

## INFLUENCIA DEL FOSFORO SOBRE EL CRECIMIENTO AEREO Y RADICAL DE PLANTAS DE TRIGO

F COVACEVICH, H E ECHEVERRIA L A N AGUIRREZABAL

Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce. CC 276 (7620) Balcarce. Buenos Aires Argentina

### INFLUENCE OF PHOSPHORUS ON SHOOT AND ROOT GROWTH OF WHEAT PLANTS

The aim of this work was to determine the effect of phosphorus and nitrogen supply on shoot and root growth, phosphorus uptake and root:shoot ratio in wheat (*Triticum aestivum* L.). Wheat plants were grown in a greenhouse during August-December 1996, in large pots in a soil of Balcarce-Buenos Aires (Argentina). Phosphorus rates were 0 and 30 kg ha<sup>-1</sup> and nitrogen rates were 0 and 200 kg ha<sup>-1</sup>. Chlorophyll content, shoot and root weight increased by phosphorus addition, with or without nitrogen addition. Phosphorus uptake and root length increased by phosphorus and nitrogen supply. Root:shoot ratio decreased with phosphorus addition because of increased shoot growth relative to root.

**Key words:** Phosphorus-Wheat-Root length-Root:shoot.

### INTRODUCCION

El fósforo es un elemento esencial en la nutrición de las plantas superiores, debido principalmente a su participación como componentes estructurales de las células, como así también su rol en la transferencia de energía. (Goss *et al.* 1993). Su incorporación como fertilizante a suelos deficientes es una práctica agronómica corriente en sistemas de cultivos de alta producción.

El crecimiento de las raíces es dependiente de la disponibilidad de fósforo en el suelo (Macklon *et al.* 1994). A su vez, el crecimiento de la parte aérea depende del transporte del nutriente desde las raíces. Sin embargo, la respuesta relativa a un mismo nivel de deficiencia puede ser diferente en ambos componentes. A partir de los estudios realizados por Brouwer (1962) es generalmente aceptado que si bien la deficiencia de nutrientes restringe el crecimiento total de la planta, el peso de las raíces es relativamente menos afectado, probablemente por ser el órgano más cercano de la zona de suministro del nutriente. Al respecto, ha sido reportado que incrementos en el agregado de fósforo en el suelo provocan aumentos significativos en el crecimiento de la parte aérea, con pequeños cambios en la producción de raíces (Goss *et al.* 1993). En estudios sobre plantas de cebada se encontró que incrementos en el contenido de fósforo en raíces reducen la relación raíz/parte aérea (Chapin, Bielecki 1982). De igual forma, para trigo crecido en medios de cultivo la relación raíz/parte aérea puede aumentar cuando la disponibilidad de fósforo o de nitrógeno es baja (Adalsteinsson, Jensen 1988).

La absorción de un nutriente mineral se encuentra a menudo afectada por la presencia de otro nutriente.

Trabajos realizados por Schjorring (1986) en gramíneas mostraron que la adición de fósforo a la solución externa de medios de cultivos facilita la absorción de nitrógeno como nitrato por las raíces, mientras que la deficiencia de fósforo reduce la tasa de absorción de dicho anión. La presencia de nitrato en la solución nutritiva puede provocar disminuciones en la acumulación y aumentos en la traslocación de fósforo en raíces de maíz (Lamaze *et al.* 1984).

La información disponible sobre el crecimiento y la distribución de raíces de trigo es escasa. Esto puede ser debido al tiempo que insume su determinación, como así también a los problemas metodológicos que presenta para ser realizada a campo o en estados maduros de la planta. Las raíces de trigo pueden alcanzar en dichas condiciones una profundidad de uno a dos metros, dependiendo de las características del suelo (Maneiro, Darwich 1982). Es por eso que los estudios sobre los sistemas radicales de trigo se realizan generalmente sobre plántulas (Schjorring 1986), y raramente se continúan hasta la encañazón del cultivo. Por otra parte, la mayoría de los estudios tratan el crecimiento relativo en peso seco aéreo y radical. Pocos se interesan en el crecimiento en longitud del sistema radical, variable que puede explicar en mayor medida la absorción de agua y nutrientes que el peso seco radical (Macklon *et al.* 1994).

