

Epigenetik Alanındaki Tarım Uygulamaları

Gizem Batı Ayaz¹, Özge Şahin², Umur Ayaz¹

¹ İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Biyomühendislik Bölümü, İzmir, Türkiye

² Münster Üniversitesi (WWU), Evrim ve Biyoçeşitlilik Enstitüsü, Münster, Almanya

e-posta: batigizem@gmail.com

Özet

Epigenetik, gen dizisinde herhangi bir değişime yol açmadan canlının çevresiyle olan etkileşimi sonucunda ortaya çıkan gen işle-yişindeki değişimler ve düzenlemeler olarak tanımlanmakta iken aynı zamanda diğer düzenleyici mekanizmalardan farklı olarak sahip olduğu “moleküler hafıza” ile karşımıza çıkmaktadır. Bu makalede, ilk olarak Sovyet tarım biyoloğu olan Lisenko tarafından ortaya konan soğuklandırma (vernalizasyon) çalışması ve içerdiği mekanizmalardan bahsedilmiştir. Daha sonra epigenetik alanında bitkilerle yapılan çalışmalar ve bunlara ait tarımsal uygulamalar ile gelecekte kullanılma potansiyeli yüksek olan uygulamalardan, bunların hangi epigenetik mekanizmaları kullanarak nasıl ortaya konulduklarından, büyüyen ekin fenotipik çeşitliliğinden ve değişen iklim koşulları altında sürdürülebilir tarım için epigenetik çalışmalardan söz edildi.

Anahtar kelimeler: Lisenko, vernalizasyon, epigenetik, RNAi, epiallel.

Giriş

Madde, Diyalektik ve Toplum Dergisi'nin bir önceki sayısında hatırlanacağı üzere epigenetik kavramı açıklanarak günümüzde en çok kullanılan epigenetik mekanizmalara değinmiştik. Yazının ilerleyen bölümlerinde ise bitkideki epigenetik çalışmalara daha yakından bakıp ardından genetik ve epigenetik arasındaki diyalektik ilişkiyi incelemiştik (Şahin ve ark., 2018). Kısaca epigenetiğe tekrar değinecek olursak; canlılarda DNA dizisindeki değişikliklerden kaynaklanmayıp çeşitli çevresel etmenlerle gen ifadesinin değişimine

neden olan ve kalıtsal olduğu gibi geri dönebilme özelliğine de sahip değişikliklerin tümü diyebiliriz.

Bitkiler yaşamımızda önemli bir yere sahiptir. Bu yüzden onların farklı çevresel koşullara nasıl adapte olduklarını ve epigenetiğin bitki gen ifadesi ile fenotipini nasıl değiştirdiğini anlayabilmek son derece önemlidir. Epigenetik modifikasyonların çeşitli düzenleyicilerle gen ifadesini kontrol ettiği bilinmektedir. Ayrıca, epigenetik mekanizmalar üzerine yapılan son araştırmalar, DNA metilasyonu, histon posttranslasyon modifikasyonları ve küçük kodlama yapmayan RNA (sncRNA)'ların çiçeklenme süresi, meyve gelişimi, çevresel faktörlere verilen yanıtlar ve bitki bağışıklığı gibi zirai açıdan önemli özellikler dahil olmak üzere bitki yaşamının hemen hemen her alanında yer aldığını göstermektedir (Álvarez-Venegas ve De-la-Peña, 2016).

Tarım alanında yararlanan epigenetik uygulamalardan birisi olarak da yazımızın devamında daha detaylı inceleyeceğimiz vernalizasyon gösterilebilir. Ekili alandan yüksek verim almak ve kaliteli ürün elde etmek için tarlada uygun zamanda düzenli bir çimlenme ve çıkış sağlanmalıdır. Örneğin Türkiye'de buğday genellikle güz mevsiminde kışlık olarak ekilmektedir. Kışlık ekimde, yazlık ekimle kıyaslandığında daha yüksek verim alındığı gözlenmektedir. Bunun dışında ekim zamanı, türün soğuğa toleransı ve vernalizasyon isteğine

bağlı olarak da değişebilmektedir. Ayrıca tarımsal üretimin büyük kısmı iklim koşullarına bağlıdır. Dolayısıyla yağış, sıcaklık ve nem gibi iklim faktörlerinin üretim sırasında denetim altına alınamaması, üreticilerin bu koşullara uygun yetiştiricilik yapmalarını da zorunlu hale getirmiştir. Bu bağlamda epigenetik mekanizmalardan tarım alanında faydalanabilmek oldukça önemlidir.

