

Mengkaji Peranan Alelokimia Pada Bidang Pertanian

Review on the Roles of Alelochemicals in Agriculture

Riajeng Kristiana^{1*}

¹Biologi Tumbuhan, IPB, Bogor, Indonesia

*Corresponding authors: rie.theana@gmail.com

Manuscript received: Revision accepted:

ABSTRACT

Alelokimia merupakan metabolit sekunder yang diproduksi oleh tanaman, yang tidak terlibat langsung pada proses pertumbuhan tanaman. Alelokimia ditemukan di berbagai bagian tanaman dengan konsentrasi dan komposisi yang bervariasi, dan jalur untuk melepaskan senyawa ini ke lingkungan tergantung dari spesies tanamannya. Tanaman dapat menggunakan alelokimia untuk berkomunikasi dengan lingkungannya. Tujuan dari artikel ini yaitu untuk mengkaji peranan alelokimia yang diproduksi oleh tanaman pada bidang pertanian. Hasil yang diperoleh dari kajian artikel ini yaitu bahwa alelokimia yang diproduksi oleh tanaman dapat dikeluarkan melalui akar tanaman dan volatilisasi dari bagian tanaman lain. Alelokimia memberikan dampak positif bagi lingkungan sekitar tanaman, sehingga dapat memberikan keuntungan bagi hasil produksi tanaman. Dampak positifnya antara lain alelokimia dapat memmanagement gulma, mengatur pertumbuhan tanaman, dan juga sebagai pestisida. Keuntungan ini dapat terjadi jika alelokimia yang diproduksi oleh tanaman dalam konsentrasi yang rendah. Alelokimia juga menjadi sinyal bagi mikroorganisme yang bersimbiosis dengan tanaman.

Keywords: alelokimia, peranan alelokimia, produksi tanaman

PENDAHULUAN

Alelopati merupakan bagian dari ekologi kimia yang berkaitan dengan efek bahan kimia yang diproduksi oleh tanaman atau mikroorganisme yang mempengaruhi pertumbuhan, perkembangan dan distribusi tanaman maupun mikroorganisme lain yang terdapat disekitarnya (Einhellig 1995). Interaksi alelopati dapat menjadi salah satu faktor yang significant yang mempengaruhi distribusi, kelimpahan spesies tanaman maupun mikroorganisme (Zheng *et al.* 2015).

Definisi alelopati pertama kali digunakan oleh Molish pada tahun 1937 yang menunjukkan efek langsung maupun tidak langsung dari bahan kimia yang dihasilkan suatu tanaman ke tanaman lain (Molisch 1937). Bahan kimia yang diproduksi ini kemudian dinamakan alelokimia. Pada tahun 1984 Rice menyempurnakan definisi dari alelopati yaitu sebagai "segala sesuatu yang berbahaya atau menguntungkan secara langsung maupun tidak langsung yang diproduksi oleh tanaman maupun mikroorganisme yang mempengaruhi tanaman maupun mikroorganisme lain melalui produksi senyawa kimia yang dilepaskan ke lingkungan". Pada tahun 1996 the International Allelopathy Society memperluas definisi alelopati yang merujuk pada proses yang melibatkan metabolit sekunder yang dihasilkan oleh tanaman, mikroorganisme, virus dan jamur yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan system pertanian dan biologi, dan ditambahkan yang memproduksi dan menerima termasuk didalamnya hewan. Alelokimia terdiri dari berbagai keluarga kimia dan diklasifikasikan ke dalam 14 kategori berikut berdasarkan

kesamaan : asam organik yang larut dalam air, alkoohol rantai lurus, aldehyd alifatik, dan keton; lakton tidak jenuh; asam lemak rantai panjang dan polyacetylenes, benzoquinone, antrakuinon dan quinon kompleks; fenol, asam benzoate dan turunannya; asam sinamat dan turunannya; coumarin; flavonoid; tannin; terpenoid dan steroid; asam amino dan peptide; alkalois dan cyanohidrin; sulfide dan glukosinolat; dan purin dan nukleosida (Rice 1984). Seiring perkembangan teknologi alelokimia pada tanaman dan mikroorganisme sudah dapat diisolasi dan diidentifikasi.

