

“Akselerasi Hasil Penelitian dan Optimalisasi Tata Ruang Agraria untuk Mewujudkan Pertanian Berkelanjutan”

[Dampak Perubahan Karakter Morfofisiologi Gulma Akibat Perubahan Iklim Global] : *Review*

Ai Yanti Rismayanti

*Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Garut
Jl. Raya Samarang 52A, Garut, Jawa Barat 44151*

E-mail : aiyanti.rismayanti@uniga.ac.id

Abstrak

Saat ini dunia menghadapi ancaman perubahan iklim yang lebih besar dan akan berdampak pada keanekaragaman, pembentukan dan pengelolaan gulma. Respons gulma terhadap perubahan iklim akan terlihat secara jelas pada karakteristik morfologi dan fisiologis gulma. Tujuan ulasan ini untuk menganalisis efek negatif perubahan karakter morfologi gulma akibat perubahan iklim global dan arah pengendaliannya. Ulasan berisi kumpulan data sekunder dari berbagai artikel ilmiah publikasi di *Google Scholar* dan sumber lain yang berkaitan dengan perubahan morfofisiologi gulma dan perubahan iklim. Kajian ini menyimpulkan bahwa perubahan anatomi, morfologi dan fisiologis gulma akibat perubahan iklim akan meningkatkan ketebalan daun, mengurangi jumlah stomata dan konduktansi berakibat pengendalian lebih sulit dan mahal. Fokus penelitian di masa depan diarahkan pada kajian hibridisasi konvensional dan prosedur seleksi, pemuliaan ideotipe, pembiakan heterosis, hibridisasi yang luas, dan rekayasa genetik.

Kata kunci: fisiologi, gulma, herbisida, morfologi, perubahan iklim.

Pendahuluan

Meningkatnya konsentrasi karbon dioksida (CO₂) dan perubahan suhu serta curah hujan global menjadi perhatian utama bagi pengelolaan gulma dan produksi tanaman saat ini. Tinjauan ini berfokus pada dampak faktor perubahan iklim terhadap pertumbuhan gulma dan potensi variasi kemampuan herbisida dalam kondisi iklim yang berubah. Gulma cenderung menunjukkan ketahanan yang lebih besar dan adaptasi yang lebih baik terhadap perubahan konsentrasi CO₂ dan kenaikan suhu dalam persaingan dengan tanaman karena kumpulan gen yang beragam dan plastisitas fisiologis yang lebih besar. Gulma dengan jalur fotosintesis C₃

dan C4 dapat menunjukkan respons yang berbeda terhadap tingkat dan suhu CO₂ yang lebih tinggi, yang dapat memengaruhi dinamika persaingan tanaman - gulma. Selain dampak positifnya terhadap pertumbuhan gulma, faktor perubahan iklim dapat memengaruhi efektivitas dan efisiensi penggunaan pada banyak jenis herbisida. Hal tersebut menjadikan pengelolaan gulma sebagai tantangan utama untuk produksi tanaman yang berkelanjutan.

Upaya meningkatkan pemahaman tentang dampak faktor perubahan iklim terhadap efektivitas herbisida, sangat penting untuk mengevaluasi efek kondisi lingkungan pada berbagai cara kerja herbisida. Faktor lingkungan seperti CO₂, cahaya, suhu, kelembapan relatif, dan kelembapan tanah secara berbeda memengaruhi serapan, translokasi, dan aktivitas kimia herbisida yang berbeda. Selain itu, interaksi di antara faktor-faktor lingkungan ini mungkin memiliki efek yang tidak dapat diprediksi pada aktivitas herbisida. Penelitian ekstensif tentang dampak faktor perubahan iklim dan interaksinya pada semua herbisida yang umum digunakan diperlukan untuk memahami implikasi pengelolaan gulma dalam skenario iklim masa depan. Iklim adalah kekuatan utama dalam sistem lingkungan bumi, dan bahkan perubahan kecil dalam iklim dapat menimbulkan dampak yang kompleks dan serius terhadap lingkungan dan alam. Perubahan iklim di masa lalu telah terjadi selama ratusan bahkan ribuan tahun, namun perubahan baru-baru ini mendapat perhatian lebih luas karena pergeseran radikal yang terjadi hanya dalam beberapa dekade.

