

Araştırma/Research

Anadolu Tarım Bilim. Derg./Anadolu J Agr Sci, 34 (2019)  
ISSN: 1308-8750 (Print) 1308-8769 (Online)  
doi: 10.7161/omuanajas.515031

## Elmada mavi küfe neden olan *Penicillium expansum*'a karşı bazı bor tuzlarının antifungal etkisi

İsmail Erper<sup>a,b\*</sup>, Çağlar Kalkan<sup>a</sup>, Gizem Kaçar<sup>a</sup>, Muharrem Türkkân<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Atakum, Samsun

<sup>b</sup>Kırgızistan-Türkiye Manas Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Bişkek, Kırgızistan

<sup>c</sup>Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Ordu

\*Sorumlu yazar/corresponding author: ismail@omu.edu.tr

Geliş/Received 19/01/2019

Kabul/Accepted 19/08/2019

### ÖZET

Mavi küf hastalığına neden olan *Penicillium expansum* yumuşak çekirdekli meyvelerde hasat sonrası görülen önemli patojenlerden biri olup, meyve enfeksiyonu için yaraya ihtiyaç duyan nekrotrofik bir fungustur. Bu çalışmada, etidot-67 ve boraks dekahidratın *P. expansum*'a karşı etkinliği hem *in vitro* hem de *in vivo* denemelerle değerlendirilmiştir. *In vitro* denemelerde, hem etidot-67 hem de boraks dekahidrat *P. expansum*'un misel gelişmesini, spor çimlenmesini ve çim tüpü uzunluğunu güçlü bir şekilde engellemiştir. Her iki tuzun engelleyici etkileri onların artan konsantrasyonları ile yakından ilişkili bulunmuştur. Bor tuzları *P. expansum*'un misel gelişmesini %0.25 konsantrasyonda tamamen engellerken, bu tuzlar fungusun spor çimlenmesini ve çim tüp uzamasını %0.125 konsantrasyonunda tamamen engellemiştir. Ayrıca, test edilen tuzların toksisitelerinin birbirine yakın olduğu, yani etidot-67 ve boraks dekahidratın EC<sub>50</sub> değerlerinin sırasıyla 0.067 ve 0.071 olduğu belirlenmiştir. Etidot-67 ve boraks dekahidratın minimum engelleyici konsantrasyon (MIC) değerleri %0.25 iken, aynı tuzların minimum fungisidal konsantrasyon (MFC) değerleri %1'den büyük bulunmuştur. *In vivo* denemelerde, fungus inokülasyonundan sonra (tedavi edici aktivite), etidot-67 ve boraks dekahidratın %3.0 konsantrasyonu uygulanmış elma meyvelerinde mavi küf gelişimi, kontrol uygulaması ile kıyaslandığında, sırasıyla %92.8 ve %78.9'a kadar önemli derecede azalmıştır (P<0.05). Bununla birlikte, aynı konsantrasyonda, fungus (1x10<sup>4</sup> konidi mL<sup>-1</sup>) ile inokülasyondan önce (koruyucu aktivite) bor tuzları ile muamele edilen elma meyvelerindeki lezyon alanı kontrol uygulaması ile kıyaslandığında sırasıyla %94.3 ve %98.3 azalmıştır. Bu sonuçlar, bor tuzlarının *P. expansum*'un neden olduğu elma meyvesinin hasat sonrası hastalığının kontrolü için sentetik fungusitlere potansiyel bir alternatif olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Sözcükler:  
Elma  
Mavi küf  
Etidot-67  
Boraks dekahidrat  
Alternatif yöntem

### Antifungal effect of some boron salts against *Penicillium expansum*, the casual agent of blue mold of apple

#### ABSTRACT

*Penicillium expansum* causing blue mold disease is one of the most important pathogens of pome fruit and is a necrotrophic fungus that requires wounds to infect the fruit. In the present study, the efficacy of etidot-67 and borax decahydrate against *P. expansum* were evaluated in both *in vitro* and *in vivo*. In *in vitro* experiments, both etidot-67 and borax decahydrate strongly inhibited mycelial growth, spore germination and germ tube elongation of *P. expansum*. The inhibitory effects of both salts were closely correlated with their increasing concentrations. While boron salts completely inhibited the mycelial growth of *P. expansum* at %0.25 concentration, these salts completely inhibited spore germination and germ tube elongation of the fungus at %0.125 concentration. Additionally, it was determined that the toxicity of the salts tested were close to each other, namely EC<sub>50</sub> values of Etidot-67 and borax decahydrate were 0.067 and 0.071, respectively. While the minimum inhibition concentration (MIC) values of the etidot-67 and borax decahydrate were %0.25, the minimum fungicidal concentration (MFC) values of the same salts were found to be greater than 1%. In *in vivo* experiments, blue mold development in apple fruits treated with 3.0% concentration of etidot-67 and borax decahydrate after

Keywords:  
Apple  
Blue mold  
Etidot-67  
Borax decahydrate  
Alternative control

fungus inoculation (curative activity) was significantly reduced by %92.8 and %78.9, respectively, compared with the control treatment ( $P < 0.05$ ). However, at same concentration, lesion area on apple fruits treated with the salts before inoculation with the fungus ( $1 \times 10^4$  conidia  $\text{mL}^{-1}$ ) (preventive activity) reduced by %94.3 and %98.3, respectively. These results show that both boron salts can be used as a potential alternative to synthetic fungicides for the control of the postharvest disease of apple fruit caused by *P. expansum*.

© OMU ANAJAS 2019

## 1. Giriş

Elma (*Malus domestica* Borkh.) ülkemizde önemli ürünlerden biri olup, 2017 verilerine göre 175.357 ha alanda, yıllık 3.032.164 ton elma üretim miktarı ile Türkiye, Çin ve Amerika'nın ardından 3. sırada yer almaktadır (Anonymous, 2019a). Türkiye'de ise 717.401 ton elma üretim miktarı ile Isparta ili ilk sırada yer almakta, bunu sırasıyla 588.442 ton ile Karaman, 429.036 ton ile Niğde, 289.085 ton ile Denizli ve 265.068 ton ile Antalya illeri izlemektedir (Anonymous, 2019b). Tarımsal ürünlerde hasat sonrası görülen ve özellikle fungal patojenlerin neden olduğu hastalıklar, ürünlerin hasat edilmesi, paketlenmesi, pazara taşınması ve depolanması sırasında gelişen süreçlerde ortaya çıkmaktadır. Elmalarda hasat sonrasında meydana gelen ürün kayıplarında *Penicillium expansum*, *Botrytis cinerea* ve *Alternaria* spp. önemli patojenler olup, bunların yanı sıra *Monilinia fructicola*, *Glomerella cingulata*, *Mucor pyriformis*, *Rhizopus stolonifer* ve *Aspergillus* spp.'lerde ürün kayıplarına neden olmaktadır (Snowdon, 1990). Ancak yukarıda belirtilen patojenler içerisinde *P. expansum* ve *B. cinerea* diğerlerine nazaran daha düşük sıcaklıklarda da gelişebilme özelliklerinden dolayı ürün kayıplarında öne çıkmaktadır.

