

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Produkční a kvalitativní odezvy vybraných historických
i soudobých odrůd brambor na stresové podmínky sucha
a tepla**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Josef Vršťala

**Program studia: Zemědělství a rozvoj venkova, Ekologické
zemědělství**

Vedoucí práce: Ing. Martin Král, Ph.D.

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Produkční a kvalitativní odezvy vybraných historických i soudobých odrůd brambor na stresové podmínky sucha a tepla" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 19.4.2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Martinu Královi, Ph.D. za odborné vedení práce i výzkumu, pomoc, trpělivost a poskytnutou literaturu. Dále děkuji Ing. Petru Dvořákovi, Ph.D. a zaměstnancům Výzkumné stanice Uhřetěves za pomoc s výzkumem a Ing. Kateřině Pazderů, Ph.D. za pomoc se statistickým vyhodnocením naměřených hodnot. Děkuji také své rodině za podporu a trpělivost.

Produkční a kvalitativní odezvy vybraných historických i soudobých odrůd brambor na stresové podmínky sucha a tepla

Souhrn

Brambor hlíznatý (*Solanum tuberosum* L.) je stále významná polní plodina zajišťující zdroj potravin pro většinu obyvatel Země. Jako ostatní zemědělské rostliny je i brambor na poli ovlivňován nepříznivými klimatickými podmínkami v důsledku vývoje klimatu na Zemi. Sucho a teplo jsou nejčastější příčiny vyvolávající u polních plodin stresové podmínky.

Tato práce se zabývala výzkumem reakcí, odolností a adaptability historických a současných odrůd brambor. Z historických kultivarů byly vybrány Blaník, Bojar, Krasava a Norma, ze současných pak Adéla a Karo. Simulace stresu suchem a teplem byla navozena vysokou teplotou ve foliovníku, kde byly vysázeny rostliny jednotlivých odrůd do dvouřádků a ve fázi porostu 41 BBCH odpojením závlahy. Kontrolní rostliny byly zavlažované a ponechané vedle foliovníku na poli pod širým nebem. 2 týdny po odpojení závlahy proběhlo měření fotosyntézy a fluorescence chlorofylu u stresovaných i kontrolních rostlin. Po 28 dnech od odpojení závlahy byla podruhé změřena fluorescence chlorofylu a následně obnovena závlaha. Dále byla zjištěna výška rostlin před a po simulaci sucha. Během celé vegetační doby byla průběžně měřena koncentrace chlorofylu v listech, teplota vzduchu a půdy a půdní sací tlaky.

Sucho negativně ovlivnilo výšku rostlin, naopak teplo množství nadzemní biomasy pozitivně podpořilo. V rámci vyhodnocení naměřených hodnot fyziologických parametrů, které udávají odolnost rostlin bramboru k suchu a teple, byly zjištěny jako odolné odrůdy Blaník, Bojar a Krasava, méně odolné Karo a Norma a nejméně odolný kultivar Adéla.

Hypotéza č. 1, Pozdnější odrůdy vykazují vyšší adaptabilitu na sucho a teplo (fyziologické parametry) v porovnání s ranými odrůdami, byla při vyhodnocení koncentrace chlorofylu v listech statisticky průkazná. Hypotéza č. 2, Zkoumané historické odrůdy vykazují vyšší odolnost vůči suchu (produkční ukazatele) v porovnání se současnými odrůdami, však nikoli.

Historické odrůdy brambor podle fyziologických parametrů byly zjištěny jako odolné suchu a teple. Bylo by tedy vhodné dále zkoumat jejich mechanismy a procesy adaptability či odolnosti těmto extrémům počasí, které se v současnosti objevují stále častěji.

Klíčová slova: sucho, hlízy, chlorofyl v listech, teplo

Production and quality responses of selected historical and contemporary potato varieties to drought and heat stress conditions

Summary

The tuberous potato (*Solanum tuberosum* L.) is still an important field crop, providing a source of food for most of the Earth's inhabitants. Like other agricultural plants, the potato in the field is affected by adverse climatic conditions due to the development of the Earth's climate. Drought and heat are the most common causes of stress conditions in field crops.

This work dealt with the research of reactions, resistance and adaptability of historical and contemporary potato varieties. From the historical cultivars, Blaník, Bojar, Krasava and Norma were chosen, from the current ones Adéla and Karo. The simulation of drought and heat stress was induced by high temperature in the foil greenhouse, where the plants of individual varieties were planted in double rows and in the stand phase 41 BBCH by disconnecting the irrigation. The control plants were irrigated and left next to the foil greenhouse in the open-air field. 2 weeks after disconnection of irrigation, photosynthesis and chlorophyll fluorescence were measured in stressed and control plants. After 28 days from the disconnection of irrigation, chlorophyll fluorescence was measured for the second time and irrigation was subsequently resumed. Furthermore, the height of the plants before and after the drought simulation was determined. Throughout the growing season, chlorophyll concentration in leaves, air and soil temperature and soil suction pressures were continuously measured.

The drought negatively affected the height of the plants, while the heat positively supported the amount of above-ground biomass. As part of the evaluation of the measured values of physiological parameters, which indicate the resistance of potato plants to drought and heat, the varieties Blaník, Bojar and Krasava were found to be resistant, Karo and Norma were less resistant and the cultivar Adéla was the least resistant.

Hypothesis No. 1, Later varieties show higher adaptability to drought and heat (physiological parameters) compared to early varieties, was statistically significant when evaluating chlorophyll concentration in leaves. Hypothesis No. 2, However, the examined historical varieties show higher drought resistance (production indicators) compared to current varieties, but not.

Historical potato varieties according to physiological parameters have been found to be resistant to drought and heat. It would therefore be appropriate to further investigate their mechanisms and processes of adaptability or resistance to these weather extremes, which are currently occurring more and more frequently.

Keywords: drought, tubers, chlorophyll in leaves, heat

Obsah

1 Úvod	- 9 -
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	- 10 -
3 Literární rešerše.....	- 11 -
3.1 Původ brambor	- 11 -
3.2 České bramborářství	- 11 -
3.3 Základní charakteristika brambor.....	- 12 -
3.4 Tvorba hlíz.....	- 13 -
3.5 Agrotechnika brambor	- 13 -
3.5.1 Ekologické pěstování brambor	- 14 -
3.6 Stresové reakce rostlin.....	- 15 -
3.6.1 Fyziologie rostlin během stresových podmínek	- 15 -
3.6.2 Abiotické stresové faktory	- 18 -
3.7 Faktory ovlivňující růst a vývoj brambor	- 20 -
3.7.1 Listové choroby brambor.....	- 21 -
3.7.2 Zpracování půdy před založením porostu brambor	- 21 -
3.7.3 Meziplodiny a pomocné plodiny při pěstování brambor	- 22 -
3.8 Stresové reakce brambor.....	- 22 -
3.8.1 Abiotické stresy u rostlin bramboru	- 22 -
3.8.2 Stres suchem	- 23 -
3.8.3 Stres vysokými teplotami	- 25 -
3.8.4 Stres nízkými teplotami, zasolením, nedostatkem kyslíku a těžkými kovy.....	- 26 -
3.8.5 Význam uhlíku při stresu.....	- 27 -
3.8.6 Význam kořene	- 27 -
3.8.7 Poruchy hlíz v důsledku působení stresových faktorů	- 29 -
3.8.8 Antioxidanty během stresu rostliny	- 29 -
3.8.9 Možná řešení stresových reakcí u brambor	- 29 -
4 Metodika	- 31 -
4.1 Popis pokusného stanoviště.....	- 31 -
4.2 Meteorologické podmínky v roce 2023.....	- 31 -
4.3 Metodický průběh výzkumu	- 32 -
4.3.1 Simulace stresových podmínek	- 33 -
4.4 Agrotechnické procesy.....	- 34 -
4.5 Popis odrůd brambor podrobených vybraným stresovým faktorům ...	- 36 -
4.5.1 Adéla.....	- 36 -
4.5.2 Karo	- 36 -
4.5.3 Blaník.....	- 36 -

4.5.4	Bojar.....	- 36 -
4.5.5	Krasava	- 36 -
4.5.6	Norma	- 37 -
4.6	Pozorované parametry.....	- 37 -
4.6.1	Obsah chlorofylu v listech	- 37 -
4.6.2	Fotosyntéza v listech.....	- 37 -
4.6.3	Fluorescence chlorofylu v listech	- 37 -
4.6.4	Výška rostlin a výnos jednotlivých odrůd	- 38 -
4.6.5	Chemický rozbor sklizených hlíz	- 38 -
4.7	Statistické vyhodnocení	- 38 -
5	Výsledky	- 39 -
5.1	Obsah chlorofylu v listech	- 39 -
5.2	Fotosyntéza v listech	- 42 -
5.3	Fluorescence chlorofylu v listech	- 44 -
5.4	Výška rostlin a výnos jednotlivých odrůd.....	- 48 -
5.5	Chemický rozbor sklizených hlíz.....	- 51 -
6	Diskuze	- 54 -
6.1	Obsah chlorofylu v listech	- 54 -
6.2	Fotosyntéza v listech	- 54 -
6.3	Fluorescence chlorofylu v listech	- 55 -
6.4	Výnos rostlin	- 56 -
6.5	Chemický rozbor hlíz.....	- 57 -
7	Závěr.....	- 58 -
8	Literatura.....	- 60 -

1 Úvod

Brambory jsou jedny z nejcennějších polních plodin, které zajišťují zdroj potravin pro mnoho obyvatel Země. Jejich sytící funkce přijde vhod v letech, kdy je sklizen nedostatek obilí či jeho špatná kvalita nebo obecně v chudých oblastech. Bramborové hlízy jsou zároveň kvalitním krmivem pro hospodářská zvířata. Z jednoho hektaru podají velmi slušný výnos a stále častěji jsou oblíbenější jejich barevné varianty díky svému vyššímu obsahu antioxidantů (Hruška 1974; George et al. 2017; Pazderů & Hamouz 2017; Kovalenko et al. 2021).

Rostliny jsou během své vegetační doby ovlivňovány abiotickými i biotickými faktory, které ve vyšší koncentraci způsobují rostlinám stres. Mezi nejčastější abiotické stresory patří nedostatek nebo nadbytek vody, nízká nebo vysoká teplota, zasolení půdy a kontaminace těžkými kovy. Kořenový systém poskytuje rostlinám upevňovací funkci v půdě a příjem živin. V případě stresové situace právě kořeny reagují jako první orgány rostlin a šíří informaci a podněty k reakcím vhodným k adaptaci na stresové podmínky (Procházka 1998; Li 2019; Zinta et al. 2022).

Reakce rostlin na stresory, konkrétně nedostatek vody a vyšší teploty, se liší v závislosti na typu fixace uhlíku. Nejlépe adaptované jsou rostliny s fixačním typem CAM, tedy sukulenty, poté C4, které částečně pokračují v růstu během stresových podmínek. C3 rostliny však špatně snáší sucho a teplo. Reakce polních plodin na stresové faktory mohou být často velmi podobné, například v případě nedostatku vody nebo vysokých či nízkých teplot (Procházka 1998).

Nedostatek vody a vysoké letní teploty ohrožují většinu polních plodin právě na výnosech a zároveň i dostatek potravin pro lidstvo (Kovalenko et al. 2021). Mnoho studií se již zabývalo adaptací brambor na nepříznivé podmínky během vegetace, například využitím mulčovacích materiálů (Dvořák et al. 2022) či šlechtěním rostlin (Aliche et al. 2022). V minulém století se šlechtitelé v českých zemích také zabývali odolností brambor proti suchu a zmiňovali odrůdy odolné těmto podmínkám (Mejstřík 1958). V této studii jsou zkoumány právě historické kultivary a jejich možné využití v současné době.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

V rámci práce zhodnotit odezvy rostlin bramboru vybraných odrůd na stresové podmínky sucha a tepla. Porovnat s kontrolními podmínkami i kvalitativní změny uvnitř hlíz. Z odrůd jsou zastoupeny v minulosti hojně pěstované odrůdy, ale i zástupci odrůd současných. Cílem práce je také posouzení agronomické tolerance u jednotlivých odrůd vůči suchu a porovnání odrůd mezi sebou.

Hypotéza 1: Pozdnější odrůdy vykazují vyšší adaptabilitu na suchu a teplo (fyziologické parametry) v porovnání s ranými odrůdami.

Hypotéza 2: Zkoumané historické odrůdy vykazují vyšší odolnost vůči suchu (produkční ukazatele) v porovnání se současnými odrůdami.

3 Literární rešerše

3.1 Původ brambor

Brambor (*Solanum tuberosum* L.), celosvětově pěstovaná plodina, pochází z Jižní Ameriky, z pohoří And. Byl zde domestikován před 7 000 lety. Místní podmínky původně pěstovaného bramboru s krátkou délkou dne, vysokou intenzitou světla, nízkými teplotami a vyšší vlhkostí se nacházely v nadmořské výšce 2 000 až 4 000 m. Po dovozu brambor do Evropy, kde panovaly odlišné klimatické podmínky (dlouhé dny, mírné teploty), zajistila delší fotoperioda vyšší akumulaci asimilátů z natě do hlíz, a z bramboru se stala jedna z výnosnějších plodin. Po roce 1800 se brambory rozšířily z Evropy do většiny světa a v současnosti se považují za důležitou polní plodinu zajišťující vysoký výnos a dobré výživné vlastnosti (George et al. 2007; Levy & Veilleux 2007).

Ve srovnání s obilovinami brambory produkují více sušiny, bílkovin a minerálních látek z jednotky plochy. Pěstují se na většině kontinentů. Nejvyšších výnosů dosahují v severních oblastech USA a severozápadní části Evropy, kde panuje mírné klima. Ve většině oblastí se rostliny brambor potýkají s nedostatkem vody, což omezuje finální výnos. Zavlažované zemědělství má příznivé i nepříznivé důsledky – vyšší sklizeň v kontrastu se zasolením půdy. Ve vyspělých zemích se plochy pro pěstovaný brambor každoročně snižují v důsledku klesající spotřeby konzumentů. V této souvislosti dochází ke kompenzaci rozvojovými zeměmi, kde se v druhé polovině 20. století pěstování brambor zvýšilo až trojnásobně (Levy & Veilleux 2007; Schafleitner 2009; Cheng et al. 2013).

3.2 České bramborářství

Na české území se brambory dovezly začátkem 17. století ze západní Evropy. Pěstovat se však začaly až o 100 let později. Počáteční negativní názory lidu na výživnou hodnotu bramborových hlíz překonaly špatné roční úrody obilí, které způsobily hladomor v letech 1770 a 1772 (Kutnar 1963; Vašků 1996). Ke konci 18. století se výsadbou brambor nahrazovaly úhory, čímž se v zemědělských systémech přešlo z trojpolní (úhorové) soustavy na norfolkskou soustavu, která se vyznačuje čtyřmi hony. Na začátku 19. století byly hlízy brambor pěstovány pro výrobu lihu na velkostatecích, později pro škrobárenství a výrobu sirupu. Úrodnost půdy byla významně zlepšena zásluhou Františka Horského, který v polovině 19. století praktikoval osevní postup skládající se z obilnin, jetele, řepky a brambor, přičemž půdu hnojl hnojem skotu (Hruška 1974).

V této době se výnosy brambor ale snížily až o 70 %. Plísňová hniloba brambor byla příčinou těchto poklesů při pěstování. V českých zemích následoval hlad a bída. Po několika letech hledání důvodů výskytu plísně bramboru dospěli zemědělci k závěru, že opakované vegetativní množení těchto rostlin vede k degeneraci a náchylnosti k onemocněním (Kutnar 1963). Po roce 1945 se produkce brambor přesunula hlavně do tzv. „bramborářských oblastí“, tedy do oblastí Českomoravské vrchoviny (Hruška 1974).

O deset let později docházelo k poklesu ploch, kvality, hektarových výnosů i škrobnatosti při pěstování brambor. Vytvořením JZD se vylidnil venkov, ubylo množství pracovních sil v

zemědělství a přibylo mechanizace na poli. Vypisování brigád pro školní mládež zdaleka nestačilo. Do osevních postupů v bramborářských oblastech byly tedy zařazeny kukuřice a obilí, jejichž agrotechnika sestává hlavně z mechanizačních zásahů. Celková spotřeba bramborových hlíz u obyvatel také klesla. Sloučení JZD, investice do mechanizace a agrotechniky, výzkumy na téma pěstování polních plodin výrazně pozvedly produkci brambor během 70. a 80. let minulého století. Brambory osázená plocha však v roce 1990 dosahovala pouhých 110 tisíc ha (Vokál 2013).

V současné době je pěstování brambor v ČR spíše okrajové, a to i v bramborářských oblastech. V letech 2005-2011 dosahovaly průměrné výnosy této plodiny 24,9 t/ha, což odpovídalo jedné polovině výnosů zemí EU-5. Sklizeň v ČR roku 2020 se v průměru pohybovala kolem 28,0 t/ha. Osázené plochy každoročně klesají, v roce 2002 byly porosty brambor založeny na 38 311 ha, roku 2020 pouze na 23 877 ha (Vokál 2013; Vejchar et al. 2017; MZe 2021).

3.3 Základní charakteristika brambor

Brambor hlíznatý (*Solanum tuberosum* L.) je jednoletá rostlina. Patří do čeledi *Solanaceae* a představuje významný zdroj živin pro člověka. Hlízy, které se konzumují, obsahují škrob (v sušině 75-80 %, lehce stravitelný), bílkoviny (71 %, tedy o 21 % více než u obilovin), vitamín C (11-40 mg/100 g čerstvé hmoty), vitamín B a minerály. Množství antinutričních látek (oxaláty a fytáty) je u brambor nízké (De Ferrière le Vayer 2017; Goyer 2017; Hamouz et al. 2018a; Li 2019). Pěstuje se pro své hlízy, kterými se v běžné praxi i rozmnožuje. Hlízy se vytváří v půdě na stolonech. Z morfologického hlediska je hlíza zduřelou lodyhou s několika pupeny, které se při sklizni za optimálních podmínek nachází v klidovém stavu, dormance (Levy & Veilleux 2007).

Trs bramboru je tvořen nadzemní částí (lodyha, listy, květenství, plody) a podzemní částí (stolony, hlízy, kořeny). Jednotlivé odrůdy lze dělit podle ranosti na rané (sklizené do 30.6.), polorané, polopozdní a pozdní (sklizené po 140 dnech od výsadby), které dle zralosti odpovídají hlízám určeným pro přímý konzum, uskladnění nebo průmyslové zpracování. Dále dělíme odrůdy konzumní podle varného typu na A, AB, BA (velmi pevná a pevná dužnina), B, BC (středně pevná až kyprá dužnina), C, CB (kyprá, silně moučnatá dužnina) a D (dužnina s vyšším obsahem škrobu) vhodné pro krmení hospodářských zvířat či průmyslové zpracování (Mejstřík 1958; Hruška 1974; Vokál 2013).

Genotypy se liší v délce dormance hlíz. Mladší hlízy se vyvíjejí pomaleji, tvoří méně stonků a hlíz a dozrávají později. Vývoj u starších hlíz je rychlejší, tvoří více stonků a hlíz a dozrávají dříve. Rané kultivary se vyznačují nižším výnosem, pozdní naopak vyšším v důsledku delšího období fotosyntézy (Levy & Veilleux 2007).

Způsob, podle kterého lze odrůdy brambor dále dělit, je barva slupky a dužniny. V posledních letech se u konzumentů dostávají v oblibu kultivary s netradiční červenou či fialovou dužinou pro vyšší obsah antioxidantů (kyselina askorbová a polyfenoly). Z pěstitelského hlediska se však tyto odrůdy výnosem od ostatních neliší (Pazderů & Hamouz 2017; Hamouz et al. 2018a). Anthokyany, které se nachází právě v těchto barevných odrůdách mohou přispět k lepšímu zdravotnímu stavu u lidí v důsledku svých antioxidantních,

antimikrobiálních a protizánětlivých vlastností. Tyto látky snižují rizika chronických onemocnění. Obsah anthokyanů je v porovnání s klasickými odrůdami až 4x vyšší. Je však ovlivnitelný podmínkami pěstování, skladování, způsobu zpracování a vaření. Antioxidační aktivita hlíz byla zjištěna výrazně vyšší u netradičních odrůd v porovnání s odrůdami tradičními. Obsah vitamínu C je až 3x vyšší u barevných odrůd než u odrůd klasických (Hamouz et al. 2011; Hamouz et al. 2018b; Orsák et al. 2019).

3.4 Tvorba hlíz

Tvorba hlíz neboli tuberizace je morfogenetický proces, během kterého se přeměňuje kořen nebo stonek v zásobní orgán. V případě bramboru se jedná o přeměnu podzemních částí stonku, tedy oddenků, v hlízy. Tuberizace u brambor je závislá na podnětech vnějšího (délka dne) i vnitřního prostředí (fytohormony). Tvorbu hlíz lze rozdělit do 3 etap: stolonizace (indukce a růst stolonů); inhibice růstu stolonů; a indukce a iniciace růstu hlíz (Procházka 1998).

Nejprve hrají roli auxiny a hlavně gibereliny. Poté klesá obsah giberelinů a roste obsah ethylenu. Nakonec se podílí cytokinin, kyselina abscisová a auxiny. Občas rostou hlízy i na slabých stolonech, které jsou však deformované či za sebou v řetízku (řetízkování hlíz). Tvorbu hlíz obecně podporují světelné podmínky krátkého dne a teploty okolo 17 °C. Signál, který spouští proces tuberizace je produkován v listech a směřuje z listů k vrcholu stolonu, kde je zahájena samotná tvorba hlíz (Procházka 1998; Morris et al. 2014).

Procházka (1998) hovoří o faktoru tuberizace – kyselině tuberonové. Zralá hlíza představuje nezávislý orgán na mateřské rostlině. Dormance neboli fáze klidu u hlíz je závislá na nízkém obsahu giberelinů v porovnání s obsahem inhibitorů. Mezi inhibiční látky patří např. maleinhydrazid nebo auxiny, které dormanci podporují. Lze je aplikovat pro oddálení rašení na uskladněné hlízy (Procházka 1998). Počet a velikost hlíz je závislá na genotypu, ranosti, polních podmínkách a agrotechnice (Vokál 2013).

3.5 Agrotechnika brambor

Brambory, stejně jako kukuřice a cukrová řepa, se řadí mezi širokořádkové plodiny. Z hlediska způsobu pěstování jsou náchylnější k erozním smyvům půdy v porovnání s obilím (Vejchar et al. 2017). Příprava půdy pro pěstování brambor začíná jako u většiny plodin již po sklizni předplodiny, kdy je provedena podmítka na hloubku 8-10 cm. Společně s nebo ihned po podmítnutí půdy lze vyset meziplodinu na zelené hnojení. Jako nejčastější meziplodina se využívá hořčice bílá. Na podzim se těsně před orbou aplikují hnůj, draselná a fosforečná hnojiva, která se zapraví orbou, aby nedošlo k velkému úniku živin. Dávka hnoje se pohybuje kolem 30 t/ha. Přes zimu zůstane půda v hrubém stavu pro zachycení vyššího množství srážek (Vokál 2013; Holejšovský et al. 2023).

Na jaře je provedeno urovnání půdy smykováním, odplevelení vláčením a prokypření kultivátorováním. Ideálního prokypření půdy je dosaženo v systému odkameňování půd. Mechanická a biologická příprava sadby, patří k dnešním standardům. Nejčastěji je provedeno

narašení sadby. Sazení naklíčené sadby je velmi náročné, může dojít k lámání klíčků. Vhodná velikost sadbových hlíz odpovídá 25-65 mm a 30-60 g. Důležitá je každoroční obměna sadby, jelikož kvalitní sadba zvyšuje produktivitu až o 20 % (Vokál 2013; Buckseth et al. 2022).

Výsadba bramborových hlíz o zmíněné velikosti je založena do hloubky 8-12 cm, přičemž mělké sazení je kompenzováno vysokým nahrnutím půdy do tvaru hrůbků. Ideální termín se řídí lokalitou pole a počasím, nejčasněji v březnu, nejpozději v květnu. Spon výsadby pro pěstování konzumních brambor odpovídá 750x300-380 mm, což poskytne 35 až 44 tisíc rostlin/ha. Spotřeba sadby je tedy cca 3 t/ha (Vokál 2013).

Od založení do cca 20 cm výšky porostu se provádí mechanická kultivace hrůbků, do kterých patří válení, plečkování, vláčení a hrůbkování. Mechanické zásahy jsou doplněny aplikací herbicidů, fungicidů a insekticidů. V systému odkameňování je provedeno ošetření porostu pouze chemickými přípravky (Vokál 2013; Holejšovský et al. 2023).

V některých oblastech ČR, většinou se jedná o nížiny (Polabí), se pěstují brambory pod závlahovým systémem. Postřik, mikropostřik, bodová a kapková závlaha jsou typy závlah, které lze uplatnit při produkci brambor. Vhodné je využití mulčů či úprava sponu výsadby (625x350 mm) pro snížení výparu vody z půdy. V případě závlahy lze využít systém částečného sušení kořenové zóny (partial root-zone drying, PRD). Tento způsob lze použít především u závlahy přerodem, praktikuje závlahu pouze jedné strany hrůbku, přičemž druhá strana vysychá do určité vlhkosti. Poté se zavlažování přesune na druhou stranu hrůbku a proces se opakuje. V důsledku tohoto systému, během kterého se aktivuje kyselina abscisová, jež reguluje fyziologické procesy v rostlině za stresových podmínek, dochází k úspoře vody a zvýšení využití vody (water use efficiency, WUE) až od 60 %. Výnos se nijak významně neliší od plně zavlažovaných porostů brambor v případě správného načasování metody PRD (Dráb 1956; Shahnazari et al. 2008; Ahmadi et al. 2010; Vokál 2013).

Využití vody (WUE) má dvě definice: poměr fotosyntézy k transpiraci nebo poměr asimilace uhlíku k transpiraci vody z listu přes průduchy. Faktory, které ovlivňují transpiraci a WUE, jsou délka vegetačního růstu rostliny, propustnost a vysychání listů, rychlost noční transpirace, plocha, orientace a růst listů a výpar vody z půdy (Obidiegwu 2015).

Ke sklizni brambor dojde po ukončení vegetace, ke které dojde chemicky (desikace), mechanicky (využití rozbíječe natě), přirozeně či kombinací. V ČR probíhá sklizeň přímá jednofázová s využitím sklízecích kombinací, které hlízy brambor vyorají, odstraní zeminu a následně naloží sklizené brambory k odvozu z pole (Vokál 2013).