Pergeseran iklim regional dan global ini telah mulai memengaruhi kehidupan di planet kita dalam berbagai cara, tetapi efek pada pertanian dan suplai makanan mungkin menjadi salah satu ancaman terbesar untuk mempertahankan kehidupan. Meskipun pemahaman kita tentang bagaimana perubahan iklim memengaruhi pertanian masih berkembang, bukti dari percobaan jangka pendek menunjukkan bahwa perubahan iklim dapat dipengaruhi dalam beberapa cara. Produktivitas tanaman baik dari segi kualitas maupun kuantitas, dan praktik agronomi seperti irigasi, pemupukan, pengelolaan gulma, dan pengendalian hama dapat terpengaruh secara signifikan akibat perubahan iklim. Selain itu, dampak terhadap kesuburan tanah akibat perubahan bahan organik tanah, drainase, dan erosi dapat memengaruhi produksi tanaman secara tidak langsung. Penilaian dampak iklim global faktor perubahan (khususnya peningkatan konsentrasi CO₂ dan kenaikan suhu) pada pertanian dan praktik pertanian penting untuk mengantisipasi dan mengadaptasi praktik yang memaksimalkan produksi pertanian dalam skenario iklim masa depan. Mencapai produksi tanaman yang berkelanjutan di lingkungan yang tidak dapat diprediksi memerlukan pendekatan holistik yang berfokus tidak

hanya pada peningkatan produktivitas tanaman tetapi juga pengelolaan mikroorganisme pengganggu yang efektif seperti gulma.

Iklim kita berubah dengan cepat sebagai respons terhadap aktivitas antropogenik (IPCC, 2019). Perubahan iklim kemungkinan akan memengaruhi berbagai aspek sistem pertanian yang saling berhubungan (IPCC, 2019), dengan implikasi substansial bagi pengelolaan gulma. Meskipun sifat manusia untuk mengabaikan risiko masalah skala besar seperti perubahan iklim yang tampak jauh atau abstrak (Jones, *et.,al*, 2017), petani di daerah yang terkena dampak paling parah di dunia sudah beradaptasi terhadap dampak perubahan iklim. Menanggapi meningkatnya kekeringan, para petani Bangladesh melaporkan melakukan penampungan air hujan, mengelola gulma dan menerapkan strategi tanam baru (Hossain, *et.,al*, 2016). Organisasi internasional tentang perubahan iklim (IPCC, 2014), memperingatkan bahwa mitigasi diperlukan segera, karena kondisi yang kurang menggembirakan berhubungan dengan pembangunan pertanian berkelanjutan di beberapa wilayah di dunia. Integrasi strategi adaptasi dan mitigasi di lahan (Sivakumar & Stefanski, 2006), ke dalam praktik pertanian yang praktis dan dapat diterapkan secara lokal dan merupakan kebutuhan mendesak (Johansen, 2016).

Metode

Pencarian metadata ulasan menggunakan *Publish or Perish*, dilanjutkan dilakukan analisis menggunakan *tools bibliometrik VOS Viewers* untuk pemetaan *novelty*. Ulasan ini bersumber dari data sekunder dari *Google Scholar, Science Direct, Scopus, PubMed, Springer, Web of Science*, dan perpustakaan online *Wiley*. Ulasan ini disusun berdasarkan hasil seleksi dan elaborasi 52 artikel ilmiah yang diterbitkan mulai tahun 1995 hingga 2022. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian metadata adalah fisiologi, gulma, herbisida, morfologi, dan perubahan iklim.

Hasil dan Pembahasan

Dampak Perubahan Iklim terhadap Pertumbuhan Gulma

Beban atmosfer saat ini dari dua yang paling penting gas rumah kaca (karbon dioksida dan metana), belum pernah terjadi sebelumnya (Petit, *et.,al*, 1999) dan telah muncul sebagai tantangan ekologi terbesar abad ke-21 (Kang dan Banga, 2013). Dampak perubahan iklim terhadap vegetasi berumput dapat diwujudkan dalam bentuk perluasan jangkauan geografis

