

S. KURUVADI*
T. F. TOWNLEY-SMITH**

Summary

Fourteen genotypes of durum wheat were evaluated for root potential in rizotrons under dry conditions in order to identify better root models. A randomized block design was used, with two replications. Roots growing against a glass surface were traced at weekly intervals for ten consecutive weeks until all the genotypes completed flowering, rooting of all genotypes ceased approximately at flowering time.

An analysis of variance revealed highly significant differences among the genotypes for total root dry weight at a soil depth of 60 to 120 cm and 90 to 120 cm, but no significant differences at 0 to 60 cm. All genotypes, whether dwarf or tall, produced seminal root growth up to the total depth of the rizotron in about 30 days after planting. The average rates of vertical and lateral root growth were 4 cm and 15.19 cm per day respectively. The Pelissier variety recorded maximum quantity of root mass and produced an excellent root pattern. Six genotypes produced most of their root systems between 60 to 120 cm, avoiding drought effects. The plant height was not related to the length of the root system. The root dry weight and root lengths complemented each other in producing an excellent picture of the pattern of root growth.

Introducción

El sistema radicular de la planta está directamente relacionado con la absorción de agua y nutrientes y es determinante de la resistencia a sequía. Levitt (12) informó que las plantas con raíces más profundas, mostraron mayor prevención ante la sequía que plantas con raíces superficiales. Generalmente cuando la amplitud, profundidad y ramificación del sistema radicular se incrementa, decrece el déficit de agua en la planta (2, 5, 6, 14, 16, 17). Belzakov (1) y Danilchuk *et al* (4) indicaron que existe estrecha relación entre el crecimiento del siste-

ma radicular y la producción de grano bajo temporal Stoffella *et al* (15) sugieren que un genotipo con mayor biomasa radicular puede ser importante para resistencia al acame en frijol negro.

La posición de las raíces es baja en el suelo y su crecimiento puede ser observado usando cajas de crecimiento con un vidrio al frente que se les denomina comúnmente rizotrones. Los rizotrones están siendo usados para estudiar el crecimiento progresivo de las raíces, calcular la tasa de penetración, crecimiento vertical y ramificación, para identificar distintos modelos de las raíces; para estudiar el efecto de los herbicidas y la relación de las raíces con el agrietamiento del suelo. Varios investigadores Hurd (7, 8, 9); Irvine (10); Lavine (11); estudiaron los modelos de las raíces utilizando rizotrones en varios cultivos. Existen varios métodos para evaluar los sistemas radiculares tales como el monolito, en el sitio, muestreo con barrena (soil coring), los rizotrones y los radiotrazadores inyectados al suelo y a la planta, etc. Estos métodos tienen sus ventajas y desventajas pero parece que el de rizotrones es el más apropiado para estudiar los modelos de las raíces.

¹ Recibido para publicación el 9 de diciembre de 1985.
Se reconoce y agradece el apoyo económico proporcionado por el Centro Internacional de Investigación y Desarrollo, Ottawa, Canadá, para la realización de este trabajo

* Profesor-Investigador del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

** Jefe del Programa de Cereales en la Estación Agrícola Experimental, Swift Current, Saskatchewan, Canadá

Los objetivos del presente estudio fueron: evaluar la variabilidad del potencial del sistema radicular en diferentes perfiles del suelo, calcular la tasa de penetración y la tasa de crecimiento lateral de las raíces e identificar los diferentes modelos de las raíces

Materiales y métodos

Estos trabajos fueron hechos en la Estación Agrícola Experimental de Swift Current, Saskatchewan, Canadá, durante 1980. El rizotrófon es una caja de madera con vidrio al frente, cuyas medidas son: 30 cm al frente y atrás, 45 cm a cada lado y 120 cm de profundidad. Posee tres alimentadores de agua, de material poroso colocados parcialmente fuera y dentro del rizotrófon. Al frente, sobre el vidrio, se colocó un papel transparente para trazar el crecimiento progresivo de las raíces. La metodología utilizada para estudiar las raíces en los rizotrones fue descrita por Hurd (7, 9)

