


İklim Değişikliğinin Tahıl Virüs Hastalıkları Üzerine Etkisi

Impact of Climate Change on Cereal Virus Diseases

Sorumlu Yazar

Birol AKBAŞ*

birolakbas99@gmail.com

 0000-0001-9797-7536

Yazar

Ali Ferhan MORCA*

ferhan.morca@gmail.com

 0000-0002-7480-922X

Yazar

Sevgi COŞKAN*

sevgicoskan@gmail.com

 0000-0002-3589-6041

ÖZET

İklim değişikliğinin tüm ekosistemler üzerinde etkisini arttırarak, küresel ve bölgesel ölçeklerde hissedilir bir şekilde ortaya çıkması tahmin edilmektedir. Toprak ve su rejimleri değişime uğrayarak, tarım arazilerini verimsizleştirilmesi, zararlı-hastalıkların çoğalmasına sebep olması ve tüm tarımsal ekosistemleri tahrip etmesi beklenmektedir. İklim değişikliklerinin bitkisel üretimde verim ve kalite kaybına yol açacak olması, kayıpların nedeninin doğru bir şekilde anlaşılmasını engellemektedir. Dolayısıyla orta ve uzun vadede etkinliği artacağı düşünülen hastalıkların oluşturacağı risk dikkate alınmalıdır. Bu konuda çok yönlü birçok çalışma yapılması gereklidir. Aksi takdirde verimdeki düşüşler gibi olumsuzlukların çevre koşullarındaki değişimden kaynaklı olduğuna odaklanılarak viral patojenler gibi biyotik faktörler göz ardı edilecektir. Bu derlemede, stres altında kalan tarımsal ekolojide, tahıl hastalıklarının önemli bir zararlı organizma grubu olan viral patojenlerin gelecekte oluşturabileceği riskler değerlendirilmiştir. Özellikle böcek ve akar vektörü ile taşınan Barley yellow dwarf virus (BYDV), Wheat dwarf virus (WDV) ve Wheat streak mosaic virus (WSMV) gibi virüslerin yakın gelecekte Türkiye’de tahıl ekiliş alanlarında etkisini arttırabileceği öngörülürken, Soil-borne wheat mosaic virus (SBWMV), Barley yellow mosaic virus (BaYMV) gibi plazmodioforidler ile taşınan

* Ziraî Mücadele Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara

Gönderilme Tarihi : 17 Temmuz 2021

Kabul Tarihi : 26 Kasım 2021

virüslerin etkinliğinin lokasyona göre değişkenlik göstereceği öngörülmektedir. Dolayısıyla iklim değişikliğinin lokasyona ve vektöre bağlı olarak bazı tahıl virüslerinin etkinliğini arttırırken bazılarının etkinliğini azaltacağı yönündedir.

Anahtar Kelimeler: Buğday, hububat, virüs, ekstrem hava koşulları

ABSTRACT

Climate change is expected to emerge noticeably at global and regional scales, increasing its impact on the entire ecosystem. It is also anticipated that soil and water regimes will undergo change, making soils unproductive, getting worse the condition of agricultural lands, causing the increase of pests and diseases, and destroying all agricultural ecosystems. The risk of diseases that are thought to increase in the long term should be taken into account. However, the lack of sufficient work on this subject and the fact that climate changes lead to a loss of yield will prevent a correct understanding of the cause of losses. Many studies need to be done on this subject. Otherwise, biotic factors such as viral pathogens will be ignored, focusing on the fact that negativities such as decreases in productivity due to climate change are thought to be caused by changes in environmental conditions. In this review, the future risks of cereal viruses are evaluated in agricultural ecology under stress. It is predicted that while especially insect-borne viruses such as Barley yellow dwarf virus (BYDV), Wheat dwarf virus (WDV), and Wheat streak mosaic virus (WSMV) may increase their effect in cereal cultivation areas in Turkey in near future, plasmodiophorid borne viruses such as Soil-borne wheat mosaic virus (SBWMV) and Barley yellow mosaic virus (BaYMV) may vary from location to location. Therefore, climate change will increase the efficiency of some cereal viruses depending on the location and the vector while reducing the effectiveness of some.

Keywords: Wheat, cereal, virus, extreme weather conditions

GİRİŞ

Dünya ve ülkemizde en fazla ekimi yapılan tarımsal ürün olan tahıllar insan beslenmesinin de en temel besin grubunu oluşturur. Artan dünya nüfusunun 2050 yılına kadar en az 9,8, 2100 yılında ise 11,2 milyara ulaşacağı öngörülmekte ve bu nüfusun beslenmesi için tarımsal üretimin %70 oranında artması gerekmektedir (FAO, 2009; UN, 2015; UN, 2019). Yaşadığımız yüzyılın en büyük çevresel tehdidi olan küresel ısınma ve iklim değişikliği, toprak ve su ekosistemlerinde geri dönüşü olmayan hasara ve tarımsal üretim kaybına neden olabileceği düşünülmektedir. Tropik ve ılıman iklim kuşağında yetiştiriciliği yapılan tarımsal ürünlerin, özellikle de temel besin kaynağı olan ürünlerin (buğday, çeltik ve mısır gibi) iklim değişikliğinden verim ve kalite açısından olumsuz yönde etkileneceği öngörülmektedir. Doğal olarak ılıman ve subtropik iklim kuşağında yer alan ülkemizin tarımsal ürünlerinin ve özellikle de tahıl üretiminin önemli ölçüde olumsuz biçimde etkileneceği beklenmektedir. Küresel ısınma, bitkinin artan solunumuyla birlikte karbon kazanımını azaltarak, verimde düşüşe ve direncinin azalarak zararlı organizmaların istilasına açık hale gelmesine neden olmaktadır (Asseng, Foster ve Turner, 2011; Högy ve Fangmeier, 2008).

