

**Penuaan Daun, Kandungan Klorofil Daun dan Hasil Biji Sorgum Manis (*Sorghum bicolor* L. Moench) di Bawah Kondisi Cekaman Kekeringan*****Leaf Senescence, Leaf Chlorophyll Content and Grain Yield in Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Under Water-Stressed Condition***Budi Adi Kristanto<sup>1)</sup>, Didik Indradewa<sup>2)</sup>, Azwar Ma'as<sup>3)</sup> dan R. Djoko Sutrisno<sup>4)</sup><sup>1)</sup> Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian dan Peternakan Universitas Diponegoro<sup>2)</sup> Program Studi Agronomi, Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada<sup>3)</sup> Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada<sup>4)</sup> Program Studi Ilmu dan Industri Peternakan, Fakultas Peternakan Universitas Gadjah Mada**Abstract**

*Drought stress is one of the major abiotic stresses in agriculture that affect physiological processes and yields. This study was carried out to investigate the effect of drought stress on chlorophyll content, photosynthesis, leaf senescence and yield characteristics in four four cultivars of sweet-sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). This investigation was conducted in green-houses Physiology and Plant Breeding Laboratory, Agroecotechnology Studies Program, Department of Agriculture, Faculty of Animal Science and Agriculture, Diponegoro University. A pot experiment with two irrigation regimes was carried out in a factorial completely randomized design with three replications. Four cultivars of sweet-sorghum is Sorgama5, langkaketo, kotabun and numbu treated drought stress. Drought treatment through watering interval approach, it is 5 and 20 days, in order to obtain soil moisture at 39.83 and 92.75% or 22.82 and 53.12% of field capacity, at any time before the next watering. Cell membrane stability parameters determined by the procedure Sairam et al. (1997), electrolyte leakage is determined by the procedure Valentovic et al. (2006) were modified. Leaf chlorophyll content determined by spectrometric method according to the procedure Arnon (1949), the rate of leaf senescence is calculated by using the method of Dwyer et al. (1991) were modified. Specific leaf weight was calculated by using the method of Pearce et al. (1968). The results showed that drought stress caused a decrease in leaf cell membrane stability, leaf chlorophyll content, leaf chlorophyll stability, photosynthesis rate, water requirements, shoot biomass, grain yield, weight of 1000 seeds and water use efficiency, but increases electrolyte leakage of leaf cell membrane and leaf senescence rate four sweet-sorghum cultivars. Observed physiological character can be used as a marker of drought resistance. Sorgama 5 and langkaketo is drought resistant cultivars, and kotabun and numbu is susceptible drought cultivars.*

**Keywords:** *drought stress, leaf senescence, chlorophyll, grain yield, sweet sorghum***Intisari**

Cekaman kekeringan adalah salah satu cekaman abiotik utama di bidang pertanian yang mempengaruhi proses fisiologi dan hasil panen. Penelitian ini dilakukan untuk

mengetahui pengaruh cekaman kekeringan pada karakteristik kandungan klorofil, fotosintesis, penuaan daun dan hasil dalam empat kultivar sorgum manis (*Sorghum bicolor* L. Moench). Penelitian dilakukan di dalam rumah kaca Laboratorium Fisiologi dan Pemuliaan Tanaman, Program Studi Agroekoteknologi, Jurusan Pertanian, Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro. Percobaan pot dengan dua rezim irigasi dilakukan dalam rancangan acak lengkap pola faktorial dengan tiga ulangan. Empat kultivar sorgum manis yaitu Sorgama5, langkaketo, kotabun dan numbu diperlakukan cekaman kekeringan. Perlakuan cekaman kekeringan melalui pendekatan selang waktu penyiraman, yaitu 5 dan 20 hari, sehingga diperoleh lengas tanah sebesar 39,83 dan 22,82% atau 92,75 dan 53,12% kapasitas lapang, setiap saat sebelum penyiraman berikutnya. Parameter stabilitas membran sel ditentukan berdasarkan prosedur Sairam *et al.* (1997), kebocoran elektrolit ditentukan berdasarkan prosedur Valentovic *et al.* (2006) yang dimodifikasi. Kandungan klorofil daun ditentukan berdasarkan metode spektrometri menurut prosedur Arnon (1949), laju penuaan daun dihitung dengan menggunakan metode Dwyer *et al.* (1991) yang dimodifikasi. Berat daun spesifik dihitung dengan menggunakan metode Pearce *et al.* (1968). Hasil penelitian menunjukkan bahwa cekaman kekeringan menyebabkan penurunan stabilitas membran sel daun, kandungan klorofil daun, stabilitas klorofil daun, laju fotosintesis, kebutuhan air, biomasa tajuk, hasil biji, berat 1000 biji dan efisiensi penggunaan air, namun meningkatkan kebocoran elektrolit membran sel daun dan laju penuaan daun empat kultivar sorgum manis. Karakter fisiologis yang diamati dapat dipergunakan sebagai penanda ketahanan kekeringan. Sorgama 5 dan langkaketo merupakan kultivar tahan kekeringan serta kotabun dan numbu merupakan kultivar rentan kekeringan.

