

**PENGARUH PENINGKATAN SUHU PADA FASE PEMBENTUKAN UMBI TANAMAN
KENTANG (*Solanum tuberosum*) CV. GRANOLA**

**THE EFFECT OF INCREASING TEMPERATURE ON TUBER INDUCTION PHASE POTATO
(*Solanum tuberosum*) CV. GRANOLA**

Carla Frieda Pantouw, Betalini Widhi Hapsari, Bernadetta Rina Hastilestari*

Pusat Riset Rekayasa Genetika, Organisasi Riset Hayati dan Lingkungan, Badan Riset dan
Inovasi Nasional (BRIN)
Raya Jakarta-Bogor Km 46, Cibinong, Bogor, Jawa Barat 16912

*Korespondensi : bern003@brin.goid

Diterima : 22 Mei 2022 / Disetujui : 27 Juli 2022

ABSTRAK

Kentang (*Solanum tuberosum*) merupakan salah satu bahan makanan yang penting di dunia. Budidaya komoditas ini umumnya berada di dataran tinggi dengan suhu yang rendah. Jumlah lahan pertanian di dataran tinggi semakin kecil disebabkan antara lain karena alih fungsi lahan. Penanaman kentang di dataran yang lebih rendah menjadi kendala karena adanya peningkatan suhu. Penelitian ini dirancang untuk mengetahui pengaruh ketinggian tempat dan perubahan suhu terhadap tanaman kentang pada fase pembentukan umbi. Tanaman kontrol ditanam pada ketinggian 2921 meter di atas permukaan laut (m dpl) dengan suhu siang/malam (19°C/12°C). Setelah fase pembentukan umbi, sebagian tanaman dipindah ke daerah dengan ketinggian 115 m dpl dengan suhu siang/malam (30°C/24°C). Perubahan ketinggian tempat dengan suhu yang berbeda mengakibatkan *shade avoidance*, perubahan akumulasi biomasa pada batang tanaman dan penurunan hasil panen. Hal ini disebabkan karena penurunan hasil fotosintesa, sukrosa, serta kadar klorofil yang disebabkan oleh faktor genetik dan metabolisme enzim. Oleh karena untuk mendukung permintaan komoditas kentang yang semakin meningkat, pemuliaan tanaman kentang tahan terhadap cekaman suhu diperlukan untuk memperluas area penanaman kentang di dataran menengah maupun dataran rendah.

Kata kunci: dataran tinggi, kentang, *Solanum tuberosum*, produktivitas

ABSTRACT

Potato (*Solanum tuberosum*) is one of the important staple foods in the world. This plant is mostly cultivated in high-altitude regions with low temperatures. As the number of lands for potato cultivation is getting smaller due to land conversion. Potato cultivation in low-altitude regions with high temperatures yields low productivity. This study was designed to determine the effect of altitude and temperature changes on potato plants in the tuber formation phase. Control plants were planted in an area with an altitude of 2921 meters above sea level (m asl), with day/night temperatures (19°C/12°C). After the tuber formation phase, some plants were

ISSN : 2407-7933

147

Cite this as: Pantouw, C.F., Hapsari, B.W. & Hastilestari, B.R. (2022). Pengaruh peningkatan suhu pada fase pembentukan umbi tanaman kentang (*Solanum tuberosum*) cv. Granola. *Jurnal Agro*, 9(1), 147-161. <https://doi.org/10.15575/18117>

transferred to areas with an altitude of 115 m above sea level and day/night temperatures (30°C/24°C). Change in altitude with different temperatures resulted in shade avoidance, changes in the accumulation of biomass on plant stems, and yield reduction. This is due to decreasing sucrose content as photosynthesis assimilates, and chlorophyll content due to genetic factors and enzyme metabolism. Therefore, to support the increasing demand for potato commodities, breeding potato plants resistant to heat stress is needed to expand the potato planting area in middle or low altitudes.

Keywords: high altitude, potato, *Solanum tuberosum*, productivity

PENDAHULUAN

Kentang (*Solanum tuberosum*) merupakan salah satu tanaman hortikultura yang penting. Umbi dari tanaman ini merupakan sumber makanan yang kaya akan pati, rendah lemak tetapi mengandung sejumlah besar vitamin dan mineral yang berguna bagi kesehatan manusia (Van Harselaar *et al.*, 2017). Konsumsi dan produksi kentang telah meningkat di negara berkembang selama beberapa dekade terakhir dan pertumbuhan ini telah melebihi tanaman pangan utama (Furrer *et al.*, 2018; Ludewig & Sonnewald, 2016).

Di Indonesia, permintaan terhadap komoditas kentang terus meningkat seiring dengan berubahnya pola makan modern di dalam masyarakat. Selain itu, tanaman ini mendapat prioritas untuk dibudidayakan karena memiliki potensi ekspor (Dirjen Hortikultura, 2018). Komoditas kentang masuk dalam lima komoditas utama dalam ekspor kelompok sayuran semusim, setelah bawang merah, jamur, kubis, dan cabai besar. Nilai ekspor pada tahun 2018 sektor hortikultura sayuran meningkat sebesar 4,8 % (Badan Pusat Statistik, 2019).

Budidaya tanaman kentang umumnya terdapat di daerah pegunungan atau dataran tinggi. Hal ini karena tanaman kentang berasal dari daerah Andes di Peru dengan ketinggian tempat sekitar 4000 m di atas permukaan laut (m dpl), dimana

daerah tersebut merupakan dataran tinggi dengan temperatur sekitar 18°C (Condori *et al.*, 2014). Tanaman kentang dari daerah ini adalah tanaman diploid dan dikenal dengan nama varietas Andean (Hardigan *et al.*, 2017). Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan, kentang dibawa keluar area Andes, diseleksi dan disilangkan supaya dapat beradaptasi di luar daerah Andes dan mempunyai hasil serta kualitas yang diharapkan (Haltermann *et al.*, 2016). Tanaman kentang ini bisa disebut kentang modern yang umumnya merupakan tanaman tetraploid, mampu beradaptasi pada suhu optimum antara 14 sampai 22 °C (Birch *et al.*, 2012; Kloosterman *et al.*, 2013).

