## آليات وطبيعة تحمل شد التجمد

تشترك ثلاث آليات فى إضفاء خاصية المقاومة لشدِّ التجمد فى النباتات، هى: تحمل التجمد freezing tolerance، وتجنب التجمد freezing avoidance، والقدرة على التأقلم بعد التعرض للبرودة capacity to acclimate، وجميعها آليات تورث.

وفى الطبيعة يكون الانخفاض فى حرارة النباتات — عادة — بطيئًا وفى حدود ١–٢ °م/ ساعة أثناء حدوث الصقيع. ويترتب على ذلك تكوين البللورات الثلجية فى المسافات بين الخلايا مما يسبب جفافًا للخلايا. ولذا.. فإن تحمل التجمد يعتمد أساسًا على قدرة خلايا النبات على تحمل الجفاف.

وتلعب الأغشية البلازمية دورًا محوريًّا فى تحمل التجمد والقدرة على التأقلم عند التعرض للبرودة. ومن أولى علامات أضرارا التفكك بعد التجمد التحورات فى وظائف ATPase الغشاء البلازمى. ويبدو أن تلك التحورات تتضمن اضطرابات فى الكالسيوم الخلوى وتغيرات فى خصائص دهون الأغشية البلازمية.

وتحدث تغيرات مفتاحية فى تركيب دهون الأغشية البلازمية خلال فترة تأقلم البرودة (عن Palta ١٩٩٢).

إن أشد تأثيرات التجمد ضررًا هو إتلافه للأغشية البلازمية، ويرجع هذا الضرر — أساسًا — إلى الفقد المائى الحاد الذى يرافق التجمد. وتتكون دهون الأغشية البلازمية من نوعين من الأحماض الدهنية: غير مشبعة ومشبعة. وتتميز الأحماض الدهنية غير المشبعة بوجود واحدة أو أكثر من الروابط الزوجية بين ذرتى كربون (-CH = CH-)، بينما تكون الأحماض الدهنية المشبعة مشبعة تمامًا بذرات الأيدروجين فلا يوجد بها أى روابط زوجية (-$CH_2$ – $CH_2$-). وإنه لمن المعروف أن الدهون التى تحتوى على أحماض دهنية مشبعة تتصلب على حرارة أعلى عن تلك التى تتصلب عليها الدهون التى تحتوى على أحماض دهنية غير مشبعة. وبذا.. فإن التواجد النسبى للأحماض الدهنية غير المشبعة فى الأغشية

يؤثر – بقوة – على مدى سيولة هذه الأغشية. وتعرف الحرارة التى يتحول عندها الغشاء من الحالة نصف السائلة إلى الحالة النصف بلورية بحرارة التحول transition temperature. وتحتوى النباتات الحساسة للبرودة – عادة – على نسبة أعلى من الأحماض الدهنية المشبعة؛ ومن ثم فهى ذات حرارة تحول أعلى. وفى المقابل.. فإن الأنواع المقاومة للبرودة تتميز باحتوائها على نسبة أعلى من الأحماض الدهنية غير المشبعة؛ ومن ثم فهى ذات حرارة تحول أقل (Mahajan & Tuteja ٢٠٠٥).

## وسائل الحماية من أضرار التجمد والصقيع

### الوسائل الزراعية

يمكن الحماية من أضرار الصقيع فى زراعات الخضر بوسائل متنوعة، منها ما يلى:

١–زيادة الترديم على تقاوى البطاطس لتأجيل ظهور النبت فوق سطح التربة إذا وجدت مخاطر لتعرضه للصقيع.

٢–عمل الزراعات المبكرة للكنتالوب والفاصوليا والذرة السكرية فى خنادق صغيرة لأجل حماية البادرات من الرياح الباردة، وحمايتها من الصقيع بإحاطتها بتربة دافئة.

٣–الحماية من البرودة والصقيع باستعمال أغطية النباتات الطافية.

### الرى بالرش

يفيد الرى بالرش فى الحماية من أضرار التجمد والصقيع؛ حيث تعمل الطاقة التى تنطلق عند تحول الماء من الصورة السائلة إلى الثلج فى تدفئة الهواء المحيط بأوراق النباتات. ويجب لحماية النباتات استمرار الرى بالرش طوال فترة التعرض للصقيع، مع توفير القدر المناسب من الماء لتعويض كل الفقد الحرارى، علمًا بأن كفاءة تلك الطريقة تنخفض فى وجود الرياح.

ويتعين مراقبة حالة العناصر المغذية فى التربة عند تكرار حماية النباتات من الصقيع بالرش؛ نظرًا لاحتمال غسيل بعض العناصر.

