

PENGARUH PEMBERIAN GARAM ALUMINIUM (Al) TERHADAP SERAPAN Al DAN PERTUMBUHAN AKAR KEDELAI PADA MEDIA TANAM MASAM

Proklamasiningsih, E.,¹ Prijambada, I D.,² Rachmawati, D.,³ dan Sancayaningsih, R P.³

¹Fakultas Biologi Unsoed; Jl. Suparno Karangwangkal Purwokerto

²Fakultas Pertanian UGM; Jl. Flora Bulak Sumur, Yogyakarta

³Fakultas Biologi UGM; Jl. Teknik Selatan Skip Utara, Yogyakarta

E-mail: elly.proklamasi@yahoo.co.id

ABSTRAK

Gejala awal yang tampak pada tanaman keracunan Al adalah sistem perakaran tidak berkembang dengan baik. Hal ini menjadi faktor pembatas bagi produktivitas tanaman. Penelitian bertujuan untuk mempelajari pengaruh Al-nitrat dan Al-laktat terhadap konsentrasi Al yang diserap oleh akar serta pengaruh Al-nitrat dan Al-laktat terhadap pertumbuhan akar kedelai (*Glycine max*) pada media tanam masam. Penelitian telah dilakukan secara eksperimental di rumah kaca Fakultas Pertanian UGM. Rancangan yang digunakan adalah Rancangan acak Lengkap (RAL) pola factorial, dua faktor. Faktor pertama adalah bentuk garam Al yang terdiri atas 3 macam, yaitu: tanpa garam, garam Al-nitrat dan garam Al-laktat. Faktor kedua adalah kemasaman (pH) media tanam yang terdiri atas 3 macam, yaitu: pH 4, pH 5 dan pH 6. Masing-masing perlakuan dengan 3 ulangan. Tanggapan pertumbuhan akar diidentifikasi berdasarkan konsentrasi Al yang diserap oleh akar, biomassa kering akar, panjang akar, diameter akar dan luas permukaan akar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bentuk garam Al dapat mempengaruhi konsentrasi Al yang diserap oleh akar dan pertumbuhan akar. Bentuk garam Al-laktat dapat mengurangi konsentrasi Al yang diserap oleh akar, sehingga pengaruh racun berkurang. Pertumbuhan akar nampak lebih baik pada media tanam dengan pemberian Al-laktat pH 5 dibandingkan dengan pertumbuhan akar pada media tanam dengan pemberian Al-nitrat.

Kata kunci: Garam Al-nitrat, garam Al-laktat, kedelai, media tanam masam.

THE EFFECT OF ALUMINUM SALTS ON THE Al ABSORPTION AND GROWTH OF SOYBEAN ROOT ON ACIDIC GROWTH MEDIUM

ABSTRACT

The initial symptom appearing on the Al toxicity of plant root system has not been well developed. This becomes a limiting factor for plant productivity. The purpose of this research was to study the influence of Al-nitrate and Al-lactate against concentration of Al was absorbed by the roots and the influence of Al-nitrate and Al-lactate on the growth of the roots of soybean (*Glycine max*) in the acidic growth medium. The research has been carried out experimentally in a greenhouse of Agriculture Faculty Gadjah Mada University. The design used was Completely Randomized Design (CRD) with factorial pattern, and two-factors. The first factor was the kind of aluminum salt consisting of three kinds: without Al, Al-nitrate salt and Al-lactate salt. The second factor was level of medium acidity (pH) of growth medium with three level of pH value: pH 4, pH 5 and pH 6. Each treatment was repeated 3 replications. Root growth responses were identified based on the concentration of Al that is absorbed by the roots, dry biomass of roots, root length, root diameter, and surface area of roots. The results showed that the salt form of Al may affect root growth and the concentration of Al that is absorbed by the roots. The most complex Al salt form with organic acids (Al-lactate) can reduce the concentration of Al absorbed by the root, so the effect of toxins is reduced. *G. max* 'Wilis' grows better in the acidic growing media and showed better root growth in the planting medium with a given Al-lactate pH 5 compared with the growth of roots in the planting medium with Al-nitrate.

Key words: Al-nitrate, Al-lactate salt, soybeans, acidic growth medium.

