

## Priming: Ekim Öncesi Tohum Uygulamaları

Erdal ELKOCA

Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Erzurum (eelkoca@atauni.edu.tr)

Geliş Tarihi : 08.09.2006

**ÖZET:** Priming, ekim öncesinde tohuma yapılan çeşitli uygulamalar olup, çimlenme için gerekli metabolik aktiviteyi başlatacak, ancak kök çıkışına imkan tanımayacak seviyedeki kontrollü su alımı olarak tanımlanmaktadır. Priming pek çok bitki türünde, özellikle düşük sıcaklık gibi uygun olmayan koşullarda, çimlenme-çıkış oranını ve hızını artırmakta ve buna bağlı olarak, kısa sürede istenilen sıklıkta fide tesisinin sağlanmasına imkan tanımaktadır. Priming uygulaması neticesinde, hızlı kök ve sürgün çıkışının gerçekleşmesi daha kuvvetli fide gelişimine fırsat vermekte, kurağa dayanıklılık artmakta, bitkiler daha kısa sürede çiçeklenerek hasat olgunluğuna gelmekte ve verim yükselmektedir. Ayrıca, priming uygulaması hastalık ve zararlılara karşı dayanıklılık da sağlayabilmekte ve baklagillerde nodül oluşumunu artırmaktadır. Bu literatür çalışmasında, priming uygulamasının amaçları, faydaları, etki mekanizmaları, priming uygulama teknikleri ve priming uygulamalarına etki eden önemli faktörler üzerinde durulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Osmoprimering, hidroprimering, matirprimering, priming uygulamasının faydaları ve etki mekanizmaları, priming uygulamalarına etki eden faktörler

### Priming: Presowing Seed Treatments

**ABSTRACT:** Priming is a seed treatment involving the presowing, controlled hydration of seeds in a manner that allows for pregerminative metabolic activity to occur without protrusion of seed radicles. Priming of seeds enhances seedling establishment and crop production under stressed conditions. This could be due to faster emergence of roots and shoots, more vigorous plants, better drought tolerance, earlier flowering, earlier harvest and higher grain yield under adverse conditions. Priming is also able to increase resistance to diseases and pests and enhances nodulation in legumes. This review study highlighted aims, benefits and impact mechanisms of priming treatment, priming techniques and factors affecting priming treatments.

**Key words:** Osmoprimering, hydroprimering, matirprimering, benefits and impact mechanisms of priming treatment, factors affecting priming treatments

### GİRİŞ

Başarılı bir tarımsal üretimde, istenilen bitki sıklığının ve yüksek verimin elde edilmesi her şeyden önce ekilen tohumun hızlı, üniform ve eksiksiz bir şekilde çimlenip çıkış yapmasına bağlıdır. Ancak, bir taraftan çimlenmenin sıcaklık, nem, toprak tuzluluğu gibi çevresel faktörlerden etkilenmesi (Kantar ve Elkoca, 1998; Turk vd., 2004), diğer taraftan ekilen tohumluğun çoğu kere genetik yapı, tohum olgunluğu ve tohum büyüklüğü bakımından üniform olmayışı (McDonald, 2000) eşzamanlı çimlenme ve çıkışa engel olmakta, çimlenme ve çıkış oranı azalmakta ve bunun sonucunda istenilen bitki sıklığı sağlanamamaktadır. Özellikle ilkbahar ekimlerinde hüküm süren düşük toprak sıcaklıkları çoğu kere hızlı çimlenme ve çıkış için uygun değildir. Bu şartlar altında çıkış yapan fideler yavaş büyümekte, tohum ve toprak kökenli patojenlere karşı daha fazla hassasiyet göstermektedirler. Bütün bu olumsuzlukların bir sonucu olarak istenilen fide tesisi ve verim potansiyeline ulaşılamamaktadır (Ali vd., 1990). Diğer taraftan, eğer tohumda dormansi varsa toprak ve iklim koşulları uygun olsa bile çimlenme meydana gelmemekte (Bewley, 1997) ve bütün bunların yanı sıra ekim esnasında yapılan yanlışlıklar da çimlenmeyi olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Çimlenme ve çıkış esnasında yaşanabilecek bütün bu olumsuzlukları gidermek, eğer varsa dormansiyi kırmak, yeterli bir fide tesisi ve verim elde edebilmek amacıyla tohumlar ekim öncesi genel olarak priming

adı verilen (Heydecker ve Gibbins, 1978) çeşitli uygulamalara tabi tutulmaktadır. Bu literatür çalışmasında, priming uygulamasının amaçları, faydaları, etki mekanizmaları, priming uygulama teknikleri ve priming uygulamalarına etki eden önemli faktörler üzerinde durulmuştur.

### Priming Nedir ve Ne Amaçla Yapılır ?

Olumsuz çevre faktörlerine veya doğrudan tohum kalite ve yapısına bağlı olarak çimlenme ve çıkış esnasında yaşanabilecek sorunları en aza indirmek, kısa sürede üniform fide çıkışı ve kuvvetli bir fide gelişimi sağlamak ve stres şartlarına dayanıklılığı artırmak amacıyla (Khan, 1992; Parera ve Cantliffe, 1994) ekim öncesinde tohuma yapılan çeşitli uygulamalar genel anlamda "Priming" olarak adlandırılmaktadır (Heydecker ve Gibbins, 1978). Tohumda farklı fizyolojik aktiviteler farklı nem seviyelerinde meydana gelmektedir (Taylor, 1997). Çimlenmedeki en son fizyolojik aktivite kök çıkışı olup, kök çıkışı için yüksek tohum su içeriğine ihtiyaç duyulmaktadır. Priming, tohumda çimlenme için gerekli metabolik aktiviteyi başlatacak, ancak kök çıkışına imkan tanımayacak seviyedeki kontrollü su alımı olarak tanımlanmaktadır (Heydecker ve Gibbins, 1978). Priming uygulamaları tohumda bulunan depo maddelerinin parçalanmasını sağlayan enzimleri aktive ederek depo maddelerinin optimum şekilde kullanımını sağlamaktadır (Demir vd., 1994). Priming uygulamasından sonra tohumlar yıkanmakta

ve ardından kurutulmaktadır. Kurutulmuş tohumlar hemen ekilebildiği gibi, ekim zamanına kadar depolanabilmekte ve depolandıktan sonra ekildiklerinde tohum uygulaması yapılmamış olanlara kıyasla daha hızlı ve üniform çıkış gösterebilmektedirler.