En los suelos del sudeste de la Provincia de Buenos Aires (Argentina), se han demostrado deficiencias de fósforo disponible (Echeverría, Ferrari 1993); de igual manera y debido a la intensificación en la agricultura, se han puesto de manifiesto deficiencias de nitrógeno (González Montaner *et al.* 1991). Para estas condiciones se han reportado incrementos en el crecimiento

aéreo y en el rendimiento del cultivo de trigo debido al agregado de fósforo, como así también se ha descrito la interacción con nitrógeno (Berardo 1994). Sin embargo, no existe información disponible sobre el efecto del suministro de fósforo, como así tampoco de nitrógeno, sobre el crecimiento de la fracción subterránea y su relación con la parte aérea en plantas de trigo.

Se hipotetiza que el suministro equilibrado de fósforo y nitrógeno a suelos deficientes en dichos nutrientes provocará incrementos en el crecimiento aéreo y radical de trigo, disminuyendo la relación raíz/parte aérea. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto del agregado de fósforo y de nitrógeno sobre el crecimiento aéreo y radical de plantas de trigo.

## MATERIALES Y METODOS

La experiencia se realizó en condiciones de invernaculo en la EEA INTA de Balcarce, Argentina, entre agosto y diciembre de 1996. Se emplearon cilindros huecos de PVC de 30, 50 y 100 cm de profundidad por diez centímetros de diámetro interior. Los cilindros de 100 cm poseían una ventana de acrílico transparente de seis centímetros de frente que se encontraba tapada por una cubierta de madera forrada con polietileno negro para evitar que las raíces estuvieran expuestas a la luz incidente. La cubierta era retirada sólo cuando se deseaba observar el sistema radical. Los cilindros con las ventanas fueron colocados con una inclinación de ocho grados con respecto a la vertical.

Todos los cilindros se llenaron simulando el perfil de suelo en estudio, para lo cual se empleó en los 20 cm superiores horizonte A y en el resto horizonte B, de un suelo de aptitud agrícola representativo del sudeste de la Provincia de Buenos Aires, clasificado como Paleudol Petrocálcico, franco illítico térmico. El suelo corresponde a un tratamiento sin fertilización (P0-N0) proveniente de un monocultivo de trigo a campo iniciado en 1988 (Berardo *et al.* 1993) con pH 5,7; materia orgánica 6,2%, 6,5 mg kg<sup>-1</sup> P Bray y 15 mg kg<sup>-1</sup> N-NO<sub>3</sub> en el horizonte A y pH 5,9, materia orgánica 3,7% y 4 mg kg<sup>-1</sup> P Bray en el B<sub>1</sub>. Se sembraron tres plantas de trigo ProINTA Federal por cilindro y las mismas fueron mantenidas durante toda la experiencia por encima del 60 % del espacio de poros llenos con agua (Doran 1980).

Los tratamientos evaluados resultaron de la combinación de dos niveles de fósforo y nitrógeno. El primero se adicionó a razón de 0 y 30 kg ha<sup>-1</sup> (P0 y P30, respectivamente) y el segundo 0 y 200 kg ha<sup>-1</sup> (N0 y N200, respectivamente). Ambos nutrientes se colocaron en solución un día antes de la siembra, el fósforo como superfosfato triple de calcio (0-46-0) y el nitrógeno como urea (46-0-0). Los tratamientos se dispusieron en el invernaculo en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones para los cilindros de 30 y 50 cm, y dos repeticiones para los de 100 cm.

Se realizaron tres muestreos a los 35, 52 y 60 días después de la siembra sobre los cilindros de 30, 50 y 100 cm, respectivamente. Los mismos se realizaron en los estadios de: espiguilla terminal, encañazón y preantésis, los que correspondieron al código decimal (Zadoks *et al.* 1974) de 15, 45 y 49, respectivamente. Se determinó el contenido de clorofila en láminas de las plantas de trigo con un clorofilómetro (Minolta SPAD 502). Se cosechó la parte aérea de las plantas y se determinó su peso seco. Una submuestra fue utilizada para la determinación del contenido de fósforo total (Blanchard *et al.* 1965). Se determinó el fósforo absorbido mediante el producto entre la materia seca acumulada

y la concentración de fósforo. En el último muestreo, previo a la determinación del peso seco, se separaron las láminas de las plantas de trigo y se cuantificó el área foliar con un medidor LICOR 3100 Area Meter.

