



**Univerzita Karlova**

**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Chemie

Studijní obor: Učitelství chemie pro střední školy - Učitelství biologie pro střední školy



**Mgr. Petr Čečetka**

**Reakce linií a kříženců kukuřice na hypoxický stres v závislosti na vývoji rostlin**

Response of maize lines and hybrids to hypoxia stress depending on plant development

Diplomová práce

Školitel: RNDr. Marie Kočová, CSc.

Konzultant: doc. RNDr. Dana Holá, Ph.D.

Praha, 2020

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze 6.1.2020

Podpis

*Rád bych touto cestou poděkoval především RNDr. Marii Kočové CSc. za odborné vedení a konzultace, dobré rady a cenné informace, které mi poskytla při zpracování diplomové práce, dále za její výborný nadhled, optimismus a velkou podporu. Zároveň děkuji všem členům Laboratoře Genetiky rostlin za spolupráci a RNDr. Františku Hniličkovi, CSc. za zapůjčení přístroje, bez kterého by nebylo možné tuto diplomovou práci zpracovat. Závěrem bych rád poděkoval své rodině za její podporu a trpělivost v průběhu mého studia.*

## **Abstrakt**

Hypoxie způsobená zaplavením patří mezi významné abiotické stresové faktory, které ovlivňují vývoj rostlin. Zejména v důsledku probíhajících změn klimatu dochází k změnám distribuce srážek, které způsobují nadměrný výskyt sucha následovaný přívalovými dešti a tedy zaplavením. Významnou roli v trvání sucha nebo zaplavení hrají rovněž nevhodné agronomické postupy, špatná volba a střídání pěstovaných plodin. Těmto podmínkám se rostliny musí umět přizpůsobit, nebo se pro zemědělskou produkci musí zvolit vhodné genotypy, které jsou k těmto podmínkám tolerantní. Cílem mé diplomové práce bylo porovnání reakce 4 genotypů (2023, CE704, 2023xCE704 a CE704x2023) kukuřice seté (*Zea mays* L.) pěstovaných v podmínkách zaplavení, kterému byly vystaveny v různých fázích ontogenického vývoje ve srovnání s rostlinami pěstovanými v optimálních podmínkách zásobení vodou. Byly měřeny různé parametry charakterizující celkový stav a významné funkce rostlin (morfologické parametry, parametry vodního provozu rostlin, fotosyntetické parametry a parametry poškození buněk). U rostlin vystavených zaplavení se výrazně lišila reakce mladších a starších rostlin. U mladších rostlin docházelo vlivem zaplavení k nárůstu hodnot rychlosti transpirace, stomatální vodivosti, rychlosti čisté fotosyntézy. U zbylých parametrů vedlo zaplavení k poklesu hodnot (obsah  $H_2O_2$ , obsah MDA, obsah fotosyntetických pigmentů, fluorescence chlorofylu *a*). U starších rostlin zaplavení způsobilo u většiny sledovaných parametrů pokles hodnot s výjimkou parametrů charakterizujících poškození buněk (obsah  $H_2O_2$ , obsah MDA, aktivita katalázy a index poškození membrán). V reakci rostlin se též projevila vnitrodruhová variabilita, která závisela na fázi ontogenetického vývoje sledovaných rostlin i na podmínkách pěstování a lišila se v závislosti na sledovaném parametru.

**Klíčová slova:** zaplavení, stres, kukuřice, parametry výměny plynů, buněčné poškození, fotosyntéza, morfologie a vývoj rostlin

## **Abstract**

Flooding-induced hypoxia is one of the significant abiotic stress factors that influence the development of plants. The ongoing climate change leads to changes in the distribution of precipitation, causing excessive droughts followed by torrential rains and, consequently, flooding. Inappropriate agronomic practices and the choice and rotation of the cultivated crops also greatly influence the duration of the drought or flooding. The plants must either be able to adapt to these conditions, or the agricultural production must only select suitable genotypes that are tolerant of these conditions. The aim of this thesis was the comparison of the reaction of 4 genotypes (2023, CE704, 2023xCE704 and CE704x2023) of maize (*Zea mays* L.) grown in flood conditions to which they were exposed at different stages of their ontogenic development, as compared to plants grown under optimal water supply conditions. Various parameters showing the general condition and significant functions of the plants (morphological parameters, plant-water relations parameters, photosynthetic parameters, and cell damage parameters) were measured. Among the plants exposed to flooding, the reactions differed greatly based on the age of the plants. Younger plants showed an increase in transpiration speed values, stomatal conductivity, and the rate of pure photosynthesis due to flooding. The remaining parameters decreased due to the flooding (the amount of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, MDA, photosynthetic pigment, and the fluorescence of chlorophyll *a*). In the case of older plants, the flooding caused a decrease in values of most of the monitored parameters. The only exception was found in the parameters indicating cell damage (the amount of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and MDA, catalase activity, and the index of membrane damage). Within the reactions of the plants, intraspecific variability also occurred, depending on the stage of ontogenetic development of the monitored plants and on the cultivation conditions, and varied depending on the monitored parameter.

**Key words:** flooding, stress, maize, photosynthesis, gas exchange parameters, cell damage, morphology and plant development

## Obsah

1.	Úvod.....	11
2.	Cíle a hypotézy práce.....	12
3.	Literární přehled.....	13
3.1.	Vliv zaplavení na anatomické a morfologické parametry rostlin.....	13
3.1.1.	Kořenový systém rostlin .....	13
3.1.1.1.	Změny půdního profilu .....	13
3.1.1.2.	Anatomické změny .....	14
3.1.1.3.	Morfologické změny.....	16
3.1.2.	Nadzemní část rostlin.....	20
3.1.2.1.	Anatomické změny .....	20
3.1.2.2.	Morfologické změny.....	20
3.2.	Vliv zaplavení na vývojové a výnosové charakteristiky.....	24
3.2.1.	Senescence a zpomalení růstu.....	24
3.2.2.	Vliv zaplavení na výnosové charakteristiky .....	27
3.2.3.	Zaplavení v odlišné fázi vývoje .....	27
4.	Materiál a metody .....	30
4.1.	Pokusný materiál a podmínky pěstování.....	30
4.2.	Uspořádání experimentu.....	30
4.3.	Morfologické parametry .....	35
4.4.	Vodní stav rostlin.....	36
4.4.1.	Relativní obsah vody.....	36
4.4.2.	WUE a WUEi.....	36
4.5.	Fotosyntetické parametry .....	37
4.5.1.	Rychlost čisté fotosyntézy.....	37
4.5.2.	Primární fotosyntetické procesy.....	37
4.5.3.	Fotosyntetické pigmenty .....	39
4.5.4.	Indexy spektrální odrazivosti .....	39
4.6.	Parametry poškození buněk.....	40
4.6.1.	Index poškození membrán .....	40
4.6.2.	Obsah malondialdehydu.....	40

4.6.3.	Obsah peroxidu vodíku .....	42
4.6.4.	Aktivita katalázy .....	42
4.7.	Statistické vyhodnocení výsledků .....	43
5.	Výsledky .....	46
5.1.	Morfologické parametry .....	46
5.2.	Parametry vodního stavu rostlin .....	49
5.2.1.	Rychlost transpirace .....	49
5.2.2.	Vodivost průduchů .....	50
5.2.3.	Efektivní využití vody .....	52
5.3.	Fotosyntetické parametry .....	53
5.3.1.	Rychlost čisté fotosyntézy .....	53
5.3.2.	Primární fotosyntetické procesy .....	55
5.3.3.	Fotosyntetické pigmenty .....	64
5.4.	Parametry poškození buněk .....	67
5.4.1.	Index poškození membrán .....	67
5.4.2.	Obsah malondialdehydu .....	69
5.4.3.	Obsah peroxidu vodíku .....	70
5.4.4.	Aktivita katalázy .....	71
5.5.	Statistické vyhodnocení výsledků .....	72
5.5.1.	Výsledky analýz rozptylů .....	72
5.5.2.	Rozdíly mezi listovými patry .....	94
5.5.3.	Výsledky korelační analýzy .....	98
6.	Diskuze .....	101
6.1.	Morfologie rostlin .....	101
6.2.	Vodní stav rostlin .....	102
6.3.	Fotosyntéza .....	103
6.4.	Buněčné poškození a aktivita katalázy .....	106
7.	Souhrn .....	108
8.	Seznam použité literatury .....	109



## Seznam zkratek

A	rychlost transpirace
ABS/RC	průměrný tok zachycených fotonů vyjádřený na jedno PSII RC (zdánlivá velikost světlosběrné antény aktivního PSII)
Chl LP	obsah celkového chlorofylu ( $\text{mg}/\text{m}^2$ )
Chl S	obsah celkového chlorofylu ( $\text{g}/\text{kg}$ sušiny)
Chl <i>a/b</i>	poměr chlorofylu <i>a/b</i>
Chl <i>a</i> LP	obsah chlorofylu <i>a</i> ( $\text{mg}/\text{m}^2$ )
Chl <i>a</i> S	obsah chlorofylu <i>a</i> ( $\text{g}/\text{kg}$ sušiny)
Chl <i>b</i> LP	obsah chlorofylu <i>b</i> ( $\text{mg}/\text{m}^2$ )
Chl <i>b</i> S	obsah chlorofylu <i>b</i> ( $\text{g}/\text{kg}$ sušiny)
Chl/Kar	poměr chlorofylu/ celkových karotenoidů
DI0/RC	tok disipované energie vyjádřený na jedno PSII RC
ET0/RC	tok přenosu elektronů z $Q_A$ na $Q_B$ vyjádřený na jedno PSII RC
F0	minimální výtěžek fluorescence
$g_s$	vodivost průduchů
$\text{H}_2\text{O}_2$	peroxid vodíku
H3L	hmotnost 3. listu čerstvá biomasa
H4L	hmotnost 4. listu čerstvá biomasa
H3LS	hmotnost 3. listu sušina
H4LS	hmotnost 4. listu sušina
IPM	index poškození membrán
Kar PL	obsah celkových karotenoidů ( $\text{mg}/\text{m}^2$ )
Kar S	obsah celkových karotenoidů ( $\text{g}/\text{kg}$ sušiny)
Kat	kataláza
MDA	malondyaldehyd
M0	přibližný počáteční sklon OJIP křivky fluorescenčního přechodového jevu
NDVI	index používaný pro stanovení obsahu chlorofylů
P3L	plocha 3. listu
P4L	plocha 4. listu
PI ABS	performanční index zachování energie fotonů zachycených světlosběrnou anténou PSII až po redukci $Q_B$
PI TOT	performanční index zachování energie fotonů zachycených světlosběrnou anténou PSII až po redukci koncových akceptorů PSI
$P_N$	čistá rychlost fotosyntézy
PRI	index používaný pro stanovení obsahu karotenoidů
PSI	fotosystém I
PSII	fotosystém II
RE0/RC	tok přenosu elektronů až na koncové akceptory PSI vyjádřený na jedno PSII RC
ROS	reaktivní kyslíkové druhy
RWC	relativní obsah vody
SpHm	specifická hmotnost listu
TBA	kyselina thiobarbiturová
TP0/RC	maximální tok zachycených excitonů vyjádřený na jedno PSII RC
VI	relativní variabilní fluorescence v bodě I
VJ	relativní variabilní fluorescence v bodě J
WUE	okamžitá efektivita využití vody
WUEi	vnitřní efektivita využití vody
$\gamma$ RC	pravděpodobnost, že PSII chlorofyl funguje jako RC
$\Delta$ RE0	účinnost /pravděpodobnost, s kterou je elektron zachycený PSII přenesen z $Q_B$ až na koncové akceptory PSI

$\Phi_{D0}$	kvantový výtěžek disipace zachycené energie
$\Phi_{E0}$	kvantový výtěžek toku přenosu elektronů z $Q_A$ na $Q_B$
$\Phi_{P0}$	maximální kvantový výtěžek fotochemické přeměny energie v PSII
$\Phi_{RE0}$	kvantový výtěžek přenosu elektronu až na koncové akceptory PSI
$\Psi_{E0}$	účinnost /pravděpodobnost, s kterou je elektron zachycený PSII přenesen z $Q_A$ na $Q_B$
$\Psi_{RE0}$	účinnost /pravděpodobnost, s kterou je elektron zachycený PSII přenesen až na koncové akceptory PSI

# 1. Úvod

Každý živý organismus se během svého života setkává s celou řadou abiotických a biotických stresových faktorů. Rostliny, ale díky přisedlému způsobu života nemají možnost stresovým faktorům uniknout. Z tohoto důvodu si musely dokázat vytvořit celou řadu mechanismů, které jim umožňují překonat vystavení stresu.

Zaplavení patří mezi nejvýznamnější stresové faktory, se kterými se rostliny během svého života setkávají. Vlivem postupujících globálních změn dochází k nerovnoměrné distribuci srážek, které vedou k vyššímu výskytu zaplavení. Zvyšující se četnost povodní negativně ovlivňuje zemědělskou produkci a lokální záplavy vlivem špatného hospodaření a volbou plodin ohrožují stále větší oblasti a spolu se suchem způsobují velké ekonomické ztráty.

Zaplavení u rostlin převážně zasahuje kořenový systém a tím ovlivňuje i nadzemní část rostlin. Vlivem nadbytku vody dochází k snížení dostupnosti kyslíku pro kořenový systém rostlin. Tuto situaci se snaží řešit různými obrannými mechanismy. Některé rostliny se snaží toto období přečkat utlumením fyziologických pochodů jiné se naopak snaží zvýšit dostupnost kyslíku např. rozvojem aerenchymu. Krom nedostatečného zásobení kyslíkem, dochází i k rozsáhlým změnám v dostupnosti živin a ve vodním prostředí se hromadí toxické metabolity, které mají negativní vliv na celou rostlinu.

Cílem této diplomové práce bylo studium vlivu zaplavení na 4 genotypy kukuřice seté (*Zea mays* L.) (2023, CE704, 2023xCE704 a CE704x2023) v různých fázích ontogenetického vývoje u listů, které zahájily vývoj v optimálních podmínkách pěstování a dokončily ho během vystavení abiotickému stresu zaplavením. Tato práce navazuje na předchozí studii naší laboratoře, která se zabývala vlivem zaplavení na list, který se od počátku vyvíjel během zaplavení (Čečetka 2018). Tato práce by měla přispět a rozšířit znalosti týkající se abiotického stresu způsobeného zaplavením u listů v odlišné fázi svého vývoje.

## 2. Cíle a hypotézy práce

### Cíle práce

- Zjistit, jak se liší odpověď jednotlivých genotypů na stres způsobený zaplavením různě starých rostlin u listů, které zahájily vývoj v optimálních podmínkách a dokončily během vystavení stresu.
- U rostlin vystavených stresu zaplavením zjistit, zda a jak se liší odpověď listů, které zahájily vývoj během stresu zaplavením oproti listům, které zahájily vývoj za optimálních podmínek pěstování a dokončily ho během zaplavení.

### Hypotézy práce

- Listy, které započaly vývoj během vystavení stresu jsou odolnější k zaplavení než listy, které započaly vývoj v optimálních podmínkách pěstování a později rostly v podmínkách nadměrného zaplavení.
- Starší rostliny jsou vůči stresu zaplavením odolnější než mladší.
- Stres způsobený zaplavením výrazněji ovlivňuje reciproké křížence oproti rodičovským liniím.

### 3. Literární přehled

#### 3.1. Vliv zaplavení na anatomické a morfologické parametry rostlin

##### 3.1.1. Kořenový systém rostlin

###### 3.1.1.1. Změny půdního profilu

S postupujícími změnami klimatu dochází k rozsáhlým změnám distribuce srážek, kdy je nadměrné sucho střídáno přívalovými dešti. Spolu se špatnými agronomickými postupy a volbou nevhodných plodin ztrácí postupně i zemědělská půda schopnost zadržet větší množství vody. Zároveň je půdní zamokření běžné v oblastech s častou frekvencí srážek a napomáhají mu i těžké nepropustné jílovité zeminy a špatné odvodnění (Ghobadi *et al.* (2017)). Tyto faktory negativně ovlivňují dostupné vodní zdroje pro rostlinná společenstva a dochází k častějšímu střídání sucha následovaného zaplavením. Tyto faktory mohou výrazně ovlivnit růst rostlin a u většiny hospodářsky významných rostlin také konečný výnos. Právě s těmito podmínkami se musí umět rostliny vypořádat.

Během zaplavení zeminy v ní dochází k celé řadě změn (fyzikální, biologické a chemické), které negativně ovlivňují její vlastnosti, a tedy i podmínky, ve kterých rostliny během nadbytku vody rostou.

Ve vodním prostředí je výrazně snížena difuze plynů (až 10 000krát), což během zaplavení rostlin vede ke snížení dostupnosti kyslíku pro jejich kořenový systém. Kromě rostlin však kyslík využívají i půdní organismy, které během krátké doby vyčerpávají kyslík rozpuštěný ve vodě. Neustále se snižující hladina kyslíku vede k postupné změně pH a zároveň dochází ke změně oxidačního prostředí na redukční. Tato skutečnost vede k redukci iontů kovů a dostupných sloučenin (převážně v zemině dostupný dusík, síra, mangan a železo). Ty v důsledku změny redoxního potenciálu zeminy mění oxidační číslo, a rostliny je nedokáží v tomto stavu přijímat nebo mohou být pro rostliny toxické. Rostliny se tak často musí potýkat s nedostatkem biogenních prvků a živin (fosfor, dusík, železo a další). Jako příklad lze uvést změnu oxidačního čísla manganu a železa, kdy u manganu dochází k poklesu oxidačního čísla z +4 na +2 a u železa z +3 na +2 (Huang *et al.* 2015) a právě prvky v těchto oxidačních stavech jsou pro rostliny toxické. Zároveň zaplavení zeminy způsobuje rozpad velkých půdních částic

(Pociecha *et al.* 2008), což vede ke snížení propustnosti zeminy a dochází k jejímu ztuhnutí, které následně omezuje difuzi plynů po ukončení zaplavení.

V zemině se nachází velké množství půdních mikroorganismů, které jsou adaptované na aerobní i anaerobní prostředí. Jak už bylo výše zmíněno ve vodním prostředí je snížená difuze plynů a tyto organismy dokáží zbývající kyslík během 72 hodin vyčerpat, což vede ke změně hypoxického prostředí na anoxické. Po vyčerpání kyslíku přecházejí na anaerobní respiraci. Během této respirace však nedochází k plnému odbourání některých látek a v zaplavené zemině dochází postupně k hromadění jednotlivých produktů anaerobního metabolismu (methan, amoniak, sirovodík, organické kyseliny s krátkým uhlovodíkovým řetězcem a další jednoduché organické sloučeniny), které jsou ve vyšších koncentracích pro rostliny toxické. Zároveň půdní mikroorganismy vyčerpávají zbylé dostupné minerální látky (živiny). Jako příklad lze uvést (pokles)  $(\text{NO}_3)^-$ , které mikroorganismy metabolizují na dusík, po vyčerpání kyslíku (Phillips and Grennway 1998). Koncentrace dostupného dusíku je navíc snížena redukcí dusičnanů na  $(\text{NH}_4)^+$  (Unger *et al.* 2016), který je pro rostliny taktéž toxický.

