

TASAS DE RESPIRACIÓN EN CUATRO HÍBRIDOS DE PIMENTÓN

(*Capsicum annum* L.)

Mercedes Angueira, Aleida J. Sandoval y José A. Barreiro

RESUMEN

Se determinó la curva de la tasa de respiración de cuatro híbridos comerciales de pimentones (*Capsicum annum* L.) almacenados a 10°C mediante la utilización de un respirometro construido en el laboratorio, basado en el principio de recolección del CO₂ proveniente del proceso de respiración de los frutos. El

CO₂ producido estuvo entre 24,6 y 56,2mg·kg⁻¹·h⁻¹, correspondiente en unidades térmicas a 66-151W·r⁻¹, observándose que los híbridos de relaciones ancho/largo cercanas a la unidad mostraron menores pérdidas de peso.

SUMMARY

The respiration rates of four commercial hybrids of peppers (*Capsicum annum* L.) stored at 10°C were determined using a respirometer built in the laboratory, based on the principle of collection of the CO₂ arising from fruit respiration. The CO₂

produced was 24.6-56.2mg·kg⁻¹·h⁻¹, corresponding in thermal units to 66-151W·r⁻¹. It was found that hybrids with a width/length ratio close to unity showed lower weight losses.

Introducción

El proceso de maduración que ocurre, ya sea en la planta o luego de la recolección, es el resultado de numerosos procesos fisiológicos y bioquímicos, los cuales se presentan como una secuencia de cambios en el color, textura, aroma y sabor, conduciendo eventualmente a un estado fisiológico en el cual el fruto es considerado comestible desde el punto de vista comercial (Macrae *et al.*, 1993).

Las frutas y vegetales en general mantienen un metabolismo activo aún después de la cosecha. La fotosíntesis se reduce y prácticamente se detiene pero, sin embargo, los procesos de respiración prosiguen activos (Charlie, 2001; Barreiro y Sandoval, 2002). Durante estos procesos, la producción de energía proviene de la oxi-

dación de las propias reservas de almidón, azúcares y otros metabolitos. Una vez cosechado, el producto no puede reemplazar estas reservas que se pierden y la velocidad con que disminuyen es un factor de importancia en la duración de la vida post-cosecha, por lo que la caracterización de la respiración es requerida para el diseño de almacenamientos idóneos que extiendan la vida útil del producto (Will *et al.*, 1981; Kader, 1992; Tano *et al.*, 1998).

El calor desprendido en la respiración y las tasas de generación de CO₂ pueden ser determinadas experimentalmente en sistemas cerrados mediante respirometros tales como el barométrico o de Warburg, cuya invención data de 1926 (Umbreit *et al.*, 1957) o mediante sistemas abiertos con flujo de aire, en los cuales

se absorbe el CO₂ generado por unidad de tiempo en una solución de NaOH, con producción de Na₂CO₃ que reacciona con BaCl para producir BaCO₃, el cual se titula con una solución de HCl usando fenoltaleína como indicador. Con la estequiometría de estas reacciones se puede cuantificar la cantidad de CO₂ producida por unidad de tiempo. Entre los métodos que permiten la determinación de la tasa de respiración mediante la cuantificación de la concentración de CO₂ se encuentran el alcalímetro de Knorr y el de Schroeder, los cuales fueron concebidos para medir el CO₂ de los carbonatos (Wills *et al.*, 1998; Barreiro y Sandoval, 2002).

Los primeros estudios sistemáticos en respiración de frutas fueron llevados a cabo durante los años veinte por Kidd y West en manzanas (Kupfer-

man, 1989). En la literatura es posible encontrar datos referidos a la tasa de respiración de varios frutos (Teixeira *et al.*, 1978; Aina y Oladunjoye, 1993; Koyakumar *et al.*, 1994; Gómez, 2000; Allong *et al.*, 2001; Carrington y King, 2002); sin embargo, es notable la ausencia de datos en una gran cantidad de alimentos de importancia en la industria alimentaria, entre ellos el pimentón, el cual es un fruto en baya hueca, que nace en la axila de una hoja, posee un elevado contenido vitamínico, principalmente en forma de vitaminas C y A, además de propiedades diuréticas, de ayuda a la digestión y estimulantes del apetito (Milla, 1996). Utilizados como especias en muchas partes del mundo, son valorados por sus atributos sensoriales de color, pungencia y aroma. Adicionalmente se

