



## Artikel Reviu: Dampak Salinitas pada Kesuburan Tanah serta Respons Fisiologi Tanaman

### Review Article: The Impact of Salinity on Soil Fertility and Plant Physiological Responses

Mani Yusuf <sup>\*1</sup>, Maya Sari Rupang <sup>1</sup>, Jefri Sembiring <sup>1</sup>, Anwar <sup>1</sup>, Nurhening Yuni Ekowati <sup>1</sup>, Yosehi Mekiuw <sup>2</sup>, Wa Ode Asryanti Wida Malesi <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Agroteknologi, Universitas Musamus, Merauke, Indonesia

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Pertanian, Universitas Musamus, Merauke, Indonesia

\*Penulis Korespondensi

Email: [maniyusuf03@unmus.ac.id](mailto:maniyusuf03@unmus.ac.id)



**Abstrak.** Produktivitas tanaman menurun akibat pengaruh cekaman abiotik, terutama salinitas. Salinitas menimbulkan gangguan fisiologis dan biokimia pada tanaman, termasuk perubahan pada fotosintesis, penyerapan air, serta respirasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara komprehensif pengaruh salinitas terhadap kesuburan tanah dan respon fisiologis tanaman. Kajian dilakukan melalui pendekatan literatur revidu terhadap 51 referensi yang terdiri dari jurnal internasional, prosiding, dan buku yang dianalisis secara deskriptif kualitatif dalam bentuk artikel revidu. Hasil kajian menunjukkan bahwa peningkatan kadar garam di tanah menyebabkan kerusakan struktur tanah, menurunkan konduktivitas hidrolis, mengganggu ketersediaan hara, dan menekan aktivitas mikroba tanah. Secara fisiologis, salinitas menurunkan rasio  $K^+/Na^+$ , menghambat fotosintesis, mengurangi penyerapan air, serta memicu pembentukan Reactive Oxygen Species (ROS) yang merusak sel tanaman. Pada fase perkecambahan, salinitas menurunkan laju respirasi melalui penghambatan glikolisis dan aktivitas enzim-enzim kunci seperti heksokinase (HK), fosfofruktokinase (PFK), dan piruvat kinase (PK). Sementara itu, pada fase vegetatif dan generatif, gangguan respirasi meluas ke tingkat mitokondria melalui penurunan efisiensi rantai transpor elektron, sintesis ATP, dan peningkatan ROS. Secara keseluruhan, salinitas terbukti menurunkan kesuburan tanah dan efisiensi metabolisme tanaman, yang berimplikasi langsung terhadap penurunan pertumbuhan dan hasil.

**Kata kunci:** salinitas, kesuburan tanah, fisiologi tanaman.

**Abstract.** Abiotic stress, particularly salinity, is a major constraint on crop productivity. Salinity imposes severe physiological and biochemical disturbances in plants, including disruptions in photosynthesis, water uptake, and respiration. This review comprehensively evaluates the impact of salinity on soil fertility and plant physiological responses. A total of 51 references, encompassing international journals, conference proceedings, and books, were analyzed qualitatively to synthesize current knowledge. Elevated soil salinity was found to degrade soil structure, reduce hydraulic conductivity, limit nutrient availability, and suppress microbial activity. At the plant level, salinity decreases the  $K^+/Na^+$  ratio, inhibits photosynthesis, restricts water absorption, and induces excessive accumulation of Reactive Oxygen Species (ROS), leading to cellular damage. During germination, salinity impairs respiration by inhibiting glycolysis and the activity of key enzymes such as hexokinase (HK), phosphofruktokinase (PFK), and pyruvate kinase (PK). In vegetative and reproductive phases, respiratory dysfunction extends to the

*mitochondria, resulting in reduced electron transport chain efficiency, diminished ATP synthesis, and elevated ROS production. Collectively, salinity demonstrably reduces soil fertility and compromises plant metabolic efficiency, with direct implications for growth and yield reduction..*  
**Keywords:** *salinity, soil fertility, plant physiology.*

## 1. Pendahuluan

Produktivitas tanaman merupakan faktor penting dalam mendukung ketahanan pangan dan keberlanjutan sistem pertanian. Tingginya produktivitas menjadi penentu utama dalam memenuhi kebutuhan pangan di Indonesia yang terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk. Namun demikian, produktivitas tanaman seringkali mengalami hambatan akibat kondisi lingkungan yang kurang mendukung.

Salah satu tantangan besar dalam peningkatan produktivitas tanaman adalah adanya faktor cekaman abiotik (Qaderi *et al.*, 2019). Faktor-faktor abiotik (lingkungan) seperti kekeringan (Nour *et al.*, 2024), salinitas (Tahjib-UI-Arif *et al.*, 2023), suhu ekstrim (tinggi atau rendah) (Hatfield & Prueger, 2015), kekurangan dan kelebihan unsur hara (Kulhánek *et al.*, 2023), cahaya, logam berat, dan polutan hingga kombinasi antar faktor tersebut (Mitra *et al.*, 2022), terbukti dapat menurunkan pertumbuhan dan hasil tanaman. Secara umum, stres abiotik mengganggu metabolisme tanaman sehingga mempengaruhi proses fisiologis dan akhirnya berdampak buruk terhadap pertumbuhan, perkembangan dan produktivitas (Kumar, 2020).

Di antara berbagai faktor abiotik, salinitas merupakan salah satu masalah paling serius dalam bidang pertanian. Salinitas muncul akibat meningkatnya kadar garam di dalam tanah, baik karena bahan induk, intrusi air laut, sistem irigasi, maupun curah hujan berlebih (Mazzarelli *et al.*, 2015). Lahan dengan kadar garam tinggi cenderung membatasi pertumbuhan tanaman sehingga menurunkan hasil panen (Chele *et al.*, 2021; Dewi *et al.*, 2022).

