

Effetto dei cambiamenti climatici sulla gravità di alcune malattie

Maria Lodovica Gullino*, ** - Giovanna Gilardi* - Massimo Pugliese*,** - Angelo Garibaldi *

*Centro di Competenza per l'innovazione in campo agro-ambientale AGROINNOVA, Università degli Studi di Torino - Grugliasco (TO)

** DiSAFA, Università degli Studi di Torino, Grugliasco (TO)

Introduzione

Molti lavori si sono concentrati negli ultimi anni sull'evoluzione del quadro fitosanitario delle colture agrarie come conseguenza della globalizzazione del commercio, che comporta un intensissimo scambio di materiale vegetale tra paesi e continenti, e dei cambiamenti climatici in atto, evidenziando diversi casi di patogeni la cui introduzione in nuove aree geografiche viene considerata, almeno in parte, conseguente agli aumenti di temperatura e/o anidride carbonica.

L'effetto dei cambiamenti climatici sulle piante e le loro malattie, differente in situazione diverse (Manning e Tiedemann, 1993) viene studiato utilizzando approcci diversi, tra loro complementari. Gli studi partono, infatti, da un attento monitoraggio della vegetazione di aree geografiche che, per le loro caratteristiche, più facilmente di altre, sono in grado di evidenziare variazioni della situazione fitosanitaria di piante coltivate e non. Un utile contributo allo studio dei cambiamenti climatici, soprattutto in termini di previsione degli scenari futuri, viene poi offerto dal ricorso a modelli in grado di simulare cosa accadrà dopo alcuni decenni (30, 50 e più anni). A completare il tutto offrono un validissimo contributo gli studi sperimentali che, condotti in camere climatiche in cui vengono riprodotte variazioni dei parametri climatici più importanti, permettono di simulare in maniera precisa, pur ovviamente in cicli colturali brevi, la reazione delle piante e dei loro parassiti in presenza di condizioni di temperatura e livelli di CO₂ diversi rispetto a quelli attuali.

Questa nota sintetizza brevemente quanto studiato presso il Centro Agroinnova dell'Università di Torino negli ultimi 10 anni, utilizzando i fitotroni, grandi camere climatiche costruite su misura per potere coltivare piante, anche di grandi dimensioni, con la possibilità di modificare a piacimento al loro interno i parametri climatici (Gullino *et al.*, 2011). Anche in considerazione del fatto che la maggior

parte dei lavori svolti in precedenza ha riguardato colture di pieno campo quali grano, riso, soia, patata (Luck *et al.*, 2011; Bregaglio *et al.*, 2013), piante forestali (Chackraborty *et al.*, 2008; Sturrock *et al.*, 2011) e tropicali (Ghini *et al.*, 2011), la nostra attenzione si è volutamente concentrata negli ultimi anni sulle colture orto-floricole, anche per la grande importanza che esse rivestono nell'area mediterranea e nel nostro paese in particolare. E' risaputo, del resto, che la particolare collocazione geografica del nostro paese lo espone ad essere potenzialmente profondamente interessato dagli effetti del cambiamento climatico, come dimostrato dagli studi condotti (Colombo *et al.*, 2007) con conseguenze gravi sull'agricoltura e sulla sicurezza alimentare in generale (Rosenweig e Parry, 1994; Gregory *et al.*, 2009), e in modo particolare nel caso dei paesi del Mediterraneo, dove è prevedibile un processo di notevole estensificazione delle colture (Bindi e Olesen, 2011).

I nostri studi sono stati effettuati utilizzando una batteria di 6 fitotroni (con dimensione interna di 2x2x2,5m di altezza ciascuno), con un fotoperiodo di 14/10 ore giorno/notte, dotati di due sistemi di illuminazione (Gullino *et al.*, 2011). Nella tabella 1 sono riportati i principali parametri ambientali che possono essere monitorati e modificati. È, inoltre, possibile misurare altri parametri: tra cui la velocità dell'aria, la temperatura e la bagnatura fogliare. Al loro interno i fitotroni sono stati adattati per creare le condizioni ideali per condurre ricerche di tipo fitopatologico.