Elmada mavi küf hastalığı etmeni *P. expansum*, elmayı da içeren 21 farklı cinsine ait bitki grubunda hastalık oluşturarak, depolanmış ürünlerde %50'ye varan kayıplara neden olan ve meyve kabuğunun yaralanması ile ürün içine giren bir yara patojenidir (Mari ve ark., 2002). Bu patojen, elmalarda oluşturduğu çürüklük kayıpları yanında, kanserojenik etkiye sahip patulin mikotoksinini de üretmektedir. Patulin miktarının artması veya bulunma oranı kaliteyi düşürmekte ve insan sağlığını olumsuz etkilemektedir (Janisiewicz, 1998).

Hasat sonrası taze meyvelerde patojenden kaynaklanan kayıpları önlemek için günümüzde kimyasal mücadeleyi de içeren farklı mücadele yöntemleri uygulanmaktadır (Vilanova ve ark., 2014). Dünyada yumuşak çekirdekli meyvelerde görülen hasat sonrası hastalıkların mücadelesinde thiabendazole, thiophanate-methyl, pyrimethanil, imazalil, iprodione, fenhexamide, boscalid, cyprodinil+fluodioxonil, boscalid+pyraclostrobin, carbendazim, thiabendazole + imazalil gibi bazı aktif maddeleri içeren fungusitler kullanılmakta olup (Zhang ve Timmer, 2007; Anonymous, 2019c), bunlardan bazılarının hastalıkların mücadelesinde kullanımı ülkemizde sonlandırılmıştır. Elmada *P. expansum*'a karşı ülkemizde hasat sonrası depolarda kullanılan ruhsatlı bir fungusit bulunmamakla

birlikte, sadece Boscalid 25.2 g/kg + Pyraclostrobin 12.8 g/kg (Bellis® WG, BASF) bu hastalığa karşı hasat öncesi ruhsatlıdır (Anonymous, 2019c).

Son yıllarda fungusitlere dirençli patojen ırklarının ortaya çıkması, fungusitlerin insan ve çevre sağlığı üzerine olumsuz etkilerinin anlaşılması, araştırmacıları bitki hastalıkları ile mücadelede bazı yeni alternatif metodlar aramaya itmiştir (Conway ve ark., 2005). Bugüne kadar hasat sonu hastalıklara karşı kullanılan fungusitlere alternatif olarak; biyolojik mücadele (Janisiewicz, W.J., 1998, Spadaro ve ark., 2002), sıcak su (Karabulut ve ark., 2005), organik ve inorganik tuzlar (Palou ve ark., 2007; Arslan ve ark., 2013; Türkkan ve ark., 2017), bazı bor bileşikleri (Qin ve ark., 2010; Shi ve ark., 2012), modifiye atmosfer (Grant ve Patterson, 1991) ve ışınlama (tek veya diğer yöntemlerle birlikte) (Conway ve ark., 2004; Palou ve ark., 2007; Temur ve Tiryaki, 2013) gibi pek çok alternatif uygulama üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Türkiye 953.300.000 ton bor ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ) rezervi ile (%72.8) dünyada ilk sırada yer almaktadır. Bor bileşiklerinin farklı alanlarda kullanımının yanında, depolanmış tarımsal ürünlerde hasat sonu kayba neden olan bazı fungal etmenlere karşı etkili olduğu yapılan farklı çalışmalarda rapor edilmiştir (Rolshausen ve Gubler, 2005; Qin ve ark., 2007). Qin ve ark. (2007), potasyum tetraborat (PTB)'ın *P. expansum* üzerinde antifungal bir etkiye sahip olduğunu ve %0.1 konsantrasyonda kullanıldığında misel gelişimini %10-15 oranında azalttığını tespit etmişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada mango meyvelerinde antraknoz hastalığına neden olan *Colletotrichum gloeosporioides*'e karşı uygulanan PTB'nin 20mM konsantrasyonunun lezyon oluşumunu yaklaşık %47 oranında azalttığı belirlenmiştir (Shi ve ark., 2012). Bununla birlikte, borun artan konsantrasyonları ile patojenlerin misel gelişimi, spor çimlenmesi ve çim tüp uzunluklarının engellenmesi arasında pozitif bir ilişkinin olduğu yapılan farklı çalışmalarda rapor edilmiştir (Qin ve ark., 2010; Cao ve ark., 2012). Yapılan bir çalışmada hünnap meyvesinde *P. expansum*'a karşı uygulanan PTB konsantrasyonları attıkça patojenin misel gelişiminin daha fazla engellendiği, %0.1 konsantrasyonda %10-15, %0.25 konsantrasyonda ise %100 engellenen olduğu belirlenmiştir (Cao ve ark., 2012). Benzer bir çalışmada Qin ve ark. (2010), PTB'nin artan konsantrasyonları ile *B. cinerea*'nin misel gelişimi, spor çimlenmesi ve çim tüp uzunluğu arasında yine pozitif bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bazı bor tuzlarının antifungal etkinlikleri, bağda geriye doğru ölüm [*Eutypa lata* (Rolshausen ve Gubler, 2005)] ve patatete kuru çürüklük [*Fusarium sulphureum* (Li ve ark., 2012)] gibi

hasat sonrası görülen hastalıklara karşı *in vitro* ve *in vivo* koşullarda belirlenmiştir.

Bu çalışmada, sentetik fungusitlere alternatif olarak kullanma potansiyeli olabilecek, borun iki farklı formu etidot-67 ve boraks dekahidrat tuzlarının farklı konsantrasyonlarının *in vitro* koşullarda *P. expansum*'un misel gelişimi, spor çimlenmesi ve çim tüp uzunluğuna karşı antifungal etkilerinin belirlenmesi, ayrıca bu tuzların fungisidal veya fungistatik etkilerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca *in vivo* koşullarda koruyucu ve tedavi edici olarak uygulanan her iki tuzun farklı konsantrasyonlarının patojenin elma meyveleri üzerinde oluşturduğu lezyon gelişimi üzerinde engelleyici etkileri de belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Fungal kültür

Çalışmada kullanılan Pe-78 izolatu hasat sonu soğuk hava depolarına alınan ve mavi küf hastalığı görülen elma meyvelerinden izole edilmiştir. Daha sonra patojenin PDA üzerinde tek spor izolasyonu yapılmış ve izolatın virülensliği patates dekstroza agar (PDA; Oxoid Ltd, Basingstoke, UK) üzerinde geliştirilen ve fungal kültürden elde edilen spor süspansiyonu ( $1 \times 10^4$  konidi mL<sup>-1</sup>) ile inokule edilmiş sağlıklı elma meyveleri üzerinde doğrulanmıştır. Pe-78 izolatu morfolojik özelliklerine göre yapılan inceleme sonucunda *P. expansum* olarak teşhis edilmiştir (Frisvard ve Samson, 2004). Bu izolat sonraki çalışmalarda kullanılmak üzere, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü Mikoloji laboratuvarında bulunan fungal kültür koleksiyonunda 4°C'de muhafaza edilmektedir.

