

Comparison of root and shoot traits of different wheat species and wild wheat relatives: Does feature of shoot biomass have positive and significant relationships with grain yield and root traits?

Comparación de la raíz y el vástago de trigo de diferentes especies y parientes de trigo silvestre: ¿Existe alguna relación positiva entre la biomasa del vástago, el rendimiento del grano y las características de la raíz?

Comparaçãõ da raiz e do caule de trigo de diferentes espécies e parentes silvestres de trigo: ¿Existe uma relação positiva entre a haste de biomassa, produção de grãos e características da raiz?

Hayati Akman^{1*}, Necdet Akgün² and Ahmet Tamkoç²

¹Seed Department, Sarayonu Vocational School, Selçuk University, 42430 Konya, Turkey. E-mail: hayatiakman@selcuk.edu.tr. ²Field Crops Department, Faculty of Agriculture, Selçuk University, 42031 Konya, Turkey. Email: nakgun@selcuk.edu.tr, atamkoc@selcuk.edu.tr.

Abstract

This study targeted to investigate some root and shoot traits and their relationship in 47 different genotypes such as cultivars, lines, landraces, ancient wheat species and wild wheat relatives belonging to 14 different species at long tubes of PVC under field weather conditions. It was found significant differences between genotypes in terms of root and shoot traits ($P < 0.01$). The investigated traits varied among the genotypes, ranging from 0.97 to 6.88 g for root biomass, 0.07 to 0.34 for root to shoot ratio, 5.9 to 25.0% for root to total biomass ratio, 4.3 to 34.7 for tiller number and 7.5 to 52.6 g for shoot biomass. Ancient wheat species such as *Triticum monococcum* (Kelycras), *T. turgidum*, *T. spelta*, a landrace (Vanlı), and cultivars (Daws High PPO, ARS Amber and AK 702) had large root biomass among the genotypes. Therefore, these genotypes could be helpful for

Recibido el 17-01-2016 • Aceptado el 05-05-2017

*Corresponding author e-mail: hayatiakman@selcuk.edu.tr

improving genotypes with large root system in breeding programs. The study also showed that shoot biomass had significant and positive relationships with root biomass (0.572**), root length (0.441**) and crown root number (0.245**) as well as grain yield (0.911**). Accordingly, feature of shoot biomass might be used as selection criteria in breeding program to improve genotypes with superior root system and high grain yield.

Key words: wheat species, wild wheat relatives, root and shoot traits, correlation.

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue estudiar algunas características de la raíz y del vástago y sus relaciones en 47 genotipos diferentes, tales como cultivares, líneas, razas locales, especies de trigo ancestrales y parientes de trigo silvestre pertenecientes a 14 especies diferentes, en tubos largos de PVC, en condiciones de campo. Se observaron diferencias significativas entre los genotipos en cuanto a la raíz y el vástago ($P < 0,01$). Las características investigadas variaron entre los genotipos, oscilando entre 0,97 hasta 6,88 g de la biomasa de raíz, de 0,07 a 0,34 para la relación raíz/vástago, de 5,9 a 25,0% para la relación raíz/biomasa total, de 4,3 a 34,7 por número de tallos y de 7,5 a 52,6 g para la biomasa del vástago. Las especies de trigo ancestrales, tales como *Triticum monococcum* (Kelycras), *T. turgidum*, *T. spelta*, la raza local (Vanlı), y los cultivares (Daws High PPO, ARS Amber y AK 702) tuvieron mayor biomasa de raíz entre los genotipos. Por lo tanto, estos genotipos podrían ser útiles para mejorar los genotipos que poseen un sistema radical más desarrollado en los programas de mejoramiento. El estudio también demostró que la biomasa del vástago tuvo una relación significativa y positiva con la biomasa de la raíz (0,572**), longitud de la raíz (0,441**) y el número de raíces de la corona (0,245**) así como en el rendimiento del grano (0,911**). Por lo tanto, la biomasa del vástago podría utilizarse como un criterio de selección en programas de mejoramiento para mejorar los genotipos y obtener un sistema de raíz superior y mayor rendimiento del grano.

Palabras clave: especies de trigo, parientes de trigo silvestre, características de la raíz y el vástago, correlación.

Resumo

O objetivo deste trabalho foi estudar algumas características da raiz e caule e as suas relações em 47 genótipos diferentes, tais como, linhas de cultivares, raças locais, espécie trigo ancestral e parentes de trigo selvagem pertencendo a 14 espécies diferentes genótipos, canos de comprimento longo de PVC, em condições de campo. Foram observadas diferenças significativas entre os genótipos como a raiz e o caule ($P < 0,01$). As características investigadas variaram entre genótipos, variando 0,97-6,88 g de biomassa de raiz, 0,07-0,34 para a razão raiz/caule de 5,9 a 25,0% para raiz/biomassa total, 4,3-34,7 e número de hastes 7,5-52,6

g de biomassa filmagem. Espécies ancestrais, tais como *Triticum monococcum* (Kelycras), *T. turgidum*, *T. spelta*, o local de corrida (Vanlı) e cultivares (Daws alta PPO, ARS âmbar e AK 702) tiveram maior biomassa de raiz entre genótipos. Portanto, esses genótipos poderia ser útil para melhorar genótipos que têm um sistema de raiz mais desenvolvido em programas de melhoramento. O estudo também mostrou que a biomassa do caule tinha uma relação positiva significativa com a biomassa de raiz (0,572**), comprimento de raiz (0,441**) e o número de raiz da coroa (0,245**), bem como a produção de grãos (0,911**). Deste modo, a biomassa do haste poderia ser utilizado como um critério de seleção em programas de melhoramento genético para melhorar genótipos e obter um sistema de raiz superiores e maior rendimento do grão.

Palavras-chave: espécies de trigo, parentes silvestres de trigo, características de raiz e caule, correlação.

Introduction

Root has a significant importance for plant growth, therefore relations between root and shoot should be well known for increasing the yield. Atta *et al.* (2013) reported that root traits collectively contributed between 45% of total variance in grain yield. However, over the past years, use of roots in breeding programs has not been sufficient (Waines and Ehdaie 2007; Den Herder *et al.*, 2010), because root study is tedious and required labor intensive.

Screening and selecting for shoot and root traits in different genotypes were considered as significant aspects of crop breeding programs. Root biomass is an important trait and also indicator of the size of a root system (Waines and Ehdaie, 2007; Ehdaie *et al.*, 2010). For this reason, genotypes with high root biomass are a significant selection criteria for large root size. Selection for higher wheat root system size can be easily used to improve

Introducción

La raíz es de gran importancia para el crecimiento vegetal; por lo tanto, se deben estudiar las relaciones entre la raíz y el vástago para aumentar el rendimiento. Atta *et al.* (2013) reportaron que las características de la raíz contribuyeron aproximadamente 45% en la varianza total del rendimiento del grano. Sin embargo, en los últimos años, el uso de las raíces en los programas de mejoramiento no ha sido suficiente (Waines y Ehdaie, 2007; Den Herder *et al.*, 2010), ya que el estudio de la raíz es tedioso y requiere de intensivas labores.