### **Priming Uygulamalarının Faydaları ve Etki Mekanizmaları**

Priming uygulanmış tohumlar priming uygulanmamış tohumlara kıyasla daha geniş sıcaklık aralığında çimlenebilmekte (Bray, 1995) ve oksijen eksikliğine daha az hassasiyet göstermektedirler (Corbinau ve Come, 1990). Priming pek çok bitki türünde, özellikle düşük sıcaklık gibi uygun olmayan koşullarda, çimlenme-çıkış oranını ve hızını artırmakta ve buna bağlı olarak, kısa sürede istenilen sıklıkta fide tesisinin sağlanmasına imkan tanımaktadır (Zheng vd., 1994). Tür veya çeşidin çimlenmesinde minimum çimlenme sıcaklık isteği yanında, termal zaman (toplam sıcaklık) isteği de önemli bir faktördür. Tohumların kısa sürede çimlenip çıkış yapabilmesi düşük termal zaman isteği ile yakından ilişkilidir (Wagenvoort ve Bierhuizen, 1977). Nitekim, tohumlar termal zaman istekleri karşılancaya kadar çimlenemekte, dolayısıyla hızlı çimlenme için düşük termal zaman isteği büyük önem taşımaktadır. Bunun sonucu olarak, düşük toplam sıcaklık değerlerinde hızlı, yüksek değerlerde ise yavaş çimlenme meydana gelmekte (Kantar ve Elkoca, 2001) ve düşük termal zaman isteğine sahip tohumlar toprak sıcaklığının minimum çimlenme sıcaklığı üzerinde olduğu durumlarda kısa sürede çimlenerek çıkış yapmaktadırlar. Priming uygulamasının pek çok bitki türünde çimlenme için gerekli olan minimum ve toplam sıcaklık (termal zaman) isteğini önemli seviyede azalttığı ve buna bağlı olarak hızlı bir çimlenme ve çıkışın gerçekleştiği tespit edilmiştir (Hardegree ve Van Vactor, 2000; Patane, 2000). Örneğin farklı priming uygulamalarının nohut bitkisinin çimlenme performansı üzerindeki etkilerini araştıran Elkoca vd. (2006), priming uygulanmayan kontrol grubunda 40.8 °C gün olan termal zaman isteğinin priming uygulamalarında önemli bir azalışla 10.5-22.7 °C gün arasında değişim gösterdiğini belirlemişlerdir. Benzer şekilde priming uygulaması elm (*Elymus elymoides*) bitkisinin termal zaman isteğinde 44.5 °C gün'e varan azalış sağlamıştır (Hardegree vd., 2002).

Priming uygulamasının çimlenmeyi teşvik edici etkisinin enzim ve solunum aktivitesindeki artış, RNA, DNA ve protein sentezini de içeren çeşitli biyokimyasal, hücrel ve moleküler olaylarla ilişkili olduğu bildirilmektedir (Bray vd., 1989; Davison ve Bray, 1991; Halpin-Ingham ve Sundstrom, 1992; Bray, 1995). Protein sentezi hem embriyoda hem de depo organlarında meydana gelmektedir (Davison ve

Bray, 1991). Priming uygulamaları pek çok bitki türünün tohumlarında enzim seviyesini artırmasına rağmen (Smith ve Cobb, 1992; Sung ve Chang, 1993), Dell'Aquila ve Spada (1992), buğdayda ozmopriming uygulamasının kökçük çıkışı ile ilişkili olan enzimlerde azalışa sebep olduğunu tespit etmişlerdir. Diğer taraftan, ozmopriming uygulaması pek çok bitki türünün tohumlarında ATP sentezini (Mazor vd., 1984) ve RNA içeriğini de artırmaktadır (Bray vd., 1989).

Ozmopriming uygulamasının DNA replikasyonu üzerindeki etkisini inceleyen araştırmalardan farklı sonuçlar elde edilmiştir. Nitekim, priming uygulaması sırasında, pırasa tohumlarında oldukça düşük DNA sentezinin olduğu tespit edilirken (Bray vd., 1989) domates, biber (Lanteri vd., 1994) ve şeker pancarı tohumlarında (Redfearn ve Osborne, 1997) yüksek miktarda DNA sentezinin gerçekleştiği belirlenmiştir. De Castro vd. (1995) priming esnasında gerçekleşen DNA replikasyonunun  $\beta$ -tubulin birikimi ile ilişkili olduğunu rapor etmişlerdir. Özbıngöl vd. (1999) ozmopriming uygulaması neticesinde tohum çimlenmesinde ortaya çıkan artışın DNA sentezi ile ilgili olduğunu ancak, bu ilişkinin düşük ozmotik potansiyelde (-2.0 MPa) ve yüksek sıcaklıkta (> 25 °C) ortaya çıkmadığını saptamışlardır.

Tohum yaşlanması tohumun biyolojik değerini düşürerek stres şartlarına dayanıklılığı ve çimlenme oranını azaltmaktadır. Ancak, priming uygulaması yaşlanmanın tohum üzerindeki bu olumsuz etkilerini de hafifletmektedir. Nitekim, priming uygulaması tohumların solunum aktivitesini artırmakta (Halpin-Ingham ve Sundstrom, 1992) ve yaşlı tohumlara priming uygulaması yapıldığında süperoksit dismutaz, katalaz ve glutathion reduktaz enzimlerinin aktivitesi düzeltilmektedir (Bailly vd., 1997). Diğer taraftan, priming uygulaması çeşitli antioksidatif enzimlerin aktivitesini ve buna ilave olarak glutathion ve askorbat gibi çeşitli antioksidantların seviyesini artırmaktadır (Hsu ve Sung, 1997; Bailly vd., 1998).