**Kata kunci:** cekaman kekeringan, penuaan daun, klorofil, hasil biji, sorgum manis.

## Pendahuluan

Perubahan iklim global menyebabkan perubahan pola cuaca yang ekstrim dan berpotensi menyebabkan terjadinya cekaman kekeringan dan kegagalan panen. Perubahan iklim global ditandai dengan peningkatan suhu permukaan bumi (Pawita, 2010), yang diikuti oleh penurunan jumlah dan hari hujan serta peningkatan laju evaporasi yang berdampak pada penurunan ketersediaan air tanah dan terjadinya pergeseran musim. Keterbatasan ketersediaan air tanah dan pergeseran musim menyebabkan perubahan pola terjadinya kekeringan yang berdampak pada pola produksi pangan.

Cekaman kekeringan menyebabkan perubahan karakter morfologi, fisiologi dan biokimia organ tanaman, baik akar, batang dan daun, yang membatasi pertumbuhan dan hasil tanaman. Meskipun organ tanaman yang bersentuhan langsung dengan terbatasnya ketersediaan lengas tanah adalah akar, tetapi daun adalah organ tanaman yang

mengalami perubahan paling awal akibat ketersediaan lengas tanah terbatas atau cekaman kekeringan.

Tanaman merespon cekaman kekeringan dengan berbagai cara, seperti mengurangi luas daun, yang berkaitan dengan penurunan transpirasi dan pengendalian status air tanaman (Meyer dan Boyer, 1972). Luas daun berpengaruh pada intersepsi energi radiasi dan berkorelasi dengan fotosintesis. Perubahan karakter daun yang lain berkaitan dengan cekaman kekeringan adalah proses penuaan (Verma *et al.*, 2004; Barakat *et al.*, 2013), stabilitas membran sel (Blum dan Ebercon, 1981), kandungan klorofil (Shen *et al.*, 2001; Guo *et al.*, 2008; Hafsi *et al.*, 2013), remobilisasi nutrisi (Gregersen and Holm, 2007), fotosintesis dan hasil biomassa total dan biji (Ahmadizadeh *et al.*, 2011a; Ahmadizadeh *et al.*, 2011b; Ahmadizadeh, 2013), oleh karenanya pengamatan perubahan karakter daun sangat diperlukan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari beberapa karakter morfologi dan fisiologis daun sorgum manis pada kondisi cekaman kekeringan, memanfaatkan sifat penuaan daun, kandungan klorofil dan kerusakan daun sebagai indikator ketahanan kekeringan pada kultivar sorgum manis

### Metode Penelitian

Penelitian dilakukan di dalam rumah kaca Laboratorium Fisiologi dan Pemuliaan Tanaman, Jurusan Pertanian, Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro. Empat kultivar sorgum manis ditanam pada pot hitam berdiameter 40 cm dan kedalaman 30 cm, yang telah diisi tanah vertisol dari Desa Raji, Kecamatan Demak, Kabupaten Demak. Pot diatur berdasarkan rancangan acak lengkap pola faktorial 4 x 2 dengan tiga ulangan. Faktor pertama adalah kultivar sorgum manis, yaitu kultivar Sorgama5, langkaketo, kotabun dan numbu. Faktor kedua adalah cekaman kekeringan, yaitu tanaman tidak mengalami cekaman kekeringan dan tanaman dalam keadaan tercekam kekeringan. Perlakuan cekaman kekeringan melalui pendekatan selang waktu penyiraman, yaitu 5 dan 20 hari, sehingga diperoleh lengas tanah sebesar 39,83 dan 22,82% atau 92,75 dan 53,12% kapasitas lapang, setiap saat sebelum penyiraman berikutnya. Parameter yang diukur meliputi stabilitas membran sel daun, kebocoran membran, kandungan klorofil, stabilitas klorofil dan laju penuaan daun.

