

UJI TOLERANSI GALUR KACANG TANAH HASIL IRADIASI SINAR GAMMA TERHADAP LARUTAN POLIETILENA GLIKOL

A. Farid Hemon¹, Syarifinnur², Lestari Ujianto¹ dan Sumarjan¹

¹Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Mataram

²Fakultas Pertanian Universitas Gunung Rinjani, NTB

E-mail: faridhemon_1963@yahoo.com

ABSTRACT

TOLERANCE EVALUATION OF PEANUT LINES GENERATED FROM GAMMA RAY IRRADIATION AGAINST POLYETHYLENE GLYCOL SOLUTION STRESS. The objective of this research was to evaluate the tolerance of peanut lines generated from Gamma ray irradiation against polyethylene glycol (PEG) solution stress. The peanut lines seeds of mutan M3 generation were used in this experiment. Peanut plants of cv. "Local Bima" were also tested as control plant. The mutan and control peanut plants were planted on rice husk charcoal medium. The peanut plants that 15 to 50 days old were watered with PEG 15% solution (0.41 Mpa osmotic potential = drought stress). Identification of tolerant peanut lines on PEG stress were calculated with using drought sensitivity index value (S) on observed parameter and proline content. Results of the experiment showed that peanut line G300 was classified as moderate tolerant to PEG solution stress with the highest proline content.

Keywords : peanut lines, gamma ray, mutan, polyethylene glycol

PENDAHULUAN

Penanaman kacang tanah sebagian besar dilakukan setelah padi, pada musim menjelang kemarau dengan kondisi air tanah yang sangat minim yang berpotensi menimbulkan cekaman kekeringan. Air merupakan pembatas utama untuk produksi tanaman di lahan kering. Stres kekeringan menjadi masalah yang perlu diperhatikan dalam budidaya kacang tanah di lahan kering, ketersediaan air tidak selalu terjamin sepanjang musim tanam. Cekaman kekeringan sangat tidak diinginkan dalam budidaya tanaman karena dapat menghambat pertumbuhan dan produksi tanaman. Cekaman kekeringan berpengaruh terhadap aspek pertumbuhan tanaman meliputi anatomis, morfologis, fisiologis dan biokimia tanaman (Raper and Krapmer 1987). Pada fase pertumbuhan vegetatif, ketersediaan air berpengaruh terhadap menurunnya kecepatan fotosintesis dan luas daun. Tanaman yang terkena cekaman kekeringan menyebabkan potensial air daun menurun, pembentukan klorofil terganggu (Alberte *et al.*, 1977) dan terbukti menurunkan produksi saat panen.

Penggunaan kultivar yang toleran terhadap cekaman kekeringan merupakan alternatif dalam peningkatan produksi kacang tanah di lahan kering. Penggunaan kultivar toleran dalam budidaya kacang tanah di lahan kering lebih efisien dan praktis dibandingkan dengan teknik budidaya yang lain. Pada pene-

litian sebelumnya telah dihasilkan beberapa galur kacang tanah generasi M3 hasil induksi mutasi dengan sinar Gamma (Hemon dan Sumarjan, 2011). Galur-galur ini perlu diuji toleransinya terhadap cekaman kekeringan.

Untuk mendeterminasi respons galur kacang tanah terhadap cekaman kekeringan dapat digunakan simulasi dengan menggunakan larutan polietilena glikol (PEG). Senyawa ini merupakan senyawa osmotikum untuk perlakuan cekaman air pada tanaman (van der Weele *et al.* 2000). Ibrahim (2011) telah melaporkan bahwa PEG dapat mengatur potensial air. Penggunaan larutan PEG diharapkan untuk mendapatkan tekanan seleksi yang homogen untuk masing-masing galur kacang tanah sehingga kesalahan identifikasi individu yang peka sebagai toleran cekaman kekeringan dapat dihindari.

Berdasarkan uraian tersebut, maka penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi toleransi galur kacang tanah hasil iradiasi sinar gamma terhadap cekaman larutan PEG.

BAHAN DAN METODE

Rancangan Percobaan dan Penyiapan Media Tanam

Penelitian ini telah dilaksanakan di rumah kaca Fakultas Pertanian Universitas Mataram dan Laboratorium Imunologi Universitas Mataram.