Cekaman salinitas tidak hanya berdampak langsung terhadap fisiologi tanaman, tetapi juga menurunkan kualitas lingkungan tumbuh. Secara langsung, salinitas menghambat proses fisiologis seperti fotosintesis, penyerapan air dan keseimbangan ion yang akhirnya menekan pertumbuhan vegetatif maupun generatif (Shrivastava & Kumar, 2015). Secara tidak langsung, salinitas menyebabkan penurunan kesuburan tanah melalui degradasi struktur tanah, dan terganggunya ketersediaan unsur hara. Kombinasi dampak langsung dan tidak langsung ini menyebabkan penurunan produktivitas tanaman secara signifikan (Tian *et al.*, 2020).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mereviu berbagai artikel yang membahas pengaruh cekaman salinitas terhadap kesuburan dan fisiologis tanaman. Dengan tinjauan ini diharapkan diperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai mekanisme stres tanaman terhadap salinitas sehingga dapat mendukung pengembangan strategi mitigasi dalam meningkatkan produktivitas pertanian di lahan tercekam salinitas.

## 2. Bahan dan Metode

Artikel ini disusun menggunakan pendekatan literatur revidu untuk mengaji pengaruh cekaman salinitas terhadap kesuburan tanah dan fisiologis tanaman. Proses pengumpulan literatur melalui artikel ilmiah pada basis data utama seperti Scopus, ScienceDirect, SpringerLink dan Google Scholar dengan rentang tahun publikasi 2010 hingga tahun 2025. Kata kunci yang digunakan yaitu *salinity stress*, *plant physiological response*, *soil fertility under salinity*, *abiotic stress in plants* dan *crop productivity and salinity*. Artikel yang dipilih merupakan artikel publikasi bereputasi internasional, jurnal nasional, prosiding ilmiah, dan buku yang relevan dengan topik penelitian. Total referensi yang dianalisis dan dirangkum sebanyak 51 referensi yang berasal dari 46 jurnal Internasional, empat buah buku chapter Internasional dan satu jurnal Nasional yang memuat materi tentang cekaman abiotik pada tanah yang terpapar kadar garam dan pengaruhnya terhadap fisiologi tanaman. Data yang diperoleh dari literatur dianalisis secara deskriptif kualitatif. Informasi dari berbagai sumber dibandingkan dengan pola, kesamaan, dan perbedaan temuan serta disintesis menjadi suatu artikel *revidu*.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Salinitas dan Penyebabnya

Salinitas adalah konsentrasi garam mineral terlarut yang ada di dalam tanah (Rengasamy, 2016). Garam mineral yang ada di tanah salin terdiri dari elektrolit kation dan anion. Kation yang ditemukan di tanah salin adalah Natrium (Na), kalium (K), magnesium (Mg), dan kalsium (Ca). Anion yang ada adalah klorida, sulfat, karbonat, bikarbonat, dan nitrat. Akumulasi garam mineral yang larut dalam air biasanya terjadi di lapisan atas tanah (Horison A dan B) akibat pergerakan kapiler, sementara lapisan bawah tanah umumnya terdiri dari batuan yang tidak terkonsolidasi. Penumpukan garam pada lapisan atas secara langsung mempengaruhi ketersediaan air dan hara bagi tanaman, sehingga berdampak pada fisiologi tanaman serta menurunkan produktivitas (Stavi *et al.*, 2021).

Salinitas terjadi secara alami dan buatan manusia. Salinitas terjadi secara alami akibat akumulasi garam mineral di dalam tanah dalam waktu yang lama melalui pelapukan batuan dan pengendapan garam terlarut. Batuan yang mengandung natrium klorida, magnesium, kalsium, karbonat, dan sulfat dapat melepaskan garam ke dalam tanah melalui proses pelapukan. Garam tersebut kemudian termobilisasi dan masuk ke air tanah. Selain itu, garam dapat terbawa ke daratan oleh angin kencang. Pada wilayah pesisir, garam juga dapat masuk ke dalam akuifer melalui intrusi air laut. Salinitas juga disebabkan oleh aktivitas manusia seperti praktik budidaya yang tidak tepat, sistem drainase yang buruk, dan penggunaan air irigasi dengan kandungan garam tinggi (Daba & Qureshi, 2021).

### 3.2. Kesuburan Tanah yang Terpapar Kadar Garam

Salinitas dapat mempengaruhi kesuburan tanah baik fisik, kimia dan biologi. Secara fisik, salinitas dapat menyebabkan rusaknya struktur tanah sehingga terjadi pemadatan tanah serta aerasi dan permeabilitas tanah menjadi sangat rendah (Pincay & Cantos, 2024). Pemadatan terjadi karena adanya dispersi partikel tanah liat yang disebabkan oleh substitusi ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dan ion magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) yang terdapat pada kompleksivitas ion natrium ( $\text{Na}^+$ ). Tanah dengan kadar salinitas tinggi dapat menurunkan kualitas sifat fisik tanah berupa permeabilitas rendah, konduktivitas hidrolis rendah, dan ketidakstabilan agregat. Banyaknya ion Na di dalam tanah dapat mengurangi ion-ion Ca, Mg, dan K sehingga menurunkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman (Muliawan *et al.*, 2016). Tanah yang berkadar garam tinggi memiliki kation bivalen seperti  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  cenderung berflokulasi, yang memfasilitasi penetrasi air ke akar, sedangkan kation monovalen seperti  $\text{Na}^+$  dan  $\text{K}^+$  membubarkan partikel lempung, yang mengurangi porositas tanah. Kelebihan jumlah  $\text{Na}^+$  dan kekurangan  $\text{K}^+$ , akan berdampak terhadap tanah dan air serta dapat menyebabkan tanaman mengalami kegagalan panen (Etikala *et al.*, 2021; Muliawan *et al.*, 2016).

Salinitas dapat menyebabkan tekanan osmotik meningkat, dan gangguan ketersediaan nutrisi di dalam tanah. Tanah dengan kadar garam tinggi dapat menyebabkan konsentrasi  $\text{Na}^+$  lebih tinggi dibandingkan dengan  $\text{K}^+$ . Selain itu, dapat mengganggu homeostasis  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  pada sitoplasma yang dapat menyebabkan peningkatan rasio  $\text{Na}^+$  ke  $\text{K}^+$  di sitosol (Gul *et al.*, 2019). Penurunan rasio  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  di dalam tanah dapat menyebabkan tanaman keracunan  $\text{Na}^+$  yang dapat merusak sel dan terjadi kekurangan K pada tanaman, yang pada akhirnya dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Gul *et al.*, 2019).