Stabilitas membran selditentukan berdasarkan prosedur Sairam *et al.* (1997), kebocoran elektrolit ditentukan berdasarkan prosedur Valentovic *et al.* (2006) yang dimodifikasi. Kandungan klorofil daun ditentukan berdasarkan metode spektrometri menurut prosedur Arnon (1949), laju penuaan daun dihitung berdasarkan metode Dwyer *et al.* (1991) yang dimodifikasi. Berat daun spesifik dihitung dengan menggunakan metode Pearce *et al.* (1968).

## Hasil dan Pembahasan

### Stabilitas membran sel daun

Hasil penelitian diperoleh bahwa stabilitas membran sel daunempat kultivar sorgum manis menurun dengan meningkatnya cekaman kekeringan dan bertambahnya umur tanaman, sebaliknya kebocoran elektrolitmeningkat dengan meningkatnya cekaman kekeringan (Tabel 1). Cekaman kekeringan menyebabkan kerusakan sel membran akar dan daun,dan berdampak pada peningkatan kebocoran elektrolit dan penurunan stabilitas membran sel (Sharifi *et al.*, 2012; Karmollachaab *et al.*, 2013). Kerusakan dan penurunan stabilitas membran sel tersebut terjadi karena degradasi kloroplas dan protein (Sharifi *et al.*, 2012). Tingkat kerusakan membran dan kebocoran elektrolit tergantung spesies dan atau kultivar tanaman (Ahmed *et al.*, 2013), di mana spesies, varietas dan atau kultivar tanaman tahan kering menunjukkan nilai stabilitas membran yang tinggi atau penurunan stabilitas membran yang rendah (Yang *et al.*, 2009; Blum 2011; Ahmed *et al.*, 2013) dengan kebocoran elektrolit atau peningkatan kebocoran elektrolit yang rendah (Sharifi *et al.*, 2012; Karmollachaab *et al.*, 2013).

Kultivar sorgama 5 dan langkaketo mempunyai stabilitas membran daun lebih besar dengan penurunan lebih kecil dan tingkat kebocoran elektrolit lebih kecil dengan peningkatan lebih kecil dibanding kultivar kotabun dan numbu. Berdasarkan parameter stabilitas membran daun dan tingkat kebocoran elektrolit mengindikasikan bahwa kultivar sorgama 5 dan langkaketo lebih tahan kekeringan dibanding kotabun dan numbu.

Tabel 1. Stabilitas Membran dan Kebocoran Elektrolit Membran Sel Daun Empat Kultivar Sorgum manis pada Umur 60 dan 90 Hari

Kultivar sorgum	Selang Waktu Penyiraman (Hari)	Stabilitas Membran Sel (%)		Kebocoran Elektrolit Daun (%), Umur	
		Umur		60 hari	90 hari
		60 hari	90 hari	60 hari	90 hari
Sorgama 5	5	84,94 a	69,89 a	15,06 d	30,11 d
	20	60,29 c	49,61 c	39,71 b	50,39 b
Langkaketo	5	85,39 a	70,26 a	14,61 d	29,74 d
	20	60,71 c	49,95 c	39,29 b	50,05 b
Kotabun	5	79,81 b	63,04 b	20,19 c	36,96 c
	20	45,08 d	35,61 d	54,92 a	64,39 a
Numbu	5	79,49 b	62,78 b	20,51 c	37,22 c
	20	43,99 d	34,75 d	56,01 a	65,25 a

Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak beda nyata berdasarkan uji DMRT pada jenjang nyata 5%.

### Penuaan daun, kandungan klorofil dan laju fotosintesis

Cekaman kekeringan mempercepat proses penuaan daun dan menurunkan kandungan dan stabilitas klorofil empat kultivar sorgum manis (Tabel 2). Cekaman kekeringan menurunkan kandungan klorofil daun (Zaharieva *et al.*, 2001; Ahmadizadeh *et al.*, 2011a; Ahmadizadeh *et al.*, 2011b; Ahmadizadeh, 2013) dan stabilitas klorofil, tetapi meningkatkan laju penuaan daun (Guendouz *et al.*, 2012; Gomes *et al.*, 2013). Penurunan kandungan klorofil karena terjadi hambatan sintesis klorofil, kerusakan kloroplas dan perangkat fotosintesis (Gregersen and Holm, 2007). Kerusakan kloroplas menurunkan kapasitas kloroplas, laju fotosintesis dan fotosintesis bersih (Sinaki *et al.*, 2007). Kandungan klorofil berkorelasi positif dengan kapasitas fotosintesis (Nageswara *et al.*, 2001; Rao *et al.*, 2001; Zaharieva *et al.*, 2001) dan hasil tanaman (Ahmadizadeh *et al.*, 2011a; Ahmadizadeh *et al.*, 2011b; Ahmadizadeh, 2013)