La evaluación y selección de las características de la raíz y el vástago en diferentes genotipos son considerados aspectos fundamentales de los programas de mejoramiento de los cultivos. La biomasa de la raíz es un rasgo importante y también un indicador del tamaño del sistema radical (Waines y Ehdaie, 2007; Ehdaie *et al.*, 2010). Por esta razón,

genotypes with drought tolerance and greater efficiency of water and fertilizer use and it was also reported the root system size was correlated with grain yield (Heřmanská *et al.*, 2015).

The presence of rich genetic resources such as wild relatives (Nevo and Chen, 2010) and landraces (Zeven, 1998) are useful for improving adaptive and promising genotypes and breeding of new cultivars. The hulled ancient wheat species such as Emmer, Einkorn and Spelt wheat species which have a transition between wild and cultivated wheat species and may harbour the genetic variation necessary for improvement for modern wheat cultivars (Adu *et al.*, 2011).

Screening for root traits is generally confined in greenhouse or laboratory conditions to which plants may not translate better performance compared to field weather conditions. This study aimed to investigate relationships and some root and shoot traits in cultivars, lines, landraces, ancient wheat species and wild wheat relatives under field weather conditions.

Materials and methods

Experimental site, soil and weather conditions

This research was conducted at Konya Central Anatolia Region, in Turkey, during 2013-2014 growing season. The study area is located at 38°15'58" N 32°24'23" E, at altitude of 1,061 m above mean sea level. The soil consisted of a mixture of peat (70%) and perlite (30%). Soil samples were taken before sowing and analyzed for some

los genotipos con una biomasa de raíz elevada, representan un criterio de selección para determinar el tamaño de la raíz. La selección para el tamaño del sistema radical de trigo podría utilizarse para mejorar los genotipos con tolerancia a la sequía y obtener una mayor eficiencia del uso del agua y de fertilizantes, de igual forma se ha reportado que el tamaño del sistema radical se correlacionó con el rendimiento del grano (Heřmanská *et al.*, 2015).

La presencia de numerosos recursos genéticos tales como parientes silvestres (Nevo y Chen, 2010) y razas locales (Zeven, 1998) son útiles para mejorar los genotipos y para obtener el mejoramiento de nuevos cultivares. Las especies de trigo ancestrales tales como Emmer, Einkorn y Spelt, con una transición entre las especies de trigo cultivadas y silvestres, pueden albergar la variación genética necesaria para mejorar los cultivares de trigo moderno (Adu *et al.*, 2011).

La detección de los rasgos de la raíz generalmente se limita en condiciones de invernadero o de laboratorio en los cuales las plantas pueden no reflejar el mayor rendimiento en comparación con las condiciones de campo. El objetivo del estudio fue investigar las relaciones y algunas características de las raíces y el vástago en cultivares, líneas, razas locales, especies de trigo ancestrales y parientes silvestres bajo condiciones de campo.

Materiales y métodos

Lugar experimental, suelo y condiciones climáticas

La investigación se llevó a cabo en la región Central de Anatolia de

chemical and physical parameters. The soil is calcareous, slightly acidic and high organic matter.

The climate of Konya can be defined as semiarid continental. Meteorological data showed of 310.9 mm for the long-term rainfall (1980-2013) and 301.1 mm for average annual rainfall (2013-2014), long-term temperature of 10.3 °C and average annual temperature of 12.5 °C.

Field experiment and plant materials

The experiment was designed according to randomized complete block design with three replications. Forty-seven genotypes of *Triticum aestivum*, *T. durum*, *T. compactum* and other *Triticum* and *Haynaldia* species were used in the study (table 1).

Cylindrical PVC tube above 200 cm long and 12 cm in diameter were used for growth and development of plants under the field weather conditions (figure 1 and 2). Tubes were buried in the ground dug previously by a backhoe. The sowings were made in tubes of 15 cm row and 15 cm intra-row spaces. It was sown to each tube as field trial on beginning of October. Commercial peat (70%) and perlite (30%) were used as the soil material.

Tubes were thoroughly watered before sowing for emergence. Plants were watered again at tillering stage and then two times irrigation during fertilizer applications at stem elongation and complete of flowering stages. At sowing, fertilizer DAP (18% N, 46% P₂O₅) 130 kg·ha⁻¹, was applied as topdressed to all plots. At the beginning of stem elongation stage

Konya, en Turquía, durante los años 2013-2014. Geográficamente el área está ubicada a 38°15'58" N y 32°24'23" E, a una altura de 1.061 metros sobre el nivel del mar. El suelo consistió en una mezcla de turba (70%) y perlita (30%). Las muestras del suelo fueron tomadas antes de la siembra y analizadas para determinar algunos parámetros físicos y químicos. El suelo es calcáreo, ligeramente ácido y con un alto contenido de materia orgánica.

El clima en Konya se puede definir como continental semiárido. Los datos meteorológicos mostraron 310,9 mm de precipitaciones a largo plazo (1980-2013) y 301,1 mm de precipitación promedio anual (2013-2014), temperatura a largo plazo de 10,3 °C y temperatura promedio anual de 12,5 °C.

Condiciones experimentales y material vegetal

Se diseñó un experimento en bloques al azar y tres repeticiones. Se utilizaron en este estudio 47 genotipos de especies de *Triticum aestivum*, *T. durum*, *T. compactum* otros *Triticum* y *Haynaldia* (cuadro 1).

Se utilizó un tubo cilíndrico de PVC de 200 cm de largo y 12 cm de diámetro para el crecimiento y desarrollo de las plantas bajo condiciones de campo (figuras 1 y 2). Los tubos se enterraron en el suelo, previa excavación usando una retroexcavadora. La siembra se realizó con una separación entre tubos y entre hileras de 15 x 15 cm. Cada tubo se sembró como ensayo de campo a principios del mes de octubre. La turba comercial (70%) y perlita (30%) se usaron como material de suelo.