Birçok faktör tarafından sebep olunan küresel iklim değişikliği, bitki hastalıklarının oluşumundaki 3 ana parametre olan konukçu, patojen ve çevreyi de doğal olarak etkilemektedir. Değişen ekolojik koşullarda bitki hastalıklarının varlığı ve seyri de değişerek; hava, su ve toprağın kirlenmesi gibi antropojenik süreçler, ekzotik türlerin uzun mesafelere taşınması ve şehirleşme gibi faktörler ile birlikte iklim değişikliği bitki hastalıklarının değişen seviyelerde yayılmasına katkı sağlayabilecektir. Bununla birlikte, bitki patojenlerinin iklim değişikliğine adaptasyonunun hızlı bir şekilde gelişeceği düşünülmektedir. Artan sıcaklık ve karbondioksit (CO₂) konsantrasyonu konukçu-patojen ilişkisini de etkileyerek bazı bitki hastalıklarının tehdidini arttıracaktır. Bu durum bölgeye ve farklı hastalıklara göre doğal olarak olumlu veya olumsuz yönde gerçekleşebilir (Akbaş, 2018). Bitki hastalıkları doğrudan ya da dolaylı

olarak ortalama %14,1'e varan ürün kayıplarına yol açmaktadır (Agrios, 2005). Tarımsal üretimde bitki hastalıklarının önemli bir rolü olmasına rağmen, bitki hastalıkları üzerinde iklim değişikliğinin potansiyel etkisi üzerinde sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Bitkisel üretimi sınırlayan hastalıklar arasında yıllık 30 milyar dolara varan zarara yol açan virüsler önemli bir yer tutmaktadır (Sastrey ve Zitter, 2014). Yetiştiriciliği yapılan bitkileri viral hastalıklardan korumak için virüs epidemiyolojisi özellikle de konukçu bitki, vektör ve çevre koşulları arasındaki ilişki çok iyi kavranmalıdır. Virüslerin konukçu dışında hareket etme şansı olmadığı için dağılımı vektörlerine ve üretim materyallerinin hareketine bağlıdır. Dolayısıyla devamlılıkları ve yaygınlığı konukçu ile vektöre bağlı olduğu kadar iklim koşullarına da bağlıdır (Hull, 2013). İklim değişikliğinin de bitki virüs epidemiyolojisi üzerinde önemli etkiler yaratacağı kuvvetle muhtemeldir (Jones, 2009, 2016; Trębicki vd. 2017a; Trębicki ve Finlay, 2019; Trębicki vd. 2016). Bitki virüslerinin daha etkili bir şekilde mücadelesinin yapılabilmesi için epidemiyolojisinin çok daha iyi anlaşılması gereklidir (Trębicki vd. 2017a; Trębicki ve Finlay, 2019).

Bu derlemede değişen iklim koşulları altında insan beslenmesinin en temel ürün grubu olan tahıl üretimini olumsuz yönde etkileyen virüslerin genel eğilimleri ve epidemiyolojilerindeki değişimleri ile ilgili değerlendirme yaparak, bunların mücadelesinde gelecekte oluşabilecek sorunların azaltılmasına katkı sağlanması amaçlanmıştır.

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN TARIMA OLASI ETKİLERİ

Doğal fauna ve flora için en önemli bileşenlerden birisi de iklimdir. Doğal hayat, iklime göre şekillenir ve çeşitlenir. İklim, zamana ve bölgesel farklılıklara dayalı olarak tarımsal üretimin ve verimliliğin en belirleyici öğelerinden biridir. Tarım, dünyamız için hem ekonomik hem de sosyal olarak en önemli sektörlerin başında gelmektedir. Tarım sektörü başta olmak üzere hassas ekosistemler, günümüzün en önemli çevresel sorunların başında gelen küresel iklim değişikliğine karşı büyük ölçüde savunmasızdır.

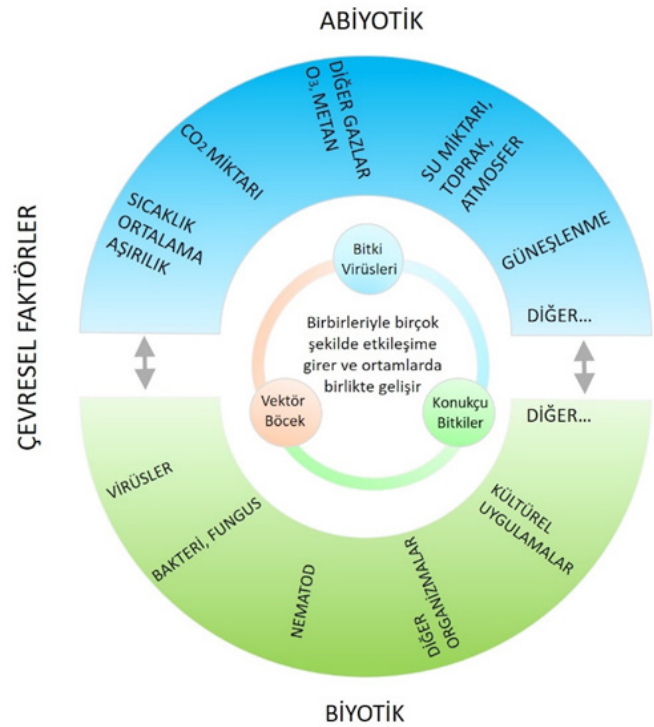
İnsanoğlunun faaliyetleri direkt olarak ekolojii etkileyerek küresel iklim değişikliğinin artmasına neden olmaktadır. Özellikle sera gazları, su buharı, CO₂, metan (CH₄), azotdioksit (N₂O), hidroflorokarbon (HFC) ve ozon (O₃) atmosferde radyasyona neden olarak yeryüzü yüzeyinin ısınmasına neden olmaktadır (Das vd. 2016). Hükümetler arası yapılan iklim değişikliği (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) panel raporuna göre atmosferik CO₂ konsantrasyonunun 21. yüzyılın sonunda 2 kattan daha fazla artacağı (410 ppm'den 800 ppm'e) bildirilmiştir (Anonymous, 2019). Artan sera gazlarının da küresel ısınmaya sebep olarak, 21. yüzyılın sonuna kadar ortalama sıcaklığın 1.1-3.5°C arasında artmasına neden olacağı beklenmektedir (Meehl vd. 2005). İklim değişikliği ile birlikte çoğunlukla soğuk ve sıcak hava akımları, kuraklık, aşırı yağış, sel ve fırtına gibi ekstrem hava olayları meydana gelir. Bu olağanüstü hava olaylarının sıklığı ve yoğunluğunun artması da kuvvetle muhtemel olacaktır. Bu durum erozyona, pestisit, gübre ve diğer kimyasalların yüzey ve yeraltı sularına karışmasına neden olacaktır. Tarımsal üretim büyük oranda bu gibi spesifik iklim koşullarından etkilenecektir. Dolayısıyla, tarımsal arazi koşulları, su rejimleri ve zararlı organizmaların çeşitliliği değişecektir. İklim değişikliğine hassas olan tropik bölgelerde tarımsal üretimde ve verimde azalmalar söz konusu olacaktır (Rosenzweig vd. 2002; Aydınalp ve Cresser, 2008;). Aynı zamanda sulama suyuna talep, ekim-dikim ve hasat zamanında kaymalar veya değişiklikler de söz konusu olacaktır.

