

Üzüm Bağlarında ve Meyve Bahçelerinde Buz Çekirdeği Oluşumunu Tetikleyen Bakteriler ve Düşük Sıcaklık Zararı

Ice Nucleation Active Bacteria in Vineyards and Orchards and Low Temperature Damage

Muhammed KÜPE 

Atatürk Üniversitesi, Ziraat
Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü,
Erzurum, Türkiye



Geliş Tarihi/Received: 28.01.2022

Kabul Tarihi/Accepted: 25.11.2022

Yayınlanma Tarihi/Publication Date:

30.01.2023

Sorumlu Yazar/Corresponding Author:

Muhammed KÜPE

E-mail: muhammed.kupe@atauni.edu.tr

Cite this article as: Küpe, M. (2023). Ice nucleation active bacteria in vineyards and orchards and low temperature damage. *Research in Agricultural Sciences*, 54(1), 42-47.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

ÖZ

Sıcaklık, bitkilerin yeryüzündeki doğal yayılışının sınırlarını belirleyen iklim faktörlerindedir. Sıcaklık 0 °C'nin altına düştüğünde, bitki bünyesindeki suyun donması ile bitkide fizyolojik olayların gerçekleşmesi mümkün olmaz. Hücre içi ve hücreler arasındaki küçük buz kristalleri donma esnasında sitoplazmaya karışır ve protoplazmik yapıyı bozarak ölüme neden olur. Tabiatla iç veya dış nükleatörler tarafından başlatılan ve heterojen olarak meydana gelen donma olayında etkili olan faktörlerden bir tanesinin de bakteriler olduğu düşünülmektedir. Buz kristali oluşumunu tetikleyen (INA bakterileri) özellikle *Pseudomonas syringae* türüne ait bu bakterilerin asma ve diğer birçok odunsu meyve türlerinin yaşam alanlarını önemli ölçüde kısıtladığı düşünülmektedir. Bu derlemede, bağ ve bahçelerde farklı dönemlerde görülen düşük sıcaklıkların meydana getirdikleri zararlar ile bakteriler arasında bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. Bu doğrultuda bakterilerin türleri, yapıları, yaşam alanları, mevsimsel popülasyon büyüklükleri, etki mekanizmaları, buz kristali oluşumunu tetiklediği sıcaklıklar, soğuk zararı ve süper soğuma ile arasındaki ilişkiler mevcut çalışmalar ışığında incelenmiş ve açıklanmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Asma, bakteriler, buz nükleasyonu, don zararı

ABSTRACT

Temperature is one of the climatic factors that determine the limits of the natural distribution of plants on earth. When the temperature drops below 0°C, it is not possible for physiological events to occur in the plant as the water in the plant freezes. Small ice crystals inside and between cells mix into the cytoplasm during freezing and cause death by disrupting the protoplasmic structure. Bacteria are thought to be one of the factors affecting the freezing event, which is initiated by internal or external nucleators and occurs heterogeneously in nature. These bacteria, which trigger the formation of ice crystals (INA bacteria), especially those belonging to the *Pseudomonas syringae* species, are thought to significantly restrict the habitats of grapevines and many other woody fruit species. In this review, it was investigated whether there is a relationship between the damage caused by low temperatures during different periods in vineyards and orchards and bacteria. In this direction, the relationships between bacteria species, structures, habitats, seasonal population sizes, mechanisms of action, temperatures triggered by ice crystal formation, cold damage, and supercooling have been examined and tried to be explained in the light of current studies.

Keywords: Bacteria, frost damage, grapevine, ice nucleation

Giriş

Ekolojik faktörler, tabiatla kendiliğinden gelişip çoğalabilen yabancı bitkilerin yaşama alanlarını sınırlandırmanın yanı sıra, kültüre alınan bitkilerin de ekonomik anlamda yetiştiriciliğinin yapılabilmesi ile yakından ilişkilidir. Belirli bir bölgede bitkisel üretimin sürdürülebilirliğini belirleyen en önemli ekolojik faktörlerden biri sıcaklıktır. Özellikle donma noktası altındaki düşük sıcaklıklar, bitkilerin yeryüzünde yayılmasını sınırlandıran en önemli çevresel stres faktörlerinden biri olarak gösterilmektedir. Bitkilerin coğrafi dağılışı yanında, ürün verimini ve kalitesi de önemli ölçüde iklime bağlıdır (Ashworth, 1986; Jones ve ark., 2004; Küpe, 2019).

Farklı değerlendirme şekillerinin sağladığı avantaj ile ticari açıdan önemli türlerden biri haline gelen asmanın olumsuz çevre şartlarına karşı dayanıklı olması, geniş bir alana yayılmasını da beraberinde getirmiştir. İklim koşulları bakımından dünya üzerinde birçok farklı bölge için uygun bir tür olan asma, karasal iklimin etkili olduğu özellikle geçit bölgelerinde ilkbahar, sonbahar ve kış aylarında görülen düşük sıcaklıklardan olumsuz olarak etkilenmektedir (Fennell, 2004; Mills ve ark., 2006). Bu geçit bölgelerinde asma ve diğer ılıman iklim meyve türlerinden yüksek kalitede ürün elde edilebilmesine karşın, sıklıkla meydana gelen don olayları bitkilerin toprak üstü ve toprak altı organları üzerinde ciddi hasarlar meydana getirmektedir (Barranco ve ark., 2005; Kappel, 2010; Wolf, 2008). Bitkilerin maruz kaldıkları düşük sıcaklıklar şiddetine, süresine ve meydana geliş biçimine göre değişimle birlikte verim ve kalite kayıplarının yanı sıra kültürel uygulamalarda da farklılıklara sebep olmaktadır. Asmalar ve yaprağını döken birçok odunsu meyve türleri üzerinde ciddi hasarlara neden olan bu düşük sıcaklıklar, aynı zamanda üreticiler için de önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Fennell, 2004; Küpe, 2019; Lean, 2011; Rodrigo, 2000; Warmund ve ark., 2008; Zabadal ve ark., 2007).

