

Sumário Detalhado

CAPÍTULO 1

Arquitetura da Célula e do Vegetal 1

Processos vitais das plantas: princípios unificadores 2

Classificação e ciclos de vida das plantas 2

Os ciclos de vida da planta alternam-se entre gerações diploides e haploides 3

Visão geral da estrutura vegetal 5

As células vegetais são delimitadas por paredes rígidas 5

Os plasmodesmos permitem o movimento livre de moléculas entre as células 8

As novas células são produzidas por tecidos em divisão denominados meristemas 8

Organelas da célula vegetal 10

As membranas biológicas são bicamadas de fosfolipídeos que contêm proteínas 10

O sistema de endomembranas 13

O núcleo contém a maior parte do material genético 13

A expressão gênica envolve a transcrição e a tradução 17

O retículo endoplasmático é uma rede de endomembranas 17

A secreção de proteínas pelas células inicia no retículo endoplasmático rugoso 19

As glicoproteínas e os polissacarídeos destinados para secreção são processados no complexo de Golgi 20

A membrana plasmática possui regiões especializadas envolvidas na reciclagem de membrana 22

Os vacúolos apresentam diversas funções nas células vegetais 23

Organelas de divisão ou fusão independente derivadas do sistema de endomembranas 23

Os oleossomos são organelas que armazenam lipídeos 23

Os microcorpos exercem papéis metabólicos especializados em folhas e sementes 24

Organelas semiautônomas de divisão independente 25

Pró-plastídios desenvolvem-se em plastídios especializados em diferentes tecidos vegetais 27

A divisão de cloroplastos e mitocôndrias é independente da divisão nuclear 28

O citoesqueleto vegetal 29

O citoesqueleto vegetal é formado por microtúbulos e microfilamentos 29

Actina, tubulina e seus polímeros estão em constante movimento na célula 31

Os microtúbulos corticais movem-se pela célula por meio de esteira rolante 33

Proteínas motoras do citoesqueleto participam da corrente citoplasmática e do movimento dirigido de organelas 33

A regulação do ciclo celular 35

Cada fase do ciclo celular apresenta um conjunto específico de atividades bioquímicas e celulares 35

O ciclo celular é regulado por ciclinas e por quinases dependentes de ciclina 36

Os microtúbulos e o sistema de endomembranas atuam na mitose e na citocinese 37

Tipos de células vegetais 39

Tecidos dérmicos recobrem as superfícies das plantas 39

Tecidos fundamentais formam o corpo dos vegetais 40

Os tecidos vasculares formam redes de transporte entre diferentes partes da planta 44

CAPÍTULO 2

Estrutura do Genoma e Expressão Gênica 51

Organização do genoma nuclear 51

O genoma nuclear é compactado na cromatina 52

Centrômeros, telômeros e regiões organizadoras do nucléolo contêm sequências repetitivas 52

Transpósons são sequências móveis dentro do genoma 53

A organização cromossômica não é aleatória no núcleo interfásico 54

A meiose divide o número de cromossomos e permite a recombinação dos alelos 54

Poliploides contêm múltiplas cópias do genoma completo 56

As respostas fenotípicas e fisiológicas à poliploidia são imprevisíveis 58

O papel da poliploidia na evolução ainda não está claro 60

Genomas citoplasmáticos em plantas: mitocôndrias e plastídios 61

A teoria endossimbiótica descreve a origem dos genomas citoplasmáticos 61

Genomas organelares variam no tamanho 61

A genética das organelas não obedece os princípios mendelianos 61

Regulação transcricional da expressão gênica nuclear 62

A RNA-polimerase II liga-se à região promotora da maioria dos genes codificadores de proteínas 62

Sequências nucleotídicas conservadas sinalizam o término da transcrição e a poliadenilação 64

Modificações epigenéticas ajudam a determinar a atividade gênica 65

Regulação pós-transcricional da expressão gênica nuclear 67

Todas as moléculas de RNA estão sujeitas ao decaimento 67

RNAs não codificantes regulam a atividade de mRNA por meio das rotas do RNA de interferência (RNAi) 67

A regulação pós-traducional determina o tempo de vida das proteínas 71

Ferramentas para o estudo da função gênica 72

A análise de mutantes pode ajudar a elucidar a função gênica 72

Técnicas moleculares podem medir a atividade dos genes 73

Fusões gênicas podem introduzir genes repórteres 74

Modificação genética de plantas cultivadas 76

Transgenes podem conferir resistência a herbicidas ou a pragas de plantas 77

Organismos geneticamente modificados são controversos 77

UNIDADE I

Transporte e Translocação de Água e Solutos 81

CAPÍTULO 3

Água e Células Vegetais 83

A água na vida das plantas 83

A estrutura e as propriedades da água 84

A água é uma molécula polar que forma pontes de hidrogênio 84

A água é um excelente solvente 84

A água tem propriedades térmicas características em relação a seu tamanho 85

As moléculas de água são altamente coesivas 85

A água tem uma grande resistência à tensão 86

Difusão e osmose 87

Difusão é o movimento líquido de moléculas por agitação térmica aleatória 87

A difusão é mais eficaz para curtas distâncias 88

A osmose descreve o movimento líquido da água através de uma barreira seletivamente permeável 88

Potencial hídrico 89

O potencial químico da água representa o *status* de sua energia livre 89

Três fatores principais contribuem para o potencial hídrico celular 90

Potenciais hídricos podem ser medidos 90

Potencial hídrico das células vegetais 91

A água entra na célula ao longo de um gradiente de potencial hídrico 91

A água também pode sair da célula em resposta a um gradiente de potencial hídrico 92

O potencial hídrico e seus componentes variam com as condições de crescimento e sua localização dentro da planta 93

Propriedades da parede celular e da membrana plasmática 93

Pequenas mudanças no volume da célula vegetal causam grandes mudanças na pressão de turgor 93

A taxa na qual as células ganham ou perdem água é influenciada pela condutividade hidráulica da membrana celular 94

Aquaporinas facilitam o movimento de água através das membranas plasmáticas 95

O status hídrico da planta 96

Os processos fisiológicos são afetados pelo *status* hídrico da planta 96

A acumulação de solutos ajuda a manter a pressão de turgor e o volume das células 96

CAPÍTULO 4**Balanço Hídrico das Plantas 99****A água no solo 99**

Uma pressão hidrostática negativa na água do solo diminui seu potencial hídrico 100

A água move-se pelo solo por fluxo de massa 101

Absorção de água pelas raízes 101

A água move-se na raiz pelas rotas apoplástica, simplástica e transmembrana 102

A acumulação de solutos no xilema pode gerar “pressão de raiz” 103

Transporte de água pelo xilema 104

O xilema consiste em dois tipos de células de transporte 104

A água move-se através do xilema por fluxo de massa acionado por pressão 105

O movimento de água através do xilema requer um gradiente de pressão menor que o do movimento através de células vivas 106

Que diferença de pressão é necessária para elevar a água 100 m até o topo de uma árvore? 107

A teoria da coesão-tensão explica o transporte de água no xilema 107

O transporte de água no xilema em árvores enfrenta desafios físicos 108

As plantas minimizam as consequências da cavitação do xilema 110

Movimento da água da folha para a atmosfera 110

As folhas têm uma grande resistência hidráulica 111

A força propulsora da transpiração é a diferença na concentração de vapor de água 111

A perda de água também é regulada por resistências na rota 111

O controle estomático liga a transpiração foliar à fotossíntese foliar 112

As paredes celulares das células-guarda têm características especializadas 113

Um aumento na pressão de turgor das células-guarda abre o estômato 115

A razão de transpiração mede a relação entre perda de água e ganho de carbono 116

Visão geral: o *continuum* solo-planta-atmosfera 116**CAPÍTULO 5****Nutrição Mineral 119****Nutrientes essenciais, deficiências e distúrbios vegetais 120**

Técnicas especiais são utilizadas em estudos nutricionais 122

Soluções nutritivas podem sustentar rápido crescimento vegetal 122

Deficiências minerais perturbam o metabolismo e o funcionamento vegetal 125

A análise de tecidos vegetais revela deficiências minerais 129

Tratando deficiências nutricionais 129

A produtividade das culturas pode ser melhorada pela adição de fertilizantes 130

Alguns nutrientes minerais podem ser absorvidos pelas folhas 131

Solo, raízes e microrganismos 131

Partículas de solo negativamente carregadas afetam a adsorção dos nutrientes minerais 131