Ürün gelişimi ve verim; yüksek atmosferik CO₂ konsantrasyonu, sıcaklık, yağış rejimindeki değişimler, kuraklık ve seller gibi olağanüstü hava fenomenlerinden dolayı önemli ölçüde etkilenir. Çeşitli faktörler tarafından sebep olunan iklim değişikliğinin tarımsal üretimi strese sokarak üretimi azaltacağı (Bindi ve Olesen, 2000), tahıl üretiminin ise %20-30 oranları arasında azalacağı öngörülmektedir (Darwin vd. 1995). Çin'de yapılan bir çalışmada 1970-2000 yılları arasındaki verilere dayanarak yetiştirme sezonundaki 1°C'lik sıcaklık artışının buğday veriminde %3-10'luk verim kaybına yol açtığı rapor

edilmiştir. Aynı çalışmada son 20 yılda ise eğer sulama ve gübreleme takviyesi yapılmadığı takdirde artan sıcaklığın verimde %4,5'lük bir verim kaybına yol açtığı bildirilmiştir (You vd. 2009). Fransa'da yapılan bir çalışmada iklim değişikliğinden dolayı buğday veriminin orta vadede (2037-2065) %3,5-12,9 oranında, uzun vadede (2100) ise %14,6-17,2 oranında azalacağı tahmin edilmektedir (Gammans vd. 2017). Bölgesel panel verilerine dayanılarak (NUTS2) yapılan tahminlere göre, Türkiye'de buğday veriminin iklim değişikliğinden dolayı 2100 yılının sonuna kadar %8-23 oranında azalacağı öngörülmektedir (Eruygur ve Özokçu, 2016). Sıcaklık artışı ile beraber görülmesi muhtemel olan kuraklığın verimde önemli düşüşlere sebep olacağı aşikârdır.

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ve TAHİL VİRÜSLERİ

Bitki virüsleri obligat (yalnızca hücre içinde yaşayan) parazitler olduğundan çoğalmaları ve yayılmaları konukçu ve vektörleri ile direkt bağlantılıdır. Bu ilişki birbirlerini etkileyen çeşitli abiyotik ve biyotik faktörler ile birlikte şekillenir. Abiyotik faktörler bitki, virüs ve vektörü arasındaki ilişkiyi direkt olarak belirler. Doğal olarak da hem abiyotik çevre (yani lokal iklim koşulları) hem de biyotik unsurlar tarafından da etkilenirler (Şekil 1). Yetiştirme koşulları altında etkili olan bu biyotik ve abiyotik faktörler, virüslerin yoğunluğunu ve şiddetini değiştirir (Tenllado ve Canto, 2020). Dolayısıyla atmosferik parametrelerdeki en ufak bir oynama virüsleri doğrudan ya da dolaylı olarak etkiler. Bitki virüs epidemiyolojisinin iklim değişikliği sonucu farklılaşacağı mutlak olmasına rağmen, yapılan çalışmalar daha çok ekonomik anlamda önem arz eden ve önemli ürün kayıplarına yol açan virüsler ile sınırlı kalmıştır (Luck vd. 2011; Jones ve Barbetti, 2012; Jones ve Naidu, 2019; Trębicki ve Finlay, 2019). Yükselen atmosferik CO₂, artan sıcaklık, suya erişimin değişmesi ve daha sık karşılaşılan ekstrem hava olayları, bitki virüslerini konukçu ve vektörleriyle birlikte direkt ya da dolaylı olarak etkileyecektir. Öngörülen iklim değişikliği bitki virüslerinin ve vektörlerinin yayılışını etkileyecektir. Bununla birlikte, iklim değişikliği bitki virüslerinin virülensliğini ve patojenitesini etkileyebilir, dolayısıyla hastalığın yoğunluğu ve şiddeti artabilir (Trębicki, 2020).



Şekil 1. Bitki virüsleri, vektörleri ve konukçu bitkilerin abiyotik ve biyotik çevre koşulları ile olan doğrusal ilişkisi (Tenllado ve Canto, 2020)

İklim değişikliği kapsamında, verim ve kalitedeki düşüşlerin çoğu birçok virüse mal edilmesine rağmen, iklim değişikliği ile birlikte bitki virüslerinin artan şiddetinden kaynaklandığı nadiren anlaşılmıştır. Öngörülen iklim değişikliği senaryolarının virüs şiddetini etkilediği ile ilgili çok az çalışma bulunmaktadır. Özellikle hem konukçu hem de vektör popülasyonunun azalmaya başladığı hassas dönemlerde, bazı virüsler için (ör. BYDV), iklim koşullarının virüs kaynağı üzerine direkt etkisi vardır.

Yukarıda da bahsedildiği gibi iklim değişikliğine bağlı olan sıcaklık, CO₂ ve suya erişilebilirlik gibi birkaç konu olmasına rağmen bunlardan sadece bitki virüs epidemiyolojisi ile ilgili daha çok tek bir faktör ele alınıp çalışılmıştır. En çok ele alınan faktör de özellikle son yıllarda sıcaklık olmuştur (Jones, 2009; Jones ve Barbetti, 2012; Jones, 2016; Jones ve Naidu, 2019). Yapılan çalışma ve değerlendirmeler, küresel sıcaklık artışının etkisinin daha geniş alanlarda daha ciddi virüs salgınlarına (ör. WSMV)

yol açacağı şeklinde olmuştur. Bu şiddetli salgınların bölgesel ve küresel araştırmacılar arasında çok ciddi ürün kayıplarına yol açacağı olasılığı düşünülmektedir (Singh vd. 2018). Araştırmalar iklim değişikliğinin WSMV'nin biyolojisi, ekolojisi, epidemiyolojisi ve vektörü (wheat curl mite-WCM, *Aceria tosichella*) üzerindeki etkileri nedeniyle bunların mücadelesine yönelik yeni yaklaşımlar ortaya konulması ve özel çabalar harcanması gerektiği sonucunu ortaya koymuştur.