Rychlost, s jakou dochází ke změnám dostupnosti dusíku v zemině závisí na charakteru zaplavení. Unger *et al.* (2016) sledovali ve své práci dva odlišné způsoby zaplavení. V prvním případě se jednalo o zaplavení způsobené trvale stojatou vodou a ve druhém případě bylo nadměrné zaplavení způsobeno mírně tekoucí vodou. Ve stojaté vodě sledovali rychlejší pokles kyslíku a rozsáhlejší ztráty dusičnanů  $(\text{NO}_3)^-$  v zemině oproti zaplavení způsobenému tekoucí vodou.

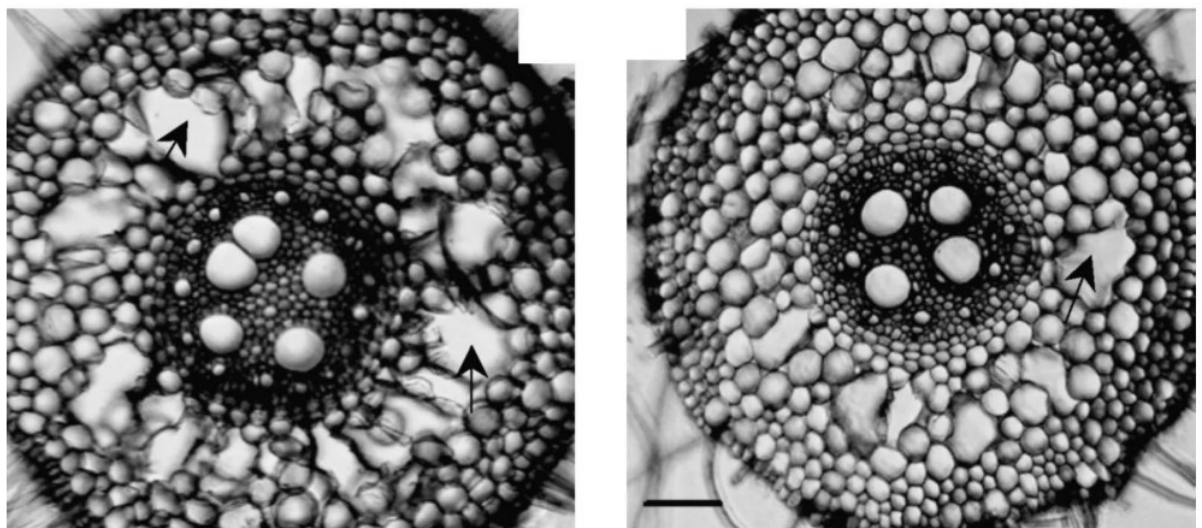
### **3.1.1.2. Anatomické změny**

Jak už bylo zmíněno v předchozí kapitole, zaplavení vede ke snížení dostupnosti kyslíku pro kořenový systém rostlin, a proto je tato část rostlin zaplavením nejvíce ovlivněna. Rostliny si vyvinuly několik odlišných mechanismů, jak zásobit zaplavené části kyslíkem. Zároveň se tyto mechanismy liší i v různých biotopech.

Nejčastější odpovědí rostlin na nedostatečné zásobení kyslíku kořeny je rozvoj pletiv, která umožňují jeho transport. Mezi tato pletiva patří aerenchym, který transportuje kyslík z nadzemních částí rostlin. Během zaplavení mohou vznikat dva odlišné typy aerenchymu, a to kortikální a sekundární. Kortikální aerenchym se formuje nejčastěji programovou buněčnou

smrti nebo diferenciací a expanzí buněk. Sekundární aerenchym vzniká postupným dělením buněk, které je indukované hypoxií a dochází ke vzniku houbovitého parenchymu (Thomas *et al.* 2005). V důsledku programované buněčné smrti při formování aerenchymu dochází ke zmenšení počtu buněk, které spotřebovávají kyslík. Tyto usmrcené buňky jsou zdrojem energie, které je vlivem zaplavení nedostatek. Zároveň rostliny omezují radiální ztráty kyslíku transportovaného z nadzemní části rostliny vytvořením postranní difuzní bariéry (Sauter 2013).

Pang *et al.* (2004) pozorovali na kořenech *Hordeum vulgare* L. hroucení kortikálních buněk a tvorbu aerenchymu 0,5 cm za kořenovou špičkou po celé délce kořene (obr. 1). S postupující vzdáleností od kořenové špičky dochází k narůstání množství formovaného aerenchymu. Míra vzniku aerenchymu se lišila v závislosti na studovaném genotypu. Výrazná tvorba aerenchymu v zaplavených kořenech, ale také v adventivních kořenech, které se nově formovaly na rozhraní kořene a nadzemní části bylo pozorováno po 15 dnech zaplavení u *Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. and Nakai (Yetisir *et al.* 2006). K největšímu rozvoji aerenchymu docházelo právě u nově rostoucích adventivních kořenů. Vznik aerenchymu byl pozorován dále např. u *Glycine max* (Thomas *et al.* 2005, Shimamura *et al.* 2010), *Triticum aestivum* (Hague *et al.* 2012). U sóji byl zjištěn aerenchym v nově formovaných kořenech, ale i v hlízkách. Kromě detekce aerenchymu Thomas *et al.* (2005) pozorovali rozdíly v jeho tvorbě. Nejdříve docházelo k tvorbě kortikálního aerenchymu a s postupujícím zaplavením ho postupně nahrazoval sekundární aerenchym.



**Obr. 1:** Příčný řez adventivními kořeny (4,5 cm od kořenové špičky) *Hordeum vulgare* L. vystavenými zaplavení ukazující formování aerenchymu (šipka). (Převzato a upraveno z Pang *et al.* 2004)

Během vzniku aerenchymu byly zjištěny výrazné rozdíly mezi odolnými a citlivými genotypy, kdy u odolných genotypů dochází k jeho formování ve větší míře oproti citlivým (Sauter 2013).

Formování aerenchymu bylo pozorováno i u rostlin, které se během svého života pravidelně setkávají se zaplavením, ale u různých druhů se lišila míra jeho formování. Jako příklad lze uvést práci de Souza *et al.* (2013), kde u *Garcinia brasiliensis* docházelo jenom k jeho mírnému formování, ale zároveň stres způsobený zaplavením vedl k zvětšení šířky exodermis u stresovaných rostlin až o 23%, což působí jako radiální bariéra a zabraňuje ztrátám kyslíku. U této rostliny zaplavení také ovlivnilo cévní svazky rostlin, kdy v kořenovém systému docházelo k nárůstu xylémových cév.

### **3.1.1.3. Morfologické změny**

#### **3.1.1.3.1. Odpověď pravidelně zaplavovaných rostlin**

Odpověď rostlin na zaplavení se liší podle biotopu, kde rostou a s tím souvisí i odlišné morfologické změny v kořenovém systému.

Rostliny, které se během svého života setkávají pravidelně se zaplavením, např. mokřadní rostliny či rostliny rostoucí v oblastech, kde dochází k periodickému výskytu zaplavení mají mechanismy a adaptace, které jim umožňují se s těmito podmínkami částečně vyrovnat. Některé rostlinné druhy přečkají zaplavení v klidovém stádiu, jiné se mu dokáží přizpůsobit. Rubio *et al.* (1997) studovali změny během zaplavení u *P. dilatatum*. U této rostliny, která se pravidelně setkává se zaplavením, docházelo k omezení tvorby nových kořenů, avšak díky jemnějším kořenům nedošlo k omezení vstřebávání fosforu, který patří u rostlin k biogenním prvkům. I přes vytváření náhodných a postranních kořenů je kořenový systém zaplavením významně ovlivněn oproti nadzemní části, což vede ke snížení poměru kořeny/nadzemní část. Tato adaptace sice vede ke změnám minerální výživy, ale z důvodu změněného příjmu na jednotku kořenové biomasy dochází k udržení koncentrace živin prostřednictvím zvýšené absorpce na jednotku kořenové biomasy (Rubio *et al.* 1997). Podobné snížení poměru kořeny/nadzemní část popsali Mielke *et al.* 2003 u *Genipa americana* L., Chen *et al.* (2010) u *Typha domingensis*, Liu *et al.* (2015) u *Distilium chinense*, Yu *et al.* (2015) u *Populus euphratica*, které se podobně jako *P. dilatatum* během svého života pravidelně setkávají se zaplavením. U *Quercus castaneifolia*, který je vysazován při revitalizaci mokřadních oblastí



v severním Íránu, studovali Parad *et al.* (2016) opačný poměr (nadzemní část/kořeny) a zjistili nárůst hodnot, což odpovídá zasažení kořenového systému jako u výše popsaných druhů. U *Garcinia brasiliensis* (de Souza *et al.* 2013) nebyl zjištěn žádný rozdíl v poměru kořeny/nadzemní část mezi stresovanými a kontrolními rostlinami. Podobně jako u rostlin, které se běžně nesetkávají se zaplavením dochází i u rostlin, které jsou pravidelně tomuto stresovému faktoru vytaveny k výraznějšímu rozvoji adventivních kořenů (obr. 2) to popsali i Parad *et al.* (2016) u *Quercus castaneifolia*. V těchto případech byly však zjištěny výrazné rozdíly, kdy dochází k formování adventivních kořenů. U *Melaleuca alternifolia* (Jing *et al.* 2009) bylo pozorováno jejich výraznější formování zhruba po třech měsících podmáčení. Zároveň bylo sledováno i zmenšení celkové délky kořenů např. u *Garcinia brasiliensis* (de Souza *et al.* 2013), *Populus euphratica* (Yu *et al.* 2015), *Quercus castaneifolia* (Parad *et al.* 2016) a jejich hmotnosti např. u *Typha domingensis* (Chen *et al.* 2010), *Garcinia brasiliensis* (de Souza *et al.* 2013). Bylo zjištěno i zmenšení povrchové plochy kořenů, celkového objemu kořenového systému a počtu kořenových špiček (de Souza *et al.* 2013). Chen *et al.* (2010) pozorovali, že se vzrůstající hloubkou zaplavení dochází k většímu úbytku hmotnosti podzemní části rostliny.



**Obr 2:** Rozvoj postranních kořenů u *Quercus castaneifolia* po zaplavení (Převzato a upraveno: Parad *et al.* 2016)

### 3.1.1.3.2. Odpověď hospodářsky významných rostlin

U hospodářských plodin, které se běžně se zaplavením nesetkávají, způsobuje nadbytek vody zmenšení čerstvé i suché hmotnosti kořenů (Bennicelli *et al.* 1998, Yong-zhong *et al.* 2010, u *Zea mays* L., Horchani *et al.* 2008 u *Solanum lycopersicum* Balakhnina *et al.* 2010 u *Vicia faba major*, Palta *et al.* 2010 u *Cicer arietinum* L., Celik *et al.* 2011 u *Phaseolus vulgaris* L., Simova-Stoilova *et al.* 2012 u *Trifolium repens* L. cv Rivendel a *Trifolium pratense* L. cv Raya, Kumar *et al.* 2013 u *Vigna radiata* L. Wilczek, Hague *et al.* 2012, Tiryakioglu *et al.* 2015, Ghobadi *et al.* 2017 u *Triticum aestivum* L. Toto zmenšení může být způsobeno omezením formování nových kořenů nebo odumíráním těch stávajících. Ismal *et al.* (1995) popsali u *Averrhoa carambola* L. jednak formování nových kořenů, ale také postupné odumírání vyvinutých funkčních i nově formovaných kořenů, které začalo od 15 dne zaplavení. Podobně jako u mokřadních, tak i hospodářsky významných rostlin dochází během zaplavení k tvorbě postranních kořenů, které se nachází těsně pod povrchem a nad povrchem zeminy. Tyto adventivní kořeny jsou výsledkem snahy rostlin zvýšit dostupnost kyslíku pro kořenový systém. Rozvoj právě těchto kořenů je proto častou odpovědí rostlin na zaplavení a byl sledován např. u *Brassica napus* L. (Zhou *et al.* 1995), *Genipa americana* L. (Mielke *et al.* 2003), *Glycine max* (Thomas *et al.* 2005), *Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. and Nakai (Yetisir *et al.* 2006), *Solanum lycopersicum* (Horchani *et al.* 2008, Enzin *et al.* 2010), *Trifolium repens* L. cv Rivendel, *Trifolium pratense* L. cv Raya (Simova-Stoilova *et al.* 2012), *Triticum aestivum* L. (Ghobadi *et al.* 2017). Nejčastěji dochází k formování těchto kořenů na rozhraní nadzemní části a kořenového systému. Zároveň tyto kořeny velmi často nemají tendenci prorůst do hloubky, ale naopak se drží mělce v zemině nebo i v některých případech rostou právě na rozhraní podmáčeného substrátu a volné atmosféry, což umožňuje v podmínkách zaplavení lepší dostupnost kyslíku pro kořenový systém. U adventivních kořenů, které prorůstají hlouběji do substrátu, dochází naopak v důsledku zaplavení k jejich úbytku (např. Promkhambut *et al.* 2010 u *Sorghum bicolor* L.). Zaplavení ovlivňuje kromě zmenšení hmotnosti kořenů i celkovou délku kořenového systému. Ve většině případů se jedná o výrazné snížení celkové délky kořenů (obr. 3), které bylo pozorováno např. u *Sorghum bicolor* L. (Promkhambut *et al.* 2010), *Cicer arietinum* L. (Palta *et al.* 2010), *Trifolium repens* L. cv Rivendel, *Trifolium pratense* L. cv Raya (Simova-Stoilova *et al.* 2012), *Vigna radiata* L. Wilczek (Kumar *et al.* 2013), *Jatropha curcas* (Verma *et al.* 2014), *Populus euphratica* (Yu *et al.* 2015), *Triticum aestivum* (Hague *et al.* 2012, Ghobadi *et al.* 2017), Zou *et al.* (2014) u *Brassica napus* L.



**Obr. 3:** Kořenový systém kukuřice (*Zea mays* L.) pěstované v optimálních podmínkách zásobování vodou (K) a vystavené 14 dní nadměrnému zaplavení (KS). (Čečetka 2019 nepublikováno)

Zároveň byla pozorována odlišná reakce ve formování adventivních kořenů v důsledku stresu zaplavením u citlivých a odolných genotypů. Kumar *et al.* (2013) zjistili, že u odolných genotypů *Vigna radiata* L. Wilczek dochází k tvorbě horizontálních adventivních kořenů na rozhraní kořenů a nadzemní části rostliny a většímu počtu kořenových uzlů oproti citlivým genotypům.

Přežívání rostlin během zaplavení závisí i na době, po kterou jsou rostliny tomuto stresovému faktoru vystaveny. Horchani *et al.* (2008) u *Solanum lycopersicum* pozorovali výraznější ovlivnění kořenového systému rostlin vystavených 14 dnů zaplavení ve srovnání s rostlinami, které byly zaplaveny pouze 7 dnů. Kratší perioda vedla pouze k mírné změně kořenového systému ve srovnání s kontrolními rostlinami.

Podobně jako u rostlin, které se pravidelně setkávají se zaplavením, tak i u hospodářsky významných druhů dochází k ovlivnění poměru kořeny/nadzemní část nebo nadzemní část/kořeny. V případě poměru kořeny/nadzemní část vede zaplavení k jeho výraznému snížení,

které popsali např. Araki *et al.* (2012), Ghobadi *et al.* (2017) u *Triticum aestivum*. Zároveň s narůstající délkou zaplavení se tento poměr dále snižuje (Araki *et al.* 2012).

### **3.1.2. Nadzemní část rostlin**

#### **3.1.2.1. Anatomické změny**

I přesto, že zaplavení ovlivňuje zejména kořenový systém rostlin, má vliv i na nadzemní části rostlin. Díky nedostatečnému zásobení kořenů kyslíkem dochází k postupné ztrátě hydraulické vodivosti xylému a nadzemní část rostlin se v důsledku toho potýká s nedostatkem vody.

V dostupné literatuře jsou však studovány anatomické změny nadzemní části rostlin během zaplavení kořenového systému spíše výjimečně. Islam *et al.* (2008) pozorovali během zaplavení kořenového systému poškození mezofylových buněk listů u *Vigna radiata* L. Wilczek, které se však po ukončení zaplavení u odolných genotypů plně regenerovalo. Naproti tomu u citlivého genotypu byla sledována pouze částečná regenerace.

#### **3.1.2.2. Morfologické změny**

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1.2.1. během zaplavení dochází ke ztrátě hydraulické vodivosti xylému a nadzemní část rostliny se musí vyrovnat s nedostatečným zásobením vodou a nedostatečným zásobením živinami.

Na nedostatek vody v nadzemních částech rostlin v důsledku zaplavení, se rostliny snaží reagovat omezením jejich ztráty podobně, jako rostliny vystavené stresu suchem různými adaptacemi. Některé rostliny zavírají průduchy, ale nejčastější změnou je zmenšení listové plochy (Bacanamwo a Purcell 1999), kterým se rostliny snaží zamezit ztrátám vody. Záleží však na tom, ve které fázi vývoje byly rostliny vystaveny zaplavení a jak dlouho zaplavení trvalo. Listy, které započaly svůj vývoj před stresovou periodou, nedokáží včas reagovat na nastalé změny a nedochází u nich k ovlivnění morfologických parametrů.

### 3.1.2.2.1. Odpověď hospodářsky významných rostlin

Krom ovlivnění listové plochy, u které bylo v důsledku zaplavení pozorováno její zmenšení (Ismail *et al.* 1995, Zhou *et al.* 1995, Mielke *et al.* 2003, Horchani *et al.* 2008, Pocięcha *et al.* 2008, Palta *et al.* 2010, Promkhambut *et al.* 2010, Celik *et al.* 2011, de Souza *et al.* 2013, Kumar *et al.* 2013, Verma *et al.* 2014, Parad *et al.* 2016, Ghobadi *et al.* 2017), má zaplavení vliv i na další morfologické parametry (obr. 4). Podobně jako v případě listové plochy dochází k poklesu čerstvé i suché hmotnosti listu (Tiryakioglu *et al.* 2015), který je způsobený jeho menší velikostí. Zároveň se zpomalením rychlosti růstu dochází i k poklesu hmotnosti stonku (např. Ismail *et al.* 1995, Pang *et al.* 2004), celkové výšky rostliny (Mielke *et al.* 2003, Islam *et al.* 2008, Promkhambut *et al.* 2010, Kumar *et al.* 2013, Verma *et al.* 2014, Zhou *et al.* 2014, Yu *et al.* 2015, Parad *et al.* 2016, Ghobadi *et al.* 2017) a suché i čerstvé hmotnosti celé nadzemní části (Bennicelli *et al.* 1998, Yetisir *et al.* 2006, Horchani *et al.* 2008, Pocięcha *et al.* 2008, Palta *et al.* 2010, Yong-zhong *et al.* 2010, Kumar *et al.* 2013, Zou *et al.* 2013, Tiryakioglu *et al.* 2015, Ghobadi *et al.* 2017). Podobně jako jsou zaplavením ovlivněny vegetativní rostlinné orgány, dochází též k významnému ovlivnění vývoje generativních orgánů. Míra ovlivnění závisí na délce trvání zaplavení. K ovlivnění vývoje generativních orgánů dochází i v případě návratu do optimálních podmínek zásobení vodou a projevuje se po vystavení rostlin stresu zaplavením v kterékoliv fázi jejich vývoje. U *Brassica napus* L. (Zhou *et al.* 1995) mělo zaplavení nejvyšší vliv na následný vývoj generativních orgánů rostlin, které byly vystaveny stresu ve fázi sazenic nebo nasazování květů. Zaplavení vedlo ke snížení počtu lusků a snížení počtu semen v jednotlivých luskách. Zároveň však nedošlo k ovlivnění hmotnosti jednotlivých semen.