Alelokimia merupakan fenomena biologis yang merupakan karakteristik dari beberapa tanaman, bakteri, jamur dan alga yang menghasilkan biokimia tertentu yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan organism lain (Narwal 2010; Reigosa *et al.* 2006). Alelokimia juga dapat diartikan sebagai bentuk komunikasi tanaman dengan lingkungan sekitar. Alelokimia merupakan metabolit sekunder yang diproduksi oleh tanaman, yang tidak terlibat langsung pada proses pertumbuhan tanaman. Tanaman dapat menggunakan alelokimia untuk berkomunikasi dengan lingkungan sekitarnya, yaitu melalui eksudasi alelokimia melalui akar tanaman dan volatilisasi dari bagian tanaman lain (Scognamiglio *et al.* 2013). Setiap tanaman memproduksi alelokimia dan produksinya akan meningkat apabila tanaman berada dalam keadaan stress biotik maupun abiotik (Song *et al.* 2008; Fang *et al.* 2010). Senyawa kimia yang diproduksi oleh tanaman

Alelokimia yang dikeluarkan melalui akar tanaman akan berada di rhizosfer kemudian terdekomposisi menjadi produk yang akan diterima oleh tanaman maupun mikroorganisme di sekitar (Kato-Noguchi *et al.* 2012). Akar tanaman diperkirakan melepaskan 5-21 % dari semua karbon yang dihasilkan pada proses fotosintesis (Weston *et al.* 2012). Namun hal ini sebanding dengan manfaat yang didapatkan dari pelepasan tersebut. Alelokimia yang dikeluarkan penting sebagai respon tanaman terhadap stress biotik dan abiotik, dan mempengaruhi dinamika mikroba di rhizosfer sehingga merangsang hubungan simbiotik, mengubah sifat tanah, mengusir herbivora dan mikroba penyebab penyakit (Nardi *et al.* 2000; Watt dan Weston 2009).

Alelokimia memiliki banyak manfaat dalam bidang pertanian, seperti management gulma, pengatur pertumbuhan dan pestisida. Penggunaan alelokimia dalam bidang pertanian dapat mengurangi penggunaan bahan kimia sintetis di lahan pertanian. Konsentrasi tinggi alelokimia dapat menghambat pertumbuhan tanaman lain yaitu gulma dan juga dapat mengusir hama (Farooq *et al.* 2009). Alelokimia juga dapat meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi erosi sehingga dapat meningkatkan hasil produksi tanaman (Khanh *et al.* 2005).

ALELOKIMIA SEBAGAI MANAGEMENT GULMA

Gulma bersaing dengan tanaman budidaya dan menghambat pertumbuhan dengan melepaskan zat kimia ke lingkungan sekitar sehingga menghambat tanaman. *Parthenium hysterophorus* L. adalah gulma berproliferasi besar yang melepaskan Parthenin di lingkungan dan menghambat pertumbuhan dan panjang tunas *Crotalaria mucronata* L., *Oscimum basilicum* L., dan barley (De La Fuente *et al.* 2000). *A.repens* adalah gulma bermasalah yang menghambat produksi dari *Lactuca sativa*, *Medicago sativa*, *Echinochloa crusgalli* dan *Panicum miliaceum* dengan menyerap nutrisi dan melepaskan bahan kimia beracun yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman (Bhadoria 2011). Alelokimia adalah solusi ekonomis dan ramah lingkungan untuk mengendalikan gulma.

Alelokimia ditemukan di berbagai bagian tanaman dengan konsentrasi dan komposisi yang bervariasi, dan jalur mereka untuk melepaskan senyawa ini ke lingkungan tergantung dari spesies (Gatti *et al.* 2004). Alelokimia merusak pertumbuhan normal gulma dengan mempengaruhi jalur metabolisme seperti 'nicin' menghambat produksi klorofil, 'sorgoleone' mengganggu proses respirasi, 'juglon (5-hydroxy-1,4- naphthoquinone)' menyerang reaksi redoks dan mekanisme radikal bebas (Weston dan Duke 2003). 'Artemisini' pada *Artemisia annua* adalah alelotoksin utama yang sangat mengganggu pertumbuhan akar dan menyebabkan warna kuning pada daun. Fitotoksin ini mengganggu proses evolusi oksigen mitokondria dan menghambat mitosis. Moonoterpenel 1,8-cineole dan sinmethylin turunannya menunjukkan fitotoksisitas yang luar biasa dan merupakan bioherbisida yang terkenal (Khanh *et al.* 2005). Barto *et al.* (2011) pada penelitiannya menyatakan bahwa dengan adanya mikoriza pada akar tanaman dapat memperluas zona bioaktif dari alelopat dalam tanah dengan memfasilitasi transportasinya.

