

Les hormones végétales ou la régulation hormonale du développement des végétaux supérieurs

I Introduction

1 les facteurs de contrôle du développement et leur effets

Echanges d'informations entre les plantes liés à des stress (hydrique, invasion)

Les caractéristiques du développement des végétaux :

- harmonieux : certain équilibre des proportions Taille relative des != organes proportionnée Surface aérienne / surface souterraine ~ = cte
- coordonnée : apparition séquentielle des organes
- reproductible : pour une espèce donnée dans des conditions identiques (taille, période de floraison, de fructification)

Développement = division cellulaire, élongation, différenciation, mort cellulaire

Fonction de facteurs externes : **Effets trophiques** (T°, lumière, ..) mais aussi parfois **effets mécaniques** (vent, ...) => conditionne l'intensité du métabolisme cellulaire et donc la croissance

Effets signaux : modification du milieu extérieur => signal qui influence le développement de la plante

avec des **effets directes ou indirectes*** => hormones

ex : photorécepteurs (phytochrome) perçoivent l'environnement lumineux et contrôle le développement

Les facteurs de contrôle interne liés à la constitution génétique de l'individu ainsi que le génome qui contient les infos de bases = protéine, enzymes, facteurs de transcription capable de percevoir et intégrer les signaux externes ainsi que de coordonner leur effets pour assurer le développement de la plante

2 Les hormones végétales : généralités

Concept d'hormones

Vient du grec *hormôn* = exciter

Mot qui a fait son apparition en 1905

Substance organique biologiquement active ayant pour caractéristiques :

- une **activité à très faible concentration** (=> aucun rôle énergétique ni nutritif)

- une synthèse réalisée par l'organisme lui-même
- un transport de son site de synthèse à son site d'action (cellules cibles)

Une hormone porte donc une information à une cellule de destination = cellule cible, influence, oriente le métabolisme de celle-ci

Les phytohormones : ou hormones végétales sont des substances organiques naturelles qui influencent l'ensemble de processus physiologiques de croissance, de différenciation et de développement des plantes et leur confèrent leur capacités d'adaptation aux variations de conditions de l'environnement

les phytohormones de **croissance** : division cellulaire dans les méristèmes, expansion cellulaire : action combinée de l'auxine, des cytokinines, des gibbérellines et des brassinostéroïdes

Les phytohormones de **stress** : réponse aux contraintes biotiques ou abiotiques mais aussi la maturation des fruits (éthylène) ou le dvp du pollen pour le jasmonate : acide abscissique, acide jasmonique, éthylène et acide salicylique

Les hormones permettent donc de coordonner les événements normaux de la vie de la plante, déclencher les réactions face aux événements anormaux = **stress**, dans le cas du stress biotique ou abiotique

Rôle capital : la plante ne peut pas se déplacer pour échapper à une situation de stress, seule réaction possible = mettre en place très rapidement des réactions de défense par l'intermédiaire d'hormones

Différence avec les hormones animales

10 hormones, structure chimique très différentes sauf brassinostéroïdes, produites dans **des différentes régions de l'organismes**, action moins ciblée que celle des hormones animales : effets diversifiés => **effet pléiotrophique**, agissent rarement seul (**synergie** mais aussi antagoniste)

Notion de régulateur de croissance : substance ayant des effets analogues à ceux des hormones mais qui ne sont pas synthétisées par les végétaux (très utilisé en agriculture et en horticulture)

Homoéostasie : Ajustement constant des concentrations des hormones pour le maintien des conditions favorables de vie

Equilibre entre **biosynthèse**, **conjugaison** (modif chimiques des hormones en composés non actifs ou de moindre activité), **compartimentation** (répartition des différents compartiments de stockage), **dégradation** (catabolisme), et **transport** à courtes ou longues distances

Notion de dose réponse et de sensibilité tissulaire :

Une phytohormone peut avoir des effets distincts voire opposés en fonction de la concentration

La concentration **optimale varie en fonction des réponses et en fonction des tissus**

La concentration optimale d'une hormone pour l'élongation des feuilles sera inhibitrice pour les racines