Tutte le prove sono state condotte valutando, in presenza di inoculazione artificiale con i diversi patogeni in studio, su piante mantenute in condizioni ambientali favorevoli alla comparsa della malattia, l'effetto di valori crescenti di temperatura e di CO₂. Le temperature saggiate sono state scelte in funzione del sistema ospite-parassita studiato e un aumento di 5°C è stato considerato esemplificativo di futuri scenari. Nel caso della CO₂, invece, sono stati saggiati due livelli: 400 -450 ppm considerato livello normale e 800-850

Tabella 1– Parametri ambientali monitorabili e modificabili all'interno dei fitotroni utilizzati negli studi condotti da Agroinnova e limiti di tali variazioni (from Gullino *et al.*, 2011).

Table 1 – Main environmental parameters monitored inside the phytotron, their variation range and the maximum rate of change (from Gullino *et al.*, 2011).

Parametro	Limiti di variazioni	Velocità massima delle variazioni
Temperatura dell'aria	8-40 °C	15°C/h
Umidità relativa	18-90%	20%/h
Radiazione fotosinteticamente attiva (P.A.R.)	0-1.200 μmol m ² s ⁻¹	In tre tappe: 0, 1/3, 2/3, 3/3
Concentrazione di CO ₂	400-2.000 ppm	50 ppm

Tabella 2 – Schema riassuntivo delle prove condotte in fitotrone presso il Centro Agroinnova su colture orto-floricole.

Table 2 – Summary of the experimental trials carried out under phytotron conditions at the Center Agroinnova on vegetable and ornamental crops.

Ospite	Patogeno (malattia)	Influenza sulla gravità della malattia di		Effetto generale sulla gravità della malattia	Riferimento bibliografico
		Temperatura	CO ₂		
Basilico	<i>Peronospora belbahrii</i> (peronospora)	Nessun effetto di elevate T	Aumento in presenza di valori elevati di CO ₂	Interazione positiva tra elevata T e CO ₂	Gilardi <i>et al.</i> , 2016 a
Basilico	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> (macchia nera)	Aumento a elevate T	Aumento in presenza di valori elevati di CO ₂	Aumento. Interazione positiva tra elevata T e CO ₂	Pugliese <i>et al.</i> , 2012 a
Bietola da foglia	<i>Phoma betae</i> (maculatura fogliare)	Nessun effetto di elevate T	Aumento in presenza di valori elevati di CO ₂	Effetto positivo di elevata CO ₂ su efficacia di lotta chimica	Gilardi <i>et al.</i> , 2017
Fagiolo	<i>Uromyces appendiculatus</i> (ruggine)	Riduzione a elevate T	Aumento in presenza di valori elevati di CO ₂	Aumento. Interazione positiva tra T e CO ₂	Gilardi <i>et al.</i> , 2016 b
Lattuga	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lactucae</i> (tracheofusariosi)	Aumento a elevate T	Nessun effetto di elevata CO ₂	Aumento. Interazione positiva tra T e CO ₂	Ferrocino <i>et al.</i> , 2013
Lattuga	<i>Allophoma tropica</i> (maculatura fogliare)	Aumento a 22-26 °C, calo a 26-30°C	Aumento in presenza di valori elevati di CO ₂	Aumento. Interazione positiva tra elevata T e CO ₂	Gullino <i>et al.</i> , 2017 b
Pelargonio	<i>Puccinia pelargonii</i> (ruggine)	Riduzione a elevate T	Aumento in presenza di valori elevati di CO ₂	Aumento. Interazione positiva tra T e CO ₂	Gilardi <i>et al.</i> , 2016 b
Ravanello	<i>Fusarium equiseti</i> (maculatura fogliare)	Aumento a elevate T	Aumento in presenza di valori elevati di CO ₂	Aumento. Interazione positiva tra T e CO ₂	Gullino <i>et al.</i> , 2017a
Rucola coltivata	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>conglutinans</i> (tracheofusariosi)	Aumento a elevate T	Aumento in presenza di valori elevati di CO ₂	Aumento. Interazione positiva tra T e CO ₂	Chitarra <i>et al.</i> , 2015
Rucola selvatica	<i>Alternaria</i> sp. (maculatura fogliare)	Aumento a elevate T	Aumento in presenza di valori elevati di CO ₂	Aumento.	Pugliese <i>et al.</i> , 2012 a
Rucola selvatica	<i>Fusarium equiseti</i> (maculatura fogliare)	Aumento a elevate T	Aumento in presenza di valori elevati di CO ₂	Aumento. Interazione positiva tra elevata T e CO ₂	Gullino <i>et al.</i> , 2017 a
Zucchini	<i>Podosphaera xanthii</i> (mal bianco)	Aumento a elevate T	Nessun effetto di elevata CO ₂ sulla malattia.	Aumento. Interazione positiva tra elevata T e CO ₂	Pugliese <i>et al.</i> , 2012 b
			Effetto positivo su lotta biologica		Gilardi <i>et al.</i> , 2017