Pelaksanaan percobaan mulai bulan April sampai Juni 2012.

Benih mutan kacang tanah generasi M3 digunakan dalam percobaan ini. Percobaan ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan 10 ulangan. Pada penelitian ini juga menggunakan cv. Local Bima sebagai tanaman kontrol (GO).

Media tanam yang digunakan adalah arang sekam. Media tanam (500 g) dimasukkan dalam polibeg yang berukuran 15 x 25 cm. Benih kacang tanah ditanam satu biji per polibeg. Tanaman disiram setiap hari dengan 20 ml larutan Vigro (larutan nutrisi) dengan konsentrasi 2 ml/liter air sampai kecambah berumur 14 hari. Pupuk NPK diberikan sebagai pupuk dasar sebanyak 0.5 g per polibeg.

Perlakuan Cekaman dengan Larutan PEG dan Identifikasi Toleransi Galur Mutan

Kondisi cekaman diberikan dengan menanamkan larutan PEG dengan berat molekul 6000 ke dalam larutan Vigro (konsentrasi 1 g/liter air). Larutan PEG yang digunakan berkonsentrasi 15% (potensial osmotik 0.41 Mpa atau sudah mencapai cekaman kekeringan). Perlakuan tanpa cekaman PEG (kontrol) dilakukan dengan menyiramkan tanaman hanya dengan larutan Vigro. Penyiraman larutan PEG sebanyak 20 ml per polibeg dilakukan mulai umur kecambah 15 HST dan dilakukan setiap hari sampai tiga hari berturut-turut. Pada hari ke-4, tanaman hanya disiram dengan larutan Hyponex. Penyiraman dengan 20 ml larutan PEG dilakukan sampai umur tanaman 30 hari. Penyiraman berikutnya sebanyak 40 ml larutan PEG dan dilakukan sampai umur 50 hari.

Identifikasi galur mutan yang toleran terhadap cekaman PEG dilakukan dengan menghitung : indeks sensitivitas kekeringan (S) berdasarkan peubah yang diamati. Indeks sensitivitas kekeringan (S) dihitung berdasarkan rumus Fischer dan Maurer (1978), yaitu : $S = (1 - Y/Y_p) / (1 - X/X_p)$, dengan (Y) = nilai rata-rata peubah tertentu (misal : panjang akar, bobot kering akar, tinggi tanaman, dan lain-lain) pada satu galur yang mengalami cekaman kekeringan, (Y_p) = nilai rata-rata peubah tersebut pada satu galur lingkungan optimum, (X) = nilai rata-rata peubah tersebut pada semua galur yang mengalami cekaman kekeringan, dan (X_p) nilai rata-rata peubah tersebut pada semua galur lingkungan optimum. Galur mutan dikatakan toleran terhadap cekaman kekeringan jika mempunyai nilai $S < 0.5$, agak toleran jika $0.5 \leq S \leq 1$, dan peka jika $S > 1$.

Kandungan bebas prolin ($\mu\text{g}/100 \text{ mg}$), diukur dengan menggunakan metode metode Bates *et al.* (1973). Pengukuran kandungan prolin dilakukan pada saat tanaman berumur umur 50 hari setelah tanam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan Prolin Mutan Kacang Tanah pada Cekaman Larutan PEG 15%

Toleransi tanaman kacang tanah pada cekaman kekeringan dapat diukur dengan kandungan prolin yang ada pada jaringan tanaman. Kondisi cekaman kekeringan dapat disimulasi dengan menggunakan cekaman larutan PEG 15%, sehingga mutan kacang tanah pada percobaan ini ditanam pada kondisi cekaman PEG 15%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar prolin dari beberapa galur kacang tanah hasil induksi mutasi dengan sinar Gamma berbeda nyata. Kandungan prolin tiap galur kacang tanah disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan prolin galur kacang tanah pada cekaman larutan PEG 15% dibandingkan dengan galur bukan mutan tanpa cekaman dan galur bukan mutan dengan cekaman PEG 15%

Galur Mutan	Kandungan Prolin ($\mu\text{g}/\text{g}$ Bobot basah)
G0 (bukan mutan, tanpa cekaman)	39,03 a *)
G0 (bukan mutan, cekaman PEG 15%)	426,74 b
G100	265,81 b
G150	680,73 b
G200	382,58 b
G250	521,08 b
G300	1052,80 c

*) Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada uji Duncan 5%.

