

Laju Fotosintesis dan Kandungan Klorofil Kedelai pada Media Tanam Masam dengan Pemberian Garam Aluminium

ELLY PROKLAMASININGSIH¹, IRFAN DWIDYA PRIJAMBADA², DIAH RACHMAWATI³, DAN RETNO PENI SANCAYANINGSIH³

¹Staf Pengajar Fakultas Biologi Unsoed dan Mahasiswa Pascasarjana Biologi UGM, ²Staf Pengajar Fakultas Pertanian UGM, ³Staf Pengajar Fakultas Biologi UGM
¹e-mail: elly.proklamasi@yahoo.co.id Tlp 081804383385

ABSTRACT

Rate of Photosynthesis and Chlorophyll Content of Soybean on Acidic Growth Medium Exposure with Aluminum Salts

The solubility of aluminum (Al) which is high in acid soils is unavoidable. Solutions or strategies that can minimize the adverse effect of Al on soybean need to be obtained, by studying the response of plants to Al. Al intoxication is a limiting factor for plant productivity. The purpose of this research was to study the effects of salt form of aluminum complexes with organic acids and salts of aluminum complexes with inorganic acids on the rate of photosynthesis and chlorophyll content of soybean (*Glycine max*) in the acidic growth medium. Research has been carried out experimentally in the 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 is the 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. Variables that were observed included leaf area, the rate of photosynthesis and chlorophyll content. The results showed that the salt form of Al may affect rate of photosynthesis and chlorophyll content. complex Al salt form with organic acids (Al-lactate) can cause photosynthesis rate compares favorably with the Al-nitrate.

Keywords: photosynthesis rate, chlorophyll content, soybeans, acidic growth medium, aluminum salt.

PENDAHULUAN

Indonesia mempunyai ± 55,6 juta ha tanah mineral masam atau 29% dari daratan yang ada dan 58% dari luasan tersebut adalah podsolik merah kuning yang mempunyai kelarutan Al tinggi (Berek dkk.,1995). Dari luasan tanah-tanah masam yang ada, maka tanah-tanah masam di daerah tropis adalah yang paling potensial untuk pengembangan pertanian (Onthong & Osaki, 2006). Kelarutan Al yang tinggi pada tanah-tanah masam tersebut tidak dapat dihindarkan. Oleh

karena itu perlu mempelajari respon tanaman terhadap Al untuk mendapatkan solusi atau strategi sehingga dapat meminimalkan pengaruh buruk Al pada tanaman yang dibudidayakan pada lahan masam dengan kelarutan Al tinggi. Pengetahuan tersebut diperlukan, mengingat pengembangan komoditas pertanian suatu saat harus memanfaatkan lahan masam yang ada. Ketersediaan lahan masam yang tersebar diharapkan dapat digunakan sebagai areal potensial untuk pengembangan komoditas kedelai.

Pengaruh Al terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman serta serapan dan distribusi nutrisi pada fase pertumbuhan vegetatif maupun reproduktif belum diketahui secara pasti. Bentuk Al yang bersifat toksik terhadap tanaman adalah Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$ dan $Al(OH)_2^+$ (Mossor-Pietraszewska, 2001). Aluminium dapat berfungsi sebagai unsur yang bermanfaat bagi tumbuhan, tetapi juga dapat merupakan unsur yang berbahaya bagi tumbuhan. Pengaruh Al yang bermanfaat bagi tumbuhan adalah merangsang penyerapan Fe, meningkatkan penyerapan fosfor, mencegah pengaruh toksik Cu dan Mn serta dapat melindungi tanaman dari fungi patogen (Barabasz, dkk., 2002). Dinyatakan juga bahwa, Al dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan seperti kekeringan, temperatur tinggi atau rendah dan salinitas tanah. Pengaruh buruk Al ditunjukkan oleh menurunnya pertumbuhan tanaman yang disebabkan oleh berubahnya morfologi sistem perakaran, terhambatnya pemanjangan akar (Lazof dkk., 1994) induksi *callose* pada ujung akar (Horst dkk., 1997) serta berkurangnya biomassa akar (Pintro dkk., 1995). Pengaruh buruk Al juga menyebabkan menurunnya laju fotosintesis dan kandungan klorofil pada padi (Shi, 2004) dan *Dimocarpus Longana* (Xiao, 2002).