ppm come livello elevato. In questa nota non ci soffermiamo sulle condizioni sperimentali utilizzate, descritte nei singoli lavori riportati in bibliografia, ma piuttosto cercheremo di riassumere i risultati ottenuti lavorando con diverse combinazioni ospite/parassita. L'effetto dei cambiamenti climatici è stato valutato non solo nei confronti di patogeni fogliari, comunemente considerati più direttamente interessati, ma anche di due agenti di tracheofusariosi, su lattuga (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae*) e rucola (*F. oxysporum* f. sp. *conglutinans*).

Risultati

In Tabella 2 sono riportati in modo schematico i risultati ottenuti lavorando su dodici combinazioni ospite-parassita. Nel caso del basilico, è stato valutato l'effetto di temperature più elevate e di livelli elevati di CO₂ sulla gravità degli attacchi di peronospora, causata da *Peronospora belbahrii* e di macchia nera, causata da *Colletotrichum gloeosporioides*. Gli attacchi di peronospora non paiono influenzati dalla presenza di temperature più elevate, mentre aumentano di gravità in presenza di valori elevati di anidride carbonica (Gilardi *et al.*, 2016 a). Piante di basilico allevate nell'intervallo di temperature tra 18 e 26°C in presenza di concentrazioni di CO₂ pari a 800 ppm hanno mostrato un aumento significativo dell'incidenza della malattia rispetto a piante mantenute alla concentrazione di anidride carbonica considerato normale di 400-450 ppm. L'aumento della temperatura ha favorito il numero di piante colpite da *C. gloeosporioides* e l'effetto combinato tra alta temperatura e

alta CO₂ ha ulteriormente aumentato la percentuale di foglie colpite (Pugliese *et al.*, 2012 a).

Anche per quanto riguarda gli attacchi da *Phoma betae* su bietola da foglia, la malattia è sempre stata favorita dall'alta concentrazione di CO₂ rispetto a condizioni standard. La temperatura non ha influenzato la percentuale di foglie o la superficie fogliare colpita. Valori elevati di anidride carbonica hanno avuto un effetto positivo sull'efficacia dei fungicidi mancozeb e azoxystrobin con un miglioramento del 15,3% e del 20,6% a 22-26 °C rispetto all'efficacia osservata in condizioni standard di CO₂ (Gilardi *et al.*, 2017).

Nel caso della ruggine del fagiolo e del pelargonio, l'aumento della temperatura non favorisce gli attacchi mentre valori elevati di CO₂ risultano favorevoli. Infatti alle temperature comprese tra 26 e 30°C, l'aumento di CO₂ non ha nessun effetto sullo sviluppo della malattia, mentre si osserva una interazione positiva tra temperatura e CO₂ nell'intervallo tra 14 e 22°C (Gilardi *et al.*, 2016 b).

