

L'USO DI PRODOTTI DI PROTEZIONE DAL GELO IN FRUTTICOLTURA: PRIMI RISULTATI DALLE APPLICAZIONI IN TRENTINO.

USE OF CRYO-PROTECTANT PRODUCTS IN FRUIT-GROWING: RESULTS OF THE FIRST APPLICATION TRIALS IN TRENTINO.

Alberto Dorigoni*, Paolo Lezzer, Livio Fadanelli

Fondazione Edmund Mach – Centro Sperimentale Via E. Mach, 1 - 38010 San Michele all'Adige (TN) – Italy

* Corresponding author tel. 0461615391 fax 0461650956 E-mail alberto.dorigoni@iasma.it

Received 03/12/2007 – Accepted 11/02/2008

Riassunto

La protezione dal gelo nei frutteti del nord Italia è un problema frequente, che è spesso affrontato attraverso l'uso dell'irrigazione a pioggia, laddove ci sia una sufficiente quantità di acqua. Tuttavia la tendenza è quella di convertirsi verso sistemi irrigui più efficienti, quali l'irrigazione a goccia, e la ricerca di soluzioni alternative, come l'applicazione di prodotti specifici per la protezione dal gelo.

Sono stati indotti artificialmente dei danni da freddo su alberi di melo allevati in vaso, in piena fioritura, introducendo gli stessi in una cella frigorifera per circa dodici ore, al fine di simulare l'effetto di una gelata notturna primaverile. L'esperimento è stato ripetuto due volte, su un nuovo pool di alberi, alcuni giorni dopo la piena fioritura ed a inizio allegagione. Temperature minime comprese tra -2°C e -5°C hanno causato gravi danni in termini di incremento della cascola dei frutticini e perdita di qualità (rugginosità ed anature sui frutti). Nonostante una leggera tendenza all'aumento dell'allegagione nessuno dei prodotti testati, AF5 e Kilfrost, applicati alcune ore prima della gelata simulata, è stato in grado di proteggere in modo significativo i fiori o frutticini, né di aumentare il numero di frutti commerciabili alla raccolta.

Parole chiave: mela, punto crioscopico, resistenza al freddo.

Abstract

Frost protection of orchards in northern Italy is a common problem that is mostly addressed by sprinkler irrigation, at least where there is plenty of water available, but the trend is now to turn to more efficient forms of irrigation, including drip irrigation and look for alternatives, like specific cryo-protectant products.

Frost damage at bloomtime was artificially induced on potted apple trees by placing them in a cold store for about 12 hours to simulate the effect of nightly frost in spring. The experiment was repeated twice on a new set of trees a few days after full bloom and at beginning of fruit set. Minimum temperatures ranging from -2 to -5°C at night caused massive damage in terms of increased fruit drop and loss of quality (widespread russeting and rings on fruits). Despite a slight tendency toward higher fruit set, none of the two different compounds tested, AF5 and Kilfrost, sprayed a few hours before the simulated frost, was able to significantly protect the flowers/fruitlets from those damage and to increase the number of marketable fruits at harvest.

Keywords: apple, cryoscoping point, cold resistance.

Introduzione

Il gelo è la calamità naturale che causa le maggiori perdite economiche al comparto agricolo statunitense (White e Hass, 1975), e anche in Italia rappresenta una delle calamità più gravi. La sensibilità al gelo delle colture è legata a diversi fattori, tra cui la tipologia di evento gelivo, la specie coltivata e lo stadio di sviluppo della stessa.

Le gelate che interessano l'agricoltura sono principalmente di tipo avvertivo o radiativo. Le prime sono causate dallo spostamento di masse d'aria a temperatura bassa che originano un raffreddamento relativamente omogeneo; nel secondo caso il raffreddamento è dovuto alla cessione notturna di calore all'atmosfera da parte del suolo in forma di radiazione ad onda lunga, ed avviene in condizioni di assenza di vento e cielo sereno. Il calore ir-

radiato sale verso l'alto contribuendo a innalzare progressivamente la temperatura atmosferica fino a una certa quota, detta di inversione termica, in corrispondenza della quale lo scambio di calore suolo-atmosfera diviene nullo e oltre le quale la temperatura decresce nuovamente. Nelle aree di fondovalle, alle perdite per irraggiamento si sommano gli effetti negativi della discesa di aria fredda dai versanti collinari, che va ad accumularsi nelle aree più depresse del territorio. È frequente che questo tipo di gelata si accompagni alla gelata per avvezione (Kalma *et al.*, 1992).