O pH do solo afeta a disponibilidade de nutrientes, os microrganismos do solo e o crescimento das raízes 133

O excesso de íons minerais no solo limita o crescimento das plantas 133

Algumas plantas desenvolvem sistemas de raízes extensos 133

Os sistemas de raízes diferem na forma, mas se baseiam em estruturas comuns 134

Áreas diferentes da raiz absorvem íons minerais distintos 136

A disponibilidade de nutrientes influencia o crescimento da raiz 137

As simbioses micorrízicas facilitam a absorção de nutrientes pelas raízes 137

Os nutrientes movem-se entre os fungos micorrízicos e as células das raízes 140

CAPÍTULO 6**Transporte de Solutos 143****Transporte passivo e ativo 144****Transporte de íons através de barreiras de membrana 145**

Taxas de difusão diferentes para cátions e ânions produzem potenciais de difusão 146

Como o potencial de membrana se relaciona à distribuição de um íon? 146

A equação de Nernst distingue transporte ativo de transporte passivo 147

O transporte de prótons é um importante determinante do potencial de membrana 148

Processos de transporte em membranas 149

Os canais aumentam a difusão através das membranas 150
 Os carregadores ligam e transportam substâncias específicas 151
 O transporte ativo primário requer energia 152
 O transporte ativo secundário utiliza energia armazenada 153
 Análises cinéticas podem elucidar mecanismos de transporte 154

Proteínas de transporte em membranas 155

Para muitos transportadores, os genes têm sido identificados 157
 Existem transportadores para diversos compostos nitrogenados 157

Os transportadores de cátions são diversos 158

Transportadores de ânions foram identificados 160

Transportadores de íons metálicos e metaloides transportam micronutrientes essenciais 160

As aquaporinas têm funções diversas 161

As H^+ -ATPases da membrana plasmática são ATPases do tipo P altamente reguladas 161

A H^+ -ATPase do tonoplasto aciona a acumulação de solutos nos vacúolos 162

As H^+ -pirofosfatases também bombeiam prótons no tonoplasto 163

Transporte de íons nas raízes 164

Os solutos movem-se tanto através do apoplasto quanto do simplasto 164

Os íons cruzam o simplasto e o apoplasto 164

As células parenquimáticas do xilema participam de seu carregamento 165

UNIDADE II Bioquímica e Metabolismo 169

CAPÍTULO 7

Fotossíntese: Reações Luminosas 171

Fotossíntese nas plantas superiores 171

Conceitos gerais 172

A luz possui características tanto de partícula quanto de onda 172

As moléculas alteram seu estado eletrônico quando absorvem ou emitem luz 173

Os pigmentos fotossintetizantes absorvem a luz que impulsiona a fotossíntese 175

Experimentos-chave para a compreensão da fotossíntese 175

Os espectros de ação relacionam a absorção de luz à atividade fotossintética 176

A fotossíntese ocorre em complexos contendo antenas de captação de luz e centros fotoquímicos de reação 176

A reação química da fotossíntese é impulsionada pela luz 178

A luz impulsiona a redução do $NADP^+$ e a formação do ATP 178

Os organismos produtores de oxigênio possuem dois fotossistemas que operam em série 179

Organização do aparelho fotossintético 180

O cloroplasto é o local da fotossíntese 180

Os tilacoides contêm proteínas integrais de membrana 181

Os fotossistemas I e II estão separados espacialmente na membrana do tilacoide 181

As bactérias anoxigênicas fotossintetizantes possuem um único centro de reação 182

Organização dos sistemas antena de absorção de luz 183

O sistema antena contém clorofila e está associado à membrana 183

A antena canaliza energia para o centro de reação 183

Muitos complexos pigmento-proteicos antena possuem um motivo estrutural comum 183

Mecanismos de transporte de elétrons 185

Elétrons oriundos da clorofila viajam através de carregadores organizados no esquema Z 185

A energia é capturada quando uma clorofila excitada reduz uma molécula aceptora de elétrons 186

As clorofilas dos centros de reação dos dois fotossistemas absorvem em comprimentos de onda diferentes 187

O centro de reação do fotossistema II é um complexo pigmento proteico com múltiplas subunidades 188

A água é oxidada a oxigênio pelo fotossistema II 188

Feofitina e duas quinonas recebem elétrons do fotossistema II 189

- O fluxo de elétrons através do complexo citocromo b_6f também transporta prótons 191
- A plastoquinona e a plastocianina transportam elétrons entre os fotossistemas II e I 192
- O centro de reação do fotossistema I reduz o NADP^+ 192
- O fluxo cíclico de elétrons gera ATP, mas não NADPH 193
- Alguns herbicidas bloqueiam o fluxo fotossintético de elétrons 193

O transporte de prótons e a síntese de ATP no cloroplasto 193

Reparo e regulação da maquinaria fotossintética 195

- Os carotenoides servem como agentes fotoprotetores 196
- Algumas xantofilas também participam na dissipação da energia 197
- O centro de reação do fotossistema II é facilmente danificado 197
- O fotossistema I está protegido das espécies ativas de oxigênio 198
- O empilhamento dos tilacoides permite a partição de energia entre os fotossistemas 198

Genética, montagem e evolução dos sistemas fotossintéticos 198

- Os genes dos cloroplastos exibem padrões de hereditariedade não mendelianos 198
- A maioria das proteínas dos cloroplastos é importada do citoplasma 199
- A biossíntese e a quebra das clorofilas são rotas complexas 199
- Os organismos fotossintetizantes complexos evoluíram a partir de formas mais simples 199

CAPÍTULO 8

Fotossíntese: Reações de Carboxilação 203

O ciclo de Calvin-Benson 204

- O ciclo de Calvin-Benson tem três fases: carboxilação, redução e regeneração 204
- A fixação do CO_2 via carboxilação da ribulose-1,5-bifosfato e redução do produto 3-fosfoglicerato gera trioses fosfato 206
- A regeneração da ribulose-1,5-bifosfato assegura a assimilação contínua do CO_2 207
- Um período de indução antecede o estado de equilíbrio da assimilação fotossintética do CO_2 208
- Muitos mecanismos regulam o ciclo de Calvin-Benson 209

- A rubisco ativase regula a atividade catalítica da rubisco 209
- A luz regula o ciclo de Calvin-Benson via sistema ferredoxina-tiorredoxina 210
- Movimentos iônicos dependentes da luz modulam as enzimas do ciclo de Calvin-Benson 211
- A luz controla o arranjo das enzimas do cloroplasto em complexos supramoleculares 211

O ciclo fotossintético oxidativo C_2 do carbono 211

- A oxigenação da ribulose-1,5-bifosfato coloca em marcha o ciclo fotossintético oxidativo C_2 do carbono 213
- A fotorrespiração está ligada ao sistema de transporte de elétrons da fotossíntese 217
- As enzimas do ciclo fotossintético oxidativo C_2 do carbono das plantas derivam de diferentes ancestrais 217
- As cianobactérias usam uma rota proteobacteriana para trazer os átomos de carbono do 2-fosfoglicolato de volta ao ciclo de Calvin-Benson 217
- O ciclo fotossintético oxidativo C_2 do carbono interage com muitas rotas metabólicas 218
- A produção de biomassa pode ser aumentada por engenharia na fotorrespiração 219

Mecanismos de concentração de carbono inorgânico 220

Mecanismos de concentração de carbono inorgânico: o ciclo C_4 do carbono 220

- Malato e aspartato são os produtos primários da carboxilação no ciclo C_4 221
- O ciclo C_4 assimila CO_2 por uma ação combinada de dois tipos diferentes de células 222
- O ciclo C_4 utiliza mecanismos diferentes para a descarboxilação dos ácidos de quatro carbonos transportados para as células da bainha do feixe vascular 224
- As células da bainha vascular e células do mesofilo apresentam diferenças anatômicas e bioquímicas 224
- O ciclo C_4 também concentra CO_2 em células individuais 225
- A luz regula a atividade de enzimas-chave das C_4 225
- A assimilação fotossintética de CO_2 nas plantas C_4 demanda mais processos de transporte do que as plantas C_3 225
- Em climas quentes e secos, o ciclo C_4 reduz a fotorrespiração 228