Para la recolección del material radical los cilindros fueron vaciados recuperándose el bloque de suelo completo y el mismo fue fraccionado a los 10, 20, 30, 50, 70 y 100 cm de profundidad. Se lavó el suelo de cada fracción, recuperando las raíces sobre un tamiz de 0,5 mm de malla. Se determinó el peso seco radical en cada una de las fracciones, y la longitud radical aparente. A los 35 y 52 días después de la siembra cada muestra radical fue fraccionada en segmentos de un centímetro, colocada sobre cuadrículas de 1 x 1 cm y se estimó la longitud radical mediante el método de las interceptas de Tennant (1975). A los 60 días después de la siembra, y previo a la extracción del material radical, se calcaron las raíces visibles a través de la ventana de observación longitudinal de los cilindros sobre una hoja de acetato transparente. Posteriormente se midió la longitud radical con un opisómetro. A fin de poder comparar los resultados entre muestreos, se calculó la longitud radical (LR) relativa entre cada muestreo de la siguiente manera:

$$LR \text{ relativa} = LR_i \times 100 / LR_{MAX}$$

donde LR<sub>i</sub> corresponde a la LR en el tratamiento, y LR<sub>MAX</sub> al máximo valor de LR en cada muestreo.

Se calculó la relación raíz/parte aérea a partir de los pesos secos totales obtenidos. En muestras de suelo provenientes de las fracciones superficiales (A=0-0,2 m) y subsuperficiales (B<sub>1</sub>=0,2 m hasta el fondo de los cilindros), se determinó el contenido de P-Bray (Bray, Kurtz 1945).

Se realizó análisis de regresión entre algunas de las variables analizadas y análisis de la varianza para todas las variables. Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas (P 0,05), se aplicó la prueba de Duncan para comparar las medias (SAS Institute Inc. 1985).

## RESULTADOS Y DISCUSION

El contenido de P-Bray en el suelo varió como consecuencia del agregado de fósforo como fertilizante (Tabla 1) y los mayores contenidos de P-Bray se determinaron en la fracción superficial (A=0-0,2 m). En la fracción subsuperficial (B<sub>1</sub>=0,20-0,30 ; 0,20-0,50 ó 0,20-1 m) el agregado de fósforo no incrementó el contenido de P-Bray en el suelo, determinándose en promedio 7,18 ppm P-Bray para todos los tratamientos en todos los muestreos.

El agregado de fósforo afectó la producción de materia seca aérea (Tabla 1). Independientemente del agregado de nitrógeno, las plantas de trigo que recibieron fósforo mostraron un mayor peso seco aéreo que las que no fueron fertilizadas con este elemento. El contenido de clorofila no se vio afectado por el agregado de nutrientes en el primer muestreo, sin embargo a los 52 y 60 días después de la siembra el agregado de fósforo provocó incrementos significativos en el contenido de clorofila. No se determinaron diferencias entre tratamientos para la producción de área foliar. Sin embargo, de manera similar a lo obtenido para la producción de materia seca aérea, las mayores superficies foliares se evidenciaron en las plantas que recibieron fósforo (377

Tabla 1. Contenido de P-Bray en el suelo (fracción 0-0,20m), producción de materia seca aérea (MSA) y contenido de clorofila de las plantas de trigo por el agregado de fósforo, a los 35, 52 y 60 días después de la siembra (DDS)

Dosis de Fosforo (kg ha <sup>-1</sup> )	DDS		
	35	52	60
	P-Bray (mg kg <sup>-1</sup> )		
0	12,20 b	11,94 b	12,13 b
30	15,25 a	15,50 a	15,55 a
	MSA (g cilindro <sup>-1</sup> )		
0	0,34 b	2,36 b	3,26 b
30	1,18 a	4,35 a	6,29 a
	Clorofila (SPAD)		
0	30,12 a	30,91 b	37,21 b
30	31,10 a	37,35a	39,37 a

Para cada variable analizada, valores con letras distintas en cada momento de muestreo difieren significativamente de acuerdo a la prueba de Duncan ( $P \leq 0,05$ ).

cm<sup>2</sup>) en relación a las que no fueron fertilizadas con este elemento (298 cm<sup>2</sup>). De esta manera, la producción de materia seca aérea correlacionó positivamente con la de área foliar ( $r^2=0,94$ ). La absorción de fósforo se vió favorecida por la fertilización fosfatada y nitrogenada (Tabla 2), de esta manera las mayores absorciones se determinaron durante todos los muestreos en el tratamiento P30-N200.

