

**Potensi Allelokimia Padi (*Oryza sativa* L.) dalam Menekan Perkecambahan
Gulma *Echinochloa crus-galli* (Kajian Pembelahan Sel) *)**

Irawati Chaniago

Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas Padang

ABSTRACT

Research to study the potential of rice allelopathy to suppress the growth of *Echinochloa crus-galli*, one of major weed species in rice cultivation, has been conducted from May to September 2006 at the Laboratory of Plant Physiology, Faculty of Agriculture, Andalas University, Padang. The objective of this study is achieved through different approaches including cell division by measuring mitotic index at the root tips of *Echinochloa crus-galli* radicles. Fresh plant material from 1-month-old rice cv. Cisokan was cut into approximately 3 cm portions and soaked in water (25%, w/v) in a glass beaker for 24 hours at room temperature. The extract was then used to germinate the weed seeds in Petri dish. The weed radicle root tips were cut into 0.5 cm sections and soaked in 0,1% colchicines, hidrolysed in 1 M HCl at 60°C for 5 minutes, then stained with 1% aceto-orcein. Samples were then observed under a light microscope with 400X magnification. There were 5 field of observation for each slide glass of weed root tips. Results demonstrate that rice plant extracts reduced cell division in *Echinochloa crus-galli* as much as 54%. This inhibition has shown the potential of rice allelopathy towards *Echinochloa crus-galli*.

Key words : allelopathy, mitotic index, rice, *Echinochloa crus-galli*, colchicines

*) didanai oleh Dana Penelitian Doktor Muda Unand TA 2006 melalui dana DIPA Universitas Andalas

A. PENDAHULUAN

Produktivitas padi sawah di Indonesia masih rendah dan bahkan telah mengalami *leveling off*. BPS (2003) melaporkan bahwa rata-rata produktivitas padi di Indonesia 4,75 t/ha dengan luas panen 10.384.700 ha dan untuk Sumatera Barat 4,5 t/ha dengan luas panen 403.626 ha. Peningkatan produktivitas padi perlu dilaksanakan untuk mengimbangi laju pertumbuhan penduduk. Peningkatan produktivitas padi tersebut telah dan akan terus diupayakan dalam mendukung upaya meningkatkan ketahanan pangan nasional.

Faktor lingkungan, baik abiotik maupun biotik, berperan dalam mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman termasuk padi sawah. Faktor abiotik seperti cekaman lingkungan yang bersifat fisiologis seperti cekaman air, hara, suhu, dan linnya. Sedangkan faktor biotik meliputi interaksi tanaman dengan hama, penyakit dan gulma.

Interaksi antara tanaman dengan gulma biasanya terjadi dalam bentuk kompetisi dan/ allelopati. Allelopati mengacu pada semua proses yang melibatkan metabolit sekunder yang dihasilkan oleh tumbuhan, mikroorganisme termasuk virus dan jamur yang dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan suatu sistem pertanian dan sistem biologis (Narwal, 1999). Penelitian tentang allelopati sudah banyak dilakukan dan bahkan sampai saat ini sudah diidentifikasi ratusan senyawa metabolit sekunder yang punya potensi sebagai allelokimia.

Pengendalian gulma, kebanyakan melalui aplikasi herbisida, merupakan salah satu faktor penting dalam kebanyakan sistem pertanian. Akan tetapi, tindakan tersebut mengakibatkan terjadinya resistensi gulma terhadap herbisida (Foes *et al.*, 1998; Tranel *et al.*, 2004) dan ini menyebabkan peningkatan perhatian manusia tentang efek samping herbisida terhadap lingkungan. Aplikasi herbisida secara intensif telah menyebabkan terjadinya berbagai akibat terhadap flora dan fauna yang hidup pada ataupun di dekat lingkungan sistem pertanian (Cooke dan Burn, 1995). Oleh karena itu, pencarian alternatif pengganti herbisida telah diupayakan.