Tanaman kentang biasanya ditanam dari umbi. Perkembangan tanaman kentang yang berasal dari umbi dapat dibagi menjadi 5 tahapan. Tahap 1 adalah fase pertumbuhan tunas yang lamanya 15-20 hari, tahap 2 merupakan fase pertumbuhan vegetatif dan pembentukan stolon (15-20 hari), tahap 3 merupakan fase pembentukan umbi (15-20 hari), tahap 4 (45 - 55 hari) merupakan fase pengisian umbi dan tahap 5 (20-25 hari) merupakan tahap terakhir pematangan (Obidiegwu *et al.*, 2015).

Pada tahap 1, umbi mulai bertunas setelah masa dormansi berakhir. Hal ini dipengaruhi oleh suhu lingkungan, makin tinggi suhu lingkungan semakin cepat umbi

tanaman kentang bertunas (Heltoft *et al.*, 2017; Sonnewald & Sonnewald, 2014). Pada tahap 3, stolon telah terbentuk dan terjadi perubahan ujung stolon, dimana terjadi perubahan system transport asimilasi dari apoplastik ke simplastik (Li *et al.*, 2016; Ludewig & Flügge, 2013). Bersamaan dengan hal ini, terjadi perubahan penurunan aktivitas enzim invertase ke aktivitas Sucrose Synthase (*SuSy*) (Sonnewald & Kossmann, 2013). Aktivitas enzim *SuSy* semakin tinggi karena perkembangan umbi (Bahaji *et al.*, 2014). Proses pembentukan umbi ini dipengaruhi oleh parameter lingkungan seperti suhu lingkungan dan panjangnya hari (Kloosterman *et al.*, 2013). Parameter tersebut mempengaruhi ekspresi gen seperti *StSP6A* dan hormon seperti giberelin, auksin dan sitokinin (Lehretz *et al.*, 2019). Ekspresi gen *StSP6A*, gen yang menginisiasi pembentukan umbi, telah dilaporkan menurun apabila suhu lingkungan 27 °C (Hastilestari *et al.*, 2018), 30 °C (Hacock *et al.*, 2014). Tahap berikutnya adalah tahap pengisian umbi dimana umbi kentang akan semakin besar sedangkan pertumbuhan vegetatif mulai menurun (Saidi & Hajibarat, 2021). Kemudian diikuti oleh tahap berikutnya yaitu tahap pematangan umbi dimana daun mulai mengering dan terjadi penebalan kulit umbi dan diikuti oleh dormansi (Sonnewald & Sonnewald, 2014).

Meskipun telah banyak penelitian mengenai pengaruh cekaman panas terhadap tanaman kentang, akan tetapi informasi mengenai cekaman panas pada tahap terpenting yang mempengaruhi hasil panen, yaitu tahap pembentukan umbi, belum banyak diketahui. Oleh karena itu cekaman panas pada tanaman kentang pada fase pembentukan umbi akan

dianalisa dengan mengambil lokasi di sentra produksi kentang.

Salah satu sentra produksi kentang di Indonesia adalah Dieng dengan ketinggian lebih dari 1000 m dpl dengan rata-rata suhu sekitar 20°C, selain beberapa tempat di Jawa Timur, Jawa Barat, Sumatera Utara dan Sulawesi Utara, yang menyumbang 83,58 % dari total produksi. Kebanyakan dari kultivar yang digunakan adalah granola, yang termasuk golongan kentang kuning. Kultivar ini dapat dibudidayakan di daerah dengan ketinggian diatas 1000 m dpl dengan suhu rata-rata sekitar 20°C. Dengan berkembangnya pariwisata di daerah tinggi, khususnya Dieng, dan jumlah penduduk yang semakin meningkat, beberapa lahan pertanian dialih-fungsikan. Oleh karena itu perlu dicoba daerah lain, yang terletak di dataran rendah. Salah satu permasalahan apabila tanaman kentang dibudidayakan di dataran rendah adalah temperatur yang tinggi dengan suhu rata-rata sekitar 30°C.

Apabila tanaman kentang ditanam diatas suhu optimum, maka hasil panen akan berkurang (Rykaczewska, 2017; Lehretz *et al.*, 2019). Kondisi ini akan semakin parah dengan adanya pemanasan global, dimana peningkatan suhu akan menyebabkan menurunnya hasil panen (Karimi *et al.*, 2019). Dalam penelitian ini, kami akan menganalisa bagaimana cekaman panas yang terjadi karena perubahan ketinggian tempat dapat mempengaruhi tanaman kentang pada fase pembentukan umbi secara morfologi, fisiologi dan mempengaruhi hasil panen. Fase ini merupakan merupakan fase yang penting karena pembentukan umbi dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Perubahan suhu yang lebih tinggi pada fase ini dapat menyebabkan fisiologi tanaman berubah sehingga mempengaruhi jumlah serta bobot

umbi yang menentukan kriteria keberhasilan panen.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Tanaman kentang cv. Granola yang digunakan merupakan hasil perbanyakan secara *in vitro* menggunakan media Driver & Kuniyuki (DKW) (1984) dengan penambahan zat pengatur tumbuh benzil amino purin (BAP) konsentrasi 0,5 ppm (Tabel 1) (Rudiyanto *et al.* 2016; Purwito *et al.*, 2021).

Tabel 1. Komposisi media DKW

Unsur Makronutrien	mg l ⁻¹	mM
NH ₄ NO ₃	1416.00	17.70
MgSO ₄	361.49	3.00
KH ₂ PO ₄	265.00	1.95
K ₂ SO ₄	1559.00	18.00
CaCl ₂	112.50	1.01
Ca(NO ₂) ₂ .2H ₂ O	1664.64	8.30
Unsur Mikronutrien	mg l ⁻¹	μM
ZnSO ₄ .7H ₂ O	17.00	72.19
Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0.39	1.61
MnSO ₄ .H ₂ O	33.80	200.00
H ₃ BO ₂	4.80	77.63
FeNaEDTA	44.63	121.61
CuSO ₄ .5H ₂ O	0.25	1.00
Vitamin	mg l ⁻¹	μM
Glycine	2.00	26.64
Myo-Inositol	100.00	554.94
Nicotinic acid	1.00	8.12
Thiamine HCl	2.00	5.93

Driver & Kuniyuki, 1984

Metode

Perbanyakan benih secara *in vitro*

Kegiatan perbanyakan benih secara kultur jaringan dilakukan di Laboratorium Sains Metabolik dan Interaksi Mikrob pada Tanaman, Pusat Penelitian Bioteknologi – BRIN. Planlet kentang cv. Granola yang berumur 8 MST (minggu setelah tanam), di-

hardening selama 1 minggu kemudian dilanjutkan dengan aklimatisasi (Gambar 1).

