

CUESTIONARIO CITOCININAS

- 1) ¿Que son las citocininas?
- 2) ¿Defina el descubrimiento de la citocinina?
- 3) ¿Explique brevemente la biosíntesis de la citocininas atreves de la ruta del ácido mevalónico y mediante la Agrobacterium tumefaciens?
- 4) ¿Defina cuales son los tipos de citocininas?
- 5) ¿En qué órganos y tejidos de las plantas se sintetizan las citocininas?
- 6) ¿Explique el modo de acción de las citocininas?
- 7) ¿Describa el proceso degradativo de los citocininas?
- 8) ¿Explique el movimiento de las citocininas dentro de la planta?
- 9) ¿Enumere y describa el efecto fisiológico de la citocininas?
- 10) ¿Explique qué ocurre en la relación de auxinas-citocininas con la decapitación de las plantas?
11. ¿Explique el papel de las citocininas en el desarrollo y germinación de la semilla?
- 12) ¿Cómo actúa la citoquininas en la síntesis de clorofila?
- 13) ¿Explique los efectos que provoca una alta concentración de citocininas en una hoja senescente?
14. ¿Esquematice un cuadro de antagonismo y sinergismo de citosininas con las otras fitohormonas?
- 15) ¿Qué utilidades se le da a las citocininas en la agricultura moderna?

DESARROLLO CITOCININAS

1) ¿Que son las citocininas?

Este grupo de fitohormonas es considerado el responsable de los procesos de división celular, entre los que se encuentran la formación y crecimiento de brotes axilares, la germinación de semillas, la maduración de cloroplastos, la diferenciación celular y también el control de varios procesos vegetales como el retardo de la senescencia y en la transducción de señales. (Estelle, 1991 & Sakakibara, 2006)

Las citocininas son hormonas esenciales en el accionar de varios procesos vinculados al crecimiento y desarrollo de las plantas y relacionados a la acción de varios genes. Se trata de derivados de la base adenina que en su posición N6 muestra varias substituciones, no teniendo la adenina sola, efecto hormonal alguno. (Jordán & Casaretto, 2006).

Las citoquininas son producidas como respuesta a la luz roja (por lo que parece estar implicado el fitocromo), y son también estimuladas por el aumento de la concentración de oxígeno en el medio o por la presencia en el suelo de nitratos y sulfatos. Por el contrario, las condiciones de estrés inhiben la acción de las citoquininas, lo que también es coherente desde el punto de vista de las necesidades de adaptación de la planta, ya que impide que las semillas germinen cuando las condiciones no son las adecuadas. En cuanto a los factores endógenos, tanto el etileno como las giberelinas activan la actividad de las citoquininas. (Stephenson & Alda, 2011).

INICIO

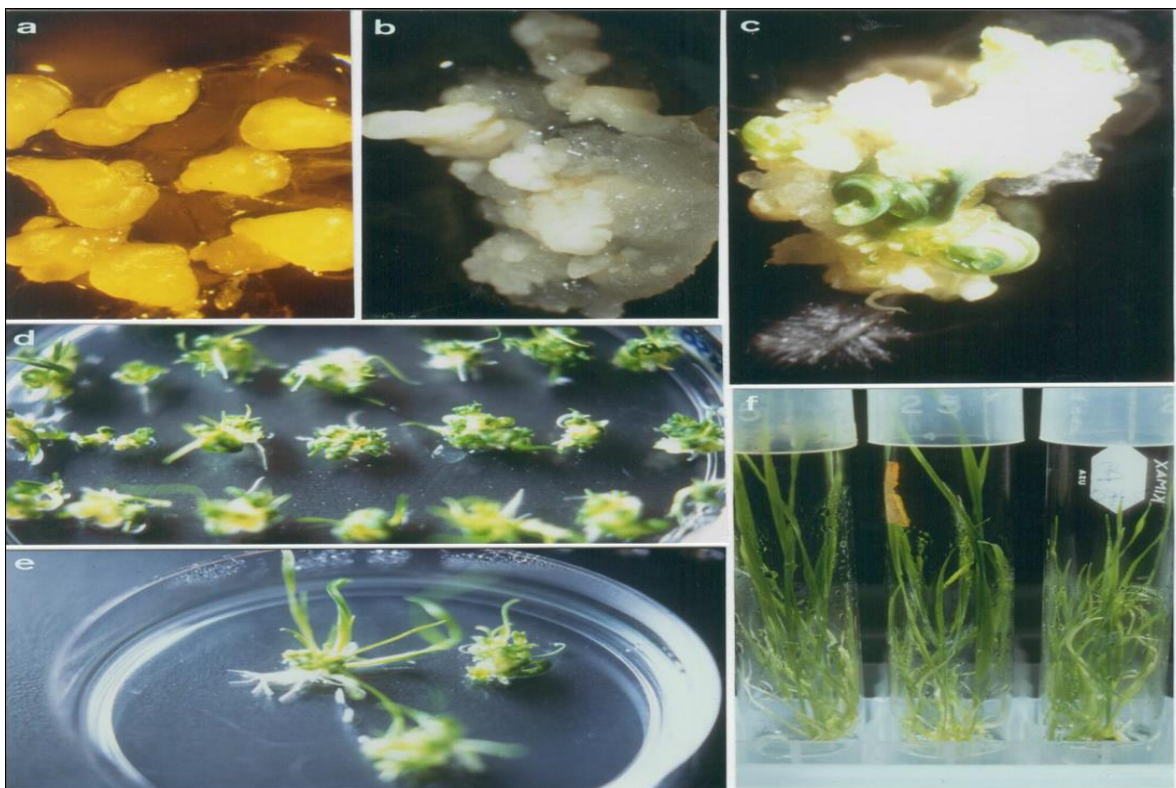
2) ¿Defina el descubrimiento de la citocinina?

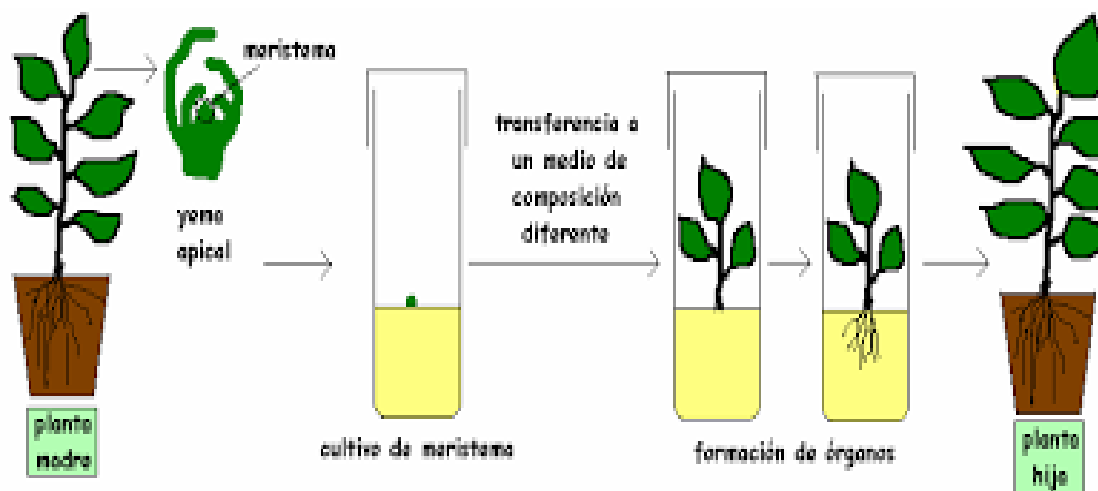
El reconocimiento que citocininas pudiesen corresponder a hormonas vegetales se inició con el descubrimiento de la kinetina en la época de los 50, siendo este un artefacto producto de la degradación del ADN en espermatocitos de arenque sometidas al auto clavado (temperatura y presión). Su efecto hormonal fue visualizado rápidamente al inducirse, en compañía de auxina, diferentes tipos de morfogénesis en tejidos de tabaco y de otras especies bajo condiciones in vitro. (Skoog & Miller, 1965) citado por Jordán & Casaretto, 2006

El descubrimiento de las citoquininas se dio debido a la búsqueda de compuestos que estimulaban la división celular. En (1892), Weisner propuso la existencia de factores estimulantes de la división celular. En (1913), Haberlandt demostró que el tejido vascular tenía alguna sustancia capaz de estimular la división celular en células de parénquima de patata.