Los tubos fueron bien regados antes de la siembra para alcanzar la emergencia. Las plantas se regaron

Table 1. Taxonomy and origin of modern wheats, ancient wheats and wild wheat relatives.**Cuadro 1. Taxonomía y origen de los trigos modernos, trigos antiguos y parientes silvestres de trigo.**

Genotypes	Taxonomy	Origin
	Turkish wheat genotypes	
Konya 2002	<i>Triticum aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	Cultivar, Turkey
Bayraktar 2000	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	Cultivar, Turkey
Harmankaya	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	Cultivar, Turkey
Tosunbey	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	Cultivar, Turkey
Karahan 99	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	Cultivar, Turkey
Sönmez 2001	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	Cultivar, Turkey
Ahmetağa	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	Cultivar, Turkey
Gerek 79	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	Cultivar, Turkey
Dağdaş 94	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	Cultivar, Turkey
Kirik	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	Cultivar, Turkey
Esperya	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	Registered Cultivar, Turkey
Bezostaja 1	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	Registered Cultivar, Turkey
Çesit 1252	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>durum</i>	Cultivar, Turkey
Kızıltan 91	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>durum</i>	Cultivar, Turkey
Kunduru 1149	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>durum</i>	Cultivar, Turkey
Berkmen 469	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>durum</i>	Cultivar, Turkey
TR 053 '1'	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	Line, Turkey
TR 062	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>durum</i>	Line, Turkey
Vanlı	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	Landrace, Turkey
Kamçı	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	Landrace, Turkey
Ribasa 1	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	Landrace, Turkey
Ribasa 2	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	Landrace, Turkey
Gır	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>durum</i>	Landrace, Turkey
Kamut	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>durum</i>	Landrace, Turkey
AK 702	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>compactum</i>	Cultivar, Turkey
Abroad wheat genotypes		
Yellowstone	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	Cultivar, United States, Montana
Rampart	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	Cultivar, United States, Montana
ARS Amber	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	Cultivar, United States, Washington
Westonia	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	Cultivar, Australia
Vizir	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	Cultivar, France
Tamaroi	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>durum</i>	Cultivar, Australia

Table 1. Taxonomy and origin of modern wheats, ancient wheats and wild wheat relatives (Continuation).**Cuadro 1. Taxonomía y origen de los trigos modernos, trigos antiguos y parientes silvestres de trigo (Continuación).**

Genotypes	Taxonomy	Origin
	Turkish wheat genotypes	
5924	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	Line, Australia
Daws High PPO	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	Near Isogenic Line, United States, Washington
PahaNIL (vrn4)	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>compactum</i>	Near Isogenic Line, United States, Washington
Ancient wheat species and wild wheat relatives		
<i>Triticum turgidum</i> (Asterie H4)	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>turgidum</i>	Domesticated emmer wheat, Spain, Oviedo
<i>T. dicoccon</i> (Rufum)	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>dicoccon</i>	Domesticated emmer wheat, Ethiopia
<i>T. macha</i> (WIR 29576)	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>macha</i>	Makha wheat, Georgia
<i>T. boeoticum</i>	<i>T. monococcum</i> subsp. <i>aegilopodios</i>	Wild einkorn, Asia Minor
<i>T. spelta</i> (Spelta 46)	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>spelta</i>	Spelt wheat, Belgium, Namur
<i>Haynaldia villosa</i>	<i>H. villosa</i>	Wild wheat relative, Bulgaria
<i>T. turanicum</i> (Sari Tuya Tish)	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>turanicum</i>	Khorasan wheat, Hungary, Pest
<i>T. vavilovii</i>	<i>T. vavilovii</i>	Valilov wheat, Sweden, Uppsala
<i>T. carthlicum</i> (Persian)	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>carthlicum</i>	Persian wheat, Iran
<i>Aegilops biuncialis</i>	<i>A. biuncialis</i>	Wild relative of wheat, Turkey
<i>T. monococcum</i> (Keleyras)	<i>T. monococcum</i> subsp. <i>monococcum</i>	Domesticated einkorn, Albania
<i>T. monococcum</i> (982)	<i>T. monococcum</i> subsp. <i>monococcum</i>	Domesticated einkorn, Former Yugoslavia
<i>T. monococcum</i>	<i>T. monococcum</i> subsp. <i>monococcum</i>	Domesticated einkorn, Turkey

(GS 31) and completing of flowering (GS 69), a solution including 37.5 g urea (46% N), 64 g micro elements (Cu, Fe, Mn and Zn), 11.8 cc humic acid were applied with drip irrigation system. Root and shoot harvest were made at stages of full grain maturity (GS 92). Both tillers including fertile and infertile were counted. Roots were washed with pressurized water and then crown roots were counted. Root and shoot samples were dried in a

otra vez durante la aparición del vástago y luego se regaron dos veces: cuando se aplicó el fertilizante durante el alargamiento del tallo y durante la etapa de floración. En la siembra, se aplicó fertilizante DAP (18% N, 46% P₂O₅) 130 kg·ha⁻¹ en todas las parcelas. Al principio de la etapa de elongación del tallo (GS 31) y una vez completada la floración (GS 69), se aplicó una solución con el riego por goteo que contenía 37,5 g de urea (46% N), 64 g



Figure1. PVC tubes were replaced to 200 cm depth in soil under field weather condition.

Figura 1. Tubos de PVC sustituidos a 200 cm de profundidad en el suelo bajo condiciones de campo.



Figure2. Roots were washed on sieve after nylon bag were removed from root media.

Figura 2. Raíces lavadas en el tamiz, luego removidas del medio y depositadas en bolsas de nailon.

forced oven at 70 °C to constant dry weight (Aydın and Tosun, 1991).

Statistical analysis

Data obtained were analyzed according to the randomized complete block design with three replications. Significance levels ranged from $P < 0.01$ for statistical analyses. Differences between means were evaluated with the Least Significant Difference (LSD) test at $P < 0.01$ level of significance and correlation coefficients were computed for root and shoot traits. Statistical analyses were performed using the MSTAT-C statistical software package (Russel, 1989).

Results and discussion

Significant differences were found among the genotypes for all the traits per plant such as tiller number, root biomass, total biomass, root to shoot ratio and root to total biomass ratio ($P < 0.01$). Mean values for some important traits are shown in table 2 and correlation coefficients are given in the table 3.

Root and shoot traits in different wheat species and wild wheat relatives

Root biomass

The root biomass of different wheat species and wild wheat relatives had a wide range of variation, varying from 0.97 to 6.88 g plant⁻¹. Root biomass ranged from 1.47 g (*A. biuncialis*) to 5.83 g (*T. turgidum*) at ancient wheat species and wild wheat relatives, while minimum and maximum root biomass was obtained from landraces with 0.97 g (Gır) and 6.88 g (Vanlı). Previous researchers reported genetic

micro elementos (Cu, Fe, Mn y Zn) y 11,8 cc de ácido húmico. La cosecha de la raíz y el vástago se realizó cuando el grano había conseguido el estado de madurez (GS 92). Se contaron los tallos fértiles e infértiles. Las raíces se lavaron con agua a presión y luego se contó el número de raíces de la corona. Las muestras de raíz y vástago se secaron en una estufa a 70 °C hasta obtener biomasa seca constante (Aydın y Tosun, 1991).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados de acuerdo al diseño de bloques completamente al azar, con tres repeticiones. El nivel de significancia en los análisis estadísticos fue de $P < 0,01$. Las diferencias entre los promedios se evaluaron usando la prueba de mínima diferencia significativa (LSD) con un nivel de significancia de $P < 0,01$, y los coeficientes de correlación se calcularon para las características de la raíz y el vástago. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software estadístico MSTAT-C (Russel, 1989).