Aklimatisasi tanaman kentang cv. Granola

Aklimatisasi dilakukan dengan cara mengeluarkan planlet dari dalam botol dan dilanjutkan dengan mencuci bersih bagian akar hingga tidak ada agar yang tersisa, kemudian merendam planlet pada cairan fungisida dan bakterisida 3% selama 1 menit. Media aklimatisasi yang digunakan merupakan campuran antara tanah, sekam bakar, *cocopeat* dan kompos dengan perbandingan 1:1:1:1 (Hamdani *et al.*, 2019). Planlet ditanam pada pot dan disungkup dengan plastik selama 2 minggu dan dibuka secara bertahap hingga tanaman tegar pada 2 minggu berikutnya untuk kemudian ditanam ke polybag. Tanaman tersebut ditanam dalam polybag ukuran 30 x 30 cm dengan menggunakan campuran media tanam berupa tanah : kompos : pasir (1:2:1) (Jon, 2018).



Gambar 1. Tanaman kentang pada kondisi *in vitro* umur 8 MST yang siap untuk diaklimatisasi

Perlakuan cekaman panas tanaman kentang cv. Granola pada fase pembentukan umbi

Sebanyak 10 tanaman yang telah berhasil diaklimatisasi ditanam di Desa Dieng, Kecamatan Batur, Kabupaten Banjarnegara dengan ketinggian tempat 2921 m dpl, suhu siang hari 19°C dan malam hari 12°C. Cekaman panas diberikan setelah 50 hari setelah masa tanam, 5 tanaman dipindah ke dataran rendah yaitu daerah Yogyakarta dengan ketinggian area 115 m dpl dan suhu sekitar 30°C pada siang hari dan 24°C pada malam hari. Pengamatan dilakukan pada saat sebelum pemindahan lokasi dan 7 hari setelahnya dengan parameter-parameter yang diamati seperti tinggi tanaman, berat basah dan berat kering, jumlah umbi dan berat umbi, serta kadar klorofil. Sampel daun dan umbi yang akan dianalisa dimasukkan ke dalam nitrogen cair sebelum dianalisa lebih lanjut.

Analisa kadar gula terlarut dan pati pada daun dan umbi

Penentuan kadar gula terlarut dan kadar pati pada daun tanaman kentang ditentukan menurut Hastilestari (2019) dengan beberapa modifikasi. Kadar gula terlarut diukur dengan cara melakukan ekstraksi 1 mg daun menggunakan 1 ml ethanol 80% dan diinkubasi pada suhu 85°C selama 50 menit. Setelah sentrifugasi dengan kecepatan 13.000 rpm selama 5 menit, kemudian supernatan ditransfer ke tube yang baru untuk mengukur gula terlarut, sedangkan pellet digunakan untuk mengukur jumlah pati. Supernatan yang telah dipisahkan kemudian divakum hingga kering hingga menjadi pellet. Pellet tersebut dilarutkan dengan 250 ml ethanol, dicuci dengan ethanol dan ditambahkan 0,2 M Kalium Hidroksida (KOH) dan distabilkan dengan 1 M asam asetat hingga pH 5,5 serta inkubasi pada suhu 95°C selama 1 jam.

Sebanyak 25 µl sampel ditambah 250 µl buffer ZMP (237 µl Imidazol bufer, 6,6 µl

ATM, 6,6 µl NAD dan 0,25 µl G6PDH) dan diukur absorbansinya sebagai dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 340 nm. Kadar glukosa diukur dengan menambahkan 1 µl enzim hexokinase, kadar fruktosa diukur dengan menambahkan 1 µl enzim fosfoglukoisomerase dan kadar sukrosa diukur dengan menambahkan 2 µl enzim invertase.

Kadar pati diukur dengan menggunakan pellet yang telah dipisahkan dari supernatan, kemudian ditambahkan 150 µl asam asetat. Sampel sebanyak 25 µl diencerkan dengan 75 µl Amyloglucosidase (2 mg ml⁻¹) dalam 50 mM Na-asetat pH 5,2. Kemudian sebanyak 25 µl ekstrak sampel ditambah 200 µl buffer ZMP dan diukur dengan spektrofotometer 340 nm setelah ditambah 2 µl enzim invertase.

Analisa kadar klorofil pada daun tanaman kentang

Kadar klorofil diukur menurut Aisoi (2019) dengan beberapa modifikasi. Daun tanaman kentang dihancurkan dengan mortar, ditambah 10 ml aseton 80% dan diinkubasi selama 30 menit. Ekstrak daun tersebut disaring dengan kertas saring whattman dan absorbansinya diukur dengan spektrofotometer dengan panjang gelombang 645 nm dan 663 nm. Kadar klorofil dihitung mengikuti rumus klorofil total (mg/l) = 20,2 A₆₄₅ + 8,02 A₆₆₃.

Analisa data

Parameter parameter yang diamati adalah tinggi tanaman, jumlah daun, berat basah, berat kering, kadar glukosa, fruktosa dan sukrosa, serta kadar klorofil dianalisa jumlah rata ratanya ± standard deviation. Analisa statistik dilakukan dengan menggunakan t.test pada taraf 5%. Bagan dibuat dengan menggunakan SigmaPlot.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbanyak benih secara *in vitro*

Planlet *in vitro* kentang cv. Granola yang ditanam pada media DKW dengan penambahan 0,5 ppm BAP mempunyai daun berwarna hijau dan memiliki pertumbuhan yang baik (Gambar 1).

