

Comportamiento de los pigmentos fotosintéticos, según la edad de rebrote después del pastoreo de *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115 en la estación poco lluviosa

Dayleni Fortes, R.S. Herrera, Sayonara González, M. García, Aida Romero y Ana M. Cruz

Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, La Habana, Cuba

Correo electrónico: dfortes@ica.co.cu

Mediante un diseño de muestreo completamente aleatorizado, con quince repeticiones, se estudió el efecto de la edad de rebrote (30, 45, 60, 75 y 90 d) después del pastoreo de *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115 en el contenido de pigmentos verdes y carotenoides durante el período poco lluvioso, así como las relaciones de la clorofila a (Cla) con la proteína bruta (PB). El menor contenido ($P < 0.001$) de clorofila a (2.43 mg /dm^2) y clorofila b (Clb) (1.07 mg /dm^2) se presentó a los 90 d de rebrote, mientras que el mayor ($P < 0.001$) se obtuvo a los 30 d. No hubo diferencias significativas en el contenido de carotenoides. De forma independiente, la suma de las clorofilas tuvo el mismo patrón de respuesta que las clorofilas, pero su relación (Cla/Clb) fue mayor ($P < 0.01$) a los 90 d, mientras que para la relación clorofilas/carotenoides el mayor valor se obtuvo a los 30 d de rebrote. La relación entre la Cla y la PB fue directa y altamente significativa ($P < 0.001$), con coeficientes de correlación entre 0.94 y 0.99. Se concluye que en las condiciones en que se desarrolló el estudio, los contenidos de clorofilas disminuyen con la edad. No hubo variación de los carotenoides y la Cla se relacionó de forma positiva con la proteína bruta. Se recomienda realizar estudios similares en el período lluvioso.

Palabras clave: *clorofila a, clorofila b, carotenoides, edad, Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115.

La fotosíntesis es un proceso complejo que contribuye con 90 % de la MS total de la planta (Biswas *et al.* 2001). Numerosos factores influyen en su eficiencia, y entre ellos se destacan la temperatura, la radiación solar, las precipitaciones, la edad, el tipo de planta, la nutrición y el manejo.

Uno de los indicadores de la capacidad fotosintética de las plantas es la cantidad de clorofila por unidad de área de las hojas, ya que representa una medida de las dimensiones del sistema fotosintético y de su eficiencia (García *et al.* 2005), lo que determina su producción de biomasa en diferentes condiciones de explotación.

La cuantificación de los pigmentos fotosintéticos y el estudio de su dinámica a través del tiempo pudieran contribuir a conocer mejor el comportamiento de las plantas durante su ciclo de desarrollo, que guarda una estrecha relación con la utilización de la energía lumínica, CO_2 , agua y nutrientes. Ayudaría además, a diseñar sistemas de manejo eficientes.

La clorofila a (Cla) interviene activamente en la transformación de energía luminosa en energía química. Esta puede expresarse en cantidades de sustancias sintetizadas, como por ejemplo las proteínas y los carbohidratos solubles, entre otros (Herrera 2006). Por tanto, es de suponer que exista fundamentalmente alguna relación entre estas sustancias y la (Cla).

El objetivo del presente estudio consistió en conocer el comportamiento de los pigmentos verdes y carotenoides, según la edad de rebrote después del pastoreo de *Pennisetum purpureum* cv. Cuba CT-115 en el período poco lluvioso, así como estudiar las relaciones de la Cla con la proteína.

Materiales y Métodos

Tratamiento y diseño: Se empleó un diseño de muestreo completamente aleatorizado con

15 repeticiones (Fortes *et al.* 2007). Los tratamientos consistieron en las siguientes edades de rebrote de *P. purpureum* cv. Cuba CT.115 después del pastoreo: 30, 45, 60, 75 y 90 d.

Procedimiento: El estudio se realizó durante el período poco lluvioso, desde enero hasta marzo, en la vaquería B del Instituto de Ciencia Animal, situado en el municipio San José de las Lajas, provincia La Habana, entre los $22^\circ 53' \text{ LN}$ y los $82^\circ 02' \text{ LW}$ y a 92 m.s.n.m., en un cuartón de 0.68 ha plantado de Cuba CT-115 en suelo pardo con carbonato (Hernández *et al.* 1999).

