

Monitoring Ekspresi Gen *Chalcone Synthase* dan Respon Pertumbuhan Lobak Singgalang (*Brassica oleracea* L.) Akibat Paparan Ultraviolet-B Ekstrem

Monitoring of Chalcone Synthase Gene Expression and Growth Response of Singgalang Cabbage (Brassica oleracea L.) Due to Extreme Ultraviolet-B Exposure

Puti Khairunnajwa Amar¹⁾, Mansyurdin¹⁾, Nova Syafni²⁾, Ersya Nur Syafia³⁾, dan Muhammad Idris^{1*)}

¹⁾Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Padang, Indonesia

²⁾Fakultas Farmasi, Universitas Andalas, Padang, Indonesia

³⁾Agrotropika Learning Center (AGLC), Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

^{*)}Penulis untuk korespondensi E-mail: midris@sci.unand.ac.id

Diajukan: 29 Desember 2024 **Diterima:** 15 April 2025 **Dipublikasi:** 28 Mei 2025

ABSTRACT

Singgalang cabbage (Brassica oleracea L.) is a local vegetable native to West Sumatra, cultivated in highlands around Mount Singgalang, Tanah Datar. Vegetables from Brassica genus are recognized for their high nutritional value and potential as functional foods. Key secondary metabolites in Brassica species, i.e., phenolic compounds and their derivatives, play a crucial role in antioxidant activity and are essential in promoting health. Light exposure, particularly ultraviolet-B (UV-B, 280-315 nm), can enhance biosynthesis of these compounds. UV-B intensity affects various process in plants including the phenylpropanoid pathway involved in secondary metabolite production. This study aimed to assess the expression of the CHALCONE SYNTHASE (CHS) gene under different UV-B intensities ($0.3\text{--}3.0\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 4 h) and examine the effects of two extreme UV-B intensities (0.3 and $3.0\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, $4\text{h}\cdot\text{d}^{-1}$) in a controlled environment for 14 days. The results showed that increasing UV-B intensity enhanced CHS expression (1.0 and $3.0\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ showed thicker bands compared to $0.3\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, with a faint band in the control). Extreme UV-B exposure reduced chlorophyll content by 35–37% compared to the control, while carotenoids remained unaffected. Anthocyanin accumulation increased under low-intensity UV-B, whereas flavonoid levels were higher under high-intensity UV-B, suggesting different functional roles. UV-B exposure also influenced stomatal number and density in leaf. This preliminary study highlights the significant role of UV-B in enhancing specific metabolites in Singgalang cabbage, supporting its potential as a functional food.

Keywords: *chalcone synthase; growth; phenylpropanoid pathway; Singgalang cabbage; ultraviolet-B.*

ABSTRAK

Lobak Singgalang (*Brassica oleracea* L.) merupakan sayuran lokal khas Sumatera Barat yang dibudidayakan di daerah dataran tinggi sekitaran Gunung Singgalang, Tanah Datar. Sayuran dari genus *Brassica* diketahui memiliki kandungan nutrisi yang tinggi dan berpotensi untuk dikembangkan sebagai *functional food*. Beberapa metabolit sekunder penting pada *Brassica* seperti fenolik dan turunannya memiliki peran sebagai antioksidan dan penting dalam dunia kesehatan. Pengayaan senyawa ini dapat dilakukan melalui perlakuan cahaya, salah satunya dengan memanfaatkan ultraviolet-B (UV-B, 280-315 nm). Intensitas UV-B diketahui dapat mempengaruhi proses fisiologis, struktur anatomis dan aktivasi biosintesis senyawa pada jalur fenilpropanoid. Penelitian ini bertujuan untuk memantau aktifitas gen *CHALCONE*

SYNTHASE (CHS) akibat perbedaan intensitas UV-B ($0,3\text{--}3,0\ \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, 4 jam), dan bagaimana efek dua intensitas UV-B ekstrem ($0,3$ dan $3,0\ \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, 4 jam. hari⁻¹) terhadap lobak Singgalang yang ditanam pada lingkungan terkontrol selama 14 hari. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa peningkatan intensitas UV-B menyebabkan peningkatan ekspresi gen CHS yang ditandai dengan peningkatan ketebalan pita hasil elektroforesis ($1,0$ dan $3,0\ \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ memiliki ketebalan pita yang lebih tebal dibandingkan $0,3\ \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, dan pita sangat tipis pada kontrol). Pemberian perlakuan UV-B ekstrem menyebabkan penurunan kandungan klorofil sebesar 35-37% lebih rendah dibandingkan kontrol, namun tidak terhadap karotenoid. Selanjutnya, akumulasi antosianin dan flavonoid sangat dipengaruhi oleh perbedaan intensitas UV-B. Akumulasi antosianin meningkat pada intensitas rendah, sebaliknya terhadap flavonoid, yang mengindikasikan perbedaan fungsi masing-masingnya. Perlakuan UV-B memperlihatkan pengaruh terhadap jumlah dan kerapatan stomata pada daun. Studi pendahuluan ini mengindikasikan bahwa UV-B berperan penting dalam pengayaan metabolit spesifik pada lobak singgalang untuk pengembangannya sebagai produk pangan fungsional.

Kata kunci: *chalcone synthase*; jalur fenilpropanoid; lobak Singgalang; pertumbuhan; ultraviolet-B.

PENDAHULUAN

Kubis (*Brassica oleracea* L.) merupakan salah satu jenis sayuran yang memiliki potensi besar dikembangkan sebagai sumber nutrisi penting saat ini. Sayuran ini diketahui mengandung antioksidan, anti-inflamasi yang berperan dalam pencegahan penyakit seperti kanker, arteri coroner, dan dilaporkan juga sebagai anti-diabetes (Rokayya *et al.*, 2013; Uuh-Narvaez and Segura-Campos, 2021). Kubis diketahui mengandung berbagai senyawa seperti glukosinolat, karotenoid, fenol, dan vitamin (Cartea *et al.*, 2011; Zhao *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2024). Lobak Singgalang merupakan kubis liar yang diperkenalkan ke daerah dataran tinggi sekitaran Gunung Singgalang, Tanah Datar, Sumatera Barat oleh pemerintah kolonial Belanda ratusan tahun lalu. Kubis ini menjadi ikon kuliner Minangkabau dan saat ini dibudidayakan karena kandungan nutrisi yang dimilikinya. Kubis ini kedepannya memiliki potensi untuk dijadikan sebagai pangan fungsional ataupun nutrasetikal (Lipoeto *et al.*, 2001; David, 2011; Mardatillah, 2020).

Pengayaan metabolit sekunder pada kubis merupakan salah satu teknik yang penting dalam meningkatkan nutrisi yang terakumulasi pada tanaman ini. Perlakuan pencahayaan berupa intensitas dan kualitas sangat penting untuk diaplikasikan dalam peningkatan metabolit sekunder tersebut. Salah satu kualitas cahaya yang penting dalam hal ini adalah ultraviolet-B (UV-B,

280–315 nm) yang memberikan respon fotomorfogenesis dan fotoproteksi pada tumbuhan (Jenkins, 2017). Jalur persepsi dan respon tumbuhan terhadap UV-B diketahui secara umum dikendalikan oleh fotoreseptor *UV RESISTANCE LOCUS 8* (UVR8). Tumbuhan menggunakan UVR8 untuk mendeteksi radiasi UV-B. UVR8 selanjutnya mempengaruhi gen-gen yang mengaktifkan biosintesis jalur fenilpropanoid terutama gen kuncinya yaitu *CHALCONE SYNTHASE* (CHS) melalui faktor transkripsi *ELONGATED HYPOCOTYL 5* (HY5) sehingga proses biosintesis fenolik dan turunannya berlangsung (Podolec *et al.*, 2021; Chen *et al.*, 2022; Widiastuti *et al.*, 2024).