Penggunaan zat pengatur tumbuh BAP dengan konsentrasi 0,5 ppm pada media dasar DKW memiliki pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan dengan media dasar MS dengan penambahan BAP pada konsentrasi yang sama (Rudiyanto *et al.* 2016). Pertumbuhan ini lebih baik diduga karena kandungan nitrogen pada media DKW yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan kandungan nitrogen pada media dasar MS. Hal ini sangat menunjang pertumbuhan vegetatif tunas kentang *in vitro*. Tanaman *in vitro* lain yang juga menggunakan media dasar DKW dan memiliki pertumbuhan baik diantaranya adalah tanaman Moringa oleifera Lin. (Rudiyanto *et al.* 2020), dan stevia (Nower, 2014). Tinggi tunas, jumlah daun dan jumlah akar tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Pertumbuhan tunas *in vitro* kentang pada media DKW dengan penambahan 0,5 ppm BAP umur 8 MST sebagai bahan aklimatisasi.

Variabel pengamatan	Tunas <i>in vitro</i> umur 8 MST	
	Rata-rata	Kisaran
Tinggi (cm)	5.5	4 -6.8
Jumlah daun (helai)	24	18-29
Jumlah akar	11	7-15

Aklimatisasi tanaman kentang cv. Granola

Aklimatisasi dilakukan pada planlet tanaman kentang yang sudah siap dipindahkan. Media aklimatisasi yang

digunakan adalah media yang mengandung sekam bakar 25% serta cocopeat 25% serta tanah dan kompos. Sekam bakar digunakan untuk menjaga kelembaban karena mampu menyerap air dengan baik (Purwanto, 2012). Sedangkan *cocopeat* digunakan untuk memungkinkan pertukaran udara dan memberi nutrisi kepada tanaman (Putra *et al.*, 2019). Keberhasilan aklimatisasi yang dilakukan pada penelitian ini sebesar 70%.

Perlakukan cekaman panas tanaman kentang cv. Granola pada fase pembentukan umbi

Lima puluh hari setelah tanam, lima tanaman dipindahkan ke dataran rendah dengan suhu rata-rata 30°C/24°C pada siang/malam selama 7 hari. Hasil menunjukkan bahwa terdapat pengaruh peningkatan suhu terhadap tinggi tanaman (Gambar 2). Tanaman yang ditanam pada dataran rendah mempunyai tinggi tanaman 34,7±2,9 cm (Gambar 2 C), yang berarti terjadi peningkatan sekitar 13,5% dibandingkan dengan tanaman yang berada pada lokasi kontrol dengan suhu lingkungan rata-rata 19°C/12°C (siang/malam). Hal ini menunjukkan adanya perubahan morfologi yang disebabkan oleh peningkatan suhu (Quint *et al.*, 2016, Hancock *et al.*, 2014).

Pertambahan tinggi tanaman kentang ketika tercekam panas disebabkan bertambahnya panjang internode karena adanya mekanisme *shade avoidance* (Romero-Montepaone *et al.*, 2020; Ohama *et al.*, 2017). Hal ini dipengaruhi oleh perubahan ekspresi gen yang terkait auxin dalam kelompok fungsional signaling (Hastilestari, 2021). Perubahan aktivitas auxin dipengaruhi oleh faktor transkripsi kunci *Phytochrome Interacting Factor 4* (PIF4) yang berpengaruh pada biosintesis auxin pada saat tanaman tercekam panas (Zhang *et al.*, 2017). Aktivitas gen *StPIF4*

akan mempengaruhi ekspresi gen dari *Small Auxin Up RNA* (SAUR) (Roumeliotis *et al.*, 2013; Roumeliotis *et al.*, 2012). Hormon auksin akan didistribusikan dari meristem apikal ke stolon sehingga mempengaruhi proses pemanjangan sel (Quint *et al.*, 2016;

Abelenda & Prat, 2013; Roumeliotis *et al.*, 2013). Peningkatan kadar auksin juga ditemukan pada tanaman arabidopsis yang tercekam panas, yang secara morfologi menunjukkan pemanjangan hipokotil (Roumeliotis *et al.*, 2012).



Gambar 2. Pengaruh cekaman panas pada tinggi tanaman kentang cv. Granola pada kondisi kontrol (siang /malam: 19°C/12°C) dan perlakuan (siang/malam: 30°C/24°C). A) Tanaman kentang pada kondisi kontrol B) Tanaman kentang pada kondisi perlakuan. C) Tinggi tanaman kontrol dibandingkan dengan perlakuan pada 0 HSP (hari setelah perlakuan) dan 7 HSP (hari setelah perlakuan). Tanda bintang menunjukkan perbedaan nyata pada taraf 5% dengan menggunakan t.test (n=5).

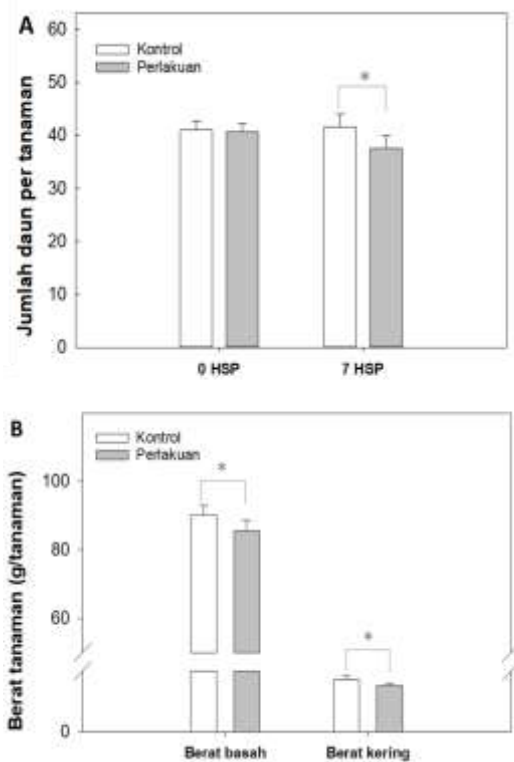
Meskipun tinggi tanaman kentang meningkat ketika ditanam pada daerah yang suhunya lebih panas, jumlah daun dan biomassa menurun (Gambar 3). Setelah perlakuan 7 hari tercekam panas di daerah dataran rendah, jumlah daun menjadi $37,6 \pm 2,41$ yang berkurang sekitar 9,65% dibandingkan dengan tanaman yang tidak tercekam panas (Gambar 3A). Demikian juga halnya dengan biomassa tanaman kentang. Berat basah tanaman kentang yang ditanam pada dataran tinggi dengan suhu 19°C/12°C (siang/malam) adalah $90,26 \pm 2,48$ g per tanaman, sedangkan pada tanaman yang ditanam pada dataran rendah dengan suhu 30°C/24°C, beratnya 5,31% lebih rendah dibandingkan tanaman kontrol menjadi $85,46 \pm 3,17$ g per tanaman (Gambar 3A).