Vernalizasyon

Vernalizasyon, ilk olarak Sovyet tarım biyoloğu olan Lisenko tarafından ortaya konulmuştur (Lisenko, 1928). Lisenko çalışmalarında, sıcaklık değişimlerinin bitkilerin biyolojik yaşam döngülerini nasıl etkilediği üzerine yoğunlaşmıştır. Kışlık buğdayını baharda da yetiştirebilmek için etkili olduğunu düşündüğü mekanizmaları incelemiştir. Buna göre fide ya da tohumlar kışın ıslatılıp soğutuluyor, baharda ekildiklerinde ise yaşam döngülerini daha çabuk tamamlayıp güzü beklemeksizin ürün alınabiliyordu. İşte Lisenko'nun belirttiği bu olaya daha sonra "vernalizasyon" adı verilmiştir. Ülkesi Sovyetler Birliği'nin içinde bulunduğu özel koşullar (1928 öncesi geçen sert kış dönemi ve kıtlık sorunu) nedeni ile buğday üretiminin acilen artırılması gerekiyordu. Lisenko, uygulamacı bir tarım biyoloğu olarak bütün dikkatini bu yıllarda Sovyet Devleti'nin acil sorunlarına vermiştir. Dolayısıyla bilimsel araştırma süreçlerinin esasında toplumsal faydaya dönük bir içerikle yeniden yapılandırılması gerektiği tezi, Sovyetler Birliği'ndeki bilim politikasının özünü oluşturmaktaydı.

Vernalizasyon için daha detaylı bir tanım yapmamız gerekirse şöyle diyebiliriz: Bitkilerin tohum çimlenmesin-

den çiçek açıncaya kadar süren evre olan vejetatif evreden, tekrar çiçek açıp tohum oluşturduğu evre olan generatif evreye geçebilmesi için ihtiyaç duydukları düşük sıcaklık isteğine vernalizasyon denir. Vernalizasyonun meydana gelmesini sağlayan düşük sıcaklık uygulamaları direk çiçek oluşumunu uyarmaz, bunun yerine çiçek oluşumunu meydana getirecek mekanizmaların işleyişini etkiler. Bitkilerin bu sıcaklık uygulamalarına verdikleri vernalizasyon yanıtı ise fakültatif ya da zorunlu olabilmektedir (Doğru ve Balkaya, 2015). Örneğin, tek yıllık bitkiler çiçeklenmeyi başlatabilmek için vernalizasyon ihtiyacı bakımından fakültatif özelliğe sahiptir. Böyle türlerde, çiçeklenmenin meydana gelmesi için düşük sıcaklık uygulamasına her zaman gerek duyulmamaktadır. Ancak düşük sıcaklıklar bitkiye uygulandıktan sonra çiçeklenme hızında artış gözlenmektedir. İki yıllık bitkilerin çiçeklenme için vernalizasyona gereksinimleri ise zorunludur. Böyle türlerde, vernalizasyon ihtiyacı karşılanmazsa bitkide çiçeklenme gerçekleşmez (Amasino, 2004).

Vernalizasyon uyarısının bitki tarafından algılandığı gelişim evresi de türlere göre değişiklik göstermektedir. Buna göre vernalizasyon, tohum vernalizasyonu ve bitki vernalizasyonu olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Örneğin *Brassicaceae* familyasındaki *Arabidopsis thaliana* ve *Brassica rapa* gibi bazı türler tohum vernalizasyonuna duyarlı iken *Brassica oleracea* türü içindeki varieteler bitki vernalizasyonuna oldukça duyarlıdır (Micheaels ve Amasino, 2000; Lin ve ark., 2005). Tohum vernalizasyonunda bitki, çimlenme sırasında düşük sıcaklıklara duyarlıdır, bitki vernalizasyonunda ise belli bir gelişim evresine ulaşmadan önce böyle bir

duyarlılık söz konusudur.