Proses penuaan berkaitan dengan penurunan kandungan dan stabilitas klorofil. Selama proses penuaan terjadi degradasi kloroplas dan protein, yang selanjutnya nutrisi hasil degradasi diremobilisasi dan diretranslokasi dari daun tua ke daun muda atau ke jaringan generatif (Yang *et al.*, 2001; Hörtensteiner, 2006; Gregersen and Holm, 2007) dan berkontribusi menjaga stabilisasi hasil biji (Guendouz *et al.*, 2012; Gomes *et al.*, 2013).

Tabel 2. Penuaan Daun, Kandungan Klorofil Daun dan Laju Fotosintesis

Kultivar Sorgum	Waktu Penyiraman (Hari)	Penuaan	Klorofil, Umur (mg/g daun segar)		Stabilitas Klorofil, Umur (%)		Fotosintesis, Umur	
			60 hari	90 hari	60 hari	90 hari	60 hari	90 hari
Sorgama 5	5	0,1533 c	11,09 a	6,49 a			103,50 a	93,33 a
	20	0,1647 b	9,09 b	4,15 b	81,97 a	63,94 a	63,43 c	38,93 e
Langkaketo	5	0,1530 c	9,07 b	4,48 b			89,67 b	73,30 d
	20	0,1657 b	7,31 d	2,34 d	80,60 a	52,23 b	54,67 c	42,20 e
Kotabun	5	0,1663 b	8,67 bc	3,68 c			102,13 a	86,77 b
	20	0,1853 a	6,25 e	0,69 e	72,09 b	18,79 c	31,73 d	25,77 f
Numbu	5	0,1693 b	8,37 c	3,29 c			101,57 a	78,40 c
	20	0,1890 a	6,24 e	0,57 e	73,24 b	17,33 c	29,03 d	23,70 f

Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak beda nyata berdasarkan uji DMRT pada jenjang nyata 5%.

Proses penuaan daun yang tertunda atau lambat berkorelasi dengan kandungan klorofil (Hafsi *et al.*, 2013), fotosintesis, hasil biomassa total dan biji (Ahmadizadeh *et al.*, 2011a; Ahmadizadeh *et al.*, 2011b; Ahmadizadeh, 2013). Tingkat penuaan yang rendah menyebabkan daun yang melakukan fotosintesis lebih luas dengan kapasitas lebih tinggi, translokasi asimilat ke biji lebih banyak dan waktu proses pengisian biji lebih lama, yang memungkinkan hasil panen lebih tinggi (Hafsi *et al.*, 2013). Laju penuaan merupakan sifat tanaman yang terkait dengan efisiensi penggunaan hara, dan produktivitas tanaman (Ahmadizadeh *et al.*, 2011a; Ahmadizadeh *et al.*, 2011b; Ahmadizadeh, 2013; Sheikhpour *et al.*, 2014), tingkat ketahanan tanaman terhadap kekeringan (Guendouz *et al.*, 2012).

Spesies, genotipe dan kultivar tanaman tahan kering mempunyai kandungan klorofil tinggi dengan penurunan rendah, stabilitas klorofil daun tinggi atau laju fotosintesis tinggi dengan penurunan rendah dengan laju penuaan daun rendah (Gomes, 2013). Didasarkan fenomena kandungan klorofil daun, stabilitas klorofil, laju fotosintesis dan laju penuaan mengindikasikan bahwa kultivar sorgama5 dan langkaketo lebih tahan kering dibanding kultivar kotabun dan numbu.

#### Hasil tanaman dan efisiensi penggunaan air

Hasil penelitian diperoleh bahwa berat kering tajuk, hasil biji, berat 1000 biji, kebutuhan air dan efisiensi penggunaan air empat kultivar sorgum manis menurun dengan meningkatnya cekaman kekeringan (Tabel 3). Cekaman kekeringan

menyebabkan kerusakan membran sel akar, terjadi penurunan stabilitas membran sel dan peningkatan kebocoran elektrolit membran sel akar (Blum 2011; Ahmed *et al.*, 2013) dan berdampak pada penurunan serapan air dan unsur hara (Morgan *et al.*, 2014).