Catorce genotipos con alto rendimiento y amplia base genética fueron seleccionados para el presente estudio. Dos variedades Pelissier y Wascana muy resistentes a sequía y Lakota (de Estados Unidos) de alto rendimiento bajo riego fueron incluidos en los genotipos. El perfil del suelo fue reconstruido en el rizotrófon tal como se encontraba originalmente en el campo, se comprimió ligeramente y se aplicó agua destilada hasta la capacidad de campo. Después se transplantaron dos plántulas de cinco días de edad al rizotrófon, espaciadas 20 cm. El diseño usado fue en bloques al azar con dos repeticiones y se empleó un total de 28 rizotrones. La temperatura durante el día fue de 20°C y por la noche de 16°C con periodos de 16 horas de luz y de ocho horas de oscuridad

El crecimiento de las raíces contra el vidrio fue trazado semanalmente, por un periodo de diez semanas, hasta que todos los genotipos completaron su floración, usando un color de lápiz cada semana. Se calculó la tasa de penetración vertical y la tasa de crecimiento horizontal en cada semana con un medidor de mapa. La porción aérea de la planta fue cosechada después de la floración en todos los genotipos, secada al horno a 60°C por 48 horas y se determinó el peso seco. La razón para cosechar la parte aérea y raíces después de la floración en lugar de esperar hasta la madurez, fue recuperar todos los componentes del sistema radicular después del lavado, los cuales podrían podrirse. Se removió el vidrio del rizotrófon y el suelo de cada rizotrófon conteniendo las raíces y fue seccionado en ocho segmentos de 15 cm cada uno, lavados suavemente con agua y después se determinó el peso seco colocándolas al horno como se indicó anteriormente.

Los datos agronómicos registrados fueron altura de planta, tallos por planta, días a la emergencia de espi-

gas, número de espigas por planta, peso fresco y seco de la porción vegetativa y peso de la masa de raíces. Se realizó un análisis de varianza para todas las observaciones.

Resultados y discusión

Los promedios de todas las características observadas en el rizotrófon se presentan en el Cuadro 1 y el promedio del peso seco de masa de raíces de distintos perfiles del rizotrófon en el Cuadro 2. El análisis de varianza (Cuadro 3) reveló diferencias altamente significativas entre genotipos para la masa total de raíces (de 0 a 120 cm de rizotrófon) y en los perfiles de 60 a 120 cm y de 90 a 120 cm de profundidad del rizotrófon y no se encontró diferencias significativas en el perfil de 0 a 60 cm. El análisis de varianza para características agronómicas (Cuadro 4) indicó que hay diferencias significativas entre genotipos para peso fresco de la porción vegetativa, altura de planta, días a emergencia de espigas y no significativas para peso seco de parte aérea, longitud de raíces trazada y espigas por planta. El peso fresco de la porción vegetativa varió entre 38.66 g (7461-A4A) a 52.61 g (7561-1-K2C), con un promedio de 44.73 g. La altura de planta varió de 57.00 cm a 99.20 cm con un promedio de 70.04 cm. Pelissier registró la máxima altura de planta y la mínima por la enana 7461-Q4A. El rango de días de floración varió entre 63.5 hasta 74.0 días con un promedio de 70.0 días. La variedad Pelissier registró el máximo peso seco de las raíces con 6.35 g siguiéndole la 7561-FK2C con 6.12 g y la 7465-CR2C con 6.09 g. El peso total de las raíces descrito en este estudio fue sólo de las raíces seminales debido a que no hubo crecimiento de las raíces nodales bajo condiciones de sequía. En las enanas la variedad 7268-94A1 presentó máximo peso de masa de raíces con 5.62 g. Las variedades altas produjeron 10.15% más raíces en peso seco que las enanas. Las enanas produjeron 8.72 más número de espigas y 1.04% más materia seca que las altas.

La tasa de penetración vertical de las raíces fue muy vigorosa hasta la cuarta semana del transplante. La tasa de penetración vertical de las raíces seminales fue de 2.13, 3.82 y 9.92 cm por día para la segunda, tercera y cuarta semana respectivamente. A la cuarta semana de raíces de todas las variedades llegaron al fondo del rizotrófon (120 cm), indistintamente si fueron altas o enanas. Sin embargo, la parte aérea sólo creció 30 cm, es decir las raíces crecieron tres veces más rápido que la altura de planta. Mayaki *et al.* (13) también concluyeron que el crecimiento de las raíces se incrementó más rápidamente en soya bajo sequía. Las variedades DT-363 y 7264-67B5 penetraron más rápido hasta el fondo del rizotrófon que el resto. La altura de planta no está relacionada con la longitud de las raíces; Cholick *et al.* (3) tam-

Cuadro 1. Promedio de las diferentes características de los catorce genotipos en el rizotrón.

