

Modelización de la fenología del haba cv. Alameda

Phenology modeling of faba bean cv. Alameda

Adriana Confalone ¹

Jon Lizaso ²

Benigno Ruíz ³

Federico Sau ⁴

Originales: Recepción: 10/06/2010 - Aceptación: 27/12/2010

RESUMEN

La predicción de la fenología del haba es un paso crítico para optimizar el manejo de los cultivos, así como para el desarrollo de modelos de cultivos. Este artículo examina la respuesta fenológica del cultivo de haba (*Vicia faba* L.) a diversos regímenes térmicos y fotoperiódicos evaluada mediante modelos lineales. Se realizaron diecisiete fechas de siembra durante tres años en Lugo, España (43°04' N; 7°30' W; altitud 480 m) en las que se hicieron observaciones fenológicas. El tiempo desde emergencia a floración se describe satisfactoriamente mediante un modelo fototérmico. Las tasas de desarrollo de siembra a emergencia, floración hasta la primera vaina y primera vaina hasta madurez fisiológica fueron modeladas en forma satisfactoria, utilizando solamente la temperatura como variable independiente. Los valores de temperaturas basales variaron entre 2,09 y 4,47°C, dependiendo del subperíodo fenológico. El fotoperíodo base resultó de 6,9 h mientras el fotoperíodo crítico fue de 16,2 h.

ABSTRACT

Predicting the phenology of faba bean is a critical step to designing good crop management practices, as well as to the development of crop models. This article examines the phenological response of faba bean (*Vicia faba* L.) to different temperature and photoperiod regimes assessed through linear models. Seventeen field-sowing dates were used over a three-year lapse in Lugo, Spain (43°04' N, 7°30' W, 480 m altitude), on which phenological observations were made. The time from emergence to flowering was satisfactorily described using a photothermal model, whereas the rates of progress from sowing to flowering, flowering to first pod and first pod to physiological maturity were satisfactorily modeled using only temperature as independent variable. Basal temperature values ranged between 2.09 and 4.47°C, depending on the phenological subperiod. Base photoperiod was 6.9 h, while the critical photoperiod was 16.2 h.

Palabras clave

Vicia faba L. • desarrollo • fenología • modelización • tasa de desarrollo

Keywords

Vicia faba L. • development • phenology • modeling • development rate

- 1 Agrometeorología. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA). Av. República de Italia 780. (B7300) Azul. Buenos Aires. Argentina. aec@faa.uncen.edu.ar
- 2 Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos (ETSI Agrónomos). Universidad Politécnica de Madrid. 28040 Madrid. España.
- 3 Escuela Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela. 27002 Lugo, España.
- 4 Departamento de Biología Vegetal. ETSI Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. 28040 Madrid. España.

INTRODUCCIÓN

El haba (*Vicia faba* L.) es la séptima legumbre de grano en importancia en el mundo y la típica leguminosa de doble utilización (para alimentación humana y animal). El cultivar Alameda es utilizado como forrajera, tiene hábito de crecimiento indeterminado y es un tipo intermedio entre las variedades botánicas Major y Equina. Este cultivar fue obtenido en forma conjunta entre el Centro de Investigación y Formación Agraria (CIFA, Junta de Andalucía) y la Universidad de Córdoba (3). La amplia disponibilidad de semilla forrajera es esencial y condicionante de la sustentabilidad en sistemas de explotación ganadera basados en especies cultivadas y éste es un tema de esencial importancia para los países que poseen áreas dedicadas a la actividad agrícola-ganadera. Por lo tanto, el estudio de las características fenológicas básicas de este cultivo sería el primer paso para evaluar la posibilidad de introducir esta leguminosa de invierno en nuevas áreas de cultivo de Argentina.

