

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL



Control de la maduración del kiwi (*Actinidia deliciosa*)

TRABAJO FIN DE GRADO

ALUMNO/A: Alba Segura Martínez

TUTOR/A: Carmina Reig Valor

COTUTOR/A: Manuel Agustí Fonfría

Curso Académico: 2014/2015

VALENCIA, 1 de septiembre de 2015

TÍTULO: El control de la maduración del kiwi (*Actinidia deliciosa*)

RESUMEN:

El kiwi (*Actinidia deliciosa*) es una especie originaria de China introducida recientemente en Europa. Su vida poscosecha tiene gran importancia económica ya que hace posible la comercialización escalonada de los frutos mucho tiempo después de su recolección. Por ello, es interesante el uso de técnicas que permitan controlar la maduración de este fruto en condiciones pre y poscosecha con el fin de prolongar su periodo de comercialización.

El objetivo de este trabajo fue adelantar y retrasar el proceso de maduración de dos cultivares de kiwi, 'Hayward' y 'Summerkiwi', mediante tratamientos al árbol completo y a los frutos recién recolectados. Para ello, los frutos de ambos cultivares se sometieron a un choque térmico, manteniéndose durante 10 días en una cámara fría a 4°C y posteriormente a temperatura ambiente. En otro experimento paralelo, los frutos del cv. Hayward y del cv. Summerkiwi permanecieron en la cámara fría 7 y 14 días, respectivamente, tratándose con etephon (ácido 2-cloroetilfosfónico), ácido giberélico (GA₃) y nitrato cálcico (Ca₂NO₃) inmediatamente después de la salida de la cámara y una semana después. En ambos casos se dejaron frutos sin tratar como control.

A todos ellos periódicamente se les midió la producción de etileno y CO₂, así como la evolución de los parámetros de madurez interna (° Brix, acidez libre y firmeza) hasta el comienzo de su senescencia.

Los resultados indicaron que este fruto requiere un cambio brusco de temperatura tras la recolección para iniciar la síntesis de etileno y que éste es necesario para la respuesta a las aplicaciones hormonales. Aunque los tratamientos consiguieron alterar la síntesis de etileno no modificaron las características de madurez interna ni consiguieron adelantar o retrasar su maduración. A pesar de ello, la respuesta a las aplicaciones hormonales se vio afectada por el tiempo de permanencia del fruto a bajas temperaturas, mostrándose más sensible el cv. Summerkiwi.

Palabras clave: *Actinidia deliciosa*, Poscosecha, Etephon, Ácido giberélico, Nitrato cálcico

ABSTRACT:

Kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) is a species of China recently introduced in Europe. Postharvest life has great economic importance as it makes possible the orderly marketing of fruit long time after collection. Therefore, some techniques are very important to control this fruit ripening in preharvest and post-harvest conditions in order to prolong its commercialization period.

The objective of this study was to control the ripening mechanism of two cultivars of kiwifruit, 'Hayward' and 'Summerkiwi', with hormonal treatments directly to the tree and to the freshly harvested fruits. Both cultivars were subjected to a thermal shock, remaining for 10 days in a cold room at 4°C and later at room temperature. In another experiment, 'Hayward' and 'Summerkiwi' fruits remained in the cold room 7 and 14 days, respectively, being treated immediately after and one week later by etephon (2-chloroethylphosphonic acid), gibberellic acid (GA₃) and calcium nitrate (Ca₂NO₃). In both cases, untreated fruits remained as control.

Ethylene production and CO₂ production were frequently measured until the beginning of senescence. The evolution of the internal maturity parameters (°Brix, acidity and firmness) were also measured

The results indicate this harvested fruit requires an abrupt temperature change to initiate ethylene synthesis and, thus, it is necessary for a hormonal response. Although treatments were able to alter the ethylene synthesis, the inner maturity characteristics did not change neither advance or delay maturation. However, hormonal response was affected by the time fruit remained at low temperatures conditions, being 'Summerkiwi' more sensitive.

Key words: *Actinidia deliciosa*, Postharvest, Etephon, Gibberellic acid, Calcium nitrate

ALUMNO/A: Alba Segura Martínez

TUTOR/A: Carmina Reig Valor

COTUTOR/A: Manuel Agustí Fonfría

VALENCIA, septiembre de 2015

A Carmina y a Manolo,

por guiarme en ésta última etapa.

A Amparo y al resto de compañeros del IAM.

A Natalia y a Helena, por sus consejos y apoyo moral.

A Belén y la Cooperativa de Lliria, por su disponibilidad.

A mis padres y mi familia, que siempre han confiado en mí.

A mis amigos, por interesarse por mis kiwis.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1. Importancia del kiwi.....	1
2. Descripción botánica.....	1
3. Ciclo vegetativo	3
4. La floración.....	3
5. Influencia del medio.....	4
6. La fecundación	4
7. El desarrollo del fruto.....	4
8. Maduración	5
9. El caso del kiwi	6
10. Tratamientos para acelerar la maduración.....	6
11. Tratamientos para retrasar la recolección.....	7
11.1. Aplicación de ácido giberélico.....	7
11.2. Nitrato de calcio	7
11.3. 1-MCP.....	7
OBJETIVOS	8
MATERIAL Y MÉTODOS	9
1. Material vegetal	9
2. 1. Influencia de la baja temperatura en la maduración poscosecha del kiwi.	9
2. 2. Influencia de la baja temperatura y de la aplicación de Etephon, Ácido giberélico y Nitrato cálcico en la maduración poscosecha del kiwi.	10
3. Análisis estadístico.	10
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
1. Influencia de la aplicación de ethephon al árbol en la maduración del kiwi.....	11
2. Influencia de la temperatura en la maduración poscosecha del kiwi.....	11
3. Influencia de la temperatura y de la aplicación poscosecha de Etephon en la maduración del kiwi.	13
4. Influencia de la temperatura y de la aplicación poscosecha de Etephon, Ácido Giberélico y Nitrato Cálcico, en la maduración del kiwi.....	16
CONCLUSIONES	19
BIBLIOGRAFÍA	20

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Evolución de la concentración de sólidos solubles totales (SST) y la acidez libre de los frutos de kiwi cvs. Hayward y Summerkiwi tras su recolección. 12

Tabla 2. Influencia de la aplicación poscosecha de ethephon (35 mg/l) a la salida de los frutos de la cámara fría de dos cvs. de kiwi, Hayward y Summerkiwi, en las características de su madurez interna..... 15

Tabla 3. Influencia de la aplicación poscosecha de ethephon (35 mg/l), Ácido Giberélico (25 mg/l) y Nitrato de Calcio (2%) una semana después de la salida de los frutos de la cámara fría de dos cvs. de kiwi, Hayward y Summerkiwi, en las características de su madurez interna..... 18

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo vegetativo del kiwi en condiciones de Clima Mediterráneo	3
Figura 2. Evolución de la concentración de etileno (A) y de CO ₂ (B) en los cvs. Hayward y Summerkiwi desde el momento de la recolección hasta el comienzo de la senescencia.....	11
Figura 3. Evolución de la concentración de etileno (A) y de CO ₂ (B) en el cv. Hayward desde el momento de la recolección hasta el comienzo de la senescencia	13
Figura 4. Evolución de la concentración de etileno (A) y de CO ₂ (B) en el cv. Summerkiwi desde el momento de la recolección hasta el comienzo de la senescencia.....	14
Figura 5. Evolución de la concentración de etileno (A) y de CO ₂ (B) en el cv. Hayward desde el momento de la recolección hasta el comienzo de la senescencia	16
Figura 6. Evolución de la concentración de etileno (A) y de CO ₂ (B) en el cv. Summerkiwi desde el momento de la recolección hasta el comienzo de la senescencia.....	17

INTRODUCCIÓN

1. Importancia del kiwi

El kiwi (*Actinidia deliciosa* Liang and Ferguson), anteriormente conocido como *Chinese gooseberry*, se originó en el Valle del río Yangtse, en China, a principios del siglo XIX. Desde allí, fue introducido en Nueva Zelanda, en 1906, donde se adaptó perfectamente y empezó a cultivarse hasta convertirse en una fuente importante de riqueza, comenzando a exportarse sus frutos en 1953. Nueva Zelanda es, actualmente, uno de los principales productores del mundo.

El término “Kiwi” le fue otorgado en Nueva Zelanda debido al aspecto de su piel, parecido al plumaje del ave Kiwi autóctona del país, que, por otra parte se alimentan de esos frutos. En los Estados Unidos se empezó a cultivar comercialmente alrededor de 1960. Francia e Italia, en 1967 y 1971, respectivamente, fueron los primeros países europeos que iniciaron el cultivo de la Actinidia, introduciéndose en 1972 en España, adquiriendo cierta importancia a partir de 1980 en Galicia y Cantabria.

Las variedades más importantes a nivel mundial son ‘Bruno’, ‘Abott’ y ‘Hayward’. El cv. Hayward se ha convertido en la principal variedad comercial del mundo. La superficie mundial de kiwi se estima en 75.000 ha, con una producción aproximada de $1,3 \times 10^3$ t, sin incluir a China, donde toda producción se destina al mercado interno. Los países más importantes en la producción de kiwi son Italia, Nueva Zelanda, Chile, Estados Unidos, Francia y Japón. Estos países representan, aproximadamente, el 90% de la producción mundial mostrando así una importante concentración de la producción.