Odolné genotypy jsou zaplavením ovlivněny méně než citlivé. Např. Panda *et al.* (2008) u *Oryza sativa* L. zjistili u citlivého genotypu vyšší senescenci listů a vyšší pokles hmotnosti celkové biomasy oproti odolnému genotypu. Podobné výsledky publikovali u *Vigna radiata* L. Wilczek (Islam *et al.* 2008, Kumar *et al.* 2013), u *Trifolium repens* L. cv Rivendel, *Trifolium pratense* L. cv Raya (Simova-Stoilova *et al.* 2012). Islam *et al.* (2008) sledovali změnu výšky rostlin u odolných a citlivých genotypů *Vigna radiata* L. Wilczek. Po vystavení rostlin stresu zaplavením ve vegetativní fázi vývoje sledovali výraznější nárůst výšky rostlin u odolného genotypu oproti citlivému. Rozdíly mezi genotypy byly sledovány i u *Lycopersicon esculentum* Mill (Ezin *et al.* 2010), kde u odolného genotypu docházelo během zaplavení k zvýšení délky rostliny naopak u citlivého genotypu byl pozorován pokles, který je pro zaplavení charakteristický.





**Obr.4:** Redukce listové plochy a nadzemní části rostliny u jetele po 21 dnech zaplavení (vlevo rostliny vystavené stresu, vpravo pěstované v optimálních podmínkách) (Převzato a upraveno z Simova-Stoilova *et al.* 2012)

Odlišná schopnost vyrovnání se se stresem způsobeným hypoxií může být ovlivněna, v případě roubovaných rostlin, použitím roubov citlivých genotypů s výhodnými znaky na podnože, které by sice nevykazovaly (v případě celé rostliny) takové vlastnosti, ale jsou odolné vůči zaplavení. To zjistili např. u *Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. and Nakai Yetisir *et al.* (2006) a publikovali, že takto roubované rostliny vykazovaly menší ovlivnění zaplavením oproti neroubovaným a díky tomu měly daleko vyšší výnos.

Jak už bylo výše zmíněno reakci rostlin na zaplavení ovlivňuje i jeho délka. Např. Horchani *et al.* (2008) u *Solanum lycopersicum* zjistili, že na rostliny rajčete nemá 7denní zaplavení téměř žádný vliv, ale výrazné ovlivnění rostlin pozorovali během 14denního zaplavení.

#### **3.1.2.2.2. Odpověď pravidelně zaplavovaných rostlin**

Podobně jako u morfologických změn kořene se i v případě změn nadzemní části rostlin liší odpověď i v závislosti na biotopu ve kterém rostliny rostou. U rostlin, které rostou v oblastech se zvýšenou frekvencí záplav nebo v mokřadech dochází k výrazně nižším poklesům hodnot jednotlivých morfologických parametrů a zároveň celkově k menšímu ovlivnění rostlin. Tyto rostliny se dokáží se zaplavením podstatně lépe vypořádávat než rostliny z jiných biotopů. U *Genipa americana* L. (Mielke *et al.* 2003), *Melaleuca alternifolia* (Jing *et*

al. 2009), *Garcinia brasiliensis* (de Souza *et al.* 2013) *Populus euphratica* (Yu *et al.* 2015), *Quercus castaneifolia* (Parad *et al.* 2016) pěstovaných v mokřadních oblastech a oblastech s častou frekvencí záplav byl sledován např. rozvoj hypertrofovaných lenticel (obr. 5), které jsou spojeny s mezibuněčnými vzdušnými prostory, což umožňuje lepší přísun kyslíku k zatopeným kořenům (Topa and McLeod 1986).

Rozvoj hypertrofovaných lenticel byl pozorován i u některých hospodářských rostlin vystavených zaplavení (Shimamura *et al.* 2010 u *Glycine max*).



**Obr. 5:** Hypertrofované lenticely u *Quercus castaneifolia* vystavené zaplavení (Převzato a upraveno: Parad *et al.* 2016)

Na základě výše uvedeného lze shrnout, že kořenový systém je nejvíce ovlivněná část rostlin během vystavení zaplavení a dochází k výrazně většímu úbytku hmotnosti oproti nadzemní části rostlin (Ghobadi *et al.* 2017).

## 3.2. Vliv zaplavení na vývojové a výnosové charakteristiky

Rostliny se během nadměrného zaplavení dostávají kromě nedostatečného zásobení prýtlů vodou, na které musí nadzemní část rostlin reagovat, do energetické krize. Tato krize je částečně způsobena nedostatkem nebo vyčerpáním kyslíku v kořenovém systému rostlin. Tuto situaci rostliny řeší přechodem na anaerobní respiraci. Během anaerobní respirace však dochází k poklesu tvorby ATP a dochází zároveň k akumulaci NADH. Rostliny proto mobilizují zásobní sacharidy, které jsou metabolizovány během anaerobní glykolýzy a následného mléčného nebo alkoholového kvašení. Nedostatek ATP v kořenovém systému vede k energetické a zároveň uhlohydrátové krizi, která je způsobena sníženou schopností doplňovat takto vyčerpané zásoby z důvodů inhibice jejich syntézy (Colmer *et al.* 2009). Nedostatek energie má negativní vliv na příjem minerálních látek a dochází k narušení transportu iontů, a zásobování živinami nejen kořene, ale celé nadzemní části rostliny (Sauter 2013), což se projeví omezením růstu. Změny energetického metabolismu se negativně projeví v různých fyziologických pochodech (výživa, vodní provoz, obsah fotosyntetických pigmentů, aktivita fotosyntetických enzymů a elektron-transportního řetězce i výměna plynů (Jing *et al.* 2009). To spolu s nedostatečným zásobením vodou a sníženou dostupností minerálních látek negativně ovlivňuje vývoj rostlin.

### 3.2.1 Senescence a zpomalení růstu

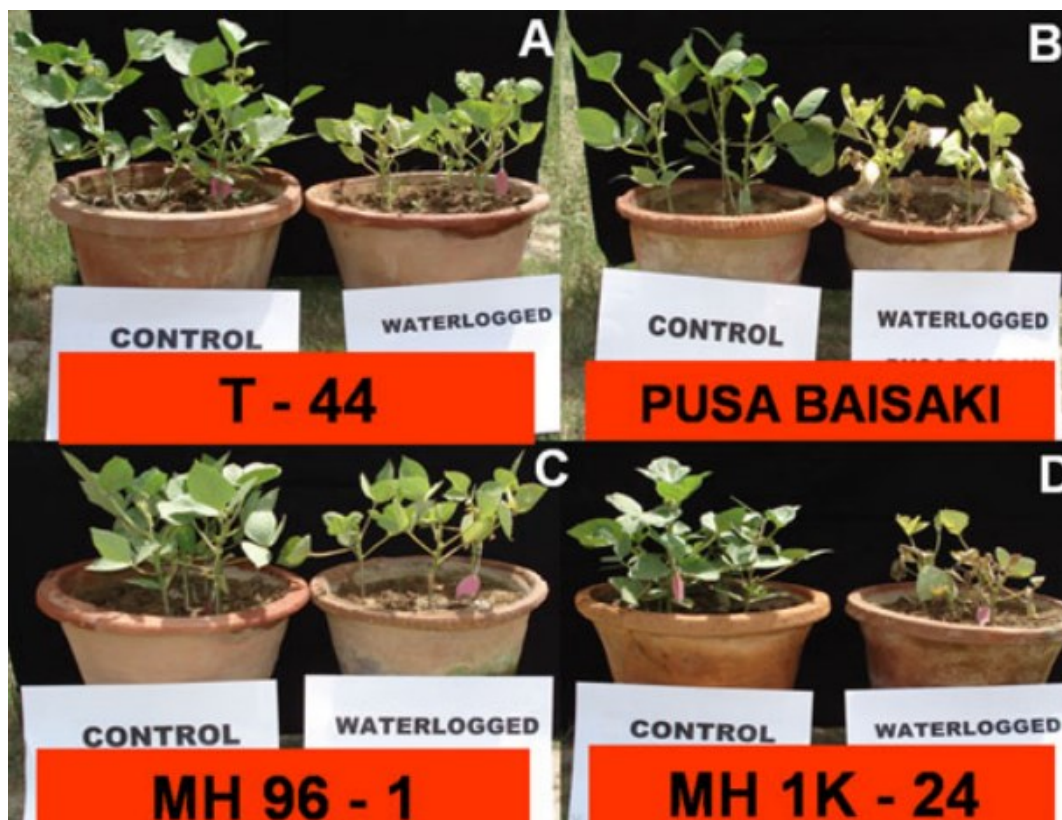
Snížený příjem živin vede k nedostatečnému zásobení rostoucích částí rostlin, což vede k předčasnému stárnutí listů a zpomalení růstu nových výhonků (Trought and Drew 1980). Kromě zpomalení růstu způsobuje zaplavení předčasnou senescenci listů (obr. 6), (Ismail *et al.* 1995, Pociecha *et al.* 2008, Ezin *et al.* 2010, Promkhambut *et al.* 2010, Simova-Stoilova *et al.* 2012, Kumar *et al.* 2013). Nejčastějším projevem předčasné senescence je žloutnutí listů (obr. 6) následované jejich postupným usycháním, které nejčastěji začíná právě od špičky listové čepele. Na listu se mohou objevovat různé léze (žluté skvrny nebo místa kde list různě zasychá). Rychlost, s jakou dochází k předčasné senescenci se výrazně liší mezi jednotlivými rostlinnými druhy, ale významný rozdíl hraje i vnitrodruhová variabilita, kdy se liší citlivé a odolné genotypy (obr. 7). Rychlost senescence závisí kromě těchto dvou faktorů zejména na délce trvání stresu (Xu *et al.* 2015), na rozsahu zaplavení (výška vodního sloupce pouze zasahuje kořenový systém nebo je částečně zaplavena i nadzemní část rostlin). Např. Simova-Stoilova



*et al.* (2012) zjistili u jetele odlišnou reakci citlivého a odolného genotypu, kdy u citlivého genotypu byla pozorovaná předčasná senescence listů po dvou týdnech zaplavení a u odolného kultivaru o týden později. Toto odlišné chování mohlo být spojeno i s poklesem celkového proteomu, který pozorovali u citlivého genotypu. Podobné rozdíly mezi genotypy popsali i Islam *et al.* (2008) u *Vigna radiata* L. Wilczek, kdy u citlivého genotypu docházelo k většímu poklesu výnosu semen oproti odolným genotypům, u nichž pokles nebyl tak výrazný a Kumar *et al.* (2013), kteří pozorovali intenzivnější snížení růstu u citlivých genotypů a větší ztráty na výnosu. Zároveň zjistili, že u odolných genotypů po 3 dnech zaplavení nedochází k ztrátám ve výnosu, zatímco u citlivých kultivarů byly ve stejné době ztráty 20%. S následným prodloužením zaplavení byly sledovány ztráty ve výnosu i u odolných genotypů. Rozdíly mezi odolnými a citlivými genotypy byly pozorovány také u *Lycopersicon esculentum* Mill (Ezin *et al.* 2010), *Brassica napus* L. (Zou *et al.* 2014), kdy podobně jako u výše popsaných případů dosahovaly odolné genotypy výrazně menších ztrát během zaplavení a zároveň vykazovaly lepší obnovu po ukončení stresové periody.



**Obr 6:** Vliv zaplavení na senescenci listu u melounu po 15 dnech zaplavení (vpravo rostliny vystavené zaplavení, vlevo rostliny pěstované v optimálních podmínkách zásobení vodou). (Převzato a upraveno z Yetisir *et al.* 2006)



**Obr 7:** Rozdílná odpověď na zaplavení dvou odolných (T-44 a MH 96-1) a dvou citlivých (Pusa baisakhi a MH 1K-24) genotypu *Vigna radiata* L. Wilczek. (Převzato a upraveno z Kumar *et al.* 2013)

Odpověď na zaplavení, jak už bylo výše zmíněno se liší u rostlin, které se se zaplavením pravidelně setkávají ve srovnání rostlinami, které jsou tomuto stresovému faktoru vystaveny jenom výjimečně a tato odlišná odpověď platí i pro vývojové charakteristiky. U rostlin, které se během života setkávají se zaplavením, dochází po jeho ukončení ve většině případů k plnému vzpamatování (závisí na celkové délce obnovové fáze) a mezi kontrolními a stresovanými rostlinami nejsou patrné téměř žádné rozdíly. Avšak během stresové periody byly pozorovány i některé změny typické pro zaplavení hospodářských plodin, které se se zaplavením setkávají pouze příležitostně, jak již bylo výše zmíněno. Např. Chen *et al.* 2010 u *Typha domingensis* pozorovali předčasnou senescenci listů během stresu zaplavením a po obnovení optimálních podmínek docházelo ke zpětnému ovlivnění fertility rostlin.

### 3.2.2. Vliv zaplavení na výnosové charakteristiky

U rostlin, které jsou zaplavení vystaveny pouze výjimečně, byly menší i výrazné rozdíly zjištěny i po ukončení stresu. U některých rostlinných druhů jsou tyto změny patrné až do konce jejich vegetačního cyklu a mají vliv i na jejich fertilitu. Tyto změny jsou nejvýraznější u jednoletých bylin a ozimů. Dochází ke snížení počtu semen (Zhou *et al.* 1995, Zou *et al.* 2014 u *Brassica napus* L, Araki *et al.* 2012, Romina *et al.* 2014, u *Triticum aestivum* L., Zhang *et al.* 2015 u *Gossypium hirsutum* L.), hmotnosti semen a plodů (Islam *et al.* 2008 u *Vigna radiata* L. Wilczek, Horchani *et al.* 2008 u *Solanum lycopersicum*, Romina *et al.* 2014 u *Triticum aestivum*), ale třeba i počtu semen v lusku (Palta *et al.* 2010 u *Cicer arietinum* L), počtu květů (Islam *et al.* 2008, Kumar *et al.* 2013 u *Vigna radiata* L. Wilczek, Chen *et al.* (2010) u *Typha domingensis*, Zhang *et al.* 2015 u *Gossypium hirsutum* L.) a v některých případech dochází i k snížení životaschopnosti semen. Byla studována i kvalita semen, a bylo zjištěno, že semena zaplavených rostlin obsahovala menší podíl oleje. Zároveň také kvalitativní charakteristiky ovlivňuje vývojová fáze, ve které byly rostliny vystaveny zaplavení, jeho celkové délka, a zda došlo k zaplavení kořenového systému nebo i nadzemní části, u které hraje výraznou roli i výška hladiny (Xu *et al.* 2015).

### 3.2.3. Zaplavení v odlišné fázi vývoje

Významnou roli v odpovědi rostlin na zaplavení hraje vývojová fáze, ve které byly rostliny tomuto stresoru vystaveny (Bailey-Serres and Voesenek 2008, Islam *et al.* 2008, Pocięcha *et al.* 2008, Magneschi and Perata 2009, Yong-zhong *et al.* 2010, Zhou *et al.* 2014). Odpověď se liší u klíčnic, juvenilních rostlin a u rostlin v generativní fázi života a také jestli se jedná o citlivý nebo odolný genotyp k tomuto stresovému faktoru. Práce zabývající se přímo touto problematikou jsou však v souvislosti se stresem zaplavením spíše výjimečné.

Zaplavení, kterému jsou vystavena už klíčící semena má negativní vliv na jejich schopnost zdárně se vyvinout v semenáček (už 4denní zaplavení snížilo výrazně počet nově formovaných rostlin), což zjistili např. Ghobadi *et al.* (2017) u *Triticum aestivum* L. Zároveň studovali, jak se liší odpověď rostlin vystavených zaplavení během stádia odnožování a dále pak kvetení ve srovnání s rostlinami pěstovanými v optimálních závlahových podmínkách. Zjistili, že zaplavení ve stádiu kvetení neovlivňuje výšku rostliny a délku kořenů, tak jako u rostlin ve fázi odnožování. S ohledem na celkový výnos rostlin byly však na zaplavení citlivější rostliny ve fázi odnožování oproti těm ve fázi kvetení. Naopak Romina *et al.* (2014) pozorovali největší

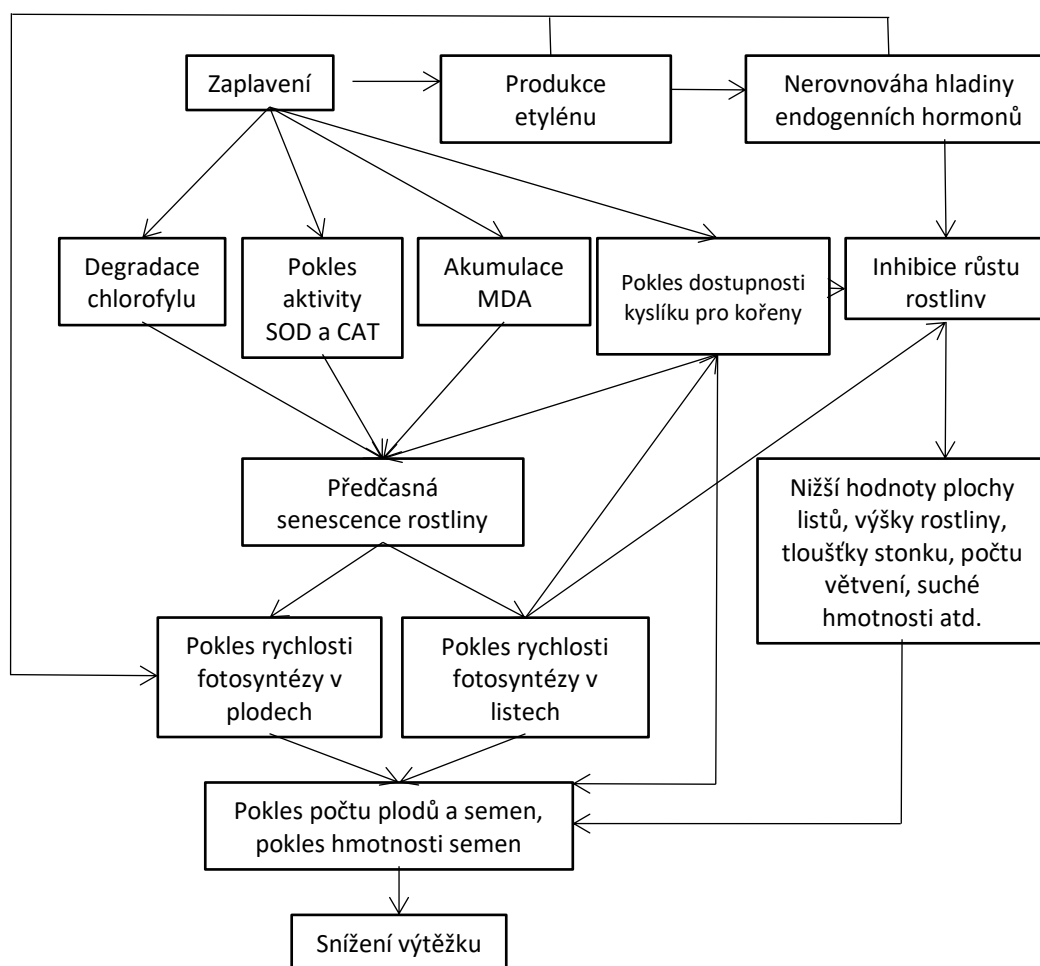
výnosové ztráty u *Triticum aestivum* a *Hordeum vulgare* L. pokud zaplavení probíhalo bezprostředně před fází kvetení. Oproti tomu výrazně menší ztráty pozorovali, pokud byly rostliny zaplaveny ve fázi nalévání zrna. Rostliny pšenice byly více ovlivněny zaplavením ve srovnání s rostlinami ječmene.