PENDAHULUAN

Kedelai dikenal sebagai bahan makanan dengan kadar protein tinggi, oleh karena itu kedelai diperkirakan akan menjadi salah satu jenis komoditas unggul Anonim, 2006a). Peningkatan produksi kedelai untuk mencukupi kebutuhan protein nabati saat ini sangat diperlukan, oleh karena itu pengembangan pertanaman kedelai dapat diarahkan pada lahan-lahan yang belum dimanfaatkan secara intensif (Atman, 2006). Sumber daya lahan yang sangat luas dan dapat dimanfaatkan untuk menunjang pengembangan komoditas ini adalah tanah-tanah masam (Anonim. 2006b).

Kendala utama untuk pertumbuhan tanaman pada tanah masam, diantaranya adalah: tingginya konsentrasi ion-ion Aluminium (Al). Kemasaman (pH) media tanam berpengaruh terhadap bentuk senyawa Al. Beberapa bentuk senyawa Al pada tingkat kemasaman berbeda adalah $\text{Al}(\text{OH})_2^{2+}$ dan $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ pada pH 4-5; Al^{3+} pada pH 5,5-7 dan $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ pada pH 7-8 (Kinraide, 1997).

Gejala awal yang tampak pada tanaman yang keracunan Al adalah sistem perakaran yang tidak berkembang dengan baik (Haynes dan Mokolobate, 2001; Zhang, dkk., 2007). Hal ini menjadi faktor pembatas utama bagi produktivitas tanaman (Barabasz, dkk., 2002; Kertesz, 2002 & Li-Song, 2006).

Bentuk Al yang meracun pada tanaman adalah Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})_2^{2+}$ dan $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ (Mossor-Pietraszewska, 2001). Penelitian-penelitian mengenai gejala keracunan Al yang mengakibatkan penghambatan pertumbuhan akar telah dilaporkan, antara lain seperti pada jagung (Horst, dkk., 1999; Gunse, dkk., 1997; Kollmeier, dkk., 2001; Chaffai, dkk., 2005) dan kedelai (Lazof, dkk., 1994). Mossor-Pietraszewska (2001), menyebutkan bahwa beberapa penelitian menunjukkan terjadinya penghambatan pembelahan sel, perpanjangan sel yang menyebabkan pertumbuhan akar tidak sempurna sehingga berakibat pada gangguan penyerapan hara.

Beberapapenelitianmengenaipengaruh Al terhadap sistem perakaran tanaman telah banyak dilaporkan, namun mekanisme penghambatan pertumbuhan yang diinduksi

oleh Al belum banyak dipahami. Membran plasma sel-sel pada ujung akar merupakan target utama toksisitas Al (Takabatake & Shimmen, 1997). Pengaruh utama Al terhadap permeabilitas membran akar dapat terlihat hanya dalam waktu beberapa menit atau beberapa jam setelah pemaparan Al. Hal ini disebabkan karena kemampuan Al untuk mengikat gugus karboksil dan gugus fosfat pada dinding sel dan membran sel (Gunse dkk. 1997).

Hal yang perlu dikaji lebih jauh adalah keefektifan bentuk kompleks Al dengan senyawa organik pada berbagai kemasaman terhadap pertumbuhan akar kedelai. Untuk mengkaji toksisitas bentuk garam Al pada perakaran tanaman maka digunakan Al-nitrat dan Al-laktat. Dari penelitian Prijambada dan Proklamasiningsih (2010) telah diketahui bahwa perlakuan pemberian asam laktat pada Ultisol dapat mengurangi tingkat peracunan, sehingga lebih meningkatkan pertumbuhan dan produksi kedelai dibandingkan dengan pemberian asam sitrat dan asam malat. Penelitian bertujuan untuk mempelajari pengaruh Al-nitrat dan Al-laktat terhadap konsentrasi Al yang diserap oleh akar serta pengaruh Al-nitrat dan Al-laktat terhadap pertumbuhan akar kedelai (*Glycine max L. merr*) pada media tanam masam. Hasil penelitian diharapkan dapat memberi informasi kajian fisiologi kemampuan garam Al-laktat untuk mengurangi toksisitas Al terhadap perakaran kedelai pada media tanam masam.