En el cuartón, con población uniforme del pasto, se tomaron cada 14 d, 15 muestras al azar a las edades antes señaladas.

Se seleccionó la cuarta hoja completamente expandida para el análisis de pigmentos según Herrera *et al.* (datos inéditos), el espectro de absorción de la luz (rango de 360-700 nm) y la proteína bruta. El contenido de Cla, clorofila b (Clb) y carotenoides se determinó según Lichtenthaler (1987), modificado por Fortes *et al.* (2005). La proteína bruta (PB) se cuantificó según la metodología descrita por AOAC (1995). Todos los análisis se realizaron por duplicado por tratamiento y repetición.

Análisis estadístico: Se efectuó análisis de varianza y correlación según SPSS (1997), versión 7.5.2. Se empleó la dócima de Duncan (1955) para la comparación de las medias en los casos necesarios.

Resultados y Discusión

El menor contenido ($P < 0.001$) de Cla (2.43 mg /dm^2) y Clb (1.07 mg /dm^2) se presentó a los 90 d de rebrote, mientras que el mayor ($P < 0.001$) se obtuvo a los 30 d. No hubo diferencias significativas para los carotenoides (tabla 1). En general, el contenido de pigmentos verdes (Cla y Clb) se redujo en la medida que

aumentó la edad de rebrote. Esto pudiera estar determinado por la menor demanda de energía y metabolitos para mantener el crecimiento. Similares resultados halló Baco (2006) en el comportamiento de las clorofilas con la edad en todas las variedades de maíz que estudió. También Bokhari (1988), en *Eragrostis curvula* (Schradd), con la madurez de la planta encontró reducciones significativas ($P < 0.01$) en los contenidos de clorofilas a y b.

Tabla 1. Contenido de pigmentos con la edad de rebrote después del pastoreo en *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115

Edad, d	Clorofila a, mg/dm ²	Clorofila b, mg/dm ²	Carotenoides, mg/dm ²
30	3.57 ^a	1.89 ^a	0.50
45	2.93 ^b	1.41 ^{bc}	0.50
60	2.99 ^b	1.48 ^b	0.51
75	2.69 ^c	1.31 ^c	0.48
90	2.43 ^d	1.07 ^d	0.49
EE ±	0.07***	0.05***	0.02

^{ab} Valores con letras no comunes por columna difieren a $P < 0.05$ (Duncan 1955)

*** $P < 0.001$

Zhang *et al.* (2007) y Wang *et al.* (2007) demostraron que ligado al envejecimiento de la planta ocurren reducciones en el contenido de clorofilas, en la eficiencia fotoquímica del fotosistema II, en la expresión de genes relacionados con la fotosíntesis y en la síntesis de proteína, lo que a su vez influye en la absorción de CO₂ y energía luminosa. Estas razones pueden ayudar a explicar los resultados encontrados en este trabajo.

Los contenidos de carotenoides fueron inferiores a las clorofilas y esto corrobora lo planteado por Herrera (2006), quien señaló que en los pastos los principales pigmentos relacionados con la absorción de la luz son la Cla y Clb. Las primeras lo son, especialmente, por su mayor tenor, mientras que los segundos son pigmentos accesorios que pueden absorber y transferir la luz hacia la Cla, así como evitar la fotoxidación de las clorofilas (Silva *et al.* 2001 y Taiz y Zeiger 2006).

La suma de las clorofilas tuvo el mismo patrón de respuesta que los pigmentos individuales, pero las relaciones Cla/Clb y clorofilas/carotenoides fueron mayores ($P < 0.01$) a los 90 y 30 d de rebrote, respectivamente (tabla 2). Estas relaciones reflejan, en sentido general, la eficiencia de estos pigmentos en la fotosíntesis. Según Lauzán *et al.* (1991), cuando Cla/Clb es superior a la unidad, el funcionamiento de los pigmentos en el proceso de la fotosíntesis es adecuado.

Herrera (2006), al estudiar la relación Cla/Clb en tres variedades de *P. purpureum* (King grass, Taiwán y Cuba

Tabla 2. Relaciones entre los pigmentos después del pastoreo en *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115.

