

SCIENCES SUP

Cours

Licence • CAPES • Agrégation

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE

2. développement

6^e édition

René Heller
Robert Esnault
Claude Lance

DUNOD

TABLE DES MATIÈRES

4.1. – La notion d'hormone chez les végétaux	159
4.2. – Auxines	161
4.3. – Substances terpéniques : gibbérellines et acide abscissique	165
4.4. – Les cytokinines	167
4.5. – Les brassinolides	171
4.6. – Autres régulateurs du développement	176
5.1. – Méthodes de détection et de dosage	177
5.2. – Distinction dans la plante	181
5.3. – Le transport polarisé de l'auxine	187
5.4. – Applications aux tropismes	193
Conventions d'écriture XI	
Avant-propos XIII	
1. LE DÉVELOPPEMENT DES SPERMAPHYTES	181
1.1. – Mèrese, auxèse et différenciation	191
1.2. – Ontogénèse de la paroi	194
1.3. – Développement des organes végétatifs	199
1.4. – Mise à fleur et cycles de développement	202
2. CROISSANCE ET MORPHOGENÈSE VÉGÉTATIVE	19
2.1. – Valeurs de la croissance	19
2.2. – Cinétique de la croissance	22
2.3. – Effets de la température	26
2.4. – Thermopériodisme	27
2.5. – Étiollement	28
2.6. – Effets de l'éclairement	30
2.7. – Les rythmes de croissance	33
2.8. – Corrélations morphogénétiques	37
3. LES MOUVEMENTS DES VÉGÉTAUX	40
3.1. – Mouvements à l'échelon cellulaire	40
3.2. – Tropismes et nasties : caractères généraux	42
3.3. – Le phototropisme	44
3.4. – Le gravitropisme (géotropisme)	48
3.5. – Autres tropismes	54
3.6. – Nyctinasties	56
3.7. – Séismonasties et thigmonasties	59
3.8. – Les mouvements révolutifs	62

4. LES PHYTOHORMONES : PRINCIPALES FAMILLES	64
4.1. – La notion d'hormone chez les végétaux	64
4.2. – Auxines	65
4.3. – Substances terpéniques : gibbérellines et acide abscissique	69
4.4. – Les cytokinines	74
4.5. – L'éthylène	77
4.6. – Autres régulateurs du développement	79
5. LES PHYTOHORMONES DANS LA PLANTE	85
5.1. – Méthodes de détection et de dosage	85
5.2. – Distribution dans la plante	87
5.3. – Le transport polarisé de l'auxine	90
5.4. – Applications aux tropismes	93
6. LES PHYTOHORMONES : BIOSYNTÈSE ET DÉGRADATION	96
6.1. – Méthodologie : recours aux mutants	96
6.2. – Biosynthèse de l'auxine	97
6.3. – Biosynthèse des hormones terpéniques (gibbérellines, acide abscissique, brassinostéroïdes)	99
6.4. – Biosynthèse des cytokinines	103
6.5. – Biosynthèse de l'éthylène	105
6.6. – Biosynthèses diverses	107
6.7. – La dégradation des phytohormones	110
7. RÔLE DES PHYTOHORMONES DANS LE DÉVELOPPEMENT VÉGÉTATIF	114
7.1. – Auxèse	114
7.2. – L'auxine et l'élongation cellulaire	116
7.3. – Mérése	120
7.4. – Croissance des organes végétatifs	121
7.5. – Abscission	123
7.6. – Caulogénèse	124
7.7. – Rhizogénèse	126
7.8. – La machinerie hormonale	128
8. PERCEPTION ET TRANSDUCTION DES SIGNAUX HORMONAUX	135
8.1. – Décryptage d'une chaîne de transduction	135
8.2. – Messagers secondaires et autres acteurs de la transduction	139
8.3. – L'ion Ca^{2+} , messenger secondaire (ou intracellulaire)	144
8.4. – L'acide abscissique et l'ouverture des stomates	146
8.5. – Auxine, cytokinine et division cellulaire	149