Salinitas di dalam tanah juga, dapat menurunkan kesuburan tanah dengan menghambat dekomposisi bahan organik melalui penurunan jumlah bakteri dan jamur dekomposer dan mempengaruhi tekstur tanah. Proporsi makroagregat tahan air (0,25–2 mm) pada lempung meningkat dengan meningkatnya kandungan garam tanah (Tang *et al.*, 2021). Tanah yang terpapar garam dapat meningkatkan kepadatan tanah yang akibatnya konduktivitas hidrolis menurun. Selain itu, salinitas dapat mempengaruhi ketersediaan nitrogen di dalam tanah melalui penghambatan terhadap proses nitrifikasi. Nitrifikasi rendah jika salinitas tinggi, begitu sebaliknya kondisi tanah dengan salinitas rendah maka proses nitrifikasi sangat tinggi (Yuan *et al.*, 2018).

Selain sifat fisik dan kimia tanah, salinitas juga dapat menurunkan populasi mikroba yang menjadi salah satu unsur kesuburan biologi tanah. Salinitas tanah dapat mengubah kelimpahan komunitas bakteri, jamur, dan mikoriza arbuskula yang dapat memengaruhi fungsinya dalam ekosistem di sekitar pesisir (Zhang *et al.*, 2019). Salinitas tanah dapat mengubah komunitas

mikroba di dalam tanah. Beberapa kelas bakteri termasuk *Actinobacteria*, *Proteobacteria*, dan *Planctomyces* dapat memacu fiksasi karbon anorganik terlarut. Salinitas tanah menurun kelimpahan relatif *Planctomyces* dan *Archangium*, yang berkorelasi positif dengan tanah bahan organik. Salinitas tanah dapat menurunkan bakteri tanah yang membantu dekomposisi bahan organik (León-Lorenzana *et al.*, 2018).

Tingginya konsentrasi garam yang larut dalam tanah dapat memengaruhi aktivitas mikroba melalui dua mekanisme yaitu tekanan osmotik dan ion spesifik. Kadar garam dapat menurunkan potensial osmotik air tanah yang dapat menyebabkan air keluar dari sel sehingga membunuh mikroba dan akar melalui proses plasmolisis. Namun disisi lain juga, bakteri memiliki mekanisme untuk beradaptasi terhadap kondisi salinitas di dalam tanah dengan mensintesis osmolit untuk mempertahankan turgor sel dan metabolismenya (Yan *et al.*, 2015). Osmolit organik yang dihasilkan berupa prolin dan glisin betaine yang diakumulasi oleh mikroba toleran salinitas dan di produksi tetapi membutuhkan energi yang tinggi. Fungi cenderung lebih sensitif terhadap cekaman garam dibandingkan bakteri, dengan demikian rasio bakteri/jamur dapat ditingkatkan di tanah salin. Perbedaan toleransi salinitas antar mikroba mengakibatkan dalam perubahan struktur komunitas dibandingkan dengan tanah non-salin (Zhang *et al.*, 2019). Pengaruh salinitas terhadap mikroba tanah disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik biologi tanah pada tanah salinitas tinggi.

Salinitas	Kolonisasi Akar	Biomasa karbon mikroba	Biomasa nitrogen mikroba
Tanpa Salinitas	53,8	298,8	23,7
Salinitas Rendah	42,9	417,1	7,6
Salinitas Sedang	41,5	349,5	8,2
Salinitas Tinggi	41,3	177,3	5,1

Sumber : (Tang *et al.*, 2021).

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa tingkat salinitas berpengaruh terhadap kolonisasi akar dan biomasa mikroba tanah. Pada kondisi tanpa salinitas, kolonisasi akar relatif tinggi (53,8%) dengan biomasa karbon (298,8 mg/kg) dan nitrogen mikroba (23,7 mg/kg) yang juga lebih tinggi dibandingkan kondisi tercekam salinitas. Seiring meningkatnya salinitas dari rendah hingga tinggi, biomasa karbon dan nitrogen mikroba mengalami penurunan yang cukup signifikan, terutama pada salinitas tinggi (177,3 mg/kg dan 5,1 mg/kg). Penurunan ini mengindikasikan bahwa salinitas dapat menekan aktivitas mikroba tanah, termasuk proses dekomposisi bahan organik dan siklus hara, yang pada akhirnya berdampak negatif terhadap kesuburan tanah dan fisiologi tanaman.

### 3.3. Pengaruh Salinitas terhadap Fisiologi Tanaman

Cekaman salinitas dapat mengubah proses metabolisme tanaman, tetapi dampaknya bergantung pada tingkat keparahan serta lamanya mengalami stres (Liu *et al.*, 2024). Konsentrasi

garam terlarut di dalam tanah meningkatkan potensi osmotik larutan tanah serta memicu toksisitas ion spesifik, sehingga memengaruhi reaksi biokimia yang penting bagi pertumbuhan dan produksi tanaman. Salinitas juga menurunkan kemampuan tanaman menyerap air, yang menyebabkan penurunan laju pertumbuhan (El-Ramady *et al.*, 2024). Akumulasi garam berlebihan di dalam jaringan tanaman mempercepat proses penuaan daun serta mengurangi luas daun aktif yang berperan penting dalam fotosintesis.

Secara fisiologis, stres salinitas memicu beberapa mekanisme kunci, seperti penurunan rasio  $K^+/Na^+$  dalam sel, mengakumulasi osmolit kompatibel, penurunan kadar klorofil dan peningkatan produksi Reactive Oxygen Species (ROS). Pertama, penurunan rasio  $K^+/Na^+$  dalam sel, di mana tingginya akumulasi ion  $Na^+$  menggantikan  $K^+$  sehingga mengganggu fungsi enzim-enzim penting, proses translasi protein, serta stabilitas membran sel. Kedua, tanaman merespon cekaman dengan mengakumulasi osmolit kompatibel seperti prolin, glisin betain, dan gula terlarut. Senyawa ini berperan dalam menjaga keseimbangan osmotik sel, stabilitas protein, serta perlindungan struktur membran. Ketiga, salinitas menyebabkan penurunan kadar klorofil, yang berimplikasi pada penurunan laju fotosintesis, kapasitas penyerapan cahaya, serta efisiensi penggunaan energi. Keempat, cekaman salinitas meningkatkan produksi Reactive Oxygen Species (ROS), seperti superoksida dan hidrogen peroksida. Akumulasi ROS yang berlebihan menimbulkan stres oksidatif, mengoksidasi lipid membran, merusak protein, bahkan menyebabkan fragmentasi DNA jika tidak diimbangi dengan sistem antioksidan tanaman (Abou Seeda *et al.*, 2022).

