



CARA TANAMAN BERADAPTASI TERHADAP CEKAMAN SALINITAS

Kriteria Tanah Salin

- Tanah salin merupakan tanah dengan kandungan garam NaCl tinggi.
- Menurut US Salinity Laboratory, tanah salin yang dapat mengganggu pertumbuhan tanaman apabila memiliki daya hantar listriknya (EC/electrical conductivity) > 4 mmhos/cm atau setara dengan 40 mM NaCl/l.
- Garam-garam yang menimbulkan cekaman salinitas antara lain NaCl, NaSO₄, CaCl₂, MgSO₄, MgCl₂ yang mempengaruhi pH dan daya hantar listrik.

4 Golongan tanaman berdasarkan responnya terhadap kadar NaCl

1. Halophytes : tanaman yang pertumbuhannya optimal pada konsentrasi NaCl tinggi (100 – 300 mM NaCl/l). Contoh atriplex, salicornia, spartina, leptochloa.
2. Halophylic : tanaman yang pertumbuhannya sedikit meningkat dengan konsentrasi NaCl tinggi. Contoh: bit gula
3. Salt tolerance crops spesies : pertumbuhannya sedikit terhambat pada konsentrasi NaCl tinggi. Contoh : barley.
4. Salt sensitive crop spesies : pertumbuhannya sangat terhambat pada konsentrasi NaCl tinggi. Contoh : buncis

Kendala yang dialami tanaman pada kadar NaCl tinggi

- Terjadinya Keracunan Na^+ , toksik Cl^- ;
Menyebabkan kehilangan integritas membran, merusak lamella, kekacauan organel sel, dan akumulasi Kalsium Oksalat dalam sitoplasma, vakuola, dinding sel dan ruang antar sel.
Kerusakan struktur akan mengganggu transportasi air dan mineral hara dalam jaringan tanaman.

Kendala yang dialami tanaman pada kadar NaCl tinggi

- Terjadinya Ketidakseimbangan ion hara yaitu Na^+ tinggi sedangkan K, Ca dan Mg rendah, Cl^- tinggi sedangkan NO_3^- dan PO_4^- rendah.
- Terjadinya Defisit air di tanah; pada kondisi salinitas tinggi, air tanah diikat garam NaCl sehingga ketersediaannya bagi tanaman menurun.

Klasifikasikan tanah salin menurut daya hantar Listrik (DHL)

1. Tanah salin dengan daya hantar listrik $> 4,0$ mmhos/cm, $\text{pH} < 8,5$ dan $\text{Na-dd} < 15\%$ dengan kondisi fisik normal. Kandungan garam larutan dalam tanah dapat menghambat perkecambahan, penyerapan unsur hara dan pertumbuhan tanaman;
2. Tanah salin sodik dengan daya hantar listrik $> 4,0$ mmhos/cm, $\text{pH} < 8,5$ dan $\text{Nadd} > 15\%$ dengan kondisi fisik normal. Keadaan tanah umumnya terdispersi dengan permeabilitas rendah dan sering tergenang jika diairi.

Klasifikasikan tanah salin menurut daya hantar Listrik (DHL)

3. Tanah sodik dengan daya hantar listrik $< 4,0$ mmhos/cm, pH $> 8,5$ dan Nadd $> 15\%$ dengan kondisi fisik buruk. Garam yang terlarut dalam tanah relatif rendah, dan keadaan tanah cenderung terdispersi dan tidak permeable terhadap air hujan dan air irigasi.

Kandungan Na^+ yang tinggi dalam air tanah menyebabkan:

- Kerusakan struktur tanah.
- pH tanah menjadi lebih tinggi karena kompleks serapan dipenuhi oleh ion Na^+ .
- Meningkatkan persentase pertukaran Natrium (Exchangeable Sodium Percentage, ESP).

Kriteria salinitas air tanah akibat intrusi air laut

- Tanpa intrusi, nisbah $Cl/(CO_3+HCO_3) < 0,5$. Mutu air baik
- Sedikit intrusi, nisbah $Cl/(CO_3+HCO_3) : 0,5 - 1,3$. Mutu air cukup baik.
- Intrusi sedang, nisbah $Cl/(CO_3+HCO_3) : 1,3 - 2,8$. Mutu air sedang.
- Intrusi tinggi, nisbah $Cl/(CO_3+HCO_3) : 2,8 - 6,6$. Mutu air buruk.
- Intrusi sangat tinggi, nisbah $Cl/(CO_3+HCO_3) : 6,6 - 15,5$. Mutu air sangat jelek.
- Air laut, nisbah $Cl/(CO_3+HCO_3) : 200$

Respon Tanaman terhadap Salinitas

- Tanaman yang mengalami stres garam umumnya tidak menunjukkan respon dalam bentuk kerusakan langsung tetapi pertumbuhan yang tertekan dan perubahan secara perlahan; Menghambat pembesaran dan pembelahan sel, produksi protein serta penambahan biomassa tanaman.
- Pada tanah dengan tingkat salinitas yang cukup tinggi pertumbuhan tanaman tidak normal (daun mengering di bagian ujung dan gejala khlorosis). Gejala ini timbul karena konsentrasi garam terlarut yang tinggi menyebabkan menurunnya potensial larutan tanah sehingga tanaman kekurangan air

Mekanisme adaptasi terhadap NaCl tinggi

1. Avoidance (menghindar) dengan tidak menyerap NaCl dengan cara menghasilkan zat terlarut kompatibel, yaitu senyawa organik yang menjaga potensial air larutan tanah
2. Tolerance ; NaCl diserap, tetapi tanaman tahan terhadap kadar garam NaCl tinggi dengan pengaturan osmotik (osmotic adjustment) melalui meningkatkan potensial air jaringan dengan sintesis asam amino tertentu, gula dan meningkatkan laju serapan K, Ca dan NO₃, atau akumulasi garam di vacuola. Tanaman mengalami stres garam bila konsentrasi garam menurunkan potensial air sebesar 0,05 – 0,1 Mpa

Mekanisme adaptasi terhadap NaCl tinggi

3. Ekskresi garam, melalui *salt gland* pada permukaan daun atau pembuangan garam melalui rambut daun. (ditemukan pada tanaman halofit yang memiliki kelenjar garam, yang memompa garam keluar dari tubuh melewati epidermis daun)
4. Pengguguran daun bawah.