En España, la producción del kiwi ocupa una superficie de cultivo de más de 1.040 ha concentradas en el norte de la península. La principal productora es Galicia, con casi la mitad de la producción española, seguida de Asturias, País Vasco y Cataluña. También destaca la presencia de este cultivo en otras comunidades autónomas como Extremadura o Comunidad Valenciana, esta última con una superficie de 45 ha. La casi totalidad de la producción española tiene como destino el mercado interior (Martínez Edo, 2008).

2. Descripción botánica

El kiwi, *A. deliciosa*, pertenece al orden Theales, familia Actinidiaceae, subfamilia Dilleniidae. El género Actinidia, cuyo nombre deriva del griego *atkis* (radio) es originario del Este de Asia. Está compuesto por 76 especies y alrededor de 120 taxones. Los miembros más importantes, desde el punto de vista económico, son: *A. deliciosa* var. *deliciosa* y *A. chinensis*. (Rafols, 2000).

Es una planta de comportamiento arbustivo que permite el desarrollo de varios botes o sarmientos a partir de la base del pie. Cuando estos brotes vigorosos y flexibles se dirigen sobre un tutor dan lugar a un tronco que puede alcanzar una altura de hasta 9 metros. Cuando se deja que crezcan libremente, la planta sigue manteniendo un aspecto arbustivo y ramificado (Martínez Edo, 2008). Consta de tallos leñosos, por la parte inferior, y más tiernos y volubles, por la superior. La poda de formación tiene como objetivo darle estructura a la planta: un tronco y uno o dos brazos laterales. La poda de fructificación se realiza en

invierno, dejando de 2 a 3 ramas laterales bien desarrolladas. La poda pre-florar se justifica como el medio más eficaz para combatir las rupturas por acción del viento. Se comienza la poda cuando los brotes alcanzan los 20 cm de largo, dejando dos hojas en el caso de no tener flores y una hoja después de la última flor en el caso de ramas mixtas. El aclareo de frutos se puede hacer hasta un mes después de la floración, retirando los frutos deformados, mal polinizados y aquellos que están en número excesivo (Salinero y Martino, 1997). Los brotes tienen un crecimiento rápido. Los entrenudos tienen longitud variable entre 4-5 cm y 15-20 cm los más vigorosos y verticales. Los brotes jóvenes son muy vellosos y suelen presentar una tonalidad rojiza. Poseen un carácter trepador y se enroscan en forma de muelle cuando crecen débiles mientras que en unas condiciones de crecimiento favorables se desarrollan rectos, pudiendo alcanzar crecimientos anuales superiores a 3 metros. El tallo puede alcanzar entre 20 y 30 cm de diámetro en estado adulto.

Las raíces son relativamente gruesas y muy ramificadas. De color rosado, cuando proceden de semilla, y finas y de color marrón oscuro, cuando su origen es clonal. El sistema radicular de la *Actinidia* es escaso. Además, tiene importantes necesidades de oxigenación, por lo que no toleran suelos asfixiantes y por ello colonizan tan solo las capas superficiales del suelo.

Las hojas son caducas, acorazonadas, alternas y con un peciolo largo que puede medir hasta 20 cm, aunque existen diferencias entre especies. Tiene un limbo grande. Son de color verde intenso en el haz y verde claro y tomentoso en el envés.

Las yemas axilares son relativamente grandes y tomentosas, pueden ser mixtas o de madera. También estipulares, en la base del sarmiento o de reemplazo, situadas junto a la terminal a la que pueden sustituir en caso de que esta no se desarrolle. Posee, además, yemas latentes que aparecen en el tronco a partir de callos y heridas.

Esta especie produce en madera del año (Martínez, 2008). Las flores son simples o se organizan en grupos de tres en las axilas de las hojas. Se encuentran sobre pedúnculos generalmente largos. Constan de 5 ó 6 pétalos blancos al principio, que al abrirse toman una coloración amarilla o beige. El ovario es súpero, plurilocular y de simetría radial. Aunque la flor femenina tiene estilos, filamentos y anteras, la autopolinización no es posible ya que los estambres de las flores femeninas producen polen estéril, por lo que se hace necesario poner plantas masculinas para garantizar la polinización. En esta especie, la intensidad de floración depende, en gran medida, del desarrollo, ya que un sombreado elevado reduce la floración de la primavera siguiente (Morley-Bunker y Lyford, 1999).

El fruto es una baya de forma oval, de 6 a 7 cm de longitud, aunque varía entre especies. Posee un exocarpo marrón, sin brillo, tomentoso. Su mesocarpo es de color verde esmeralda o amarillo, y alberga en su posición interna cientos de semillas negras dispuestas en torno a la columela, blanquecina. Es rico en sustancias naturales antioxidantes, particularmente en vitamina C. Es rico en luteína y fibra soluble. Además, también tiene un alto contenido en cobre, potasio, magnesio, ácido fólico y vitamina E (Salinero y Martino, 1997).

3. Ciclo vegetativo

El Kiwi inicia su ciclo vegetativo en primavera cuando brota e inicia la diferenciación de sus yemas. En mayo, aproximadamente, y en las condiciones de Clima Mediterráneo se inicia la floración en el HN, que se prolonga hasta un mes, cuando cuajan las flores, desarrollándose los frutos durante el verano y hasta bien entrado el otoño, alcanzan las características adecuadas para su recolección (Fig. 1).



Figura. 1. Ciclo vegetativo del kiwi en condiciones de Clima Mediterráneo

4. La floración

El Kiwi es una especie dioica. En la flor femenina, la receptividad del estigma es de 7 días, mientras que en la flor masculina el polen es fértil durante 2-3 días. Los individuos macho producen grandes cantidades de flores que se abren sucesivamente durante dos o tres semanas, pero la capacidad de polinización es variable con los cultivares, de modo que antes de realizar una plantación es necesario comprobar cuál es el que proporciona mayor solapamiento en floración con el que se quiere cultivar.

La inducción floral en esta especie ocurre a mediados o finales de verano. Altos niveles de radiación solar, junto con un buen estado fitosanitario y una nutrición mineral adecuada favorecen la formación de las flores. La diferenciación floral tiene lugar durante las últimas fases de la latencia y el inicio de la brotación (Morley-Bunker y Lyford, 1999).

5. Influencia del medio

Esta especie exige suelos profundos, franco-arenosos, permeables, subácidos y ricos en materia orgánica, y es muy sensible al encharcamiento del suelo, es decir, a la asfixia radicular. También es sensible a la caliza activa, de modo que en los casos de suelos ricos en caliza activa o con $\text{pH} > 7,5$ requiere el uso de quelatos para su correcta nutrición mineral. Es una planta muy exigente en nitrógeno, potasio y calcio.

Es en gran medida dependiente de la temperatura, de modo que la falta de frío invernal provoca un retraso en la floración y un menor número de flores por brote. Asimismo, grandes fluctuaciones de temperatura durante el periodo de floración también pueden provocar la abscisión de gran número de flores.

El exceso de viento, condiciones de sequedad o excesiva humedad en periodo de floración reducen severamente el rendimiento del cultivo (Morley-Bunker y Lyford, 1999).

6. La fecundación

En esta especie la polinización anemófila es muy poco importante, probablemente porque el pedúnculo de sus flores tiene tendencia a inclinarse y decaer mostrándose las flores hacia el suelo. La polinización es, por tanto, mayoritariamente entomófila, siendo la abeja (*Apis mellifera*, Himenopterae) el agente más importante, recomendándose 1 planta macho por cada 8 plantas hembra y el uso de 5/10 colmenas por ha para una correcta polinización.

Cuando la polinización entomófila también se muestra ineficaz o en los casos en que ésta no es posible, se recurre a la polinización manual o mecanizada. La mezcla de polen con un agente de espolvoreo, en proporción 1:5 se utiliza con este fin. En el caso de la polinización manual, ésta se lleva a cabo con un pincel, polinizando una a una las flores. En el caso de la polinización mecanizada, se utiliza un dispositivo con varias salidas del polvo-mezcla conectado a la toma de fuerza de un pequeño tractor. En ocasiones también se utiliza el polen suspendido en agua, y en estos casos la distribución se realiza con un turboatomizador (Morley-Bunker y Lyford, 1999).

7. El desarrollo del fruto

En general, el fruto del kiwi manifiesta un patrón de crecimiento que se puede asociar a un modelo de curva doble sigmoidea, aunque algunos autores (Pratt y Reid, 1974) señalan el posible ajuste a un modelo de una curva triple sigmoidea.

La fase de crecimiento de crecimiento del fruto dura, aproximadamente, 160-180 días desde la antesis hasta que la baya alcanza su máximo tamaño (Gallego y Zarra, 1997; Sozzi, 2007a). Así, después de la polinización tiene lugar una primera fase de crecimiento rápido y de ganancia de peso por división celular, seguida de un agrandamiento celular que dura, aproximadamente, 8-10 semanas, durante el cual el fruto alcanza más de la mitad del volumen final. La segunda fase, de unas 3 semanas de duración, tiene un crecimiento más lento debido a la limitada expansión celular. Finalmente tiene lugar la tercera fase del crecimiento, más lenta, de 7 o más semanas de duración, variable con los cultivares, la zona de producción y las condiciones meteorológicas.