(migrasi atau pengenalan ke daerah baru), perubahan spesies siklus hidup, dan dinamika populasi. Migrasi gulma kemudian menghasilkan struktur dan komposisi yang berbeda komunitas gulma dalam ekosistem alami dan yang dikelola. Melalui perubahan iklim, Peters *et.,al* (2014) menguraikan tiga jenis pergeseran yang berbeda dalam vegetasi (kisaran, ceruk, dan pergeseran sifat), terjadi pada skala yang berbeda (lanskap, komunitas, dan populasi skala), masing-masing. Perubahan dalam biologi gulma, ekologi, dan potensi interferensi, di belakang perubahan iklim, akan menghasilkan interaksi tanaman-gulma yang kompleks yang memerlukan mekanisme adaptif alternatif. Ada sebuah persepsi umum bahwa perubahan iklim akan menghasilkan perbedaan pola pertumbuhan antara tanaman dan gulma, sebagai gulma utama dunia memiliki jalur C4 dan mereka akan menjadi lebih kompetitif, meskipun hal ini tentu bukan masalah sederhana karena mekanisme adaptif pada spesies.

Patterson (1995), pertama kali mempertimbangkan konsekuensi perubahan iklim terhadap pertumbuhan, fenologi dan distribusi gulma. Ziska dan Dukes (2011), telah merangkum literatur tentang potensi dampak kenaikan CO₂ dan perubahan iklim pada biologi gulma serta beberapa peneliti yaitu Kathiresan dan Gualbert, 2016), Ramesh, *et.,al* (2017), Roger, *et.,al* (2015), serta Ziska, dan McConnell (2016), mengulas pengaruh terhadap pada demografi, (Bradley, *et.,al*, 2010), Clements *et.,al* (2014), dan Peters *et.,al* (2014), dan kontrol kimia yang dikemukakan oleh Ziska (2016). Dari sudut pandang fisiologis, peningkatan CO₂ biasanya menghasilkan peningkatan (a) biomassa gulma, (b) rasio C/N jaringan daun, (c) rasio akar: dan pucuk (Chadha, 2020), (Torresen, *et.,al*, 2020), Ziska dan Dukes (2012). Studi kompetisi tentang dampak CO₂ pada tanaman dengan gulma menunjukkan hasil yang beragam, dengan gulma disukai dalam 8 dari 15 studi yang ditinjau oleh (Korres, *et.,al*, 2016). Peningkatan suhu dapat memfasilitasi penyebaran gulma invasif (Clements, *et.,al*, 2014), dan plastisitas fenotipik yang tinggi kemungkinan akan mengadaptasi banyak spesies gulma agar berhasil dalam kondisi suhu dan kelembapan yang semakin bervariasi. Selain itu, gulma berkembang pesat (Neve, *et.,al*, 2018), yang dapat berkontribusi pada perluasan jangkauan yang lebih besar di bawah perubahan iklim daripada yang diperkirakan dengan kondisi saat ini (Clements dan Ditommaso, 2011).

Perubahan Morfologi dan Fisiologi Gulma Akibat Cekaman Suhu

Perubahan iklim diperkirakan akan mendorong pergeseran adaptif dalam spesies tetapi bekerja sampai saat ini pada tanaman telah berfokus hampir secara eksklusif pada fenologi (Walther, *et.,al*, 2002). Sebuah bukti menunjukkan bahwa morfologi daun bersifat adaptif

signifikansi terkait dengan iklim. Kumpulan daun fosil digunakan untuk menyimpulkan paleoklimat, terutama suhu (Peppe, 2011). Morfologi daun telah dibuktikan bervariasi dalam spesies sepanjang iklim spasial (garis lintang dan ketinggian) gradien (Byars, *et.,al*, 2007), dan daun yang lebih luas lebih banyak rentan terhadap suhu ekstrem (Ackerly, *et.,al*, 2002). Pada studi sebelumnya, ukuran daun dalam spesies menurun secara spasial dengan peningkatan suhu rata-rata, penurunan curah hujan atau meningkatnya ketinggian (Wu, *et.,al*, 2010). Analisis variasi morfologi dan genetik pada hewan telah menunjukkan korelasi, adaptasi atau plastisitas sepanjang gradien iklim dan pergeseran sepanjang gradien terkait dengan perubahan iklim.