Laju fotosintesis dan kandungan klorofil adalah tolok ukur pertumbuhan yang berkaitan dengan produksi tanaman. Klorofil adalah pigmen yang terdapat dalam kloroplas dan memanfaatkan cahaya yang diserap sebagai energi untuk reaksi-reaksi dalam proses fotosintesis (Taiz & Zeiger, 1998). Pigmen-pigmen tersebut terdapat sebagai unit-unit fotosistem di dalam membran tilakoid, masing-masing terdiri atas klorofil a sebagai pusat reaksi, dikelilingi oleh molekul-molekul antena pigmen yang akan meneruskan tenaga rangsangannya ke pusat reaksi. Ada 2 macam pusat reaksi, yaitu P680 di dalam fotosistem II yang menyerap cahaya pada panjang gelombang sampai 680 nm dan P700 di dalam fotosistem I yang menyerap cahaya pada panjang gelombang

sampai 700 nm (Salisbury & Ross, 1992). Reaksi cahaya dalam proses fotosintesis akan menghasilkan ATP (*adenosine-5'-triphosphate*) dan NADPH (*nicotinamide adenine dinucleotide phosphate*). NADPH merupakan senyawa pereduksi utama dalam reduksi CO_2 (Ridge, 1991).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa Al menghambat asimilasi CO_2 pada beberapa jenis tanaman seperti jeruk (Chen dkk., 2005, Jiang dkk., 2008, Pereira dkk., 2000), sorgum (*Sorghumbicolor*) (Peixoto dkk., 2002.), tomat (*Lycopersicon esculentum*) (Simon dkk., 1994.), dan jagung (*Zea mays*) (Lidon dkk., 1999). Pereira dkk. (2000) menyatakan bahwa penurunan asimilasi CO_2 akibat paparan Al berkaitan dengan kerusakan struktural tilakoid. Simon dkk. (1994) menyatakan bahwa paparan Al mengakibatkan stomata menutup, sehingga mengganggu masuknya CO_2 . Lidon dkk. (1999) menyebutkan bahwa paparan Al menyebabkan terbentuknya superoksida (O_2^-) dan hidroksil radikal (OH) yang mengakibatkan efek toksik pada reaksi fotosintesis. Disisi lain, Moustakes dkk. (1995), menyatakan bahwa Al menyebabkan laju fotosintesis pada gandum (*Triticum aestivum*) menurun akibat pusat-pusat reaksi pada fotosistem I dan fotosistem II menutup. Fotosistem I dan fotosistem II merupakan komponen penyalur energi dalam rantai pengangkutan elektron fotosintesis secara kontinyu dari molekul air sebagai donor elektron ke NADP (*nicotinamide adenine dinucleotide phosphate*) sebagai aseptor elektron (Taiz & Zeiger, 1998).

Pengembangan pertanian sangat dimungkinkan pada lahan masam, mengingat ketersediaan lahan masam yang luas. Kendala utama untuk pertumbuhan tanaman pada lahan masam adalah: konsentrasi ion-ion Aluminium (Al) dan Mangan (Mn) yang tinggi sehingga menjadi toksik bagi tanaman; rendahnya konsentrasi kation-kation Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Kalium (K), serta rendahnya kelarutan Phosphor (P) dan Molybdenum (Mo) yang menyebabkan

defisiensi unsur-unsur tersebut bagi tanaman (Marschner, 1991). Dari seluruh kendala yang ada, toksisitas aluminium (Al) adalah merupakan faktor pembatas utama bagi produktivitas tanaman (Barabas dkk., 2002, Kertesz, 2002, Li-Song, 2006).

Kemasaman (pH) media tanam berpengaruh terhadap bentuk senyawa Al. Beberapa bentuk senyawa Al pada tingkat kemasaman berbeda adalah $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ 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). Menurut Schroeder (1984), Al pada Ultisol berada dalam bentuk Al^{3+} dan Al-hidrat. Bentuk Al yang meracun pada tanaman adalah Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ dan $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ (Mossor-Pietraszewska, 2001). 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: 1) mempelajari pengaruh bentuk garam Al yang terkompleks dengan asam organik dan bentuk garam Al yang terkompleks dengan asam an-organik pada media tanam masam terhadap laju fotosintesis dan kandungan klorofil 2). mengetahui bentuk garam Al yang dapat meningkatkan laju fotosintesis dan kandungan klorofil. Harapan dari penelitian ini adalah mendapatkan informasi mengenai perilaku fisiologis kedelai yang ditumbuhkan pada lahan masam dengan Al tinggi yang akan membantu dalam seleksi, pemuliaan maupun rekayasa kultivar kedelai toleran Al.