INTERAKSI MIKORIZA DAN ALELOKIMIA

Beberapa senyawa yang diidentifikasi dalam eksudat akar yang telah terbukti memainkan peran penting dalam interaksi mikroba-akar meliputi sinyal seperti flavonoid yang terdapat dalam eksudat akar legum yang mengaktifkan gen *Rhizobium meliloti* yang bertanggung jawab untuk proses nodulasi. Senyawa ini juga bertanggung jawab untuk kolonisasi mikoriza (Becard *et al.* 1995).

Struktur dan fungsi komunitas tumbuhan terestrial sangat dipengaruhi oleh interaksi mikroorganisme dengan akar. Sekitar 90% dari tanaman darat bersimbiosis dengan jamur tanah membentuk asosiasi mikoriza (Smith dan Read 2008). Mikoriza terdiri dari beberapa kelompok berbeda berdasarkan struktur yang terbentuk pada sistem akar (Graham dan Miller 2005). Namun, jenis yang paling umum adalah mikoriza arbuskular dan ektomikoriza. Asosiasi mikoriza arbuskula dimulai ketika spora jamur bersentuhan dengan akar inang dan mulai bertunas. Hifa pada penetrasi membentuk apressoria di titik masuk dari tempat hifa intraradikal tumbuh. Hifa intraradikal ini menembus sel-sel kortikal dan membentuk struktur seperti ohon bercabang yang disebut arbuskula. Di dalam akar, cortex fungus membentuk struktur miirip gelembung yang disebut dengan vesikula sebagai organ penyimpanan pada jamur (Nasim 2010).

Jamur arbuskula mikoriza (AM) menyebar ke seluruh dunia, membentuk simbiosis dengan sebagian besar tanaman. AM penting dalam ekosistem alam dan semi alami karena meningkatkan produktivitas tanaman dan keragaman serta peningkatan ketahanan tanaman terhadap cekaman biotik dan abiotik (Smith and Read 2008). Meskipun efek tanaman inang pada perkecambahan spora masih sangat kontroversial, studi telah menunjukkan bahwa dalam kasus beberapa rhizome seperti jahe, kunyit, kapulaga dan lainnya ada indikasi spesifitas inang (Iqbal dan Nasim 1986). Ekosistem tanaman non-mikoriza kalah bersaing dengan spesies tanaman yang bersimbiosis dengan mikoriza (Brundrett and Abbott 2002). Hal ini karena mikoriza dapat berkembang pada tanah yang terbatas nutrisinya terutama fosfor (Brundrett 1991).

Alelokimia yang dikeluarkan oleh tanaman dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan mikoriza, seperti pada penelitian Afzalet *al.* (2000) bahwa aplikasi ekstrak dari *Imperata cylindrical*, nyatanya mengurangi kolonisasi AM di *Vigna radiate*. Penelitian Dzafic *et al.* (2010), pada tanaman jagung yang diinokulasi dengan mikoriza menunjukkan bahwa mikoriza dapat mendetoksifikasi senyawa yang bersifat alelopati pada tanaman jagung, namun walaupun dapat mendetoksifikasi kolonisasi mikoriza menurun akibat adanya senyawa yang bersifat alelopati ini (DIMBOA). Nasim (2008) mempelajari efek dari alelopati tanaman padi pada sporulasi *Glomus monosporum* dalam sistem tanam padi gandum, ditemukan bahwa ketika gandum dibudidayakan setelah padi, kemampuan *G. monosporum* untuk membentuk spora menurun. Tanaman angiosperm seperti

Brassicaceae, Chenopodiaceae, Amaranthaceae, dan Commelinaceae, AM tidak berkoloni karena alelokimia yang dikeluarkan oleh tanaman tersebut (Nasim *et al.*1993).