Mecanismos de concentração de carbono inorgânico: metabolismo ácido das crassuláceas (CAM) 228

- Diferentes mecanismos regulam a PEPCase C_4 e a PEPCase CAM 230

O metabolismo ácido das crassuláceas é um mecanismo versátil sensível a estímulos ambientais 230

Acumulação e partição de fotossintatos – amido e sacarose 230

Formação e mobilização do amido do cloroplasto 231

O estroma do cloroplasto acumula amido como grânulos insolúveis durante o dia 233
A degradação do amido à noite requer a fosforilação da amilopectina 236
A exportação de maltose prevalece na decomposição noturna do amido transitório 237
A síntese e a degradação do grânulo de amido são reguladas por múltiplos mecanismos 237

Biossíntese da sacarose e sinalização 238

Trioses fosfato do ciclo de Calvin-Benson constroem o *pool* citosólico de três importantes hexoses fosfato na luz 238
A frutose-2,6-bisfosfato regula o *pool* de hexose fosfato na luz 239
A sacarose é continuamente sintetizada no citosol 239

CAPÍTULO 9

Fotossíntese: Considerações Fisiológicas e Ecológicas 245

A fotossíntese é influenciada pelas propriedades foliares 246

A anatomia foliar e a estrutura do dossel maximizam a absorção da luz 247
O ângulo e o movimento da folha podem controlar a absorção da luz 249
As folhas aclimatam-se a ambientes ensolarados e sombrios 249

Efeitos da luz na fotossíntese na folha intacta 250

As curvas de resposta à luz revelam propriedades fotossintéticas 250
As folhas precisam dissipar o excesso de energia luminosa 252
A absorção de luz em demasia pode levar à fotoinibição 254

Efeitos da temperatura na fotossíntese na folha intacta 255

As folhas precisam dissipar grandes quantidades de calor 255
Existe uma temperatura ideal para a fotossíntese 256
A fotossíntese é sensível às temperaturas altas e baixas 256

A eficiência fotossintética é sensível à temperatura 257

Efeitos do dióxido de carbono na fotossíntese na folha intacta 258

A concentração de CO₂ atmosférico continua subindo 258
A difusão de CO₂ até o cloroplasto é essencial para a fotossíntese 258
O CO₂ impõe limitações à fotossíntese 260
Como a fotossíntese e a respiração mudarão no futuro sob condições de aumento de CO₂? 262

Propriedades fotossintéticas pelo registro de isótopos estáveis 264

Como são medidos os isótopos estáveis de carbono de plantas? 264
Por que existem variações na razão entre isótopos de carbono em plantas? 265

CAPÍTULO 10

Biologia dos Estômatos 269

Abertura estomática dependente de luz 270

As células-guarda respondem à luz azul 270
A luz azul ativa uma bomba de prótons na membrana plasmática da célula-guarda 271
As respostas à luz azul possuem cinética e períodos de atraso (*lag times*) característicos 273
A luz azul regula o equilíbrio osmótico das células-guarda 273
A sacarose é um soluto osmoticamente ativo nas células-guarda 275

Mediação da fotorrecepção da luz azul em células-guarda por zeaxantina 276

Reversão por luz verde da abertura estimulada pela luz azul 278

Um complexo carotenoide-proteína detecta a intensidade da luz 280

O poder de resolução da fotofisiologia 280

CAPÍTULO 11

Translocação no Floema 285

Rotas de translocação 286

O açúcar é translocado nos elementos crivados 286
Os elementos crivados maduros são células vivas especializadas para translocação 287
Grandes poros nas paredes celulares caracterizam os elementos crivados 288
Elementos de tubo crivado danificados são vedados 289
As células companheiras dão suporte aos elementos crivados altamente especializados 290

Padrões de translocação: fonte-dreno 291**Materiais translocados no floema 292**

A seiva do floema pode ser coletada e analisada 292

Os açúcares são translocados na forma não redutora 293

Outros solutos são translocados no floema 293

Taxa de movimento 295**Modelo de fluxo de pressão: um mecanismo passivo para a translocação no floema 295**

Um gradiente de pressão gerado osmoticamente aciona a translocação no modelo de fluxo de pressão 295

Algumas previsões do modelo de fluxo de pressão têm sido confirmadas, enquanto outras necessitam de experimentos adicionais 296

Não há transporte bidirecional em um único elemento crivado, e solutos e água movem-se na mesma velocidade 297

A necessidade de energia para o transporte no floema é pequena em plantas herbáceas 297

Os poros da placa crivada parecem ser canais abertos 298

Os gradientes de pressão nos elementos crivados podem ser moderados; as pressões em plantas herbáceas e árvores parecem ser semelhantes 298

Modelos alternativos para translocação por fluxo de massa foram sugeridos 299

A translocação em gimnospermas envolve um mecanismo diferente? 299

Carregamento do floema 300

O carregamento do floema pode ocorrer via apoplasto ou simplasto 300

Dados abundantes dão suporte à ocorrência do carregamento apoplástico em algumas espécies 301

A absorção de sacarose na rota apoplástica requer energia metabólica 301

Na rota apoplástica, o carregamento dos elementos crivados envolve um transportador de sacarose- H^+ do tipo simporte 302

O carregamento do floema é simplástico em algumas espécies 302

O modelo de aprisionamento de polímeros explica o carregamento simplástico em plantas com células companheiras do tipo intermediário 303

O carregamento do floema é passivo em diversas espécies arbóreas 304

O tipo de carregamento do floema está correlacionado a muitas características significativas 304

Descarregamento do floema e transição dreno-fonte 305

O descarregamento do floema e o transporte de curta distância podem ocorrer via rotas simplástica ou apoplástica 306

O transporte para os tecidos-dreno necessita de energia metabólica 306

Em uma folha, a transição de dreno para fonte é gradual 307

Distribuição dos fotossintatos: alocação e partição 309

A alocação inclui reserva, utilização e transporte 309

Partição dos açúcares de transporte entre vários drenos 309

As folhas-fonte regulam a alocação 310

Os tecidos-dreno competem pelos fotossintatos translocados disponíveis 310

A intensidade do dreno depende de seu tamanho e atividade 311

A fonte ajusta-se às alterações de longo prazo na razão fonte-dreno 311

Transporte de moléculas sinalizadoras 312

A pressão de turgor e os sinais químicos coordenam as atividades das fontes e dos drenos 312

Proteínas e RNAs atuam como moléculas sinalizadoras no floema para regular o crescimento e o desenvolvimento vegetal 312

Plasmodesmos atuam na sinalização do floema 314

CAPÍTULO 12**Respiração e Metabolismo de Lipídeos 317****Visão geral da respiração vegetal 317****Glicólise 321**

A glicólise metaboliza carboidratos de várias fontes 321

A fase de conservação de energia da glicólise extrai energia utilizável 322

As plantas têm reações glicolíticas alternativas 322

Na ausência de oxigênio, a fermentação regenera o NAD^+ necessário para a glicólise 323

A glicólise vegetal é controlada por seus produtos 324

Rota oxidativa das pentoses fosfato 324

A rota oxidativa das pentoses fosfato produz $NADPH$ e intermediários biossintéticos 326

A rota oxidativa das pentoses fosfato é regulada por reações redox 326

Ciclo do ácido cítrico 326

As mitocôndrias são organelas semiautônomas 327

O piruvato entra na mitocôndria e é oxidado pelo ciclo do ácido cítrico 328

O ciclo do ácido cítrico em plantas tem características singulares 329

Transporte de elétrons mitocondrial e a síntese de ATP 329

A cadeia de transporte de elétrons catalisa o fluxo de elétrons do NADH ao O_2 330

A cadeia de transporte de elétrons tem ramificações suplementares 332

A síntese de trifosfato de adenosina na mitocôndria está acoplada ao transporte de elétrons 333

Os transportadores trocam substratos e produtos 334

A respiração aeróbica gera cerca de 60 moléculas de trifosfato de adenosina por molécula de sacarose 334

Diversas subunidades dos complexos respiratórios são codificadas pelo genoma mitocondrial 336