La notevole differenza esistente fra le diverse specie riguardo alla sensibilità al freddo è tra le principali discriminanti da considerare nella valutazione della vocazio-

nalità di un territorio alla coltivazione di ogni specie, ma è lo stadio fenologico il fattore che realmente determina la sensibilità al freddo (Strang *et al.*, 1980). Infatti una pianta uscita dalla fase di dormienza esogena è molto sensibile alle basse temperature a causa della presenza di organi idratati e non lignificati (Fuller e Le Grice, 1998; Fuller e Telli, 1999). Nel melo i danni da freddo primaverili iniziano a generarsi a -7.5°C nella fase di rottura gemme, ma a inizio fioritura $-2,3^{\circ}\text{C}$ sono sufficienti per indurre danni, e ne bastano soli -1.9°C nella fase di inizio allegazione (Proebsting e Mills, 1978) (Tab.1). Queste soglie di temperatura sono tuttavia modulate da altri fattori quali la varietà, lo stato nutrizionale, la forma d'allevamento, la potatura (Snyder *et al.*, 2005).

In bibliografia sono riportate diverse esperienze riguardanti la precoce nucleazione del ghiaccio nelle piante e il ruolo giocato in questo processo dall'acqua (Fuller e Le Grice, 1998; Fuller e Wisniewski, 1998), che nelle patate precoci rappresenta il fattore più importante riguardo alle gelate primaverili (Le Grice, 1993), spesso precedute dalla formazione della rugiada e conseguente bagnatura della vegetazione (Pescod, 1995; Hewett *et al.*, 1978). Queste osservazioni sono avvalorate dagli esperimenti condotti da Wisniewski e Fuller (1999), che dimostrarono come la nucleazione del ghiaccio sulle foglie possa essere prevenuta dalla presenza di una barriera silconica impermeabile, e sia significativamente ritardata in specie con una delle foglie con cuticola spessa o molto cerosa, e quindi idrofobica (Workmaster *et al.*, 1999). In presenza di condizioni predisponenti l'acqua presente sulla superficie della pianta gela, e inizia l'accrescimento del ghiaccio all'interno della pianta attraverso gli stomi, causando il congelamento della massa d'acqua contenuta nello spazio extracellulare e la disidratazione dei tessuti vegetali (Wisniewski e Fuller, 1999; Thomashow, 2001). La formazione di cristalli a livello extracellulare determina l'instaurarsi di un gradiente di potenziale osmotico a causa del quale l'acqua tende a diffondere verso l'esterno della cellula attraverso la membrana. Il grado di disidratazione cellulare indotto è quindi legato all'entità di questo gradiente osmotico ma anche alla permeabilità della membrana stessa (Sakai e Larcher, 1987).

Esistono dei sistemi di difesa attiva dalle gelate attivati appena prima o nel corso di una gelata per prevenire la formazione di ghiaccio all'interno dei tessuti, ad esempio macchine per il rimescolamento dell'aria, sistemi per la produzione di calore e irrigazione antibrina, che rappresentano metodi affidabili (Heinemann *et al.* 1992; Heisey *et al.*, 1994; Perry *et al.* 1980) anche se piuttosto costosi. Per questo motivo sono stati fatti notevoli sforzi per cercare un'alternativa chimica alla difesa dalle gelate primaverili. Coughlan e Heber (1982) e Allard *et al.* (1998) hanno suggerito un ruolo nella regolazione osmotica della cellula per la glicina betaina, che si poi è rivelata efficace nella protezione dal gelo delle foglie di cavolo (Zhao *et al.*, 1992). Tra le altre sostanze testate nella prevenzione dalle gelate meritano una citazione prodotti come DEPEG e Teric 12A23B (Himelrick *et al.*, 1991; Wilson e Jones, 1980; Wilson e Jones, 1983), impiegati con buoni risultati su ribes nero, e prodotti come glicole etilenico (Woefel e Noga, 1998) e glicerina (Albrecht *et al.*, 2004). Più recentemente sono stati ottenuti risultati

Tab. 1 - Temperature critiche (T_c ; $^{\circ}\text{C}$) per alcune specie da frutto. Le soglie del 10% e del 90% si riferiscono alla morte del 10% e del 90% degli organi colpiti allo stadio fenologico riportato in presenza della temperatura indicata per un periodo di trenta minuti (Proebsting e Mills, 1978; Krewer, 1988; Vaysse e Jourdain, 1992).