Adaptasi Morfologi terhadap Salinitas

1. Ukuran daun yang lebih kecil sangat penting untuk mempertahankan turgor,
2. Ukuran stomata yang lebih kecil per satuan luas daun
3. Peningkatan sukulensi dengan meningkatnya konsentrasi SO_4 karena konsentrasi Na^+ yang tinggi.
4. Penebalan kutikula dan lapisan lilin pada permukaan daun
5. Lignifikasi akar yang lebih awal untuk penyesuaian osmose yang sangat penting untuk memelihara turgor sel akar

Metode Analisa Cekaman Salinitas

- Mengamati gejala Keracunan toksisitas pada tanaman:
 - (a) Warna daun yang menjadi lebih gelap daripada warna normal yang hijaukebiruan,
 - (b) Ukuran daun yang lebih kecil
 - (c) Batang dengan jarak tangkai daun yang lebih pendek
 - (d) Warna Daun akan menjadi kuning (klorosis) dan (b) tepi daun mati mengering terkena “burning” (terbakar, menjadi kecoklatan)
 - (e) Pucuk mati, dan busuk bagian pantat buah

Metode Analisa Cekaman Salinitas

- Pengambilan Sampel Tanah;
 - Sampel tanah diambil pada daerah yang terkena dampak salinitas pada kedalaman daerah perakaran tanaman yang diamati (tanaman pangan sampel tanah diambil pada kedalaman antara 0-40 cm, tanaman tahunan, bisa sampai 1 meter)
 - Sampel tanah diambil secara acak atau sistematis tergantung kondisi permukaan lahan yang nampak

Metode Analisa Cekaman Salinitas

- Analisa Kimia tanah dan Air dengan membuat ekstra pasta jenuh tanah dengan cara:
 - Mencampur tanah dan air destilasi dalam perbandingan: 1 porsi (berat) tanah dan 5 porsi air destilasi atau air mineral (bukan air sumur), jika tanahnya bertekstur liat. 1 porsi (berat) tanah dan 1 porsi air destilasi atau air mineral atau 1 porsi (berat) tanah dan 2 porsi air destilasi atau air mineral jika tanahnya berpasir
 - Kocok selama 1 menit dan diamkan campuran tersebut selama beberapa menit (biasanya selama 30 menit)

Metode Analisa Cekaman Salinitas

- Kalibrasi alat EC meter atau Daya hantar listrik meter (DHL meter) sebelum digunakan.
- Ukur nilai tingkatan salinitas dengan mencelupkan elektroda EC meter. EC meter atau Daya hantar listrik meter (DHL meter). Nilai yang terbaca (dalam mS/cm: mili-Siemens per sentimeter) memberikan indikasi tentang jumlah elektrolit dalam larutan tanah. Semakin tinggi nilai EC atau DHL, semakin banyak pula garam yang terkandung dalam larutan tersebut. Larutan tanah tersebut dan baca nilainya

Metode Analisa Cekaman Salinitas

- Kalikan nilai pengukuran dengan 8 untuk mendapatkan EC dalam ekstrak jenuh atau EC(e) khususnya pada lahan dengan nilai yang lebih tinggi (10-14) atau untuk tanah yang lebih berpasir.
- Interpretasi data EC (contoh tanaman padi);
 - Jika EC(e) kurang dari 4, maka perkiraan kehilangan hasil tanaman kurang dari 10%
 - Jika EC(e) lebih dari 4, maka perkiraan kehilangan hasil tanaman 10-20%
 - Jika EC(e) lebih dari 6, maka perkiraan kehilangan hasil tanaman 20-50%
 - Jika EC(e) lebih dari 10, maka perkiraan kehilangan hasil tanaman lebih dari 50%

Metode Analisa Cekaman Salinitas

- Tanaman yang sensitif (seperti pepaya, mangga dan pisang) akan terpengaruh pada nilai EC(e) sekitar 2
- Tanaman yang toleran (misalnya kelapa, asam) hanya akan terpengaruh pada nilai 8-10 atau lebih.
- Untuk tanaman padi, nilai EC(e) kurang dari 4 pada saat tanam adalah yang paling baik untuk pembentukan akar. Jika ini bisa dicapai dan jika pengelolaan air dapat dilaksanakan dengan baik, maka tidak akan ada masalah salinitas selama musim tanam.

Alternatif Tindakan Pecegahan Pengaruh Cekaman Salinitas

- Memilih tanaman yang toleran atau semi toleran, terutama untuk fase perkembangan bibit atau fase perkecambahan karena umumnya tanaman sensitif pada fase pertumbuhan
- Mengatur gundukan barisan tanaman. Salah satu cara dengan double row bed pada tanah yang tingkat salinitasnya tidak terlalu tinggi. Cara single row bed maka akan terjadi akumulasi garam di daerah perakaran.