Edad, d	Cla+Clb	Cla/ Clb	Cla+Clb/ carotenoides
30	5.46 ^e	1.89 ^a	10.92 ^a
45	4.34 ^c	2.08 ^c	8.68 ^{bc}
60	4.48 ^d	2.02 ^b	8.78 ^b
75	4.00 ^b	2.05 ^{bc}	8.33 ^c
90	3.50 ^a	2.27 ^d	7.14 ^d
EE ±	0.10***	0.05***	0.40***

^{ab} Valores con letras no comunes por columna difieren a $P < 0.05$ (Duncan 1955)

*** $P < 0.001$

CT-115) en condiciones de parcelas experimentales y bajo corte, encontró el mayor valor para el Cuba CT-115, y lo relacionó con la individualidad bioquímica de cada planta. Este mismo autor investigó el efecto de la edad de rebrote (30, 60 y 90 d) en esta relación y determinó que la mayor relación (2.6) se obtuvo a los 90 d de rebrote. Esto lo atribuyo al crecimiento de la planta, que es de ciclo de crecimiento largo, por lo que necesita energía suficiente para su etapa reproductiva (floración), que coincide con los meses del período poco lluvioso.

Los espectros de absorción de la luz presentaron valores máximos en 420 y 660 nm (figura 1). En general, la menor absorción de la luz se registró a los 90 d de rebrote y los valores apenas variaron entre 30 y 60 d.

Herrera *et al.* (1996), al estudiar los espectros de absorción de la luz en nueve mutantes de King grass, obtenidos por técnicas nucleares y mutágenos químicos, encontraron similar patrón de respuesta hallado en este trabajo, aunque con valores característicos para cada mutante. Sin embargo, entre 300 y 400 nm, el comportamiento de los valores fue diferente, ya que los autores citados obtuvieron valores crecientes de la absorción de la luz desde 360 hasta 420 nm, lo que no se manifestó en este estudio.

Este último aspecto podría deberse a que este trabajo se realizó en condiciones de pastoreo, y es probable que algún elemento no controlado en el experimento sea el responsable de esta variación, por lo que será necesario diseñar nuevas investigaciones para explicar este comportamiento.

Para cada edad de rebrote después del pastoreo se encontraron relaciones altamente significativas entre la Cla y la proteína (tabla 3). Las pendientes de las ecuaciones fueron variables pero el término independiente (intercepto) tendió a disminuir con la edad de rebrote.

Lo anterior resulta lógico si se considera que varios autores obtuvieron correlaciones positivas entre el

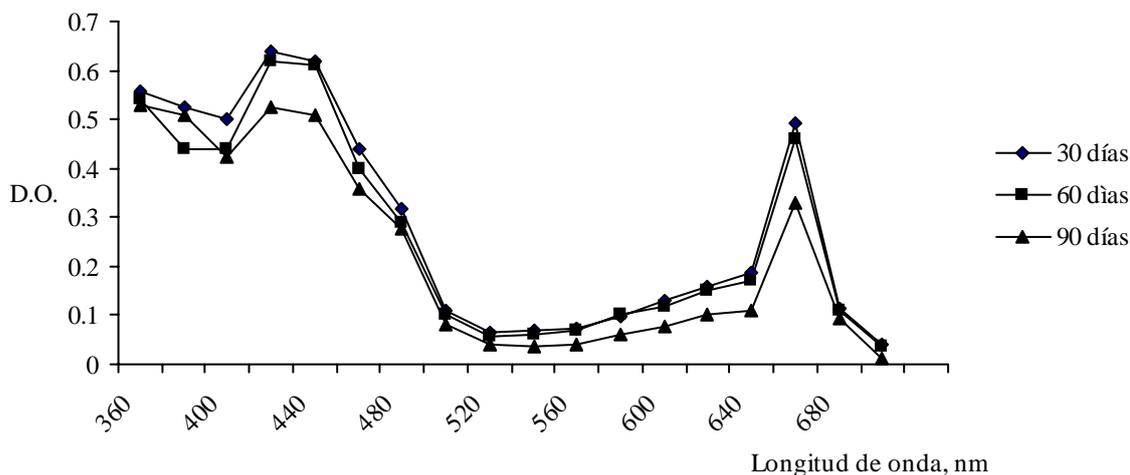


Figura 1. Espectros de absorción de la luz para diferentes edades de rebrote de *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115.