Birçok durumda, sıcaklık/virüs epidemiyolojisi araştırmaları herhangi bir iklim değişikliği senaryosuyla ilişkili olmamasına rağmen, gelecek interaksyonları açıklamaya yardım amaçlı kullanılabilir. Sıcaklığın virüs varlığı, yayılışı, vektörler tarafından etkili bir şekilde kazanımı ve nakli üzerine etkisi, ayrıca vektör biyolojisi ve fizyolojisi üzerine etkisini belirlemek amacıyla virüs ve vektörleri için farklı sıcaklık seviye eşiklerinde araştırmalar yapılmıştır (Luck vd. 2011; Jones ve Barbetti, 2012; Parizipour vd. 2018; Trębicki ve Finlay, 2019).

Artan sıcaklıkların virüslerin inokulasyon etkinliğini arttırdığı, özellikle yaprak biti (*Rhopalosiphum padi*) ile taşınan virüslerin (BYDV) popülasyonları, morfolojisi ve virüsün ırkı arasında önemli bir değişim olduğunu göstermiştir (Finlay ve Luck, 2011). Örneğin *R. padi*'nin taşıma etkinliğinin 5°C'den 25°C'ye kadar olan sıcaklık yükselmesiyle önemli ölçüde arttığı rapor edilmiştir (Smyrnioudis vd. 2001). Sıcaklık artışı *R. padi*'nin BYDV-RMV izolatını kazanımını ve naklini daha etkili kılmıştır (Lucio-Zavaleta vd. 2001). Aynı şekilde daha sıcak geçen kışlar yaprak bitlerinin canlı kalmasına, dolayısıyla da BYDV'nin yayılımının daha kolay bir şekilde geniş alanlara ulaşmasına neden olmuştur (Mackerron vd. 1993). Farklı bir çalışmada, yaprak piresi (*Psammotettix alienus*) vektörü ile 25°C'de WDV taşınmasının optimum olduğu, yükselen sıcaklıkla (35°C) beraber taşınmasının ve belirti gelişiminin azaldığı bildirilmiştir (Parizipour vd. 2018). Başka bir çalışmada, artan sıcaklığın arpalarda Brome mosaic virus (BMV) ve Tobacco mosaic virus (TMV)'un karışık enfeksiyonlarında virüs varlığını etkileyebilmiştir.

TMV 31°C'de etkinliğini arttırarak sistemik enfeksiyona neden olurken, 20 ve 25°C etkili olamamıştır (Hamilton ve Nichols, 1977).

Türkiye de son 20 yılda tahıl viral hastalıklarının özellikle de BYDV enfeksiyonunun ülkenin tahıl potansiyeli yüksek olan alanlarda (özellikle Trakya zaman zaman da Orta Anadolu) görülen artışının, iklim değişikliği sonucu artan sıcaklıkla ilişkili olduğunu düşündürmektedir. İklim değişikliği ile beraber artan sıcaklıkların BYDV'nin yaprak biti vektöründeki popülasyonun artışına dolayısıyla da vektörü olan virüsün taşıma ve yayma sürecini arttırdığı görülmüştür. Nitekim 2016 yılı üretim periyodunda Edirne ve Kırklareli başta olmak üzere ülkenin farklı bölgelerindeki tahıl üretim alanlarında viral hastalıkların arttığı belirtilmiştir (İlbağı, 2020).

Aynı şekilde Orta Anadolu bölgesinde 2019-2020 yılları arasında kışlık buğday ve arpa ekiliş alanlarında gözlenen WDV enfeksiyon artışı bölgedeki iklim değişikliği ve sıcaklık artışıyla epidemisi artan yaprak piresi (*P.alienus*) popülasyonuna bağlanmıştır (Morca ve ark., 2021).

Değişen iklim koşulları altında CO₂'in bitki gelişimi, fizyolojisi ve besin kalitesi üzerine pozitif ya da negatif etkisi ile ilişkili birçok çalışma vardır (Garrett vd. 2006; Jones, 2009; Chakraborty ve Newton, 2011; Luck vd. 2011; Sutherst vd. 2011; Jones ve Barbetti, 2012; Velásquez vd. 2018; Jones ve Naidu, 2019; Trębicki ve Finlay, 2019;). Artan CO₂'in bitki virüsleri üzerindeki etkisine yönelik ilk çalışma tam 20 yıl önce tahıllar üzerinde yapılmıştır. BYDV ile bulaşık yulaf bitkileri (*Avena sativa*) yakın çevresindeki sağlıklı bitkilerle kıyaslandığında, biyokütle oranının, yaprak fotosentez seviyesinin, su kullanım etkinliğinin ve yapraktaki karbonhidrat seviyesinin daha yüksek olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla araştırmacılar, bitki virüs epidemiyolojisindeki değişikliklerin sonucu olarak, gelecekte virüs enfeksiyonunun artabileceği kanaatine varmışlardır (Malmström ve Field, 1997).

Avustralya'da yapılan bir çalışmada, yetiştirme ortamında artan serbest CO₂ miktarının tarlada yetişen buğdayın maruz kaldığı CO₂ seviyesinin (550 µmol mol⁻¹)

BYDV'nin yoğunluğu üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada, 4 yıllık veriler değerlendirilmiş ve %10'dan daha yüksek CO₂ seviyelerine maruz kalan buğday tarlalarında virüs yoğunluğunun arttığı görülmüştür (Trębicki vd. 2017b). Virüs yoğunluğundaki artış, artan virüs konsantrasyonu, vektör tarafından nakli ve kazanım etkinliği ya da vektör beslenme davranışı/tercihi ile doğru orantılı olabileceği bildirilmiştir (Jiménez-Martínez vd. 2004; Bosque-Pérez ve Eigenbrode, 2011; Ingwell vd. 2012; Mauck vd. 2012).