En (1941), Overbeek y más tarde Stewart y sus colaboradores, descubrieron que el endospermo líquido del coco también tenía la capacidad de estimular la división celular. En (1954), Jablonski & Skoog ampliaron el trabajo de Haberlandt mostrando que los tejidos vasculares contienen sustancias que estimulan la división celular. En los años (1940s & 1950s), Skoog y colaboradores probaron muchas sustancias para probar la capacidad de inducir divisiones celulares en explantos de médula de tabaco cultivados *in vitro*. Observaron que la adenina tenía un ligero efecto promotor. Consiguieron preparar por tratamiento térmico de ADN de arenque un compuesto, la 6-furfurilamino purina, que promovía la división celular y la llamaron *kinetina*. No es sintetizada por la planta a los reguladores que se incluían dentro de este grupo se les denominó citoquininas, debido a su aparente implicación en los procesos de citocinesis o división celular.

En (1955), Miller Aísla la kinetina a partir de ADN de peces, la kinetina es producto de la gradación térmica de los ADN, no se encuentran en las plantas. En la Universidad de Wisconsin probaron muchas sustancias por su capacidad para iniciar y mantener proliferación de tejido medular de cultivos de tabaco. Habían observado que la base adenina de los ácidos nucleídos tenían un ligero efecto promotor, por eso se ensayo la posibilidad que los ácidos nucleídos estimularan la división en ese tejido. Sorprendentemente el ADN del esperma de arraque auto clavado tenía un gran poder en la división celular. Después de mucho trabajo, a partir del ADN, auto clavado se identifico una pequeña molécula denominada kinetina. Se demostró que era un derivado de la adenina o (amino purina) la 6 furfurilaminopurina. (Miller & coll.1955)





INICIO

3) ¿Explique brevemente la biosíntesis de la citocininas a través de la ruta del ácido mevalónico y mediante la *Agrobacterium tumefaciens*?

a) Biosíntesis a partir de la ruta del ácido mevalónico

El primer paso específico de la ruta es la síntesis de MVA a partir de HMG.coA, catalizado por la HMGR, CoA reductasa (HMGR), posteriormente el MVA es fosforilado por el enzima MVA quinasa (MVK) a MVA-5-difosfato (MVP) y la fosforilación de esta molécula por la MVP quinasa (PMK) da lugar a MVA-5-difosfato (MVPP). La descarboxilación de este intermediario por la MVPP descarboxilasa (PMD) origina el IPP. En la ruta del MVA, el DMAPP se forma a partir del IPP por la acción enzimática IPP- DMAPP isomerasa (IDI). La isopentenil transferasa transfiere el isopentenilo del DMAPP al AMP formando el ribotido de isopenteniladenosina. (Philips, 2008)

Son producidas en los órganos en crecimiento y en el meristemo de raíz. Se sintetizan a partir del isopentenil adenosina fosfato (derivado de la ruta del ácido mevalónico) que por pérdida de un fosfato, eliminación hidrolítica de la ribosa y oxidación de un protón origina la zeatina, es una citocinina natural que se encuentra en el maíz. (Raisman & González 2000)

Ruta del ácido mevalónico.

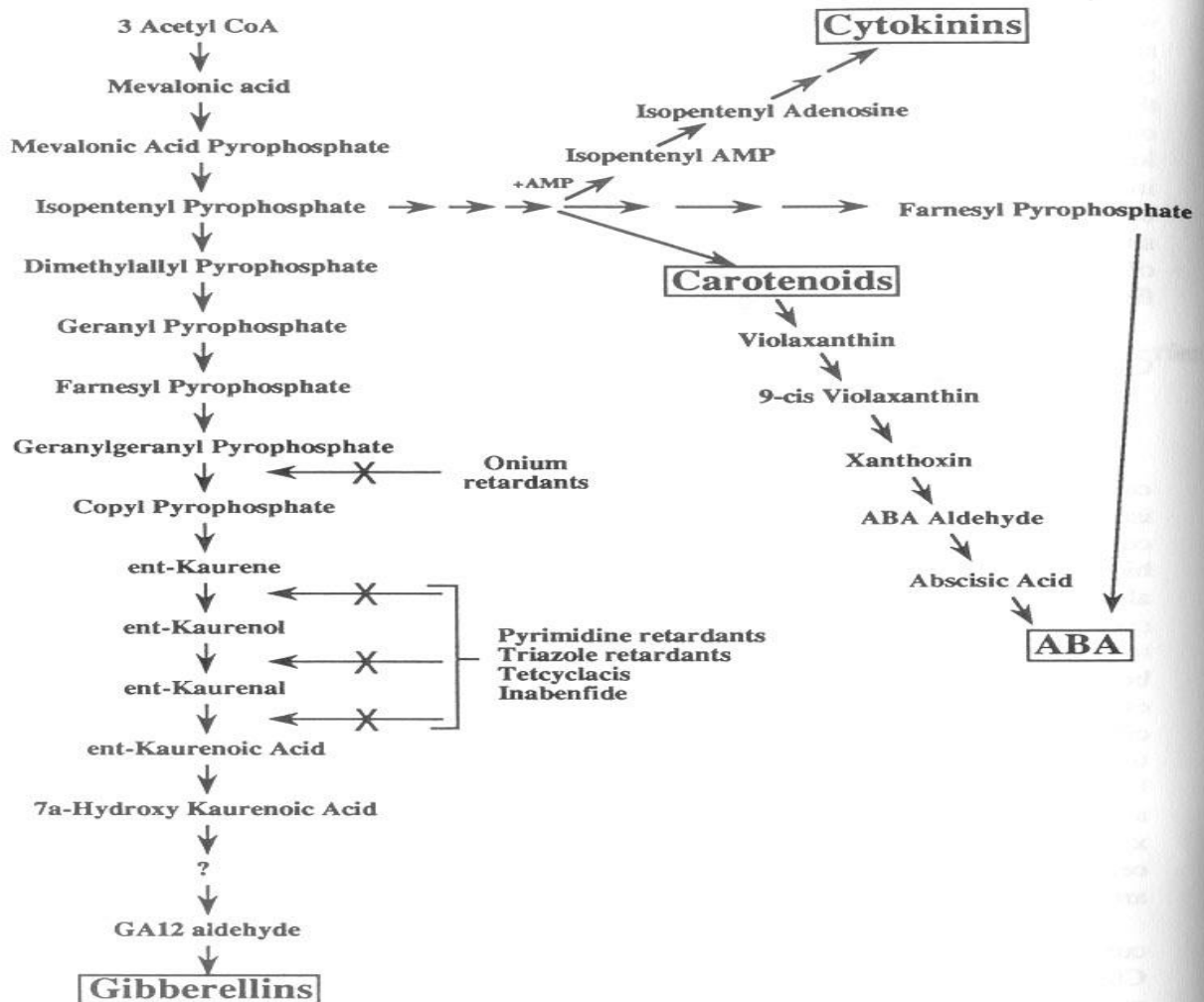


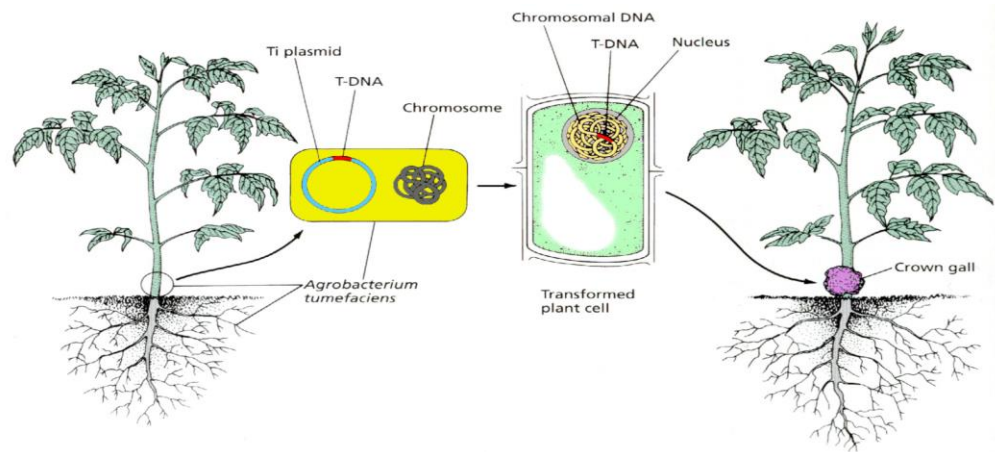
Figure 3.12. Mevalonic acid pathway for the biosynthesis of gibberellins, cytokinins, and abscisic acid.

b) Biosíntesis por *Agrobacterium tumefaciens*.