Tabla 3. Correlación lineal entre la proteína bruta y la Cla en *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115.

Edad	Ecuación	r
30	PB = 11.90 + 0.75 Cla	0.96***
45	PB = 10.20 + 1.61 Cla	0.94***
60	PB = 8.09 + 0.52 Cla	0.99***
75	PB = 4.69 + 2.01 Cla	0.99***
90	PB = 5.66 + 1.34 Cla	0.98***

*** P < 0.001

contenido de nitrógeno y la concentración de clorofilas de las hojas de *Panicum maximum* cv. aruana (Colozza *et al.* 2000), mombaza (Manarin 2000) y en algunas variedades de *Brachiaria* (Mattos 2001 y Santos 2001 y Rodríguez 2002).

Costa *et al.* (2006) y Carvalho *et al.* (2007) afirmaron que la cantidad y calidad de clorofila, además de estar directamente asociada con la actividad fotosintética, está estrechamente vinculada al estado nutricional de las plantas.

La Cla interviene activamente en la transformación de la energía lumínica en energía química y puede expresarse en la cantidad de sustancias sintetizadas (proteínas y carbohidratos solubles, entre otras) o absorbidas para emplearse en dicha síntesis.

Herrera (2006), al estudiar la relación entre la Cla y la PB y carbohidratos solubles totales en diferentes hojas de variedades de *Pennisetum*, encontró coeficientes de determinación superiores a 0.85 En las hojas, el coeficiente se incrementó hasta 0.92, mientras que en los tallos varió entre 0.91 y 0.92.

Estos resultados, al igual que los encontrados en este trabajo, confirman la función de la Cla en la síntesis de proteínas y carbohidratos.

Se concluye que en las condiciones en que se desarrolló este estudio los contenidos de clorofilas disminuyeron con la edad de rebrote después del pastoreo. Además, no hubo variación en los carotenoides y las relaciones entre las clorofilas indican el buen

funcionamiento del sistema fotosintético. Se observaron también variaciones de los espectros de absorción de la luz con la edad de rebrote. Se recomienda realizar estudios similares en el período lluvioso, así como profundizar en los espectros de absorción de la luz.

Referencias

- AOAC 1995. Official Methods of Analysis. Ass. 16th Ed. Vol. 1. Assoc. Off. Anal. Chem. Arlington, V.A. 1298p.
- Baco, S.P. 2006. Effects of Plant Age, Ascorbate and Kinetin Applications on Integrity of the Photosynthetic Pigment Complex in Maize (*Zea mays* L.) Plants Grown under Heat Stress Sci. 5: 357
- Biswas, D.K., Haque, M.M., Hamid, A. & Rahman, M.A. 2001. Photosynthetic Gas Exchange Characteristics, Leaf Area and Dry Matter Accumulation of Two Blackgram Cultivars. J. Biological Sci. 1: 951
- Bokhari, U.G. 1988. Chlorophyll, dry matter, and photosynthetic conversion – efficiency relationships in warm-season grasses. J. Range Manag. 36: 431
- Carvalho, L., Bonomo, P., Dos Santos, J.A., De Jesus, F.M., Díaz, A. & Vieira, A.J. 2007. Concentração de nitrogênio em folhas de dois cultivares de braquiária através de leitura com o clorofilômetro. REDVET. Revista electrónica de Veterinaria 8: 1
- Colozza, M.T., Kiehl, J.C. & Werner, J.A. 2000. Respostas de *Panicum maximum* cultivar Aruana a doses de nitrogênio. Boletim de Indústria Animal 57:21
- Costa, K. A. , Oliveira, I. P. & Faquin, V. 2006. Concentrações de nitrogênio e estimativa do teor de clorofila. En: Adubação nitrogenada para pastagens do gênero *Brachiaria* em solos do Cerrado. de Oliveira, M. A. S.(Ed.). Embrapa Arroz e Feijão, p. 21
- Duncan, D. B. 1955. Múltiple range and multiple F tests. Biometrics 11:1
- Fortes, D., Herrera, R.S. & González, S. 2005. Modificación de una técnica para determinar pigmentos en hojas de King grass (*Pennisetum purpureum*). XVI Forum de Ciencia y Técnica. Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba
- Fortes, D., Herrera, R.S., Torres, V., García, M., Cruz, A.M., Romero, A., Noda, A. & González, S. 2007. Determinación de un método de muestreo para el estudio morfofisiológico