Sebelumnya studi morfologi daun dalam spesies tanaman bersama gradien iklim telah berfokus pada ketinggian lokal gradien (Hoffmann, *et.,al*, 2019), (Mediavilla *et.,al*, 2011), Gardner *et.,al*, 2009), mikrohabitat (Castro, *et.,al*, 1997), atau perubahan sepanjang gradient skala besar. Antara tahun 1950 dan 2005, suhu maksimum rata-rata naik 1,28C, sedangkan rata-rata curah hujan sedikit berubah di wilayah studi (Castro *et.,al*, 1998). Hasil penelitian memperkirakan bahwa lebar daun seharusnya menurun sementara dalam beberapa spesies. Secara morfologi pergeseran terkait dengan perubahan iklim kontemporer telah dilaporkan jarang pada hewan (Suppiah *et.,al*, 2006), tetapi tidak pada tanaman. Herbarium dan spesimen yang dikumpulkan di lapangan mengamati perubahan morfologi daun *Dodonaea viscosa* subsp. di Australia Selatan selama kurang lebih 120 tahun dalam konteks garis lintang 58 gradien (spesimen herbarium) dan lokal gradien ketinggian 500 m (sampel lapangan). Hipotesis menyebutkan bahwa morfologi daun terstruktur secara spasial sepanjang gradien lintang dan ketinggian dan perubahan iklim kontemporer telah mendorong penyempitan lebar daun karena peningkatan musim panas dengan suhu maksimum.

Sebaran Gulma invasif Akibat Perubahan Iklim

Gulma C3 (menggunakan salah satu dari dua jenis jalur fotosintesis, yang merespons tingkat yang lebih tinggi dari CO₂) tersebut sebagai *parthenium* (*Parthenium hysterophorus*) dapat tumbuh lebih cepat di bawah tingkat karbon dioksida yang lebih tinggi dan menjadi lebih kompetitif (Suppiah *et.,al*, 2006). CO₂ dapat memengaruhi tanaman dan ukuran daun, ukuran biji dan produksi, nutrisi daun untuk herbivora, toksisitas tanaman dan produksi polen. Gulma pengikat nitrogen, seperti sapu, gorse dan akasia terutama dapat bermanfaat karena pertumbuhan dirangsang oleh CO₂ tidak akan dibatasi oleh rendahnya kadar nitrogen (Poorter dan Navas, 2003). Pada CO₂ yang tinggi, tanaman C3 cenderung menjadi lebih menghemat air (Ghannoum, *et.,al*, 2007). memungkinkan potensi terjadinya perpindahan gulma seperti akasia

berduri dan tanaman merambat karet (*Cryptostegia grandiflora*) untuk pindah ke habitat yang lebih kering.

Tanaman merambat merespons dengan kuat tingkat CO₂ yang lebih tinggi (Gallagher *et.,al*, 2007), dan ada banyak tanaman merambat invasif yang sangat merusak (mis.*Macfadyena* dan sulur karet) yang bisa menguntungkan. Tingkat CO₂ yang lebih tinggi cenderung mengurangi efektivitas dari herbisida, bahan kimia utama yang digunakan untuk mengontrol gulma (Ziska dan Goins, 2006). Jika burung pemakan buah datang lebih awal dan bermigrasi, maka dipastikan akan menghasilkan biji gulma serta proses penyebaran lebih luas. Suhu yang lebih tinggi dan faktor lainnya cenderung meningkatkan siklus perkembangbiakan serangga dan menyediakan lebih banyak penyerbukan gulma (Dukes. 2000). Berbagai hewan, termasuk spesies invasif, pindah ke wilayah yang baru dalam menghindari perubahan iklim, dan cenderung menyebarkan gulma yang menguntungkan bagi perkembangan gulma.

Efektivitas Herbisida Akibat Cekaman Suhu

Respons terhadap kekeringan dalam kondisi agronomi tergantung pada spesies dan kondisi budidaya. Setiap faktor yang meningkatkan tekanan lingkungan pada tanaman dapat membuat tanaman lebih rentan terhadap serangan serangga dan patogen tanaman dan kurang kompetitif dengan gulma (Dukes, *et.,al*, 2009). Perubahan iklim memengaruhi gulma sama seperti tanaman. CO₂ yang lebih tinggi akan merangsang fotosintesis dan pertumbuhan, mengurangi Evapotranspirasi (ET) dan meningkatkan *Water Use Efficiency* (WUE). Gulma akan menjadi lebih kompetitif dengan adanya variasi genetik yang lebih besar, plastisitas fisiologis serta dapat memperoleh lebih banyak keuntungan dari perubahan iklim daripada tanaman karena sifatnya yang dapat beradaptasi secara cepat. Gulma memiliki kemampuan yang sangat tinggi di tingkat molekuler, biokimia, untuk merespons perubahan iklim secara lebih positif. Efek diferensial CO₂ dan perubahan iklim akan mengubah interaksi kompetitif antara gulma dengan tanaman. Perubahan suhu, presipitasi, angin dan kelembapan dapat memengaruhi efektivitas herbisida.