Tab. 1 - Critical temperature (T_c ; $^{\circ}\text{C}$) values for several deciduous fruit tree crops. The 10 percent kill and 90 percent kill imply that 30 minutes at the indicated temperature is expected to cause 10 percent and 90 percent kill of the plant part affected during the indicated phenological stage (Proebsting and Mills, 1978; Krewer, 1988; Vaysse and Jourdain, 1992).

Stadio fenologico	Temperature critiche ($^{\circ}\text{C}$)	
	10% di danno	90% di danno
Actinidia		
Gemma dormiente	-	-18
Germogliamento	-	-3.0
Inizio accrescimento germogli	-	-2.0
Foglie espanse	-	-1.5
Bottoni fiorali distinguibili	-	-1.0
Albicocco		
Gemma rigonfia	-4.3	-14.4
Calice visibile	-6.2	-13.8
Inizio fioritura	-4.9	-10.3
Piena fioritura	-4.3	-6.4
Scamicatura	-2.6	-4.7
Ingrossamento frutto	-2.3	-3.3
Ciliegio		
Gemma rigonfia	-11.1	-17.9
Bottoni visibili	-2.7	-6.2
Separazione dei bottoni	-2.7	-4.9
Inizio fioritura	-2.8	-4.1
Piena fioritura	-2.4	-3.9
Allegazione	-2.2	-3.6
Melo		
Gemme dormienti	-11.9	-17.6
Rottura gemme	-7.5	-15.7
Punte verdi	-5.6	-11.7
Orecchiette di topo	-3.9	-7.9
Mazzetti affioranti	-2.8	-5.9
Bottoni rosa	-2.7	-4.6
Apertura fiore centrale	-2.3	-3.9
Piena fioritura	-2.9	-4.7
Allegazione	-1.9	-3.0
Pero		
Apertura gemme	-8.6	-17.7
Mazzetti fiorali	-4.3	-9.6
Mazzetti divaricati	-3.1	-6.4
Inizio fioritura	-3.2	-6.9
Piena fioritura	-2.7	-4.9
Caduta petali	-2.7	-4.0
Pesco		
Gemma rigonfia	-7.4	-17.9
Calice visibile	-6.1	-15.7
Corolla visibile	-4.1	-9.2
Inizio fioritura	-3.3	-5.9
Piena fioritura	-2.7	-4.4
Caduta petali	-2.7	-4.9
Scamicatura	-2.5	-3.9
Vite		
Gemma cotonosa	-10.6	-19.4
Punta verde	-6.1	-12.2
Apertura gemme	-3.9	-8.9
Prima foglia	-2.8	-6.1
Seconda foglia	-2.2	-5.6
Terza foglia	-2.2	-3.3
Quarta foglia	-2.2	-2.8

Tab. 2 - Principi attivi e modalità di applicazione dei prodotti testati.**Tab. 2** - *Active ingredients and circumstances of the tested chemicals.*

Prodotto commerciale	Principio attivo	Applicazione	Range di attività stimata (t°C)
AF 5 (Syneco Italia)	glicole monopropilenico	8-12 ore prima della gelata	0 / -8°C
Kilfrost (Mahè Belgio)	EP 1326	8-12 ore prima della gelata	0 / -7°C

Tab.3 - Quantità di prodotto distribuite. Il calcolo della dose per albero è stato eseguito ipotizzando un sesto di 8000 alberi per ettaro.**Tab.3** - *Amount of product sprayed. A plant spacing equivalent of 8000 trees per hectare was hypothesized.*

Prodotto commerciale	Dose p.c. (cc/alb.)	Dose p.c. (l/ha)	Volume acqua (cc/alb.)	Volume acqua (l/ha)
AF5	0,5	4,0	250	2000
Kilfrost	3,12	25,0	250	2000

interessanti da Wisniewski *et al.* (2002) e Fuller *et al.* (2003) i quali hanno testato l'efficacia di un caolino in grado di creare un film idrofobico che può prevenire la nucleazione del ghiaccio e seguenti danni da freddo. Regolatori di crescita come l'etephon hanno invece un'azione diversa, in quanto ritardano il germogliamento riducendo così il rischio di gelata primaverile (Tspouridis *et al.*, 2006).