Al alcanzar la madurez fisiológica, el fruto puede continuar su crecimiento con una ligera expansión celular, que no ocurre si se le recolecta. El fruto resulta sumamente firme

durante las primeras fases de su desarrollo, pero la firmeza comienza a disminuir lentamente durante la última fase, una vez alcanzada la madurez fisiológica, para luego producirse un ablandamiento acelerado y otro más lento a posteriori (Ilina, 2003).

Superada la maduración, el fruto inicia el proceso de decrepitud que conduce a su muerte. Este comporta una pérdida continuada de consistencia, provocada por la hidrólisis de pectinas. Con ello facilita su ingestión por los animales y la diseminación de sus semillas (Agustí, 2010).

8. Maduración

La maduración de los frutos lleva asociado un conjunto de cambios externos, de sabor, de aroma y de textura que experimenta cuando completa su crecimiento y que le confieren características propias para una especie determinada. En esta fase del desarrollo los frutos se encuentran sometidos a una serie de modificaciones fisiológicas y bioquímicas como la conversión de almidón en azúcares solubles, biosíntesis y acumulación de nuevos pigmentos, biosíntesis de compuestos volátiles aromáticos, además de cambios en la estructura de la pared celular y de su metabolismo, lo que se traduce en una pérdida de su firmeza. Superada esta fase, el fruto pierde su turgencia, aumenta su sensibilidad a las condiciones del medio, pierde el control metabólico e inicia su senescencia. Esta puede ser pospuesta, tanto antes como después de la recolección, pero el fruto, como todo órgano vivo, es mortal, aunque sus semillas, si las posee, sobreviven y perpetúan la especie.

A lo largo de la maduración se diferencian dos clases distintas de madurez: la madurez fisiológica y la madurez organoléptica o de consumo. La madurez fisiológica es el estado de desarrollo del fruto en el que alcanza el sabor, aroma y otras cualidades propias. Los frutos solo llegan a la madurez fisiológica cuando están en la planta, de modo que no se deben cosechar antes, al menos, de que ésta se inicie. Por otro lado, la madurez organoléptica se define como el estado de desarrollo de un fruto cuando ya tiene las cualidades que lo vuelven deseable para su consumo, como el color, textura, aroma y sabor (Ilina, 2003).

El proceso de maduración varía con los frutos. Así, pomos, drupas y bayas, por ejemplo, modifican profundamente las características de su pericarpo, mientras que en las núculas, folículos y algunas legumbres y drupas, es el mesocarpo o las semillas lo que se modifica. Pero a los efectos del proceso de maduración es posible agruparlos en dos grandes grupos, según su comportamiento fisiológico. Unos acumulan almidón durante su crecimiento y en la maduración lo hidrolizan hasta monosacáridos. Como éste y otros procesos ligados a la maduración exigen una gran cantidad de energía, en estos frutos la maduración se caracteriza por un aumento de la respiración. Otros acumulan directamente monosacáridos durante su crecimiento y, por tanto, durante la maduración no experimentan incrementos significativos de su tasa respiratoria. Los del primer grupo se denominan frutos climatéricos, y los del segundo son frutos no climatéricos.

Pero lo que distingue realmente a los frutos climatéricos de los no-climatéricos es la capacidad de los primeros para sintetizar etileno, de modo que es esta hormona la responsable del proceso de maduración y, a su vez, de promover la expresión de los genes ACS y ACO (que codifican para la síntesis de los enzimas ACC sintasa y ACC oxidasa, respectivamente) y, por tanto, su propia síntesis. Este proceso recibe el nombre de autocatálisis de etileno (Yang *et al.*, 2007). En general, la producción autocatalítica de etileno está asociada al aumento de la tasa respiratoria del fruto (Alexander y Grierson, 2002; Sozzi, 2007b).

9. El caso del kiwi

Durante la maduración de los frutos climatéricos se produce la acumulación masiva, entre el 30% y el 50%, de azúcares monosacáridos, glucosa y fructosa, y disacáridos, sacarosa. Algunos frutos poseen, también, sorbitol, un azúcar-alcohol. Todos ellos en su conjunto reciben el nombre genérico de sólidos solubles totales. En el kiwi su concentración varía entre el 7-10% y representan, finalmente, entre el 1,5% y el 5% del peso total del fruto. En contraposición, la concentración de ácidos acumulados durante el desarrollo desciende con el avance de la maduración. Ello es consecuencia de su dilución, provocada por la acumulación de agua, y de su metabolización (respiración). Los ácidos más frecuentes de los frutos climatéricos son el ácido málico, en el caso de la manzana y la pera, y el ácido cítrico, en el caso de los cítricos y el kiwi.

A 20°C, el kiwi manifiesta el comportamiento de un fruto climatérico, con un aumento en la producción de etileno acompañado por un incremento de la tasa respiratoria. No obstante, la maduración del kiwi, difiere marcadamente de la de cualquier otro fruto climatérico ya que, en condiciones de conservación entre 0 y 10°C, manifiesta un comportamiento no-climatérico (Antunes *et al.*, 2000), ablandándose en gran medida en ausencia de aumentos significativos en la biosíntesis autocatalítica de etileno. En la mayoría de los frutos climatéricos, el pico de producción de etileno suele subdividir la etapa final de desarrollo del fruto en un periodo llamado “pre-climaterio” (pico de etileno), en el que se pone de manifiesto cierto crecimiento celular sin producirse aún pérdidas significativas de firmeza, y en otros periodos posteriores caracterizados por un ablandamiento superficial del fruto. En cambio, el kiwi no alcanza el climaterio hasta muy avanzada la etapa de ablandamiento (Iliina, 2003). Sin embargo, la exposición del kiwi a bajas temperaturas de entre 0 y 10°C durante 12 o más días provoca un avance en el pico de biosíntesis de etileno y, por tanto, la maduración.

Finalmente, el cambio de color, que es, asimismo, un proceso característico de la maduración de la mayor parte de los frutos, no se da en el kiwi ya que su exocarpo, como se ha dicho más arriba, es tomentoso y no cambia de color con la maduración. Por ello, los principales índices de madurez del fruto son la firmeza y la concentración de sólidos solubles. En la práctica comercial, el kiwi debe cosecharse con un contenido de sólidos solubles mayor a 6,5% (Paterson *et al.*, 1991; MacRae y Redgwell, 1992).

10. Tratamientos para acelerar la maduración

Todos los frutos, climatéricos o no climatéricos, responden a la presencia endógena o a la aplicación exógena de etileno (Agustí, 2010).

La aplicación de etileno, en forma de gas o como compuestos liberadores del mismo, consigue anticipar la maduración de los frutos climatéricos. En los frutos climatéricos la maduración propiamente dicha no se altera por su aplicación, pero el exocarpo suele cambiar de color ya que este gas degrada las clorofilas y promueve la síntesis de carotenoides (Agustí, 2003).

El etileno se utiliza con éxito en poscosecha para eliminar el color verde de naranjas y mandarinas (Agustí, 2003), y para acelerar la maduración del caqui (Agustí, 2010)

El etephon (ácido 2-cloroetilfosfónico, un liberador de etileno), se utiliza en precosecha, de modo que cuando el fruto inicia el climaterio su aplicación acelera la maduración del fruto en el árbol. Se ha utilizado en el caqui (Agustí, 2010), en el melocotonero (Agustí *et al.*, 1998) y otros frutales de hueso (Agustí *et al.*, 1997). En los cítricos, frutos no-climatéricos, el etephon aplicado al árbol completo acelera la pérdida de clorofilas del flavedo permitiendo anticipar la recolección de variedades precoces (Agustí, 2003).

11. Tratamientos para retrasar la recolección

11.1. Aplicación de ácido giberélico

El papel de las giberelinas es utilizado agronómicamente para retardar su coloración, sobre todo en los cítricos. Ello se logra con la aplicación de ácido giberélico (GA₃). Los frutos tratados, sin embargo, no modifican su coloración interna, lo que ratifica que ésta y la coloración de la corteza son procesos independientes (García-Luis *et al.*, 1985). En caqui, aplicado dos semanas antes de la cosecha retrasa la maduración y el cambio de color del fruto además de reducir la tasa de ablandamiento dependiendo de la concentración de producto aplicada (Agustí *et al.*, 2003).

11.2. Nitrato de calcio

En citricultura, también se emplean algunos elementos minerales para retardar la maduración, como los compuestos nitrogenados. (Agustí y Almela, 1991). Estos compuestos, además, potencian la acción del ácido giberélico en el control de la coloración y senescencia del fruto (Agustí, 2003). En el caqui, un fruto climatérico, la aplicación de nitrato de calcio antes del momento de cambio de color también retarda la coloración y el climaterio, retardando la recolección, al mismo tiempo que tarda el ablandamiento del fruto, que mejora su calidad poscosecha (Agustí *et. al*, 2003).

La eficacia de estos tratamientos depende críticamente del momento de su aplicación, debiéndose anticipar cambio de color.

11.3. 1-MCP

El 1-MCP (1-metilciclopropeno), un inhibidor de la acción del etileno, se utiliza para retardar la maduración de los frutos climatéricos tras su recolección. Esta sustancia es un gas inodoro, estable a temperatura ambiente, activo a muy bajas concentraciones y no tóxico (Iliina, 2003). Su acción está basada en el reconocimiento de los receptores de etileno, a los que ocupa antes de que lo haga el etileno, impidiendo de este modo su acción y todos los procesos que de él dependen, como el cambio de color, el reblandecimiento de los tejidos, etc. La maduración posterior de los frutos tratados con 1-MCP se produce, presuntamente, por la capacidad de los tejidos vivos para sintetizar nuevos receptores de etileno en sus membranas, que al no estar ocupados por 1-MCP el etileno puede, eventualmente, unirse a ellos de forma reversible y desarrollar su función, desencadenando la cascada de señales conducente a la maduración (Sozzi, 2007b).