3.5.1 Ekologické pěstování brambor

Ekologické zemědělství (EZ) se jeví jako alternativní způsob pěstování plodin. V současné době si získává stále větší oblibu u zákazníků, kteří se zajímají o zdravou výživu. V souvislosti s ekologickou produkcí se veřejně hovoří o udržitelných potravinách, které zde představují systém pěstování plodin bez téměř negativních dopadů na životní prostředí. Další a mnohem důležitější funkce EZ souvisí s bezpečnými potravinami, tedy produkce zdravých a nezávadných produktů. V tomto systému se využívají hlavně přírodní mechanismy a přípravky na ochranu rostlin a zemědělská mechanizace k obhospodařování půdy. Dalším rozdílem od konvenční produkce je extenzivní způsob hospodaření. Úrodnost půdy značně roste, snižují se

ceny vstupů, zlepšuje se životní prostředí i kvalita potravin. V roce 2017 v zemích EU činila plocha EZ celkem 12,82 mil. ha, přičemž celkový počet producentů se pohyboval okolo 343 000 (Eyinade et al. 2020; Kowalska & Lubońska 2020).

Mezi metody ochrany půdy v ekologickém zemědělství patří zakládání krycích plodin, mírné nebo nulové zpracování půdy, využití mulče a meziplodin či hospodaření po vrstevnici. Výnosy jsou hlavní otázkou pro začínající ekologické zemědělce. Jsou sice nižší, zato produkce je z hlediska zdravotního stylu kvalitnější. Cena je v důsledku nižších výnosů zhruba o 30 % vyšší v porovnání s neekologickými produkty (Eyinade et al. 2020; Kowalska & Lubońska 2020).

Pěstování bio brambor se objevuje téměř ve všech ekologicky hospodařících podnicích. V systému EZ je kladen důraz na střídání plodin v osevních postupech, a právě brambory je vhodné zde zařadit. Náplň pěstitelské technologie sestává z využití procesů přírody a správné kombinaci zemědělské mechanizace a přírodních podmínek. Po předplodině je vhodné spolu s podmínkou založit meziplodinu na zelené hnojení. Na podzim aplikovat chlévský hnůj a následně půdu orbou převést do hrubého stavu. Na jaře povrch půdy dostatečně urovnat a prokypřit. Pro založení porostu využít zdravou, certifikovanou a biologicky připravenou sadbu (narašení, naklíčení). Do zapojení porostu dostatečně mechanicky obhospodařovat hrůbky pro regulaci plevelů, provzdušnění porostu a přihrnutí většího množství půdy. Rostliny brambor se neobejdou bez aplikace přírodních insekticidů a fungicidů. Před sklizní je třeba mechanicky odstranit nať. Kvalita bio brambor se odvíjí také od šetrné sklizně a správného posklizňového ošetření (třídění, uskladnění či prodej ze dvora). Mezi přírodní hrozby porostu bio brambor patří mandelinka bramborová (*Leptinotarsa decemlineata*) nebo plíseň bramboru (*Phytophthora infestans*). Škody lze minimalizovat vhodnými mechanizačními zásahy, aplikací insekticidů a fungicidů na bázi přírodních látek či odolnou sadbou (Neuerburg & Padel 1994; Passos et al. 2022).

Ekologičtí zemědělci získávají dotační podporu v rámci hospodářské produkce šetrné k životnímu prostředí. Při pěstování brambor do 6 ha činí v systému EZ 660 EUR/ha, při ploše nad 6 ha 638 EUR/ha. V případě přechodného období, které trvá 2 roky, činí sazby 680 EUR/ha nebo 660 EUR/ha. V ČR se produkce bio brambor pohybuje okolo 4 500 t, přičemž plocha na 1 farmu v systému EZ je v průměru 1 ha. Bio brambory se v ČR pěstují na 320 ha a cca na 240 farmách. Průměrné výnosy se pohybují kolem 15 t/ha (Dvořák & Král 2023).

3.6 Stresové reakce rostlin

3.6.1 Fyziologie rostlin během stresových podmínek

Pouštní sukulenty se řadí mezi rostliny s CAM cyklem fixace CO₂. Tyto rostliny mají přes den uzavřené průduchy, kdy dochází k fixaci CO₂ do produktů fotosyntézy. Samotný příjem CO₂ ze vzduchu do listů probíhá v noci, kdy jsou průduchy otevřené a díky vysoké vlhkosti vzduchu a nízké teplotě listu dochází k nejnižšímu výparu, tedy vysychání rostlin. V podmínkách s extrémními teplotami a nedostatkem vody mají z rostlin nejvyšší šanci na přežití, v důsledku výborné adaptace na nekomfortní prostředí (Procházka 1998).

Stárnutí neboli senescence je proces, při kterém postupně odumírají buňky, pletiva, orgány a celé rostliny. Zakončení spočívá v přirozené smrti rostliny. Vnější podmínky prostředí se podílí a ovlivňují průběh senescence. Stárnutí rostlin indikuje opad listů. Za přirozených podmínek (nízká teplota, krátký den) dochází ke žloutnutí a ztrátě listů bez ohledu na pořadí na lodyze v důsledku snížení obsahu auxinů a giberelinů a zároveň zvýšení obsahu kyseliny abscisové (ABA) v listech. Senescence je podporována kyselinou abscisovou (ABA) a jasmonovou (JA), ethylenem, krátkým dnem, nedostatkem živin (dusík, fosfor, draslík, hořčík) a stresy (vysoké nebo nízké teploty, nedostatek vody, vyšší obsah průmyslových emisí). Stárnutí naopak zpomalují gibereliny, auxiny, cytokininy a dlouhý den (Procházka 1998; Bitá & Gerats 2013).

Vnější prostředí ovlivňuje životní procesy rostlin. Nepříznivé podmínky mohou zpomalovat růst a vývoj, poškozovat orgány nebo dokonce usmrtit rostliny. Tyto podmínky jsou označovány jako stresové faktory či stresory, přičemž stav, kdy je rostlina vystavena vlivu stresorů, se nazývá stres. Ve většině případů se jedná o souhrn mnoha reakcí. Rostliny využívají pasivní (stress avoidance) nebo aktivní (stress tolerance) způsob ochrany před nepříznivými podmínkami. Stress avoidance (vyhnutí se stresu) je dlouhodobého charakteru, během kterého si rostlina tvoří zásoby (např. vody nebo živin). V důsledku se pak vyhýbá stresu, jelikož čerpá ze svých vlastních zásob a vhodně přizpůsobuje termíny životních cyklů stresovým období. Stress tolerance (tolerance ke stresu) se řadí k zajímavějším způsobům ochrany rostlin před stresem, kdy dochází k fyziologickým procesům, které omezují negativní účinky stresorů až po jejich proniknutí k buňkám rostliny. Některé druhy rostlin tedy dovolí působení nepříznivých podmínek až na plazmatickou membránu a následně reagují fyziologickými změnami ve svém organismu (Procházka 1998; Schafleitner 2009; Lipiec et al. 2013).

Při způsobu aktivní ochrany dochází ke změnám v rostlině (stresová reakce). První fáze (poplachová fáze) nastupuje ihned při působení stresového faktoru. Buněčné struktury a funkce jsou narušeny. Ke druhé fázi (restituční fáze) dojde v případě, že intenzita působení stresoru nepřekročí letální úroveň. Mobilizují se kompenzační mechanismy, které zvyšují odolnost vůči stresorům a rostlina se dostává do třetí fáze (fáze rezistence). Zvýšení odolnosti nemusí trvat dlouhodobě a může nastat fáze čtvrtá (fáze vyčerpání). Intenzita a délka působení stresových vlivů na rostlinu a genetické předpoklady odolnosti rostliny (adaptační schopnosti) ovlivňují průběh a výsledek stresové reakce. Aklimace, tedy přechodně zvýšená adaptace rostliny v reakci na vliv stresoru, může být založena krátkodobě na tvorbě určitých metabolitů i dlouhodobě na tvorbě nových orgánů či změně jejich vnitřní struktury, kdy se po předchozí zkušenosti změni budoucí reakce rostliny na stresové faktory (Procházka 1998; Bruce et al. 2007; Schafleitner 2009; Lipiec et al. 2013).

Zvýšená odolnost či adaptace na nepříznivé podmínky způsobené stresory stojí rostliny výrazné množství energie. S tím souvisí i pokles rychlosti získávání nových zdrojů energie a tvorby biomasy. Tyto změny v rychlosti fyziologických procesů v rostlině mohou přetrvávat delší dobu po ukončení vlivu stresorů na rostlinu, tedy návrat do, pro rostlinu optimálních podmínek (Procházka 1998).

Reakce rostliny na přehřátí probíhá nejprve v chloroplastech, kde jsou postiženy tylakoidní membrány. Měřením fluorescence chlorofylu in vivo lze zjistit následný stres, který se projevuje poškozením fotosystému II. Tepelný stres lze definovat jako zvýšení teploty nad určitou úroveň po dostatečnou dobu, během které dojde k trvalému poškození růstu nebo vývoje

rostliny. Během zvyšující se teploty rostliny se nejprve rozpadnou jednotlivé části daného komplexu a následně dojde k denaturaci proteinů. Reakce na zvyšující se teplotu rostliny (aklimační reakce) přichází zhruba za hodinu od napadení rostliny stresorem. Nejprve se tvoří stresové proteiny (heat-shock proteins), které se transportují z cytozolu do mitochondrií a chloroplastů. Jejich činnost zvyšuje termostabilitu rostliny. V porovnání s heat-shock proteiny dochází k chemickým změnám v membránách později, až po pár dnech (Procházka 1998; Bruce et al. 2007; Lipiec et al. 2013).

Stejně jako na zvýšené teploty, reagují rostliny i na stres způsobený teplotami nižšími. V podmínkách našeho klimatického pásma, může většina rostlin trpět či být poškozena teplotami pod bodem mrazu. Podobné riziko se týká i lehkého ochlazení vzduchu (pod +10 °C), při kterém již lze pozorovat reakce na stres. Citlivost na nižší teploty nad bodem mrazu (citlivost na chlad) vykazují rostliny, které pocházejí především z teplejších oblastí (rajčata, okurky, kukuřice a papriky). Riziko stresu či poškození rostliny nízkými teplotami provází i doba působení těchto hodnot, která urychluje stresové procesy v rostlinách (již během pár hodin). Vedle květních orgánů jsou na nízké teploty nejcitlivější chloroplasty. Teploty pod bodem mrazu způsobují v rostlinách mrazovou dehydrataci buněk, kdy se led tvoří ve všech částech bohatých na vodu. Dochází k neobnovitelnému poškození těchto částí a rostlina odumírá. Schopnost zabránění vzniku ledu v buňkách a tolerance odvodnění buněk se nazývá mrazuvzdornost, přičemž otužování je schopnost zvýšení odolnosti proti mrazu. Tyto schopnosti rostliny závisí na dostatečných zásobách asimilátů (Procházka 1998).

Z abiotický faktorů působících na rostliny je nedostatek vody na první příčce. Voda v rostlinách i půdě vystačí na velmi krátkou dobu. Stres z nedostatku vody neboli vodní stres lze rozdělit u mezofytních druhů rostlin dle hodnot vodního potenciálu listů: mírný stres (do -0,5 MPa), středně velký stres (-0,5 MPa až -1,5 MPa) a velmi silný stres (pod -1,5 MPa), při kterém se turgorový tlak buněk rovná nule a listy vadnou. Růst rostliny je zastaven dříve, než dojde k vadnutí listů či změnám metabolických procesů a fotosyntézy. Růst listů se zastavuje při 40 až 50% nasycení půdy vodou. Dále dochází k hromadění nevyužitých asimilátů a rychlé změně aktivity enzymů (zrychlení hydrolýzy škrobu nebo zpomalení redukce nitrátů či buněčného dělení). Koncentrace kyseliny abscisové (ABA, mediátor stresových proteinů) v buňkách se zvyšuje až 40x a v listech způsobuje zavírání průduchů, což má za následek zpomalení výměny plynů, fotosyntézy a transpirace. Dále se zvyšuje koncentrace aminokyseliny prolinu až 100x a některé druhy rostlin syntetizují jiné metabolity (cukry či složitější alkoholy), čímž zvyšují osmotický tlak v buňkách. Při snížení vodního potenciálu listů pod -1,5 MPa se zastavuje fotosyntéza a transportní procesy uvnitř buněk se zpomalují, naopak hydrolytické procesy (někdy i transpirace) se zrychlují (Procházka 1998; Mittler 2006; Schafleitner 2009; Salaš 2011). Atkinson & Urwin (2012) uvádějí, že některé rostliny v buňkách akumulovaly místo prolinu sacharózu v důsledku kombinace stresů ze sucha a vyšší teploty.

Během vodního stresu rostlině nestačí jen přežít, ale musí vytvářet i dostatek asimilátů pro správný růst, tedy fixovat více množství uhlíku. K zamezení ztráty vody a během příjmu CO₂ pro fotosyntézu je třeba regulace výměny plynů průduchy mezi listem a okolím. Mechanismus zavírání průduchů, který spouští nízký turgor a přenos informace kyselinou abscisovou, je v porovnání s xerofyty častější u mezofytů. Rozdíl z hlediska vodního potenciálu listů, během kterého se průduchy uzavírají: mezofyty (-0,5 MPa až +1,0 MPa) a xerofyty

(-1,0 MPa až -2,0 MPa). Fixační cesty uhlíku typu C4 a CAM vyskytující se u rostlin v aridních oblastech jsou velmi vhodné schopnosti k minimalizaci ztrát vody. U C4 rostlin dochází k rychlejšímu toku CO₂ do listů. V důsledku tohoto mechanismu dochází při tvorbě sušiny k úspoře vody v porovnání s rostlinami typu C3. CAM rostliny kvůli své adaptaci na vodní stres ponechávají průduchy během dne (světelná perioda) zcela uzavřené. Uvnitř rostlin pak probíhá recyklace uhlíku, což je ideální schopnost přežití a růstu pro extrémně suché podmínky prostředí v důsledku minimálních ztrát vody průduchy (Procházka 1998; Mittler 2006).

Reakce na nedostatek kyslíku v půdních podmínkách (za silných dešťů nebo po zaplavení půdy) spočívá ve změnách koncentrace fytohormonů a syntéze stresových proteinů. Koncentrace kyseliny abscisové a ethylenu roste, naopak cytokininů klesá. Zvýšené množství ethylenu v podzemní části rostliny spouští řadu aklimačních reakcí, během kterých se tvoří interceluláry v parenchymatických pletivech podzemní i nadzemní části rostliny. Propojením těchto částí vznikají kanálky, kterými je veden kyslík z nadzemní do podzemní části a tvorbě nových kořenů. Nově vzniklé kořeny mají větší průměr a méně bočních větví (Procházka 1998; Mittler 2006; Bruce et al. 2007).

Zasolení půd může být způsobeno mimo jiné i dlouhodobým zavlažováním. Tento problém způsobuje v neadaptovaných rostlinách hromadění některých iontů (Na⁺, Mg⁺, Cl⁻ a SO₄²⁻), dále zhoršení fyzikálních vlastností a nízký vodní potenciál půdy. Za těchto podmínek nedochází k normální funkci enzymů, dále se zastaví dělivý i dlouhivý růst a závěrem odumře celá rostlina (Procházka 1998).

Další negativní vlivy na přežití a růst rostlin mají toxické látky. Oxid siřičitý (SO₂), který se přes otevřené průduchy, difúzi v intercelulárách a přeměně na siřičitanové anionty dostává do chloroplastů, ve větší koncentraci blokuje činnost enzymu Rubisco a inhibuje sekundární procesy fotosyntézy. Ozon, který je svou toxicitou podobný SO₂, ve vyšší koncentraci poškozuje součásti buněčné membrány a orgány, hlavně chloroplasty. Listy následně žloutnou a odumírají. Těžké kovy (zinek – Zn, olovo – Pb a kadmium – Cd) inhibují dělení a dlouhivý růst buněk kořenů, kde zároveň dochází k jejich hromadění. Část jejich iontů je translokována do nadzemní části rostliny (především listů), kde ovlivňují hlavně fotosyntézu (Procházka 1998).

3.6.2 Abiotické stresové faktory

Mezi hlavní abiotické faktory, které způsobují stres rostlin, se řadí extrémní teploty, nedostatek vody a zasolení půdy. Stresové podněty tedy pochází ze vzduchu nebo z půdy. V zemědělství působí tyto podmínky ztráty na výnosech až 50 %. Na rostliny často působí širší spektrum stresorů, které mnohdy napadá pouze části rostlin. Systémových reakcí v tomto případě není třeba. Nejčastější změny, které zvyšují odolnost těchto organismů proti několika stresorům současně, jsou: tvorba stresových proteinů a fytohormonů (kyselina abscisová, ethylen, polyaminy), tvorba a odstranění aktivních forem kyslíku a tvorba osmoregulačních sloučenin jako jsou cukry, polyalkoholy nebo jednoduché dusíkaté látky (Procházka 1998; Vollenweider & Günthardt-Goerg 2005; Atkinson & Urwin 2012).

V důsledku působení výše zmíněných stresových faktorů se v buňkách mění zastoupení proteinů. Koncentrace některých stoupá (stresové proteiny), jiných naopak klesá. Začíná i

tvorba neobvyklých (za normálních podmínek se nevyskytujících) proteinů. Zvýšení či snížení koncentrace těchto proteinů vrcholí několik hodin od začátku působení stresových podnětů. Následuje návrat do původního stavu. Stresové proteiny se dělí na dvě části: vázané na specifický či nespecifický stresový faktor. Mezi proteiny, které se vyskytují u více typů stresů (nespecificky vázané), patří: molekulární chaperony, proteázy a ubikvitin. Chaperony mění uspořádání molekul (konformace) proteinů během jejich transportu přes buněčné membrány i při mírném poškození. V případě velkých a nenapravitelných změn (důsledek sucha či mrazu) jsou proteiny označeny molekulou ubikvitinu a rozloženy na aminokyseliny za pomoci proteáz (Procházka 1998).

Proteiny indukované zvýšením teploty (heat-shock proteins, HSP) se nachází v buňkách rostlin neustále, ale k jejich aktivitě dochází až po zvýšení teploty. Stejný mechanismus, ale v případě snížení teplot, mají proteiny indukované chladem (cold-induced proteins). Proteiny tvořené během dehydratace rostlin (dehydration-induced proteins) se vyskytují v buňkách za nízkých teplot nebo při zasolení půdy. Zvláštní skupinou těchto stresových proteinů jsou dehydriny. Proteiny indukované za snížené koncentrace kyslíku (anaerobic stress proteins, ASP) se tvoří při nedostatku kyslíku v půdě. V případě napadení rostliny patogeny jsou v buňkách syntetizovány obranné proteiny (pathogenesis-related proteins, PRP). V buněčné stěně lze nalézt ihned po kontaktu buňky s patogenem skupinu těchto proteinů zvanou tioniny (Procházka 1998; Salaš 2011; Saidi et al. 2011; Bitá & Gerats 2013).

Aktivní formy kyslíku negativně působí peroxidací lipidů. Přímá deaktivace oxidačního poškození je zajištěna karotenoidy, které z chloroplastů odstraní kyslík. Dále alfa-tokoferol (vitamin E) deaktivuje kyslík v membráně a chrání lipidy před peroxidací. Peroxid vodíku se účastní i dalších obranných reakcí při napadení rostliny patogenem. Ve spolupráci s kyselinou salicylovou, která zvyšuje peroxid vodíku, podporuje tvorbu části stresových proteinů (Procházka 1998; Mittler 2006; Saidi et al. 2011; Atkinson & Urwin 2012).

Sucho způsobuje nekrózy na listech. Rostlina reaguje na ozon a těžké kovy velmi podobně jako na vodní stres, kdy zvýšená intenzita těchto příznaků signalizuje akumulaci stresových podnětů. Dále stres suchem ovlivňuje i orgány v rostlině. Nekrotické oblasti na listech ohraničené zelenými tkáněmi jsou typické pro stres způsobený suchem, mrazem, kroupy, chladem či zasolením (Vollenweider & Günthardt-Goerg 2005). Sucho v kombinaci s vyšší teplotou prostředí mělo výrazně větší škodlivý účinek na růst a produkci kukuřice, ječmene a čiroku. Důsledek kombinace těchto stresorů (teplo, sucho) jsou: zrychlené dýchání, nízká fotosyntéza, uzavřené průduchy a vysoká teplota listů (Mittler 2006). Kořeny rostlin reagují na sucho prodloužením hlavního kořene a redukcí počtu bočních větví (Salaš 2011). Bitá & Gerats (2013) naznačují, že vysoké množství sacharidů (glukóza, sacharóza) v rostlině představuje důležitou vlastnost při toleranci k vodnímu stresu.

Rostliny, které jsou alespoň částečně adaptované na stresové podmínky, by měly vykazovat následující znaky: schopnost a přizpůsobivost růstu za méně příznivých podmínek, ranost, vhodný habitus rostliny, rychlý nárůst biomasy, odolnost méně vhodným podmínkám, efektivnější využití vody, zlepšení intenzity fotosyntézy a širokou adaptabilitu (Salaš 2011).

Atkinson & Urwin (2012) uvádí, že virem infikovaný tabák, rýže a řepa si udržely ve svých listech vodu déle a dostaly se pod vodní stres později v porovnání s jejich neinfikovanými variantami. Salaš (2011) a Atkinson & Urwin (2012) zmiňují, že inokulace kořenového systému bakteriemi by mohla být vhodnou cestou pro zvýšení suchovzdornosti rostlin. Právě kořeny

jsou nejcitlivější částí rostlin při působení stresorů. Očkování kořenů zlepšuje jejich růst, což může pozitivně ovlivnit odolnost rostliny proti suchu. Obsah ethylenu v rostlinách, který je v důsledku inokulace kořenů bakteriemi potlačován, hraje roli v odolnosti proti vodnímu stresu. Na kolísání hladiny půdní vody citlivě reagují jedinci s vyšším obsahem ethylenu. Nižší koncentrace této látky má pozitivní vliv na růst kořenů, negativní na růst listů a rostlina je odolnější vodnímu stresu. Za vysokých teplot jsou redukovány boční větve kořenů a mění se úhel jejich prorůstání do půdy. Při nedostatku živin v půdě se snižuje objem a sušina, ale roste délka kořenů. V důsledku zasolení se do procesu zapojují stresové proteiny, dále se zkracuje a zpomaluje růst buněk – dochází tedy k redukci růstu kořenů, které jsou sice větvené, ale boční větve nedosahují velké délky (Salaš 2011). Rozsáhlejší systémy kořenů mohou tedy být vhodnou adaptací při toleranci rostlin k suchu i dalším abiotickým stresům (Lipiec et al. 2013).

Dodd et al. (2015) uvádí, že částečné sušení kořenové zóny, které je aplikováno v oblastech s nedostatkem vody, má pozitivní vliv na efektivní využití vody rostlinami. Dále zjistil, že právě částečné vysušení kořenů zvýšilo koncentraci dusíku v rostlinách v důsledku zvýšené aktivity mikroorganismů v půdě, kteří zajistili mineralizaci organického dusíku a zpřístupnili ho pro rostliny.

Snižující růst rostlin při vodním stresu lze považovat za průběh adaptace než za důsledek nedostatku vody. Tato strategie snižuje spotřebu vody během působení těchto stresorů. Zvýšení dávek hnojiv nemá vliv na odolnost rostlin během sucha, ale draslík, který reguluje otevírání a zavírání průduchů listů, způsobuje rychlejší otevření průduchů po ukončení působení vodního stresu (Lipiec et al. 2013).

3.7 Faktory ovlivňující růst a vývoj brambor

Levy & Veilleux (2007) zjišťují, že ranější odrůdy brambor jsou tolerantnější ke stresu vyšší teplotou. Kyselina gibberelová (GA), jejíž koncentrace se zvyšuje za dlouhých dnů, inhibuje růst hlíz, naopak cytokininy a kyselina abscisová (ABA) růst hlíz podporují. Za krátkých dnů s mírnými teplotami dorůstají hlízy vyšších objemů. Během dlouhých dnů s vyššími teplotami roste nať i kořeny, ale hlízy minimálně. Za optimální teplotu pro růst hlíz se považuje 20 °C, přičemž nižší či vyšší teplotní hodnoty tuberizaci opoždějí. Pro maximální rychlost fotosyntézy u brambor je vhodná teplota prostředí 16-20 °C. Přesná hodnota se odvíjí od kultivaru, například Russet Burbank dosáhl maximální rychlosti fotosyntézy za teplotního rozpětí 24-30 °C.

Schafleitner (2009) se zmiňuje o suchu v raném vývojovém stádiu brambor. Před tuberizací tento stresor ovlivňuje počet stolonů na stonek, kdy dochází k jeho snížení. Počet hlíz na stolon není ovlivněn. Růst listů se u brambor zastaví již při 60 % polní vodní kapacity, což je v porovnání s ostatními rostlinami mnohem dříve. Brambory jsou tedy náchylné k vodnímu stresu.

Atkinson & Urwin (2012) zkoumají, zda sucho a cystotvorné hád'átko (*Globodera pallida*) mají vliv na schopnost využití vody brambory. Autoři zjišťují, že oba stresové faktory negativně ovlivňují růst i vývoj brambor. Rostliny infikované hád'átkem spotřebují méně vody, čímž dochází ke snížení působení vodního stresu, ale zároveň *Globodera* způsobuje nižší růst kořenů, a tedy snížení tolerance k suchu.

3.7.1 Listové choroby brambor

Mezi listové choroby brambor, které ovlivňují růst, vývoj a celkový výnos těchto hlíznatých polních plodin, patří plíseň bramboru (*Phytophthora infestans*), terčovitá skvrnitost (*Alternaria solani*) a hnědá skvrnitost (*Alternaria alternata*). Tato onemocnění způsobené houbovými původci v častých případech ničí listové plochy a dle odrůdy napadají i hlízy. Za podmínek optimálních pro jejich rychlé šíření zvládají zajistit ztráty i desítek procent (Hausvater & Doležal 2023; Litschmann et al. 2023).

Phytophthora infestans, hlavní listová choroba brambor, se do svého okolního prostředí šíří epidemicky. Délka ovlhčených listů a náchylné odrůdy ovlivňují vývoj onemocnění v porostu. Některé kultivary brambor jsou napadány na nati, jiné na hlízách či kombinovaně. Optimální teplota pro rozvoj této houbové choroby se pohybuje mezi 12 °C a 25 °C při ovlhčení listů po dobu minimálně 12 hodin (Passos et al. 2022; Hausvater & Doležal 2023). Rozsah šíření této choroby se uvádí v jednotkách či desítkách kilometrů (Litschmann et al. 2023). Atkinson & Urwin (2012) uvádějí, že aplikace kyseliny abscisové (ABA), například při pokusech se zvýšením tolerance rostlin ke stresu, zvyšuje náchylnost k onemocnění brambor právě houbami *Phytophthora infestans* v důsledku uzavření průduchů a udržení vlhkých listů.

