

## EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE RAÍZ Y VÁSTAGO EN FRIJOL TEPARI (*Phaseolus acutifolius* A. Gray).

Sathyanarayanaiah Kuruvadi<sup>1</sup>  
Isaac Sánchez Valdez<sup>2</sup>

### RESUMEN

Se llevó a cabo un experimento en condiciones de invernadero, donde se evaluaron 20 colectas de frijol tepari y dos de frijol común, bajo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones, con el objetivo de estudiar la variabilidad para el sistema radical, identificar líneas sobresalientes en la producción de mejor sistema radical, estimar parámetros genéticos y correlaciones para diferentes variables.

Se utilizaron como macetas bolsas de polietileno color negro que contenían 70% de tierra y 30% de arena mezcladas; en cada bolsa se mantuvieron dos plantas por tratamiento por repetición. A los 80 días de la siembra se cortaron las bolsas, se lavó el suelo y se recuperaron el sistema radical y el vástago. El análisis de varianza indicó diferencias altamente significativas para las características peso seco de raíz, peso fresco y seco de vástago, peso seco total de planta y relación entre raíz y vástago. El peso seco de raíz varió de 0.24 a 0.51 g en los materiales de frijol tepari y las colectas 46, 44, 45 y 49 fueron identificadas como sobresalientes para el sistema radical, mientras que las colectas 44, 46, 65 y 39 manifestaron valores altos de peso seco de vástago.

La heredabilidad en sentido amplio fue de 94.17% a 98.43% para todas las características estudiadas, por lo tanto, estos atributos son muy efectivos en los programas de selección en generaciones tempranas y tardías.

Se detectó una correlación positiva y altamente significativa entre peso seco de raíz con peso fresco de vástago ( $r = 0.724$ ), peso seco de vástago ( $r = 0.614$ ), peso seco total de la planta ( $r = 0.723$ ) y relación entre raíz y vástago ( $r = 0.859$ ).

---

\* Parte de la tesis de Maestría en ciencias en la Especialidad de Fitomejoramiento.

1. Ph. D. Maestro-Investigador, Depto. Fitomejoramiento, Div. Agronomía UAAAN.

2. Tesista.

## INTRODUCCIÓN

El frijol tepari (*Phaseolus acutifolius* A. Gray), es un miembro de la familia de las leguminosas que se adapta con más facilidad que otras especies en regiones áridas y semiáridas. De las cuatro especies de frijol (*P. vulgaris*, *P. coccineus*, *P. lunatus* y *P. acutifolius*), domesticadas por el hombre, el frijol tepari es el más resistente a sequía.

Nabhan y Felger (1978) indicaron que el frijol tepari está distribuido en diferentes Estados de México (Baja California, Sonora, Chihuahua, Sinaloa y Durango), y Estados Unidos (Arizona y Nuevo México) donde las áreas representan principalmente zonas de escasa y errática precipitación. Kuruvadi y Morales (1985) mencionaron que este cultivo posee una gran variabilidad genética y una potencialidad para su comercialización como un cultivo en el futuro, por lo tanto, existen posibilidades para su mejora en forma rápida por selección y aplicación de métodos de mejoramiento genético. En México existen vastas superficies áridas y semiáridas con climas favorables para el desarrollo de este cultivo.

Kuruvadi y Aguilera (1988) indicaron que los rendimientos potenciales de los genotipos de frijol bajo temporal, se pueden mejorar si se incorporan en estos últimos las características que contribuyen a la resistencia a sequía. Kuruvadi y Smith (1986) afirman que los genotipos con un sistema radical más profundo y ramificado absorben mayor cantidad de agua durante los períodos de deficiencia y pueden sobrevivir y obtener rendimientos óptimos bajo sequía.

En la literatura publicada hay poca información disponible sobre el sistema radical en frijol tepari, por lo tanto, en este estudio se plantearon los siguientes objetivos: estudiar variabilidad para el sistema radical, identificar líneas sobresalientes en la producción de mejor sistema radical, estimar parámetros genéticos y correlaciones entre diferentes pares de características agronómicas.

