

Pengaruh Bulai pada Perubahan Indeks Kadar Klorofil, Serapan Fosforus dan Boron pada Jagung Manis

(Effects of Downy Mildew on Changes Chlorophyll Content Index, Phosphorus and Boron Uptakes in Sweet Corn)

Achmad Azhari Sidik¹, Budi Nugroho^{2*}, Untung Sudadi²

(Diterima Maret 2023/Disetujui September 2024)

ABSTRAK

Produksi dan kualitas jagung dipengaruhi oleh infeksi patogen tanaman. Salah satu penyakit penting dan utama jagung adalah penyakit bulai yang disebabkan oleh *Peronosclerospora spp.* Bulai menjadi faktor pembatas dalam upaya peningkatan produksi dan dapat menurunkan produksi 80–100%. Hal ini karena tanaman yang terserang tidak dapat menghasilkan tongkol. Patogen memperoleh nutrisi dari sel inang yang dapat membunuh sel dan merusak jaringan di sekitarnya yang mengakibatkan gejala bulai terlihat visual. Boron (B) berperan dalam pembentukan floem, meningkatkan jumlah, bobot, bobot tandan, dan diameter buah. Fungsi utama B pada tingkat molekuler adalah taut silang pektin di dinding sel tumbuhan. Ramnogalakturonan II (RG II) adalah polisakarida pektik yang berkontribusi pada kekuatan mekanik dan sifat dinding primer yang dihubungkan silang oleh diester borat. Fosforus (P) mengendalikan bulai di rumah kaca dan kondisi lapangan. Tujuan penelitian ini adalah mengukur perubahan indeks klorofil, serapan P dan B pada tanaman terserang bulai. Percobaan lapangan menggunakan rancangan acak kelompok dengan enam perlakuan aplikasi fosfat alam (FA) dan empat kelompok dosis boraks sebagai ulangan. Hasilnya menunjukkan bahwa bulai memengaruhi penurunan indeks klorofil daun pada tingkat serangan yang berbeda. Hasil konsentrasi P menurut posisi daun tanaman sehat berbeda nyata akibat perlakuan P. Perlakuan 1 FA tertinggi pada daun atas dan bawah dengan selisih mencapai 0,14 g kg⁻¹. Berbeda dengan konsentrasi B yang tidak berbeda nyata. Hasil serapan P dan B pada tanaman terserang bulai menunjukkan perbedaan nyata hanya pada serapan P di daun dengan perlakuan 1 FA.

Kata kunci: boron, bulai, fosfor, jagung

ABSTRACT

Maize production and quality are affected by infection with plant pathogens. One of the maize's essential and main diseases is downy mildew caused by *Peronosclerospora spp.* Downy mildew is a limiting factor in increasing production and can reduce production by 80-100%. It is because the affected plant cannot produce cobs. Pathogens obtain nutrients from the host cell, which can kill the cell and damage the surrounding tissues, resulting in visible downy mildew symptoms. Boron (B) plays a role in forming phloem, increasing the fruit's number, weight, bunch weight, and diameter. The primary function of B at the molecular level is the cross-linking of pectin in the plant cell wall. Ramnogalacturonan II (RG II) is a pectic polysaccharide that contributes to the mechanical strength and properties of the primary wall cross-linked by borate diesters. Phosphorus (P) controls the downsides in the greenhouse and field conditions. This study aims to measure changes in chlorophyll index, P and B uptakes in downy mildew affected plants. The field experiment used a group randomized design with six natural phosphate (FA) application treatments and four groups of borax doses as replicates. The results showed that the downy mildew decreased the chlorophyll index of the leaves at different levels of attack. The results of P concentration according to the position of healthy plant leaves were significantly different due to P treatment. In contrast to concentration B, there is no real difference. P and B uptake results in downy mildew-infested plants showed a significant difference only in P uptake in leaves with 1 FA treatment.

Keywords: boron, downy mildew, maize, phosphate

PENDAHULUAN

Produksi dan kualitas jagung dipengaruhi oleh infeksi patogen tanaman, dengan penyakit bulai yang

¹ Program Studi Ilmu Tanah, Sekolah Pascasarjana, IPB University, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

² Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB University, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

* Penulis Korespondensi: Email: budinu@apps.ipb.ac.id

disebabkan oleh *Peronosclerospora spp.* menjadi salah satu penyakit penting dalam budi daya jagung. Patogen ini tersebar luas di daerah tropis dan subtropis, terutama di wilayah pengembangan jagung (Muis *et al.* 2018). *Peronosclerospora spp.* menyerang pada fase muda dengan gejala lokal dan sistemik yang mengakibatkan tanaman tidak dapat menghasilkan tongkol. Gejala yang muncul meliputi pertumbuhan kerdil, daun yang tampak kering, tulang daun menonjol (Adhi *et al.* 2019), warna daun pucat, dan tidak dapat

melangsungkan proses tumbuh (Purwanto *et al.* 2016). Tanaman yang terinfeksi kurang dari satu bulan setelah tanam biasanya akan mati. Menurut Agustamia *et al.* (2017), kehilangan klorofil atau klorosis merupakan gejala utama bulai.

Penyakit ini diawali ketika spora jamur berkecambah di permukaan daun dan/atau melalui stomata. Kemudian, tabung kuman membentuk apresorium atau haustoria yang menembus dinding sel melalui kekuatan mekanik dan pelunakan enzimatis (Agrios 2005). Proses ini kemungkinan terjadi pada sel palisade yang mempunyai klorofil dalam proses fotosintesis. Patogen memperoleh nutrisi dari sel inang, menyebabkan kematian sel dan kerusakan jaringan sekitarnya sehingga gejala bulai terlihat jelas secara visual. Ketika kadar klorofil pada tanaman rendah tetapi kebutuhan pembentukan klorofil telah terpenuhi, keberadaan patogen atau organisme pengganggu dapat mengganggu fungsi fisiologis tanaman.