Alelokimia diproduksi oleh tanaman mempengaruhi pembentukan ektomikoriza dan asosiasi arbuskular mikoriza pada tumbuhan. Alelokimia tidak hanya dilaporkan menginduksi spesifitas inang tapi juga mempengaruhi luasnya koloni AM di akar tanaman. Pada beberapa tanaman terutama tanaman yang menyimpan cadangan makanannya di bawah tanah seperti rimpang, umbi contohnya *Zingiber officinale*, *Curcuma longa*, *Agave spp*, hanya spesies tertentu saja yang bersimbiosis dengan AM (Nasim 2010). Alelokimia juga memegang peranan penting dalam kolonisasi AM dengan tanaman inang. Kontak tanaman inang dan jamur adalah peristiwa penting bagi jamur. AM mengenali tanaman inang dan menanggapi ini menunjukkan bahwa ada molekul senyawa yang dilepaskan dari tanaman inang yang merangsang hifa bercabang (Buee *et al.*2000; Balestrini dan Lanfranco 2006, Nagahashi dan Douds 2000;). Menurut Akiyama *et al.*(2005) interaksi antara tanaman dan jamur AM diawali dengan pertukaran sinyal antara tanaman dan jamur AM. Tanaman inang mengeluarkan molekul sinyal yang dinamakan “branching factors” (BF) yang menginduksi perluasan percabangan hifa pada jamur AM. Sedangkan jamur AM mengeeluarkan molekul sinyal yang disebut dengan “myc factors” (MF). Yang menginduksi respon molekuler dan seluler yang mengarah pada keberhasilan pengkolonisasi akar tanaman oleh jamur AM. Tidak ada satu pun sinyal yang dapat diisolasi dan diidentifikasi secara kimia sampai kemudian BF diisolasi dari eksudat akar legume *Lotus japonicas*, dan diidentifikasi sebagai strigolactone, 5-deoxystigol. Strigolactone merupakan grub sesquiterpene lactones, yang sebelumnya terisolasi sebagai stimulant pada perkecambahan benih pada gulma *striga* dan *Orobanche*.

ALELOKIMA PADA SISTEM TANAM TUMPANGSARI

Tumpangsari adalah praktik pertanian untuk menumbuhkan dua atau lebih tanaman secara bersamaan di bidang yang sama. Praktik pertanian ini sering dikaitkan dengan sistem pertanian berkelanjutan, dimana dengan sistem tumpangsari maka keanekaragaman hayati tetap terjaga, dengan menyediakan habitat bagi berbagai macam serangga dan organism tanah yang tidak akan hadir pada sistem monokultur. Pola tanam tumpang sari dapat meningkatkan macam dan jumlah produksi persatuan luas persatuan waktu, dapat mengurangi resiko kegagalan panen, meningkatkan produktivitas penggunaan tanah, waktu, dan sumberdaya yang tersedia selama satu musim tanam, menghasilkan total out put dalam arti nilai ekonomis yang tinggi (Gascho *et al.* 2001).

Wiles *et al.*1989 menggambarkan Land Requirement Ratio (LER) sebagai indeks yang digunakan untuk membandingkan produktivitas campuran tanaman (tumpangsari) dengan hasil pada pertanaman tunggal (monoculture). LER menunjukkan efisiensi tumpangsari

untuk menggunakan sumber daya lingkungan dibandingkan monokultur. LER lebih besar dari 1,0 menunjukkan bahwa tumpangsari lebih efisien daripada monokultur.

Produktivitas sistem tumpangsari dapat dikurangi atau ditingkatkan tergantung pada inhibitor atau efek stimulasi dari tanaman masing-masing asalkan sumber daya pertumbuhan tidak membatasi. Pada sistem tumpangsari pertumbuhan dan hasil panen tanaman meningkat karena penyerapan nutrisi yang lebih besar, pengendalian gulma yang lebih baik daripada monokultur, namun mekanismenya belum sepenuhnya dipahami. Eksudat akar memainkan peran utama dalam produktivitas tumpangsari karena mereka dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman, melalui pertukaran ion yang lebih baik, penyerapan nutrisi yang lebih besar dan kontrol gulma parsial dibandingkan dengan monokultur (Lodhi 1981; Pronin *et al.*1972; Kao 1989).