Alternariové skvrnitosti (*Alternaria alternata* a *solani*) se vyskytují více lokálně v porovnání s plísní bramboru. Nestálé počasí s rychlými změnami místního mikroklimatu jsou optimální podmínky pro šíření této choroby, přičemž oproti *Phytophthora infestans* se nerozšiřuje do širokého okolí. Rozhodující vliv na náchylnost odrůdy k onemocnění hraje vitalita natě (Hausvater & Doležal 2023). Listové patogeny rodu *Alternaria* škodí pomalou destrukcí pletiv rostliny, čímž omezují proces fotosyntézy. Ohroženy jsou porosty brambor, které jsou pod tlakem stresových faktorů (např. sucho nebo nedostatek hořčíku). Příznaky této choroby se tedy podobají symptomům při vodním stresu či malé zásobě živin. Rozloha pro šíření alternariových skvrnitostí se uvádí ve stovkách metrů. Vhodné teploty vzduchu pro rozvoj onemocnění se pohybují od 20 °C do 30 °C spolu s ovlhčenými listy po dobu minimálně 3 hodin. Spory hub rodu *Alternaria* přežívají velmi dobře období sucha. Jsou tedy při následném zvýšení vlhkosti vzduchu připraveny klíčit (Litschmann et al. 2023).

V polní praxi lze dosáhnout přiměřeně uspokojivých výnosů brambor bez fungicidní ochrany. Alternariové skvrnitosti nejsou velkým problémem. Naopak plíseň bramboru je třeba předcházet, jelikož z dostupných odrůd vhodných pro pěstování v našich podmínkách chybí odolné varianty (Hausvater & Doležal 2023).

3.7.2 Zpracování půdy před založením porostu brambor

Oblast kraje Vysočina, kde v roce 2022 byly brambory osázeny největší plochy (21 680 ha), se vyznačuje lehkými nebo středními půdními druhy, které mohou být náchylnější k erozním událostem nebo rychlejšímu rozkladu organické hmoty. Organická hmota ubývá i při pěstování brambor, které je spojeno s intenzivní přípravou (hlavně kypřením) půdy (Holejšovský et al. 2023).

Bohatý kořenový systém je důležitý ukazatel odolnosti brambor (i celkově rostlin) k abiotickému stresu. Zhutnělou půdou kořeny bramboru špatně pronikají (Wishart et al. 2013; George et al. 2017). Základní zpracování půdy pro úspěšné pěstování brambor představuje orba.

Alternativní a často využívanou technologií může být intenzivní kypření bez obracení, redukovaný systém zpracování s aplikací mulče nebo technologie separace kamenů – záhonové odkameňování. Před orbou či vhodnými alternativami je třeba půdu mělce prokypřit pro omezení vzejití výdrolu meziplodiny (pokud byla založena) nebo předplodiny. Využití mulče na povrchu půdy je ideální v případě zajištění vláhových podmínek v půdě a zvýšení efektivity využití vody rostlinami bramboru, případně snížení evapotranspirace (George et al. 2017; Holejšovský et al. 2023).

3.7.3 Meziplodiny a pomocné plodiny při pěstování brambor

Před nebo v průběhu pěstování brambor lze využít rostliny jiných druhů ke zlepšení půdních podmínek pro hlavní plodinu. Meziplodiny jsou porosty založené v mezidobí hlavních plodin. Pole jsou oseta jedním či více druhy rostlin, které po zapravení nebo ponechání na povrchu půdy obohatí půdní prostředí o důležité živiny. V důsledku meziplodin může pěstitel omezit dávky hnojiv. V České republice se často využívá ozelenění půdy po sklizni předplodiny. Pěstitelé v Německu připravují hrůbky již na podzim a následně je osejí vymrzající meziplodinou (Holejšovský et al. 2023).

Pomocné plodiny se zakládají do meziřádků (mezi-hrůbků) při výsadbě nebo během vegetace brambor. První varianta je vhodná pro rychlé zakrytí půdy a v technologiích pěstování bez kultivačních zásahů pro omezení plevelů. Před zapojením porostu je třeba tuto pomocnou plodinu umrtvit, aby nedošlo k nežádoucímu zaplevelení či konkurenci brambor. Druhá zmíněná varianta se zakládá při posledním kultivačním zásahu – nahrnutí hrůbků. V tomto případě nejsou porosty brambor vystaveny herbicidům (mechanická kultivace) a pomocnou plodinu lze ponechat až do sklizně. Je tedy vhodné zvolit druh, který není konkurencí či rizikem zaplevelení hrůbků (Holejšovský et al. 2023).

Varianta pomocných plodin vhodná do mezi-hrůbků je například luskovinoobilná směska, která omezuje erozi, snižuje evapotranspiraci, redukuje množství plevelů, případně může fixovat vzdušný dusík do půdy a podporovat činnost půdních mikroorganismů. V rámci ekologie krajiny tento způsob pěstování zvyšuje biodiverzitu, snižuje vyplavování dusičnanů a zlepšuje bilanci organické hmoty. Dále mohou pomocné plodiny v bramborech snižovat tlak drátovců na hlízy, kdy se jedná o přísev během vegetace (Holejšovský et al. 2023).

Využití pomocných plodin má však i svá rizika. Konkurence s hlavní plodinou o vodu, světlo a živiny, rozvoj škodlivých organismů v porostu nebo možnost zaplevelení patří mezi hlavní nebezpečí. Prevence rizik je tedy ve výběru správných druhů pomocných rostlin, vhodný termín a způsob přísevu, případně likvidace porostu (Holejšovský et al. 2023).

3.8 Stresové reakce brambor

3.8.1 Abiotické stresy u rostlin bramboru

Nedostatek vody, vysoké nebo nízké teploty, nedostatek kyslíku, zasolení, nedostatek živin nebo vysoká koncentrace těžkých kovů v půdě jsou stresové faktory abiotického původu, které působí na brambory v polních podmínkách. Svou činností omezují výnosy zemědělských

produktů ve všech oblastech světa, které se věnují polní produkci. Reakce na větší počet abiotických stresů se liší od reakcí na jednotlivé stresy. Brambory jsou často vystaveny více abiotickým stresům najednou. Se suchem se v polních podmínkách mnohdy vyskytují vyšší teploty nebo zasolení (Evers et al. 2007; Cioloca et al. 2022; Zinta et al. 2022).

George et al. (2017) pozorovali, že polní podmínky nemusí být extrémní, aby došlo k ovlivnění rostlin bramboru škodlivě; celkový výnos a kvalita hlíz jsou nejvíce ovlivněny abiotickými stresy ve fázi tuberizace; všechny výše zmíněné abiotické stresy ovlivňují proces fotosyntézy a tedy výsledný výnos plodin; některé fyziologické reakce rostlin jsou podobné pro sucho, teplo a zasolení; reakce na stres jednoho faktoru mohou omezit odolnost vůči jiným; a rostliny mohou být postiženy více stresy najednou.

3.8.2 Stres suchem

Sucho lze považovat za stres, který je často počátkem nebo první fází problému pro rostlinu. V polních podmínkách většinou předurčuje působení dalších stresů na pěstované plodiny (Aliche et al. 2022). Počátek výzkumu brambor a jejich reakcí na vodní stres je datován do 60.-80. let minulého století (Monneveux et al. 2013). Brambory patří mezi polní plodiny citlivé na nedostatek vody v půdě. Sucho během vegetační doby snižuje výnos a poškozuje kvalitu sklizených hlíz. V reakci na stres způsobený deficitem půdní vlhkosti dochází k uzavření průduchů v listech. Přenos informace o stresu z kořenů do zbytku rostliny zajišťuje v první řadě kyselina abscisová (ABA). Koncentrace ABA, produkovaná kořenovými špičkami, narůstá ihned po zaznamenání poklesu vody v půdě. Následně dochází k regulaci fyziologických procesů v nadzemní části rostliny (Liu et al. 2005; Watkinson et al. 2006; Schafleitner 2009).

Puértolas et al. (2015) zjišťují, že 25-30 % celkové koncentrace ABA v rostlině během působení stresu suchem pochází z výhonků z důvodu recirkulace transportované ABA ve floému směrem od výhonků ke kořenům. Nevyvrací však, že zvýšení koncentrace kyseliny abscisové při vodním stresu pochází z kořenových špiček. Dále zmiňuje, že schopnost kořenového systému akumulovat kyselinu abscisovou závisí na jejich poloze. Mělké a starší kořeny akumulují méně ABA v porovnání s kořeny hlubšími a mladšími.

Liu et al. (2005) zmiňují, že slabý pokles půdní vlhkosti (hodnota vodního potenciálu kořene $> 0,3$ MPa) způsobuje mírný stres, během kterého dochází k částečnému uzavření průduchů, což zvyšuje účinnost využití vody (WUE) rostlinou. Zinta et al. (2022) poznamenávají, že již při vodním potenciálu $-0,3$ až $-0,5$ MPa dochází k rychlému poklesu fotosyntézy u rostlin bramboru. Sun et al. (2014) uvádějí, že velikost a hustota průduchů závisí na závažnosti působení stresu. Hustota průduchů roste v případě mírného stresu. Po překročení prahové úrovně nedostatku vody se hustota průduchů snižuje. Podle Obidiegwu (2015) je uzavření průduchů při vyšších teplotách listů u brambor důkaz, že právě brambory jsou adaptovány na chladnější podmínky.

Ovlivnění vodivosti průduchů během sucha působí na brambory nejvíce negativně během iniciace a růstu hlíz do objemu (Liu et al. 2005). Tato kritická období, kdy vodní stres snižuje celkový výnos, uvádí i Monneveux et al. (2013). Sucho snižuje růst rostlin i listů, index pokryvu listů, rychlost fotosyntézy a velikost a počet sklizených hlíz, a zkracuje období růstu. V

důsledku snížení transpirace se zvyšuje teplota rostlin, což také omezuje tvorbu hlíz (Monneveux et al. 2013). Dále může docházet například k rolování listů (Aliche et al. 2020).

Obidiegwu (2015) popisuje, že rostliny pěstované v suchých podmínkách se vyznačují nižší průduchovou vodivostí, která šetří rostlinám vodu a udržuje vodu v listech. Zároveň se však snižuje koncentrace CO₂ v listech a rychlost fotosyntézy. Dále zmiňuje, že načasování a trvání nedostatku vody v půdě během vegetační doby může působit mnohem větší výnosové ztráty v porovnání s intenzitou sucha. Snížená rychlost fotosyntézy a nižší fixace CO₂ vede k menší asimilaci a nižšímu výnosu. Brambor je rostlinou s C3 systémem fixace uhlíku. Zvyšuje výnos při vyšších koncentracích CO₂ v ovzduší, lépe využívá zdroje půdy, vcelku dobře konkuruje plevelům a někdy i biotickým faktorům (George et al. 2017). Aliche et al. (2020) zjišťují, že na počátku působení vodního stresu rostliny upřednostňují rozdělení uhlíku z procesu fotosyntézy do kořenů, pravděpodobně jako adaptivní reakci pro získání omezené půdní vody.

Obsah chlorofylu v listech se během působení stresu ze sucha mění v důsledku narušení chloroplastu v buňkách. Za nedostatku vody lze zjistit koncentrace chlorofylu vyšší v porovnání s rostlinami při normálních podmínkách, zatímco vodivost průduchů se významně snižuje během stresové reakce rostliny (Aliche et al., 2020).

Ve své studii Obidiegwu (2015) uvádí, že kyselina abscisová (ABA), gibberelová (GA), jasmonová (JA), ethylen a jasmonáty patří mezi buněčné regulátory, které jsou aktivovány v podmínkách sucha. Dále zmiňuje, že fyziologické změny v důsledku vodního stresu souvisí s vodním potenciálem rostlin těsně před úsvitem než během dne. Transpiraci ovlivňuje plocha, orientace, tvar, tloušťka a povrch listu (hladký či ochlupený). Rostliny bramboru mají izohydrickou schopnost – s klesajícím vodním potenciálem půdy a průduchovou vodivostí v důsledku vodního stresu je zachován vodní potenciál listů. Nástup stresu je v případě těchto rostlin opožděn. Mezi klíčové vlastnosti rostliny pro úspěšnou reakci na stres suchem patří velká nadzemní biomasa, zmenšená plocha listů, ranější typ a delší uzavření průduchů. Právě časné a delší uzavření průduchů během sucha může zajistit vodu pro následný růst bez ovlivnění konečného výnosu. Osmotická aktivita je důležitý mechanismus adaptace rostliny na sucho, který pomáhá udržet vodu a turgor v buňkách. Mezi osmoticky aktivní rozpuštěné látky patří prolin, inositol a rafinóza, které zajišťují osmoregulační funkci rostliny.

Watkinson et al. (2006) připisují reakce na nedostatek vody k závislosti na odrůdě brambor. Některé kultivary mohou být odolnější stresům ze sucha. Dále autoři popisují 3 kategorie brambor podle mechanismů odolnosti k suchu: odrůdy schopné adaptace na stresový faktor, s aklimatizačním potenciálem, nebo citlivé na stres z nedostatku vody. V pokusu zjišťují, že rostliny brambor dosahují maximálního stresu po 4 týdnech od zastavení závlahy. Vrchol stresu určili zjištěním inhibice fotosyntézy. Po zapojení závlahy byl proces fotosyntézy znovu obnoven, dokonce i po 2. cyklu sucha.

Podle Schafleitner (2009) a Zinta et al. (2022) lze využít hmotnost kořenů v hloubce pluhu jako ukazatel pro vyšší toleranci brambor k suchu. Právě kořeny brambor vnímají sucho mnohem dříve, než dojde k poklesu turgoru v buňkách rostliny. Kyselina abscisová (ABA) a ethylen se podílí na zastavení růstu listů při stresu ze sucha, přičemž rychlost fotosyntetické aktivity se odvíjí podle kultivaru. Při nedostatku vody dochází ke snížení zásob sacharózy, biosyntézy škrobu a růstu hlíz. V dalších studiích Wang & Frei (2011) a Levy et al. (2013) uvádějí, že koncentrace sacharózy byla v bramborách za sucha naopak zvýšena.

Dále Levy et al. (2013) dodávají, že hluboká orba nebo podrývání ornice v jejich výzkumu vede k vyššímu využití vody (WUE) bramborem. Většina kořenového systému se nachází v hloubce 30 až 40 cm od povrchu půdy (Ahmadi et al. 2014). Při nedostatku vody v půdě podporuje ABA růst a hydraulickou vodivost kořenů, kterou regulují aquaporiny. Zvýšená exprese aquaporinů však nevede k vyšší toleranci vůči suchu. V důsledku působení nedostatku vody dochází k akumulaci prolinu v rostlinách. Menší listová plocha s vyšší hustotou žil může pomáhat při rezistenci proti vodnímu stresu (Levy et al. 2013). Monneveux et al. (2013) navrhuje, že prolin by mohl působit jako ochranný faktor rostlin před dehydratací, jelikož stabilizuje proteiny a membrány buněk.

Během stresu ze sucha jsou brambory méně schopné využít dusík (v důsledku snížení aktivity nitrátreduktázy) a fosfor z půdy. Tyto prvky spolu s měnící se vlhkostí půdy ovlivňují velikost a hustotu průduchů v listech rostlin bramboru (Sun et al. 2014). Na nedostatek fosforu rostliny reagují zvětšením povrchu kořenového systému vytvořením náhodných kořenů, případně kořenových vlásků či prodloužením dosud krátkých kořenů. Celková hmotnost kořenového systému pozitivně koreluje s výsledným výnosem (Monneveux et al. 2013; Wishart et al. 2013). Wishart et al. (2014) zjišťují, že vliv sucha lze před sklizní brambor predikovat pomocí velikosti a počtu rostlin, stolonů a délky stolonových kořenů.

Cioloa et al. (2022) připisují odolnost brambor k abiotickým stresům k závislosti na kvalitním a zdravém sadbovém materiálu. Skutečná produkční kapacita kultivaru je vyjádřena pouze zdravými rostlinami vypěstovanými z kvalitní sadby. Fyziologická a virotická degenerace brambor způsobuje pokles produkce. Tyto faktory zkracují vegetační období rostlin a znehodnocují kvalitu sklizených hlíz. V důsledku použití nekvalitní sadby mohou být vzešlé rostliny náchylnější k abiotickým stresům působícím v polních podmínkách.

Andre et al. (2009) zkoumají obsah karotenoidů, β -karotenu a vitamínů E a C po expozici rostlin brambor suchu. Dle jejich výsledků se obsahy těchto látek zvyšují nebo jsou stabilní v důsledku stresu nedostatkem vody. Koncentrace vitamínu C není suchem ovlivněna nebo lehce zvýšena. Skladování sklizených hlíz s řízenou teplotou prostředí (10 °C v délce 4 měsíce) snižuje změny koncentrací způsobených nedostatkem vody během vegetační doby bramboru.

3.8.3 Stres vysokými teplotami

Vysoké teploty panují v polních podmínkách každoročně. Ideální teplotní hodnoty pro růst a vývoj brambor se nachází v rozmezí 16 °C (noc) a 20 °C (den), přičemž za vysoké teploty pro správný růst rostlin bramboru se považují hodnoty vyšší 20 °C (Levy & Veilleux 2007). Haynes et al. (1992) a George et al. (2017) uvádí, že tepelný stres může snižovat vnitřní kvalitu hlíz a způsobit malformace a nekrózy hlíz (narušení toku asimilátů, hlízy se tvoří mělce v půdě). Levy & Veilleux (2007) popisují negativní účinky vysokých teplot na brambory: zrychlený růst natě; asimiláty rozdělovány do natě; zpomalení fotosyntézy; zrychlené dýchání; inhibice tvorby a růstu hlíz; poruchy hlíz; ztráta dormance hlíz; pokles sušiny v hlízách; a zvýšená hladina glykoalkaloidů. Wang & Frei (2011) zaznamenávají zvýšení podílu amylozy po expozici rostlin bramboru, pšenice a batátů vysokým teplotám. Levy et al. (2013) zjišťují zvýšenou koncentraci sacharózy v hlízách po působení vysokých teplot na rostliny. Vyšší hladiny této látky mohou významně ovlivnit délku skladování hlíz.

Hancock et al. (2014) podrobili některé kultivary výzkumu. První skupinu vystavili zvýšeným teplotám (30 °C přes den, 20 °C v noci) a porovnávali s kontrolní skupinou brambor (22 °C přes den, 16 °C v noci). Stresovaná skupina (30/20 °C) rozdělovala uhlík směrem do natě, jejíž nadzemní biomasa měla vyšší hmotnost v porovnání s nestresovanou skupinou. Dalším zjištěním byl pozitivní vliv vysokých teplot na větší množství menších hlíz. Koncentrace chlorofylu a karotenoidů poklesly až o 20 % v důsledku tepelného stresu. Obidiegwu (2015) poznamenává, že teploty vrcholů rostlin lze spojit s výnosem. Vyšší teploty mohou působit do jisté míry pozitivně a po překonání určité úrovně se mohou stát škodlivými činiteli na růst brambor. George et al. (2017) uvádí, že teplota a délka dne určují rychlost vývoje brambor. Hancock et al. (2014) nezjišťují ovlivnění procesu fotosyntézy u rostlin bramboru při teplotách kolem 30 °C.

Brambory jsou původně adaptované na chladné klima s mírnými teplotami. Zvýšení teplot prostředí může mít velký vliv na fyziologické procesy rostlin. Při vyšších teplotách je tuberizační signál inhibován a fotosyntetický výkon klesá spolu se schopností fixace CO₂ a koncentrací chlorofylu (George et al. 2017). K úplné inhibici tuberizace dochází při teplotě nad 25 °C (Zinta et al. 2022). V důsledku vysokých teplot dochází k poruchám hlíz (nepravidelný tvar, řetízování, sekundární tvorba hlíz a předsklizňové klíčení), případně i negativním dopadům na povrch slupky (George et al. 2017).

3.8.4 Stres nízkými teplotami, zasolením, nedostatkem kyslíku a těžkými kovy

S nízkými teplotami se rostliny brambor mohou setkat v prvních dnech (někdy i týdnech) po výsadbě nebo pár dní (či týdnů) před sklizní během fáze zrání. V těchto obdobích mohou teploty již kolem -2 °C poškodit nenávratně rostliny a zajistit ztráty na výnosech (Zinta et al. 2022). Seppänen et al. (2003) zjišťují, že rostliny bramboru vystaveny v první skupině nízké teplotě (4 °C) a v druhé skupině oxidačnímu stresu po aplikaci selenu na list vykazují rychlejší obnovu koncentrace chlorofylu. Selen považují za antioxidant, který aktivuje ochranné mechanismy zmírňující oxidační či chladový stres v chloroplastech. Obidiegwu (2015) zmiňuje zvýšenou aktivitu peroxidázy, katalázy a superoxiddismutázy při reakci na oxidační stres. Významné změny v obsahu antioxidantů však mezi kultivary se žlutými a nežlutými typy hlíz nezjišťuje.

Zavlažování rostlin v podmínkách s nedostatkem vody, kde dochází k vyššímu výparu, může způsobovat postupné zasolení půdy. Brambory jsou často pěstovány právě v těchto oblastech, kde je nutné tyto rostliny zavlažovat a celkově lze kategorizovat jako středně citlivé na zasolené půdy (Evers et al. 2007). Zasolení, které je mnohdy spojováno s vyššími teplotami prostředí, způsobuje u brambor snížení délky a objemu kořene a výnosu hlíz. Z fyziologických důsledků dochází k uzavření průduchů, zvýšenému transportu kyseliny abscisové (ABA), prolínu a sodíkových kationtů v kořenovém systému (Zinta et al. 2022).

Li (2019) zkoumá vliv znečištění těžkými kovy na růst a vývoj brambor. Nejzávažnější znečištění způsobují olovo (Pb), kadmium (Cd), rtuť (Hg) a měď (Cu), případně kombinace těchto prvků. Olovo a kadmium jsou toxické prvky pro růst a vývoj rostlin, které ovlivňují fotosyntézu rostlin. Těžké kovy způsobují snížení koncentrace chlorofylu, poškozují strukturu chloroplastu a následně dochází k destrukci chloroplastové membrány. Jak bylo zmíněno již

výše, iniciátorem fotosyntézy je právě chlorofyl. Do určitého rozmezí, s rostoucím obsahem chlorofylu roste rychlost fotosyntézy. Těžké kovy poškozují chloroplasty a snižují koncentrace chlorofylu v listech rostliny. Olovo a kadmium ovlivňují fotosyntézu rostlin pomocí negativní regulace otevírání průduchů v listech.

Reakce rostlin na kombinace abiotických stresů jsou často odlišné od reakcí na stresy jednotlivé. Za sucha dochází k uzavření průduchů pro úsporu vody, což snižuje schopnost rostlin kontrolovat teplotu listů za vysokých teplot okolního prostředí. Nedostatek živin omezuje rostliny při reakcích během stresů a rekonvalescenci po odeznění stresových podmínek. Právě energie získaná z půdních živin je třeba pro syntézu heat-shock proteinů nebo prodlužování kořenů a dále pro tvorbu enzymů (superoxiddismutáza a askorbát peroxidáza). Kombinace stresů sucha a tepla poskytuje zlepšené dýchání rostlin se snížením fotosyntézy, uzavřením průduchů a vyšší teplotou listů (George et al. 2017).

3.8.5 Význam uhlíku při stresu

Během růstu a vývoje brambor dochází k výměnám molekul uhlíku ve formě cukrů mezi rostlinnými tkáněmi, což představuje transport asimilátů z produktů fotosyntézy ze zralých listů do mladých listů, květů a kořenů. Souhrnně se tento transport nazývá rozdělování uhlíku. Dělení uhlíku souvisí s procesem fotosyntézy. Fotosyntéza produkuje asimiláty, které se dále dělí, a dělení uhlíku zpětně ovlivňuje rychlost procesu fotosyntézy (Aliche et al. 2020).

I produkce škrobu souvisí s rozdělováním uhlíku. Škrob je skladovací produkt, který může být znovu mobilizován na sacharózu při procesu rozdělování uhlíku. Uskladnění a remobilizace škrobu vzájemně reagují se syntézou sacharózy a transportem do tkání. Rozdělování uhlíku musí být regulováno z důvodu správného rozložení energie do jednotlivých procesů v rostlině. Export sacharózy do finálních tkání je u brambor symplastický i apoplastický. V případě vodního stresu jsou tyto procesy ovlivněny pro zajištění osmotického přizpůsobení rostliny (Aliche et al. 2020).

Ve výzkumu právě Aliche et al. (2020) zjišťují, že při počátku stresu ze sucha upřednostňuje rostlina dělení uhlíku asimilátů do kořenů. Je snaha tak zajistit dostatek vody v rostlině. Vodní stres způsobuje často velké ztráty na výnosech brambor (až 50 %). Tyto ztráty vyplývají z důsledku rozdělování uhlíku během stresu.

3.8.6 Význam kořene

Kořenový systém je významnou součástí rostliny, který zajišťuje ukotvení a příjem vody a živin pro rostlinu. Při nedostatku vody v půdě, představuje kořen důležitou funkci – akumulaci kyseliny abscisové (ABA), která spouští fyziologické procesy vhodné k adaptaci na stres ze sucha, kdy v první řadě dochází k prodlužování kořenů pro dosažení vody v hlubších částech půdy. Součástí bramboru hlíznatého je mělký kořen s bazálními a stolonovými kořeny, který se z velké části nachází pouze ve vrstvě pluhu. Hlubší kořeny lze zajistit podrýváním ornice či hlubokým kypřením půdy. Právě kořen bramboru dodává důležité živiny a vodu rostlině pro růst a vývoj stolonů a následně hlíz (Puértolas et al. 2015; Zinta et al. 2022).

V případě poklesu půdní vlhkosti dochází v důsledku akumulace ABA v kořenech a následného transportu do celé rostliny ke snížení rychlosti fotosyntézy již při vodním potenciálu -0,3 až -0,5 MPa. Pro správný růst bramboru je důležitý příjem vhodného množství dusíku z půdy. Úzký a hluboký kořenový systém je v tomto případě ideální. Větvení kořenového systému je důležité pro získání dalších živin, například fosforu. Bazální kořeny, které náleží spolu se stolonovými k podzemnímu systému bramboru, přijímají vodu a ukotvují rostlinu v půdě. Stolonové kořeny získávají živiny vhodné pro správný růst rostliny. Odrůdy vysoce výnosné mají hlubší bazální kořeny, které spolu s větší povrchovou plochou zajišťují vyšší příjem dusíku (Puértolas et al. 2015; Zinta et al. 2022).

Stres vysokými teplotami omezuje růst kořenů, stolonů, opožděně i hlíz, čímž snižuje celkový výnos sklizených hlíz. Naopak je v důsledku tepelného stresu zvyšována koncentrace škrobu a heat-shock proteinů, a rychlost transpirace rostlin. Stres zasolením snižuje objem a délku kořene, případně i výnos hlíz, jelikož uzavírá průduchy a zvyšuje transport kyseliny abscisové a prolinu v kořenovém systému (Zinta et al. 2022).

Tvorba náhodných kořenů může být vhodnou adaptací na stres suchem. Prodloužení, úhel růstu, větvení a délka života kořenového systému jsou řízeny nejen geneticky a fyziologicky, ale i environmentálně v reakci na okolní prostředí brambor (Zinta et al. 2022).