## REVISIÓN DE LITERATURA

Serrano (1962) trabajó con cinco variedades de frijol: una de la especie *P. acutifolius* y cuatro de la especie *P. vulgaris*, para diferenciarlas fisiológica y morfológicamente por su tolerancia a la sequía. Encontró que la variedad de frijol tepari presentó el menor grado de transpiración por área foliar, esto debido, probablemente, a que sus estomas permanecen cerrados durante períodos de altas temperaturas y baja humedad relativa.

Sánchez y Acosta (1982) evaluaron 11 genotipos de *Phaseolus acutifolius* A. Gray, utilizando como testigo una variedad de *Phaseolus vulgaris* L. bajo condiciones de temporal, con el objetivo de comparar entre ambas especies el rendimiento, precocidad y reacción a enfermedades. Los resultados obtenidos

señalan que la variedad testigo Pinto Nacional-1 fue superada en rendimiento en cuatro localidades por la mayoría de los materiales de la especie *P. acutifolius*. Se observó que el rendimiento de frijol tepari es superior en regiones de menor altitud, baja precipitación y alta temperatura en relación a *P. vulgaris*.

Parsons y Howe (1984) hicieron una comparación de dos especies de frijol bajo condiciones de estrés de humedad; una de frijol tepari resistente a sequía y una de frijol común más susceptible a esta condición. El estudio fue realizado para determinar la relación entre el potencial de agua en la hoja, potencial osmótico, potencial de turgencia y contenido relativo de agua (RWC). Encontraron que el potencial osmótico de frijol tepari fue significativamente más bajo que el de los cultivares de frijol común, pero hubo poca diferencia en el potencial osmótico entre las variedades de esta especie.

Parsons (1979) menciona que el término resistencia a sequía ha sido ampliamente usado e incluye mecanismos de evasión a sequía y tolerancia a sequía. También menciona que varias de las características de la planta que imparten resistencia a sequía y factores que pueden ser considerados en un programa de mejoramiento son: sistema radical largo o incremento de la relación raíz-vástago, tamaño pequeño de las células, cutícula foliar, cambio del ángulo foliar y movimiento foliar, frecuencia y comportamiento estomatal, acumulación de prolina y ajuste osmótico. Algunas de estas adaptaciones posponen la desecación y otras pudiesen implicar un incremento en la tolerancia a la desecación.

Cahoon y Morton (1961) mencionaron que el total del agua disponible para la planta depende de la extensión que tenga el sistema radicular; mientras más grande es el sistema radicular, mayor es el agua disponible a la planta.

Parsons (1979) señala que las plantas con un sistema radicular grande, profundo o bien ramificado, pueden extraer más agua del suelo y apiazar los efectos de desecación. Las diferencias genéticas dentro de especies ocurren en tamaño de raíz y proporción de raíz con el vástago. Sin embargo, esta proporción cambia con la edad y tamaño de la planta. La estrategia apropiada de mejoramiento para sistemas radicales, puede variar con el clima y el suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético utilizado consistió en 20 genotipos de frijol tepari, proporcionados por el Banco de Germoplasma de la unidad de recursos genéticos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) de Durango. Estos materiales poseen una amplia gama de variabilidad para diferentes características agronómicas, tales como: rendimiento, vainas por planta, semillas por vaina, peso de 100 semillas, altura de planta, días a floración, días a madurez fisiológica, tamaño y color de grano, además, tienen alta tole-

rancia para condiciones de sequía. De los 20 genotipos de frijol tepari incluidos, 15 procedían de seis Estados (Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Morelos, Chiapas y Campeche) de la República Mexicana y uno de Guatemala. Además, se incluyeron como testigos cuatro genotipos de frijol tepari (Chapingo-24, Chapingo-25, P.I. 231638 y P.I. 319551) y dos variedades de frijol común (Pinto Nacional Criollo y Ojo de Cabra Sta. Rita) de la especie *Phaseolus vulgaris* L., los cuales fueron seleccionados por ser tolerantes a sequía y por el comportamiento que presentaron en estudios realizados en ciclos anteriores por el Campo Agrícola Experimental Valle del Guadiana en diferentes municipios.