Alternatif Tindakan Pecegahan Pengaruh Cekaman Salinitas

- Penggunaan kapur, dapat memperbaiki perkembangan bibit tanaman, memperbaiki kualitas air yang masuk dandisimpan, meningkatkan pencucian garam-garam terlarut, mengurangi biaya pengolahan tanah. Pilihan ini dapat hanya diaplikasikan ketika pH tanah lebih tinggi dari 8,5 (misalnya tanah sodik) dan jika cara mekanis sederhana tidak efektif menghancurkan lapisan padat liat/debu

Alternatif Tindakan Pecegahan Pengaruh Cekaman Salinitas

- Penggunaan Bahan amelioran lainnya yang dapat digunakan adalah pupuk organik, baik berupa pupuk kandang, pupuk hijau, maupun kompos dari bahan sisasisa tanaman dan gulma. Tujuan pemberian bahan amelioran ini adalah untuk menyeimbangkan hara terutama terhadap ratio antara Na, Ca dan Mg atau menurunkan nilai ESP dari tanah.

Alternatif Tindakan Pecegahan Pengaruh Cekaman Salinitas

- Pencucian garam dengan:
 - Menghancurkan lapisan permukaan dengan pengolahan tanah, baik dengan atau tanpa mencampur bagian permukaan tersebut dengan tanah dibawahnya.
 - Pencucian dengan air bersih (desalinisasi) untuk dapat mencapai EC(e) di bawah 4
- Mengurangi penggunaan air yang berlebihan dan menghemat pasokan air yang terbatas

Tabel. Air yang dibutuhkan untuk mencapai $EC(e)=4$ pada zona perakaran(kedalaman 20 cm)

Nilai awal $EC(e)$ (mS/cm)	Air yang dibutuhkan (mm)
10	315
15	430
20	540
25	650
35	765



MEKANISME PENANDA KALSIUM PADA KETAHANAN TANAMAN TERHADAP SALINITAS

Konsep Penanda Kalsium

- Sebagai respon terhadap cekaman dari luar terjadi peningkatan ion Ca di sitosol
- Sumber Ca di sitosol bisa berasal dari luar sel maupun dari organel di dalam sel yang banyak mengandung Ca
- Masuknya Ca ke sitosol dapat melalui saluran (kanal) pada membran plasma sel, seperti:
 1. Mechanosensitive Ca Channel (MCC)
 2. Depolarization-activated Ca Channel (DACCC)
 3. Hyperpolarization-activated Ca Channel (HACC)

Konsep Penanda Kalsium

- Masuknya Ca ke sitosol dapat juga melalui saluran (kanal) pada membran plasma vakuola, seperti:
 1. Inositol 1,4,5-triphosphate (InsP3)
 2. Cyclic ADP-ribose (cADPR)
 3. Voltage-gated Ca (VVCa)
 4. Slow-activating Vacuolar (SV)
- InsP3 dan cADPR terdapat juga pada retikulum endoplasma (ER)