BAHAN DAN METODE

Materi Tanaman Dan Tempat Percobaan

Penelitian telah dilakukan secara eksperimental di rumah kaca Fakultas Pertanian UGM. Suhu rumah kaca selama percobaan berkisar antara 28°C sampai 32°C. Benih tanaman kedelai yang digunakan adalah varietas Wilis, diperoleh dari Balai Penelitian Kacang dan Umbi Malang. Percobaan menggunakan polibag, dengan ukuran tinggi 30 cm dan diameter 25 cm. Penanaman benih kedelai pada satu polibag adalah 3 tanaman, setelah satu minggu dilakukan penjarangan sehingga tersisa satu tanaman.

Pembuatan Media Tanam Dan Pemberian Perlakuan

Media tanam yang digunakan dalam penelitian adalah zeolit alam, yang diperoleh dari Perusahaan Zeolit Klaten Jawa Tengah, lolos saringan ukuran 2 mm. Media tanam dibuat dengan mencampurkan zeolit yang sudah dicuci bersih dengan air destilat, larutan nutrisi dasar dan garam Al sesuai perlakuan. Nutrisi dasar untuk mencukupi kebutuhan hara, terdiri atas: 2 mM KNO_3 ; 2,5 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; 1 mM KH_2PO_4 ; 1 mM MgSO_4 ; 50 μM Fe-K-EDTA kompleks; 30 μM H_3BO_3 ; 10 μM $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; 1 μM $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 1 μM $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan 0,2 μM $(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Chaffai dkk., 2005). Stok nutrisi dasar dibuat 1 liter untuk 10 liter.

Bentuk garam Al yang digunakan sebagai perlakuan adalah garam Al-nitrat dan Al-laktat. Al-nitrat [$\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$] dengan konsentrasi 0,9 g/kg media tanam, sedangkan Al-laktat [$\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}$]₃Al dengan konsentrasi 0,7g/kg media tanam (Zhang dkk., 2007). Media tanam dibuat dengan 3 macam derajat kemasaman (pH), yaitu: pH 4, pH 5 dan pH 6. Derajat kemasaman (pH) media tanam diyakinkan dengan alat pengukur *soil tester*. Kemasaman (pH) media tanam dapat ditingkatkan menggunakan NaOH 1 M, sedangkan untuk menurunkan pH digunakan HCl 1 N (pada perlakuan tanpa Al). Pada perlakuan Al-nitrat, untuk menurunkan pH digunakan asam nitrat, sedangkan pada perlakuan Al-laktat digunakan asam laktat. Air destilat ditambahkan ke dalam media tanam hingga mencapai kondisi kapasitas lapang, kemudian dimasukkan ke dalam polibag. Masing-masing polibag berisi 5 kg media tanam kondisi kapasitas lapang. Kondisi kapasitas lapang, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$W = \frac{(T_b - T_k)}{T_k} \times 100$$

Keterangan:

W = kapasitas lapang

T_b = berat media tanam jenuh air

T_k = berat media tanam kering mutlak

Percobaan faktorial dua faktor ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tiga ulangan. Faktor pertama adalah bentuk garam Al yang terdiri atas 3 macam, yaitu: tanpa garam, garam Al-nitrat dan garam Al-laktat. Faktor kedua adalah pH media tanam yang terdiri atas 3 macam, yaitu: pH 4, pH 5 dan pH 6. Analisis data digunakan *Duncan's Multiple Range Test* (Gomez dan Gomez, 1984).

Prosedur Penelitian

Pengambilan sampel dilakukan pada umur 6 minggu setelah tanam. Parameter yang diteliti meliputi: konsentrasi Al dalam akar, biomassa kering akar, panjang akar total, luas permukaan akar, dan diameter akar. Konsentrasi Al dalam akar (Elmer, 1994) ditetapkan menggunakan AAS (*atomic absorption spectroscopy*). Panjang akar total ditetapkan dengan metode intersek yang sudah dimodifikasi (Tennant, 1975), dengan rumus:

$$Y = [0,1812(x) - 0,9986]$$

Keterangan:

Y = panjang akar total

x = rerata melingkar dan membujur
0.1812 dan 0,9986 adalah tetapan

Luas permukaan akar ditentukan dengan alat *area measurement system* atau *leaf area meter*. Diameter akar adalah ratio antara luas permukaan akar dengan panjang akar total.