Pada Tabel 1 terlihat bahwa kandungan prolin yang tertinggi dijumpai pada galur mutan kacang tanah G300 sebesar 1052,80 $\mu\text{g}/\text{g}$ bobot basah sementara galur mutan yang lain lebih rendah. Galur bukan mutan tanpa cekaman PEG menghasilkan prolin terendah yaitu sebesar 39,03 $\mu\text{g}/\text{g}$ bobot basah. Hal ini terjadi karena tanaman mempunyai kemampuan untuk menghasilkan prolin yang merupakan salah satu mekanisme tanaman untuk mencegah pengaruh negatif karena kekeringan. Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa kandungan prolin meningkat sejalan dengan meningkatnya cekaman kekeringan (Mafakheri *et al.*, 2010). Sudarsono (2006) juga melaporkan bahwa kacang tanah yang ditanam dalam kondisi cekaman kekeringan dapat meningkatkan senyawa prolinanya sebagai respons terhadap cekaman.

Galur G300 memiliki respons untuk menghasilkan prolin terhadap perlakuan PEG (simu-

lasi cekaman terhadap kekeringan). Tanaman yang tahan terhadap kekeringan dapat merespons dengan memproduksi senyawa prolin untuk membantu mempertahankan diri dalam kondisi kekurangan air. Sebagaimana yang penelitian yang dilakukan oleh Riduan *et al.* (2005) bahwa tanggapan tanaman terhadap cekaman kekeringan tergantung pada mekanisme fisiologi atau biokimia pada masing-masing galur tanaman. Tanaman yang tahan cekaman kekeringan, pada umumnya merespons adanya cekaman kekeringan dengan memproduksi senyawa prolin yang berfungsi untuk *osmotic adjustment* sebagai mekanisme ketahanan terhadap kekeringan (Kadir, 2012). Selain itu juga prolin dapat mempertahankan turgor dengan cara menurunkan potensial air. Cara ini sangat penting terutama untuk ekspansi sel, pertumbuhan dan proses biokimia, fisiologi dan morfologi, dimana semua proses tersebut terjadi pada fase imbibisi dan aktivasi metabolisme (Jones *et al.*, 1981 dalam Mardiaty, 2007).

Uji Toleransi Mutan Kacang Tanah pada Cekaman Larutan PEG 15%

Pengujian sifat toleransi galur mutan kacang tanah hasil iradiasi dengan sinar Gamma dapat dilakukan dengan menggunakan larutan PEG 5%. Penggunaan larutan PEG diharapkan untuk mendapatkan tekanan seleksi yang homogen pada masing-masing galur kacang tanah sehingga kesalahan identifikasi individu yang peka sebagai toleran cekaman kekeringan dapat dihindari.

Toleransi galur mutan tanaman kacang tanah hasil iradiasi sinar Gamma dapat diukur menggunakan Indeks sensitivitas kekeringan (S) terhadap perlakuan PEG 15%. Indeks sensitivitas kekeringan (S) dapat mengelompokkan galur mutan kacang tanah menjadi toleran, agak toleran dan peka. Hasil indeks sensitivitas galur mutan kacang tanah terhadap cekaman PEG 15% dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Indeks Sensitivitas (S) galur mutan ka-

galur pada cekaman larutan PEG 15%. Galur G150, G200, G250 dan G300 merupakan galur yang memiliki nilai indeks sensitivitas antara $0.5 \leq S \leq 1$ sementara galur G0 dan G100 menunjukkan nilai sensitivitas yaitu $S \leq 1$. Berdasarkan perhitungan nilai indeks sensitivitas ini dapat diketahui bahwa G150, G200, G250 dan G300 merupakan galur yang agak toleran terhadap cekaman kekeringan.