BAHAN DAN METODE

Penelitian telah dilakukan secara eksperimental di rumah kaca Fakultas Pertanian UGM. Benih kedelai yang digunakan adalah varietas Wilis, diperoleh dari Balai Penelitian Kacang dan Umbi Malang. Media tanam yang digunakan untuk percobaan adalah zeolit ditambah dengan larutan nutrisi dasar dan garam Al sesuai

perlakuan. Zeolit diambil dari Perusahaan Zeolit Klaten Jawa Tengah, dengan ukuran 2 mm.

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). Perlakuan yang digunakan adalah garam aluminium nitrat ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) dengan konsentrasi 0,9 g/kg media tanam dan garam aluminium laktat [$\{\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}\}_3\text{Al}$] dengan konsentrasi 0,7 g/kg media tanam (Zhang, dkk. 2007). Media tanam dibuat dengan 3 macam derajat kemasaman (pH), yaitu: pH 4, pH 5 dan pH 6, dengan alat pengukur *soil tester*. Untuk meningkatkan pH digunakan 1 M NaOH, sedangkan untuk menurunkan pH digunakan 1 N HCl (pada perlakuan tanpa Al). Pada perlakuan Al-nitrat untuk menurunkan pH digunakan asam nitrat, sedangkan pada perlakuan Al-laktat, untuk menurunkan pH digunakan asam laktat. Masing-masing polibag (diameter 25 cm dan tinggi 35 cm) berisi 5 kg media tanam. Penetapan kapasitas lapang (Tan, 1996) dilakukan untuk mengetahui banyaknya air yang harus disiramkan pada media tanam.

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 & Gomez, 1984).

Media tanam yang sudah disiapkan didiamkan selama satu hari, ditanami benih kedelai sebanyak 3 biji/polibag. Setelah 7 hari masa penanaman, dibiarkan tumbuh satu tanaman. Suhu rumah kaca selama percobaan berkisar antara 28°C sampai 32°C. Media tanam selalu dikondisikan pada kapasitas lapang. Pengamatan dilakukan pada umur 6 minggu setelah tanam, meliputi: luas daun, kandungan klorofil dan laju fotosintesis.

Penetapan luas daun (O'Neal dkk., 2002) ditentukan dengan alat *leaf Area Meter*. Laju Fotosintesis (Santos dkk., 2009) diukur dengan alat *Photosintetic Analizer LI-6400 Version 5*. Pengukuran dilakukan berdasarkan banyaknya CO₂ yang digunakan saat pengukuran pada daun tanaman yang dihubungkan dengan *Leaf Chamber*. Laju fotosintesis diukur langsung pada daun ketiga dari pucuk (*youngest fully expanded leaf*).

Penetapan kandungan klorofil (Holden, 1965) digunakan pelarut aseton. Langkah-langkah yang dilakukan dalam penetapan konsentrasi klorofil adalah: ekstraksi sampel, pengukuran dan perhitungan. Sampel daun yang diambil adalah daun ke tiga dari ujung, ditimbang 0,1 g digerus dengan *mortar* dan *pestle*, ditambah dengan 10 ml aseton 85% kemudian disaring dengan kertas saring sambil dituang ke dalam tabung reaksi, sehingga diperoleh ekstrak jernih. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometer (Spectronic 21 D, merk Milton Roy) pada panjang gelombang 645 nm dan 663 nm. Perhitungan klorofil digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Klorofil a} = 0,0127 (\text{OD } 663) - 0,00269 (\text{OD } 645)$$