OBJETIVOS

De acuerdo con todo ello, el objetivo de este trabajo es utilizar sustancias que se han mostrado eficaces para controlar la maduración de frutos climatéricos, como el ethephon, el ácido giberélico y el nitrato cálcico, con el fin de estudiar su eficacia en la maduración poscosecha del kiwi.

MATERIAL Y MÉTODOS

1. Material vegetal

Los experimentos se realizaron en plantas de kiwi (*Actinidia deliciosa*) cvs. Summerkiwi y Hayward, de 4 años de edad en plena producción y perfectas condiciones fitosanitarias, localizadas en una parcela experimental de 0,6 ha de la Cooperativa Agraria de Liria, (Valencia, España, 39º 43' 4.7" N; 0º 42' 1.88" W).

Los polinizadores utilizados fueron 'Summerfaenza' y 'Tomuri', respectivamente, con una distribución machos:hembras de 1:8. Las plantas, con un marco de plantación de 5 x 2,5 m, estaban bajo malla, formadas en T-bar y con riego localizado y fertirrigación.

2. 1. Influencia de la baja temperatura en la maduración poscosecha del kiwi.

Se escogieron al azar 4 frutos de cada cultivar cuyas condiciones iniciales en el campo fueron de 6-7ºBrix y 25.5 ºC que se cerraron herméticamente en el momento de la recolección para su posterior análisis de etileno y CO₂. Tras el análisis se guardaron en una cámara a 10ºC durante 10 días y se repitió dicho análisis. Posteriormente se mantuvieron los frutos a temperatura ambiente (23-25ºC) y periódicamente se les midió la concentración de etileno y CO₂, así como los parámetros de maduración (ºBrix, acidez libre, firmeza y color).

La producción de etileno se determinó a partir de frutos enteros mediante cromatografía de gases. Durante la fase de maduración se tomaron cada 3-4 días 2 ó 3 frutos de cada tratamiento. Los frutos se mantenían en envases de vidrio de 1 l cerrados herméticamente durante dos horas aproximadamente. Una vez transcurrido ese tiempo, se extrajeron tres alícuotas de 1 ml de aire y se inyectaron en un cromatógrafo de gases (Trace GC ultra Thermo) con detector de ionizador de llama, dotado de una columna de alúmina de acero inoxidable de 2 m de longitud y 2 mm de diámetro interno.

La temperatura de la columna, del inyector y del detector fue de 140ºC, 160ºC y 180ºC respectivamente. La concentración de etileno en cada muestra se calculó por comparación a partir de un patrón de etileno de concentración 1mg/l. Se utilizó nitrógeno como gas portador a un flujo de 45ml/min.

La producción de CO₂ se determinó a partir de los mismos frutos utilizados para la medición de etileno, modificando las condiciones del cromatógrafo. Se empleó un cromatógrafo de gases dotado de un detector de conductividad térmica. El patrón con el que se comparan las medidas obtenidas contenía una concentración de 0.5 mg/l de CO₂.

La firmeza se determinó con un penetrómetro ET-327 (Fachini, Italia) utilizando una varilla de 0.8 mm de diámetro. Para determinar la concentración de sólidos solubles totales (SST) se utilizó un refractómetro digital (Atago, Tokio, Japón). La acidez libre se valoró con NaOH 0.1 N utilizando fenoltaleína como indicador. El color se midió determinando las coordenadas a, b y L de Hunter, tanto de la pulpa como de la columela del fruto, utilizando un colorímetro Minolta Chroma Meter CR-400 (Osaka, Japón).

2. 2. Influencia de la baja temperatura y de la aplicación de Ethephon, Ácido giberélico y Nitrato cálcico en la maduración poscosecha del kiwi.

En el momento de la recolección, se tomaron 75 frutos al azar del cv. Summerkiwi y 75 frutos del cv. Hayward. Éstos tenían 7.8 y 9ºBrix, respectivamente, y la temperatura en el campo oscilaba entre 18 y 20°C. Posteriormente se mantuvieron en cámara a 4°C durante 10 y 7 días respectivamente y a su salida la mitad de los frutos se trataron inmediatamente con ethephon (35 mg/l), ácido giberélico (GA₃) a 25 mg/l, y nitrato cálcico [Ca(NO₃)₂] al 2%, y la otra mitad se mantuvo a temperatura ambiente (23-25°C) durante 7 días, y posteriormente se les repitieron los mismos tratamientos. En ambos casos se dejaron frutos sin tratar como control. Al igual que en casos anteriores, se hizo un seguimiento periódico de los parámetros de madurez y la producción de etileno y CO₂ hasta el comienzo de su senescencia.

3. Análisis estadístico.

Los datos fueron procesados por el programa Statgraphics Centurion XVII. Se les aplicó el análisis de la varianza o de la regresión, con un nivel de confianza de $p \leq 0.05$. Para la separación de medias se aplicó el test de Fisher calculando la mínima diferencia significativa (LSD) entre tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Influencia de la aplicación de ethephon al árbol en la maduración del kiwi

Cuando los frutos tenían un calibre de 51 mm de diámetro se aplicaron 35 mg/l de ethephon a la planta del cv. Summerkiwi, sin que se consiguiera alterar la síntesis de etileno.

2. Influencia de la temperatura en la maduración poscosecha del kiwi

Veintisiete días después de haber mantenido los frutos de los dos cultivares de kiwi en una cámara fría, a 4°C, durante 10 días, éstos aumentaron significativamente su concentración de etileno hasta valores máximos de 156.6 nl gPF⁻¹h⁻¹ para el 'Summerkiwi' y de 70.3 nl gPF⁻¹ h⁻¹ para el 'Hayward' (Fig. 2A). Seis días más tarde esta concentración descendió bruscamente en ambos cvs en aproximadamente un 75% y 58%, respectivamente, y siguió descendiendo ligeramente con el tiempo hasta anularse al final del estudio (58 días después de mantenerlos fuera de la cámara). Cabe destacar que aunque cuantitativamente hubo diferencias en el desprendimiento de etileno de ambos cvs, en los dos casos el pico máximo se detectó 27 días después de mantener los frutos a temperatura ambiente.

La evolución de la concentración de CO₂, también mostró la misma tendencia en ambos cultivares. En este caso, independientemente del cultivar, el pico máximo de CO₂ se detectó 27 días después de sacar los frutos de la cámara, con valores del orden de 25 µl gPF⁻¹h⁻¹ (Fig. 2B) y coincidiendo así con los encontrados para el etileno (Fig. 2A).

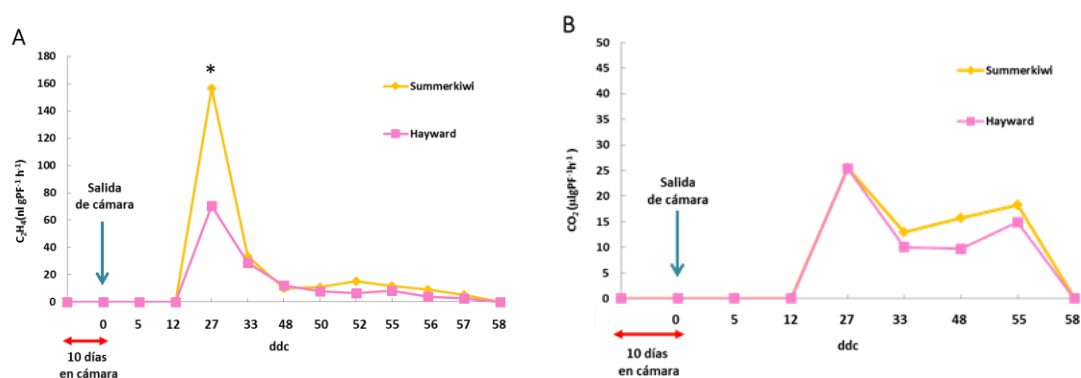


Figura 2. Evolución de la concentración de etileno (A) y de CO₂ (B) en los cvs. Hayward y Summerkiwi desde el momento de la recolección hasta el comienzo de la senescencia. ddc: días después de la salida de cámara. Cada valor es la media de 4 frutos. (*): indica diferencias significativas $p \leq 0.05$. El error estándar es más pequeño que el símbolo.

Sin embargo, aunque la concentración de CO₂ de ambos cultivares también descendió 6 días después, en aproximadamente un 81% y 59%, esta se mantuvo prácticamente estable durante 7 días hasta anularse al final del estudio (Fig. 2B.). Es importante destacar que aun tratándose de un fruto climatérico no se encontró el climaterio puesto que el CO₂ no mostró un pico claro como el de etileno y, además, si bien éste fue coincidente con el del etileno.