El mayor largo radical relativo se obtuvo en los tratamientos que recibieron fertilización fosfatada, y de manera similar a lo determinado para la absorción de

fósforo a los 35 y 52 días después de la siembra, el mayor largo radical se verificó en el tratamiento P30-N200 (Tabla 2). Esto parecería indicar que la absorción de fósforo podría estar directamente asociada al mayor desarrollo radical, como resultado de la fertilización fosfatada y nitrogenada. De esta manera la asociación determinada entre el largo radical y la absorción de fósforo fué positiva ( $r^2= 0,59$ ).

El agregado de fósforo afectó la producción de materia seca radical en todas las fracciones de los cilindros donde crecieron las plantas de trigo (Figura 1). Las

Tabla 2. Fósforo absorbido (FA) y longitud radical relativa (LR) de las plantas de trigo en función del agregado de fósforo y nitrógeno, a los 35, 52 y 60 días después de la siembra (DDS).

Tratamientos	DDS		
	35	52	60
	FA (mg g MSA <sup>-1</sup> )		
P0-N0	0,59 b	6,22 c	5,88 c
P0-N200	0,79 b	5,87 c	4,52 c
P30-N0	1,99 b	9,17 b	11,01 b
P30-N200	4,34 a	13,29 a	14,41 a
	LR (%)		
P0-N0	33,34 b	73,68 ab	71,31 b
P0-N200	47,83 b	43,66 b	75,23 b
P30-N0	63,27 ab	87,75 a	100,00 a
P30-N200	100,00 a	100,00 a	77,28 b

Para cada variable analizada, valores con letras distintas en cada momento de muestreo difieren significativamente de acuerdo a la prueba de Duncan ( $P \leq 0,05$ ).

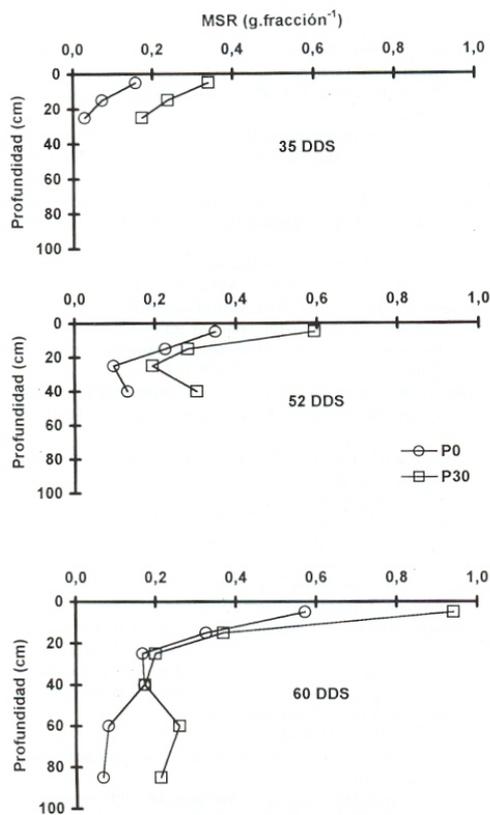


Figura 1. Evolución de la materia seca por fracción radical (MSR) de plantas de trigo en función del agregado de fósforo (P). DDS: días después de la siembra P0: sin agregado de P; P30: con agregado de 30 kg P ha<sup>-1</sup>

mayores producciones de raíces se obtuvieron para la fracción comprendida en los diez primeros centímetros, la que disminuyó drásticamente cuando éstas alcanzaron 20 cm de profundidad, coincidiendo con el cambio de horizonte. Este perfil de distribución radical coincide con resultados de otras investigaciones (Macklon *et al.* 1994) y es similar al considerado en los modelos de simulación de distribución de sistemas radicales en el perfil de suelo (Jones *et al.* 1991). Las mayores producciones de material radical en la última fracción con respecto a la inmediatamente superior en el segundo muestreo, corresponden a la acumulación de raíces en el fondo del cilindro.