Respon tanaman terhadap salinitas tidak seragam antar spesies maupun antar kultivar. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa tanaman seperti padi (*Oryza sativa*) dan kedelai (*Glycine max*) relatif sensitif terhadap peningkatan kadar garam, sedangkan tanaman seperti barley (*Hordeum vulgare*) dan bit gula (*Beta vulgaris*) menunjukkan toleransi yang lebih tinggi melalui kemampuan mempertahankan rasio  $K^+/Na^+$  dan akumulasi osmolit yang lebih efisien (Singh *et al.*, 2024). Selain itu, fase pertumbuhan tanaman juga menentukan tingkat kerentanan terhadap stres garam. Fase perkecambahan dan awal vegetatif umumnya paling peka terhadap peningkatan salinitas, sedangkan pada fase generatif, dampaknya lebih banyak terlihat pada pembentukan bunga, pengisian biji, dan kualitas hasil (Atta *et al.*, 2023; Jawahar *et al.*, 2019). Durasi paparan juga berpengaruh terhadap respon fisiologi tanaman. Stres jangka pendek dapat ditoleransi melalui respon adaptif sementara, tetapi paparan jangka panjang dapat menyebabkan kerusakan fisiologis permanen (Atta *et al.*, 2023). Secara keseluruhan, efek merugikan dari salinitas merupakan hasil interaksi kompleks antara perubahan morfologi, fisiologi, dan biokimia yang bervariasi antar spesies dan fase pertumbuhan.

### 3.3.1. Pengaruh Salinitas terhadap Laju Fotosintesis

Fotosintesis merupakan salah satu jalur biokimia paling vital yang memungkinkan tumbuhan mengubah energi cahaya menjadi energi kimia untuk menunjang pertumbuhan dan produktivitas (Bashir, 2023; Stirbet *et al.*, 2020; Yin *et al.*, 2022). Cekaman salinitas diketahui dapat mengganggu proses ini melalui peningkatan konsentrasi ion toksik (terutama  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$ ) di jaringan tanaman, yang menyebabkan penuaan dini, penurunan aktivitas enzim fotosintetik, serta berkurangnya efisiensi fotosintesis (Johnson, 2016). Pertumbuhan tanaman dibatasi oleh penurunan laju fotosintesis secara berlebihan akibat serapan garam. Penurunan tingkat fotosintesis pada tanaman cekaman garam terutama disebabkan oleh penurunan potensial air.

Menurut Hannachi *et al.* (2022), penurunan laju fotosintesis pada kondisi salinitas terutama disebabkan oleh rendahnya potensial air daun yang membatasi difusi  $\text{CO}_2$  ke dalam mesofil. Selain itu, salinitas yang tinggi dapat mengubah keseimbangan ionik dan pH sitoplasma, yang pada gilirannya menekan metabolisme Nitrogen, produksi gula, serta proses glikolisis (Guo *et al.*, 2017). Hal ini mengindikasikan bahwa gangguan akibat garam tidak hanya bersifat fisik pada tingkat stomata, tetapi juga biokimiawi dan enzimatik di tingkat seluler (Guo *et al.*, 2017).

Paparan salinitas menyebabkan penutupan stomata untuk mencegah kehilangan air, namun efek lanjutannya adalah penurunan konsentrasi  $\text{CO}_2$  internal yang membatasi fiksasi karbon (Acosta-Motos *et al.*, 2017). Selain itu, salinitas menghambat transpor elektron dan menonaktifkan pusat reaksi fotosistem II (PSII), terutama melalui kerusakan kompleks evolusi oksigen (OEC). Gangguan ini berimplikasi pada menurunnya rasio  $F_v/F_m$ , yang mencerminkan penurunan efisiensi kuantum PSII (Hnilickova *et al.*, 2021).

Respon fisiologis terhadap stres salinitas tidak seragam antarspesies. Misalnya, tanaman *Portulaca oleracea* L. menunjukkan kemampuan adaptif yang khas. Pada salinitas 100 mM NaCl, tanaman ini masih mempertahankan konduktansi stomata dan asimilasi  $\text{CO}_2$  relatif stabil, tetapi pada 300 mM NaCl, terjadi penurunan drastis konduktansi, potensial air, serta efisiensi fotosintetik. Pada kondisi ekstrem tersebut, *P. oleracea* L. beralih dari jalur fotosintesis  $\text{C}_4$  ke metabolisme asam Crassulacean (CAM) untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air (Hnilickova *et al.*, 2021). Mekanisme transisi ini merupakan strategi adaptasi khas pada spesies sukulen dan tidak umum terjadi pada tanaman pertanian seperti padi, jagung, atau kedelai, yang justru mengalami penurunan permanen aktivitas fotosintesis ketika terpapar garam tinggi (Tahjib-Ul-Arif *et al.*, 2023).

Kandungan klorofil merupakan indikator penting efisiensi fotosintesis. Berdasarkan penelitian Tahjib-Ul-Arif *et al.* (2023), peningkatan konsentrasi NaCl (0–200 mM) secara signifikan menurunkan kadar klorofil a dan b pada tanaman padi. Penurunan ini lebih tajam pada

klorofil a, yang berperan langsung dalam pusat reaksi fotosintesis. Kadar klorofil tanaman yang pada perlakuan salinitas disajikan pada [Tabel 2](#).

Tabel 2. Kadar klorofil daun tanaman pada perlakuan NaCl.

NaCl (mM)	Klorofil-a	Klorofil-b	Klorofil total
0	58,81	21,10	79,92
100	18,26	7,06	25,09
200	14,11	4,85	18,96

Sumber: (Tahjib-UI-Arif *et al.*, 2023)

[Tabel 2](#) menunjukkan adanya penurunan kadar klorofil daun tanaman seiring dengan penambahan konsentrasi NaCl. Penurunan kadar klorofil daun tanaman terjadi karena penghambatan pembentukan pigmen klorofil melalui akumulasi  $\text{Na}^+$  di bawah tekanan garam atau kerusakan membran sel. Biasanya terdapat dominasi klorofil a terhadap klorofil b pada tanaman tetapi nilainya semakin mendekati dengan meningkatnya tingkat salinitas. Penurunan kandungan klorofil daun (a dan b) tanaman yang cekaman garam merupakan hasil dari sintesis yang lambat atau penguraian yang cepat, hal ini menunjukkan adanya mekanisme fotoproteksi melalui pengurangan absorbansi cahaya dengan penurunan kandungan klorofil.