$$\text{Klorofil b} = 0,0229 (\text{OD } 645) - 0,00468 (\text{OD } 663)$$

$$\text{Klorofil total} = 0,0202 (\text{OD } 645) - 0,00802 (\text{OD } 663)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Luas daun, laju fotosintesis dan kandungan klorofil sangat dipengaruhi oleh perlakuan pemberian garam Al pada berbagai pH media tanam, hal ini dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3. Hasil pengamatan pada Tabel 4 menunjukkan bahwa luas daun, laju fotosintesis dan kandungan klorofil menurun dengan pemberian Al. Menurunnya laju fotosintesis oleh pemberian Al diduga terkait dengan inaktivasi enzim-enzim di dalam kloroplas seperti *ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (rubisco)* dan *fructose 1, 6-bisphosphate aldolase (FBPase)* yang dapat diinduksi oleh stress oksidatif (Zhang dkk., 2007). Stres oksidatif dapat menyebabkan peroksidasi lipid, permeabilitas membran terganggu (Meriga dkk., 2004). Kandungan klorofil menurun diduga disebabkan karena menurunnya konsentrasi Mg di dalam daun. Chen dkk. (2006) menyatakan bahwa dengan meningkatnya kandungan Al pada akar dan daun menyebabkan konsentrasi Mg pada kedua organ tersebut menurun, sebagai akibatnya *photosyntetic active radiation (PAR)* juga menurun.

Beberapa penelitian menyebutkan bahwa Al pada media tanam masam (pH kurang dari 5) akan larut dan meracuni tanaman, sedangkan pada pH media tanam lebih dari 5 menjadi tidak larut. Hasil penelitian pada pemberian Al-laktat dengan pH 5 ke atas dapat mengurangi toksisitas, namun pada pemberian Al-nitrat terjadi hal yang sebaliknya. Hal ini mengindikasikan bahwa bentuk garam Al-laktat pada pH lebih dari 5 tidak diserap oleh akar.

Tabel 1. Analisis varian luas daun kedelai (cm²) pada umur 6MST dengan pemberian Al-nitrat dan Al-laktat pada beberapa macam pH media tanam

Source of variation	Degree of freedom	Mean square
Garam (G)	2	39587,31**
pH (P)	2	24728,44**
GxP	4	38273,38**
Error	18	359,07
CV (%)		97,7

Keterangan: **menunjukkan beda nyata pada DMRT $\alpha = 1\%$.

Tabel 2. Analisis varian laju fotosintesis ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{detik}$) pada umur 6MST dengan pemberian Al-nitrat dan Al-laktat pada beberapa macam pH media tanam

Source of variation	Degree of freedom	Mean square
Garam (G)	2	91,20**
pH (P)	2	92,45**
GxP	4	59,70**
Error	18	3,09
CV (%)		91,6

Keterangan: **menunjukkan beda nyata pada DMRT $\alpha = 1 \%$.

Tabel 3. Analisis varian kandungan klorofil (mg/g) pada umur 6MST dengan pemberian Al-nitrat dan Al-laktat pada beberapa macam pH media tanam

Source of variation	Degree of freedom	Mean square
Garam (G)	2	0.000003 ^{ns}
pH (P)	2	0.000084**
GxP	4	0.000136**
Error	18	0.0000012
CV (%)		97,2

Keterangan: ^{ns} menunjukkan tidak nyata pada DMRT $\alpha = 5 \%$; **menunjukkan beda nyata pada DMRT $\alpha = 1 \%$

Tabel 4. Pengaruh Al-nitrat dan Al-laktat pada beberapa macam pH media tanam terhadap luas daun(LD), laju fotosintesis(LF), kandungan klorofil total (KKT) pada umur 6 MST.

Perlakuan	Luas daun (cm^2)	Laju fotosintesis ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{detik}$)	Kandungan klorofil (mg/g)
Tanpa Al pada pH			
4	444,000 a	81,970 a	0,0416 a
5	132,770 h	71,500 c	0,0278 e
6	213,900 d	79,133 ab	0,0327 bc
Al-nitrat pada pH			
4	213,230 d	78,667 b	0,0422 a
5	136,670 g	72,167 c	0,0304 d
6	142,800 f	65,733 d	0,0325 bc
Al-laktat pada pH			
4	190,200 e	77,967 b	0,0309 cd
5	326,900 b	80,010 ab	0,0413 a
6	223,270 c	79,300 ab	0,0331 b

Keterangan: angka-angka yang diikuti huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan beda nyata antar perlakuan pada DMRT $\alpha = 5 \%$

Pemberian Al-laktat menyebabkan laju fotosintesis dan kandungan klorofil lebih tinggi dibandingkan dengan pemberian Al-nitrat. Dari hasil pengamatan ini dapat disimpulkan bahwa bentuk garam Al-laktat lebih bersifat tidak meracun dibandingkan dengan bentuk garam Al-nitrat. Hal ini sejalan dengan penelitian terdahulu bahwa pemberian asam laktat pada Ultisol dapat mengurangi tingkat peracunan (Priyambad & Proklamasingih, 2010)

Perlakuan pemberian Al-laktat pada pH 5 lebih baik dibandingkan dengan perlakuan pemberian Al-nitrat. Perlakuan yang menunjukkan luas daun tinggi maka laju fotosintesis dan kandungan klorofil juga tinggi serta pertumbuhan tanaman yang baik. Hal ini menunjukkan bahwa klorofil berperan penting sebagai perangkat penangkap energi sinar matahari yang dalam proses fotosintesis akan menghasilkan ATP (*adenosine-5'-triphosphate*) dan NADPH (*nicotinamide adenine dinucleotide phosphate*).