8.6. – Réponses à l'éthylène	153
8.7. – L'acide gibbérellique et l'activité de la couche à aleurone ; effet antagoniste de l'acide abscissique	159
9. UTILISATIONS PRATIQUES DES PHYTOHORMONES ET AUTRES RÉGULATEURS DE CROISSANCE	165
9.1. – La culture des organes et tissus isolés	165
9.2. – Besoins des cultures <i>in vitro</i> en phytohormones et vitamines	167
9.3. – Auxines de synthèse	172
9.4. – Structure et activité des auxines	174
9.5. – Biostimulants et réducteurs de croissance	176
9.6. – Herbicides : principales catégories	178
9.7. – L'emploi des herbicides et ses problèmes	183
10. LES PRÉALABLES À LA FLORAISON, LA VERNALISATION	187
10.1. – Le passage de l'état végétatif à l'état reproducteur	187
10.2. – Les facteurs liés à la plante	193
10.3. – La vernalisation	196
10.4. – Exigences des espèces	199
10.5. – Le traitement vernalisant	201
10.6. – Perception et transmission du stimulus	202
10.7. – Autres moyens d'acquisition de l'aptitude à fleurir, thermopériodisme	203
11. LE PHOTOPÉRIODISME	206
11.1. – Le photopériodisme	206
11.2. – Classification des espèces suivant leurs exigences	208
11.3. – Rapports avec la vernalisation et importance du photopériodisme	211
11.4. – L'induction photopériodique ou photoinduction	213
11.5. – Mécanismes	215
11.6. – Résumé des effets de la lumière sur le développement des plantes	218
12. FORMATION DES FRUITS ET DES GRAINES	220
12.1. – Le développement de la fleur	220
12.2. – Pollinisation et fécondation	221
12.3. – L'auto-incompatibilité	223
12.4. – La stérilité mâle cytoplasmique	226
12.5. – La croissance des fruits	227
12.6. – La maturation des fruits charnus	230

12.7. – Le développement de la graine	234
12.8. – Rôle des substances de croissance	239
13. VIE LATENTE, DORMANCE, REPRISE DE LA VIE ACTIVE	243
13.1. – La vie latente	243
13.2. – Les dormances des semences	245
13.3. – La photosensibilité des semences	248
13.4. – La germination des semences : conditions de réalisation	250
13.5. – Physiologie de la germination	253
13.6. – La dormance des bourgeons	260
13.7. – La dominance apicale	262
14. LES PHOTORÉCEPTEURS DU DÉVELOPPEMENT	265
14.1. – Caractéristiques de la lumière reçue	265
14.2. – Le phytochrome : découverte et propriétés générales	267
14.3. – Les divers phytochromes et leurs rôles	272
14.4. – La transduction du signal lumineux par le phytochrome	276
14.5. – Autres photorécepteurs	280
14.6. – Interactions entre photorécepteurs	283
14.7. – Photorécepteurs et horloges circadiennes	287
15. CONTRÔLE GÉNÉTIQUE DU DÉVELOPPEMENT	291
A. Développement végétatif	291
15.1. – Différenciation des méristèmes végétatifs	291
15.2. – La différenciation des structures épidermiques	297
B. Développement reproducteur	300
15.3. – Méristèmes et organes floraux	300
15.4. – De l'induction florale à la floraison	303
16. LES INTERACTIONS PLANTES-MICROORGANISMES	307
A. – Interactions plantes-agents pathogènes	307
16.1. – Caractères généraux	307
16.2. – Virulence, résistance et réactions de défense	311
16.3. – Éliciteurs et expression des gènes de défense	314
16.4. – Les phytoaléxines	317
16.5. – Résistance systémique acquise	319
16.6. – Gènes impliqués dans le pouvoir pathogène, gènes d'avirulence et de résistance	321
16.7. – La transduction du signal pathogène : de la reconnaissance à la réponse	325
B. Interactions plantes-Rhizobiacées	328

16.8. - L'interaction plantes- <i>Agrobacterium tumefaciens</i>	328
16.9. - L'interaction plantes-bactéries symbiotiques	330
17. TRANSFORMATION DES CELLULES ET OBTENTION DE PLANTES TRANSGÉNIQUES	336
17.1. - Le crown gall et la transformation tumorale	336
17.2. - Mécanisme de la transformation	337
17.3. - Le T-DNA	339
17.4. - L' <i>Agrobacterium</i> et la transformation des plantes	341
17.5. - Autres techniques de transformation	345
17.6. - Les plantes transgéniques et l'agriculture	347
17.7. - Régénération des plantes et multiplication végétative	351
Conclusion	355
Index alphabétique	357

Nous avons appliqué les règles suivantes, qui tiennent compte de l'évolution des usages des dénominations françaises et internationales.