Berdasarkan hasil identifikasi tanaman kacang tanah yang toleran terhadap kekeringan yang disimulasi dengan menggunakan larutan PEG 15%, ternyata sebagian besar tanaman yang diberi perlakuan PEG menunjukkan gejala nekrosis pada lamina daun. Galur tanaman mutan G300 merupakan galur yang memiliki tingkat kerusakan daun yang lebih sedikit dibandingkan dengan tanaman yang sensitif terhadap cekaman PEG (Gambar 1).



Gambar 1. Gejala kerusakan daun akibat cekaman larutan PEG. a = daun tanaman tanpa cekaman PEG, b = daun tanaman mengalami gejala nekrosis ringan, c = daun mengalami gejala nekrosis berat dan tanaman kerdil

Galur G300 merupakan galur yang agak toleran terhadap cekaman PEG karena menghasilkan pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan dengan tanaman yang peka. Tanaman galur G300 mampu tumbuh lebih baik dibandingkan dengan galur lainnya pada perlakuan PEG 15%. Pengaruh perlakuan ini dapat dilihat pada nilai indeks sensitivitas. Untuk menentukan tingkat toleransi terhadap kekeringan

cang tanah pada perlakuan optimum dan Perlakuan PEG 15%

Galur Mutan	Parameter				Fenotipe
	BKA	BKT	PA	KD	
G0	1,23	1,04	1,05	1,27	P
G100	1,13	1,11	0,99	0,92	P
G150	0,92	1,01	1,00	1,03	A
G200	0,77	0,96	0,99	1,02	A
G250	1,24	0,98	1,00	0,91	A
G300	0,74	0,97	0,97	0,85	A

Ket: BKK= Bobot Kering Akar, BKT= Bobot Kering Tanaman, PA= Panjang Akar, KD= Kerusakan Daun, P= Peka, A= Agak Toleran, T= Toleran

Berdasarkan hasil perhitungan nilai indeks sensitivitas, ternyata terjadi variasi nilai dari masing-masing

menurut Hemon dan Sumarjan (2009) dapat dilihat dari nilai toleransi tanaman terhadap cekaman PEG yang merupakan ekspresi toleransi yang ditimbulkan dari galur-galur kacang tanah untuk melawan cekaman kekeringan.

Galur G300 memiliki nilai S yang paling kecil dibanding dengan galur lainnya. Pengamatan pada beberapa parameter tertentu seperti bobot kering akar, bobot kering tanaman, panjang akar dan kerusakan daun menunjukkan bahwa galur ini memiliki nilai S yang lebih rendah (toleransi lebih tinggi). Galur G300 memiliki bobot kering akar yang paling tinggi dibandingkan dengan galur lainnya, sehingga bobot kering ini merupakan salah satu indikator kemampuan tanaman untuk dapat bertahan pada kondisi kekurangan air. Jumlah akar yang banyak akan dapat membantu dalam menyerap air, sehingga mampu dipergunakan untuk proses pertumbuhan tanaman. Menurut Kusvuran (2011) bahwa cekaman kekeringan dapat mengganggu permeabilitas membran-membran sel akar yang menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tanaman terutama bagian perakaran tanaman sehingga secara tidak langsung pemberian cekaman kekeringan dapat menurunkan bobot kering akar (Tabel 3).

ternyata galur mutan G300 menghasilkan tanaman agak toleran terhadap cekaman PEG (Tabel 2 dan 3). Pemanjangan akar pada kondisi cekaman kekeringan dimungkinkan karena tanaman memiliki mekanisme pengaturan perbandingan pertumbuhan tajuk akar (*root and shoot ratio*). Pada kondisi cekaman kekeringan tanaman akan menahan laju pertumbuhan tajuk dengan mensintesis hormon retardan yang menghambat pertumbuhan tajuk, sehingga memperbesar laju pertumbuhan akar. Mekanisme ini dilakukan tanaman untuk mencegah besarnya kehilangan air dari tanaman, sebab untuk perpanjangan akar diperlukan lebih sedikit air dibandingkan pemanjangan pucuk yang akan memperbesar proses respirasi dengan pembentukan daun. Proses pemanjangan akar juga akan dapat menjangkau volume tanah yang lebih besar sehingga lebih banyak menyerap air (Levitt, 1980). Sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Djazuli (2010) bahwa tanaman yang mampu bertahan pada kondisi kekurangan air memiliki akar yang mampu tumbuh walaupun pada kondisi kekurangan air. Menurut Suardi (2002) bahwa perakaran berhubungan erat dengan sifat toleransi tanaman terhadap kekeringan.