Lo scopo della prova sotto descritta è stato quello di valutare l'efficacia nella protezione dal gelo di due prodotti - denominati AF5 e Kilfrost - usati in modo preventivo, nonché valutare l'idoneità della „gelata simulata“ mediante cella frigorifera nell'indurre i danni tipici della gelata in pieno campo, in particolare il danno quantitativo di riduzione dell'allegagione e il danno qualitativo sui frutti rimasti in pianta.

Materiali e Metodi

La prova è stata condotta utilizzando alberi di melo della varietà Golden Delicious innestati su portinnesto M9, di 6 anni di età, allevati in vasi di plastica del volume di 35 litri, il che ha permesso il trasporto in cella frigorifera per la simulazione della gelata.

I prodotti testati sono AF5 (fornito da Syneco Italia), a base di glicole monopropilenico, e Kilfrost (Mahè Belgio), il cui principio attivo è denominato EP 1326 (Tab. 2).

Per ogni tesi sono stati individuati 5 alberi in piena fioritura (prova A, scala BBCH 65, stadio Fleckinger F2), che sono stati trattati a mano con una erogatore a pompa

da due litri, dodici ore prima dell'abbassamento termico previsto, secondo le dosi indicate in etichetta (Tab.3). Per il calcolo dei volumi d'acqua è stato considerato un sesto d'impianto ipotetico di 8000 alberi/ha, in ragione del limitato volume occupato dalle chiome. Gli alberi sono poi stati trasportati in una cella frigo del volume di 20 metri cubi e regolazione termostatica con differenziale termico di 0,3 °C, assieme ad un testimone non trattato, cercando di evitare che la vegetazione entrasse in contatto con le pareti della cella, ed esposti ad abbassamento termico in assenza di luce (Tab.4, Fig.1). Lo scopo era quello di causare un danno rappresentativo di una gelata, ma allo stesso tempo di non perdere la produzione. Al termine della prova i vasi sono stati riposizionati in campo e sottoposti alle normali pratiche culturali di difesa antiparassitaria, irrigazione e concimazione. L'esperimento è stato ripetuto su altri alberi in vaso a caduta petali (Fig.2; prova B, scala BBCH 67, stadio Fleckinger G) e nuovamente allo stadio di caduta petali-inizio allegazione (Fig.3; prova C, scala BBCH 69-71), utilizzando le stesse condizioni della prima prova e variando solamente l'entità della gelata simulata (Tab.3). Una ultima tesi è stata prevista come controllo in campo mai esposto al freddo.

Oltre a una osservazione qualitativa dei danni indotti dalle gelate, è stata monitorata l'allegagione al termine della cascola di giugno su quattro branchette per albero preventivamente contrassegnate, al fine di conoscere la percentuale di frutti sopravvissuti sul totale dei mazzetti a fiore. I dati di allegazione sono stati sottoposti

all'analisi della varianza con Test di Duncan ($P < 0,05$) e pacchetto SAS. Non si è ritenuto di sezionare frutticini per non alterare i risultati produttivi. Alla raccolta sono stati contati i frutti; la produzione è stata vagliata attraverso una calibratrice Greefa e in seguito a rilievo visivo suddivisa in sei classi secondo

Tab. 4 - Condizioni ambientali e durata degli esperimenti.**Tab. 4** - *Severity of the artificially induced frost in the coolroom.*

Esperimento	Temperatura ($\pm 0,3^\circ\text{C}$)	Durata (h)	U.R. (%)
A	-2.5	12	80-90
B	-3.0	6	70-85
	-5.0	2	70-85
C	-3.0	8	70-80

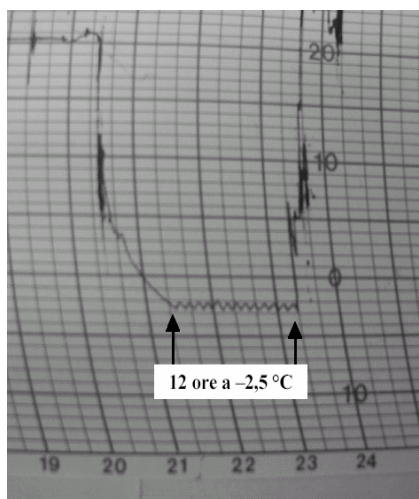


Fig. 1 - Andamento termico osservato nella prima prova (-A).

Fig. 1 - Cooling and thawing rate observed on the first trial (-A).