### 2.2. Bor tuzları

Çalışmada kullanılan bor tuzları; Etidot-67: Disodyum Oktaborat Tetrahidrat ( $\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) ve Boraks Dekahidrat: Sodyum Tetaborat Dekahidrat ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü (Türkiye)'nden temin edilmiştir.

### 2.3. Bor tuzlarının misel gelişimi üzerine olan etkilerinin *in vitro* koşullarda belirlenmesi

Çalışmada kullanılan iki bor tuzunun farklı konsantrasyonları (%0.0156, 0.0312, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5 ve 1.0, w/v) otoklavda sterilize edilmiş ve yaklaşık 50°C'ye soğutulmuş 100 mL'lik erlenlerdeki PDA besi ortamına eklenmiştir. Tuzlar manyetik karıştırıcı ile karıştırılarak homojen bir şekilde tüm besi ortamına karışması sağlanmıştır. Tuzların farklı konsantrasyonlarını içeren PDA besi ortamı, 6 cm çapındaki steril Petri kaplarına 8-10 mL olacak şekilde dökülmüştür. Bu Petrilere, daha önceden PDA besi ortamında geliştirilmiş 7-10 günlük Pe-78 izolatına ait kültürlerden mantar delici ile alınan 4 mm çaplı misel

diskleri inokule edilmiştir. Petri parafilm ile kaplandıktan sonra inkübatör (Memmert ICP 110, Germany)'de  $21 \pm 1^\circ\text{C}$ 'de inkübasyona bırakılmıştır. Aynı koşullarda inkübe edilen tuz eklenmemiş kontrol grubu (sadece PDA besi ortamı içeren) Petrilerdeki fungusların gelişmeleri günlük olarak izlenerek Petriyi kaplamaya yakın olduğunda, kontrol ve tuzların farklı konsantrasyonlarını içeren Petrilerdeki fungusun gelişimleri ölçülmüştür. Ölçümler sırasında fungusların en uzun ve en kısa radyal gelişmeleri esas alınmıştır. Misel gelişiminin engellenmesi, MGE (%) =  $[\text{kpmg} - \text{tpmg} / \text{kpmg} (\text{kontrol})] \times 100$  formülü kullanılarak hesaplanmıştır (Mecteau ve ark., 2002). Formülde MGE (%), misel gelişiminin yüzde olarak engellenmesini; kpmg, kontrol Petrielerindeki misel gelişmesini; tpmg, tuz eklenmiş Petrielerdeki misel gelişmesini ifade etmektedir. Deneme her bir tuz konsantrasyonu için 4 tekerrürlü yapılmış ve 2 kez tekrar edilmiştir (Türkkan ve Erper, 2015).

### 2.4. Bor tuzlarının konidi çimlenmesi ve çim tüpü uzunluğu üzerine etkilerinin belirlenmesi

*Penicillium expansum* izolatu (Pe-78) PDA besi ortamında  $21 \pm 1^\circ\text{C}$ 'de 7-10 gün geliştirilmiştir. Daha sonra gelişen kültürün üzerine steril saf su eklenerek fırça yardımı ile konidilerin suya geçmeleri sağlanmış ve süspansiyon 4 kat steril tülbentten geçirilerek misel kalıntıları süspansiyondan uzaklaştırılmıştır. Hazırlanan bu süspansiyondaki konidiler, Thoma lamı (hemocytometre)'nda sayılarak konsantrasyon  $1 \times 10^4$  konidi mL<sup>-1</sup>'ye ayarlanmıştır. Bor tuzlarının belirtilen 7 farklı konsantrasyonu (%0.0156, 0.0312, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5 ve 1.0, w/v) otoklav edilmiş ve yaklaşık 50°C'ye soğutulmuş PDA besi ortamlarına eklenmiştir. Tuzlar manyetik karıştırıcı ile karıştırılıp homojen bir karışım sağlanmış ve 6 cm çapındaki steril Petri kaplarına 8-10 mL olacak şekilde dökülmüştür. Tuz eklenmiş ve eklenmemiş (kontrol) PDA besi ortamı içeren her Petri kabına, hazırlanan spor süspansiyonu (30 µL) steril edilmiş cam bağıt vasıtasıyla yayılmıştır. Petri kapları 24 saat boyunca  $21 \pm 1^\circ\text{C}$ 'de inkübasyona bırakılmış ve konidi çimlenme oranı (%), her tuza ait farklı konsantrasyonlarda 400 konidi olmak üzere Olympus CX-31 model mikroskopta 100-400x büyütmede, çimlenen ve çimlenmeyen konidiler sayılarak belirlenmiştir. Konidi büyüklüğü kadar çim tüpü oluşturmuş konidiler çimlenmiş olarak kabul edilmiştir (Mecteau ve ark., 2002).

Ayrıca aynı Petrielerde çim tüpü uzunluklarının belirlenmesi için her konsantrasyondan 100 konidinin çim tüpü uzunlukları oküler mikrometre kullanılarak ölçülmüştür. Çim tüp uzunluğunun engellenmesinde, ÇTUE (%) =  $[(\text{kpçtu} - \text{tpçtu}) / \text{kpçtu}] \times 100$  formülüne göre hesaplanmıştır. Formülde ÇTUE (%), Çim tüp uzunluğunun yüzde olarak engellenmesini; kpçtu, kontrol Petrielerindeki çim tüpü uzunluğunu; tpçtu, tuz eklenmiş Petrielerdeki çim tüpü uzunluğunu ifade

etmektedir. Deneme her bir tuz konsantrasyonu için 4 tekerrürlü yapılmış ve 2 kez tekrar edilmiştir.

### 2.5. Bor tuzlarının toksik etkilerinin belirlenmesi

*Penicillium expansum* Pe-78 izolatının misel gelişmesini %50 oranında azaltan konsantrasyon ( $EC_{50}$ = etkili konsantrasyon) IBM SPSS Statistic 21 paket programı kullanılarak probit analizi ile hesaplanmıştır. Misel gelişmesini tamamen engelleyen en küçük konsantrasyon (MIC= minimum engelleyici konsantrasyon) paralel denemelerle belirlenmiştir.

Ayrıca 2 farklı bor tuzunun fungisidal veya fungistatik etkileri Thompson (1989) ve Tripathi ve ark. (2004)'nin metodları izlenerek belirlenmiştir. Buna göre farklı konsantrasyon uygulanmış Petrilere gelişme göstermeyen fungus diskleri bu Petrilere alınarak, taze PDA besi ortamı içeren 6 cm çaplı Petrilere tekrar aşılanmış ve fungusun misel gelişimi  $21\pm 1^\circ C$ 'de 9 gün boyunca gözlenmiştir. Bu süre içinde fungusun misel gelişimi görülmediyse, bu konsantrasyon fungusun gelişimini %100 engelleyen konsantrasyon (MFC= minimum fungisidal konsantrasyon) olarak kaydedilmiştir.