Pada tingkat molekuler, boron (B) berfungsi dalam taut silang pektin pada dinding sel tumbuhan (Uluisik *et al.* 2018). B juga penting untuk pembelahan sel, deferensiasi, pematangan, perkembangan dan pertumbuhan khususnya di dekat ujung pucuk serta akar. O'Neill *et al.* (2004) menjelaskan bahwa polisakarida pektik berkontribusi pada kekuatan mekanik dan sifat dinding primer. RG II adalah polisakarida pektik dominan di dinding sel dan sebagai dimer yang dihubungkan silang oleh diester borat. Taut silang borat dalam sistem pektik memperkuat dinding sel secara fisik dan berperan penting dalam adhesi sel (Scorei 2012). Borat mengikat dua rantai RG II untuk membentuk dimer pada dinding utama baik pada angiosperma maupun gimnosperma (Kaneko *et al.* 1997).

Fosforus (P) juga diketahui berperan dalam pengendalian penyakit yang disebabkan oleh jamur. Penelitian Chaluaraju *et al.* (2004) menunjukkan efektivitas senyawa P dalam mengendalikan penyakit bulai dalam kondisi rumah kaca dan lapangan. Asam fosfonat menyebabkan resistensi tanaman terhadap patogen (Guest 1984). Hal yang sama, Panicker dan Gangadharan (1999) melaporkan bahwa senyawa fosfonat mengurangi sporulasi *P. sorghi* dan menurunkan tingkat keparahan serta kejadian penyakit bulai pada jagung. Infeksi penyakit dapat memengaruhi ketersediaan, serapan, distribusi, atau pemanfaatan hara. Gejala serangan penyakit sering kali mencerminkan perubahan status nutrisi tanaman (Marschner 2012). Tujuan penelitian ini adalah mengukur perubahan indeks klorofil, serapan P dan B pada tanaman terserang bulai.

METODE PENELITIAN

Tempat, Waktu, dan Rancangan

Penelitian dilaksanakan pada Juni sampai Oktober 2022 di Kebun Pendidikan Cikabayan Kampus IPB

Dramaga, Bogor, sedangkan analisis tanah dan tanaman di Laboratorium Kimia dan Kesuburan, Departemen Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan, Fakultas Pertanian IPB. Percobaan lapangan menggunakan Rancangan Acak Kelompok dengan enam taraf perlakuan aplikasi fosfat alam (FA) pada empat kelompok atau blok dengan kadar B berbeda melalui aplikasi empat taraf boraks (BR). Taraf aplikasi FA (kg ha^{-1}) terdiri atas Kontrol (tanpa FA dan SP-36), FA pembanding (1 STD) (213,04), $\frac{1}{2}$ FA (102,16), 1 FA (272,48), $1\frac{1}{2}$ FA (442,76), dan 2 FA (613,04). Empat taraf aplikasi boraks (kg ha^{-1}) terdiri atas BR0 (tanpa boraks), BR1 (8), BR2 (16), dan BR3 (24). Pupuk dasar yang diberikan adalah SP-36 (40 kg ha^{-1}), Zwavelzure Kali (ZK) (180 kg ha^{-1}), dan Zwavelzure Amonium (ZA) ($657,60 \text{ kg ha}^{-1}$). Analisis data meliputi ANOVA dan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf uji 5%.

Pelaksanaan

Percobaan diawali dengan mengambil contoh tanah (komposit pada kedalaman 0 sampai 25 cm) kemudian dianalisis sifat kimianya. Analisis tanah awal berdasarkan kategori penilaian hasil tanah oleh Eviati dan Sulaeman (2009) (Tabel 1). FA diaplikasikan dua hari sebelum tanam dan SP-36 diberikan hanya ketika tanam, sedangkan aplikasi pupuk dasar (ZA, ZK, dan boraks) diberikan sebanyak tiga kali, yaitu saat tanam, 28, dan 45 hari setelah tanam (HST) dengan dosis 1/3 dosis. Daun atas dan bawah dipetik untuk mengevaluasi pola translokasi P dan B dalam tanaman. Analisis hara tanaman P dan B menggunakan metode pengabuan basah dengan pengekstraksi HNO_3 dan HCl_4 . Absorbans ditetapkan menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 660 nm untuk P dan 430 nm untuk B. Indeks klorofil diukur menggunakan *Chlorophyll Content Meter (CCM-200)* pada delapan pekan setelah tanam (MST) pada tanaman sehat, terserang bulai, dan contoh daun sesuai dengan gejala di lapangan. Tanaman sehat dan terserang bulai ditentukan berdasarkan petak yang memiliki kejadian penyakit terendah dan tertinggi, yang masing-masing dianggap mewakili kondisi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Indeks Klorofil Tanaman Sehat dan Terserang Bulai

Tabel 2 menunjukkan pengaruh bulai pada penurunan indeks klorofil daun (cci), yang jelas berbeda jumlah daunnya antara tanaman sehat dan terinfeksi bulai. Bulai mengakibatkan kematian daun yang diindikasikan oleh total daun dari setiap tanaman. Tanaman yang terserang bulai hanya memiliki tujuh daun dengan indeks klorofil kurang dari enam. Sebaliknya, tanaman sehat memiliki 10 daun dengan indeks klorofil lebih dari 10 cci, bahkan mencapai nilai tertinggi hingga 27 cci pada daun ke-7. Hal ini menjelaskan mengapa bulai ketika sudah menyerang pada fase tanaman muda dengan gejala sistemik dan

Tabel 1 Sifat kimia tanah awal

Parameter	Metode		Hasil	Satuan	Nilai
	Ekstraksi	Pengukuran			
Tekstur					
- Pasir	HCl	Pipet	6,90	%	Kelas tekstur klei
- Debu			16,61		
- Klei			76,49		
pH H ₂ O	Akuades (1:5)	pH meter	5,21	-	Asam
C-organik	Walkley & Black	Titirasi	2,33	%	Sedang
N-total	Kjeldahl	Titirasi	0,19	%	Rendah
P-tersedia	Bray 1	Spektrofotometer	13,82	ppm	Tinggi
B	Azomatin	Flamefotometer	0,4	ppm	Rendah
KTK	NH ₄ Oac 1N pH7	Titirasi	22	cmol ⁺ kg ⁻¹	Sedang
K	NH ₄ Oac 1N pH7	Flamefotometer	0,31	cmol ⁺ kg ⁻¹	Rendah
Na	NH ₄ Oac 1N pH7	Flamefotometer	0,08	cmol ⁺ kg ⁻¹	Sangat rendah
Ca	NH ₄ Oac 1N pH7	AAS	6,61	cmol ⁺ kg ⁻¹	Sedang
Mg	NH ₄ Oac 1N pH7	AAS	0,71	cmol ⁺ kg ⁻¹	Rendah
KB	-	-	35,14	cmol ⁺ kg ⁻¹	Rendah