Penelitian terkait penggunaan UV-B telah banyak dilakukan pada *Arabidopsis thaliana* (Brassicaceae). Penelitian oleh Brown *et al.* (2005), Favory *et al.* (2009) dan O'Hara *et al.* (2019) menggunakan paparan UV-B selama 4 jam pada intensitas mencapai $3\ \mu\text{mol.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ yang memberikan efek fotomorfogenesis dan akumulasi senyawa turunan flavonoid. Fasano *et al.* (2014) menggunakan $5\ \mu\text{mol.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ selama 2 jam. hari⁻¹ pada *Arabidopsis* untuk induksi metabolit sekunder selama 14 hari. Holl *et al.* (2019) menggunakan $1\ \mu\text{mol.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ selama 1-6 jam untuk memantau akumulasi flavonoid dan turunannya pada *Arabidopsis*. Tsurumoto *et al.* (2022), menggunakan intensitas UV-B pada kisaran $0,5\text{--}4,5$

$\mu\text{mol.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ selama 45 menit dalam mengkarakterisasi metabolomik Arabidopsis.

Berdasarkan uraian di atas, aplikasi UV-B pada lobak Singgalang dalam pengayaan metabolit sekunder penting untuk dilakukan. Selain itu, bagaimana respon fisiologis dan anatomis yang diberikan oleh lobak Singgalang penting untuk diketahui sehingga tidak terdapat efek yang mengganggu pertumbuhan untuk tujuan peningkatan akumulasi metabolit sekunder. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini diharapkan bisa menjadi dasar dalam pengembangan lobak Singgalang kedepannya sebagai pangan fungsional yang akan meningkatkan nilai jual sayuran ini dipasaran.

BAHAN DAN METODE

Penyediaan Bahan Tanaman

Pada penelitian ini, bahan tanaman yang digunakan adalah anakan (stek pucuk) lobak Singgalang varian Biaso. Tanaman diakarkan secara hidroponik sistem sumbu menggunakan rockwool yang ditempatkan pada botol yang berisi media hidroponik AB-mix sesuai dosis (Infarma Nutrition, Indonesia). Anakan diakarkan selama lebih kurang 2 minggu sebelum dipindahkan pada lingkungan terkontrol untuk perlakuan UV-B. Anakan lobak Singgalang diadaptasikan pada kondisi lingkungan perlakuan selama 2 minggu sebelum paparan UV-B diberikan. Kondisi lingkungan perlakuan adalah sebagai berikut; suhu $25 \pm 2^\circ\text{C}$, kelembaban $\geq 70\%$, intensitas cahaya ≥ 1500 Lux.

Persiapan Ruang Perlakuan UV-B

Ruang perlakuan UV-B merupakan ruang yang diatur dengan tidak mendapat paparan cahaya dari lingkungan. Ruang tidak memiliki sumber cahaya selain dari sumber cahaya pada perlakuan. Semua ruangan ditutup sehingga menjadi gelap total jika sumber cahaya dari perlakuan tidak diaktifkan. Pada ruangan tersebut, digunakan dua rak yang dilengkapi dengan cahaya putih (*fluorescent lamp*) sebagai cahaya pertumbuhan secara umum, intensitas > 1500 lux, dan cahaya putih yang dilengkapi dengan sumber cahaya UV-B (PHILIPS *narrowband* UV-B, *fluorescent*

lamp, puncak gelombang 311 nm) untuk perlakuan. Intensitas UV-B diatur dengan menggunakan paranet hitam untuk menurunkan intensitas UV-B yang di set pada $3 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Fotoperiode yang digunakan adalah 12 jam terang dan 12 jam gelap dengan suhu ruangan dipertahankan pada $25 \pm 1^\circ\text{C}$. Intensitas UV-B yang digunakan diukur menggunakan UV-meter YK-35UV (Lutron, Taiwan). Pemberian perlakuan UV-B pada pukul 10.00–14.00 dari 12 jam pencahayaan pada pukul 06.00–18.00.

Metode Penelitian

Penelitian ini dirancang dalam bentuk eksperimen. Penelitian dilaksanakan dalam dua tahapan yaitu; (1) pemantauan ekspresi gen CHS akibat perlakuan UV-B pada tanaman yang diradiasi dengan UV-B selama 4 jam dengan intensitas 0; 0,3; 1; dan $3 \mu\text{mol.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$, dan selanjutnya sampel daun dikoleksi untuk analisis ekspresi gen CHS, dan (2) observasi respon pertumbuhan akibat paparan UV-B ekstrem pada tanaman yang diradiasi dengan UV-B dengan durasi 4 jam per hari selama 14 hari pada intensitas 0; 0,3 (intensitas lebih rendah); dan $3 \mu\text{mol.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ (intensitas lebih tinggi). Tanaman yang diberi perlakuan UV-B adalah tanaman berumur 4 minggu (28 hari) setelah ditumbuhkan dari stek.

Parameter Pengamatan

Parameter yang diamati pada penelitian ini meliputi; (1) visualisasi pita ekspresi gen CHS hasil elektroforesis setelah perlakuan UV-B selama 4 jam, (2) luas daun dilakukan pengukuran secara digital menggunakan program ImageJ versi 1.51i terhadap foto daun yang telah dibuat menggunakan penggaris sebagai standar (Easlon & Bloom, 2014), (3) kandungan klorofil dan karotenoid (Witham *et al.*, 1986; Lichtenthaler, 1987), (4) kandungan antosianin (Mancinelli, 1984) dan flavonoid (DEPKES RI, 2017), dan (5) anatomi stomata yang meliputi jumlah, panjang, lebar, dan kerapatan stomata, setelah perlakuan 4 jam UV-B per hari selama 14 hari.

Tabel 1. Primer gen β -TUBULIN (TUB) dan *CHALCONE SYNTHASE* (CHS) yang digunakan pada penelitian.