PALABRAS CLAVE / *Capsicum annum* / Pimentón / Respirometría /

Recibido: 28/03/2003. Modificado: 15/08/2003. Aceptado: 28/08/2003

Mercedes Angueira. Ingeniero Químico y M.Sc. en Ciencia de los Alimentos, Universidad Simón Bolívar (USB), Venezuela. Profesor Asistente, Departamento de Tecnología de Procesos Biológicos y Bioquímicos, USB. Dirección: Uni-

versidad Simón Bolívar, Apartado 89000, Caracas 1080, Venezuela.
e-mail: angueira@usb.ve
Aleida J. Sandoval. Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional Experimental de los Llanos Ezequiel Zamora.

M.Sc. en Ciencia de los Alimentos, USB. Ph.D., Reading University, RU. Profesor Asociado, Departamento de Tecnología de Procesos Biológicos y Bioquímicos, USB.

José A. Barreiro. Ingeniero Químico, Universidad Central de Venezuela. M.S. y Ph.D., Louisiana State University, EEUU. Profesor Titular (J), Departamento de Tecnología de Procesos Biológicos y Bioquímicos, USB.

Se determinou a curva da taxa de respiração de quatro híbridos comerciais de pimentões (*Capsicum annuum L.*) armazenados a 10°C mediante a utilização de um respirómetro construído em um laboratório, baseado no princípio de recoleção do CO₂ proveniente do processo de respiração dos fru-

tos. O CO₂ produzido esteve entre 24,6 e 56,2mg·kg⁻¹·h⁻¹, correspondente em unidades térmicas a 66-151W·t⁻¹, observando-se que os híbridos de relações largura/comprimento próximas a unidade mostraram menores perdas de peso.

consideran económicamente importantes por la vasta cantidad y diversas variedades empleadas (Korel *et al.*, 2002). En el presente estudio se emplearon pimentones del género *Capsicum*, perteneciente a la familia de las Solanáceas, siendo *Capsicum annuum* la especie más importante y difundida.

Se planteó como objetivo estudiar la actividad respiratoria en el tiempo de cuatro tipos de híbridos comerciales de pimentones almacenados a 10°C, mediante el empleo de un respirómetro de fácil construcción en el laboratorio, basado en el principio de recolección de CO₂ sobre una solución analizable por titulación.

Materiales y Métodos

Diseño del respirómetro

Se efectuó el montaje del respirómetro en el Laboratorio de Procesamiento de Alimentos de la Universidad Simón Bolívar (USB), siendo las partes que lo componen (Figura 1):

- Compresor (1) marca Campbell Hausfeld, modelo FL-3106, que suministra un flujo de aire por todo el sistema, a través de mangueras de goma, para la remoción de los gases metabólicos producidos en la respiración y para proporcionar el O₂ necesario para ésta.
- Regulador de presión (2) marca Hoerbiger, modelo CRS-08 de ¼", ubicado a la salida del compresor para el control del flujo de aire suministrado, con rango de medición de 0-140psi (0-10bar).
- Tres columnas (3) marca Sharlau rellenas de gel de sílice azul granulada (1-3mm) que eliminan el vapor de agua contenido en el aire, evitando su reacción con el KOH.

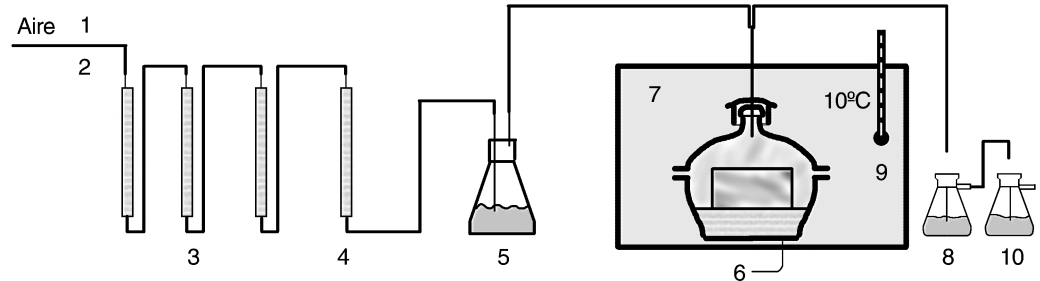


Figura 1. Diagrama del diseño experimental del respirómetro. Los componentes se definen en el texto.