Se utilizaron como macetas bolsas de polietileno color negro de 38 x 20 cm, las cuales se llenaron con suelo de bosque, cribado y fumigado, mezclado con 30% de arena. Este experimento fue establecido en mayo de 1986, depositándose cinco semillas por bolsa y después de que germinaron y emergieron se dejaron sólo las dos plantas más vigorosas. Se empleó una bolsa con dos plantas por tratamiento y por repetición como unidad experimental. Se utilizó un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Se aplicaron dos riegos, cada uno con 6 litros de agua por bolsa, a los 40 y 55 días después de la siembra, respectivamente, cuando las hojas mostraron síntomas de marchitez. La cantidad de agua de los dos riegos fue menor que la precipitación promedio de 10 años en este sitio durante el período de cultivo.

A los 80 días de la siembra, cuando todos los genotipos terminaron floración y formación de vainas, se cortó la porción vegetativa de cada tratamiento y se determinó su peso fresco, posteriormente se colocaron en platos de aluminio y se depositaron dentro de la estufa a una temperatura de 60°C durante 24 horas para obtener su peso seco. En seguida, se cortaron las bolsas de polietileno y se lavó el suelo con agua, suavemente, para recuperar la masa del sistema radical de cada tratamiento y se determinó el peso seco anteriormente citado. Los promedios se utilizaron para calcular análisis de varianza, parámetros genéticos y correlaciones fenotípicas para diferentes variables.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas para peso seco de raíz, peso fresco y seco de vástago, peso seco total del vástago y raíz, relación entre raíz y vástago (Cuadro 1), lo que revela una variabilidad considerable para todas las características entre los genotipos empleados en este estudio y que es promisorio identificar genotipos superiores para sistema radical con estos recursos genéticos. Espinoza y Kuruvadi (1986), Hurd (1974) y Beltrán (1983) realizaron un estudio para evaluar el potencial del sistema radical empleando genotipos de zacate gigante, trigo y sorgo, respectivamente, y encontraron diferencias significativas para las características peso de masa radical y relación entre masa radical con vástago.

**Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza del sistema radical y vástago del frijol tepari en el invernadero**

Fuentes de variación	Grado de libertad	Peso seco de raíz	Peso fresco del vástago	Peso seco del vástago	Peso seco total del vástago y raíz	Relación entre raíz y vástago
Repeticiones	2	0.001	1.260	0.383	0.371	0.0005
Tratamientos	21	0.381**	23.629**	8.504**	11.095**	0.0119**
Error	42	0.005	1.378	0.311	0.349	0.0004
Total	65	0.195	13.252	4.581	9.914	0.0064
C.V.(%)	-	16.92	16.18	13.25	12.76	20.70

\*\* Significativo al 1%

C.V. Coeficiente de variación

El coeficiente de variación presentó un rango de 12.76 a 20.70% para todas las características en estudio, los cuales se consideran bajos en el medio ambiente de déficit de humedad, e indican que la conducción del experimento y los resultados fueron altamente confiables.

Espinoza y Kuruvadi (1986) mencionaron que el peso del sistema radical en campo depende de varios factores como: textura, estructura, contenido de humedad, cantidad de oxígeno, presencia de diferentes sales, temperatura, pH del suelo y otros factores. Debido a esto, los mismos autores recomiendan evaluar el potencial del sistema radical bajo condiciones controladas en el invernadero, si existe una correlación significativa con las de campo.

El mayor peso seco de raíz correspondió a las variedades de frijol común Pinto Nacional Criollo y Ojo de Cabra Sta. Rita, siguiéndole las colectas de frijol tepari-46 (Guatemala), 44 (Morelos), 39 (Chiapas) y 49 (Campeche) las cuales, a su vez, superaron a los testigos de la misma especie como son: P.I. 319551, P.I. 231638, Chapingo-24 y Chapingo 25 (Cuadro 2). Las colectas de Sinaloa, Sonora y Chihuahua presentaron bajo peso de materia seca de sistema radical. Estas cuatro colectas sobresalientes en la producción de peso seco de raíz podrían contribuir al mecanismo de evasión durante el período de sequía y, a la vez, ser donadores como progenitores para incorporar mejor sistema radical a los genotipos superiores en rendimiento, bajo temporal. Abd-Ellatif y Weibel (1978) mencionaron que las variedades resistentes a sequía presentaron los pesos más altos del sistema radical en sorgo. Turner (1979) mencionó que el incremento en el peso seco de raíces indica una mayor densidad de crecimiento de raíces a medida que alcanzan mayor profundidad; este es un mecanismo importante de adaptación morfológica para una mayor extracción de agua del suelo a fin de mantener un alto potencial de humedad de la planta.