وتفيد الزراعة على مصاطب عالية فى تجنب تعرض الخضر النامية للغدق حال استمرار الرى بالرش.

ويجب عدم إجراء الرى بالرش لأجل الحماية من الصقيع إن كانت الحرارة شديدة الانخفاض حتى لا تتجمد المياه داخل نظام الرى. كما لا يجب أن يحدث انقطاع لرش الماء طوال فترة انخفاض درجة الحرارة.

ويستدل من تكون ثلج بلون أبيض حليبى دون تكون دلاّت متجمدة icicles وعدم تغطية النباتات تغطية كاملة بالثلج على شدة انخفاض معدل الرش بالماء عما يلزم، بينما يدل تكون ثلج رائق ودلاّت متجمدة على نجاح الحماية من البرودة.

ولمزيد من التفاصيل حول الجوانب الفنية المتعلقة بالرى بالرش للحماية من أضرار الصقيع .. يراجع Simmone & Hochmuth (٢٠٠٣)، ولتفاصيل الجوانب الفسيولوجية المتعلقة بالموضوع .. يراجع Parsons & Boman (٢٠٠٣).

## تغطية النباتات الصغيرة بالفوم (الرغوة)

يفيد استعمال أنواع تجارية من الفوم (الرغوة) فى معاملة النباتات الصغيرة التى تكون زراعتها فى خنادق ضيقة لإحكام تغطيتها بالفوم.. يفيد ذلك فى حماية النباتات الصغيرة من أضرار التجمد والصقيع فى الليالى التى يُتوقع انخفاض الحرارة فيها إلى ما دون درجة التجمد. هذا.. علمًا بأن الفوم يتلاشى بمجرد تعرضه لأشعة الشمس فى الصباح.

ويمكن الاطلاع على التفاصيل العلمية والفنية لاستخدام الفوم (الرغوة) foam فى الحماية من أضرار الصقيع، وكذلك التطور الذى حدث فى نوعيات الفوم المستخدمة وطرق استعمالها فى Choi وآخرين (١٩٩٩).

## وسائل التغلب على مشاكل التجمد التى تحدثها بكتيريا نويات البللورات الثلجية

أدى اكتشاف بكتيريا تكوين نويات البللورات الثلجية ودورها فى منع التبريد الفائق فى النباتات إلى بزوغ الأمل فى التغلب على مشكلة تجمد الأنسجة النباتية فى النباتات الحساسة للصقيع. وقد عالج الباحثون هذه المشكلة من عدة جوانب، كما يلى:

١- رش النباتات بمبيدات بكتيرية يمكنها تقليل أعداد تلك البكتيريا إلى مستويات تقل فيها خطورتها كنويات للبللورات الثلجية، وخاصة بعد اكتشاف وجود علاقة خطية بين لوغاريتم أعداد هذه البكتيريا، وشدة أضرار الصقيع.

وقد أفاد الرش بالاستربتومايسين أو بالمبيدات النحاسية فى مقاومة بكتيريا نويات البللورات الثلجية، علمًا بأن مقاومة البكتيريا للاستربتومايسين تزداد بازدياد استخدام هذا المضاد الحيوى فى مقاومة الأمراض؛ كما هى الحال فى التفاح والكمثرى؛ حيث يستخدم الاستربتومايسين فى مكافحة اللفحة النارية (عن Olive & McCarter ١٩٨٨).

كما وجد أن رش الكمثرى بمخلوط من الاستربتومايسين والأوكسى تتراسيكلين oxytetracyline بتركيزات عالية (كل ٥-٧ أيام خلال فترة الإزهار) أحدث نقصًا قدره ٧٠٪ فى التلون الداخلى بثميرات الصنف بارتلت بعد التعرض لحرارة -٣°م، مقارنة بثميرات الأشجار غير المعاملة. هذا .. إلا أن دراسات Proebsting & Gross (١٩٨٨) على خمسة أنواع من الأشجار المتساقطة الأوراق لم تؤيد ذلك؛ حيث بدا أن المعاملة لم تكن مؤثرة على بكتيريا نويات البللورات الثلجية التى تعيش فى الأنسجة الخشبية بتلك الأشجار.

٢- استعمال مثبطات لتكوين النويات الثلجية يؤدى - على الأقل - إلى تثبيط النويات الثلجية البكتيرية دون أن يؤثر جوهريا على أعداد الخلايا البكتيرية.