El concepto de tiempo térmico (grados-día o sumas térmicas), el cual fue creado por Réamur en 1735 (1) considera la respuesta del cultivo a la temperatura. El tiempo térmico (TT) es calculado como la suma de la temperatura media diaria por encima de una determinada temperatura basal o base (T_b) (11). Además, se considera que cuando la temperatura es inferior o igual a la temperatura base, la tasa de desarrollo es nula. Las plantas pueden responder en forma diferente al mismo factor ambiental en los distintos subperíodos de desarrollo, y la exigencia de suma térmica es constante únicamente para aquella amplitud en la cual existe linealidad entre el desarrollo relativo y la temperatura (20). A pesar de la amplia cantidad de modelos existentes y de las limitaciones que el concepto de sumas térmicas tiene para explicar todas las variables determinantes de la fenología de los cultivos, aún se trata del índice bioclimático más utilizado para caracterizar los materiales vegetales en cuanto a la duración de los subperíodos y del ciclo completo. La T_b comúnmente utilizada para trabajos en los que se maneja el concepto de tiempo térmico en haba es 0°C , para todas las fases fenológicas (15).

La utilización del concepto de tasa de desarrollo (inversa del tiempo de duración) (4) fue un importante avance para conocer la respuesta fenológica de los cultivos porque permitió cuantificar la tasa de desarrollo, como la inversa del tiempo entre la emergencia y la floración de las leguminosas (d^{-1}) (8). De esa forma, un cultivar con largo período de emergencia a floración (d : número de días) tendría una pequeña tasa de desarrollo. La fenología de las leguminosas es regulada principalmente por la repuesta genética a la temperatura y fotoperíodo (13). Así, se puede analizar la longitud del período por medio de una función lineal y aditiva de la temperatura y el fotoperíodo (5, 10). El haba siempre ha sido citada como una especie "fenológicamente difícil" de modelar y comprender (6, 16). Se trata de una Planta de Día Largo Cuantitativa (o facultativa) (17), ya que su floración se inicia más rápidamente en días largos, pero no es inhibida (carácter cualitativo) bajo días cortos, sino sólo retrasada. Esto significa que la floración ocurre cuando el largo del día es mayor a un valor particular denominado "fotoperíodo base" (F_b), punto en el cual el tiempo a floración es máximo (14). Cuando el largo del día supera este F_b , la floración se ve estimulada y los días a floración disminuyen.

Si el largo del día continúa aumentando se llega a un punto denominado "fotoperíodo crítico" (F_c), sobre el cual el fotoperíodo ya no es un factor restrictivo en el proceso de floración, quedando dicho proceso regulado sólo por la temperatura (14). Diversos trabajos demuestran que la tasa de progreso a la floración se relaciona linealmente con la temperatura (modelo termal) o con el fotoperíodo y la temperatura (modelo fototermal), dependiendo del cultivar estudiado (5, 9, 14, 18).

Objetivo

Determinar los subperíodos fenológicos del haba cv. Alameda que pueden ser descritos por un modelo lineal aditivo considerando la interacción entre temperatura y fotoperíodo, calculando la temperatura base de cada subperíodo fenológico, así como los fotoperíodos base y crítico de este cultivo.

MATERIAL Y MÉTODOS

El ensayo se situó en la Finca Experimental de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Santiago de Compostela, Lugo (43°04' N; 7°30' W; 480 m de altitud), España, durante los años agrícolas 2004/2007. El suelo es Dystrudepts Húmico (19) con una textura franco-arenosa y pH, en agua, de 5,5. Antes de la siembra se fertilizó con P y K. Se trató de mantener los cultivos libres de plagas, enfermedades y malas hierbas.

El cultivar de haba utilizado fue Alameda, con densidad de 35 plantas·m⁻². Los tratamientos consistieron en diecisiete fechas de siembra repartidas en tres periodos de cultivo según detalle de la tabla 1 para evaluar la interacción entre genotipo, temperatura y fotoperíodo. Durante el segundo año se agregaron dos fechas de siembra con el objetivo de tener una base de datos mayor para la elaboración de los modelos: una temprana, el 01/09/2005 y otra tardía, el 19/06/2006. El cultivo correspondiente a la fecha de siembra del 1 de septiembre de 2005 murió por las bajas temperaturas de diciembre de aquel año (se alcanzó una temperatura mínima diaria -9°C): hubo varios días con temperaturas por debajo de 0°C antes de la muerte de las plantas. En esta fecha de siembra no se produjo la fase de inicio de vainas y las plantas permanecieron en la fase de floración hasta su muerte.

Tabla 1. Fechas en las que se realizaron las siembras de los tres años de experimento (periodo 2004/2007) del haba cv. Alameda.