Fenomena serupa dilaporkan pada berbagai tanaman non-halofit seperti *Glycine max*, *Zea mays*, dan *Solanum lycopersicum*, di mana salinitas tinggi menurunkan aktivitas enzim Rubisco serta menginduksi degradasi protein tilakoid akibat akumulasi Reactive Oxygen Species (ROS). ROS seperti superoksida ( $\text{O}_2^-$ ) dan hidrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) dapat merusak lipid membran tilakoid, menyebabkan kebocoran ion, denaturasi protein fotosistem, dan fragmentasi DNA kloroplas ([Gupta \*et al.\*, 2021](#)).

Namun, intensitas kerusakan tersebut bergantung pada tingkat dan durasi stres. Stres salinitas ringan (misalnya  $\leq 100$  mM NaCl) seringkali masih dapat diatasi melalui peningkatan aktivitas enzim antioksidan seperti SOD, CAT, dan APX, serta akumulasi osmolit (prolin, glisin betain) yang menstabilkan struktur kloroplas. Sebaliknya, stres berat ( $\geq 200$  mM NaCl) menyebabkan dominasi kerusakan oksidatif dibanding mekanisme pertahanan ([Azeem \*et al.\*, 2023](#); [Perea-Brenes \*et al.\*, 2023](#)).

### 3.3.2. Pengurangan Penyerapan Air Akibat Kadar Garam Tinggi

Tanah yang mengandung kadar garam tinggi dapat menyebabkan tanaman mengalami kesulitan dalam menyerap air meskipun ketersediaan air di tanah cukup. Hal ini terjadi karena peningkatan konsentrasi ion garam (terutama  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$ ) di larutan tanah menyebabkan peningkatan potensial osmotik tanah. Kondisi ini menciptakan gradien air yang negatif antara tanah dan akar tanaman, sehingga arah aliran air dapat berbalik dari akar menuju tanah. Akibatnya, proses penyerapan air oleh akar menjadi sangat terbatas ([Sabagh \*et al.\*, 2021a](#)).

Penurunan serapan air tersebut berimplikasi langsung terhadap penurunan tekanan turgor sel. Ketika turgor sel menurun, pembelahan dan pemanjangan sel menjadi terhambat, sehingga pertumbuhan vegetatif tanaman melambat. Dalam jangka panjang, tanaman menunjukkan gejala fisiologis khas cekaman salinitas, seperti layu, klorosis (menguningnya daun akibat degradasi klorofil), serta pertumbuhan batang yang kerdil.

Selain itu, keberadaan ion  $\text{Na}^+$  yang teradsorpsi pada kompleks pertukaran kation tanah dapat memperburuk kondisi fisik tanah dengan meningkatkan dispersi koloid, menurunkan stabilitas agregat, serta mengurangi porositas. Kondisi ini tidak hanya menghambat aerasi dan infiltrasi air, tetapi juga menurunkan kemampuan akar untuk menjangkau dan menyerap unsur hara penting seperti  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , dan  $\text{Mg}^{2+}$ .

Peningkatan konsentrasi garam terlarut dalam tanah juga menimbulkan efek ionik dan osmotik yang sinergis. Efek osmotik menghambat penyerapan air, sedangkan efek ionik menyebabkan toksisitas langsung pada jaringan tanaman. Gejala tersebut telah diamati pada berbagai tanaman pertanian, termasuk gandum (*Triticum aestivum* L.) yang menunjukkan klorosis pada ujung dan tepi daun tua, disertai pemendekan batang serta pembentukan malai dan bulir yang lebih sedikit (Hussain *et al.*, 2023)

### 3.3.3. Pengaruh Salinitas terhadap Respirasi

Reaksi fisiologis dan metabolisme tanaman sangat dipengaruhi oleh kondisi salinitas tanah, termasuk proses respirasi yang merupakan jalur utama penghasil energi (Bozzato *et al.*, 2019). Salinitas memengaruhi aktivitas enzim-enzim respirasi, sehingga dapat menurunkan laju respirasi tanaman akibat terganggunya fungsi katalitik enzim pada berbagai tahap metabolisme (Xu *et al.*, 2023). Laju respirasi tanaman pada fase awal pertumbuhan dapat diindikasikan melalui perbedaan berat awal biji dan bobot kering bibit setelah 48 jam perkecambahan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa stres garam lebih banyak menghambat pertumbuhan plumula dibanding radikula (Sabagh *et al.*, 2021b), sedangkan kondisi salinitas tinggi ditandai dengan peningkatan pH tanah yang secara signifikan menekan produksi gula dan proses glikolisis, yang berimplikasi pada penurunan pertumbuhan dan produksi tanaman (Guo *et al.*, 2017).

Sukrosa merupakan substrat utama respirasi dan sumber energi esensial pada fase perkecambahan. Dalam kondisi salinitas tinggi, beberapa tanaman menunjukkan peningkatan akumulasi sukrosa sebagai bentuk adaptasi (Xu *et al.*, 2023). Sukrosa berperan penting dalam penyesuaian osmotik dengan meningkatkan konsentrasi zat terlarut dalam sitoplasma, menyeimbangkan tekanan osmotik sel, serta melindungi struktur protein dan membran dari stres ionik. Gula larut juga berfungsi sebagai indikator toleransi salinitas sekaligus sebagai sumber energi respirasi yang mendukung metabolisme selama perkecambahan (Jawahar *et al.*, 2019).

Peningkatan kadar gula larut dapat menyediakan pasokan substrat yang memadai bagi respirasi, sehingga mendukung ketersediaan energi selama proses perkecambahan. Tanaman kapas, gandum, dan safflower yang lebih toleran terhadap salinitas dilaporkan memiliki kadar gula larut yang lebih tinggi dibanding varietas sensitif (Chen *et al.*, 2021).