٣- استعمال سلالات منافسة من البكتيريا تكون غير قادرة على تكوين البللورات الثلجية فى الوقت التى تنافس فيه البكتيريا النشطة فى تكوين النويات الثلجية على الغذاء، أو قد تكون قادرة على إنتاج مواد مثبطة لها (Proebsting & Gross ١٩٨٨).

وقد اكتشفت سلالة من بكتيريا *E. herblcoia* كانت غير نشطة فى تكوين نويات البللورات الثلجية، وأدت إلى تقليل كفاءة السلالات النشطة من كل من *E. herbicola* و*P. syringae* بمنعهما من تكوين نويات البللورات الثلجية تحت ظروف غرف النمو.

وفى محاولة لإجراء مكافحة بيولوجية لأضرار الصقيع، قام Lindow وآخرون (١٩٨٣) بدراسة تأثير هذه السلالة (ورمزها M232 A) وسلالة أخرى مشتقة منها ومقاومة أيضًا للاستربتومايسين (ورمزها M232 A SK 11) تحت ظروف الحقل، ووجدوا أن المعاملة بأى من السلالتين أدت إلى إحداث خفض جوهرى فى أعداد البكتيريا النشطة كنويات للبللورات الثلجية خلال موسم النمو، وإلى تقليل أضرار الصقيع فى الذرة تحت ظروف الحقل.

٤- شاع الاعتقاد بأن مضادات النتح antitranspirants تزيد من قدرة النباتات على تحمل أضرار الصقيع بتكوينها لغشاء يفصل بين الماء الذى يتجمد على سطح الأوراق والماء الداخلى بالأوراق، ويمنعه من أن يصبح نواة لتكوين الثلج داخليا، ولكن هذه الادعاءات للشركات المنتجة لمضادات النتح لم تكن موثقة؛ فلم يحدث أن وفرت مضادات النتح أية حماية من أضرار البرودة فى عديد من الدراسات على الخوخ، والموالح، والنباتات العشبية الاستوائية، وغيرها (عن Perry وآخرين ١٩٩٢).

وتوضح دراسات Perry وآخرين (١٩٩٢) أن مضادى النتح Frost Free (وهو يتكون من Propylene block copolymer of polyoxyethylene بنسبة ٥٠٪، propylene glycol بنسبة ٥٠٪)، وVapor Gard (وهو يتكون من ٩٦٪ pinolene وهو terpenic polymer، و٤٪ مادة خاملة، ويُسَوَّقُ كذلك على أساس أن له خاصية

الحماية من أضرار الصقيع).. هذان المضادان للنتح لم يوفرا أى قدر من الحماية من الصقيع لكل من الطماطم والفلفل حينما انخفضت الحرارة إلى –٣,٥°م، وإلى –١,٠°م — تحت ظروف الحقل — فى زراعتين مختلفتين، كما لم تؤثر المعاملة على المحصول فى أى من نوعى الخضر.

## معاملات خاصة لبعض الخضر لحمايتها من أضرار التجمد

• أدى رش نباتات الطماطم بمحلول مائى من الجلسرين بتركيز ٥٪ مع فيتامين E بتركيز ٠,٣٥٪ إلى حمايتها من التجمد وأضرار التجمد. كانت تلك المعاملة الأكثر كفاءة من بين معاملات بحاميات تجمد cryoprotectors أخرى اشتملت على كل من الـ $Me_2SO$، والبرولين، والـ polyvinylpyrrolidone، ومستحضر من الأحماض الأمينية الحرة (Moratiel وآخرون ٢٠١١).

• أدت معاملة بادرات البسلة بحامض الأبسيسيك ABA بتركيز ١٠$^{-٤}$ مولار، أو أقلمتها على حرارة ٢°م إلى زيادة قدرة السويقة الجنينية العليا وأنسجة النموات الخضرية على تحمل التجمد من خلال مسار مختلف لكل معاملة، ولكن كلتا المعاملتين أدتا إلى إنتاج بروتين ٢٤ كيلو دالتون 24 kDa، وكان تأثيرهما متجمعًا (Welbaum وآخرون ١٩٩٧).

• وُجد أن بادرات البروكولى أكثر تحملاً لحرارة التجمد (–٧,٥، و –١٠,٠°م) فى مرحلة تكوين الورقة الحقيقية الأولى عما فى مرحلة الأوراق الفلقية. وأدى الرش بالجلوكوز إلى زيادة تحملها لحرارة –١٢,٥°م فى مرحلة الأوراق الفلقية. كذلك أدت المعاملة بالمضاد الحيوى ليسلّين lecilline إلى زيادة القدرة على تحمل حرارة — ١٢,٥°م فى كلتا مرحلتى النمو (Deveci & Bal ٢٠٠٨).