En ambos casos, los frutos de los dos cvs necesitaron estar a temperatura ambiente, o lo que es lo mismo, fuera de la cámara fría durante cierto tiempo para emitir etileno y CO₂. Estos resultados coinciden con los de otros autores (Antunes *et. al*, 2000) que apuntan que con temperaturas de 0 a 10°C el kiwi manifiesta un comportamiento no climatérico, mientras que a 20°C se comporta como climatérico produciendo etileno y acompañado de un incremento de la tasa respiratoria. De hecho, algunos estudios demuestran que la inducción de la síntesis de etileno en este fruto proviene de mantener los frutos durante 1 ó 2 semanas a temperatura ambiente y que además esto es necesario para que se inicie el reblandecimiento de la pulpa (Boquete *et.al*, 2004; Kaukaunaras y Sfakiotakis, 2007; Birch *et.al*, 2009). Sin embargo, otros autores indican que la pulpa debe reblandecerse previamente para que la síntesis de etileno se inicie (Grienson y Tucker, 1983).

En cuanto a los parámetros de madurez interna, la síntesis de etileno sólo modificó la acidez libre de los dos cvs. estudiados. Así, para el cv. Summerkiwi la concentración de SST y la acidez libre antes del pico de etileno fue de 16.4ºBrix y 5.8%, respectivamente, y 31 días después la primera se mantuvo en valores similares (16.7ºBrix) y la segunda descendió significativamente hasta el 4.9%. Lo mismo ocurrió con el cv. Hayward, aunque con una concentración de SST más baja (14.4ºBrix) y mayor acidez (7.7%) antes del pico de etileno, de modo que a los 31 días la primera tampoco se alteró (14.2ºBrix) y la segunda se redujo hasta 3.1% (Tabla 1).

Tabla 1. Evolución de la concentración de sólidos solubles totales (SST) y la acidez libre de los frutos de kiwi cvs. Hayward y Summerkiwi tras su recolección. ddc: días después de la salida de la cámara.

Cultivar	Tiempo (ddc)	SST (ºBrix)	Acidez (%)
Hayward	27	14.4 ± 0.2	7.7 ± 0.6
	48	14.6 ± 0.5	-
	58	14.2 ± 0.3	3.1 ± 0.7
Summerkiwi	27	16.4 ± 0.6	5.8 ± 0.4
	48	16.1 ± 0.1	-
	58	16.7 ± 0.8	4.9 ± 0.5

Estos resultados coinciden con los de Agar *et.al* (1999), disminuyendo la acidez libre paralelamente al aumento de la concentración de SST al mismo tiempo que el fruto alcanza su mayor grado de madurez. En el momento de la cosecha y durante la maduración poscosecha la concentración de SST aumentan rápidamente desde 7ºBrix hasta valores de 14-16ºBrix (Pratt y Reid, 1974).

Por otro lado, el aumento de la concentración de SST fue registrado en ambos cvs independientemente de la síntesis de etileno, ya que éstos en el momento de la recolección mostraban 7ºBrix y al salir de la cámara aumentaron hasta 9º Brix. Estos resultados indican, por una parte, que los frutos no requieren de la presencia de etileno para modificar su madurez interna y, por otra, que tampoco necesitan estar a temperatura ambiente para hacerlo. Estos resultados coinciden con los observados por Kim *et. al* (1999) en 'Hayward' para el que los frutos almacenados en frío (0°C) aumentaron su concentración de SST y reblandecieron su pulpa sin detectar producción de etileno. De hecho, el reblandecimiento gradual de la pulpa durante el almacenamiento del fruto a bajas temperaturas ha estado relacionado como la señal necesaria para la producción de etileno (Kim *et. al*, 1999). Sin embargo, McDonald (1990) apunta que las bajas temperaturas retardan la maduración de este fruto. La síntesis de etileno tampoco modificó el color de la pulpa y de la columela que se mantuvo en valores de -0,5 y -0,3 respectivamente, en ambos cvs. (Tabla 1).

3. Influencia de la temperatura y de la aplicación poscosecha de Etephon en la maduración del kiwi.

La aplicación de 35 mg/l de ethephon a la salida de la cámara anticipó la síntesis de etileno en los frutos del cv. Hayward en, aproximadamente, 12 días respecto del control (Fig. 3A). Sin embargo, el pico máximo alcanzado por los primeros fue significativamente menor (15.8 nl gPF⁻¹ h⁻¹) que el alcanzado por los segundos (70.3 nl gPF⁻¹ h⁻¹). En ambos casos, la concentración de etileno descendió hasta valores nulos 5 días después de alcanzar el máximo valor y permaneció como tal hasta el final del periodo estudiado, si bien en los tratados con ethephon este descenso fue menos acusado (Fig. 3A). Merece la pena destacar que la temperatura influyó en el comportamiento poscosecha de este fruto. Así, cuando los frutos se mantuvieron en cámara, es decir, a baja temperatura, durante más tiempo (10 días) se anticipó la síntesis de etileno en 10 días. Así lo demuestran los resultados encontrados al comparar los controles de este cultivar, mientras en los primeros los frutos tardaron 12 días en sintetizar etileno, en los segundos esta síntesis se pospuso hasta los 21 días (Fig. 2A y Fig.3A).

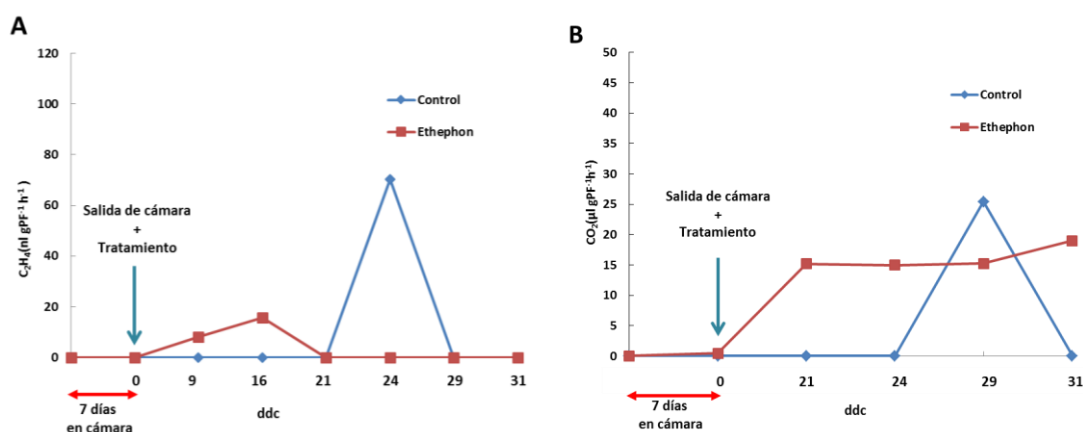


Figura 3. Evolución de la concentración de etileno (A) y de CO₂ (B) en el cv. Hayward desde el momento de la recolección hasta el comienzo de la senescencia. ddc: días después de la salida de cámara. Cada valor es la media de 4 frutos. El error estándar es más pequeño que el símbolo.

El ethephon también modificó el comportamiento del CO₂. Los frutos tratados con esta hormona emitieron el CO₂ inmediatamente después de salir de la cámara alcanzando su máximo valor a los 21 días después de su salida con valores de 15.16 μl gPF⁻¹h⁻¹ que permanecieron constantes hasta el final del estudio. Por el contrario, los frutos no tratados no emitieron el CO₂ hasta, aproximadamente, veinticuatro días después de salir de la cámara, alcanzando su pico máximo (25.4 μl gPF⁻¹h⁻¹) 5 días después y descendiendo a continuación (Fig. 3B). Aunque el tratamiento consiguió adelantar la emisión de CO₂ y mantener sus valores altos durante un tiempo prolongado, el valor máximo alcanzado por el control aunque fue puntual fue superior (48%). Es de destacar que en ambos casos el pico máximo de CO₂ fue posterior al encontrado para el etileno y que los valores de las dos variables fueron superiores en el control (Fig 3A y Fig 3B). Estos resultados coinciden con el comportamiento típico de un fruto climatérico como es el caso del kiwi (Yang *et al.*, 2007). En este caso la temperatura apenas modificó el comportamiento poscosecha del fruto en cuanto a su respiración, ya que los frutos que se mantuvieron en cámara durante más tiempo (10 días) sólo anticiparon en 3 días la síntesis de CO₂. Así lo reflejan nuestros resultados de los controles (Fig. 2B y Fig. 3B).

Sin embargo, la permanencia de los frutos en la cámara 3 días más alteró el comportamiento poscosecha de este fruto respecto de los que estuvieron sólo 7 días; en este caso, el pico máximo de etileno coincidió con el de CO₂ (Fig 2A y Fig2B).

El hecho de que en una misma variedad, en un caso coincida el aumento de la tasa respiratoria con el aumento de la producción de etileno, y en otro, por el contrario, la síntesis de etileno preceda al incremento respiratorio, cuando este fruto está clasificado como climatérico, resalta la importancia que la temperatura tiene en el control de la maduración de este fruto. De hecho, los frutos que entraron en la cámara y estuvieron en ella 7 días tuvieron un menor contenido en sólidos solubles totales (9º Brix) y anticiparon la síntesis de etileno respecto a los que estuvieron 10 días, pero no la de CO₂ que, además, fue posterior a la del etileno, aunque estos últimos tuviesen mayor contenido de sólidos solubles (14º Brix).