Penetapan konsentrasi Al

Penetapan konsentrasi Al dalam jaringan akar dilakukan dengan cara pengabuan basah menggunakan campuran HNO_3 pekat (65%) dan HClO_4 pekat (60%) dari ekstrak masing-masing jaringan (Elmer, 1994). Pembuatan ekstrak tanaman dilakukan dengan menimbang 0,1 g sampel contoh, dimasukkan ke dalam tabung digesti, ditambahkan 1 ml asam perklorat p.a. dan 5 ml asam nitrat p.a., didiamkan selama 24 jam. Ekstrak sampel dipanaskan pada suhu 100°C selama 1 jam 30 menit, suhu ditingkatkan menjadi 130°C selama 1 jam, suhu ditingkatkan lagi menjadi 150°C selama

2 jam 30 menit (sampai uap kuning habis), kemudian suhu ditingkatkan menjadi 170°C selama 1 jam (terbentuk uap putih). Destruksi selesai dengan terbentuknya endapan putih atau sisa larutan jernih menjadi kurang lebih 1 ml. Ekstrak didinginkan kemudian diencerkan dengan air destilat menjadi 10 ml, kemudian dikocok.

Ekstrak jernih diukur dengan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) Spectra AA 55, sebagai pembanding digunakan deret standar logam Al (0 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm dan 100 ppm). Perhitungan konsentrasi Al adalah sebagai berikut:

Konsentrasi Al (ppm)

$$= \text{ppm kurva} \times \text{ml ekstrak} / 1000 \text{ ml} \times 1000 \text{ g/g contoh} \times \text{fk} = \text{ppm kurva} \times 10 / 1000 \times 1000 / 1 \times \text{fk} = \text{ppm kurva} \times 10 \times \text{fk}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Unsur hara diserap dari kompleks jerapan ataupun dari larutan dalam media tanam berupa kation dan anion. Adapula yang dapat diserap dalam bentuk khelat, yaitu ikatan kation logam dengan senyawa organik (Marschner, 1986). Bentuk senyawa Al pada berbagai pH media tanam sangat berpengaruh terhadap konsentrasi Al di dalam jaringan akar. Hasil pengamatan dapat dilihat pada Tabel 1.

Pemberian Al-nitrat pada media tanam menyebabkan konsentrasi Al yang diserap oleh akar adalah paling tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa bentuk senyawa Al-nitrat lebih mudah diserap oleh akar, sedangkan bentuk senyawa Al-laktat tidak mudah diserap oleh akar. Hal tersebut dapat menjadi sebab rendahnya kandungan Al di akar tanaman yang ditanam di media tanam dengan pemberian Al-laktat. Pada media tanam tanpa pemberian Al, ternyata akar mampu menyerap Al. Perlu diketahui bahwa media tanam yang digunakan adalah zeolit yang merupakan mineral alumina silikat terhidrat yang tersusun atas tetrahedral-tetrahedral alumina (AlO_4^{5-}) dan silika (SiO_4^{4-}) (Suwardi & Suryaningtyas, 1995). Berdasarkan analisis Al-dd terhadap media tanam sebelum ditanami tidak terdeteksi,

namun hasil analisis kandungan Al total adalah 0,9%. Kelarutan Al terjadi diduga karena Al akan mengalami hidrolisis pada pH rendah.

Tabel 1. Pengaruh Al-nitrat dan Al-laktat pada beberapa macam pH media tanam terhadap berat kering akar, berat kering batang, berat kering daun dan berat kering total pada umur 6 minggu setelah tanam.

Perlakuan	Konsentrasi Al akar (%)	Berat kering akar (g)
Tanpa Al pada		
pH 4	0,34 c	1,05 a
pH 5	0,37 c	0,53 d
pH 6	0,25 d	0,46 e
Al-nitrat pada		
pH 4	0,43 b	0,57 c
pH 5	0,47 a	0,45 e
pH 6	0,50 a	0,52 d
Al-laktat pada		
pH 4	0,20 e	0,46 e
pH 5	0,17 ef	0,62 b
pH 6	0,14 f	0,64 b

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf berbeda pada peubah yang sama pada masing-masing perlakuan menunjukkan berbeda nyata pada taraf 1% dengan uji DMRT.