Table 1. Sowing dates in the three-year experiment (2004/2007) with faba bean cv. Alameda.

Siembra	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª
Año						
2004/2005	nov. 5	dic. 15	feb. 17	mar. 29	may. 05	set. 01
2005/2006	oct. 26	dic. 13	feb. 10	abr. 04	may. 02	jun. 19
2006/2007	oct. 30	dic. 20	feb. 16	mar. 27	abr. 30	

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar, con tres repeticiones en el que cada unidad experimental ocupaba una superficie de 45 m². El suelo se mantuvo siempre cercano a capacidad de campo, aplicando agua por medio de un sistema de riego por goteo en los períodos en que fue necesario para evitar el déficit hídrico. El riego se calculó multiplicando la evapotranspiración de referencia, obtenida con la ecuación de Penman-Monteith, por el coeficiente del cultivo del haba (2), a la que se restó la precipitación del periodo considerado.

El seguimiento de la evolución temporal de la fenología de las distintas fechas de siembra del cultivo de haba se realizó visualmente, tres veces por semana, utilizando una adaptación de la clave de fases de desarrollo propuesta por Fehr *et al.* (7). Las fases fenológicas cuantificadas fueron: emergencia, floración, formación de primera vaina y madurez fisiológica.

Se consideró que las plantas de cada parcela alcanzaban determinada fase o estadio de desarrollo, cuando el 50% de las plantas presentaban las características morfológicas descritas en la clave, entendiéndose como subperíodo fenológico el período comprendido entre fase y fase.

La tasa de progreso hasta alcanzar las distintas fases fenológicas (d^{-1}) se calculó como la inversa del tiempo requerido para que 50% de las plantas alcanzaran dicha fase. Esta tasa se relacionó con la temperatura media diaria del período (T , °C) y el fotoperíodo a través de modelos lineales simples (17). Los datos de temperatura mínima y máxima se registraron diariamente en la estación meteorológica ubicada en el campo experimental y el fotoperíodo diario (F ; h· d^{-1}) se calculó incluyendo el crepúsculo civil.

Para cultivares o subperíodos fenológicos de un mismo cultivar que no presentan sensibilidad al fotoperíodo, se tiene que:

$$d^{-1} = a_1 + b_1 \cdot T \text{ (Ec. 1)}$$

El plano termal está limitado en su sector inferior por la temperatura base (T_b , donde por definición la tasa de desarrollo es cero y por lo tanto $T_b = -a_1/b_1$) y en el sector superior por la temperatura óptima de la fase (T_o), donde la tasa de desarrollo es máxima. Este enfoque metodológico ya fue utilizado para determinar los parámetros de modelos fenológicos en otras leguminosas de grano (14, 21).

En cultivares o subperíodos fenológicos sensibles al fotoperíodo la tasa de progreso hacia una determinada fase se describe como:

$$d^{-1} = a_2 + b_2 \cdot T + c_2 \cdot F \text{ para } T_b < T < T_o \text{ y } F_b < F < F_c \text{ en plantas de día largo (Ec. 2)}$$

donde:

a_1 , b_1 , a_2 , b_2 y c_2 son constantes específicas para cada cultivar

T es temperatura

T_b y T_o son temperatura base y óptima, respectivamente

F es fotoperíodo

F_b y F_c son fotoperíodo base y crítico, respectivamente

Por definición, la línea de intersección entre el plano termal y el fototermal es el fotoperíodo crítico, que es el fotoperíodo debajo del cual se expresa la respuesta fotoperiódica de las plantas de día largo. En condiciones de fotoperíodos muy cortos, por debajo del fotoperíodo base, la tasa de desarrollo del haba será mínima e igual a:

$$d^{-1} = a_3 \text{ (Ec. 3)}$$

El F_b y F_c pueden ser calculados como:

$$F_b = [(a_3 - a_2) - b_2 \cdot T] / c_2 \text{ (Ec. 4)}$$

$$F_c = [a_1 - a_2 + T \cdot (b_1 - b_2)] / c_2 \text{ (Ec. 5)}$$

Se utilizó el programa RoDMod -Rate of Development Model (21)- para elegir entre cinco modelos e incorporar los modelos termal y fototermal en forma conjunta.