En cualquier caso, en los frutos climatéricos, la tasa de producción de CO₂ aumenta bruscamente tras alcanzar la madurez fisiológica en condiciones de precosecha y de poscosecha (Kidd y West, 1925; Reid *et al.*, 1973). Es más, en el caso de los frutos separados del árbol, como es nuestro caso, el pico de liberación de CO₂ se da en los primeros días poscosecha y luego disminuye (Biale *et al.*, 1954; Vendrell y Buesa, 1989; Arellano-Gómez *et al.* 2005), estando precedido por el aumento de la producción de etileno. En este sentido nuestros resultados se ajustan a lo que resultaría ser el comportamiento típico de un fruto climatérico. Con respecto a la vida poscosecha, Peng y Rabe (1997) encontraron un pico de la tasa de respiración a las dos semanas de almacenar frutos de mandarina Satsuma. En nuestro caso, este pico se encontró dos semanas más tarde, aunque se trata de frutos cuyo comportamiento en cuanto a la maduración es diferente; es decir, el primero es un fruto no climatérico y el segundo climatérico.

Algo parecido se encontró al estudiar el efecto de la aplicación poscosecha de ethephon en el comportamiento del cv. Summerkiwi. También en este caso, el tratamiento consiguió anticipar la producción de etileno en, aproximadamente, 5 días respecto del control (Fig. 4A). Sin embargo, en este cultivar la respuesta fue más notable ya que la aplicación de esta hormona consiguió aumentar los niveles máximos de etileno (150.4 nl gPF⁻¹ h⁻¹) respecto del control (103 nl gPF⁻¹ h⁻¹).

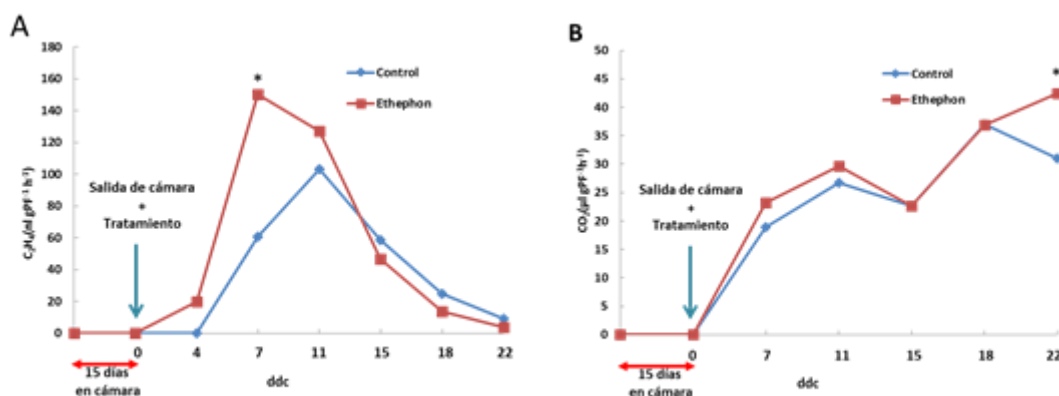


Figura 4. Evolución de la concentración de etileno (A) y de CO₂ (B) en el cv. Summerkiwi desde el momento de la recolección hasta el comienzo de la senescencia. ddc: días después de la salida de cámara. Cada valor es la media de 4 frutos. (*): indica diferencias significativas $p \leq 0.05$. El error estándar es más pequeño que el símbolo.

La influencia de la temperatura también afectó al comportamiento poscosecha de este cultivar. Los frutos que permanecieron menos tiempo a baja temperatura (10 días en cámara) retrasaron la producción máxima de etileno respecto de los que estuvieron 5 días más en cámara (15 días). Los primeros presentaron el pico máximo a los 27 días después de salir de la cámara y los segundos a los 11 (Figs. 5A y 2A). En cualquier caso, los frutos tuvieron que permanecer a temperatura ambiente para iniciar la síntesis de etileno en condiciones de

poscosecha, independientemente del cultivar estudiado. De ello se desprende el comportamiento atípico de este fruto en cuanto a su maduración. A pesar de estar catalogado como fruto climatérico, algunos autores apuntan un comportamiento no climatérico a temperaturas entre 0 y 10°C y climatérico a temperaturas altas (Antunes *et. al*, 2000). En resumen, y en coherencia con nuestros resultados, algunos estudios demuestran que para inducir la síntesis de etileno se requiere someter a este fruto a un shock térmico (Boquete *et.al*, 2004; Kaukaunaras y Sfakiotakis, 2007; Birch *et.al*, 2009).

La aplicación de ethephon a la salida de la cámara no consiguió modificar la producción de CO₂ con respecto al control, en ambos, casos 7 días después del tratamiento y de la salida de la cámara, los frutos ya habían alcanzado valores máximos de CO₂ de, aproximadamente, 20 µl gPF⁻¹h⁻¹ que se mantuvo prácticamente estable al final del periodo estudiado (Fig 4B). Al comparar estos frutos con los que permanecieron en la cámara menos tiempo se observó que estos últimos retrasaron hasta 20 días su respiración.

Los parámetros de madurez interna en ambos cultivares no se vieron alterados por los tratamientos. Cuatro días después de la aplicación de ethephon a los frutos que salieron de la cámara, el contenido en SST, la acidez, y la firmeza, independientemente del cultivar, apenas difirieron de los controles.

Sin embargo, sí que se encontraron diferencias entre ambas variedades. El cv. Hayward presentó por término medio un menor contenido en SST (11.3ºBrix), una mayor acidez (8,8%) y una mayor firmeza (49.5 N) que el cv.Summerkiwi, en la que fueron de 16.9ºBrix, 5.2 % y 7.1 N, respectivamente (Tabla 2). La anticipación de la síntesis de etileno promovida por efecto del ethephon no se reflejó en dichos parámetros. Así, 5 días después del pico máximo de etileno encontrado en los frutos tratados, los parámetros anteriormente citados continuaron sin diferir respecto del control en ambos cultivares. Tampoco se encontraron diferencias al final del experimento, es decir, cuando el pico máximo de etileno de los controles de ambos cultivares descendió a cero. En este momento el cv.Hayward presentó, por término medio, una concentración de SST de 16.2ºBrix, una acidez libre de 4.1 % y una firmeza de 12.7 N, mientras en el cv.Summerkiwi fueron de 15.6ºBrix, 4.8 %, 5.4 N, respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2. Influencia de la aplicación poscosecha de ethephon (35 mg/l) a la salida de los frutos de la cámara fría de dos cvs de kiwi, Hayward y Summerkiwi, en las características de su madurez interna. ddc: indica días después de la salida de la cámara. (T): indica momento del tratamiento. Cnt: control y Eth: ethephon. En el momento de la recolección los SST de los cvs. Hayward y Summerkiwi fueron 9 y 7.7 ºBrix, respectivamente.

Cultivar	Tratamiento	Tiempo (ddc)	SST (ºBrix)	Acidez (%)	Firmeza (N)
Hayward	Cnt	0(T)	9.4 ± 0.6	8.9 ± 0.5	67.6 ± 0.9
	Cnt	4	11.2 ± 0.1	8.6 ± 0.2	45.6 ± 0.9
	Eth		11.3 ± 0.2	9.0 ± 0.3	52.7 ± 0.5
	Cnt	21	15.9 ± 0.6	6.1 ± 0,6	18.6 ± 0.4
	Eth		14.4 ± 0.6	7.1 ± 1.1	27.4 ± 0.4
	Cnt	29	16.2 ± 0.7	4.1 ± 1.7	9.3 ± 0.2
Eth	16.2 ± 0.6		4.1 ± 1.8	16.4 ± 0.4	
Summerkiwi	Cnt	0 (T)	14.6 ± 0.1	9.1 ± 0.5	15.8 ± 0.1
	Cnt	4	17.7 ± 0.8	5.3 ± 0.6	5.9 ± 0.1
	Eth		16.1 ± 0.7	5.2 ± 0.1	13.2 ± 0.1
	Cnt	11	18.7 ± 0.4	4.9 ± 1.3	9.3 ± 0.1
	Eth		17.4 ± 0.6	5.0 ± 0.3	13.0 ± 0.1
	Cnt	22	14.8 ± 0.2	3.8 ± 0.2	5.1 ± 0.0
Eth	16.5 ± 0.2		5.8 ± 0.3	5.9 ± 0.1	

El color de la pulpa y de la columela en ambos cultivares tampoco se vio alterado por efecto del tratamiento y del tiempo, presentando valores para las coordenadas a/b de Hunter en torno a -0.5 y -0.2, respectivamente. Merece la pena destacar el reblandecimiento notable que presentó el cv. Summerkiwi respecto del cv. Hayward al final del experimento como consecuencia de su permanencia más prolongada en cámara que ya se observó a la salida de la misma (Tabla 2).

4. Influencia de la temperatura y de la aplicación poscosecha de Etephon, Ácido Giberélico y Nitrato Cálcico, en la maduración del kiwi.

La aplicación de ethephon (35 mg/l) una semana después de la salida de la cámara anticipó la síntesis de etileno en los frutos del cv. Hayward en, aproximadamente, 7 días respecto del control (Fig. 5A). Sin embargo, el pico máximo alcanzado por los primeros fue significativamente menor ($32.2 \text{ nl gPF}^{-1} \text{ h}^{-1}$) que el alcanzado por los segundos ($70.3 \text{ nl gPF}^{-1} \text{ h}^{-1}$). En ambos casos, la concentración de etileno descendió hasta valores nulos 5 días después de alcanzar el máximo valor y permaneció como tal hasta el final del periodo estudiado. La aplicación de AG (25 mg/l), por el contrario, retrasó la síntesis de etileno en aproximadamente 6 días respecto del control, aumentando su pico máximo en un 25%. La aplicación de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ al 2% no presentó un pico de etileno durante todo el periodo estudiado (Figura 5A). La evolución de la concentración de CO_2 también fue afectada por los tratamientos. El $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y el ethephon mostraron tendencias similares aumentando su concentración inmediatamente después del tratamiento y descendiendo hasta valores nulos 29 días después de salir de cámara (Fig. 5B). Algo similar ocurrió con los tratados con AG y los controles. En este caso, ambos mostraron un pico máximo a los 22 días del tratamiento con valores de 38.9 y $25.4 \mu\text{l gPF}^{-1}\text{h}^{-1}$, respectivamente. Merece la pena destacar que mientras en los primeros este pico máximo coincidió con el detectado para el etileno, en los segundos tuvo lugar 6 días después. El resto de los tratamientos tuvieron un comportamiento errático. Mientras en el $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ la síntesis de CO_2 no se correspondió con la del etileno, el ethephon continuó respirando una vez se detuvo la síntesis de etileno (Fig. 5B).