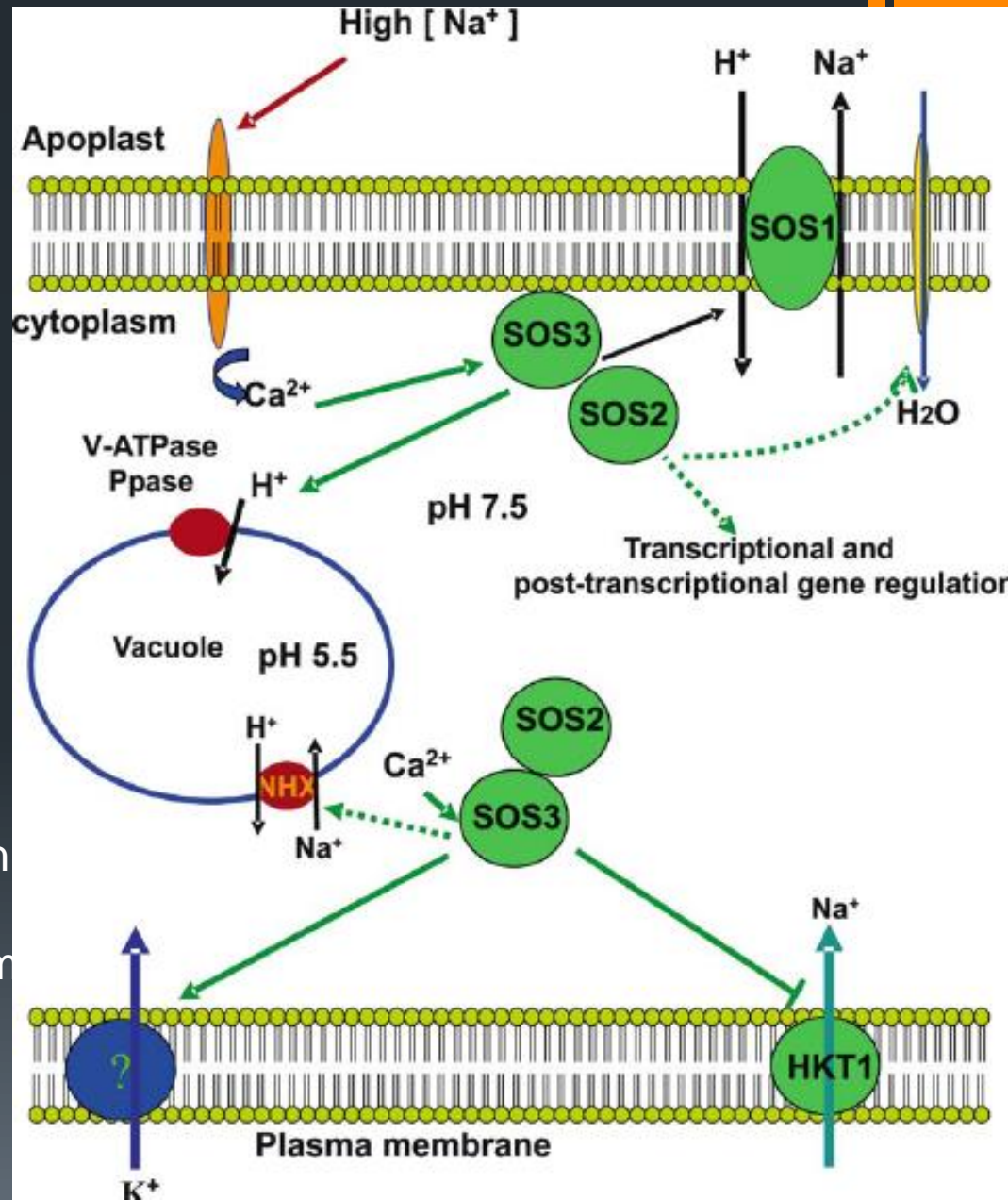
Sensor Kalsium di Sitosol


- Calmodulin (CaM) yang bersifat antipoter Na^+/H^+ pada vakuola dan pengatur pengaruh negatif ABA pada perkecambahan, membentuk kompleks dengan Ca yang berperan dalam modifikasi proses translasi gen, membentuk IP_3 dan DAG
- Calcium-Dependent protein Kinase (CDPK) yang mengatur pembukaan stomata dan perolehan ion K serta mengurangi akumulasi ROS dalam tanaman dan prekursor SOS (salt overly sensitive) 1

Sensor Kalsium di Sitosol

- Calcineurin B-like protein (CBL) yang berfungsi sebagai prekursor SOS (salt overly sensitive) 3
- CBL-interacting protein Kinase (CIPK) yang berfungsi sebagai prekursor SOS (salt overly sensitive) 2

1. Cekaman Osmotik menyebabkan fosfolipid di membran menghasilkan enzim fosfolipase (PIP)