Artan CO₂'in virüs yoğunluğu/epidemiolojisinde gözlenen değişimler BYDV-PAV'ın artan titresini ile ilişkilendirilmiştir. Ürünün yetiştirme ortamındaki CO₂ konsantrasyonu ile virüs konsantrasyonu karşılaştırıldığında virüs yoğunluğunun %36'dan daha fazla olduğu gözlenmiştir (Trębicki vd. 2015). Bunun yanında, artan CO₂'nin BYDV belirtilerinin daha erken ve daha yoğun olarak görülmesine sebep olması (Vassiliadis vd. 2016), vektörler tarafından yayılışının artışına bağlanmıştır. Orta düzeyde sıcaklık artışlarına maruz kalan BYDV ile enfekteli buğday bitkileri daha düşük sıcaklıklardaki enfekteli buğday bitkileri ile karşılaştırıldığında daha erken ve daha yoğun virüs konsantrasyonuna maruz kaldığı görülmüştür (Nancarrow vd. 2014).

İklim değişikliğinden dolayı su noksanlığından kaynaklı kuraklığın bitki fizyolojisi ile ilişkisi geniş çapta çalışılmıştır. Ancak bitkiler üzerindeki sonuçları, konukçu direnci ve konukçu patojen ilişkisi tam olarak anlaşılammıştır (Szczeplaniec ve Finke, 2019). Bu konuda tahıl virüsleri ile ilgili birkaç münferit rapor bulunmaktadır.

Kuraklık stresinin Maize dwarf mosaic virus (MDMV)'un yoğunluğunu ve şiddetini artırdığı belirlenmiştir (Olsen vd. 1990). Kurak ve sıcak geçen kış mevsiminde BYDV'nin etkinliğinin arttığının, küresel ısınmayla birlikte epidemiyoloji yapma ihtimalinin olduğunun (Smyrnioudis vd. 2000) ve akut su stresi koşullarında BYDV enfeksiyonunun buğday gelişimini desteklediği rapor edilmiştir (Davis vd. 2015). Bunlara ilaveten BMV'nin kuraklığa karşı çeltik bitkisinin toleransını arttırdığı

rapor edilmiştir (Xu vd. 2008). Kuraklığın yanında yağış rejiminin değişmesiyle birlikte Kanada, ABD'nin kuzeyi, Avrupa'nın kuzeyi, kuzey doğu Asya ve Güney Amerika'nın güneyinde görülmesi muhtemel olan yağış artışı ile birlikte toprak sıcaklığındaki yükseliş plazmodioforidler ile taşınan SBWMV, Wheat spindle streak mosaic virus (WSSMV) gibi virüslerin etkinliğini arttırması belirtilmiştir (Jones, 2009; Kuhne, 2009).

Ekstrem hava olaylarından rüzgâr ve fırtınalar böcek vektörlerinin hareketlerini etkileyerek BYDV, WDV, WSMV gibi virüslerin etkinliğinin arttırdığı bildirilmiştir (Thresh, 1983; Irwin ve Thresh, 1988; Coutts vd. 2008).

SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

İklim değişikliğinin en önemli ögesi olan sıcaklık artışı, sanayi öncesi döneme göre küresel boyutta 1°C eşliğini, Türkiye'de ise ortalama 1,5°C'yi aşmıştır (Anonymous, 2021). Sıcaklık artışı, tarımsal üretim ve verimde en olumsuz etkiye sahip ögedir. Meteorolojik kayıtlar, tahılların yetiştirildiği alanlarda ortalama yıllık sıcaklıkların son yüzyılda yaklaşık 1°C arttığını ve önümüzdeki yüzyılda da artmaya devam etmesinin beklendiğini göstermektedir. Küresel sıcaklıktaki ortalama 1°C'lik artış, buğday, pirinç ve mısır verimini sırasıyla % 6.0, % 3.2 ve % 7.4 oranında azalttığını yapılan çalışmalarla ortaya koymuştur (Zhao et al. 2017). Sanayi devrimi sonrası atmosferin kompozisyonu değişmeye ve sera gazı emisyonları artmaya başlamıştır. En önemli sera gazı olan CO₂'in atmosferdeki birikimi sanayi devrimi öncesindeki değeri olan yaklaşık 280 ppm'den Mart 2018'de 407.96 ppm'e, 715 ppb olan CH₄ birikimi 2017 yılı sonunda 1859 ppb'e, N₂O birikimi 270 ppb'den 2017 yılında 330 ppb'ye çıkmıştır (Anonim, 2021a). Türkiye ortalama sıcaklıklarının da 1998 yılından bu yana (2011 yılı hariç) sürekli bir artış içinde olduğunu Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerince ifade edilmektedir (Anonim, 2021b). Akdeniz havzasının son 900 yıldaki iklim verilerini inceleyen NASA (National Aeronautics and Space Administration), Türkiye, Kıbrıs, İsrail, Ürdün, Filistin ve Suriye bölgesinde 1998'de başlayan kuraklığın, en ağır dönemini geçirdiğini rapor etmiştir (Cook et al. 2016).

Bu da iklim değişikliğinden dolayı ülkemizin karşı karşıya olduğu ekonomik ve sosyal risklerin her geçen gün arttığını göstermektedir.

Şüphesiz iklim değişikliği; tarımı, tarımsal ürün verimini ve kalitesini dolayısıyla küresel gıda güvenliğini etkilemeye devam edecektir. Artan atmosferik CO₂ salınımı, sıcaklık ve suya erişim ihtiyacı bitki, zararlı ve hastalık arasındaki ilişki kadar ürün gelişimi ve kalitesi üzerinde önemli sonuçlara neden olacağı düşünülmektedir (Das vd. 2016). Ürün kalitesi ve veriminde yıkıcı bir etki yapan bitki virüsleri, bu ilişkinin önemli bir parçasıdır. Son geliştirilen kontrol stratejileri virüsün yayılmasını ve şiddetini azaltabilir, ancak hastalık salgınları genelde yıkıcı olmaya devam edecek ve çoğu ürünleri etkileyecektir. İklim değişikliğinin virüs ve epidemiyolojisi üzerinde çok güçlü bir etkisi olduğu mutlaklıdır. Tarım üzerinde gelecekte iklimin etkilerinin artarak devam edecek olmasına rağmen bu kapsamda bitki virüslerinin durumu tam olarak anlaşılamamıştır. Bitki virüs epidemiyolojisi üzerinde sıcaklık ve suya erişimin etkisi üzerinde yapılmış birçok araştırma olmasına rağmen, bu araştırmalar genellikle belirli bir iklim değişikliği senaryosuna direkt olarak bağlı olmamıştır. Artan CO₂'in etkisi diğer patojenler ile karşılaştırıldığında bitki virüs epidemiyolojisi kapsamında çok daha az rapor edilmiştir. Ancak artan CO₂, sıcaklık ve su elde edilebilirliği arasındaki ilişkiye bağlı, önceki bölümde örneklerle ifade edildiği gibi sınırlı sayıda araştırma mevcuttur. Biyotik faktörlerle ilişkili olan başka bir karmaşık durum da bitki virüs epidemiyolojisini direkt ya da dolaylı olarak etkilemesidir. Böylece, iklim değişikliğinin bitki virüs epidemiyolojisi üzerinde nasıl bir etki yaratacağı hakkında konukçu, virüs, coğrafik lokasyon ve zamana bağlı olarak genel bildirimler olduğunda ihtiyatlı ve tedbirli olmak zorundayız. Aynı zamanda iklim değişikliği sonucunda bitki virüslerinin potansiyel artışı ile ilişkili elde edilebilir araştırma sonuçları ve derlemeler göz önünde bulundurulmalıdır. Aslında, gelecek iklim koşullarında bitki virüslerini anlamaya ciddi bir gereksinimin olduğu kadar, ürünlerimizi ve gıda güvenliğimizi korumaya ve bunlar üzerinde oluşabilecek zararı da tahmin etmeye ihtiyacımız vardır.