Gen Target	Sequence (5'-3')		Produk (bp)
	Forward	Reverse	
TUB	AGCGAAATTCTGGGAAGTAG	AGCTCGCTTCATTGTAGTAG	116
CHS	TACTGTAGAGACAGTGGTCTT	AGGTAGGCATATAGGAAGGAA	71

Untuk analisis ekspresi gen CHS, sampel daun ke-2 dan ke-3 setelah 4 jam perlakuan UV-B dikoleksi pada tabung Eppendorf 2 mL. Sampel dipotong halus dan kemudian ditambahkan larutan stabilisasi RNA (Favorgen) yang kemudian disimpan pada suhu -70°C sampai analisis ekspresi gen dilakukan. Sampel RNA diekstrak dengan mengikuti protokol dari kit ekstraksi RNA (total RNA mini kit, plant, Geneaid). RNA selanjutnya diproses untuk sintesis cDNA menggunakan kit Toyobo ReverTra Ace qPCR. Hasil sintesis cDNA selanjutnya digunakan sebagai template PCR dengan kit PowerPol 2X PCR Mix (AbClonal) dengan primer gen CHS dan gen β -TUBULIN (TUB) sebagai gen referensi (Tabel 1). Proses amplifikasi terdiri dari: (1) pre-heating dengan suhu 95°C selama 5 menit, (2) denaturasi dengan suhu 95°C selama 30 detik, (3) annealing dengan suhu 57°C selama 30 detik, (4) elongasi dengan suhu 72°C selama 30 detik, dan (5) elongasi final dengan suhu 72°C selama 10 menit. Hasil PCR kemudian dielektroforesis menggunakan Agarose 1%. Hasil elektroforesis divisualisasikan di bawah cahaya UV.

Analisis Data

Data yang diperoleh pada penelitian ini dianalisis secara deskriptif. Data yang dianalisis disajikan dalam rata-rata tanpa atau dengan standar error. Untuk data ekspresi gen CHS, data disajikan dalam bentuk fotografi hasil elektroforesis pada gel agarose.

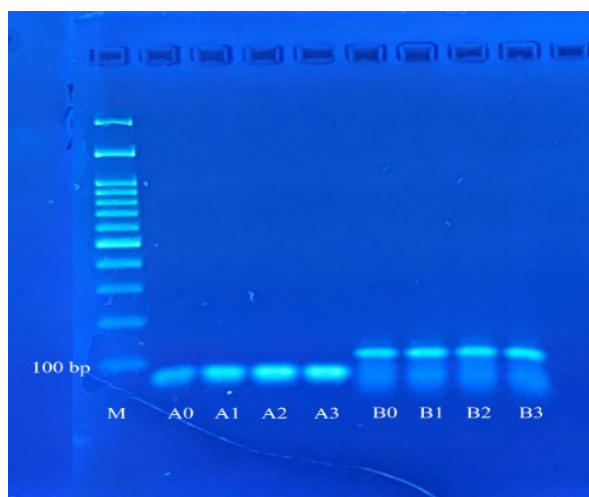
HASIL DAN PEMBAHASAN

Ekspresi Gen CHS

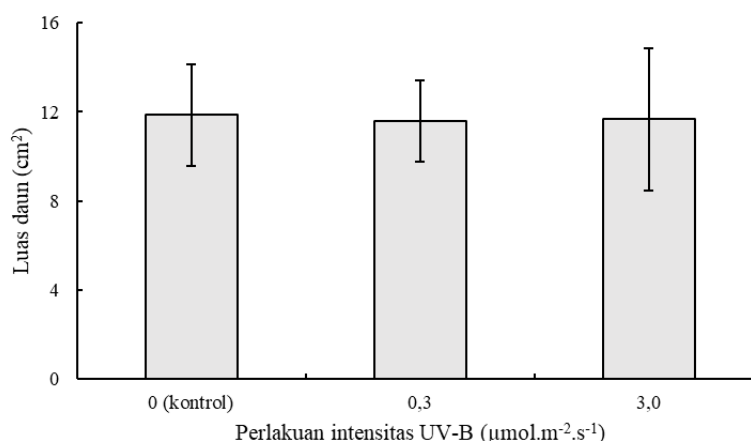
Pada Gambar 1. terlihat bahwa perlakuan UV-B selama 4 jam berpengaruh

terhadap ekspresi gen CHS. Pada gambar dapat dilihat bahwa dengan pemberian UV-B 0,3, 1,0 dan $3,0\ \mu\text{mol.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ selama 4 jam memberikan efek peningkatan ekspresi gen CHS namun sangat berbeda dengan kontrol (perbedaan ketebalan pita hasil elektroforesis). Intensitas UV-B yang berbeda menyebabkan tingkat ekspresi gen CHS yang berbeda. Pada gambar juga terlihat bahwa antara perlakuan 1,0 dan $3,0\ \mu\text{mol.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ terlihat ketebalan pita hampir sama yang mengindikasikan bahwa antara kedua perlakuan memberikan tingkat ekspresi gen yang hampir sama, berbeda dengan $0,3\ \mu\text{mol.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$. Pada kontrol terlihat bahwa ketebalan pita sangat tipis (lemah) bila dibandingkan dengan perlakuan UV-B secara umum. Sebagai pembanding, pita yang dihasilkan oleh gen referensi TUB terlihat sama untuk semua perlakuan yang mengindikasikan bahwa kondisi sampel untuk semua perlakuan adalah sama kecuali akibat perlakuan UV-B itu sendiri, dan gen referensi tidak terpengaruh oleh perlakuan.

Penelitian pada Arabidopsis menunjukkan bahwa ekspresi CHS sangat dipengaruhi oleh UV-B. Brown *et al.* (2005) dari hasil analisis ekspresi gen menggunakan data microarray mendapatkan bahwa gen CHS terekspresi pada perlakuan UV-B dengan tingkat ekspresi yang tinggi. Selain itu, Brown and Jenkins (2008) juga mendapatkan bahwa ketebalan pita terlihat hampir sama ketika dipapar UV-B di atas $1,0\ \mu\text{mol.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ dan cenderung tipis ketika paparan melebihi $3,0\ \mu\text{mol.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$. Pada jalur pensinyalan UV-B, Fotoreseptor UVR8 mengaktifkan faktor transkripsi HY5 yang diketahui berinteraksi langsung dengan gen CHS (Favory *et al.*, 2009; Tilbrook *et al.*, 2013).



Gambar 1. Ekspresi gen *CHALCONE SYNTHASE* (CHS) (label A pada gambar) pada sampel daun lobak singgalang setelah perlakuan paparan UVB selama 4 jam dengan intensitas (A0) 0, (A1) 0,3, (A2) 1,0, dan (A3) 3,0 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Ekspresi gen referensi β -TUBULIN (TUB) (label B pada gambar) disajikan sebagai pembandingan kestabilan ekspresi gen pada 4 jam paparan intensitas UV-B (B0) 0, (B1) 0,3, (B2) 1,0, dan (B3) 3,0 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.



Gambar 2. Rata-rata luas daun lobak Singgalang setelah 14 hari perlakuan dengan pemberian dua paparan UV-B ekstrem dan kontrol perlakuan (tanpa paparan UV-B). Data disajikan dalam bentuk rata-rata $\pm$ SE.

Luas Daun

Paparan UV-B tidak terlalu menurunkan luas daun tanaman setelah diberi perlakuan selama 14 hari. Rata-rata luas daun lobak Singgalang paling besar diamati pada perlakuan kontrol sebesar $11,85 \pm 2,30 \text{ cm}^2$ dan hanya selisih $0,29 \text{ cm}^2$ dengan luas daun terendah pada perlakuan $0,3 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Pada penelitian ini, daun yang diukur adalah daun ke-3 yang membuka sempurna pada setiap tanaman dan terpapar penuh oleh perlakuan UV-B. Hasil ini mengindikasikan bahwa pemberian perlakuan UV-B selama dua minggu tidak memberikan pengaruh terhadap luas daun tanaman. Hasil pengamatan luas daun disajikan pada Gambar 2.