Su lattuga si osservano incrementi significativi della gravità e diffusione di *Allophoma tropica* nell'intervallo di temperatura da 22 a 26 °C in presenza di 850 ppm di CO₂ (Gullino *et al.*, 2017 b). Inoltre, il riscaldamento globale previsto per il futuro e l'incremento dei livelli di CO₂ potrebbe anche indurre l'aumento dell'incidenza delle tracheofusariosi, probabilmente attraverso effetti indiretti sulla popolazione microbica del terreno come nel caso del patosistema lattuga-*F. oxysporum* f. sp. *lactucae* (Ferrocino *et al.*, 2013) e sulla fisiologia della pianta, come nel caso

del patosistema rucola-*F. oxysporum* f. sp. *conglutinans* (Chitarra *et al.*, 2015). L'alternariosi su rucola coltivata è stata sempre influenzata positivamente da un alto contenuto di CO₂, con un significativo aumento della percentuale di foglie infette rispetto a condizioni standard di bassa temperatura e CO₂. La temperatura di per sé non ha influito sulla malattia (Pugliese *et al.*, 2012 a). Su rucola selvatica l'aumento di temperatura e di anidride carbonica esercitano un effetto positivo, interagendo tra loro in modo positivo, sugli attacchi di *Fusarium equiseti* (Gullino *et al.*, 2017 a). I rilievi fisiologici hanno evidenziato che generalmente sia le piante sane sia quelle inoculate artificialmente si sono sviluppate maggiormente con alte temperature e alta concentrazione di CO₂. Su rucola l'alta concentrazione di CO₂ ha aumentato significativamente il contenuto di clorofilla fogliare, mentre nel caso del basilico l'aumento di clorofilla, di efficienza fotosintetica e di biomassa si è avuto a seguito delle temperature elevate (Pugliese *et al.*, 2012 a). Il solo aumento di CO₂ non ha provocato differenze significative nello sviluppo del patogeno e nella gravità del mal bianco su zucchini. La combinazione, invece, di alta CO₂ e temperatura ha favorito lo sviluppo del patogeno e la gravità in confronto a condizioni standard (Pugliese *et al.*, 2012 b). Nel caso di questo patosistema, la valutazione dell'effetto dell'aumento della concentrazione di anidride carbonica e della temperatura sull'efficacia degli interventi di difesa non ha evidenziato nessun effetto sui trattamenti condotti con fungicidi e un effetto positivo sull'efficacia di un mezzo biologico (Gilardi *et al.*, 2017).

Discussione e conclusioni

Scopo dei nostri lavori è stato quello di studiare l'effetto dei cambiamenti climatici su un buon numero di patosistemi per raccogliere informazioni utili per mettere a punto sistemi di resilienza, dall'adozione di strategie di difesa adattate ai nuovi scenari allo sviluppo e impiego di varietà più adatte. Diversi studi hanno evidenziato che i patogeni fungini sono poco influenzati direttamente da variazioni nel livello di anidride carbonica simili a quelli da noi presi in considerazione e lo sono invece molto di più indirettamente, a seguito della risposta fisiologica delle piante ospiti all'aumento di CO₂ (Pugliese *et al.*, 2010; Luck *et al.*, 2011; Pugliese *et al.*, 2012; Pugliese *et al.*, 2012 a; Gilardi *et al.*, 2016 a e b). Indagini condotte in precedenza su vite hanno mostrato come ad un aumento sia della temperatura sia della CO₂ possa corrispondere un aumento dell'incidenza e della gravità della peronospora su vite, soprattutto nelle prime fasi dell'infezione. Tuttavia un aumento solamente di un singolo fattore ambientale, come ad esempio il livello di CO₂, non sembra avere effetto sulla malattia (Salinari *et al.*, 2006). I risultati ottenuti possono quindi far ritenere che in futuro, con l'aumento dell'anidride carbonica e delle temperature, le condizioni ambientali favoriranno attacchi di peronospora più gravi e anticipati rispetto alle condizioni attuali (Salinari *et al.*, 2007).