Düşük sıcaklıkların bitkiler üzerindeki olumsuz etkilerinden korunmak için birçok farklı yöntem olmakla beraber tam bir koruma mümkün olmamaktadır. Farklı ülkelerde yapılan birçok çalışmada bu olumsuz etkilerin nasıl ve hangi şartlarda meydana geldiği kısmen ortaya koyulmuş ve zararın azaltılması adına bazı öneriler sunulmuş olsa da henüz bu alandaki çalışmalar düşük sıcaklığın meydana geliş şekillerini ve bitkiler üzerindeki etki mekanizmalarını net bir şekilde izah etmekte yeterli olmamıştır (Fennell, 2004; Londo, 2018; Zhang ve ark., 2012).

Ekstrem sıcaklık koşullarında bitkiler, canlılıklarını devam ettirebilmek için fizyolojik ve biyokimyasal birtakım stratejiler geliştirerek adaptasyon sağlamak zorundadırlar (Nilsen & Orcutt, 1996). Bitkilerde soğuk stresine karşı adaptasyon mekanizmasını açıklayabilmek için başta hücre içi ve hücreler arası don oluşum mekanizması olmak üzere, don oluşumu öncesinde ve donma esnasında dokudaki nem ve kuru madde içeriğindeki değişimler, proteinler, lipitler, makro ve mikro besin elementlerindeki değişimler gibi birçok önemli faktörün incelenmesi gerekmektedir (Aslantaş ve ark., 2010; Burke, 1995).

Sıcaklık kritik değerlerin altına düştüğünde, bitki bünyesindeki suyun donması ile bitkide fizyolojik olayların gerçekleşmesi mümkün olmaz. Sıcaklığın 0 °C'nin altına düşmesi sonucu oluşan don stresinin olumsuz etkisi çevre sıcaklığının düşük olmasından ziyade, hücre suyunun donmasından kaynaklanır. Donma sıcaklığında buz oluşumu, çözülebilir kuru maddenin daha düşük konsantrasyonu ve buz oluşumunu sağlayan nükleatörlerin varlığından dolayı hücreler arası boşluklarda başlar (Pearce, 1988). Buradaki suyun donması osmotik bir etki yaparak hücre içindeki suyun (simplast) hücre arası boşluğa (apoplast) geçmesine ve donmasına yol açar. Bu durum hücrelerde su eksikliğine neden olur. Hücre içindeki su miktarı azalmış, hücre içi yoğunluğu artmış olduğundan hücre içi su hemen donmaz. Başlangıçta sadece hücreler arasındaki su donduğundan bitki fazla zarar görmez. Ancak, düşük sıcaklığın devam etmesiyle hücreler arası buzun kademeli olarak artışı, hücrelerden suyu dışarı çekmekte ve hücre içindeki suyun da donmasına sebep olmaktadır. Hücreler arası buz oluşumu neticesinde oluşan dehidrasyonun yanı sıra buz kristallerinin hacimsel artışı hücredeki biyolojik zarları parçalayarak zararlanmaya, hatta ölümlere neden olmaktadır (Sakai & Larcher, 1987).

Bazı bitkiler henüz tam olarak açıklanamayan mekanizmalarla buz kristallerinin oluşmasını engelleyerek dona dayanıklılık gösterirler (Ashworth ve ark., 1998; Levitt, 1980). Birçok odunsu bitkide görülen hücre içi ve hücreler arasındaki suyun donma noktasını yaklaşık olarak -40°C'ye kadar düşüren süper soğuma mekanizması ile bitkiler sıcaklık düşüşlerinden belirli derecelere kadar etkilenmemektedirler (Davies, 2014). Süper soğumanın derecesi birçok faktörün etkisiyle değişebilmektedir. Farklı doku ve organlardaki bitki öz suları farklı sıcaklıklarda donma ve erime özelliğine sahiptir. Bitkilerin maruz kaldıkları don zararı ve hücreler arası don oluşumu hücre içinde dehidrasyon olayı ile tolere edilmeye çalışılır (Lewitt, 1980). Aşırı soğumanın sınırları aşıldığında hücre dışında buz kristalleri oluşur. Hücre içinden dışarıya meydana gelen su kaybı tolere edilecek seviyeyi aşınca ölüm meydana gelir.

Dormant dönemde asma ve diğer yaprağını döken birçok ılıman iklim meyve türünün odunsu dokuları yapıları itibari ile göz ve tomurcukları ise süper soğuma özelliği göstererek don zararından kaçınmaktadır. Süper soğuma, homojen veya heterojen şekilde başlayan buz nükleasyonu ile gerçekleşen donma olayı ile son bulurken, bu esnada hücre zarı ile çekirdek zarı arasındaki sızıda meydana gelen kurumalara bağlı olarak ksilem iletim demetlerinde oluşan tıkanmalar da sürgün ölümlerine neden olmaktadır (Adrews ve ark., 1984; Vali, 1995; Wisniewski & Basett, 2003).