Allelokimia dapat memberikan peluang untuk membantu penyelesaian masalah tersebut di atas karena potensinya sebagai herbisida alami (bio-herbisida). Beberapa allelokimia telah dibuktikan potensinya untuk digunakan sebagai herbisida seperti artimisin (Lydon *et al.*, 1997), phenolic acids (Reigosa *et al.*, 2001) dan allelokimia yang berasal dari mulsa tanaman rye (Nagabhushana *et al.*, 2001). Penelitian yang sangat

intensif telah dilaksanakan dan telah berhasil mengisolasi dan mengidentifikasi ratusan senyawa allelokimia (Wu *et al.*, 2003; Kamo *et al.*, 2003). Senyawa-senyawa allelokimia tersebut berasal dari kelompok senyawa kimia yang berbeda dan mempunyai kompleksitas struktur kimia. Oleh karena itu, adalah suatu hal yang realistic untuk berasumsi bahwa allelokimia tersebut memiliki mekanisme kerja yang berbeda dan tingkat spesifikasi gulma yang berbeda pula.

Penelitian ini bertujuan untuk menggali potensi allelopati padi dalam menekan pertumbuhan gulma *Echinochloa crus-galli* yang merupakan gulma utama pada pertanaman padi. Tujuan ini akan dicapai melalui pendekatan pengujian pembelahan sel dengan mengukur indeks mitosis pada ujung radikel kecambah gulma tersebut.

B. TINJAUAN PUSTAKA

Mendesaknya pencapaian peningkatan produktivitas padi perlu didukung dengan berbagai upaya modifikasi teknologi budidaya seperti pengendalian gulma. Hal ini disebabkan karena persaingan tanaman padi dengan gulma dapat menurunkan hasil sampai 82% (Solfitriani dan Setiawati, 2003). Penelitian tentang pengendalian gulma padi dengan menggunakan herbisida telah banyak dilaksanakan. Akan tetapi tidak demikian halnya dengan penggalian potensi allelopati tanaman padi dalam menekan pertumbuhan gulma yang berasosiasi dengan tanaman padi. Keadaan ini akan memungkinkan terbukanya jalan untuk menuju pengendalian gulma secara biologis melalui allelopati tanaman padi, sedangkan dalam jangka panjang akan memungkinkan pemanfaatan senyawa allelokimia sebagai sumber bioherbisida yang ramah lingkungan dalam menunjang sistem pertanian yang berkelanjutan.

Alam membekali tanaman dengan kemampuan mempertahankan diri dari serangan herbivora dan predator melalui strategi ketahanan mekanis seperti adanya duri, bulu-bulu halus yang tebal di bagian permukaannya, duri penyengat, dan kulit luar yang sangat tebal pada akar dan batang. Selain itu, produksi dan penyimpanan ketahanan kimiawi merupakan sifat khusus dari sebagian tanaman (Swain, 1977; Harborne, 1989). Allelokimia yang dilepaskan oleh tumbuhan penghasil (donor) ke lingkungannya dan mempengaruhi tumbuhan target (receptor) (Dakshini *et al.*, 1999) adalah contoh tentang strategi ketahanan kimiawi pada tanaman. Strategi ketahanan kimiawi ini bukanlah gejala yang independen dan bisa aktif secara bersama dan sinergi dengan lingkungan abiotik dan biotik.

Penghambatan pertumbuhan tanaman akibat allelopati biasanya merupakan hasil kombinasi antara senyawa allelokimia yang mengganggu beberapa proses fisiologis pada tanaman target (Narwal, 1999) dan pada akhirnya akan menyebabkan penghambatan pertumbuhan. Allelokimia telah dilaporkan menyebabkan banyak sekali gangguan pada tumbuhan target pada berbagai proses fisiologis seperti penghambatan perkecambahan dan pertumbuhan bibit jagung (Devi dan Prasad, 1992), *Echinochloa crus-galli* (Ahn dan Chung, 2000), perkecambahan wheat dan *Anaranthus* spp. (Dudai *et al.*, 1999), kultur suspensi tanaman wortel (Abenavoli *et al.*, 2003), dan respirasi kecambah jagung (Abraham *et al.*, 2003a) serta respirasi kecambah kedelai (Chaniago *et al.*, 2003).

Gangguan allelokimia terhadap proses perkecambahan biasanya terjadi pada perkecambahan itu sendiri dan proses pemanjangan radikel. Gangguan tersebut dapat terjadi melalui mekanisme yang berbeda seperti asam fenolat yang menekan perkecambahan kedelai melalui penghambatan enzim respirasi (Abraham *et al.*, 2003b), gangguan fungsi mitokondria (Rasmussen *et al.*, 1992), dan gangguan hubungan air dan tanaman (Barkosky dan Einhellig, 2003). Contoh-contoh diatas menggambarkan bahwa hambatan perkecambahan bisa saja merupakan efek sekunder dari allelokima sebagai akibat perubahan fisiologis pada saat perkecambahan.