Pada saat tanaman kentang tercekam panas, tanaman akan beradaptasi dengan meningkatkan laju transpirasi sebagai

kompensasi untuk mendinginkan area daun (Hancock *et al.*, 2014, Hastilestari *et al.*, 2018). Meningkatnya laju transpirasi mempengaruhi perubahan konduktivitas stomata dan konsentrasi CO₂ (Hastilestari *et al.*, 2018; Tiburcio *et al.*, 2014). Menurunnya konduktivitas stomata tersebut akan menyebabkan turunnya aktivitas enzim Rubisco (Marthur *et al.*, 2014), sehingga terjadi fotorespirasi yang menghasilkan *Reactive Oxygen Spesies* (ROS) (Fedyaeva *et al.*, 2014; Marthur *et al.*, 2014; Yamamoto, 2016). Dengan demikian efektivitas fotosistem II akan menurun (Trapero-Mozos *et al.*, 2018) dan mempercepat terjadinya *senescence* atau penuaan daun (Singh *et al.*, 2019), yang akhirnya berpengaruh terhadap turunnya jumlah daun dan biomassa basah maupun kering.

Pengaruh cekaman panas pada kadar gula terlarut dan pati pada daun dan umbi

Cekaman panas mempengaruhi peningkatan kadar gula pereduksi glukosa dan fruktosa, tetapi menurunkan kadar gula sukrosa (Tabel 2). Diantara ketiga gula tersebut, fruktosa mempunyai kadar yang terendah, hal ini telah dilaporkan terjadi pada beberapa tanaman (Hastilestari *et al.*, 2018).

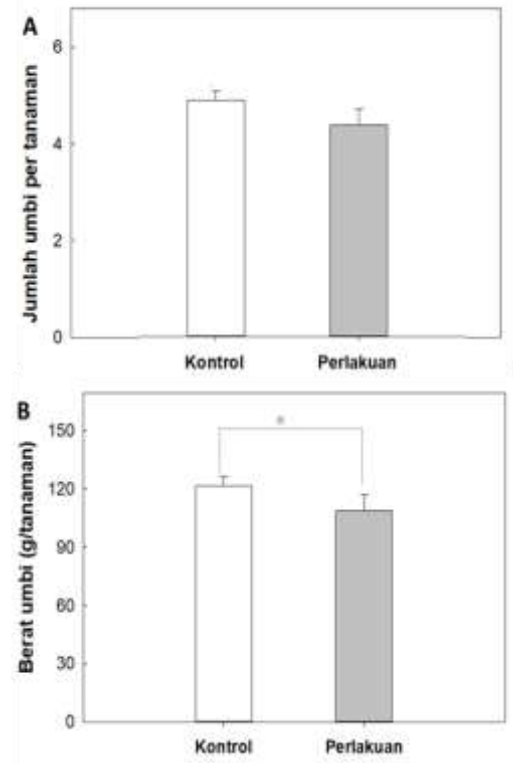


Gambar 3. Pengaruh cekaman panas pada biomassa tanaman kentang cv. Granola pada kondisi kontrol (siang / malam: 19°C/12°C) dan kondisi perlakuan (siang/malam: 30°C/24°C).

A) Jumlah daun pada tanaman kontrol dan perlakuan pada 0HSP (hari setelah perlakuan) dan 7HSP; (B) Berat tanaman basah dan kering pada tanaman kontrol dan perlakuan. Tanda bintang menunjukkan perbedaan nyata dengan menggunakan t.test pada taraf 5% (n=5).

Kadar glukosa meningkat sebesar 24,27% dari $0,29 \pm 0,04$ menjadi $0,37 \pm 0,03$ nmol mg^{-1} Fw, sedangkan kadar fruktosa meningkat sebesar 22,52% akibat tanaman tercekam panas. Peningkatan kadar gula

pereduksi ketika tercekam panas telah dilaporkan di beberapa tanaman seperti kentang cv. Agria (Hastilestari *et al.*, 2018) dan beberapa jenis kacang-kacangan (Sassi-Aydi *et al.*, 2014).



Gambar 4. Pengaruh cekaman panas pada umbi tanaman kentang cv. Granola pada kondisi kontrol (siang/ malam: 19°C/12°C) dan kondisi perlakuan (siang/malam: 30°C/24 °C). A) Jumlah umbi per tanaman; B) Berat umbi per tanaman. Tanda bintang menunjukkan perbedaan nyata dengan menggunakan t.test pada taraf 5% (n=5)

Peningkatan kadar gula pereduksi tersebut merupakan cara tanaman untuk beradaptasi terhadap stress abiotik untuk mempertahankan tekanan turgor pada daun (Rykaczewska, 2012). Kadar sukrosa pada tanaman kentang yang tercekam panas mengalami penurunan sehingga hasil fotosintesa yang diedarkan ke seluruh bagian tumbuhan akan berkurang. Turunnya jumlah sukrosa pada tanaman yang tercekam panas mengakibatkan

turunnya biomassa tanaman (Gambar 3B). Penurunan aktivitas fotosintesis dipengaruhi oleh menurunnya kadar klorofil ketika tanaman kentang berada pada suhu yang lebih tinggi.

Meskipun cekaman panas tidak mempengaruhi jumlah umbi secara nyata (Gambar 4A), tetapi hasil panen berupa berat umbi per tanaman menurun secara nyata (Gambar 4B). Pada kondisi kontrol, berat umbi tanaman kentang adalah 121,74 ± 4,76 g per tanaman, sedangkan pada kondisi tercekam panas menunjukkan penurunan sekitar 10, 51% menjadi 108,94 ± 8,29 g per tanaman.

Hal ini menunjukkan bahwa pada tanaman yang tercekam panas pada fase pembentukan umbi, cenderung tidak membentuk umbi baru dan terjadi perlambatan transport sukrosa ke dalam umbi maupun menurun akumulasi pati di dalam umbi. Terhambatnya pembentukan umbi baru dapat disebabkan oleh terhambatnya pembelahan sel di ujung stolon dan perubahan sistem transport simplastik (Lehretz *et al.*, 2019; Hannapel & Banerjee, 2017), disamping meningkatnya enzim invertase serta terhambatnya aktivitas enzim *SuSy* karena adanya cekaman panas (Hastilestari *et al.*, 2018).