Bitkiler üzerinde farklı gelişme dönemlerinde görülen düşük sıcaklıkların kompleks yapıdaki etki mekanizmalarının bir çok faktör tarafından etkilendiği yapılan çoğu çalışmada ortaya koyulmuştur (Centinari ve ark., 2016; Fennell, 2004; Trought ve ark., 1999). Tabiatın iç veya dış nükleatörler tarafından başlatılan ve heterojen olarak meydana gelen donma olayında etkili olan faktörlerden bir tanesinin de bakteriler olduğu düşünülmektedir (Wilson & Heneghan, 2003).

Asmalarda ve Bazı Odunsu Meyve Türlerinde Buz Kristali Oluşumunu Tetikleyen (INA) Bakteriler

Bitki kısımları içerisindeki buz oluşumlarını tetikleyerek bitkilerin yaşam alanlarını önemli ölçüde kısıtladığı düşünülen bu bakteri türleri arasında *Erwinia herbicola*, *Erwinia ananas*, *Erwinia uredovora* ve *Xanthomonas* gibi farklı türler olmasına karşın, doğada en yaygın olanı *Pseudomonas syringia*'dır (Morris ve ark., 2004; Pouleur ve ark., 1992; Wisniewski ve ark., 2008). Bitkilerde buz kristalleşmesini başlatan bu bakterilere "Buz Kristali Oluşturan Bakteriler" (INA) adı verilmektedir. Çoğunlukla yaprak yüzeylerinde epifitik olarak bulunan bu bakteriler çeşitli bitki türlerinde don zararına neden olabilmektedir. Özellikle *Pseudomonas syringae* ve *Erwinia herbicola* bakteri türlerinin -1°C'ye kadar olan sıcaklıklarda buz oluşumuna başlatan en etkin katalizörler oldukları bildirilmiştir (Lindow, 1983). *Pseudomonas syringae*'nin birçok izolatının -4°C veya daha yüksek sıcaklıklarda, bazılarının da -4°C veya -10°C üzerindeki sıcaklıklarda buz kristalleşmesine neden oldukları bulunmuştur. -5°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yaprak yüzeyleri üzerinde oluşan buz kristallerinden en az %95'nin bakteriyel orijinli olduğu ifade edilmektedir (Atkinson & Baker, 1987; Lindow, 1983; Lindow ve ark., 1982).

Bitkilerin yaprak yüzeylerinde buz çekirdeği oluşumunu tetikleyen bakterilerin varlığını belirlemek üzere yapılan bir çalışmada incelenen 95 bitki türünün 74'ünde bu bakterilere rastlandığı, incelenen bitki gruplarından sadece kozalaklı türlerde bu bakterilerin görülme olasılığının çok düşük olduğu, izole edilen bakteri türlerinin tamamına yakınının *Pseudomonas syringia* ya da *Erwinia*

herbicola türüne benzediklerini ve bu bakterilerinin sayısının, bitki yüzeylerinin önemli bir atmosferik buz çekirdeği kaynağı oluşturabileceğini düşündürecek kadar büyük olduğunu bildirmişlerdir (Lindow ve ark., 1978).

Çubuk şeklinde, kutupsal kamçılı olan *Pseudomonas syringia* türüne ait bakteriler, floresan pigmentler üretebilirler ve gram negatif aerob olarak kolaylıkla tespit edilebilirler. Sıfırın altındaki sıcaklıklarda bitkilerin süper soğumasına engel olarak bitki doku ve organlarının zarar görmesine neden olduğu düşünülen bu bakterilerin aktiviteleri -2°C ile -8°C arasında maksimum düzeye çıkmaktadır (Atkinson & Baker, 1987).

Bu bakterilerin popülasyon büyüklüğünün mevsimsel olarak dalgalanma gösterdiği, serin ve yağışlı ilkbaharda bitki tomurcuk ve çiçeklerinde de yıl boyunca görülen en yüksek popülasyon seviyesine ulaştığı, ardından yaz aylarında bir düşüşe geçtiği ve sonbahar sonunda kademeli bir artış sergilediği bildirilmiştir (Lindow, 1983)

Pseudomonas syringia bakterisi türünün bitki epidermis yüzeyinde ve apoplastta görüldüğü fakat hücre içinde bulunmadığına dair hakim bir görüş vardır. Stephanie (2011),in yapmış olduğu bir çalışmada buz üreten nükleatör oldukları ileri sürülen *Pseudomonas syringia* türüne ait bakterilerin mart ve mayıs aylarında yağmur sularından ve havadan izole edildiğini, bakteri popülasyonunun yağmur sularında havaya göre daha yoğun olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca maksimum buz oluşturma aktivitelerinin $-2,7^{\circ}\text{C}$ olarak belirlendiği çalışmada, yağmurların meydana gelmesinde bu bakterilerinin önemli rol üstlenebileceği ifade edilmiştir.