Selain mempengaruhi pembentukan sukrosa, salinitas juga mengubah aktivitas jalur glikolisis yang merupakan proses biokimia yang menghasilkan ATP dan piruvat. Enzim-enzim kunci seperti heksokinase (HK), fosfofruktokinase (PFK), dan piruvat kinase (PK) mengalami perubahan aktivitas sebagai bentuk respons adaptif. Peningkatan aktivitas ketiga enzim tersebut membantu mempertahankan suplai energi dan mempercepat metabolisme selama kondisi stres (Guo *et al.*, 2017). Xu *et al.* (2023) mengungkapkan bahwa terjadi peningkatan umum aktivitas enzim glikolisis pada beberapa galur tanaman. Aktivitas enzim HK, PFK, dan PK yang lebih tinggi mempercepat perubahan metabolit antara yang terkait, menunjukkan kemungkinan pelepasan ATP dalam jumlah lebih besar untuk mendukung proses perkecambahan biji, khususnya pada galur yang toleran terhadap salinitas. Aktivitas glikolitik yang tinggi dapat mendorong produksi asam piruvat (PA) yang lebih besar, yang selanjutnya masuk ke dalam siklus TCA. Enzim-enzim ini merupakan kunci utama yang terlibat dalam glikolisis tetap aktif selama proses perkecambahan dan berperan penting dalam menyediakan energi untuk pertumbuhan embrio dalam kondisi stres salinitas tinggi (Ali & Elozeiri, 2017).

Fada fase vegetatif dan generatif, dampak respirasi akibat salinitas menjadi lebih kompleks. Gangguan pada rantai transpor elektron mitokondria dapat menurunkan efisiensi fosforilasi oksidatif, mengakibatkan penurunan sintesis ATP yang dibutuhkan untuk pembelahan dan pemanjangan sel. Akumulasi ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  di mitokondria juga dapat menyebabkan kebocoran elektron yang memicu pembentukan *Reactive Oxygen Species* (ROS) seperti superoksida ( $\text{O}_2^-$ ) dan hidrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Jika jumlah ROS berlebih dan tidak diimbangi oleh sistem antioksidan (SOD, CAT, dan POD), maka terjadi kerusakan membran, denaturasi protein, dan penurunan efisiensi respirasi (Ahmed *et al.*, 2024; Che-Othman, 2017; Nolfi-Donagan *et al.*, 2020).

Dengan demikian, salinitas tidak hanya menekan respirasi pada fase awal (perkecambahan) melalui penghambatan glikolisis, tetapi juga berdampak pada fase vegetatif dan generatif melalui gangguan rantai transpor elektron dan pembentukan ROS, yang secara keseluruhan menurunkan efisiensi energi dan produktivitas tanaman.

#### 4. Kesimpulan

Peningkatan kadar garam di tanah menyebabkan kerusakan struktur tanah, menurunkan konduktivitas hidrolis, mengganggu ketersediaan hara, dan menekan aktivitas mikroba tanah.

Secara fisiologis, salinitas menurunkan rasio  $K^+/Na^+$ , menghambat fotosintesis, mengurangi penyerapan air, serta memicu pembentukan Reactive Oxygen Species (ROS) yang merusak sel tanaman. Salinitas menurunkan laju respirasi melalui penghambatan glikolisis dan aktivitas enzim-enzim kunci seperti heksokinase (HK), fosfofruktokinase (PFK), dan piruvat kinase (PK) pada fase perkecambahan. Sementara itu, pada fase vegetatif dan generatif, gangguan respirasi meluas ke tingkat mitokondria melalui penurunan efisiensi rantai transpor elektron, sintesis ATP, dan peningkatan ROS. Secara keseluruhan, salinitas terbukti menurunkan kesuburan tanah dan efisiensi metabolisme tanaman, yang berimplikasi langsung terhadap penurunan produktivitas tanaman.

### Singkatan yang Digunakan

Tidak ada singkatan.

### Pernyataan Ketersediaan Data

Kami bersedia memberikan bantuan yang melibatkan gambar dan data asli kami jika penulis yang bersangkutan dihubungi.

### Kontribusi Para Penulis

**Mani Yusuf:** persiapan, mencari artikel, sumber daya, dan penulisan draf artikel. **Maya Sari Rupang:** mencari artikel, sumber daya, dan penulisan draf awal. **Jefri Sembiring:** mencari artikel, sumber daya, dan penulisan draf awal, **Anwar:** persiapan, mencari artikel, sumber daya, dan penulisan draf artikel. **Nurhening Yuni Ekowati:** mencari artikel, sumber daya, dan penulisan draf awal. **Yosehi Mekiuw:** sumber daya, dan penulisan draf artikel.

### Pernyataan Konflik Kepentingan

Para penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan atau kepentingan yang bersaing.

### Ucapan Terima Kasih

-

### Daftar Pustaka

- Abou Seeda, M. A. Abou El-nour, E. A. E., Abdallah, M. M. S., El-Bassiouny, H. M. S., & Abd El-Monem, A. A. (2022). Impacts of Salinity Stress on Plants and Their Tolerance Strategies: A Review. *Middle East Journal of Applied Sciences*, December. <https://doi.org/10.36632/mejas/2022.12.3.27>
- Acosta-Motos, J. R., Ortuño, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. J., & Hernandez, J. A. (2017). Plant responses to salt stress: Adaptive mechanisms. *Agronomy*, 7(1), 1–38. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>
- Ahmed, M., Tóth, Z., & Decsi, K. (2024). The Impact of Salinity on Crop Yields and the Confrontational Behavior of Transcriptional Regulators, Nanoparticles, and Antioxidant Defensive Mechanisms under Stressful Conditions: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(5). <https://doi.org/10.3390/ijms25052654>