El primer modelo (Ec.1, pág. 78) considera sólo el plano termal, mientras el segundo considera el efecto de la temperatura y el fotoperíodo y los tres modelos restantes [3, 4 y 5] permiten incorporar interacciones:

Modelo 1	$d^{-1} = a_1 + b_1 \cdot T$	
Modelo 2	$d^{-1} = a_2 + b_2 \cdot T + c_2 \cdot F$	
Modelo 3	Submodelo 1: para $F > F_c$,	$d^{-1} = a_1 + b_1 \cdot T$
	Submodelo 2: para $F < F_c$,	$d^{-1} = a_2 + b_2 \cdot T + c_2 \cdot F$
Modelo 4	Submodelo 1: para $F > F_b$,	$d^{-1} = a_2 + b_2 \cdot T + c_2 \cdot F$
	Submodelo 2: para $F < F_b$,	$d^{-1} = a_3$
Modelo 5	Submodelo 1: para $F > F_c$,	$d^{-1} = a_1 + b_1 \cdot T$
	Submodelo 2: para $F < F_c$ y $F > F_b$,	$d^{-1} = a_2 + b_2 \cdot T + c_2 \cdot F$
	Submodelo 3: para $F < F_b$,	$d^{-1} = a_3$

Además, a través de este programa fue posible determinar la "bondad de ajuste" de cada modelo y de combinaciones entre los mismos al comparar los mínimos cuadrados de los diferentes submodelos, con el fin de seleccionar aquel que mejor ajustara los datos de tasa de desarrollo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La única fecha de siembra que no alcanzó a llegar a la fase de formación de vainas fue la de septiembre (01/09/2005) ya que el cultivo murió por efecto de las heladas, permaneciendo en la fase de floración hasta su muerte. En el resto de las épocas de siembra, todas las fases fenológicas fueron alcanzadas.

El hecho de que la fecha de siembra de junio (19/06/2006) requiera un número de días muy bajo (treinta días) para alcanzar el inicio de floración, muestra que el cultivar Alameda no pertenece a un ecotipo de habas que requiera vernalización.

En el tabla 2 se pueden ver los valores de duración de cada subperíodo fenológico considerado, entendiéndose por subperíodo fenológico el período transcurrido entre dos fases fenológicas, así como los valores promedio de T y F con sus valores extremos, demostrando la gran plasticidad en la fenología que presenta el haba y la sensibilidad del cultivar Alameda a las diferentes condiciones de temperatura y fotoperíodo.

Tabla 2. Duración en días (d), temperatura media (T) y fotoperíodo (F) del subperíodo fenológico considerado y los valores máximos (máx) y mínimos (mín) del conjunto de datos analizados en los tres años de evaluación.

Table 2. Characterization of the phonological subperiods in terms of its duration in days (d), average temperature (T) and photoperiod (F), considering maximum (max) and minimum (min) values of all data analyze

Superíodo	d	dmín	T (°C)	Tmáx	F (h·d ⁻¹)	Fmín
		dmáx		Tmín		Fmáx
S-E	22,5	9,0	10,4	4,6	12,9	10,2
		48,0		17,4		16,5
E-F	60,8	20,0	11,9	6,1	13,9	10,8
		135,0		21,1		16,3
F-V	15,7	6,0	14,4	8,8	15,4	13,5
		38,0		20,7		16,5
V-M	68,3	41,0	17,1	12,8	15,9	14,5
		96,0		20,6		16,3

S-E: siembra-emergencia

E-F: emergencia-floración

F-V: floración-formación de primera vaina

V-MF: formación de primera vaina-madurez fisiológica

A medida que transcurren las fases fenológicas en las condiciones experimentales se observa un aumento en los valores medios de temperatura y fotoperíodo, así como una disminución en la amplitud de los mismos.

En todos los subperíodos fenológicos el modelo termal (Ec.1, pág. 80) permite explicar gran parte de la variación observada (tabla 3, pág. 81) y el parámetro b fue positivo, indicando que el tiempo hasta la plenitud de la fase disminuye con el aumento de la temperatura, o dicho de otro modo, que la tasa de progreso hacia cada una de las fases (d⁻¹) aumentó con la temperatura.