Efek allelokima dapat terjadi melalui berbagai aktivitas metabolisme yang meliputi pembelahan dan pemanjangan sel, pengaturan pertumbuhan melalui gangguan pada zat pengatur tumbuh, pengambilan hara, fotosintesis, respirasi, pembukaan stomata, sintesis protein, sintesis lemak dan asam organik, permeabilitas membrane, dan aktivitas enzim tertentu (Rice, 1984).

Echinochloa crus-galli termasuk gulma penting pada pertanaman padi sawah. Gulma jenis ini menyebabkan penghambatan pembentukan anakan yang seterusnya dapat menurunkan komponen hasil dan hasil padi. Selain itu, gangguan sistem perakaran serta penyerapan unsur hara juga telah dilaporkan akibat asosiasi padi dengan *E. crus-galli*. Pertanaman padi yang bersifat monokultur dan penggunaan herbisida secara terus menerus dapat menyebabkan terjadinya resistensi gulma terhadap herbisida tertentu (Gadamski *et al.*, 2000).

Allelokimia memiliki potensi untuk dieksplorasi dalam upaya pengendalian gulma secara biologis sebagai herbisida alami (bio-herbisida). Beberapa allelokimia telah terbukti potensinya untuk digunakan sebagai herbisida seperti artimisin (Lydon

et al., 1997), phenolic acids (Reigosa *et al.*, 2001) dan allelokimia yang berasal dari mulsa tanaman rye (Nagabhushana *et al.*, 2001).

Senyawa-senyawa allelokimia berasal dari metabolisme karbohidrat, lemak dan asam amino (Einhellig, 1985) dan bisa juga merupakan hasil sampingan dari proses-proses yang mengarah kepada metabolisme primer (Aletor dan Res, 1993). Dengan beberapa pengecualian, dipercaya bahwa allelokimia berasal dari lintasan asam asetat atau asam sikimat, atau kerangka kimianya berasal dari kombinasi kedua lintasan ini (Einhellig, 1995).

C. BAHAN DAN METODE

1. Ekstraksi tanaman padi sebagai sumber allelokimia

Percobaan telah dilaksanakan di Rumah Kawat dan Laboratorium Fisiologi Tumbuhan, Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas. Padi varitas Cisokan dikecambahkan dan ditanam dalam pot pada media campuran tanah sawah : pupuk kandang (3 : 1). Tanaman diperlihara di Rumah Kawat selama satu bulan sebelum dipanen untuk selanjutnya diekstraksi. Pada saat pemanenan tanaman dibersihkan dari tanah dengan mencucinya dibawah air mengalir. Kemudian tanaman padi tersebut dikeringanginkan di dalam ruangan yang tidak terkena cahaya matahari langsung, sebelum tanaman dipotong-potong sekitar 3 cm.

Bahan tanaman kemudian direndam di dalam Beaker glass dengan aquadest selama 24 jam dengan konsentrasi 25% (berat/volume) dan diletakkan di dalam laboratorium. Untuk menghindari kemungkinan terjadinya pengaruh cahaya terhadap penguraian senyawa allelokimia, maka Beaker glass diselubungi dengan aluminium foil. Setelah 24 jam (akhir ekstraksi), bahan tanaman dibuang, dan larutan ekstrak disaring dengan kertas saring Whatmann No. 1. Larutan ekstrak disimpan di dalam lemari pendingin pada suhu 4°C sebelum digunakan.

2. Perkecambahan gulma *Echinochloa crus-galli*

Biji gulma disterilisasi permukaan dengan pencucian dalam larutan 70% ethanol selama 1 menit sebelum pencucian dengan 1% Natrium hipoklorit (NaOCl) selama 15 menit. Sumber NaOCl adalah bahan pemutih rumah tangga (Bayclin). Biji-biji gulma selanjutnya dicuci sebanyak 4 kali dengan air steril. Berikutnya, 20 biji gulma dikecambahkan di cawan Petri yang dilapisi dengan satu lembar kertas saring

Whatmann No. 1 dan ditambahkan 5 mL larutan ekstrak tanaman padi. Cawan Petri kemudian diletakkan di laboratorium pada suhu kamar dengan pencahayaan alami.