Tabel 2 Indeks klorofil tanaman sehat dan bulai

Daun ke-	Indeks klorofil konten (cci)	
	Tanaman sehat	Tanaman bulai
1	13,10	3,60
2	16,57	3,77
3	14,40	5,10
4	18,63	5,73
5	21,40	3,47
6	23,23	4,03
7	27,13	4,53
8	16,83	-
9	18,93	-
10	25,07	-

lokal menyebabkan tanaman tidak dapat menghasilkan tongkol. Infeksi menyebabkan kerusakan klorofil dan memungkinkan terjadinya penyumbatan CO₂ selama proses fiksasi (Prokopová *et al.* 2010). Penurunan fotosintesis terlokalisasi pada sel mesofil dan mematikan proses metabolisme pada tanaman yang terinfeksi (Berger *et al.* 2007). Klorofil menjadi kunci bagi tanaman untuk melangsungkan pertumbuhan normal atau mati. Tanaman yang memiliki kandungan klorofil lebih banyak secara umum menunjukkan laju fotosintesis yang lebih baik (Shireen *et al.* 2020).

Tabel 3 menyajikan perbedaan klorofil menurut tingkat serangan. Tingkat serangan dibedakan atas infeksi jamur pada daun (Gambar 1) dan kategori didasarkan sesuaikan dengan kondisi lapangan (Ji *et al.* 2022). Terdapat enam kaetapi daun: 1 (daun sehat), 2 (daun terkena tnamun hanya terlihat garis semu), 3 (daun terkena infeksi di bagian bawah), 4 (daun terkena keseluruhan tetapi masih hijau), kategori 5 (daun terkena keseluruhan dan menunjukkan warna berbeda, dan 6 (daun terinfeksi keseluruhan dan hampir mati). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa beberapa kategori dapat dijadikan satu kategori yang sama didasarkan atas perbedaan yang tidak nyata (kategori 5 dan 6). Walaupun pengamatan ini belum menunjukkan pengaruh P dan B, bulai sangat jelas memengaruhi klorofil tanaman. Penelitian Shireen *et al.* (2020) menunjukkan bahwa kandungan klorofil relatif dipengaruhi oleh aplikasi B. Kandungan klorofil

menurun akibat defisiensi B yang ditandai dengan pembentukan cincin cokelat pada daerah batang (Li *et al.* 2017).

Hasil *scanning electron microscope* (SEM) (Gambar 2) memperlihatkan bahwa mekanisme buka-tutup stomata memberikan peluang masuknya patogen, termasuk organisme dan jamur, ke dalam tanaman. Semakin rapat stomata, semakin besar peluang terjadinya infeksi. Faktor lain yang mungkin memengaruhi tingginya intensitas serangan bulai meliputi: penggunaan varietas yang tidak memiliki mekanisme ketahanan yang baik sehingga rentan terhadap bulai, tingkat virulensi yang tinggi dari patogen *Peronosclerospora maydis*, dan kondisi lingkungan yang lembap selama masa penanaman (Agustamia *et al.* 2017). Fotosintesis terhambat oleh penyakit karena daun yang terinfeksi merusak kandungan kloroplas dan klorofil secara langsung atau melalui enzim yang diekskresikan oleh infeksi jamur (Gao *et al.* 2017). Akibatnya daun yang terkena defisiensi B memiliki aktivitas fotosintesis yang lebih rendah dan akumulasi karbohidrat pada tangkai daun menurun. Akibatnya ialah penurunan tajam konsentrasi pigmen kloroplas pada tanaman yang kekurangan B. Penurunan tajam konsentrasi karotenoid mengakibatkan menurunnya nisbah karotenoid:klorofil pada daun murbei (Tewari *et al.* 2010). Namun, Mandal *et al.* (2008) menyatakan P tidak berpengaruh nyata pada kandungan klorofil;

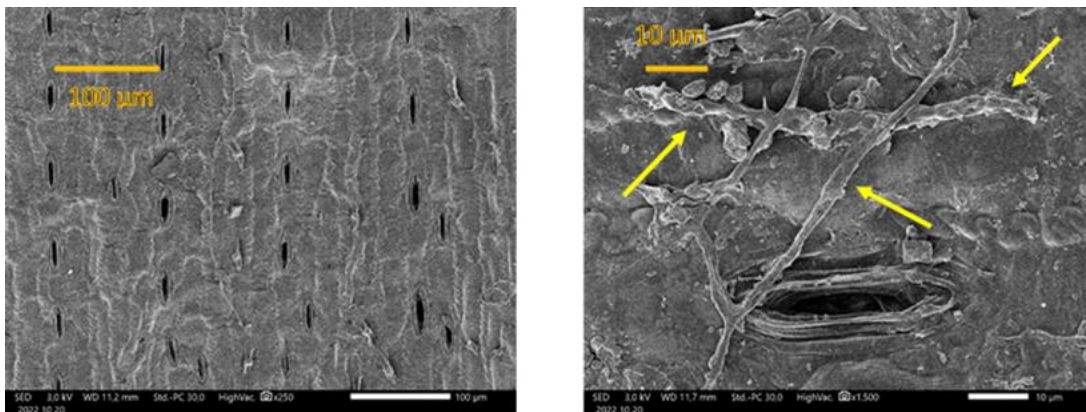
Tabel 3 Indeks klorofil pada kategori daun serangan bulai

Kategori daun	Indeks klorofil konten (cci)
1	29,85 a
2	10,95 b
3	18,75 bc
4	13,85 c
5	4,10 d
6	3,28 d

Keterangan: Bilangan pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf berbeda menunjukkan perbedaan nyata pada taraf uji DMRT 5%. (Kategori 1: Daun sehat, Kategori 2: Daun terkena tetapi hanya terlihat garis semu, Kategori 3: Daun terkena infeksi di bagian bawah, Kategori 4: Daun terkena keseluruhan tetapi masih hijau, Kategori 5: Daun terinfeksi keseluruhan dan mulai menunjukkan perbedaan warna, dan Kategori 6: Daun terinfeksi keseluruhan dan hampir mati).