As plantas têm diversos mecanismos que reduzem a produção de ATP 336

O controle da respiração mitocondrial em curto prazo ocorre em diferentes níveis 338

A respiração é fortemente acoplada a outras rotas 339

Respiração em plantas e em tecidos intactos 340

As plantas respiram aproximadamente metade da produção fotossintética diária 340

A respiração opera durante a fotossíntese 341

Tecidos e órgãos diferentes respiram com taxas diferentes 341

Os fatores ambientais alteram as taxas respiratórias 342

Metabolismo de lipídeos 343

Gorduras e óleos armazenam grandes quantidades de energia 343

Os triacilgliceróis são armazenados em corpos lipídicos 343

Os glicerolipídeos polares são os principais lipídeos estruturais nas membranas 344

A biossíntese de ácidos graxos consiste em ciclos de adição de dois carbonos 344

Os glicerolipídeos são sintetizados nos plastídios e no retículo endoplasmático 346

A composição lipídica influencia a função da membrana 348

Os lipídeos de membranas são importantes precursores de compostos sinalizadores 348

Os lipídeos de reserva são convertidos em carboidratos em sementes em germinação 348

CAPÍTULO 13

Assimilação de Nutrientes Inorgânicos 353

Nitrogênio no meio ambiente 354

O nitrogênio passa por diferentes formas no ciclo biogeoquímico 354

Amônio ou nitrato não assimilados podem ser perigosos 355

Assimilação do nitrato 356

Muitos fatores regulam a nitrato redutase 356

A nitrito redutase converte o nitrito em amônio 357

Raízes e partes aéreas assimilam nitrato 357

Assimilação do amônio 358

A conversão do amônio em aminoácidos requer duas enzimas 358

O amônio pode ser assimilado por uma rota alternativa 359

As reações de transaminação transferem o nitrogênio 360

A asparagina e a glutamina unem o metabolismo do carbono e do nitrogênio 360

Biossíntese de aminoácidos 360

Fixação biológica do nitrogênio 360

Bactérias fixadoras de nitrogênio de vida livre e simbióticas 361

A fixação do nitrogênio necessita de condições microanaeróbicas e anaeróbicas 362

A fixação simbiótica do nitrogênio ocorre em estruturas especializadas 363

O estabelecimento da simbiose requer uma troca de sinais 364

Os fatores Nod produzidos por bactérias atuam como sinalizadores para a simbiose 364

A formação do nódulo envolve fitormônios 365

O complexo da enzima nitrogenase fixa o N_2 366

Amidas e ureídas são formas de transporte do nitrogênio 367

Assimilação do enxofre 367

O sulfato é a forma do enxofre transportado nos vegetais 368

A assimilação do sulfato requer a redução do sulfato a cisteína 368

A assimilação do sulfato ocorre principalmente nas folhas 369

A metionina é sintetizada a partir da cisteína 369

Assimilação do fosfato 369

Assimilação de cátions 370

Os cátions formam ligações não covalentes com compostos de carbono 370

As raízes modificam a rizosfera para absorver o ferro 371

Cátions de ferro formam complexos com carbono e fosfato 372

Assimilação do oxigênio 372**O balanço energético da assimilação de nutrientes 372****UNIDADE III Crescimento e Desenvolvimento 377****CAPÍTULO 14****Paredes Celulares: Estrutura, Formação e Expansão 379****Visão geral das funções e das estruturas da parede celular vegetal 380**

As paredes celulares das plantas variam em estrutura e função 380

Os componentes diferem para as paredes celulares primárias e secundárias 382

As microfibrilas de celulose têm uma estrutura organizada e são sintetizadas na membrana plasmática 384

Os polímeros da matriz são sintetizados no complexo de Golgi e secretados via vesículas 387

As pectinas são componentes formadores de gel hidrofílico na parede celular primária 388

As hemiceluloses são polissacarídeos de matriz que se ligam à celulose 390

Estrutura e função da parede celular primária 392

A parede celular primária é composta de microfibrilas de celulose incluídas em uma matriz de pectinas e hemiceluloses 392

As novas paredes celulares primárias são construídas durante a citocinese e continuam sendo construídas durante o crescimento 392

Mecanismos de expansão celular 393

A orientação das microfibrilas influencia a direção de células com crescimento difuso 394

Os microtúbulos corticais influenciam a orientação de microfibrilas recém-depositadas 395

A extensão e a taxa do crescimento celular 396

O relaxamento do estresse da parede celular dirige a captação de água e a expansão da célula 397

O crescimento induzido por acidez e o relaxamento do estresse da parede são mediados por expansinas 397

Os modelos da parede celular são hipóteses sobre como os componentes moleculares se encaixam para formar uma parede funcional 399

Muitas mudanças estruturais acompanham o cessar da expansão da parede 400

Estrutura e função da parede celular secundária 400

As paredes celulares secundárias são ricas em celulose e hemicelulose e muitas vezes têm uma organização hierárquica 400

A lignificação transforma a parede celular secundária em uma estrutura hidrofóbica, resistente à desconstrução 402

CAPÍTULO 15**Sinais e Transdução de Sinal 407****Aspectos temporais e espaciais da sinalização 408****Percepção e amplificação de sinais 409**

Os receptores localizam-se na célula e são conservados nos reinos 409

Os sinais devem ser amplificados intracelularmente para regular suas moléculas-alvo 411

A cascata de amplificação de sinal MAP-quinase está presente em todos os eucariotos 411

Ca²⁺ é o mensageiro secundário mais ubíquo em plantas e em outros eucariotos 411

As mudanças no pH citosólico ou no pH da parede celular podem servir com mensageiros secundários para respostas hormonais e a estresses 412

Espécies reativas de oxigênio atuam como mensageiros secundários, mediando sinais ambientais e de desenvolvimento 413

As moléculas de sinalização de lipídeos atuam como mensageiros secundários que regulam diversos processos celulares 414

Hormônios e desenvolvimento vegetal 414

A auxina foi descoberta em estudos iniciais da curvatura do coleóptilo durante o fototropismo 417

As giberelinas promovem o crescimento do caule e foram descobertas em relação à “doença da planta boba” do arroz 417

As citocininas foram descobertas como fatores promotores da divisão celular em experimentos de cultura de tecidos 418

O etileno é um hormônio gasoso que promove o amadurecimento do fruto e outros processos do desenvolvimento 418

O ácido abscísico regula a maturação da semente e o fechamento estomático em resposta ao estresse hídrico 419

Os brassinosteroides regulam a fotomorfogênese, a germinação e outros processos do desenvolvimento 419

As estrigolactonas reprimem a ramificação e promovem interações na rizosfera 421

Metabolismo dos fitormônios e homeostase 421

O indol-3-piruvato é o intermediário principal na biossíntese da auxina 421

As giberelinas são sintetizadas pela oxidação do diterpeno *ent*-caureno 422

As citocininas são derivadas da adenina com cadeias laterais de isopreno 423

O etileno é sintetizado da metionina via ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico intermediário 426

O ácido abscísico é sintetizado de um carotenoide intermediário 426

Os brassinosteroides são derivados do esterol campesterol 428

As estrigolactonas são sintetizadas a partir do β -caroteno 429

Transmissão de sinal e comunicação célula a célula 429

Rotas de sinalização hormonal 431

As rotas de transdução de sinal de etileno e de citocinina são derivadas dos sistemas reguladores bacterianos de dois componentes 431

Os receptores do tipo quinase medeiam as rotas de sinalização de certas auxinas e de brassinosteroides 434

Os componentes da sinalização central do ácido abscísico incluem fosfatases e quinases 436

As rotas de sinalização dos hormônios vegetais geralmente empregam regulação negativa 436

Vários receptores de hormônios vegetais codificam componentes da maquinaria de ubiquitinação e medeiam a sinalização via degradação de proteínas 437

As plantas desenvolveram mecanismos para desligamento ou atenuação de respostas de sinalização 439

A saída (*output*) da resposta celular a um sinal frequentemente é específica do tecido 441

A regulação cruzada permite a integração das rotas de transdução de sinal 441

CAPÍTULO 16

Sinais da Luz Solar 447

Fotorreceptores vegetais 448

As fotorrespostas são acionadas pela qualidade da luz ou das propriedades espectrais da energia absorvida 449