Tingkat stimulasi atau inhibisi tergantung pada konsentrasi zat yang disekresikan dari akar eksudat kedua spesies (Lambert 1959). Pada tumpangsari oat dan alfalfa, eksudat akar dari oat mengurangi pertumbuhan alfalfa, akan tetapi eksudat alfalfa meningkatkan pertumbuhan oat (Krasnikova dan Garkina 1946). Begitu pula pada tumpangsari antara buckwheat dan lupin, hasil panen buckwheat 12-35% lebih besar dari monokultur, karena eksudat akar lupin menstimulasi pertumbuhan dan perkembangan buckwheat (Wozniak *et al.*1981). Pada tumpangsari jagung dan kacang polong, eksudat akar dapat menghambat atau merangsang pertumbuhan, absorpsi dan akumulasi ion tanaman, namun total serapan N, P, K lebih besar dari pada saat monokultur dan serapan hara jagung lebih tinggi daripada kacang (Lastuka 1970).

ALELOKIMA MENDUKUNG PERTUMBUHAN TANAMAN SEKITAR

Alelokimia pada konsentrasi rendah membantu pertumbuhan dan memberikan perlawanan terhadap beberapa tekanan abiotik (Farooq *et al.*2009). Baru beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk menyelidiki promosi pertumbuhan oleh alelokimia. Aplikasi ekstrak alelopatik pada konsentrasi rendah merangsang perkecambahan dan pertumbuhan tanaman yang berbeda (Anwar *et al.* 2003; Cheema *et al.*2012). Penerapan alelokimia pada konsentrasi rendah untuk tanaman dapat menjadi cara yang efektif dan efisien untuk mempromosikan pertumbuhan dan untuk meningkatkan produktivitas tanaman (Oudhia *et al.*1988). Memvariasikan konsentrasi memiliki efek yang berbeda pada bagian tanaman. Asam klorogenik menekan pertumbuhan dan perkecambahan pada konsentrasi tinggi (10⁻⁵ M) tetapi meningkatkan parameter ini secara signifikan pada konsentrasi yang lebih rendah (10⁻⁵-5 × 10⁻³ M). Asam caffeic dan asam ferulat menekan perkecambahan dan pertumbuhan pada konsentrasi tinggi (10⁻⁵ M atau lebih) tetapi membaik pada konsentrasi rendah (10⁻³ M atau kurang)(Li *et al.* 1993). Calliterpenone alelokimia yang diproduksi oleh *C. macrophylla*. Hasilnya calliterpenone meningkatkan perkecambahan biji, pertumbuhan akar, pertumbuhan tunas dan perkembangan bunga (Ambika

2012). Fakta yang sangat menarik adalah bahwa alelokimia khusus ini secara alami memiliki potensi untuk meningkatkan pertumbuhan dan diproduksi dalam konsentrasi tertentu yang mendukung pertumbuhan tanaman. Mereka bekerja secara sinergis dengan mikroba. Demikian pula dengan ekstrak *Stevia rebaudiana* mengandung stevioside yang meningkatkan pertumbuhan mentimun dan selada (Ambika 2012).

ALELOKIMIA SEBAGAI PESTISIDA ALAMI

Alelokimia yang dikeluarkan pada akar tanaman merupakan eksudat akar yang mengubah kondisi fisik dan kimia rhizosfer dengan mengubah tingkat pH dan ketersediaan mineral dan juga mempengaruhi pertumbuhan dan interaksi berbagai mikroorganisme yang mengisi rhizosfer (Marschner 1995). Alelokimia yang diproduksi oleh tanaman kentang (*Solanum tuberosum*) mengandung senyawa *low molecular weight organic* (LMWO) polar yang merangsang *Spongospora subterranea* (Wallr) untuk tidak berkecambah, *S. subterranea* merupakan mikroorganisme patogen yang menyebabkan penyakit pada perakaran kentang (Balendres 2016). Hasil penelitian Chen *et al.* (2017) yang menyelidiki efek dari eksudat akar bawang kentang dan residu pada clubroot, serta mengetahui ekspresi patogenitas gen *P. brassicae* sebagai respons terhadap eksudat akar bawang kentang menunjukkan bahwa eksudat akar dari bawang kentang dapat memainkan peran penting dalam menekan clubroot dalam sistem rotasi kubis Cina-bawang kentang- kubis Cina. Hao *et al.* (2010) dalam penelitiannya yang bertujuan mengevaluasi efek eksudat akar dari tanaman semangka dan padi pada pertumbuhan juga mekanisme penekanannya terhadap penyakit *Fusarium oxysporum*. Hasil yang didapatkan bahwa eksudat akar padi memiliki sifat anti jamur sedangkan eksudat semangka meningkatkan pertumbuhan patogen. Begitu pula penelitian Li Xg *et al.* (2013) yang bertujuan menentukan jenis dan jumlah senyawa yang ada dalam eksudat akar kacang tanah, dan untuk menyelidiki efeknya terhadap pertumbuhan jamur yang terbuah dalam tanah secara *in vitro*. Hasil yang didapatkan yaitu bahwa perbedaan dalam eksudat akar dari kultivar kacang yang berbeda dianggap mengatur mekanisme ketahanan terhadap penyakit layu kacang tanah. Hal ini membuktikan bahwa alelokimia yang dikeluarkan tanaman melalui akra, mampu menekan patogen yang masuk ke dalam tanaman dan tetap mampu menginduksi ketahanan tanaman terhadap patogen tersebut. Sel-sel akar yang halus selalu rentan dengan patogen, namun sekresi senyawa kimia dari akar dapat melindunginya (Flores 1999).