### 2.6. Bor tuzlarının in vivo koruyucu ve tedavi edici etkilerinin belirlenmesi

Bu amaçla *in vivo* koşullarda etidot-67 ve boraks dekahidratın 5 farklı konsantrasyonu (%1.0, 1.5, 2.0, 2.5 ve 3.0, w/v)'nun elma meyveleri üzerinde *P. expansum*'a karşı etkinliklerinin belirlenmesi amacıyla koruyucu ve tedavi edici uygulamalar olmak üzere 2 farklı yöntem kullanılmıştır. Denemede kullanılan sağlıklı elma (Granny Smith çeşidi) meyveleri Samsun ilinde bulunan bir soğuk hava deposundan temin edilmiştir. Elmalar musluk suyu altında yıkanıp 1 gece kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra bu meyveler %1'lik NaOCl de 3 dk yüzeysel dezenfeksiyon işlemine tabi tutulmuş, 3 kez steril saf sudan geçirildikten sonra tekrar kurutulmuş ve yüzeysel dezenfeksiyondan geçirilmiş plastik viyollere yerleştirilmiştir. Steril kabin içinde elmaların ekvator bölgesine karşılıklı olacak şekilde, steril çelik bir tel ile 3 mm çapında 3-4 mm derinliğinde 2 adet yara açılmıştır.

Tuzların koruyucu etkilerinin belirlenmesi için, elma meyvelerinde yara açılma işlemi yapıldıktan sonra meyveler steril kabin içinde 2 saat bekletilmiştir. Açılan yaralara önce steril su kullanılarak hazırlanan tuz konsantrasyonlarından (%1.0, 1.5, 2.0, 2.5 ve 3.0, w/v) alınan 25 µL'lik miktar mikropipet yardımıyla yaralara uygulanmıştır. Daha sonra %0.03'lük Tween 20 içeren  $1 \times 10^4$  konidi  $mL^{-1}$  spor süspansiyonundan 25 µL'lik miktar mikropipet yardımıyla, tuz uygulaması yapılmış yaralara 2 saat sonra uygulanmıştır. Tuzların tedavi edici etkilerinin belirlenmesinde ise, ilk olarak yukarıda belirtilen miktarda spor süspansiyonu mikropipet yardımıyla aynı şekilde meyve üzerinde açılan yaralara uygulanmış ve inkübasyona bırakılmıştır. Bu yaralara

24 saat sonra aynı tuz konsantrasyonları aynı miktarda eklenmiştir.

Her iki uygulamada da negatif kontrol amacıyla meyvede açılan yaralara aynı miktarda %0.03'lük Tween 20 içeren steril saf su, pozitif kontrol olarak ise patojenin spor süspansiyonu aynı miktarda ( $1 \times 10^4$  konidi  $mL^{-1}$ ) uygulanmıştır. Plastik kaplara konulan elmalar inkübatörde  $21^\circ C$ 'de inkübasyona bırakılmış ve inkübasyondan 7 gün sonra enfekteli meyveler kontrol edilmiştir (Droby ve ark., 2003). Elmalar üzerindeki lezyon alanını belirlemek amacıyla 7. günün sonunda lezyonlu alana konan asetat kağıdına fungal gelişmenin sınırları çizilmiştir. Asetat kağıtlarındaki çizimler üzerinde 5 cm'lik bar olan beyaz A4 kağıtlarına aktarılmış ve Mustek 1200 UB Plus (Mustek Systems, Inc., Hsin Chu, Taiwan, PRC), masaüstü scanner ile taranarak 24-bit bmp dosyası olarak kaydedilmiştir. Daha sonra Digimizer programı (Version 4.0.0.0 for Windows 2005-2011 MedCalc Software bvba Broekstraat 52, 9030 Mariakerke, Belçika) kullanılarak bunların yüzey alanları hesaplanmıştır (Türkkan ve Erper, 2015). Denemeler tesadüf parselleri deneme desenine göre 5 tekerrürlü olarak yürütülmüş, her bir elma meyvesi bir tekerrür olarak kabul edilmiştir (Nunes ve ark., 2001; Türkkan ve ark., 2017).

### 2.7. İstatistik analiz

Tüm istatistiksel analizlerde SPSS (version 21, Property of SPSS, Inc.;IBM Company) programı kullanılmıştır. Elde edilen veriler ayrı ayrı tek yönlü varyans analizine tabi tutularak ortalamalar arasındaki önemli farklılıklar Tukey-HSD ( $P < 0.05$ ) testi ile belirlenmiştir.

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. Bor tuzlarının misel gelişimi, konidi çimlenmesi ve çim tüp uzunluğuna etkileri

Çalışmada kullanılan bor tuzlarının (etidot-67 ve boraks dekahidrat) farklı konsantrasyonlarının *P. expansum*'un misel gelişimi üzerine engelleyici etkileri birbirinden farklılık göstermiştir. Ancak her iki tuzun konsantrasyonları arttıkça patojen üzerindeki engelleyici etkilerinin de arttığı gözlenmiştir. *P. expansum*'un misel gelişimi her iki bor tuzunun %0.25 ve daha üst konsantrasyonlarında tamamen engellenmiş ve tam engelleme gerçekleştiği konsantrasyonlar diğer tüm konsantrasyonlardan istatistiksel olarak önemli ölçüde farklı bulunmuştur ( $P < 0.05$ ). Bununla birlikte %0.125 konsantrasyonda etidot 67'nin boraks dekahidrata göre daha etkili olduğu, sırasıyla misel çimlenmesini %73.9 ve %54.3 oranında engellediği belirlenmiştir (Çizelge 1).

Benzer olarak bor tuzlarının artan konsantrasyonları ile incelenen diğer parametreler (spor çimlenmesi ve çim tüp uzunluğu) arasında engelleme yönünden pozitif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Her iki tuzun %0.125

konsantrasyonunda fungusun hem spor çimlenmesinin hem de çim tüp uzunluğunun tamamen engellendiği belirlenmiştir. Bununla birlikte tuzların en düşük konsantrasyonunda engellenmenin olmadığı, Etidot 67'nin %0.0625 konsantrasyonunda boraks dekahidrata göre daha etkili olduğu görülmüştür. Bununla birlikte çalışmada kullanılan her iki bor tuzuna karşı *P. expansum*'un spor çimlenmesinin çim tüp uzamasına

göre daha dayanıklı olduğu, diğer bir ifade ile etidot-67 ve boraks dekahidrat tuzularının en düşük konsantrasyon (%0.0156)'unda spor çimlenmesinin görüldüğü (engellenmenin olmadığı), ancak boraks dekahidratın aynı konsantrasyonunda çim tüp uzunluğunun %15.4 oranlarında engellendiği ve kontrol uygulamasına göre istatistiki olarak farklı olduğu tespit edilmiştir ( $P<0.05$ ) (Çizelge 1).