As respostas das plantas à luz podem ser distinguidas pela quantidade de luz requerida 450

Fitocromos 452

O fitocromo é o fotorreceptor primário para as luzes vermelha e vermelho-distante 452

O fitocromo pode se interconverter entre as formas Pr e Pfr 452

O Pfr é a forma fisiologicamente ativa do fitocromo 453

Tanto o cromóforo como a proteína do fitocromo sofrem alterações conformacionais em resposta à luz vermelha 453

O Pfr está particionado entre o citosol e o núcleo 454

Respostas do fitocromo 457

As respostas do fitocromo variam em período de atraso (*lag time*) e tempo de escape 457

As respostas do fitocromo são classificadas em três categorias principais com base na quantidade de luz requerida 457

O fitocromo A medeia respostas à luz vermelho-distante contínua 459

O fitocromo B medeia as respostas às luzes vermelha ou branca contínua 459

Os papéis dos fitocromos C, D e E estão emergindo 459

Rotas de sinalização do fitocromo 459

O fitocromo regula os potenciais de membrana e os fluxos de íons 460

O fitocromo regula a expressão gênica 460

Os fatores de interação do fitocromo (PIFs) atuam cedo na sinalização 460

A sinalização pelo fitocromo envolve a fosforilação e a desfosforilação de proteínas 461

A fotomorfogênese induzida pelo fitocromo envolve degradação de proteínas 461

Respostas à luz azul e fotorreceptores 462

As respostas à luz azul possuem cinética e períodos de atraso (*lag times*) característicos 462

Criptocromos 463

O cromóforo FAD ativado do criptocromo causa uma mudança conformacional na proteína 463

cry1 e *cry2* têm efeitos diferentes sobre o desenvolvimento 465

Criptocromos nucleares inibem a degradação de proteínas induzida pelo COP1 465

O criptocromo também pode se ligar diretamente aos reguladores de transcrição 465

A ação conjunta do criptocromo, do fitocromo e das fototropinas 466

- O alongamento do caule é inibido por fotorreceptores vermelho e azul 466
- O fitocromo interage com o criptocromo para regular o florescimento 467
- O relógio circadiano é regulado por múltiplos aspectos da luz 467

Fototropinas 467

- A luz azul induz mudanças nos máximos de absorção do FMN associadas a mudanças de conformação 468
- O domínio LOV2 é principalmente responsável pela ativação da quinase em resposta à luz azul 469
- A luz azul induz uma mudança conformacional que “liberta” o domínio de quinase da fototropina e leva à autofosforilação 469
- O fototropismo requer alterações na mobilização das auxinas 469
- As fototropinas regulam os movimentos dos cloroplastos via montagem de filamentos de actina F 469
- A abertura estomática é regulada pela luz azul, que ativa a H⁺-ATPase da membrana plasmática 471
- Os principais eventos da transdução de sinal da abertura estomática mediada pela fototropina foram identificados 472

Respostas à radiação ultravioleta 473

CAPÍTULO 17

Embriogênese 477

Visão geral do crescimento e do desenvolvimento vegetal 478

O desenvolvimento esporófito pode ser dividido em três estágios principais 479

Embriogênese: as origens da polaridade 480

- A embriogênese difere entre eudicotiledôneas e monocotiledôneas, mas também tem processos fundamentais comuns 480
- A polaridade apical-basal é estabelecida na embriogênese 482
- Mecanismos dependentes da posição guiam a embriogênese 483
- Processos de sinalização intercelular desempenham papéis-chave no direcionamento do desenvolvimento dependente da posição 484
- O desenvolvimento embrionário apresenta comunicação regulada entre células 484

A análise de mutantes identifica genes para os processos de sinalização que são essenciais para a organização do embrião 485

A auxina funciona como sinal químico móvel durante a embriogênese 487

A polaridade da planta é mantida por correntes polares de auxina 487

O transporte de auxina é regulado por múltiplos mecanismos 489

A proteína GNOM estabelece uma distribuição polar de proteínas de efluxo de auxina PIN 491

MONOPTEROS codifica um fator de transcrição que é ativado por auxina 492

A padronização radial guia a formação de camadas de tecidos 492

A origem da epiderme: um limite e interface na borda do eixo radial 493

Precusores procambiais para o estelo encontram-se no centro do eixo radial 493

A diferenciação de células corticais e endodérmicas envolve o movimento intracelular de um fator de transcrição 494

Tecidos meristemáticos: bases para o crescimento indeterminado 495

Os meristemas apicais de raiz e de caule utilizam estratégias similares para possibilitar o crescimento indeterminado 495

O meristema apical da raiz 496

A extremidade da raiz possui quatro zonas de desenvolvimento 497

A origem dos diferentes tecidos da raiz pode ser rastreada a partir de células iniciais específicas 497

Experimentos de remoção de células implicam em processos de sinalização direcional na determinação da identidade celular 499

A auxina contribui para a formação e a manutenção do MAR 499

As respostas à auxina são mediadas por várias famílias distintas de fatores de transcrição 499

Citocinina é exigida para o desenvolvimento normal da raiz 500

O meristema apical do caule 500

O meristema apical do caule tem zonas e camadas distintas 502

Os tecidos do caule são derivados de vários conjuntos discretos de iniciais apicais 502

Fatores envolvidos no movimento e nas respostas de auxina influenciam a formação do MAC 503

A formação embrionária do MAC requer a expressão coordenada de fatores de transcrição 503

Uma combinação de interações positivas e negativas determina o tamanho do meristema apical 505

A classe de genes homeodomínio *KNOX* ajuda a manter a capacidade proliferativa do MAC pela regulação dos níveis de citocinina e GA 506

Zonas localizadas de acumulação de auxina promovem a iniciação foliar 507

O câmbio vascular 508

A manutenção de iniciais indeterminadas em vários tipos de meristemas depende de mecanismos similares 508

CAPÍTULO 18

Dormência e Germinação da Semente e Estabelecimento da Plântula 513

Estrutura da semente 514

A anatomia da semente varia amplamente entre diferentes grupos de plantas 514

Dormência da semente 515

A dormência pode ser imposta ao embrião pelos tecidos circundantes 516

A dormência do embrião pode ser causada por fatores fisiológicos ou morfológicos 516

Sementes não dormentes podem exibir viviparidade e germinação precoce 516

A razão ABA:GA é o primeiro determinante da dormência da semente 517

Liberação da dormência 519

A luz é um sinal importante que quebra a dormência nas sementes pequenas 519

Algumas sementes requerem ou resfriamento ou pós-maturação para quebrar a dormência 519

A dormência da semente pode ser quebrada por vários compostos químicos 520

Germinação da semente 520

A germinação pode ser dividida em três fases correspondentes às fases de absorção da água 520

Mobilização das reservas armazenadas 522

A camada de aleurona dos cereais é um tecido digestivo especializado circundando o endosperma amiláceo 522

A GA aumenta a transcrição do mRNA da α -amilase 523

O receptor de GA, *GID1*, promove a degradação de reguladores negativos da resposta à giberelina 523

GA-MYB é um regulador positivo da transcrição da α -amilase 524

Proteínas repressoras *DELLA* são rapidamente degradadas 524

ABA inibe a produção de enzima induzida por GA 524

Crescimento e estabelecimento da plântula 526

A auxina promove o crescimento nos caules e coleótilos, enquanto inibe o crescimento nas raízes 526

Os tecidos externos dos caules das eudicotiledôneas são os alvos da ação das auxinas 526

O período de atraso mínimo para o alongamento induzido por auxina é de 10 minutos 527

A extrusão de prótons induzida por auxina induz o deslizamento da parede celular e o alongamento celular 528

Tropismos: crescimento em resposta a uma quantidade de maiores estímulos direcionais 528

O gravitropismo envolve a redistribuição lateral de auxina 528

O transporte polar de auxina necessita de energia e não depende da gravidade 529

De acordo com a hipótese do amido-estatólito, amiloplastos especializados servem como sensores da gravidade nas coifas (raízes) 530

Os movimentos da auxina na raiz são regulados por transportadores específicos 532

O estímulo gravitrópico perturba o movimento simétrico da auxina a partir do ápice da raiz 533