Tiene lugar en los tumores de corona infectados por la *Agrobacterium tumefaciens* que contiene un plásmido ti, conocida como T-ADN, se incorpora al ADN nuclear de la célula vegetal huésped. El T-ADN contiene los genes necesarios para la biosíntesis de trans-zeatina y un compuesto que contiene nitrógeno llamado opina. La expresión de los genes T-ADN en la planta produce la síntesis de zeatina, una auxina y una opina que es aprovechada por la bacteria como fuente de nitrógeno.

En la infección, se produce la inserción de genes bacterianos en el genoma de la célula vegetal, por todos en el T-DNA. Estos codifican encimas para la síntesis de dichas fitohormonas.

(Taiz & Zeiger 2006)



Agrobacterium-producción de callos por acumulación de citocinina

INICIO

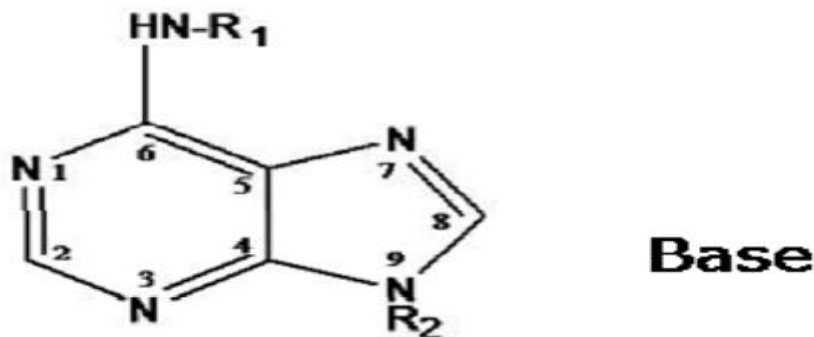
4) ¿Defina cuáles son los tipos de citocininas?

Según su origen se pueden distinguir dos tipos de citocininas: aquellas naturales generadas por las plantas y otras artificiales, sintetizadas por el hombre. Todas las citocininas naturales se generan a partir de DMAPP (vía del ácido mevalónico,) y 5'-AMP y su síntesis acontece principalmente en la raíz, aunque también en los meristemos apicales y semillas inmaduras. La mayoría de las citocininas naturales y artificiales conservan la base adenina, aunque a las segundas se les ha ligado diversas moléculas. Generándose así, por ejemplo, la Benciladeninas (BA) o la furfurilaminopurina (kinetina). Posteriormente fue sintetizado otro tipo totalmente diferente de estructura, sin la base adenina con acción biológica idéntica a las citocininas como el tidiazurón (TDZ). Los reguladores Sintéticos como BA, kinetina o TDZ, son más potentes que las hormonas naturales endógenas (zeatina, *trans*-zeatina o isopentiladenina), debido no sólo a sus particularidades específicas, sino también a que, salvo algunos reportes contrarios las artificiales no pueden ser degradadas o metabolizadas por el tejido. TDZ es considerado uno de los inductores más potentes en la formación de nuevos brotes o embriones somáticos tanto en plantas leñosas como herbáceas. Adicionalmente, las citocininas naturales pueden existir como hormonas activas con la base de adenina libre o como formas conjugadas con azúcares, como la ribosa o ribosa 5- fosfato enlazadas al N9 de

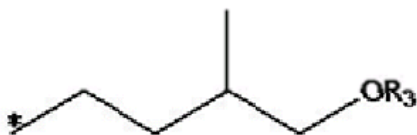
la base adenina . En estos casos, las citocininas conjugadas muestran pérdida de actividad en ensayos biológicos. (Huetteman & Preece, 1993).

Las citoquininas (Cks) son un grupo de fitohormonas con importantes funciones en todas las fases del desarrollo de las plantas, desde la germinación de las semillas hasta la senescencia. Desde el descubrimiento de la primera citoquinina (Ck) por la kinetina, el número de compuestos químicos que engloba la definición de Cks ha crecido para incluir un gran número de componentes sintéticos y naturales, derivados de la adenina y la Fenilurea. Todas las Cks naturales identificadas hasta este momento son derivados de adenina con un sustituyente de naturaleza isoprenoide o aromática en el nitrógeno amínico de la posición 6 del anillo de purina. Según dicho sustituyente se consideran 2 grandes clases: las Cks isoprenoidicas, que incluyen las familias de la isopenteniladenina (iP), la zeatina (Z) y la dihidrozeatina (DHZ); y las Cks aromáticas, que comprenden las familias de la benciladenina (BA) y las orto/meta/para- hidroxibenciladeninas, Comúnmente llamadas topolinas (oT, mT y pT). Las Cks pueden encontrarse en las plantas como bases libres o formando conjugados con diversos compuestos químicos que se unen al anillo de purina o a la cadena lateral. Las principales formas conjugadas de las Cks son los ribósidos (conjugación con una ribosa en la posición 9 del anillo de purina), los ribótidos (el ácido orto fosfórico se esterifica en posición 5' con el correspondiente ribósidos) y los glucósidos (conjugación con un resto de glucosa, ya sea en el anillo (N-glucósidos) o en el grupo hidroxilo de la cadena lateral (O-glucósidos).

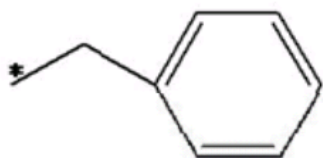
CITOQUININAS NATURALES



Ejemplos r1



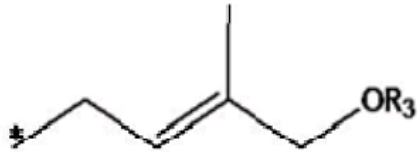
Dihidrozeatina (DHZ)



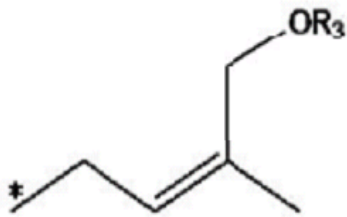
Benciladenina (BA)



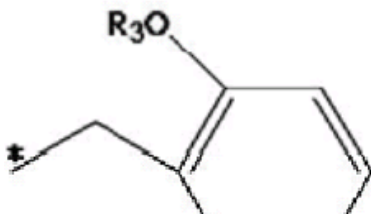
Isopenteniladenina (iP)



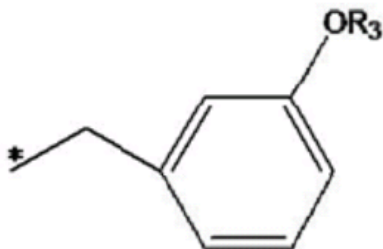
***trans*-Zeatina (tZ)**



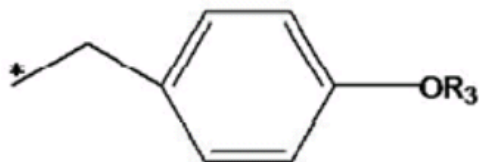
***cis*-Zeatina (cZ)**



***orto*-Topolina (oT)**



***meta*-Topolina (mT)**



***para*-Topolina (pT)**

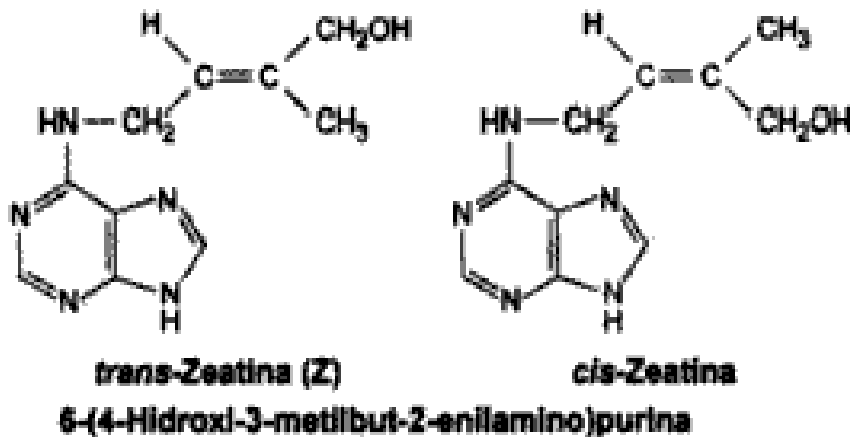
Las Cks isoprenoidicas y dentro de éstas, isopentenil adenina (iP), zeatina (Z) y dihidrozeatina (DHZ) son las predominantes en las plantas superiores; se piensa que las bases libres y sus ribósidos (iPR, ZR, DHZR) son los compuestos biológicamente activos mientras que los glucósidos de Ck juegan un papel en el transporte, en la