Mode d'action des hormones

Le message hormones est assimilé à un signal

Hormone -> récepteur -> flux d'ion -> gène de réponse rapide -> gène de réponse tardive -> réponse cellulaire -> croissance et développement de la plante

Voie de signalisation ou transduction du signal, réponses pouvant aller de **quelques secondes à plusieurs jours** pour des effets physiologiques sur la plante entière

II Les hormones végétales

1 Les auxines

SaintPaulia = violette africaine ou violette du cap

Auxèse : augmentation de la taille des cellules = grandissement cellulaire, dans les zones **subapicale**

Mérese : multiplication cellulaire, dans le **méristème**

1 Structure chimique et synthèse

AIA ou acide indole-3-acétique est l'auxine naturelle la plus répandue

Noyau indole dérivé du triptophane avec une courte chaîne contenant une fonction COOH (acide)

Auxines : AIB, APA

Rq : il existe bcp d' **auxinomimétiques**

Site de synthèse : production d'AIA par les **cellules en division** => surtout dans les méristèmes **caulinaires** et **foliaires**

Mais est aussi produite dans les racines en moindre mesure et dans les tissus âgés

La synthèse se fait sur le haut de la plante

Concentration moyenne en AIA = 10^{-9} g / grs de tissus

Voie de synthèse : 2 voies de synthèse à partir d'indole, l'une principale est dépendante du tryptophane, l'autre non

2 Effets principaux

Agit sur la division / l'expansion puis la différenciation cellulaire

Stimule l'expansion des cellules des **tiges**, **feuilles** et **fruits** (pour certains)

comme la fraise)

Stimulent à très faible concentration et inhibe à concentration plus forte, l'élongation des racines

Mais stimule l'initiation des racines latérales

Permet aux cellules d'entrer en division

Stimulent la différenciation des vaisseaux conducteurs (phloème, xylème)

Inhibe ou stimule via l'éthylène, l'abscission des feuilles et des fruits selon leur âge

Interviennent dans le fonctionnement des méristèmes

Permet les **tropismes**

Sont impliqués dans le transport à courte et longue distance

Stimule la production de fruits sans fécondation

Intervient dans la dominance apicale

les racines latérales sont un dédifferenciation

Permettent les tropismes : orientation des plantes vers la lumière : forme de mvmt de la plante vers un stimulus

Sont impliquées dans le transport à courte et longue distance

Stimule la production de fruits sans fécondation

Intervient dans le contrôle de la dominance apicale (répression de la croissance des bourgeons axillaires) avec les strigolactones

Applications multiples : bouturage ; micro-propagation en présence de cytokinines / croissance des fruits

Les auxines sur la dominance apicale

Suppression du bourgeon apical => développement immédiat des bourgeons axillaires situés en dessous de lui

Le bourgeon apical exerce une **action inhibitrice sur les bourgeons axillaires situés immédiatement en dessous**

Application d'AIA sur une tige située sectionnée au niveau du bourgeon apical

=> Pas de développement des bourgeons axillaires

=> maintient la dominance apicale exercée par le bourgeon apical

***Culture in vitro**

Un fragment d'une plante placé dans un milieu nutritif contenant de l'auxine provoque l'apparition de cellules indifférenciées appelées **cals**

L'auxine stimule la division cellulaire

Hypocotyle + 2.4D => apparition des **cals**

Cals cultivés ensuite sur un milieu sans 2.4D

-> certains cals forment un **embryon sans qu'il y ait eu fécondation** = embryon somatique

Développement du péricarpe des fruits

La pollinisation induit une sécrétion d'auxine par l'ovaire qui provoque **la prolifération et le développement des tissus du péricarpe**

En remplaçant la pollinisation par des applications d'AIA => fruit sans fécondation / sans pépin : **fruits parthénocarpiques**

L'auxine permet le développement du faux-fruit et l'éthylène permet le développement des propriétés organo-leptiques

Action sur la rhizogénèse

Quelque soit le sens d'implantation : les racines se forment sur la face basale de l'explant, elle s'accumule toujours sur la même face => transport dirigé de la molécule