A percepção gravitrópica nos caules de eudicotiledôneas e em órgãos similares ao caule ocorre na bainha amilífera 533

A percepção da gravidade pode envolver o pH e os íons cálcio (Ca^{2+}) como mensageiros secundários 533

Fototropismo 535

O fototropismo é mediado pela redistribuição lateral de auxina 535

O fototropismo ocorre em uma série de eventos pós-traducionais 536

Fotomorfogênese 537

Giberelinas e brassinosteroides suprimem a fotomorfogênese no escuro 538

A abertura do gancho é regulada por fitocromo e auxina 539

O etileno induz a expansão celular lateral 539

Evitação da sombra 540

O fitocromo permite que as plantas se adaptem às mudanças na qualidade da luz 540

A diminuição da razão R:FR causa o alongamento das plantas de sol 540

A redução das respostas de evitação da sombra pode melhorar a produtividade das culturas 542

Diferenciação do sistema vascular 542

- Auxina e citocinina são necessárias para o desenvolvimento vascular normal 543
- As culturas celulares de *Z. elegans* em suspensão podem ser induzidas a realizar xilogênese 544
- A xilogênese envolve uma sinalização química entre as células vizinhas 544

Crescimento e diferenciação da raiz 545

- O desenvolvimento da epiderme da raiz segue três padrões básicos 545
- A auxina e outros hormônios regulam o desenvolvimento do pelo da raiz 546
- A formação e a emergência da raiz lateral dependem de sinais endógenos e exógenos 547
- Regiões de emergência da raiz lateral correspondem a regiões de atividade máxima da auxina 548
- As raízes laterais e as partes aéreas têm um ângulo no ponto de inserção gravitropico 549

CAPÍTULO 19

Crescimento Vegetativo e Organogênese 553**Desenvolvimento da folha 553****Estabelecimento da polaridade foliar 554**

- Os sinais hormonais exercem papéis fundamentais na regulação da emergência dos primórdios foliares 555
- Um sinal do meristema apical do caule inicia a polaridade adaxial-abaxial 555
- Genes ARP promovem a identidade adaxial e reprimem o gene *KNOX1* 556
- O desenvolvimento foliar adaxial requer os fatores de transcrição HD-ZIP III 556
- A expressão dos genes HD-ZIP III é antagonizada por miR166 nas regiões abaxiais da folha 558
- O antagonismo entre KANADI e HD-ZIP III é um determinante-chave da polaridade foliar adaxial-abaxial 558
- As interações entre tecidos adaxiais e abaxiais são requeridas para o crescimento da lâmina 558
- O crescimento da lâmina é dependente da auxina e regulado pelos genes YABBY e WOX 558
- A polaridade proximal-distal da folha também depende de expressão gênica específica 559
- Nas folhas compostas, a desrepressão do gene *KNOX1* promove a formação dos folíolos 560

Diferenciação de tipos celulares epidérmicos 561

- O destino das células-guarda é fundamentalmente determinado por uma linhagem epidérmica especializada 562

Dois grupos de fatores de transcrição bHLH governam as transições do destino celular estomático 563

Os peptídeos sinais regulam a padronização estomática mediante interação com receptores de superfície celular 563

As triagens (*screens*) genéticas levaram à identificação de reguladores positivos e negativos da iniciação dos tricomas 563

GLABRA2 atua a jusante do complexo GL1-GL3-TTG1 para promover a formação dos tricomas 565

O ácido jasmônico regula o desenvolvimento de tricomas foliares em *Arabidopsis* 565

Padrões de venação nas folhas 565

A nervura foliar primária é iniciada descontinuamente a partir do sistema vascular preexistente 566

A canalização da auxina inicia o desenvolvimento do traço foliar 566

O transporte basípeto de auxina a partir da camada L1 do primórdio foliar inicia o desenvolvimento do procâmbio do traço foliar 568

A estrutura vascular existente orienta o crescimento do traço foliar 568

As nervuras foliares hierarquicamente superiores diferenciam-se em uma ordem previsível 569

A canalização da auxina regula a formação das nervuras de ordens superiores 570

A biossíntese localizada da auxina é fundamental para os padrões de venação de ordens superiores 571

Ramificação e arquitetura da parte aérea 572

A iniciação dos meristemas axilares envolve muitos dos mesmos genes da iniciação foliar e da emergência da lâmina 573

Auxina, citocininas e estrigolactonas regulam a emergência das gemas axilares 573

A auxina da extremidade do caule mantém a dominância apical 574

As estrigolactonas atuam localmente para reprimir o crescimento das gemas axilares 574

As citocininas antagonizam os efeitos das estrigolactonas 576

O sinal inicial para o crescimento das gemas axilares pode ser um aumento na disponibilidade de sacarose para a gema 577

A integração de sinais ambientais e hormonais de ramificação é necessária para a eficácia biológica (*fitness*) das plantas 577

A dormência das gemas axilares em plantas lenhosas é afetada pela estação do ano, pela posição e pela idade 578

Arquitetura do sistema de raízes 579

- As plantas podem modificar a arquitetura de seus sistemas de raízes para otimizar a absorção de água e nutrientes 579
- As monocotiledôneas e as eudicotiledôneas diferem na arquitetura de seus sistemas de raízes 580
- A arquitetura do sistema de raízes muda em resposta às deficiências de fósforo 580
- As respostas da arquitetura do sistema de raízes à deficiência de fósforo envolvem redes reguladoras localizadas e sistêmicas 582
- As redes micorrízicas ampliam a arquitetura do sistema de raízes em todos os principais ecossistemas terrestres 583

Crescimento secundário 583

- O câmbio vascular e o felogênio são os meristemas secundários onde se origina o crescimento secundário 584
- O crescimento secundário desenvolveu-se cedo na evolução das plantas terrestres 585
- O crescimento secundário a partir do câmbio vascular origina xilema e floema secundários 585
- Os fitormônios têm papéis importantes na regulação da atividade do câmbio vascular e na diferenciação do xilema e do floema secundários 585
- Os genes envolvidos na manutenção, na proliferação e na diferenciação de células-tronco regulam o crescimento secundário 586
- Os fatores ambientais influenciam a atividade do câmbio vascular e as propriedades do lenho 587

CAPÍTULO 20

O Controle do Florescimento e o Desenvolvimento Floral 591**Evocação floral: integração de estímulos ambientais 592****O ápice caulinar e as mudanças de fase 592**

- O desenvolvimento vegetal possui três fases 592
- Os tecidos juvenis são produzidos primeiro e estão localizados na base do caule 592
- As mudanças de fases podem ser influenciadas por nutrientes, giberelinas e outros sinais 593

Ritmos circadianos: o relógio interno 594

- Os ritmos circadianos exibem características marcantes 595
- A mudança de fase ajusta os ritmos circadianos aos diferentes ciclos dia-noite 596
- Fitocromos e criptocromos sincronizam o relógio 596

Fotoperiodismo: monitoração do comprimento do dia 597

- As plantas podem ser classificadas por suas respostas fotoperiódicas 597
- A folha é o sítio de percepção do sinal fotoperiódico 599
- As plantas monitoram o comprimento do dia pela medição do comprimento da noite 599
- Quebras da noite podem cancelar o efeito do período de escuro 599
- A cronometragem fotoperiódica durante a noite depende do relógio circadiano 599
- O modelo de coincidência baseia-se em fases oscilantes de sensibilidade à luz 600
- A coincidência da expressão de *CONSTANS* e luz promove o florescimento em LDPs 601
- SDPs usam um mecanismo de coincidência para inibir o florescimento em dias longos 603
- O fitocromo é o fotorreceptor primário no fotoperiodismo 603
- Um fotorreceptor de luz azul regula o florescimento em algumas plantas de dias longos 604

Vernalização: promoção do florescimento com o frio 605

- A vernalização resulta em competência para o florescimento no meristema apical do caule 605
- A vernalização pode envolver mudanças epigenéticas na expressão gênica 606
- Uma faixa de rotas de vernalização pode ter evoluído 607

Sinalização de longa distância envolvida no florescimento 608

- Os estudos de enxertia geraram a primeira evidência de um estímulo floral transmissível 608
- O florígeno é translocado no floema 609