Respon terhadap UV-B dapat bervariasi antar spesies. Efek UV-B pada luas daun sangat dipengaruhi oleh intensitas radiasi dan durasi paparan yang diterima oleh tanaman (Gadi, 2018; Jadidi *et al.*, 2023). Radziejwoski *et al.* (2011) mendapatkan bahwa penurunan luas daun yang dimediasi oleh UV-B jauh lebih kecil teramati pada *Arabidopsis*. Derebe *et al.* (2019) melaporkan bahwa luas daun tidak begitu terpengaruh oleh paparan UV-B pada tanaman *Colocasia esculenta*. Sebelumnya, Fina *et al.* (2017) juga melaporkan bahwa terjadinya penghambatan pertumbuhan daun pada tanaman jagung sebagai respon terhadap paparan UV-B yang diakibatkan oleh adanya pengurangan produksi sel pada zona pertumbuhan.

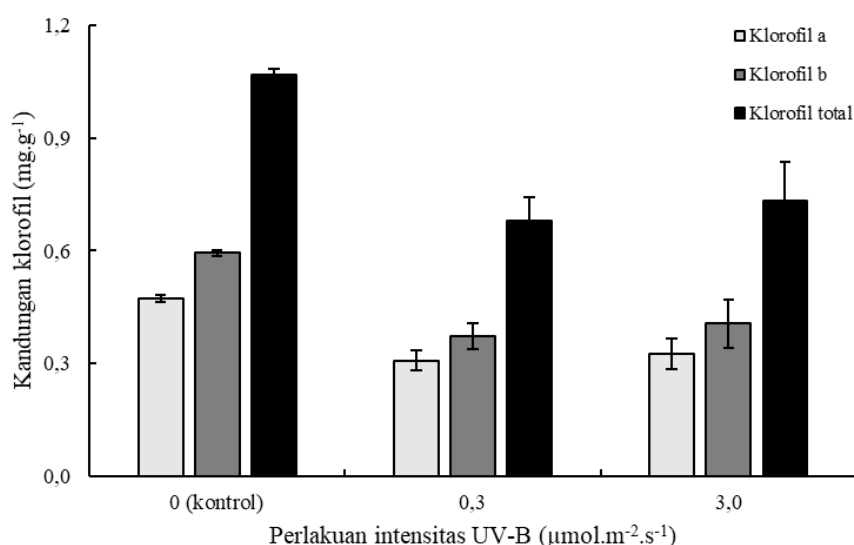
Kandungan Klorofil dan Karotenoid

Paparan UV-B memberikan pengaruh terhadap penurunan kandungan klorofil a, klorofil b, dan klorofil total setelah diberi perlakuan selama 14 hari seperti disajikan pada Gambar 3. Klorofil total pada tanaman yang tidak terpapar mempunyai rerata mencapai $1,07 \text{ mg.g}^{-1}$, namun pada tanaman yang terpapar UV-B $0,3 \text{ } \mu\text{mol.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ dan $3 \mu\text{mol.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ masing-masing sebesar $0,68$ dan $0,73 \text{ mg.g}^{-1}$. Penurunan kandungan klorofil a dan b juga teramati pada perlakuan paparan UV-B bila dibandingkan dengan kontrol perlakuan (Gambar 3). Secara umum, penurunan kandungan klorofil pada tanaman yang diberi dua paparan UV-B ekstrem adalah berkisar antara 35-37% bila dibandingkan dengan perlakuan kontrol.

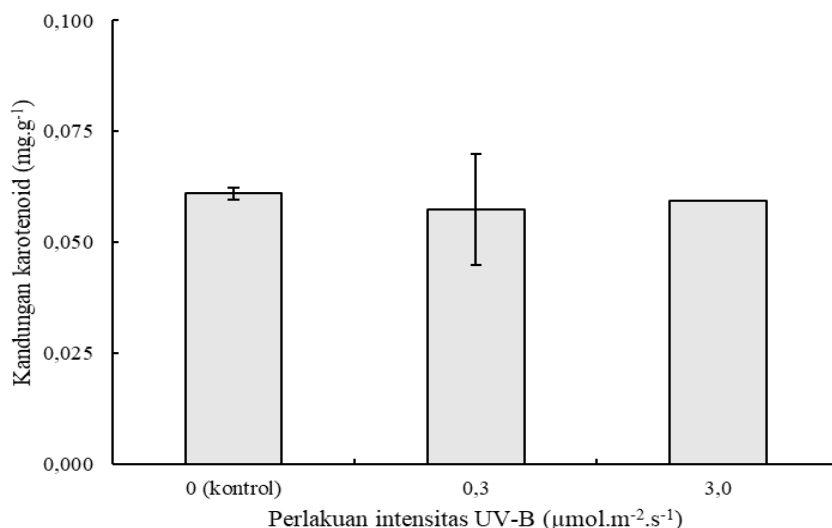
Paparan UV-B tidak memberikan pengaruh yang jelas terhadap penurunan kandungan karotenoid pada daun lobak singgalang setelah diberi perlakuan selama 14 hari (Gambar 4). Pada tanaman ini, penurunan kandungan karotenoid teramati tidak begitu jauh antara kontrol dan dengan pemberian dua paparan ekstrem UV-B. Kandungan karotenoid kontrol adalah $0,061 \text{ mg.g}^{-1}$, dimana hanya berbeda sekitar 3–6,5% dengan perlakuan paparan UV-B ($0,057 \text{ mg.g}^{-1}$ pada UV-B $0,3 \text{ } \mu\text{mol.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ dan

$0,059 \text{ mg.g}^{-1}$ pada UV-B $3 \text{ } \mu\text{mol.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$). Hasil ini mengindikasikan bahwa secara umum karotenoid relatif tidak terpengaruh pada tanaman lobak Singgalang akibat perlakuan dua paparan UV-B ekstrem.

Penurunan kandungan klorofil yang diamati pada penelitian ini juga teramati pada penelitian Tripathi *et al.* (2021). Pada penelitian tersebut didapatkan bahwa perlakuan UV-B menurunkan kandungan klorofil pada *Withania coagulans* seiring dengan meningkatnya lama paparan UV-B yang diberikan. Sebelumnya, Pandey & Pandey-Rai (2014) melaporkan bahwa pemberian paparan UV-B selama 3 jam pada tanaman *Artemisia annua* menyebabkan penurunan kandungan klorofil total dan karotenoid. Pada penelitian lainnya dilaporkan bahwa peningkatan kandungan karotenoid terjadi pada *Malva parviflora*, *Plantago major*, *Rumex vesicarius*, dan *Sisymbrium erysimoids* akibat perlakuan UV-B (Salama *et al.*, 2011). Peningkatan akumulasi karotenoid juga diamati pada tembakau akibat paparan UV-B (Shen *et al.*, 2017). Niculcar *et al.* (2023) juga melaporkan adanya peningkatan kandungan karotenoid pada *Rheum rhabarbarum* akibat perlakuan UV-B.