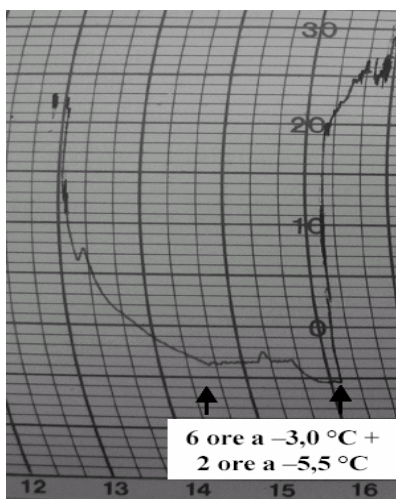


Fig. 2 - Andamento termico osservato nella seconda prova (-B).

Fig. 2 - Cooling and thawing rate observed on the second trial (-B).

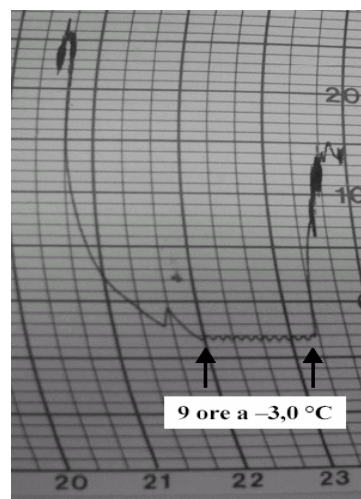


Fig. 3 - Andamento termico osservato nella terza prova (-B).

Fig. 3 - Cooling and thawing rate observed on the third trial (-B).

la gravità del danno in una scala da 0 a 6 (dove 0= danno nullo, 1= rugginosità, 2= danno lieve, 3= danno medio, 4= danno grave, 5= danno molto grave) (Fig. 4).

Risultati

Da un primo screening qualitativo a distanza di 20, 12 e 10 giorni dalle rispettive gelate si è potuto vedere che il danno quantitativo, riconducibile a una riduzione dell'allegagione, era nettamente riscontrabile solo nelle tesi sottoposte al trattamento più severo (prova B), mentre nelle altre due epoche il danno qualitativo causato (cinghiatura, rugginosità estesa, deformazione e screpolatura) era solo parzialmente visibile. Nella prima simulazione di gelata (prova A, danno medio), Kilfrost ha apportato un leggero ma non significativo miglioramento dell'allegagione rispetto al testimone esposto al freddo e alla tesi trattata con AF5 (Fig. 5). Nella medesima prova entrambi i prodotti testati hanno aumentato il numero di frutti raccolti per albero rispetto al testimone, avvicinandosi ai valori del testimone mai esposto al freddo (Fig. 6). Tuttavia la maggiore incidenza dei frutti colpiti da danno grave o molto grave ha vanificato l'obiettivo di preservare un maggior numero di frutti commerciabili rispetto al non trattato.

Nella seconda simulazione (prova B, danno grave), l'entità della gelata è stata tale che il danno ha azzerato la produzione sia nel testimone che nelle tesi trattate (Fig. 5).

Nell'esperimento C (danno medio-forte) solo AF 5 ha in parte contrastato l'effetto negativo del freddo sull'allegagione, seppur in maniera non significativa. Entrambi i prodotti testati hanno contribuito solo in minima parte a spostare la distribuzione dei frutti verso classi di danno inferiori. Infatti la produzione degli alberi, oltre a essere ridotta di circa un terzo del testimone non esposto al freddo, era perlopiù non commerciabile (Fig. 6).

Conclusioni e Discussioni

AF5 e Kilfrost sembrano agire attraverso l'alterazione delle proprietà fisiche delle soluzioni durante il processo di congelamento (Levitt, 1980), abbassando la temperatura alla quale lo stesso avviene; tuttavia i risultati di questi esperimenti hanno evidenziato che i due prodotti non sono stati in grado di proteggere la produzione in modo soddisfacente nelle condizioni della prova.

Dal punto di vista operativo si è potuto constatare che una cella frigorifera termostata normalmente utilizzata per la conservazione delle mele è adatta a produrre danni da freddo molto gravi e, al limite, di compromettere totalmente la produzione di piante di melo in vaso. D'altro canto, utilizzare piante in vaso ha permesso di svincolarsi dalle condizioni meteo, di simulare l'evento gelivo e di poter ripetere l'esperimento su alberi diversi nella stessa stagione in fasi fenologiche diverse. Tutta-



Fig 4 - Esempio di frutti fortemente danneggiati e non commerciabili. (Scala di danno=3).