protección frente a la degradación y en la inactivación reversible e irreversible de dichos Compuestos También han sido descritas Cks aromáticas naturales como el ribósidos de BA (BAR) en *Pimpinella anisum*, la BA en agallas de *Lycopersicon esculentum*, y la mT en *Populus×canadiensis* (Letham 1965)

Las derivadas de la adenina tienen siempre una cadena lateral unida al grupo amino 6 del anillo purínico. Hay dos tipos de citoquininas: La de tipo adenina, se encuentran en los tejidos vegetales (raíz, tallo y hoja). Las de tipo fenilurea, no se encuentran en los vegetales ejemplo, difenilurea o tidiazuron (TDZ) y el CPUU. Actúan como análogos estructurales y presentan una actividad muy potentes

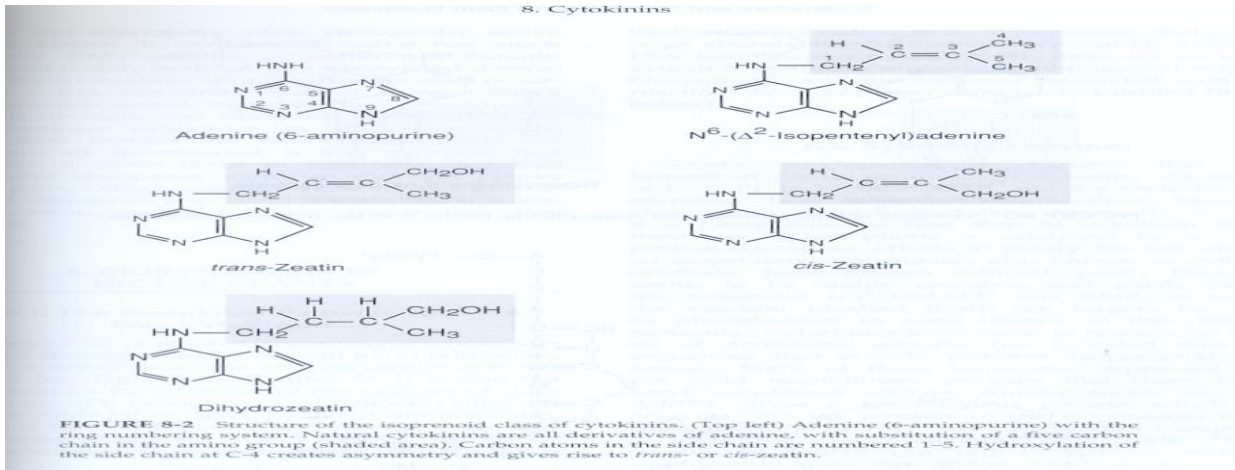
Citocininas naturales

La estructura molecular de la zeatina es similar a la de la quinina. Las dos moléculas son derivadas o aminopurina. aunque tienen cadenas laterales diferentes, en ambos casos la cadena lateral está unida al nitrógeno 6 de la aminopurina como la cadena lateral de la zeatina tiene un doble enlace, puede existir en la configuración (cis y trans). En las plantas superiores, la zeatina libre está presente en las configuraciones cis y trans, siendo ambas formas interconvertibles por la zeatina isomerasa.



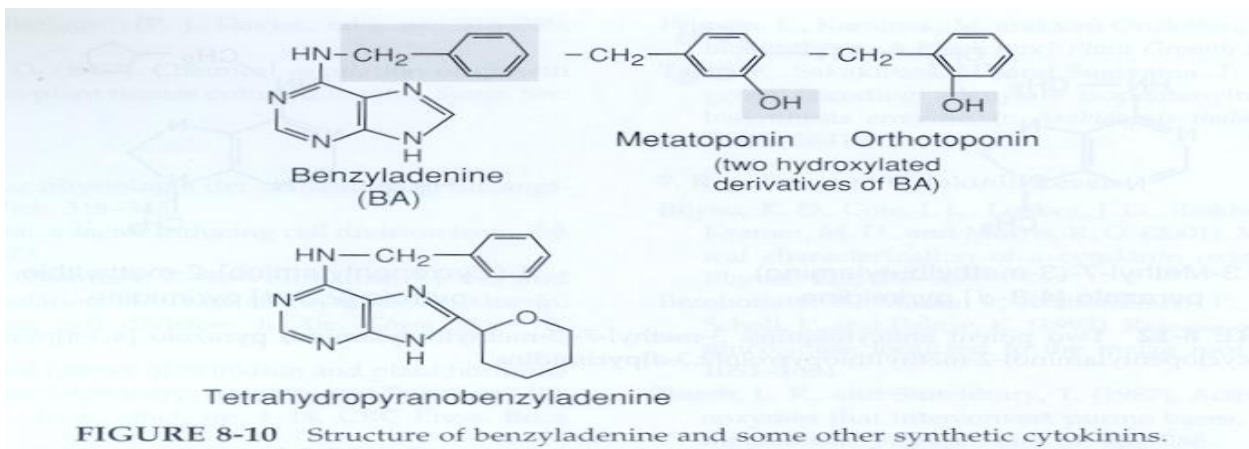
Adenina
 Zeatina (trans y cis)
 Dihidro-zeatina (DZ)
 Dimetilalil adenina (DMAA)
 Isopentenil adenina (IA)

8. Cytokinins



Citocininas Sinteticas

Al grupo de los análogos N6-benciladenina pertenecen la activa citoquinina sintética **6-bencilaminopurina (BAP)** y unos pocos derivados naturales hidrolizados. Benzyl-adenina Tetrahydropyranyl-benzyl-adenina (Taiz y Zeiger 2006)



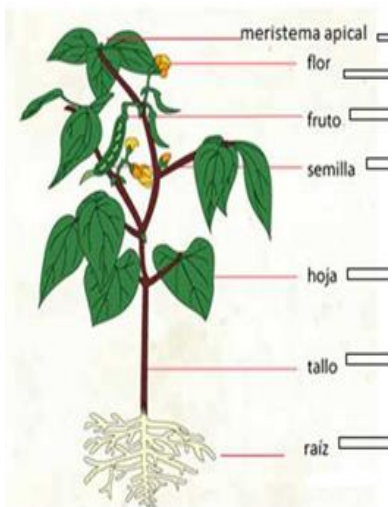
INICIO

5) ¿En qué órganos y tejidos de las plantas se sintetizan las citocininas?

R//= Estas fitohormonas se encuentran en tejidos vasculares, sobre todo en el xilema, pero también en menor cantidad en el floema, en ápices de raíces coordinando lo que es la dominancia apical de la raíz, en frutos en desarrollo, en tejidos tumorales infectados por *Agrobacterium tumefaciens*, en semillas en germinación de forma conjugada, en nódulos de raíces de Leguminosas tumefaciens, en algas, bacterias y hongos. Sin embargo no en todos los lugares que estas se encuentran se sintetizan, las citocininas se sintetizan en la raíz específicamente en el citoplasma de las células parenquimáticas lugar de donde pasan al núcleo de esta y se transportan a través del xilema a otros órganos de la planta como emisoras de mensajes, donde fomentan de manera general un estado más juvenil de desarrollo y otros efectos fisiológicos. (Siari, 2012)

R//= La síntesis de citoquininas endógenas se lleva a cabo principalmente en las raíces en muchas especies, y migran hacia los ápices vía xilema, posiblemente en la forma de nucleósidos y nucleótidos. También parecen sintetizarse en el cambium en actividad y en hojas, semillas, frutos y tubérculos en activo crecimiento. (Jensen, 1974 & Tizio, 1980).