Çizelge 1. *In vitro*'da artan bor tuz konsantrasyonlarının *Penicillium expansum* üzerindeki etkileri

| Bor tuzları       | Konsantrasyon (% w/v) | % Engelleme    |                 |                  |
|-------------------|-----------------------|----------------|-----------------|------------------|
|                   |                       | Misel gelişimi | Spor çimlenmesi | Çim tüp uzunluğu |
| Etidot-67         | 0.0156                | 4.8 ef*        | 0.0 e           | 6.4 de           |
|                   | 0.0312                | 10.9 de        | 21.0 d          | 39.8 c           |
|                   | 0.0625                | 48.7 c         | 72.9 b          | 93.2 a           |
|                   | 0.125                 | 73.9 b         | 100.0 a         | 100.0 a          |
|                   | 0.25                  | 100.0 a        | 100.0 a         | 100.0 a          |
|                   | 0.5                   | 100.0 a        | 100.0 a         | 100.0 a          |
|                   | 1.0                   | 100.0 a        | 100.0 a         | 100.0 a          |
| Boraks dekahidrat | 0.0156                | 6.5 ef         | 0.0 e           | 15.4 d           |
|                   | 0.0312                | 19.9 d         | 15.2 d          | 33.6 c           |
|                   | 0.0625                | 46.1 c         | 54.1 c          | 60.9 b           |
|                   | 0.125                 | 54.3 c         | 100.0 a         | 100.0 a          |
|                   | 0.25                  | 100.0 a        | 100.0 a         | 100.0 a          |
|                   | 0.5                   | 100.0 a        | 100.0 a         | 100.0 a          |
|                   | 1.0                   | 100.0 a        | 100.0 a         | 100.0 a          |
|                   | 0.0 (Kontrol)         | 0.0 f          | 0.0 e           | 0.0 e            |

\* Aynı sütunda yer alan ve aynı harfle başlayan ortalamalar arasındaki farklılık Tukey-HSD testine göre istatistiksel olarak önemsizdir ( $P<0.05$ ).

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, bitkiler için gerekli bir mikro element olan borun farklı formlarının artan konsantrasyonları ile bazı bitki patojeni fungusların misel gelişimi, spor çimlenmesi ve çim tüp uzunluğu üzerine antifungal etkileri arasında pozitif bir ilişkinin olduğu ortaya koyan benzer çalışmalar ile uyum içindedir (Qin ve ark., 2010; Thomidis ve Exadaktylou, 2010; Cao ve ark., 2012, Li ve ark., 2012, Shi ve ark., 2012). Li ve ark. (2012), patateslerde kuru çürüklüğe neden olan *F. sulphureum* karşı PTB ve boraks ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ )'ın etkinliğini belirlemek için yaptıkları çalışmada, artan tuz konsantrasyonları ile fungusun spor çimlenmesinin ve misel gelişiminin engellenmesi arasında pozitif bir ilişkinin olduğunu, özellikle çalışmada kullanılan en yüksek konsantrasyon (20 g/L)'da engellenmenin %100 olduğunu belirlenmiştir. Benzer olarak Cao ve ark. (2012)'nin yaptığı bir çalışmada hünnap meyvesinde mavi küf hastalığına neden olan *P. expansum*'a karşı PTB uygulandığında konsantrasyon arttıkça misel gelişiminin engellenmesinin arttığı, yani %0.01 ve 0.05 konsantrasyonlarda misel gelişiminin engellenmediği, %0.1 konsantrasyonda %10-15 oranında, %0.25

konsantrasyonda ise %100 engellenmenin olduğu rapor edilmiştir. Thomidis ve Exadaktylou (2010)'nun yaptığı diğer bir çalışmada, Andross çeşidi şeftalide monilya hastalığına neden olan *Monilinia laxa*'ya karşı kullanılan borun iki formülasyonu [Power B (B 20% w/w, FARMA-CHEM SA) ve Borax (B 20% w/w, Moscholios Chemicals SA)]'nin antifungal etkiye sahip olduklarını ve boraksın  $750 \mu\text{g mL}^{-1}$  ve Power B'nin  $1000 \mu\text{g mM}^{-1}$  konsantrasyonlarda patojenin misel gelişimini tamamen engellendiği tespit edilmiştir. Başka bir çalışmada Qin ve ark. (2010), PTB'nin artan konsantrasyonlarının bağda kurşuni küf etmeni *B. cinerea*'nin misel gelişimi, spor çimlenmesi ve çim tüp uzunluğu üzerine engelleyici etkilerinin olduğunu ve PTB'nin %1 (w/v)'lik konsantrasyonunun  $23^\circ\text{C}$ 'de inkübasyondan sonraki 4. gün sonunda misel gelişiminin tamamen engellediğini rapor etmişlerdir. Aynı çalışmada misel gelişimi üzerine engelleyici etkide olduğu gibi, artan PTB konsantrasyonları ile spor çimlenmesi ve çim tüp uzunluğu arasında pozitif bir ilişkinin olduğu, kontrol uygulamalarına göre değerlendirildiğinde PTB'nin *B. cinerea*'nin spor çimlenmesini %0.1'lik konsantrasyonda, çim tüp

uzunluğunu ise %0.05 konsantrasyonda önemli derecede azalttığı (P<0.05) tespit edilmiştir. Bu sonuçlar çalışmamızda elde edilen sonuçlara benzer olup (Çizelge 1), PTB'ye karşı *B. cinerea*'ın spor çimlenmesinin çim tüp uzamasına göre daha az hassas olduğu belirlenmiştir. Benzer olarak Qin ve ark. (2007), PTB'nin *P. expansum* üzerinde antifungal bir etkiye sahip olduğunu, tuzun %0.1 konsantrasyonda kullanıldığında kontrole göre spor çimlenmesini yaklaşık %12, çim tüp uzunluğunu ise %82 oranında azalttığını belirlemişlerdir. Shi ve ark. (2012), tarafından yapılan bir çalışmada hasat sonu mango meyvelerinde antraknoz hastalığına neden olan *C. gloeosporioides*'e karşı kullanılan PTB'nin 20 mM konsantrasyonunun etmenin spor çimlenmesini ve çim tüp uzunluğunu sırasıyla yaklaşık %72 ve %94 oranlarında engellediği tespit edilmiştir.