Tabel 3. Kadar gula glukosa, fruktosa, sukrosa dan klorofil pada daun tanaman kentang pada suhu kontrol (siang/malam: 19°C/12°C) dan suhu perlakuan (siang/malam: 30°C/24°C).

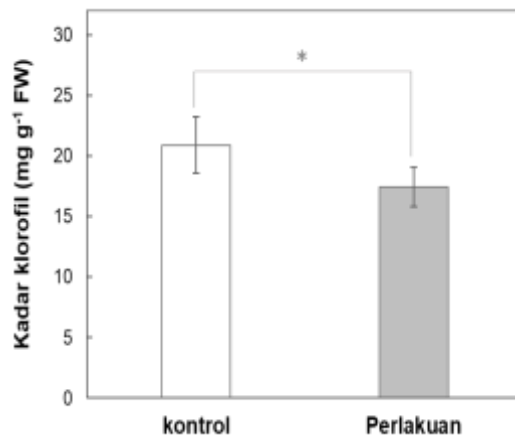
Perlakuan	Glukosa (n mol mg ⁻¹ Fw)	Fruktosa (n mol mg ⁻¹ Fw)	Sukrosa (n mol mg ⁻¹ Fw)
Kontrol	0,29 ± 0,04	0,24 ± 0,03	0,38 ± 0,02
Perlakuan	0,37 ± 0,03 *	0,29 ± 0,02 *	0,35 ± 0,02*

Tanda bintang (*) menunjukkan perbedaan nyata $\alpha < 0.05$ dengan menggunakan t.test (n=5)

Pengaruh cekaman panas terhadap kadar klorofil

Kadar klorofil pada tanaman kentang dipengaruhi oleh suhu lingkungan. Apabila suhu lingkungan meningkat maka kadar klorofil akan menurun (Gambar 5). Pada kondisi lingkungan dengan temperatur siang/malam: 30°C/24°C, kadar klorofil akan menurun 16,48% dibandingkan pada kondisi kontrol dengan temperatur siang/malam: 30 °C/24°C. Penurunan kadar klorofil ini disebabkan oleh rusaknya membran tilakoid pada kloroplast sehingga terjadi degradasi klorofil dan menyebabkan penuaan daun (Jespersen *et al.*, 2016). Aktivitas penuaan daun ini menyebabkan menurunnya laju fotosintesis sehingga dapat mempengaruhi hasil panen (Gambar 4).

Dari hasil penelitian ini dapat dicermati bahwa peningkatan suhu dapat menurunkan produktivitas tanaman kentang. Dengan demikian, kebijakan untuk meningkatkan kuantitas hasil panen dapat dilakukan dengan menambah area penanaman kentang di dataran yang mempunyai suhu sekitar kurang dari 20°C. Perluasan area penanaman kentang di dataran menengah maupun rendah yang mempunyai suhu diatas 20°C, dapat dilakukan dengan menggunakan bibit kentang yang toleran terhadap cekaman panas. Oleh karena itu, penelitian ini perlu dilanjutkan dengan upaya perakitan bibit unggul baru yang tahan terhadap cekaman panas sehingga memungkinkan perluasan area penanaman kentang hingga ke dataran menengah maupun rendah.



Gambar 5. Pengaruh cekaman panas terhadap kadar klorofil tanaman kentang cv. Granola pada kondisi kontrol (siang / malam: 19 °C/12 °C) dan perlakuan (siang/malam: 30 °C/24 °C); B) Tanda bintang menunjukkan perbedaan nyata dengan menggunakan t.test pada taraf 5% (n=5).

SIMPULAN

1. Peningkatan suhu karena perubahan ketinggian lokasi penanaman tanaman kentang cv. Granola dapat mempengaruhi fisiologi dan hasil panen.
2. Pada lokasi penanaman dengan suhu lingkungan siang/malam: 30°C/24°C, tanaman kentang menjadi lebih tinggi akan tetapi jumlah umbi lebih sedikit dan ukuran umbi lebih kecil dibandingkan dengan tanaman kentang yang ditanam pada suhu lingkungan siang/malam: 19°C/12°C.
3. Peningkatan suhu juga mempengaruhi peningkatan kadar glukosa dan fruktosa pada tanaman kentang, akan tetapi mengurangi jumlah sukrosa dan klorofil.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai oleh dana Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Organisasi Riset (OR) Ilmu Pengetahuan Hayati BRIN 2021 selama 6 bulan.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Ahmad Fathoni, Ph.D. selaku Ketua Kelompok Penelitian Genomika dan Rekayasa Genetika Tanaman dan Dr. Andri Fadillah Martin selaku Ketua Kelompok Penelitian Sains Metabolik dan Interaksi Mikrob pada Tanaman – Pusat Penelitian Bioteknologi BRIN yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abelenda, J.A. & Prat, S. (2013). Cytokinins: determinants of sink storage ability. *Current Biology*, 23(13), R561-R563. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.05.020>
- Aisoi, L. E. (2019). Analisis kandungan klorofil daun Jilat (*Villebrune rubescens* Bl.) pada tingkat perkembangan berbeda. *SIMBIOSA*, 8(1), 50-58. <https://doi.org/10.33373/sim-bio.v8i1.1893>
- Bahaji, A., Li, J., Sánchez-López, Á.M., Baroja-Fernández, E., Muñoz, F.J., Ovecka, M., Almagro, G., Montero, M., Ezquer, I., Etxeberria, E. &