Liu et al. (2006), Ahmadi et al. (2014) a Sun et al. (2014) ověřovali metodu zavlažování brambor, ve které dochází k částečnému sušení kořenové zóny (PRD, partial root-zone drying). Tato metoda představuje závlahu pouze jedné strany hrůbku, tedy jedné části kořenového systému, zatímco druhá strana/část se nechá vyschnout na určitou úroveň. Následně dojde k zastavení závlahy u první a ke spuštění závlahy druhé části. Při vysychání jedné části kořenů dojde ke spuštění chemického signálu kyseliny abscisové (ABA), která reguluje růst a v první řadě dochází k prodlužování kořenů a zlepšuje využití vody (WUE). PRD tak zajišťuje neustálý chemický signál ABA. Úspěšné zavlažování s metodou částečného sušení kořenového systému závisí na rostlinách a odrůdách, fázi růstu, výparu, půdních podmínkách a vodní bilanci půdy. PRD lze využít v oblastech, kde rostliny citlivé na stres suchem nemusí být vystaveny vyšším nárokům na odpařování.

Liu et al. (2006) v polním výzkumu zjišťují, že při výměně zavlažování každých 5 až 10 dní (metoda PRD) se zvýšila efektivita využití vody o 58,7 % v porovnání s rostlinami plně zavlažovanými a dodávají, že pro index listové plochy u bramboru je dostatečná hodnota 3, která zachycuje dostatek záření pro udržení maximální rychlosti růstu.

Ahmadi et al. (2014) zjišťují, že metoda PRD snížila výnos hlíz v porovnání s metodou plné závlahy a dodávají, že strategii částečného sušení kořenového systému je vhodné zařadit na začátek sezóny do období růstu a objemu hlíz. V této vegetační fázi mohou zajistit výnosy podobné metodám plného zavlažování.

Sun et al. (2014) zmiňuje velikosti průduchů v závislosti na typu zavlažování. Nejvyšší velikost průduchů je v případě plné závlahy, střední u deficitní závlahy a nejnižší u metody PRD. Deficitní závlaha (deficit irrigation, DI) je metoda, během které je zavlažován kořenový systém obsahem vody menším, než je potenciální evapotranspirace. Stres vznikající v důsledku této metody zavlažování má minimální vliv na celkový výnos rostlin. PRD je poté zdokonalením metody DI, které vyžaduje přesné řízení závlahy.

3.8.7 Poruchy hlíz v důsledku působení stresových faktorů

V důsledku výše zmíněných abiotických stresů (sucho, teplo, chlad, zasolení a nedostatek živin) dochází nejen k poruchám rostlin bramboru, ale i jejich zásobních orgánů – hlíz. Vysoké teploty způsobují vnitřní hnědé skvrny hlíz, nepravidelný tvar hlíz, řetízování nebo sekundární tvorbu hlíz, nakličování hlíz před sklizní, nižší obsah sušiny, případně i praskání a změnu povrchu hlíz. V případě zavlažovaných pozemků osázených brambory se může v důsledku spojení závlahy a vysokých teplot vyskytovat hniloba hlíz již v půdě. Dále vysoká teplota během vegetační doby zvyšuje hladiny glykoalkaloidů v hlízách, které po zpracování způsobují hořkou chuť. Tmavnutí po uvaření a výskyt akrylamidu (karcinogenní účinek) zajišťují vysoké teploty zvýšeným obsahem redukujících cukrů jako je glukóza a fruktóza. K poruchám hlíz (hlavně deformace a nepravidelné tvary) může docházet i v důsledku nekvalitní přípravy půdy, nedostatečného prokypření či utužení půd (Levy & Veilleux 2007; Schafleitner 2009; George et al. 2017; Poštic et al. 2017). Drátovci, larvy čeledi kovařikovitých (*Elateridae*), způsobují poškození svým provrtáváním hlíz. V důsledku působení těchto larev je výrazně snížena kvalita sklizených hlíz. Možnou metodou boje proti drátovcům se nabízí využití podsevových meziplodin při pěstování brambor (Holejšovský et al. 2023).

3.8.8 Antioxidanty během stresu rostliny

Antioxidanty v rostlinách slouží pro boj se stresem. V chloroplastech omezují aktivitu kyslíkových radikálů (ROS), a tedy i proces oxidace neboli poškození buněk. Prolin je považován za pohlcovače ROS a potlačuje škodlivé účinky různých jedinců skupiny reaktivních forem kyslíku. Prolin dále pomáhá při přežití rostliny během vodního stresu. Syntéza a katabolismus prolinu jsou důležité pro růst rostlin během nízkého vodního potenciálu. Metabolismus a funkce prolinu souvisí s udržením příznivé osmotické rovnováhy v buňkách rostliny. Dále prolin působí jako signál pro modulaci mitochondrií, ovlivnění dělení a vzniku buněk, případně buněčnou smrt nebo spuštění exprese genů pro zotavení organismu ze stresu (Obidiegwu 2015).

Seppänen et al. (2003) zmiňují využití selenu při pěstování brambor. Selen považují za antioxidant, který aktivuje obranné mechanismy pro zmírnění oxidačního stresu v chloroplastech. Watkinson et al. (2006) zjišťují, že antokyany v rostlinách se podílí na obraně listů před přebytečnou excitační energií nebo případně slouží jako antioxidanty. Podle Cheng et al. (2013) pro obranu rostliny před stresem brambory využívají enzymatické (superoxiddismutázu, askorbátperoxidázu, peroxidázu a katalázu) i neenzymatické (kyselinu askorbovou, glutathion a karotenoidy) antioxidanty. Aktivita antioxidantů koreluje se schopností tolerance rostlin k abiotickým stresům. Existuje malý počet odrůd s tolerancí k suchu, vysokým teplotám a zasolení najednou.

3.8.9 Možná řešení stresových reakcí u brambor

Brambor hlíznatý pěstovaný převážně v polních podmínkách pod závlahou nebo ponechaný přírodním dešťovým srážkám je za každého vegetačního období ovlivňován

abiotickými i biotickými stresovými faktory. Nedostatek vody, vysoké nebo nízké teploty, zasolení, nedostatek živin, oxidační stres či působení těžkých kovů jsou stresory, které znesnadňují růst a vývoj rostlin i hlíz bramboru. Vědci se intenzivně věnují procesům a důsledkům abiotických faktorů na brambory již od druhé poloviny minulého století a přichází s řešením pro omezení vlivu stresu či rychlejší rekonvalescence rostlin po působení stresových faktorů (Evers et al. 2007; Cioloca et al. 2022).

Jiao et al. (2012) zkouší aplikaci chitosanu postřikem na listy bramboru, který během sucha snižuje relativní propustnost membrány, a naopak zvyšuje koncentraci prolinu, a aktivitu superoxiddismutázy a peroxidázy. Z pokusu vyplývá, že ideální koncentrace postřiku chitosanu odpovídá 100 mg/l, při které dochází k nejlepšímu zmírnění stresu ze sucha. Chitosan ve formě postřiku na listy brambor tedy zvyšuje antioxidační schopnosti brambor a reguluje osmotickou rovnováhu v rostlině.

Wang & Frei (2011) navrhují pro zmírnění působení abiotických stresů (nedostatek vody v půdě, vysoká teplota prostředí, zasolení půdy, vyšší koncentrace ozonu a UV záření) aplikaci lepšího agronomického managementu a rozvoj šlechtění tolerantnějších odrůd brambor. Kovalenko et al. (2021) jsou také zastánci vytváření a výběru vhodných adaptivních odrůd odolných nepříznivým abiotickým podmínkám.

Podle Lipiec et al. (2013) lze snížit dopady vysokých teplot a následného sucha využitím povrchového mulče organického původu, který udržuje vodu v půdě, snižuje výpar z půdy, zajišťuje vhodnější mikroklima porostu, a navíc zvyšuje fixaci dusíku způsobenou procesem symbiózy.

Na problematiku negativního vlivu abiotických stresorů na rostliny v polních podmínkách, které snižují celkovou produkci a kvalitu sklizených hlíz bramboru, se lze podívat i z druhé strany. Mírný stres nedostatkem vody v půdě zvyšuje schopnost efektivního využití vody (WUE) rostlinou. Deficitní zavlažování nebo částečné sušení kořenové zóny způsobující lehký vodní stres lze využít v polních podmínkách se závlahou pro vyšší využití vody rostlinou a úsporu spotřebované vody. Tyto metody jsou však náročnější na management, ale případnou efektivní cestou k lepšímu agronomickému managementu (Yactayo et al. 2013; Ahmadi et al. 2014; Sun et al. 2014).

4 Metodika

4.1 Popis pokusného stanoviště

Reakce vybraných stresových faktorů (sucho, teplo) byly pozorovány na porostech brambor v rámci pokusu. Výzkum se uskutečnil v roce 2023 na pozemku Výzkumné stanice Uhříněves v Praze-Uhříněvsi (okres Hlavní město Praha), která je majetkem České zemědělské univerzity v Praze. Oblast se nachází v klimatickém regionu 2 (T2 – teplý, mírně suchý), který se vyznačuje průměrnou roční teplotou 8-9 °C a průměrnými srážkami 500-600 mm. Podle kódu BPEJ (2.10.00) se v této lokalitě nachází půdní typ hnědozemě na rovině. Celkový obsah skeletu je uveden do 10 %. Půdy jsou zde hluboké a velmi produkční (85 bodů ze 100 možných), což je řadí mezi nejcennější půdy zemědělského půdního fondu (ZPF) s třídou ochrany I. Z hlediska infiltrace a propustnosti se tyto půdy nachází v kategorii B – střední rychlost infiltrace s vysoce využitelnou vodní kapacitou od 200 l/m². Ohrožení acidifikací je v této oblasti nízké, naopak ohroženost utužením je vysoká. Pravděpodobnost výskytu sucha během vegetačního období se pohybuje mezi 20 a 30 % (BPEJ - 2.10.00 2024).

Výzkumná stanice Uhříněves spadá pod Fakultu agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů. Na pozemcích, které náleží k této stanici, pracují a hospodaří členové Katedry agroekologie a rostlinné produkce. VS Uhříněves se zabývá především maloparcelkovým výzkumem, množením osiv, produkcí oblíbené delikatesy Univerzitní brambůrky a organizací praxí pro studenty ČZU. Výzkumné procesy provádí zaměstnanci v režimu konvenčního i ekologického pěstebního systému. Celková rozloha pozemků náležejících ke stanici činí 15,7 ha, přičemž certifikaci ekologické plochy podléhá 3,2 ha (Výzkumná stanice Uhříněves 2021).

4.2 Meteorologické podmínky v roce 2023

Podle Českého hydrometeorologického ústavu, který každoročně vydává data o průměrných teplotách a celkových úhrnech srážek pro jednotlivé kraje ČR, je patrné, že rok 2023 v oblasti okresu Hlavní město Praha byl z hlediska průměrných teplot i celkových srážek nadprůměrný v porovnání s dlouhodobým normálem (tabulka 1). Při pohledu na vegetační období (v případě výzkumného porostu brambor od května do září) byl rok 2023 z hlediska úhrnu srážek výrazně podprůměrný, teplotní průměry se zvláště nelišily.

Tabulka 1: Průměrná měsíční teplota vzduchu a průměrný měsíční úhrn srážek pro lokalitu Praha (Chmi.cz)

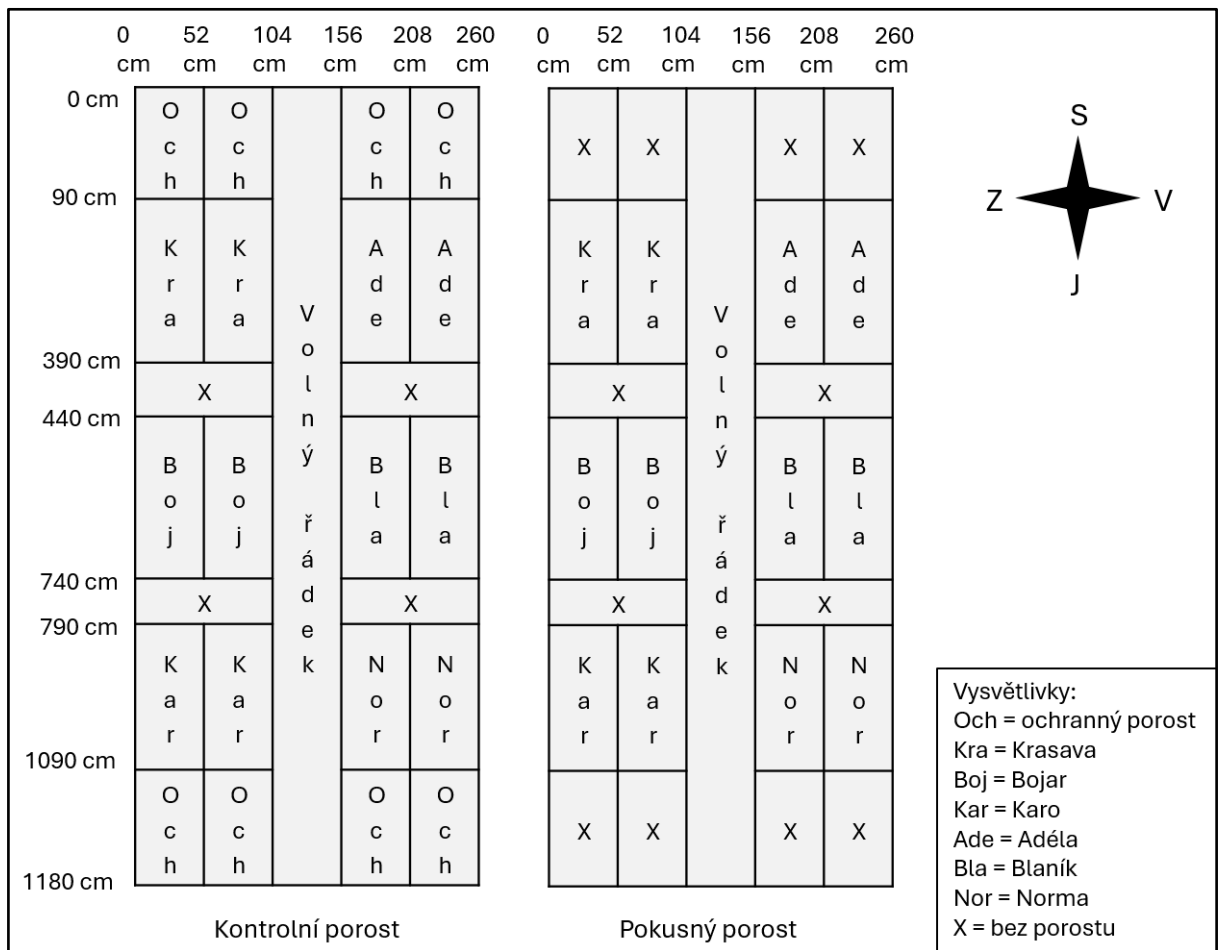
Sledovaný parametr → Měsíc↓	Průměrná měsíční teplota vzduchu (2023; °C)	Průměrná měsíční teplota vzduchu dlouhodobého normálu (1991-2020; °C)	Odchylka (°C)	Průměrný měsíční úhrn srážek (2023; mm)	Průměrný měsíční úhrn srážek dlouhodobého normálu (1991-2020; mm)	Odchylka (mm)
Leden	2,80	-0,60	3,40	27,00	33,00	-6,00
Únor	2,10	0,40	1,70	23,00	28,00	-5,00
Březen	5,30	4,00	1,30	52,00	38,00	14,00
Duben	7,10	9,20	-2,10	57,00	31,00	26,00
Květen	13,40	13,80	-0,40	22,00	64,00	-42,00
Červen	17,90	17,20	0,70	51,00	77,00	-26,00
Červenec	20,40	19,00	1,40	58,00	79,00	-21,00
Srpen	19,40	18,60	0,80	103,00	72,00	31,00
Září	17,10	13,70	3,40	11,00	48,00	-37,00
Říjen	11,80	8,70	3,10	45,00	41,00	4,00
Listopad	4,80	4,00	0,80	73,00	36,00	37,00
Prosinec	3,00	0,40	2,60	83,00	36,00	47,00
Průměrná/ Celková hodnota	10,43	9,03	1,39	605,00	583,00	22,00

4.3 Metodický průběh výzkumu

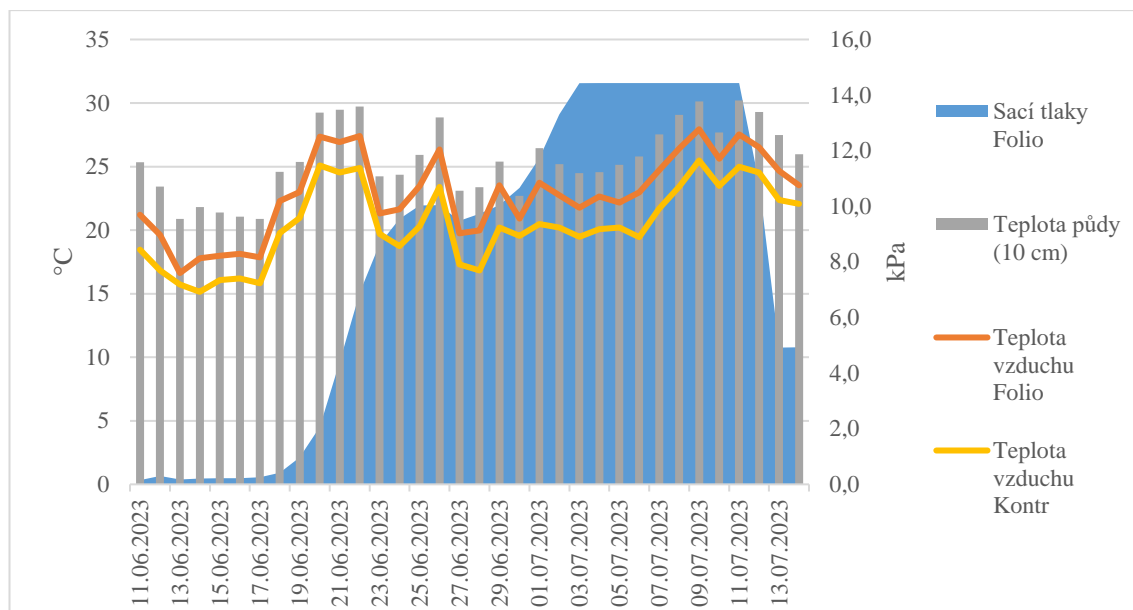
Zkoumání vlivu tepla a sucha na jednotlivé historické i současné odrůdy brambor probíhalo na dvou stanovištích v areálu VS Uhřetěves. Porost pokusné varianty (Foliovník) byl založen ve foliovníku (kovová konstrukce, PE folie), kontrolní varianty (Kontrola) hned vedle na ornou půdu (obrázek 1). V obou případech se jednalo o 6 vysazených odrůd (Adéla, Blaník, Bojar, Karo, Krasava, Norma) do dvouřádků orientovaných sever-jih. Každá odrůda sestávala z 6 opakování, která odpovídala 6 trsům, přičemž bylo vysázeno 2x 10 hlíz na variantu (odrůdu). Mechanizace vytvořila rozteč řádků 520 mm a ruční výsadba vzdálenost hlíz v řádku 300 mm. Mezi jednotlivými odrůdami v řádku bylo vynecháno 900 mm (foliovník) a 500 mm (kontrola). Ochranný porost byl založen pouze u kontrolní varianty a sestával ze 3 hlíz (odrůda Dicolora) na začátku a konci řádku. Sadba nebyla vážena (velikost hlíz se pohybovala v rozpětí 28 mm až 45 mm) ani certifikována. Celková odhadovaná spotřeba při výsadbě se pohybovala okolo 10,5 kg sadbových hlíz. Odrůdy brambor Adéla, Blaník, Bojar, Karo a Norma byly připraveny naklíčením, kultivar Krasava narašením. Sadba historických odrůd byla pořízena z Oddělení genetických zdrojů Výzkumného ústavu bramborářského v Havlíčkově Brodě.

4.3.1 Simulace stresových podmínek

Rostliny brambor pěstované ve foliovníku byly vystaveny během celé vegetační doby vyšším teplotám prostředí oproti kontrolním porostům. Obě varianty porostů byly pod závlahou (ve foliovníku kapková závlaha). Ve foliovníku i na kontrole byly nainstalovány půdní vlhkostní a teplotní čidla (datalogger MicroLog SP3 se třemi senzory vodního potenciálu půdy – Delmhorst Gypsum block), navíc v pokusném porostu bylo zřízeno i čidlo teploty vzduchu a FAR (EMS 33H, Brno, ČR). Samotný průběh stresu byl simulován vyššími teplotami vzduchu a po 41 dnech od výsadby odpojením závlahy (vývojová fáze porostu ve foliovníku 41 BBCH, na kontrole 35-39 BBCH). 2 týdny po odpojení závlahy proběhlo měření fotosyntézy a fluorescence chlorofylu rostlin jednotlivých odrůd v obou typech porostů (přístroje CIRAS 3 a WALZ IMAGING-PAM). Po 27 dnech od odpojení závlahy proběhlo měření koncentrace chlorofylu v listech (Chlorophyll Meter SPAD-502, Konica Minolta) a následující den i fluorescence chlorofylu (FMS 2+, Hansatech Instruments) a poté byla závlaha obnovena. Průběh stresových podmínek je zobrazen v grafu 1.



Obrázek 1: Plánek založeného porostu brambor (autor práce)



Graf 1: Sací tlaky (kPa), teplota vzduchu (°C) a teplota půdy v hloubce 10 cm (°C) ve variantě Foliovník a teplota vzduchu (°C) ve variantě Kontrola během simulace stresových podmínek

4.4 Agrotechnické procesy

Jeden měsíc před výsadbou byl aplikován kompost s certifikací ÚKZÚZ (tabulka 2) v dávce 100 t/ha ručně a do 24 h zapraven mechanicky rotavátorem. V důsledku nadlimitních koncentrací mědi a zinku kompost nevyhověl podmínkám pro použití v ekologickém zemědělství (EZ). Operace v den výsadby sestávaly z prokypření půdy do hloubky 20 cm rotavátorem, narýhování řádků hrobkovacími tělesy, ruční výsadby a nahrnutí hrobkovacími tělesy. Z kultivačních zásahů byly provedeny proorávka, vláčení a ruční odplevelení. Z postřiků bylo využito přípravků SpinTor proti mandelince bramborové (dávka 0,15 l/ha) a Flowbrix proti plísni bramboru (dávka 2,7 kg/ha). Sklizeň proběhla na začátku září ručním způsobem (přehled agrotechnických zásahů v tabulce 3).

Tabulka 2: Výsledky zkoušek kompostu použitého při výzkumu jako organické hnojivo (provedl ÚKZÚZ v termínu 28.7.2022 až 13.9.2022)

Výsledky zkoušek	
Test	Hodnota
Vlhkost (%)	47,50
Spalitelné látky (v sušině; %)	33,80
Celkový dusík (N v sušině; %)	1,70
Celkový fosfor, P ₂ O ₅ v sušině v % (P v mg/kg)	2,00 (8850)
Draslík, K ₂ O v sušině v % (K v mg/kg)	1,30 (11100)
Hořčík, MgO v sušině v % (Mg v mg/kg)	0,90 (5280)
pH	6,60
C:N	10,00
Nežádoucí příměsi nad 5 mm (%)	0,10
Nerozložitelné příměsi nad 20 mm (%)	0,00
Arsen (As) v sušině (mg/kg)	8,62
Kadmium (Cd) v sušině (mg/kg)	0,54
Chrom (Cr) v sušině (mg/kg)	25,40
Měď (Cu) v sušině (mg/kg)	83,70
Rtuť (Hg) v sušině (mg/kg)	0,24
Nikl (Ni) v sušině (mg/kg)	17,90
Olovo (Pb) v sušině (mg/kg)	22,30
Zinek (Zn) v sušině (mg/kg)	252,00

Tabulka 3: Agrotechnické zásahy během výzkumu reakcí rostlin brambor na stresové faktory (sucho, teplo)

Datum	Proces	Způsob, dávka
	Předplodina + meziplodina	Předplodina brambor hlíznatý (sklizen 31.8.2022) Meziplodina řepka ozimá
4.4.	Aplikace kompostu	100 t/ha
5.4.	Zapravení kompostu	Rotavátor
4.5.	Prokypření půdy	Hloubka 20 cm, rotavátor
	Narýhování řádků	Hrobkovací tělesa
	Sázení	Ručně
	Nahrnutí	Hrobkovací tělesa
11.5.	Proorávka	Ručně
25.5.	Vláčení	Ručně
14.6.	Odplevelení	Ručně, kontrolní porost
15.6.	Odplevelení	Ručně, pokusný porost
19.6.	Postřik insekticidem	SpinTor v dávce 0,15 l/ha
17.7.	Postřik fungicidem	Flowbrix v dávce 2,7 kg/ha (pouze foliovník)
8.8.	Odplevelení	Ručně, kontrolní porost
7.9.	Sklizeň	Ručně

4.5 Popis odrůd brambor podrobených vybraným stresovým faktorům

4.5.1 Adéla

Odrůda brambor Adéla, určená pro přímý konzum (Lorenc & Bárta 2017) pochází z ČR ze Šlechtitelské stanice Selektu Pacov. Řadí se mezi rané typy s krátce oválnými hlízkami se žlutou slupkou a tmavě žlutou dužninou (Vokál 2013). Výnos této odrůdy je vysoký a na skladování je Adéla nenáročná (Hradová 2021). Dále je středně náchylná k plísni bramborové (Vrzalová 2009), odolná strupovitosti a stříbřitosti slupky (Venclová 2009), a vysoce odolná proti virům (Domkářová 2019).

4.5.2 Karo

Současná odrůda Karo určená pro přímý konzum se řadí mezi rané kultivary původem z roku 2015 (Šlechtitelská stanice Vesa Velhartice) s vysokým výnosem hlíz (okolo 40 t/ha). Spadá do varného typu B. Karo je méně náchylné ke strupovitosti, plísni, mechanickému poškození a středně náchylné k virům. Hlízy jsou kulovitooválné s načervenalou hnědou slupkou a bílou dužninou (Čermák 2017).

4.5.3 Blaník

Historický kultivar Blaník je průmyslová a hospodářská polopozdní až pozdní (Kopal 1956) odrůda z tehdejší Šlechtitelské stanice Slapy u Tábora (nyní Vyklantice, okr. Pacov) původem z roku 1950. Hlízy má větší, dlouze až kulovitě oválné se světle hnědou slupkou a bílou dužninou (Mejstřík 1958). V roce 1955 dosáhl výnosu 30,0 t/ha se škrobnatostí 19,1 %, v průměru let 1951-1954 výnosu 25,6 t/ha se škrobem 20,2 % (Kopal 1956), čímž se řadí mezi výnosnější odrůdy (Mejstřík 1958). Tento kultivar je odolný rakovině, plísni bramborové, virům i strupovitosti. Ideální je pro pěstování ve vyšších nadmořských výškách (Šimon 1958), po sklizni je třeba kontrolovat skladovací podmínky, jelikož je náchylný na otlaky či časně klíčení (Mejstřík 1958).