### 3.2. Bor tuzlarının toksisiteleri

Çalışmada kullanılan etidot 67 ve boraks dekahidratın *P. expansum*'un misel gelişimi üzerine toksik etkileri değerlendirildiğinde birbirine yakın değerler (sırasıyla EC<sub>50</sub>: 0.067 ve 0.071) aldıkları görülmüştür. Bununla birlikte mevcut çalışmada her iki tuzun fungistatik konsantrasyonun yani MIC değerinin %0.25 olduğu, fungisidal (fungitoksik) konsantrasyonun yani MFC değerinin ise %1.0'dan büyük olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2). Yapılan benzer çalışmalarda farklı bor ve diğer bazı organik ve inorganik tuzların bitki patojeni funguslara karşı toksik etkilerinin olduğu rapor edilmiştir (Rolshausen ve Gubler, 2005; Thomidis ve Exadaktylou, 2010; Li ve ark., 2012; Türkkan ve ark., 2017). Şeftalide *M. laxa*'ya karşı uygulanan boraks ve Power B'nin EC<sub>50</sub> değerleri sırasıyla 107.9 ve 522.4 µg mL<sup>-1</sup> olarak tespit edilmiştir (Thomidis ve Exadaktylou, 2010). Örneğin, borik asitin *E. lata*'nın misel gelişiminin ve askospor çimlenmesinin engellenmesindeki EC<sub>50</sub> değerlerinin sırasıyla 125 ve

475 µg/mL olarak tespit edilmiş ve inokulasyondan 10-12 gün sonra hastalık kontrolünde %75'in üzerinde başarı sağlanmıştır (Rolshausen ve Gubler, 2005). Li ve ark. (2012), PTB ve boraksın *F. sulphureum*'un spor çimlenmesi üzerinde ED<sub>50</sub> değerlerini sırasıyla 2.1 ve 2.4 g/L, misel gelişimi üzerinde ise ED<sub>50</sub> değerlerinin sırasıyla 2.8 ve 3.2 g L<sup>-1</sup> olarak belirlemişlerdir. Türkkan ve ark. (2017)'nin yaptığı çalışmada kivide *B. cinerea*'ya karşı kullanılan 6 farklı tuz içinde amonyum karbonat, amonyum bikarbonat ve sodyum karbonat tuzlarının EC<sub>50</sub> değerinin <10 mM olduğu, sonuçta bu tuzların diğer 3 tuz (potasyum karbonat, potasyum bikarbonat ve sodyum bikarbonat)'a göre daha etkili olduğu ve MIC değerlerinin sırasıyla 25, 10 ve 25 mM olduğu rapor edilmiştir.

Çizelge 2. Etidot 67 ve boraks dekahidrat (% w/v)'ın *Penicillium expansum*'un misel gelişimi üzerine toksik etkileri

| Bor tuzları       | EC <sub>50</sub> * | MIC** | MFC*** |
|-------------------|--------------------|-------|--------|
| Etidot-67         | 0.067              | 0.25  | >1.0   |
| Boraks dekahidrat | 0.071              | 0.25  | >1.0   |

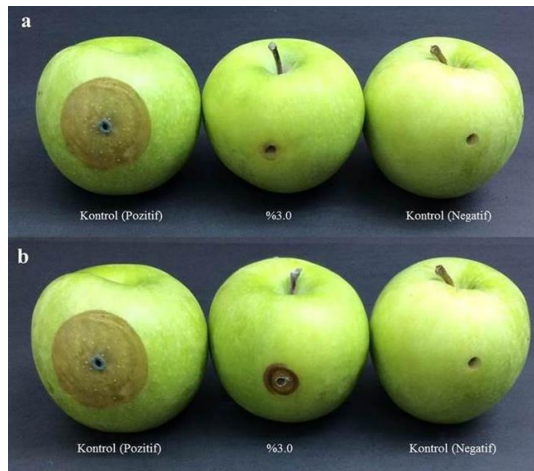
\* Misel gelişimini 50% oranında azaltan konsantrasyon

\*\* Minimum engelleyici konsantrasyon

\*\*\* Minimum fungisidal konsantrasyon

### 3.3. Elma meyveleri üzerinde bor tuzlarının *P. expansum*'a karşı koruyucu ve tedavi edici etkileri

Etidot-67 ve boraks dekahidratın farklı konsantrasyonlarının elmada mavi küf hastalığına karşı koruyucu ve tedavi edici etkilerinin değerlendirildiği *in vivo* çalışmalarda, her iki tuzun da meyve üzerindeki lezyon gelişimini pozitif kontrole kıyasla önemli oranda azalttığı belirlenmiştir (P<0.05) (Çizelge 3) (Şekil 1).



Şekil 1. Elmada mavi küf etmeni *Penicillium expansum*'a karşı %3.0'lık konsantrasyonda etidot-67 [koruyucu (a)] ve boraks dekahidrat [tedavi edici (b)]'in engelleyici etkileri.

Çizelge 3. Elmada mavi küf etmeni *Penicillium expansum*'a karşı etidot-67 ve boraks dekahidratın farklı konsantrasyonlarının koruyucu ve tedavi edici etkileri

| Bor tuzları       | Konsantrasyon (%<br>w/v) | % Engelleme |              |
|-------------------|--------------------------|-------------|--------------|
|                   |                          | Koruyucu    | Tedavi Edici |
| Etidot-67         | 1.0                      | 38.4 d*     | 44.2 cd      |
|                   | 1.5                      | 68.3 bc     | 75.1 ab      |
|                   | 2.0                      | 82.1 ab     | 76.8 ab      |
|                   | 2.5                      | 95.1 a      | 84.0 ab      |
|                   | 3.0                      | 98.1 a      | 92.8 a       |
| Boraks dekahidrat | 1.0                      | 38.8 d      | 39.8 d       |
|                   | 1.5                      | 60.9 c      | 53.3 cd      |
|                   | 2.0                      | 87.5 ab     | 64.9 bc      |
|                   | 2.5                      | 93.4 a      | 75.3 ab      |
|                   | 3.0                      | 94.3 a      | 78.8 ab      |
| Kontrol           | 0.0                      | 0.0 e       | 0.0 e        |

\* Aynı sütunda yer alan ve aynı harfle başlayan ortalamalar arasındaki farklılık Tukey–HSD testine göre istatistiksel olarak önemsizdir (P<0.05).

Genel olarak hem koruyucu hem de tedavi edici uygulamalarda etidot-67'nin boraks dekahidrata kıyasla mavi küf hastalık şiddetini daha etkili bir şekilde kontrol ettiği gözlenmiştir. Koruyucu uygulamalarda, her iki tuzun %2.0 ve üzeri konsantrasyonlarının elmalarda lezyon gelişimini kontrol etme etkinlikleri arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olmadığı belirlenmiştir (P<0.05). Tedavi edici uygulamalarda ise, %1.5'lik bir konsantrasyonda, etidot-67 hastalığın lezyon gelişimini %75.1 oranında engellerken, boraks dekahidrat %53.3 oranında engelleyebilmiştir ve bu engelleme oranları arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (P<0.05). Boraks dekahidrat ancak daha yüksek konsantrasyonlarda etidot-67'nin tedavi edici etkinliğine ulaşabilmiştir. Mevcut bulgularımız daha önce hasat sonu hastalıklarının mücadelesinde kullanılan bor ve diğer tuz bileşiklerinin uygulamaları ile benzerlik göstermektedir. Domateslerde meyve çürüklüğüne neden olan farklı fungus (*Alternaria alternata*, *Fusarium oxysporum*, *Geotrichum candidum*, *R. stolonifer*, *Aspergillus flavus* ve *A. niger*)'lara karşı farklı tuz ve fungusitlerin kullanıldığı bir çalışmada %0.4, %0.5 ve %0.6'lık konsantrasyonlarda kullanılan borik asit ve boraks uygulamalarının patojen ile inokuleli kontrole kıyasla domateslerde hastalık şiddetini önemli oranda azalttığı rapor edilmiştir (Akhtar ve ark., 1994). Shi ve ark. (2012), yaptıkları çalışmada mango meyvelerinde *C. gloeosporioides*'in neden olduğu antraknoz hastalığına karşı potasyum tetraboratın 20mM (%0.2) konsantrasyonda, uygulama yapılmamış kontrol meyvelerine göre lezyon oluşumunu yaklaşık %47 oranında azalttığını rapor etmişlerdir. Daha önce yaptığımız başka bir çalışmada, *B. cinerea*'nın kivide