SIMPULAN

Alelokimia memberikan dampak positif bagi lingkungan sekitar tanaman, sehingga dapat memberikan keuntungan bagi hasil produksi tanaman. Dampak positifnya antara lain alelokimia dapat memmanagement gulma, mengatur pertumbuhan tanaman, dan juga sebagai pestisida. Keuntungan ini dapat terjadi jika alelokimia yang diproduksi oleh tanaman dalam konsentrasi yang rendah. Alelokimia juga menjadi sinyal bagi mikroorganisme yang bersimbiosis dengan tanaman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada penitia Sembio 2018 yang telah memfasilitasi sehingga artikel ini dapat publish.

DAFTAR PUSTAKA

- Afzal B, Bajwa R, Javaid A. 2000. Allelopathy and VA mycorrhiza. VII: cultivation of *Vignaradiata* and *Phaseolus vulgaris* under allelopathic stress of *Imperata cylindrica*. *Pak J Biol Sci.* 3:1926–1928.
- Akiyama K, Matsuzaki K, Hayashi H. 2005. Plant sesquiterpenes induce hyphal branching in arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature* 435: 824–827.
- Ambika SR. 2012. Multifaceted attributes of allelochemicals and mechanism of allelopathy. In: *Allelopathy: Current Trends and Future Applications*, pp: 113–143.
- Anwar S, WA Shah, M Shafi, J Bakht and MA Khan. 2003. Efficiency of sorgaab (sorgaab) and herbicide for weed control in wheat (*Triticum aestivum*) crop. *Pak. J. Weed Sci. Res.* 9: 161–170.
- Bhadoria PBS. 2011. Allelopathy: a natural way towards weed management. *Amer. J. Exp. Agric.* 1: 7–20.
- Barto EK, Hilker M, Muller F, Mohney B, Weidenhamer J, Rillig M. 2011. The Fungal Fast Lane : Common Mycorrhizal Networks Extend Bioactive Zones of Allelochemicals in Soils. *PLoS ONE.* 6(11): e27195.
- Becard G, Taylor LP, Douds DD, Pfeffer PE, Doner LW. Flavonoids are not necessary plant signal compounds in arbuscularmycorrhizal symbiosis. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 8: 252-258.
- Brunderett M, B Dell, Neale B, and Nick M. 1996. Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture. ACIAR Monograph. 32: 374 + x p.
- Balendres MA, Tegg RS, Wilson CR. 2016. Key events in pathogenesis of spongospore diseases in potato: a review. *Australas. Plant Pathol.* 45: 229-240.
- Balestrini R, Lanfranco L. 2006. Fungal and plant gene expression in arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza.* 16:509–52.
- Brundrett MC. 1991. Mycorrhizas in natural ecosystems. *Adv Ecol Res.* 21:171–313.
- Brundrett MC, Abbott LK. 2002. *Arbuscular mycorrhizas in plant communities*. In: Sivasithamparam K, Dixon KW, Barrett RL (eds) *Microorganisms in plant conservation and biodiversity*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 151–193.
- Buee M, rosignol M, Januneau A, Ranjeva R, Becard G. 2000. The pre-symbiotic growth of arbuscular mycorrhizal fungi is induced by a branching factor partially purified from the plant root exudates. *Mol.Plant-Microbe Interact.* 13: 693-698.
- Cheema ZA, M Farooq and A Khaliq. 2012. Application of allelopathy in crop production: success story from Pakistan. In: *Allelopathy: Current Trends and Future Applications*, pp: 113–143. Cheema, Z.A., M. Farooq and A. Wahid (eds.). Springer: Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Chen XH, Hu F, Kong CH. 2008. Varietal improvement in rice allelopathy. *J. Allelopathy.* 22:379–384.
- De La Fuente J, Uriburu M, Burton G, Sosa V. 2000. Sesquiterpene lactone variability in