A identificação do florígeno 610

- A proteína de *Arabidopsis* FLOWERING LOCUS T (FT) é um florígeno 610
- Giberelinas e etileno podem induzir o florescimento 610
- A transição para o florescimento envolve múltiplos fatores e rotas 612

Meristemas florais e desenvolvimento de órgãos florais 612

- Em *Arabidopsis*, o meristema apical do caule muda com o desenvolvimento 613
- Os quatro tipos diferentes de órgãos florais são iniciados como verticilos separados 613
- Duas categorias principais de genes regulam o desenvolvimento floral 614

Genes de identidade de meristemas florais regulam a função do meristema 614

As mutações homeóticas levaram à identificação dos genes de identidade de órgãos florais 616

O modelo ABC explica parcialmente a determinação da identidade do órgão floral 617

Os genes da Classe E de *Arabidopsis* são necessários para as atividades dos genes A, B e C 618

De acordo com o Modelo Quaternário, a identidade do órgão floral é regulada por complexos tetraméricos das proteínas ABCE 618

Os genes da Classe D são necessários para a formação do óvulo 619

A assimetria floral nas flores é regulada pela expressão gênica 620

CAPÍTULO 21

Gametófitos, Polinização, Sementes e Frutos 625

Desenvolvimento das gerações gametofíticas masculina e feminina 625

Formação de gametófitos masculinos no estame 626

A formação do grão de pólen ocorre em dois estágios sucessivos 627

A parede celular multiestratificada do pólen é surpreendentemente complexa 628

Desenvolvimento do gametófito feminino no rudimento seminal 630

O gineceu de *Arabidopsis* é um sistema-modelo importante para o estudo do desenvolvimento do rudimento seminal 630

A maioria das angiospermas exibe desenvolvimento do saco embrionário do tipo *Polygonum* 630

Megásporos funcionais sofrem uma série de divisões mitóticas nucleares livres seguidas por celularização 631

O desenvolvimento do saco embrionário envolve sinalização hormonal entre as gerações esporofítica e gametofítica 632

Polinização e fecundação em plantas floríferas 632

A passagem das células espermáticas para o gametófito feminino pelo tubo polínico ocorre em seis fases 633

A aderência e a hidratação de um grão de pólen sobre uma flor compatível dependem do reconhecimento entre as superfícies do pólen e do estigma 634

A polarização do grão de pólen desencadeada pelo Ca^{2+} precede a formação do tubo 635

Os tubos polínicos crescem por crescimento apical 635

Receptores do tipo quinase regulam a troca da ROP1 GTPase, um regulador fundamental do crescimento apical 635

O crescimento apical do tubo polínico no pistilo é orientado por estímulos físicos e químicos 637

O tecido do estilete condiciona o tubo polínico a responder a substâncias atraentes produzidas pelas sinérgides do saco embrionário 637

A fecundação dupla ocorre em três estágios distintos 638

Autopolinização versus polinização cruzada 639

Espécies bissexuais e monoicas desenvolveram características florais para assegurar a polinização cruzada 639

Esterilidade masculina citoplasmática ocorre na natureza e é de grande utilidade na agricultura 640

A autoincompatibilidade é o mecanismo básico que impõe a polinização cruzada em angiospermas 640

O sistema de autoincompatibilidade esporofítica em Brassicaceae requer dois genes no *locus S* 641

A autoincompatibilidade gametofítica é mediada por proteínas citotóxicas S-RNase e F-box 642

Apomixia: reprodução assexuada por semente 642

A apomixia não é um “beco sem saída” evolutivo 643

Desenvolvimento do endosperma 643

A celularização do endosperma cenocítico em *Arabidopsis* avança da região micropilar para a calazal 645

A celularização do endosperma cenocítico de cereais avança centripetamente 646

O desenvolvimento do endosperma e a embriogênese podem ocorrer autonomamente 646

Muitos dos genes que controlam o desenvolvimento do endosperma são expressos maternalmente 647

As proteínas FIS são membros de um complexo repressivo Polycomb (PRC2) que reprime o desenvolvimento do endosperma 647

As células do endosperma amiláceo e da camada de aleurona seguem rotas de desenvolvimento divergentes 649

Dois genes, *DEK1* e *CR4*, têm sido envolvidos na diferenciação da camada de aleurona 649

Desenvolvimento da casca da semente 650

O desenvolvimento da casca da semente parece ser regulado pelo endosperma 650

Maturação da semente e tolerância à dessecação 652

As fases de enchimento e tolerância à dessecação da semente sobrepõem-se em muitas espécies 652

A conquista da tolerância à dessecação envolve muitas rotas metabólicas 653

Durante a conquista de tolerância à dessecação, as células do embrião adquirem um estado vítreo 653

Proteínas abundantes na embriogênese tardia e açúcares não redutores têm sido implicados na tolerância à dessecação das sementes 653

Proteínas abundantes na embriogênese tardia específicas têm sido envolvidas na tolerância à dessecação em *Medicago truncatula* 653

O ácido abscísico exerce um papel-chave na maturação da semente 654

A dormência imposta pela casca está correlacionada com a viabilidade a longo prazo da semente 654

Desenvolvimento e amadurecimento do fruto 655

Arabidopsis e tomateiro são sistemas-modelo para o estudo do desenvolvimento do fruto 655

Os frutos carnosos passam por amadurecimento 657

O amadurecimento envolve mudanças na cor do fruto 657

O amolecimento do fruto envolve a ação coordenada de muitas enzimas de degradação da parede celular 658

Paladar e sabor refletem mudanças nos compostos de ácidos, açúcares e aroma 658

O vínculo causal entre etileno e amadurecimento foi demonstrado em tomates transgênicos e mutantes 658

Os frutos climatéricos e não climatéricos diferem em suas respostas ao etileno 658

O processo de amadurecimento é regulado transcricionalmente 660

As angiospermas compartilham uma gama de mecanismos moleculares comuns que controlam o desenvolvimento e o amadurecimento do fruto 660

O amadurecimento do fruto está sob controle epigenético 661

A compreensão mecanística do processo de amadurecimento tem aplicações comerciais 661

CAPÍTULO 22

Senescência Vegetal e Morte Celular 665

Morte celular programada e autólise 666

A morte celular programada durante o desenvolvimento normal difere daquela da resposta de hipersensibilidade 668

A rota de autofagia captura e degrada constituintes celulares dentro de compartimentos líticos 669

Um subconjunto de genes relacionados à autofagia controla a formação do autofagossomo 669

A rota autofágica desempenha um duplo papel no desenvolvimento vegetal 671

A síndrome de senescência foliar 671

A idade de desenvolvimento de uma folha pode diferir de sua idade cronológica 672

A senescência foliar pode ser sequencial, sazonal ou induzida por estresse 672

A senescência foliar do desenvolvimento consiste em três fases distintas 673

As primeiras alterações celulares durante a senescência foliar ocorrem no cloroplasto 675

A autólise das proteínas do cloroplasto ocorre em múltiplos compartimentos 675

A proteína STAY-GREEN (SGR) é exigida tanto para a reciclagem da proteína LHCP II como para o catabolismo da clorofila 676

A senescência foliar é precedida por uma expressiva reprogramação da expressão gênica 677

Senescência foliar: a rede reguladora 678

As famílias dos genes *NAC* e *WRKY* são os fatores de transcrição mais abundantes que regulam a senescência foliar 678

EROs servem como agentes de sinalização interna na senescência foliar 680

Açúcares acumulam-se durante a senescência foliar e podem servir como um sinal 680

Os hormônios vegetais interagem na regulação da senescência foliar 681

Abscisão foliar 684

O ritmo da abscisão foliar é regulado pela interação de etileno e auxina 685

Senescência da planta inteira 686

Os ciclos de vida de angiospermas podem ser anuais, bianuais ou perenes 686

A senescência da planta inteira difere do envelhecimento em animais 687

A determinação dos meristemas apicais da parte aérea é regulada pelo desenvolvimento 688

A redistribuição de nutrientes ou hormonal pode desencadear a senescência em plantas monocárpicas 689

A taxa de acumulação de carbono em árvores aumenta continuamente com o tamanho delas 689