Remarque : si aucune racine ne se forme, on ne retrouve quasiment pas d'auxine au pôle basal => l'auxine est bien responsable de la rhizogénèse

Il existe une concentration optimale pour provoquer la rhizogénèse

L'expérience précédente montre aussi que l'auxine ne s'accumule pas à la base grâce à la gravité : un autre phénomène intervient

Action sur le grandissement cellulaire

L'auxine provoque une augmentation de la plasticité de la paroi des cellules (aptitude à la déformation)

L'entrée d'eau dans la vacuole dans la cellule fait grossir la cellule

L'auxine provoque des synthèses protéiques qui permettent la reconstitution de la paroi

Auxine -> facteurs de transcription -> expression des gènes codant pour les protéines de la paroi

En résumé : l'auxine peut avoir des effets opposés, stimulants ou inhibiteurs selon la concentration à laquelle elle se trouve

La concentration **optimale** dépend du processus et des tissus considérés

Les auxines agissent en synergie avec les autres hormones végétales

2 Gibberellines

1 Structure chimique et synthèse

1926 : Au Japon une maladie du riz : gigantisme des plants

Un champignon parasite *Gibberella fujikuroi* = *Fusarium heterosporum* est identifié => molécule sécrétée par le champignon : gibbérellines ou "facteur de montaison"

Deux conditions pour être gibbérellines : noyau gibbane

Pois qui possède la gibbérelline devient bcp plus grand

On connaît 89 gibbérellines naturelles (GA1 à GA89)

La synthèse se fait à partir de noyaux terpènes, dans les tissus en division active :

- Méristème des jeunes bourgeons apicaux racinaires et caulinares
- Jeunes feuilles
- Embryons

Les huiles essentielles contiennent des terpènes

Le transport se fait indifféremment par le xylème ou le phloème, il n'est pas polarisé

2 Effets principaux

Stimulent l'élongation et la division cellulaire : principalement dans les tissus insensibles à l'auxine (tissus corticaux et épidermiques)

Stimule la croissance des tiges, des feuilles, mais pas d'effets sur les racines, mais sur la fructification, fruits parthénocarpiques, la levée de dormance (acide abscisique antagoniste : remplace les signaux et du froid), fonctionnement des méristèmes

Les gibbérélines jouent un rôle moléculaire : elles induisent la synthèse d'ARNm impliqués dans la levée de dormance

La régulation enzymatique : mise en disposition de nutriments et donc (comme l'alpha-amylase)

Formation protéique = transporteur ou co-transporteur

Gibbérélines sur AT-ase soit sur celles des transporteurs ou co-transporteurs

Mode d'action générale

Interraction : principalement avec les auxines et l'acide abscisique

Permet d'augmenter la teneur en sucre, diminuer le nombre de fruits donc augmenter leur taille

Inhibition des gibbérélines permet de retarder la germination et limiter la taille des plantes (limiter la verse)

3 Cytokinines

1 Structure et synthèse

En essayant différents additifs sur des cellules ne pouvant pas se multiplier seules (cellules de moelle) : découverte d'une substance provoquant la multiplication

Skoog (1950) : applique de l'auxine sur des cellules de moelle : grandissement, applique un mélange complexe (lait de coco) : multiplication

Toutes les molécules ayant les mêmes propriétés

Toutes les molécules sont des analogues de l'adénine (from ADN)

Plus la chaîne de la molécule est longue, plus elle est active

Synthèse dans le **zone subapicale du bourgeon racinaire** et migrent vers le haut de la plante par le xylème

2 Effets principaux

- Stimule la croissance des bourgeons latéraux et contrôle la division cellulaire
- Prédominance des hormones en fonction de l'endroit où elles sont (auxine en haut, cytokinines en bas de la plante)
- Retarde la sénescence des feuilles et joue un rôle crucial dans le fonctionnement du méristème

Le rapport entre auxine et cytokinine est responsable du développement du bourgeon

Les lieux de dvpt et d'inhibition des bourgeons peuvent être plus ou moins étendus en fonction de ce rapport