Resultados y discusión

Se observaron diferencias significativas entre los genotipos para todas las variables por planta evaluadas, tales como número de tallos, biomasa de la raíz, biomasa total, relación raíz/vástago y raíz/biomasa total ($P < 0,01$). Los valores promedio de algunas de las características importantes se presentan en el cuadro 2 y los coeficientes de correlación en el cuadro 3.

Table 2. Some root and shoot traits of different wheat species and wild wheat relatives.**Cuadro 2. Algunas características de la raíz y del vástago de las diferentes especies de trigo y parientes silvestres de trigo.**

Genotypes	Root biomass (g plant ⁻¹)	Root/shoot ratio	Root/total biomass ratio (%)	Tiller number (N°)	Shoot biomass (g plant ⁻¹)
Konya 2002	3.38 j-n	0.10 h-k	9.4 j-n	7.0 k-o	33.2 c-k
Bayraktar 2000	4.12 e-l	0.14 ab	12.4 g-m	10.7 e-l	29.1 d-l
Harmankaya	4.37 ck	0.16 e-i	13.9 f-k	7.0 k-o	27.5 f-n
Tosunbey	4.20 d-l	0.11 h-k	9.7 i-n	10.3 e-m	38.2 cd
Karahan 99	3.61 i-m	0.13 h-k	11.2 i-m	7.7 i-o	28.5 e-m
Sönmez 2001	4.25 d-k	0.12 h-k	10.7 i-n	9.7 e-n	35.5 c-h
Ahmetağa	4.89 b-j	0.14 f-j	12.3 g-m	9.0 f-o	34.2 c-i
Gerek 79	3.26 k-n	0.10 ijk	8.9 lmn	10.7 e-l	34.5 c-i
Dağdaş 94	4.34 c-k	0.12 h-k	10.8 i-n	9.3 e-n	37.2 cde
Kırık	3.54 i-m	0.10 ijk	8.8 lmn	17.0 bcd	35.4 c-g
Esperya	4.74 h-m	0.10 ijk	9.1 k-n	9.7 e-n	37.1 c-f
Bezostaja 1	4.90 b-j	0.14 f-j	11.8 g-m	9.3 e-n	35.9 c-g
Çesit 1252	3.97 f-l	0.15 e-j	13.3 f-l	7.0 k-o	26.2 h-n
Kızıltan 91	3.93 j-n	0.13 h-k	11.0 i-m	9.0 f-o	26.9 g-n
Kundurur 1149	3.99 f-l	0.15 f-j	13.1 f-m	8.0 h-o	26.8 g-n
Berkmen 469	5.08 b-i	0.13 g-k	11.7 h-m	13.7 c-f	41.4 bc
TR 053 "1"	4.14 c-k	0.17 d-h	14.3 e-j	7.3 j-o	26.6 g-n
TR 062	3.05 k-n	0.20 c-f	16.7 b-g	6.5 l-o	15.3 o-s
Vanlı	6.88 a	0.14 f-j	12.4 g-m	14.0 cde	49.5 ab
Kamçı	3.67 h-m	0.14 f-j	12.5 g-m	9.3 e-n	25.7 i-n
Ribasa-1	4.02 e-l	0.12 h-k	10.6 i-n	14.0 cde	33.5 c-j
Ribasa-2	4.24 d-k	0.12 h-k	10.7 i-n	13.7 c-f	36.9 c-f
Gır	0.97 q	0.07 k	5.9 n	5.7 mno	13.5 qrs
Kamut	1.88 n-q	0.12 h-k	10.6 i-n	5.0 no	15.9 o-s
AK 702	5.55 a-e	0.11 h-k	9.8 i-n	17.3 bc	52.6 a
Yellowstone	4.14 e-l	0.12 h-k	10.6 i-n	9.0 f-o	34.6 c-i
Rampart	2.67 l-p	0.14 f-j	12.5 g-m	9.7 e-n	18.9 m-r
ARS-Amber	5.39 a-g	0.15 e-j	13.5 f-l	9.7 e-n	35.0 c-i
Westonia	3.02 k-o	0.09 jk	8.3 mn	12.5 d-h	33.5 c-j
Vizir	3.44 j-m	0.12 h-k	10.7 i-n	7.0 k-o	28.4 e-m
Tamaroi	1.30 pq	0.10 ijk	9.2 k-n	4.3 o	14.7 p-s
AU 5924	2.40 m-q	0.12 h-k	11.1 i-m	10.0 e-m	19.2 m-r
Daws High PPO	5.98 ab	0.28 ab	21.6 ab	9.0 f-o	21.7 l-q

Table 2. Some root and shoot traits of different wheat species and wild wheat relatives (Continuation).**Cuadro 2. Algunas características de la raíz y del vástago de las diferentes especies de trigo y parientes silvestres de trigo (Continuación).**

Genotypes	Root biomass (g plant ⁻¹)	Root/shoot ratio	Root/total biomass ratio (%)	Tiller number (N°)	Shoot biomass (g plant ⁻¹)
PahaNIL(vrn4)	5.20 b-h	0.22 b-e	17.9 b-f	8.0 h-o	23.6 k-p
<i>Triticum turgidum</i>	5.83 abc	0.15 e-j	13.5 f-l	10.0 e-m	37.1 cde
<i>T. dicoccon</i>	3.38 j-n	0.16 e-i	14.0 f-k	11.7 e-k	21.3 l-q
<i>T. macha</i>	3.89 g-m	0.17 d-h	14.4 e-i	13.0 c-g	24.0 j-p
<i>T. boeoticum</i>	3.93 f-m	0.28 ab	21.5 abc	12.0 e-j	14.9 o-s
<i>T. spelta</i>	5.49 a-f	0.17 d-i	14.3 e-j	11.7 e-k	32.9 c-k
<i>Haynaldia villosa</i>	4.37 c-k	0.23 bcd	18.9 b-e	12.3 d-i	18.7 n-r
<i>T. turanicum</i>	4.24 d-k	0.12 h-k	11.0 i-m	10.0 e-m	34.4 c-i
<i>T. vavilovii</i>	4.34 c-k	0.11 h-k	10.3 i-n	8.3 g-o	38.8 c
<i>T. carthlicum</i>	2.89 k-o	0.12 h-k	10.7 i-n	11.0 e-l	24.4 j-o
<i>Aegilops biuncialis</i>	1.47 opq	0.20 d-g	16.4 i-g	34.7 a	7.5 s
<i>T. monococcum</i> (Kelcyras)	5.75 a-d	0.27 abc	21.3 a-d	19.3 b	21.4 l-q
<i>T. monococcum</i> (982)	3.24 k-n	0.34 a	25.0 a	6.7 l-o	10.1 rs
<i>T. monococcum</i>	3.89 g-m	0.20 d-g	16.6 c-h	17.7 bc	19.9 l-q
Mean	3.98	0.15	12.9	10.8	28.3
LSD (P<0.01)	1.56	0.07	4.96	4.73	9.6

variability for root biomass in bread wheat (Nevo and Chen, 2010) and durum wheat (Mackay and Barber, 1986). Waines (2012) also obtained results of root biomass in spring wheat genotypes in glasshouse, ranging from 0.92 to 11.76 g·plant⁻¹. Jing *et al.* (2009) indicated the root and shoot biomass varied among wheat cultivars.