4.5.4 Bojar

Bojar je průmyslová a hospodářská polopozdní až pozdní odrůda (Kopal 1956) ze Šlechtitelské stanice Keřkov z roku 1946 (Šimon 1958). Hlízy má kulovitě až dlouze oválné, střední velikosti s červenou slupkou a bílou dužninou (Dráb 1956). V roce 1955 dosáhl výnosu 22,6 t/ha se škrobnatostí 19,6 %, v průměru let 1951-1954 výnosu 21,5 t/ha se škrobem 18,7 % (Kopal 1956). Šimon (1958) uvádí škrobnatost 20,9 % a střední výnos hlíz. Dále popisuje vhodné pěstební podmínky v nižších nadmořských výškách. Plísni bramborovou je slabě napadán (Šimon 1958) a celkově je odolný strupovitosti, rakovině či virům (Dráb 1956).

4.5.5 Krasava

Krasava je raná až poloraná odrůda (Kopal 1956) ze Šlechtitelské stanice Keřkov z roku 1940 s kulovitým a velkým tvarem hlíz. Slupka je žlutohnědá a dužnina žlutá. Výnos je vysoký a hlízy nejsou náročné na skladování. Pro pěstování je vhodná do všech druhů půd a poloh

s nenáročností na agrotechniku. Tato odrůda je středně náchylná k plísni bramborové na nati a dobře odolná na hlízách (Mejstřík 1958). Krasava je odolná proti rakovině, virům a strupovitosti (Šimon 1958).

4.5.6 Norma

Tato odrůda pochází z roku 1940 z Československé republiky (ČSR). Řadí se mezi pozdní kultivary a nenasazuje bobule. Barva slupky je bíložlutá, dužniny krémová. Tvar hlíz je dlouhý až kulatý, potenciál výnosu střední stejně jako velikost hlíz. Varný typ je uveden A/B, se středním obsahem sušiny, nízkým obsahem škrobu a středním až vysokým obsahem bílkovin. Odolnost ke strupovitosti hlíz se uvádí střední (The European cultivated potato database 2010) a k plísni vysoká, jak uvádí Gajdušková (2013), která získala při pěstování právě této odrůdy průměrný výnos 2,1 kg/rostlinu, což by, při počtu kolem 33 tisíc rostlin/ha, poskytlo výnos kolem 69,3 t/ha při pěstební metodě na vyvýšených záhonech s kravským hnojem, kompostem a papírovým kartonem jako mulč.

4.6 Pozorované parametry

4.6.1 Obsah chlorofylu v listech

Koncentrace chlorofylu v listech byla měřena přístrojem Chlorophyll Meter SPAD-502 (Konica Minolta) v šesti termínech v průběhu vegetační doby. V rámci jednoho termínu proběhlo 4x měření na plně vyvinutých listech jednoho měrného trsu a následném zprůměrování na 1 trs. Pro každou odrůdu ve variantě Foliovník i Kontrola bylo stanoveno 6 měrných trsů.

4.6.2 Fotosyntéza v listech

V rámci simulace stresu rostlin byly měřeny 2 týdny po odpojení závlahy: koncentrace CO₂ v listech, koncentrace vodní páry v listech (H₂O), podprůduchová koncentrace CO₂ v listech (C_i), průduchová vodivost listů (g_s) a fotosynteticky efektivní využití vody (WUE). K zjištění hodnot byl využit přístroj CIRAS 3. Po zpracování výsledků byla následně vypočítána čistá rychlost fotosyntézy (P_n) podle metodiky SCIMUNIA (rok neznámý).

4.6.3 Fluorescence chlorofylu v listech

Maximální výtěžek fluorescence (F_m) a výtěžek tmavé fluorescence (F_o) byl měřen ve dvou termínech přístroji WALZ IMAGING-PAM (26.07.2023) a FMS 2+ (11.07.2023, Hansatech Instruments). V prvním termínu byly dále zjištěny: kvantový výnos regulované ztráty energie [Y(NPQ)], kvantový výtěžek neregulované ztráty energie [Y(NO)] a koeficient nefotochemického zhášení (q_N). Po zpracování výsledků byl následně vypočítán maximální kvantový výtěžek (F_v/F_m) fotosystému II (PS II) podle metodiky SCIMUNIB (rok neznámý).

4.6.4 Výška rostlin a výnos jednotlivých odrůd

Během simulace stresu byla měřena průměrná výška měrných trsů a následně vypočítán nárůst výšky rostlin pro stresované a kontrolní porosty. Výnos byl hodnocen v rámci průměrné hmotnosti ručně sklizených měrných trsů (6 trsů od každé odrůdy a varianty porostu), přičemž byly měřeny: počet, hmotnost a velikost hlíz. Velikost hlíz byla tříděna měrnými oky na velikostní frakce: nad 55, 55-50, 50-45, 45-40, 40-35, 35-30 a pod 30 mm během sklizně, uveden je však jen počet konzumních hlíz na 1 trs.

4.6.5 Chemický rozbor sklizených hlíz

Po sklizni proběhl chemický rozbor sklizených hlíz pro každou odrůdu a variantu. Byly zjištěny: obsah sušiny a dále koncentrace karotenoidů, polyfenolů a antioxidantů pro čerstvé hlízy i sušinu.

4.7 Statistické vyhodnocení

V rámci vyhodnocení naměřených výsledků v průběhu výzkumu byly statisticky vyhodnoceny parametry Obsah chlorofylu v listech, Průměrný výnos měrných trsů a Počet hlíz na 1 trs rostlin bramboru.

Statistické vyhodnocení bylo provedeno za pomoci statistického programu SAS, verze 9.4 (SAS Institute, Inc. Cary. NC. USA), metodou ANOVA. Pro podrobnější vyhodnocení rozdílů mezi průměry byla využita metoda Tukey s vyjádřením minimální průkazné difference, na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

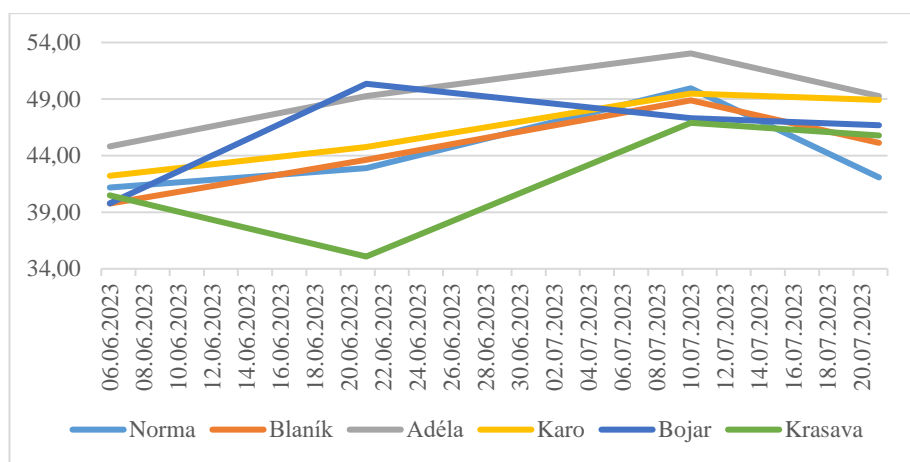
5 Výsledky

5.1 Obsah chlorofylu v listech

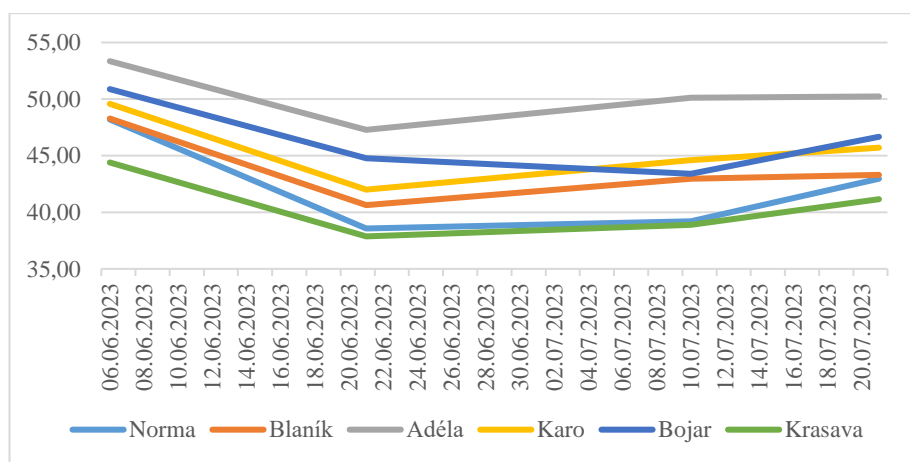
Koncentrace chlorofylu v listech během vegetačního období pro jednotlivé odrůdy brambor jsou zaznamenány v grafu 2 (varianty rostlin podrobených stresovým podmínkám) a grafu 3 (kontrolní rostliny). Stresované odrůdy brambor vykazovaly rozdílné obsahy chlorofylu v listech během vegetační doby. V období od 6. června do 11. července 2023, tedy během podrobení těchto rostlin stresu vysokou teplotou a nedostatkem vody, se lišily nejen koncentrace chlorofylu v listech ale i trend těchto hodnot. Odrůdy Adéla, Blaník, Karo a Norma se nijak zvlášť nelišily z hlediska obsahu chlorofylu v listech (Adéla o cca 5 jednotek vyšší), stejně tak trend jejich hodnot. Kultivary Bojar a Krasava se výrazně lišily z hlediska obsahu chlorofylu v listech i trendu těchto hodnot. Během stresového období byla zaznamenána nejvyšší koncentrace chlorofylu v listech u odrůdy Adéla, naopak nejnižší u kultivaru Krasava (graf 2). V případě kontrolních porostů brambor byl trend velmi podobný u všech pozorovaných kultivarů, přičemž nejvyšší koncentrace chlorofylu byla zjištěna u odrůdy Adéla, nejnižší u kultivaru Krasava (graf 3).

Porovnání obsahu chlorofylu u historických a současných odrůd brambor je zobrazeno v grafu 4 (pro stresované rostliny) a grafu 5 (pro kontrolní porosty). Obě varianty pěstovaných rostlin (varianta Foliovník a varianta Kontrola) ukazují velmi podobné trendy hodnot koncentrace chlorofylu v listech při porovnání průměrů historických a současných kultivarů brambor. V obou případech byly zjištěny vyšší obsahy chlorofylu v listech u současných odrůd (u varianty Foliovník o cca +3,0 a varianty Kontrola o cca +5,0 jednotky SPAD 509) v porovnání s historickými (graf 4 a 5).

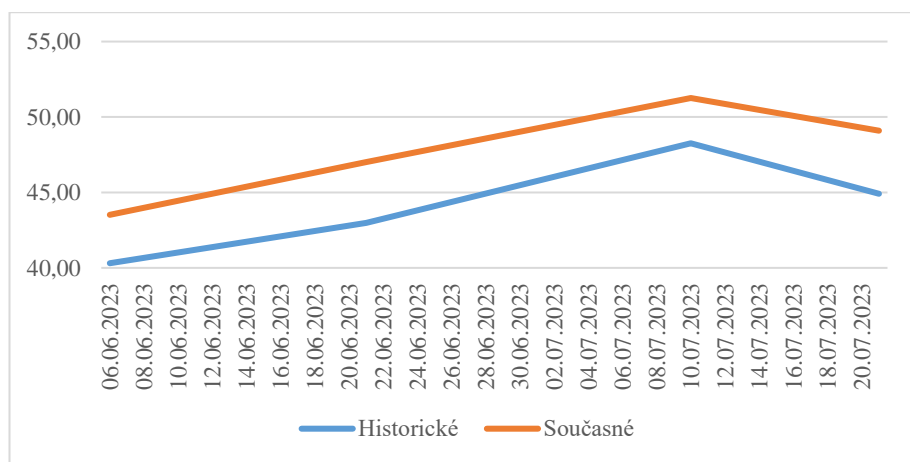
U rostlin podrobených stresovým podmínkám (vysoká teplota a nedostatek vody) byla zjištěna nejvyšší koncentrace chlorofylu v listech u odrůdy Adéla (46,7) a nejnižší u kultivaru Krasava (40,7), přičemž odrůda Krasava byla průkazně odlišná svým průměrem obsahu chlorofylu v listech za vegetační období od ostatních kultivarů. V případě kontrolních porostů byl naměřen nejvyšší obsah chlorofylu rovněž u odrůdy Adéla (48,5) a nejnižší u kultivaru Krasava (40,0). U odrůd Adéla, Blaník, Bojar a Karo ve variantě Foliovník byla zjištěna průměrná koncentrace chlorofylu v listech za celé vegetační období nižší v porovnání s variantou Kontrola. Kultivary Krasava a Norma ve stresované variantě naopak obsahovaly vyšší průměrnou koncentraci chlorofylu v listech za celou vegetační dobu v porovnání s kontrolní variantou (graf 6). V případě porovnání průměrů obsahů chlorofylu v listech za vegetační období pro rané a pozdní odrůdy brambor (dle hypotézy 1; graf 7) je patrné, že rané kultivary dosahovaly vždy vyšších hodnot koncentrace chlorofylu v obou variantách porostů, přičemž ve variantě Foliovník byly pozdnější odrůdy z hlediska průměrného obsahu chlorofylu za celé vegetační období průkazně odlišné od raných.



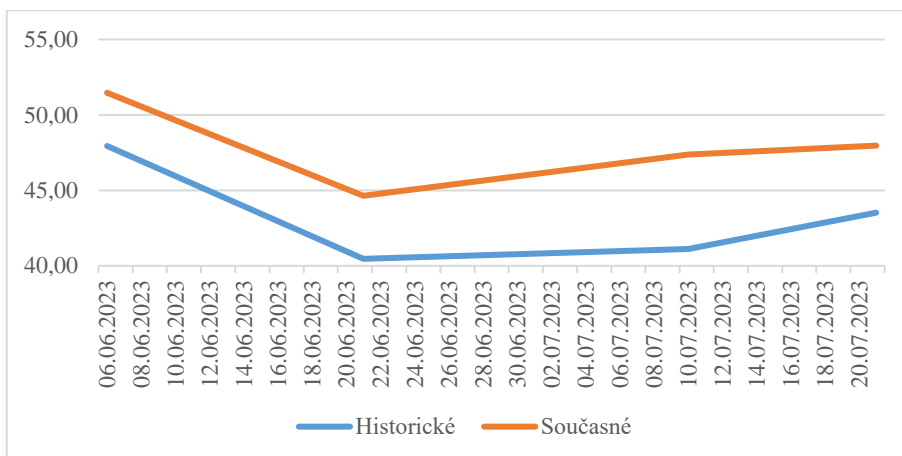
Graf 2: Průměrný obsah chlorofylu (SPAD) v listech brambor v průběhu vegetační doby (varianta Foliovník)



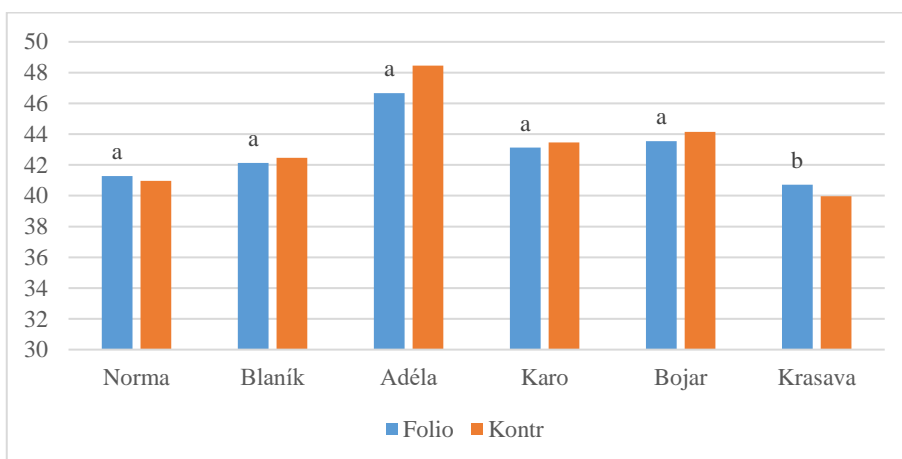
Graf 3: Průměrný obsah chlorofylu (SPAD) v listech brambor v průběhu vegetační doby (varianta Kontrola)



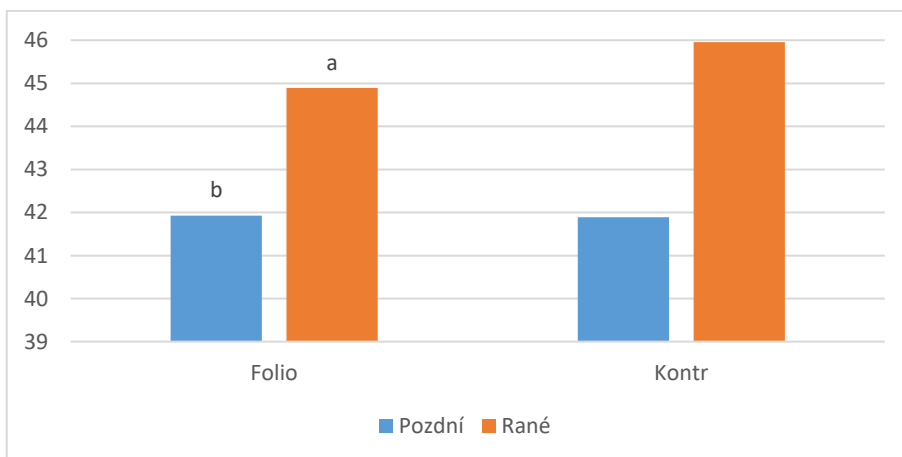
Graf 4: Průměrná koncentrace chlorofylu v listech (SPAD) brambor pro průměrné hodnoty historických (Blaník, Bojar, Krasava, Norma) a současných (Adéla, Karo) odrůd (varianta Foliovník)



Graf 5: Průměrná koncentrace chlorofylu v listech (SPAD) brambor pro průměrné hodnoty historických (Blaník, Bojar, Krasava, Norma) a současných (Adéla, Karo) odrůd (varianta Kontrola)



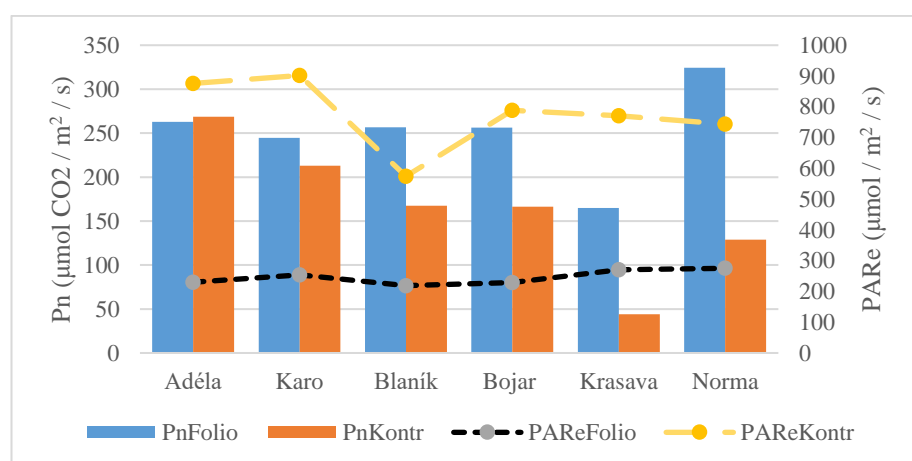
Graf 6: Průměrná koncentrace chlorofylu v listech (SPAD) brambor jednotlivých odrůd za celé vegetační období se statistickým vyhodnocením varianty Foliovník (HSD) = 4,96



Graf 7: Průměrná koncentrace chlorofylu v listech (SPAD) brambor pozdních a raných kultivarů za celé vegetační období se statistickým vyhodnocením varianty Foliovník (HSD) = 2,83

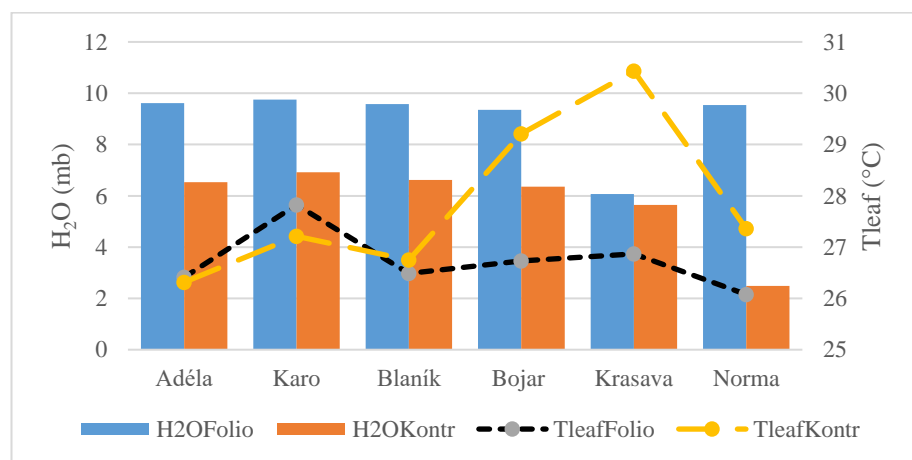
5.2 Fotosyntéza v listech

Rychlost fotosyntézy (P_n) se výrazně lišila u historických odrůd (Blaník, Bojar, Krasava a Norma) při porovnání porostů pěstovaných ve foliovniku a rostlin kontrolních. V případě současných kultivarů (Adéla, Karo) nedocházelo k výrazným odlišnostem. Nejvyšší rozdíl byl zjištěn u odrůdy Norma (varianta Folio o $+195 \mu\text{mol CO}_2 / \text{m}^2 / \text{s}$ v porovnání s kontrolním porostem). U kultivaru Adéla byla naměřena nižší rychlost fotosyntézy u varianty Foliovník v porovnání s kontrolou, přičemž u ostatních odrůd tomu bylo naopak. Nejvyšší rychlost fotosyntézy byla naměřena u kultivaru Norma ve variantě Foliovník ($324 \mu\text{mol CO}_2 / \text{m}^2 / \text{s}$), nejnižší u kontrolního porostu odrůdy Krasava ($44 \mu\text{mol CO}_2 / \text{m}^2 / \text{s}$) (graf 8).



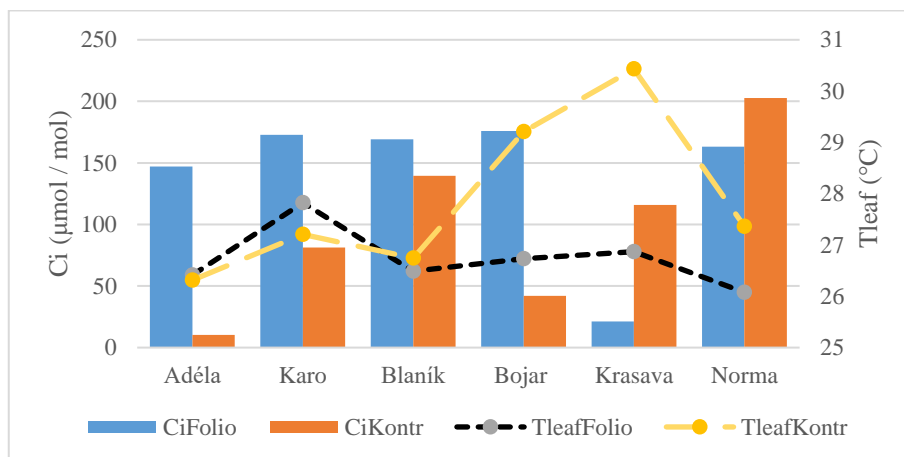
Graf 8: Rychlost fotosyntézy (P_n) u jednotlivých odrůd pro obě varianty porostů (Foliovník, Kontrola) v závislosti na externím fotosynteticky aktivním záření (PARE)

Koncentrace vodní páry v listech (H_2O) byla zjištěna vždy vyšší u kultivarů vystavených stresovým podmínkám (varianta Foliovník) v porovnání s kontrolními rostlinami. Nejvyšší rozdíl byl naměřen u odrůdy Norma (o 7,06 mb) a nejvyšších hodnot dosáhly rostliny kultivaru Karo (9,75 mb) (graf 9).



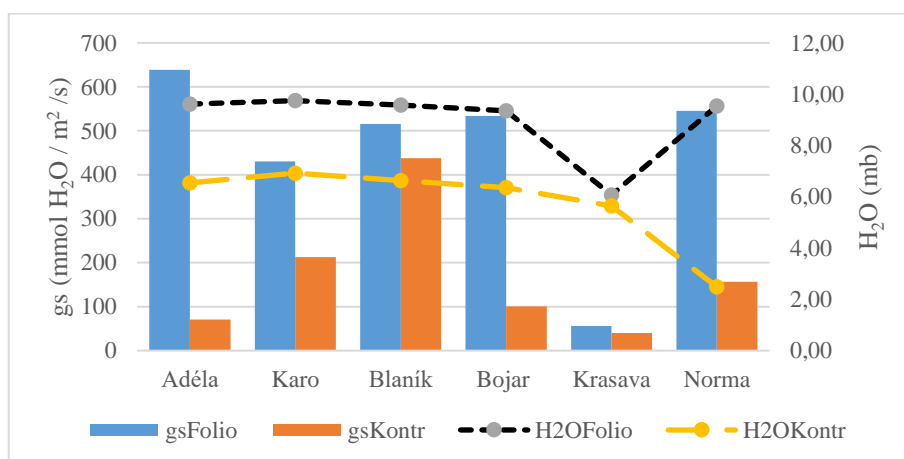
Graf 9: Koncentrace vodní páry (H_2O) v listech jednotlivých odrůd pro obě varianty porostů (Foliovník, Kontrola) v závislosti na teplotě listu (Tleaf)

Podprůduchová koncentrace CO₂ v listech (C_i) za stresových podmínek dosahovala podobných hodnot u odrůd Adéla, Karo, Blaník, Bojar a Norma. Během působení stresorů (sucho, teplo) bylo naměřeno nejnižších hodnot u kultivaru Krasava (21,32 μmol / mol) a nejvyšších u odrůdy Bojar (175,99 μmol / mol). Při porovnání stresovaných a kontrolních rostlin, bylo naměřeno vyšších hodnot u porostů variant Kontrola u kultivarů Krasava a Norma. U ostatních odrůd tomu bylo naopak (graf 10).