Özellikle olumsuz koşullar altında, priming uygulaması neticesinde hızlı kök ve sürgün çıkışının gerçekleşmesi daha kuvvetli fide gelişimine imkan tanımakta, kurağa dayanıklılık artmakta, bitkiler daha kısa sürede çiçeklenerek hasat olgunluğuna gelmekte ve verim artmaktadır (Passam ve Kakouriotis, 1994; Lee-suskoon vd., 1998). Priming uygulamasının tarla şartlarında nohut, mısır ve çeltikte fide tesisi, bitki gelişimi ve buna bağlı olarak tohum verimini artırdığı bildirilmektedir (Harris vd., 1999). Nem stresi koşullarında, farklı priming uygulamalarının nohutta kök ve sürgün gelişimini priming uygulanmayan kontrol bitkilerine kıyasla 2-3 kat artırdığı ve priming uygulanmış fidelerde amilaz, sukroz sintaz ve sukroz

fosfat sintaz aktivitesinin önemli artış gösterdiği belirlenmiştir (Kaur vd., 2002).

Priming uygulamasının hastalık ve zararlılara karşı dayanıklılık sağladığına ilişkin araştırma sonuçları da rapor edilmektedir. Priming uygulamasının maş fasulyesi (*Vigna radiata*) üzerindeki etkisini inceleyen Rashid vd. (2004), priming uygulanan tohumların daha hızlı ve yüksek oranda çıkış yapmalarının yanı sıra, priming uygulanmış bitkilerde sarı mozaik virüs hastalığı belirtilerinin önemli azalış gösterdiğini (belirti görülme sıklığı priming uygulanmayanlarda % 70, uygulananlarda % 14) ve buna bağlı olarak tohum veriminde % 400'e varan artış sağlandığını saptamışlardır. Benzer şekilde, nohutta priming uygulaması gövde çürüklüğü (*Sclerotium rolfsii*) hastalığının şiddetini azaltmış ve priming uygulanmayan şartlara kıyasla verimde % 33'lük artış sağlamıştır (Musa vd., 2001). Diğer taraftan, priming uygulaması nohutta yeşil kurt zararını azaltmıştır (Harris vd., 1999). Araştırmacılar, priming uygulamalarında hastalık ve zararlılara karşı ortaya çıkan bu dayanıklılığın erken fide çıkışı ve buna bağlı olarak kuvvetli fide ve bitki gelişiminden kaynaklanmış olabileceğine vurgu yapmışlardır. Priming uygulanan tohumlardan meydana gelen fidelerde hızlı ve kuvvetli bir kök gelişimi meydana gelmekte (Danneberger vd., 1992; Harris, 1996), hızlı ve derin kök sistemi oluşturan bitkiler ise özellikle kurak şartlarda daha verimli olmaktadır (Singh vd., 1988). Priming uygulaması ayrıca baklagillerde nodül oluşumunu artırmaktadır (Musa vd., 2001).

### Priming Uygulama Teknikleri

Günümüzde priming uygulamalarında çoğunlukla hidropriming, ozmopriming ve matirpriming teknikleri kullanılmaktadır (McDonald, 1999).

### Hidropriming

Tohumların ekimden önce belirli bir süre suda bekletilerek ıslatılması hidropriming olarak isimlendirilmektedir. Bu teknik, priming uygulamaları içerisinde en basit yöntem olup, çimlenme-çıkış hızını ve oranını arttırmada kullanılan eski bir yöntemdir. Bu teknikte kimyasal madde kullanılmadığı için hem tohumlarda uygulama süresince kimyasal madde birikimi hem de çevreye zararlı olabilecek herhangi bir atık meydana gelmemektedir (McDonald, 2000). Büyük miktardaki tohum uygulamalarına imkan tanınması, pratik ve aynı zamanda ucuz olması bu tekniğin diğer avantajlı yönlerini oluşturmaktadır (Fujikura vd., 1993; Caseiro vd., 2004). Hidropriming pek çok bitki türünde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır (Çizelge 1). Ancak, bu yöntemde bazen her tohum eşit bir

şekilde su alamamakta ve bu durum tohumlarda fizyolojik aktivitenin üniform bir şekilde aktivasyonuna engel olduğu için eşzamanlı ve hızlı çimlenme meydana gelmemektedir. Ayrıca, bu teknikte kontrolsüz bir su alımı söz konusu olduğu için bazen hızlı su alımına bağlı olarak tohum dokuları hasar görmekte ve buna bağlı olarak su alım zararı meydana gelebilmektedir (McDonald, 2000).

### Ozmopriming

Ozmopriming, tohumların düşük su potansiyeline sahip bir ozmotik solüsyon içerisinde belirli bir süre bırakılarak kontrollü su alımının sağlanması, ancak kök çıkışının engellenmesi esasına dayanmaktadır (Heydecker ve Gibbins, 1978). Bu uygulama, pek çok bitki türünde hızlı ve üniform çimlenmeyi teşvik etmektedir (Çizelge 1).

Ozmopriming uygulamalarında çoğunlukla polyetylen glycol (PEG), mannitol, glycerol, sucrose gibi ozmotik maddeler; KCl, K<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, KNO<sub>3</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> gibi ozmotik çözeltiler; K, Na ve Mg gibi inorganik tuzlar kullanılmaktadır (Al-Karaki, 1998; Parera ve Cantliffe, 1994; Elkoca vd., 2006). Tuzlar ve mannitol ozmopriming uygulamalarında yaygın olarak kullanılmalarına rağmen, tohum tarafından alınma durumlarına bağlı olarak bazen toksik etki yapabilmektedirler (Bradford, 1995). Birçok araştırmada, hücre zarlarından rahatlıkla giriş yaparak tohum fizyolojisini etkileyebilen (Ali vd., 1990) yüksek molekül ağırlığına sahip organik bir bileşik olan PEG kullanılmaktadır (Foti vd., 2002). Kullanılan konsantrasyondaki artışa bağlı olarak çözeltili içerisinde oksijen çözünürlüğünün azalması PEG uygulamasının en büyük dezavantajını oluşturmaktadır (Mexal vd., 1975). Bu nedenle, ozmopriming uygulamasında PEG kullanıldığı zaman solüsyonun sık sık havalandırılması gerekmektedir (Akers, 1990). Diğer taraftan, PEG uygulamasının çimlenme üzerindeki teşvik edici etkisi bitki türüne göre farklılık göstermekte ve bazı bitki türlerinde çimlenmeyi olumlu yönde etkilemediğine ilişkin araştırma bulguları rapor edilmektedir (Sundstrom ve Edwards, 1989; Murray, 1990). Ayrıca, bu materyal geniş çaplı kullanımlarda ekonomik olmamaktadır (Hardegree ve Emmerich, 1990). Bu nedenle, son yıllarda yapılan çalışmalarda ozmopriming uygulamalarında PEG'e alternatif olacak yeni materyaller üzerinde durulmuş ve NaCl, azot, fosfor ve potasyumlu gübreler ozmopriming uygulamalarında başarılı bir şekilde kullanılmıştır (Al-Mudaris ve Jutzi, 1997, 1999).