Perlakuan tanpa Al pada media tanam pH rendah maka konsentrasi Al yang diserap oleh akar rendah, dengan meningkatnya pH media tanam konsentrasi Al cenderung menurun. Pada perlakuan Al-nitrat, semakin meningkat pH media tanam maka konsentrasi Al yang diserap oleh akar meningkat, sedangkan pada perlakuan Al-laktat terjadi hal sebaliknya sehingga mirip dengan perlakuan tanpa Al. Penjelasan mengenai tingkat meracun bentuk Al yang diserap oleh akar dapat dikaji melalui pengamatan biomassa kering (Tabel 1).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa keracunan Al menyebabkan biomassa kering akar menurun. Spehar dan Souza (2006) menyatakan bahwa pengaruh buruk Al ditunjukkan oleh menurunnya pertumbuhan tanaman yang disebabkan oleh berkurangnya biomassa akar. Pemberian Al-nitrat pada media tanam cenderung lebih meracun dibandingkan dengan pemberian Al-laktat, terbukti dari pengamatan biomassa

kering pada pemberian Al-nitrat yang lebih rendah. Berdasarkan penelitian terdahulu (Priambada & Proklamasingih, 2010) telah diketahui bahwa pemberian asam laktat pada Ultisol meningkatkan pertumbuhan kedelai. Berdasarkan hasil pengamatan menunjukkan bahwa apabila konsentrasi Al yang diserap oleh akar rendah, maka biomassa kering akar meningkat. Untuk lebih mengetahui keterkaitan antara konsentrasi Al dalam akar dan biomassa kering akar juga dilakukan kajian mengenai pertumbuhan akar, melalui pengamatan panjang akar total, diameter akar dan luas permukaan akar.

Pemberian garam Al pada media tanam dengan pH berbeda sangat berpengaruh terhadap panjang akar total, diameter akar dan luas permukaan akar (Tabel 2).

Hasil pengamatan secara keseluruhan menunjukkan bahwa pemberian garam Al menyebabkan panjang akar menurun. Pengaruh toksisitas Al terhadap pertumbuhan akar adalah terganggunya proses metabolisme di dalam sel-sel ujung akar (Ryan, dkk., 1993), yang mengakibatkan terjadinya penghambatan pemanjangan akar (Ciamporova, 2002, Lazof, dkk., 1994, Silva, dkk., 2000) dan berubahnya morfologi sistem perakaran (Horst, dkk., 1997). Horst, dkk. (1999) menyatakan bahwa mekanisme penghambatan pemanjangan akar oleh Al

belum dipahami secara pasti, namun diduga disebabkan oleh pengaruh Al terhadap dinding sel pada jalur apoplas, membran plasma dan sitoskeleton yang dapat mengganggu proses masuknya unsur hara. Jalur apoplas adalah jalur masuknya unsur hara melalui ruang antar sel, kemudian menembus membran plasma yang akhirnya masuk ke dalam sel (Kvesitadze dkk., 2006).

Pengamatan panjang akar pada media tanam dengan pemberian garam Al-laktat menunjukkan hasil yang lebih panjang dibandingkan dengan pemberian Al-nitrat, hal ini juga terjadi pada pengamatan pertumbuhan tajuk. Berdasarkan hal tersebut, maka dapat dikatakan bahwa bentuk garam Al-laktat lebih tidak toksik dibandingkan dengan bentuk garam Al-nitrat. Media tanam tanpa pemberian Al dengan pH rendah menunjukkan pertumbuhan yang lebih panjang. Hal ini menambah keyakinan bahwa pH rendah tidak bersifat racun apabila terjadi pada media tanam tanpa Al. Dari pengamatan mengenai panjang akar dan luas permukaan akar, maka dapat diketahui bahwa pemberian Al-laktat pada pH 5 adalah menghasilkan pertumbuhan akar tertinggi dari perlakuan garam Al yang dicobakan.