Hasil pengamatan pada kerusakan daun, ternyata galur G300 menghasilkan paling sedikit. Kerusakan daun pada galur merupakan salah satu in-

man larutan PEG 15%

Galur Mutan	BKA (g)	BKT (g)	PA (cm)
Tabel 3. Pertumbuhan mutan kacang tanah pada cekaman G300	0,65ab	2,16 a *)	28,9 ab
G100	0,65ab	2,15a	28,7 ab
G150	0,70 b	2,14 a	29,0 ab
G200	0,74 b	1,94 a	28,9 ab
G250	0,58 a	2,17 a	28,2 a
G300	0,86 c	2,93 b	29,9 b

*) Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada uji Duncan 5%. BKA= Bobot Kering Akar, BKT= Bobot Kering Tanaman, PA= Panjang Akar

Bobot kering tanaman merupakan salah satu indikator dari kemampuan tanaman dalam

melakukan proses fotosintesis pada kondisi kekurangan air. Bobot kering pada penelitian ini tertinggi ada pada tanaman G300. Makin besar bobot kering tanaman berarti kemampuan tanaman dalam melakukan proses fotosintesis semakin baik. Menurut Sumarsono (2008) bahwa akumulasi bahan kering mencerminkan kemampuan tanaman dalam mengikat energi dari cahaya matahari melalui proses fotosintesis, serta interaksinya dengan faktor-faktor lingkungan lainnya. Distribusi akumulasi bahan kering pada bagian-bagian tanaman yang dapat mencerminkan produktivitas tanaman. Sehingga akan menentukan toleransi tanaman untuk dapat hidup dalam kondisi kekurangan air.

Berdasarkan pengamatan panjang akar

dikotor untuk mengetahui tingkat toleransi tanaman terhadap kekeringan. Hal ini disebabkan daun merupakan salah satu indikator kemampuan akar dalam menyerap air yang didukung dengan perakaran yang baik dalam pertumbuhan tanaman. Kurangnya air yang dibawa ke daun mengakibatkan semakin banyak persentase kerusakan daun. Sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Hemon dan Sumarjan (2009), bahwa tanaman yang toleran terhadap cekaman PEG menghasilkan mekanisme toleran terutama pertumbuhan akar lebih baik. Hal ini dapat dilihat bahwa tanaman yang bergejala nekrosis besar pada daun merupakan akibat dari ketidakmampuan akar untuk mensuplai air pada daun tanaman.

KESIMPULAN

Galur mutan kacang tanah hasil iradiasi sinar Gamma mempunyai toleransi yang berbeda-beda terhadap cekaman larutan PEG 15%. Galur mutan kacang tanah G300 mempunyai tingkat agak toleran terhadap cekaman larutan PEG 15% dengan kandungan prolin yang paling tinggi yaitu 1052,80 µg/g bobot basah.