Tahıl virüslerinde iklim değişikliğinin özellikle de yaprak biti (BYDV), akar (WSMV) ve yaprak pireleri (WDV) ile taşınan virüslerin epidemiyolojisinde değişikliğe yol açacağı virüslerin olumsuz etkisini arttıracığı yüksek bir ihtimal olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle de daha uzun ve ılık geçen sonbaharlarda *R. padi* ve *P. alienus* gibi vektörlerin etkinliği ve yaşam döngüsü artacağından BYDV ve WDV'nin gelecekte daha da etkili olup artacağı rapor edilmiştir (Harrington, 2007; Huusela-Veistola, 2007).

Çevresel faktörler ve hastalık arasındaki sıkı ilişki şu anda yürütülen bitki sağlığı uygulamaları üzerinde iklim değişikliğinden dolayı modifikasyonlar yapılmasının gereksinimini ortaya çıkarmıştır. Son yılların meteorolojik verileri incelendiğinde, sonbahar mevsiminin ılıman geçtiği bölgelerde yapılan kışlık tahıl ekiminin bir ay geciktirerek hem vektör popülasyon yoğunluğundan kurtarmak hem de primer enfeksiyonu geciktirmenin mümkün olacağı görülmektedir. Nitekim İlbağı (2020) tarafından, Trakya bölgesinde kışlık buğday ekiminin 1-2 ay geciktirilerek (Kasım ayında yapılarak) buğday alanlarının BYDV enfeksiyonundan korunduğunu rapor edilmiştir.

Plazmodioforidler ile taşınan virüslerin (SBWMV, WSSMV vb.) ise ülkemizde kıraç alanlarda etkinliğinin azalacağı, yalnız yağış alan bölgelerimizde (Karadeniz) kış mevsiminin etkinliğini yitirmesinden dolayı görülme ihtimalinin artacağı düşünülmektedir. Değişen iklim koşulları dikkate alınarak yapılan münavebe, ekim nöbeti ve yabancı ot kontrolünde yaşanan ve yaşanması muhtemel viral problemleri engellemiş olacaktır.

İklim değişikliğinde, sürdürülebilir gıda üretiminin sağlanması için hastalık yönetim sistemlerinin yeniden gözden geçirilmesi gereklidir. Virüslere ve vektörlerine karşı geleneksel klasik yöntemlerin yanında, moleküler yöntemler de kullanılarak dayanıklı çeşitler geliştirilmeli, bunlara karşı mücadelede sürekli olarak aktif pozisyonda olunması gerekmektedir. Fiziksel, kültürel ve biyolojik mücadele taktikleri yeniden değerlendirilmeli; planlanan bütün araştırmalarda bu virüslere karşı geliştirilen yeni yöntem ve stratejilerde gelecek iklim senaryoları hesaba katılmalıdır.

Bahsedilen söz konusu bu senaryolar dikkate alınarak; yetiştiriciler, danışmanlar, ilgili teknik personel ve diğer tüm paydaşlar viral hastalıklar ile nasıl mücadele edileceği ve ürünlerin nasıl korunacağı hakkında bilgilendirilip eğitilmelidir. Ayrıca, konukçu-patojen ilişkilerine dayalı hastalık risk analizleri yapılmalı ve iklimdeki ani değişikliğin tahıl virüs hastalıklarını nasıl etkilediğini anlamaya yönelik (konukçu reaksiyonuna ve adaptasyonuna dayalı) araştırmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology. Elsevier Academic Press, 5th edition, 922p.*
- Akbaş, B. (2018). İklim değişikliği bitki hastalıklarının artmasına neden oluyor. *Türk Tarım Orman Dergisi, Eylül Ekim 2018, 72-74 s.*
- Anonim, (2021a). IPCC 1.5°C raporu. <https://www.birbucukderece.com/15derece rapor/> (Erişim tarihi: 27.09.2021).
- Anonim, (2021b). Yeni senaryolar ile Türkiye iklim projeksiyonları ve iklim değişikliği <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-degisikligi.aspx?s=projeksiyonlar> (Erişim tarihi: 27.09.2021).
- Anonymous, (2019). IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems. *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland:
- Aydınalp, C. and Cresser, M. S. (2008). The effects of global climate change on agriculture. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 3(5), 672-676.
- Asseng, S., Foster, I., Turner, N.C. (2011). The impact of temperature variability on wheat yields. *Glob. Chang. Biol.* 17, 997–1012.
- Bindi, M. and Olesen, J. E. (2000). "Agriculture", Assessment of Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe: *The Europe ACACIA Project (Ed).M. L. Parry. Norwich, United Kingdom: Jackson Environment Institute, University of East Anglia.*
- Bosque-Pérez, N. A. ve Eigenbrode, S. D. (2011). The influence of virus-induced changes in plants on aphid vectors: insights from luteovirus pathosystems. *Virus research*, 159(2), 201-205.
- Chakraborty, S. and Newton, A. C. (2011). Climate change, plant diseases and food security: an overview. *Plant pathology*, 60(1), 2-14.
- Cook, B. I., Anchukaitis, K. J., Touchan, R., Meko, D. M., & Cook, E. R. (2016). Spatiotemporal drought variability in the Mediterranean over the last 900 years. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(5), 2060-2074.
- Coutts, B. A., Strickland, G. R., Kehoe, M. A., Severtson, D. L., Jones, R. A. C. (2008). The epidemiology of Wheat streak mosaic virus in Australia: case histories, gradients, mite vectors, and alternative hosts. *Australian Journal of Agricultural Research*, 59:844–53.
- Darwin, R., Tsigas M., Lewandrowski, J. and Ranases, A. (1995). World Agriculture and Climate Change: Economic Adaptations. Agricultural Economic Report 703, *U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service*, Washington, D.C.
- Das, T., Majumdar, M. H. D., Devi, R. T. and Rajesh, T. (2016). Climate change impacts on plant diseases. *SAARC Journal of Agriculture*, 14(2), 200-209. doi: <http://dx.doi.org/10.3329/sja.v14i2.31259>.
- Davis, T. S., Bosque-Pérez, N. A., Foote, N. E., Magney, T., Eigenbrode, S. D. (2015). Environmentally dependent host-pathogen and vector-pathogen interactions in the Barley yellow dwarf virus pathosystem. *Journal of Applied Ecology*, 52(5), 1392-1401.
- Eruygur, O. and Özokcu, S. (2016). Impacts of climate change on wheat yield in Turkey: A heterogeneous panel study. *Ekonomik Yaklaşım*, 27(101), 219-255.
- FAO. (2009). Food and Agriculture Organization. *How to feed the World in 2050-executive summary. Proceedings of the Expert Meeting on How to Feed the World in 2050.* Rome, Italy:
- Finlay, K. J. and Luck, J. E. (2011). Response of the bird cherry-oat aphid (*Rhopalosiphum padi*) to climate change in relation to its pest status, vectoring potential