- Una columna (4) marca Eka Kemi rellena de KOH, que suprime por adsorción el CO₂ contenido naturalmente en el aire.
- Un vaso erlenmeyer (5) marca Kimax® con agua destilada libre de CO₂ que hidrata por burbujeo el aire libre de CO₂ proveniente de la columna anterior, reponiendo así la humedad relativa eliminada por la sílice gel y reduciendo las pérdidas de peso por desecación de las frutas.
- Un desecador (6) marca Pirax® que simula el lugar de almacenamiento del vegetal, donde se coloca la fruta o vegetal (11) al cual se mide la tasa de respiración.
- Un refrigerador (7) marca Equaterm estabilizado a 10°C.
- Un matraz kitasato (8) marca Kimax® con 80ml de solución 5N de NaOH, donde burbujea y es absorbido el CO₂ desprendido en el proceso de respiración.
- Un termómetro (9) marca Stabil-Therm Blue M con rango 0-60°C, para registro y control de la temperatura.
- Un matraz kitasato (10) marca Kimax® con KOH puro para evitar contaminación de la solución con CO₂ atmosférico.

Las columnas y matraces fueron tapados empleando tapones de goma con un agujero central a través del cual se hi-

cieron las conexiones con las mangueras; el tapón de goma del desecador poseía dos agujeros, uno para la entrada de aire y otro para la salida; en todas las uniones y conexiones del equipo se aplicó grasa de vacío y teflón para evitar fugas en el sistema; las columnas de sílice gel y de KOH (3 y 4 en Figura 1) fueron de 7mm de diámetro interior, 25mm de diámetro superior y 450mm de largo. Antes de conectar la manguera de suministro de aire proveniente del compresor a las columnas de vidrio, se debe asegurar que la presión sea la adecuada, de manera que los tapones de goma que éstas poseen no se desprendan. El gel de sílice debe ser sustituido por reactivo nuevo o regenerado cada vez que su color haya virado de azul a rosa; la observación de humedad en las perlas de KOH de la columna encargada de la adsorción del CO₂ indica que éstas deben ser reemplazadas, de manera tal que se evite la formación de un conglomerado que cierre los intersticios por los que circula la corriente de aire; la normalidad (5N) de la solución de NaOH, necesaria para la recolección del CO₂ proveniente de la respiración, se estimó a partir de datos de tasas de respiración señalados en ASHRAE (1970), Ryall y

Pentzer (1974), Pantastico (1975) y Ryall y Lipton (1979).

De acuerdo a las necesidades del usuario del equipo se pueden instalar varios desecadores en el respirómetro. Debido a la capacidad del refrigerador empleado, cada experimento a 10°C se efectuó con dos desecadores conectados por cada período de 21 días.

Determinación de las tasas de respiración

Se emplearon cuatro tipos de híbridos comerciales de pimentón, a saber: Camelot, Aruba, Portos y Mandarín, procedentes de un cultivo orgánico del invernadero experimental ubicado en la USB y tomados aleatoriamente en distintos puntos de la siembra. De acuerdo al tipo de híbrido, se seleccionaron de tamaño uniforme, fisiológicamente desarrollados y sin defectos tales como grietas, cortes o abolladuras.

En el laboratorio, los pimentones se lavaron, secaron, midieron, pesaron y, según el tipo de híbrido, se introdujeron tres pimentones de la variedad en estudio en distintos desecadores previamente identificados, los cuales fueron mantenidos durante 21 días en el refrigerador a 10°C.

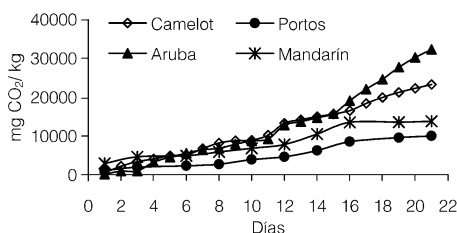


Figura 2. Curva de la tasa de respiración acumulada de pimentones (*Capsicum annum* L.) almacenados a 10°C.