Vernalizasyon mekanizmasını daha yakından anlamak için hem genetik çalışmalarda model bir bitki olması hem de çiçeklenme için düşük sıcaklıklara ihtiyaç duyması bakımından *Arabidopsis thaliana* oldukça elverişlidir. Ayrıca vernalizasyon çalışmasına olan tüm bu elverişlilikleri dolayısıyla bitki gelişim biyolojisi çalışmalarında da yine aynı model organizmadan fazlaca yararlanılmaktadır. *Arabidopsis*'te çiçeklenme, birden fazla yolla başlatılabilir. Bu yollar; gün uzunluğu, sıcaklık veya hormonlar gibi iç veya dış sinyallerle düzenlenebilir. Bu yolların her birinin çiçeklenmeye olan katkıları çevre şartlarına ve bitki genotipine bağlıdır (Finnegan ve ark., 1998). Vernalizasyon kaynaklı çiçeklenmede, DNA metilasyonu ve histon modifikasyonlarını içeren gen ekspresyonunun epigenetik regülasyonunun bir etkisi olduğu düşünülmektedir (Guzy-Wrobelska ve ark., 2013). *Arabidopsis* üzerine yapılan çalışmalarda, vernalizasyon sürecinde önemli rol oynayan ve çiçeklenmeyi baskılayan iki anahtar gen tanımlanmıştır (Lin ve ark., 2005). Bu genlerden biri, *Flowering Locus C (FLC)* genidir. Bu gen, çiçeklenme zamanının belirlenmesinde görev almaktadır (Jung ve Müller, 2009). Daha sonra yapılan çalışmalar, *FLC* geninin soğuk etkisi altında çiçeklenme olayını baskıladığını, bu baskılanmanın *FLC* kromatin yapısının değişmesiyle sonuçlanan epigenetik temelli bir düzenlemeyle (histon asetilasyonu ve metilasyonu) gerçekleştiğini ve *FLC* geni ifade seviyelerindeki değişimin de çiçeklenme zamanını etkilediğini göstermiştir (Bernier ve Perilleux, 2005; Kim ve ark., 2007, Khan ve ark., 2013). Burada vernalizasyon, *FLC* geninin ifade edil-

mesinde epigenetik düzenleyici bir faktör olarak görev yapmaktadır. Kısaca özetlenecek olursa; düşük sıcaklıklar, vernalizasyon ihtiyacını karşılarken *FLC* geninin ifade edilmesini engellemektedir. *FLC* geni, ancak bir sonraki nesilde tekrar aktif hale gelebilmektedir. Bu sebepten dolayı her yeni nesilde tekrar vernalizasyona gereksinim duyulmaktadır (Romera-Branchat ve ark., 2014). Bitki gelişiminde soğuk periyoda dair böyle bir geçici hafıza oluşturulması diğer türlerde de gösterilmiştir (Khan ve ark., 2013). Vernalizasyon sürecinde etkisi olan diğer gen ise *Frigida (FRI)* genidir. Bu genin çalışma sürecinde meydana gelen bir mutasyon, *Arabidopsis*'te erken çiçeklenmeye neden olmaktadır (Werner ve ark., 2005). *FRI* ve *FLC* genleri birlikte çalıştığında ise vernalizasyon işlemine maruz kalmamış sürgün apikal meristeminde çiçeklenme engellenmektedir (Micheaels ve Amasino, 2000).

Bitkilerin çiçeklenme için düşük sıcaklık gereksinimleri türlere göre değişmektedir. Ancak genellikle vernalizasyon için en etkili sıcaklık aralığı 1-7°C arasında yer almaktadır (Micheaels ve Amasino, 2000). Bitkilerde 0°C'nin altındaki sıcaklıklar, vernalizasyon ihtiyacının giderilmesini sağlayamaz. Çünkü 0°C'nin altındaki sıcaklıklarda herhangi bir metabolik aktivite meydana gelmemektedir. Yine benzer şekilde, 10°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda da vernalizasyon görülmemektedir. Buna rağmen bazı istisnalar vardır ve türler arasında farklı etkin sıcaklıklarda vernalizasyon mekanizmasının meydana geldiği de görülmektedir. Örneğin, vernalizasyon tahıllarda -6°C'de, zeytinde ise 13°C'de gerçekleşebilmektedir (Micheaels ve Amasino, 2000). Bu bilgiler ışığında her bir tarla bitkisinin çeşidine ve ye-

tiştirildiği yerin iklim özelliklerine göre ideal bir ekim zamanı olduğu söylenebilir. Soğuğa dayanıklı olup vernalizasyon ihtiyacı olan bitkiler kışlık olarak güz mevsiminde; soğuğa hassas olup vernalizasyon ihtiyacı olmayan bitkiler ise yazlık olarak ilkbaharda ekilirler. Bu amaçla buğdayın ve arpanın ekimi güzde, mısırın ve çeltiğin ekimi ise ilkbaharda yapılır.