Gambar 1 Kategori daun menurut serangan infeksi. (Dari kiri ke kanan: Kategori 1: Daun sehat, Kategori 2: Daun terkena tetapi hanya terlihat garis semu, Kategori 3: Daun terkena infeksi di bagian bawah, Kategori 4: Daun terkena keseluruhan tetapi masih hijau, Kategori 5: Daun terinfeksi keseluruhan dan mulai menunjukkan perbedaan warna, dan Kategori 6: Daun terinfeksi keseluruhan dan hampir mati).



Gambar 2 Kenampakan stomata. (A) stomata pada daun sehat dan (B) stomata pada daun bulai. Tanda panah kuning diduga jamur yang menyebabkan penyakit bulai.

secara keseluruhan hanya nitrogen yang memengaruhi aktivitas fotosintesis.

Konsentrasi P menurut Posisi Daun pada Tanaman Sehat

Pengamatan menunjukkan bahwa konsentrasi daun atas dan bawah berbeda nyata akibat perlakuan P (Tabel 4). Konsentrasi P tertinggi pada 1 FA baik di daun atas (0,41 g kg⁻¹) dan bawah (0,27 g kg⁻¹). Jika membandingkan posisi daun, akumulasi P lebih tinggi

pada daun atas (0,30–0,41 g kg⁻¹). Selisih konsentrasi pada 1 FA mencapai 0,14 g kg⁻¹ dan kurang lebih sama untuk semua perlakuan. P diambil oleh akar, ditranslokasikan melalui xilem ke lamina muda yang tumbuh cepat dan diperlukan untuk ekspansi daun dan pertumbuhan (Fredeen *et al.* 1989). Pada transportasi P dan asimilasi tanaman biji, daun muda disuplai tidak hanya oleh akar tetapi disuplai pula oleh daun yang agak tua (Jeschke *et al.* 1997). Hasil ini masih

menunjukkan konsep konsentrasi P pada tanaman sehat untuk posisi daun.

Gambar 3 memperlihatkan bagaimana pola konsentrasi posisi daun sangat berkaitan. Tidak ada penyimpangan konsentrasi di posisi daun akibat bulai. Tanaman yang cukup P sebagian besar diserap oleh akar melalui xilem ke daun yang lebih muda. Pada tanaman yang kekurangan P, proses retranslokasi P akan signifikan dari daun yang lebih tua ke tunas yang sedang tumbuh. Pada tanaman kekurangan P, pasokan P yang terbatas ke tunas akan dilengkapi dengan peningkatan mobilisasi simpanan P di daun tua. Proses ini melibatkan simpanan dan pemecahan P di daun tua. Translokasi tunas muda telah diteliti oleh (Görlach *et al.* 2021). Hasilnya adalah translokasi meningkat secara stabil dari waktu ke waktu dan menurun di akar selama 18 jam berikutnya tetapi tetap lebih tinggi ketika proses translokasi ke tunas muda pada kelompok tanaman yang kurang P.

Proses ini dipahami ketika translokasi P akan mengarah ke bagian tumbuh atau *sink*. Kejadian ini dapat diukur dengan resuplai di akar tanaman. Luan *et al.* (2017) menjelaskan penurunan konsentrasi P di akar terkait dengan mRNA yang berfungsi sebagai

sinyal jarak jauh dari pucuk ke akar. Hal ini untuk mempertahankan homeostasis P anorganik di seluruh bagian tanaman melalui serapan dan translokasi P. Sebagian dari P akan ditranslokasikan kembali ke floem menuju akar dan diangkut ke dalam jaringan tanaman yang sedang tumbuh pada bagian yang kekurangan. Permulaan translokasi di dalam tanaman berlangsung cepat (Görlach *et al.* 2021). Ketersediaan P di dalam tanah terus berubah, menyebabkan tanaman beradaptasi dengan berbagai mekanisme. Salah satu mekanismenya adalah penyimpanan P yang berlebih di kompartemen seluler dan memobilisasinya kembali dari penyimpanan ke bagian yang paling membutuhkan (Luan *et al.* 2017). Penjelasan tersebut bisa menegaskan mengapa daun tua yang menyimpan separuh P dapat dimobilisasi ke bagian lain, terutama untuk daun muda.

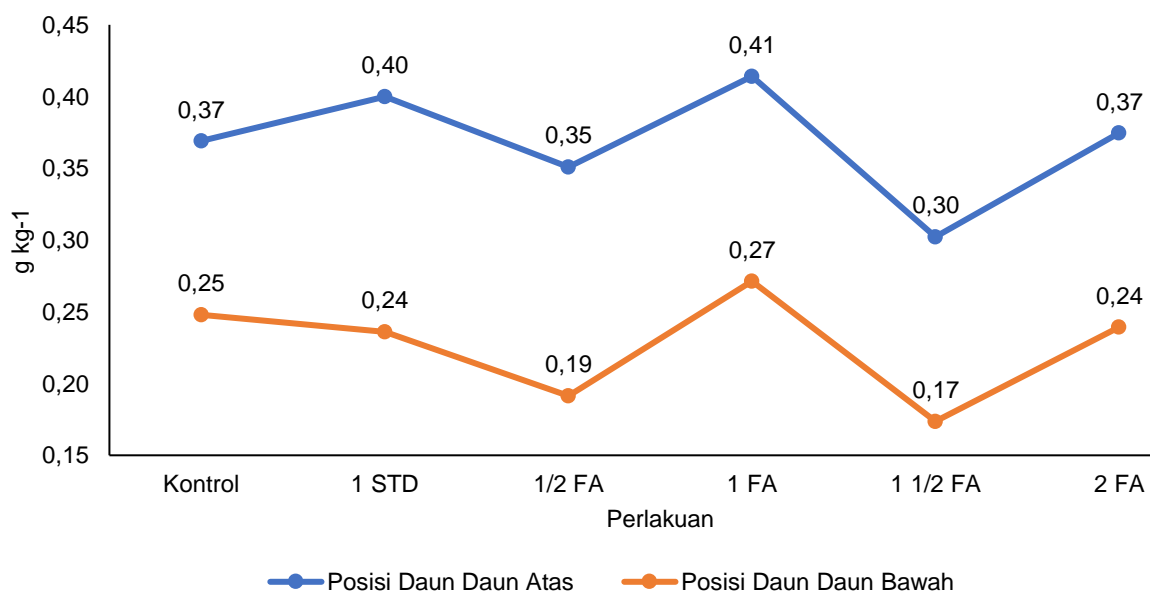
Konsentrasi B menurut Posisi Daun pada Tanaman Sehat