neden olduğu kurşuni küfe karşı koruyucu olarak uygulanan karbonat ve bikarbonat tuzlarının antifungal etkileri *in vivo* denemelerle belirlenmiş, sonuçta 100 mM amonyum karbonat dışındaki 5 karbonat ve bikarbonat tuzunun kivi meyveleri üzerinde oluşturduğu kurşuni küf belirtilerini kontrole göre istatistiksel olarak önemli derecede azalttığı tespit edilmiştir (P<0.05) (Türkkan ve ark., 2017).

Mevcut çalışmada kullanılan *P. expansum* izolatına karşı *in vitro* koşullarda etkili bulunan bazı tuz konsantrasyonlarının *in vivo* da etkili olmadığı gözlenmiştir. Patojen inokulasyonunun 7. günü sonunda yapılan lezyon ölçümlerinde, *in vitro* testlerde misel gelişimini ve spor çimlenmesini tamamen engelleyen konsantrasyonlardan biri olan %1.0'de, etidot-67'nin koruyucu ve tedavi edici uygulamalarındaki engellemelerin sırasıyla %38.4 ve %44.2, boraks dekahidratın ise bu engelleme değerlerinin %38.8 ve %39.8 olduğu tespit edilmiştir. Daha önce yapılan benzer çalışmaların sonuçları bulgularımızı destekler nitelikte olup, bu durum daha öncede patates gümüş kabukluluk (*Helminthosporium solani*), fasulye pası (*Uromyces appendiculatus*) ve buğday pası (*Puccinia triticina*) gibi bazı patojenlerin kontrolünde de rapor edilmiştir (Hervieux ve ark., 2002; Arslan ve ark., 2006). Wisniewski ve ark. (1998) *P. digitatum* ve *B. cinerea*'ya karşı kullanılan farklı bileşiklerin *in vitro* ve *in vivo* etkinlikleri arasında bir ilişki olmadığını belirlemişlerdir. Bu uyumsuzluklarda konukçu doku-tuz interaksiyonları ve bazı çevresel faktörlerin etkili olduğu belirtilmektedir (Punja ve Grogan, 1982; Hervieux ve ark., 2002).

#### 4. Sonuç

Sonuç olarak, hem *in vitro* hem de *in vivo* koşullarda yapılan bu çalışmada kullanılan iki bor tuzunun bazı konsantrasyonlarının, *P. expansum*'un neden olduğu elmada mavi küf hastalığının mücadelesinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Bor bileşiklerinin antifungal etkisi, patojenin hücre zarını bozarak, sitoplazmik materyallerin dışarı çıkması ve sonuçta patojenin ölümüne yol açması şeklinde olabilmektedir (Qin ve ark., 2010). Elma meyveleri üzerine uygulanan her iki borun en yüksek konsantrasyonu (%3.0)'nda bile meyveler üzerinde herhangi bir fitotoksisite görülmemiş olması, bu bileşiklerin farklı patojenlerin mücadelesinde de potansiyel olarak kullanılabilceğini göstermektedir. Qin ve ark. (2010), yaptıkları çalışmada PTB uygulanmasının, üzümdeki *B. cinerea*'nın mücadelesinde çok etkili olan ancak pedicelleri kararttığı ve meyveleri üzerinde koyu kahverengi lekelerle neden olan (Gabler ve Smilanick, 2001) sodyum karbonat ve potasyum karbonat gibi diğer tuzlarla kıyaslandığında bir avantaja sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca bor, bitkiler için gerekli bir mikroelement olup, fungus, bakteri ve birçok böceğin mücadelesi için tarımda yaygın olarak kullanılmaktadır (Qin ve ark., 2010). Ayrıca hasat sonu fungal hastalıkların entegre mücadelesi için borun diğer geniş spektrumlu antimikrobiale özelliğe sahip ve genellikle güvenli kabul edilen (GRAS) organik ve inorganik tuzlarla kombinasyon halinde etkinliklerinin belirlenmesine yönelik yapılacak çalışmalara ihtiyaç vardır.

#### Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Yurt İçi Araştırma Projeleri Destek Programı (Proje No: 1919B011700220) tarafından desteklenmiştir.

#### Kaynaklar

Akhtar, K.P., Matin, M., Mirza, J.H., Shakir, A.S., Rafique, M., 1994. Some studies on post-harvest diseases of tomato fruits and their chemical control. Pakistan Journal Phytopathology, 6(2): 125-129.

Anonymous, 2019a. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (Erişim tarihi: 18.01.2019)

Anonymous, 2019b. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr> (Erişim tarihi: 27.04.2019).

Anonymous, 2019c. Bitki koruma ürünleri veri tabanı programı. <https://bku.tarim.gov.tr>. (Erişim tarihi: 15 Ocak 2019).

Arslan, U., İlhan, K., Karabulut, O.A., 2006. Evaluation of food additives and low-toxicity compounds for the control of bean rust and wheatleaf rust. Journal of Phytopathology, 154: 534-541.

Arslan, U., İlhan, K., Karabulut, O.A., 2013. Evaluation of the use of ammonium bicarbonate and oregano (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum*) extract on the control of apple scab. Journal of Phytopathology, 161: 382-388.

Cao, B., Li, H., Tian, S., Qin, G. 2012. Boron improves the biocontrol activity of *Cryptococcus laurentii* against *Penicillium expansum* in jujube fruit. Postharvest Biology and Technology, 68: 16-21.

Conway, W.S., Leverentz, B., Janisiewicz, W.F., Blodgett, A.B., Saftner, R.A., Camp, M.J., 2004. Integrating heat treatment, biocontrol and sodium bicarbonate to reduce postharvest decay of apple caused by *Colletotrichum acutatum* and *Penicillium expansum*. Postharvest Biology Technology, 34: 11-20.

Conway, W.S., Leverentz, B., Janisiewicz, W.F., Saftner, R.A., Camp, M.J., 2005. Improving biocontrol using antagonist mixtures with heat and/or sodium bicarbonate to control postharvest decay of apple fruit Postharvest Biology Technology, 36: 235-244.