Gambar 3. Rata-rata kandungan klorofil daun lobak singgalang setelah 14 hari perlakuan pemberian dua paparan UV-B ekstrem dan kontrol perlakuan (tanpa paparan UV-B). Data disajikan dalam bentuk rata-rata $\pm$ SE.



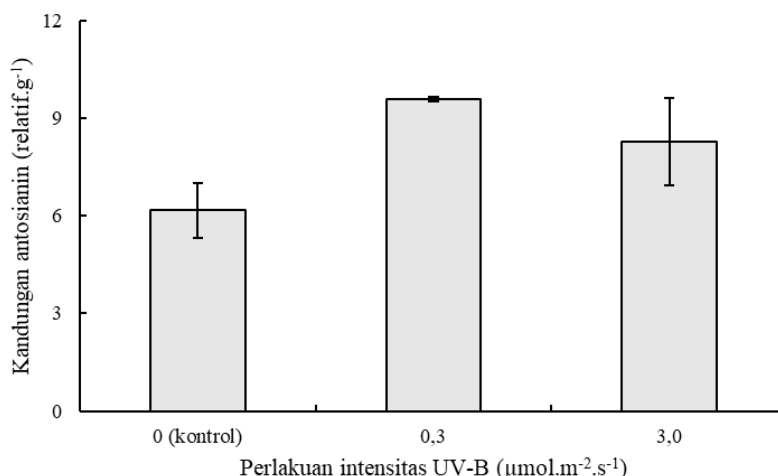
Gambar 4. Rata-rata kandungan karotenoid daun lobak Singgalang setelah 14 hari perlakuan pemberian dua paparan UV-B ekstrem dan kontrol perlakuan (tanpa paparan UV-B). Data disajikan dalam bentuk rata-rata $\pm$ SE.

Kandungan Antosianin dan Flavonoid

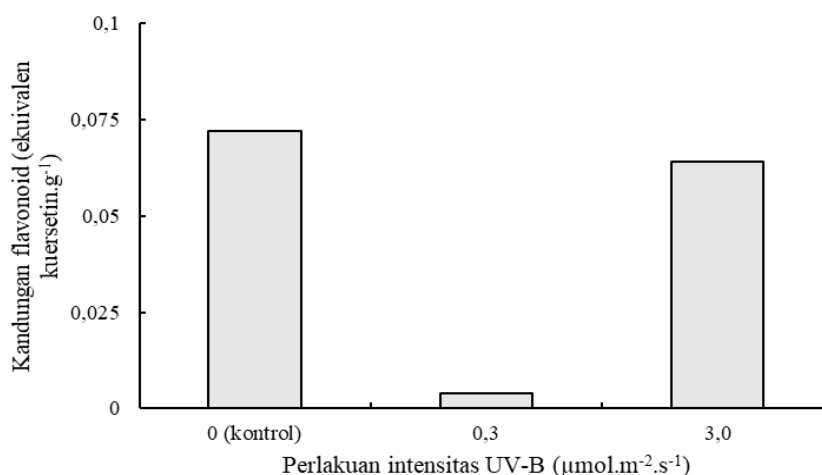
Pada Gambar 5. terlihat bahwa terjadi peningkatan kandungan antosianin pada tanaman yang diberi perlakuan paparan ekstrem UV-B bila dibandingkan dengan kontrol. Kandungan antosianin tertinggi teramati pada perlakuan UV-B $0,3 \mu\text{mol.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$, dan penurunan akumulasi antosianin terjadi dengan paparan UV-B intensitas tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa antosianin terlihat lebih berperan pada perlakuan intensitas UV-B yang lebih rendah bila dibandingkan dengan intensitas UV-B tinggi. Ferreyra *et al.* (2021) menyatakan bahwa antosianin dan flavonoid melindungi tanaman dari cekaman biotik dan abiotik, diantaranya seperti luka, infeksi hama, suhu rendah, kekeringan, dan radiasi UV-B. Zhang *et al.* (2022) mendapatkan bahwa perlakuan UV-B dengan intensitas rendah dapat meningkatkan akumulasi antosianin dengan meningkatkan ekspresi gen struktural untuk biosintesis antosianin. Namun, ketika peningkatan intensitas UV-B diberikan, ekspresi gen struktural yang mengatur biosintesis antosianin menurun. Penelitian sebelumnya juga mengindikasikan bahwa kandungan antosianin meningkat dengan

perlakuan UV-B pada sorgum dan padi (Shi *et al.*, 2016; Idris *et al.*, 2021).

Perbedaan mencolok teramati pada akumulasi flavonoid total akibat perlakuan ekstrem UV-B pada lobak Singgalang (Gambar 6). Pada Gambar 6 terlihat bahwa pemberian paparan UV-B menurunkan secara drastis akumulasi flavonoid pada intensitas UV-B yang rendah, namun akumulasinya setara antara perlakuan paparan UV-B tinggi dengan kontrol. Secara umum, radiasi UV-B meningkatkan akumulasi metabolit sekunder terutama antosianin dan flavonoid, jalur fenilpropanoid, yang berinteraksi langsung dengan jalur pensinyalan UV-B. Perbedaan akumulasi antara antosianin dan flavonoid diperkirakan berkaitan dengan perbedaan fungsi yang ada diantara kedua senyawa tersebut. Flavonoid diketahui lebih berperan dalam proteksi tanaman pada intensitas UV-B tinggi (Martínez-Silvestre *et al.*, 2022; Jadidi *et al.*, 2023; Li *et al.*, 2023; Trush *et al.*, 2023; Liu *et al.*, 2024). Respon genus Brassica terhadap paparan UV-B secara umum adalah peningkatan akumulasi flavonoid dan glukosinolat (Aiamla-or *et al.*, 2009; Mewis *et al.*, 2012; Begum *et al.*, 2021; Hao *et al.*, 2022).



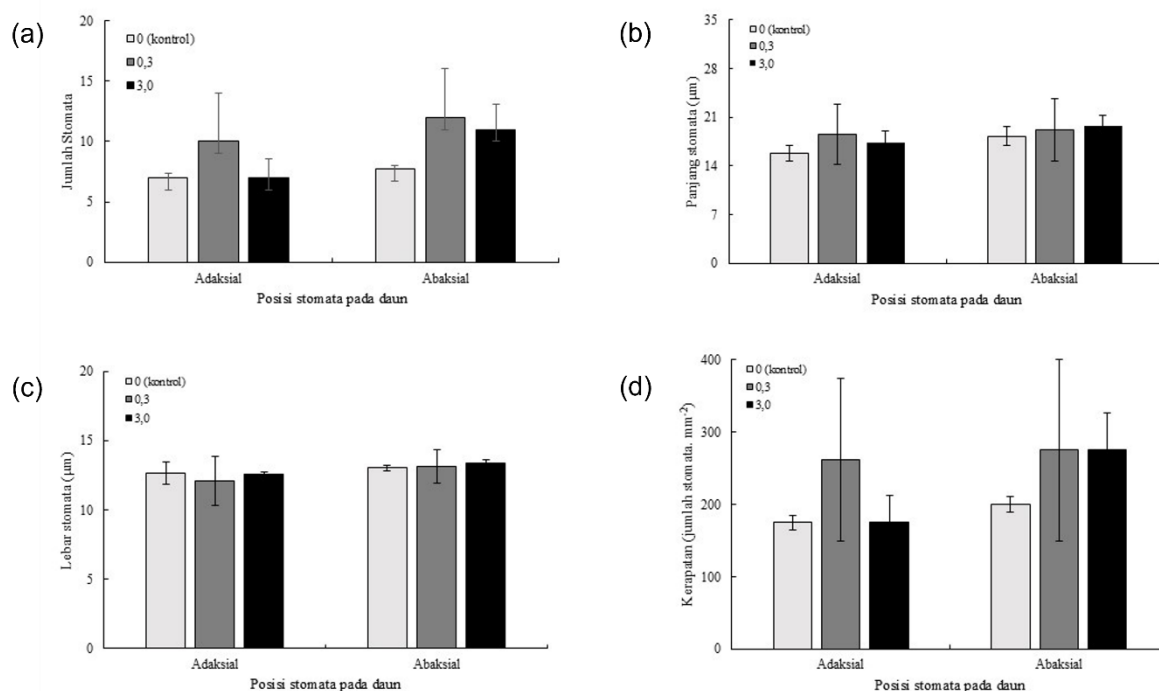
Gambar 5. Rata-rata kandungan antosianin pada daun lobak singgalang setelah 14 hari perlakuan pemberian dua paparan UV-B ekstrem dan kontrol perlakuan (tanpa paparan UV-B). Data disajikan dalam bentuk rata-rata $\pm$ SE.