**Cuadro 2. Promedios del sistema radical y vástago de frijol tepari en invernadero**

Colecta o variedad	Peso seco de raíz (g)	Peso fresco del vástago (g)	Peso seco del vástago (g)	Peso seco total del vástago y raíz (g)	Relación entre raíz y vástago
Ojo de cabra Sta. Rita	1.27	13.05	10.62	11.89	0.12
Pinto nacional Criollo	1.68	12.32	4.60	6.28	0.37
Colecta - 39	0.45	8.35	4.38	4.83	0.10
Colecta - 44	0.49	14.07	6.77	7.26	0.07
Colecta - 46	0.51	10.55	5.47	5.98	0.09
Colecta - 49	0.38	5.93	3.33	3.71	0.11
Colecta - 65	0.30	8.28	4.53	4.83	0.07
Colecta - 74	0.25	6.35	3.80	4.05	0.06
Colecta - 79	0.31	5.72	3.58	3.89	0.09
Colecta - 84	0.32	6.77	3.68	4.00	0.08
Colecta - 86	0.31	6.42	3.82	4.13	0.08
Colecta - 99	0.33	4.18	3.75	4.08	0.09
Colecta - 106	0.31	6.50	3.47	3.78	0.09
Colecta - 112	0.26	4.98	3.02	3.28	0.09
Colecta - 113	0.26	5.67	3.00	3.26	0.09
Colecta - 121	0.25	4.55	3.08	3.33	0.08
Colecta - 127	0.24	4.52	3.02	3.26	0.08
Colecta - 129	0.26	4.90	3.25	3.51	0.08
Chapingo - 24	0.25	5.98	4.25	4.50	0.06
Chapingo - 25	0.25	7.50	4.12	4.37	0.06
P.I. 231638	0.26	6.68	3.82	4.07	0.07
P.I. 319551	0.28	6.38	3.27	3.55	0.09
Promedio	0.42	7.26	4.21	4.63	0.10
DMS (5%)	0.12	1.93	0.92	0.97	0.03

Kuruvadi (19<sup>89</sup>) mencionó cuatro medidas para estudiar el sistema radical; a saber: longitud de raíces, peso seco de masa de raíz, volumen y densidad de raíz en una unidad de superficie de suelo. Normalmente la longitud de sistema radical es considerada de más valor que el peso seco y volumen, porque indica la actividad del sistema radical en diferentes perfiles de suelo, para interpretar mejor los datos e identificar variedades con mecanismo de evasión. Los datos de longitud de raíces son útiles cuando se evalúan los genotipos en rizotrones o bolsas tubulares de 100 a 200 cm, mientras que el peso seco y volumen pueden ser empleados cuando los estudios del sistema radical son conducidos en cartones o bolsas de polietileno de poca profundidad. Murphy *et al.* (1982) observaron una correlación positiva y significativa entre volumen y peso seco de raíz y sugirieron que el peso de masa de raíces puede utilizarse en los programas de mejoramiento en lugar de volumen de raíz, ya que la medida de

volumen es muy tediosa y consume más tiempo para seleccionar dentro de un gran número de genotipos para sistema radical. Abd-Ellatif y Weibel (1978) opinan que para la identificación de líneas resistentes a sequía, el peso de raíz probablemente sea la característica más indicativa y fácil de determinar.

Para la relación entre raíz y vástago nuevamente los genotipos Pinto Nacional Criollo y Ojo de Cabra Sta. Rita, mostraron la más alta relación en comparación con el resto de los genotipos evaluados; dentro de los materiales de frijol tepari las colectas 49 y 39 obtuvieron una relación más alta que los testigos de la misma especie. Turner (1979) señaló que la proporción de raíz y vástago puede aumentar a medida que se incrementa el estrés de humedad en el suelo. Esta relación se puede obtener debido a la reducción del crecimiento de las partes aéreas de la planta en comparación con el crecimiento del sistema radical durante el período de estrés. Levitt (1972) encontró que las plantas que poseen una relación más alta entre sistema radical y vástago, pueden tener mecanismos de evasión a la sequía.