Bitkilerde vernalizasyon uyarınının ilk olarak algılandığı ve tepki verildiği yer sürgün apikal meristemidir (Amasino, 1996). Soğuk etkisi ile çiçeklenmenin meydana gelmesini sağlayan bu uyarana “vernalın” adı verilmektedir. Ayrıca çiçeklenme hormonu olarak belirtilen “florigen” (Chailakhyan, 1937) ile vernalin arasında da bir ilişki olduğu kabul edilmektedir. Bu bağlantı ise iki şekilde açıklanmaktadır. Bunlardan biri vernalinin florigene dönüşen bir öncü madde olduğudur. Diğeri ise vernalinin florigen oluşumunu uyarmasıdır. Ne yazık ki her iki molekülün de bitki yapılarından izole edilememiş olması, bu hipotezlerin doğruluğunu kanıtlanamamıştır (Corbesier ve Coupland, 2006; Zeevart, 2008).

Tarım uygulamalarında epigenetik

Epigenetik ve genetik alanında yapılan çalışmaların artmasıyla ve kullanılan yöntemlerin gelişmesiyle birlikte birçok alanda olduğu gibi bitkiler üzerinde de çok fazla çalışılmaktadır. DNA metilasyonu, histon modifikasyonu, mRNA’lar, kodlama yapmayan RNA’lar (ncRNA), RNA interferans (RNAi) gibi epigenetik mekanizmalar kullanılarak tarımsal öneme sahip buğday, domates, mısır, fasulye gibi ürünler üzerinde çalışmalar sürdürülmektedir. Epigenetik çalışmaların tarımda hangi alanlarda ümit vaat ettiğine ve ürün yetiştirmede

bizlere nasıl ışık tutacağına bakacak olursak bunlar; bitki ıslahı, pestlere, hastalıklara ve abiyotik streslere karşı dirençli ekinlerin oluşturulması ve yüksek verimlilikte ürünlerin elde edilmesiyle birlikte sürdürülebilir tarım uygulamaları olarak karşımıza çıkmaktadır.

Epigenetik düzenleme mekanizmalarından bir tanesi olan ncRNA’lar, geniş bir şekilde biyolojik işlemlerde görev alırlar. ncRNA’lar kısaca, proteine çevrilmemiş fonksiyonel RNA’lar olarak tanımlanabilir ve transkripsiyon sonrası düzeyde düzenleyiciler olarak görev alırlar. Kendi içlerinde de içerdikleri nükleotid uzunluğuna göre kısa ve uzun olarak ikiye ayrılırlar. Kısa olanlar içinde en çok çalışılan ve bitki gelişim sürecindeki rolleri üzerine araştırma yapılan miRNA (mikro RNA)’lardır. Bunlar, ncRNA’ların bir alt kategorisi olup 20-24 nükleotid uzunluğuna sahiptir (Ambros, 2004).

Bitkinin organlarına baktığımız zaman yapraklar, fotosentezde görev alan bitki biyokütlesi ve verimliliğinde rol oynayan temel organlar olarak karşımıza çıkarlar. miR319, yaprak gelişimini düzenleyen miRNA olarak korunmuştur. Domateste yapılan çalışmalarda miR319’ un aşırı ifade edilmesi sonucunda domates yapraklarının boyutunda ve şeklinde oldukça çarpıcı bir değişim gözlenmiştir. Yine bu aşırı ifade sonucunda mısırdaki daha geniş yaprak ayası gözlemlenmiştir. Bitki kök sistemi ise bitkinin su ve besin alımı, hormon ve sekonder metabolitlerin üretimi için önem taşımaktadır. Bu sistem embriyonik ve embriyo sonrası gelişimden türeyerek sırasıyla temel kökleri ve tohum köklerini, diğeri ise yan, toprak üstü (taç) kökleri oluşturur. Oksin hormonu ise bu kök gelişimini düzenleyen baskın hormondur. Oksin hormonunun transkripsiyon

sonrası düzenlenmesi ile kök gelişiminde birçok miRNA'nın rol aldığı ortaya konmuştur. Örneğin, mısırdaki miR393'ün aşırı ifadesi sonucunda oksin sinyalinin değişimi birincil kök uzaması, ek (adventif) kök sayısı gibi kök gelişiminde belli değişikliklere yol açmıştır. Tahıllarda üreme gelişimi, tarımsal özelliklerin düzenlenmesi ve bitki ıslahı için çok önemlidir. Kodlama yapmayan RNA'ların hibrid üretiminde, transgenik bitkilerin yeni genetik özelliklerinin seçiliminde, karakter izlenimi ve bitki gelişimi için genetik modifikasyonların tarımsal uygulamalarında kullanılması zorluklar içermektedir (Zhang ve Chen, 2017).