Pseudomonas syringia bakterilerinin çoğunlukla ilkbahar gelişme döneminin başında oluşan genç yapraklarda ve akabinde çiçekler üzerinde kolonileştiği ifade edilmesine karşın, yazın sıcak ve kuru havalarda ve kış aylarında *Prunus armenica* türünde zararlanmaya yol açtığı ifade edilmiştir (Cambours ve ark., 2005). Bazı çalışmalar buz kristali oluşturan bakterilerin bitki muhitine yağmurla taşındığını bildirmesine karşın, kış dinlenme döneminde, bitki dokularındaki çatlaklar içerisinde, bitki artıklarında ve tohumlarda konukçu olarak yaşayabildikleri de bir takım araştırmacılar tarafından ileri sürülmüştür (Cambours ve ark., 2004; Hoose & Mohler, 2012; Murray ve ark., 2012; Nejad ve ark., 2005; Smith, 2019). Özellikle ilkbahar döneminde daha aktif olduğu ifade edilen bu bakterilerin toprak ve tohuma inokule olduktan sonra yaprak yüzeyinde epifitik olarak yaşadığı, yaprak stomalarından bitki içerisine girdiği, hücreler arası bölgede geliştiği düşünülmeye karşın, bu bakterilerinin yağışlarla ilkbahar ayında mi taşındığı yoksa kışı bitkilerin doku ve organları içerisinde mi geçirdiği hususunda görüş ayrılıkları vardır (Cambours ve ark., 2004; Hoose & Mohler, 2012; Lindow ve ark., 1978, 1982; Murray ve ark., 2012; Nejad ve ark., 2005).

Banuelos ve ark. (2008), yaprak yüzeyinde yaşayan bazı bakterilerin donun etkisi ile oluşan zararını artırdığı, -3°C ile -5°C 'lik sıcaklıklara maruz bırakılan yapraklarda *Pseudomonas syringae* ve *Erwinia herbicola* gibi doğal olarak yaprak yüzeyinde yaşayan belli bakterilerin yüzeyde buz oluşumunu hızlandırdığını bildirmiştir. Bu bakterilerin buz oluşturmak için çekirdek görevi gördüğünü, dona duyarlı yapraklara bu bakteri kültürleri inokule edildiğinde bakterisiz yapraklara göre daha yüksek sıcaklıklarda donduğunu ifade etmiştir. Araştırmacı yaptığı çalışmada yüzeydeki buzun hızla yaprağın içerisindeki boşluklara yayılarak hücrelerde su kaybına neden olduğunu tespit etmiştir.

Nejad ve ark. (2005), buz kristali oluşturan bakteriler üzerinde yaptıkları bir çalışmada, bakteri gelişiminin bakteri irkına göre

değişmekle beraber beslenme ile doğrudan alakalı olduğu belirlenmiştir. Çalışmada karbon kısıtlamasının *P. fluorescens* türlerinde nükleasyon aktivitesini düşürdüğü, aynı şekilde nitrojen sınırlanmasının da *Erwinia herbicola* spp türüne ait bakterilerde nükleasyonu azalttığı, potasyum sınırlandırması ile de *P. syringae* türlerinde az miktarda nükleasyon aktivitesini sınırlandırdığı ortaya koyulmuştur.

Fregaria vesca türüne ait bitki çiçeklerindeki don zararının *Pseudomonas syringae* bakterileri ile ilişkili olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, ıslak çilek çiçeklerinin yüzeyindeki bakteri yoğunluğunun, yüzeyleri kuru olan çiçeklere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada bakteriler ile bulaşık çiçeklerin %75'inden daha fazlasının $-2,5^{\circ}\text{C}$ 'de dondan zarar gördükleri ve bulaşık çiçeklerinin tamamının -3°C 'de öldükleri, bakterileri ile bulaşık olmayan çiçeklerin %21'inin $-3,5^{\circ}\text{C}$ 'de hayatta kalmayı başardıkları tespit edilmiştir (Warmund & English, 1998).

Pseudomonas syringae türüne ait bakterilerin bitki tomurcuklarının ıslak yüzeylerindeki konsantrasyonlarının belirlenmeye çalışıldığı benzer bir çalışmada, tomurcukların don hassasiyetlerinin sadece içerisinde buldukları fenolojik dönemlerle değil, aynı zamanda tomurcuk yüzeyinin ıslaklığı tarafından da arttığı belirlenmiştir. Buna karşın hassasiyetin artışında bu bakterilerinin etkilerinin net olmadığını bildirmiştir. Araştırmacı bakterilerin etkinliğinin bakteri türü ile yakından ilişkili olduğunu ifade etmiştir (Itier ve ark., 1991).

Kayısı (*Prunus armenica*) çiçeklerinde yapılan bir çalışmada *Pseudomonas syringae*'nin etkileri araştırılmış, bakterileri inokule edilen çiçek organlarından petallerin, stamentlerin ve pistillerin süper soğuma noktalarının sırasıyla $2,1^{\circ}\text{C}$, $1,6^{\circ}\text{C}$ ve $1,4^{\circ}\text{C}$ arttığı görülmüştür. Ayrıca bu bakterilerinin, membranların geçirgenliğini artırarak floral organlardaki membranların elektrolit sızıntısını nispeten artırdığı tespit edilmiştir. -3°C 'deki soğuk stresi altında bu bakteriler ile inokule olan floral organlardaki polen tekalarının patlayarak polenlerin dışarı çıktığı, polen hücrelerindeki organellerin zarar gördüğü ve diğer çiçek organlarının parçalanmasına neden olduğu ortaya koyulmuştur. Çalışmada bakteriler ile bulaşık ovullerde plazmoliz oluşumu yanı sıra, çekirdek hücrelerde boşluklar meydana geldiğini, bakterilerin ovuldeki yumurta hücrelerinin zar kılıfının şişmesine ve akabinde de patlamasına neden olduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak araştırmacılar, bu bakterilerin kayısı floral organlarının yapısını bozduğunu ve soğuğa toleransını azalttığını saptamıştır (Yang ve ark., 2007).