El peso fresco y seco del vástago es el producto del potencial biológico de la fotosíntesis del genotipo durante todo su ciclo vegetativo. La colecta-44 obtuvo el mayor peso fresco del vástago, siguiéndole Ojo de Cabra Sta. Rita, Pinto Nacional Criollo y la colecta-46; además, mostraron la misma tendencia para el peso seco del vástago; esto fue debido, quizá, a que tuvieron un desarrollo más vigoroso en comparación con los genotipos restantes.

Las colectas 121, 106 y 79 mostraron los más altos rendimientos bajo temporal, mientras que las colectas 46, 44, 39 y 49 fueron las más sobresalientes para el carácter peso seco de raíz. El rendimiento es un carácter complejo y se deriva de la expresión de sus componentes, como son: vainas por planta, semillas por vaina y peso de 100 semillas, siendo cada uno de ellos independiente. Asimismo la masa del sistema radical es también considerada un carácter complejo que depende de los componentes: longitud del sistema radical, número de raíces con crecimiento horizontal, diferentes ramificaciones del sistema radical, raicillas y punto de raíces; cada una de estas características son también independientes, por lo que en ocasiones los genotipos sobresalientes para alto rendimiento no pueden tener un buen sistema radical, pero sí poseer otros mecanismos de conservación de humedad en las células. Por consiguiente, las colectas altamente rendidoras y las de mayor peso seco de raíz deberán ser empleadas en programas de mejoramiento genético para formar genotipos que reúnan ambas características y, de esta manera, tener mayores posibilidades de incrementar los rendimientos bajo condiciones de temporal. Hurd (1976) aumentó en un 20% el rendimiento en trigo macarronero bajo condiciones de temporal al incorporar el mejor sistema radical de Pelissier, sintetizando los genotipos nuevos de Wascana y Wakooma.

Los valores de heredabilidad en sentido amplio (Cuadro 3) para las características de peso seco de raíz, relación entre raíz y vástago, peso seco total de vástago y raíz, peso seco y fresco de vástago fueron extremadamente altos (de

**Cuadro 3. Parámetros genéticos para el sistema radical y vástago de frijol tepari en el invernadero**

Parámetros genéticos	Peso seco de raíz	Peso fresco del vástago	Peso seco del vástago	Peso seco total del vástago y raíz	Relación entre raíz y vástago
Varianza del error	0.005	1.378	0.311	0.349	0.0004
Varianza genotípica	0.125	7.417	2.731	3.582	0.0038
Varianza fenotípica	0.127	7.876	2.835	3.698	0.0039
Heredabilidad amplia(%)	98.43	94.17	96.33	96.86	97.44

94.17% a 98.43%) y son muy efectivas para el fitomejorador de frijol, ya que le permiten un rápido avance genético en los programas de selección. Kuruvadi y Morales (1985) reportaron en frijol tepari valores altos de heredabilidad en sentido amplio, con un rango de 91.9 a 98.4%, para las características número de raíces, peso seco de raíz, área foliar, longitud total de raíz, altura del cotiledón y peso seco del vástago en nivel de plántula.

El peso seco de raíz (Cuadro 4) se correlacionó en forma positiva y significativa con peso fresco y seco de vástago, peso seco total de vástago y raíz, y relación entre raíz y vástago. Kuruvadi y Aguilera (1988) encontraron una asociación positiva y altamente significativa entre peso seco de sistema radical con rendimiento, vainas por planta, peso seco de vástago y días a madurez fisiológica, en frijol común, mientras que Espinoza y Kuruvadi (1986) observaron una estrecha correlación entre peso seco de raíz con rendimiento de forraje y área foliar en zacate gigante.

