

ACCIÓN ESTIMULANTE DE LAS DOSIS BAJAS DE RAYOS X EN PLANTAS DE *Lactuca sativa*

STIMULATING ACTION OF X-RAYS LOW DOSES IN *Lactuca sativa* PLANTS

LM González ✉, R Ramírez, L Licea, E Porra, B García

(LMG) (RR) (LL) (EP) (BG) Instituto de Investigaciones Agropecuarias "Jorge Dimitrov"
Bayamo, Granma, Cuba.

lmgonzalez@dimitrov.granma.inf.cu

Artículo recibido: 25 de abril 2003

Artículo aceptado: 12 de enero de 2004

RESUMEN. El efecto de las dosis bajas de rayos X se estudió en el crecimiento y el rendimiento económico de plantas de *Lactuca sativa* cv Black-Side-Simpson cultivadas durante la época de verano. El tratamiento se realizó en dosis de 0, 50 y 100 Gy, aplicadas en las horas de la mañana. Los semilleros se establecieron 48 horas después de la irradiación en bandejas plásticas hasta los 23 días, donde las plántulas alcanzaron el estado de dos hojas verdaderas totalmente expandidas, las cuales se consideraron aptas para el trasplante. En la cosecha se determinó el área foliar, la masa fresca total y la masa seca total y de forma separada la masa fresca de hojas y de tallo. Las mismas determinaciones se hicieron en seco y se calculó el contenido porcentual de materia seca. Se calculó la duración del área foliar y el área foliar específica, así como la proporción en peso de las hojas y los tallos. Los resultados indicaron un incremento significativo ($p < 0.05$) en el área foliar alcanzada por el cultivo en la cosecha, en su duración a través del ciclo y en el rendimiento de las plantas por efecto de las bajas dosis de irradiación.

Palabras clave: rayos X, crecimiento, rendimiento, lechuga.

ABSTRACT. The effect of the low doses of X rays on the growth and economic yield of the *Lactuca sativa* cv Black-Side-Simpson cultivated during the Summer season was studied. The treatment was carried out in doses of 0, 50 and 100 Gy which were applied in the morning hours. The nurseries were settled down 48 hours after the irradiation on plastic trays up to 23 days, where the seedling reached the status of two real leaves totally expanded, adequate for the transplant. At harvest, the leaf area, the total fresh and dry matter were determined, and separately the leaves and stem fresh and dry matter. The same determinations were performed in dry and the percent content of dry matter was calculated. The leaf area duration, the specific leaf area, the leaf and stem weight proportion were determined. The results showed a significant increase ($p < 0.05$) in the leaf area reached by the crop at harvest, the leaf area duration through the cycle and in the plant yield by the effect of low irradiation doses.

Key words: X-rays, growth, yield, lettuce.

INTRODUCCIÓN

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es originaria de Europa y fue transportada a América después del descubrimiento del nuevo mundo, donde se diseminó por todos los países. En la actualidad se considera el cultivo de mayor importancia entre las hortalizas de hojas en los cinturones verdes de los principales centros urbanos de las ciudades (Gracia *et al.* 2001), posiblemente motivado por sus altos contenidos de vitaminas, hierro, fósforo, calcio y atribuírsele propiedades sedantes (Wien 1997; Dapoigny *et al.* 2001).

En Cuba, la lechuga es considerada la reina de los sistemas organopónicos por ser un cultivo de ciclo corto (40-50 días), que puede sembrarse durante casi todo el año, lo que genera ganancias sustanciales al productor, sin embargo, por las altas temperaturas imperantes en la época de verano, los rendimientos son inferiores a los obtenidos en otras épocas del año; lo que sugiere buscar alternativas para minimizar tales daños.

En tal sentido, las bajas dosis de radiaciones ionizantes han sido utilizadas con éxito para incrementar el rendimiento de las plantas en condiciones de estrés, incluyendo las altas temperaturas (Luckey 1991; Ramírez & González 2000, Ramírez *et al.* 2002) y en algunos países se han establecido métodos que se aplican ampliamente en niveles industriales y están aceptadas como vía agrotécnica para elevar los rendimientos y la tolerancia de las plantas a diferentes tipos de estrés. Por lo anterior, el presente trabajo se enfoca a evaluar el efecto de las bajas dosis de rayos X en el crecimiento y el rendimiento económico de plantas de *Lactuca sativa* cultivadas en condiciones de organopónico durante la época de verano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el organopónico de la Granja Logística de Producción de alimentos del Ministerio del Interior en la provincia Granma (Cuba), durante los años 2000-2002 entre los meses de julio y agosto. El cultivar de lechuga de hojas sueltas Black-Side-Sympson fue utilizado. Las semillas frescas usadas provinieron de la cosecha anterior. La humedad de las semillas se equilibró al 13 % en una desecadora con una solución de glicerina al 70 %.