Peningkatan biomassa yang lebih besar akan mengakibatkan pengenceran herbisida yang diterapkan, membuat pengendalian gulma lebih sulit dan mahal di masa yang akan datang karena perubahan anatomi, morfologi dan fisiologis dapat meningkatkan ketebalan daun, mengurangi jumlah stomata dan konduktansi yang mungkin membatasi penyerapan herbisida yang diaplikasikan melalui daun (Dukes, *et.,al*, 2009). Hasil penelitian Ziska, *et.,al*, (1999), serta Ziska dan Teasdale (2000), menunjukkan bahwa herbisida (misalnya, glifosat) akan

berkurang efektif terhadap gulma di bawah tingkat CO₂ dan harus diantisipasi secepatnya. Peningkatan toleransi terhadap glifosat di bawah tinggi CO₂ telah dicatat untuk pertanian dan invasif spesies gulma (Zimmermann, *et.,al*, 2021). Ini mengkhawatirkan temuan yang mengungkapkan peningkatan berkelanjutan dalam fotosintesis dan pertumbuhan gulma abadi seperti *Elymus repens* (L.) Gould. dengan penurunan bersamaan dalam efektivitas herbisida dan meningkatnya potensi invasi dan persaingan (Ziska dan Teasdale, 2000). Toleransi diferensial terhadap glifosat ditunjukkan oleh beberapa gulma di bawah CO₂ tinggi juga menjadi masalah.

Beberapa respons gulma seperti *A. retroflexus* tidak terpengaruh oleh peningkatan CO₂, *Chenopodium* dan *Cirsium arvensis* dimanifestasikan atoleransi glifosat yang signifikan (Ziska dan George, 2004). Respons variabel terhadap glifosat bahkan diamati untuk spesies rumput invasif yang memiliki fiksasi karbon pada jalur yang sama (Manea, *etl.,al*, 2011). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa beberapa gulma akan lebih bermasalah dalam waktu dekat di bawah konservasi pertanian. Kesulitan lain akan menjadikan gulma abadi jika efektivitas glifosat berkurang karena perubahan iklim. Peningkatan jumlah rimpang dan pertumbuhan umbi, ditambah dengan peningkatan biomassa menyebabkan efek pengenceran pada setiap aplikasi herbisida, menyebabkan peningkatan biaya pengendalian gulma. Dampak langsung perubahan iklim pada fisiologi, anatomi, dan morfologi tumbuhan secara tidak langsung memengaruhi efektivitas herbisida dengan memengaruhi penyerapan, translokasi, dan metabolisme.

Perubahan lingkungan fisik, seperti musim kemarau atau musim hujan yang berkepanjangan, dapat membatasi kondisi lapangan yang diperlukan untuk aplikasi herbisida. Iklim perubahan akan memiliki implikasi untuk semua dimensi kimia pengelolaan gulma termasuk aplikasi, penyimpanan semprotan, metabolisme, dan efektivitas herbisida. Hal ini harus sejalan dengan diversifikasi pengelolaan gulma saat ini serta urgensi pengetahuan yang baik tentang ekologi dan biologi gulma di iklim yang berubah. Setelah peristiwa bencana iklim seperti kekeringan atau banjir, gulma akan memiliki peluang lebih besar untuk berkoloni dan menyerang habitat yang terganggu.