TABLA I
VALORES PROMEDIO OBTENIDOS PARA
LOS DISTINTOS TIPOS DE PIMENTONES ALMACENADOS A 10°C

Tipo de híbrido	Tasa de respiración (mg(CO ₂)-kg ⁻¹ ·h ⁻¹)	Pérdida de peso (%)	Relación ancho/largo
Camelot	41,59	7,5	0,998
Aruba	56,15	17,6	0,282
Portos	24,63	6,3	0,927
Mandarín	30,29	8,3	0,714

Durante los primeros 21 días, se realizó la evaluación para los híbridos Camelot y Aruba. En un segundo período se introdujeron los híbridos Portos y Mandarín. En cada lapso de 21 días se mantuvo el suministro de aire de forma continua y uniforme, permaneciendo los desecadores cerrados y a la temperatura fijada. Al finalizar los experimentos se pesaron de nuevo los pimentones.

En períodos de 24 horas se cambiaron los kitsatos (con 80ml de solución de NaOH y el CO₂ obtenido de la respiración) por kitsatos con 80ml de solución fresca de NaOH 5N. Cada kitsato cambiado se tapó inmediatamente para evitar el contacto con el CO₂ presente en la atmósfera y se retiró una alícuota de 20ml de la solución, a la cual se añadieron 5ml de solución de BaCl saturada y 5 gotas de indicador fenolftaleína (0,5% en etanol) para ser sometida a titulación con una solución de HCl estándar (2,3824N; volumen V_F) hasta la desaparición del color, obteniéndose de esta forma la concentración en ppm de BaCO₃ o alcalinidad fenolftaleínica (A_F). Inmediatamente después se agregaban tres gotas de anaranjado de metilo 0,5% en agua y se titulaba con HCl 2,3824N (volumen V_T) hasta observar la aparición de un color rubí anaranjado transparente. Con la suma de los volúmenes de HCl gastados en ambas titulaciones se obtuvo la alcalinidad total (A_T). A partir de estos valores, mediante las ecuaciones (1) a (4), se calcularon el BaCO₃ (ppmCar) y el CO₂ (mgCO₂) presentes en la solución.

$$\text{ppmCar} = 2 \times (A_T - A_F) \quad (1)$$

$$\text{mgCO}_2 = \text{ppmCar} \times V_{\text{muestra}} \times (44/197,34) \quad (2)$$

donde

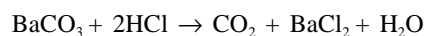
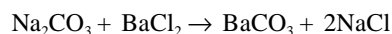
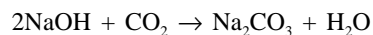
$$A_T = V_T \times N_{\text{HCl}} \times 98,67 \times 1000 / V_{\text{alícuota}} \quad (3)$$

$$A_F = V_F \times N_{\text{HCl}} \times 98,67 \times 1000 / V_{\text{alícuota}} \quad (4)$$

y N_{HCl} = 2,3824N; V_{alícuota} = 20ml; y V_{muestra} = 0,08l.

Los valores constantes de las ecuaciones corresponden a los pesos moleculares y factores de conversión involucrados.

Las reacciones que tienen lugar son



Dividiendo mgCO₂ obtenido en (2) por el peso de los frutos y el período en horas que duró la determinación se obtiene la tasa de respiración en mgCO₂·kg⁻¹·h⁻¹.

A partir de los datos obtenidos de la recolección de CO₂ se generó una curva de la actividad respiratoria post-cosecha en el tiempo para cada variedad. Con las mediciones efectuadas en cada híbrido se determinó la relación ancho/largo y el porcentaje de pérdida de peso entre el inicio y el final de la experiencia.

Resultados y Discusión

El respirómetro instalado en el laboratorio operó de manera satisfactoria a lo largo de las experiencias efectuadas. No se presentaron fugas en el sistema y el suministro de aire fue continuo. Este diseño constituye un método sencillo y económico para la determi-

nación del CO₂ desprendido durante el proceso de respiración.

En la Figura 2 se aprecia que aproximadamente a los 15 días de almacenamiento a 10°C, el híbrido Aruba comienza a presentar una tasa de respiración acumulada mayor que la del Camelot, con el cual hasta ese momento mantenía similitud. Entre el Mandarín y el Portos se apreció una relación similar a lo largo de todo el experimento, obteniéndose una mayor tasa de respiración en el primero de éstos.