Posisi daun belum memberikan hasil yang jelas perihal translokasi B (Tabel 5). Posisi daun tua/bawah dan atas/muda tidak memiliki pola konsentrasi seperti konsentrasi P. Translokasi B tidak mudah dari daun tua

Tabel 4 Konsentrasi P pada posisi daun

Perlakuan	Posisi daun	
	Daun atas (g kg ⁻¹)	Daun bawah (g kg ⁻¹)
Kontrol	0,37 abc	0,25 de
1 STD	0,40 ab	0,24 de
½ FA	0,35 abc	0,19 e
1 FA	0,41 a	0,27 cde
1 ½ FA	0,30 bcd	0,17 e
2 FA	0,38 ab	0,24 de
Rata-rata	0,37	0,23

Keterangan: Bilangan pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf berbeda menunjukkan perbedaan nyata pada taraf uji DMRT 5%. Kontrol (tanpa FA dan SP-36), 1 STD (FA pembanding) (213,04 kg ha⁻¹), ½ FA (102,16 kg ha⁻¹), 1 FA (272,48 kg ha⁻¹), 1½ FA (442,76 kg ha⁻¹), dan 2 FA (613,04 kg ha⁻¹).



Gambar 3 Pola konsentrasi P pada posisi daun.

Keterangan sumbu horizontal perlu diperbaiki. Posisi pada daun atas Posisi pada daun bawah

ke muda atau dari daun bawah ke atas (Naeem *et al.* 2017). Sebaliknya di dalam tanah, B menjadi salah satu hara yang dianggap mobil (Huang *et al.* 2012) dan konsentrasinya beragam sesuai dengan umur tanaman (Zhao & Oosterhuis 2002). Wu *et al.* (2019) melaporkan bahwa konsentrasi B daun terakumulasi di posisi tertentu, yaitu daun ujung dan di bagian tengah. Hal ini terlihat dengan kelebihan B yang menghambat pertumbuhan tunas yang nyata di bagian ujung daun. Di bawah kondisi B toksik atau normal, B tidak terdistribusi secara homogen ke seluruh daun; proporsi yang signifikan dari B terakumulasi di ujung daun batang bawah *P. trifoliata* (Wu *et al.* 2019).

Secara khusus, B terakumulasi di tepi daun yang didasarkan atas gejala khas keracunan daun seperti nekrosis, dan luka bakar terlihat pada tepi dan ujung daun (Yildirim 2017). Pola akumulasi dan distribusi B daun berkaitan dengan transportasi sepanjang aliran transpirasi di jaringan xilem dan berakumulasi di ujung aliran di tepi daun. Pada kondisi B berlebih, B di ujung daun adalah akibat proses transpirasi daun (Wu *et al.* 2019). Selama pengangkutan jarak jauh ini, konsentrasi B mengikuti aliran transpirasi dan terakumulasi di pinggiran daun dewasa.

Serapan P Batang dan Daun Terserang Bulai

Serapan batang tidak berbeda nyata akibat perlakuan FA (Tabel 6), berbeda dengan hasil serapan daun yang berbeda nyata. Namun, secara keseluruhan serapan batang dan daun menunjukkan pola yang sama. Konsentrasi batang tertinggi pada 1 FA dengan $0,26 \text{ g kg}^{-1}$ (data tidak ditampilkan), berdampak pada total serapan yang diperoleh. Secara berturut-turut nilai terendah sampai dengan tertinggi untuk serapan di daun adalah kontrol ($6,57 \text{ g kg}^{-1}$) < 1 STD ($7,19 \text{ g kg}^{-1}$) < $\frac{1}{2}$ FA ($7,50 \text{ g kg}^{-1}$) < $\frac{1}{2}$ FA ($7,93 \text{ g kg}^{-1}$) < 2 FA ($8,42$

g kg^{-1}) < 1 FA ($9,40 \text{ g kg}^{-1}$). Percobaan Vanlauwe *et al.* (2000) menunjukkan bahwa ada selisih serapan P yang nyata antara aplikasi fosfat alam dan tanpa fosfat alam. Meski dengan jenis fosfat alam yang sama, serapan P daun memberikan hasil yang nyata. Hal ini mungkin karena perbedaan dosis yang diaplikasikan. Fosfat alam yang dapat terlarut dan tersedia, menyebabkan tanaman merespons ketersediaan P berkembang dalam rentang konsentrasi yang luas melalui pengoperasian sistem serapan P dalam sel akar (Luan *et al.* 2017). Setelah diserap oleh akar, P diangkut ke sistem vaskular untuk diangkut jarak jauh ke pucuk.

Serapan B Batang dan Daun Terserang Bulai

Meskipun perlakuan dan kelompok tidak berpengaruh nyata pada serapan B pada batang (Tabel 6) dan daun (Tabel 7), perlakuan BR0 memperlihatkan serapan B tertinggi pada daun ($1,04 \times 10^{-3} \text{ g tanaman}^{-1}$). Hasil ini sesuai dengan temuan Cordeiro *et al.* (2022) bahwa walaupun tidak ada pemupukan B, kandungan B lebih tinggi dalam tanaman. Mekanisme serapan B sepenuhnya belum dipahami. Penelitian lain oleh Gunes *et al.* (2006) menunjukkan bahwa hasil konsentrasi B meningkat secara nyata seiring dengan peningkatan kadar B di semua bagian tanaman. Konsentrasi B daun relatif lebih tinggi daripada jaringan tanaman lainnya dan diikuti oleh konsentrasi di kulit kayu, akar, dan batang. Gejala ini menunjukkan bahwa B tidak bergerak dalam floem dan tidak dapat dipindahkan dari daun ke bagian tanaman lainnya.