Importance du rapport Auxine/cytokinine

Auxine seule : les cellules grandissent

CYTokinine seules : séparation des chromosomes mais les cellules ne se divisent pas

Les deux : les auxines initient la séparation et cytokinine font le recloisonnement des deux cellules

Le rapport des deux est très important

Si rapport $[AIA] / [CYT] = 1 \Rightarrow$ multiplication cellulaire mais pas différenciation

Si rapport < 1 : formation de pousses = **caulogénèse**

Si rapport > 1 : formation de racines = **rhizogénèse**

4 Brassinostéroïde

1 Structure et synthèse

Lien entre une hormone végétal et animale - modifie la mue des insectes

Le brassinolide

40 structures actives, connues, purifiées

2 Effets principaux

Simulent **l'élongation cellulaire** des tiges et des feuilles en induisant l'expression des gènes codant des enzymes

Favorisent la division cellulaire (comme cytokinine et auxines) et accélère la

sénescence (effet antagoniste des cytokinines)

Favorisent l'apparition de la floraison, agit sur la différenciation des tissus musculaire, inhibiteur de la croissance racinaire, joue un rôle clé dans la fertilité mâle

5 Acide abscissique (ABA)

Découverte de la dormine = extrait acide

Puis 1963 : acide abscissique responsable de la chute du fruit du cotonnier

1 Structure et synthèse

Dérivé de terpènes dont le précurseur est l'acide mévalonique

Chaîne de synthèse est mal connue et apparaît très complexe

Lieu de synthèse : racines, feuilles matures et bourgeons

Transport par les vaisseaux conducteurs

La synthèse se fait surtout en réponse des stress hydriques

2 Effets principaux

Inhibe l'allongement des tiges

Prolonge la dormance des bourgeons et des graines mais accélère leur maturation par synthèse de protéines de réserves

Dans les graines, son rôle est commandé par le rapport de sa concentration avec celle des gibbérellines. L'ABA est souvent appelé "anti-gibbérellines" car il contrebalance ses effets

Interrompt les croissances primaires et secondaires

Dans les bourgeons, il transforme les primordii foliaires en écailles protectrices
=> prépare donc les végétaux aux périodes de froid

Quand il y a beaucoup d'eau et de lumière, l'ABA est détruite

Gestion du stress hydrique

=> induit la croissance des racines et induit la fermeture des stomates (inhibe la pompe à proton)

Entrée d'eau quand l'ostiole va s'ouvrir et une sortie d'eau quand l'ostiole se ferme

Processus d'urgence car rapide : fermeture des stomates en 3 min pour une concentration de 10^{-7} M

Cette concentration augmente de 40 fois dans les feuilles en cas de déficit hydrique
Ce régulateur est supposé responsable de la transmission du signal de stress hydrique entre les racines et les feuilles

Intervient dans les mécanismes de défense en réponse à une blessure

La température ou le stress modifie un gène de régulation de ABA => voie de signalisation => ordre de l'heure pour la réponse
L'ABA permet aussi à la réponse des stress biotiques : les maladies (impact du milieu sur la plante)

6 Ethylène

1 Structure et synthèse

Structure simple : C_2H_4 : type alcène
Régulateur de croissance sous forme gazeuse
Synthèse à partir de la méthionine en particulier en réponse au stress => diffuse dans les tissus (gazs)

Précurseur : ACC, transporté dans les vaisseaux conducteurs

Régulation de la synthèse
Enzyme fondamentale de la chaîne de synthèse : ACC synthase
Gènes très conservés chez toutes les espèces fruitières
ACC ; famille multigénique : homogénéité mais synthèse en réponse à des facteurs du dvpt, de l'environnement ou des facteurs hormonaux

Stade de dvpt des fruits, blessure -> quantité ACC synthase <- quantité d'auxine (stimulation)

Stress -> stimulation de la production d'éthylène -> néosynthèse d'ACC synthase

Autre régulation : les cytokinines stimulent la production d'éthylène
Selon le tissu, l'éthylène stimule ou inhibe sa propre production
L'éthylène inhibé par l'ion argent et le CO_2

2 Effets principaux

Accélération de la maturation des fruits
Augmentation de la respiration, de la synthèse de produits solubles (sucres), la synthèse de composés peptiques (gélifiant), et accélère la disparition de la chlorophylle (coloration des fruits)
Plus un fruit est mûr, plus il dégage d'éthylène et fait mûrir les autres fruits => homogénéité de la maturation

Un fruit qui mûrit se décrit par l'augmentation de la respiration, la synthèse de protéines solubles, la synthèse des gélifiants, et l'accélération de la disparition de la chlorophylle.