- Pozueta-Romero, J. (2014). Starch biosynthesis, its regulation and biotechnological approaches to improve crop yields. *Biotechnology Advances*, 32(1), 87-106. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.06.006>
- Birch, P. R., Bryan, G., Fenton, B., Gilroy, E. M., Hein, I., Jones, J. T., Prashar, A., Taylor, M.A. & Toth, I. K. (2012). Crops that feed the world 8: potato: are the trends of increased global production sustainable? *Food Security*, 4(4), 477-508. <https://doi.org/10.1007/s12571-012-0220-1>
- Condori, B., Hijmans, R. J., Ledent, J. F., & Quiroz, R. (2014). Managing potato biodiversity to cope with frost risk in the high Andes: A modeling perspective. *PLoS ONE*, 9(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081510>
- Driver, J. A., & Kuniyuki, A. H. (1984). In vitro propagation of Paradox walnut rootstock. *HortScience*, 19(4), 507-509
- Dirjen Hortikultura (2018). Laporan Kinerja Dirjen Hortikultura TA 2017. Jakarta: Dirjen Hortikultura.
- Fedyaeva, A. v., Stepanov, A. v., Lyubushkina, I. v., Pobezhimova, T. P., & Rikhvanov, E. G. (2014). Heat shock induces production of reactive oxygen species and increases inner mitochondrial membrane potential in winter wheat cells. *Biochemistry (Moscow)*, 79(11). <https://doi.org/10.1134/S0006297914110078>
- Furrer, A. N., Chegeni, M., & Ferruzzi, M. G. (2018). Impact of potato processing on nutrients, phytochemicals, and human health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(1). <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1139542>
- Hannapel, D. J., & Banerjee, A. K. (2017). Multiple mobile mRNA signals regulate tuber development in potato. In *Plants* (Vol. 6, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/plants6010008>
- Hancock, R.D., Morris, W.L., Ducreux, L.J., Morris, J.A., Usman, M., Verrall, S.R., Fuller, J., Simpson, C.G., Zhang, R., Hedley, P.E. & Taylor, M.A. (2014). Physiological, biochemical, and molecular responses of the potato (*Solanum tuberosum* L.) plant to moderately elevated temperature. *Plant, Cell & Environment*, 37(2), 439-450.
- Hardigan, M.A., Laimbeer, F.P.E., Newton, L., Crisovan, E., Hamilton, J.P., Vaillancourt, B., Wiegert-Rininger, K., Wood, J.C., Douches, D.S., Farré, E.M. & Veilleux, R.E. (2017). Genome diversity of tuber-bearing *Solanum* uncovers complex evolutionary history and targets of domestication in the cultivated potato. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(46), E9999-E10008. <https://doi.org/10.1073/pnas.1714380114>
- Hastilestari, B.R. (2021). Analysis of potential genes for the development of potatoes (*Solanum tuberosum*) with heat stress tolerance. *Nusantara Science and Technology Proceedings*, 8-14. <https://doi.org/10.11594/nstp.2021.1102>
- Hastilestari, B. R. (2019). *Molecular analysis of potato (Solanum tuberosum) responses to increased temperatures* (Doctoral dissertation, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU)).
- Hastilestari, B.R., Lorenz, J., Reid, S., Hofmann, J., Pscheidt, D., Sonnewald, U. & Sonnewald, S. (2018). Deciphering source and sink

- responses of potato plants (*Solanum tuberosum* L.) to elevated temperatures. *Plant, cell & environment*, *41*(11), 2600-2616. <https://doi.org/10.1111/pce.13366>
- Heltoft, P., Wold, A. B., & Molteberg, E. L. (2017). Maturity indicators for prediction of potato (*Solanum tuberosum* L.) quality during storage. *Postharvest Biology and Technology*, *129*, 97-106. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.03.011>
- Jon, E. (2018). Pengaruh media tanam terhadap pertumbuhan setek mikro kentang varietas granola. *Edubiotik: Jurnal Pendidikan, Biologi dan Terapan*, *3*(01), 26-33. <https://doi.org/10.33503/ebio.v3i01.76>
- Jespersen, D., Zhang, J., & Huang, B. (2016). Chlorophyll loss associated with heat-induced senescence in bentgrass. *Plant Science*, *249*. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.04.016>
- Karimi, V., Karami, E., & Keshavarz, M. (2018). Climate change and agriculture: Impacts and adaptive responses in Iran. *Journal of Integrative Agriculture*, *17*(1), 1-15. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61794-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61794-5)
- Kloosterman, B., Abelenda, J. A., Gomez, M. D. M. C., Oortwijn, M., de Boer, J. M., Kowitzanich, K., ... & Bachem, C. W. (2013). Naturally occurring allele diversity allows potato cultivation in northern latitudes. *Nature*, *495*(7440), 246-250. <https://doi.org/10.1038/nature11912>
- Lehretz, G.G., Sonnewald, S., Hornyik, C., Corral, J.M. & Sonnewald, U. (2019). Post-transcriptional regulation of FLOWERING LOCUS T modulates heat-dependent source-sink development in potato. *Current Biology*, *29*(10), pp.1614-1624. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.04.027>
- Li, W., Xiong, B., Wang, S., Deng, X., Yin, L. & Li, H. (2016). Regulation effects of water and nitrogen on the source-sink relationship in potato during the tuber bulking stage. *PloS one*, *11*(1), p.e0146877. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146877>
- Ludewig, F. & Sonnewald, U. (2016). Demand for food as driver for plant sink development. *Journal of plant physiology*, *203*, 110-115. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.06.002>
- Ludewig, F., & Flügge, U. I. (2013). Role of metabolite transporters in source-sink carbon allocation. *Frontiers in Plant Science*, *4*, 231. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00231>
- Mathur, S., Agrawal, D., & Jajoo, A. (2014). Photosynthesis: response to high temperature stress. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, *137*, 116-126. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2014.01.010>
- Nower, A. A. (2014). In vitro propagation and synthetic seeds production: an efficient methods for Stevia rebaudiana Bertonii. *Sugar Tech*, *16*(1), 100-108. <https://doi.org/10.1007/s12355-013-0228-7>
- Obidiegwu, J.E., Bryan, G.J., Jones, H.G. & Prashar, A. (2015). Coping with drought: stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement. *Frontiers in Plant Science*, *6*, 542. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00542>