Penurunan serapan air oleh akar tanaman berdampak pada rendahnya status atau kandungan air tanaman yang berlanjut pada penurunan kandungan air daun relatif (Ganbari *et al.*, 2013; Hassan *et al.*, 2013), penutupan stomata (Ocheltree *et al.*, 2013), penurunan kandungan klorofil daun (Tabel 2; Zaharieva *et al.*, 2001; Ahmadizadeh *et al.*, 2011a; Ahmadizadeh *et al.*, 2011b; Ahmadizadeh, 2013), penurunan laju fotosintesis dan hasil bersih fotosintesis (Ahmadizadeh *et al.*, 2011a; Ahmadizadeh *et al.*, 2011b; Ahmadizadeh, 2013), hasil total tanaman (Mohammadian *et al.*, 2005; Sheikhpour *et al.*, 2014), hasil biji per tanaman dan berat 1000 biji (Nasr *et al.*, 2013; Lack *et al.*, 2012; Khakwani *et al.*, 2012; Karmollachaab *et al.*, 2013; Zarei *et al.*, 2013; Dinh *et al.*, 2014),.

Cekaman kekeringan menyebabkan pembungaan lebih awal (Jongrungsklang *et al.*, 2013; Uddin *et al.*, 2013) dan umur panen lebih pendek (Kamali *et al.*, 2013; Mabhaudhi *et al.*, 2013). Umur panen yang lebih pendek menyebabkan waktu akumulasi hasil fotosintesis lebih singkat sehingga menurunkan biomasa tajuk. Berbunga lebih awal dan panen lebih cepat akibat cekaman kekeringan menyebabkan waktu dan laju pengisian (kharbohidrat) biji lebih singkat (Zarei *et al.*, 2013), dengan jumlah kharbohidrat yang diisikan sedikit (Thanna *et al.*, 2011), sebagai akibat hambatan proses fotosintesis (Ahmadizadeh *et al.*, 2011a; Ahmadizadeh *et al.*, 2011b; Ahmadizadeh, 2013), sehingga menyebabkan ukuran butir menjadi kecil, dan menurunkan jumlah biji per malai, berat setiap biji, hasil biji per tanaman dan bobot 1000 biji (Reca *et al.*, 2001).

Cekaman kekeringan menyebabkan penurunan serapan air, kehilangan air melalui transpirasi lebih banyak dan penurunan hasil biomasa dan biji sehingga menyebabkan penurunan efisiensi penggunaan air. Menurut Mastroilli *et al.* (1999), Xie *et al.* (2010) dan Lack *et al.* (2012), bahwa cekaman kekeringan menyebabkan penurunan efisiensi penggunaan air. Efisiensi penggunaan air menggambarkan kebutuhan jumlah air untuk memproduksi hasil biomasa tanaman dan atau hasil biji.

Cekaman kekeringan menyebabkan kebutuhan jumlah air yang semakin banyak untuk memproduksi hasil biomasa tanaman dan atau hasil biji. Efisiensi penggunaan air berkorelasi dengan hasil biomasa tajuk maupun biji dan tingkat ketahanan kekeringan. Spesies, genotipe dan kultivar tanaman yang memiliki efisiensi penggunaan air lebih besar terkait dengan hasil yang lebih tinggi (Jongrunklang *et al.*, 2008; Karaba *et al.*, 2007; Seghatoleslami *et al.*, 2008; Songsri *et al.*, 2009) dan mengindikasikan tingkat ketahanan kekeringan tinggi.

Tabel 3. Hasil Tanaman dan Efisiensi Penggunaan Air

Kultivar Sorgum	Selang Waktu Penyiraman (Hari)	Kebutuhan Air (kg)	Biomasa Tajuk (g)	Hasil Biji (g)	Berat 1000 Biji (g)	Efisiensi Penggunaan Air, EPA	
						EPA <sub>Tajuk</sub> (g/kg)	EPA <sub>Biji</sub> (g/kg)
Sorgama 5	5	26,36 ab	160,91 a	45,53 a	34,79 b	6,10 a	1,73 a
	20	24,95 b	134,52 d	26,53 e	21,22 e	4,42 d	1,06 c
Langkakcto	5	18,47 c	124,08 e	30,69 d	37,72 a	6,50 a	1,66 a
	20	17,25 c	102,22 g	20,05 f	23,82 d	4,89 c	1,16 c
Kotabun	5	27,19 ab	164,83 a	36,84 b	24,73 d	5,44 b	1,35b
	20	25,18 b	119,21 f	15,21 g	15,38 f	3,47c	0,60 d
Numbu	5	28,26 a	154,84 c	31,47 c	28,44 c	4,69 cd	1,11c
	20	25,51 b	117,07 f	14,25 g	16,22 f	3,07 f	0,56 d

Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak beda nyata berdasarkan uji DMRT pada jenjang nyata 5%.