**Cuadro 4. Correlaciones fenotípicas entre diferentes pares de características de frijol tepari en el invernadero**

Caracter	Peso fresco del vástago	Peso seco del vástago	Peso seco total del vástago y raíz	Relación entre raíz y vástago
Peso seco de raíz	0.724**	0.614**	0.723**	0.859**
Peso fresco del vástago	-	0.810**	0.844**	0.426*
Peso seco del vástago	-	-	0.989**	0.131
Peso seco total del vástago y raíz	-	-	-	0.274

\*\* Significativo al 1% \* Significativo al 5%

## CONCLUSIONES

1. Existe una variabilidad considerable para peso seco de raíz, peso seco y fresco de vástago, peso seco total del vástago y raíz, relación entre raíz y vástago, en los genotipos evaluados.
2. Se identificaron las colectas de frijol tepari 46, 44, 39 y 49 como sobresalientes para la producción de masa del sistema radical.
3. Las colectas 44, 46, 65 y 39 manifestaron mayor peso fresco y seco de vástago en comparación con los genotipos resistentes.
4. Se registraron valores altos de heredabilidad en sentido amplio para todas las características de raíz y vástago.
5. Se observó una correlación positiva y altamente significativa entre peso seco de raíz con peso fresco y seco de vástago.

## LITERATURA CITADA

- Abd-Ellatif, M. y D.W. Weibel, 1978. Evaluation of root characteristics in grain sorghum. *Agron. J.* 70:217-218.
- Beltrán, E.D. 1983. Estudio de heterosis en algunas características relacionadas con la resistencia a sequía en sorgo para grano (*Sorghum bicolor*). Tesis M.C. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- Cahoon, G.A. y F.S. Morton. 1961. An apparatus for the quantitative separation of plant roots from soil. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 78:593-596.
- Espinoza, Z. R. y S. Kuruvadi. 1986. Potencial del sistema radical en colecciones de zacate gigante (*Leptochloa dubia*). *Agraria Revista Científica.* 2 (1) : 36-48.
- Hurd, E.A. 1974. Phenotypic and drought tolerance in wheat. In: *Modification for more efficient water use.* J.E. Stone (ed.) *Agric. Meteorol.* 14:39-55.
- Hurd, E.A. 1976. Plant breeding for drought resistance. In: T.T. Kozlowski (ed.). *Water deficits and plant growth.* Vol. 4. Academic Press. New York.
- Kuruvadi, S. 1988. Variability for root potential in macaroni wheat. *Rachis.* International Center for Agricultural Research in the Dry Land Areas (ICARDA), Aleppo, Syria. (In press).

- \_\_\_\_\_ y M.C. Aguilera D. 1988. Patrones del sistema radical en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Turrialba, Costa Rica. (en impresión).
- \_\_\_\_\_ y L.A. Morales. 1985. Atributos iniciales, parámetros genéticos y correlaciones en nivel de plántula en frijol tepari. Agraria Revista Científica. 1(2): 160-172.
- \_\_\_\_\_ y T.F. Smith. 1986. Modelos de raíces en trigo macarronero en rizotrones. Turrialba. 36 (4): 473-478.
- Levitt, J. 1972. Stress Concepts. Responses of plants to environmental stress. Academic Press. Inc. New York, N.Y. USA.
- Murphy, C.F., R.C. Long y L.A. Nelson. 1982. Variability of seedling growth characteristics among oat genotypes. Crop. Sci. 22: 1005-1008.
- Nabhan, G.P. y R.S. Felger. 1978. Teparies in southwestern North America. A biogeographical and ethnohistorical study of *Phaseolus acutifolius*. Economic Bot. 32: 2-19.
- Parsons, L.R. 1979. Breeding for drought resistance and what plant characteristics impart resistance. Hort. Sci. 14(5): 590- 593.
- \_\_\_\_\_ y T.K. Howe. 1984. Effects of water stress on the water relations of *Phaseolus vulgaris* and the drought resistant *Phaseolus acutifolius*. Physiol. Plant. 60:197-202.
- Sánchez, V.I. y G.J. Acosta. 1982. Evaluación de variedades de frijol tepari (*Phaseolus acutifolius*) bajo temporal en Durango. IX Congreso Nacional de Fitogenética.
- Serrano P., J.L. 1962. Algunas diferencias fisiológicas de especies y variedades de frijol tolerante a sequía. Agr. Tec. en México. 2 (4): 161-164.
- Turner, N.C. 1979. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. Stress physiology in crop plants. In: Harry Mussel (Ed.). Published by John Wiley and Sons. Inc. New York. 344-372.