Pigmen-pigmen di dalam klorofil yang merupakan unit-unit fotosistem di dalam membran tilakoid, masing-masing terdiri atas klorofil a sebagai pusat reaksi serta dikelilingi oleh molekul-molekul antena pigmen (Ridge, 1991), benar-benar efektif dalam meneruskan tenaga rangsangannya ke pusat reaksi. Ada 2 macam pusat reaksi, yaitu P680 di dalam fotosistem II yang menyerap cahaya pada panjang gelombang sampai 680 nm dan P700 di dalam fotosistem I yang menyerap cahaya pada panjang gelombang sampai 700 nm (Taiz & Zeiger, 1998). Dari uraian ini dapat dinyatakan bahwa kandungan klorofil persatuan luas daun menentukan laju fotosintesis.

SIMPULAN

Bentuk garam Al yang terkompleks dengan asam organik (Al-laktat) dan bentuk garam Al yang terkompleks dengan asam an-organik (Al-nitrat) pada media tanam masam sangat mempengaruhi laju fotosintesis dan kandungan klorofil kedelai (*Glycine max*). Pemberian Al-laktat

menyebabkan laju fotosintesis lebih baik dibandingkan dengan pemberian Al-nitrat. Meningkatnya laju fotosintesis pada pemberian Al-laktat pada pH 5 dan pH 6, diikuti dengan meningkatnya luas daun dan kandungan klorofil, sedangkan pemberian Al-nitrat pada pH 4 terjadi hal sebaliknya.

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

- Barabasz, W., Albinska, D., Jaskowska, M. & Lipiec, J. 2002. Ecotoxicology of Aluminium. *Pol. J. Environ. Stud.*, 11: 199-203.
- Berek, A. K., Radjaguguk, B. & Maas, A. 1995. The effect of different organic materials on the alleviation of Al toxicity in soybean on a red-yellow podzolic soil. Dalam: R. A. Date *et. al.* (ed.). *Plant Soil Interactions at Low pH*, 579-584.
- Chaffai, R., Tekitek, A. & Ferjani, E.E. 2005. Aluminum Toxicity in Maize Seedlings (*Zea mays* L.) : Effect on Growth and Lipid Content. *J. Agron.*, 4: 67-74.
- Chen, L.S., Qi, Y.P., Smith, B.R. & Liu, X.H. 2005. Aluminum Induced Decrease in CO₂ Assimilation in Citrus Seedlings is Unaccompanied by Decreased Activities of Key Enzymes Involved in CO₂ Assimilation. *Tree Physiol.* 25: 317-324.
- Gomez, K.A. & Gomez, A.A. 1984. *Statistical Procedure for Agricultural Research*, 2nd edn. John Wiley and Sons, New York.
- Hess, D. 1975. *Plant Physiology: Molecular, Biochemical and Physiological Fundamentals of Metabolism and Development*. Springer International Student Edition. New Delhi.