- and function in a crop–vector–virüs pathosystem. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 144: 405–421
- Gammans, M., Mérel, P. and Ortiz-Bobea, A. (2017). Negative impacts of climate change on cereal yields: statistical evidence from France. *Environmental Research Letters*, 12(5), 054007.
- Garrett, K. A., Dendy, S. P., Frank, E. E., Rouse, M. N., & Travers, S. E. (2006). Climate change effects on plant disease: genomes to ecosystems. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 44, 489-509.
- Hamilton, R. I. and Nichols, C. (1977). The influence of bromegrass mosaic virus on the replication of tobacco mosaic virus in *Hordeum vulgare*. *Phytopathology*, 67:484–9.
- Harrington, R. (2007). Viruses, vectors, host plants and environment: from complexity to control. *Abstracts NJF Seminar 402: Virus Vector Management in a Changing Climate*, Kristianstad, 9-11 October 2007. pp. 9-11
- Högy, P. and Fangmeier, A. (2008). Effects of elevated atmospheric CO₂ on grain quality of wheat. *J. Cereal Sci.*, 48,580–591.
- Hull, R. (2013). *Plant Virology*. Academic press.
- Huusela-Veistola, E. (2007). Overview of vectors of cereal viruses in Finland. *In: NJF Report, Nordic Association of Agricultural Scientists*, 3(5), pp. 27-28.
- İlbağı, H. (2020). Tahıllarda sarı cücelik virüs hastalıkları ve mücadele yöntemleri. *Bisab yayınları*, Ankara. 146s.
- Ingwell, L. L., Eigenbrode, S. D., Bosque-Pérez, N. A. (2012). Plant viruses alter insect behavior to enhance their spread. *Scientific reports*, 2(1), 1-6.
- Irwin, M. E., Thresh, J. M. (1988). Long-range aerial dispersal of cereal aphids as virus vectors in North America. *Philosophical Transactions of the Royal Society, Series B-Biological Sciences*, 1988:321:421–46.
- Jiménez-Martínez, E. S., Bosque-Pérez, N. A., Berger, P. H., Zemetra, R. S., Ding, H., Eigenbrode, S. D. (2004). Volatile cues influence the response of *Rhopalosiphum padi* (Homoptera: Aphididae) to Barley yellow dwarf virus–infected transgenic and untransformed wheat. *Environmental Entomology*, 33(5), 1207-1216.
- Jones, R. A. C. (2009). Plant virus emergence and evolution: origins, new encounter scenarios, factors driving emergence, effects of changing world conditions, and prospects for control. *Virus Res.*, 141 (2), 113–130.
- Jones, R. A. and Barbetti, M. J. (2012). Influence of climate change on plant disease infections and epidemics caused by viruses and bacteria. *Plant Sciences Reviews*, 22, 1-31.
- Jones, R. A. C. (2016). Future Scenarios for Plant Virus Pathogens as Climate Change Progresses. *Advances in Virus Research*, Vol. 95. Elsevier, pp. 87–147.
- Jones, R. A. and Naidu, R. A. (2019). Global dimensions of plant virus diseases: Current status and future perspectives. *Annual review of virology*, 6, 387-409.
- Kuhne, T. (2009). Soil-borne viruses affecting cereals: known for long but still a threat. *Virus Research*, 141:174–83.
- Lucio-Zavaleta, E., Smith, D. M., Gray, S. M. (2001). Variation in transmission efficiency among Barley yellow dwarf virus-RMV isolates and clones of the normally inefficient aphid vector, *Rhopalosiphum padi*. *Phytopathology*, 91(8), 792-796.
- Luck, J., Spackman, M., Freeman, A., Trebicki, P., Griffiths, W., Finlay, K., hakraborty, S. (2011). Climate change and diseases of food crops. *Plant Pathology*, 60(1), 113-121.
- Mackerron, D., Boag, B., Duncan, J. M., Harrison, J. G. and Woodford, J. A. T. (1993). The prospect of climate change and its implications for crop pests and diseases. P. 181-93. In D. Ebbels (Eds.) *Plant Health and the European Single Market*. Farnham: British Crop Production Council
- Malmström, C. M., & Field, C. B. (1997). Virus-induced differences in the response of oat plants to elevated carbon dioxide. *Plant, Cell & Environment*, 20(2), 178-188.
- Mauck, K., Bosque-Pérez, N. A., Eigenbrode, S. D., De Moraes, C. M., Mescher, M. C. (2012). Transmission mechanisms shape pathogen effects on host–vector interactions: evidence from plant viruses. *Functional Ecology*, 26(5), 1162-1175.