RNAi, gen regülasyonunun ve ökaryot hücrelerdeki antiviral savunma sisteminin doğal işlemidir. Bu işlem, belli RNA dizilerinin hedeflenmesiyle bir gen susturucu olarak işlev görür. RNAi'nin bu işlevi, parçalanma ve bazı durumlarda translasyonun inhibisyonuna, hedeflenmiş RNA'nın ifadesinin azaltılmasına ya da tamamen ortadan kaldırılmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda RNAi, kromatin üzerindeki yönlendirici epigenetik değişimler ve transkripsiyonel düzeyde gen ifadesinin baskılanması ile de ilişkilidir.

Viral genomların ifade edilen parçalarıyla virüs-dirençli transgenik bitkilerin oluşturulması, RNAi'nin yararlı kullanımının ilk örneği olmuştur. Bununla birlikte *Caenorhabditis elegans*' ta çift iplikli RNA (dsRNA)'ların sindirimi sonucu gen susturulmasının gösterilmesi, RNAi'nin genetik çalışmalarda gen fonksiyonunu belirlemedeki önemli rolünü ortaya koyarken aynı zamanda RNAi'nin böcekler, artropodlara ve patojenlere karşı bitki korumasında kullanılması yeni bir uygulama alanı doğurmuştur. RNAi uygulamalarındaki bazı güçlükler

ve aşılması gereken noktalar göz önünde bulundurularak bu konu üzerinde yürütülen çalışmalar şekillendirilmiştir. Dikkat edilmesi gereken üç önemli nokta şöyle sıralanabilir: 1) dsRNA sindirilmeden epitel hücreler tarafından absorbe edilmeli ve vücut boşluğu dolayım sıvısından (hemolenf) diğer dokulara ulaşmalı. 2) dsRNA vücut içerisine girdiği zaman RNAi mekanizmasını aktif hale getirmeli. Bu hücre alımı, türler arasında farklı mekanizmalar olmasından dolayı değişiklik göstermektedir. 3) RNAi mekanizmasının bir grup hücrede tetiklendikten sonra susturulmasının sistemik yayılımı olabilir ve diğer dokular ya da hücreler de etkilenebilir, bu da etkiyi artırabilir. dsRNA'nın ağız yoluyla taşınımı, yapay gıdaları, ayrık bitki parçalarını (yapraklar, tomurcuklar, kökler) ya da bütünlüğü bozulmamış bitkileri kullanarak gerçekleştirilebilir. dsRNA'yı beslenme yoluyla vermek, böcek larvaları ve yetişkinlerde çok sayıda dsRNA'nın taranması için kolay bir prosedür sağlar. RNAi için, dsRNA tasarlanmasında molekülün uzunluğu ve mesajcı RNA (mRNA) içindeki hedef bölgesi gibi başlıklar, RNAi etkisinin uygulanacağı böcek türlerine göre değişiklik gösteren önemli faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır. Örneğin, yapılan çalışmalarda, *Tribolium castaneum*'da hücresel alımının gerçekleşmesi için en az 70 nükleotid RNAi gerekliken, domates/patates biti, *Bacteri cockerelli*, bezelye biti, *Acyrtosiphon pisum* ve lepidopter (kelebek) *Manduca sexta* için gen susturulmasında 21-27 nükleotid uzunluğunda küçük interferans RNA (siRNA) denilen daha kısa dsRNA'ların kullanıldığı gösterilmiştir. Böcekler ve kurtlar bir ya da daha fazla böcek ilacına karşı kimyasal direnç geliştirmektedir. 500'ün üzerinde türün bir ya da daha fazla ürüne di-

rençli olduğu gösterilmiştir (Andrea ve Hunter, 2016). Bu sonuçlar, bize böcek kontrolünde yeni yollar geliştirmenin ne kadar zorunlu olduğunu göstermektedir. Bitki verimliliğini artırmak için böceklere karşı kullanılacak olan yeni yöntem ve uygulamaların çevresel olarak güvenli, insanlar ve hayvanlar için sağlıklı olması önem taşımaktadır. RNAi, buna aday metodlardan biridir.