Gambar 6. Kandungan flavonoid daun lobak singgalang setelah 14 hari perlakuan pemberian dua paparan UV-B ekstrem dan kontrol perlakuan.

Pada tanaman yang mengakumulasi antosianin lebih dominan, akumulasi antosianin meningkat seiring dengan peningkatan paparan UV-B seperti terlihat pada tanaman teh “*dark-purple tea*” (Li *et al.*, 2020) dan padi japonica varietas Murasaki “*purple-rice*” (Idris *et al.*, 2021) dimana antosianin merupakan produk akhir dari jalur fenilpropanoid. Pada tanaman *Ginkgo biloba* yang tidak mengakumulasi antosianin, biosintesis flavonoid lebih dipacu ketika dilakukan pengukuran pada populasi tanaman yang tumbuh pada altitude yang lebih tinggi, yang mengindikasikan adanya

kenaikan intensitas UV-B (Liu *et al.*, 2023). Hal serupa juga diamati pada tanaman *Carthamus tinctorius* (Yufei *et al.*, 2024). Agati *et al.* (2025) menyatakan bahwa senyawa yang diturunkan dari jalurfenilpropanoid banyak terlibat sebagai fotoproteksi terutama terhadap intensitas paparan UV-B yang telah berevolusi sejak munculnya tumbuhan dipermukaan bumi. Perbedaan fungsi antara antosianin dan flavonoid menjadi dasar adanya perbedaan akumulasi akibat perbedaan intensitas UV-B yang diterima tanaman.



Gambar 7. Data pengukuran stomata daun lobak Singgalang setelah setelah 14 hari perlakuan pemberian dua paparan UV-B ekstrem ($\mu\text{mol.m}^{-1}\text{s}^{-1}$) dan kontrol perlakuan (tanpa paparan UV-B). Pengamatan komponen stomata meliputi (a) jumlah stomata, (b) panjang stomata, (c) lebar stomata dan (d) kerapatan stomata. Data disajikan dalam bentuk rata-rata $\pm$ SE.

Anatomi Stomata

Berdasarkan data yang disajikan pada Gambar 7., terlihat bahwa perlakuan UV-B berpengaruh terhadap jumlah stomata (Gambar 7a) dan kerapatan stomata (Gambar 7d) pada bagian abaksial dan adaksial daun setelah diberi perlakuan selama 14 hari. Pada Gambar 7b terlihat bahwa perlakuan UV-B $0,3 \mu\text{mol.m}^{-1}\text{s}^{-1}$ dan $3 \mu\text{mol.m}^{-1}\text{s}^{-1}$ memberikan sedikit pengaruh terhadap panjang stomata dan tidak ada efek terhadap lebar stomata (Gambar 7c).

Kerapatan stomata meningkat pada sisi atas seiring dengan meningkatnya intensitas radiasi UV-B, begitu pula pada sisi bawah. Meningkatnya kerapatan stomata disebabkan oleh meningkatnya jumlah stomata per luas bidang pandang. Hal ini mengindikasikan adanya efek paparan langsung dan tidak langsung dari UV-B seperti yang dijelaskan oleh Nogues *et al.* (1999). Peningkatan kerapatan stomata akibat paparan UV-B terutama terkait dengan respons adaptif tanaman terhadap stresor lingkungan. Penelitian menunjukkan bahwa sementara radiasi UV-B menurunkan konduktansi dan bukaan stomata, secara bersamaan mendorong peningkatan

kerapatan stomata sebagai mekanisme kompensasi untuk meningkatkan efisiensi pertukaran gas dalam kondisi tercekam. Adaptasi ini dapat membantu mengurangi kehilangan air selama periode kekeringan, karena penutupan stomata yang disebabkan oleh UV-B dapat mengurangi laju transpirasi (Alexander *et al.*, 2024). secara umum efek paparan UV terhadap daun menurunkan konduktansi stomata, ukuran dan bukaan stomata, meskipun terjadi peningkatan kerapatan stomata (Ac *et al.*, 2024).

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa; (a) paparan UV-B selama 4 jam mampu meningkatkan ekspresi gen CHS yang ditandai dengan peningkatan ketebalan pita hasil elektroforesis seiring dengan peningkatan intensitas UV-B, (b) secara fisiologis, penggunaan dua paparan UV-B ekstrem menyebabkan penurunan kadar klorofil pada lobak Singgalang dengan kisaran 35–37% lebih rendah bila dibandingkan dengan kontrol, peningkatan