Droby, S., Wisniewski, M.E., El Ghaouth, A., Wilson, C. 2003. Influence of food additives on the control of postharvest rots of apple and peach and efficacy of the yeast-based biocontrol product Aspire. Postharvest Biology and Technology, 27: 127-135.

Gabler, F.M., Smilanick, J.L., 2001. Postharvest control of table grape gray mold on detached berries with carbonate and bicarbonate salts and disinfectants. American Journal of Enology and Viticulture, 52(1): 12-20.

Grant, I.R., Patterson, M.F., 1991. Effect of irradiation and modified atmosphere packaging on the microbiological safety of minced pork stored under temperature abuse conditions. International Journal of Food Science Technology. 26(5): 521-533. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb01997.x>

Frisvard, J.C., Samson, R.A., 2004. Polyphasic taxonomy of *Penicillium* subgenus *Penicillium* A guide to identification of food and air-borne terverticillate *Penicillia* and their mycotoxins. Studies in Mycology, 49: 1-174.

Hervieux, V., Yaganza, E.S., Arul, J., Tweddell, R.J., 2002. Effect of organic and inorganic salts on the development of *Helminthosporium solani*, the causal agent of potato silver scurf. Plant Disease, 86: 1014-1018.

Janisiewicz, W.J., 1998, Biocontrol of Postharvest Diseases of Temperate Fruits: Challenges and Opportunities. In: Plant - Microbe Interactions and Biological Control. J. Boland and L.D. Kaykendall, eds. Marcel-Dekker, Inc, New York, 171-189.

Karabulut, Ö.A., Arslan, Ü., Kuruoğlu, G., İlhan, K., 2005. Integrated control of postharvest diseases of sweet cherry with yeast antagonists and sodium bicarbonate applications within a hydrocooler. Postharvest Biology and Technology, 37: 135-141.



- Li, Y., Yang, Z., Bi, Y., Zhang, J., Wang, D., 2012. Antifungal effect of borates against *Fusarium sulphureum* on potato tubers and its possible mechanisms of action. *Postharvest Biology and Technology*, 74: 55-61.
- Mari, M., Leoni, O., Iori, R., Cembali, T., 2002. Antifungal vapour-phase activity of allyl-isothiocyanate against *Penicillium expansum* on pears. *Plant Pathology*, 51: 231-236.
- Mecteau, M.R., Arul, J., Tweddell, R.J., 2002. Effect of organic and inorganic salts on the growth and development of *Fusarium sambucinum*, a causal agent of potato dry rot. *Mycological Research*, 106: 688-696.
- Nunes, C., Usall, J., Teixido, N., de Eribe, X.O., Vinas, I., 2001. Control of post-harvest decay of apples by preharvest and post-harvest application of ammonium molybdate. *Pest Management Science*, 57: 1093-1099.
- Palou, L., Marcilla, A., Rojas-Argudo, C., Alonso, M., Jacas, J.A., Angel del Rio, M., 2007. Effects of X-ray irradiation and sodium carbonate treatments on postharvest *Penicillium* decay and quality attributes of clementine mandarins. *Postharvest Biology and Technology*, 46: 252-261.
- Punja, Z.K., Grogan, R.G., 1982. Effects of inorganic salts, carbonate-bicarbonate anions, ammonia, and the modifying influence of pH on sclerotial germination of *Sclerotium rolfsii*. *Phytopathology* 72: 635-639.
- Qin, G., Tian, S., Chan, Z., Li, B., 2007. Crucial role of antioxidant proteins and hydrolytic enzymes in pathogenicity of *Penicillium expansum*. *Molecular & Cellular Proteomics*, 6: 425-438.
- Qin, G., Zong, Y., Chen, Q., Hua, D., Tian, S., 2010. Inhibitory effect of boron against *Botrytis cinerea* on table grapes and its possible mechanisms of action. *International Journal of Food Microbiology*, 138: 145-150.
- Rolshausen, P.E., Gubler, W.D. 2005. Use of boron for the control of Eutypa dieback of grapevines. *Plant Disease* 89: 734-738.
- Shi, X., Li, B., Qin, G., Tian, S., 2012. Mechanism of antifungal action of borate against *Colletotrichum gloeosporioides* related to mitochondrial degradation in spores. *Postharvest Biology and Technology*, 67: 138-143.
- Spadaro, D., Vola, R., Piano, S., Gullino, M.L., 2002. Mechanisms of action and efficacy of four isolates of the yeast *Metschnikowia pulcherrima* active against postharvest pathogens on apples. *Postharvest Biology and Technology*, 24: 123-134.
- Snowdon, A.L., 1990. A Colour Atlas of Postharvest Diseases and Disorders of Fruits and Vegetables: Vol. 1: General Introduction and Fruits. Wolfe Scientific, London, Great Britain, 302 pp.
- Temur, C., Tiryaki, O., 2013. Combination of irradiation and sodium carbonate to control postharvest *Penicillium* decay of apples. *The Journal of Turkish Phytopathology*, 42: 47-56.
- Thomidis, T., Exadaktylou, E., 2010. Effect of boron on the development of brown rot (*Monilinia laxa*) on peaches. *Crop Protection*, 29: 572-576.
- Thompson, D.P., 1989. Fungitoxic activity of essential oil componentson food storage fungi. *Mycologia*, 81: 151-153.
- Tripathi, P., Dubey, N.K., Banerji, R., Chansouria, J.P.N., 2004. Evaluation of some essential oils as botanical fungi toxicants in management of postharvest rotting of citrus fruits. *World J. Microbiol Biotechnology*, 20: 317-321.
- Türkkan, M., Erper, İ., 2015. Inhibitory influence of organic and inorganic sodium salts and synthetic fungicides against bean root rot pathogens. *Gesunde Pflanzen*, 67: 83-94.
- Türkkan, M., Özcan, M., Erper, İ. 2017. Antifungal effect of carbonate and bicarbonate salts against *Botrytis cinerea*, the casual agent of grey mould of kiwifruit. *Akademik Ziraat Dergisi*, 6(2): 103-110.
- Wisniewski, M.E, Droby, S., El-Ghaouth, A., Wilson, C.L, 1998. The use of food additives to control postharvest decay and enhance biocontrol activity of yeast antagonist, in Proc Internat Congress Plant pathol, August 9-16, Edinburg, Scotlant, (Abstract 5.2.61).
- Vilanova, L., Vinas, I., Torres, R., Usall, J., Buron-Moles, G., Teixido, N., 2014. Increasing maturity reduces wound response and lignification processes against *Penicillium expansum* (pathogen) and *Penicillium digitatum* (non-host pathogen) infection in apples. *Postharvest Biology and Technology*, 88: 54-60.
- Zhang, J., Timmer, L.W., 2007. Preharvest application of fungicides for postharvest disease control on early season tangerine hybrids in Florida. *Crop Protection*, 26: 886-893.