Para todos los subperíodos fenológicos considerados, la tasa de desarrollo, expresada como la inversa de la duración del subperíodo, tuvo una fuerte correlación con el modelo lineal aditivo entre temperatura y fotoperíodo, con respuesta significativa a la temperatura ($P \leq 0,05$) en todas las fases y efecto significativo para el fotoperíodo sólo en el subperíodo fenológico E-F.

Cabe destacar que para determinar T_b para S-E, hubiese sido mucho más adecuado utilizar la temperatura del suelo, ya que es la que realmente afecta el proceso, y no la del aire. Se ha utilizado la del aire porque no se contaba con geotermómetros u otro tipo de sensores para medir la temperatura del suelo. Por otro lado, se considera que la otra variable que puede afectar el tiempo térmico que requiere el subperíodo S-E, la humedad del suelo, estuvo siempre en condiciones óptimas, cercanas a capacidad de campo, y que por lo tanto no frenó la tasa de desarrollo. La T_b encontrada en este estudio fue de 2,09°C (tabla 3) y resultó un poco más alta que la de 1,7°C publicada para el haba cv. Fiord, en trabajos realizados en el Sur de Australia.

Tabla 3. Subperíodos fenológicos del haba Alameda cuantificados por el modelo termal (modelo 1). Valores de los parámetros de regresión \pm error estándar (multiplicados por 10^{-4}), coeficiente de determinación (r^2) y la temperatura base (T_b) estimada.

Table 3. Phenological subperiods of faba bean Alameda quantified by the thermal model (model 1). Regression parameters \pm standard error (multiplied by 10^{-4}), coefficients of determination (r^2) and estimated base temperatures (T_b).

Subperíodo	a_1	b_1	r^2	T_b
S-E	-140,52** \pm 38,64	67,27*** \pm 3,50	0,96	2,09
E-F	-73,90** \pm 24,72	23,87*** \pm 1,95	0,90	2,83
F-V	-365,94 ^{NS} \pm 251,10	81,93*** \pm 16,88	0,93	4,47
V-M	-30,05 ^{NS} \pm 27,02	12,21** \pm 1,58	0,80	2,50

NS, *, **, ***: No significativo, significativo a $P \leq 0,05, 0,01$ y $0,001$, respectivamente
 S-E: siembra-emergencia
 E-F: emergencia-floración
 F-V: floración-formación de primera vaina
 V-MF: formación de primera vaina-madurez fisiológica

Para el subperíodo E-F se estimó la T_b en 2,8°C, cercana a los 2,5°C mencionada por Iannucci *et al.* (9), promedio de los cvs. Manfredini y Vesuvio. El subperíodo que tuvo mayor requerimiento térmico fue F-V, con una temperatura base de 4,47°C. El tiempo térmico ($TT = 1/b$) correspondiente a cada subperíodo fenológico fue de 148,6 grados-día (°C-d) para el subperíodo S-E; 418,9°C-d para E-F; 122,1 para F-V y de 819,6 para V-M, siendo la suma para el ciclo completo de 1509,2°C-d.

Qi *et al.* (12), trabajando con distintos cultivares de haba y diferentes temperaturas basales (variables entre -0,1 y 0,6°C) obtuvieron valores de TT para el subperíodo S-E, comprendidos entre 172 y 214°C-d. Mc Donald *et al.* (10) encontraron para el cv. Fiord que la suma térmica varió entre 534 y 889°C-d (T_b 1,7°C). Esto evidencia que los requerimientos de tiempo térmico para el desarrollo de Alameda son más bajos que los publicados para otros cultivares de haba.

Utilizando el programa RoDMod, que permite incorporar los modelos termal y fototermal en forma conjunta, sólo en el subperíodo E-F el ajuste mejoró respecto del modelo térmico (tabla 4, pág. 82). En los restantes subperíodos fenológicos es el modelo termal el que mejor ajuste presenta. Se puede observar que el parámetro c_2 es positivo, lo cual significa que d^{-1} aumentó a medida que se alargaba el fotoperíodo,

que es la respuesta esperada de una planta de día largo. Además, el parámetro c_2 fue mayor que el parámetro b_2 , lo cual indica que en este subperíodo fenológico la cultivar Alameda es más sensible al fotoperíodo que a la temperatura. Así, el modelo que logra el mejor ajuste para este subperíodo es el modelo 3, que comprende dos submodelos: a) cuando el fotoperíodo es mayor que el fotoperíodo crítico, d^{-1} depende sólo de la temperatura (modelo termal); b) cuando el fotoperíodo es menor que el fotoperíodo crítico, d^{-1} depende de la temperatura y del fotoperíodo (modelo fototermal).