Particularly, ancient *Triticum* genotypes and landraces known as resistant to biotic and abiotic environmental stress factors and to be

Características de la raíz y del vástago de diferentes especies de trigo y parientes silvestres de trigo

Biomasa de la raíz

La biomasa de la raíz de las diferentes especies de trigo y los parientes silvestres de trigo varió, oscilando entre 0,97 a 6,88 g planta⁻¹. La biomasa de la raíz osciló entre 1,47 g (*A. biuncialis*) a 5,83 g (*T. turgidum*) en especies de trigo ancestrales y parientes silvestres de trigo, mientras

Table 3. Relationships among the root and shoot traits of different wheat species and wild wheat relatives (PH: plant height, SL: spike length, SN: spikelet number, KN: kernel number, KB: kernel weight, TTN: total tiller number, SB: shoot biomass, YIE: yield, RL: root length, CRN: crown root number, RB: root biomass, RSR: root to shoot ratio, RTBR: root to total biomass ratio).

Cuadro 3. Relaciones entre los rasgos de la raíz y del vástago de las diferentes especies de trigo y parientes silvestres del trigo (PH: altura de la planta, SL: longitud de la espiga, SN: número de espiguillas, KN: número de granos, KW: biomasa de los granos, TTN: número total delcultivo, SB: biomasa del tallo, YIE: rendimiento, RL: longitud de la raíz. CRN: número de raíces de la corona, RB: biomasa de la raíz, RSR: relación de la raíz y el tallo, RTBR: relación de la raíz y la biomasa total).

	PH	SL	SN	KN	KW	TTN	SB	YIE	RL	CRN	RB	RSR	RTBR
PH	1												
SL	0.135	1											
SN	0.394**	0.290**	1										
KN	-0.394**	0.199*	0.088	1									
KW	-0.345**	0.213*	-0.090	0.813**	1								
TTN	0.176*	-0.236**	-0.157	-0.433**	-0.459**	1							
SB	0.115	0.370**	0.007	0.337**	0.353**	0.061	1						
YIE	-0.116	0.318**	-0.159	0.397**	0.429	-0.016	0.911**	1					
RL	0.119	0.296**	0.259**	0.213*	0.153	0.039	0.441**	0.392**	1				
CRN	-0.032	0.223**	0.150	0.304**	0.231**	-0.156	0.245**	0.223**	0.195*	1			
RB	0.307**	0.288**	0.335**	0.194*	0.122	0.068	0.572**	0.415**	0.435**	0.349**	1		
RSR	0.270**	-0.113	0.325**	-0.300**	-0.384**	0.100	-0.495**	-0.554**	-0.055	0.016	0.328**	1	
RTBR	0.273**	-0.112	0.328**	-0.288**	-0.374	0.110	-0.479**	-0.547**	-0.039	0.031	0.359**	0.995**	1

**P<0.01, *P<0.05

included many useful genes could be used for different purposes in breeding program. Therefore, Vanlı (landrace), ancient wheats, *T. monococcum* (Kelycras), *T. turgidum*, *T. spelta* with high root biomass can be evaluated for improving modern genotypes with superior root biomass.

Root to shoot ratio

Root/shoot biomass ratio of genotypes varied from 0.07 to 0.34. Of traits studied, root/shoot ratio ranged from 0.09 to 0.28 for cultivars and lines, 0.07 to 0.14 for landraces and 0.11 to 0.34 for ancient wheat species and wild wheat relatives. It should be of an appropriate balance between the root and shoot growth so that one that grows excessively can lead to loss for another (Akman, 2014). Passioura (1983) reported that an optimal root/shoot ratio at which above-ground biomass is maximal for a given water supply. Previous studies conducted in relation to the present study showed different results. For example, it was obtained in low ratio during full grain maturity ranging from 0.055 to 0.079 by Subira *et al.* (2016) and high ratio varying from 0.24 to 0.46 by Tsigankov (1970). Genotype, soil media, environmental condition could be effective factors at obtaining of different results. Akman (2014) found the root/shoot ratio was in a range of 0.14-0.28 in field weather condition; however, 0.11-0.16 in greenhouse. The results were close to our results and in a range of results in this study.

The ratio of root to total biomass

Root/total biomass (root biomass/ root + shoot biomass) ratio was in a

que la biomasa mínima y máxima de la raíz se obtuvo de las razas locales con 0,97 g (Gir) y 6,88 g (Vanlı). En otras investigaciones realizadas se reportó variabilidad genética para la biomasa de la raíz en trigo blando (Nevo y Chen, 2010) y trigo duro (Mackay y Barber, 1986). Waines (2012) obtuvo resultados de la biomasa de la raíz en genotipos de trigo de primavera en condiciones de invernadero, resultados que variaron entre 0,92 y 11,76 g planta⁻¹. Jing *et al.* (2009) indicaron que la biomasa de la raíz y del vástago variaron entre los cultivares de trigo.

Particularmente, los genotipos ancestrales de *Triticum* y las razas locales conocidas como resistentes a factores de estrés ambientales bióticos y abióticos y que incluyeron muchos genes útiles podrían ser utilizados para diversos propósitos en el programa de mejoramiento. Por lo tanto, Vanlı (raza local) y trigos ancestrales, *T. monococcum* (Kelycras), *T. turgidum*, *T. spelta* con una alta biomasa de la raíz podrían ser evaluados con el fin de mejorar los genotipos modernos con una biomasa de raíz superior.