Rozdíly v reakci rostlin *Vicia faba* L. *minor* lišících se vývojovou fází, v níž byly vystaveny zaplavení studovali i Pocięcha *et al.* (2008). Zjistili, že k vyššímu poškození listů dochází po stresu zaplavením v generativní fázi vývoje ve srovnání s vegetativní fází. Vyšší citlivost u *Vigna radiata* L. *Wilczek* pozorovali také Islam *et al.* 2008, kdy u rostlin ve fázi kvetení docházelo v důsledku stresu zaplavením k odumírání vzrostných vrcholů některých pokusných rostlin.

Také Yong-zhong *et al.* (2010) se zabývali problematikou změn vybraných morfologických, fyziologických a biochemických parametrů v důsledku zaplavení u *Zea mays* L. v odlišné fázi vývoje listového patra, ve kterém bylo vystaveno zaplavení. Zjistili, že nejcitlivější k zaplavení bylo 2. listové patro oproti 1. a 3.

Rozdílná reakce na nadměrné zaplavení v závislosti na stádiu vývoje, ve kterém byly rostliny vystaveny stresu byla pozorována i u *Brassica napus* L (Zou *et al.* 2014). Na zaplavení byly nejcitlivější rostliny, které byly vystaveny stresu ve fázi semenáčků, ale velmi citlivě reagovaly i klíčí semena, která nemohou bez kyslíku dokonale rozkládat zásobní látky a jsou nedostatečně zásobena energií. Autoři uvádějí, že citlivější ke stresu jsou právě olejná semena oproti těm, které mají zásoby uloženy ve formě škrobu.

Z výše uvedeného je patrné, že zaplavení v jakékoliv vývojové fázi často negativně ovlivňuje různé parametry rostlin, zejména v případech, kdy jsou rostliny tomuto stresovému faktoru vystaveny výjimečně. Jedná se o komplexní odpověď rostlin zahrnující biochemické, metabolické a fyziologické změny, které mohou vyústit v ovlivnění anatomických, morfologických a výnosových parametrů (obr. 8).



**Obr 8:** Komplexní odpověď rostlin *Brassica napus* L. na nadměrné zaplavení (Převzato a upraveno z Zhou *et al.* 1995)

## 4. Materiál a metody

### 4.1. Pokusný materiál a podmínky pěstování

Jako pokusné rostliny byly vybrány 4 genotypy kukuřice seté (*Zea mays* L.). Zvolil jsem 2 inbrední linie (2023 a CE704) a jejich reciproké křížence. Tyto linie a jejich křížence jsem vybral na základě předchozích výsledků laboratoře genetiky rostlin. Semena byla zakoupena v CEZEA šlechtitelské stanici a.s. v Čejči (ČR). Během celého pokusu bylo využito a analyzováno 408 rostlin.

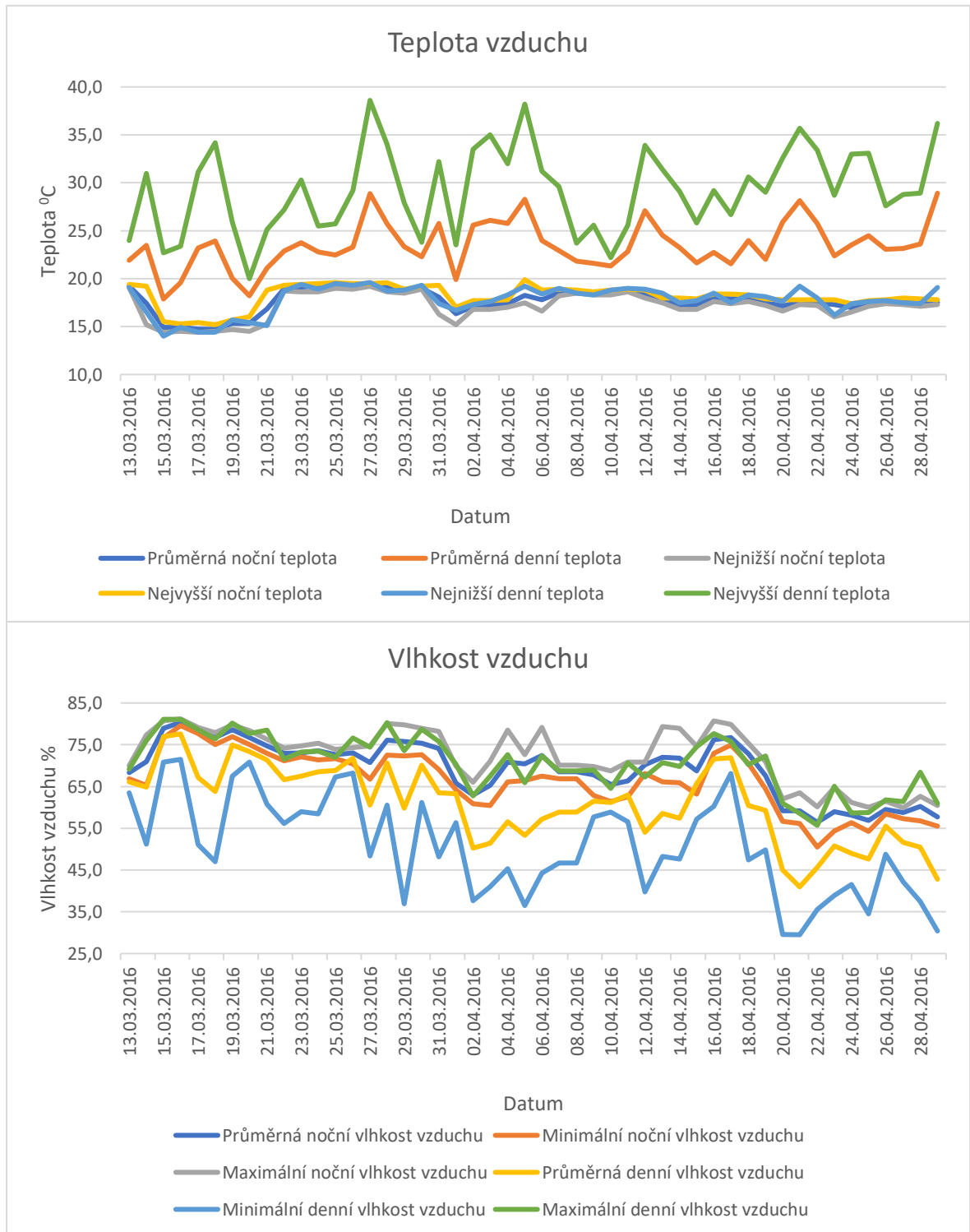
Rostliny byly po celou dobu pokusu pěstovány ve skleníku katedry genetiky a mikrobiologie v Brožkově genetické zahradě Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v časovém rozmezí od 14.3.2016 do 29.4.2016. Semena byla vyseta po dvou do plastových květináčů o objemu 0,77 l (10 x 11 cm) naplněných zahradní zeminou. V případě vyklíčení obou semen byla jedna klíčící rostlina opatrně i s kořenem odstraněna. Do zahájení pokusu byly rostliny pravidelně zalévány horní záhlavkou. Rostliny byly pěstovány v přirozených světelných podmínkách. Teplota a vlhkost vzduchu (obr. 9) byly zaznamenávány pomocí automatických záznamníků *Testo 175 T-1* (*Testo, Česká republika*).

### 4.2. Uspořádání experimentu

Rostliny byly rozděleny do dvou pokusných sérií (série I série II), které se lišily vývojovou fází, ve které byly vystaveny stresu zaplavením. Každá pokusná série zahrnovala 5 bloků pokusných rostlin odpovídajících postupnému výsevu rozloženému do 5 po sobě jdoucích dní (=biologická opakování). Uvedené rozložení bylo zvoleno z tohoto důvodu, abychom měli pro potřebný počet biologických opakování dostatečné množství pokusného materiálu v odpovídající vývojové fázi. Polovina rostlin série I byla vystavena zaplavení ve stáří 18 dní od výsevu po dobu 10 dní. Zbylé rostliny byly po celou dobu pěstovány v optimálních pěstebních podmínkách a sloužily jako kontroly. Po uplynutí 10 dní zaplavení byly rostliny analyzovány, zpracovány a odebrány vzorky pletiva ze 3. listového patra pro pozdější biochemické analýzy. Obdobný postup byl zvolen i u rostlin série II, u níž byly rostliny vystaveny stresu zaplavením ve stáří 32 dní a vzorky listového pletiva pro pozdější biochemické analýzy byly odebrány ze 4. listového patra. Sledované listy mladších i starších započaly vývoj během optimálních podmínek pěstování a dokončily ho během zaplavení.

U různě starých rostlin jsme očekávali odlišnou reakci na zaplavení v závislosti na stáří, ve kterém mu byly vystaveny. Tato diplomová práce navazuje na diplomovou práci Ččetka 2018, v níž jsem analyzoval reakci různě starých rostlin u listů, které zahájily vývoj až během zaplavení.

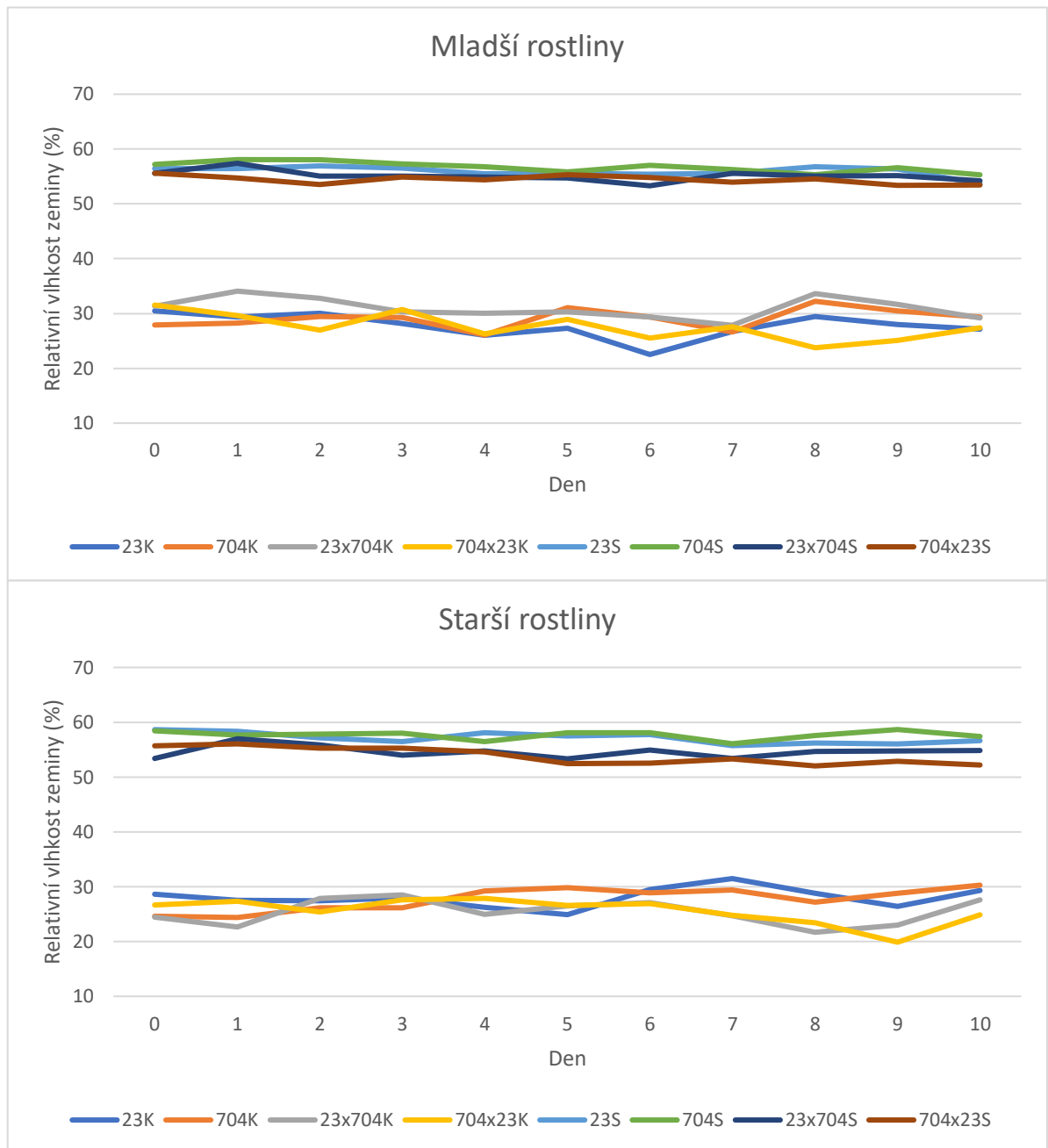
**Obr 9: Teplota a vlhkost ve skleníku po celou dobu pokusu**



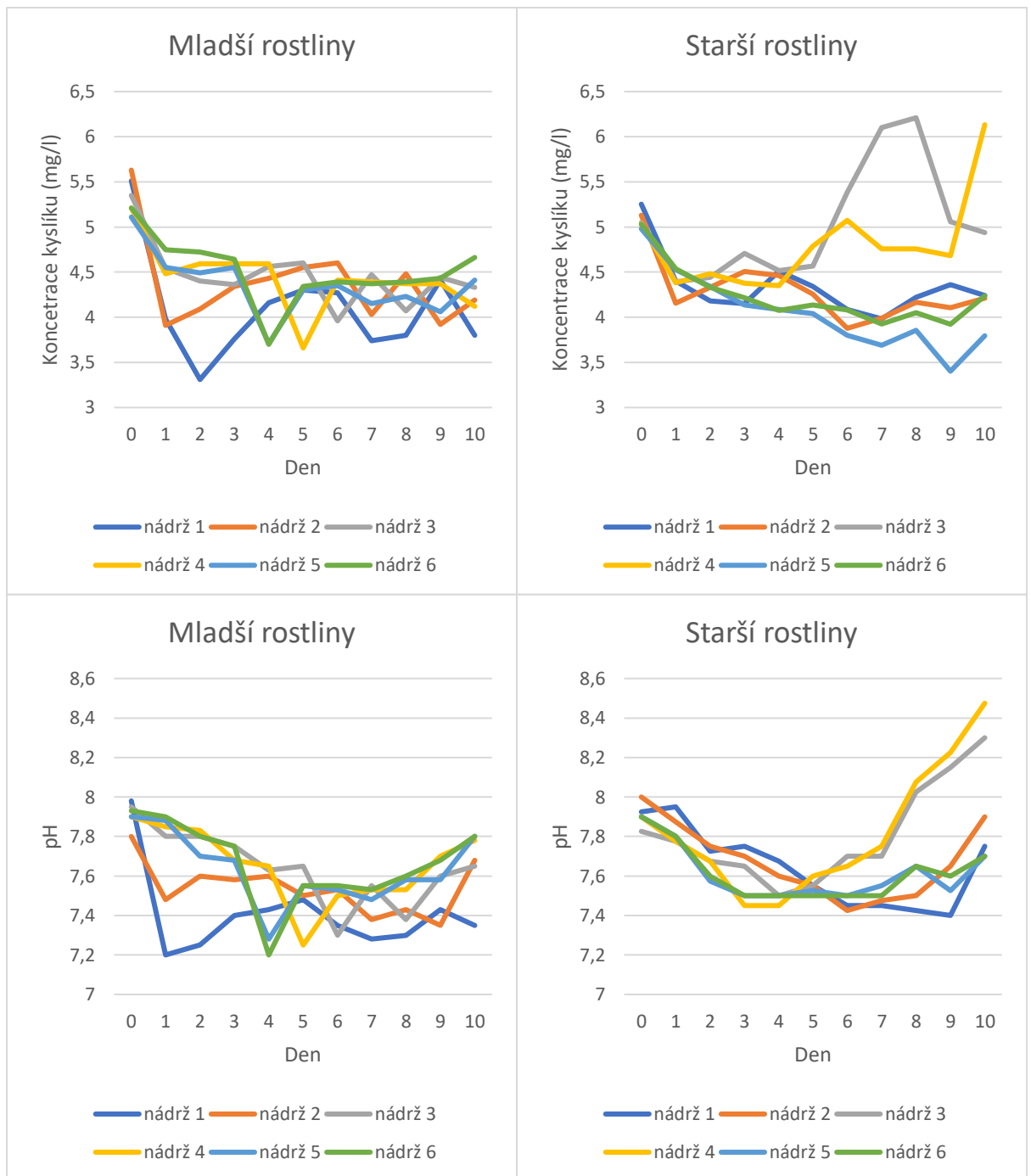
Pro simulaci pěstování v podmínkách zaplavení byly využity plastové nádrže o rozměrech 15 × 50 × 75 cm (š × v × h), které byly den před vystavením rostlin zaplavení naplněny odstátou vodou do více než  $\frac{3}{4}$  celkového objemu. Následně byly do těchto nádrží umístěny květináče tak, aby hladina vody byla v úrovni zeminy. Stálá výška hladiny vody byla posléze udržována doplňováním předem odstátou vodou. Po dobu vystavení stresu byla u stresovaných rostlin i u rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách měřena vlhkost zeminy (obr. 10) přenosným vlhkoměrem (HH2 *Moisture Meter se sondou WET-2 Sensor*, Delta-T Devices, *Velká Británie*). V jednotlivých nádržích bylo měřeno pH a obsah kyslíku *pH/Oxi 340i*, (*Wissenschaftlich – Technische Werkstätten*, Německo) (obr. 11).



**Obr 10: Průměrná vlhkost pěstebního substrátu** měřená během vystavení nadbytku vody u mladších (série I) a starších rostlin (série II). K – genotypy pěstované v optimálních podmínkách pěstování a S - genotypy pěstované v podmínkách zaplavení (n=6)



**Obr. 11: Hodnoty pH a obsahu kyslíku v jednotlivých nádržích během simulování nadbytku vody (n=4).**



### 4.3. Morfologické parametry

U pokusných rostlin byly sledovány vybrané morfologické charakteristiky týkající se pokusného listu (hmotnost čerstvé biomasy, délka, šířka a plocha listu, specifická hmotnost listu a suchá hmotnost biomasy). V jednotlivých pokusných dnech byly morfologické parametry měřeny u 8 rostlin. Jednalo se vždy o dvě varianty (kontrola a stress) od každého genotypu (2 inbrední linie 2023, CE704 a jejich reciproci kříženci). U těchto rostlin byly nejprve změřeny parametry, při kterých nedocházelo k poškození listu (fotosyntetické parametry) a poté morfologické parametry spolu s relativním obsahem vody v listu. Výsledné hodnoty těchto parametrů jsou aritmetickým průměrem hodnot získaných z 5 rostlin příslušných genotypů a způsobu pěstování, které představují biologická opakování.

Délka pokusného listu byla měřena od jeho špičky po bázi. Střední šířka listu byla měřena v jeho nejširším místě. Z těchto dvou hodnot pak byla vypočítána plocha listové čepele dle vzorce:

$$LA=D \times \check{S} \times KPL$$

LA= plocha listu (mm<sup>2</sup>)

D= délka listu (mm)

Š= střední šířka listu (mm)

KPL= koeficient pro vypočet plochy listu stanovený gravimetricky podle Šesták a Čatský (1966)

Pro stanovení čerstvé hmotnosti pokusného listu byl list na bázi opatrně odstřižen a následně zvážen na analytických vahách *XT 120A (Precisa Gravimetric, Švýcarsko)*. Ze zvážených listů byly odebrány terčíky pro stanovení SpHm, indexu poškození membrán, obsahu fotosyntetických pigmentů a malá část pro stanovení RWC. Zbylá část listu byla připevněna špendlíkem na polystyrenovou desku a sušena v sušárně *UM 500 (Memmert, Německo)* při 80 °C po dobu 7 dní. Následně byly suché vzorky zváženy na analytických vahách. Pro stanovení suché hmotnosti listu byly přičteny i suché hmotnosti odebraných částí (část pletiva pro stanovení RWC a suché hmotnosti odebraných terčků).