Graf 10: Podprůduchová koncentrace CO₂ v listech (C_i) pro jednotlivé odrůdy obou variant porostů (Foliovník, Kontrola) v závislosti na teplotě listu (Tleaf)

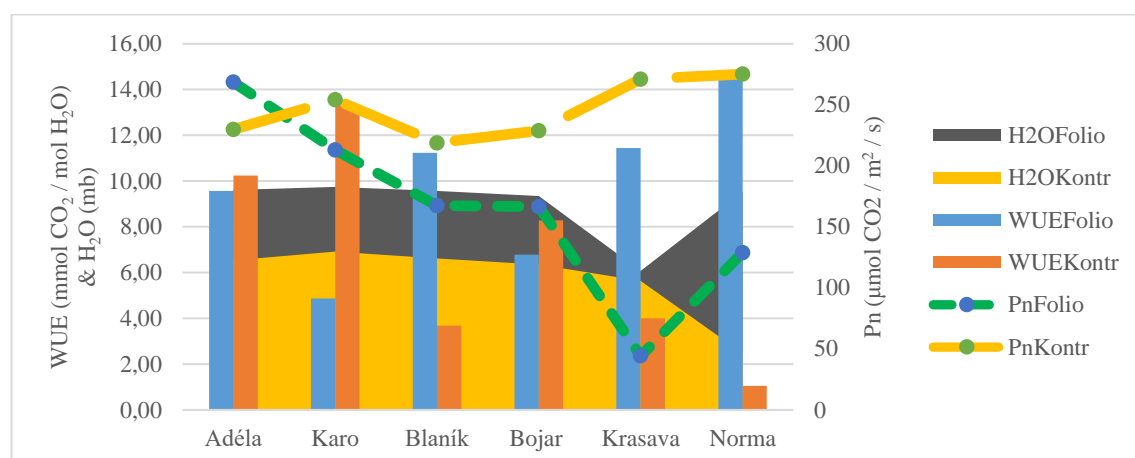
Průduchová vodivost listů (g_s) měla jasný trend. U všech odrůd bylo zjištěno, že v případě stresovaných rostlin byly naměřeny vyšší hodnoty g_s v porovnání s kontrolními porosty. Nejvyšší hodnoty byly zjištěny u kultivaru Adéla (639 mmol H₂O / m² / s), nejnižší u odrůdy Krasava (56 mmol H₂O / m² / s). Největší rozdíl byl naměřen u kultivaru Adéla při porovnání variant Foliovník a Kontrola (+569 mmol H₂O / m² / s) (graf 11).



Graf 11: Průduchová vodivost listů (g_s) pro jednotlivé odrůdy obou variant porostů (Foliovník, Kontrola) v závislosti na koncentraci vodní páry (H₂O)

Fotosynteticky efektivní využití vody (WUE) vykazovalo značné rozdíly mezi odrůdami i variantami pěstování (Foliovník, Kontrola). Nejvyšší hodnota WUE byla naměřena u odrůdy Norma ve variantě Foliovník (14,48 mmol CO₂ / mol H₂O) a nejnižší u stejné odrůdy ve

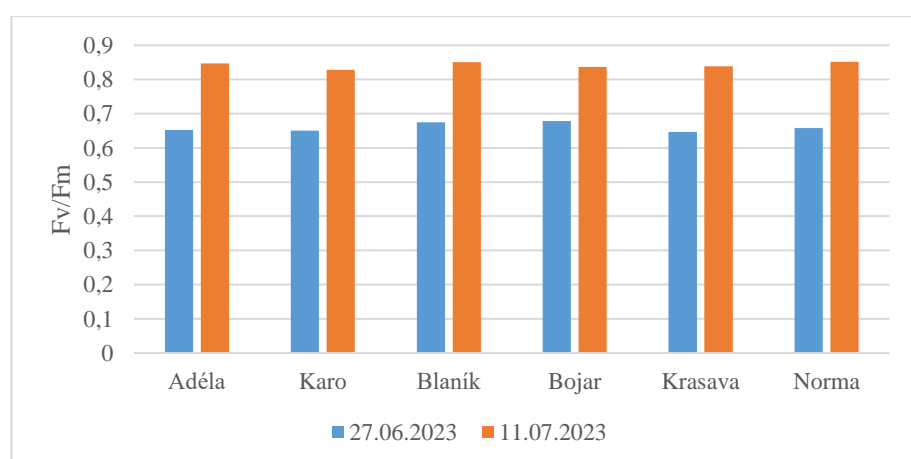
variantě Kontrola (1,06 mmol CO₂ / mol H₂O), stejně tak nejvyšší rozdíl při porovnání stresovaných a kontrolních rostlin (+13,42 mmol CO₂ / mol H₂O). Z grafu vyplývá závislost H₂O a Pn. S klesající koncentrací vodní páry v listech klesá rychlost fotosyntézy (graf 12).



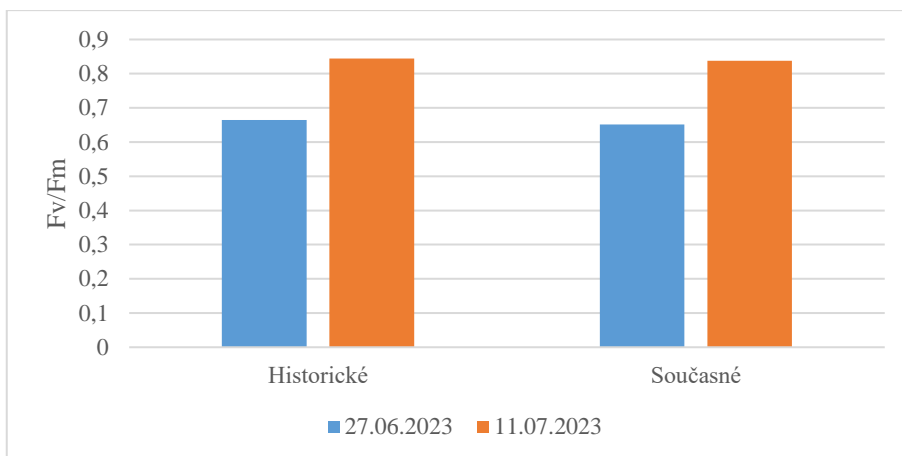
Graf 12: Fotosysteticky efektívne využitie vody (WUE) v závislosti na koncentrácii vodní páry v listoch (H₂O) a rýchlosti fotosyntézy (Pn) u jednotlivých odrú brambor

5.3 Fluorescence chlorofylu v listech

Maximální kvantový výtěžek (Fv/Fm) fotosystému II (PS II) vykazoval značné rozdíly mezi odrúdami ve stresových podmínkách i v termínech měření. 27.06.2023 dosahovaly nejvyšší hodnoty Fv/Fm u odrú Karo a Blaník (0,678 a 0,675), nejnižší u kultivaru Krasava (0,647). 11.07.23 byly naměřeny nejvyšší hodnoty Fv/Fm u kultivarů Blaník a Norma (shodně 0,851), nejnižší u odrúdy Karo (0,829). Průměrné hodnoty Fv/Fm historických a současných kultivarů dosahovaly malých rozdílů v jednotlivých termínech 27.06.23, respektive 11.07.23 (0,664 a 0,651, respektive 0,845 a 0,843; graf 13 a 14).

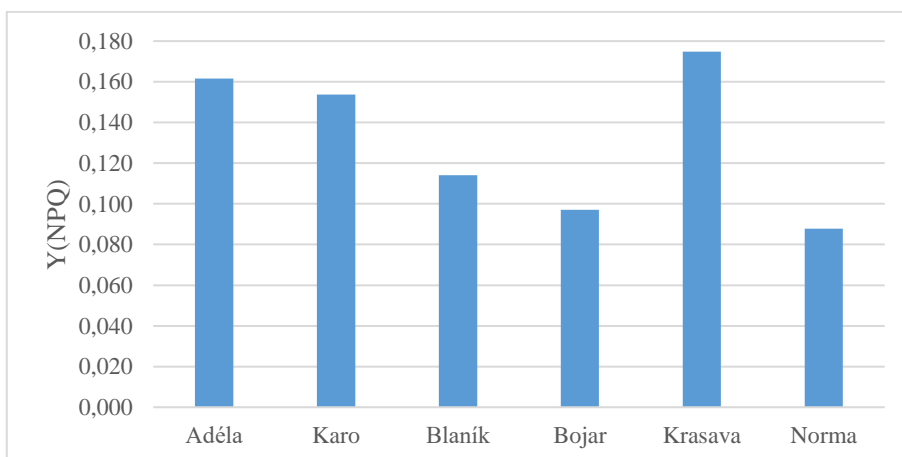


Graf 13: Maximální kvantový výtěžek (Fv/Fm) fotosystému II (PS II) pro jednotlivé odrúdy brambor pěstovaných ve foliovníku (stresované rostliny) v termínech 27.06.23 a 11.07.23

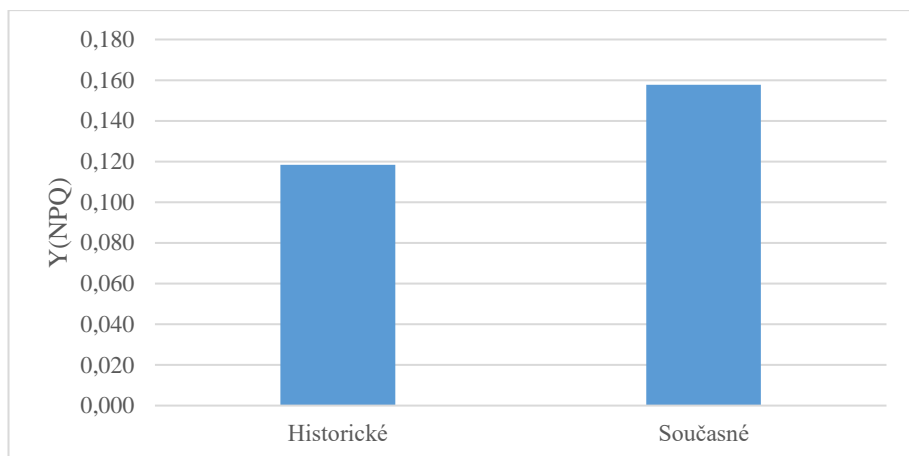


Graf 14: Maximální kvantový výtěžek (F_v/F_m) fotosystému II (PS II) pro průměrné hodnoty historických (Blaník, Bojar, Krasava, Norma) a současných (Adéla, Karo) odrůd brambor pěstovaných ve foliovníku (stresované rostliny) v termínech 27.06.23 a 11.07.23

Kvantový výnos regulované ztráty energie [$Y(NPQ)$] dosahoval nejvyšší hodnoty u kultivaru Krasava (0,175) a nejnižší u odrůdy Norma (0,088) v případě stresovaných rostlin. Průměrné hodnoty $Y(NPQ)$ historických kultivarů byly naměřeny nižší (0,118) v porovnání se současnými (0,158) odrůdami (graf 15 a 16).

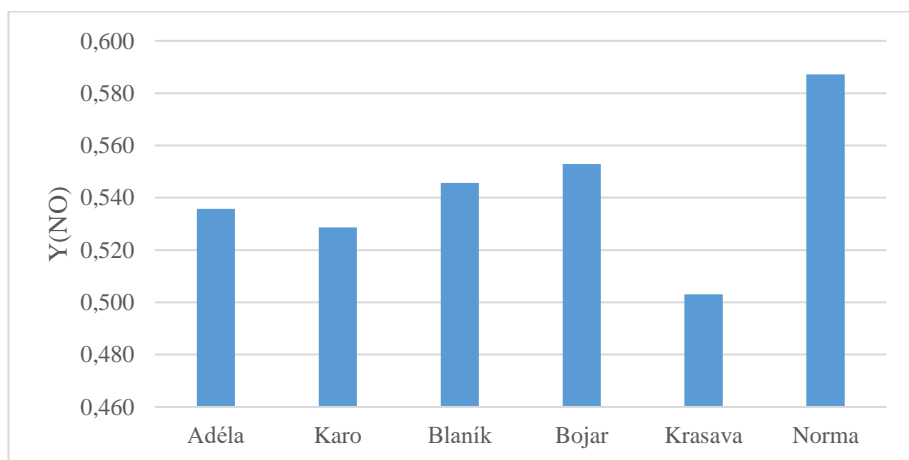


Graf 15: Kvantový výnos regulované ztráty energie [$Y(NPQ)$] pro jednotlivé odrůdy brambor pěstovaných ve foliovníku (stresované rostliny) v termínu 27.06.23

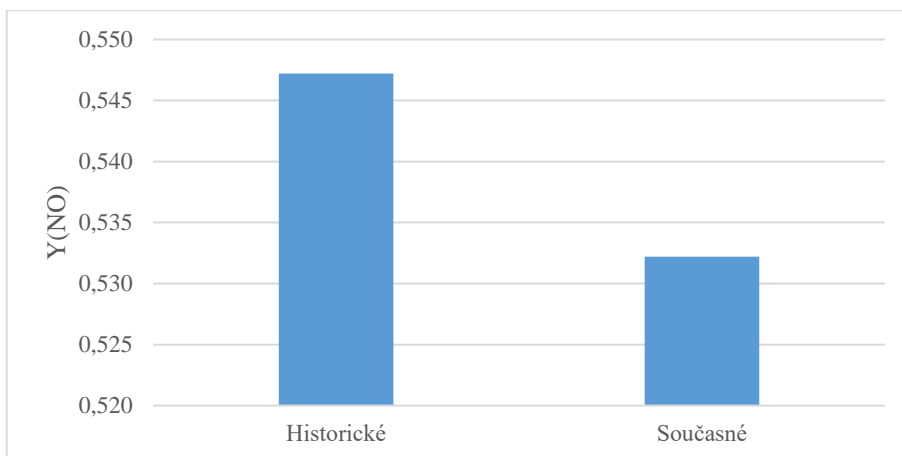


Graf 16: Kvantový výnos regulované ztráty energie [Y(NPQ)] pro průměrné hodnoty historických (Blaník, Bojar, Krasava, Norma) a současných (Adéla, Karo) odrůd brambor pěstovaných ve foliovníku (stresované rostliny) v termínu 27.06.23

Kvantový výtěžek neregulované ztráty energie [Y(NO)] dosahoval značných rozdílů u stresovaných rostlin brambor napříč odrůdami. Nejvyšší hodnota byla naměřena u kultivaru Norma (0,587), nejnižší u odrůdy Krasava (0,503). Průměrné hodnoty [Y(NO)] historických kultivarů byly zjištěny vyšší (0,547) v porovnání se současnými (0,532) odrůdami (graf 17 a 18).

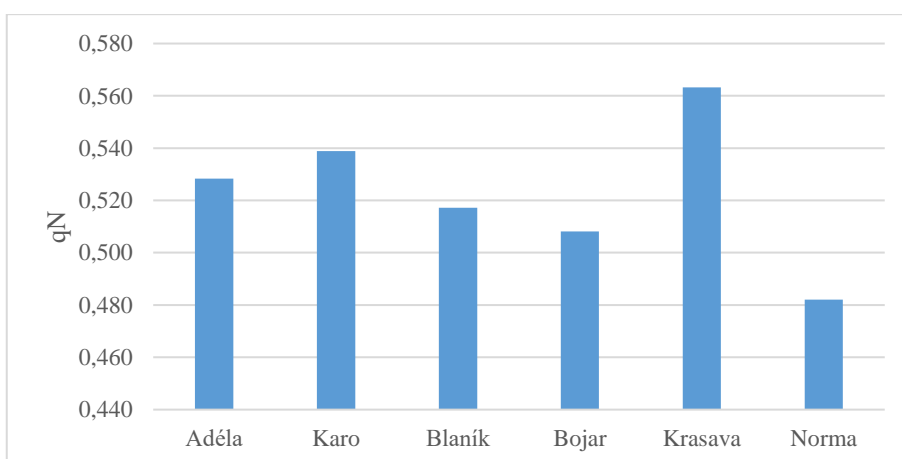


Graf 17: Kvantový výtěžek neregulované ztráty energie [Y(NO)] pro jednotlivé odrůdy brambor pěstovaných ve foliovníku (stresované rostliny) v termínu 27.06.23

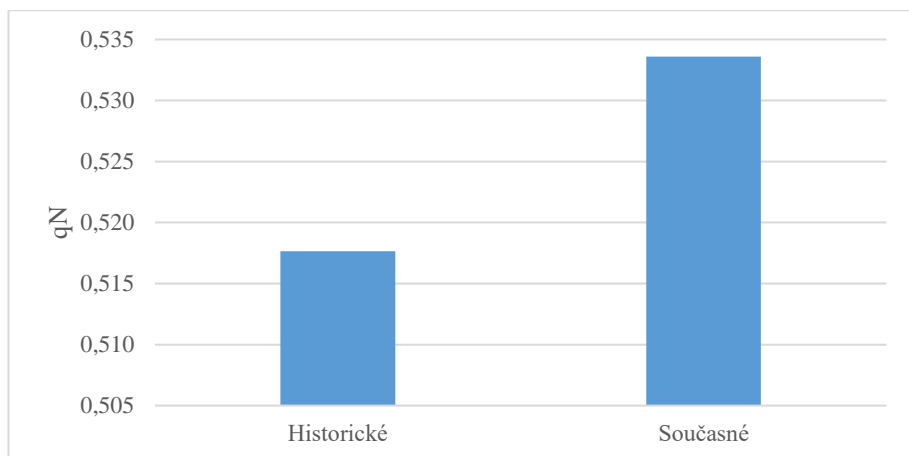


Graf 18: Kvantový výtěžek neregulované ztráty energie [Y(NO)] pro průměrné hodnoty historických (Blaník, Bojar, Krasava, Norma) a současných (Adéla, Karo) odrůd brambor pěstovaných ve foliovníku (stresované rostliny) v termínu 27.06.23

Koeficient nefotochemického zhášení (qN) dosahoval rozdílných hodnot u stresovaných rostlin jednotlivých odrůd. Nejvyšší hodnota qN byla zjištěna u kultivaru Krasava (0,563), nejnižší u odrůdy Norma (0,482). Průměrné hodnoty qN současných kultivarů byly naměřeny vyšší (0,534) v porovnání s historickými (0,518) odrůdami (graf 19 a 20).



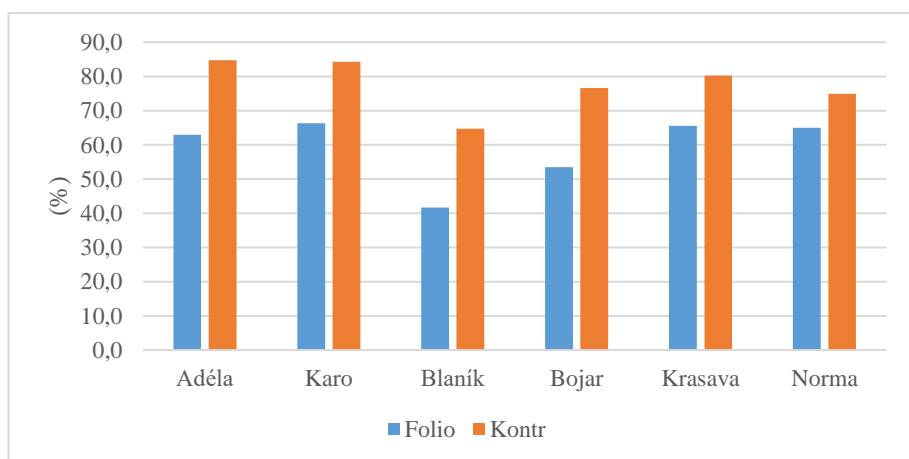
Graf 19: Koeficient nefotochemického zhášení (qN) pro jednotlivé odrůdy brambor pěstovaných ve foliovníku (stresované rostliny) v termínu 27.06.23



Graf 20: Koeficient nefotochemického zhášení pro průměrné hodnoty historických (Blaník, Bojar, Krasava, Norma) a současných (Adéla, Karo) odrůd brambor pěstovaných ve foliovniku (stresované rostliny) v termínu 27.06.23

5.4 Výška rostlin a výnos jednotlivých odrůd

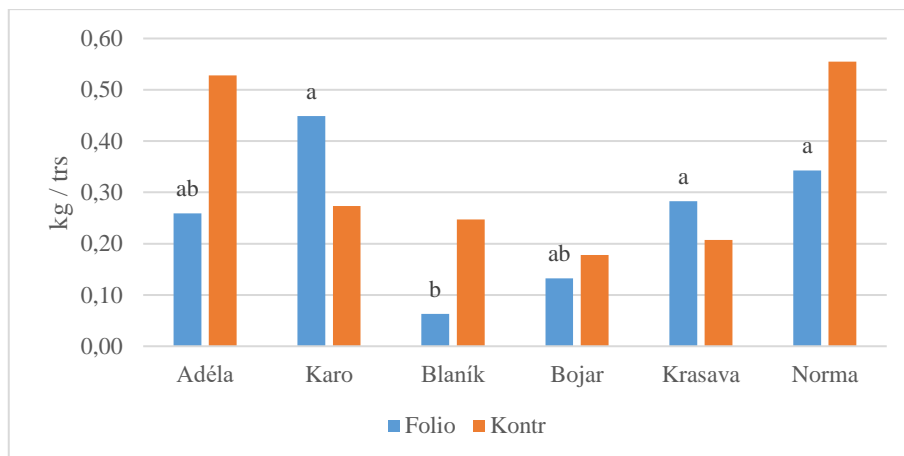
Změny výšky rostlin zobrazuje graf 21 procentickým rozdílem měření v termínech 6.6.2023 a 10.7.2023. První měření proběhlo za normálních podmínek, druhé při vrcholu simulace stresových podmínek. Z grafu je patrné, že výška rostlin podrobených stresu (varianta Foliovník) dosáhla nižšího nárůstu v porovnání s kontrolními rostlinami (varianta Kontrola).



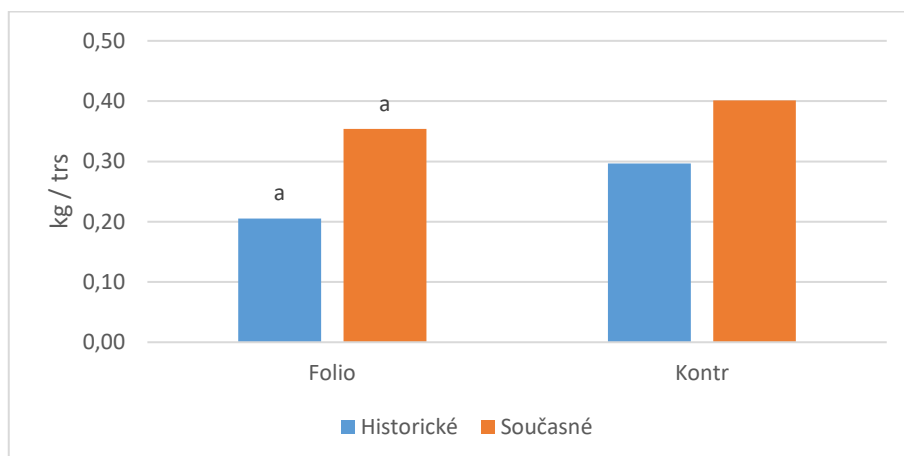
Graf 21: Nárůst biomasy vyjádřený v procentickém rozdílu výšky rostlin měřených v termínech 6.6.2023 (před simulací stresu) a 10.7.2023 (vrchol simulace stresu)

Průměrný výnos konzumních hlíz (průměr hlíz nad 40 mm) měrných trsů vykazoval rozdíly mezi odrůdami i variantami pěstování (stresované a kontrolní rostliny). Nejvyšší výnos měrných trsů ve variantě Foliovník byl naměřen u kultivaru Karo (0,45 kg / trs), nejnižší u odrůdy Blaník (0,06 kg / trs). V případě kontrolních porostů dosáhly nejvyššího výnosu měrných trsů odrůdy Norma a Adéla (0,55 a 0,53 kg / trs), nejnižších pak Bojar a Krasava (0,18 a 0,21 kg / trs). Kultivary Karo a Krasava dosáhly ve variantě Foliovník trendu vyšších výnosů (0,45 a 0,28 kg / trs) v porovnání s jejich kontrolními porosty (0,27 a 0,21 kg / trs) a spolu

s odrůdou Norma byly průkazně odlišné svým výnosem od kultivaru Blaník. U ostatních odrůd (Adéla, Blaník, Bojar a Norma) dosahovaly stresované rostliny nižších výnosů oproti kontrolním rostlinám. Průměrné výnosové hodnoty měrných trsů historických kultivarů byly zjištěny nižší v porovnání se současnými odrůdami brambor v obou variantách (Foliovník, Kontrola) porostů (graf 22 a 23), ale nebyly zjištěny průkazné rozdíly. Při přepočtu výnosů měrných trsů (ve variantě stresovaných rostlin) na 40 tisíc rostlin (tabulka 4), jejichž počet odpovídá průměrnému rozložení rostlin brambor na 1 ha, pak odrůda Karo přinesla výnos 17,96 t/ha následovaná kultivary Norma a Krasava (13,71 a 11,31 t/ha).