Relación raíz/vástago

La relación raíz/biomasa del vástago de los genotipos varió de 0,07 a 0,34. Dentro de las variables estudiadas, la relación raíz/vástago varió entre 0,09 y 0,28 para los cultivares y las líneas, de 0,07 a 0,14 para las razas locales y de 0,11 a 0,34 para las especies ancestrales y los parientes silvestres de trigo. Debe existir un equilibrio entre la raíz y el crecimiento del vástago, ya el que crezca en exceso podría inducir la

range of 5.9 and 25.0% among the all genotypes. Root/total biomass ratio varied from 8.3 to 21.6% for cultivars and lines, 5.9 to 12.5% for landraces and 10.3 to 25.0% for ancient wheat species and wild wheat relatives. In recently a work, Akman (2014) reported that over a 2-year period in field weather condition the ratio of root to total biomass in wheat and barley cultivars ranged from 13.5 to 17.6%. In the present work, it was found that root biomass constituted less proportion of total biomass in maturity, compared with shoot biomass.

Tiller number

Tiller number per plant had differences among the genotypes. Tiller number of all genotypes ranged from 4.3 to 34.7. It was found that AK 702, *T. compactum* (17.3) and Kirik (17.0) from cultivars, Vanlı and Ribasa 1 (14.0) from landraces and *T. monococcum* (17.7), *T. monococcum* (Kelcyras, 19.3) and *A. biuncialis* (34.7) from ancient wheat species and wild wheat relatives had greater tiller number per plant compared to other genotypes. Tiller number was found 5.7-10.0 by Reçber (2011) in bread wheat genotypes. Önder (2007) reported that tillering was completed before stem elongation stage and tiller number was an important trait, having relationship with grain yield, while Longnecker *et al.* (1993) reported that tillering was not completed in certain growth stage and also affected by cultivar and climatic condition (Önder, 2007).

Pinthus (1969) showed that tiller number of bread wheat was greater

disminución del otro (Akman, 2014). Passioura (1983) señaló que una relación óptima de la raíz/vástago es aquella en la cual la biomasa sobre el suelo es máxima para un suministro de agua dado. Estudios previos realizados en relación con el presente estudio mostraron resultados diferentes. Por ejemplo, Subira *et al.* (2016) obtuvieron una baja relación durante la madurez completa del grano variando desde 0,055 a 0,079; Tsigankov (1970) encontró una alta relación que varió de 0,24 a 0,46. El genotipo, suelo y condición ambiental podrían ser factores eficaces para obtener resultados diferentes. Akman (2014) encontró que la relación raíz/vástago varió de 0,14 a 0,28 en condiciones de campo; sin embargo, estos resultados variarían de 0,11 a 0,16 en condiciones de invernadero. Los resultados fueron similares a los obtenidos en la presente investigación.

Relación raíz/biomasa total

La relación raíz/biomasa total (biomasa de la raíz/biomasa de la raíz + la biomasa del vástago) varió de 5,9 a 25,0% en todos los genotipos. La relación raíz/biomasa total varió de 8,3 a 21,6% en los cultivares y las líneas, de 5,9 a 12,5% para las razas locales y de 10,3 a 25,0% en especies ancestrales y parientes silvestres de trigo. Akman (2014) indicó que en un período de 2 años en condiciones de campo la relación raíz/biomasa total en variedades de trigo y cebada oscilaron entre 13,5 y 17,6%. En esta investigación se encontró que la biomasa de la raíz presentó una menor proporción de biomasa total en la madurez, en comparación con la biomasa del vástago.

than durum wheat. However, in the study, both bread and durum wheat genotypes had low and/or high tiller number.

Shoot biomass

Shoot biomass varied from 7.5 to 52.6 g plant⁻¹ for investigated all genotypes. These results were found in range of 7.5 (*A. biuncialis*) and 38.8 (*T. vavilovii*) g plant⁻¹ for ancient wheats and wild wheat relatives, 13.5 (Gır) and 49.5 (Vanlı) g plant⁻¹ for landraces and 14.7 (Tamaroi) and 52.6 (AK 702) g plant⁻¹ for cultivars and lines. Accordingly, it was found in a wide range of differences among the genotypes in terms of shoot biomass. The findings were consistent with Carson (1971) who reported significant differences between wheat cultivars in terms of shoot biomass.

Correlations between shoot and root traits

The correlation coefficients among the traits are given table 3. According to results, grain yield per plant showed significant and positive association with each of the following above ground characteristics: spike length, kernel number and shoot biomass, however, positive but insignificant association with the kernel weight and also a negative and insignificant relation with the tiller number. It was found that the kernel number was significantly and positively correlated with the kernel biomass, similar to the findings of Yilmaz and Dokuyucu (1994).

Wheat breeding programs are mainly focused on increasing seed yield and yield components, however root traits such as crown root number,

Número de tallos

El número de tallos por planta tuvo diferencias entre los genotipos. El número de tallos varió en todos los genotipos entre 4,3 a 34,7. Se observó un mayor número de tallos por planta en AK 702, *T. compactum* (17,3) y Kirik (17,0) en los cultivares, Vanlı y Ribasa 1 (14,0) de las razas locales y *T. monococcum* (17,7), *T. monococcum* (Kelcyras, 19,3) y *A. biuncialis* (34,7), en las especies ancestrales y parientes silvestres de trigo se encontró un mayor número de tallos en comparación con los otros genotipos. Reçber (2011) observó un número de tallos entre 5,7 y 10,0 en genotipos de trigo blando. Önder (2007) reportó que la formación de los tallos se completó antes de la etapa de elongación del tallo, y el número de tallos fue una característica importante teniendo, relación con el rendimiento del grano; por otra parte, Önder *et al.* (1993) reportaron que la formación de los tallos no se completó en cierta etapa de crecimiento y también se vio afectado por el cultivar y las condiciones climáticas.

Pinthus (1969) encontró que el número de tallos de trigo para pan fue mayor que el de trigo duro. Sin embargo, en el estudio, los genotipos de trigo para pan y de trigo duro tuvieron un número bajo y/o alto de tallos.

Biomasa de los tallos

La biomasa de los tallos varió de 7,5 a 52,6 g planta⁻¹ en todos los genotipos investigados. Estos resultados variaron entre 7,5 (*A. biuncialis*) y 38,8 (*T. vavilovii*) g planta⁻¹ para trigos ancestrales y parientes de trigo silvestre, 13,5 (Gır) y 49,5 (Vanlı)

root length, root biomass that had direct effects on yield were not included one of major objectives of breeders. However, deep rooted-cultivars take water and nitrogen from deeper layer of soil (Smika and Grabouski, 1976). Therefore such cultivars could be used in breeding program to take up water from deep soil under water stressed condition (Sayar *et al.*, 2010). However, small root system can be useful under rain-fed field areas through water use efficiency (Passioura, 1983).

In the present study, the root traits of the plants had the greatest effect on grain yield per plant. The study also revealed that grain yield had significant and positive correlation with root length, root biomass and crown root number, however negative and significant correlation with ratios of root to shoot and root to total biomass. Tsigankov (1970) reported a result of positive relation between yield and root growth, unlike Gliniski and Lipiec (1990) stated that yield could decrease in plants with large root due to taking more assimilate from shoot to root in order to produce root dry matter.