Ozmopriming özellikle küçük tohumlu bitkilerde başarılı bir şekilde uygulanırken, soya fasulyesi (Helsel vd., 1986) ve tatlı mısır (Bennett ve Waters, 1987) gibi büyük tohumlu bitkilerde daha az etkili olmaktadır. Nitekim, ozmopriming uygulamasının soya fasulyesinin çimlenme ve fide gelişimi

Çizelge 1. Çeşitli Bitki Türlerinde Başarıyla Uygulanan Priming Teknikleri

Ürün	Priming tekniği	Kaynak
Arpa	Ozmoprining	Al-Karaki, 1998
Ayçiçeği	Ozmoprining	Bailly vd., 1997, 1998; Hussain vd., 2006
	Hidropriming	Hussain vd., 2006
	Matripriming	Hussain vd., 2006
Biber	Matripriming	Khan vd., 1992
Brom	Ozmoprining	Mauromicale ve Cavallaro, 1996
Buğday	Hidropriming	Harris vd., 2001
	Ozmoprining	Al-Karaki, 1998
Çeltik	Hidropriming	Harris vd., 1999
Çok yıllık çim	Ozmoprining	Danneberger vd., 1992
Domates	Ozmoprining	Ali vd., 1990
	Matripriming	Khan vd., 1992
Domuz ayrığı	Ozmoprining	Mauromicale ve Cavallaro, 1996
Fasulye	Matripriming	Khan vd., 1992
Gazal boynuzu	Hidropriming	Artola vd., 2003
Karnıbahar	Hidropriming	Fujikura vd., 1993
Kolza	Ozmoprining	Zheng vd., 1994
Maş fasulyesi	Hidropriming	Rashid vd., 2004
Maydanoz	Matripriming	Pill ve Kilian, 2000
	Ozmoprining	Pill ve Kilian, 2000
Mısır	Hidropriming	Harris vd., 1999; Musa vd., 2001
	Matripriming	Bennett ve Waters, 1987
Nohut	Hidropriming	Kaur vd., 2002; Elkoca vd., 2006
	Ozmoprining	Kaur vd., 2002; Elkoca vd., 2006
Soğan	Ozmoprining	Ali vd., 1990
Sorgum	Ozmoprining	Foti vd., 2002
Soya fasulyesi	Ozmoprining	Khalil vd., 2001
Şeker pancarı	Ozmoprining	Capron vd., 2000

üzerindeki etkisini araştıran Armstrong ve McDonald (1992), ozmoprining uygulamasından sonra tohumlar kurutulmadığında kök ve sürgün gelişiminin arttığını, ancak tohumlar kurutulduğunda ise kotiledon çatlaklarından kaynaklanan aşırı hücrel elektrolit sızıntısına bağlı olarak tohum performansının azaldığını rapor etmişlerdir.

#### **Matripriming**

Priming ortamı olarak düşük matrik potansiyele sahip vermikülit gibi katı materyallerin kullandığı uygulamaya matripriming adı verilmektedir. Matripriming uygulamasında tohumlar genellikle -0.4 MPa ile -1.5 MPa arasında matrik potansiyele sahip katı bir ortamda (McDonald, 2000), bitki türüne göre değişmek üzere, çoğunlukla 1-14 gün süreyle tutulmaktadır (McDonald, 2000; Hussain vd., 2006). Bu uygulamanın küçük ve büyük tohumlu pek çok bitki türünde hızlı ve üniform çimlenme ve kuvvetli bir bitki gelişimi sağladığı rapor edilmiştir (Çizelge 1). Matripriming uygulamasında kullanılacak materyalin düşük matrik potansiyele, yüksek su tutma kapasitesine ve yüksek yüzey/hacim oranına sahip olması, tohumlara toksik etkide bulunmaması ve tohum yüzeyine iyi bir şekilde

yapışması gerekmektedir (Khan, 1992). Bu özelliklere sahip doğal bir materyal olan vermikülit matripriming amacıyla sıklıkla kullanılmakta ve vermikülit, suyu kuvvetli bir şekilde tutarak matrik bir güç oluşturduğundan dolayı tohumlar bu ortamda suyu kontrollü bir şekilde yavaş yavaş almaktadırlar (Khan, 1992).

#### **Priming Uygulamalarına Etki Eden Faktörler**

Priming uygulamalarının etkinliği üzerine çok sayıda faktör etki etmektedir. Bunlardan önemli olan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

#### **Havalandırma**

Ozmoprining uygulamaları sırasında çözeltinin havalandırılarak oksijen takviyesinin yapılması, uygulama etkinliğini ve buna bağlı olarak çimlenme ve fide gelişimini olumlu yönde etkilemektedir. Nitekim, çözeltideki oksijen konsantrasyonunun % 10'dan daha fazla olduğu durumda, domatesin ozmoprining uygulamasına çok daha olumlu tepkiyi gösterdiği belirlenmiştir (Özbingöl vd., 1998). Özellikle PEG uygulamalarında kullanılan konsantrasyondaki artışa bağlı olarak çözelti içerisinde oksijen çözünürlüğünün azalması (Mexal

vd., 1975), çözeltilinin havalandırılmasını zorunlu kılmaktadır. Nitekim, PEG uygulamalarının havalandırılabilen ve hatta mekanik olarak karıştırılabilen bir sistemde yapılması ve söz konusu uygulama şeklinde zenginleştirilmiş oksijen kullanımı (% 75 O<sub>2</sub>/ % 25 N<sub>2</sub>) hem çimlenme oranını artırmakta, hem de ortalama çimlenme zamanını kısaltmaktadır (Nienow ve Brocklehurst, 1987). Bu amaçla, Akers ve Holley (1986) akvaryum sisteminden yararlanarak, kuvvetli havalandırma sağlayabilen su banyosu şeklinde bir sistem geliştirmişler ve bu sistemin pek çok bitki türünde başarılı bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. Ancak, hidropriming uygulamasında ise bunun tam tersi olarak, düşük oksijen şartlarında ( $\leq$  % 21) kavun tohumlarının çimlenme oranının oksijence zengin ortama ( $\geq$  % 50) kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Yeoung vd., 1996). Matrimpriming uygulamasında ise ozmopriming uygulamasına kıyasla çok daha havadar bir ortam sağlanmakta, bu nedenle ilave bir havalandırmaya ihtiyaç duyulmamaktadır (McDonald, 2000).