Después de 21 días de almacenamiento a 10°C se observaron indicios de deshidratación en algunos de los pimentones, evidenciados por la presencia de arrugas, sobre todo en el híbrido tipo Aruba, por que se recomienda para éste un almacenamiento máximo por 2-2,5 semanas a dicha temperatura, a fin de

mantener el producto en un estado óptimo. Cantwell (2001) señaló que los pimentones almacenados a temperaturas mayores a 7,5°C pierden más agua y se arrugan, mientras que a dicha temperatura pueden alcanzar una vida útil de 3 a 5 semanas. A 5°C se reducen las pérdidas de agua pero se manifiestan los daños por frío. Diferentes especies o cultivares de las mismas especies pueden exhibir tolerancias variables a las bajas temperaturas. La exposición de un fruto en particular a una temperatura dada fuera del intervalo recomendado usualmente es causa de problemas que conducen a la disminución de la calidad y la vida de almacenamiento, lo cual depende de la duración de la exposición a dicha temperatura (Macrae *et al.*, 1993). Boyette *et al.* (1990) señalaron que temperaturas mayores de 21°C en pimentones aceleran la maduración y los cambios de color. Las temperaturas altas causan daños por calor a los frutos, reduciendo el período de vida útil del producto cosechado (Will *et al.*, 1981).

En la Tabla I se presentan una serie de valores de importancia en la presente discusión. En la primera columna se tabulan los valores promedio de CO₂ producido para cada híbrido, apreciándose que el Aruba presenta la mayor tasa de respiración, seguido por el Camelot. Como se señaló anteriormente, el Mandarín supera al Portos.

En la tercera y cuarta columnas de la Tabla I se muestran los porcentajes de pérdi-

da de peso obtenidos y la relación ancho/largo, respectivamente. Se puede observar que, a la temperatura de este estudio, aquellos híbridos con relación ancho/largo con tendencia a la unidad (Camelot y Portos) muestran pérdidas de peso menores.

En el caso del Aruba, el cual muestra la mayor tasa de respiración a la condición de temperatura estudiada, se aprecia la mayor pérdida de peso y la menor relación ancho/largo. Esta última característica es la que permite su clasificación como tipo cuerno, mientras que el Camelot y el Portos son tipo cuadrado y el Mandarín tipo rectangular (Milla, 1996).

La cantidad de CO₂ producida en los pimentones bajo estudio se mantuvo en el intervalo de 24,6 a 56,2mg (CO₂)-kg⁻¹·h⁻¹ a 10°C, que corresponden en unidades térmicas de watt por tonelada (W/t) al rango 66-151. Barreiro y Sandoval (2002) señalaron un intervalo de 75-108W/t para pimientos almacenados a 10°C y, si bien no se especifica la variedad ni el tipo, los valores están en el mismo orden de magnitud.

Las bayas de las cuatro variedades estudiadas: Camelot, Portos, Aruba y Mandarín, una vez culminada la experiencia y dejadas a temperatura ambiente, presentan a partir de la primera semana pigmentaciones intensas de color rojo, amarillo, rojizo y anaranjado, respectivamente, siendo éstos los colores que los identifican en su maduración completa.

Conclusiones

El respirómetro diseñado permitió la evaluación de la actividad respiratoria de cuatro tipos de híbridos comerciales de pimentones almacenados a una condición de temperatura de 10°C.

Los pimentones (*Capsicum annum* L.) pueden ser almacenados a 10°C durante 2-2,5 semanas como máximo para mantener la calidad del producto.

Las diferencias geométricas existentes entre los pimentones fueron las responsables de las variaciones de peso señaladas a 10°C. Aquellos híbridos con relación ancho/largo con tendencia a la unidad (Camelot y Portos) presentaron pérdidas de peso menores.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Vivero El Horticultor y su personal, así como al DID (USB) por el financiamiento otorgado a través del proyecto DI-CAI-S100047.