- Ohama, N., Sato, H., Shinozaki, K. & Yamaguchi-Shinozaki, K. (2017). Transcriptional regulatory network of plant heat stress response. *Trends in plant science*, 22(1), 53-65. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.08.015>
- Quint, M., Delker, C., Franklin, K.A., Wigge, P.A., Halliday, K.J. & van Zanten, M. (2016). Molecular and genetic control of plant thermomorphogenesis. *Nature Plants*, 2(1), 15190. <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.190>
- Ohama, N., Sato, H., Shinozaki, K. & Yamaguchi-Shinozaki, K. (2017). Transcriptional regulatory network of plant heat stress response. *Trends in plant science*, 22(1), 53-65. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.08.015>
- Quint, M., Delker, C., Franklin, K.A., Wigge, P.A., Halliday, K.J. & van Zanten, M. (2016). Molecular and genetic control of plant thermomorphogenesis. *Nature Plants*, 2(1), p.15190.
- Romero-Montepaone, S., Poodts, S., Fischbach, P., Sellaro, R., Zurbriggen, M. D., & Casal, J. J. (2020). Shade avoidance responses become more aggressive in warm environments. *Plant Cell and Environment*, 43(7). <https://doi.org/10.1111/pce.13720>
- Roumeliotis, E., Kloosterman, B., Oortwijn, M., Visser, R.G.F. & Bachem, C.W.B. (2013). The PIN family of proteins in potato and their putative role in tuberization. *Frontiers in plant science*, 4, 524. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00524>
- Roumeliotis, E., Kloosterman, B., Oortwijn, M., Kohlen, W., Bouwmeester, H.J., Visser, R.G. & Bachem, C.W. (2012). The effects of auxin and strigolactones on tuber initiation and stolon architecture in potato. *Journal of experimental botany*, 63(12), 4539-4547. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers132>
- Rykaczewska, K. (2017). Impact of heat and drought stresses on size and quality of the potato yield. *Plant, Soil and Environment*, 63(1), 40-46. <https://doi.org/10.17221/691/2016-PSE>
- Rykaczewska, K. (2013). The impact of high temperature during growing season on potato cultivars with different response to environmental stresses. *American Journal of Plant Sciences*, 4(12), 2386. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.412295>
- Saidi, A., & Hajibarat, Z. (2021). Phytohormones: Plant switchers in developmental and growth stages in potato. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 19(1), 1-17. <https://doi.org/10.1186/s43141-021-00192-5>
- Sassi-Aydi, S., Aydi, S. & Abdelly, C. (2014). Inorganic nitrogen nutrition enhances osmotic stress tolerance in *Phaseolus vulgaris*: lessons from a drought-sensitive cultivar. *HortScience*, 49(5), pp.550-555. <https://doi.org/10.21273/hortsci.49.5.550>
- Singh, B., Kukreja, S., & Goutam, U. (2019). Impact of heat stress on potato (*Solanum tuberosum* L.): present scenario and future opportunities. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 0, 1–18. <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1700173>
- Statistik, B.P. (2018). Statistik Tanaman Buah-buahan dan Sayuran Tahunan Indonesia. *Badan Pusat Statistik. Jakarta.*
- Rudiyanto, Rantau, D.E., & Ermayanti, T.M. (2016). Pertumbuhan Kultur Tunas

- Kentang Merah (*Solanum tuberosum*) pada Media MS (Murashige & Skoog) dengan Perlakuan Konsentrasi dan Jenis Sitokinin. Dalam Seminar Nasional XXV “kimia dalam Industri dan Lingkungan”, Yogyakarta, 17 November 2016. ISSN: 0854-4778.
- Purwito, A., Efendi, D., & Ermayanti, T. M. (2021, May). Growth response of four accessions of *Moringa oleifera* Linn shoots cultured on various basic media. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 741, No. 1, p. 012054). IOP Publishing.
- Rykaczewska, K. (2017). Impact of heat and drought stresses on size and quality of the potato yield. *Plant, Soil and Environment*, 63(1), 40-46. <https://doi.org/10.17221/691/2016-PSE>
- Rykaczewska, K. (2013). The impact of high temperature during growing season on potato cultivars with different response to environmental stresses. *American Journal of Plant Sciences*, 4(12), 2386. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.412295>
- Sassi-Aydi, S., Aydi, S. & Abdelly, C. (2014). Inorganic nitrogen nutrition enhances osmotic stress tolerance in *Phaseolus vulgaris*: lessons from a drought-sensitive cultivar. *HortScience*, 49(5), pp.550-555. <https://doi.org/10.21273/hortsci.49.5.550>
- Singh, B., Kukreja, S., & Goutam, U. (2019). Impact of heat stress on potato (*Solanum tuberosum* L.): present scenario and future opportunities. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 0, 1–18. <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1700173>
- Sonnewald, U. & Kossmann, J. (2013). Starches—from current models to genetic engineering. *Plant biotechnology journal*, 11(2), 223-232. <https://doi.org/10.1111/pbi.12029>
- Sonnewald, S. & Sonnewald, U. (2014). Regulation of potato tuber sprouting. *Planta*, 239(1), 27-38. <https://doi.org/10.1007/s00425-013-1968-z>
- Tiburcio, A.F., Altabella, T., Bitrián, M. & Alcázar, R. (2014). The roles of polyamines during the lifespan of plants: from development to stress. *Planta*, 240(1), 1-18. <https://doi.org/10.1007/s00425-014-2055-9>
- Trapero-Mozos, A., Ducreux, L.J., Bita, C.E., Morris, W., Wiese, C., Morris, J.A., Paterson, C., Hedley, P.E., Hancock, R.D. & Taylor, M. (2018). A reversible light-and genotype-dependent acquired thermotolerance response protects the potato plant from damage due to excessive temperature. *Planta*, 247(6), 1377-1392. <https://doi.org/10.1007/s00425-018-2874-1>
- Van Harselaar, J.K., Lorenz, J., Senning, M., Sonnewald, U. & Sonnewald, S. (2017). Genome-wide analysis of starch metabolism genes in potato (*Solanum tuberosum* L.). *BMC genomics*, 18(1), 37. <https://doi.org/10.1186/s12864-016-3381-z>
- Yamamoto, Y. (2016). Quality control of photosystem II: the mechanisms for avoidance and tolerance of light and heat stresses are closely linked to membrane fluidity of the thylakoids. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1136. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01136>
- Zhang, B., Holmlund, M., Lorrain, S., Norberg, M., Bako, L., Fankhauser, C., & Nilsson, O. (2017). BLADE-ON-

PETIOLE proteins act in an E3
ubiquitin ligase complex to regulate
PHYTOCHROME INTERACTING

FACTOR 4 abundance. *Elife*, 6,
e26759.
<https://doi.org/10.7554/eLife.26759>