El tratamiento de irradiación se realizó en una fuente de rayos X, marca Phillips, con una tensión de 30 kV, un amperaje de 10 mA y una potencia de dosis de 11.47 Gy·min⁻¹. Las dosis de 0, 50 y 100 Gy se aplicaron en horas de la mañana. Los semilleros se establecieron 48 horas después de la irradiación sobre bandejas plásticas hasta los 23 días cuando las plántulas alcanzaron el estado de dos hojas verdaderas totalmente expandidas; las cuales se consideraron aptas para el trasplante.

El trasplante se realizó sobre un sustrato compuesto por suelo arcilloso y materia orgánica en una proporción 1:3, con un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Una distancia de siembra de 15 cm entre hileras y de 10 cm entre plantas fue utilizada en canteros de 1.5 m de ancho y 50 m de largo. Cada cantero estuvo compuesto por 300 hileras de 12 plantas cada una. En las áreas de siembra se siguieron estrictamente las recomendaciones metodológicas establecidas en el Instructivo Técnico (INIFAT 2000) y sin la aplicación de productos químicos. La temperatura durante el desarrollo de las plantas fue de 32± 1 °C.

A los 45 días del trasplante se realizó la cosecha de las tres hileras centrales de cada cantero para la determinación del rendimiento en base a la masa fresca total. Solamente, las plantas comercializables se pesaron una vez que las hojas externas en mal estado y la base de los tallos fueron cortados. Una muestra de cinco plantas de cada unidad experimental se seleccionó para determinar el área foliar (AF), masa fresca total (MFT) y masa seca total (MST), luego de secarla en estufa con circulación de aire a 70 °C durante 72 horas. Para tres plantas de cada unidad experimental se obtuvo, en forma separada, la masa fresca de hojas (MFH) y de tallo (MFTa). Las mismas determinaciones se hicieron en seco (MSH y MSTa) y se calculó el contenido porcentual de materia seca (MS %).

Mediante relaciones simples se calcularon la proporción en masa de las hojas (PMH= MSH/MST) y del tallo (PMTa=MSTa/MST). El área foliar se determinó en un planímetro digital, marca Delta T-Device de procedencia inglesa. La duración del área foliar (DAF) se estimó a partir de la de la superficie fotosintéticamente activa presente en planta a los 15 y 45 días de cultivo, según la fórmula propuesta por Venus & Couston (1979):

$$DAF=(AF_2 - AF_1 / \ln AF_2 - \ln AF_1) \times t_2 - t_1$$

en donde: AF_2 = área foliar estimada a los 45 días; AF_1 = área foliar estimada a los 15 días; \ln = logaritmo natural; t_2 = 45 días; t_1 = 15 días. El área foliar específica (AFE) se calculó a partir de la división del área foliar entre la masa seca de las hojas por la fórmula de Palomo & Godoy (1994):

$$AFE=AF/MSAF \quad (\text{cm}^2\text{-g}^{-1})$$

en donde: AF = área foliar; MSAF = masa seca del área foliar

Los datos experimentales fueron sometidos a análisis de varianza de clasificación simple y las medias se compararon por la prueba de Duncan para un nivel de significación del 5 %. Por la variación mínima de los datos de crecimiento en los tres años de experimentación, sólo se incluyen los resultados del 2000, a excepción del rendimiento económico en base a la masa fresca, que se presentan

además los datos de los tres años de experimentación. La repetibilidad se calculó según Becker (1967).