Çevresel uyarılara karşı genlerde meydana gelen epigenetik modifikasyonlar, çoğu durumda geçici olabilmekte ya da başlatıcı sinyaller ortadan kalktığı zaman geri dönüşebilmektedir. Ancak biliyoruz ki bazı değişimler de sabit kalıp bir sonraki nesile aktarılmaktadır. *Arabidopsis*'te yapılan çalışmalar, değişmiş düzeylerdeki bu ara geçişsel kararlılığı etkileyen faktörlerin içsel transpozonların (genom içinde yer değiştirebilen DNA dizileri) transkripsiyonel olarak susturulmasıyla ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Transpozonların yanı sıra bitki morfolojisi üzerine yapılan araştırmalar sonucunda nesiller boyunca devam eden değişmiş epigenetik modifikasyonları taşıyan transpozon olmayan genlerin varlığı da keşfedilmiştir. Bunlar, nükleotid dizisinde hiçbir değişiklik taşımayan, fakat değişmiş epigenetik modifikasyon hallerine sahip alleller yani "epiallel"ler olarak adlandırılırlar (Kalisz ve Prugganan, 2004). Transpozonlar sıklıkla epiallellerin içine veya yakınlarına yerleştirilirler. Transpozonların susturulması için konak mekanizmaların epiallellerin oluşumuna katkıda bulunduğu öne sürülmektedir. Mısır ve çeltik, epialleller bakımından en iyi karakterize edilmiş bitkilerdir. Bu epiallellerin bazıları, tarımsal anlamda önemli özelliklerle doğrudan ilişkilidir (Fu ve ark.,

2007). Bunlar, nitrojen eksikliği ve ağır metal stresi tarafından uyarılmış kalıtsal DNA metilasyonlarını içermektedir (Yoshiki, 2017). Doğal olarak gerçekleşen RNA susturma mekanizması fenotipik değişimlere yol açmaktadır. Düşük glutelin (tohum depo proteini) içeren çeltik bitkisi, glutelin genlerinin ters tekrar dizisine sahiptir ve bu dsRNA'ları üreterek diğer glutelin genlerini baskın biçimde susturmaktadır (Kusaba ve ark., 2003). Böbrek rahatsızlıkları olan hastalar için düşük gluten içerikli çeltik üretiminin sağlanması uygulama olarak önem taşımaktadır.

Epigenetiğin önemli mekanizmalarından olan DNA metilasyonu, çiçeklenme zamanı, bitki uzunluğu, patojen dirençliliği ve verimlilik gibi tarımsal özellikler üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. *Arabidopsis*, *Brassica oleracea*, pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) gibi bitkilerde farklı metilasyon polimorfizmlerine ve hatta çeltikte kendi alt türleri içinde de bu çeşitliliğe rastlanmıştır. Bu metilasyon çeşitliliği, bitki ıslahı için ana etken olan fenotipik varyasyonlara yol açabilir.

Epigenetik dünyayı besleyecek mi?

Epigenetik dünyayı besleyecek mi sorusunun önüne birçok farklı başlık konularak bu soru soruluyor. Sadece epigenetik değil, genetiği değiştirilmiş bitkiler dünyayı besleyecek mi versiyonuyla da bu soru karşımıza çıkabiliyor. Sonrasında ise, Dünya Sağlık Örgütü'nün verdiği rakamlara göre açlığın dünya toplum sağlığı için başta gelen tehditlerden biri olduğu ve yetersiz beslenmenin çocuklar arasında başta gelen ölüm sebebi olduğu sıralanıyor (Dünya Sağlık Örgütü, 2017). Var olan doğal kaynakların tüketilmesi, kar amacı güden girişimlerle çevrenin insan eliyle talan edilmesi,