- Ali, A. S., & Elozeiri, A. A. (2017). Metabolic Processes During Seed Germination. In *Intech* (pp. 141–166). <https://doi.org/10.5772/intechopen.70653>
- Atta, K., Mondal, S., Gorai, S., Singh, A. P., Kumari, A., Ghosh, T., Roy, A., Hembram, S., Gaikwad, D. J., Mondal, S., Bhattacharya, S., Jha, U. C., & Jespersen, D. (2023). Impacts of salinity stress on crop plants: improving salt tolerance through genetic and molecular dissection. *Frontiers in Plant Science*, 14(September), 1–21. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1241736>
- Azeem, M., Pirjan, K., Qasim, M., Mahmood, A., Javed, T., Muhammad, H., ..., & Rahimi, M. (2023). Salinity stress improves antioxidant potential by modulating physio-biochemical responses in *Moringa oleifera* Lam. *Scientific Reports*, 13(1), 1–17. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29954-6>
- Bashir, I. B. E. E. (2023). An In-Depth Analysis of the Photosynthesis Process, Its Mechanisms, and the Essential Role It Plays in Plant Life and Growth. *Australian Herbal Insight*, 6(1), 1–5. <https://doi.org/10.25163/ahi.619960>
- Bozzato, D., Jakob, T., & Wilhelm, C. (2019). Effects of temperature and salinity on respiratory losses and the ratio of photosynthesis to respiration in representative Antarctic phytoplankton species. *PLoS ONE*, 14(10), 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224101>
- Che-Othman, M. H. (2017). *Unravelling the role of mitochondrial respiration in salinity tolerance of wheat*. *March*, 1–217. <https://research-repository.uwa.edu.au/en/publications/unravelling-the-role-of-mitochondrial-respiration-in-salinity-tol>
- Chele, K. H., Tinte, M. M., Piater, L. A., Dubery, I. A., & Tugizimana, F. (2021). Soil salinity, a serious environmental issue and plant responses: A metabolomics perspective. *Metabolites*, 11(11), 1–19. <https://doi.org/10.3390/metabo11110724>
- Chen, L., Lu, B., Liu, L., Duan, W., Jiang, D., Li, J., ..., & Bai, Z. (2021). Melatonin promotes seed germination under salt stress by regulating ABA and GA3 in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 506–516. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.029>
- Daba, A. W., & Qureshi, A. S. (2021). Review of soil salinity and sodicity challenges to crop production in the lowland irrigated areas of Ethiopia and its management strategies. *Land*, 10(12), 1–21. <https://doi.org/10.3390/land10121377>
- Dewi, E. S., Abdulai, I., Bracho-Mujica, G., & Rötter, R. P. (2022). Salinity Constraints for Small-Scale Agriculture and Impact on Adaptation in North Aceh, Indonesia. *Agronomy*, 12(2), 1–15. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020341>
- El-Ramady, H., Prokisch, J., Mansour, H., Bayoumi, Y. A., Shalaby, T. A., Veres, S., & Brevik, E. C. (2024). Review of Crop Response to Soil Salinity Stress: Possible Approaches from Leaching to Nano-Management. *Soil Systems*, 8(1), 1–29. <https://doi.org/10.3390/soilsystems8010011>
- Etikala, B., Adimalla, N., Madhav, S., Somagouni, S. G., & Kumar, P. L. K. K. (2021). Salinity problems in groundwater and management strategies in arid and semi-arid regions. In *Groundwater Geochemistry: Pollution and Remediation Methods* (Issue June, pp. 42–56). <https://doi.org/10.1002/9781119709732.ch3>
- Gul, M., Wakeel, A., Steffens, D., & Lindberg, S. (2019). Potassium-induced decrease in cytosolic Na<sup>+</sup> alleviates deleterious effects of salt stress on wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Biology*, 21(5), 825–831. <https://doi.org/10.1111/plb.12999>
- Guo, R., Shi, L. X., Yan, C., Zhong, X., Gu, F. X., Liu, Q., ..., & Li, H. (2017). Ionic and metabolic responses to neutral salt or alkaline salt stresses in maize (*Zea mays* L.) seedlings. *BMC Plant Biology*, 17(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s12870-017-0994-6>
- Gupta, S., Schillaci, M., Walker, R., Smith, P. M. C., Watt, M., & Roessner, U. (2021). Alleviation of salinity stress in plants by endophytic plant-fungal symbiosis: Current knowledge,

- perspectives and future directions. *Plant and Soil*, 461(1–2), 219–244. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04618-w>
- Hannachi, S., Steppe, K., Eloudi, M., Mechi, L., Bahrini, I., & Van Labeke, M. C. (2022). Salt stress induced changes in photosynthesis and metabolic profiles of one tolerant ('bonica') and one sensitive ('black beauty') eggplant cultivars (*Solanum melongena* L.). *Plants*, 11(5), 1–32. <https://doi.org/10.3390/plants11050590>
- Hatfield, J. L., & Prueger, J. H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10, 4–10. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001>
- Hnilickova, H., Kraus, K., Vachova, P., & Hnilicka, F. (2021). Salinity stress affects photosynthesis, malondialdehyde formation, and proline content in portulaca oleracea l. *Plants*, 10(5), 1–14. <https://doi.org/10.3390/plants10050845>
- Hussain, S., Zhang, R., Liu, S., Wang, Y., Ahmad, I., Chen, Y., Hou, H., & Dai, Q. (2023). Salt stress affects the growth and yield of wheat (*triticum aestivum* l.) by altering the antioxidant machinery and expression of hormones and stress-specific genes. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, 92(3), 861–881. <https://doi.org/10.32604/phyton.2023.025487>
- Jawahar, G., Rajasheker, G., Maheshwari, P., Punita, D. L., Jalaja, N., Kumari, P. H., ..., & Kishor, P. B. K. (2019). Osmolyte diversity, distribution, and their biosynthetic pathways. In *Plant Signaling Molecules: Role and Regulation under Stressful Environments*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816451-8.00028-9>
- Johnson, M. P. (2016). Photosynthesis. *Essays in Biochemistry*, 60(3), 255–273. <https://doi.org/10.1042/EBC20160016>
- Kulhánek, M., Asrade, D. A., Suran, P., Sedlář, O., Černý, J., & Balík, J. (2023). Plant Nutrition—New Methods Based on the Lessons of History: A Review. *Plants*, 12(24). <https://doi.org/10.3390/plants12244150>
- Kumar, S. (2020). Abiotic stresses and their effects on plant growth, yield and nutritional quality of agricultural produce. *International Journal of Food Science and Agriculture*, 4(4), 367–378. <https://doi.org/10.26855/ijfsa.2020.12.002>
- León-Lorenzana, D. A. S., Delgado-Balbuena, L., Domínguez-Mendoza, C. A., Navarro-Noya, Y. E., Luna-Guido, M., & Dendooven, L. (2018). Soil salinity controls relative abundance of specific bacterial groups involved in the decomposition of maize plant residues. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6(4), 1–21. <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00051>
- Liu, C., Jiang, X., & Yuan, Z. (2024). Plant responses and adaptations to salt stress: a review. *Horticulturae*, 10(11), 1–19. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10111221>
- Mazzarelli, C. C. M., Santos, M. R., Amorim, R. V., & Augusto, A. (2015). Effect of salinity on the metabolism and osmoregulation of selected ontogenetic stages of an amazon population of *Macrobrachium amazonicum* shrimp (Decapoda, palaemonidae). *Brazilian Journal of Biology*, 75(2), 372–379. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.14413>
- Mitra, S., Chakraborty, A. J., Tareq, A. M., Emran, T. Bin, Nainu, F., ..., & Simal-Gandara, J. (2022). Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity. *Journal of King Saud University - Science*, 34(3), 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.101865>
- Muliawan, N., Sampurno, J., & Jumarang, I. (2016). Identifikasi nilai salinitas pada lahan pertanian di daerah jungkat berdasarkan metode daya hantar listrik (DHL). *Prisma Fisika*, IV(02), 69–72.
- Nolfi-Donagan, D., Braganza, A., & Shiva, S. (2020). Mitochondrial electron transport chain: Oxidative phosphorylation, oxidant production, and methods of measurement. *Redox Biology*, 37, 101674. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101674>
- Nour, M. M., Aljabi, H. R., AL-Huqail, A. A., Horneburg, B., Mohammed, A. E., & Alotaibi, M. O. (2024). Drought responses and adaptation in plants differing in life-form. *Frontiers in*