kandungan antosianin lebih tinggi pada intensitas UV-B rendah dan kandungan flavonoid lebih tinggi pada intensitas UV-B tinggi, dan (c) secara anatomis, dua perlakuan UV-B ekstrem menyebabkan peningkatan jumlah dan kerapatan stomata dengan sedikit efek pada panjang stomata.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Andalas melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) yang telah membiayai penelitian ini dengan nomor kontrak: 191/UN16.19/PT.01.03/PSS/2024 melalui skema penelitian skripsi sarjana (PSS) batch 1, tahun anggaran 2024. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Dr. Zozy Aneloi Noli, Suwirman, M.S., dan Dr. Solfiyeni atas komentar dan masukan yang membangun selama penelitian dan penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ac, A., Jansen, M.A.K., Grace, J. & Urban, O. 2024. Unravelling the neglected role of ultraviolet radiation on stomata: A meta-analysis with implications for modelling ecosystem–climate interactions. *Plant, Cell & Environment*. 47: 1769-1781.
- Agati, G., Brunetti, C., dos Santos Nascimento, L.B., Gori, A., Piccolo, E.L. & Tattini, M. 2025. Antioxidants by nature: an ancient feature at the heart of flavonoids' multifunctionality. *New Phytologist*. 245: 11-26.
- Aiamla-or, S., Yamauchi, N., Takino, S., & Shigyo, M., 2009. Effect of UV-A and UV-B irradiation on broccoli (*Brassica oleracea* L. Italica Group) floret yellowing during storage. *Postharvest Biology and Technology*. 54: 177–179.
- Alexander, A., Jansen, M.A.K., Grace, J., & Urban, O., 2024. Unravelling the neglected role of ultraviolet radiation on stomata: A meta-analysis with implications for modelling ecosystem–climate interactions. *Plant, Cell and Environment*. 47: 1769–1781.
- Begum, H.A., Hamayun, M., Shad, N., Khan, W., Ahmad, J., Khan, M.E.H., Jones, D.A., & Ali, K., 2021. Effects of UV radiation on germination, growth, chlorophyll content, and fresh and dry weights of *Brassica rapa* L. and *Eruca sativa* L. *Sarhad Journal of Agriculture*. 37: 1016–1024.
- Brown, B.A., Cloix, C., Jiang, G.H., Kaiserli, E., Herzyk, P., Kliebenstein, D.J., & Jenkins, G. I., 2005. A UV-B-specific signaling component orchestrates plant UV protection. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 102: 18225–18230.
- Brown, B.A., & Jenkins, G.I., 2008. UV-B signaling pathways with different fluence-rate response profiles are distinguished in mature arabidopsis leaf tissue by requirement for UVR8, HY5, and HYH. *Plant Physiology*. 146: 576–588.
- Cartea, M.E., Francisco, M., Soengas, P., & Velasco, P., 2011. Phenolic compounds in Brassica vegetables. *Molecules*. 16: 251–280.
- Chen, Z., Dong, Y., & Huang, X. 2022. Plant responses to UV-B radiation: Signaling, acclimation and stress tolerance. *Stress Biology*. 2: 51. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44154-022-00076-9>.
- David, W. 2011. *Local Food Security and Principle of Organic Farming (from Farm to Fork) in Context of Food Culture in Indonesia: Minangkabau's Case Study*. Doctoral Dissertation the University of Kassel, Germany.
- DEPKES RI. 2017. *Farmakope Herbal Indonesia Edisi II*. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Jakarta.
- Derebe, A.D., Gobena Roro, A., Tessfaye Asfaw, B., Worku Ayele, W., & Hvoslef-Eide, A.K., 2019. Effects of solar UV-B radiation exclusion on physiology, growth and yields of taro (*Colocasia esculenta* (L.)) at different altitudes in tropical environments of Southern Ethiopia. *Scientia Horticulturae*. 256: 108563. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108563>.

- Easlon, H.M., & Bloom, A.J., 2014. Easy leaf area: Automated digital image analysis for rapid and accurate measurement of leaf area. *Applications in Plant Sciences*. 2: 1400033. DOI: <https://doi.org/10.3732/apps.1400033>.
- Fasano, R., Gonzalez, N., Tosco, A., Piaz, F.D., Docimo, T., Serrano, R., Grillo, S., Leone, A., & Inze, D., 2014. Role of Arabidopsis UV RESISTANCE LOCUS 8 in plant growth reduction under osmotic stress and low levels of UV-B. *Molecular Plant*. 7: 773–791.
- Favory, J.J., Stec, A., Gruber, H., Rizzini, L., Oravec, A., Funk, M., Albert, A., Cloix, C., Jenkins, G.I., Oakeley, E.J., Seidlitz, H.K., Nagy, F., & Ulm, R., 2009. Interaction of COP1 and UVR8 regulates UV-B-induced photomorphogenesis and stress acclimation in Arabidopsis. *EMBO Journal*. 28: 591–601.
- Ferreira, M.L.F., Serra, P., & Casati, P., 2021. Recent advances on the roles of flavonoids as plant protective molecules after UV and high light exposure. *Physiologia Plantarum*. 173: 736–749.
- Fina, J., Casadevall, R., Elgawad, H., Prinsen, E., Markakis, M.N., Beemster, G.T.S., & Casati, P., 2017. UV-B inhibits leaf growth through changes in growth regulating factors and gibberellin levels. *Plant Physiology*. 174: 1110–1126.
- Gadi, B.R., 2018. Effect of UV-B radiation on plants. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*. 4: 255–260.
- Hao, J., Lou, P., Han, Y., Zheng, L., Lu, J., Chen, Z., Ni, J., Yang, Y., & Xu, M., 2022. Ultraviolet-B irradiation increases antioxidant capacity of pakchoi (*Brassica rapa* L.) by inducing flavonoid biosynthesis. *Plants*. 11: 766. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11060766>
- Holl, J., Lindner, S., Walter, H., Joshi, D., Poschet, G., Pfleger, S., Ziegler, Hell, R., T., Bogs, J., & Rausch, T., 2019. Impact of pulsed UV-B stress exposure on plant performance: How recovery periods stimulate secondary metabolism while reducing adaptive growth attenuation. *Plant, Cell & Environment*. 42: 801–814.
- Idris, M., Seo, N., Jiang, L., Kiyota, S., Hidema, J., & Iino, M., 2021. UV-B signalling in rice: Response identification, gene expression profiling and mutant isolation. *Plant, Cell & Environment*. 44: 1468–1485.
- Jadidi, M., Mumivand, H., Nia, A.E., Shayganfar, A., & Maggi, F., 2023. UV-A and UV-B combined with photosynthetically active radiation change plant growth, antioxidant capacity and essential oil composition of *Pelargonium graveolens*. *BMC Plant Biology*. 23: 555. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04556-6>.
- Jenkins, G.I., 2017. Photomorphogenic responses to ultraviolet-B light. *Plant, Cell & Environment*. 40: 2544–2557.
- Li, W., Tan, L., Zou, Y., Tan, X., Huang, J., Chen, W. & Tang, Q. 2020. The effects of ultraviolet A/B treatments on anthocyanin accumulation and gene expression in dark-purple tea cultivar 'Ziyan' (*Camellia sinensis*). *Molecules*. 25: 352. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/molecules25020354>.
- Li, X., Ren, Q., Zhao, W., Liao, C., Wang, Q., Ding, T., Hu, H., & Wang, M., 2023. Interaction between UV-B and plant anthocyanins. *Functional Plant Biology*. 50: 599–611.
- Lichtenthaler, H., 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*. 148C: 350–382.
- Lipoeto, N.I., Agus, Z., Oenzil, F., Masrul, M., Wattanapenpaiboon, N., & Wahlqvist, M.L., 2001. Contemporary Minangkabau food culture in West Sumatra, Indonesia. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*. 10: 10–16.
- Liu, S., Gu, X., Jiang, Y., Wang, L., Xiao, N., Chen, Y., Jin, B., Wang, L. & Li, W. 2023. UV-B promotes flavonoid biosynthesis in *Ginkgo biloba* by