2. PIP diubah menjadi diacylglycerol (DAG) dan IP3 (Inositol 1,4,5 triphosphate)
3. DAG dan IP3 menstimulasi enzim protein kinase C
4. Proteinkinase C memacu masuknya Ca ke sitosol
5. Peningkatan Ca di sitosol dibaca oleh sensor protein SOS3 (salt overly sensitive)
6. SOS3 membentuk kompleks dengan SOS2 dan mengaktifkan SOS1 yang berfungsi menstabilkan homeostatis Na di sel dan mengontrol masuknya Na ke xylem





MEKANISME PENANDA MITOGEN-ACTIVATED PROTEIN KINASE (MAPK) PADA KETAHANAN TANAMAN TERHADAP SALINITAS

APA ITU MAPK ?

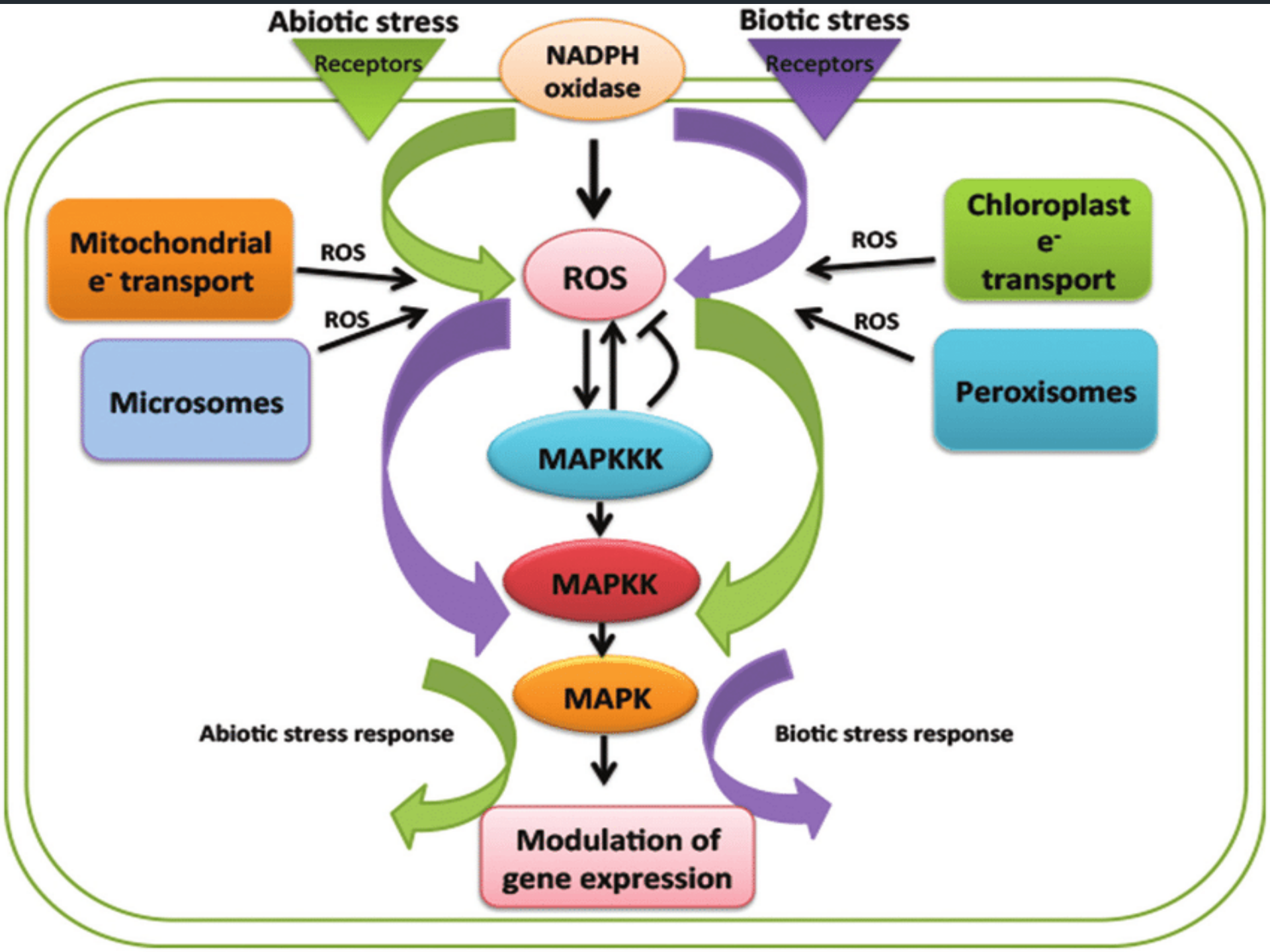
- Merupakan Enzim yang menyebabkan tanaman tanggap terhadap stimulus/ rangsangan berupa cekaman Abiotik dan Biotik
- Komponen MAPK adalah serin/treonin kinase yang memfosforilasi sejumlah besar substrat seperti kinase lain, faktor transkripsi dan substrat sitoplasma.