L'éthylène induit aussi la production de protéines PR
Défense-résistance aux pathogènes

On peut cueillir des fruits à peine-mûrs (résistance au transport)
Mise en présence d'éthylène au moment de la commercialisation OU mise en présence de CO_2 pour retarder la maturation

Étéphon ; molécule qui libère après l'hydratation => stocke l'éthylène

1-MCP : qui est un inhibiteur gazeux de l'action de l'éthylène

L'éthylène permet un détachement plus facilement des fruits des branches, où pulvérisation pour faire tomber les fruits trop mûrs

Protection des gelées tardives

Ethylène fait rendre les arbres plus petits

Le thiosulfate d'argent est un inhibiteur d'éthylène

La ventilation génère de l'éthylène et donc favorise le nanisme

Application au bio-technologies

Promoteur de gène inductibles dans certaines conditions spécifiques : on peut donc gérer ce que l'on veut, comme on veut.

7 Les Jasmonates

1 Structure chimique synthèse

Ressemble aux prostaglandines

2 Effets principaux

Intervient dans la défense des plantes suite à un stress biotiques ou abiotiques : induit synthèse d'inhibiteurs de protéases = molécules d'attaques des parasites

Action sur le développement du pollen

Les enzymes anti microbienne pour tuer les pathogènes

8 Autres hormones

1 Strigolactones

Inhibe la ramification mais stimule la germination des plantes parasites

Pourrait intervenir dans les mécanismes de reconnaissance plante/hôte/champignon mycorrhizien

Utilisé pour le traitement des sols avant culture pour lever la dormance des plantes parasites et assainir le sol

2 L'acide salicylique

Antagoniste de l'éthylène donc prolonge la durée de vie des fleurs

Facilité la résistance aux pathogènes par induction de la RSA : résistance systémique acquise

- par activation des protéines PR
- par synthèse d'inhibiteurs des protéases
- par synthèse de défensines

3 Les hormones peptidiques

Systèmeine : réaction de défense des plantes/ attaque de pathogène et blessures

9 Récapitulatif

Synthèse biochimique dans la cellule végétale

Métabolites primaires : production en grandes quantités, un petit nombre de molécules, issus directement de la photosynthèse ou de métabolisme oxydatif (glycolyse, respiration, ...)

Métabolites secondaires : très nombreux : > 100 000

produits souvent en très faible quantité

Fruit d'un métabolisme complexe

synthétisés en réponse aux stress biotiques ou abiotiques

Terpènes : polymère de molécules en C5

III Méthodes d'études

1 Apport exogène d'hormones

Méthode historique de voir l'action de l'hormone sur un effet physiologique

+ Utilisation de molécules de synthèse dont l'activité biologique

Approche biochimique : on essaie de doser la quantité d'hormones, mesurer l'activité biosynthétique de l'hormone ou caractériser les récepteurs

Vitesse de disparition du substrat

3 méthodes :

- les tests biologiques sensibles, peu spécifiques parfois complexe à mettre en oeuvre - Les méthodes physico-chimique sensible et spécifique mais demande une instrumentation lourde
- les test immunochimiques ou radioimmunoessai ultrasensible et très spécifiques exigeants des anti-corps vis à vis d'une hormones et une hormone sous forme radioactive

2 Outils moléculaire

Gènes et rapporteur

Gène de réponses précoces : accumulation de leur messagers, pas de synthèse *de novo* de protéines nécessaires

Toute la machinerie moléculaire nécessaire est déjà en place dans la cellule

Codent pour des facteurs de transcriptions ou des enzymes agissant sur l'homéostasie de l'hormone