Graf 22: Průměrný výnos konzumních hlíz (nad 40 mm) měrných trsů (kg) pro jednotlivé odrůdy brambor v obou variantách pěstování (Foliovník, Kontrola) se statistickým vyhodnocením varianty Foliovník (HSD = 0,21)

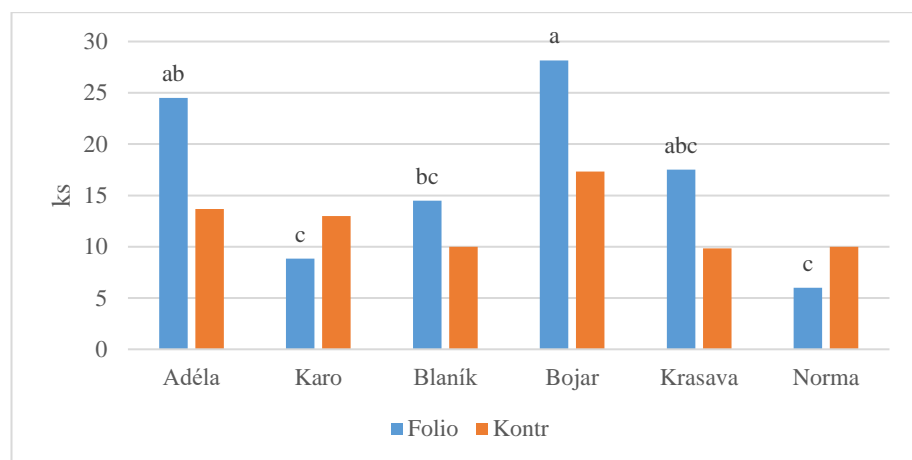


Graf 23: Průměrný výnos měrných trsů (kg) historických (Blaník, Bojar, Krasava, Norma) a současných (Adéla, Karo) odrůd brambor v obou variantách pěstování (Foliovník, Kontrola) se statistickým vyhodnocením varianty Foliovník (HSD) = 0,12

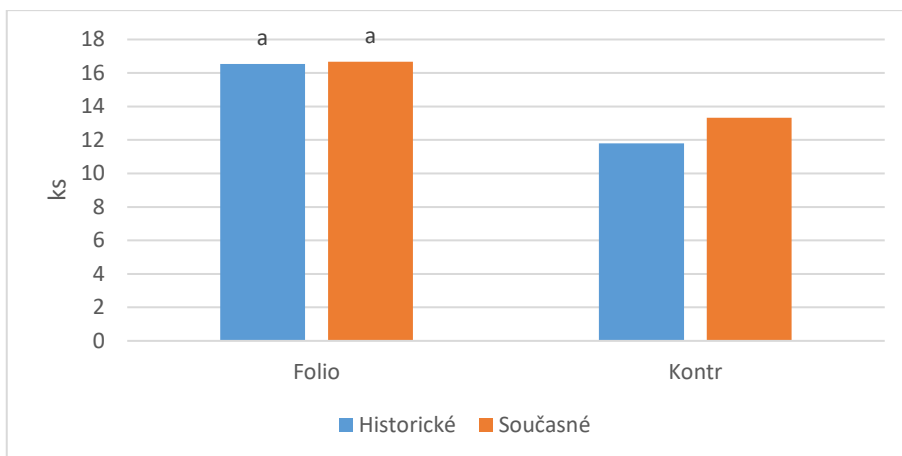
Tabulka 4: Přepočet průměrných výnosů konzumních hlíz jednotlivých odrůd brambor na 40 tis. rostlin (odpovídající množství jedinců na 1 ha)

Odrůda:	Průměrný výnos / 1 trs (kg)		Přepočet na 40 tis. rostlin (t)	
	Folio	Kontr	Folio	Kontr
Adéla	0,26	1,53	10,35	21,13
Karo	0,45	0,27	17,96	10,95
Blaník	0,06	0,25	2,53	9,89
Bojar	0,13	0,18	5,29	7,11
Krasava	0,28	0,21	11,31	8,30
Norma	0,34	0,55	13,71	22,19

Počet hlíz na 1 měrný trs (graf 24) u jednotlivých odrůd dosahoval značných rozdílů. U kultivarů Adéla, Blaník, Bojar a Krasava byl zaznamenán větší počet hlíz na trs u varianty stresovaných rostlin (Foliovník) v porovnání s kontrolním porostem (Kontrola). U odrůd Karo a Norma tomu bylo naopak. Nejvyšší počet hlíz na trs byl zjištěn u odrůdy Bojar v případě rostlin pěstovaných ve foliovníku (28 ks) a zároveň průkazně rozdílný od kultivarů Blaník, Karo a Norma, nejnižší u kultivaru Norma (6 ks) ve variantě Foliovník. Ve srovnání průměrů počtu hlíz na trs historických a současných odrůd brambor bylo zaznamenáno, že u varianty Foliovník byl vždy vyšší počet hlíz v porovnání s kontrolními rostlinami, avšak při srovnání historických a současných odrůd ve variantě Foliovník nebyl zjištěn průkazný rozdíl (graf 25).



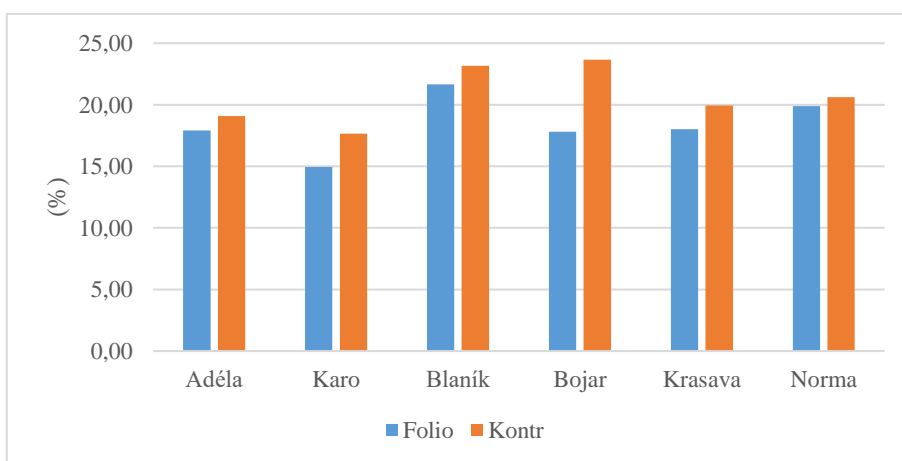
Graf 24: Průměrný počet hlíz na 1 měrný trs (ks) pro jednotlivé odrůdy v obou typech pěstování (Foliovník, Kontrola) se statistickým vyhodnocením varianty Foliovník (HSD = 13,55)



Graf 25: Průměrný počet hlíz na 1 průměrný trs (ks) historických (Blaník, Bojar, Krasava, Norma) a současných (Adéla, Karo) kultivarů v obou typech pěstování (Foliovník, Kontrola) se statistickým vyhodnocením varianty Foliovník (HSD) = 8,26

5.5 Chemický rozbor sklizených hlíz

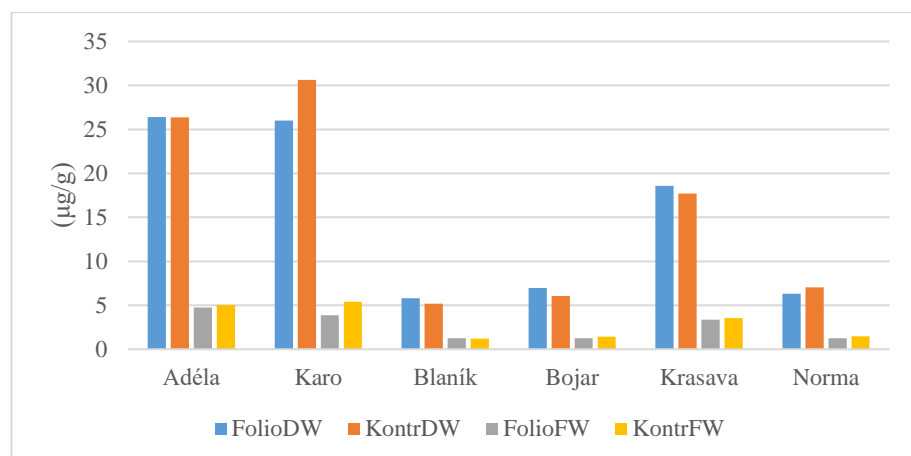
Obsah sušiny v hlíze brambor (graf 26) vykazoval jasný trend. Ve variantě Foliovník byly zjištěny nižší hodnoty obsahu sušiny hlíz u všech odrůd v porovnání s variantou Kontrola. Nejvyšší obsah sušiny hlíz u stresovaných rostlin byl naměřen u kultivaru Blaník (21,7 %), nejnižší u odrůdy Karo (15,0 %). V případě kontrolních porostů dosahovaly nejvyšší hodnoty obsahu sušiny hlíz u kultivarů Bojar a Blaník (23,7 a 23,2 %), nejnižších u odrůdy Karo (17,7 %). Nejvyšší rozdíl mezi sušinou hlíz variant Foliovník a Kontrola byl naměřen u kultivaru Bojar (+5,84 %).



Graf 26: Obsah sušiny (%) v hlíze brambor jednotlivých odrůd u obou variant porostu (Foliovník, Kontrola)

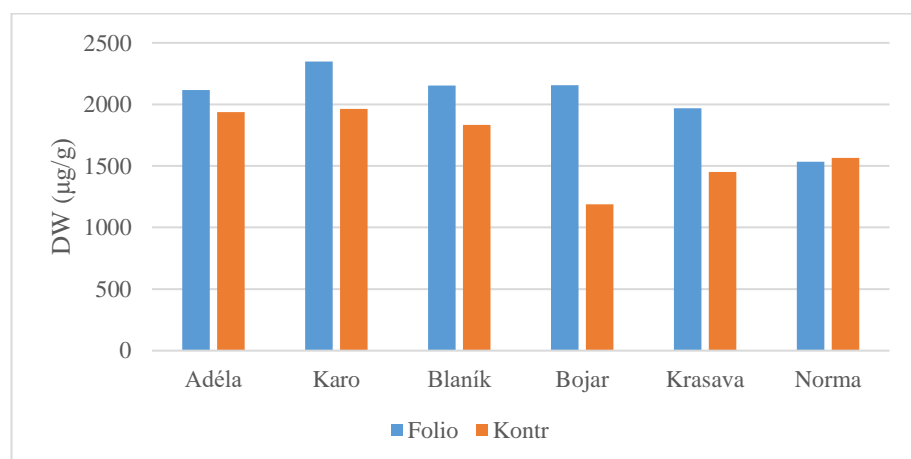
Obsah karotenoidů (graf 27) v hlízách brambor se velmi lišil při srovnání hodnot získaných z čerstvé hmotnosti a hmotnosti sušiny, i při porovnání současných a historických odrůd. Hodnoty zjištěné ze sušiny hlíz (DW) byly vždy vyšší v porovnání s hodnotami čerstvých hlíz (FW). Nejvyšší hodnota pro obsah karotenoidů byla naměřena ze hmotnosti

sušiny stresovaných rostlin (FolioDW) u kultivarů Adéla a Karo (26,4 a 26,0 $\mu\text{g/g}$), přičemž nejvyšší rozdíl v porovnání variant Foliovník a Kontrola byl zjištěn u odrůdy Karo (-4,6 $\mu\text{g/g}$), a z čerstvé hmotnosti stresovaných rostlin (FolioFW) u kultivaru Adéla (4,73 $\mu\text{g/g}$), kdy nejvyšší rozdíl v porovnání variant Foliovník a Kontrola byl naměřen u odrůdy Karo (-1,51 $\mu\text{g/g}$).



Graf 27: Obsah karotenoidů ($\mu\text{g/g}$) v hlízách brambor jednotlivých odrůd odlišně pro typ porostu (Foliovník, Kontrola) a hmotnost hlízy (DW = dry weight/hmotnost sušiny, FW = fresh weight/čerstvá hmotnost)

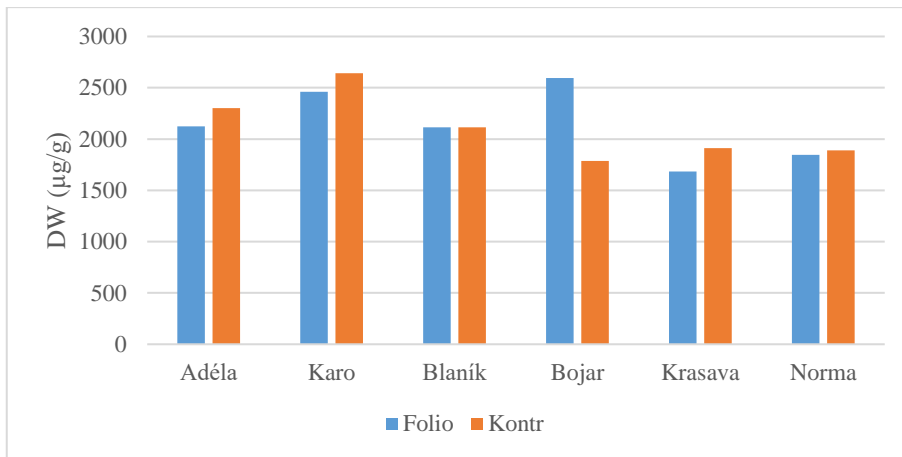
Celkový obsah fenolů v sušině (graf 28) dosahoval trendu vyšších hodnot u rostlin podrobených stresu (varianta Foliovník) v porovnání s kontrolními rostlinami u všech odrůd mimo kultivar Norma, u kterého tomu bylo naopak. Nejvyšší obsah fenolů v sušině byl zjištěn u odrůdy Karo ve variantě Foliovník i Kontrola (2 349 a 1 963 $\mu\text{g/g}$), nejnižší u kultivaru Norma v případě stresovaných rostlin (1 534 $\mu\text{g/g}$) a Bojar v případě kontrolních rostlin (1 188 $\mu\text{g/g}$).



Graf 28: Obsah fenolů ($\mu\text{g/g}$) v sušině (DW) hlíz jednotlivých odrůd u obou variant porostu (Foliovník, Kontrola)

Graf 29 zobrazuje obsah antioxidantů v sušině hlíz. U odrůdy Bojar byl zjištěn nejvyšší obsah antioxidantů ve variantě Foliovník (2 596 $\mu\text{g/g}$), nejnižší hodnoty v téže variantě byly

naměřeny u kultivaru Krasava (1 685 $\mu\text{g/g}$). V případě kontrolních rostlin byl nejvyšší obsah antioxidantů u odrůdy Karo (2 642 $\mu\text{g/g}$), nejnižší u kultivaru Bojar (1 786 $\mu\text{g/g}$).



Graf 29: Obsah antioxidantů ($\mu\text{g/g}$) v sušině (DW) hlíz pro jednotlivé odrůdy brambor u obou variant porostů (Foliovník, Kontrola)

6 Diskuze

6.1 Obsah chlorofylu v listech

Během simulace stresu u rostlin brambor pěstovaných ve foliovníku (vyšší teploty vzduchu a odpojení závlahy) reagovaly odrůdy Adéla, Blaník, Bojar, Karo a Norma zvýšením koncentrace chlorofylu v listech. U kultivaru Krasava byl trend koncentrace chlorofylu nejprve klesající a po týdnu od odpojení závlahy rostoucí. Procházka (1998), Bruce et al. (2007) a Lipiec et al. (2013) konstatují, že reakce rostlin na přehřátí začíná nejprve v chloroplastech. Probíhající stres lze tedy zjistit měřením obsahu chlorofylu v listech.

Yactayo et al. (2013) potvrzuje vyšší koncentrace chlorofylu u rostlin omezeně zavlažovaných v porovnání s plně zavlažovanými. Aliche et al. (2020) také zaznamenává vyšší hustotu chlorofylu v listech u rostlin stresovaných suchem. Hancock et al. (2014) naopak popisuje nižší koncentrace chlorofylu v listech za vyšších teplot až o 20 %. Stejně tak tvrdí George et al. (2017), který uvádí, že za vyšších teplot klesá fotosyntetický výkon, schopnost fixace CO₂ a koncentrace chlorofylu. Li (2019) připisuje důsledek snížení obsahu chlorofylu působení těžkých kovů, které poškozují chloroplasty.

Levy & Veilleux (2007) uvádí, že rané kultivary brambor jsou tolerantnější ke stresu způsobeným vyššími teplotami v porovnání s pozdními. Rané odrůdy Adéla, Karo a Krasava nevykazují výrazně rozdílné hodnoty obsahu chlorofylu v listech během stresu suchem v porovnání s ostatními kultivary, avšak při porovnání průměrných hodnot chlorofylu za celé vegetační období již tyto rané odrůdy vykazují průkazně vyšší obsahy chlorofylu v listech v porovnání s pozdními.

6.2 Fotosyntéza v listech

Brestic & Zivcak (2013) uvádí, že snížená rychlost fotosyntézy je jednou z prvních reakcí rostlin na nepříznivé podmínky. Z grafu 8 vyplývá, že rychlost fotosyntézy měřená 14 dní od odpojení závlahy byla u odrůd Blaník, Bojar, Karo, Krasava a Norma u rostlin stresovaných vyšší v porovnání s kontrolní variantou. Pouze u kultivaru Adéla ve variantě Foliovník byla naměřena nižší rychlost fotosyntézy v porovnání s kontrolními rostlinami.

Procházka (1998) a George et al. (2017) popisují, že kombinace stresů sucha a tepla způsobuje snížení fotosyntézy v důsledku uzavření průduchů. Stejně tak uvádí i Liu et al. (2005), Levy & Veilleux (2007), Monneveux et al. (2013), Obidiegwu (2015), Puértolas et al. (2015) a Zinta et al. (2022). Mittler (2006) zaznamenává pokles fotosyntézy za vyšších teplot o 10 %, za sucha o 80 % a za sucha a tepla v průměru o 90 %.

Naopak Hancock et al. (2014) zjišťují vyšší rychlost fotosyntézy u rostlin stresovaných vyššími teplotami (přes den 30 °C, v noci 20 °C) v porovnání s nestresovanými rostlinami. Schafleitner (2009) připisuje snížení fotosyntetické aktivity za sucha závislosti na genotypu brambor. Li (2019) zaznamenává reakce rostlin bramboru na olovo či kadmium. Rychlost fotosyntézy uvádí nižší při ošetření brambor těmito rizikovými prvky. Salaš (2011) popisuje rostliny, které zlepšují intenzitu fotosyntézy během stresových podmínek, jako alespoň částečně adaptované na působení stresových faktorů.

Graf 10 zobrazuje podprůduchovou koncentraci CO₂ v listech (Ci) jednotlivých odrůd brambor. Z výsledků vyplývá, že u kultivarů Adéla, Blaník, Bojar a Karo byla Ci vyšší u varianty Foliovník v porovnání s kontrolou. U odrůd Krasava a Norma tomu bylo naopak. Obidiegwu (2015) uvádí, že v důsledku suchých půdních podmínek se spolu s rychlostí fotosyntézy snižuje právě i koncentrace CO₂ v listech. Li (2019) zjišťuje snížení Ci u brambor ošetřených olovem, ale v případě kadmia se Ci nemění.

Průduchová vodivost (gs) byla naměřena u všech odrůd vyšší v případě varianty stresovaných rostlin v porovnání s kontrolními porosty brambor. Liu et al. (2005) a Monneveux et al. (2013) uvádí, že ovlivnění vodivosti průduchů v rámci stresu suchem působí na rostliny brambor nejvíce negativně během iniciace a růstu hlíz do objemu. Schafleitner (2009) poznamenává, že průduchová vodivost klesá rychleji než fotosyntéza.

Liu et al. (2005), Monneveux et al. (2013), Sun et al. (2014) a Aliche et al. (2020) zjišťují vyšší gs u rostlin zalévaných v porovnání se suchem stresovanými. Stejný výsledek zaznamenává i Obidiegwu (2015), který připisuje nižší průduchovou vodivost listů k mechanismu úspory vody v rostlině. Naopak Hancock et al. (2014) uvádí vyšší průduchovou vodivost u rostlin pěstovaných za vyšších teplot, stejně tak Mittler (2006), který zjišťuje hodnotu gs u teplem stresovaných rostlin vyšší o 150 %. Li (2019) zaznamenává snížení průduchové vodivosti listů u brambor ošetřených kadmíem, u olova ke změně nedochází.

Graf 12 zobrazuje fotosynteticky efektivní využití vody (WUE) u jednotlivých odrůd v obou variantách (Foliovník, Kontrola) porostů brambor. U odrůd Adéla, Karo a Bojar bylo změřeno nižší WUE ve variantě Foliovník v porovnání s kontrolou. U kultivarů Blaník, Krasava a Norma tomu bylo naopak.

Schafleitner (2009) uvádí, že WUE brambor se zvyšuje při mírném deficitu vody v půdě v důsledku částečného uzavření průduchů. Stejného názoru jsou Yactayo et al. (2013), kteří zjišťují vyšší WUE u rostlin s částečným sušením kořenové zóny (PRD). Schafleitner (2009) dodává, že nízká hustota průduchů souvisí s tolerancí brambor k suchu, přičemž Salaš (2011) popisuje rostliny adaptované na stresové podmínky jako takové, které efektivněji využívají vodu během nevhodných podmínek prostředí.

6.3 Fluorescence chlorofylu v listech

Podle Brestic & Zivcak (2013) je pro monitoring tepelného stresu vhodné zjišťovat parametry fluorescence chlorofylu, ideálně maximální kvantový výtěžek PS II (Fv/Fm), jelikož koresponduje s tepelnou tolerancí rostlin a zároveň je spolehlivějším parametrem než výměna CO₂. Právě Fv/Fm je indikátor fotoinhibice nebo poškození komplexů fotosystému II a u většiny rostlin za optimálních podmínek dosahuje konstantní hodnoty 0,832.

Z grafu 13 vyplývá, že hodnota Fv/Fm byla mnohem nižší při měření 2 týdny od odpojení závlahy (27.6.2023) u všech odrůd v porovnání s měřením 4 týdny od odpojení závlahy (11.7.2023). Při prvním měření parametru Fv/Fm se zjištěné hodnoty pohybovaly v rozmezí 0,647 až 0,678), tedy značně nižší než konstantní hodnota Fv/Fm za optimálních podmínek (0,832). Během druhého termínu měření byly zjištěny hodnoty Fv/Fm vyšší v porovnání s prvním měřením (0,829 až 0,851). Brestic & Zivcak (2013) uvádí, že u rostlin podrobených stresovým podmínkám se hodnoty parametru Fv/Fm výrazně snižují.

Kvantový výnos regulované ztráty energie $Y(NPQ)$ zobrazen na grafu 15 ukazuje, že u odrůd s vyššími hodnotami (Adéla, Karo a Krasava) je hustota toku fotonů nadměrná, ale rostliny si zachovaly fyziologické prostředky k vlastní ochraně před tvorbou reaktivních kyslíkových radikálů (ROS), které způsobují poškození rostlin (Heinz Walz GmbH 2019).

Graf 17 zobrazující kvantový výtěžek neregulované ztráty energie $Y(NO)$ pro jednotlivé odrůdy ve variantě stresovaných rostlin ukazuje, že mimo kultivar Krasava byly naměřeny vyšší hodnoty $Y(NO)$. Právě vysoká hodnota tohoto parametru dokazuje, že ochranné regulační mechanismy, které jsou potřeba k omezení tvorby ROS, jsou neúčinné a dochází tak k poškození rostlin (Heinz Walz GmbH 2019).

Koeficient nefotochemického zhášení (qN) zobrazen na grafu 19 je indikátorem omezení vyvolaných stresem. V případě naměřených hodnot v pokusu historických a současných odrůd brambor podrobených stresu suchem a teplem lze tento indikátor použít jako detekci stresových reakcí způsobených například uzavřením průduchů nebo snížením rychlosti fotosyntézy. Vyšší hodnoty naměřené u odrůd Adéla, Blaník, Bojar, Karo a Krasava představují vyšší stresovou reakci na podmínky prostředí (Heinz Walz GmbH 2019).

6.4 Výnos rostlin

Graf 22 zobrazuje průměrný výnos konzumních hlíz měrných trsů pro jednotlivé odrůdy brambor v obou variantách pěstování (Foliovník, Kontrola). Z grafu je patrné, že odrůdy Karo a Krasava dosáhly vyšších výnosů ve variantě stresovaných rostlin v porovnání s kontrolním porostem. U ostatních odrůd tomu bylo naopak.

Hancock et al. (2014) a Zinta et al. (2022) uvádí, že stres vysokými teplotami omezuje růst hlíz, čímž znatelně snižuje výnos brambor. Sahnazari et al. (2008), Ahmadi et al. (2010) a Wishart et al. (2014) zjišťují, že výnos brambor při omezené závlaze i částečném sušení kořenové zóny (PRD) je snížen v porovnání s plnou závlahou. Ahmadi et al. (2014) doporučují zařadit metodu PRD do období iniciace a růstu hlíz, kdy výnosy brambor mohou být podobné rostlinám plně zavlažovaným.

Průměrný počet hlíz na 1 měrný trs je uveden pro jednotlivé odrůdy i varianty porostu v grafu 24. Odrůdy Adéla, Blaník, Bojar a Krasava poskytly vyšší počet hlíz na měrný trs u varianty Foliovník (stresované rostliny) v porovnání s kontrolou. U ostatních odrůd tomu bylo naopak.

Schafleitner (2009) zjišťuje, že v období před tuberizací sucho neovlivňuje počet hlíz na rostlinu. Liu et al. (2005), Monneveux et al. (2013) a Obidiegwu (2015) uvádí důsledky deficitu vody v období iniciace hlíz (stejně období, kdy byl simulován stres suchem a teplem), během kterého dochází k omezené tvorbě hlíz, čímž je následně snížen celkový počet hlíz. Aliche et al. (2022) zjišťují, že počet hlíz u stresovaných rostlin brambor suchem je nižší v porovnání s rostlinami zavlažovanými z důsledku rozdělování uhlíku během stresu do kořenů rostliny, což Ahmadi et al. (2014) potvrzují i u porovnání plné závlahy s omezenou a metodou PRD.

Vokál (2013) poznamenává, že počet hlíz je závislý na genotypu a ranosti odrůd, přičemž Levy & Veilleux (2007) dodávají, že rané kultivary brambor jsou odolnější ke stresu vyšší teplotou. Hancock et al. (2014) uvádí, že počet hlíz je vyšší u rostlin bramboru pěstovaných za vyšších teplot v porovnání s normálními podmínkami.

6.5 Chemický rozbor hlíz

Obsah sušiny ve sklizených hlízách brambor (graf 26) byl naměřen u variant stresovaných rostlin všech zkoumaných odrůd nižší v porovnání s kontrolními porosty. Nejvyšší pokles byl zjištěn u kultivaru Bojar (-5,84 %). Ahmadi et al. (2014) uvádí vyšší sušinu hlíz u rostlin brambor v případě omezeného zavlažování v porovnání s plnou závlahou. Levy & Veilleux (2007) zjišťují pokles sušiny v hlízách u rostlin, které byly podrobeny stresu vysokými teplotami.

Graf 27 zobrazuje obsah karotenoidů v hlízách brambor všech zkoumaných odrůd. U kultivarů Adéla, Blaník, Bojar a Krasava byla naměřena vyšší koncentrace karotenoidů v sušině ve variantě Foliovník (stresované rostliny) v porovnání s kontrolou. U odrůd Karo a Norma tomu bylo naopak. Andre et al. (2009) uvádí, že obsah karotenoidů v hlízách brambor, jejichž rostliny byly vystaveny stresu suchem, se zvyšuje nebo je stabilní. Hancock et al. (2014) zjišťují poklesy karotenoidů až o 20 % u rostlin podrobených tepelnému stresu. Wang & Frei (2011) dodávají, že ke zvýšení či žádné změně obsahu karotenoidů v hlízách dochází při vystavení rostlin bramboru stresu suchem a vyššími teplotami.

Celkový obsah fenolů v sušině hlíz všech zkoumaných odrůd ukazuje graf 28. U většiny odrůd bylo zjištěno navýšení koncentrace fenolů u variant stresovaných rostlin (Foliovník) v porovnání s kontrolními porosty. Pouze u kultivaru Norma došlo k nepatrnému poklesu (-32,11 µg/g). Reyes et al. (2003) zjišťují obsah fenolů vyšší v důsledku vyvolání stresu ethylenem, kdy obecně dochází k předčasnému stárnutí rostlin brambor. Wang & Frei (2011) uvádí zvýšené koncentrace fenolů u různých plodin stresovaných suchem a teplem, avšak s několika výjimkami, kdy dochází ke snížení nebo žádné změně.

Graf 29 zobrazuje celkový obsah antioxidantů v sušině hlíz pro všechny zkoumané odrůdy brambor. U kultivarů Adéla, Blaník, Karo, Krasava a Norma byly naměřeny nižší koncentrace antioxidantů ve variantě Foliovník v porovnání s kontrolou. U odrůdy Bojar tomu bylo výrazně naopak. Wang & Frei (2011) pozorují obecný trend zvyšování obsahu antioxidantů v rostlinách vystavených stresovým faktorům a Cheng et al. (2013) dodávají, že zvýšená aktivita antioxidantů jasně koreluje se zvýšenou odolností rostlin k abiotickým stresům.