Pro stanovení specifické hmotnosti listu (SpHm) byly ze střední části čepele pokusného listu vysekány 4 kruhové terčíky o průměru 6 mm. Terčíky byly upevněny na předem připravené polystyrenové desky a vysušeny v sušárně při 80 °C po dobu 7 dní. Po uplynutí této doby byla stanovena suchá hmotnost na analytických mikrovahách *Sartorius 4401 (Sartorius, Německo)*. Výsledná hodnota specifické hmotnosti listu byla stanovena podle vzorce:

$$SpHm = \left( \frac{m}{s \times n} \right) \times 1000 [g/m^2]$$

m = suchá hmotnost terčků

s = plocha terčků

n = počet terčků

## 4.4. Vodní stav rostlin

### 4.4.1. Relativní obsah vody

Pro stanovení relativního obsahu vody (RWC) v listech pokusných rostlin byla ze střední část listu vystřižena část o délce přibližně 4 cm. Po odstřížení byl tento kousek zvážen na analytických vahách (čerstvá hmotnost) a umístěn do falkonky s vodou (15 ml, uzavřená víčkem) po dobu 5 hodin. Po uplynutí této doby, byl vzorek opatrně osušen a znovu zvážen (nasyčená hmotnost). Následně se tento vzorek sušil (80 °C po dobu 7 dní) a poté byla zvážena jeho suchá hmotnost. Na základě těchto hmotností byl vypočítán relativní obsah vody v listu pomocí vzorce:

$$RWC = \left( \frac{m_1 + m_s}{m_2 - m_s} \right) \times 100$$

m<sub>1</sub> = čerstvá hmotnost

m<sub>2</sub> = nasycená hmotnost

m<sub>s</sub> = suchá hmotnost

### 4.4.2. WUE a WUEi

Tyto parametry byly stanoveny s využitím gazometrického systému *LCi Portable Photosynthesis System*, (ADC BioScientific Ltd., Velká Británie). Současně s nimi byly získány i hodnoty otevřenosti průduchů, rychlosti transpirace a rychlosti čisté fotosyntézy.

Měření probíhala vždy ve stejném časovém rozmezí (12:00 až 14:00 hodin) za následujících podmínek v měřicí komůrce: teplota 25 °C, koncentrace oxidu uhličitého 550±50 mikrol×L<sup>-1</sup>, rychlost průtoku vzduchu 205±30 mikromol s<sup>-1</sup>, ozáření 650 mikromol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Sledovaný list byl umístěn do měřicí komůrky, tak aby ji celou vyplnil. V případě, že byl list menší a nevyplnil celou plochu měřicího prostoru bylo nezbytné změřit přesnou šířku a

vypočítat skutečnou plochu listu v měřicí komůrce. Přesná plocha byla zadána jako vstupní parametr tak, aby mohly být automaticky přepočítány měřené hodnoty na odpovídající plochu listu. Každý list byl ponechán v měřicí komůrce přibližně 15 minut a přístroj každou minutu detekoval změny koncentrace oxidu uhličitého, vodní páry a změnu rychlosti průtoku vzduchu, ze kterých vypočítává rychlosti transpirace, otevřenost průduchů a rychlosti čisté fotosyntézy.

Hodnoty okamžité efektivity využití vody (podíl rychlosti čisté fotosyntézy a rychlosti transpirace) a vnitřní efektivity využití vody (podíl rychlosti čisté fotosyntézy a stomatální vodivosti) byly vypočítány podle následujících vzorců.

$$WUE = \frac{P_N}{E}$$
$$WUE_i = \frac{P_N}{g_s}$$

WUE ( $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ ) = okamžitá efektivita využití vody

$P_N$  ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) = rychlost čisté fotosyntézy

E ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) = rychlost transpirace

WUE<sub>i</sub> ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) = vnitřní efektivita využití vody

$P_N$  ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) = rychlost čisté fotosyntézy

$g_s$  ( $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) = stomatální vodivost

## 4.5. Fotosyntetické parametry

### 4.5.1. Rychlost čisté fotosyntézy

Rychlost čisté fotosyntézy ( $P_N$ ), známá také pod starším označením jako rychlost asimilace oxidu uhličitého, je dalším z významných parametrů měřených pomocí otevřeného gazometrického systému, který z naměřených hodnot koncentrací oxidu uhličitého na vstupu a výstupu měřicí komory stanovuje hodnoty této charakteristiky. Postup měření je shodný jako při měření WUE A WUE<sub>i</sub>.

### 4.5.2. Primární fotosyntetické procesy

Měření fluorescence chlorofylu *a* probíhalo na stejných rostlinách, které byly posléze použity pro měření morfologických parametrů, RWC, fotosyntetických pigmentů a indexu poškození membrán. Měření probíhalo ve tmě vždy ve stejnou dobu (8:40 hodin) u předem temnotně adaptovaných listů (rostliny byly ponechány po dobu 20 minut před začátkem měření

ve tmě) pomocí přístroje *Fluoropen FP 100 max* (*Photo System Instruments, Česká republika*), který ozáří listy světelným excitačním pulsem o vlnové délce 455 nm a intenzitě  $3000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  po dobu 1 ms. Na takto ozářených místech byla fluorescence měřena v časovém rozpětí 10 $\mu\text{s}$  až 2s. Na každé svrchní straně listové čepele byla provedena dvě měření, jejichž aritmetický průměr udával hodnotu měřeného listu. Hodnoty fluorescence z různých časových bodů (tab. 1) byly následně použity pro výpočty parametrů charakterizujících jednotlivé děje během primární fáze fotosyntézy dle Strasser *et al.* (2000), Strasser *et al.* (2004) a Stirbet and Govindjee (2011).

**Tab. 1:** Přehled zkratk fluorescenčních parametrů a vzorců potřebných pro jejich výpočet. PS -fotosystém, RC – reakční centrum

Parametr	Biologický význam	Vzorec pro výpočet
<b>F0</b>	Mínimální fluorescence (všechna RC PSII otevřena, t=0) ... první naměřená fluorescence před saturačním pulsem	
<b>Fm</b>	Maximální fluorescence (všechna RC PSII uzavřena, bod P) ... maximální hodnota při saturačním pulsu	
<b>FK</b>	Fluorescence v bodě K (t = 300 $\mu\text{s}$ )	
<b>FJ</b>	Fluorescence v bodě J (t = 2 ms)	
<b>FI</b>	Fluorescence v bodě I (t = 30 ms)	
<b>FV</b>	Maximální variabilní fluorescence	(Fm-F0)
<b>VJ</b>	Relativní variabilní fluorescence v bodě J	(FJ-F0)/(Fm-F0)
<b>VI</b>	Relativní variabilní fluorescence v bodě I	(FI-F0)/(Fm-F0)
<b>M0</b>	Přibližný počáteční sklon OJIP křivky fluorescenčního přechodového jevu	$4 \times (FK-F0)/(Fm-F0)$
$\phi\text{P0}$	Maximální kvantový výtěžek fotochemické přeměny energie v PSII	(Fm-F0)/Fm
$\phi\text{E0}$	Kvantový výtěžek toku přenosu elektronů z QA na QB	$[1-(F0/Fm)] \times \psi\text{E0}$
$\phi\text{RE0}$	Kvantový výtěžek toku přenosu elektronů až na koncové akceptory PSI	$1-(F1/Fm)$
$\phi\text{D0}$	Kvantový výtěžek disipace zachycené energie	F0/Fm
$\psi\text{E0}$	Účinnost/pravděpodobnost, s kterou je elektron zachycený PSII přenesen z QA na QB	$1-VJ$
$\psi\text{RE0}$	Účinnost /pravděpodobnost, s kterou je elektron zachycený PSII přenesen až na koncové akceptory PSI	$1-VI$
$\delta\text{RE0}$	Účinnost /pravděpodobnost, s kterou je elektron zachycený PSII přenesen z QB až na koncové akceptory PSI	$(1-VI)/(1-VJ)$
$\gamma\text{RC}$	Pravděpodobnost, že PSII chlorofyl funguje jako RC	$1/(ABS/RC+1)$
<b>ABS/RC</b>	Průměrný tok zachycených fotonů vyjádřený na jedno PSII RC (zdánlivá velikost světlosběrné antény aktivního PSII)	$(M0/VJ) \times (1/\phi\text{P0})$
<b>TP0/RC</b>	Maximální tok zachycených excitonů vyjádřený na jedno PSII RC	M0/VJ
<b>ET0/RC</b>	Tok přenosu elektronů z QA na QB vyjádřený na jedno PSII RC	$(M0/VJ) \times \psi\text{E0}$
<b>RE0/RC</b>	Tok přenosu elektronů až na koncové akceptory PSI vyjádřený na jedno PSII RC	$(M0/VJ) \times \psi\text{RE0}$
<b>DI0/RC</b>	Tok disipované energie vyjádřený na jedno PSII RC	$(ABS/RC) - (TP0/RC)$
<b>PIABS</b>	Performanční index zachování energie fotonů zachycených světlosběrnou anténou PSII až po redukci QB	$[1/(ABS/RC)] \times [\phi\text{P0}/(1-\phi\text{P0})] \times [\psi\text{E0}/(1-\psi\text{E0})]$
<b>PITOTAL</b>	Performanční index zachování energie fotonů zachycených světlosběrnou anténou PSII až po redukci koncových akceptorů PSI	$PIABS \times [\delta\text{RE0}/(1-\delta\text{RE0})]$

(Převzato a upraveno z Marková 2017)

### 4.5.3. Fotosyntetické pigmenty

Obsahy fotosyntetických pigmentů byly zjištěny spektrofotometricky po jejich extrakci z listové čepele N,N-dimetylformamidem. Po změření morfologických parametrů byly z analyzovaných listů pomocí kruhového razidla vysekány 4 terčíky o průměru 6 mm, které byly následně zality 5 ml N,N-dimetylformamidu, promíchány, překryty parafilmem a uloženy do lednice. Vzorčky byly znovu promíchány následující den a poté ponechány 6 dní v lednici. Po ukončení extrakce pigmentů byly vzorky opět promíchány a změřena absorbance při vlnových délkách 480 nm, 647 nm, 664 nm a 710 nm na spektrofotometru *Anthelie Advanced 2* (Secomam, Francie). Z takto získaných absorbancí byly vypočítány obsahy jednotlivých fotosyntetických pigmentů podle následujících vzorců (Wellburn 1994):

$$Chl\ a = 11,65 \times (ABS_{664} - ABS_{710}) - 2,69 \times (ABS_{647} - ABS_{710})$$

$$Chl\ b = 20,81 \times (ABS_{647} - ABS_{710}) - 4,53 \times (ABS_{664} - ABS_{710})$$

$$Kar = [1000 \times (ABS_{480} - ABS_{710}) - 0,89 \times Chl\ a - 52,02 \times Chl\ b] / 245$$

$ABS_{480}$  = absorbance při vlnové délce 480 nm

$ABS_{647}$  = absorbance při vlnové délce 647 nm

$ABS_{664}$  = absorbance při vlnové délce 664 nm

$ABS_{710}$  = absorbance při vlnové délce 710 nm

Konečné hodnoty obsahu fotosyntetických pigmentů byly přepočítány na objem extrakčního činidla a vyjádřeny na jednotku plochy listové čepele a jednotku suché hmotnosti listu. Pro přepočet na jednotku suché hmotnosti byly využity hodnoty SpHm a pro přepočet na listovou plochu byla využita plocha vysekaných terčíků. Ze stanoveného obsahu jednotlivých pigmentů byly vypočítány další parametry, např. poměr chlorofylu *a/b* nebo poměr celkového obsahu chlorofylů a karotenoidů.

### 4.5.4. Indexy spektrální odrazivosti

Před temnostní adaptací rostlin pro měření fluorescence chlorofylu probíhalo měření indexů spektrální odrazivosti. Indexy PRI a NVDI byly měřeny podobně jako fluorescence chlorofylu *a* pomocí přístrojů *PlantPen NDVI 300* (Photon System Instruments, Česká republika) a *PlantPen PRI 200* (Photon System Instruments, Česká republika). Výsledné hodnoty těchto parametrů se vypočítávají z rozdílů odrazivosti dvou monochromatických záření od povrchu listu dle vzorců:

$$PRI = \frac{R_{570} - R_{531}}{R_{570} + R_{531}} \qquad NDVI = \frac{R_{760} - R_{635}}{R_{760} + R_{635}}$$

$R_{531}$  = odrazivost při vlnové délce 531 nm

$R_{570}$  = odrazivost při vlnové délce 570 nm

$R_{635}$  = odrazivost při vlnové délce 635 nm

$R_{760}$  = odrazivost při vlnové délce 760 nm

## 4.6. Parametry poškození buněk

### 4.6.1. Index poškození membrán

Index poškození membrán byl měřen podle Řehořové 2015 (modifikováno podle původních prací Sullivan 1972, Saraim 1994, Hatami a Ghorbanpour 2014). Z listů po měření morfologických parametrů bylo pomocí kruhového razidla vysekáno 15 terčičků o průměru 6 mm, které byly poté přeneseny do falkonky o objemu 10 ml naplněné po okraj destilovanou vodou. Následně byly falkonky inkubovány při teplotě 5 až 10 °C v lednici po dobu 24 hodin. Po vyjmutí z lednice se vzorek nechal volně inkubovat na pokojovou teplotu. Poté byla změřena konduktivita pomocí přenosného konduktometru *Gryf 158 (Gryf HB spol. s.r.o., Česká republika)*. U každého vzorku byla konduktivita změřena třikrát a výsledná hodnota byla aritmetickým průměrem těchto hodnot. Po ukončení měření se vzorky ve falkonkách povařily 15 minut ve vodní lázni a po vychladnutí na pokojovou teplotu se znovu změřila konduktivita. Index poškození buněčných membrán byl vypočítán podle vzorečku:

$$I = \frac{C_1}{C_2} \times 100$$

I (%) = index poškození membrán

$C_1$  = konduktivita měřená před povařením

$C_2$  = konduktivita měřená po povaření

### 4.6.2. Obsah malondialdehydu

Pro stanovení obsahu malondialdehydu, peroxidu vodíku a aktivity katalázy byly vyčleněny separátní rostliny určené pouze pro odběry vzorků pro tyto analýzy. Vzorky byly odebírány z 10 rostlin pro každý genotyp a způsob pěstování. Výsledné hodnoty parametrů jsou aritmetickým průměrem samostatných měření těchto 10 vzorků. Při odběru vzorků bylo



z listové čepele nejprve šetrně odstraněno střední žebro (hlavní cévní svazek). Pro stanovení obsahu malondialdehydu (MDA) bylo odebráno 0,2 g, pro stanovení obsahu peroxidu vodíku 0,5 g a pro stanovení aktivity katalázy 0,5 g pletiva. Následně byl takto připravený vzorek o známé hmotnosti zabalen do alobalu, zamrazen v tekutém dusíku a přemístěn do hlubokomrazícího boxu *ULTF (Darei, Dánsko)* (-80 °C), kde byl uchováván až do měření. Ze stejných listů, ze kterých byly odebírány vzorky pro biochemické analýzy, byla odstřižena a zvážena malá část listu, která byla následně usušena v sušárně při 80 °C po dobu 7 dní a zvážena suchá hmotnost. Získané hodnoty čerstvé a suché hmotnosti byly použity k přepočtu obsahu peroxidu vodíku a MDA na suchou hmotnost.

Obsah malondialdehydu byl měřen podle Řehořové 2015 (modifikováno podle původních prací Heath a Packer., 1968, Hodges *et al.* 1999).

Vzorek byl homogenizován v tekutém dusíku v předem vymražené třecí misce. Po homogenizaci bylo přidáno 2,1 ml 80 % etanolu (*Lach-Ner s.r.o., Česká republika*) a vzorek se dále homogenizoval. Následně byl vzorek centrifugován při 14 000x g a 4 °C po dobu 20 minut. Ze vzniklého supernatantu bylo odebráno 0,7 ml do dvou předem připravených tlustostěnných zkumavek. Do jedné zkumavky bylo přidáno k supernatantu 0,7 ml roztoku TBA+ (0,65 % roztok kyseliny thiobarbiturové (*Sigma-Aldrich, USA*) v 20% kyselině trichloroctové (*Sigma-Aldrich, USA*) s 0,01% obsahem butylovaného hydroxytoluenu (*AppliChem, Německo*)) a do druhé zkumavky bylo přidáno k supernatantu 0,7 ml roztoku TBA- (20 % roztok kyseliny trichloroctové s 0,01 % obsahem butylovaného hydroxytoluenu). Poté byly vzorky promíchány a temperovány při 95 °C po dobu 30 minut na *Termobloku Ultimate Dry Incubator (Major science, USA)*, prudce ochlazeny na ledu a centrifugovány při 14 000x g a 4 °C po dobu 20 minut. U získaného supernatantu byla změřená absorbance při vlnových délkách 440 nm, 532 nm a 600 nm na spektrofotometru *Evolution 201 (ThermoFisher Scientific, USA)*. Koncentrace MDA byla vypočítána podle vzorce:

$$MDA = \frac{A_{532} - A_{600}}{155\ 000} \times 10^6$$

155 000 = koeficient extinkční molarity pro MDA

MDA (nmol ml<sup>-1</sup>) = množství MDA na mililitr vzorku

A<sub>532</sub> = absorbance vzorku při vlnové délce 532 nm, maximální absorbance TBA-MDA komplexu

A<sub>600</sub> = absorbance vzorku při vlnové délce 600 nm, korekce pro nespecifické zakalení

#### 4.6.3. Obsah peroxidu vodíku

Obsah peroxidu vodíku byl stanoven spektrofotometricky podle modifikované metody Velikova *et al.* (2000) a Junglee *et al.* (2014).

Vzorek listového pletiva z mrazícího boxu o hmotnost 0,5g byl nejprve důkladně rozetřený v tekutém dusíku ve třecí misce a dále promíchaný po přidání 0,5ml roztoku 0,1% kyseliny trichloroctové (*Sigma-Aldrich, USA*). 2 ml homogenátu byly následně cetrifugovány při 12 000x g a 4 °C po dobu 20 minut. Po centrifugaci bylo odebráno 0,5 ml supernatantu do předem připravené reakční směsi obsahující 0,5 ml 10 mM fosfátového pufru (pH 7,0) (*Sigma-Aldrich, USA*) a 1 ml 1 M jodidu draselného (*Lach-ner s.r.o., Česká republika*). Roztoky jodidu draselného a kyseliny trichloroctové byly připravovány každý pokusný den, roztok fosfátového pufru byl připraven první den měření a poté skladován v lednici. Následně byly vzorky inkubovány 20 minut ve tmě za pokojové teploty. Po inkubaci byla změřena absorbance vzorku (při 390 nm) na spektrofotometru *Evolution 201 (ThermoFisher Scientific, USA)*. Obsah peroxidu vodíku je stanovený na základně kalibrační křivky o známých koncentracích peroxidu vodíku (*Sigma-Aldrich, USA*) (6,25 μM, 12,5 μM, 25 μM, 50 μM, 100 μM, 150 μM, 200 μM) v roztoku reakční směsi. Jako referenční vzorek byla použita reakční směs obsahující 0,5 ml roztoku 0,1 % kyseliny trichloroctové.