R//= Las citocininas se sintetizan en lugares como ser Meristemos de raíz y tallo Cambium Tejidos de almacenamiento (conjugados) Tejidos en crecimiento: semillas, frutos, raíces, yemas laterales y endospermo líquido. (Jordán & Casaretto 2004)



INICIO

6) ¿Explique el modo de acción de las citoquininas?

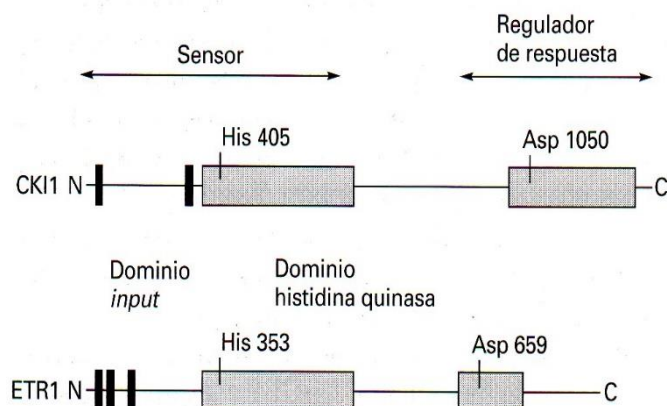
R1//=

Modos de acción

Regulan la síntesis proteica

El mecanismo de acción de las citoquininas es desconocido, pero existe un profundo efecto en la tasa de síntesis proteica y sobre el tipo de proteína sintetizada por las células de la planta que actúan a nivel de los genes o moléculas. Una hipótesis que podría explicar el mecanismo de acción de esta hormona es que estaría relacionado con la síntesis de algunas proteínas específicas. Afectan las etapas post transcripcionales en algunas especies. Por esta razón se han hecho muchos intentos para descubrir si las citoquininas actúan mediante el control de la transcripción y traducción de ciertas proteínas claves. (Salisbury & Ross, 1994).

Su presencia en los ARNt pueden regular la síntesis proteica. Aunque el conocimiento del modo de acción de las citoquininas es muy fragmentario al parecer se verifica de manera similar al de las auxinas y giberelinas. Así, el modo de acción parece tener relación con ciertos ácido ribonucleico de transferencia (ARNt), de los cuales forma parte o con los cuales se une (Tizio 1980 & Villatoro, 2014)



R2// = **El modo de acción de las citocininas está dado por dos modelos.**

➤ **Modelo simple**

Se produce la autofosforilación del residuo de His El fosfato es transferido a un residuo de Asp. Activación del dominio output del regulador de respuesta, que en muchos casos es un factor de transcripción.

➤ **Modelo de transferencia de fosfatos**

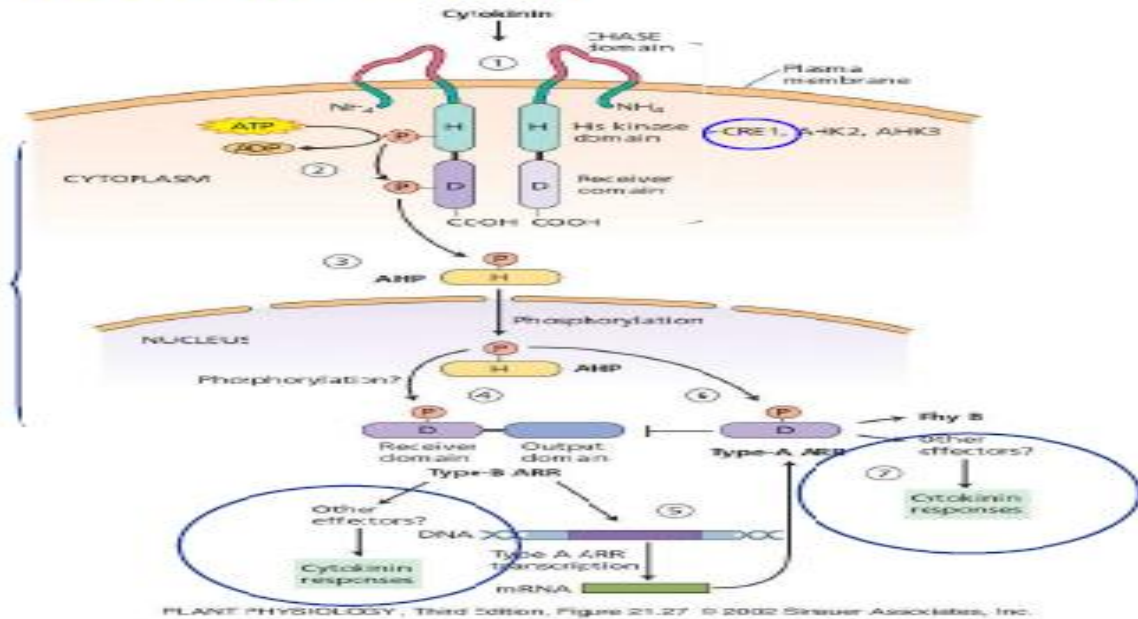
Transferencia de fosfato mediado por una proteína fosfotransferasa (Hpt), llamada AHP en Arabidopsis, entre el sensor y el regulador de respuesta, llamado ARR.
(Biosciences, 2006)

R3//

El modo de acción de las citocininas comprende los siguientes pasos: Receptor identificado: proteína transmembrana CRE1 . Amplificación de la señal: proteínas kinasas, fosforilación de proteína que transfiere la señal al núcleo. Activación de genes vinculados con respuestas a citoquininas. (Pérez, 2005-2006).

INICIO

Modo de acción



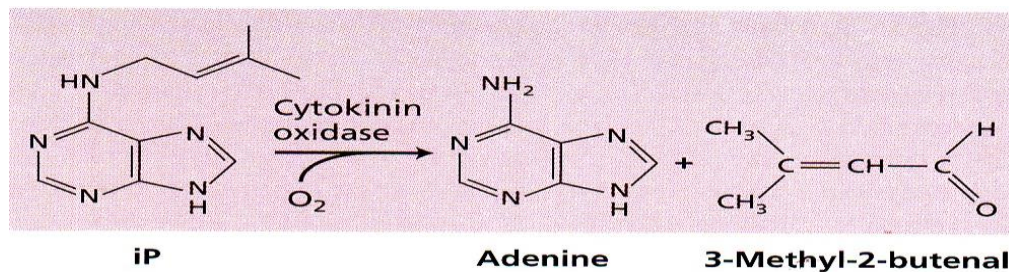
7) ¿Describe el proceso degradativo de las citocininas?

R// En cuanto a su degradación, las citocininas pueden ser inactivadas por O-glicosilación en el grupo hidroxilo terminal en citocininas tipo zeatina o por N-glicosidación en el N3 o N7 de la adenina. El primer efecto es reversible, considerándose esta forma como de reserva o almacenamiento. Además, las formas activas pueden ser degradadas por la acción de citocinin-oxidasas que reconvierten a varias en su base adenina o sus derivados. (Smith & Atkins, 2002)

R// Modificaciones de la adenina

N-glucosilación: está restringida a citoquininas con bases libres. Las citoquininas N-glucosiladas en el N3, N7 o N9 del anillo de la base púrica no son activas, reducen la cantidad de citoquininas activas en respuesta a condiciones fisiológicas. Conjugación con alanina: produce metabolitos extremadamente estables e inactivos, reduciendo también la cantidad de citoquininas activas. Modificación de la cadena isoprenoide citoquinín oxidasas: degradan cadenas insaturadas por oxidación, convirtiendo citoquininas activas en adenina. Son susceptibles bases y nucleósidos pero no nucleótidos. Glucosil transferasa: las citoquininas O-glicosiladas en el grupo OH de las posiciones 7 o 9 de la cadena son más resistentes a la acción de oxidasas. β -glucosidasas: restauran la actividad de citoquininas. Zeatin reductasa: reduce trans-zeatina a dihidrozeatina, requiere NADH como cofactor. Zeatin isomerasa: favorece la conversión cis-trans-zeatina. Hidroxilasa: hidroxilación del isopentenil, requiere NADPH. (Pérez 2005-2006)