Langkah-langkah pengendalian kimia mungkin menjadi kurang efektif karena perubahan lingkungan eksternal (lebih kering dan kondisi yang lebih hangat) atau perubahan anatomi, fisiologi pertumbuhan, dan fenologi flora gulma target (Chauhan, *et.,al*, 2017). Reproduksi aseksual melalui bagian bawah tanah selalu kondusif untuk menyebar, terlepas dari ketersediaan air. Kelembapan yang ekstrem, banjir serta kekeringan, menghambat metode

pengelolaan fisik seperti pengolahan lahan. Berdasarkan hasil penelitian Chandrasena (2009), menyatakan bahwa tanggapan adaptif harus didasarkan pada pengetahuan yang lebih baik tentang bagaimana tanaman akan menanggapi perubahan iklim sesuai kondisi lingkungan yang terjadi saat ini. Beberapa penelitian telah meneliti persepsi petani dan pengambilan keputusan seputar pengelolaan gulma secara ekologis (Zwickle, *et.,al*, 2016) dan meskipun terdapat beberapa literatur yang berkembang tentang persepsi petani tentang perubahan iklim (Arshad, *et.,al*, 2016), akan tetapi masih terdapat kesenjangan pengetahuan yang sangat substansial.

Kesimpulan dan Saran

Perubahan anatomi, morfologi dan fisiologis akan meningkatkan ketebalan daun, mengurangi jumlah stomata dan konduktansi. Perubahan morfologi membatasi penyerapan herbisida yang diaplikasikan melalui daun. Peningkatan biomassa yang lebih besar berakibat pengendalian lebih sulit dan mahal. Fokus kajian yang masih sedikit dan akan sangat penting antara lain mengenai hibridisasi konvensional dan prosedur seleksi, pemuliaan ideotipe, pembiakan heterosis, hibridisasi yang luas, rekayasa genetika.

Saran bagi para petani sangat diperlukan sistem peringatan dini/mitigasi untuk mengelola hama dalam musim dengan pengambilan keputusan taktis serta membangun sistem pendukung keputusan (musim tanam) jangka panjang. Bagi para pemulia tanaman dan pengembang pestisida dengan kajian prioritas gulma, perlu adanya kajian tentang identifikasi daerah rawan/hotspot. Bagi pembuat kebijakan hal yang penting dilakukan adalah identifikasi masalah penting untuk investasi masa depan, penerapan alat keuangan sebagai penyangga untuk melindungi petani dari peningkatan variabilitas dalam sistem alami, serta distribusi sosialisasi bahan tanam unggul dengan gen resisten bagi para petani.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Prodi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Garut yang telah mendukung seluruh kegiatan dan fasilitasi program.

Daftar pustaka

- Ackerly, D. D., Knight, C. A., Weiss, S. B., Barton, K. & Starmer, K. P. (2002). Leaf size, specific leaf area and microhabitat distribution of chaparral woody plants: contrasting patterns in species level and community level analyses. *Oecologia* 130, 449–457.
- Arshad, M., Kächele, H., Krupnik, T.J., Amjath-Babu, T.S., Aravindakshan, S., Abbas, A. et al. (2016) Climate variability, farmland value, and farmers' perceptions of climate