In the study, root traits such as crown root number, root biomass and root length determining root size had significant and positive correlation with each other. Crown root number was found to be negatively but insignificantly correlated with tiller number. This result is not in conformity with Manske and Vlek (2002) who reported tiller number to be positive significantly associated with root number. In a study carried out in field and greenhouse conditions

g planta⁻¹ para las razas locales y 14,7 (Tamaroi) y 52,6 (AK 702) g planta⁻¹ para los cultivares y las líneas. Por lo tanto, la biomasa fue diferente entre los genotipos. Los resultados coincidieron con los señalados por Carson (1971) quien demostró diferencias significativas entre los cultivares de trigo en términos de la biomasa de los tallos.

Correlaciones entre las características del tallo y de la raíz

Los coeficientes de correlación entre las características se muestran en el cuadro 3. De acuerdo a los resultados obtenidos, el rendimiento del grano planta⁻¹ demostró una asociación significativa y positiva con cada una de las siguientes características: longitud de la espiga, número de granos y biomasa del tallo, relación positiva no significativa con la biomasa del grano y una relación negativa y no significativa con el número de tallos. Se observó que el número de granos se correlacionó de forma positiva y significativa con la biomasa del grano, este hallazgo fue similar al encontrado por Yılmaz y Dokuyucu (1994).

Los programas de mejoramiento de trigo están principalmente enfocados en aumentar el rendimiento de la semilla y los componentes del rendimiento; sin embargo, las características de las raíces tales como: número de raíces de la corona, longitud de la raíz, biomasa de la raíz con efectos directos sobre el rendimiento, no se incluyen entre los principales objetivos de los programas de mejoramiento. No obstante, los

of wheat and barley cultivars at maturity, Akman (2014) reported that two different results such as positive and significant relationship in field weather condition, however, negative and significant relationship in greenhouse condition between tiller and crown root number. Accordingly, as relationships can be varied to depend on growth conditions, research should be carried out in field weather conditions where farming is always practiced. In the study, above ground shoot biomass was highly significant and positive correlated with grain yield, root length, root biomass and crown root number. Carson (1971), Sharma (1993) and Akman (2014) reported that there was significant and positive relationship between shoot biomass and root biomass, similar to our findings. Also, in agreement with our findings, Atta *et al.* (2013) showed that stronger relationships between root and above ground traits were observed when water was not the limiting factor.

Conclusions

It was performed for screening in 47 genotypes revealing genetic differences to identify root and shoot traits under field weather condition. The results showed that *T. monococcum* (Kelycras), *T. turgidum*, *T. spelta* as ancient wheat species, a landrace (Vanlı) and some cultivars (Daws High PPO, ARS Amber and AK 702) had high root biomass compared to other genotypes. Therefore, these genotypes could be used for obtaining genotypes with large root system in

cultivares que están profundamente arraigados consumen agua y nitrógeno de las capas más profundas del suelo (Smikay Grabouski, 1976). Por lo tanto, estos cultivares podrían ser utilizados en los programas de mejoramiento en los casos donde existan problemas de estrés hídrico (Sayar *et al.*, 2010). Sin embargo, los sistemas radicales menos desarrollados podrían ser útiles en los campos donde existe sequía (Passioura, 1983).

En la presente investigación, las características de las raíces de las plantas tuvieron un mayor efecto sobre el rendimiento del grano planta⁻¹. La investigación también reveló que el rendimiento del grano tuvo una relación significativa y positiva con la longitud de la raíz, la biomasa de la raíz y el número de raíces de la corona; sin embargo, se observó una relación negativa y significativa entre la relación raíz/vástago y la raíz/biomasa total. Tsigankov (1970) reportó una relación positiva entre el rendimiento y el crecimiento de la raíz, contrario a Glinski y Lipiec (1990) quienes afirmaron que el rendimiento podría disminuir en las plantas que presentaron una raíz más desarrollada ya que tiende a asimilar más desde el tallo a la raíz para producir la biomasa seca de la raíz.

En la investigación, las características de la raíz tales como el número de raíces de la corona, biomasa de la raíz y longitud de la raíz tuvieron una relación positiva y significativa entre sí. El número de raíces de la corona fue no significativa y tuvo una relación negativa con el número de tallos. Este resultado contrastó con el señalado por Manske

breeding program. In the study, root biomass proportion in total biomass varied from 5.9 to 25%, which accounts for the root biomass constituted little proportion of total biomass at harvesting.

In the correlation analysis, shoot biomass was highly significant and positive correlated with crown root number, root biomass and root length determining root size as well as grain yield. Accordingly, shoot biomass could be used as selection criteria in breeding program to obtain modern genotypes that would have large root system with deep-rooted and high biomass.

Acknowledgement

The projects this study under the grant (No 13401004). The data presented in this article was produced within the projects above; however, only the authors of this article are responsible for the results and discussions made herein. The authors would like to thank Prof. Dr. Ali Topal for TR 053 '1', TR 062 wheat lines and landraces, Prof. Dr. Phil Bruckner for Montana cultivars and USDA Arsgin for abroad genotypes.

Literature cited

- Adu, M.O., D.L. Sparkes, A. Parmar and D.O. Yawson. 2011. 'Stay green' in wheat: comparative study of modern bread wheat and ancient wheat cultivars. *ARPN J. Agric. Biol. Sci.* 6:16-24.
- Akman, H. 2014. Investigation of root and shoot developments of some wheat and barley cultivars in greenhouse and field conditions. Unpublished Ph.D. Thesis, Selçuk University. 198 p.

y Vlek (2002) quienes reportaron una relación positiva y significativa entre el número de tallos y el número de raíces. En un estudio de trigo y cultivares de cebada en estado de madurez llevados a cabo en condiciones de campo y en invernadero, Akman (2014) reportó dos resultados diferentes, relación positiva y significativa en la condición atmosférica de campo, y relación negativa y significativa en las condiciones de invernadero entre el cultivo y el número de raíces de la corona. Por lo tanto, debido a que las relaciones variaron de acuerdo a las condiciones de crecimiento, la investigación debe llevarse a cabo en condiciones de campo donde siempre se practique la agricultura. En el estudio, la biomasa del vástago fue altamente significativa y positiva con relación al rendimiento del grano, la longitud de la raíz, la biomasa de la raíz y el número de raíces la corona. Carson (1971), Sharma (1993) y Akman (2014) señalaron que hubo relación positiva y significativa entre la biomasa del vástago y la biomasa de la raíz, similar a los resultados obtenidos en la presente investigación. Adicionalmente, Atta *et al.* (2013) demostraron que las relaciones entre la raíz y las características del suelo se observaron cuando el agua no fue el factor limitante.