Genotipo	Peso vegetativo (g)	Peso seco parte aérea (g)	Espigas por planta	Altura de planta (cm)	Días a espigamiento	Peso seco de raíces	Longitud de trazo de raíces (cm)
Enanas							
DT-363	46 85	23 22	3 75	67 02	68 5	5 26	2 326 0
7268-94A1	43 99	22 04	3 75	65 18	70 0	5 62	2 239 0
7461-Q4A	38 66	21 60	4 50	57 00	63 5	4 22	2 377 0
7562-HB5D	44 94	21 49	4 50	67 65	68 5	4 73	2 100 0
Promedio	43 61	22 09	4 13	64 21	67 6	4 96	2 260 5
Altas							
DT-367	49 43	20 64	4 00	80 38	72 5	4 75	1 852 0
Wascana	40 05	18 94	3 75	85 38	70 5	5 45	2 141 0
Pelissier	45 55	22 23	3 25	99 20	71 0	6 35	2 249 0
Lakota	43 19	20 18	4 00	98 75	70 0	5 05	2 202 0
7264-67B5	43 10	21 02	3 75	73 38	74 0	5 51	1 695 0
7272-AQ5C	42 22	21 98	3 75	76 13	73 0	5 39	2 188 0
7465-CR2C	43 63	22 94	3 75	83 38	70 5	6 09	2 345 0
7466-CF3C	42 35	22 74	3 75	84 43	68 0	5 48	2 104 0
7561-EZ2E	49 64	23 41	3 50	87 40	69 0	5 03	1 865 0
7561-FK2C	52 61	24 49	4 25	85 13	71 0	6 12	2 068 0
Promedio	45 18	21 86	3 77	85 36	71 0	5 52	2 070 0
Promedio	44 73	21 92	3 87	70 04	70 0	5 36	2 125 0

bién encontraron que no existe relación significativa entre altura de planta y profundidad de las raíces en trigos altos y enanos en invierno bajo condiciones de temporal. La tasa de penetración fue de aproximadamente 4 cm/día. La tasa de crecimiento lateral de las raíces fue muy lenta y negligible de la primera a la tercera semana y después muy activa de la cuarta semana en adelante. La tasa de crecimiento lateral de las raíces fue de 11.45, 21.34, 32.59, 47.68, 20.03, 8.10 y 1.49 cm por día en la cuarta semana hasta la décima semana respectivamente. El crecimiento horizontal de las raíces fue máximo en la séptima semana (47.68 cm/día) y después declinó de la octava en adelante y fue imperceptible a la décima semana. El promedio de crecimiento horizontal durante todo el ciclo fue de 15.19 cm por día. El crecimiento cesó aproximadamente a la floración concordando con los resultados de Hurd (7). Las mejores variedades para crecimiento de las raíces contra el vidrio fueron 7461-Q4A (2377 cm), 7465-CR2C (2345 cm); DT-363 (2326 cm) y Pelissier (2249 cm). Pelissier obtuvo el primer lugar en la producción de masa de raíces en peso seco, pero en el crecimiento de raíces contra el vidrio fue el cuarto lugar. Las enanas produjeron 8.43% más longitud de raíz contra el vidrio que las altas. Los datos del potencial de raíces son más precisos que los del crecimiento contra el vidrio, pero

ambos pueden complementarse, para dar un excelente conocimiento del modelo de desarrollo de las raíces. Hurd (7) también mencionó que ambos datos son complementarios e importantes para estudiar los modelos de las raíces.