APA ITU MAPK ?

- Komponen MAPK sangat penting dalam transduksi jalur ekstraseluler dan intraseluler yang berbeda termasuk jalur pengaturan sinyal yang berhubungan dengan stres.
- Molekul MAPK ditemukan dalam sitosol dan nukleus, berinteraksi dengan komponen transkripsi dan enzim fosfatase.

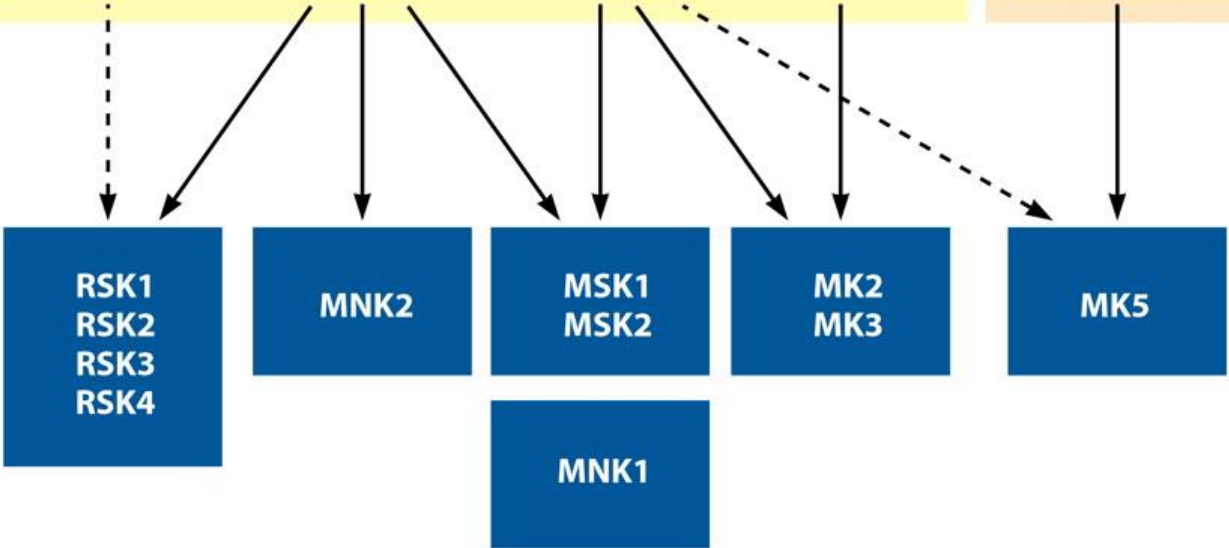
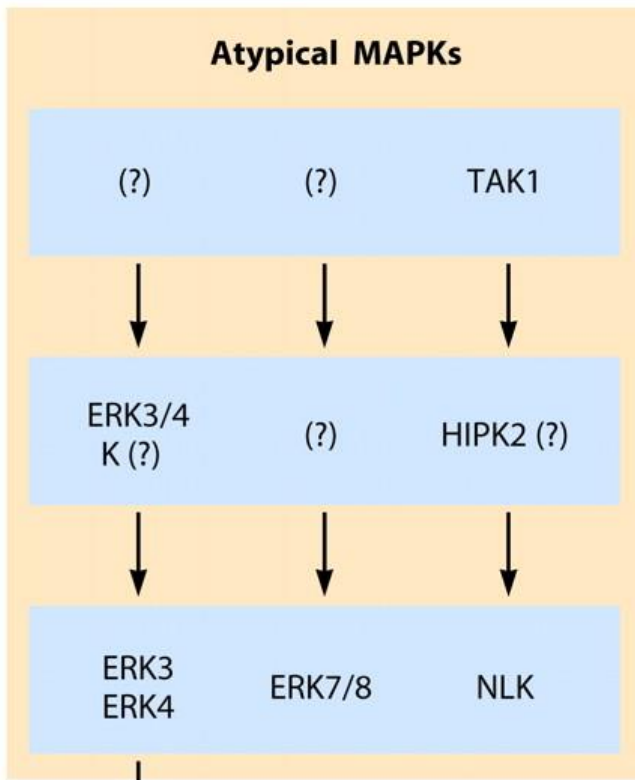
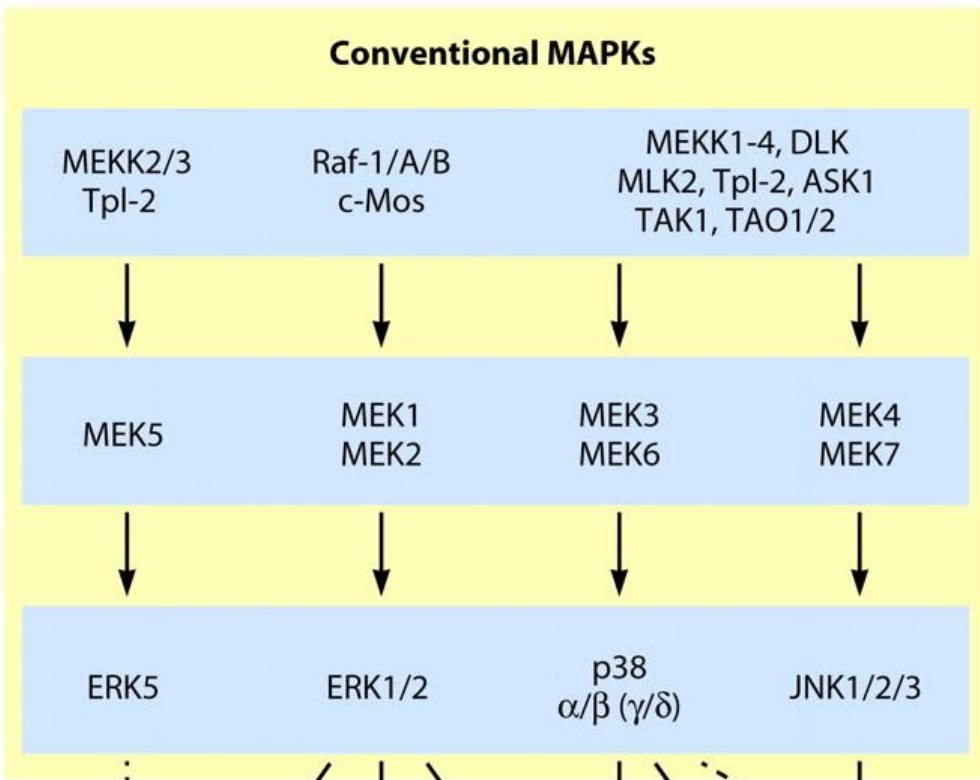
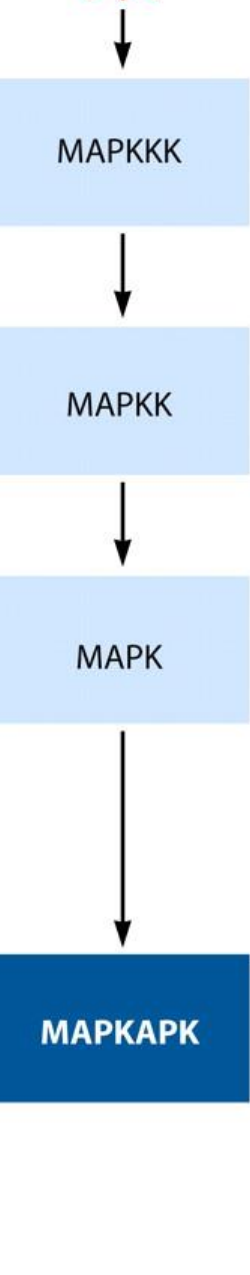
APA ITU MAPK ?

- Komponen MAPK mampu memicu respons tanaman yang berbeda terhadap stres seperti aktivitas enzim antioksidan.
- Komponen MAPK diaktifkan oleh aktivasi siklus fosforilasi melalui kinase hulu. Jenis aktivasi semacam itu dapat dihambat oleh aktivitas fosfatase.



Klasifikasi Molekul MAPK berdasarkan Fungsi

Molekul	Fungsi Biologis
AtMPK3	Pensinyalan bakteri, cekaman oksidatif
AtMPK4	Kekeringan, salinitas, dingin, resistensi patogen
AtMPK6	Kekeringan, salinitas, dingin, pensinyalan bakteri dan jamur, cekaman oksidatif
MsSIMK	Kekeringan, salinitas, dingin, pensinyalan jamur
MsMMK3	Sitokinesis, pensinyalan jamur
NtWIPK	Salinitas, pensinyalan jamur, infeksi virus
NtSIPK	Salinitas, SA, pensinyalan bakteri dan jamur, infeksi virus
NtNTF6	Sitokinesis
AtANP1,2,3	Sitokinesis, pensinyalan Auksin, cekaman oksidatif



FUNGSI MAPK

- Komponen MAPK sangat penting dalam transduksi jalur ekstraseluler dan intraseluler yang berbeda termasuk jalur pengaturan sinyal yang berhubungan dengan stres.
- Mengatur polarisasi sel, pembelahan dan morfologi dengan memengaruhi mikrotubulus, pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