Pengamatan diameter akar menunjukkan bahwa pemberian Al pada media tanam mengakibatkan peningkatan diameter

Tabel 2. Pengaruh Al-nitrat dan Al-laktat pada beberapa macam pH media tanam terhadap panjang akar total, diameter akar dan luas permukaan akar pada umur 6 MST.

Perlakuan	Panjang akar (cm)	Diameter akar (cm)	Luas permukaan akar (cm ²)
Tanpa Al pada pH			
4	972,00 a	0,037 h	36,23 a
5	410,67 g	0,058 d	23,83 e
6	480,00 d	0,049 f	23,30 f
Al-nitrat pada pH			
4	398,33 g	0,036 h	14,17 i
5	447,00 e	0,065 b	29,17 d
6	426,00 f	0,071 a	30,33 c
Al-laktat pada pH			
4	510,00 c	0,043 g	21,90 h
5	531,00 b	0,061 c	32,17 b
6	447,00 e	0,052 e	23,13 g

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan beda nyata antar perlakuan (DMRT $\alpha = 1\%$).

akar. Hal tersebut menandakan bahwa toksisitas Al menyebabkan peningkatan diameter akar. Hal ini sesuai dengan yang dilaporkan oleh Mossor-Pietraszewska (2001), yang menyatakan bahwa toksisitas Al menyebabkan perakaran menjadi gemuk atau tumpul dan jaringannya menjadi kaku sehingga mudah pecah dan ujung akar serta bagian lateral akar menjadi tebal dan cenderung coklat.

Luas permukaan akar yang bersentuhan dengan media tanam berkaitan dengan luas permukaan penyerapan hara. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa peningkatan luas permukaan akar diikuti dengan peningkatan panjang akar. Sistem perakaran yang sempurna ditandai dengan panjang akar yang panjang dan permukaan akar yang luas. Hal tersebut diamati pada tanaman yang ditanam pada pH rendah untuk perlakuan tanpa Al, sedangkan pada perlakuan pemberian Al-laktat dan Al-nitrat pertumbuhan akar yang tinggi diamati pada tanaman yang ditanam pada pH tinggi. Kochian dkk. (2004) menyatakan bahwa apabila pH media tanam berada di bawah 5, maka Al^{3+} akan larut di dalam larutan media tanam dan menyebabkan keracunan bagi perakaran.

SIMPULAN

Pemberian Al-laktat dapat mengurangi konsentrasi Al yang diserap oleh akar serta menunjukkan pertumbuhan akar yang lebih tinggi dibandingkan dengan pemberian Al-nitrat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini diucapkan terimakasih kepada DIPA Universitas Gadjah Mada yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Hibah Doktor Th 2009.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 2006a. Analisis Komoditas Unggulan Dan Peluang Usaha Kedelai. Kerjasama Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kabupaten Kupang dengan Lembaga

Penelitian Universitas Nusa Cendana Kupang.

Anonim. 2006b. Kedelai unggul di tanah masam. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 28: 1.

Atman. 2006. Pengelolaan tanaman kedelai di lahan kering masam. *Jurnal Ilmiah Tambua*. 5: 281-287.

Barabasz, W., Albinska, D., Jaskowska, M. & Lipiec, J. 2002. Ecotoxicology of Aluminium. *Pol. J. Environ. Stud.* 11: 199-203.

Chaffai, R., Tekitek, A. & Ferjani, E.E. 2005. Aluminum Toxicity in Maize Seedlings L.): Effect on Growth and Lipid Content. *J. Agron.* 4: 67-74.

Ciamporova, M., 2002. Morphological and structural responses of plant roots to aluminium at organ. *Biol. Plant.* 45: 161-171 (*Zea mays*).

Elmer, P. 1994. Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy. Printed in the United States of America, America.

Gomez, K. A., & Gomez, A. A. 1984. Statistical Procedure for Agricultural Research, 2nd edn. John Wiley and Sons, New York.

Gunse, B., Poschenrieder, C. & Barcelo, J. 1997. Water transport properties of root and root cortical cells in proton and Al stressed maize varieties. *Plant Physiol.* 113: 595-602.

Haynes, R. J., & Mokolobate, M. S. 2001. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: A critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 59: 47-63.