El modelo 3 permite obtener un valor de F_c (Ec. 5, pág. 79) en condiciones experimentales, que en este estudio alcanzó las 16,2 h y depende de la temperatura, observándose un aumento de 35 minutos por cada grado de aumento de la temperatura.

Tabla 4. Parámetros \pm EE [error estándar] ($\times 10^{-4}$) del modelo 3 que describen la tasa de progreso del subperíodo emergencia a floración (d^{-1}) de Alameda en función de la temperatura promedio (T) y del fotoperíodo promedio (F).

Table 4. Parameters of model 3 \pm SE [standard error] ($\times 10^{-4}$), which describes the rate of progress of the emergence-flowering phenological subperiod (d^{-1}) of Alameda based on the average temperature (T) and the average photoperiod (F).

Condición	$F > F_c$	$F < F_c$
Submodelo	$d^{-1} = a_1 + b_1 \cdot T$	$d^{-1} = a_2 + b_2 \cdot T + c_2 \cdot F$
Parámetros	$a_1 = -68,09 \pm 22,75^*$; $b_1 = 24,06 \pm 1,72^{***}$; $a_2 = -541,61 \pm 65,64^*$; $b_2 = 5,72 \pm 1,367^{***}$; $c_2 = 53,00 \pm 6,83^{***}$; $R^2 = 0,96$	
	$F_c = ((-68,09 + 541,61) + (24,06 - 5,72) T) / 53,00$	

NS, *, **, ***: No significativo, significativo a $P \leq 0,05$, $0,01$ y $0,001$ respectivamente
Si F es mayor que el fotoperíodo crítico (F_c), d^{-1} depende sólo de T (modelo termal). Si F es menor que F_c , d^{-1} depende de la temperatura y del fotoperíodo (modelo fototermal).
If F is greater than the critical photoperiod (F_c), d^{-1} depends only on T (thermal model). If F is smaller than F_c , d^{-1} depends on the temperature and photoperiod (photothermal model).

En este estudio el valor hallado de F_c es cercano al de 16 h publicado por Ellis *et al.* (5) para el cv Maris Bead.

El modelo 4 permite obtener el parámetro a_3 (Ec. 3, pág. 79) ($0,0028033 \text{ h}^{-1}$) y por lo tanto estimar el F_b (Ec. 4, pág. 79), que toma valores de 6,9 h. La obtención de un valor pequeño para el parámetro a_3 indica que este cultivar de haba presenta una respuesta facultativa o cuantitativa al fotoperíodo. Es decir, que la floración no es totalmente inhibida a fotoperíodos extremos (muy cortos); ocurre, pero se demora mucho tiempo. En el cv. Maris Bead, Ellis *et al.* (6) hallaron valores de 7,5 h de F_b .

CONCLUSIÓN

Por medio de esta metodología simple se pudo parametrizar las fases fenológicas del cultivo de haba Alameda creciendo en condiciones de campo. Sólo el subperíodo fenológico Emergencia-Floración aparece como sensible a la temperatura y al fotoperíodo; las restantes fases responden únicamente al efecto de la temperatura. Los valores de temperaturas basales variaron entre 2,09 y 4,47°C, dependiendo del subperíodo fenológico. El fotoperíodo base resultó de 6,9 h mientras el fotoperíodo crítico hallado para este cultivar fue de 16,2 h.