Acides nucléiques. - Nous avons substitué les sigles internationaux (ADN, ARN, etc.) aux abréviations françaises ADN, ARN, ARNm, etc. De même pour l'acide phosphoglycérique (ou le glycérate), PGA a été préféré à APG; pour l'acide indole-acétique (auxine), IAA à AIA, etc.

Acides organiques. - Sauf exception consacrée par l'usage (acide abscissique), nous les avons désignés par leur anion (pyruvate, malate); cette désignation, moins lourde, est justifiée par le fait qu'aux pH biologiques les acides organiques sont presque entièrement ionisés.

Espèces chimiques. - Nous avons respecté la nomenclature officielle, avec, si nécessaire, rappel entre parenthèses du nom usuel: hydrogénocarbonate (bicarbonate). Dans les composés diphosphorylés ou les groupements phosphate, sont liés par une fonction anhydride d'acide, nous avons substitué le préfixe *di* au préfixe *pyro* précédemment utilisé: isopentényldiphosphate.

Familles de plantes. - Nous avons conservé la nomenclature ancienne, encore en usage dans la vie courante et en agriculture. Mais indiqué entre parenthèses, au moins une fois par chapitre, son équivalence dans la nomenclature botanique actuelle (en -acées, à partir d'un nom de genre de la famille): Crucifères (Brassicacées), Composées (Astéracées), etc. La même règle a valu pour les ordres: Légumineuses (Fabales).

Initiales des noms de végétaux. - La tendance actuelle est aux minuscules. Cependant nous avons, dans un souci de clarté, maintenu la majuscule, à l'instar d'un nom propre ou du nom latin, lorsque la propriété énoncée était spécifiquement liée à l'identité du végétal, tenant à sa position systématique ou à son appartenance à un groupe fonctionnel bien déterminé: le Blé est une plante C3, le thermopériodisme des Tulipes, les Végétaux supérieurs (= Cormophytes), une Bactérie nitrifique (mais: un champ de blé, un parterre de tulipes, des végétaux aquatiques, une bactérie pathogène).

Les paragraphes, tableaux et figures (ainsi que les équations et réactions les plus importantes) ont été numérotés selon la numérotation décimale, qui facilite les renvois dont nous avons largement utilisé pour éviter les redites. Les compléments et commentaires en annexe du texte principal ont été imprimés en petits caractères et mis en retrait. Lorsqu'ils étaient en dehors du champ de la physiologie végétale proprement dite (exemple: énoncé d'une loi de physique), ils ont été signalés par un trait vertical.

René Heller
Robert Esnault
Claude Lance

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE

2. Développement

Cette nouvelle édition a subi de profonds remaniements pour tenir compte des acquis les plus récents de la physiologie du développement des végétaux et de la génétique moléculaire, sans négliger les applications agronomiques et écologiques.

Des compléments substantiels ont été apportés, notamment sur les phytohormones, les photorécepteurs, les relations plantes-pathogènes et la transgénèse. Deux chapitres entièrement nouveaux ont été introduits, sur la transduction du signal hormonal et sur le contrôle génétique du développement.

Cet ouvrage s'adresse aux étudiants des établissements d'enseignement supérieur, universitaires (1^{er} cycle/Licence) et agronomiques, ainsi qu'aux candidats aux concours (grandes écoles, CAPES, agrégation). Les professeurs de lycée et les chercheurs et agronomes en exercice pourront également consulter cet ouvrage qui se veut tout à la fois d'initiation et de référence.



6^e édition

RENÉ HELLER

Professeur honoraire de physiologie végétale à l'université Paris VII.
Membre de l'Académie d'Agriculture.

ROBERT ESNAULT

Professeur honoraire de physiologie végétale à l'université Paris VII.

CLAUDE LANCE

Professeur honoraire de physiologie végétale à l'université Paris VI.



9 782100 487110

6458020
ISBN 978-2-10-048711-0