- Horst, W. J., Pûschel, A. K. & Schmohl, N. 1997. Induction of callose formation is a sensitive marker for genotypic aluminium sensitivity in maize. *Plant Soil*. 192: 23-30.
- Horst, W. J., Schmohl, N., Kollmeier, M., BaluLska, F. & Sivaguru, M. 1999. Does aluminium affect root growth of maize through interaction with the cell wall-plasma membrane-cytoskeleton continuum? *Plant Soil*. 215: 163-174.
- Kerteszi, S., Fabian, A., Zsoldos, F., Vashegy, A., Labady, I., Bona, L. & Pecsvaradi, A. 2002. Changes in glutamine synthetase activity in presence of aluminium complexes. *Proceedings of the 7th. Hungarian Congress on Plant Physiology*, 46: 103-104.
- Kinraide, T. B. 1997. Reconsidering the rhizotoxicity of hydroxyl, sulphate and fluoride complexes of aluminum. *J. Exp. Bot.* 48: 1115-1124.
- Kochian, L. V., Hoekenga, O.A. & Pineros, M.A. 2004. How do crop plant tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and Phosphorous efficiency. *Annu. Rev. Plant Biol.* 55: 459-493.
- Kollmeier, M., Dietrich, P., Bauer, C. S., Horst, W.J. & Hedrich, R. 2001. Aluminum activates a citratepermeable anion channel in the aluminum-sensitive zone of the maize root apex. A comparison between an aluminum sensitive and an aluminum-resistant cultivar. *Plant Physiol.* 126: 397-410.
- Kvesitadze, G., Khatisashvili, G., Sadunishvili, T. & Ramsden, J. J. 2006. *Biochemical Mechanisms of Detoxification in Higher Plants*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg Printed in Germany.
- Lazof, D.B., Goldsmith, J.G., Rufty, T.W. & Linton, R. W. 1994. Rapid uptake of Aluminum into cells of intact soybean root tips. *Plant Physiol.* 106: 1107-1114.
- Li-Song, C. 2006. Physiological responses and tolerance of plant shoot to aluminium toxicity. *J. Plant Physiol. Mol. Biol.* 32: 143-155.
- Marschner, H. 1986. *Mineral Nutrition in Higher Plant*. Academic Press Inc. London.
- Mossor-Pietraszewska, T. 2001. Effect of aluminium on plant growth and metabolism. *Acta Biochim. Pol.* 48: 673-686.
- Prijambada, I.D., & Proklamasiningsih, E. 2010. Effect of Organic Acids Amendment on the Growth and Yield of Soybean in Ultisol. *Int. J. Agric. Biol.* 12: 566-570.
- Ryan, P. R., Di Tomaso, J.M., & Kochian, L. V. 1993. Aluminum toxicity in roots: Investigation of spatial sensitivity and the role of the root cap in Al-tolerance. *J. Exp. Bot.* 44: 43-446.
- Silva, I. R., Smyth, T. J., Moxley, D.F., Carter, T.E., Allen, N.S. & Rufty, T.W. 2000. Aluminum accumulation at nuclei of cells in the root tip. Fluorescence detection using lumogallion and confocal laser scanning microscopy. *Plant Physiol.* 123: 543-552.
- Spehar, C.R., & Souza, L.A.C. 2006. Selection for aluminum tolerance in tropical soybeans. *Pesqui. Agropecu. Trop.* 36: 1-6.
- Suwardi & Suryaningtyas, D.T. 1995. Pengaruh pemberian zeolit terhadap Kapasitas Tukar Kation (KTK) tanah dan produksi tanaman tomat. *Jurnal Pertanian Indonesia*. 5: 82-89.

- Takabatake, & Shimmen, R.T. 1997. Inhibition of electrogenesis by aluminum in characean cells. *Plant Cell Physiol.* 38: 1264-1271.
- Tennant, D., 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *J. Ecol.* 63: 995–1001.
- Zhang, X., Liu, P., Yang, Y. S. & Xu, G. D. 2007. Effect of Al in Soil on Photosynthesis and related morphological and physiological characteristics of two soybean genotypes. *Bot. Stud.* 48: 435–444