#### **Çözeltilinin Ozmotik Potansiyeli**

Ozmopriming uygulamalarında çözeltilinin ozmotik potansiyeli tohum çimlenmesi üzerine önemli etkiye bulunabilmektedir. Genellikle yüksek ozmotik potansiyele sahip çözeltilerde yapılan priming uygulamaları düşük ozmotik potansiyele kıyasla çimlenmeyi daha fazla teşvik etmektedir. Nitekim, ozmopriming uygulamasının domates ve soğanda çimlenme performansı üzerindeki etkisini inceleyen Ali vd. (1990), -0.58 MPa PEG çözeltilisinin çimlenme yüzdesini artırdığını, ancak PEG çözeltilisinin ozmotik potansiyelinin -1.49 MPa'a düşürülmesinin ise çimlenmeyi olumsuz yönde etkilediğini rapor etmişlerdir. Benzer şekilde Danneberger vd. (1992), PEG çözeltilisinin -1.1 MPa'a kadar çok yıllık çim tohumlarında çimlenme oranını artırdığını, -1.1 MPa'dan daha düşük ozmotik potansiyele sahip PEG çözeltilerinin ise çimlenme oranında azalmalara neden olduğunu tespit etmişlerdir. Diğer taraftan, -0.5, -1.0, -1.5 ve -2.0 MPa ozmotik potansiyele sahip PEG uygulamalarının nohudun çimlenme performansı üzerindeki etkisi araştıran Elkoca vd. (2006), nohut için en uygun ozmotik potansiyelin -0.5 MPa olduğunu, daha düşük ozmotik potansiyel uygulamalarının çimlenme performansını olumsuz yönde etkilediğini rapor etmişlerdir. Şeker pancarında farklı tuzlar kullanılarak yapılan ozmopriming uygulamasında en iyi sonuçlar -1.0 MPa ile -2.0 MPa arasındaki uygulamalardan elde edilmiştir (Durrant vd., 1983). Pek çok bitki türünün çimlenmesinde en iyi sonuçların çoğunlukla -0.8 MPa ile -1.6 MPa arasında ozmotik potansiyele sahip çözeltili

uygulamalarından elde edildiği rapor edilmektedir (Khan, 1992).

#### **Uygulama Süresi ve Sıcaklığı**

Priming uygulama süresi bitki türü, çözeltilinin ozmotik potansiyeli ve uygulama sıcaklığına bağlı olarak değişebilmektedir. Bütün bu faktörler dikkate alındığında tohumlar priming ortamında genellikle 10-12 saat (Al-Karaki, 1998; Harris vd., 1999) ile 8 gün arasında bekletilmektedirler (Mauromicale ve Cavallaro, 1996). Bazı bitki türlerinde ise etkili sonuç alabilmek için daha uzun priming süresine ihtiyaç duyulabilmektedir. Örneğin, bu sürenin ıspanak tohumları için iki hafta (Atherton ve Faroque, 1993), maydanoz tohumları için 3 hafta olduğu rapor edilmiştir (Ely ve Heydecker, 1981). Priming uygulama süresinin uzun olması bazen oksijen eksikliğine ve çimlenmeyi engelleyici maddelerin teşekkül etmesine neden olmakta ve çimlenme olumsuz yönde etkilenebilmektedir (Murray, 1990). Örneğin, soya fasulyesi (Khalil vd., 2001) ve nohutta (Elkoca vd., 2006) tohumların priming ortamında 48 saat veya daha uzun bekletilmesi çimlenmeyi önemli seviyede azaltmaktadır. Diğer taraftan, tohumların priming uygulaması sırasında çimlenmesi istenmeyen bir durumdur. Ancak, özellikle su içerisinde (hidropriming) yada yüksek ozmotik potansiyele sahip priming çözeltilisinde uzun süreli uygulamalar, tohumların priming ortamında çimlenmesine neden olabilmekte ve priming uygulamasının etkinliği azalmaktadır (Jones ve Sanders, 1987).

Türlere göre değişmekle birlikte, priming uygulamaları esnasında ortam sıcaklığı çoğunlukla 15 °C (Korkmaz ve Pill, 2003) ile 25 °C (Elkoca vd., 2006) arasında tutulmaktadır. Düşük sıcaklıklar, çimlenme için gerekli olan fizyolojik işlemleri geciktirdiği için priming uygulamaları esnasında tohum çimlenmesini engelleyerek uygulama etkinliğini artırmasının yanında mikrobiyal bulaşmayı da azaltmaktadır (Bradford, 1986). Ancak, priming uygulama sıcaklığının düşük olması, etkili bir sonuç elde edebilmek için uygulama süresinin daha uzun tutulmasını gerektirebilmektedir. Örneğin, maydanoz tohumları 15 °C'de ancak 3 hafta süreyle PEG çözeltilisinde (-1.2 MPa) tutulduktan sonra hızlı bir şekilde çimlenebilirken (Ely ve Heydecker, 1981), priming uygulama sıcaklığı 25 °C'ye yükseltildiğinde bu süre 5 güne kadar inmektedir (Akers vd., 1987). Benzer şekilde, kolzada optimum priming uygulama süresi 23 °C'de 16 saat iken, 10 °C'de bu süre 60 saate yükselmektedir (Zheng vd., 1994).

#### **Tohum Kalitesi**

Tohum kalitesi ve olgunluğu priming uygulamalarının başarısı üzerinde etkili olabilmekte, dolayısıyla priming uygulamalarından iyi bir sonuç

alabilmek için çoğunlukla yüksek kaliteli tohumlar kullanılmaktadır. Tohum kalitesi ve gücünün bir sonucu olarak, aynı tür içindeki tohumlar arasında yapılan priming uygulamalarından farklı sonuçlar alınabilmektedir (Murray, 1990). Örneğin, priming uygulamaları yüksek canlılık düzeyine sahip çim (Naylor ve Syversen, 1988) ve biber (Passam vd., 1997) tohumlarında daha iyi sonuç vermektedir. Ancak, bunun tam tersi olarak, priming uygulamalarının düşük ve orta kaliteli buğday (Aschermann-Koch vd., 1992), havuç, pırasa ve soğan (Drew vd., 1997) tohumlarında daha etkin olduğuna dair araştırma sonuçları da rapor edilmektedir.