Menurut Aminifar *et al.* (2013), bahwa tanaman yang menggunakan air tanah lebih efisien untuk memproduksi biomassa adalah tanaman yang mempunyai tingkat ketahanan kekeringan tinggi. Oleh karena itu, spesies, genotipe dan kultivar tanaman yang dapat mempertahankan efisiensi penggunaan air lebih besar, baik di bawah kondisi cekaman kekeringan ataupun tidak tercekam menghasilkan produk total bahan kering yang tinggi dan mempunyai tingkat ketahanan kekeringan tinggi (Jongrunklang *et al.*, 2008), yang merupakan sifat penting tanaman dalam mekanisme menghindari kekeringan.

### Kesimpulan

Cekaman kekeringan menyebabkan penurunan stabilitas membran sel daun, kandungan dan stabilitas klorofil daun dan laju fotosintesis, kebutuhan air, biomasa tajuk, hasil biji, berat 1000 biji dan efisiensi penggunaan air, namun meningkatkan kebocoran elektrolit membran sel daun dan laju penuaan daun empat kultivar sorgum manis. Karakter stabilitas dan kebocoran membran sel daun, kandungan dan stabilitas



klorofil daun, laju fotosintesis dan efisiensi penggunaan air merupakan karakter yang dapat dipergunakan sebagai penanda ketahanan kekeringan. Sorgama 5 dan langkaketo merupakan kultivar tahan kekeringan serta kotabun dan numbu merupakan kultivar rentan kekeringan.

#### Daftar Pustaka

- Ahmadizadeh, M., A. Nori, H. Shahbazi and M. Habibpour, 2011a. Effects of drought stress on some agronomic and morphological traits of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) landraces under greenhouse condition. *African J. Biotechnol.* 10(64): 14097-14107.
- Ahmadizadeh, M., H. Shahbazi, M. Valizadeh and M. Zaefizadeh, 2011b. Genetic diversity of durum wheat landraces using multivariate analysis under normal irrigation and drought stress conditions. *African J. Agric. Res.* 6(10): 2294-2302
- Ahmadizadeh, M., 2013. Physiological and agro-morphological response to drought stress. *Middle-East J. Sci. Res.* 13 (8): 998-1009.
- Ahmed, M., F. Hassen, U. Qadeer and M. Aqeel Aslam, 2011. Silicon application and drought tolerance mechanism of sorghum. *African Journal of Agricultural Research.* Vol. 6(3): 594-607.
- Aminifar, J., M. M. Nik and A. Sirousmehr, 2013. Grain yield improvement of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) under drought stress conditions. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences.* IJACS, 6-12: 819-824.
- Barakat, M. N., L. E. Wahba and S. I. Milad, 2013. Molecular mapping of QTLs for flag leaf senescence under water stressed conditions in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Biol. Plant.* 57: 79-84, 2013.
- Blum, A. and A. Ebercon, 1981. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. *Crop Sci.* 21:43-47.
- Dinh, H. T., W. Kaewpradit, S. Jogloy, N. Vorasoot, A. Patanothai, 2014. Nutrient uptake of peanut genotypes with different levels of drought tolerance under midseason drought. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry.* 38: 495-505.
- Dwyer, L. M., M. Tollenaar and L. Houwing, 1991. A nondestructive method to monitor leaf greenness in corn. *Can J Plant Sci.* 71: 505-509.
- Ghanbari, A. A., M. R. Shakiba, M. Toorchi and R. Choukan, 2013. Morpho-physiological responses of common bean leaf to water deficit stress. *European Journal of Experimental Biology.* 3(1):487-492.
- Gomes, M. M. A., A. T. Netto, E. Campostrini, R. Bressan-Smith, M. A. T. Zullo, T. M. Ferraz, L. do. N. Siqueira, N. R. L. and M. Núñez-Vázquez, 2013. Brassinosteroid analogue affects the senescence in two papaya genotypes

