الفصل الخامس

الإثيلين

تمثيل الإثيلين

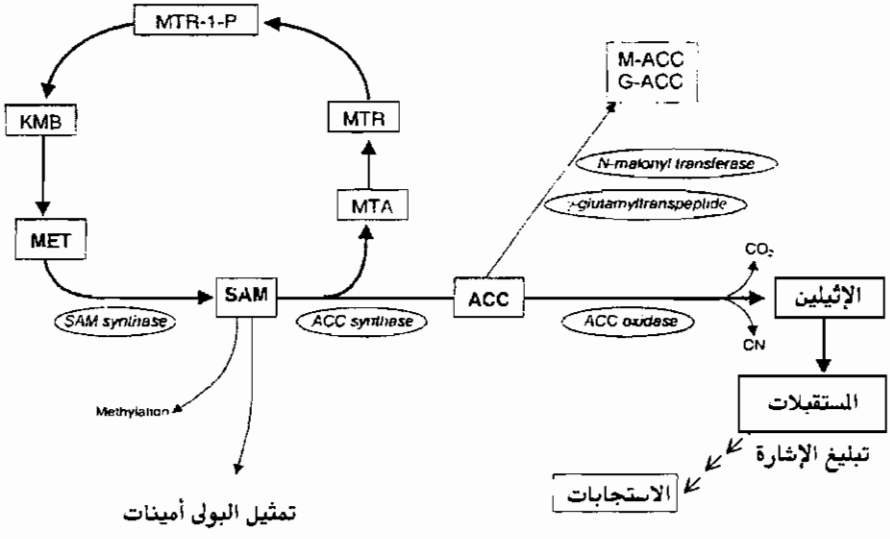
ينتج الإثيلين من المثيونين methionine من خلال مسار أيضى يتضمن المركبان S-adenosyl-methionine (اختصارًا: SAM)، و 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (اختصارًا: ACC) (شكل ٥-١). ويعتقد أن تحول SAM إلى ACC بواسطة الإنزيم ACC synthase هى الخطوة المحددة لمعدل تمثيل الإثيلين. هذا إلا إنه يمكن فى النباتات الراقية إبعاد الـ ACC من المسار الأيضى باتحاده مع مركبات أخرى لتكوين malonyl ACC أو glutamyl ACC (Wills وآخرون ١٩٩٨).

يمكن للإثيلين أن يؤثر فى تمثيله ذاته بالتأثير سلبًا أو إيجابًا فى تفعيل بعض الجينات التى تشفر لجزء من مساره الأيضى. ويعد الإثيلين محفز ذاتى auto-catalytic حينما يُحفزّ تمثيله ذاته، كما يعد مثبط ذاتى auto-inhibitory حينما يوقف الاستمرار فى التمثيل. وغالبًا ما يكون الإثيلين مُثبطًا ذاتيًا فى الأنسجة الخضراء والأنسجة التكاثرية غير المكتملة التكوين، بينما يكون محفزًا ذاتيًا فى الأنسجة التكاثرية المكتملة التكوين مثل الأزهار والثمار.

يلزم توفر الأكسجين لأجل أكسدة الـ ACC إلى ACO الأمر الذى يُحفّز فى وجود تركيزات منخفضة من ثانى أكسيد الكربون. ويُثبَّط فى التركيزات المرتفعة، وخاصة إذا كانت الاستجابة من نوع التحفيز الذاتى. ويعتقد أن الإثيلين الذى ينتج بفعل الجروح أو التعرض للشدّ يحفز نشاط الـ ACS. هذا .. بينما يحفز النضج – بعد بداية الكلايمكتريك – الـ ACO (Baldwin ٢٠٠٤).

تؤدى إضافة الـ ACC إلى الثمار المكتملة النمو الكلايمكتيرية – قبل نضجها – إلى إحداث زيادة صغيرة – فقط – فى إنتاجها للإثيلين؛ بما يعنى أن إنزيمًا آخر (الإنزيم

المكون للإثيلين – ethylene forming enzyme أو ACC oxidase) يلزم لتحويل الـ ACC إلى إثيلين، ويعد الإنزيم ACC oxidase حساسًا للأكسجين. ومن بين العوامل التي تؤثر في نشاط الإنزيم ACC synthase درجة نضج الثمار، والشيخوخة، والأوكسين، والأضرار الفيزيائية، وأضرار البرودة. يتطلب هذا الإنزيم المركب pyridoxal phosphate ليكون في أقصى نشاطه، ويثبط – بشدة – بالمركب aminooxyacetic acid (اختصارًا: AOA والـ rhizobitoxine، ونظيره L-2-amino-4-(2-aminoethoxy)-trans-3-butenoic acid (اختصارًا: AVG)، وجميعها تعد مثبطة للإنزيمات التي تعتمد على الـ pyridoxal phosphate. ويثبط نشاط الـ ACC oxidase بالظروف اللاهوائية، وبالحرارة الأعلى عن ٣٥م، وبأيون الكوبالت.