R// En las citocininas se dan varios pasos para que se dé su degradación. El isopentenil AMP que se forma en esta reacción puede convertirse después en isopentenil adenosina por Eliminación hidrolítica del grupo fosfato mediante una enzima fosfatasa y la isopentenil adenosina se puede convertir luego en isopentenil adenina por eliminación hidrolítica del grupo ribosa. Además, la isopentenil adenina se puede oxidar a zeatina mediante el reemplazo de un H por un OH en un grupo metilo del lado de la cadena de isopentenilo. La dihidro zeatina se forma entonces a partir de la zeatina por reducción (con NADPH) del doble enlace de la cadena lateral de isopentenilo. Las concentraciones celulares de citoquinina también son influidas por su degradación y por su conversión en derivados probablemente inactivos, diferentes de los nucleosidos y nucleotidos. La degradación es efectuada principalmente por la citocinina oxidasa, un sistema enzimático que extrae la cadena lateral de cinco carbonos y libera la adenina. (Huamanyauri, 1998)



INICIO

8) ¿Explique el movimiento de las citocininas dentro de la planta?

R// Westwood (1982), señala que el transporte de las citoquininas en la planta es en dos direcciones: desde las raíces se transloca a través del xilema y desde los puntos de aplicación (o síntesis en los órganos aéreos) se mueve a través del floema y parénquima, donde su movimiento es más lento y polar. El flujo acropétalo de las citoquininas en el xilema alcanza un máximo en primavera cuando se aproxima la época de floración y luego disminuye a finales del verano, permaneciendo así durante el invierno.

Las citocininas tienen un transporte xilema-floema. Se transportan por vía acrópeta, desde el ápice de la raíz hasta las hojas, moviéndose a través de la savia en los vasos correspondientes al xilema. (Jordán & Casaretto 2006)

Talon (1993), El movimiento de las citocininas en la planta, puede ser tanto hacia al apice como a la base. Este depende de la naturaleza química de la hormona. Por ejemplo en tomate (trans-) Zeatina es el tipo de citoquinina principalmente transportada por el xilema (hacia apice de la planta), mientras que isopenteniladenina se encuentra en mayor cantidad en el floema. De este modo pueden translocarse a diferentes partes de la planta ejerciendo varias funciones regulatorias. Esto parece no ser válido en el caso de citocininas de la familia de las fenilureas (sintéticas) en las que se ha demostrado su inmovilidad dentro del tejido vegetal.

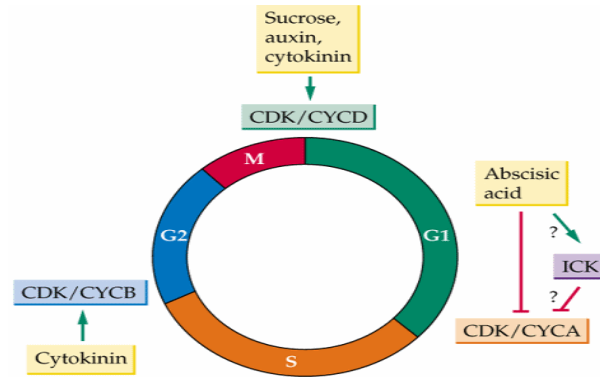
Las citoquininas son transportadas desde la raíz al tallo a través del xilema. Los meristemos apicales son los principales sitios de la síntesis de citoquininas libres en las plantas enteras. Las citoquininas sintetizadas en las raíces parecen moverse a través del xilema al tallo, junto con el agua y los minerales incorporados a través de las raíces. Esta ruta de movimiento de citoquininas se basa en el análisis del xilema exudado. Cuando se corta el tallo de una planta enraizada cerca de la línea del suelo, la savia del xilema continúa fluyendo desde el extremo cortado durante un tiempo. Este xilema exudado contiene citoquininas si el suelo que cubre las raíces se mantiene húmedo el flujo del xilema exudado puede continuar durante varios días. Dado que el contenido de citoquininas del exudado no disminuye es probable que las citoquininas encontradas en el exudado se hayan sintetizado en las raíces. Además, los factores ambientales que interfieren en la función de la raíz como el estrés hídrico, reducen el contenido de citoquininas del xilema exudado. (Itai & Vaadia, 1971)

Por el contrario el suplemento de Nitrato a raíces de maíz con carencia de Nitrógeno produce un aumento de la concentración de citoquininas en la savia del xilema que se ha correlacionado con una inducción de la expresión genética regulada por citoquininas en los tallos. Aunque está bien establecida la presencia de citocininas en el xilema, experimentos recientes con injertos han generado dudas sobre el papel de estas citoquininas. (Samuelson, 1992)

INICIO

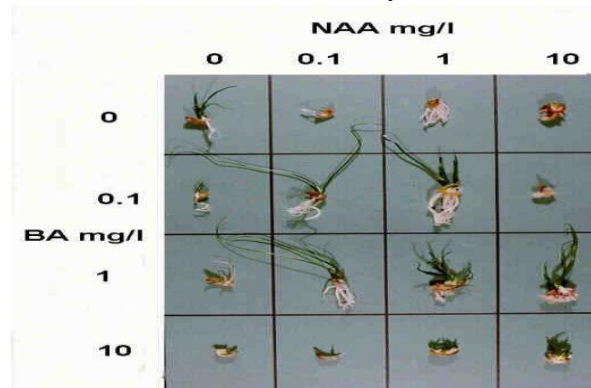
9 ¿Enumere y describa el efecto fisiológico de la citocininas?

La citoquinina regula los componentes específicos del ciclo celular. Regula la división celular al afectar a los puntos de control, que regulan el máximo a través del ciclo de división celular. Se alcanza un máximo en la célula dentro de la fase S, la mitosis y la fase G. Se descubrieron por su capacidad de estimular la división celular de los tejidos. (John & Col. 1993)



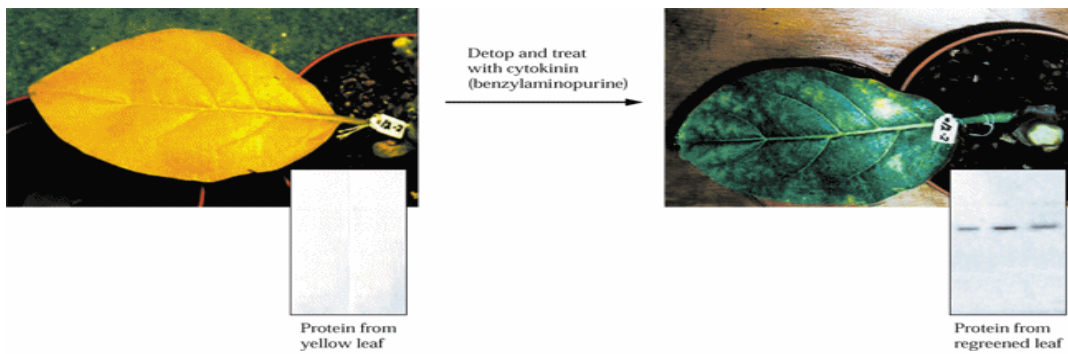
La relación entre la auxina y citocininas regulan la morfogénesis en cultivo de tejidos. El efecto de la relación auxinas/citiquininas en la regulación de la morfogénesis. Se pueden ver en tejidos por mutaciones de T-DNA del plásmidos, las mutaciones en el gen (el locus TMR) del plásmido, tbloquean la biosíntesis de la ceatinas en las células infectadas modifican la dominancia apical y promueven crecimiento lateral de las yemas. . (Garfinkel & col. 1981)

Los principales determinantes de los factores de la planta en la dominancia apical, las plantas con una gran dominancia apical, tienen pocas ramas laterales por el contrario, en las plantas arbustivas inician su crecimiento lateral, los estudios fisiológicos indican que la citoquinina participa en el inicio del crecimiento de las yemas laterales.(Smith, 1988)



Las citocininas retrasan la senescencia.