Nella maggior parte dei casi descritti in questa nota l'interazione combinata tra alta concentrazione di CO₂ e elevata temperatura è in grado di aumentare gli attacchi

di mal bianco su zucchini, di *A. japonica* su rucola, di *C. gloeosporioides* su basilico, di *P. betae* su bietola, di *F. equiseti* su ravanello e rucola e di *A. tropica* su lattuga (Pugliese *et al.*, 2012; Gilardi *et al.*, 2016 a; 2016 b; Gullino *et al.*, 2017a; 2017b). La variazione di temperatura di per sé non ha invece influenzato gli attacchi di alternariosi su rucola e di *P. betae* su bietola, mentre l'aumento di CO₂ da solo non ha avuto effetti sul mal bianco dello zucchini (Pugliese *et al.*, 2012 b; Gilardi *et al.*, 2017).

A complicare la situazione viene poi il possibile effetto dei cambiamenti climatici sulla produzione di micotossine da parte dei patogeni soggetti ai cambiamenti climatici (Siciliano *et al.*, 2017). Tali considerazioni rivestono un'importanza strategica al fine di definire nuove strategie di contenimento, in quanto, con l'inevitabile aumento delle temperature a seguito di quello dell'anidride carbonica e di altri gas serra, patosistemi come quelli studiati saranno significativamente favoriti e quindi si potrà avere un aumento dell'incidenza delle malattie (Coackley *et al.*, 1999).

Particolarmente interessanti sono gli studi condotti su patogeni terricoli, finora poco investigati in questo ambito, anche in relazione al ruolo che svolgono i microrganismi presenti nel terreno sulla salute delle piante e sulla loro produttività (French *et al.*, 2009; Singh *et al.*, 2010; Pautasso *et al.*, 2012).

Gli studi condotti in fitotroni, consentendo di simulare le condizioni future sono molto utili non solo perché forniscono informazioni complementari a quelle ottenibili con gli altri tipi di studi (Loustau *et al.*, 2007; Ingram *et al.*, 2008; Chakraborty e Newton, 2011; Luck *et al.*, 2011; Pautasso *et al.*, 2012), ma anche perché permettono di ottenere informazioni pratiche e concrete utili per impostare le più corrette strategie di difesa tenendo conto dei nuovi, futuri scenari (Coackley *et al.*, 1999; Salinari *et al.*, 2007; Juroszek e von Tiedemann, 2011; Gilardi *et al.*, 2017).

Ringraziamenti

Lavoro svolto con un contributo del progetto europeo Horizon 2020 "Effective management of pests and harmful alien species. Integrated solutions" (EMPHASIS, No 634179). Lavoro presentato ai 33^{mi} Incontri Fitoiatrici, Sanremo, 21 settembre 2017.

Riassunto

È noto che gli aumenti di anidride carbonica (CO₂) e della temperatura inducono effetti complessi sui patogeni delle piante. In questo lavoro vengono riportati i risultati di alcune indagini condotte in fitotroni per valutare sperimentalmente l'effetto di valori crescenti di CO₂ e temperatura su malattie fogliari e terricole di diverse colture ortofloricole quali basilico, lattuga, rucola coltivata e selvatica, fagiolo, pelargonio, bietola e zucchini. I risultati ottenuti nei fitotroni hanno mostrato un aumento degli attacchi di mal bianco dello zucchini, di *Alternaria* su rucola, di *Colletotrichum* e peronospora su basilico, di *Phoma* su bietola, di *Allophoma tropica* su lattuga a seguito dell'aumento combinato di CO₂ e temperatura. Effetti variabili sono invece stati osservati

quando singoli parametri climatici sono stati presi in considerazione. I risultati ottenuti vengono commentati criticamente anche in relazione ai possibili interventi di mitigazione.

Parole chiave: cambiamenti climatici; ambiente controllato; malattie di colture ortofloricole.

Summary

Effect of climatic factors on diseases of horticultural crops under phytotron conditions.