3. Pengambilan sample radikel gulma dan penentuan indeks mitosis

Radikel gulma diambil ketika panjangnya sekitar 1,5 cm. Ujung radikel dipotong sekitar 1 cm dengan menggunakan pisau scalpel secara hati-hati. Seperti kebanyakan tumbuhan lainnya, waktu terbaik dalam pengambilan sample radikel tanaman untuk tujuan percobaan ini adalah sekitar satu jam setelah cawan Petri mendapat cahaya. Saat ini adalah waktu yang sesuai untuk mengamati kromosom secara jelas pada berbagai fase mitosis dengan menggunakan mikroskop cahaya apabila pre-treatment dan pewarnaan dilakukan dengan tepat.

Sampel radikel segera dimasukkan kedalam tabung vial berukuran 5 mL yang setengahnya sudah diisi dengan larutan 0,1% colchicines, kemudian direndam selama 4 jam pada suhu kamar. Kemudian radikel dibilas dengan air murni dan dipindahkan kedalam vial yang telah berisi 70% larutan ethanol untuk tujuan penyimpanan di dalam lemari pendingin pada suhu 4°C.

Sebelum pengamatan, radikel dipindahkan dari vial dan dibilas dengan aquadest untuk menghilangkan alcohol pada permukaannya, kemudian radikel dipindahkan ke vial lain yang berisi 1 M HCl dan kemudian dipanaskan 60°C selama 5 menit untuk tujuan hidrolisasi. Kemudian, radikel diwarnai dengan 2 mL larutan pewarna yang terdiri dari 1% aceto-orcein dan 1 M HCl (9:1). Larutan aceto-orcein terdiri dari 2 g orcein yang dilarutkan dalam 100 mL campuran antara propionic acid dan lactic acid. Vial yang berisi radikel dan larutan pewarna kemudian dipanaskan diatas lampu Bunsen selama 1 menit agar pewarnaan lebih sempurna. Kemudian larutan dibiarkan dingin selama 10 menit.

Radikel kemudian dikeluarkan dari vial dan diletakkan diatas objek glas. Radikel kemudian dipotong sekitar 0,5 mm dari ujungnya dan sisanya dibuang. Kemudian ditambahkan satu tetes 1% aceto-orcein (tanpa HCl) keatas objek glas. Potongan ujung radikel selanjutnya digiling dengan menggunakan ujung pisau scalpel sampai menghasilkan cairan seperti suspensi sebelum penambahan 1 atau 2 tetes lagi larutan 1% aceto-orcein sesuai kebutuhan. Kemudian objek glas ditutup dengan cover glas dan kelebihan cairan yang keluar dari sisi cover glas dikeringkan secara hati-hati dengan kertas saring. Objek glas kemudian dihangatkan kembali untuk menghilangkan gelembung udara yang mungkin masih berada dibawah cover glas. Setelah itu,

disetiap sisi cover glas ditambahkan pewarna kuku transparan untuk mencegah mengeringnya larutan pewarna dibawah cover glas. Objek glas tersebut kemudian disimpan di dalam lemari pendingin pada suhu 4°C. Objek glas tersebut bisa disimpan selama seminggu tanpa kehilangan kualitas bahan pewarna objek.

Preparat kemudian diamati dibawah mikroskop dengan perbesaran 400X. Dalam percobaan ini diamati 5 objek glas dan pada setiap objek glas diamati 10 daerah pengamatan agar penghitungan lebih akurat. Jumlah sel yang sedang membelah dihitung, tanpa menghiraukan fase pembelahan sel yang sedang berlangsung, dengan cara menghitung semua sel yang memperlihatkan kromosomnya. Indeks mitosis dihitung sebagai persentase sel yang sedang membelah dibandingkan dengan total sel yang diamati dibawah mikroskop pada setiap daerah pengamatan.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ekstrak tanaman padi telah terbukti menghambat pembelahan sel radikel *Echinochloa crus-galli* sampai 54% (Tabel 1). Ini menunjukkan bahwa tanaman padi berpotensi dalam menghambat pembelahan sel gulma *Echinochloa crus-galli*.