- change: implications for adaptation in rural Pakistan. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 24, 532–544.
- Bradley, B.A., Blumenthal, D.M., Wilcove, D.S. & Ziska, L.H. (2010) Predicting plant invasions in an era of global change. *Trends in Ecology & Evolution*, 25, 310–318.
- Byars, S. G., Papst, W. & Hoffmann, A. A. (2007). Local adaptation and cogradient selection in the alpine plant, *Poa hiemata*, along a narrow altitudinal gradient. *Evolution* 61, 2925–2941.
- Castro-Díez, P., Villar-Salvador, P., Pe´rez-Rontome´, C., Maestro-Martí´nez, M. & Montserrat-Martí´, G. (1997). Leaf morphology and leaf chemical composition in three *Quercus* (Fagaceae) species along a rainfall gradient in NE Spain. *Tree* 11, 127–134.
- Castro-Díez, P., Villar-Salvador, P., Pe´rez-Rontome´, C., Maestro-Martí´nez, M. & Montserrat-Martí´, G. (1998). Leaf morphology, leaf chemical composition and stem xylem characteristics in two *Pistacia* (Anacardiaceae) species along a climatic gradient. *Flora* 193, 195–202.
- Chadha, A., Florentine, S., Javaid, M., Welgama, A. & Turville, C. (2020) Influence of elements of climate change on the growth and fecundity of *Datura stramonium*. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 35859–35869.
- Chandrasena, N. (2009). How will weed management change under climate change, some perspective, *journal of crop and weed* 5 (2) 95-105.
- Chauhan, B.S., Matloob, A., Mahajan, G., Aslam, F., Florentine, S.K. & Jha, P. (2017) Emerging challenges and opportunities for education and research in weed science. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1–13.
- Clements, D.R. & Ditommaso, A. (2011) Climate change and weed adaptation: can evolution of invasive plants lead to greater range expansion than forecasted? *Weed Research*, 51, 227–240.
- Clements, D.R., Ditommaso, A. & Hyvönen, T. (2014) Ecology and management of weeds in a changing climate. In: Chauhan, B.S. & Gulshan, M. (Eds.) *Recent Advances in Weed Management*. New York, NY: Springer, pp. 13–37.
- Dukes JS. (2000). Will the increasing atmospheric CO₂ concentration affect the success of invasive species? in Mooney HA, Hobbs RJ, eds. *Invasive species in a Changing World*. Washington: Island Press.
- Dukes JS, Pontius J, Orwig D. (2009) Responses of insect pests, pathogens, and invasive plant species to climate change in the forests of northeastern North America: what can we predict? *Can JFor Res* 39:231–248.
- Gallagher R, Beaumont L, Downey PR, Hughes L, Leishman MR. (2006). Assessing the potential impacts of climate change on weeds in New South Wales: establishing priorities.
- Gardner, J. L., Heinsohn, R. & Joseph, L. (2009). Shifting latitudinal clines in avian body size correlate with global warming in Australian passerines. *Proc. R. Soc. B* 276, 3845–3852.
- Ghannoum O, Searson MJ, Conroy JP. (2007). Nutrient and water demands of plants under climate change. in Newton PCD, Edwards G, Carran A, Niklaus P, eds. *Agroecosystems in a Changing Climate*. *Advances in Agroecology series*, Vol 12. Boca Raton: CRC Press.

- Hoffmann, A. A., Griffin, P. C. & Macrauld, R. D. (2009). Morphological variation and floral abnormalities in a trigger plant across a narrow altitudinal gradient. *Aust. Ecol.* 34, 780–792.
- Hossain, M.N., Chowdhury, S. & Paul, S.K. (2016) Farmer-level adaptation to climate change and agricultural drought: empirical evidences from the Barind region of Bangladesh. *Natural Hazards*, 83, 1007–1026.
- IPCC. (2014) Summary for policymakers. In: Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J. et al. (Eds.) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, NY: IPCC, pp. 1–32.
- IPCC. (2019) Summary for policymakers. In: Shukla, P.R., Skea, J. & Calvo Buendia, E. (Eds.) *Climate Change and Land: An IPCC. Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems*. Geneva, Switzerland: IPCC, pp. 1–41.
- Johansen, C., Haque, M.E., Bell, R.W., Thierfelder, C. & Esdaile, R.J. (2012) Conservation agriculture for small holder rainfed farming: opportunities and constraints of new mechanized seeding systems. *Field Crops Research*, 132, 18–32.
- Jones, C., Hine, D.W. & Marks, A.D.G. (2017) The future is now: reducing psychological distance to increase public engagement with climate change. *Risk Analysis*, 37, 331–341.
- Kang, M. S., and Banga, S. S. (2013). “Global agriculture and climate change: a perspective,” in *Combating Climate Change: An Agricultural Perspective*, eds M. S. Kang and S. S. Banga (Boca Raton, FL: CRC Press), 11–25.
- Kathiresan, R. & Gualbert, G. (2016) Impact of climate change on the invasive traits of weeds. *Weed Biology and Management*, 16, 59–66.
- Korres, N.E., Norsworthy, J.K., Tehranchian, P., Gitsopoulos, T.K., Loka, D.A., Oosterhuis, D.M. et al. (2016) Cultivars to face climate change effects on crops and weeds: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36, 1–22.
- Manea, A., Leishman, M.R. & Downey, P.O. (2011) Exotic C4 grasses have increased tolerance to glyphosate under elevated carbon dioxide. *Weed Science*, 59, 28–36.
- Matzrafi, M., Brunharo, C., Tehranchian, P., Hanson, B. D., & Jasieniuk, M. (2019). Increased temperatures and elevated CO₂ levels reduce the sensitivity of *Conyza canadensis* and *Chenopodium album* to glyphosate. *Scientific Reports*, 9(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38729-x>.
- Mediavilla, S., Gallardo-Lo´pez, V., Gonzalez-Zurdo, P. & Escudero, A. (2011). Patterns of leaf morphology and leaf N content in relation to winter temperatures in three evergreen tree species. *Int. J. Biometeorol.*
- Neve, P., Barney, J.N., Buckley, Y., Cousens, R.D., Graham, S., Jordan, N.R. et al. (2018) Reviewing research priorities in weed ecology, evolution and management: a horizon scan. *Weed Research*, 58, 250–258.
- Peppe, D. J. (2011). Sensitivity of leaf size and shape to climate: global patterns and paleoclimatic applications. *New Phytol.* 190, 724–739.
- Peters, K., Breitsameter, L. & Gerowitt, B. (2014) Impact of climate change on weeds in agriculture: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 707–721.