#### 4.6.4. Aktivita katalázy

Aktivita katalázy byla stanovena spektrofotometricky podle modifikované metody Kholova *et al.* (2010).

Vzorek o hmotnost 0,5 g byl homogenizován v tekutém dusíku v předem vymražené třecí misce na jemný prášek, který byl poté opatrně přesypán do nevymražené třecí misky. Následně bylo přidáno 10 ml fosfátového pufru o pH 7,5 (směs roztoku 6,80 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (*Sigma-Aldrich, USA*) rozpuštěného v 0,5 l destilované vody a 8,71 g  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  (*Sigma-Aldrich, USA*) rozpouštěného v 0,5 l destilované vody) obsahující 0,5 mM EDTA (*Serva Feinbiochemica GmbH & Co, Německo*). Takto připravený homogenát se přefiltroval přes gázu do centrifugačních zkumavek a následovala centrifugace při 15 000x g (4 °C) po dobu 20 minut. Poté byly odebrány 2ml supernatantu do Eppendorf zkumavek, které se uchovávaly v chladicí komůrce při teplotě 4 °C. 50 μl takto připraveného vzorku bylo odebráno do kyvety s reakční směsí (1,5 ml fosfátového pufru o pH 7 (*Sigma-Aldrich, USA*), 0,95 ml destilované vody a 0,5 ml 75 mM peroxidu vodíku (*Sigma-Aldrich, USA*)). Následně se měřil pokles absorbance během 1 minuty (v čase 0 s a 60 s) vzorku při vlnové délce 240 nm. Obsah peroxidu vodíku byl

vypočítán z hodnot absorbance v čase 0 s a 60 s s využitím kalibrační křivky o známých koncentracích peroxidu vodíku ( 0,6  $\mu\text{M}$ , 1,5  $\mu\text{M}$ , 2,9  $\mu\text{M}$ , 5,7  $\mu\text{M}$ , 8,2  $\mu\text{M}$ , 10,5  $\mu\text{M}$ , 12,7  $\mu\text{M}$ ) v reakční směsi. Jako referenční vzorek sloužila reakční směs.

Množství proteinu bylo stanoveno spektrofotometricky podle metody Bradford (1976). Do tlustostěnné zkumavky obsahující 5 ml Bradfordové činidla bylo přidání 100  $\mu\text{l}$  vzorku, který se promíchal a nechal inkubovat 20 minut při pokojové teplotě. Po inkubaci byla změřena absorbance na spektrofotometru *Evolution 201 (ThermoFisher Scientific, USA)* při vlnové délce 595 nm. Množství proteinu bylo následně stanoveno dosazením hodnot absorbance do rovnice závislosti koncentrace proteinu na absorbanci, která byla stanovena na základě kalibrační křivky o známých koncentracích albuminu (*Sigma-Aldrich, USA*) (0,005  $\mu\text{M}$ , 0,01  $\mu\text{M}$ , 0,015  $\mu\text{M}$ , 0,02  $\mu\text{M}$ , 0,025  $\mu\text{M}$ , 0,03  $\mu\text{M}$ , 0,035  $\mu\text{M}$ , 0,04  $\mu\text{M}$ , 0,045  $\mu\text{M}$ , 0,05  $\mu\text{M}$ ) v 5 ml Bradfordové činidla. Jako referenční vzorek sloužilo činidlo Bradfordové.

Aktivita katalázy se vypočítala jako podíl poklesu koncentrace peroxidu vodíku (v čase 0 a 60 s) a množství proteinu

#### 4.7. Statistické vyhodnocení výsledků

Před statistickou analýzou naměřených hodnot je účelné matematicky objektivním způsobem odstranit ze souboru dat odlehlé hodnoty, které by mohly ovlivnit výsledky následné analýzy. Jednalo se o parametry vodního stavu rostlin, fotosyntézy a buněčného poškození. Hranice pro odlehlé hodnoty jsem vypočítal podle následujících vzorů:

$$\text{MK} = \text{Q3} - \text{Q1}$$

$$\text{HH} = \text{Q3} + \text{MZ} \times 1,5$$

$$\text{DH} = \text{Q1} - \text{MZ} \times 1,5$$

MK = mezikvartilové rozpětí

Q3 = horní kvartil

Q1 = dolní kvartil

HH = horní hranice pro odlehlé hodnoty

DH = dolní hranice pro odlehlé hodnoty

Po odstranění odlehlých hodnot jsem zbylá data vyhodnotil pomocí analýzy variance (ANOVA) trojného třídění s interakcemi. Jako zdroj variability pro tyto analýzy jsem zvolil genotyp, způsob pěstování, stáří rostlin nebo genotyp, pěstování a listové patro (hodnoty parametrů pro vývojově mladší listové patro byly použity z předchozích měření z Čečetka 2018). Na základě získaných výsledků byla následně provedena analýza variance dvojného třídění s interakcemi (tab. 2). Velmi často jsem zejména v případě trojné analýzy zjistil p-hodnoty Bartlet testu pod hranicí pro potvrzení hypotézy o shodě rozptylu, což je předpokladem použití analýzy rozptylu. Z toho důvodu jsem dále hodnotil pouze výsledky dvojné ANOVA, kde byl jako zdroj variability uvažován genotyp a způsob pěstování. Pokud byl zjištěn pozitivní Bartletův test v tomto případě, data jsem logaritmicky transformoval a znovu je zhodnotil ANOVA dvojného třídění s interakcemi i Bartletovým testem. Výsledky jednotlivých analýz jsou znázorněny v tab. 2 a 3–18 v kapitole 5.5.1.

Následně jsem provedl detailní statistické hodnocení pouze těch parametrů, u kterých byly z ANOVA patrné průkazné rozdíly. Pro hodnocení rozdílů mezi genotypy jsem využil jednoduché třídění a hodnotil jsem samostatně rostliny pěstované v optimálních podmínkách a rostliny vystavené zaplavení. Pro hodnocení rozdílů mezi způsobem pěstování jsem využil jednoduché třídění a hodnotil jsem samostatně jednotlivé genotypy. Analýza variance byla následovaná Tukey-Kramerovým testem mnohonásobného srovnání. I u tohoto testu jsem nejprve pomocí Bartlettova testu ověřoval, že výběry pocházejí z normálních rozdělení se stejným rozptylem. Pokud tento test vyšel průkazný, data jsem dále hodnotil Welch ANOVA s Games-Howellovým testem (tab. 20-23 v kapitole 5.1.1.). Pro hodnocení interakcí mezi způsobem pěstování a genotypem jsem postupoval téměř stejným způsobem s rozdílem, že byly hodnoceny zvlášť jednotlivé genotypy (tab. 24-25 v kapitole 5.1.1.).

Rozdíly mezi listovými patry jsem posuzoval jako procenta vztažená k vývojově staršímu listu, jehož hodnota představuje 100 %, Hodnoty parametrů pro mladší listy byly použity z předchozích měření (Čečetka 2018) (tab. 26 v kapitole 5.3.3.).

Vztahy mezi jednotlivými parametry jsem posuzoval pomocí Pearsonova korelačního koeficientu. Jako základní data jsem použil průměrné hodnoty (po odstranění odlehlých hodnot) jednotlivých parametrů daných genotypů a způsobu pěstování.

U provedených statistických analýz jsem zvolil jako kritickou hladinu významnosti 5 % ( $p=0,05$ ). Data byla hodnocena pomocí programu CoStat (*CoHort Software Monterey 1998-*

2003, USA). V případě Welchovy ANOVA a Games-Howellova testu byl použit výpočtový soubor dostupný na <http://www.biostathandbook.com/onewayanova.html#welch>.

**Tabulka 2:** Schématické znázornění prováděných statistických analýz v kapitole 5.5.1.

Statistická analýza	Zdroj variability	Výsledky statistických analýz																							
		Tab.3	Tab. 4	Tab. 5	Tab. 6	Tab. 7	Tab. 8	Tab. 9	Tab. 10	Tab. 11	Tab. 12	Tab. 13	Tab. 14	Tab. 15	Tab. 16	Tab. 17	Tab. 18	Tab. 19	Tab. 20	Tab. 21	Tab. 22	Tab. 23	Tab. 24	Tab. 25	
Trojná anova	Genotyp, Pěstování, Stáří	■																							
	Genotyp, Pěstování, Listové patro		■	■																					
Dvojná anova	Genotyp, Listové patro				■	■	■	■																	
	Pěstování, Listové patro								■	■	■	■	■	■	■	■									
	Genotyp, Pěstování																■	■							
Jednoduchá anova	Genotyp																				■	■			
Tukey-Kramer nebo Games-Howellův test	Genotyp																					■	■		
	Pěstování																							■	■

## 5. Výsledky

### 5.1. Morfologické parametry

Během zaplavení docházelo k ovlivnění celé řady morfologických parametrů. Z analýzy rozptylu dvojného třídění vyplynuly průkazné rozdíly mezi genotypy u všech pozorovaných parametrů (tab. 18, 19). Tyto rozdíly potvrdila následná ANOVA jednoduchého třídění (tab. 22, 23). ANOVA dvojného třídění ukázala též u mladších rostlin interakce mezi genotypy a způsobem pěstování (tab. 22). Následná ANOVA jednoduchého třídění ukázala rozdíly mezi způsobem pěstování a genotypy (tab. 24).

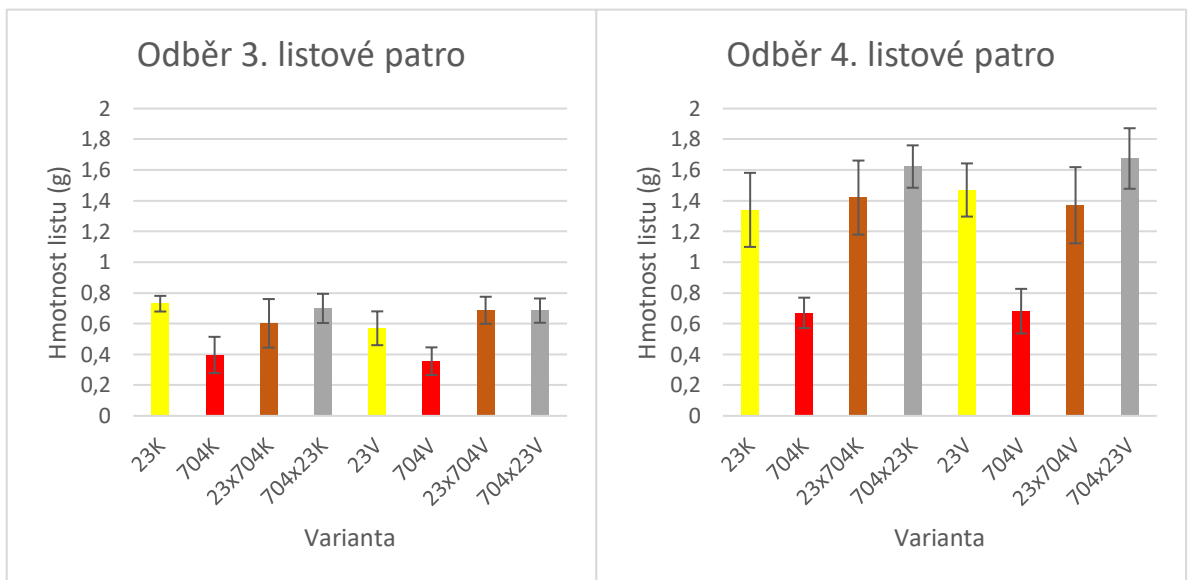
U mladších rostlin u parametru hmotnosti čerstvé biomasy, jak v podmínkách zaplavení, tak v optimálních podmínkách pěstování dosahovala linie CE704 průkazně nejnižších hodnot oproti ostatním genotypům, které se mezi sebou průkazně nelišily (obr. 12. tab. 22). U starších rostlin v optimálních podmínkách pěstování dosahovala průkazně nejnižších hodnot hmotnosti linie CE704, nejvyšší hodnoty vykazoval kříženec CE704x2023. Linie 2023 dosahovala průkazně nižších hodnot oproti kříženci 2023xCE704. V podmínkách zaplavení dosahovala opět průkazně nejnižších hodnot linie CE704 a průkazně nejvyšších hodnot kříženec CE704x2023 oproti sledovaným genotypům. Linie 2023 dosahovala průkazně vyšších hodnot oproti kříženci 2023xCE704 (obr. 12 tab. 23).

U mladších rostlin v optimálních podmínkách pěstování dosahovala linie CE704 průkazně nejnižších hodnot plochy listu. Naopak linie 2023 dosahovala průkazně nejvyšších hodnot oproti sledovaným genotypům. Kříženec CE704x 2023 dosahoval průkazně vyšších hodnot oproti kříženci 2023xCE704. U rostlin vystavených stresu zaplavením dosahovala průkazně nejnižších hodnot linie CE704 oproti ostatním genotypům, které se mezi sebou průkazně nelišily (obr. 13 tab. 22). U starších rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách dosahoval průkazně nejnižších hodnot linie CE704 a naopak kříženec CE704x2023 dosahoval průkazně nejvyšších hodnot oproti sledovaným genotypům. Linie 2023 dosahovala průkazně vyšších hodnot oproti kříženci 2023xCE704. V podmínkách zaplavení dosahovala průkazně nejnižších hodnot linie CE704 proti zbylým genotypům, které se mezi sebou průkazně nelišily (obr. 13 tab. 23).

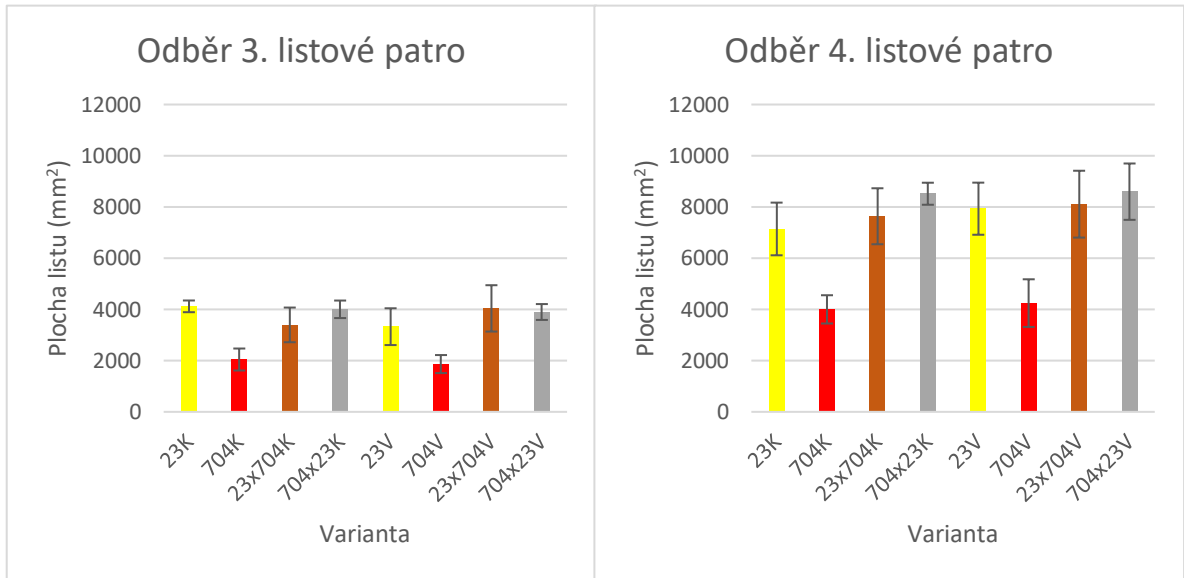
Ve specifické hmotnosti listu nebyly u mladších rostlin v kontrolních podmínkách zjištěny průkazné rozdíly mezi genotypy (tab. 22). V podmínkách zaplavení dosahovala

průkazně vyšších hodnot linie CE704 oproti ostatním genotypům, které se mezi s sebou průkazně nelišily (obr. 14 tab. 22). U starších rostlin jak v kontrolních, tak v podmínkách zaplavení dosahovala průkazně nejnižších hodnot linie CE704 oproti sledovaným genotypům, které se mezi s sebou průkazně nelišily (obr. 14 tab. 23).

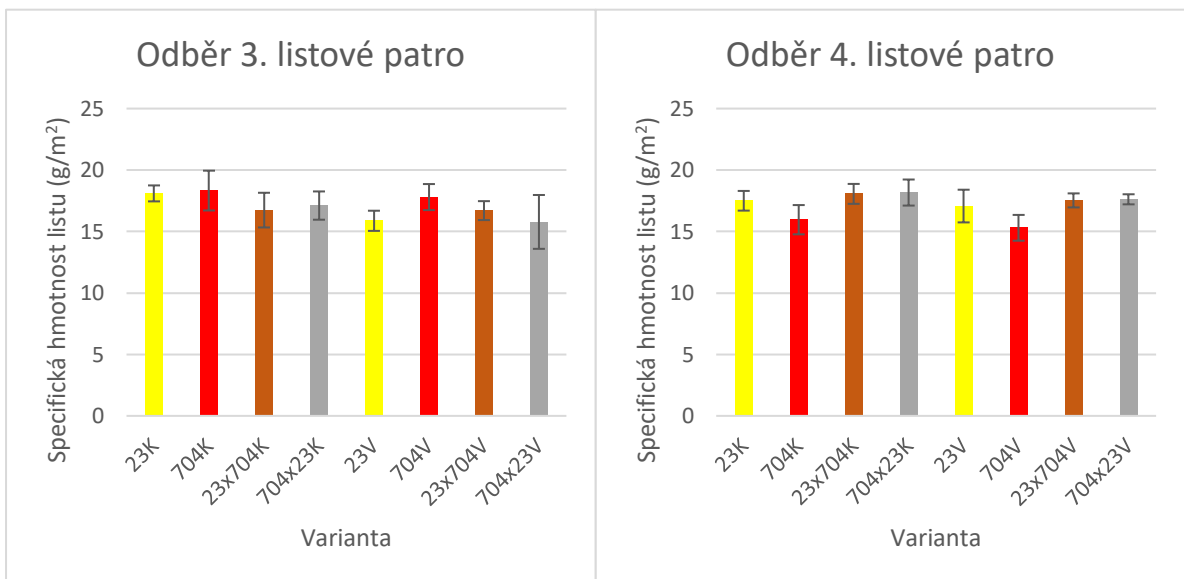
**Obr. 12: Hodnoty hmotnosti čerstvé biomasy listů** dvou inbredních linií kukuřice (2023, CE7044) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704, CE704x2023) u mladších (3. listové patro) a starších (4. listové patro) rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (K) nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní (V). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). Výsledky statistické analýzy ANOVA jsou uvedeny v kapitole 5.5.



**Obr. 13: Hodnoty plochy listové čepele** dvou inbredních linií kukuřice (2023, CE7044) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704, CE704x2023) u mladších (3. listové patro) a starších (4. listové patro) rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (K) nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní (V). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). Výsledky statistické analýzy ANOVA jsou uvedeny v kapitole 5.5.



**Obr. 14: Hodnoty specifické hmotnosti listu** dvou inbredních linií kukuřice (2023, CE7044) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704, CE704x2023) u mladších (3. listové patro) a starších (4. listové patro) rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (K) nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní (V). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). Výsledky statistické analýzy ANOVA jsou uvedeny v kapitole 5.5.