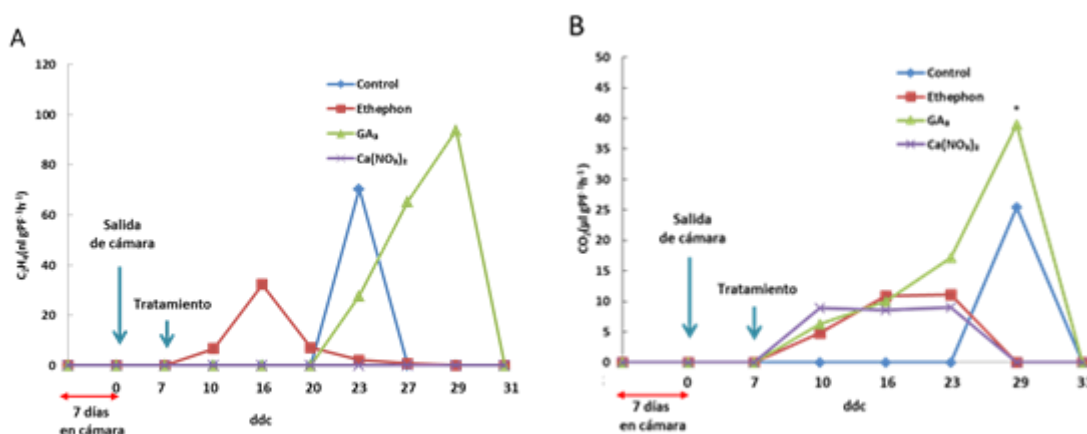


Figura 5. Evolución de la concentración de etileno (A) y de CO_2 (B) en el cv. Hayward desde el momento de la recolección hasta el comienzo de la senescencia. ddc: días después de la salida de cámara. Cada valor es la media de 4 frutos. (*): indica diferencias significativas $p \leq 0.05$. El error estándar es más pequeño que el símbolo.

La respuesta del cv. Summerkiwi a los tratamientos fue completamente diferente. En todos los casos se observó un pico máximo de etileno 3 días después del tratamiento, aunque su síntesis tuvo lugar inmediatamente después de la salida de la cámara. Estos resultados indican que la síntesis de esta hormona no depende de ningún tratamiento, sino que está más bien relacionada con la temperatura (Boquete *et al.*, 2004; Koukounaras y Sfakiotakis, 2007; Birch *et al.*, 2009). Aunque en el momento del umbral máximo sí que se encontraron diferencias cuantitativas, la tendencia en todos ellos fue descendente inmediatamente después hasta valores nulos (Figura 6A).

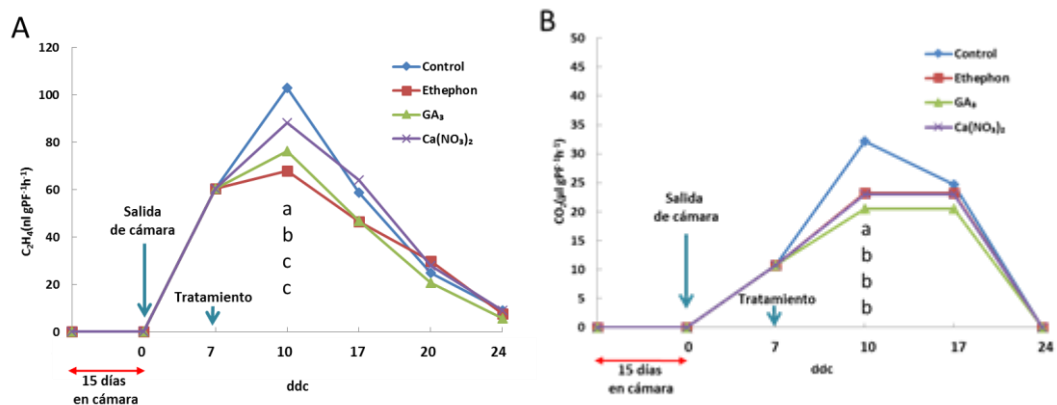


Figura 6. Evolución de la concentración de etileno (A) y de CO₂ (B) en el cv. Summerkiwi desde el momento de la recolección hasta el comienzo de la senescencia. ddc: días después de la salida de cámara. Cada valor es la media de 4 frutos. Letras distintas para la misma fecha indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$). El error estándar es más pequeño que el símbolo.

La evolución del CO₂ tampoco se vio modificada por los tratamientos. En todos los casos aumentó ligeramente inmediatamente después de los mismos, manteniéndose prácticamente estable en torno a 25 µl gPF⁻¹h⁻¹ durante los 10 días siguientes y descendiendo finalmente hasta valores nulos (Fig 6B). Al compararlo con la evolución del etileno se observó que en ambos casos el aumento de dichas concentraciones fue anterior a la realización de los tratamientos, esto es, inmediatamente después de su salida de la cámara (Fig.6), poniendo de manifiesto, una vez más, la influencia de la temperatura en el comportamiento poscosecha de este fruto.

La comparación de estos resultados con los obtenidos para el cv. Hayward indica una sensibilidad varietal ya que mientras en el cv. Summerkiwi la síntesis de etileno se inició inmediatamente después de la salida de la cámara fría, en el cv. Hayward se prolongó hasta aproximadamente 12 días. Algo parecido ocurrió con la concentración de CO₂. Sin embargo, es importante destacar que mientras en el primero la evolución de la síntesis de etileno era paralela a la evolución de la síntesis de CO₂, en el segundo no lo fue para todos los tratamientos (Figs. 5 y 6).

La aplicación de AG, ethephon y Ca(NO₃)₂ una semana después de permanecer los frutos 15 días en cámara no alteró los parámetros de madurez interna respecto del control, independientemente del cultivar estudiado. Así, por ejemplo, 20 días después de la realización de los tratamientos, el contenido en SST, la acidez y la firmeza del cv. Hayward no difirieron entre sí ni con el control, alcanzando valores por término medio de 17.1°Brix, 3.9% y 21.5 N, respectivamente (Tabla 3). En este caso, la anticipación de la síntesis de etileno conseguida con el ethephon y el retraso conseguido por la aplicación de AG respecto del control (Fig 5A) no se reflejó en las características de maduración interna. Sin embargo, estos parámetros mejoraron a lo largo del tiempo de manera que, independientemente del tratamiento, todos aumentaron por término medio 4.9°Brix, redujeron 4.5% su acidez y no alteraron su firmeza desde el momento del tratamiento hasta 20 días después del mismo. Este comportamiento también se observó en el cv. Summerkiwi sólo que en este caso estos frutos presentaron una

menor firmeza durante todo el periodo estudiado (Tabla 3). Este resultado podría estar relacionado con un mayor grado de madurez de este cultivar que no se vio reflejado con su contenido en SST y su acidez al final del experimento, pero que podría explicarse por una mayor permanencia de estos frutos a baja temperatura, hasta 8 días más en cámara.

Tabla 3. Influencia de la aplicación poscosecha de ethephon (35 mg/l), Ácido Giberélico (25 mg/l) y Nitrato de Calcio (2%) una semana después de la salida de los frutos de la cámara fría de dos cvs de kiwi, Hayward y Summerkiwi, en las características de su madurez interna. ddc: indica días después de la salida de la cámara. (T): indica momento del tratamiento. Cnt: control, Eth: ethephon, GA₃: ácido giberélico y Ca(NO₃)₂: nitrato cálcico. En el momento de la recolección los SST de los cvs. Hayward y Summerkiwi fueron 9 y 7.7 °Brix, respectivamente.