- Meehl, G.A., Washington, W.M., Collins, W.D. (2005). How much more global warming and sea level rise. *Science*, 307, 1769–72.
- Morca, A.F., Coskan, S., Akbas, B. (2021). Phylogenetic diversity of barley- and wheat-specific forms of Wheat dwarf virus in Turkey. *Cereal Research Communications*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42976-021-00219-0>
- Nancarrow, N., Constable, F. E., Finlay, K. J., Freeman, A. J., Rodoni, B. C., Trębicki, P., Luck, J. E. (2014). The effect of elevated temperature on Barley yellow dwarf virus-PAV in wheat. *Virus Research*, 186, 97-103.
- Olsen, A. J., Pataky, J. K., D'arcy, C. J. and Ford, R. E. (1990). Effects of drought stress and infection by Maize dwarf mosaic virus (MDMV) in sweet corn. *Plant Disease*, 74: 147-151.
- Parizipour, M. H. G., Ramazani, L., Sardrood, B. P. (2018). Temperature affected transmission, symptom development and accumulation of Wheat Dwarf Virus. *Plant Protect. Sci.* Vol. 54, 2018, No. 4: 222–233.
- Rosenzweig, C., Tubiello, F. N., Goldberg, R., Mills, E., Bloomfield, J. (2002). Increased crop damage in the US from excess precipitation under climate change. *Global Environmental Change*, 12(3), 197-202.
- Sastry, K. S., Zitter, T. A. (2014). Management of Virus and Viroid Diseases of Crops in the Tropics. *Plant Virus and Viroid Diseases in the Tropics*. Springer, pp. 149–480.
- Singh, K., Wegulo, S. N., Skoracka, A., Kundu, J. K. (2018.) Wheat streak mosaic virus: a century old virus with rising importance worldwide. *Molecular Plant Pathology*, 19(9), 219 3–2206.
- Smyrnioudis, I. N., Harrington, R., Katis, N., Clark, S. J. (2000). The effect of drought stress and temperature on spread of barley yellow dwarf virus (BYDV). *Agricultural and Forest Entomology*, 2(3), 161-166. <https://doi.org/10.1046/j.1461-9563.2000.00064.x>
- Smyrnioudis, I. N., Harrington, R., Hall, M., Katis, N., Clark, S. J. (2001). The effect of temperature on variation in transmission of a BYDV PAV-like isolate by clones of *Rhopalosiphum padi* and *Sitobion avenae*. *European Journal of Plant Pathology*, 107(2), 167-173.
- Sutherst, R. W., Constable, F., Finlay, K. J., Harrington, R., Luck, J., Zalucki, M. P. (2011). Adapting to crop pest and pathogen risks under a changing climate. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(2), 220-237.
- Szczepaniec, A. and Finke, D. (2019). Plant-vector-pathogen interactions in the context of drought stress. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 262.
- Tenllado, F., Canto T. (2020). Effects of a changing environment on the defenses of plants to viruses. *Current Opinion in Virology*, 42:40–46. <https://doi.org/10.1016/j.coviro.2020.04.007>
- Thresh, J. M. (1983). The long-range dispersal of plant viruses by arthropod vectors. *Philosophical Transactions of the Royal Society, Series B-Biological Sciences*, 302:497–528.
- Trębicki, P., Nancarrow, N., Cole, E., Bosque-Pérez, N. A., Constable, F. E., Freeman, A. J., Fitzgerald, G. J. (2015). Virus disease in wheat predicted to increase with a changing climate. *Global Change Biology*, 21(9), 3511-3519.
- Trębicki, P., Vandeger, R. K., Bosque-Perez, N .A., Powell, K. S., Dader, B., Freeman, A. J.,
- Yen, A. L., Fitzgerald, G. J., Luck, J. E., (2016). Virus infection mediates the effects of elevated CO₂ on plants and vectors. *Scientific Reports*, 6, 22785.
- Trębicki, P., Dáder, B., Vassiliadis, S., Fereres, A. (2017a). Insect–plant–pathogen interactions as shaped by future climate: effects on biology, distribution, and implications for agriculture. *Insect Science*, 24 (6), 975–989.
- Trębicki, P., Nancarrow, N., Bosque-Pérez, N. A., Rodoni, B., Aftab, M., Freeman, A., ... and Fitzgerald, G. J. (2017b). Virus incidence in wheat increases under elevated CO₂: A 4-year study of yellow dwarf viruses from a free air carbon dioxide facility. *Virus research*, 241, 137-144.
- Trębicki, P., Finlay, K. (2019). Pests and diseases under climate change; its threat to food security. *Food Security Climate Change*, 229–250.
- Trębicki, P. (2020). Climate change and plant virus epidemiology. *Virus Research*, 286:1-7.

- U.N. (2015). World population prospects: the 2015 revision, key findings and advance tables. United Nations Department of Economic and Social Affairs and Population Division, Working Paper No ESA/P/WP. 241.
- U. N. (2019). World population prospects 2019: Highlights. New York, NY: United Nations Department for Economic and Social Affairs.
- Xu, P., Chen, F., Mannas, J. P., Feldman, T., Sumner, L. W., Roossinck, M. J. (2008). Virus infection improves drought tolerance. *New Phytologist*, 180(4):911-21. doi: 10.1111/j.1469-8137.2008.02627.x. Epub 2008 Sep 23. Erratum in: *New Phytologist*, 2009;184(1):275. PMID: 18823313.
- You, L., Rosegrant, M. W., Wood, S., Sun, D. (2009). Impact of growing season temperature on wheat productivity in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(6-7), 1009-1014.
- Velásquez, A. C., Castroverde, C. D. M., He, S. Y. (2018). Plant-pathogen warfare under changing climate conditions. *Current Biology*, 28(10), R619-R634.
- Vassiliadis, S., Plummer, K. M., Powell, K. S., Trębicki, P., Luck, J. E., and Rochfort, S. J. (2016). The effect of elevated CO₂ and virus infection on the primary metabolism of wheat. *Functional Plant Biology*, 43(9), 892-902.
- Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X., Lobell, D. B., Huang, Y., & Asseng, S. (2017). Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(35), 9326-9331.