Kaliforniya'da armut, badem, portakal ve avakado gibi bazı meyve türleri ile bazı sebze türleri üzerinde *Pseudomonas syringae* bakterisi türlerinin popülasyon yoğunluklarının mevsimsel değişimini belirlemek üzere bir çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmada portakal ve avakadonun genç yaprak dokularındaki popülasyon yoğunluğunun değişkenlik gösterdiğini ve bademin genç yaprak dokularında bakteri popülasyonunun en fazla olduğu ortaya koyulmuştur. Yapılan çalışmada yaprağını döken türlerde tomurcuk patlamasından sonraki ilk 6 haftalık periyotta bakteri popülasyonunun yaklaşık 1000 kat arttığı görülmüştür. Portakal ve avakado yapraklarında yaz ayları boyunca düşen popülasyon yoğunluğunun, ekim ayından şubat ayına kadar tekrar arttığı belirlenmiştir (Lindow, 1982).

Çilek, kiraz, şeftali, kayısı, erik ve armut gibi farklı türlerde soğuk zararı ile *P. syringae* bakterileri arasında ilişki olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan birçok çalışmada bitkilerin farklı dokularında meydana gelen zararlanmaların *Pseudomonas*

syringae bakteri sayısı ile doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Ayrıca fasulye, mısır ve domates gibi hassas tek yıllık bitkilerin buz nükleasyon bakterilerinden arı oldukları durumlarda -5°C ile -7°C 'ye kadar dondan korunabildikleri ortaya koyulmuştur. Çalışmaların birçoğunda bitkinin soğuğa olan direncinin artması ile bakteri sayısı arasında ters orantılı bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir (Gross ve ark., 1984; Lindow, 1982; Lindow, 1983).

Lindow (1983), yaptığı bir çalışmada buz çekirdeği oluşturan bakterilerin bitkilerde sebep olduğu don hasarını azaltabilmek adına kimyasal olarak seyreltilmiş *P. syringae*, *P. fluorescens* ve *E. herbicola* türüne ait bakterileri bitki yüzeylerine inokule etmiştir. Çalışmanın sonucunda don hasarının azaltılması yönünde olumlu sonuçların aldığı bildirilmiştir.

Bitki hücrelerine zarar veren ve süper soğumayı engellediği bilinen bu bakteriler asmalarda ilkbahar geç donlarına neden olan faktörler arasında gösterilmektedir. Birçok literatür buz kristali oluşturan bakterilerin ilkbaharda genç yaprak ve çiçeklerde zarara yol açtığını belirtmiş olmasına rağmen bu bakteriler hakkında bir çok husus netlik kazanmamıştır. *Pseudomonas syringae* bakteri türlerinin, ilkbaharda özellikle asma tomurcuklarında görülebileceği görüşü hakim olmasına karşın, Bell ve ark. (1995), üzüm çeşitlerinde ksilemde yaşayan bakterileri incelemiştir. Popülasyon büyüklüğünün ekstraksiyon metoduna göre farklılık gösterdiğini ifade eden Bell ve ark. (1995), çoğu endofitik bakterilerin iletim dokularının duvarlarına tutunabileceğini, burada da gelişimlerinin kolay olmadığını ve hücre içine girmelerinin mümkün gözükmediğini bildirmiştir.

Pinot noir üzüm çeşidinde yaprakların donma noktası üzerine *Pseudomonas syringae* bakterilerinin etkilerinin araştırıldığı çalışmada, yüzeyi steril edilmiş yaprakların yüzeylerinde buz çekirdeği oluşumunun $-7,5^{\circ}\text{C}$ 'de başlarken, bakteri ile inokule olmuş yaprakların yüzeyinde buz çekirdeği oluşumunun $-3,1^{\circ}\text{C}$ 'de başladığı tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada yaprak yüzeyine inokule edilen bakterilerin -3°C ile -4°C 'lerde en güçlü etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir (Gardea, 1987).

Himelrick ve ark. (1991), asmalarda düşük sıcaklıklarda etkili olduğu bilinen *Pseudomonas syringae* türüne ait bakterilerin zararlı etkilerinin azaltılması üzerinde bir çalışma yapmıştır. Çalışmada -2°C 'de bitkiye uygulanan Frostgard (FG) uygulamasının bitki hücrelerindeki bakteri popülasyonunun etki mekanizmasını baskıladığı, böylelikle bitkinin düşük sıcaklığa maruz kaldığı zaman aralığında yapılacak Frostgard uygulaması ile düşük sıcaklık zararının şiddetinin azaltılmasının mümkün olabileceği sonucuna varılmıştır.