Cultivar	Tratamiento	Tiempo (ddc)	SST (°Brix)	Acidez (%)	Firmeza (N)
Hayward	Cnt	0	9.4 ± 0.6	8.9 ± 0.5	67.6 ± 0,9
	Cnt	7(T)	12.2 ± 1.0	8.4 ± 0.3	49.1 ± 1,0
	Cnt	10	11.8 ± 0.0	5.8 ± 0.2	49.0 ± 0,2
	Eth		11.8 ± 0.6	5.5 ± 0.5	50.2 ± 1,1
	GA ₃		11.5 ± 0.7	6.0 ± 0.4	52.0 ± 0,8
	Ca(NO ₃) ₂	27	12.2 ± 0.5	6.1 ± 0.6	51.6 ± 1,2
	Cnt		16.8 ± 0.7	4.6 ± 1.0	19.6 ± 0,3
	Eth		17.4 ± 0.3	3.7 ± 0.1	20.5 ± 0,2
	GA ₃		17.5 ± 0.1	3.3 ± 0.8	19.6 ± 0,1
	Ca(NO ₃) ₂		16.7 ± 0.5	4.2 ± 0.9	26.5 ± 0,2
	GA ₃	31	16.7 ± 0.3	3.9 ± 1.2	20.5 ± 0,1
Summerkiwi	Cnt	0	14.6 ± 0.1	9.1 ± 0.5	15.7 ± 0.1
	Cnt	7(T)	18.7 ± 0.4	4.9 ± 1.3	8.8 ± 0.1
	Cnt	10	17.8 ± 0.8	3.9 ± 0.7	7.9 ± 0.0
	Eth		16.9 ± 0.1	4.3 ± 1.5	7.8 ± 0.1
	GA ₃		16.9 ± 1.1	4.1 ± 0.8	8.0 ± 0.1
	Ca(NO ₃) ₂	24	17.9 ± 0.5	4.0 ± 0.2	7.9 ± 0.0
	Cnt		17.1 ± 0.5	4.5 ± 1.1	5.8 ± 0.1
	Eth		16.9 ± 1.1	4.3 ± 0.7	5.8 ± 0.1
	GA ₃		16.9 ± 0.4	4.1 ± 1.0	5.8 ± 0.1
	Ca(NO ₃) ₂		17.1 ± 0.1	5.0 ± 0.8	5.9 ± 0.0

El color de la pulpa y de la columela en ambos cultivares tampoco se vio alterado por efecto de los tratamientos y del tiempo, presentando valores para las coordenadas a/b de Hunter en torno a -0.5 y -0.2, respectivamente.

CONCLUSIONES

A la vista de estos resultados las conclusiones de este trabajo son las siguientes:

1. El fruto del kiwi requiere un cambio brusco de temperatura tras la recolección para iniciar la síntesis de etileno. Éste es necesario para la respuesta a las aplicaciones hormonales.
2. A pesar de ser un fruto climatérico, la síntesis de etileno no coincide con un aumento de la respiración, mostrando un comportamiento errático.
3. La eficacia del ethephon no mejora con el retraso de su aplicación en ambos cultivares. Sin embargo, el tiempo de permanencia del fruto a bajas temperaturas influyó en la respuesta.
4. Los tratamientos no modifican las características de madurez interna a pesar de alterar la síntesis de etileno.

BIBLIOGRAFÍA

- Agar, I.T., Massantini, R. Hess-Pierce, B. y Kader, A.A. (1999). *Postharvest CO₂ and Ethylene Production and Quality Maintenance of Fresh-Cut Kiwifruit Slices*. Journal of Food Science, 64: 433-439.
- Agustí, M. (2003). *Citricultura*. 2º Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 422 pp
- Agustí, M. (2010). *Fruticultura*. 2ª Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 507 pp
- Agustí, M. y Almela, V. (1991). *Aplicación de fitorreguladores en Citricultura*. Ed. AEDOS. Barcelona. 270 pp
- Agustí, M., Juan, M., Almela, V., Andreu, I. y Speroni, C. (1997). *Estímulo del desarrollo de los frutos de hueso*. Generalitat Valenciana. ISBN: 84-482-1460-9. 78 pp
- Agustí, M., Andreu, I., Juan, M., Almela, V. y Zacarías, L. (1998). *Effects of ringing branches on fruit size and maturity of peach and nectarine cultivars*. J. Hortic. Sci. & Biotechnol., 73: 537-540.
- Agustí, M., Juan, M., Martínez-Fuentes, A., Mesejo, C. y Almela, V. (2003). *Calcium nitrate delays climateric of persimmon fruit*. Instituto Agroforestal Mediterráneo, Universidad Politécnica de Valencia. 5 pp.
- Alexander, L. y Grierson, D. (2002). *Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening*. J. Exp. Bot. 53: 2039-2055.
- Antunes, M.D.C., Pateraki, I., Kanellis, A.K. y Sfakiotakis, E.M. (2000). *Differential effects of low-temperature inhibition on the propylene induced autocatalysis of ethylene production, respiration and ripening of 'Hayward' kiwifruit*. J. Hort. Sci. Biotechnol. 75: 575-580.
- Arellano-Gómez, L.A., Saucedo-Veloz, C. y Arévalo-Galarza, L. (2005). *Biochemical and physiological changes during ripening of black sapote fruit (Diospyros digyna Jack.)*. Agrociencia, 39 (002): 173-181.
- Biale, J.B., Young, R.E. y Olmstead, A.J. (1954). *Fruit respiration and ethylene production*. Plant Physiol., 29: 168-174.
- Birch, G.G., Finglas, P. M., Roozen y J.P, Shahiji, F. (2009). *Postharvest structural changes of 'Hayward' kiwifruit by means of magnetic resonance imaging spectroscopy*. Food Chemistry 114: 1583-1589.
- Boquete, E.J., Trincheró, G.D., Frascina, A.A., Vilella, F., Sozzi, G.O. (2004). *Ripening of 'Hayward' kiwifruit treated with 1-methylcyclopropene after cold storage*. Postharvest Biol. Technol. 32: 57-65.
- Gallego, P.P. y Zarra, I. (1997). *Changes in cell wall composition and water-soluble polysaccharides during kiwifruit development*. Ann. Bot. 79: 695-701.

García-Luis, A., Agustí, M., Almela, V., Romero, E., y Guardiola, J.L. (1985). *Effect of gibberellic acid on ripening and peel puffing in Satsuma mandarin*. Scientia Hort., 27:75-86.

Grienson, D. y Tucker, G.A. (1983). *Timing of ethylene and polygalacturonase synthesis in relation to the control of tomato fruit ripening*. Planta, 157: 174-179.

Illina, N. (2003). *Fisiología del fruto de kiwi (Actinidia deliciosa) durante su desarrollo y ablandamiento: expresión de genes asociados y su modulación por etileno y 1-metilciclopropeno*. Tesis Doctoral en Ciencias Agropecuarias. San Petersburgo. 65 pp.

Kader, A.A. (1992). *Postharvest technology of horticultural crops*. 2º Ed. California. 296pp

Kidd, F., and West, C. (1925). *The course of respiratory activity throughout the life of an apple*. Rep. Food Invest. Board for the year 1924, DSIR, London, pp 27-33.

Kim H.O., Hewett E.W. y Lallu N. (1999). *The role of ethylene in kiwifruit softening*. Acta Horticulturae 498: 255–262.

Koukouranas, A. y Sfakiotakis E. (2007). *Effect of 1-MCP pre storage treatment on ethylene and CO₂ production and quality of 'Hayward' kiwifruit during shelf-life after short medium and long term cold storage*. Postharvest Biology and Technology 46: 174–180.

MacRae, E. y Redgwell, R. (1992). *Softening in kiwifruit*. Postharvest News Inf. 3: 49N-52N.

Martínez Edo, I. (2008). *Estudio integral del cultivo del kiwi en la comarca del Camp del Túria. Trabajo fin de carrera*. Univ. Politécnica de Valencia. 212 pp

McDonald, B. (1990). *Precooling, storage and transport of kiwifruit*. In: Warrington, J. and Weston, G.C., eds., *Kiwifruit: Science and Management*, N.Z. Soc. Hort. Sci. pp. 425-459.

Morley-Bunker, M. y Lyford, P. (1999). *Temperature and Subtropical Fruit Production: Kiwifruit*, 2nd Ed. CABIPublishing. Reino Unido. 332 pp.

Paterson, V.J., MacRae, E.A. y Young, H. (1991). *Relationships between sensory properties and chemical composition of kiwifruit (Actinidia deliciosa)*. J. Sci. Food Agric. 57: 235-251.

Peng, Y.H. y Rabe, E. (1997). *Postharvest storage behaviour, respiration rate and ethylene evolution of fruit from deficit and normal irrigation in 'Mihowase Satsuma' trees*. J. S. Afr. Soc. Hort. Sci., 7 (2): 44-47.

Pratt, H.K. y Reid, M.S. (1974). *Chinese goosberry: seasonal patterns in fruit growth and maturation, ripening, respiration and the role of ethylene*. J. Sci. Food Agric. 25:747-747.

Rafols, M. (2010). *Guía completa del cultivo del kiwi*. Ed. De Vecchi. Barcelona. 125 pp.

Reid, M.S., Rodhes, M.J.C. y Hulme, A. C. (1973). *Changes in ethylene and CO₂ during the ripening of apples*. J. Sci. Fd. Agric. 24: 971-979.

Salinero, C. y Martino, J. (1997). *Actinidia deliciosa* (A. Chevalier, C.V. Liang et al., A.R. Ferguson). Estación fitopatológica de Areiro. Pontevedra.

Sozzi, G.O (2007a). *Fisiología del crecimiento de los frutos*. (Ed.), Árboles Frutales: Ecofisiología, Cultivo y Aprovechamiento. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, 307-330.

Sozzi, G.O. (2007b). *Fisiología de la maduración de los frutos*. (Ed.), Árboles Frutales: Ecofisiología, Cultivo y Aprovechamiento. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, pp. 667-687.

Vendrell, M. y Buesa, C. (1989). *Relationship between abscisic acid and ripening of apples*. Acta Hortic., 258: 389-396.

Yang, S.L., Xu, C.J., Zhang, B., Li, X., Chen, K.S. (2007). *Involvement of both subgroups A and B of expansin genes in kiwifruit fruit ripening*. HortScience 42: 315-319.