Increases in carbon dioxide (CO₂) and temperatures are expected to induce complex effects on plant pathogens. In this study, we assessed the impact of climatic factors such as increased CO₂ and temperature under phytotrons on downy and powdery mildew of grapes and on pathogens of vegetable crops like rocket, basil, beet and zucchini. Plants were grown in phytotrons under six different simulated climatic conditions: standard CO₂ concentration for the area (400 -450 ppm) with standard (ranging from 18 to 22/24° C) and elevated temperature (5°C higher than standard), elevated CO₂ (800 -850 ppm) with standard and elevated temperature. An increase of powdery mildew on zucchini, of *Alternaria* leaf spot on rocket salad, of black spot and downy mildew on basil, *Allophoma tropica* on lettuce and of *Phoma* leaf spot on garden beet was observed when both CO₂ level and temperature increased. Variable effects were instead observed when individual climate parameters were taken into consideration. The results obtained are discussed also in relation to possible mitigation measures.

Keywords: climate change; controlled environment; diseases of horticultural crops.

Lavori citati

Bindi M., Olesen J. E. (2011) - The responses of agriculture in Europe to climate change. *Reg. Environm. Change*, 22 (Suppl. 1), S151-S158.

Bregaglio S., Donatelli M., Confalonieri R. (2013) - Fungal infections of rice, wheat, and grape in Europe in 2030-2050. *Agronomy for Sustainable Development*, 33, 767-776.

Chakraborty S., Luck J., Hollaway G., Freeman A., Norton R., Garrett K. A., Percy K., Hopkins A., Davis C., Karnosky D. F. (2008) - Impacts of global change on diseases of agricultural crops and forest trees. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 3, 1-15.

Chakraborty S., Newton A. C. (2011) - Climate change, plant diseases and food security: an overview. *Plant Pathology*, 60, 2-14.

Chitarra W., Siciliano I., Ferrocino I., Gullino M. L., Garibaldi A. (2015) - Effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature on the disease severity of rocket plants caused by *Fusarium* wilt under phytotron conditions. *Plos One*, 10 (10), e0140769.

Coakley S. M., Scherm H., Chakraborty S. (1999) - Climate change and plant disease management. *Annual Review of Phytopathology*, 37, 399-426.

Colombo T., Pelino V., Vergan S., Cristfanelli P., Bonasoni

P. (2007) - Study of temperature and precipitation variations in Italy based on surface instrumental observations. *Global and Planetary Change*, 57, 306-318.

Ferrocino I., Chitarra W., Pugliese M., Gilardi G., Gullino M.L., Garibaldi A. (2013) - Effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature on disease severity of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* on lettuce plants. *Applied Soil Ecology*, 72, 1-6.

Ghini R., Bettiol W., Harmada E. (2011) - Diseases in tropical and plantation crops as affected by climate changes: current knowledge and perspectives. *Plant Pathology*, 60, 122-132.

Gilardi G., Gisi U., Garibaldi A., Gullino M. L. (2017) - Effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature on the chemical and biological control of powdery mildew of zucchini and the *Phoma* leaf spot of leaf beet. *European Journal of Plant Pathology*, 148, 229-236.

Gilardi G., Pugliese M., Chitarra W., Ramon I., Gullino M. L., Garibaldi A. (2016 a) - Effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature increases on the severity of basil downy mildew caused by *Peronospora belbahrii* under phytotron conditions. *Journal of Phytopathology*, 164, 114-121.

Gilardi G., Pugliese M., Gullino M. L., Garibaldi A. (2016 b) - Simulated elevated atmospheric CO₂ and temperature affect the severity of bean and pelargonium rust. *Phytoparasitica*, 44, 325-332.

Gregory P. J., Johnson S. N., Newton A. C., Ingram J. S. I. (2009) - Integrating pests and pathogens into the climate change/food security debate. *Journal of Experimental Botany*, 60, 2827-2838.

Gullino M. L., Gilardi G., Garibaldi A. (2017 a) - Effect of a climate change scenario on *Fusarium equiseti* leaf spot on wild rocket and radish under phytotron simulation. *Phytoparasitica*, 45, 293-298.