Las raíces del perfil de 0 a 60 cm son más gruesas y contribuyen con más peso seco cada una pero son menos significativas en la función de absorción de agua y nutrimentos, ya que en este perfil el agua se ha agotado en la etapa de floración. Las raíces del perfil de 61-120 cm son más delgadas y muy ramificadas, su peso es menor pero son muy importantes fisiológicamente en la absorción de agua ya que en este perfil el agua está disponible casi hasta la época de llenado de grano y maduración en Saskatchewan. Los genotipos con sistema radicular grande dentro del perfil de 61 a 120 cm, tienen una ventaja adicional para asegurar la absorción de agua y nutrimentos y evitar la sequía. Debido a que la variación en el desarrollo de las raíces de los catorce genotipos fue no significativa en el perfil 0 a 60 cm, la mejor forma de compararlos para el sistema radicular es tomar la cantidad de masa seca de raíces en peso en el perfil de 60 a 120 cm del suelo. Así la cantidad total del sistema radicular no es muy importante, pero los genotipos que poseen 40% o más de su masa de raíces

Cuadro 2. Promedio de peso seco de raíces en diferentes perfiles del rizotron (g).

Profundidad (cm)	DT-363	DT-367	Wascana	Pelissier	Lakota	7268-67B5	7268-94AI	7272-AQSC	7461-Q4A	7465-CR2C	7466-CF3C	7561-CZ2E	7561-FK2E	7265-HB5D
0-15	1.6875	1.2471	1.3228	1.8262	1.3341	1.7489	1.5713	1.5425	1.1838	1.6999	1.3066	1.7589	1.8356	1.1955
16-30	0.5882	0.6605	0.6009	0.5286	0.5896	0.5103	0.5672	0.6855	0.4610	0.6434	0.5910	0.5194	0.7056	0.6567
31-45	0.5067	0.5689	0.6071	0.7742	0.5141	0.6380	0.6226	0.4230	0.6621	0.6503	0.6444	0.5638	0.5554	0.5643
46-60	0.6325	0.5343	0.5766	0.5724	0.3992	0.5495	0.5996	0.3926	0.7505	0.6011	0.6392	0.5319	0.5075	0.5852
61-75	0.3878	0.3197	0.5878	0.5263	0.5031	0.4368	0.5672	0.3622	0.3680	0.5496	0.5855	0.3362	0.5796	0.5424
76-90	0.4907	0.4478	0.7106	0.5789	0.5337	0.4189	0.5230	0.5640	0.3531	0.6077	0.5198	0.3862	0.6959	0.4357
91-105	0.5001	0.4167	0.5406	0.6939	0.5742	0.5927	0.5422	0.6766	0.2761	0.7172	0.6894	0.4229	0.6009	0.4356
106-120	0.4695	0.5506	0.4992	0.8529	0.3994	0.6133	0.6295	0.7419	0.1648	0.6217	0.5008	0.5146	0.6430	0.3177
0-120	5.2630	4.7456	5.4456	6.3534	5.0474	5.5084	5.6226	5.3877	4.2194	6.0909	5.4767	5.0356	6.1135	4.7331
61-120	2.2903	1.7346	2.9719	3.2551	2.4531	2.4669	2.8658	2.3440	1.1600	2.1890	2.2953	1.6597	2.5193	1.9403
91-120	1.4119	0.9672	1.7185	2.1500	1.4163	1.6104	1.7757	1.4178	0.4408	1.3384	1.1901	0.9374	1.2438	0.7532

Cuadro 3. Análisis de varianza para peso seco de raíces en diferentes perfiles del rizotron.

Fuente de variación	g l	F calculada															
		0-15	16-30	31-45	46-60	61-75	76-90	91-105	106-120	0-30	31-60	61-90	91-120	0-60	61-120	0-120	0-90
Repeticiones l			1.422	1.522	0.025	5.976	0.076	0.208	10.196	0.169	0.660	1.730	7.498	0.035	6.796	2.729	0.472
Genotipos	13	3.54	130	1.78	1.809	4.073	2.595	2.336	10.137	2.262	1.328	3.222	6.665	1.543	6.031	4.270	2.102
Error (cm)	13	0.0395	0.0063	0.0090	0.0067	0.0041	0.0079	0.0119	0.0051	0.0366	0.0256	0.0189	0.020	0.0735	0.0480	0.1419	0.1144

* Significativo al nivel cinco %.

** Significativo al nivel uno %.

NS No significativo.

Cuadro 4. Análisis de varianza para diferentes características agronómicas de catorce genotipos en rizotróon.