- Partheniumhysterophorus* L. *Phytochemistry*. 55: 769-772.
- Duffy EM, Cassells AC. 2000. The effect of inoculation of potato (*Solanum tuberosum* L.) microplants with arbuscular mycorrhizal fungi on tuber yield and tuber size distribution. *Appl Soil Ecol*. 15:137-144.
- Dzafic EP, Ponggrac M, Likar K, Vogel-Mikus and M Regvar. 2010. Colonization of maize (*Zea mays* L.) with the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* alleviates negative effects of *Festuca pratensis* and *Zea mays* root extrac. *Allelopathy Journal*. 25 (1): 249-258.
- Einhelling FA. 1995. Mechanism of action of allelochemicals. In *Allelopathy: Organism, Processes and Applications*. Eds. Inderjit KMM Daksini and FA Einheling. ACS Symposium Series 582. Pp. 96-116. American Chemical Society, Whashington DC.
- Farooq M, SMA Basra, A Wahid, N Ahmad and BA Saleem, 2009. Improving the drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by exogenous application of salicylic acid. *J. Agron. Crop Sci*. 195: 237-246.
- Flores HE, Vivanco JM, Loyola-Vargas VM. 1990. Radicle“ biochemistry:the biology of root-specific metabolism. *Trends Plant Sci*. 4: 220-226.
- Gatti AB, Perez SCJGd, Lima MIS. 2004. Atividadealelopática de extratos aquosos de *Aristolochiaesperanzae* O. Kuntze na germinação e no crescimento de *Lactuca sativa* L. e *Raphanus sativus* L. *Acta BotanicaBrasilica*.
- Gascho GJ, Robert K H, Timothy B B, Alva W J, Donald R S, and Glendon H H. 2001. Effects of Broiler Litter in an Irrigated, Double-Cropped, Conservation-Tilled Rotation. *J Agron*. 93: 1315-1320.
- Graham JH, Miller RM. 2005. Mycorrhizas: gene to function. *Plant Soil*. 274:79-100.
- Hao WY, Ren LX, Ran W, Shen QR. Allelopathic effects of root exudates from watermelon and rice plants on *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum*. *Plant Soil*. 2010;336:485-497.
- Iqbal SH, dan Nasim G. 1986. Vesicular arbuscular mycorrhiza in roots and other part of *Zingiberofficinale Roscoe*. *Biol*. 32:273-277.
- Kao MM. 1989. Fungal metabolites as growth inhibitors of sugarcane and the mechanism of phytotoxicity. In *Phytochemical ecology*. Monograph. 9: 329-341. Taipei, Taiwan: Institute of Botany, Academia Sinica.
- Kato_Noguchi H, Ota K dan Kujime H. 2012. Absorption of momilactone A and B by *Arabidopsis thaliana* L. and the growth inhibitory effects. *Journal of Plant Physiology*. 169: 1471-1476.
- Khanh TD, Hong NH, Xuan TD, Chung IM. 2005. Paddy weed control by medical and leguminous plants from Southeast Asia. *Crop Prot*. 24:421-43.
- Krasilnikova NA, and Garkina NI. 1946. *Microbiologiya*. 15: 109-141.
- Lambert RG. 1959. *Plant Disease Reporter*. 43: 1117-1119.
- Lastuvka Z. 1970. Mutual effect of maize and pea in water cultivars with additional nutrition. In *Physiological-Biochemical Basis of Plant Interactions in Phytocenosis*. 1: 55-59.
- Li, M Inoue, H Nishimura, J Mizutani and E Tsuzuki. 1993. Interactions of *trans*-cinnamic acid, its related phenolic allelochemicals, and abscisic acid in seedling growth and seed germination of lettuce. *J. Chem. Ecol.*, 19: 1775-1787.
- Li XG, Zhang Tl, Wang XX. 2013. The Composition of Root Exudates from Two Different Resistant Peanut Cultivars and Their Effects on the Growth of Soil-Borne Pathogen. *J Biol Sci* 9(2): 164-173.