Fig 4 - Example of severely damaged fruits that are not marketable. Damage index=3.

via la „gelata simulata“ rispetto all’evento naturale ha caratteristiche diverse per quanto riguarda l’umidità relativa elevata, tipica della cella, per l’assenza di un gradiente termico verticale a causa del continuo rimescolamento dell’aria, e per la presenza sbalzi termici più rapidi, che sicuramente hanno rappresentato un fattore di criticità. Infatti sia velocità di raffreddamento che quella di riscaldamento sono correlate alla severità del danno, e hanno contribuito al verificarsi di danni più severi di quanto prospettato. Strang *et al.* (1980) ha dimostrato su fiori di pero che a parità di temperatura minima raggiunta durante la gelata, l’abbassamento di 2,5°C/h è più dannoso di quello pari a 1°C/h, in linea con quanto già era stato descritto in lavori precedenti su melo (Hildreth, 1926) e altre specie (Chandler, 1913; Field, 1939). D’altro canto la velocità alla quale gli organi interessati dall’evento si sgelano influisce sul processo di reidratazione cellulare che segue la gelata e sull’entità finale della stessa, in quanto più è repentino in riscaldamento, più importanti sono i danni (Yoshida e Sakai, 1968). Per ulteriori prove occorrerà limitare l’esposizione al freddo e modulare gli sbalzi di temperatura, considerando anche le implicazioni causate dal così limitato volume di terreno contenuto nei vasi, uno scenario che non si manifesta negli eventi gelivi naturali a causa della riserva di calore presente nel suolo. Tuttavia saranno necessari degli studi su larga scala, in condizioni di campagna, per stabilire se prodotti come quelli testati in questa prova siano efficaci nella prevenzione dei danni da gelate nelle complesse condizioni presenti durante gli eventi gelivi naturali.

Ringraziamenti

Si ringraziano Fabio Zeni e il personale di Maso delle Part per la attiva collaborazione prestata.

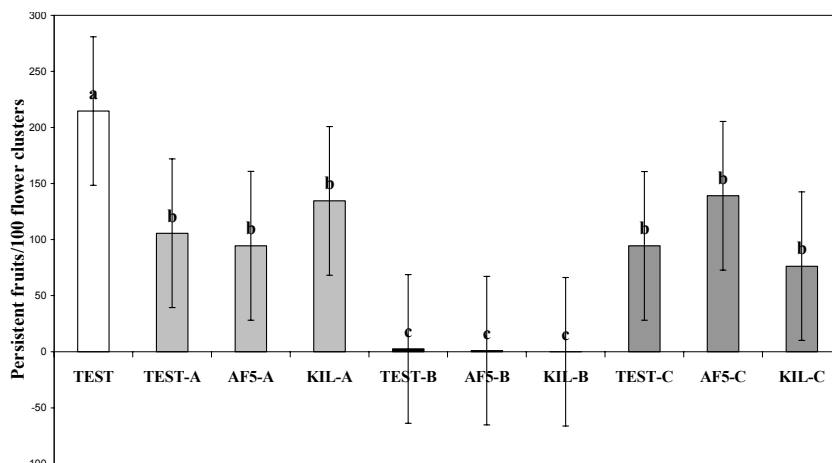


Fig. 5 - Allegagione di alberi in vaso sottoposti a gelata simulata in cella frigorifera, indicata come numero di frutti persistenti per 100 mazzetti. Il diverso colore degli istogrammi sta ad indicare le diverse epoche del trattamento (-A= gelata di media intensità allo stadio Fleckinger F2, scala BBCH=65; -B= gelata grave allo stadio Fleckinger G, scala BBCH=67; -C= gelata medio forte, scala BBCH=69-71). Differenze significative tra le tesi (test di Duncan, P = 0,05) sono indicate da diverse lettere minuscole poste alla sommità degli istogrammi.

Fig. 5 - Fruit set (persistent fruits/100 flower clusters) of potted trees after artificially induced below-zero temperatures in coolroom. The differently colored bars refer to different timing of frost simulation. (-A= medium damage at Fleckinger stage F2, BBCH =65; -B= severe damage at Fleckinger G, BBCH=67; -C= medium-strong damage at BBCH=69-71). Values in bars followed by the same letter(s) do not differ significantly at the Duncan test (p =0,05).