Tumbuhan menyerap B terutama secara pasif dalam bentuk asam borat, tetapi juga secara aktif dalam bentuk ion borat dan diangkut melalui xilem melalui aliran transpirasi menuju bagian atas tanaman

Tabel 5 Konsentrasi B pada posisi daun

Kelompok	Posisi daun	
	Daun atas (g kg^{-1})	Daun bawah (g kg^{-1})
BR0	$5,94 \times 10^{-3}$	$5,78 \times 10^{-3}$
BR1	$5,80 \times 10^{-3}$	$5,91 \times 10^{-3}$
BR2	$5,65 \times 10^{-3}$	$5,91 \times 10^{-3}$
BR3	$6,02 \times 10^{-3}$	$5,24 \times 10^{-3}$
Rata-rata	$5,85 \times 10^{-3}$	$5,71 \times 10^{-3}$

Keterangan: BR0 (tanpa boraks), BR1 (8 kg ha⁻¹), BR2 (16 kg ha⁻¹), dan BR3 (24 kg ha⁻¹).

Tabel 6 Serapan P batang dan daun terserang bulai

Perlakuan	Serapan pada batang ($\times 10^{-2} \text{ g tanaman}^{-1}$)					Serapan pada daun ($\times 10^{-2} \text{ g tanaman}^{-1}$)				
	BR0	BR1	BR2	BR3	Rata-rata	BR0	BR1	BR2	BR3	Rata-rata
Kontrol	2,32	2,42	3,43	2,47	2,66	7,06	4,80	6,58	7,86	6,57 a
1 STD	3,05	3,71	3,14	4,39	3,57	6,89	6,96	8,23	6,65	7,19 ab
1/2 FA	3,13	4,93	3,56	4,16	3,95	6,88	7,30	6,77	9,03	7,50 ab
1 FA	5,70	4,88	3,73	5,02	4,83	10,64	8,27	8,60	10,08	9,40 c
1 1/2 FA	4,49	6,27	2,41	2,47	3,91	8,36	7,55	7,21	8,60	7,93 abc
2 FA	2,98	2,99	2,96	2,71	2,91	8,97	9,04	8,63	7,04	8,42 bc
Rata-rata	3,61	4,20	3,20	3,54	3,64	8,14	7,32	7,67	8,21	7,83

Keterangan: Bilangan pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf berbeda menunjukkan perbedaan nyata pada taraf uji DMRT 5%. Kontrol (tanpa FA dan SP-36), 1 STD (FA pembanding) (213,04 kg ha⁻¹), $\frac{1}{2}$ FA (102,16 kg ha⁻¹), 1 FA (272,48 kg ha⁻¹), $1\frac{1}{2}$ FA (442,76 kg ha⁻¹), dan 2 FA (613,04 kg ha⁻¹). BR0 (tanpa boraks), BR1 (8 kg ha⁻¹), BR2 (16 kg ha⁻¹), dan BR3 (24 kg ha⁻¹).

(Marschner 2012). Penyerapan B diawali ketika transpor B ke dalam xilem dan diangkut ke pucuk dalam proses yang didorong oleh aliran transpirasi (Camacho-Cristóbal *et al.* 2018). Smith *et al.* (2010) melaporkan bahwa pada konsentrasi B rendah, tanaman mengakumulasi B dua sampai tiga kali lebih banyak. Ini menunjukkan ada kemungkinan bahwa ketika konsentrasi larutan B rendah, tanaman memiliki mekanisme penyerapan B yang bergantung pada energi aktif, yang mengakibatkan akumulasi B melawan gradien konsentrasi.

Di bawah suplai B rendah, transportasi B dapat terjadi melawan gradien konsentrasi, sementara pada konsentrasi B tinggi, transpor B dirangsang untuk mengurangi jumlah B yang terakumulasi oleh tanaman (Smith *et al.* 2010). Tidak berpengaruhnya serapan B di bawah kondisi bulai mungkin disebabkan oleh fase pertumbuhan reproduktif yang menjadi periode kritis kebutuhan akan B, yang meningkatkan serapan B oleh tanaman (Zheng *et al.* 2019). Hal ini didasarkan pada peran B sebagai penghubung monomer RG II dengan jembatan borat untuk mempertahankan matriks dinding sel (O'Neill *et al.* 2004). Meskipun hasil tidak menunjukkan perbedaan nyata akibat perlakuan B pada serapan di daun, terlihat bahwa tanpa aplikasi B, tanaman mem[er]lihatkan serapan B tertinggi (Tabel 8).

KESIMPULAN

Penyakit bulai memengaruhi indeks klorofil pada berbagai tingkat serangan. Translokasi dan distribusi fosforus (P) menunjukkan bahwa konsentrasi P pada daun bagian atas lebih tinggi dibandingkan dengan Tabel 7 Serapan B pada batang terserang bulai

daun bagian bawah. Sementara itu, konsentrasi boron (B) belum memberikan hasil yang jelas terkait pola translokasi dan distribusinya. Serapan P pada daun menunjukkan perbedaan nyata akibat perlakuan fosfat alam, tetapi tidak demikian pada serapan P di batang. Serapan B pada batang dan daun tidak menunjukkan perbedaan nyata akibat perlakuan yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

Adhi SR, Widiastuti F, Yulia E. 2019. Metode inokulasi buatan untuk menguji infeksi *Peronosclerospora maydis* penyebab penyakit bulai tanaman jagung. *Jurnal Agro*. 6(1):77–85. <https://doi.org/10.15575/4409>

Agrios GN. 2005. *Plant Pathology*. Ed ke-5. New York (UK): Academic Press.