- Lodhi MAK. 1981. Accelerated soil mineralization, nitrification and revegetation of abandoned fields due to the removal of crop-soil phytotoxicity. *Journal of Chemical Ecology*. 7: 685-694.
- Marschner H. 1995. *Mineral nutrition in higher plants*. 2nd edition. London: Academic Press.
- Molisch H. 1937. Der Einfluss einer Pflanze auf die Andere-Allelopathic. *Fischer, Jena, German.*, 31: 12-16.
- Nagahashi G, Douds DD. 2000. Partial separation of the root exudates components and their effects upon the growth of germinated spores of AM fungi. *Mycol Res*. 104:1453-1464.
- Nasim G, Zahoor R, Haider ST. 1993. Endogonaceous spore flora of Pakistan. VII. Host specificity in vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for the members of family Agavaceae. *Pak phytan* 5:167-178.
- Nasim G. 2008. Influence of rice allelopathy on sporocarp formation by *Glomus monosporum* in leaf sheath bases of wheat. *J. Allelopathy*. 22:403-408.
- Nasim G. 2010. Decaying leaf sheaths of wheat—an unusual niche for *Glomus monosporum*. *J. Bot*. 42:1313-131.
- Nawal SS. 2010. Allelopathy in ecological sustainable organic agriculture. *Journal Allelopathy*. 25: 1-72.
- Oudhia P, SSS Kolhe and RS Tirpathi. 1998. Allelopathic effect of *Blumea lacera* L. on rice and common Kharif weeds. *Oryza*, 35: 175-177.
- Pronin VA, Voronkova FV and YAKovlev AA. 1972. Plant relations in mixed stands as dependent on biological and biochemical processes in soil. In *Physiological-Biochemical Basis of Plant Interactions in Phytocenosis*. 3: 121-124.
- Rice EL. 1984. Allelopathy. Academic Press, Inc., New York.
- Reigosa MJ, Pedrol N, González L. 2006. Allelopathy: a physiological process with ecological implications, Springer, The Netherlands.
- Scognamiglio M, D'Abrosca B, Esposito A, Pacifico S, Monaco P, dan Fiorentino A. 2013. Plant growth inhibitors: allelopathic role or phytotoxic effects? Focus on Mediterranean biomes. *Phytochemistry Review*. 12: 803-830.
- Song B, Xiong J, Fang C, Qiu L, Lin R, Ling Y, dan Lin W. 2008. Allelopathic enhancement and differential gene expression in rice under low nitrogen treatment. *Journal of Chemical Ecology*. 34: 688-695.
- Smith SE, dan Read DJ. 2008. Mycorrhizal symbiosis. 3rd edn. Academic, London.
- Watt M, Weston LA. 2009. Specialised root adaptations: cell-specific developmental and physiological diversity. *Plant and Soil*. 322: 39-47.

- Weston LA, and SO Duke. 2003. Weed and crop allelopathy. *Crit. Rev. Plant Sci.* 22: 367–389.
- Weston LA, Ryan PR, Dan Watt M. 2012. Mechanisms for cellular transport and release of allelochemicals from plant roots into the rhizosphere. *J. Exp. Bot.* 63: 3445–3454.
- Wiles LJ, RD Wiliam, GD Crabtree and SR Radosevich. 1989. Analyzing competition between a living mulch and a vegetable crop in an interplanting system. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114: 1029-1034.
- Wozniak KL, Sullivan WM, Flowerday AD. 1981. Proceedings of 73 Annual Meeting. American Society of Agronomy. Pp. 116.
- Zheng YL, Feng YL, Zhang LK, Callaway RM, Valiente-Banuet A, Luo DQ. 2015. Integrating novel chemical weapons and evolutionarily increased competitive ability in success of a tropical invader. *New Phytol.* 205: 1350–1359.
- Zhong Qun H, Zhuang Junan, Tang HaoRu and Huang Zhi. 2012. Different vegetables Crops in Response to Allelopathic of Hot Pepper Root Exudates. *World Applied Sciences Journal* 19(9) : 1289-1294.