Bitkilerin düşük sıcaklıklara karşı korunmasında birçok farklı mekanizmanın rol aldığı bilinmektedir. Soğuk iklimasyonu süresince biriken özel proteinlerden bazıları antifriz protein özelliği göstermektedir (Pearce, 2001). Bu antifriz proteinlerin, buz kristalinin şekli ve oluşumunu değiştirerek buz çekirdeklenme aktivitesini artıran buz nükleatörleri ile de etkileşime girebilme yeteneğine sahip olduğu bilinmektedir. Bu özel proteinler bitkilerin düşük sıcaklıklara karşı toleransında en önemli nokta olan hücreler arasındaki suyun donmasını çok küçük konsantrasyonlarda dahi engelleyebilme özelliğine sahiptirler. Böylece don zararından hücrelerin korunmasına katkı sağlarlar. Suyu çekmeyen ve makro moleküllerin bir araya gelmesini önleyici bir özelliğe sahip olduğu belirlenen bu proteinlerin arpa, buğday, çavdar ve kışık kanolada soğuk iklimasyonu süresince biriktikleri görülmüştür. (Scabba ve ark., 1998; Smallwood & Bowles, 2002).

Sonuç

Pseudomonas syringae bakterilerinin özellikle yaprağını döken odunsu meyve türleri üzerindeki don zararındaki rolü üzerine yapılan çalışmalarda sonuçların çelişkili olduğu görülmüştür. Bu bakteri türünün özellikle asmalar için zayıf bir patojen olduğu bildirilmiş, ancak bu bakterilerin özellikle genç sürgünlerde süper soğumayı sınırlandırarak sebep oldukları soğuk zararı hakkında varsayımların olduğu ve bu durumun araştırılması gerektiği birçok çalışmada vurgulanmıştır. *Pseudomonas syringae* türüne ait bakterilerin paraziter (bakteriyel kanser) etkileri çoğu çalışmada ortaya koyulmuş olmasına rağmen (Bradbury, 1986; Kennelly ve ark., 2007; Park & Nakai, 2003; Pinheiro ve ark., 2019), bu bakterilerin bağ ve bahçelerdeki yaşam döngüsü, ortaya çıkışı, don zararı ile ilişkisi, bitkiler üzerindeki fizyolojik etki mekanizmaları, düşük sıcaklıklar ve süper soğuma mekanizması arasındaki ilişkileri açıklamada mevcut literatürler yeterli olmamıştır. Nitekim mevcut literatürlerde bakterilerin yağışlarla ilkbahar ayında mı taşındığı, yoksa kışı bitkilerin doku ve organları içerisinde mi geçirdiği hususunda görüş ayrılıkları vardır. Ilkbaharda asma dahil birçok ılıman iklim meyve türünde rastlandığı ifade edilen bu bakterilerin şayet yağışlarla taşınmayıp da konukçu olarak yaşadığı varsayıldığında, bitki üzerindeki zarar mekanizmasının hücreler arasındaki suyu daha yüksek sıcaklıklarda dondurarak mı, yoksa direk bakteriyel hastalık oluşturarak bitkiyi hassaslaştırdığı konuları açıklık kazanmamıştır. Ayrıca birçok literatürde bu bakterilerin ilkbaharda genç yaprak ve çiçeklerde zararlanmalara yol açtığı belirlenmesine karşın, bazı çalışmalarda bu bakterilerin bitkilerin apoplast sıvısında yer aldığı ifade edilmiştir. Bu bakterilerin kışın dormant tomurcuklarda konukçu olarak yaşadığı kabul edildiğinde zararlanmanın esasında kış ayında göz veya tomurcuklarda zaten meydana gelmiş olabileceği göz ardı edilmiştir. Mevcut çalışmalarda henüz netlik kazanmamış bu hususların ortaya konulması ile yaprağını döken ve süper soğuma özelliği gösteren tüm bitki türlerinde olduğu gibi asmalar üzerinde de bu bakteriler ile soğuk zararı arasındaki ilişki tespit edilmiş olacak ve bu bakterilerin muhtemele etkileri hakkında projeksiyonlar sunulması mümkün olacaktır. Bu ilişkinin netlik kazanması halinde, bitki muhitindeki bu bakterilerin elemine edilmesi ile süper soğumanın engellenmesinin ortadan kaldırılması mümkün hale gelebilecektir. Ayrıca bulutlarla taşınabileceği ifade edilen bu mikroorganizmaların buz çekirdekleri oluşturmaları, sonrada yağmur veya kar yağışlarıyla toprağa geri dönmeleri muhtemeldir. Küresel bazda düşünüldüğünde, bulutlar vasıtasıyla taşınabilen bu mikroorganizmaların tüm tarım alanları için zarar meydana getirme potansiyelinin olduğu anlaşılmaktadır. Son yıllarda artan dünya nüfusu ile birlikte küresel iklim değişikliğinin de olumsuz etkilerinin yoğun bir şekilde hissedildiği dünya tarımında bu durum daha da önem kazanmaktadır (Küpe, 2012). ABD'de buz çekirdeği oluşumunu tetikleyen bakterilerden kaynaklanan tarımsal kayıpların senede 1 milyar doları aştığı ileri sürülmektedir. Bu yönde yapılacak çalışmalarla, özellikle karasal iklimin hüküm sürdüğü geçit bölgelerinde çok ciddi olumsuz etkileri olan don riski kısmen veya tamamen ortadan kaldırılmış olacaktır. Böylelikle geçit bölgelerinde bağcılık ve meyvecilik daha düşük risk ile daha ekonomik olarak yapılabilecektir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazar, herhangi bir kişisel ve finansal çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Finansal Destek: Yazar, bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The author declared that they have no competing interest.