tarımsal verimliliğin yüksek olduğu toprakların kontrolsüz bir şekilde başka amaçlarla kullanılması ve tüm bunlara kuraklığın da eklenmesiyle ortaya trajik bir tablo çıkmaktadır. Bu tablo içerisinde “bir yandan yok edip bir yandan yerine koyma” çelişmesini bir yana koysak, farklı coğrafik zorluklara ve abiyotik streslere maruz kalan bitkiler için elde edilen bilimsel gelişmeleri ve teknolojiyi en iyi şekilde kullanarak ürün verimliliğini artırmak tabii ki büyük önem taşımaktadır. İyice dengesizleşen rüzgarlar, kuraklığın daha da şiddetlenmesi gibi değişen iklim koşullarını yaşadığımız her an oldukça derinden hissetmekteyiz. Aşırı soğuk ve sıcaklar, çok fazla miktarda yağmur ve kar yağışı gibi iklim değişiklikleri tüm dünyada ürünlerin hasar görmesine, bitki hastalıklarına, böcek istilalarına ve daha kısa süren büyüme mevsimlerine sebep olmaya devam etmektedir. Epigenetik, DNA dizisinde değişikliğe yol açmadan DNA metilasyonu, histon modifikasyonu ve RNAi gibi bitkilerde yaygın olarak kullanılan mekanizmalarla tarımsal uygulamalarda ürün verimliliğini artırmada ümit vericidir. Aynı zamanda bu mekanizmalar sayesinde değişen gen regülasyonu, epigenetik alleller tarafından (aynı DNA dizisine ancak farklı DNA metilasyon desenine sahip alleller “gen çifti”) kalıtılarak yüksek polimorfizme ve dolayısıyla daha yeni fenotiplerin oluşmasına yol açmaktadır. Bu varyasyonun yeni kaynakları, ürün geliştirme işlemi için hayati önem taşımaktadır (Schmitz, 2014). Sonuç olarak, epigenetiğin tarımsal uygulamalara sağlayacağı katkıyla biyoteknolojik metodlar ve gelişmeler, tüm dünyada yeterli ve eşit bir besin dağılımı olduğunda insanlık için gerçekten anlamlı hale gelecektir.

Sonuç

Epigenetik ve genetik alanında yapılan çalışmaların artmasıyla ve kullanılan yöntemlerin gelişmesiyle birlikte birçok alanda olduğu gibi bitkiler üzerinde de çok fazla araştırma yapılmaktadır. Vernalizasyon mekanizması, Lısenko tarafından ilk defa 1928 yılında ortaya konulmuştur. Lısenko'nun çalışmaları, sıcaklık değişimlerinin bitkilerin biyolojik yaşam döngülerini nasıl etkilediği üzerinedir. Daha özel olarak ise kışlık buğdayını baharda da yetiştirebilmek için etkili olduğunu düşündüğü mekanizmaları incelemiştir. Epigenetik çalışmalar için belki de bir temel oluşturmuş olan vernalizasyon çalışmalarından bugüne gelindiğinde DNA metilasyonu, histon modifikasyonu, mRNA'lar, ncRNA, RNAi gibi epigenetik mekanizmalar kullanılarak tarımsal öneme sahip buğday, domates, mısır, fasulye gibi ürünler üzerinde çalışmalar sürdürülmektedir. Pestlere karşı önlem alınması için uygulanacak yöntemler de önem taşımaktadır. Bitki üretimi için böceklere karşı kullanılacak olan yeni yöntem ve uygulamaların çevreyle dost, insanlar ve hayvanlar için sağlıklı olması kritiktir. RNAi, bu metodlardan biridir. Sonuç olarak, biyoteknoloji alanında yaşanan gelişmelere paralel olarak epigenetik biliminin tarımsal uygulamalara sağlayacağı katkılar şüphesizdir. Fakat tüm bu gelişmelerin, ancak herkes için yeterli düzeyde ve eşit olarak besin kaynaklarının sağlandığı koşullarda anlamlı hale geleceği açıktır.

Kaynakça

Álvarez-Venegas, R., ve De-la-Peña, C. (2016). Editorial: Recent advances of epigenetics in crop biotechnology. *Frontiers in Plant*

Science, 7(413), 1-3.

Amasino, R.M. (1996). Control of flowering time in plants. *Current Opinion in Genetics & Development*, 6(4), 480-487.

Amasino, R.M. (2004). Vernalization, competence, and the epigenetic memory of winter. *The Plant Cell*, 16, 2553–2559.

Ambros, V. (2004). The functions of animal microRNAs. *Nature*, 431(7006), 350.

Bernier, G., ve Perilleux, C. (2005). A physiological overview of the genetics of flowering time control. *Plant Biotechnology Journal*, 3(1), 3-16.

Chailakhyan, M. K. (1937). Concerning the hormonal nature of plant development process. *Doklady Akad Nauk SSSR*, 16, 227-230.

Corbesier, L., ve Coupland, G. (2006). The quest for florigen: a review of recent progress. *Journal of Experimental Botany*, 57(13), 3395–3403.

de Andrade, E. C., & Hunter, W. B. (2016). RNA interference—natural gene-based technology for highly specific pest control (HiS-PeC). *In RNA Interference. InTech*.

Doğru, Ş. M., ve Balkaya, A. (2015). The different applications for shortening seed production and their effect mechanism in Cabbage. *Alatarm*, 14(2), 29-37.