### SONUÇ

İstenilen bitki sıklığının ve dolayısıyla yüksek verimin elde edilmesi öncelikle ekilen tohumun kısa sürede ve yüksek oranda çimlenip çıkış yapmasına bağlıdır. Gerek çevresel ve genetik faktörlere, gerekse tohum yapısına bağlı olarak çimlenme ve çıkış esnasında yaşanabilecek olumsuzlukları gidermek, yeterli bir fide tesisi ve verim elde edebilmek amacıyla tohumlar ekim öncesi genel olarak priming adı verilen çeşitli uygulamalara tabi tutulmaktadır. Priming pek çok bitki türünde, özellikle düşük sıcaklık gibi uygun olmayan koşullarda, çimlenme-çıkış oranı ve hızını artırarak, kısa sürede istenilen sıklıkta fide tesisinin sağlanmasına imkan tanımaktadır. Priming uygulaması neticesinde hızlı kök ve sürgün çıkışının gerçekleşmesi daha kuvvetli fide gelişimine fırsat tanımakta ve verim artmaktadır. Ancak, her bir bitki türünde etkili bir şekilde uygulanabilecek priming tekniği birbirinden farklı olabilmekte ve ayrıca, her bir tekniğin kendine ait üstün yanları olabildiği gibi dezavantajlı yönleri de bulunabilmektedir. Diğer taraftan, priming uygulamalarının başarısı üzerine etki eden çok sayıda faktör bulunmaktadır. Dolayısıyla, priming uygulama tekniklerinin avantaj ve dezavantajlarının bilinmesi; buna ilave olarak, priming uygulamaları üzerine etki eden faktörlerin ortaya konulması, priming uygulamasına yönelik çalışmaların daha sağlıklı bir şekilde planlanıp yürütülmesine katkıda bulunacaktır.

### KAYNAKLAR

Akers, S.W., 1990. Seed response to priming in aerated solutions. *Search*, 19: 8-17.

Akers, S.W., Berkowitz, G.A., Rabin, J., 1987. Germination of parsley seed primed in aerated solutions of polyethylene glycol. *HortScience*, 22: 250-252.

Akers, S.W., Holley, K.E., 1986. SPS: A system for priming seeds using aerated polyethylene glycol or salt solutions. *HortScience*, 21: 529-531.

Ali, A., Machado, V.S., Hamil, A.S., 1990. Osmoconditioning of tomato and onion seeds. *Scientia Horticulturae*, 43: 213-224.

Al-Karaki, G.N., 1998. Response of wheat and barley during germination to seed osmopriming at different water potential. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 181: 229-235.

Al-Mudaris, M., Jutzi, S.C., 1997. Germination of *Sorghum bicolor* L. (Moench) under drought and heat stress as affected by NaCl seed priming. International Conference on Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry, FAO, Braunschweig, Germany, Book of Abstracts, pp. 304.

Al-Mudaris, M., Jutzi, S.C., 1999. The influence of fertilizer-based seed priming treatments on emergence and seedling growth of *Sorghum bicolor* and *Pennisetum glaucum* in pot trials under greenhouse conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 182: 135-141.

Armstrong, H., McDonald, M.B., 1992. Effects of osmoconditioning on water uptake and electrical conductivity in soybean seeds. *Seed Science and Technology*, 20: 391-400.

Artola, A., Carrillo-Castaneda, G., Santos, G.G.D., 2003. Hydropriming: a strategy to increase *Lotus corniculatus* L. seed vigor. *Seed Science and Technology*, 31: 455-463.

Aschermann-Koch, C., Hofmann, P., Steiner, A.M., 1992. Presowing treatment for improving quality in cereals. I. Germination and vigour. *Seed Science and Technology*, 20: 435-440.

Atherton J.G., Faroque A.M., 1983. High temperature and germination in spinach. II. Effect of osmotic priming. *Scientia Horticulturae*, 19: 221-227.

Bailly, C., Benamar, A., Corbineau, F., Come, D., 1997. Changes in Superoxide Dismutase, Catalase and Glutathione Reductase Activities in Sunflower Seeds During Accelerated Aging and Subsequent Priming. In: Ellis, R.H., Black, M., Murdoch, A.J., Hong, T.D. (ed.) *Basic and Applied Aspects of Seed Biology*. 665-672. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Bailly, C., Benamar, A., Corbineau, F., Come, D., 1998. Free radical scavenging as affected by accelerated aging and subsequent priming in sunflower seeds. *Physiologia Plantarum*, 104: 646-652.

Bennett, M.A., Waters, L., 1987. Seed hydration treatments for improved sweet corn germination and stand establishment. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 112: 45-49.

Bewley, J.D., 1997. Seed germination and dormancy. *The Plant Cell*, 9: 1055-1066.

Bradford, K.J., 1986. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *HortScience*, 21: 1105-1112.

Bradford, K.J., 1995. Water Relations in Seed Germination. In: Kigel, J., Galili, G. (ed.) *Seed Development and Germination*. 351-396. Marcel Dekker, New York.

Bray C.M., 1995. Biochemical Processes During the Osmopriming of Seeds. In: Kigel, J., Galili, G. (ed.) *Seed Development and Germination*. 767-789. Marcel Dekker, New York.

Bray, C.M., Davison, P.A., Ashraf, M., Taylor, R.M., 1989. Biochemical changes during priming of leek seeds. *Annals of Botany*, 63:185-193.

Capron, I., Corbineau, F., Dacher, F., Job, C., Come, D., Job, D., 2000. Sugarbeet seed priming: effects of priming conditions on germination, solubilization of 11-S globulin and accumulation of LEA proteins. *Seed Science Research*, 10: 243-254.

Caseiro, R., Bennet, M.A., Marcos-Filho, J., 2004. Comparison of three priming techniques for onion seed lots differing in initial seed quality. *Seed Science and Technology*, 32: 365-375.