Funding: The author declared that this study had received no financial support.

Kaynaklar

- Andrews, P. K., Sandidge, C. R., & Toyama, T. K. (1984). Deep supercooling of dormant and deacclimating vitis buds. *American Journal of Enology and Viticulture*, 35(3), 175–177.
- Ashworth, E. N. (1986). Freezing injury in horticultural crops—research opportunities. *HortScience*, 21(6), 1325–1328. [\[CrossRef\]](#)
- Aslantaş, R., Karakurt, H., & Karakurt, Y. (2010). Bitkilerin düşük sıcaklıklara dayanımında hüresel ve moleküler mekanizmalar. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 41(2), 157–167.
- Barranco, D. N., Ruiz, N., & Gomez-del Campo, M. (2005). Frost tolerance of eight olive cultivars. *Horticultural Science*, 40, 558–560.
- Bell, C. R., Dickie, G. A., Harvey, W. L. G., & Chan, J. W. Y. F. (1995). Endophytic bacteria in grapevine. *Canadian Journal of Microbiology*, 41(1), 46–53. [\[CrossRef\]](#)
- Bradbury, J. F. (1986). *Guide to plant pathogenic bacteria*. CAB International: Farnham Royal, Slough.
- Burke, J. J. (1995). Enzym adaptation to tempeature. In N. Smirnov (Ed.). *Environment and plant metabolism: Flexibility and acclimation* (pp. 63–78). Oxford, UK: Bios Scientific Publishers.
- Centinari, M., Smith, M. S., & Londo, J. P. (2016). Assessment of freeze injury of grapevine green tissues in response to cultivars and a cryoprotectant product. *HortScience*, 51(7), 856–860. [\[CrossRef\]](#)
- Davies, P. L. (2014). Ice-binding proteins: A remarkable diversity of structures forstopping and starting ice growth. *Trends in Biochemical Sciences*, 39(11), 548–555. [\[CrossRef\]](#)
- Fennell, A. (2004). Freezing tolerance and injury in grapevines. *Journal of Crop Improvement*, 10(1–2), 201–235. [\[CrossRef\]](#)
- Gardea, A. A. (1987). *Freeze damage of Pinot noir (Vitis vinifera L.) as affected by bud development, INA-bacteria, and a bacterial inhibitor* [Master Thesis], Oregon State University, ABD.
- Gross, D. C., Proebsting, Jr., E. L., & Andrews, P. K. (1984). The effects of ice nucleation-active bacteria on temperatures of ice nucleation and freeze injury of Prunus flower buds at various stages of development. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 109(3), 375–380. [\[CrossRef\]](#)
- Himelrick, D. G. (1991). Growth and nutritional responses of nine grape cultivars to low soil pH. *HortScience*, 26(3), 269–271. [\[CrossRef\]](#)
- Hoose, C., & Möhler, O. (2012). Heterogeneous ice nucleation on atmospheric aerosols: A review of results from laboratory experiments. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(20), 9817–9854. [\[CrossRef\]](#)
- Itier, B., Flura, D., Brun, O., Luisetti, J., Gaignard, J. L., Choisy, C., & Lemoine, G. (1991). An analysis of sensitivity to spring frost in vine buds. *Agronomie*, 11(3), 169–174.
- Jones, G. V., White, M. A., & Cooper, O. R. (2004). Climate change and global wine quality. *Climatic Change*, 73(3), 319–343.
- Kappel, F. (2010). Sweet cherry cultivars vary in their susceptibility to spring frosts. *HortScience*, 45(1), 176–177. [\[CrossRef\]](#)
- Kennelly, M. M., Cazorla, F. M., de Vicente, A., Ramos, C., & Sundin, G. W. (2007). Pseudomonas syringae diseases of fruit trees: Progress toward understanding and control. *Plant Disease*, 91(1), 4–17. [\[CrossRef\]](#)
- Kupe, M. (2012). Küresel iklim değişikliğinin bağcılık üzerindeki etkileri. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 43(2), 191–196.
- Kupe, M., & Kose, C. (2019). Determination of cold damage in field and laboratory conditions in dormant buds of Karaerik grape cultivar. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 50(2), 115–121.
- Lindow, S. E. (1983). The role of bacterial ice nucleation in frost injury to plants. *Annual Review of Phytopathology*, 21(1), 363–384. [\[CrossRef\]](#)
- Lindow, S. E., Arny, D. C., & Upper, C. D. (1978). Distribution of ice nucleation-active bacteria on plants in nature. *Applied and Environmental Microbiology*, 36(6), 831–838. [\[CrossRef\]](#)
- Lindow, S. E., Arny, D. C., & Upper, C. D. (1982). Bacterial ice nucleation: A factor in frost injury to plants. *Plant Physiology*, 70(4), 1084–1089. [\[CrossRef\]](#)
- Londo, J. P., Kovaleski, A. P., & Lillis, J. A. (2018). Divergence in the transcriptional landscape between low temperature and freeze shock in cultivated grapevine (*Vitis vinifera*). *Horticulture Research*, 5(1), 10. [\[CrossRef\]](#)
- Mills, L. J., Ferguson, J. C., & Keller, M. (2006). Cold-hardiness evaluation of grapevine buds and cane tissues. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57(2), 194–200. [\[CrossRef\]](#)