Agustamia C, Widiastuti A, Sumardiyono C. 2017. Pengaruh stomata dan klorofil pada ketahanan beberapa varietas jagung terhadap penyakit bulai. *Jurnal Perlindungan Tanam Indones*. 20(2): 89. <https://doi.org/10.22146/jpti.17703>

Berger S, Sinha AK, Roitsch T. 2007. Plant physiology meets phytopathology: Plant primary metabolism and plant-pathogen interactions. *Journal of Experimental Botany*. 58(15–16): 4019–4026. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm298>

Camacho-Cristóbal JJ, Navarro-Gochicoa MT, Rexach J, González-Fontes A, Herrera-Rodríguez MB. 2018. Plant response to boron deficiency and boron

Perlakuan	Serapan pada batang (x 10 ⁻² g tanaman ⁻¹)				Rata-rata
	BR0	BR1	BR2	BR3	
Kontrol	4,6 x 10 ⁻²	3,9 x 10 ⁻²	6,3 x 10 ⁻²	6,4 x 10 ⁻²	5,3 x 10 ⁻²
1 STD	4,8 x 10 ⁻²	5,7 x 10 ⁻²	5,6 x 10 ⁻²	6,5 x 10 ⁻²	5,7 x 10 ⁻²
1/2 FA	4,4 x 10 ⁻²	6,3 x 10 ⁻²	6,6 x 10 ⁻²	7,3 x 10 ⁻²	6,2 x 10 ⁻²
1 FA	6,8 x 10 ⁻²	6,3 x 10 ⁻²	5,6 x 10 ⁻²	9,3 x 10 ⁻²	7,0 x 10 ⁻²
1 1/2 FA	7,6 x 10 ⁻²	8,3 x 10 ⁻²	6,4 x 10 ⁻²	4,7 x 10 ⁻²	6,8 x 10 ⁻²
2 FA	5,7 x 10 ⁻²	5,9 x 10 ⁻²	3,5 x 10 ⁻²	4,7 x 10 ⁻²	5,0 x 10 ⁻²
Rata-rata	5,6 x 10 ⁻²	6,1 x 10 ⁻²	5,7 x 10 ⁻²	6,5 x 10 ⁻²	6,0 x 10 ⁻²

Keterangan: Kontrol (tanpa FA dan SP-36), 1 STD (FA pembanding) (213,04 kg ha⁻¹), ½ FA (102,16 kg ha⁻¹), 1 FA (272,48 kg ha⁻¹), 1½ FA (442,76 kg ha⁻¹), dan 2 FA (613,04 kg ha⁻¹). BR0 (tanpa boraks), BR1 (8 kg ha⁻¹), BR2 (16 kg ha⁻¹), dan BR3 (24 kg ha⁻¹).

Tabel 8 Serapan B pada daun terserang bulai

Perlakuan	Serapan pada daun (x 10 ⁻² g tanaman ⁻¹)				Rata-rata
	BR0	BR1	BR2	BR3	
Kontrol	1,03 x 10 ⁻¹	1,15 x 10 ⁻¹	0,83 x 10 ⁻¹	1,09 x 10 ⁻¹	1,03 x 10 ⁻¹
1 STD	0,99 x 10 ⁻¹	0,91 x 10 ⁻¹	0,96 x 10 ⁻¹	0,85 x 10 ⁻¹	0,93 x 10 ⁻¹
1/2 FA	0,82 x 10 ⁻¹	0,87 x 10 ⁻¹	0,90 x 10 ⁻¹	1,02 x 10 ⁻¹	0,90 x 10 ⁻¹
1 FA	1,23 x 10 ⁻¹	0,86 x 10 ⁻¹	1,12 x 10 ⁻¹	1,14 x 10 ⁻¹	1,09 x 10 ⁻¹
1 1/2 FA	1,09 x 10 ⁻¹	0,75 x 10 ⁻¹	0,76 x 10 ⁻¹	1,04 x 10 ⁻¹	0,91 x 10 ⁻¹
2 FA	1,08 x 10 ⁻¹	0,85 x 10 ⁻¹	1,00 x 10 ⁻¹	0,87 x 10 ⁻¹	0,95 x 10 ⁻¹
Rata-rata	1,04 x 10 ⁻¹	0,90 x 10 ⁻¹	0,93 x 10 ⁻¹	1,00 x 10 ⁻¹	0,97 x 10 ⁻¹

Keterangan: Kontrol (tanpa FA dan SP-36), 1 STD (FA pembanding) (213,04 kg ha⁻¹), ½ FA (102,16 kg ha⁻¹), 1 FA (272,48 kg ha⁻¹), 1½ FA (442,76 kg ha⁻¹), dan 2 FA (613,04 kg ha⁻¹). BR0 (tanpa boraks), BR1 (8 kg ha⁻¹), BR2 (16 kg ha⁻¹), dan BR3 (24 kg ha⁻¹).