## 5.2. Parametry vodního stavu rostlin

### 5.2.1. Rychlost transpirace

Rychlost transpirace se pohybovala v širokém rozmezí hodnot (1,58-2,70 mmol/m<sup>2</sup>s). U mladších rostlin je nejednoznačná odpověď na zaplavení. U některých genotypů vedlo zaplavení k poklesu hodnot transpirace, zatímco u jiných naopak k jejich nárůstu. U starších rostlin vedlo zaplavení s výjimkou linie 2023 k poklesu rychlosti transpirace.

ANOVA dvojného třídění naznačila průkazné rozdíly pouze mezi genotypy u starších rostlin (tab. 19)

U mladších rostlin nebyly zjištěny průkazné rozdíly mezi genotypy, avšak z výsledků je patrné že v kontrolních podmínkách dosahovala nevyšších hodnot linie 2023 a kříženec 2023xCE704 dosahoval nejnižších hodnot oproti sledovaným genotypům. V podmínkách zaplavení dosahoval nejnižších hodnot kříženec 2023xCE704 a nejvyšších naopak linie 2023 oproti sledovaným genotypům (obr. 15).

U starších rostlin vykazovala linie CE704 v optimálních podmínkách pěstování průkazně nejvyšších hodnot ve srovnání s ostatními genotypy, které se mezi sebou nelišily. V podmínkách zaplavení dosahovala průkazně nejvyšších hodnot rodičovská linie CE704. Rodičovská linie 2023 vykazovala průkazně vyšší hodnoty oproti kříženci 2023xCE704. Naopak průkazně nejnižších hodnot dosahoval reciproký kříženec CE704x2023 (obr. 15, tab. 23).

### 5.2.2. Vodivost průduchů

Hodnoty vodivosti průduchů se pohybovaly v širokém rozpětí hodnot (0,08-0,12 mmol/m<sup>2</sup>s). Reakce mladších rostlin na zaplavení opět nebyla jednoznačná. U linie 2023 a křížence 2023xCE704 vedlo zaplavení k nárůstu hodnot, a naopak u zbylých genotypů k jejich poklesu. U starších rostlin byl sledován nárůst hodnot v podmínkách zaplavení jenom u rodičovské linie 2023.

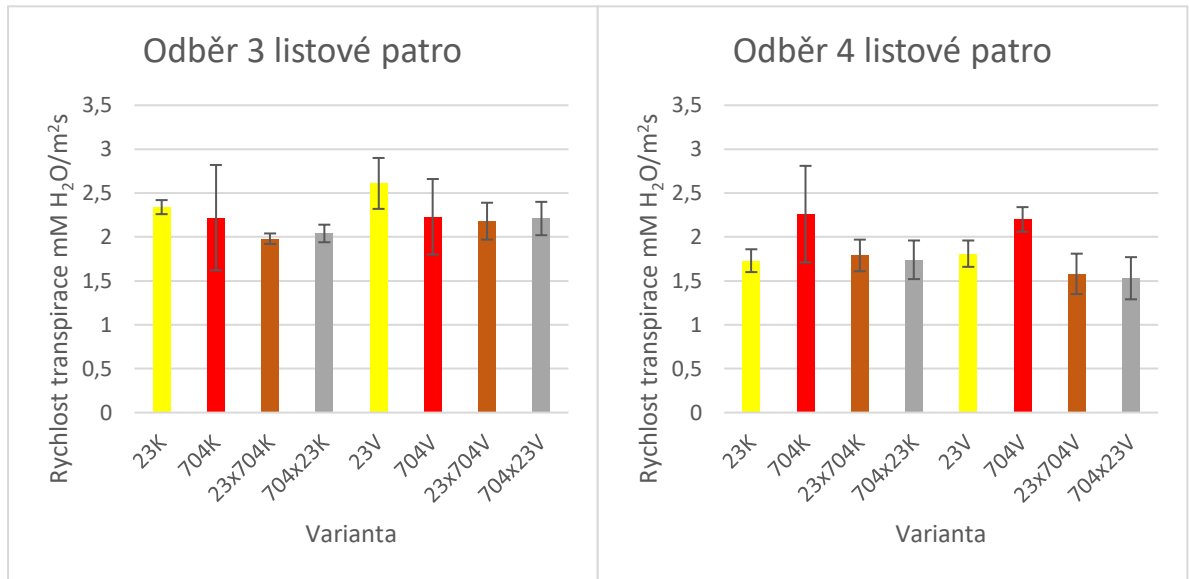
ANOVA dvojného třídění naznačila průkazné rozdíly mezi genotypy u starších rostlin (tab. 19). ANOVA dvojného třídění též ukázala interakce mezi genotypy a způsobem pěstování u mladších rostlin (tab. 18). Následné ANOVA jednoduchého třídění ukázaly průkazné rozdíly mezi genotypy (tab. 23) a rozdíly mezi genotypy a způsobem pěstování (tab. 24)

U mladších rostlin nebyly zjištěny průkazné rozdíly mezi studovanými genotypy, avšak z výsledků je patrné, že v optimálních podmínkách pěstování dosahovaly vyšších hodnot rodičovské linie oproti křížencům. V podmínkách zaplavení dosahovala linie 2023 vyšších hodnot, a naopak linie CE704 nižších hodnot proti ostatním studovaným genotypům (obr. 16).

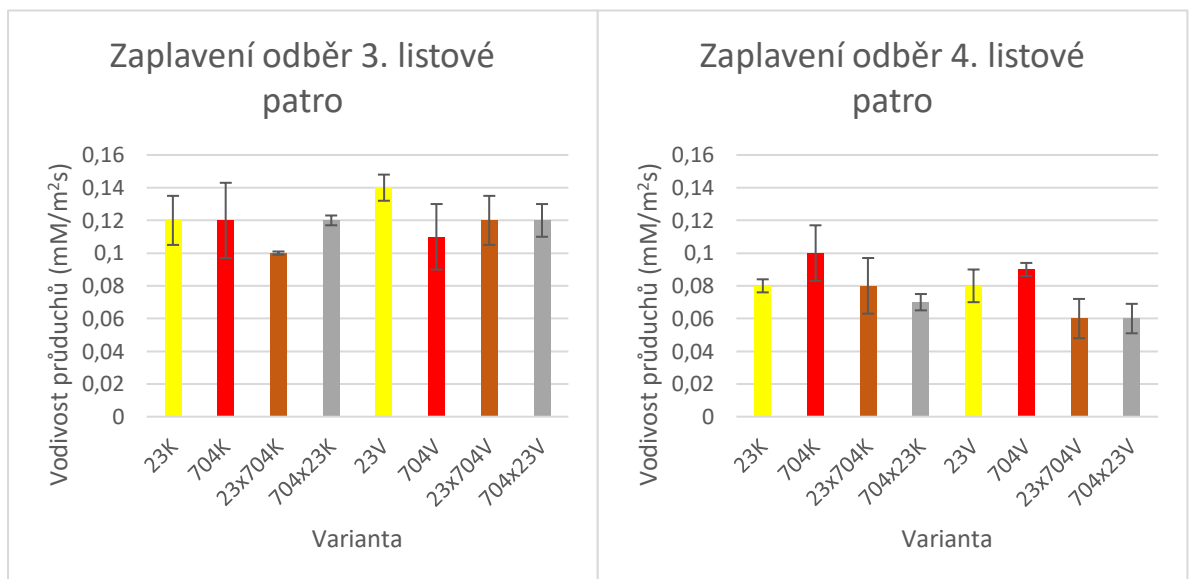
Zároveň linie 2023 dosahovala průkazně vyšších hodnot u rostlin vystavených zaplavení oproti rostlinám pěstovaným v optimálních podmínkách pěstování (obr. 16, tab.24).

U starších rostlin v optimálních podmínkách pěstování dosahovala průkazně nejvyšších hodnot linie CE704 a průkazně nejnižších hodnot kříženci, kteří se mezi sebou průkazně nelišili. V podmínkách zaplavení dosahovaly průkazně vyšších hodnot rodičovské linie naopak kříženci dosahovali průkazně nižších hodnot a mezi sebou se opět nelišili (obr. 16. tab. 23).

**Obr. 15: Hodnoty rychlosti transpirace** dvou inbredních linií kukuřice (2023, CE7044) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704, CE704x2023) u mladších (3. listové patro) a starších (4. listové patro) rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (K) nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní (V). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). Výsledky statistické analýzy ANOVA jsou uvedeny v kapitole 5.5.



**Obr. 16: Hodnoty vodivosti průduchů** dvou inbredních linií kukuřice (2023, CE7044) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704, CE704x2023) u mladších (3. listové patro) a starších (4. listové patro) rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (K) nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní (V). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). Výsledky statistické analýzy ANOVA jsou uvedeny v kapitole 5.5.



### 5.2.3. Efektivní využití vody

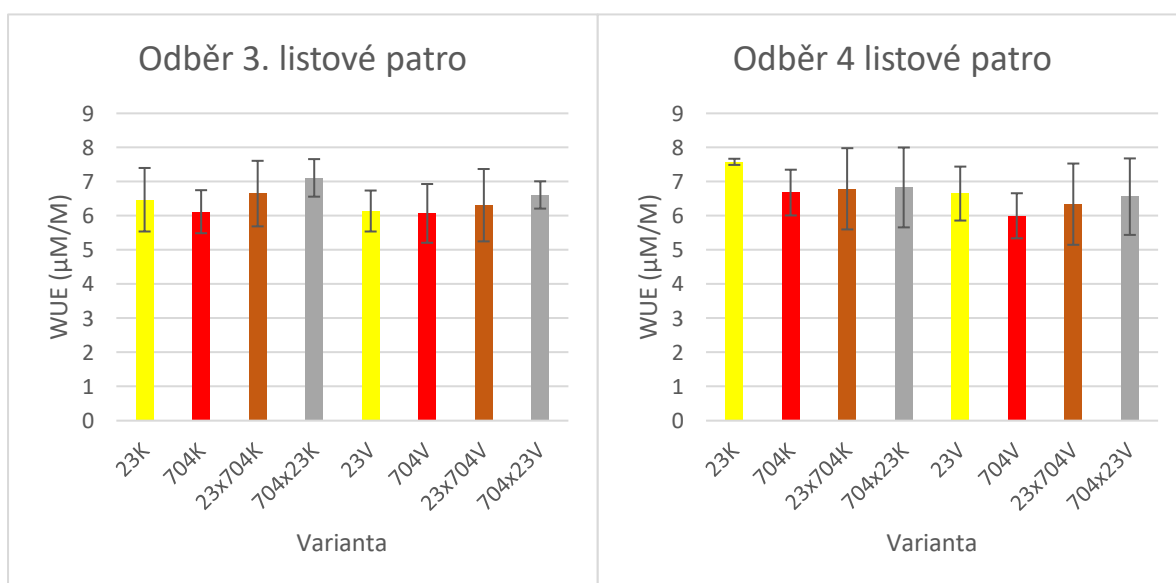
Hodnoty efektivity využití vody se pohybovaly v širokém rozmezí hodnot (2,29-9,26  $\mu\text{mol/mol}$ ). Zaplavení vedlo u mladších i starších rostlin k poklesu hodnot tohoto parametru, který byl mírně výraznější u starších rostlin.

ANOVA dvojného třídění nenaznačila průkazné rozdíly mezi genotypy ani interakce mezi genotypy a způsobem pěstování (tab. 18, 19.)

U mladších rostlin v kontrolních podmínkách pěstování měla nejnižší hodnoty tohoto parametru linie CE704 a nejvyšší kříženec CE704x2023. U rostlin vystavených stresu zaplavením dosahovaly nižších hodnot linie 2023 a CE704, které se mezi sebou nelišily, nejvyšší hodnoty vykazoval opět kříženec CE704x2023 (obr. 17).

U starších rostlin v kontrolních podmínkách pěstování dosahovala linie 2023 vyšších hodnot oproti ostatním genotypům, které se mezi sebou nelišily. V podmínkách stresu zaplavením dosahovala vyšších hodnot linie 2023, naopak nižších linie CE704 (obr. 17).

**Obr. 17: Hodnoty efektivního využití vody ( $\text{g}_s/\text{A}$ ) dvou inbredních linií kukuřice (2023, CE7044) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704, CE704x2023) u mladších (3. listové patro) a starších (4. listové patro) rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (K) nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní (V). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky ( $n=5$ ). Výsledky statistické analýzy ANOVA jsou uvedeny v kapitole 5.5.**



### 5.3. Fotosyntetické parametry

#### 5.3.1. Rychlost čisté fotosyntézy

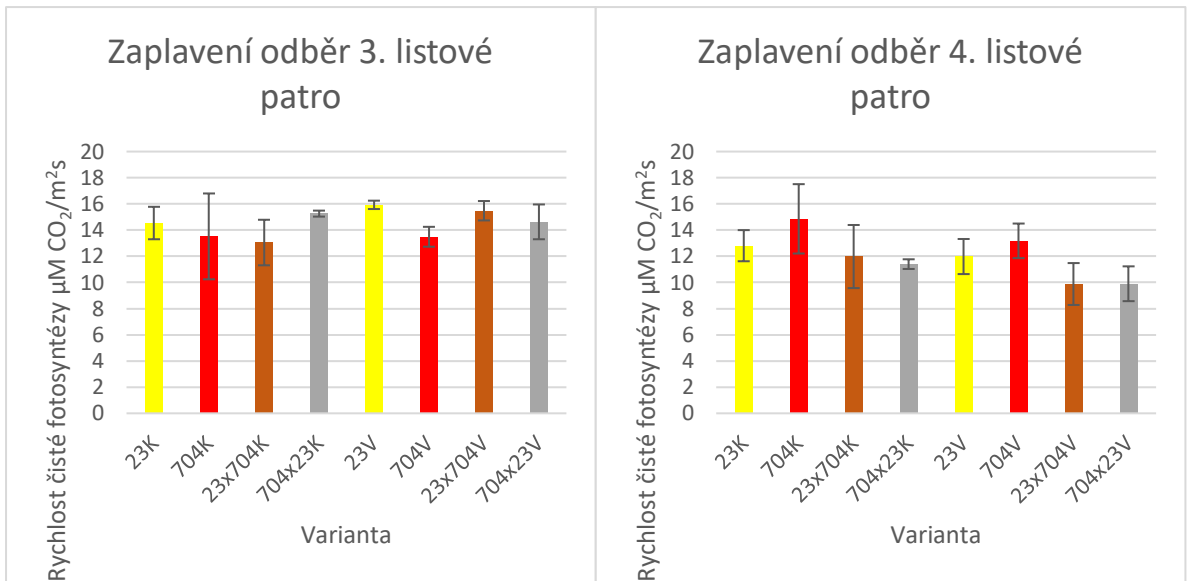
Hodnoty rychlosti čisté fotosyntézy se pohybovaly v rozmezí hodnot (9,88-15,93  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ). U mladších rostlin docházelo u linie 2023 a křížence 2023xCE704 k nárůstu hodnot a u zbylých genotypů naopak k jejich poklesu. U starších rostlin vedlo zaplavení u všech sledovaných genotypů k poklesu hodnot tohoto parametru.

ANOVA dvojného třídění naznačila průkazné rozdíly pouze mezi genotypy u starších rostlin (tab. 19).

U mladších rostlin nebyly zjištěny statisticky průkazné rozdíly (tab. 18), ale z výsledků je patrně, že v optimálních podmínkách pěstování dosahoval kříženec CE704x2023 vyšších hodnot, a naopak kříženec 2023xCE704 dosahoval nižších hodnot tohoto parametru oproti zbylým genotypům. V podmínkách zaplavení dosahovala vyšších hodnot rychlosti fotosyntézy linie 2023 a nižších linie CE704 oproti sledovaným genotypům (obr. 18).

U starších rostlin v optimálních podmínkách pěstování dosahovala průkazně nejvyšších hodnot linie CE704, naopak průkazně nejnižších hodnot dosáhli kříženci, kteří se mezi sebou nelišili. V podmínkách zaplavení dosahovaly průkazně nejvyšších hodnot linie 2023 a CE704, které se mezi sebou nelišily. Naopak průkazně nejnižších hodnot dosáhli kříženci, kteří se mezi sebou nelišili (obr. 18, tab. 23).

**Obr. 18: Hodnoty rychlosti čisté fotosyntézy** dvou inbredních linií kukuřice (2023, CE7044) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704, CE704x2023) u mladších (3. listové patro) a starších (4. listové patro) rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (K) nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní (V). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). Výsledky statistické analýzy ANOVA jsou uvedeny v kapitole 5.5.



### 5.3.2. Primární fotosyntetické procesy

Během vystavení rostlin stresu způsobeném zaplavením docházelo k ovlivnění hodnot celé řady parametrů týkajících se primární fáze fotosyntézy. Z ANOVA dvojného třídění jsou patrné průkazné rozdíly mezi jednotlivými genotypy a interakce mezi genotypy a způsobem pěstování (tab. 18, 19). Tyto rozdíly následně potvrdila ANOVA jednoduchého třídění (tab. 20, 21) i test mnohonásobného srovnání (tab. 22, 23). U mladších rostlin byly průkazné i rozdíly mezi způsobem pěstování (tab. 24).

U **maximálního kvantového výtěžku fotosystému II ( $\phi P_0$ )** byly nalezeny průkazné rozdíly mezi genotypy u mladších (tab. 22) i starších rostlin (tab. 23) a zároveň i interakce mezi způsobem pěstování a genotypy u mladších rostlin (tab. 24). U mladších rostlin v optimálních podmínkách pěstování dosahovala linie CE704 průkazně nižších hodnot  $\phi P_0$  oproti sledovaným genotypům, které se mezi sebou průkazně nelišily. V podmínkách zaplavení podobně jako v optimálních podmínkách dosahovala linie CE704 průkazně nižších hodnot  $\phi P_0$  oproti sledovaným genotypům, které se mezi sebou průkazně nelišily (obr. 19, tab. 22). Zároveň se u linie 2023 průkazně lišily hodnoty parametru  $\phi P_0$  v závislosti na způsobu pěstování, kdy v optimálních podmínkách dosahovala tato linie vyšších hodnot než po zaplavení (obr. 19, tab. 24).

U starších rostlin v optimálních podmínkách pěstování dosahovala průkazně nižších hodnot linie CE704 oproti ostatním genotypům, které se mezi sebou nelišily. V podmínkách zaplavení dosáhly průkazně nevyšších hodnot křížence 2023xCE704 a linie 2023, naopak průkazně nejnižších hodnot dosáhla linie CE704.

V případě parametru popisujícího **kvantový výtěžek toku přenosu elektronu z QA na QB ( $\phi E_0$ )** byly nalezeny průkazné rozdíly mezi genotypy u mladších (tab. 22) i starších rostlin (tab. 23). U mladších rostlin byly nalezeny rozdíly jenom v podmínkách zaplavení, kdy průkazně vyšší hodnoty byly zjištěny u linie CE704 proti sledovaným genotypům a průkazně nejnižší hodnoty naopak u linie 2023. Kříženci se průkazně mezi sebou nelišili (obr. 20, tab. 22).

U starších rostlin v kontrolních podmínkách pěstování vykazovala nevyšší hodnoty tohoto parametru linie CE704, která se průkazně lišila od ostatních genotypů, nejnižší hodnoty byly zjištěny u linie 2023. Křížence CE704x2023 dosáhl průkazně vyšších hodnot  $\phi E_0$  než křížence 2023xCE704. V podmínkách vystavení stresu zaplavení dosahoval průkazně vyšších hodnot křížence CE704x2023 oproti sledovaným genotypům. Nejnižších hodnot dosáhla opět

linie 2023, která se průkazně lišila od ostatních genotypů, zatímco linie CE704 a kříženec 2023xCE704 se mezi sebou průkazně nelišili (obr. 20 tab. 23).