Las hojas separadas de la planta pierden lentamente la clorofila, RNA, lípidos y proteínas, incluso si mantiene húmedas y proporcionan minerales este proceso de desprendimiento programado, estas hojas sufre la senescencia más rápidamente en la oscuridad, en hojas aisladas de muchas especies es posible retrasar la senescencia con las citoquinina, puede retrasarla de forma bastante importante sobre todo cuando la citoquinina se pulveriza sobre la parte intacta, si solo se trata con citoquinina la parte de la hoja permanece verde, incluso un punto de la hoja que pueda permanecer verde mientras la tratan con los tejidos de la misma hoja inician la senescencia. A diferencia de las hojas jóvenes a las hojas maduras produce pocas citoquinina. (Nooden & Col. 1990)



La citoquinina promueve el desarrollo de los cloroplastos. Los cloroplastos maduran directamente desde los proplastos presentes en el embrión, pero los etioplastos también pueden madurar a proplastos. Estos resultados surgieron juntos con otros factores como la luz, nutrición y desarrollo. Regulan la síntesis de las proteínas y pigmentos fotosintéticos. Promueven la expansión de las células en las hojas y cotiledones. Los cotiledones carnosos se expanden más en presencia de luz. La de polinización inducida por la citoquinina no va acompañada de salida de protones, ni la auxina ni giberilinas promueven la expansión de los cotiledones. (Corri & Col. 1994)

INICIO

10 ¿Explique qué ocurre en la relación de auxinas-citocininas con la decapitación de las plantas?

Las citocininas promueven el crecimiento lateral, mientras que las Auxinas promueven el crecimiento vertical, entonces: Un equilibrio de estas hormonas forma un crecimiento uniforme o equilibrado para la planta cuando se hace una decapitación del ápice las concentraciones de auxinas bajan aumentando así la concentración de citocininas provocan un crecimiento lateral dominante cuando se decapita la planta el crecimiento vertical disminuye porque el centro de división celular principal que es el ápice es removido estimulado de esta forma la división y elongación celular de los brotes o yemas axilares. (Heng & Harberd 2004)

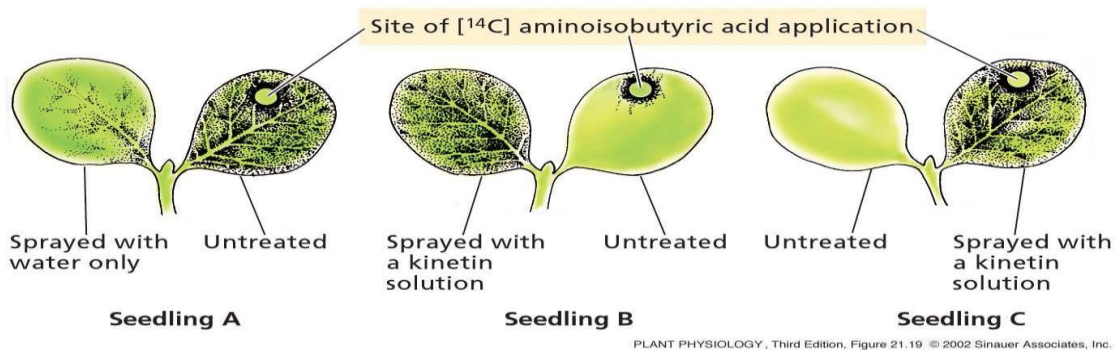
R// Alterando ligeramente las concentraciones relativas de auxina y citoquinina, los investigadores han podido modificar el desarrollo de las células indiferenciadas de los cultivos de tejidos. Una concentración más o menos igual de las dos hormonas hace que las células sigan indiferenciadas, formando masa de tejido llamadas callos.

citquininas / auxinas = 1 → callos

citquininas / auxinas < 1 → promueve elongación de raíces

Citoquininas / auxinas > 1 → promueve formación de tallos

(Rost, 1998)



INICIO

11. ¿Explique el papel de las citoquininas en el desarrollo y germinación de la semilla?

Las citoquininas son un intermediario entre el estímulo a menudo la luz o la temperatura y la respuesta puede ser la germinación, floración. Rompimiento del letargo de las yemas y semillas de algunas especies. La dormancia de semillas está relacionada con los niveles endógenos de CTS, estableciéndose que aumentan su contenido al final del proceso y que estimulan la germinación. En general, estas hormonas influyen en el proceso cuando hormonas como el Ácido Giberélico son utilizados junto o previamente. (Nooden y col. 1990)

Las auxinas usadas junto con las citoquininas pueden estimular o suprimir la embriogénesis in vitro. La adición de auxinas tales como AIA y 2,4 -D al medio de cultivo en concentraciones elevadas, suprimen significativa o totalmente la embriogénesis mientras que los inhibidores de síntesis de auxina (7-azindol y 5-HNB) estimulan este proceso al igual que las altas concentraciones de citoquininas, especialmente cinetina y benzilaminopurina. Uno de los ejemplos más claros de la actividad de la citoquinina ocurre en la germinación de gérmenes. El endospermo de los gérmenes del monocotiledon, tales como el maíz, contiene almacenes grandes del precursor zeatin, cuando el núcleo del maíz germina, los movimientos del zeatin del endospermo a la raíz se inclinan donde se estimula mitosis vigorosa. (Huamanyauri, 1998)

INICIO

12 ¿Cómo actúa la citoquininas en la síntesis de clorofila?

En la mayoría de las especies vegetales las hojas se vuelven amarillentas tan pronto han sido separadas de la planta. Este color, que se debe a la pérdida de clorofila, puede evitarse mediante citoquininas. Las hojas del cadillo por ejemplo se vuelven amarillentas al cabo de unos diez días si cuando se arrancan se dejan en agua. Si se añade cinetina al agua (10 mg por litro) se conserva gran parte de clorofila y se contiene la apariencia fresca de la hoja si se arrancan hojas y se rosian con una solución de cinetina, las zonas rociadas permanecen verdes mientras que el resto de las hojas amarillentas. Además, si una hoja rosiada con citoquininas contiene aminoácidos radioactivos, marcados con ¹⁴C, se puede demostrar que los

aminoácidos migran hacia las zonas tratadas con citosininas desde otras partes de las hojas. Estos estudios que también se han hecho con rabanos y otros vegetales, propician la hipótesis de que la senescencia de las hojas y probablemente de que otras partes de la planta, se debe a que los segmentos de ADN van quedando progresivamente “fuera de servicio”, con la consiguiente mengua en la producción de RNA mensajero y en la síntesis de proteínas. Tales hipótesis llevaron a proponer que las citosininas impiden que el ADN quede fuera de servicio y por lo tanto inducen la síntesis continuada de enzima y la producción continua de compuestos como la clorofila. (Raven & Eichhorn 1990)

Se demoran o retrasa la senescencia. Uno de los efectos de las citocininas es retardar la senescencia de las hojas, provocando que las hojas permanezcan más tiempo verdes por mayor contenido de clorofila y funcionales. Las citocininas permiten el desarrollo de cloroplastos (con formación de granas) en oscuridad, reemplazando parcialmente la demanda de luz. Una mayor permanencia de clorofilas activas implica para la hoja y la planta la conservación de la síntesis de proteínas y consiguiente transcripción de varios genes. Esto se ha demostrado con la expresión de varias bandas de proteínas que no son visualizadas cuando el tejido envejece. La presencia de citocininas provoca un efecto “sumidero” (sink) en el transporte de varias “materias primas” (por ejemplo aminoácidos) hacia los tejidos donde se encuentra la hormona y donde estos recursos serán usados para la síntesis de nuevas proteínas. Experimentos clásicos con un aminoácido radioactivo que no puede ser biodegradado, el ácido aminoisobutírico, demostraron que este se mueve hacia el sitio de aplicación de una citocinina, indicando que la producción de proteínas trae una consiguiente detención del proceso de senescencia comparado con el resto de los tejidos sin la hormona. (Jordán & Casareto, 2006)

INICIO

13 ¿Explique los efectos que provoca una alta concentración de citocininas en una hoja senescente?