Gène de réponse tardive : sur une plus longue durée d'action

Indicateur des gènes de réponse précoce pour les différentes hormones => constructeur de marquage moléculaire

On place une séquence codante devant le gène rapporteur, après le promoteur

Séquençage du génome de certaines plantes + techniques modernes

Approche de biologie moléculaire et de génie génétique sont utiles pour la :

- caractérisation des gènes impliqués dans les voies de biosynthèse des hormones, des gènes qui répondent à l'application d'hormone (Northern blot, RT-PCR, hybridation *in situ*)
- analyse des promoteurs des gènes répondant aux hormones : éléments cis / facteurs trans
- Recherche de gène par la technique de "promoteur trapping"
- modulation des taux d'hormones par génie génétique, aspects fondamentaux et appliqués, y compris l'utilisation de promoteurs spécifiques

3 Outils génétique

Identification des voies de biosynthèse et de compréhension des mécanismes d'action grâce à des populations de mutants générés par mutagenèse chimique ou insertionnelle (inactivation d'un gène par insertion d'un ADN étranger)

IV Transport (ex de l'Auxine)

1 Le transport de l'auxine

Coléoptile, coléorhize => croissance tige et racine

Historique : Darwin 1880 : observation des réactions phototropiques de coléoptiles de blé

Mise en évidence d'un facteur de croissance en fonction d'une source lumineuse => phototropisme positif

phototropisme : va vers le signal

La dissymétrie de la lumière constitue un stimulus, capté par l'apex et transmis

Phototropisme en relation avec la croissance

Circulation de l'auxine dans la tige : circulation de haut en bas, donc fabrication par le bourgeon Permis par un transport actif et passif

AIA : $P_{ka} = 4.8$: sous forme d'AIA quand $pH > 7$ sinon sous forme AIAH

Transporteur d'influx si il n'y a pas bcp d'auxine pour le transporter

Une fois ressortie de la cellule, soit l'auxine y retourne, soit elle entre dans la cellule suivante et ainsi de suite jusqu'au racines

Quand la [auxine] extracellulaire est élevée : auxine entre par diffusion ou par les transporteurs d'influx

Quand la [Auxine] extracellulaire est faible : la diffusion est négligeable : rôle essentiel des transporteurs d'influx pour drainer l'auxine vers quelques cellules

L'activité des flux est modulé par phosphorylation

Protéines PIN : indispensable pour l'acquisition de la polarité et de la symétrie embryonnaire; pour la formation et le maintien des méristème apicaux et racinaire, la phylloaxie, les réponses tropiques

Protéines MDR : protéines membranaires dépendantes de l'ATP; rôle similaire

Mise en évidence du transport polarisé de l'auxine grâce aux inhibiteurs spécifiques de transport

Le NPA : inhibiteur appartenant à la classe des phototropines : molécules qui jouent sur le tropisme

Transport actif : 5 et 20 mm/h. De plus, le transport par le flux de sève phloémien assure une distribution + rapide aux différents organes

2 Les réponses tropiques

Mouvements les élaborés d'une plante

Mécanisme : croissance différentielle sur les 2 faces d'un organe qui génère une courbure

Direction du mouvement dépend de la direction du stimulus : les mouvements ne sont pas réversibles : la croissance n'est pas réversible

Donc vrilles

Phototropisme : réponse de croissance à une distribution dissymétrique de la lumière

Gravitropisme : réponse de la croissance à la gravité : positif pour les racines, négatif pour la partie aérienne

L'haptotropisme : réponse de croissance à un contact : cas particulier => le rhéotropisme : sensibilité au courant hydraulique de certaines plantes aquatiques qui poussent en remontant le courant

Les tropismes : forme d'adaptabilité physiologique aux conditions variables du milieu

Orientation en fonction de si c'est tropisme positif ou négatif, détermine la zone de croissance

L'auxine a un rôle d'inhibition au niveau des racines

La gravistimulation : Protéine PIN3 : famille des transporteur d'efflux sur un seul côté de la mb plasmique des cellules => Relocalisation de PIN3 sur une autre face de la cellule en moins de 2 min => modification du flux d'auxine