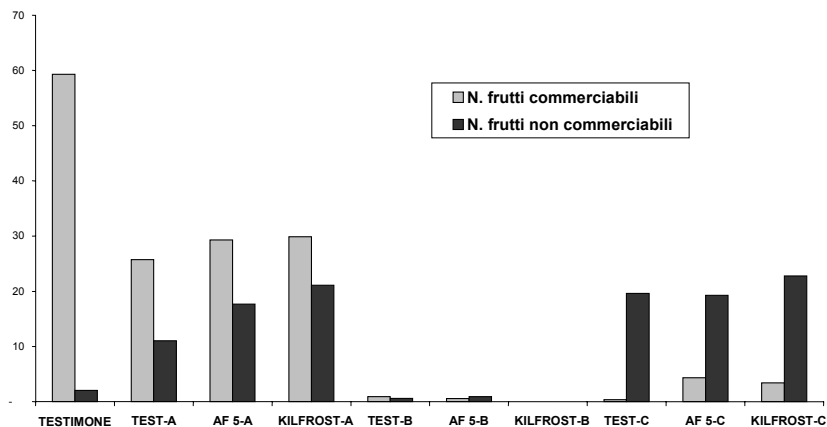


Fig. 6 - Numero di frutti per albero alla raccolta. Con le lettere A, B, C si indicano le diverse epoche del trattamento (-A= gelata di media intensità allo stadio Fleckinger F2, scala BBCH=65; -B= gelata grave allo stadio Fleckinger G, scala BBCH=67; -C= gelata medio forte, scala BBCH=69-71). Nella categoria “frutti commerciabili” sono stati conteggiati solo i frutti abbinati alle classi di danno 0 e 1 (rispettivamente danno nullo e rugginosità).

Fig. 6 - Number of fruits per tree at harvest. The letters refer to different timing of frost simulation. (-A= medium damage at Fleckinger stage F2, BBCH scale=65; -B= severe damage at Fleckinger G, BBCH=67; -C= medium-strong damage at BBCH=69-71). In the class “marketable fruits” only the undamaged or slightly damaged fruits have been counted.