شكل (٥–١): مسارات تمثيل الإثيلين وصلته بالمسارات الأخرى (عن **Watkins ٢٠٠٢**). أسماء الإنزيمات بحروف مائلة، أما الاختصارات فهي لأسماء مركبات، كما يلي:

MET, methionine; SAM, S-adenosylmethionine; ACC, 1-aminocyclopropane carboxylic acid; MTA, 5′-methylthioadenosine; MTR, 5′-methylthioribose; MTR-IP, 5'-methylthioribose-1-phosphate; KMB, 2-keto-4-methylthiobutyriac acid; M-ACC, 1-(malonylamino) cyclopropane-1-carboxylic acid; G-ACC, 1(γ-L-glutamylaminò)cyclopropane-1-carboxylic acid.

هذا .. ويمكن أن تنتج كميات صغيرة من الإثيلين من أكسدة الدهون.

ولقد اقُترح وجود نظامين لتنظيم تمثيل الإثيلين. يتهيأ النظام الأول للعمل ويتحكم فيه عاملاً غير معروف ربما يكون له دورًا فى تطور حالة الشيخوخة. وهذا النظام رقم ١ هو الذى يقدح أو يطلق النظام رقم ٢، الذى يكون مسئولاً – أثناء نضج الثمار الكلايمكتيرية – عن إنتاج الكيمات الكبيرة من الإثيلين التى تكون ضرورية لاستكمال عملية النضج. ويعد النظام رقم ٢ ذاتى الاستمرار autocatalytic؛ حيث يؤدى إنتاج الثمار للإثيلين إلى دفعها لإنتاج المزيد منه. ولا تمتلك الثمار غير الكلايمكتيرية النظام رقم ٢، كما أن معاملة الثمار الكلايمكتيرية بالإثيلين يلغى أى أثر للنظام رقم ١ فيها.

وكما هو الحال فى الهرمونات النباتية الأخرى، فإنه يُعتقد بأن الإثيلين يتحد مع مستقبل أو مستقبلات خاصة لتكوين معقد هو الذى يشحذ عملية النضج. ويمكن التأثير فى فعل الإثيلين بالتحكم فى كمية المستقبلات، أو بمنع اتحاد الإثيلين معها.

إن نظام التغيرات فى معدل إنتاج الإثيلين وتركيزه الداخلى بالثمار – وعلاقة ذلك ببدء النضج يختلف باختلاف النوع المحصولى للثمار الكلايمكتيرية. ففى أحد النظم (كما فى الموز والطماطم وكنتالوب شهد العسل على سبيل المثال) يرتفع تركيز الإثيلين قبل بدء النضج، وهو ما يقابل الزيادة الابتدائية فى التنفس. وفى نظام ثان (كما فى التفاح، والمانجو، والأفوكادو على سبيل المثال) لا يرتفع إنتاج الإثيلين قبل حدوث زيادة فى معدل التنفس. وفى كنتالوب شهد العسل يزداد التركيز الداخلى للإثيلين من ٠,٠٤ حجم فى المليون (µl/l) إلى ٣,٠ حجم فى المليون، وهو التركيز الذى تبدأ عنده تحولات النضج.

ويعنى تواجد تركيز منخفض من الإثيلين فى الثمار غير الناضجة، واعتماد النضج على النظام رقم ٢ فى إنتاج الإثيلين أن المعاملات التى تمنع الإثيلين من الوصول إلى تركيز محفز للنضج يجب أن تؤخر النضج. وقد أمكن – بالفعل – تأخير النضج فى ثمار الموز الخضراء لمدة ١٨٠ يومًا على ٢٠°م عندما كانت الثمار تهوى باستمرار بهواء

يتكون من ٥٪ ثاني أكسيد كربون + ٣٪ أكسجين + ٩٢٪ نيتروجين (Wills وآخرون ١٩٩٨).

وتنتج النباتات الإثيلين خلال مرحلة النمو الخضرى النشط، وعند نضج الثمار الكلايمكتيرية، واستجابة لعوامل الشدّ البيئى (Wheeler وآخرون ٢٠٠٤).

وما أن يتكون الإثيلين فإنه يمكن أن يتحلل إلى ماء وثانى أكسيد كربون، وأول أكسيد كربون، وفورمالدهيد. وعندما يتحد الإثيلين بالأكسجين فإنه يمكن أن ينتج أول أكسيد الكربون وإيثان ethane، وبروبيلين propylene، وأسيتالدهيد، وبروبانول propanol، وبيوتانال butanal، وأيدروجين، وأكسيد الإثيلين، و dioxyketene (Baldwin ٢٠٠٤).

ومزيد من التفاصيل حول بيولوجى الإثيلين فى النباتات يراجع العددين الأول والثانى (كاملين) من المجلد ١٧٥ لعام ٢٠٠٨ من دورية Plant Scince.

مصادر الإثيلين

تُسهم عديد من المصادر الحية وغير الحية فى تواجد الغاز فى الهواء المحيط بالمنتجات بعد الحصاد. وتعد عملية النضج والأنسجة المصابة بالأمراض من المصادر الرئيسية للغاز، بالإضافة إلى الآليات التى تعتمد على الوقود المحترق (مثل البروبين) فى تشغيلها (Saltveit ٢٠٠٤ب).

ومن المصادر الأخرى الهامة للإثيلين فى المخازن: البلاستيك، واللمبات الفلورسنتية. والدخان.

معدل إنتاج الخضر والفاكهة للإثيلين

تتباين منتجات الخضر والفاكهة – كثيرًا – فى معدل إنتاجها لغاز الإثيلين عند نضجها وأثناء تخزينها كما هو مبين فى جدول (٥–٢)، ومع تباينها فى معدل إنتاجها