Tabel 1. Indeks mitosis ujung radikel gulma *Echinochloa crus-galli* akibat perlakuan ekstrak tanaman padi

Perlakuan	Indeks mitosis*
Tanpa ekstrak (kontrol)	0,82
Dengan ekstrak tanaman padi	0,45

* Nilai rata-rata indeks mitosis setiap perlakuan adalah rata-rata dari 50 daerah pengamatan. (P<0.001)

Pada percobaan ini, kebanyakan sel berada pada fase metafase dimana kromosom berada di baris tengah seolah garis ekuator. Radikel gulma *E. crus-galli* pada percobaan ini direndam di dalam larutan colchicine untuk mencegah terjadinya pemisahan kromosom yang pada akhirnya akan menghasilkan fase yang disebut 'metafase yang tertahan' (Vaughan & Vaughn, 1988). Selain itu, penggunaan colchicines juga ditujukan untuk membuat kromosom kelihatan kontras sehingga memudahkan pengamatan dan penghitungan. Vaughan & Vaughn (1988) juga melaporkan bahwa ujung radikel bawang merah yang diperlakukan dengan caffeine,

alkaloid yang diisolasi dari buah kopi, telah terbukti mengganggu tahapan akhir pembelahan sel setelah terjadinya pemisahan inti sel. Gangguan pembelahan sel tersebut menggambarkan bahwa adanya gangguan pada mekanisme dasar yang mengatur pembelahan sel.

Allelokimia dapat mempengaruhi pertumbuhan atau fungsi metabolisme tertentu pada species tanaman yang menjadi target allelopati. Pengaruh-pengaruh tersebut bisa termanifestasikan melalui aktivitas metabolisme yang berbeda-beda, termasuk pembelahan sel dan pemanjangan sel, aktivitas zat pengatur tumbuh endogen, pengambilan unsur hara, fotosintesis, respirasi, pembukaan stomata, sintesis protein, metabolisme asam lemak dan asam organik, permeabilitas membran dan aktivitas enzim-enzim tertentu (Rice, 1984).

Penurunan indeks mitosis yang cukup signifikan pada percobaan ini menunjukkan keberadaan suatu faktor penting dalam interaksi allelopati dari cultivar tanaman padi yang dicobakan. Potensi senyawa penghambat pertumbuhan dari ekstrak tanaman padi dapat menjelaskan bahwa allelopati padi dapat dimanfaatkan dalam upaya peningkatan resistensi tanaman padi terhadap gulma *E. crass-galli*.

E. KESIMPULAN

Ekstrak tanaman padi sebagai sumber allelopati telah terbukti menurunkan indeks mitosis gulma *E. crass-galli* pada percobaan ini. Penelitian ini memberikan penjelasan tentang salah satu mekanisme allelopati pada tumbuhan target.

F. DAFTAR PUSTAKA

- Abenavoli, M. R., C. De Santis, M. Sidari, A. Sorgona, M. Badiani and G. Cacco, 2001, 'Influence of coumarin on the net nitrate uptake in durum wheat', *New Phytologist*, 150: 619-627.
- Abraham, D., A. C. Francischini, E. M. Pergo, A. M. Kelmer-Bracht and E. L. Ishii-Iwamoto, 2003, 'Effects of alpha-pinene on the mitochondrial respiration of maize seedlings', *Plant Physiology and Biochemistry*, 44: 985-991.
- Abraham, D., L. Takahashi, A. M. Kelmer-Bracht and E. L. Ishii-Iwamoto, 2003, 'Effects of phenolic acids and monoterpenes on the mitochondrial respiration of soybean hypocotyl axes', *Allelopathy Journal*, 11: 21-30.
- Ahn, J. K. and I. M. Chung, 2000, 'Allelopathic potential of rice hulls on germination and seedling growth of barnyardgrass', *Agronomy Journal*, 92: 1162-1167.