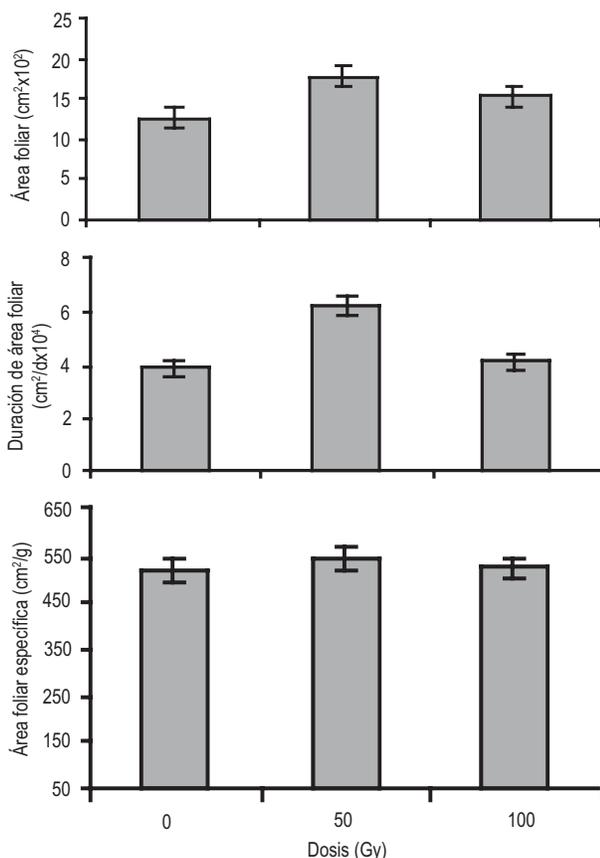


Figura 1. Efecto de las dosis bajas de irradiación sobre el área foliar, su duración y el área foliar específica en plantas de lechuga, durante la cosecha. (Cuando no hay sobreposición de la desviación estandar las diferencias no son significativas para $p < 0.05$).

Figure 1. Effect of low irradiation doses on leaf area its duration and specific leaf area in lettuce plant during harvest. (When there is not overlapping of standard deviation, there are nos significant differences between means for $P < 0.05$).

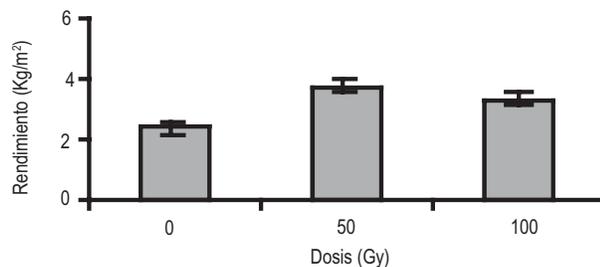


Figura 2. Efecto de las dosis bajas de rayos X en el rendimiento de las plantas de *Lactuca sativa*. (Cuando no hay sobreposición de la desviación estandar las diferencias no son significativas para $p < 0.05$).

Figure 2. Effect of low doses of X-rays on yield of *Lactuca sativa* plants. (When there is not overlapping of standard deviation, the are not significant differences between means for $P < 0.05$).

RESULTADOS

El área foliar específica no mostró alguna variación por efecto de la irradiación, mientras que el área foliar alcanzada por el cultivo a la cosecha y su duración a través del ciclo incrementaron significativamente ($p < 0.05$), por efecto de las dosis de irradiación aplicadas (Figura 1). La dosis de 50 Gy fue la que provocó los mayores valores de estimulación.

Los rendimientos económicos obtenidos, expresados en base a la masa fresca total de las plantas comercializables, responden a las tendencias de las variables analizadas con anterioridad, al observarse una estimulación significativa ($p < 0.05$) por efecto de las dosis de irradiación aplicadas (Figura 2). La dosis de 50 Gy resultó la más favorable al facilitar un incremento del rendimiento en un 44 % con relación al testigo.

Las plantas del tratamiento testigo mostraron un menor contenido de MS y con mayor participación del tallo en la biomasa aérea; mientras que en las procedentes de semillas irradiadas es mayor el contenido de MS y con mayor participación de las hojas (Tabla 1).

Tabla 1. Efecto de las dosis bajas de irradiación sobre el porcentaje de participación en hojas (PPH) y tallos (PPTa) en la biomasa aérea y el contenido porcentual de materia seca (MS) en plantas de lechuga (letras desiguales difieren para $p < 0.05$, por la prueba de Duncan).

Table 1. Effect of low irradiation doses on leaf (LPP) participation percentage in areal biomass and percentual dry matter content in lettuce plant, (different letters indicate significant differences between the means for $P < 0.05$).

| Dosis (Gy) | PPH | PPTa | MS (%) |
|------------|---------|---------|--------|
| 0 | 0.882 c | 0.089 a | 8.70 c |
| 50 | 0.910 a | 0.062 c | 9.50 a |
| 100 | 0.896 b | 0.076 b | 9.02 b |
| EE | ± 0.001 | ± 0.001 | ± 0.01 |

Además una notoria estabilidad en el rendimiento se observó a través de los años, al no existir diferencias significativas entre ellos (Tabla 2), lo que unido a los valores altos de repetibilidad, sugieren la utilidad potencial de esta técnica para incrementar el rendimiento de la lechuga en condiciones de producción.

