍害発生には土壌物理性が関わる可能性が高い。これらは植栽樹の根の生育を阻害するとともに圃場の排水不良を招き、冬季における樹体内水分の増加や生育不良による樹体の貯蔵養分不足などにより耐凍性を低下させ、凍害発生を助長する可能性が考えられる。このことは実態調査に基づく仮説であるので、今後、実験的な検証を行う必要がある。

また、本報や土壌管理方法に関する先行研究（井上ら, 2021）を基に凍害発生を抑制する土壌管理方法の開発が喫緊の課題と考えられる。

謝 辞

調査にご協力いただいた生産者や恵那農林事務所農業普及課、可茂農林事務所農業普及課、岐阜農林事務所農業普及課に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 赤羽紀雄. 1961. りんご及びぶどうの凍害に関する研究. 北海道立農試報. 9.
- 青木秋広・松浦永一郎. 1973. クリの台木および施肥条件と凍害発生との関係. 栃木農試研報. 17: 107-118.
- 檜山博也・星野正和・土井 憲. 1970. クリの凍害防止対策. 農業および園芸. 45: 1663-1668.
- 堀本宗清・荒木 斉. 1999. 吸水抑制処理がクリ樹の凍害に及ぼす影響. 55(4) 329-336.
- 井上博道・草場新之助・阪本大輔. 2019. 窒素施肥時期がクリ幼木の発芽に及ぼす影響. 土肥誌. 90: 55-60.
- 井上博道・堀井幸江・荒河 匠・神尾真司・西垣孝. 2021. クリ凍害発生園地の土壌物理性と土壌改良基準の検討. 土肥学講演要旨集. 67: 106.
- 神尾真司・水田泰典. 2017a. 冬季の気象条件によるクリの凍害発生危険度判定. 岐阜中山間農研研報. 13: 8-16.
- 神尾真司・水田泰典. 2017b. クリ幼木に対する高畝およびマルチシートの凍害発生抑制効果の検討. 岐阜中山間農研研報. 13: 17-28.
- 黒田治之. 1988. 寒冷地果樹の寒害. 北海道農試研究資料. 37. 1-101.
- 水田泰徳・織邊 太. 2015. 兵庫県におけるクリ園の立地条件と凍害発生の関係. 兵庫農技総セ研報. 63, 20-24.
- 水田泰徳・織邊 太. 2016. クリの凍害発生および耐凍性の品種間差異. 兵庫農技総セ研報. 64, 25-30.
- 水田泰徳・織邊 太・田中宏明・中元陽一・松本和浩. 2021. 数種の新規株ゆるめ処理がクリ幼木の凍害軽減に及ぼす効果. 園学研. 20 (3) : 305-313.
- 水田泰徳・織邊 太・神尾真司・松本和浩. 2022. クリ幼木に対する高畝栽培およびマルチ被覆の凍害軽減要因の解明. 園学研. 21 (3) : 279-286.
- 中原照男. 1978. クリ樹の凍害発生に関する実態

- 調査. 兵庫林試研報. 21. 100-126.
- 農林水産省. 1997. 主要作物の土壌診断基準. <https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hoz_en_type/h_sehi_kizyun/miy03.html>.
- 酒井 昭. 1964. 木本類の耐凍性増大過程 X. 枝の耐凍性を効果的にたかめる温度. 低温科学. 生物篇. 22. 25-50.
- 酒井 昭. 1982. 植物の耐凍性と寒冷適応—冬の生理・生態学. 学会出版センター. 東京.
- 阪本大輔・井上博道・草場新之助. 2015. ニホングリにおける晩秋期から早春期の土壌水分条件が耐凍性に及ぼす影響. 果樹研究所研究報告. 20. 21-28.
- Sakamoto, D., Inoue, H., Kusaba, S., Sugiura, T. and Moriguchi, T. 2015. The effect of nitrogen supplementation by applying livestock waste compost on the freezing tolerance of Japanese chestnut. Hort. J. 84(4): 314-322.
- 沢野 稔. 1968. クリ樹の耐凍性に関する研究 IV 品種間の耐凍性の差. 神戸大研報. 8 (2): 89-94.
- 沢野 稔. 1980. クリ樹の耐凍性に及ぼす土壌水分並びに地温の影響. 神戸大研報. 14(1) 31-35.
- 杉浦俊彦・黒田治之・杉浦裕義. 2007. 温暖化がわが国の果樹生育に及ぼしている影響の現状. 園学研. 6(2):257-263.
- Tominaga, A., Ito, A., Sugiura, T., Yamane, H. 2022. How Is Global Warming Affecting Fruit Tree Blooming? “Flowering (Dormancy) Disorder” in Japanese Pear (*Pyrus pyrifolia*) as a Case Study. Front. Plant Sci. 12. 787638.
- 梅宮善章・佐藤雄夫・壽 和夫・小園照雄. 1986. 造成地土壌の実態とクリ生育との関係. 果樹試報 A. 13: 51-60.