Fuente de variación	g l	F Calculada						
		Peso vegetativo	Peso seco parte aérea	Espigas por planta	Altura de planta	Días a espigamiento	Peso seco de masa de raíces	Longitud de trazo de las raíces
Repetición	1	196.35	16.10	0.66	23.27	37.34	3.71	0.67
Genotipos	13	4.35**	1.94 NS	0.72 NS	17.16**	6.73**	4.44**	0.58 NS
Error	13	6.77	2.15	0.34	17.78	1.94	0.16	144080.59

** Significativo al nivel uno %.

NS No significativo.

entre 60 y 120 cm de profundidad son más importantes. Los seis genotipos: Pelissier (51.26%), Wascana (55%), 7268-94A (50.89%), 7561-FK2C (41.81%), Lakota (48.71%) y 7264-67B5 (44.83%) también más proporción de su sistema radicular en el perfil del suelo de 60 a 120 cm y podrían contribuir a la resistencia a la sequía con mecanismo de evitación. Hurd (9) y Levitt (12) sugirieron que los genotipos con más masa de raíces en perfiles más profundos pueden evitar la sequía.

Los modelos de las raíces se ilustran gráficamente en la Fig. 1, para cada genotipo con base a su peso seco de la masa de raíz en cada segmento de 15 cm del

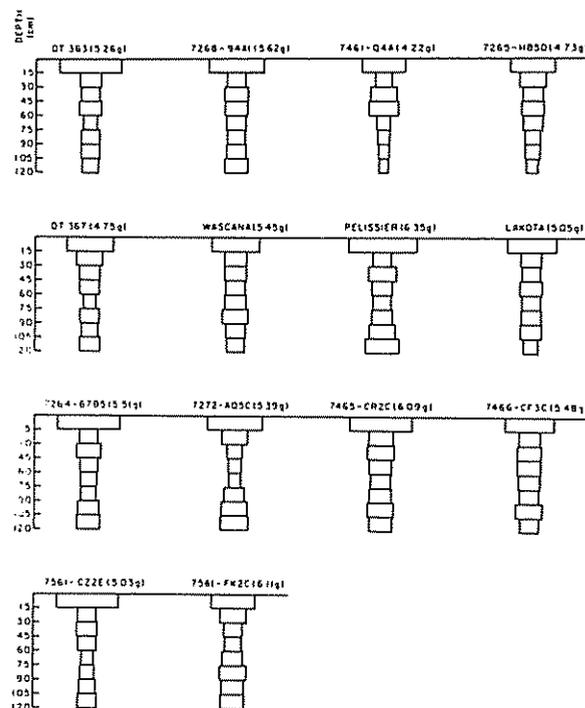


Fig. 1 Modelos de raíces de los catorce genotipos de trigo duro bajo sequía.

rizotróon. La anchura de las barras representan la cantidad de raíces en gramos recuperados de cada segmento. Pelissier tiene un excelente modelo que incrementa la cantidad de raíces en cada segmento del perfil de 60 a 120 cm. Su cantidad de raíces (0.85 g) en el perfil más bajo del rizotróon (106 a 120 cm) fue más grande que en el resto de los otros segmentos excepto el primero (0 a 15 cm). Hurd (7) también encontró una cantidad proporcionalmente más grande de raíces en el perfil de 60 a 120 cm en Pelissier. Los modelos de las raíces de los genotipos 7268-94A1 y 7465-CR2C fueron más o menos semejantes, lo mismo entre Wascana y 7466. Las líneas hermanas DT-363 y DT367 tuvieron también modelos idénticos. El resto de los genotipos fueron distintos en su modelo de raíces. El modelo de raíces está controlado genéticamente pero puede ser modificado por las características y condiciones del suelo (9). El genotipo Pelissier puede ser usado como donador para un mejor modelo del sistema radicular en futuros programas de sequía.

Esta técnica de evaluar el potencial de las raíces en rizotrones involucrados empleó considerable presupuesto, tiempo y es muy laborioso, pero es uno de los mejores métodos para identificar las variedades con mejores modelos de raíces y estudiar visualmente el crecimiento de las raíces.