Dünya Sağlık Örgütü, Dünyada Gıda Güvenliği ve Beslenmenin Durumu Raporu (2017). <http://www.who.int/nutrition/publications/foodsecurity/state-food-security-nutrition-2017-fullreport-en.pdf?ua=1> (Erişim: 03.07.2018)

Finnegan, E. J., Genger, R. K., Kovac, K., Peacock, W. J., ve Dennis, S. (1998). DNA methylation and the promotion of flowering by vernalization. *Plant Biology*, 95, 5824-5829.

Fu, W., Wu, K., ve Duan, J. (2007). Sequence and expression analysis of histone deacetylases in rice. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 356(4), 843-850.

Guzy-Wrobeska, J., Filek, M., Kaliciak, A., Szarejko, I., Macha'c'kova', I., Krekule, J., ve Barciszewska, M. (2013). Vernalization and photoperiod-related changes in the DNA methylation state in winter and spring rapeseed. *Acta Physiol Plant*, 35, 817-827.

Habu, Y. (2017). Rice Epigenomics: How does epigenetic manipulation of crops contribute to agriculture?. *In Plant Epigenetics* (pp. 427-443). Springer, Cham.

Jung, C., ve Müller, A. E. (2009). Flowering time control and applications in plant breeding. *Trends in Plant Science*, 14(10), 563-573.

Kalisz, S., ve Purugganan, M. D. (2004). Epialleles via DNA methylation: consequences for plant evolution. *Trends in Ecology & Evolution*, 19(6), 309-314.

Khan, A. R., Enjalbert, J., Marsollier, A. C., Rousselet, A., Goldringer, I. ve Vitte, C. (2013). Vernalization treatment induces site-specific DNA hypermethylation at the VERNALIZATION-A1 (VRN-A1) locus in hexaploid winter wheat. *BMC Plant Biology*, 13(209), 1-16.

Kim, S., Park, B., Kwon, S., Kim, J., Lim, M., Park, Y., Kim, D., Suh, S., Jin, Y., Ahn, J., ve Lee, Y. (2007). Delayed flowering time in Arabidopsis and Brassica rapa by the overexpression of FLOWERING LOCUS C (FLC) homologs isolated from Chinese cabbage (*Brassica rapa* L.: ssp. *pekinensis*). *Plant Cell Reports*, 26(3), 327-336.

Kusaba, M., Miyahara, K., Iida, S., Fukuoka, H., Takano, T., Sassa, H., ... ve Nishio, T. (2003). Low glutelin content1: a dominant mutation that suppresses the glutelin multigene family via RNA silencing in rice. *The Plant Cell*, 15(6), 1455-1467.

Lin, S., Wang, J., Poon, S., Su, G., Wang, S., ve Chiou, T. (2005). Differential regulation of flowering locus C expression by vernalization in Cabbage and Arabidopsis. *Plant Physiology*, 137, 1037-1048.

Lysenko, T. D. (1928). Vliianie termicheskogo faktora na prodolzhitel'nost' faz razvitiia rastenii. Opyt so zlakami i khlopchatnikom [Effect of the thermal factor on the duration of the developmental phases of plants. Experiments with cereals and cotton.] *Trudy Azerbaidzh Tsentra Op Sta*, Baku, 3.

Micheals, S.D. ve Amasino, R.M. (2000). Memories of winter: vernalization and the competence to flower. *Plant, Cell and Environment*, 23(11), 1145–1153.

Romera-Branchat, M., Andres, F., ve Coupland, G. (2014). Flowering responses to seasonal cues: What's new? *Current Opinion in Plant Biology*, 21, 120-127.

Şahin, Ö., Ayaz, G. B., ve Ayaz, U. (2018). Bitki epigenetiği. *Madde*,

Diyalektik ve Toplum, 1(2), 135-144.

Schmitz, R. J. (2014). The secret garden—epigenetic alleles underlie complex traits. *Science*, 343(6175), 1082-1083.

Werner, J. D., Borevitz, J. O., Uhlenhaut, N. H., Ecker, J. R., Chory, J., ve Weigel, D. (2005). FRIGIDA-Independent variation in flowering time of natural *Arabidopsis thaliana* accessions. *Genetics*, 170, 1197-1207.

Zeewart, J. A. D. (2008). Leaf-produced floral signals. *Current Opinion in Plant Biology*, 11(5), 541–547.

Zhang, Y. C., ve Chen, Y. Q. (2017). Epigenetic regulation by non-coding RNAs in plant development. *In Plant Epigenetics* (pp. 183-198). Springer, Cham.