- Holden, M. 1965. *Chlorophylls*, Dalam: Goldwin T. W. (ed.). Chemistry and biochemistry of plant pigments. Academic Press, London-New York.
- Horst, W.J., Püschel, A.K. & Schmohl, N. 1997. Induction Of Callose Formation Is a Sensitive Marker For Genotypic Aluminium Sensitivity in Maize. *Plant Soil* 192: 23-30.
- Jiang, H.X., Chen, L.S., Zheng, J.G., Han, S., Tang, N. & Smith, B.R. 2008. Aluminum-induced effects on Photosystem II Photochemistry in Citrus Leaves Assessed by the Chlorophyll a Fluorescence Transient. *Tree Physiol.* 28: 1863-1871.
- Kertesz, S., Fabian, A., Zsoldos, F., Vashegy, A., Labady, I., Bona, L. & A. Pecsvaradi. 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.
- 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.
- Lidon, F.C., Barreiro, M.J., Ramalho, J.C. & Lauriano, J.A. 1999. Effects of aluminum toxicity on nutrient accumulation in maize shoots: implications on photosynthesis. *J. Plant Nutr.* 22: 397-416.
- Li-Song, C. 2006. Physiological Responses and Tolerance of Plant Shoot to Aluminium Toxicity. *J. Plant Physiol. Mol. Biol.*, 32: 143–155.
- Meriga, B., Reddy B.K., Rao, K.R., Reddy, L.A., & Kishor, P.B.K. 2004. Aluminium-induced production of oxygen radicals, lipid peroxidation and DNA damage in seedlings of rice (*Oryza sativa*). *J. Plant Physiol.* 161: 63-68.
- Meriga, B., Reddy, B.K., Jogeswar, G., Reddy, L.A. & Kishor, P.B.K. 2003. Alleviating Effect of Citrate on Aluminium Toxicity of Rice (*Oryza sativa* L.) Seedlings. *Curr. Sci.*, 85: 383-386.
- Mossor-Pietraszewska, T. 2001. Effect of Aluminium on Plant Growth and Metabolism. *Acta Biochim. Pol.*, 48: 673-686.
- Moustakas, M., Ouzounidou, G. & Lannoye R. 1995. Aluminum effects on photosynthesis and elemental uptake in an aluminum-tolerant wheat cultivars. *J. Plant Nutr.* 18: 669-683.
- O'Neal, M. E., Landis, D. A. & R. Isaacs, R. 2002. An inexpensive, accurate method for measuring leaf area and defoliation through digital image analysis. *J. Econ. Entomol.* 95: 1190-1194.
- Onthong, J. & Osaki, M. 2006. Adaptation of tropical plants to acid soils. *Tropics.* 15: 337-340.
- Peixoto, P.H., Da Matta, F.M. & Cambraia, J. 2002. Responses of the photosynthetic apparatus to aluminum stress in two sorghum cultivars. *J. Plant Nutr.*, 25: 821-832.
- Pereira, W.E., de Siqueira, D.L., Martinez, C.A. dan Puiatti, M. 2000. Gas exchange and chlorophyll fluorescence in four citrus rootstocks under aluminum stress. *J. Plant Physiol.*, 157: 513-520.
- Pintro, J., Barloy, J. & Fallavier, P. 1995. Aluminium Toxicity in Corn Plants Cultivated in a Low Ionic Strength Nutrient Solution. I. Discrimination of Two Corn Cultivars. *R.Bras.Fisiol. Veg.*, 7:121-128.
- Prijambada, I. D. & Proklamasingih, E. 2010. Effect of Organic Acids Amendment on the Growth and Yield of Soybean in Ultisol. *Int. J. Agric. Biol.*, 12: 566-570.
- Ridge, I. 1991. *Plant Physiology*, 1st edn. The Open University, London.

- Salisbury F. B. & Ross, C. W. 1992. *Plant Physiology*, 4th ed. Wadsworth, Inc. Belmont, California.
- Santos, M. G., Ribeiro, R. V., Machado, E. C. & Pimentel, C. 2009. Photosynthetic parameters and leaf water potential of five common bean genotypes under mild water deficit. *Biol. Plantarum*. 53: 229-236.
- Schroeder, D. 1984. *Soil, Fact and Concept*. International Potash Inst. Bern. Switzerland.
- Shi, G.Y. 2004. Effect of Aluminium on Growth and Some Physiological Function of Rice Seedlings. *Guihaia* 24: 77-80.
- Simon, L., Smalley, T.J., Jones, J.B.Jr. & Lasseigne, F.T. 1994. Aluminum toxicity in tomato. Part 2. Leaf gas exchange, chlorophyll content and invertase activity. *J. Plant Nutr.* 17: 307-317.
- Tan, K. H. 1996. *Soil Sampling, Preparation and Analysis*. Marcel Dekker Inc., New York.
- Taiz, L. & Zeiger, E. 1999. *Plant Physiology*. 3rd ed. Sinauer Associates Inc. Sunderland.
- Xiao, X.X. 2002. The Physiological and Biochemical Response of Longan (*Dimocarpus Longana* Lour.) to Aluminum Stress and Rectification of Aluminum Toxicity. *Fujian J. Agr. Sci.* 17: 182-185.
- 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.