Gullino M. L., Gilardi G., Garibaldi A. (2017 b) - Evaluation of the severity of leaf spot of lettuce, caused by *Allophoma tropica*, under a climate change scenario. *Phytopatologia Mediterranea*, in stampa.

Gullino M. L., Pugliese M., Paravicini A., Casulli E., Rettori A., Sanna M., Garibaldi A. (2011) - New phytotron for studying the effect of climate change on plant pathogens. *Journal of Agricultural Engineering*, 1, 1-11.

Ingram J. S. L., Gregory P. J., Izac A. M. (2008) - The role of agronomic research in climate change and food security policy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 126, 4-12.

Juroszek P., von Tiedemann A. (2011) - Potential strategies and future requirements for plant disease management under a changing climate. *Plant Pathology*, 60, 100-112.

Loustau D., Ogée J., Dufrene E., Deque M., Duponey J. I., Badeau V., Viovy N., Ciais P., Desprez-Loustau M. L., Roques A., Chuine I., Mouillot F. (2007) - Impacts of climate change on temperate forests and interaction with management. In: *Forestry and climate change* (Freer-Smith P. H., Broadmeadow M. S. J., Lynch J. M. coord.), Wallingford, UK, CABI, 243-250.

Luck I., Spackman M., Freeman A., Trebicki P., Griffiths W., Finlay K., Chakraborty S. (2011) - Climate change and

- diseases of food crops. *Plant Pathology*, 60, 113-121.
- Manning W. J., von Tiedemann A. (1995) - Climate change: potential effects of increased atmospheric carbon dioxide (CO₂), ozone (O₃), and ultraviolet-B (UV-B) radiation on plant diseases. *Environmental Pollution*, 88 (2), 219-245.
- Pautasso M., Doring T. F., Garbelotto M., Pellis L., Jeger M. J. (2012) - Impacts of climate change on plant diseases – opinions and trends. *European Journal Plant Pathology*, 133, 295-313.
- Pugliese M., Cogliati E., Gullino M. L., Garibaldi A. (2012 a) - Effects of climate change on *Alternaria* leaf spot of rocket salad and black spot of basil under controlled environment. *Communications in agricultural and applied biological sciences*, 77 (3), 241-244.
- Pugliese M., Gullino M. L., Garibaldi A. (2010) - Effects of elevated CO₂ and temperature on interactions of grapevine and powdery mildew: first results under phytotron conditions. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 117, 9-14.
- Pugliese M., Liu J., Titone P., Garibaldi A., Gullino M. L. (2012 b) - Effects of elevated CO₂ and temperature on interactions of zucchini and powdery mildew. *Phytopathologia Mediterranea*, 51, 480-487.
- Rosenzweig C., Parry M. L. (1994) - Potential impact of climate change on world food supply. *Nature* 367, 133-138.
- Salinari F., Giosuè S., Rossi V., Tubiello F. N., Rosenzweig C., Gullino M. L. (2007) - Downy mildew outbreaks on grapevine under climate change: elaboration and application of an empirical-statistical model. *EPPPO Bulletin*, 37, 317-326.
- Salinari F., Giosuè S., Tubiello F. N., Rettori A., Rossi V., Spanna F., Rosenzweig C., Gullino M. L. (2006) - Downy mildew (*Plasmopara viticola*) epidemics on grapevine under climate change. *Global Change Biology*, 12, 1299-1307.
- Siciliano I., Berta F., Bosio P., Gullino M. L., Garibaldi A. (2017) - Effect of different temperatures and CO₂ levels on *Alternaria* toxins produced on cultivated rocket, cabbage and cauliflower. *World Mycotoxin Journal*, 10, 63-71.
- Singh B. K., Bardgett R. D., Smith P., Reay D. S. (2010) - Microorganisms and climate change: terrestrial feedbacks and mitigation options. *Nature Reviews Microbiology*, 8, 779-790.
- Sturrock R. N., Frankel S. J., Brown A.V., Hennon P. E., Kliejunas J. T., Lewis K. J., Worrall J. J., Woods A. J. (2011) - Climate change and forest diseases. *Plant Pathology*, 60, 133-149.