- de *Pennisetum purpureum* cv. Cuba CT-115 en pastoreo. Rev. Cubana Cienc. Agríc. 41:381
- García, X., García, E., Rascón, Q., Herrera, L. & Aguado, G. A. 2005. Chlorophyll accumulation is enhanced by osmotic stress in graminaceous chlorophyll cells. J. Plant Physiol. 162: 650.
- Hernández, A., Pérez, J.M., Bosch, D., Rivero, L., Camacho, E. & Ruíz, J. 1999. Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba. MINAG. Ciudad de la Habana, Cuba. p. 119
- Herrera, R. S. 2006. Fotosíntesis. En: Pastos tropicales, contribución a la Fisiología, establecimiento, rendimiento de biomasa, producción de biomasa, producción de semillas y reciclaje de nutrientes. Ed. Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba. p. 37
- Herrera, R.S., Lauzán, J.R., Cruz, R. & Martínez, R.O. 1996. Estudio de mutantes de King grass (*Pennisetum purpureum* sp.) obtenidas mediante técnicas nucleares y mutágenos químicos. V. Pigmentos. Rev. Cubana Cienc. Agríc. 30:211
- Lauzán, J.R., Vento, H., Herrera, R.S., Martínez, R.O. & Cruz, R. 1991. Estudio de los pigmentos verdes y carotenoides en somaclones de King grass. III. Período lluvioso. Rev. Cubana Cienc. Agríc. 25: 195
- Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of Biomembranes. In: Methods in Enzymology. Eds. L. Packer & R. Doucer 148: 350
- Manarin, C.A. 2000. Respostas fisiológicas, bioquímicas e produtivas do capim-Mombaça a doses de nitrogênio. Tesis de Maestría. Escuela Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz», Piracicaba. Universidade de São Paulo, Brasil
- Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 43, Número 2, 2009.
- Mattos, W.T. 2001. Avaliação de pastagem de capim-braquiária em degradação e sua recuperação com suprimento de nitrogênio e enxofre. Tesis de Doctorado. Escuela Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz», Piracicaba. Universidade de São Paulo, Brasil
- Rodrigues, R.C. 2002. Calcário, nitrogênio e enxofre para a recuperação do capim-Braquiária cultivado em solo proveniente de uma pastagem degradada. Tesis de Maestría. Escuela Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz», Piracicaba. Universidade de São Paulo. Brasil
- Santos, J.R. 2001. Dinâmica do crescimento e nutrição do capim-marandu submetido a doses de Nitrogênio. Tesis de Maestría, Escuela Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz», Piracicaba. Universidade de São Paulo, Brasil
- Silva, M.M., Maldonado, H., Bressan-Smith, R.E., Coelho, J.F. & D.Avila, E. 2001. Diferenças Varietais nas Características Fotossintéticas de *Pennisetum purpureum* Schum. Rev. Bras. Zootec. 30:1975
- SPSS. 1997. Paquete estadístico. SPSS para Window. Versión 7.5.2
- Taiz, L. & Zeiger, E. 2006. Photosynthesis: The Light Reactions. En: Plant Physiology. Fourth Edition, Sinauer Associates, Inc. p. 111
- Zhang, L., Xing, D., Wang, J. & Li, L. 2007. Rapid and non-invasive detection of plants senescence using a delayed fluorescence technique. Photochem. Photobiol. Sci. 6: 635.
- Wang, J. S., Xing, J.S., Zhang, L. R. & Jia, L. 2007. A new principle photosynthesis capacity biosensor based on quantitative measurement of delayed fluorescence *in vivo*. Biosens. Bioelectron 10: 1016

Recibido: 5 de noviembre de 2008