- submitted to drought stress. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*. Vol 25(3): 186-195.
- Gregersen, P. L. and P. B. Holm, 2007. Transcriptome analysis of senescence in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Biotechnology Journal*. Vol.5, Issue (1): 192–206.
- Guendouz, A., K. Maamari, S. Guessoum, M. Hafsi and M. Benidir, 2012. Flag leaf senescence, chlorophyll content and its relationships with yield components under drought in durum wheat (*Triticum durum* desf). *International Journal of Innovations in Bio-Sciences*. Vol. 2 (4): 186-192.
- Hafsi, M., A. Hadji, A. Guendouz and K. Maamari, 2013. Relationship between flag senescence and grain yield in durum wheat grown under drought conditions. *Journal of Agronomy*. Vol 12 (2): 69-77
- Hassan, M., A. Qayyum, A. Razzaq and M. Ahmad, 2013. Evaluation of maize cultivars for drought tolerance based on physiological traits associated with cell wall plasticity. *Jokull Journal*. Vol 63 (7): 466-478.
- Hörtensteiner, S., 2006. *Chlorophyll degradation during senescence*. *Annu. Rev. Plant Biol.* 57:55–77.
- Jongrunklang, N., B. Toomsan, N. Vorasoot, S. Jogloy, K. J. Boote, G. Hoogenboom, A. Patanotha, 2013. Drought tolerance mechanisms for yield responses to pre-flowering drought stress of peanut genotypes with different drought tolerant levels. *Field Crops Research*. Vol 144: 34–42.
- Khakwani, A. A., M. D. Dennett, M. Munir and M. S. Baloch, 2012. Wheat yield response to physiological limitations under water stress condition. *The Journal of Animal & Plant Sciences*. Vol 22(3): 773-780.
- Kamali, M., Z. Ansar and M.B. FirouzAbadi. 2013. Effect of Drought Stress on Agronomic Traits of Lines of Rapeseed. *International Journal of Agronomy and Plant Production*. Vol 4 (7): 1419-1426.
- Karaba, A., S. Dixit, R. Greco, A. Aharoni, K. R. Trijatmiko, N. M. Martinez, A. Krishnan, K. N. Nataraja, M. Udayakumar and A. Pereira, 2007. Improvement of water use efficiency in rice by expression of HARDY, an Arabidopsis drought and salt tolerance gene. *Proc Nat Acad Sci*. 104:1527-15275
- Karmollachaab, A., A. Bakhshandeh, M.H. Gharineh, M. R. Moradi Telavat, and G. Fathi, 2013. Effect of Silicon application on Physiological characteristics and Grain Yield of Wheat under Drought stress condition. *International journal of Agronomy and Plant Production*. Vol 4 (1),30-37.
- Lack, S., H. Dashti, G. Abadouz and A. Modhej, 2012. Effect of different levels of irrigation and planting pattern on grain yield, yield components and water use efficiency of corn grain (*Zea mays* L.) hybrid SC. 704. *African Journal of Agricultural Research*. Vol 7 (18): 2873-2878.
- Mastrorilli, M., N. Katerji, G. Rana, 1995. Water efficiency and stress on grain sorghum at different reproductive stages. *Agric. Water Manager*. 28: 23-34.