La relación peso seco raíz/parte aérea (Figura 2) disminuyó en el tiempo como consecuencia de un mayor crecimiento de la parte aérea con respecto a la radical. Las mayores relaciones se presentaron en los tratamien-

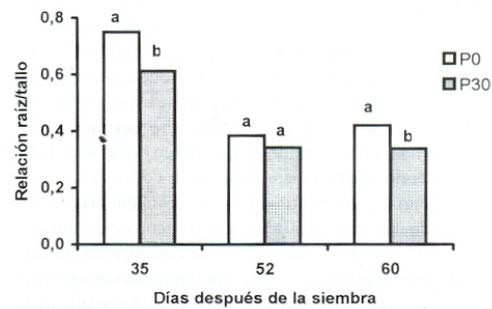


Figura 2. Relación raíz/parte aérea de plantas de trigo a los 35, 52 y 60 días después de la siembra, en función del agregado de fósforo (P). P0: sin agregado de P; P30: con agregado de 30 kg P ha<sup>-1</sup>. Para cada momento de muestreo letras distintas difieren significativamente de acuerdo a la prueba de Duncan ( $P \leq 0,05$ )

tos sin fertilización fosfatada, lo que indicaría que ante deficiencias de fósforo en el suelo se priorizó la producción de órganos destinados a la absorción de nutrientes. Estos resultados confirman los reportados con anterioridad para diferentes especies de gramíneas (Chapin, Bielecki 1982; Adalsteinsson, Jensen 1988) y se encuadran en la teoría del captor más desfavorecido (Brouwer 1962). Sin embargo, para el cultivo de trigo, se ha reportado que en condiciones de deficiencia extrema de nitrógeno, la adición del mismo permite una disminución de la relación raíz/parte aérea (Gosset *et al.* 1993), lo que no ocurrió en esta experiencia.

Las dosis de fósforo y nitrógeno suministradas a las plantas en esta experiencia fueron determinadas en función de los requerimientos del cultivo de trigo. La relación P/N utilizada es levemente superior a 1/6, y coincide con la que produjo las máximas producciones de peso seco aéreo y radical según Adalsteinsson y Jensen (1988), para la misma especie. En esta experiencia la deficiencia de fósforo se manifestó desde el primer muestreo y se continuó hasta los 60 días después de la siembra del trigo. En condiciones de deficiencia de fósforo, la asimilación de nitrógeno como nitratos en proteínas puede verse reducida, lo que dispara un mecanismo de retroalimentación negativa que puede provocar disminuciones en la entrada de nitratos e inclusive salida desde la raíz, afectando negativamente el crecimiento de las plantas (Schjorring 1986). Los incrementos ocasionados por el agregado de fósforo en el contenido de P-Bray en el suelo, en la producción de material vegetal aéreo y radical, como así también en el

contenido de clorofila y en la absorción de fósforo, ponen de manifiesto la extrema deficiencia de este nutriente en las condiciones experimentales en estudio, y confirman su rol sobre el crecimiento del trigo.

A diferencia del fósforo, el agregado de nitrógeno no favoreció el crecimiento del trigo, lo que sugiere que en estas condiciones la disponibilidad de este nutriente en el suelo era adecuada para cubrir los requerimientos de las plantas. En tal sentido el manipuleo de la muestra de suelo podría haber incrementado la concentración de nitrógeno al momento de la siembra del trigo, con respecto a la disponibilidad de nitrógeno como nitratos inicial ( $15 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Más aún, si se considera la elevada disponibilidad hídrica y la temperatura máxima promedio ( $35^\circ\text{C}$ ) en el invernáculo durante el desarrollo de la experiencia, es altamente probable que como consecuencia de la mineralización desde la fracción orgánica del suelo, el aporte desde esta fracción haya sido significativo (Echeverría *et al.* 1994).

Por otra parte, estos resultados sugieren que las plantas de trigo sin fósforo se desarrollaron en una condición de extrema deficiencia en este nutriente, situación en la cual se favorecerían los mecanismos asociativos con las micorrizas arbusculares tanto en condiciones de campo como de invernáculo (Gianinazzi-Pearson, Smith 1993). De todos modos, las bajas producciones de materia seca de los tratamientos sin fósforo sugerirían que, de haber existido dichas asociaciones no habrían efectuado un aporte significativo al crecimiento del trigo. Esta hipótesis debería ser confirmada cuantificando los grados de infección con las micorrizas arbusculares.

#### AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue financiado por el proyecto Estratégico de Investigación de INTA 80-033 y el proyecto AGR-064 de la FCA-UNMDP.

#### REFERENCIAS

- Adalsteinsson S, Jensen P. 1988. Root development in winter wheat grown at different N/P supply: Root length patterns and N-P interactions in phosphate uptake. *Physiologia Plantarum* 72:271-278
- Berardo A, Gratone F, Rizalli R. 1993. Evaluación del efecto residual del fósforo en un Arguido típico bajo dos secuencias de cultivo. XIV Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. 145-146
- Berardo A. 1994. Aspectos generales de fertilización y manejo del trigo en el área de influencia de la estación experimental INTA-Balcarce. E.E.A.-INTA, Balcarce. Boletín Técnico N° 128, 23 pp.
- Blanchard R. W., Rehm G., Caldwell A. C. 1965. Sulfur in plant materials with digestion with nitric and perchloric acid. *Soil Sci. Soc. Am.* 29:71-71
- Bray R. H. and Kurtz L. T. 1945. Determination of total, organic and available form of phosphorus in soil. *Soil Science* 59:360-361
- Brouwer R. 1962. Nutritive influences on the distribution of dry matter in the plant. *Neth. J. Agric. Sci.* 10:399-408
- Chapin FS, Bielecki RL. 1982. Mild phosphorus stress in barley and a related low-phosphorus-adapted barleygrass: Phosphorus fractions and phosphate absorption in relation to growth. *Physiol. Plant.* 54:309-317
- Doran JW. 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:765-771
- Echeverría HE, Ferrari J. 1993. Relevamiento de algunas características de los suelos agrícolas del Sudeste Bonaerense. E.E.A.-INTA, Balcarce. Boletín técnico N° 112, 18 pp.
- Echeverría HE, Bergonzi R, Ferrari J. 1994. Un modelo para estimar la mineralización de nitrógeno en suelos del sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 12:56-62
- Gianinazzi-Pearson V, Smith SE. 1993. Physiology of mycorrhizal mycelia. *Advances in Plant Pathology* 9:55-82
- González Montaner J, Maddoni G, Mailland N, Posborg M. 1991. Optimización de la respuesta a la fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo a partir de un modelo de decisión para la Subregión IV (sudeste de la Provincia de Buenos Aires). *Ciencia del Suelo* 9:41-51
- Goss MJ, Miller MH, Bailey LD, Grant CA. 1993. Root growth and distribution in relation to nutrient availability and uptake. *Eur. J. Agron.* 2:57-67
- Jones CA, Bland WL, Ritchie JT, Williams JR. 1991. Simulation of Root Growth. In: Modeling plant and soil systems. Hanks J and Ritchie J.R Eds. N° 31 in the series Agronomy, Cap 6:91-120
- Lamaze T, Sentenae H, Grignon C. 1984. Effects of nitrate on phosphate accumulation and transport by corn roots. *Physiol. Vég.* 22:155-161
- Macklon AES, Mackie-Dawson LA, Sim A, Shand CA, Lilly A. 1994. Soil P resources, plant growth and rooting characteristics in nutrient poor upland grasslands. *Plant and soil* 163:257-266
- Maneiro JC, Darwich NA. 1982. Análisis cuantitativo del crecimiento y desarrollo del cultivo de trigo y factores que lo afectan. E.E.A. INTA-Balcarce. Boletín técnico N° 83.
- SAS Institute Inc. 1985. SAS User's Guide: Statistics. Version 5 Edition, Cary, North Carolina.
- Schjorring JK. 1986. Nitrate and ammonium absorption by plants growing at a sufficient or insufficient level of phosphorus in nutrient solutions. *Plant and Soil* 91:313-318
- Tennant D. 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *J. of Ecology.* 63:995-1001
- Zadoks JC, Chang TT, Konzak CF. 1974. A decimal code for the growth stage of cereals. *Weed Res.* 14:415-421