- use efficiency in crop plants. Di dalam: *Plant Micronutrient Use Efficiency: Molecular and Genomic Perspectives in Crop Plants*. Elsevier. hlm 109–121. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812104-7.00007-1>
- Chaluvaraju G, Basavaraju P, Shetty NP, Deepak SA, Amruthesh KN, Shetty HS. 2004. Effect of some phosphorous-based compounds on control of pearl millet downy mildew disease. *Crop Protection*. 23(7): 595–600. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2003.11.008>
- Cordeiro LFS, Cordeiro CFS, Ferrari S. 2022. Cotton yield and boron dynamics affected by cover crops and boron fertilization in a tropical sandy soil. *Field Crops Research*. 284:1–8. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108575>
- Eviati, Sulaeman. 2009. *Petunjuk teknis: Analisis kimia tanah, tanaman, air, dan pupuk*. 2nd Ed. Prasetyo BH, Santoso D, Retno LW, Editors. Bogor (ID): Balai Penelitian Tanah.
- Fredeen AL, Rao IM, Terry N. 1989. Influence of phosphorus nutrition on growth and carbon partitioning in *Glycine max*. *Plant Physiology*. 89: 225–230. <https://doi.org/10.1104/pp.89.1.225>
- Gao P, Duan T, Christensen MJ, Nan Z, Liu Q, Meng F, Huang J. 2017. The occurrence of rust disease, and biochemical and physiological responses on *Apocynum venetum* plants grown at four soil water contents, following inoculation with *Melampsora apocyni*. *European Journal of Plant Pathology*. 150(3): 549–563. <https://doi.org/10.1007/s10658-017-1299-1>
- Görlach BM, Sagervanshi A, Henningsen JN, Pitann B, Mühling KH. 2021. Uptake, subcellular distribution, and translocation of foliar-applied phosphorus: Short-term effects on ion relations in deficient young maize plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 166: 677–688. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.06.028>
- Guest DI. 1984. Modification of defence responses in tobacco and capsicum following treatment with Fosetyl-Al [Aluminium tris (o-ethyl phosphonate)]. *Physiological Plant Pathology*. 25: 125–159. [https://doi.org/10.1016/0048-4059\(84\)90051-1](https://doi.org/10.1016/0048-4059(84)90051-1)
- Gunes A, Soylemezoglu G, Inal A, Bagci EG, Coban S, Sahin O. 2006. Antioxidant and stomatal responses of grapevine (*Vitis vinifera* L.) to boron toxicity. *Sci Hort*. 110(3): 279–284. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.07.014>
- Huang PM, Li Y, Sumner ME. 2012. *Hand Book of Soil Sciences: Resource Management and Environmental Impacts*. Ed ke-2. New York (UK): CRC Press.
- Jeschke WD, Kirkby E, Peuke AD, Pate JS, Hartung W. 1997. Effects of P deficiency on assimilation and transport of nitrate and phosphate in intact plants of castor bean (*Ricinus communis* L.). *Journal of Experimental Botany*. 48(306): 75–91. <https://doi.org/10.1093/jxb/48.1.75>
- Ji Z, Liu Z, Han Y, Sun Y. 2022. Exogenous dopamine promotes photosynthesis and carbohydrate metabolism of downy mildew-infected cucumber. *Scientia Horticulturae*. 295. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110842>
- Kaneko S, Ismi T, Matsunaga T. 1997. A boron-rhamnogalacturonan-II complex from bamboo shoot cell walls. *Phytochemistry*. 44(2): 243–248. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(96\)00539-0](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(96)00539-0)
- Li M, Zhao Z, Zhang Z, Zhang W, Zhou J, Xu F, Liu X. 2017. Effect of boron deficiency on anatomical structure and chemical composition of petioles and photosynthesis of leaves in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Scientific Reports*. 7: 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04655-z>
- Luan M, Tang RJ, Tang Y, Tian W, Hou C, Zhao F, Lan W, Luan S. 2017. Transport and homeostasis of potassium and phosphate: Limiting factors for sustainable crop production. *Journal of Experimental Botany*. 68(12): 3091–3105. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw444>
- Mandal K, Saravanan R, Maiti S. 2008. Effect of different levels of N, P and K on downy mildew (*Peronospora plantaginis*) and seed yield of isabgol (*Plantago ovata*). *Crop Protection*. 27: 988–995. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.12.002>
- Marschner P. 2012. *Mineral nutrition of higher plants*. Ed ke-3. New York (UK): Academic Press.
- Muis A, Suriani, Kalqutny SH, Nonci N. 2018. *Penyakit Bulai pada Tanaman Jagung dan Upaya Pengendaliannya*. Yogyakarta (ID): Deepublish.
- Naeem M, Ansari AA, Gill SS. 2017. *Essential Plant Nutrients: Uptake, Use Efficiency, and Management*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-58841-4>
- O'Neill MA, Ishii T, Albersheim P, Darvill AG. 2004. Rhamnogalacturonan II: Structure and function of a borate cross-linked cell wall pectic polysaccharide. *Annual Review of Plant Biology*. 55: 109–139. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141750>
- Panicker S, Gangadharan K. 1999. Controlling downy mildew of maize caused by *Peronosclerospora sorghi* by foliar sprays of phosphonic acid compounds. *Crop Protection*. 18: 115–118. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(98\)00101-X](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(98)00101-X)
- Prokopová J, Špundová M, Sedlářová M, Husičková A, Novotný R, Doležal K, Nauš J, Lebeda A. 2010. Photosynthetic responses of lettuce to downy mildew infection and cytokinin treatment. *Plant Physiol Biochem*. 48: 716–723.

<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.04.003>

- Purwanto SD, Nirwanto H, Wiyatiningsih S. 2016. Model epidemi penyakit tanaman: Hubungan faktor lingkungan terhadap laju infeksi dan pola sebaran penyakit bulai (*Peronosclerospora maydis*) pada tanaman jagung di Kabupaten Jombang. *Plumula*. 5(2): 138–152.
- Scorei R. 2012. Is boron a prebiotic element? A mini-review of the essentiality of boron for the appearance of life on earth. *Origins of Life and Evolution Biospheres*. 42(1): 3–17. <https://doi.org/10.1007/s11084-012-9269-2>
- Shireen F, Nawaz MA, Xiong M, Ahmad A, Sohail H, Chen Z, Abouseif Y, Huang Y, Bie Z. 2020. Pumpkin rootstock improves the growth and development of watermelon by enhancing uptake and transport of boron and regulating the gene expression. *Plant Physiol Biochem*. 154: 204–218. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.06.003>
- Smith TE, Grattan SR, Grieve CM, Poss JA, Suarez DL. 2010. Salinity's influence on boron toxicity in broccoli: II. Impacts on boron uptake, uptake mechanisms and tissue ion relations. *Agric Water Manag*. 97: 783–791. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.01.015>
- Tewari RK, Kumar P, Sharma PN. 2010. Morphology and oxidative physiology of boron-deficient mulberry plants. *Tree Physiology*. 30(1): 68–77. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpp093>
- Ulusik I, Karakaya HC, Koc A. 2018. The importance of boron in biological systems. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 45: 156–162. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2017.10.008>
- Vanlauwe B, Diels J, Sanginga N, Carsky RJ, Deckers J, Merckx R. 2000. Utilization of rock phosphate by crops on a representative toposequence in the Northern Guinea savanna zone of Nigeria: Response by maize to previous herbaceous legume cropping and rock phosphate treatments. *Soil Biology and Biochemistry*. 32: 2079–2090. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00150-4](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00150-4)
- Wu X, Lu X, Riaz M, Yan L, Jiang C. 2019. Boron toxicity induced specific changes of cell ultrastructure and architecture of components in leaf center and tip of trifoliate orange [*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.]. *Journal of Environmental Management*. 246: 426–433. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.148>
- Yildirim K. 2017. Transcriptomic and hormonal control of boron uptake, accumulation and toxicity tolerance in poplar. *Environmental and Experimental Botany*. 141: 60–73. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.07.004>
- Zhao D, Oosterhuis DM. 2002. Cotton carbon exchange, nonstructural carbohydrates, and boron distribution in tissues during development of boron deficiency. *Field Crops Research*. 78: 75–87. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00095-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00095-3)
- Zheng Y, Wu J, Peng X, Zhang Y. 2019. Field-grown Moringa oleifera response to boron fertilization: Yield component, chemical composition of seed-oil and physiology. *Industrial Crops and Products*. 138. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.06.012>