Partie aérienne : combinaison des 2 tropismes => lié à des gradient d'auxines

Les statocytes : cellules spécialisées dans la perception de la gravité et situé au niveau des racines

Haptotropisme : croissance différentielle sur les deux faces de l'organe qui se traduit par une courbure

Stimulus = un événement extérieur directionnel, ici le contact d'un objet

Adaptation fondamentale pour les plantes volubiles qui sont des organismes fixés ne pouvant se déplacer, il faut utiliser un tuteur pour tenir la plante

Tropisme de contact est souvent facilité par l'existence de mouvements révolutifs de type **circumnutation** (mouvement d'exploration)

Chez le liseron, c'est très rapide, avec peu de feuilles

Si, par hasard, cette tige effleure un support, elle va aller vers le tuteur

V Voies de signalisation

1 Les récepteurs

Cascade d'événements consécutifs à la **perception** d'une hormone par un récepteur spécifique et conduisant à une réponse mesurable ou observable

Activation de flux d'ions avec induction ou répression de gènes et stabilisation et dégradation d'ARNm et protéines par modifⁿ post-traductionnelle

réponse cellulaire intégrée : division / expansion ou mort cellulaire

Identification des récepteurs <=> caractérisation des mutants

Plante modèle : Arabette ou Riz

- Temps de régénération court : 2-3 mois de temps de génération
- Grand nb de descendant
- Génome petit 120Mb répartis sur 5 chromosomes - faible proportion de séquences non codantes

- Entièrement séquencé depuis 2000 - cartes physiques et génétiques des 5 chromosomes
- Collections des mutants d'insertion couvrant la quasi-totalité de son génome

Mais la fonctionnalité des récepteurs nécessite toujours :

- de montrer que la protéine candidate est capable de lier la phytohormone
- de déterminer que l'affinité de liaison pour le ligand est compatible avec des concentrations physiologiques

Le récepteur peut se révéler un facteur limitant dans l'action hormonale, on parle **d'état de compétence** du tissu s'il est capable de plus ou moins réagir à l'hormone

technique de photoaffinité : caractérisation de protéines fixatrices de l'ABA sur le plasmalemma des cellules de garde au niveau des stomates

Interaction entre récepteur et hormone : marquage par photoaffinité

Certaines molécules comportent des grps chimique et qui deviennent très réactives et forment des liaisons covalentes, si la molécule est radioactive ou fluo, on peut ainsi marquer de façon stable la protéine réceptrice

L'ABA contient un grpt qui peut être photoactivé par irradiation par des longueurs d'ondes de 300nm

Quand elle ne contient pas de grpt, on peut rajouter des groupements photoactivables

Protocole expérimental : protoplastes d'épiderme de fève -> centrifugation différentielle -> protoplastes de cellules de garde

Irradiation de la suspension de manière à provoquer le marquage par photoaffinité d'éventuels sites récepteurs

On contrôle l'hormone

Résultat :

- fixation spécifique et as spécifique de l'ABA
- fixation est moins importante au niveau des protoplastes de mésophylles foliaires
- fixation obéit à une cinétique de saturation et peut être déplacée par de l'hormone froide non radioactive de façon très spécifique

Classes protéiques des récepteurs de phytochrome

Protéines appartenant à la même famille / issues de la duplication +/- récente d'un gène / ayant des rôles similaires

2 Voie de signalisation de l'éthylène

Travail avec des banques de mutants connus

Isolement et étude de plantes déficientes dans les réponses à l'éthylène

Plantul – Germination 3-4j à l'obscurité—> triple réponse

Racine + hypocotyle courts et épaissis

Courbure exagérée de la crossa apicale

Indetification de mutants insensibles : incapable de générer la triple réponse

Identificatio nde mutants surproducteurs d'éthylène : générant la triple réponse en absence d'éthylène exogène

Ou de répins constitutive : voie de signalisation activée en permanence même sans hormone)

Éthylène C₂H₄

Une douzaine de mutants identifiés :

- approche génétique : croisement entre mutants, étude des relations d'**épistasie** (interractions génétiques entre gènes distincts sur une même voie)
Croisement de 2 mutants suivie d'une autofécondation pour déterminer par nalyse du phénotype le gène qui agit avant l'autre ssur la chaîne (le gène qui agit en 1er donne le phénotype)
- approche moléculaire : On regrde le gène, où il est, comment il est ...