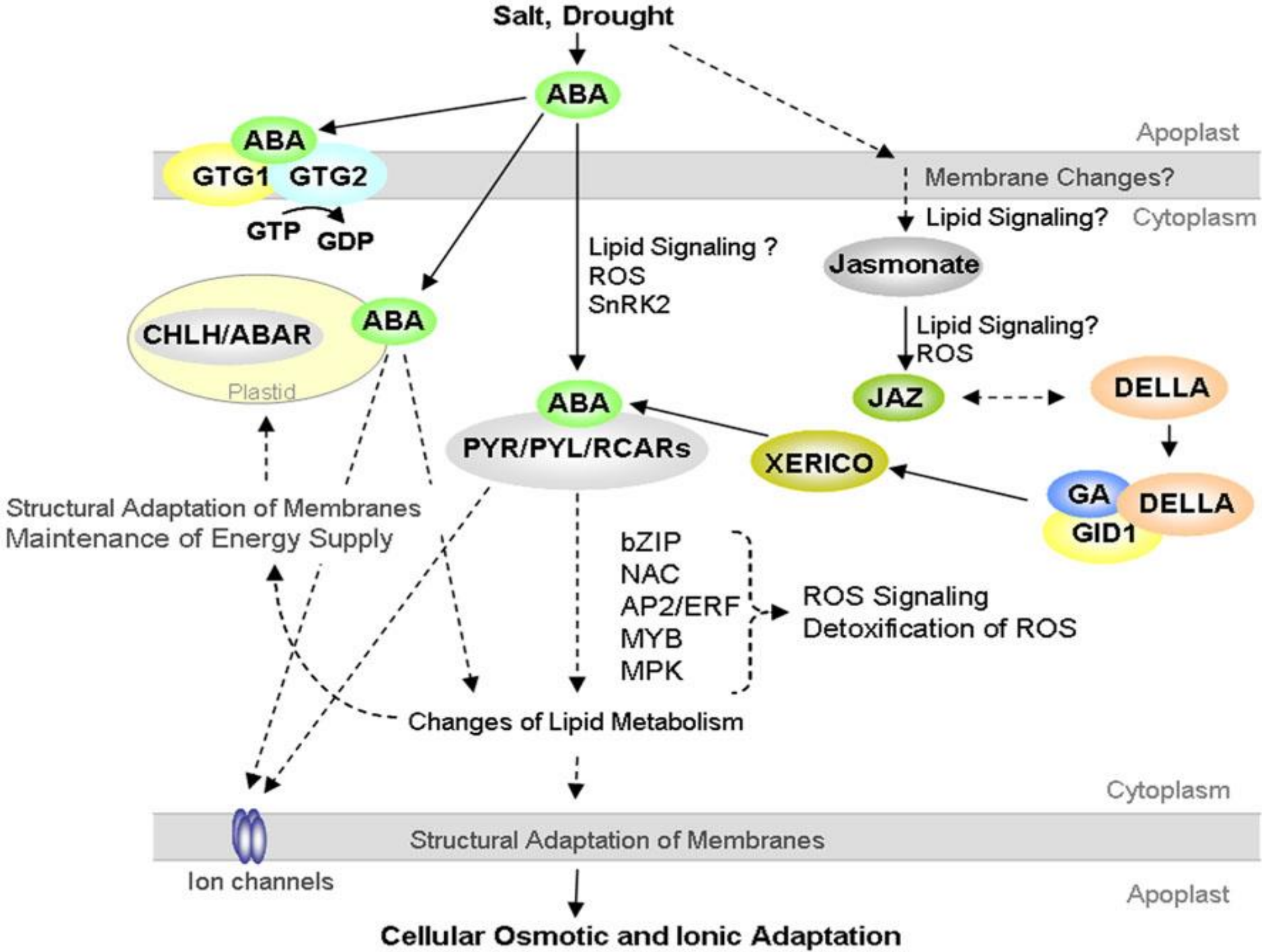
FUNGSI MAPK

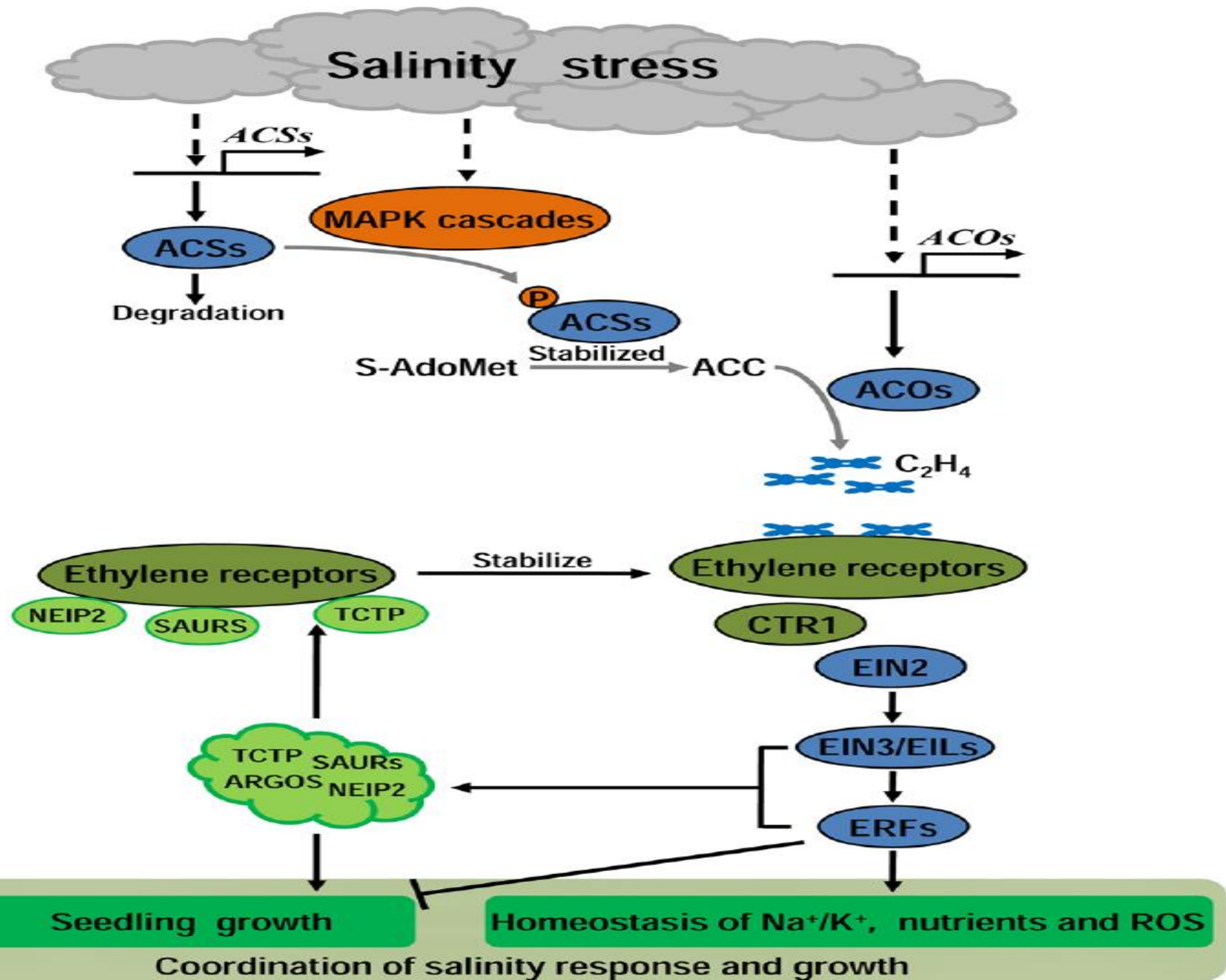


- Turunan MAPK mengatur dan diatur oleh hormon tanaman. Contoh: MPK6 diaktivasi oleh banyak cekaman biotik dan abiotik yang menghasilkan induksi produksi ET
- Molekul MAPK tercermin pada perkembangan dan fungsi stomata serta dengan hormon tanaman khususnya ABA

Kajian tentang peran hormon pada cekaman salinitas

- Presoaking benih kedelai dengan IAA atau GA, secara signifikan mengurangi dampak buruk salinitas terhadap pertumbuhan, konsentrasi ion jaringan, dan keseimbangan ion (zaidi dan singh, 1996)
- Pemberian BA (benzyladenine) meningkatkan kandungan pigmen fotosintesis pada jagung di bawah tekanan garam (Shadi et al., 2001)
- Aplikasi eksogen SA bertindak sebagai penghalang efek merusak NaCl pada panjang tunas dan akar, berat kering segar, luas daun, aktivitas RUBP, aktivitas fotosintesis, pigmen dan kadar gula jagung (khodary, 2004)





Cara Seleksi Tanaman Toleran Salinitas

- Uji Perkecambahan; menggunakan media kertas yang dibasahi dengan berbagai konsentrasi larutan garam atau media agar yang fungisida dan berbagai konsentrasi garam.
- Kultur pasir; Pot tanaman dengan media pasir dan disiram dengan air yang mengandung garam atau larutan nutrisi Hogland yang dicampur dengan NaCl
- Hidroponik yang memiliki kondisi cekaman salinitas

Cara Seleksi Tanaman Toleran Salinitas

- Uji stabilitas sel membran secara konduktometrik.