- Aletor, V. A. and C. C. Res, 1993, 'Allelochemicals in plant foods and feedingstuffs .1. Nutritional, biochemical and physiopathological aspects in animal production', *Veterinary and Human Toxicology*, **35**: 57-67.
- Barkosky, R. R. and F. A. Einhellig, 2003, 'Allelopathic interference of plant-water relationships by parahydroxybenzoic acid', *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, **44**: 53-58.
- BPS, 2003. Sumatera Barat Dalam Angka, 2003, Badan Pusat Statistik Propinsi Sumatera Barat, Padang.
- Chaniago, I., A. Taji and R. S. Jessop, 2003b, Weed interference in soybean (*Glycine max*). In: M. Unkovich and G. O'Leary, (eds.) *Proceedings: The 11th Australian Agronomy Conference, 2-6 Feb. 2003, "Solutions for a better environment"*, Geelong, Victoria, Australian Society of Agronomy, Available:<http://www.regional.org.au/au/asa/2003/c/18/chaniago.htm>.
- Dakshini, K. M. M., C. L. Foy and Inderjit 1999, 'Allelopathy: One component in a multifaceted approach to ecology', In *Principles and Practices in Plant Ecology: Allelochemical Interactions*, (eds.) Inderjit, K. M. M. Dakshini and C. L. Foy. CRC Press, Boca Raton. pp.: 3-14.
- Devi, S. R. and M. N. V. Prasad, 1992, 'Effect of ferulic acid on growth and hydrolytic enzyme activities of germinating maize seeds', *Journal of Chemical Ecology*, **18**: 1981-1990.
- Dudai, N., A. Poljakoff-Mayber, A. M. Mayer, E. Putievsky and H. R. Lerner, 1999, 'Essential oils as allelochemicals and their potential use as bioherbicides', *Journal of Chemical Ecology*, **25**: 1079-1089.
- Einhellig, F. A. 1985, 'Allelopathy: a natural protection, allelochemicals', In *CRC Handbook of Natural Pesticides, Volume 1*. CRC Press, Florida. pp.: 163-165.
- Einhellig, F. A. 1995, 'Allelopathy: current status and future goal', In *Allelopathy: organisms, processes, and applications*, (eds.) Inderjit, K. M. M. Dakshini and F. A. Einhellig. ACS Symposium Series 582, American Chemical Society, Washington DC. pp.: 1-24.
- Foes, M. J., L. Liu, P. J. Tranel, L. M. Wax and E. W. Stoller, 1998, 'A biotype of common waterhemp (*Amaranthus rudis*) resistant to triazine and ALS herbicides', *Weed Science*, **46**: 514-520.
- Gadamski, G., D. Ciarka, J. Gressel and S. W. Gawronski, 2000, 'Negative cross-resistance in triazine-resistant biotypes of *Echinochloa crus-galli* and *Conyza canadensis*', *Weed Science*, **48**: 176-180.
- Harborne, J. B., 1989, *Introduction to Ecological Biochemistry*, Academic Press, New York.
- Kamo, T., S. Hiradate and Y. Fujii, 2003, 'First isolation of natural cyanamide as a possible allelochemical from hairy vetch *Vicia villosa*', *Journal of Chemical Ecology*, **29**: 275-283.

- Lydon, J., J. R. Teasdale and P. K. Chen, 1997, 'Allelopathic activity of annual wormwood (*Artemisia annua*) and the role of artemisinin', *Weed Science*, **45**: 807-811.
- Nagabhushana, G. G., A. D. Worsham and J. P. Yenish, 2001, 'Allelopathic cover crops to reduce herbicide use in sustainable agricultural systems', *Allelopathy Journal*, **8**: 133-146.
- Narwal, S. S. 1999, 'Allelopathy in weed management', In *Allelopathy Update, volume 2, Basic and Applied Aspects*, (ed.) S. S. Narwal. Science Publishers, Inc., Enfield, NH, USA, pp.: 203-254.
- Rasmussen, J. A., A. M. Hejl, F. A. Einhellig and J. A. Thomas, 1992, 'Sorgoleone from root exudate inhibits mitochondrial functions', *Journal of Chemical Ecology*, **18**: 197-207.
- Reigosa, M. J., L. Gonzalez, A. Sanchez-Moreiras, B. Duran, D. Puime, D. A. Fernandez and J. C. Bolano, 2001, 'Comparison of physiological effects of allelochemicals and commercial herbicides', *Allelopathy Journal*, **8**: 211-220.
- Rice, E. L. 1984. *Allelopathy*. 2nd edition. Academic Press, Orlando, Florida.
- Swain, T., 1977, 'Secondary compounds as protective agents', *Annual Review of Plant Physiology*, **28**: 479-501.
- Tranel, P. J., T. R. Wright and I. M. Heap, 2004, 'ALS mutation from herbicides-resistant weeds', Accessed: 2004 (Thursday, 8th January): Available <http://www.weedscience.com>.
- Vaughn, K. C. and M. A. Vaughan 1988, 'Mitotic disrupters from higher plants: effects on plant cells', In *Biologically active natural products: potential use in agriculture*, (ed.) H. C. Cutler. American Chemical Society, Washington, D. C. pp.: 273-293.
- Wu, H., J. Pratley, D. Lemerle and T. Haig, 2001, 'Allelopathy in wheat (*Triticum aestivum*)', *Annals of Applied Biology*, **139**: 1-9.