Conclusiones

Se evaluaron 47 genotipos con diferencias genéticas con el objetivo de identificar las características de la raíz y el vástago en condiciones de campo. Los resultados mostraron que

- Atta, B.M., T. Mahmood and R.M. Trethowan. 2013. Relationship between root morphology and grain yield of wheat in north-western NSW, Australia. *Aust. J. Crop Sci.* 7:2108-2115.
- Aydin, I. and F. Tosun. 1991. A research on dry matter yield, crude protein content and yield of common vetch (*Vicia sativa* L.) + some cereal species grown under Samsun ecological conditions. p. 332-340. *In: Proceedings of Congress of Pasture and Forage Crops, (CPFC'91), Bornova-İzmir.*
- Carson, A.G. 1971. Plant population and growth studies on three spring wheat cultivars. M.Sc. Thesis, Department of Agronomy, Macdonald College of McGill University, Montreal. p. 3-87.
- Den Herder, G., G. Van Isterdael, T. Beeckman and I. De Smet. 2010. The roots of a new green revolution. *Trends Plant Sci.* 15:600-607.
- Ehdaie, B., D.J. Merhaut, S. Ahmadian, A.C. Hoops, T. Khuong, A.P. Layne and J.G. Waines. 2010. Root system size influences water-nutrient uptake and nitrate leaching potential in wheat. *J. Agron. Crop Sci.* 196:455-466.
- Glinski, J. and J. Lipiec. 1990. Soil physical conditions and plant roots. CRC Press. Boca Raton, Florida.
- Heřmanská, A., T. Středa and O. Chloupek. 2015. Improved wheat grain yield by a new method of root selection. *Agron. Sustain. Dev.* 35(1):195-202.
- Jing, L., L. Shi-Qing, L. Yi and C. Xiao-Li. 2009. Effects of increased ammonia on root/shoot ratio, grain yield and nitrogen use efficiency of two wheat varieties with various N supply. *Plant Soil Environ.* 55(7):273-280.
- Longnecker, N., E.J.M. Kirby, and A. Robinson. (1993). Leaf emergence, tiller growth, and apical development of nitrogen-deficient spring wheat. *Crop Sci.* 33:154-160.
- Mackay, A.D. and S.A. Barber. 1986. Effect of nitrogen on root growth of two corn genotypes in the field. *Agron. J.* 78:699-703.
- las especies de trigo ancestrales *T. monococcum* (Kelycras), *T. turgidum*, *T. spelta*, la raza local (Vanh) y algunos cultivares (Daws High PPO, ARS ámbar y AK 702) tienen mayor biomasa de la raíz en comparación con otros genotipos. Por lo tanto, estos genotipos podrían utilizarse para obtener genotipos con un sistema radical más desarrollado, en los programas de mejoramiento. En el estudio, la proporción de la biomasa de raíz/biomasa total varió de 5,9 a 25%, que representa que la biomasa de la raíz constituyó una menor proporción de la biomasa total en la cosecha.
- En el análisis de correlación, la biomasa del vástago fue positiva y significativa con el número de raíces de la corona, biomasa de la raíz, la determinación de la longitud de la raíz y el rendimiento del grano. En consecuencia, la biomasa del vástago podría utilizarse como un criterio de selección en los programas de mejoramiento para obtener genotipos modernos con un gran sistema radical, raíces profundas y biomasa elevada.

Agradecimientos

Los autores agradecen la realización de este estudio al proyecto registrado bajo el número N° 13401004. Los datos presentados en este artículo se obtuvieron en el proyecto mencionado; sin embargo, los autores de este artículo son responsables de los resultados y la discusión realizada en este manuscrito. Los autores desean agradecer al Prof. Dr. Ali Topal por proveer las líneas de trigo TR 053 '1', TR 062 y las razas locales, también

- Manske, G.G.B. and P.L.G. Vlek. 2002. Root architecture – Wheat as a model plant. p. 249-260. *In*: Waisel, Y., A. Eshel, U. Kafkafi (Eds.). Plant roots: The hidden half. Marcel Dekker Inc. New York.
- Nevo, E. and G. Chen. 2010. Drought and salt tolerances in wild relatives for wheat and barley improvement. *Plant, Cell Environ.* 33:670-685.
- Önder, O. 2007. A research on tillering dynamics of some bread wheat varieties grown in central Anatolian dry condition. Msc. Thesis, Osmangazi University 118 p. Available in: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=TR2012000568>. Date of consulte: November 2017.
- Passioura, J.B. 1983. Roots and drought resistance. *Agric. Water Manage.* 7:265-280.
- Pinthus, M.J. 1969. Tillering and coronal root formation in some common and durum wheat varieties. *Crop Sci.* 9:267-272.
- Reçber, A. 2011. Identification of some agronomical and quality traits in advanced bread wheat (*Triticum aestivum* L.) lines. Msc. Thesis, Ege University. p. 32-67.
- Russel, D.F. 1989. MSTAT-C Statistical package program ver. 2.1. Michigan State University.
- Sayar, R., H. Khemira and M. Kharrat. 2010. Inheritance of deeper root length and grain yield in half-diallel durum wheat (*Triticum durum*) crosses. *Ann. Appl. Biol.* 151:213-220.
- Sharma, R.C. (1993). Selection for biomass yield in wheat. *Euphytica* 70:35-42.
- Smika, D.E. and P.H. Grabouski. 1976. Anhydrous ammonia applications during fallow for winter wheat production. *Agron. J.* 68: 919-922.
- un agradecimiento al Prof. Dr. Phil Bruckner por otorgar los cultivos de Montana, y USDA Ars-Grin por los genotipos internacionales.

Fin de la versión en Español

Subira, K., K. Ammar, F. Alvaro, L.F. Garcia del Moral, S. Dreisigacker and C. Roya. 2016. Changes in durum wheat root and aerial biomass caused by the introduction of the Rht-B1b dwarfing allele and their effects on yield formation. *Plant Soil* 403:291-304.

Tsigankov, I.G. 1970. Characteristics of development of the root system in spring wheat. *S-Kh. Biol.* 5:337-340.

Waines, J.G. 2012. Determination of optimum root and shoot size in bread wheat for increased water and nutrient-use efficiency and grain yield. Report to California Wheat Commission: GH 2011-2012 Experiments.

Waines, J.G. and B. Ehdaie. 2007. Domestication and crop physiology roots of green-revolution wheat. *Ann. Bot.* 100:991-998.

Yılmaz, H.A. and T. Dokuyucu, 1994. Determination of high yielding and suitable bread wheat genotypes for Kahramanmaras conditions. Turkey I. Field Crops Congress p. 303-306.

Zeven, A.C. 1998. Landraces: A review of definitions and classifications. *Euphytica* 104:127-139.