L'éthylène est perçu par des récpeteur de type **histidine kinase**

Protéine ETR1 : liaison à ce récepteur par Cu : inactivation de ces derniers

En absence d'éthylène, les récpeteurs sont fonctionnels et activent une sérine thréonine CRT1 = régulation négatif sur l voie de signalisation

CTR1 présente des similarités avec les MAPKK) et agit comme une cascade MAP kinase => cible et conséquence biochimique directes par encore identifiés
EIN2 : réprimé par CTR = régulation positive de la voie de signalisation

Plus en aval, EIN3 : protéine nucléaire possédant un domaine de liaison à l'ADN = facteur de transcription / régulation de gènes en réponses à l'éthylène

Ça peut agir sur l'influx d'ion, sur la durée de vie des ARNm ou désactivées
Système qui agit sur la durée de vie de EIN3

Absence d'éthylène —dégradation EIN3—> inactivation

Dans le complexe; les F-box recrutent la protéine cible, elles est alors modifiée par polyubiquitination puis dégradée par la protéase 265

Présence d'éthylène — dégradation suspendue EIN3 —> rôle de contrôle de régulation

Il existe des rétrocontrôle négatif, qui influent la durée de vie de certains ARNm

VI Interactions hormonales

1 Au niveau du méristème apicale

Méristème : cellule pas différenciée : totipotente, doté d'une forte capacité de multiplication (équivalent à une cellule souche)

Elle présente également des plastides rudimentaires, de petites vacuoles, de nombreuses mitochondries

Le méristème apical caulinaire : MAC

- réserve de cellules souches
- produire de nouveaux organes

Le dome contient plusieurs zones de production de cellules

Méristème : structure dynamique, continuellement traversé par des flux allant des zones méristématiques vers les primordia

=> régulation hormonale

Contrôle de la phyllotaxie (manière dont s'organise les organes sur la tige)

En 1930 : mise en évidence de la plasticité du méristème

Isolé les plus jeunes primordium (sur lupin)

Modèle des champs d'influence des primordia sur l'initiation des organes dans le MAX; méristèmes vu de dessus à 2 temps différents

L'hormone STM permet de ne pas faire différencier les cellules méristématiques
Sa mutation entraîne l'absence de méristème

L'auxine permet la régulation de ces méristèmes

Cytokinine CK : petites molécules/dérivées de l'adénine / stimulent la division cellulaire ; produit dans quelques cellules

2 Au niveau de la graine

Dialogue hormonal entre ABA et gibbérelines tout au long de la vie de la graine, de sa formation à sa germination

Conditions environnementales : état de dormance ou vers la germination

Équilibre ABA/GA est compliqué, par les variations de sensibilité à ces mêmes hormones qui est fonction de l'état de ces voies de transduction du signal hormonal

Les graines dormantes sont très sensibles à l'ABA

Mais un apport exogène d'ABA sur des graines non dormantes seront sans effet

VII Conclusion

Voies de signalisation complexes

Rarement “une hormone” mais une combinaison de différents signaux agissant soit en synergie, soit en opposition

Auxine occupe une place centrale, agit avec d’autres hormones pour contrôler le processus cellulaire

Les interactions entre les hormones peuvent agir à différents niveaux : effet d’une hormone sur la biosynthèse des autres : ex auxine sur l’éthylène et réciproquement

Effet d’une hormone sur la disponibilité d’une autre hormone : ex action sur le transport, l’éthylène ou ABA inhibe le transport de l’auxine

Effet combinés des voies de signalisation sur des cibles communes : ex interaction entre auxine et gibbérélines ou sur un même répresseur transcriptionnel est co-régulé par les 2 hormones pour contrôler la transition entre le méristème racinaire et la zone d’élongation