- Ecology and Evolution*, 12(November), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fevo.2024.1452427>
- Perea-Brenes, A., Garcia, J. L., Cantos, M., Cotrino, J., Gonzalez-Elipe, A. R., Gomez-Ramirez, A., & Lopez-Santos, C. (2023). Germination and First Stages of Growth in Drought, Salinity, and Cold Stress Conditions of Plasma-Treated Barley Seeds. *ACS Agricultural Science and Technology*, 3(9), 760–770. <https://doi.org/10.1021/acsagscitech.3c00121>
- Pincay, J. M. C., & Cantos, M. F. P. (2024). Analysis of Soil Salinization as an Environmental Issue in Latin America. *Journal of Ecological Engineering*, 25(1), 146–152. <https://doi.org/10.12911/22998993/174378>
- Qaderi, M. M., Martel, A. B., & Dixon, S. L. (2019). Environmental factors influence plant vascular system and water regulation. *Plants*, 8(3), 1–23. <https://doi.org/10.3390/plants8030065>
- Rengasamy, P. (2016). Soil chemistry factors confounding crop salinity tolerance-a review. *Agronomy*, 6(4). <https://doi.org/10.3390/agronomy6040053>
- Sabagh, E. A., Çiğ, F., Seydoşoğlu, S., Leonardo Battaglia, M., Javed, T., Aamir Iqbal, M., Mubeen, M., ..., & Awad, M. (2021a). Salinity stress in maize: effects of stress and recent developments of tolerance for improvement. In *Cereal Grains - Volume 1* (Issue July 2022, pp. 1–22). <https://doi.org/10.5772/intechopen.98745>
- Sabagh, E. A., Islam, M. S., Skalicky, M., Ali Raza, M., Singh, K., Anwar Hossain, M., ..., & Arshad, A. (2021b). Salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) in the changing climate: adaptation and management strategies. *Frontiers in Agronomy*, 3(July), 1–20. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.661932>
- Shrivastava, P., & Kumar, R. (2015). Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(2), 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.12.001>
- Singh, A. K., Pal, P., Sahoo, U. K., Sharma, L., Pandey, B., Prakash, A., ..., & Imbrea, F. (2024). Enhancing Crop Resilience: The Role of Plant Genetics, Transcription Factors, and Next-Generation Sequencing in Addressing Salt Stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(23), 1–22. <https://doi.org/10.3390/ijms252312537>
- Stavi, I., Thevs, N., & Priori, S. (2021). Soil Salinity and Sodicity in Drylands: A Review of Causes, Effects, Monitoring, and Restoration Measures. *Frontiers in Environmental Science*, 9(August), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.712831>
- Stirbet, A., Lazár, D., Guo, Y., & Govindjee, G. (2020). Photosynthesis: Basics, history and modelling. *Annals of Botany*, 126(4), 511–537. <https://doi.org/10.1093/aob/mcz171>
- Tahjib-Ul-Arif, M., Hasan, M. T., Rahman, M. A., Nuruzzaman, M., Rahman, A. M. S., Hasanuzzaman, M., ..., & Brestic, M. (2023). Plant response to combined salinity and waterlogging stress: Current research progress and future prospects. *Plant Stress*, 7(10), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100137>
- Tang, S., She, D., & Wang, H. (2021). Effect of salinity on soil structure and soil hydraulic characteristics. *Canadian Journal of Soil Science*, 101(1), 62–73. <https://doi.org/10.1139/cjss-2020-0018>
- Tian, F., Hou, M., Qiu, Y., Zhang, T., & Yuan, Y. (2020). Salinity stress effects on transpiration and plant growth under different salinity soil levels based on thermal infrared remote (TIR) technique. *Geoderma*, 357(August 2019), 113961. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113961>
- Xu, N., Lu, B., Wang, Y., Yu, X., Yao, N., Lin, Q., Xu, X., & Lu, B. (2023). Effects of salt stress on seed germination and respiratory metabolism in different *Flueggea suffruticosa* genotypes. *PeerJ*, 11. <https://doi.org/10.7717/peerj.15668>
- Yan, N., Marschner, P., Cao, W., Zuo, C., & Qin, W. (2015). Influence of salinity and water content on soil microorganisms. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(4), 316–323. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.11.003>
- Yin, X., Gu, J., Dingkuhn, M., & Struik, P. C. (2022). A model-guided holistic review of exploiting

- natural variation of photosynthesis traits in crop improvement. *Journal of Experimental Botany*, 73(10), 3173–3188. <https://doi.org/10.1093/jxb/erac109>
- Yuan, C. F., Feng, S. Y., Wang, J., Huo, Z. L., & Ji, Q. Y. (2018). Effects of irrigation water salinity on soil salt content distribution, soil physical properties and water use efficiency of maize for seed production in arid Northwest China. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(3), 137–145. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181103.3146>
- Zhang, W. W., Wang, C., Xue, R., & Wang, L. J. (2019). Effects of salinity on the soil microbial community and soil fertility. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(6), 1360–1368. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62077-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62077-5)