Corbineau, F., Come, D., 1990. Effects of priming on the germination of *Valerianella olitoria* seeds in relation with temperature and oxygen. *Acta Horticulturae*, 267: 191-197.

- Danneberger, T.K., McDonald, M.B., Geron, C.A., Kumari, P., 1992. Rate of germination and seedling growth of perennial ryegrass seed following osmoconditioning. *HortScience*, 27: 28-30.
- Davison, P.A., Bray, C.M., 1991. Protein synthesis during osmopriming of leek (*Allium porrum* L.) seeds. *Seed Science Research*, 1: 29-35.
- De Castro, R.D., Zheng, X., Bergervoet, J.H.W., De Vos C.H.R., Bino, R.J., 1995.  $\beta$ -tubulin accumulation and DNA replication in imbibing tomato seeds. *Plant Physiology*, 109: 499-504.
- Dell'Aquila, A., Spada, P., 1992. Regulation of protein synthesis in germinating wheat embryos under polyethylene glycol and salt stress. *Seed Science Research*, 2: 75-80.
- Demir, İ., Ellialtıoğlu, Ş., Tıprıdamaz, R., 1994. The effect of different priming treatments on reparability of aged eggplant seeds. *Acta Horticulturae*, 362: 205-212.
- Drew, R.L.K., Hands, L.J., Gray, D., 1997. Relating the effects of priming to germination of unprimed seeds. *Seed Science and Technology*, 25: 537-548.
- Durrant, M.J., Payne, P.A., McLaren, J.S., 1983. The use of water and some inorganic salt solutions to advance sugar beet seed. I. Laboratory studies. *Annals of Applied Biology*, 103: 507-515.
- Elkoca, E., Halilođlu, K., Eşitken, A., Ercişıli, S., 2006. Hydro- and osmopriming improve chickpea germination. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B, Plant and Soil Science (Basımda)*.
- Ely, P.R., Heydecker, W., 1981. Fast germination of parsley seeds. *Scientia Horticulturae*, 15: 127-136.
- Foti, S., Cosentino, S.L., Patane, C., D'Agosta, G.M., 2002. Effect of osmoconditioning upon seed germination of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) under low temperatures. *Seed Science and Technology*, 30: 521-533.
- Fujikura, Y., Kraak, H.L., Basra, A.S., Karssen, C.M., 1993. Hydropriming, a simple and inexpensive priming method. *Seed Science and Technology*, 21: 639-642.
- Halpin-Ingham, B., Sundstrom, F.J., 1992. Pepper seed water content, germination response and respiration following priming treatments. *Seed Science and Technology*, 20: 589-596.
- Hardegree, S.P., Emmerich, W., 1990. Effect of polyethylene glycol exclusion on the water potential of solution-saturated filter paper. *Plant Physiology*, 92: 462-466.
- Hardegree, S.P., Jones, T.A., Van Vactor, S.S., 2002. Variability in thermal response of primed and non-primed seeds of squirreltail [*Elymus elymoides* (Raf.) Swezey and *Elymus multisetus* (J.G. Smith) M.E. Jones]. *Annals of Botany*, 89: 311-319.
- Hardegree, S.P., Van Vactor, S.S., 2000. Germination and emergence of primed grass seeds under field and simulated-field temperature regimes. *Annals of Botany*, 85: 379-390.
- Harris, D., 1996. The effects of manure, genotype, seed priming, depth and date of sowing on the emergence and early growth of *Sorghum bicolor* (L.) Moench in semi-arid Botswana. *Soil Tillage Research*, 40: 73-88.
- Harris, D., Joshi, A., Khan, P.A., Gothkar, P., Sodhi, P.S., 1999. On-farm seed priming in semi-arid agriculture: development and evaluation in maize, rice and chickpea in India using participatory methods. *Experimental Agriculture*, 35: 15-29.
- Harris, D., Raghuvanshi, B.S., Gangwar, J.S., Singh, S.C., Joshi, K.D., Rashid, A., Hollington, P.A., 2001. Participatory evaluation by farmers of on-farm seed priming in wheat in India, Nepal and Pakistan. *Experimental Agriculture*, 37: 403-415.
- Helsel, D.G., Helsel, D.R., Minor, H.C., 1986. Field studies on osmoconditioning soybeans, *Glycine max*. *Field Crops Research*, 14: 291-298.
- Heydecker, W., Gibbins, B., 1978. The 'priming' of seeds. *Acta Horticulturae*, 83: 213-215.
- Hsu, J.L., Sung, J.M., 1997. Antioxidant role of glutathione associated with accelerated aging and hydration of triploid watermelon seeds. *Physiologia Plantarum*, 100: 967-974.
- Hussain, M., Farooq, M., Basra, S.M.A., Ahmad, N., 2006. Influence of seed priming techniques on the seedling establishment, yield and quality of hybrid sunflower. *International Journal of Agriculture and Biology*, 8: 14-18.
- Jones, K., Sanders, D., 1987. The influence of soaking pepper seed in water or potassium salt solutions on germination at three temperatures. *Journal of Seed Technology*, 11: 97-102.
- Kantar, F., Elkoca, E., 1998. Kùltür bitkilerinde tuza dayanıklılık. *Atatùrk Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 29 (1): 163-174.
- Kantar, F., Elkoca, E., 2001. Bazı fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) çeşitlerinin kardinal ve toplam sıcaklık isteklerinin belirlenmesi. *Türkiye 4. Tarla Bitkileri Kongresi*, 17-21 Eylül 2001, Cilt I Tahıllar ve Yemeklik Tane Baklagiller, Tekirdađ, s. 371-375.
- Kaur, S., Gupta, A.K., Kaur, N., 2002. Effect of osmo- and hydropriming of chickpea seeds on seedling growth and carbohydrate metabolism under water deficit stress. *Plant Growth Regulation*, 37: 17-22.
- Khalil, S.K., Mexal, J.G., Murray, L.W., 2001. Germination of soybean seed primed in aerated solution of polyethylene glycol (8000). *Online Journal of Biological Science*, 1: 105-107.
- Khan, A.A., 1992. Preplant physiological seed conditioning. *Horticultural Reviews*, 13: 131-181.
- Khan, A.A., Maguire, J.D., Abawi, G.S., Ilyas, S., 1992. Matricconditioning of vegetable seeds to improve stand establishment in early field plantings. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117: 41-47.
- Korkmaz, A., Pill, W.G., 2003. The effect of different priming treatments and storage conditions on germination performance of lettuce seeds. *European Journal of Horticultural Science*, 68: 260-265.
- Lanteri, S., Saracco, F., Kraak, H.L., Bino, R.J., 1994. The effects of priming on nuclear replication activity and germination of pepper (*Capsicum annuum*) and tomato (*Lycopersicon esculentum*) seeds. *Seed Science Research*, 4: 81-87.
- Lee-suskoon, K.M., Hyeum, J., Beom, H.S., Minkyong, K., Euiho, P., 1998. Optimum water potential, temperature and duration for priming of rice seeds. *Korean Journal of Crop Science*, 43: 1-5.
- Mauromicale, G., Cavallaro, V., 1996. Effects of seed osmopriming on germination of three herbage grasses at low temperatures. *Seed Science and Technology*, 24: 331-338.
- Mazor, L., Perl, M., Negbi, M., 1984. Changes in some ATP-dependent activities in seeds during treatment with polyethylene glycol and during the redrying process. *Journal of Experimental Botany*, 35: 1119-1127.
- McDonald, M.B., 1999. Seed deterioration: physiology, repair and assesment. *Seed Science and Technology*, 27: 177-237.
- McDonald, M.B., 2000. Seed Priming. In: Black, M., Bewley, J.D. (ed.) *Seed Technology and Its Biological Basis*. 287-325. Sheffield Academic Press, Sheffield, UK.
- Mexal, J., Fisher, J.T., Osteryoung, J., Reid, C.P., 1975. Oxygen availability in polyethylene glycol solutions and its implications in plant-water relations. *Plant Physiology*, 55: 20-24.
- Murray, G.A., 1990. Priming sweet corn seed to improve emergence under cool conditions. *HortScience*, 25: 231.
- Musa, A.M., Harris, D., Johansen, C., Kumar, J., 2001. Short duration chickpea to replace fallow after aman rice: the role of on-farm seed priming in the High Barind Tract of Bangladesh. *Experimental Agriculture*, 37: 509-521.
- Naylor, R.E.L., Syversen, M.K., 1988. Assessment of seed vigour in Italian ryegrass. *Seed Science and Technology*, 16: 419-426.
- Nienow, A.W., Brocklehurst, P.A., 1987. Seed preparation for rapid germination-engineering studies. *Bioreactors and Biotransformations*, 52-63.