7 Závěr

Z uvedených výsledků porovnaných s dalšími studiemi lze pozorované odrůdy brambor ve variantě stresovaných rostlin (Foliovník) rozdělit podle zjištěných hodnot na odolné či neodolné stresům sucha a tepla. V případě obsahu chlorofylu během simulace stresu, kdy vyšších hodnot dosahují rostliny adaptované na stresové podmínky, byly zjištěny odolné kultivary všechny. Při zjištění průměrných hodnot za celé vegetační období se projevíly odolné ke stresu teplem odrůdy Blaník, Bojar, Krasava a Norma, přičemž Adéla a Karo byly k vyšším teplotám neodolné.

Snížená rychlost fotosyntézy (P_n) dokazuje neodolnost rostlin k okolním podmínkám. Odrůdy Blaník, Bojar, Karo, Krasava a Norma se projevíly jako odolné ke stresu suchem a teplem při vyhodnocení rychlosti fotosyntézy v listech jejich rostlin. Pouze kultivar Adéla odolná nebyla.

Nižší průduchová koncentrace CO_2 v listech (C_i) naznačuje stres rostlin. Kultivary Adéla, Blaník, Bojar a Karo poskytly vyšší koncentrace v rámci měření C_i během simulace stresu a byly tedy odolné ke stresu způsobeným nedostatkem vody či vysokými teplotami vzduchu. Kultivary Krasava a Norma odolné nebyly.

Nižší průduchová vodivost (g_s) značí výskyt stresu suchem u rostlin bramboru. Všechny pozorované kultivary se projevíly jako odolné ke stresu deficitem vody, avšak odolnost ke stresu vyššími teplotami nebyla zjištěna, jelikož vyšší vodivost průduchů je měřitelná právě za stresových podmínek způsobených teplem.

Fotosynteticky efektivní využití vody (WUE) je obecně nižší u rostlin podrobených abiotickým či biotickým stresorům. U odrůd Blaník, Krasava a Norma byly naměřeny vyšší hodnoty WUE, byly tedy odolné ke stresu suchem. Adéla, Karo a Bojar však nikoli.

Maximální kvantový výtěžek fotosystému II (F_v/F_m) se za příznivých podmínek pohybuje na konstantní úrovni 0,832. Při prvním měření stresovaných rostlin brambor byly zjištěny nižší hodnoty (kolem 0,663), což značí, že veškeré kultivary byly stresované podmínkami prostředí (sucho, teplo). Při druhém měření (v období maximálního stresu suchem) se však hodnoty F_v/F_m pohybovaly okolo 0,840. Byla tedy patrná možná adaptace na stres suchem při zjištění maximálního kvantového výtěžku PS II.

Kvantový výnos regulované ztráty energie $Y(NPQ)$, jehož vyšší hodnota dokazuje odolnost rostlin ke stresu, byl v tomto výzkumu zjištěn vyšší u kultivarů Blaník, Bojar a Norma. Adéla, Karo a Krasava se projevíly jako neodolné.

Vyšší hodnota kvantového výtěžku neregulované ztráty energie $Y(NO)$ byla naměřena u všech odrůd mimo Krasavu, která se jako jediná při porovnání těchto hodnot projevíla jako odolná ke stresu.

Koeficient nefotochemického zhášení q_N , jehož vyšší hodnota ukazuje závažnost stresu, byl naměřen vyšší u většiny kultivarů mimo Normu. Norma tedy byla odolnější stresu nebo méně reagovala na stres suchem a teplem.

Z hlediska výnosových prvků byl zjištěn vyšší výnos měrných trsů stresovaných rostlin pouze u odrůd Karo a Krasava v porovnání s kontrolními rostlinami. V tomto pokusu se tedy projevíly jako odolné ke stresu suchem a teplem.

Obsah sušiny hlíz byl zjištěn nižší u všech kultivarů. Nižší koncentrace sušiny odpovídá stresu vysokými teplotami, vyšší obsah pak stresu suchem. Všechny pozorované odrůdy byly stresovány vyššími teplotami, ale odolné k nedostatku vody v půdě.

Obsah karotenoidů v sušině, ovlivnitelný vyššími teplotami vzduchu, byl naměřen u odrůd Adéla, Blaník, Bojar a Krasava vyšší, což značí jejich odolnost ke stresu teplem. Pouze kultivary Karo a Norma tolik odolné nebyly.

Vyšší obsah fenolů v sušině hlíz odpovídá rostlinám odolným stresovým faktorům. Tyto hodnoty byly zjištěny u všech odrůd mimo Normu, která nebyla tolik odolná stresům sucha a tepla.

Celkový obsah antioxidantů byl zjištěn vyšší pouze u kultivaru Bojar, který se projevil odolný k suchu a teplu. U ostatních odrůd byly naměřeny hodnoty nižší, nebyly tedy tolik odolné stresům z hlediska koncentrace antioxidantů v hlízách.

První hypotéza uvedená v cílech práce zní: Pozdnější (Blaník, Bojar Krasava a Norma) odrůdy vykazují vyšší adaptabilitu na suchu a teplo (fyziologické parametry) v porovnání s ranými odrůdami. Z výsledků vyplývá, že tato hypotéza podle vyhodnocení obsahu chlorofylu v listech (SPAD) lze potvrdit, přičemž je i statisticky průkazná.

Druhá hypotéza ve znění: Zkoumané historické odrůdy (Blaník, Bojar, Krasava a Norma) vykazují vyšší odolnost vůči suchu (produkční ukazatele) v porovnání se současnými odrůdami, nelze jednoznačně potvrdit v rámci zjištěných výnosů měrných trsů či průměrném počtu hlíz na 1 trs.

V rámci vyhodnocení naměřených hodnot fyziologických parametrů, které udávají odolnost rostlin bramboru k suchu a teplu, byly po sečtení ne/odolnosti jednotlivých odrůd zjištěny jako odolné odrůdy Blaník, Bojar a Krasava, méně odolné Karo a Norma a nejméně odolný kultivar Adéla.

Historické odrůdy brambor podle fyziologických parametrů byly tedy zjištěny jako odolné suchu a teplu (3 kultivary ze 4). Bylo by tedy vhodné dále zkoumat jejich mechanismy a procesy adaptability či odolnosti těmto extrémům počasí, které se v současnosti objevují stále častěji.

8 Literatura

- Ahmadi SH, Andersen MN, Plauborg F, Poulsen RT, Jensen CR, Sepaskhah AR, Hansen S. 2010. Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: Yield and water productivity. *Agricultural Water Management* **97**:1923-1930. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378377410002386> (accessed December 13, 2023).
- Ahmadi SH, Agharezaee M, Kamgar-Haghighi AA, Sepaskhah AR. 2014. Effects of dynamic and static deficit and partial root zone drying irrigation strategies on yield, tuber sizes distribution, and water productivity of two field grown potato cultivars. *Agricultural Water Management* **134**:126-136. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378377413003302> (accessed December 14, 2023).
- Aliche EB, Theeuwens TPJM, Oortwijn M, Visser RGF, van der Linden CG. 2020. Carbon partitioning mechanisms in potato under drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry* **146**:211-219. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S098194281930484X> (accessed December 26, 2023).
- Aliche EB, Gengler T, Hoendervangers I, Oortwijn M, Bachem CWB, Borm T, Visser RGF, van der Linden CG. 2022. Transcriptomic responses of potato to drought stress. *Potato Research* **65**:289-305. Available at <https://link.springer.com/10.1007/s11540-021-09527-8> (accessed December 26, 2023).
- Andre CM, Schafleitner R, Guignard C, Oufir M, Aliaga CAA, Nomberto G, Hoffmann L, Hausman J-F, Evers D, Larondelle Y. 2009. Modification of the health-promoting value of potato tubers field grown under drought stress: Emphasis on dietary antioxidant and glycoalkaloid contents in five native andean cultivars (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **57**:599-609. Available at <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf8025452> (accessed December 13, 2023).
- Atkinson NJ, Urwin PE. 2012. The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. *Journal of Experimental Botany* **63**:3523-3543. Available at <https://academic.oup.com/jxb/article-lookup/doi/10.1093/jxb/ers100> (accessed December 13, 2023).
- Bitá CE, Gerats T. 2013. Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. *Frontiers in Plant Science* **4**. Available at <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2013.00273/abstract> (accessed December 13, 2023).
- BPEJ - 2.10.00. 2024. Available at <https://bpej.vumop.cz/21000> (accessed February 28, 2024).
- Brestic M, Zivcak M. 2013. PSII Fluorescence techniques for measurement of drought and high temperature stress signal in crop plants: Protocols and applications. *Molecular Stress*

- Physiology of Plants:87-131. Springer India, India. Available at https://link.springer.com/10.1007/978-81-322-0807-5_4 (accessed March 4, 2024).
- Bruce TJA, Matthes MC, Napier JA, Pickett JA. 2007. Stressful “memories” of plants: Evidence and possible mechanisms. *Plant Science* **173**:603-608. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168945207002476> (accessed December 11, 2023).
- Buckseth T et al. 2022. Advances in innovative seed potato production systems in India. *Frontiers in Agronomy* **4**. Available at <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fagro.2022.956667/full> (accessed December 26, 2023).
- Cioloa M, Tican A, Badarau CL, Popa M. 2022. Production of high-quality seed potatoes in protected area for true seed progenies, who showed tolerance to *in vitro* induced water stress. *Scientific Papers*. Available at https://www.researchgate.net/publication/363482675_PRODUCTION_OF_HIGH-QUALITY_SEED_POTATOES_IN_PROTECTED_AREA_FOR_TRUE_SEED_PROGENIES_WHO_SHOWED_TOLERANCE_TO_IN_VITRO_INDUCED_WATER_STRESS (accessed December 19, 2023).
- Čermák V. 2017. Seznam doporučených odrůd bramboru 2017. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno. Brno. ISBN 978-80-7401-141-2.
- de Ferrière le Vayer M. 2017. The potato: a long history to fit our contemporary world. *Potato Research* **60**:223-235. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s11540-018-9352-9> (accessed December 26, 2023).
- Dodd IC, Puértolas J, Huber K, Pérez-Pérez JG, Wright HR, Blackwell MSA. 2015. The importance of soil drying and re-wetting in crop phytohormonal and nutritional responses to deficit irrigation. *Journal of Experimental Botany* **66**:2239-2252. Available at <https://academic.oup.com/jxb/article-lookup/doi/10.1093/jxb/eru532> (accessed December 21, 2023).
- Domkářová J. 2019. České konzumní odrůdy bramboru. Agromanuál. Available at <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/osivo-a-sadba-1/ceske-konzumni-odrudy-bramboru> (accessed March 23, 2024).
- Dráb J. 1956. Pěstování bramborů. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Dvořák P a kol. 2022. Limity při použití slaměného mulče, kompostu či směsi separátu a řezané slámy při pěstování brambor. Agromanuál. Available at <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/limity-pri-pouziti-slameneho-mulce-kompostu-ci-smesi-separatu-a-rezane-slamy-pri-pestovani-brambor> (accessed March 23, 2023).
- Dvořák P, Král M. 2023. Podpora na pěstování brambor se změnila, přibude tedy i bio brambor? *Agromanual* **18**:128-131. Available at <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/podpora-na-pestovani-brambor-se-zmenila-pribude-tedy-i-bio-brambor> (accessed December 20, 2023).

- Evers D, Bonnechière S, Hoffmann L, Hausman JF. 2007. Physiological aspects of abiotic stress response in potato. *Belgian Journal of Botany* **140**:141-150. Available at <https://www.jstor.org/stable/20794635> (accessed April 3, 2024).
- Eyinade GA, Mushunje A, Yusuf SFG. 2021. A systematic synthesis on the context reliant performance of organic farming. *AIMS Agriculture and Food* **6**:142-158. Available at <http://www.aimspress.com/article/doi/10.3934/agrfood.2021009> (accessed December 29, 2023).
- Gajdušková A. 2013. Příspěvek permakultury k udržitelnému způsobu života [Diplomová práce]. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.
- George TS, Taylor MA, Dodd IC, White PJ. 2017. Climate change and consequences for potato production: a Review of tolerance to emerging abiotic stress. *Potato Research* **60**:239-268. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s11540-018-9366-3> (accessed December 21, 2023).
- Goyer A. 2017. Maximizing the nutritional potential of potato: the case of folate. *Potato Research* **60**:319-325. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s11540-018-9374-3> (accessed December 21, 2023).
- Hamouz K, Lachman J, Pazderů K, Tomášek J, Hejtmánková K, Pivec V. 2011. Differences in anthocyanin content and antioxidant activity of potato tubers with different flesh colour. *Plant, Soil and Environment* **57**:478-485. Available at <http://pse.agriculturejournals.cz/doi/10.17221/265/2011-PSE.html> (accessed December 28, 2023).
- Hamouz K, Bečka D, Capouchová I. 2018. Ascorbic acid content in potato tubers with coloured flesh as affected by genotype, environment and storage. *Plant, Soil and Environment* **64**:605-611. Available at <http://pse.agriculturejournals.cz/doi/10.17221/542/2018-PSE.html> (accessed December 28, 2023).
- Hamouz K, Lachman J, Bečka D, Pulkrábek J. 2018. Effect of growing conditions and storage on the total anthocyanin content in potatoes with coloured flesh. *Plant, Soil and Environment* **64**:435-440. Available at <http://pse.agriculturejournals.cz/doi/10.17221/384/2018-PSE.html> (accessed December 28, 2023).
- Hancock RTD et al. 2014. Physiological, biochemical and molecular responses of the potato (*Solanum tuberosum* L.) plant to moderately elevated temperature **37**:439-450. Available at <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/pce.12168> (accessed December 14, 2023).
- Hausvater E, Doležal P. 2023. Co ukázaly pokusy s fungicidy v roce s minimálním výskytem plísně bramboru a alternariových skvrnitostí. *Agromanuál* **18**:36-39. Available at <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/choroby/co-ukazaly-pokusy-s-fungicidy-v-roce-s-minimalnim-vyskytem-plisne-bramboru-a-alternariovych-skvrnito> (accessed December 20, 2023).

- Haynes KG et al. 1992. Coastal Chip: A chipping potato variety resistant to heat stress. *American Potato Journal* **69**:515-523. Available at <http://link.springer.com/10.1007/BF02853840> (accessed December 11, 2023).
- HEINZ WALZ GMBH. 2019. Imaging-PAM M-Series Chlorophyll Fluorometer, Effeltrich.
- Holejšovský J, Brant V, Procházka P, Kroulík M. 2023. Meziplodiny a pomocné plodiny při pěstování brambor. *Agromanuál* **18**:132-135. Available at <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/meziplodiny-a-pomocne-plodiny-pri-pestovani-brambor-i> (accessed December 20, 2023).
- Hradová K. 2021. Odrůdy brambor 2021: Jakou vybrat sadbu?. *Abeceda zahrady a bydlení*. Available at <https://abecedazahrady.dama.cz/clanek/odrudy-brambor-pro-letosni-rok-ktere-jsou-nejvhodnejsi-a-na-co-je-pouzit> (accessed March 23, 2024).
- Hruška L. 1974. *Brambory*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Cheng YJ, Deng YP, Kwak SS, Chen W, Eneji AE. 2013. Tolerant potato cultivar selection under multiple abiotic stresses. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. **11**:760-766. Available at https://www.researchgate.net/publication/259010127_Tolerant_potato_cultivar_selection_under_multiple_abiotic_stresses (accessed December 13, 2023).
- Jiao Z, Li Y, Li J, Xu X, Li H, Lu D, Wang J. 2012. Effects of exogenous chitosan on physiological characteristics of potato seedlings under drought stress and rehydration. *Potato Research* **55**:293-301. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s11540-012-9223-8> (accessed December 13, 2023).
- Kopal S. 1956. Odrůdy brambor podle složení. *Kvasný průmysl* 2:55-59. Available at <http://kvasnyprumysl.cz/doi/10.18832/kp1956017.html> (accessed February 23, 2024).
- Kovalenko IM, Kovalenko VM, Butenko YY, Sobran VM, Kiruchko LV, Dubovyk VI. 2021. Adaptability of *Solanum tuberosum* to changes of ecological growing condition. *Modern Phytomorphology* **15**:29-34. ISSN 2226-3063.
- Kowalska AS, Luboińska M. 2020. Organic Farming in the European Union Countries - Opportunities and Prospects. Conference: Education Excellence and Innovation Management: A 2025 Vision to Sustain Economic Development during Global Challenges. Available at https://www.researchgate.net/publication/344188455_Organic_Farming_in_the_European_Union_Countries_-_Opportunities_and_Prospects (accessed December 20, 2023).
- Kutnar F. 1963. *Malé dějiny brambor*. Východočeské nakladatelství, Havlíčkův Brod.
- Levy D, Veilleux RE. 2007. Adaptation of potato to high temperatures and salinity-a review. *American Journal of Potato Research* **84**:487-506. Available at <http://link.springer.com/10.1007/BF02987885> (accessed December 11, 2023).
- Levy D, Coleman WK, Veilleux RE. 2013. Adaptation of potato to water shortage: Irrigation management and enhancement of tolerance to drought and salinity. *American Journal of*

- Potato Research **90**:186-206. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s12230-012-9291-y> (accessed December 14, 2023).
- LI PH. 2019. Effects of Pb and Cd stress on the photosynthetic physiological characters of potato in heavy metal pollution of soil. *Applied Ecology and Environmental Research* **17**. Available at http://aloki.hu/pdf/1705_1228712295.pdf (accessed December 26, 2023).
- Lipiec J, Doussan C, Nosalewicz A, Kondracka K. 2013. Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review. *International Agrophysics* **27**:463-477. Available at <http://archive.sciendo.com/INTAG/intag.2013.27.issue-4/intag-2013-0017/intag-2013-0017.pdf> (accessed December 14, 2023).
- Litschmann T, Hausvater E, Doležal P, Sedlák P. 2023. Prognóza alternariových skvrnitostí u brambor v ČR. *Agromanuál* **18**:40-42. Available at <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/choroby/prognoza-alternariovych-skvrnitosti-u-brambor-v-cr> (accessed December 20, 2023).
- Liu F, Jensen CR, Shahanzari A, Andersen MN, Jacobsen S-E. 2005. ABA regulated stomatal control and photosynthetic water use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) during progressive soil drying. *Plant Science* **168**:831-836. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168945204004674> (accessed December 11, 2023).
- Liu F, Shahnazari A, Andersen MN, Jacobsen S-E, Jensen CR. 2006. Physiological responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) to partial root-zone drying: ABA signalling, leaf gas exchange, and water use efficiency. *Journal of Experimental Botany* **57**:3727-3735. Available at <https://academic.oup.com/jxb/article-lookup/doi/10.1093/jxb/erl131> (accessed December 11, 2023).
- Mejstřík J. 1958. *Sadbové brambory*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Mittler R. 2006. Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in Plant Science* **11**:15-19. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1360138505002918> (accessed December 11, 2023).
- Monneveux P, Ramírez DA, Pino M-T. 2013. Drought tolerance in potato (*S. tuberosum* L.). *Plant Science* **205-206**:76-86. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168945213000204> (accessed December 14, 2023).
- Morris WL et al. 2014. Day length dependent restructuring of the leaf transcriptome and metabolome in potato genotypes with contrasting tuberization phenotypes **37**:1351-1363. Available at <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/pce.12238> (accessed December 14, 2023).
- MZe, 2021. *Situační a výhledová zpráva*. Ministerstvo zemědělství České republiky, Praha, ISBN 978-80-7434-655-2.
- Neuerburg W, Padel S. 1994. *Ekologické zemědělství v praxi*. Agrospoj, Praha.

- Obidiegwu JE. 2015. Coping with drought: stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement. *Frontiers in Plant Science* **6**. Available at <http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fpls.2015.00542/abstract> (accessed December 20, 2023).
- Orsák M, Hamouz K, Lachman J, Kasal P. 2019. Chlorogenic acid content in potato tubers with colored flesh as affected by a genotype, location and long-term storage. *Plant, Soil and Environment* **65**:355-360. Available at <http://pse.agriculturejournals.cz/doi/10.17221/195/2019-PSE.html> (accessed December 28, 2023).
- Passos S, Rech C, Kawakami J, Nazareno NRX, Barbosa MR, Nardi C. 2022. Performance of potato cultivars grown in the organic production system. *Horticultura Brasileira* **40**:268-274.
- Pazderů K, Hamouz K. 2017. Yield and resistance of potato cultivars with colour flesh to potato late blight. *Plant, Soil and Environment* **63**:328-333. Available at <http://pse.agriculturejournals.cz/doi/10.17221/371/2017-PSE.html> (accessed December 28, 2023).
- Poštić D, Stanisavljević R, Štrbanović R, Djukanović L, Starović M, Aleksić G, Veljko G. 2017. Response different of potato cultivars to a severe hot and drought. 20th Triennial Conference of EAPR 2017. Available at doi:10.13140/RG.2.2.30306.43205 (accessed December 20, 2023).
- Procházka S. 1998. *Fyziologie rostlin*. Academia, Praha, ISBN 80-200-0586-2.
- Puértolas J, Conesa MR, Ballester C, Dodd IC. 2015. Local root abscisic acid (ABA) accumulation depends on the spatial distribution of soil moisture in potato: implications for ABA signalling under heterogeneous soil drying. *Journal of Experimental Botany* **66**:2325-2334. Available at <https://academic.oup.com/jxb/article-lookup/doi/10.1093/jxb/eru501> (accessed December 21, 2023).
- Reyes LF, Cisneros-Zevallos L. 2003. Wounding stress increases the phenolic content and antioxidant capacity of purple-flesh potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **51**:5296-5300. Available at <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf034213u> (accessed April 8, 2024).
- Saidi Y, Finka A, Goloubinoff P. 2011. Heat perception and signalling in plants: a tortuous path to thermotolerance. *New Phytologist* **190**:556-565. Available at <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.2010.03571.x> (accessed December 19, 2023).
- Salaš P. (ed). 2011. Rostliny v podmínkách měnícího se klimatu. Úroda, vědecká příloha. 726-735. ISSN 0139-6013.
- SCI.MUNIA. Rok neznámý. Reakce fotosyntézy rostlin na světlo: Měření světelné křivky fotosyntézy. Masarykova univerzita, Brno. Available at https://www.sci.muni.cz/~fyzrost/gazometrie_new.pdf (accessed March 23, 2024).

- SCI.MUNIb. Rok neznámý. Fluorescence chlorofylu jako indikátor stresu. Masarykova univerzita, Brno. Available at <https://www.sci.muni.cz/~fyzrost/fluorometrie.pdf> (accessed March 23, 2024).
- Shahnazari A, Ahmadi SH, Laerke PE, Liu F, Plauborg F, Jacobsen S-E, Jensen CR, Andersen MN. 2008. Nitrogen dynamics in the soil-plant system under deficit and partial root-zone drying irrigation strategies in potatoes. *European Journal of Agronomy* **28**:65-73. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1161030107000615> (accessed December 11, 2023).
- Schafleitner R. 2009. Growing more potatoes with less water. *Tropical Plant Biology* **2**:111-121. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s12042-009-9033-6> (accessed December 13, 2023).
- Seppänen M, Turakainen M, Hartikainen H. 2003. Selenium effects on oxidative stress in potato. *Plant Science* **165**:311-319. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168945203000852> (accessed December 11, 2023).
- Sun Y, Yan F, Cui X, Liu F. 2014. Plasticity in stomatal size and density of potato leaves under different irrigation and phosphorus regimes. *Journal of Plant Physiology* **171**:1248-1255. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0176161714001448> (accessed December 14, 2023).
- Šimon J. 1958. Pěstování rostlin, díl 2. Brambory. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- The European cultivated potato database. 2010. Norma (1940). SASA. Available at <https://www.europotato.org/about> (accessed March 23, 2024).
- Vašků Z. 1996. Deštivé roky 1770-1772. *Vesmír: přírodovědecký časopis Akademie věd České republiky*, Praha, ISBN 0042-4544.
- Vejchar D, Stehlik M, Mayer V. 2017. Influence of tied ridging technology on the rate of surface runoff and erosion in potato cultivation. *Agronomy Research* **15**:2207-2216. Available at <https://dspace.emu.ee/xmlui/handle/10492/3396> (accessed December 19, 2023).
- Venclová B. 2009. Plíseň letos zaútočila v plné síle. *Úroda*. Available at <https://uroda.cz/plisen-letos-zautocila-v-plne-sile/> (accessed March 23, 2024).
- Vokál B. 2013. Brambory: šlechtění, pěstování, užití, ekonomika. Profi Press, Praha, ISBN 978-80-86726-54-0.
- Vollenweider P, Günthardt-Goerg MS. 2005. Diagnosis of abiotic and biotic stress factors using the visible symptoms in foliage. *Environmental Pollution* **137**:455-465. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0269749105001193> (accessed December 11, 2023).
- Vrzalová J. 2009. Poznatky ve dvou stech příspěvků. *Zemědělec*. Available at <https://uroda.cz/poznatky-ve-dvou-stech-prispevku/> (accessed March 23, 2024).

- Výzkumná stanice Uhříněves. 2021. Available at <https://www.af.czu.cz/cs/r-6779-katedry-a-soucasti/r-8736-ostatni-pracoviste/r-8761-vyzkumna-stanice-uhrineves> (accessed February 28, 2024).
- Wang Y, Frei M. 2011. Stressed food – The impact of abiotic environmental stresses on crop quality **141**:271-286. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167880911001010> (accessed December 13, 2023).
- Watkinson JI, Hendricks L, Sioson AA, Vasquez-Robinet C, Stromberg V, Heath LS, Schuler M, Bohnert HJ, Bonierbale M, Grene R. 2006. Accessions of *Solanum tuberosum* ssp. andigena show differences in photosynthetic recovery after drought stress as reflected in gene expression profiles. *Plant Science* **171**:745-758. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168945206002093> (accessed December 11, 2023).
- Wishart J, George TS, Brown LK, Ramsay G, Bradshaw JE, White PJ, Gregory PJ. 2013. Measuring variation in potato roots in both field and glasshouse: the search for useful yield predictors and a simple screen for root traits. *Plant and Soil* **368**:231-249. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s11104-012-1483-1> (accessed December 13, 2023).
- Wishart J, George TS, Brown LK, White PJ, Ramsay G, Jones H, Gregory PJ. 2014. Field phenotyping of potato to assess root and shoot characteristics associated with drought tolerance. *Plant and Soil* **378**:351-363. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s11104-014-2029-5> (accessed December 14, 2023).
- Yactayo W, Ramírez DA, Gutiérrez R, Mares V, Posadas A, Quiroz R. 2013. Effect of partial root-zone drying irrigation timing on potato tuber yield and water use efficiency. *Agricultural Water Management* **123**:65-70. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S037837741300070X> (accessed December 14, 2023).
- Zinta R et al. 2022. Root system architecture for abiotic stress tolerance in potato: Lessons from plants. *Frontiers in Plant Science* **13**. Available at <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2022.926214/full> (accessed December 26, 2023).