REFERENCIAS

- Aina JO, Oladunjoye OO (1993) Respiration, pectolytic activity and textural changes in ripening African Mango (*Irvingia gabonensis*) fruits. *J. Food. Agric. Sci.* 63: 451-454.
- Allong R, Wickham LD, Mohammed M (2001) Effect of slicing on the rate of respiration, ethylene production and ripening of mango fruit. *J. Food Quality* 24: 405-419.
- ASHRAE (1970) *Guide and Data Book. Applications*. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineering. EEUU. 576 pp.
- Barreiro JA, Sandoval AJ (2002) *Operaciones de Conservación de Alimentos por bajas temperaturas*. Equinoccio. Caracas, Venezuela. 359 pp.
- Boyette MD, Wilson LG, Estes, EA (1990) *Postharvest Handling and Cooling of Peppers*. The North Carolina Agricultural Extension Service. Raleigh, EEUU. 6 pp.
- Cantwell M (2001) *Recomendaciones para mantener la calidad post-cosecha. Pimiento*. Department of Vegetable Crops, University of California. Davis, EEUU. 3 pp.
- Carrington CMS, King RAG (2002) Fruit development and ripening in Barbados cherry, *Malpighia emarginata* DC. *Scientia Horticulturae* 92: 1-7.
- Charlie H (2001) *Tecnología de Alimentos*. Limusa. México. 767 pp.
- Gómez K (2000) Efecto de la temperatura de almacenamiento y uso de cera sobre la actividad respiratoria y algunos atributos de calidad de frutos de parchita *Pasiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener cv "Maracuya". *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 17: 1-9.
- Kader AA (Ed.) (1992) *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. 2ª ed. Publication 3311. University of California. EEUU. 296 pp.
- Korel F, Bagdatlioglu N, Balaban MO, Hisil Y (2002) Ground Red Peppers: Capsaicinoids Content, Scoville Scores, and Discrimination by an Electronic Nose. *J. Agric. Food Chem.* 50: 3257-3261.
- Koyakumar T, Adachi K, Sakoda K, Sakoto N, Oda Y (1994) Physiology and quality changes of mature-green mume fruits stored under several controlled atmosphere conditions at ambient temperature. *J. Jap. Soc. Hortic. Sci.* 62: 877-887.
- Kupferman E (1989) The early beginnings of controlled atmosphere storage. *Postharvest Pomol. Newslet.* 7: 3-4.
- Macrae R, Robinson RK, Sadler MJ (Eds.) (1993) *Encyclopaedia of Food Science, Food Technology and Nutrition*. Academic Press. Londres, RU. 5365 pp.
- Milla A (1996) *Pimientos*. Compendios de Horticultura. Ediciones de Horticultura S.L. España, 31 pp.
- Pantastico EB (1975) *Postharvest Physiology, Handling and Utilization of Tropical and Subtropical Fruits and Vegetables*. AVI. Westport, Conn., EEUU. 560 pp.
- Ryall AL, Lipton WJ (1979) *Handling, transportation and storage of fruits and vegetables*. Vol 1. *Vegetables and Melons*. 2ª ed. AVI. Westport, Conn., EEUU. 587 pp.
- Ryall AL, Pentzer WT (1974) *Handling, transportation and storage of fruits and vegetables*. Vol 2. *Fruits and Nuts*. AVI. Westport, Conn., EEUU. 436 pp.
- Tano K, Arul J, Castaigne F (1998) *Respiration and transpiration characteristics of selected fruits and vegetables*. IFT'S 1998 Annual Meeting. Atlanta, Georgia, EEUU. 2 pp.
- Teixeira AR, Carmona MA, Barreiro MJ, Silva MJ, Cabral ML (1978) A conservação frigorífica de pera Rocha. *Agronomia Lusitana* 39: 57-84.
- Umbreit WW, Burris RH, Stauffer, JF (1957) *Manometric techniques, a manual describing methods applicable to the study of tissue metabolism*. Burgess. Minneapolis, EEUU. 305 pp.
- Will RHH, Lee TH, Graham D, McGlasson WB, Hall EG (1981) *Postharvest: An Introduction to the Physiology of Fruit and Vegetables*. New South Wales University Press. Sydney, Australia. 163 pp.
- Wills R, McGlasson B, Graham D, Joyce D (1998) *Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales*. 2ª ed. Acribia. Zaragoza, España. 240 pp.