- inducing the GbHY5-GbMYB1-GbFLS module. *Horticulture Research*. 10: uhad118. DOI: <https://doi.org/10.1093/hr/uhad118>.
- Liu, X., Xie, Z., Xin, J., Yuan, S., Liu, S., Sun, Y., Zhang, Y., & Jin, C., 2024. OsbZIP18 is a positive regulator of phenylpropanoid and flavonoid biosynthesis under UV-B radiation in rice. *Plants*. 13: 498. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13040498>.
- Mancinelli, A.L., 1984. Photoregulation of anthocyanin synthesis' VIII. Effect of light pretreatments. *Plant Physiology*. 75: 447-453.
- Mardatillah, A. 2020. The enterprise culture heritage of Minangkabau cuisine, West Sumatra of Indonesia as a source of sustainable competitive advantage. *Journal of Ethnic Foods*. 7: 34. DOI: <https://doi.org/10.1186/s42779-020-00059-z>.
- Martínez-Silvestre, K.E., Santiz-Gómez, J.A., Luján-Hidalgo, M.C., Ruiz-Lau, N., Sánchez-Roque, Y., & Gutiérrez-Miceli, F.A., 2022. Effect of UV-B radiation on flavonoids and phenols accumulation in tempisque (*Sideroxylon capiri* Pittier) callus. *Plants*. 11: 473. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11040473>
- Mewis, I., Schreiner, M., Nguyen, C.N., Krumbein, A., Ulrichs, C., Lohse, M., & Zrenner, R., 2012. UV-B irradiation changes specifically the secondary metabolite profile in broccoli sprouts: Induced signaling overlaps with defense response to biotic stressors. *Plant and Cell Physiology*. 53: 1546–1560.
- Niculcar, R., Fajardo, V., & Cuadra, P., 2023. Effects of UV-B radiation on the morphology, UV-B absorbing compounds and photosynthetic pigment content of *Plantago lanceolata* and *Rheum rhabarbarum*. *Gayana Botanica*. 80: 38-48.
- Nogues, S., Allen, D.J., Morison, J.I.L., & Baker, N. R. 1999. Characterization of stomatal closure caused by ultraviolet-B radiation. *Plant Physiology*. 121: 489–496.
- O'Hara, A., Headland, L.R., Díaz-Ramos, L.A., Morales, L.O., Strid, Å., & Jenkins, G.I., 2019. Regulation of Arabidopsis gene expression by low fluence rate UV-B independently of UVR8 and stress signaling. *Photochemical and Photobiological Sciences*. 18: 1675–1684.
- Pandey, N., & Pandey-Rai, S., 2014. Modulations of physiological responses and possible involvement of defense-related secondary metabolites in acclimation of *Artemisia annua* L. against short-term UV-B radiation. *Planta*. 240: 611–627.
- Podolec, R., Demarsy, E., & Ulm, R., 2021. Perception and signaling of ultraviolet-B radiation in plants. *Annual Review of Plant Biology*. 72: 793-822.
- Radziejewski, A., Vlieghe, K., Lammens, T., Berckmans, B., Maes, S., Jansen, M.A.K., Knappe, C., Albert, A., Seidlitz, H.K., Bahnweg, G., Inzé, D., & De Veylder, L., 2011. Atypical E2F activity coordinates PHR1 photolyase gene transcription with endoreduplication onset. *EMBO Journal*. 30: 355–363.
- Rokayya, S., Li, C.J., Zhao, Y., Li, Y., & Sun, C.H., 2013. Cabbage (*Brassica oleracea* L.) phytochemicals with antioxidant and anti-inflammatory potential. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*. 14: 6657–6662.
- Salama, H.M.H., Al Watban, A.A., & Al-Fughom, A.T., 2011. Effect of ultraviolet radiation on chlorophyll, carotenoid, protein and proline contents of some annual desert plants. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 18: 79–86.
- Shen, J., Jiang, C.Q., Yan, Y.F., Liu, B.R., & Zu, C.L., 2017. Effect of increased UV-B radiation on carotenoid accumulation and total antioxidant capacity in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) leaves. *Genetics and Molecular Research*. 16: gmr16018438. DOI: <http://dx.doi.org/10.4238/gmr16018438>

- Shi, X.X., Li, Z.T., Yang, K.J., Zhao, C.J., Yang, R.B., Yu, G.B., Huang, S.G., Xu, J.Y., He, L., Zhao, Y., Xu, Y.M., Ma, L.T., & Fan, B.W., 2016. Effects of enhanced ultraviolet B irradiation on photosynthetic and antioxidant system of sorghum seedlings. *Spectroscopy and Spectral Analysis*. 36: 1389-1395.
- Tilbrook, K., Arongaus, A.B., Binkert, M., Heijde, M., Yin, R., & Ulm, R., 2013. The UVR8 UV-B photoreceptor: Perception, signaling and response. *The Arabidopsis Book*, 11: 164. DOI: <https://doi.org/10.1199/tab.0164>.
- Tripathi, D., Meena, R.P., & Pandey-Rai, S., 2021. Short term UV-B radiation mediated modulation of physiological traits and withanolides production in *Withania coagulans* (L.) Dunal under in-vitro condition. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 27: 1823–1835.
- Trush, K., Handzusova, N., & Palove-Balang, P., 2023. Changes in isoflavonoid and flavonoid content in soybean leaves affected by UV-B or copper. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)*. 69: 140–148.
- Tsurumoto, T., Fujikawa, Y., Onoda, Y., Ochi, Y., Ohta, D., & Okazawa, A., 2022. Transcriptome and metabolome analyses revealed that narrowband 280 and 310 nm UV-B induce distinctive responses in Arabidopsis. *Scientific Reports*. 12: 4319. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08331-9>.
- Uuh-Narvaez, J.J., & Segura-Campos, M.R., 2021. Cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*): A food with functional properties aimed to type 2 diabetes prevention and management.
- Witham, F.H., Blaydes, D.F., & Devlin, R.M. 1986. *Exercises in Plant Pphysiology Second Edition*. Prindle, Weber and Schmidt. Boston.
- Widiastuti, A., Sawitri, W.D., Idris, M., Handayani, V.D.S., Winona, B., Silalahi, C.M., Matra, D.D., Doni, F., & Setiyadi, A.H., 2024. Unraveling the potential UV-B induced gene expression of the primary and secondary metabolisms against environmental stress in shallot. *Reviews in Agricultural Science*. 12: 111–127.
- Yufei, W., Ahmad, N., Jiaxin, C., Lili, Y., Yuying, H., Nan, W., Min, Z., Libo, J., Na, Y. & Xiuming, L. 2024. CtDREB52 transcription factor regulates UV-B-induced flavonoid biosynthesis by transactivating CtMYB and CtF3'H in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Plant Stress*. 11: 100384. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100384>.
- Zhang, F., Huang, J., Guo, H., Yang, C., Li, Y., Shen, S., Zhan, C., Qu, L., & Wang, S., 2022. OsRLCK160 contributes to flavonoid accumulation and UV-B tolerance by regulating OsbZIP48 in rice. *Science China Life Sciences*. 65: 1380–1394.
- Zhang, X., Jia, Q., Jia, X., Li, J., Sun, X., Min, L., Liu, Z., Ma, W., & Zhao, J., 2024. Brassica Vegetables - An Undervalued Nutritional Goldmine. *Horticulture Research*. uhae302 (early view). DOI: <https://doi.org/10.1093/hr/uhae302>.
- Zhao, Y., Yue, Z., Zhong, X., Lei, J., Tao, P., dan Li, B. 2020. Distribution of primary and secondary metabolites among the leaf layers of headed cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*). *Food Chemistry*. 312: 126028. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126028>.