CAPÍTULO 23

Interações Bióticas 693

Interações benéficas entre plantas e microrganismos 695

Os fatores Nod são reconhecidos pelo receptor de fator Nod (NFR) em leguminosas 695

- Associações com micorrizas arbusculares e simbiose de fixação de nitrogênio envolvem rotas de sinalização 695
- Rizobactérias podem aumentar a disponibilidade de nutrientes, estimular a ramificação da raiz e proteger contra patógenos 697

Interações nocivas entre plantas, patógenos e herbívoros 697

- Barreiras mecânicas fornecem uma primeira linha de defesa contra insetos-praga e patógenos 698
- Os metabólitos secundários vegetais podem afastar insetos herbívoros 700
- As plantas armazenam compostos tóxicos constitutivos em estruturas especializadas 701
- Frequentemente, as plantas armazenam moléculas de defesa no vacúolo, como conjugados de açúcar, hidrossolúveis e não tóxicos 703
- Os níveis constitutivos de compostos secundários são mais elevados em folhas jovens em desenvolvimento do que nos tecidos mais velhos 705

Respostas de defesa induzidas contra insetos herbívoros 705

- As plantas podem reconhecer componentes específicos na saliva dos insetos 706
- Os ácidos graxos modificados secretados por gafanhotos atuam como eliciadores de acúmulo de ácido jasmônico e emissão de etileno 706
- Os insetos sugadores ativam rotas de sinalização de defesa semelhantes àquelas ativadas por infecções por patógenos 707
- A sinalização de cálcio e a ativação da rota da MAP-quinase são eventos iniciais associados à herbivoria de insetos 707
- O ácido jasmônico ativa respostas de defesa contra insetos herbívoros 708
- O ácido jasmônico atua por um mecanismo conservado de sinalização de ubiquitina ligase 709
- Interações hormonais contribuem para as interações entre plantas e insetos herbívoros 709
- O ácido jasmônico inicia a produção de proteínas de defesa que inibem a digestão de herbívoros 710
- Os danos causados por herbívoros induzem defesas sistêmicas 710
- Genes de receptor tipo glutamato (GLR) são necessários para a sinalização elétrica de longa distância durante a herbivoria 712
- Os voláteis induzidos por herbívoros podem repelir herbívoros e atrair inimigos naturais 712
- Os voláteis induzidos por herbívoros podem servir como sinais de longa distância entre as plantas 713

- Os voláteis induzidos por herbívoros também podem atuar como sinais sistêmicos em uma mesma planta 714
- As respostas de defesa contra herbívoros e patógenos são reguladas por ritmos circadianos 714
- Os insetos desenvolveram mecanismos para anular as defesas vegetais 715

Defesas vegetais contra patógenos 715

- Os agentes patogênicos microbianos desenvolveram várias estratégias para invadir as plantas hospedeiras 715
- Patógenos produzem moléculas efetoras que auxiliam na colonização de suas células hospedeiras vegetais 716
- A infecção por patógeno pode originar “sinais de perigo” moleculares que são percebidos por receptores de reconhecimento de padrões (PRRs) de superfície celular 717
- Genes *R* fornecem resistência a patógenos particulares pelo reconhecimento de efetores linhagem-específicos 718
- A exposição aos eliciadores induz uma cascata de transdução de sinais 719
- Os efetores liberados por insetos sugadores também ativam os receptores NBS-LRR 719
- A resposta de hipersensibilidade é uma defesa comum contra patógenos 720
- Fitoalexinas com atividade antimicrobiana se acumulam após o ataque do patógeno 721
- Um único contato com o patógeno pode aumentar a resistência aos ataques futuros 721
- Os principais componentes da rota de sinalização do ácido salicílico na SAR foram identificados 723
- As interações de plantas com bactérias não patogênicas podem desencadear resistência sistêmica por um processo denominado resistência sistêmica induzida (ISR) 723

Defesas vegetais contra outros organismos 724

- Alguns nematódeos parasitas de plantas formam associações específicas através de formação de estruturas de forrageio distintas 724
- Plantas competem com outras plantas secretando metabólitos secundários alelopáticos no solo 725
- Algumas plantas são patógenos biotróficos de outras plantas 726

CAPÍTULO 24

Estresse Abiótico 731

Definição de estresse vegetal 732

- O ajuste fisiológico ao estresse abiótico envolve conflitos (*trade-offs*) entre os desenvolvimentos vegetativo e reprodutivo 732

Aclimação e adaptação 733

- A adaptação ao estresse envolve modificação genética durante muitas gerações 733
- A aclimação permite que as plantas respondam às flutuações ambientais 733

Fatores ambientais e seus impactos biológicos nas plantas 734

- O déficit hídrico diminui a pressão de turgor, aumenta a toxicidade iônica e inibe a fotossíntese 735
- O estresse salino tem efeitos osmóticos e citotóxicos 736
- O estresse luminoso pode ocorrer quando plantas adaptadas ou aclimatadas à sombra são sujeitas à luz solar plena 736
- O estresse térmico afeta um amplo espectro de processos fisiológicos 736
- A inundação resulta em estresse anaeróbico à raiz 737
- Durante o estresse por congelamento, a formação de cristal de gelo extracelular provoca desidratação celular 737
- Os metais pesados podem imitar nutrientes minerais essenciais e gerar espécies reativas de oxigênio 737
- As deficiências de nutrientes minerais são uma causa de estresse 737
- O ozônio e a luz ultravioleta geram espécies reativas de oxigênio que causam lesões e induzem a morte celular programada 737
- Combinações de estresses abióticos podem induzir rotas de sinalização e metabólicas exclusivas 738
- A exposição sequencial a estresses abióticos diferentes às vezes confere proteção cruzada 739

Mecanismos sensores de estresse em plantas 739

- Sensores de ação precoce fornecem o sinal inicial para a resposta ao estresse 740

Rotas de sinalização ativadas em resposta ao estresse abiótico 740

- Os intermediários da sinalização de muitas rotas de resposta ao estresse podem interagir 740
- A aclimação ao estresse envolve redes reguladoras transcricionais denominadas *regulons* 743
- Os genes dos cloroplastos respondem à intensidade luminosa alta emitindo sinais de estresse ao núcleo 743

A onda de autopropagação de EROs medeia a aclimação sistêmica adquirida 745

Mecanismos epigenéticos e pequenos RNAs fornecem proteção adicional contra o estresse 745

As interações hormonais regulam o desenvolvimento normal e respostas ao estresse abiótico 745

Mecanismos fisiológicos e do desenvolvimento que protegem as plantas contra o estresse abiótico 747

- Por acumulação de solutos, as plantas ajustam-se osmoticamente a solos secos 748
- Os órgãos submersos desenvolvem um aerênquima em resposta à hipoxia 749
- Antioxidantes e rotas de inativação de espécies reativas de oxigênio protegem as células do estresse oxidativo 750
- Chaperonas moleculares e protetores moleculares protegem proteínas e membranas durante o estresse abiótico 751
- As plantas podem alterar seus lipídeos de membrana em resposta à temperatura e a outros estresses abióticos 752
- Mecanismos de exclusão e de tolerância interna permitem que as plantas suportem íons tóxicos 753
- As fitoquelatinas e outros queladores contribuem para a tolerância interna de íons de metais tóxicos 754
- As plantas usam moléculas crioprotetoras e proteínas anticongelamento para impedir a formação de cristais de gelo 754
- A sinalização do ácido abscísico durante o estresse hídrico causa o grande efluxo de K⁺ e ânions provenientes das células-guarda 755
- As plantas podem alterar sua morfologia em resposta ao estresse abiótico 757
- Alterações metabólicas capacitam as plantas para enfrentar diversos estresses abióticos 759
- O processo de recuperação do estresse pode ser perigoso para a planta e requer um ajuste coordenado de metabolismo e fisiologia vegetais 759
- O desenvolvimento de culturas vegetais com aumento da tolerância às condições de estresse abiótico é uma meta importante da pesquisa agrícola 759

Glossário 763

Créditos das Ilustrações 799

Créditos das Fotografias 810

Apêndices 1-4 online*

Índice 811

*Para acessar os Apêndices, entre em loja.grupoa.com.br, encontre a página do livro por meio do campo de busca e clique no link *Conteúdo Online*.