DAFTAR PUSTAKA

- Alberte, R.S., J.P. Thomber, and E.L. Fiscus. 1977. Water stress effect on the content and organization of chlorophyll and bundle sheath chloroplast of maize. *Plant Physiol.* 59:351-352.
- Bates, L.S., R.P. Waldren, and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil* 39: 205-207.
- Djazuli, M. 2010. Pengaruh Cekaman Kekeringan Terhadap Pertumbuhan Dan Beberapa Karakter Morfo-Fisiologis Tanaman Nilam. *Bul. Littro.* Vol. 21(1): 8-17.
- Fischer, R.A. and R. Maurer. 1978. Drought stress in spring wheat cultivars : I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 897-912.
- Hemon, A. F. dan Sumarjan. 2009. Efektivitas Polietilena Glikol dan Manitol Sebagai Agens Penyeleksi In Vitro Untuk Cekaman Kekeringan Terhadap Pertumbuhan Embrio Somatic Kacang Tanah. *Crop Agro.* Sumber: <http://www.omrc-drn.or.id/kegiatan-riset.html?rid=4380&cid1=&cid=>. [Diakses 17 Juli 2011]
- Hemon, A. F. dan Sumarjan. 2011. Uji Daya Hasil Beberapa Galur Mutan Kacang Tanah Hasil Iradiasi Sinar Gamma. *Crop Agro* Vol. 4 No.2. http://fp.unram.ac.id/data/2012/03/4-A.Farid-Hemon.-Vol.4_No.2_Juli-2011.pdf. [12 Mei 2012].
- Ibrahim, I. 2011. Seleksi Benih Tahan Kering Melalui Uji PEG. Website: <http://greedom-afc.blogspot.com/2011/12/seleksi-benih-tahan-kering-melalui-uji.html>. [Diakses 12 Februari 2012]
- Kadir, A. 2012. Evaluasi Varian Somaklonal Hasil Iradiasi Sinar Gamma dan Seleksi In vitro Untuk Toleransi Terhadap Cekaman Kekeringan. Website: <http://www.damandiri.or.id/file/abdulkadiripbbab6.pdf>. [Diakses 21 Juni 2012]
- Kusvuran, S. 2011. Effects of drought and salt stresses on growth, stomatal conductance, leaf water and osmotic potentials of melon genotypes (*Cucumis melo L.*). www.academicjournals.org/ajar/pdf/pdf2012/5%20Feb/Kusvuran.pdf. [Diakses 23 Juni 2012].
- Levitt, J. 1980. Responses of plant to environmental stresses. London: Academic Press.
- Mafakheri, A., A. Siosemardeh, Bahramnejad, P.C. Struik, Y. Sohrabi. 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. Website: http://www.cropj.com/mafakheri_4_8_2010_580_585.pdf. [Diakses 23 Agustus 2012].
- Mardiati, T. 2007. Respon Morfologis Beberapa Varietas Kacang Tanah Terhadap Cekaman Kekeringan. <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/7677/1/09E00484.pdf>. [Diakses 21 Juni 2012].
- Raper, C.D. and P.J. Kramer. 1987. Stress physiology. In : Wilcox JR, (Ed.). *Soybean : improvement, production and uses*. 2nd edition. New York, American Society of Agronomy, Inc. p. 589 – 625.
- Riduan, A., H. Aswidinnoor, J. Koswara, Sudarsono. 2005. Toleransi Sejumlah Kultivar Kacang Tanah terhadap Cekaman Kekeringan. <http://journal.ipb.ac.id/index.php/hayati/article/download/168/35>. [Diakses 21 Juni 2012].
- Suardi, D. 2002. Perakaran Padi Dalam Hubungannya Dengan Toleransi Tanaman Terhadap Kekeringan Dan Hasil. Balai Penelitian Bioteknologi dan Sumber Daya Genetik Pertanian. *Jurnal Litbang Pertanian*. <http://pustaka.litbang.deptan.go.id/publikasi/p3213024.pdf>. [Diakses 12 Juli 2002]
- Sudarsono. 2006. Toleransi Sejumlah Kultivar Kacang Tanah terhadap Cekaman Kekeringan. Departemen Budi Daya Pertanian, Faperta, Institut Pertanian Bogor, Kampus Darmaga, Bogor. <http://journal.ipb.ac.id/index.php/hayati/article/download/168/35>. [19 juni 2012].
- Sumarsono. 2008. Analisis Kuantitatif Pertumbuhan Tanaman Kedelai (Soy beans) (Growth Quantitative Analysis of Soy beans). Website: eprints.undip.ac.id/396/1/KEDELAI_Sumarsono.doc. Jurusan Nutrisi dan Makanan Ternak Fakultas Peternakan Universitas Diponegoro. [Diakses 26 Januari 2012].
- Van der Weele CM, Spollen WG, Sharp RE, Baskin TI. 2000. Growth of *Arabidopsis thaliana* seedling under water deficit by control of water potential in nutrient-agar media. *J. Exp. Bot.* 51:1555-1562.