 - Tanaman diberi atau mengalami cekaman salinitas paling sedikit selama 72 jam untuk aklimatisasi.
 - Potong jaringan daun dengan total luas 15-25 cm persegi dan dicuci dengan air deionisasi sebanyak 2-3 kali
 - Masukkan paling sedikit 10 sampel daun daun dalam tempat (5 sampel untuk di uji dan 5 sampel untuk kontrol) yang dapat ditutup dengan pembungkus “saran”.

Cara Seleksi Tanaman Toleran Salinitas

- Uji stabilitas sel membran secara konduktometrik.
 - Letakkan sampel uji pada rak dan rendamkan selama 1 jam dalam water bath yang bisa dipanaskan untuk menciptakan cekaman suhu. Sampel kontrol disimpan dalam suhu ruangan.
 - Tambahkan 20 cc air deionisasi pada masing-masing sampel sehingga seluruh daun tenggelam. Inkubasi sampel pada mesin pendingin dengan temperatur 10 derajat celcius selama 24 jam.

Cara Seleksi Tanaman Toleran Salinitas

- Uji stabilitas sel membran secara konduktometrik.
 - Keluarkan sampel dari inkubator dan biarkan selama 1 jam dalam kondisi suhu ruangan sebelum dilakukan pengukuran konduktivitasnya (C1 dan T1).
 - Tutup kembali wadah sampel dan dibungkus. Masukkan dalam autoclave selama 15 menit untuk mematikan jaringan. Keluarkan sampel dari autoclave dan dinginkan dalam suhu ruangan sebelum dilakukan pengukuran konduktivitas kedua (C2 dan T2).

Cara Seleksi Tanaman Toleran Salinitas

- Uji stabilitas sel membran secara konduktometrik.

- Hitung CMS dengan rumus:

$$\text{CMS (\%)} = [1 - (T1/T2)] / [1 - (C1/C2)] \times 100\%$$

$$\text{Krusakan} = 100 - \text{CMS}$$