- Meyer, R. F. And J. S. Boyer, 1972. Sensitivity of cell division and cell elongation to low water potentials in Soya bean hypocotyls. *Planta*. 10:77-87.
- Mohammadian, R., M. Moghaddam, H. Rahimian and S.Y. Sadeghian, 2005. Effect of early season drought stress on growth characteristics of sugar beet genotypes. *Turkisk J. Bot.* Vol (29): 357–68.
- Morgan, K. T., S. Barkatky, D. Kadyampakeni, R. Ebel and F. Roka, 2014. Effects of Short-term Drought Stress and Mechanical Harvesting on Sweet Orange Tree Health, Water Uptake, and Yield. *HortScience*. Vol 49(6): 835-842
- Nageswara, R. R. C., H. S. Talwar and G. C. Wright, 2001. Rapid assessment of specific leaf area and leaf nitrogen in peanut (*Arachis hypogaea* L.) using a chlorophyll meter. *J. Agron. Crop Sci.* 186:175–182.
- Nasr, A. H., M. Zare, O. Alizadeh and N. M. Naderi, 2013. Improving effects of mycorrhizal symbiosis on sorghum bicolor under four levels of drought stress. *African Journal of Agricultural Research*. Vol 8(43): 5347-5353.
- Ocheltree, T. W., J. B. Nippert, M. B. Kirkham and P. Vara V. Prasad, 2013. *Partitioning hydraulic resistance in Sorghum bicolor leaves reveals unique correlations with stomatal conductance during drought*. Functional Plant Biology
- Pawita, H., 2010. Arti Perubahan Iklim Global dan Pengaruhnya dalam Pengelolaan DAS di Indonesia. Prosiding Ekspose Hasil Litbang Pengelolaan DAS dalam Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim di Indonesia. Surakarta 2010. *Puslitbang Konservasi dan Rehabilitasi Bogor*.
- Pearce, R. B., R. H. Brown and R. E. Blaster, 1968. Photosynthesis of alfalfa leaves as influenced by age and environment. *Crop Sci.* 8: 677-680.
- Rao, S. S., B. S. Rana, K. N. Pawar, V. D. Salunke, V. P. Chimmad and D. V. Kusalkar, 2001. *Evaluating post rainy-season sorghum genetic resources in multi-environment trials for plant traits conferring adaptation to drought in vertisolsof Central India*. In: Proceedings of 22nd Bienn. Grain Sorghum Res. and Util. Conf., Feb.18-20, 2001, Nashville, Tennessee, USA.13 p.
- Reca, J., J. Roldan, M. Alcaide, R. Lopez, and E. Camacho, 2001. Optimisation model for water allocation in deficit irrigation systems. I. Description of the model. *Agric. Water Manage.* 48: 103-116.
- Sairam, R. K., P. S. Deshmukh and D. S. Shukla, 1997. Tolerance of drought and temperature stress in relation to increased antioxidant enzyme activity in wheat. *J. Agronomy Crop Sci.* 178: 171–178.
- Seghatoleslami, M. J., M. Kafi and E. Majidi, 2008. Effect of drought stress at different growth stages on yield and water use efficiency of five proso millet (*panicum miliaceum* l.) genotypes. *Pak. J. Bot.* Vol 40(4): 1427-1432
- Sharifi, P., R. Amirnia, E. Majidi, H. Hadi, M. Roustaii, B. Nakhoda, H. M. Alipoor and F. Moradi, 2012. Relationship between drought stress and some antioxidant

- enzymes with cell membrane and chlorophyll stability in wheat lines. *African Journal of Microbiology Research*. Vol 6(3): 617-623.
- Shen, L., B. Courtois, K. L. McNally, S. Robin, Z. Li, 2001. Evaluation of near-isogenic lines of rice introgressed with QTLs for root depth through marker-aided selection. - *Theor. appl. Genet.* 103: 75-83.
- Sheikhpour, S., H. Moradi, I. Koochmareh, K. Rigi, A. Keshtehgar . 2014. Effect of water stress on crop yield. *Journal of Novel Applied Sciences*. Vol.3 (2): 206-208. ISSN 2322-5149. J Nov . *Appl Sci.*, Vol 3(2): 206-208,
- Sinaki, J.M., E.M. Heravan, A.H.S. Rad, G. Noormohammadi and G. Zarei, 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). *American-Eurasian J. Agri. Environ. Sci.* 2: 417-22.
- Songsri, P., S. Jogloy, C. C. Holbrook, T. Kesmala, N. Vorasoot, C. Akkasaeng and A. Patanothai, 2009. Association of root, specific leaf area and SPAD chlorophyll meter reading to water use efficiency of peanut under different available soil water. *Agric Water Management*. 96: 790-798.
- Uddin, S., S. Parvin and M. A. Awal, 2013. Morpho-physiological aspects of mungbean (*vigna radiata* l.) in response to water stress. *International Journal of Agricultural Science and Research (IJASR)*, Vol 3(2): 137-148.
- Verma, V., M. J. Foulkes, P. Caligari, S. R. Bradley and J. Snape, 2004. Mapping QTLs for flag leaf senescence as a yield determinant in winter wheat under optimal and droughted environments. *Euphytica* 135: 255-263
- Xie T., Su P. and Shan, 2010. Photosynthetic characteristics and wateruse efficiency of sweetsorghum underdifferent watering regimes. *Pak. J. Bot.* Vol 42(6): 3981-3994.
- Yang, F., J. Hu, J. Li, X. Wu and Y. Qian, 2009. Chitosan enhances leaf membrane stability and antioxidant enzyme activities in apple seedlings under drought stress. *Plant Growth Regul.* 58: 131-136.
- Zaharieva, M., E. Gaulin, M. Havaux, E. Acevedo and P. Monneveux, 2001. Drought and heat responses in the wild wheat relative *Aegilops geniculata* Roth: Potential interest for wheat improvement. *Crop Sci.* 41: 1321-1329.
- Zarei. B., A. Naderi, M. R. Jalal Kamali, S. Lack and A. Modhej, 2013. Determination of physiological traits related to terminal drought and heat stress tolerance in spring wheat genotypes. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences. IJACS*. Vol 5(21): 2511-2520.