- Özbingöl, N., Corbineau, F., Come, D., 1998. Responses of tomato seeds to osmoconditioning as related to temperature and oxygen. *Seed Science Research*, 8: 377-384.
- Özbingöl, N., Corbineau, F., Groot, S.P.C., Bino, R.J., Come, D., 1999. Activation of the cell cycle in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seeds during osmoconditioning as related to temperature and oxygen. *Annals of Botany*, 84: 245-251.
- Parera, C.A., Cantliffe, D.J., 1994. Presowing seed priming. *Horticultural Reviews*, 16: 109-141.
- Passam, H.C., Kakouriotis, D., 1994. The effects of osmoconditioning on the germination, emergence and early plant growth of cucumber under saline conditions. *Scientia Horticulturae*, 57: 233-240.
- Passam, H.C., Lambropoulos, E., Khah, E.M., 1997. Pepper seed longevity following production under high ambient temperature. *Seed Science and Technology*, 25: 177-185.
- Patane, C., 2000. Influence of temperature on seed germination of a sulla sweetvetch (*Hedysarum coronarium* L.) population collected in a hilly area of Southern Italy. *Seed Science and Technology*, 28: 887-890.
- Pill, W.G., Kilian, E.A., 2000. Germination and emergence of parsley in response to osmotic or matric seed priming treatment with gibberellin. *HortScience*, 35: 907-909.
- Rashid, A., Harris, D., Hollington, P., Ali, S., 2004. On-farm seed priming reduces yield losses of mungbean (*Vigna radiata*) associated with mungbean yellow mosaic virus in the North West Frontier Province of Pakistan. *Crop Protection*, 23: 1119-1124.
- Redfean, M., Osborne, D.J., 1997. Effects of advancement on nucleic acids in sugarbeet (*Beta vulgaris*) seeds. *Seed Science Research*, 7:261-267.
- Singh, P., Singh, D.P., Kumar, A., Chaudhary, B.D., Thakural, S.K., 1988. Response of Mungbean-Blackgram Hybrids under Water Stress Conditions. In: Shanmugasundaram, S., McLean, B.T. (ed.) Mungbean. 263-271. Proceedings of the Second International Symposium held in Bangkok, 16-20 November 1987, Thailand.
- Smith, P.T., Cobb, B.G., 1992. Physiological/enzymatic characteristics of primed, redried, and germinated pepper seeds (*Capsicum annuum* L.). *Seed Science and Technology*, 20: 503-513.
- Sundstrom, F.J., Edwards, R.L., 1989. Pepper seed respiration, germination and seedling development following seed priming. *HortScience*, 24: 343-345.
- Sung, F.J.M., Chang, Y.H., 1993. Biochemical activities associated with priming of sweet corn seeds to improve vigor. *Seed Science and Technology*, 21: 97-105.
- Taylor, A.G., 1997. Seed Storage, Germination and Quality. In: Wien, H.C. (ed.) *The Physiology of Vegetable Crops*. 1-36. CAB International, Wallingford, U.K.
- Turk, M.A., Rahman, A., Tawaha, M., Lee, K.D., 2004. Seed germination and seedling growth of three lentil cultivars under moisture stress. *Asian Journal of Plant Sciences*, 3 (3): 394-397.
- Wagenvoort, W.A., Bierhuizen, J.F., 1977. Some aspects of seed germination in vegetables. II. The effect of temperature fluctuation, depth of sowing, seed size and cultivar on heat sum and minimum temperature for germination. *Scientia Horticulturae*, 6: 259-270.
- Yeoung, Y.R., Wilson, D.O., Murray, G.A., 1996. Germination performance and loss of late-embryogenesis-abundant (LEA) proteins during muskmelon seed priming. *Seed Science and Technology*, 24: 429-441.
- Zheng, G.H., Wilen, R.W., Slinkard, A.E., Gusta, L.V., 1994. Enhancement of canola seed germination and seedling emergence at low temperature by priming. *Crop Science*, 34: 1589-1593.