- Petit, J. R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N. I., Barnola, J. M., Basile, I., et al. (1999). Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399, 429–436.
- Patterson, D.T. (1995) Weeds in a changing climate. *Weed Science*, 43, 685–701.
- Poorter H, Navas M. (2003). Plant growth and competition at elevated CO₂: on winners, losers and functional groups. *New Phytologist* 157:175-198.
- Ramesh, K., Matloob, A., Aslam, F., Florentine, S.K. & Chauhan, B.S. (2017) Weeds in a changing climate: vulnerabilities, consequences, and implications for future weed management. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1–12.
- Roger, E., Duursma, D.E., Downey, P.O., Gallagher, R.V., Hughes, L., Steel, J. et al. (2015) A tool to assess potential for alien plant establishment and expansion under climate change. *Journal of Environmental Management*, 159, 121–127.
- Sivakumar, M. & Stefanski, R. (2006) Climate change mitigation, adaptation, and sustainability in agriculture. In: *Proceedings of the 14th Session of the World Meteorological Organization on Climate Risks in Vulnerable Areas – Agrometeorological Monitoring and Coping Strategies* (New Delhi, India), pp. 89–102.
- Suppiah, R., Preston, B., Whetton, P. H., McInnes, K. L., Jones, R. N., Macadam, I., Bathols, J. & Kirono, D. (2006). Climate change under enhanced greenhouse conditions in South Australia. Aspendale, Victoria, Australia: Climate Impacts and Risk Group, CSIRO Marine and Atmospheric Research.
- Torresen, K.S., Fykse, H., Rafoss, T. & Gerowitt, B. (2020) Autumn growth of three perennial weeds at high latitude benefits from climate change. *Global Change Biology*, 26, 2561–2572.
- Walther, G., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J., Hoegh-Guldberg, O. & Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416, 389–395.
- Wu, L., Kang, H., Zhuang, H. & Liu, C. (2010). Variations of *Quercus variabilis* leaf traits in relation to climatic factors at regional scale. *Chin. J. Ecol.* 29, 2309–2316.
- Ziska, L.H. & Dukes, J.S. (2011) *Weed Biology and Climate Change*. Ames, IA: Wiley-Blackwell.
- Ziska, L.H. & Dukes, J.S. (2012) *Weed Biology and Climate Change*. Ames, IA: Wiley-Blackwell.
- Ziska LH, George. (2004). Rising carbon dioxide and invasive, noxious plants: potential threats and consequences. *World Resource Review* 16: 427-447.
- Ziska LH, Goins EW. (2006). Elevated atmospheric carbon dioxide and weed populations in glyphosate treated soybean. *Crop Science* 46: 1354-1359.
- Ziska, L. H., J. R. Teasdale and J. A. Bunce. (1999). Future atmospheric carbon dioxide may increase tolerance to glyphosate. *Weed Sci.* 47: 608-615.
- Ziska, L.H. & McConnell, L.L. (2016) Climate change, carbon dioxide, and pest biology: monitor, mitigate, manage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64, 6–12.

- Ziska LH, Teasdale JR (2000) Sustained growth and increased tolerance to glyphosate observed in a C3 perennial weed, quackgrass (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), grown at elevated carbon dioxide. *Australian Journal of Plant Physiology* 27: 159-164.
- Ziska, L.H. (2016) The role of climate change and increasing atmospheric carbon dioxide on weed management: herbicide efficacy. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 231, 304–309.
- Zwickle, S., Wilson, R., Bessette, D., Herms, C. & Doohan, D. (2016) Facilitating ecological weed management decisions by assessing risk-benefit tradeoffs. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40, 635–659.