Bibliografia

- Albrecht E., Schmitz-Eiberger M., Rademacher W., Noga G., 2004. Use of prohexadione-calcium, vitamin E, and glycerine for the reduction of frost injury in apple (*Malus domestica*) flowers and leaves. *European Journal of Horticultural Science*, 69 (2): pagine 59-65.
- Allard F., Houde M., Krol M., Ivanov A., Huner N., Sarhan F., 1998. Betaine improves freezing tolerance in wheat. *Plant Cell Physiology*, 39, pagine 1194-1202.
- Chandler W.H., 1913. The killing of plant tissue by low temperature. University of Missouri, Agriculture Experimental Station Research Bulletin 8.
- Coughlan S., Heber U., 1982. The role of glycine betaine in the protection of spinach thylakoids against freezing stress. *Planta*, 156, pagine 62-69.
- Field C.P., 1939. Low temperature injury to fruit blossom. I. On the damage caused to fruit blossom by varying degrees of cold. Report of East Malling Research Station for 1938, pagine 127-128.
- Fuller M.P., Le Grice P., 1998. A chamber for the simulations of radiation freezing of plants. *Annals of Applied Biology*, 133, pagine 111-121.
- Fuller M.P., Hamed F., Wisniewski M., Glenn D.M., 2003. Protection of crops from frost using a hydrophobic particle film and an acrylic polymer. *Annals of Applied Biology*, 143, pagine 93-97.
- Fuller M.P., Telli G., 1999. An investigation of the frost hardiness of grape (*Vitis vinifera*) during bud break. *Annals of Applied Biology*, 135, pagine 589-595.
- Fuller M.P., Wisniewski M., 1998. The use of infrared thermal imaging for studying ice nucleations and freezing in plants. *Journal of Thermal Biology*, 23, pagine 81-89.
- Heinemann P.H., Morrow C.T., Stombaugh T.S., Goulart B.L., Schlegel J., 1992. Evaluation of an automated irrigation system for frost protection. *Applied Engineering in Agriculture*, 10, pagine 779-785.
- Heisey L.W., Heinemann P.H., Morrow C.T., Crassweller R.M., 1994. Automation of an intermittent overhead irrigation frost protection system for an apple orchard. *Applied Engineer of Agriculture*, 10, pagine 669-675.
- Hewett E.H., Young K., Proebsting E.L., Mills H.H. 1978. Modification of critical freezing temperatures in fruit buds by elevated tissue water content. *Horticultural Science*, 13, pagine 247-249.
- Hildreth A.C., 1926. Determination of hardiness in apple varieties and relation of some factors to cold resistance. University of Minnesota. Agriculture Experimental Research Station Technical Bulletin 42.
- Himelrick D., Pool R., McInnis P., 1991. Cryoprotectants influence freezing resistance of grapevine bud and leaf tissue. *Hortscience*, 26, pagine 406-407.
- Kalma J.D., Laughlin G.P., Caprio J.M., Hamer P.J.C. 1992. Direct active methods of frost protection. (In) *The bioclimatology of frost*, *Advances in Bioclimatology*, 2, pagine 83-91.
- Krewer G. 1988. *Cold Weather and Horticultural Crops in Georgia; Effects and Protective Measures*. Extension Horticulture Department, University of Georgia, 286 pagine 2-13.
- Le Grice P., 1993. The role of ice nucleation active bacteria in frost damage to early sown *Solanum tuberosum* var. Jersey Royal. Ph.D. Thesis, University of Plymouth, UK, 180 pagine.
- Levitt J., 1980. *Responses of plants to environmental stresses*, vol 1. New York NY: Academy press, 497 pagine.
- Perry K.B., Martsolf J.D., Morrow C.T., 1980. Conserving water in sprinkling for frost protection by intermittent application. *Journal of the American Society for Horticultural Sciences*, 105, pagine 657-660.
- Pescod D., 1965. A method of forming dew on plants under controlled conditions. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 10, pagine 328-332.
- Proebsting E.L., Mills, H.H., 1978. Low temperature resistance of developing flower buds of six deciduous fruit species. *Journal American Society Horticultural Science*, 103, pagine 192-198.
- Sakai A. Larcher W., 1987. Frost survival of plants: responses and adaptation to freezing stress. Springer-Verlag. 321 pagine.
- Snyder R.L., de Melo-Abreu J.P., Matulich S. (2005): Frost protection: fundamentals, practice and economics. Vol I. Environment and Natural Resources Series No. 10. FAO, Rome, 224 pagine.
- Strang J.G., Lombard P.B., Westwood M.N., Weiser C.J. 1980. Effect of duration and rate of freezing and tissue hydration on "Bartlett" pear buds, flowers and small fruit. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 105, pagine 102-107.
- Thomashow M.F., 2001. So what's new in the field of plant cold acclimation? Lots! *Plant Physiology*, 125, pagine 89-93.
- Tsipouridis C., Thomidis T., Xatzicharis I., 2006. Effect of sprinkler irrigation on air temperature and use of chemiclax to protect cherry and peach trees from early spring frost. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46, pagine 697-700.
- Vaysse, P., Jourdain J. 1992. Protection des vergers contre les gelées printanières. Paris, CTIFL, 112 pagine.
- White G.F., Haas J.E. 1975. Assessment of Research on Natural Hazards. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press., 487 pagine.
- Wilson S.H., Jones K.M., 1980. A cryo-protectant effect of the dodecylether of polyethylene glycol (DEPEG) on flowering blackcurrant bushes. *Scientia Horticulturae*, 13, pagine 267-269.
- Wilson S.H., Jones K.M., 1983. Screening of surfactant polymers for cryo-protectant activity on flowering blackcurrants. *Scientia Horticulturae* 19, pagine 105-111.
- Wisniewski M., Glenn D.M., Fuller M.P., 2002. Use a hydrophobic particle film as a barrier to extrinsic ice nucleation in tomato plants. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 127, pagine 358-364.
- Wisniewski M., D., Fuller M.P., 1999. Ice nucleation and deep supercooling in plants: new insights using infrared thermography. In: Eds. Margesin R. and Schinner, Cold-Adapted Organisms – Ecology; Physiology, Enzymology and Molecular Biology. F. Berlin: Springer., pagine 105-118.
- Woefel D., Noga G., 1998: Deminuation of late frost damage on apple with vitamin E and ethylen glycol. *Obstbau*, 23, pagine 191-194
- Workmaster B.A., Palta J., Wisniewski M. (1999): Ice nucleation and propagation in cranberry uprights and fruit using infrared thermography. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 124, pagine 619-625.
- Yoshida S., Sakai A. 1968. The effect of thawing rate on freezing injury in plants. II. The change in the amount of ice in leaves as produced by the change in temperature. *Low Temperature Science, Series Biological Sciences*, B, 26: 23-31.
- Zhao Y., Aspinal D., Paleg L., 1992. Protection of membrane integrity in *A/ledicago sativa* L. by Glycine Betaine against the effects of freezing. *Plant Physiology*, 140, pagine 541-543.