Tizio (1980), señala que al ser aplicadas a las hojas senescentes, las citocininas demuestran una acción local debido a que prácticamente no se trasladan. Quinlan & Waeber (1969), citado por Weaver, (1976) quienes demostraron que al tratar una parte de hoja de vid con citocininas, los patrones de translocación de las parras se alteran, de tal modo que los productos fotosintéticos se desplazan hacia la zona tratada. El retardo en la senescencia foliar se debe a que las citosininas permiten conservar por más tiempo la clorofila debido al retraso de la ruptura de los cloroplastos, mantienen el contenido de proteínas y ARN, prolongando por más tiempo la fotosíntesis y la retención de asimilados. Además, promueve el transporte de nutrientes y fotosintatos desde las hojas senescentes hacia las hojas jóvenes. (Hopkins, 2007).

Las citocininas retrasan la senescencia de las hojas, poseen acción promotora en la translocación de nutrientes la cual se observa cuando se aplica citocininas en una zona de la hoja y los metabolitos migran hacia aquel lugar desde la misma hoja o de hojas adyacentes e incluso de aquellas más viejas acumulándose en el punto tratado logrando aumentar la capacidad de los tejidos jóvenes de actuar como sitios de recepción y acumulación en el transporte a través del floema. Salisbury & Ross (1994) Aparentemente, los efectos antisenecestes en hojas viejas se deben al mantenimiento de la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos en la oscuridad. (Lethman, 1973)

Proceso fisiológico	hormonas	antagonismos	sinergismos	Efecto sobre las plantas
Estimulación a la división celular	auxinas			Favorecen transcurso de la fase G2 a M de la célula con la síntesis de ADN y transducción del ARNm
Retardo de la senescencia foliar	etileno y ácido abscísico			El etileno y ABA estimulan la senescencia.
Estimulación del crecimiento de yemas laterales	auxinas		X	Las auxinas promueven el crecimiento apical y reprimen el crecimiento de yemas laterales
Elongación celular	auxinas giberelinas	X		Favorecen la extensibilidad mecánica de la pared celular.
Inducción de partenocarpia e frutos	giberelinas auxinas	X		Favorecen una reproducción sin fecundación.
Germinación de las semillas	ácido abscísico		X	El ABA inhibe la germinación de semilla.
Inhibición del crecimiento radicular	auxinas		X	Auxinas promueven el desarrollo radicular en bajas concentraciones
Inducción a la floración	giberelinas		X	????
Apertura de los estomas	ácido abscísico	X		El ABA estimula el cierre de los estomas para evitar la deshidratación.
Estimulación a la Síntesis de clorofila	ácido abscísico etileno	X		EL ABA y etileno evitan síntesis de clorofila
Estimulación a la síntesis de proteínas y lípidos en las hojas	ABA, etileno		X	El ABA Inhibe este proceso para que la planta no gaste energía

INICIO

15 ¿Qué utilidades se le da a las citocininas en la agricultura moderna?

R=/ El uso de citoquininas en la agricultura está creciendo. Existen diversos productos comerciales con formulaciones de alta reactividad, a base de forclorfenurón o CPPU, que se aplican en todo tipo de hortalizas, frutales, plantas de ornato, uva de mesa, y otros cultivos de interés comercial. El nivel de respuesta de cada vegetal está específico y está determinado por diversos factores como el momento de aplicación y la edad de la planta. Una característica importante de estas hormonas es su alta actividad. Las dosis necesarias para obtener la respuesta deseada son muy bajas. El uso de esta hormona vegetal tiene como objetivo incrementar la calidad, la cantidad y el calibre de los frutos. (Woodward & Bartel, 2005).

Algunos de los usos más relevantes son:

Amarre de frutos: En varias especies se ha establecido que las citocininas estimulan el amarre de los frutos y en particular en aquellos que son del tipo carnoso. Este efecto se potencializa cuando la aplicación se hace junto con auxinas y giberelinas en bajas concentraciones.

Crecimiento de Frutos: En los diferentes frutos carnosos (y no carnosos) parte de su crecimiento ocurre por la división celular de sus tejidos. Esto es regulado en parte por la presencia de citocininas y otras hormonas. La administración de citocininas en frutos cuando la división celular se encuentra en la fase de mayor intensidad contribuye al tamaño y por ende rendimiento y calidad del cultivo. La manipulación del crecimiento del fruto por citoquininas requiere de ciertas consideraciones:

- Días desde la floración a cosecha, siendo los días cortos más sensibles a ser manipulados.
- Número de semillas: frutos sin semilla o muchas semillas son muy sensibles, frutos con pocas semillas son menos sensibles y frutos de una sola semilla (Carosos) son pocos sensibles.
- Tipo de fruto: frutos carnosos (acuosos) son más sensibles, frutos carnosos (oleosos) son menos sensibles, frutos secos son pocos sensibles.
- Protección física, considerando que las citocininas exógenas no son móviles dentro de la planta, si existe un fruto donde el ovario tenga protección física (pubescencias en kiwi, cáscara gruesa en banano o palto) va a ser más complicada la manipulación hormonal.

Crecimiento vegetativo:

La actividad de las plantas se refleja en la continuidad de crecimiento de los brotes y sus hojas, lo cual repercute en mayor área foliar para maximizar la eficiencia fotosintética de los cultivos. Las CTS son partícipes de este proceso en cuanto a que los tejidos activos producen esa hormona para estimular la división celular y con ello establecer una “base” o estructura sobre la cual continúe el crecimiento.

Con la aplicación de citocininas no se obtiene una respuesta rápida de crecimiento como la que se obtiene con aplicación de ácido giberélico, ni se induce una clorosis de las hojas; La respuesta es lenta pero vigorosa, preparando la planta para la producción de flores y frutos. En casos en que el crecimiento vegetativo haya estado bajo condiciones de estrés (exceso de agua, sequía, no fertilización (desbalance nutrimental), salinidad, calor extremo, frío intenso, carga excesiva, enfermedades, etc.), la respuesta a la aplicación de citocininas es más efectiva especialmente cuando se hace inmediatamente después de que el cultivo ha salido de esa condición de estrés. La aplicación de citocininas a plantas en etapa adulta (chiles, tomates, etc.) puede reactivar (rebrotar y volver a producir flores) al cultivo y mantener y prolongar así su crecimiento y su capacidad productiva. Sus efectos incluyen el retraso en el envejecimiento.

Desarrollo de las yemas laterales: Las citocininas pueden inducir la apertura de yemas laterales de ramas en diversas especies aunque dicho efecto se obtiene con concentraciones más altas. En situaciones de excesiva dominancia de la yema terminal hacia las laterales una aplicación de citocininas puede reducir dicha influencia y parcialmente estimular la brotación lateral. Para este efecto se han manipulado vía citocininas la brotación de yemas laterales algodón con excelentes resultados, y en uvas de mesa, cerezos, manzanos, y demás frutales en los que se busque formación de ramas productivas en años subsiguientes.

Germinación de semillas: La dormancia de semillas está relacionada con los niveles endógenos de citocininas, estableciéndose que aumentan su contenido al final del proceso y que estimulan la germinación. En general, estas hormonas influyen en el proceso cuando hormonas como el Ácido Giberélico son utilizados junto o previamente.

[INICIO](#)

Citas textuales

- Fisiología vegetal volumen 2, Lincoln Taiz & Eduardo Zeiger,
- <http://b-log-ia20.blogspot.com/2011/02/regulacion-de-la-fisiologia-vegetal-i.html>
- https://books.google.hn/books?id=xvNd3udrh1YC&pg=PA481&lpg=PA481&dq=Biologia+de+las+plantas+citocininas&source=bl&ots=jma2MPNzYC&sig=82qg4bsi9IKLZOZFuJhW4B8qQck&hl=es&sa=X&ei=EF-LVZ_JLYumyATiuIewCQ&ved=0CB0Q6AEwAA#v=onepage&q=sintesisde%20clorofila&f=false
- http://ucv.altavoz.net/prontus_unidacad/site/artic/20061206/asocfile/20061206135100/arancia_maite.pdf
- <http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas%20PDF/Tema%2014b%20Reguladores%20del%20Crecimiento.%20Citoquininas.pdf>
- http://www.euita.upv.es/varios/biologia/temas/tema_14.htm
- <http://www.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Auxinasgiberelinasycitocininas.pdf>
- <http://www.lamolina.edu.pe/agronomia/dhorticultura/html/propagacion/fitohormonas/shuamanyauri.doc>

INICIO