- Morris, C. E., Georgakopoulos, D. G., & Sands, D. C. (2004). Ice nucleation active bacteria and their potential role in precipitation. *Journal de Physique IV*, 121(5), 87–103. [\[CrossRef\]](#)
- Murray, B. J., O’Sullivan, D., Atkinson, J. D., & Webb, M. E. (2012). Ice nucleation by particles immersed in supercooled cloud droplets. *Chemical Society Reviews*, 41(19), 6519–6554. [\[CrossRef\]](#)
- Nejad, P. (2005). *Pathogenic and ice-nucleation active (INA) bacteria causing dieback of willows in short rotation forestry* [Doctoral Thesis]. Saint Louis University.
- Nilsen, E. T., & Orcutt, D. M. (1996). *Physiology of plants under stress*. Abiotic Factors.
- Park, S. C., & Nakai, T. (2003). Bacteriophage control of Pseudomonas plecoglossicida infection in ayu Plecoglossus altivelis. *Diseases of Aquatic Organisms*, 53(1), 33–39. [\[CrossRef\]](#)
- Pearce, R. S. (1988). Extracellular ice and cell shape in froststressed cereal leaves: A low temperature scanning electron microscopy study. *Planta*, 175(3), 13–324.
- Pearce, R. S. (2001). Plant freezing and damage. *Annals of Botany*, 87(4), 417–424. [\[CrossRef\]](#)
- Pinheiro, L. A. M., Pereira, C., Frazão, C., Balcão, V. M., & Almeida, A. (2019). Efficiency of phage $\phi 6$ for biocontrol of Pseudomonas syringae pv. syringae: An in vitro preliminary study. *Microorganisms*, 7(9), 286. [\[CrossRef\]](#)
- Pouleur, S., Richard, C., Martin, J. G., & Antoun, H. (1992). Ice nucleation activity in Fusarium acuminatum and Fusarium avenaceum. *Applied and Environmental Microbiology*, 58(9), 2960–2964. [\[CrossRef\]](#)
- Scebba, F., Sebastiani, L., & Vitagliano, C. (1998). Changes in activity of antioxidative enzymes in wheat (*Triticum aestivum*) seedlings under cold acclimation. *Physiologia Plantarum*, 104(4), 747–752. [\[CrossRef\]](#)
- Smallwood, M., & Bowles, D. J. (2002). Plants in a cold climate. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 357(1423), 831–847. [\[CrossRef\]](#)
- Smith, E. D. (2019). Cold hardiness and options for the freeze protection of southern highbush blueberry. *Agriculture*, 9(1), 9. [\[CrossRef\]](#)
- Trought, M. C., Howell, G. S., Cherry, N. J. (1999). Practical considerations for reducing frost damage in vineyards. Report to New Zealand wine-growers reducing frost damage in vineyards Miguel de Unamuno, The Tragic Sense of Life (pp. 18-19). Lincoln University, New Zealand
- Vali, G. (1995). Principles of ice nucleation. In R. E. Lee, G. J. Warren & L. V. Gusta (Eds.). *Biological ice nucleation and its applications* (p. 28). American Phytopathological Society.
- Warmund, M. R., & English, J. T. (1998). Ice nucleation, freezing injury, and colonization of Totem Strawberry flowers with ice-nucleation-active (INA) bacteria. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123(2), 234–238. [\[CrossRef\]](#)
- Warmund, M. R., Guinan, P., & Fernandez, G. (2008). Temperatures and cold damage to small fruit crops across the Eastern United States associated with the April 2007 freeze. *HortScience*, 43(6), 1643–1647. [\[CrossRef\]](#)
- Wilson, P. W., Heneghan, A. F., & Haymet, A. D. J. (2003). Ice nucleation in nature: Supercooling point (SCP) measurements and the role of heterogeneous nucleation. *Cryobiology*, 46(1), 88–98. [\[CrossRef\]](#)
- Wisniewski, M., & Basett, C. (2003). An overview of cold hardiness in woody plants: Seeing the forest through the trees. *Horticultural Science*, 38(5), 952–954.
- Wisniewski, M., Michael Glenn, D. M., Gusta, L., & Fuller, M. P. (2008). Using infrared thermography to study freezing in plants. *HortScience*, 43(6), 1648–1651. [\[CrossRef\]](#)

- Wisniewski, M., Nassuth, A., Teulières, C., Marque, C., Rowland, J., Cao, P. B., & Brown, A. (2014). Genomics of cold hardiness in woody plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 33(2–3), 92–124. [\[CrossRef\]](#)
- Wolf, T. K. (2008). *Wine grape production guide for eastern North America*. Natural Resource, Agriculture and Engineering Service.
- Yang, J. M., Meng, Q. R., Liang, Y. Q., Wang, W. F., Sun, F. Z., Zhao, T. C., Peng, W. X., & Li, S. H. (2007). Effect of ice nucleation-active bacteria on the physiology and ultrastructure of apricot floral organs. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 82(4), 563–570. [\[CrossRef\]](#)
- Zabadal, T. J., Dami, I. E., Goffinet, M. C., Martinson, T. E., & Chien, M. L. (2007). *Winter injury to grapevines and methods of protection* (pp. 36–37). Michigan State University Publications on Grape Production.
- Zhang, J., Wu, X., Niu, R., Liu, Y., Liu, N., Xu, W., & Wang, Y. (2012). Cold resistance evaluation in 25 wild grape species. *Vitis*, 51(4), 153–160.