LITERATURA CITADA

1. Aitken, Y. 1974. Flowering time, climate and genotype. Melbourne University Press. Melbourne, Australia. 193 p.
2. Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper n° 56. FAO, Roma, Italia. 300 p.
3. Cubero, J. I. 1974. On the evolution of *Vicia faba* L. Theor. Appl. Genet. 45: 47-51.
4. De Wit, C. T. 1970. Photosynthesis of leaf canopies. Verslagen van landbouw kundige Onderzoekingen (Agricultural Research Report) 663. Pudoc, Wageningen. 57 p.
5. Ellis, R. H.; Roberts, E. H.; Summerfield, R. J. 1988. Variation in the optimum temperature for rates of seedling emergence and progress towards flowering amongst six genotypes of faba bean (*Vicia faba*). Annals of Botany 62: 119-126.
6. _____; Summerfield, R. J.; Roberts, E. H. 1990. Flowering in Faba Bean: Genotypic differences in photoperiod sensitivity, Similarities in temperature sensitivity, and implications for screening germplasm. Annals of Botany 65: 129-138.
7. Fehr, W. R.; Caviness, C. E.; Burmood, D. T.; Pennington, J. S. 1971. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. Crop Science 11: 929-931.
8. Hadley, P.; Summerfield, R. J.; Roberts, E. H. 1983. Effects of temperature and photoperiod on reproductive development of selected grain legume crops. p. 19-41. In: Temperate legumes: The physiology, genetics and nodulation. Davies, D. R.; Jones, D. G. (eds). London: Pitman Publishing Ltd. UK.
9. Iannucci, A.; Terribile, M.; Martiniello, P. 2008. Effects of temperature and photoperiod on flowering time of forage legumes in a Mediterranean environment. Field Crops Research 106: 156-162.
10. Mc Donald, G. K.; Adisarwant, O. T.; Knight, R. 1994. Effect of time of sowing on flowering in faba bean (*Vicia faba*). Australian Journal of Experimental Agriculture, CSIRO Publishing, Australia. 34: 395- 400.
11. Monteith, J. L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B. 281: 227-294.
12. Qi, A.; Wheeler, T. R.; Keatinge, J. D. H.; Ellis, R. H.; Summerfield, R. J.; Craufurd, P. Q. 1999. Modelling the effects of temperature on the rates of seedling emergence and leaf appearance in legume cover crops. Experimental Agriculture, Cambridge. 35: 327-344.
13. Roberts, E. H.; Summerfield, R. J. 1987. Measurement and prediction of flowering manual crops. p. 17-50. In: Manipulation of flowering. Atherton, J. G. (ed.). Butterworths, London.
14. _____; Summerfield, R. J.; Ellis, R. H.; Craufurd, P. Q.; Wheeler, T. R. 1998. The induction of flowering. p. 69-100. In: The physiology of vegetable crops. Wein, H. C. (ed). CAB International, Wallingford, U.K.

15. Ruiz-Ramos, M.; Minguez, M. I. 2006. ALAMEDA, A structural-functional model for faba-bean crops: morphological parametrisation and verification. *Annals of Botany*. 97: 377-388.
16. Summerfield, R. J.; Roberts, E. H. 1985. Recent trends in internationally oriented research on grain legumes. p.801-846. In: *Grain Legume Crops*. Summerfield, R. J.; Roberts, E. H. (eds.). Collins, London.
17. _____; Roberts, E. H.; Ellis, R. H.; Lawn, R. J. 1991. Towards the reliable prediction of time to flowering in six annual crops. I. The development of simple models for fluctuating field environments. *Experimental Agriculture*, Cambridge. 27: 11-31.
18. _____;Lawn, R. J.; Qi, A.; Ellis, R. H.; Roberts, E. H.; Chay, P. M.; Brouwer, J. B.; Rose, J. L.; Shanmugasundaram, S.; Yeates, S. J.; Sandover, S. 1993. Towards the reliable prediction of time to flowering in six annual crops. II. Soyabean (*Glycine max*). *Experimental Agriculture*, Cambridge. 29: 253-289.
19. USDA-SMSS. 1994. Keys to soil taxonomy. Washington: Department of Agriculture. Soil Management Support Services, Washington, USA. 442 p. (Tech monograph, 19).
20. Wang, J. Y. 1960. A critique of the heat unit approach to plant response studies. *Ecology*, Durham 41: 785-790.
21. Watkinson, A. R.; Lawn, R. J.; Ellis, R. H.; Qi, A.; Summerfield, R. J. 1994. RoDMod. A computer program for characterizing genotypic variation in flowering responses to photoperiod and temperature. CSIRO, Division of Tropical Crops & Pastures, St. Lucia, Queensland, Australia. 49 p.