DISCUSIÓN

El incremento observado en el área foliar y su duración a través del ciclo denota el efecto de la irradiación en la "foliosidad" de las plantas y coincide con la estimulación observada en la formación de hojas y en el crecimiento de diferentes especies vegetales (Savin & Shutov 1986; Nirale & Gaur 1992; Szabo 1997 y Ramírez *et al.* 1999).

Tabla 2. Rendimiento económico por año de la variedad de lechuga "Black-Side-Simpson" en función de las dosis de irradiación aplicadas y valor de repetibilidad (CV%= Coeficiente de variación; media general=3.27; coeficiente de variación general=4.02).

Table 2. economical yield per years in Black-Side-Simpson lettuce variety according to the applied low dose irradiation and the repetibility value (CV %-variability coefficient, general means =3.27, general variability coefficient =4.02).

| Dosis (Gy) | Rendimiento (kg/m ²) | | | | CV% | Repetibilidad |
|-------------|----------------------------------|-----------|-----------|----------|------|---------------|
| | Año1998 | Año 1999 | Año 2000 | Promedio | | |
| 0 (control) | 2.50± 0.2 | 2.90± 0.2 | 2.40± 0.2 | 2.60 | 1.24 | 0.96 |
| 50 | 3.60± 0.1 | 3.95± 0.4 | 3.81±0.2 | 3.78 | 1.26 | 0.98 |
| 100 | 3.31± 0.1 | 3.55± 0.4 | 3.40±0.4 | 3.44 | 1.32 | 0.98 |

A pesar de que la irradiación condujo a la producción de hojas con una mayor superficie por unidad de biomasa; no se detectó visualmente alguna variación en el color de las plantas (aspecto etiolado), y por ende una evidente disminución en el contenido de clorofilas (Ramírez & González 2002), por lo que pudiera inferirse que la irradiación actúa sobre la tasa de crecimiento controlando la tasa de asimilación neta o ritmo fotosintético. En tal sentido, existen diversas evidencias que indican que la irradiación a bajas dosis es esencial en la vida de los organismos, incluyendo el vegetal y que los radicales libres, iones y las moléculas excitadas que se forman por su efecto contribuyen a una mayor eficiencia en la utilización de las vías bioquímico-metabólicas, lo que se refleja en la estimulación del crecimiento y desarrollo. Sobre este aspecto Lukey (1991) señaló que la formación de radicales libres del tipo fenólico ejercen una acción importante en las reacciones de oxidación-reducción y cambios en el fitocromo.

Estos resultados coinciden con los informados por Bowen *et al.* (1992) y Sax (1995) con otros cultivos de lechuga tratados con rayos X y rayos gamma, bajo otras condiciones experimentales.

En esta época de cultivo, donde las temperaturas superiores a 30 °C limitan el desarrollo de las plantas (García *et al.* 2001), la irradiación pudiera haber aumentado la tolerancia de las mismas al estrés y aunque esta aseveración será necesario confirmarla en futuros estudios, se ha demostrado experimentalmente que la irradiación estimula el contenido y síntesis de algunas proteínas específicas involucradas en la protección de las plantas frente a los estrés ambientales y activa los genes involucrados en los mecanismos de defensa de las plantas (Jawarowski 1997).

Finalmente, a pesar de que el mecanismo que rige la radioestimulación en las plantas no es totalmente conocido, los patrones de respuesta registrado en este estudio pudieran ser explicados en base a las hipótesis (Levin 1987; Yemelianov 1994 y Bai-Lingyu *et al.* 1996) que proponen que la irradiación a bajas dosis altera las reacciones de defensa del organismo y que ejerce un efecto favorable sobre la actividad general de las enzimas al incrementar la velocidad de conversión de los sustratos respiratorios en pequeñas moléculas a partir de las cuales se forman los nuevos constituyentes celulares. Además, estas bajas dosis favorecen el transporte, sensibilidad y composición de las hormonas endógenas del crecimiento. En este sentido, los cambios mencionados en el metabolismo propician una mejor redistribución energética y se reflejan en un incremento del rendimiento y la calidad de los cultivos (Bai-Lingyu *et al.* 1996).

Otros autores relacionan la respuesta estimulante de las bajas dosis de irradiación con la activación de varias enzimas, como las polifenoloxidasas, catalasas, peroxidasas y esterasas las cuales conllevan a la formación de sustancias fisiológicamente activas, que a bajas concentraciones aceleran la división celular, conjuntamente con la formación en las células de importantes organelos, como las mitocondrias y los cloroplastos, así como una mayor conversión de las sustancias de reserva en productos asimilables (Levin 1987; Luckey, 1991 & Yemelianov, 1994). Estos cambios en la actividad enzimática favorecen el crecimiento y desarrollo de las plantas e incrementan los rendimientos de las cosechas (Bai-Lingyu *et al.* 1996).