Resumen

Catorce genotipos de trigo duro fueron evaluados en rizotrones con el objetivo de estudiar el potencial del sistema radicular e identificar los mejores modelos del mismo, en un diseño de bloques al azar con dos repeticiones bajo condiciones de temporal. El crecimiento de las raíces contra la superficie del vidrio fue trazado semanalmente, por un periodo de diez semanas hasta la floración de todos los genotipos. El crecimiento de las raíces de todos los genotipos cesó a la floración. El análisis de varianza indicó diferencias altamente significativas para la masa total de raíces y no significativas para las raíces del perfil de 0 a

60 cm. Todos los genotipos alcanzaron la profundidad total del rizotrófon en un periodo de 30 días

El promedio de la tasa de crecimiento vertical fue de 4 cm por día y del lateral 15.19 cm por día. Pelissier obtuvo la máxima cantidad de masa de raíces y también produjo un excelente modelo del sistema radicular. Los seis genotipos con mayor proporción de raíces en el perfil de 60 a 120 cm evitaron más eficientemente la sequía. La altura de planta no está relacionada con la longitud del sistema radicular. Los datos del peso seco de raíces y de la longitud de raíces se complementan para dar un conocimiento mejor sobre el modelo de la raíces. La técnica de los rizotrones para el estudio del potencial de raíces ofrece la ventaja de la observación visual del crecimiento del sistema radicular y la identificación de los modelos de raíces.

Literatura citada

1. BELZAKOV, I. 1968. The growth and development of wheat and barley roots in the semi-desert zone. *Vestnik Selskhoz Nauki* 13:31-33.
2. BERTRAND, A.R. 1965. Water conservation through improved practices. In *Plant environment and efficient water use*. American Society of Agronomy - Soil Science Madison Wisconsin. p. 207-235.
3. CHOLICK, A. JAMES WELSH, R.; VERNON, C. Col. 1977. Rooting patterns of semi-dwarf and tall winter wheat cultivars under dryland field conditions. *Crop Science* 17:637-639.
4. DANILCHUK, P.V.; YATSENKO, G.K.; SHLIFASOVSKY, V.A. 1971. The development of roots and ground mass in winter wheat. *Vestnik Selskhoz Nauki* 10:50-55.
5. DONALD, C.M. 1963. Competition among crop and pasture plants. *Advances Agronomy* 15:1-118.
6. GLIEMEROTH, G. 1952. Water content of the soil in relation to the root development of some cultivated plants. *Z. Acker-Pflanzenbau* 95:21-46.
7. HURD, E.A. 1964. Root study of three wheat varieties and their resistance to drought and damage by soil cracking. *Canadian Journal Plant Science* 44:440-448.
8. HURD, E.A. 1968. Growth of roots of seven varieties of spring wheat at high and low moisture levels. *Agronomy Journal* 60:201-205.
9. HURD, E.A. 1975. Phenotype and drought tolerance in wheat. In *Modification for more efficient water use*. Ed. by J.E. Stone. p. 37-55. *Agricultural Meteorology* 14.
10. IRVINE, R.B. 1978. Growth of roots and shoots of semidwarf and tall genotypes of *Hordeum vulgare* L. Ph.D. Thesis. Dept. of Plant Science. University of Saskatchewan, Saskatoon. Canadá.
11. LAVINE, F. 1961. A glass-faced plantar box for field observation on roots. *Agronomy Journal* 53:265-268.
12. LEVITT, J. 1972. Responses of plants to environmental stresses. Academic Press. New York.
13. MAYAKI, I.D.; STONE, L.R. 1976. Top and root growth of irrigated and non-irrigated soybean. *Crop Science* 16:92-94.
14. SINGH, K. 1952. Effect of soil cultivation on the growth and yield of winter wheat. *Science Food Agriculture* 3:514-525.
15. STOFFELLA, P.J.; SANDSTED, R.F.; ZOBEL, R.W.; HYMES, W.L. 1979. Root characters of blackbeans. I. Relationship of root size to lodging and seed yield. *Crop Science* 19:823-826.
16. WATSON, D.J. 1968. A prospect of crop physiology. *Annual Applied Biology* 62:1-9.
17. WEATHERLY, P.E. 1965. Some investigations on water deficit and translocation under controlled conditions. In *Water Stress in Plants*. Junk. Publ. The Hague. p. 63-69.