LITERATURA CITADA

Bai-Lingyu, Ma-Yuzhu, Hua-Luo, Wei-Dongpu (1996) The effect of low dose of Co-gamma rays irradiation on some enzyme activities and isoenzyme zymogram in pak-choi seedlings. *Acta- Agriculturae-Nucleatae-Sinica*, 10(1): 21-24.

Becker WA (1967) *Manual of procedure in quantitative genetics*. Washington State University. Pullman, Washington, 130 pp.

Bowen HJ, Cawse PA, Smith SR (1992) The effects of low doses of gamma radiation on plant yields. *International Journal Appl. Radiat. Isot.*, 13: 487-490.

Dapoigny L, Fleury A, Robin P (2001) Relation entre la vitesse relative de croissance et la teneur en azote chez la laitue (*Lactuca sativa*, L.). *Effects du rayonnement et de la temperature. Agronomie*, 17: 35-41.

Gracia J, Tiftonell PA, Chiesa A (2001) Efecto de la época de siembra, radiación y nutrición nitrogenada sobre el patrón de crecimiento y el rendimiento de la lechuga (*Lactuca sativa*, L.). *Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetal*, 16(3): 355-365.

INIFAT (Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical). Grupo de Agricultura Orgánica (2000) *Manual Técnico de organopónicos y huertos intensivos*. MINAGRI, 145 pp.

Jawarowski Z (1997) Beneficial effects of radiation and regulatory police. *Australian Physical and Engineering Sciences in Medicine*, 3(20): 113-125.

Levin VI (1987) Dinámica de la acumulación de sustancias del tipo giberélico y variaciones en la calidad de las proteínas de reserva de las plantas de trigo procedentes de semillas irradiadas (en ruso). *Biología Agrícola*, 10(2): 52-57.

Luckey T (1991) *Hormesis with ionizing radiation*. CRC Press. Inc. Boca Raton, Florida, United States, 222pp.

Nirale AS, Gaur BK (1992) Stimulation of primary leaves following X irradiation of Kidney bean seedling. *Stimulation Newsletter*, 9: 32-35.

Palomo A, Godoy S (1994) Análisis del crecimiento de la nueva variedad de algodón Laguna-89 y del cultivar Deltapine-80. *ITEA. Producción Vegetal*, 90(2): 111-118.

Ramírez R, González LM (2000) La radioestimulación y su aplicación en la Agricultura. *Nucleus*, 28: 10-15.

Ramírez R, González LM (2002) Concentración de pigmentos y relaciones hídricas en plantas de *Lactuca sativa*, procedentes de semillas irradiadas con rayos X. *Informe Técnico, IIA "Jorge Dimitrov"*, 23 pp.

Ramírez R, González LM, Camejo Y (2002) Aplicación de las técnicas de irradiación en la producción alimentaria, sus ventajas y repercusión social. *Alimentaria*, 331: 57-64.

Ramírez R, González LM, García B, Licea L, Porra E (1999) Estimulación del crecimiento y la productividad del pepino, mediante el tratamiento de semillas con rayos X. *Nucleus*, 26: 13-17.

Savin VN, Shutov AA (1986) Changes in barley plant growth and leaf-forming rate following gamma irradiation of seed. *Radiobiology*, 6: 131-136.

Sax K (1995) The effect of ionizing radiation on lettuce plant growth. *American J. of Botany*, 42: 360-365.

Szabo AS (1997) Results of application of radiostimulation technique in improvement of agricultural production. I Simposium Internacional sobre Técnicas Nucleares Aplicadas a la Agricultura, la Industria y la Medicina, La Habana, Memorias, 78 pp.

Yemelianov LG (1994) The influence of gamma irradiation of barley seeds on plant vital activity under different ecological conditions. International Conference on radiobiological consequences of nuclear accidents. Moscow, 25-26 October, 305 pp.

Venus L, Couston M (1979) Plant growth analysis: a re-examination of the methods of calculation of relative growth and net assimilation rates without using fitted functions. *Annals of Botany*, 43: 633-638.

Wien HC (1997) Lettuce. In *The Physiology of vegetable crops*. CAB International. (H.C. Wien, ed.). Oxon. UK, pp: 479-509.