U parametru popisujícího **kvantový výtěžek toku přenosu elektronů až na koncové akceptory PSI ( $\phi RE0$ )** byly nalezeny průkazné rozdíly mezi genotypy u mladších (tab. 22) i starších rostlin (tab. 23) a zároveň interakce mezi genotypy a způsobem pěstování (tab. 18). U mladších rostlin v optimálních podmínkách pěstování dosáhla průkazně vyšších hodnot linie 2023 oproti ostatním genotypům. Linie CE704 naopak dosáhla průkazně nejnižších hodnot a kříženci se mezi sebou průkazně nelišili. V podmínkách zaplavení dosáhl kříženec 2023xCE704 průkazně vyšších hodnot tohoto parametru oproti sledovaným genotypům. Linie CE704 naopak dosáhla průkazně nejnižších hodnot a linie 2023 a kříženec CE704x2023 se průkazně nelišili (obr. 21, tab. 22). Zároveň stresované rostliny linie 2023 vykazovaly průkazně nižší hodnoty než rostliny pěstované v kontrolních podmínkách (obr. 21, tab. 24).

U starších rostlin v optimálních podmínkách pěstování dosáhla linie CE704 průkazně nejnižších hodnot  $\phi RE0$  oproti sledovaným genotypům, které se mezi sebou průkazně nelišily. U stresovaných rostlin dosahovala průkazně nejvyšších hodnot linie 2023, nejnižší hodnoty byly zjištěny stejně jako v optimálních podmínkách pěstování u linie CE704 a u křížence CE704x2023, kteří se mezi sebou nelišili (obr. 21 tab. 23).

Průkazné rozdíly mezi genotypy mladších (tab. 22) i starších rostlin (tab. 23) byly zjištěny u parametru **kvantového výtěžku disipace přebytečné energie ( $\phi D0$ )** a zároveň u mladších rostlin byly zjištěny interakce mezi genotypem a způsobem pěstování (tab. 18). U mladších rostlin v kontrolních podmínkách dosáhla linie CE704 průkazně vyšších hodnot tohoto parametru oproti sledovaným genotypům, které se mezi sebou průkazně nelišily. Rovněž v podmínkách zaplavení dosahovala linie CE704 průkazně vyšších hodnot ve srovnání s ostatními genotypy, s výjimkou linie 2023 (obr. 11, tab. 22). Zároveň linie 2023 dosahovala průkazně vyšších hodnot tohoto parametru u rostlin vystavených stresu oproti kontrolním (obr. 22, tab. 24).

U starších rostlin v optimálních podmínkách pěstování dosáhla linie CE704 průkazně vyšších hodnot tohoto parametru oproti sledovaným genotypům, které se mezi sebou průkazně nelišily. Podobné vztahy byly potvrzeny i v podmínkách zaplavení s výjimkou, kdy Linie 2023 a kříženec 2023xCE704 dosáhli průkazně nejnižších hodnot a mezi sebou se nelišili (obr. 22 tab. 23).



V případě parametru popisujícího **účinnost přenosu elektronu zachyceného na PSII z  $Q_A$  na  $Q_B$  ( $\psi_0$ )** byly zjištěny průkazné rozdíly mezi genotypy u mladších (tab. 22) i starších rostlin (tab. 23). U mladších rostlin v optimálních podmínkách pěstování dosáhla linie 2023 průkazně nejvyšších hodnot  $\psi_0$ , naopak linie CE704 dosáhla průkazně nejnižších hodnot. Kříženec CE704x2023 dosáhl vyšších hodnot  $\psi_0$  oproti kříženci 2023xCE704. V podmínkách zaplavení vykazovala opět linie CE704 průkazně nižší hodnoty oproti sledovaným genotypům. Linie 2023 a kříženec 2023xCE704 dosáhli průkazně nejvyšších hodnot  $\psi_0$  (obr. 23, tab. 22).

U starších rostlin v kontrolních podmínkách pěstování byly zjištěny stejné výsledky jako u mladších rostlin, pouze kříženci se mezi sebou průkazně nelišili. Stejně vztahy mezi genotypy byly zjištěny i u rostlin vystavených stresu, některé rozdíly nebyly statisticky průkazné (obr. 23, tab. 23).

Také u parametru popisujícího **účinnost přenosu elektronu od PSII na koncové akceptory PSI ( $\psi_{RE0}$ )** byly zjištěny jako u předchozích parametrů průkazné rozdíly mezi genotypy u mladších (tab. 22) i starších rostlin (tab. 23). U mladších rostlin byly zjištěny průkazné rozdíly jenom u rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách, kdy linie CE704 dosahovala průkazně nižších hodnot oproti ostatním genotypům. U linie 2023 byly zjištěny průkazně nejvyšší hodnoty  $\psi_{RE0}$  a kříženec 2023xCE704 dosahoval průkazně vyšších hodnot oproti kříženci CE704x2023 (obr. 24, tab. 22).

U starších rostlin v kontrolních podmínkách dosahovala nízkých hodnot opět linie CE704, rozdíly ve srovnání s ostatními genotypy, které se vzájemně nelišily, byly statisticky průkazné. V podmínkách zaplavení dosahovala linie CE704 průkazně nejnižších hodnot ve srovnání s ostatními genotypy, linie 2023 vykazovala nejvyšší hodnoty tohoto parametru (rozdíly v porovnání se zbývajících genotypy byly statisticky průkazné) a kříženec 2023xCE704 dosáhl průkazně vyšších hodnot oproti kříženci CE704x2023 (obr. 24, tab. 23).

V případě parametru **účinnosti, se kterou je elektron zachycený PSII přenesený z  $Q_B$  až na koncové akceptory PSI ( $\Delta RE0$ )** byly jako u předchozích parametrů zjištěny průkazné rozdíly mezi genotypy u mladších (tab. 22) i starších rostlin (tab. 23). U mladších rostlin vykazovaly genotypy obdobné vztahy jako u předchozích parametrů (obr. 25, tab. 22).

U starších rostlin v optimálních podmínkách pěstování byly zjištěny průkazně vyšší hodnoty u linie 2023 a křížence CE704x2023, kteří se mezi sebou nelišili. Linie CE704 dosáhla průkazně nejnižších hodnot tohoto parametru. U rostlin vystavených zaplavení byly zjištěny

průkazně nejnižší hodnoty u linie CE704 a křížence 2023xCE704, kteří se mezi sebou nelišili, naopak průkazně nejvyšších hodnot  $\Delta RE0$  dosáhla linie 2023 (obr. 25, tab. 23).

U **performančního indexu uchování energie fotonu zachyceného světlosběrnou anténou PSII až po Q<sub>B</sub> (PI ABS)** byly zjištěny průkazné rozdíly mezi genotypy u mladších (tab. 22) i starších rostlin (tab. 23) a zároveň interakce mezi genotypy a způsobem pěstování u mladších rostlin (tab. 18). U mladších rostlin v optimálních podmínkách pěstování dosáhla průkazně nižších hodnot linie CE704 oproti ostatním genotypům, nejvyšších hodnot dosáhla linie 2023 a kříženec 2023xCE704 dosáhl průkazně vyšších hodnot oproti kříženci CE704x2023. U rostlin vystavených stresu byly zjištěny průkazně nejnižší hodnoty u linie CE704, a naopak nevyšší u kříženců, kteří se mezi sebou nelišili. Zároveň linie 2023 a oba kříženci dosahovali průkazně vyšších hodnot PI ABS v optimálních podmínkách pěstování oproti stresovaným rostlinám (obr. 26, tab. 22, 24).

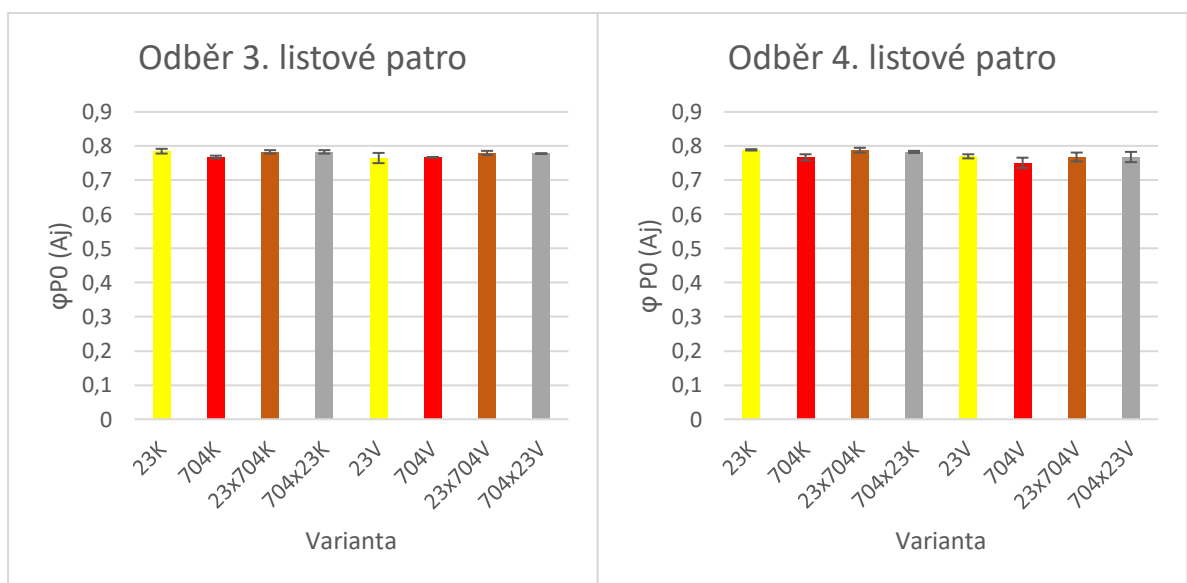
U starších rostlin byly zachovány obdobné vztahy mezi genotypy jako u mladších, avšak některé rozdíly byly oproti mladším rostlinám statisticky průkazné (obr. 26, tab. 23).

V případě parametru popisujícího **performanční index uchování energie fotonu zachyceného PSII až po koncové akceptory PSI (PI TOTAL)** stres způsobený zaplavením vedl ke snížení PI TOTAL. U mladších i starších rostlin ANOVA dvojnásobného třídění naznačila průkazné rozdíly mezi genotypy (tab. 18, 19) a zároveň i u mladších rostlin přítomnost interakcí mezi genotypem a způsobem pěstování (tab. 18). U mladších rostlin v kontrolních podmínkách dosáhla linie CE704 průkazně nižších hodnot než ostatní 3 genotypy. Naopak u linie 2023 byly zjištěny vyšší hodnoty oproti kříženci CE704x2023. U rostlin vystavených stresu zaplavením byly zjištěny průkazně nejnižší hodnoty PI TOTAL u linie CE704. Naopak průkazně nejvyšších hodnot dosáhl kříženec 2023xCE704. Linie 2023 a kříženec CE704x2023 se mezi sebou průkazně nelišili (obr. 27, tab. 22). Zároveň stresované rostliny linie 2023 dosahovaly průkazně nižších hodnot oproti kontrolním (obr. 27, tab. 24).

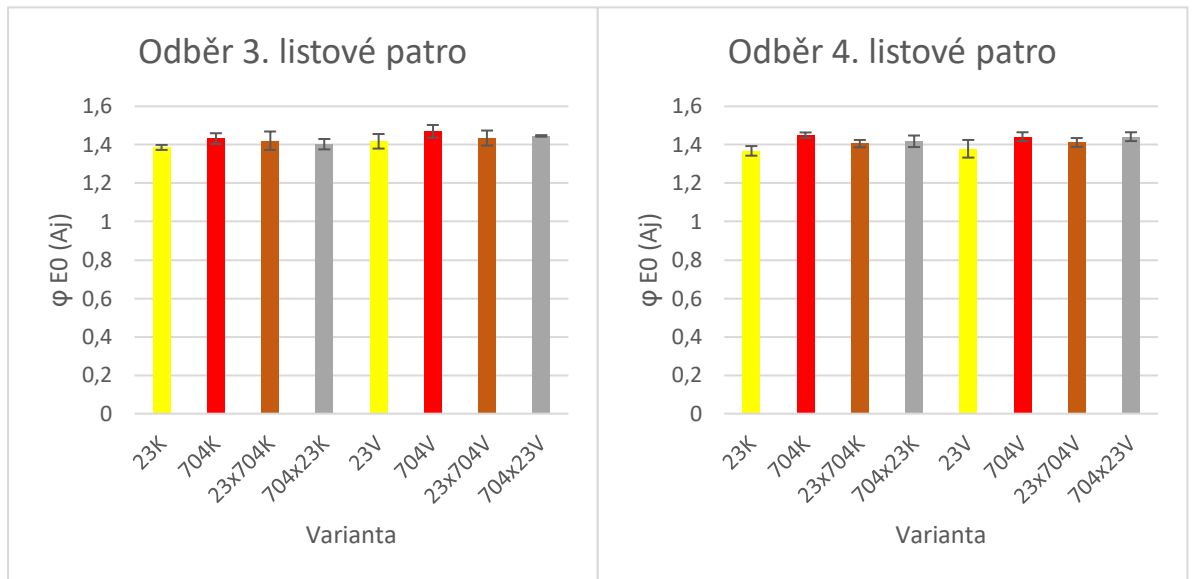
U starších rostlin v optimálních podmínkách pěstování dosahovala linie CE704 průkazně nižších hodnot oproti sledovaným genotypům, které se mezi sebou průkazně nelišily, avšak z výsledků je patrné, že linie 2023 dosahovala vyšších hodnot oproti křížencům (obr. 27). V podmínkách zaplavení dosahovala linie 2023 průkazně vyšších hodnot oproti kříženci 2023xCE704, avšak z výsledku je patrné, že vykazovala vyšší hodnoty oproti zbylým genotypům. U linie CE704 byly zjištěny nejnižší hodnoty tohoto parametru (obr. 27, tab. 23).

Podobně jako u mladších rostlin vedl stres způsobený zaplavením k výraznému poklesu hodnot PI TOTAL i u starších rostlin, ale rozdíly nebyly statisticky průkazné. Tento pokles byl nejvýraznější u rodičovské linie 2023 a reciprokých kříženců (obr. 27).

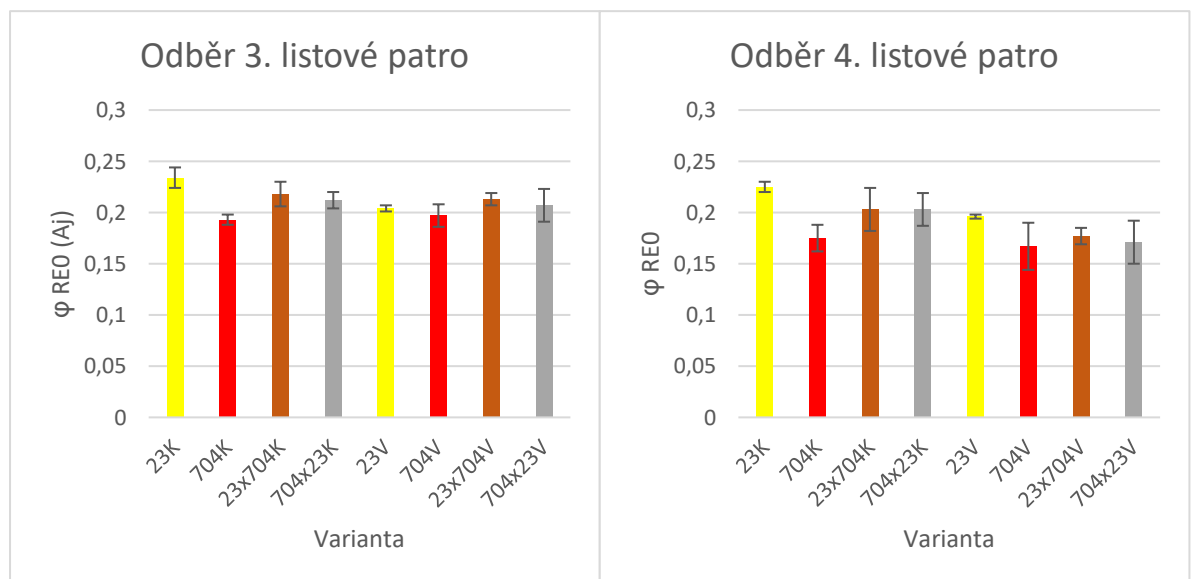
**Obr. 19: Hodnoty  $\phi P0$**  dvou inbredních linií kukuřice (2023, CE7044) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704, CE704x2023) u mladších (3. listové patro) a starších (4. listové patro) rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (K) nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní (V). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). Výsledky statistické analýzy ANOVA jsou uvedeny v kapitole 5.5.



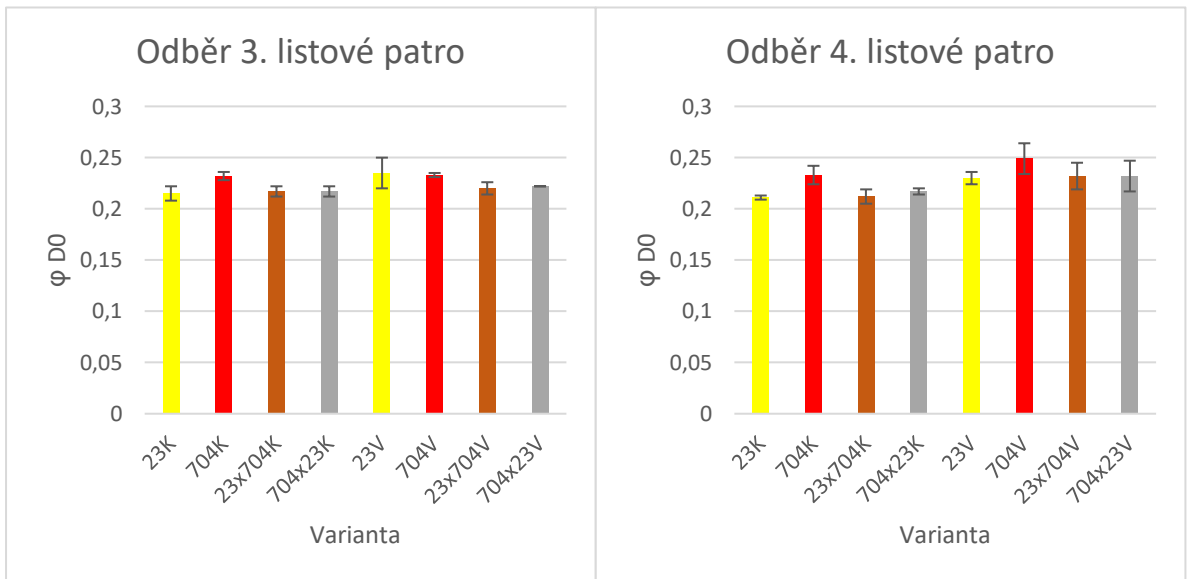
**Obr. 20: Hodnoty  $\phi_{EO}$**  dvou inbredních linií kukuřice (2023, CE7044) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704, CE704x2023) u mladších (3. listové patro) a starších (4. listové patro) rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (K) nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní (V). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). Výsledky statistické analýzy ANOVA jsou uvedeny v kapitole 5.5.



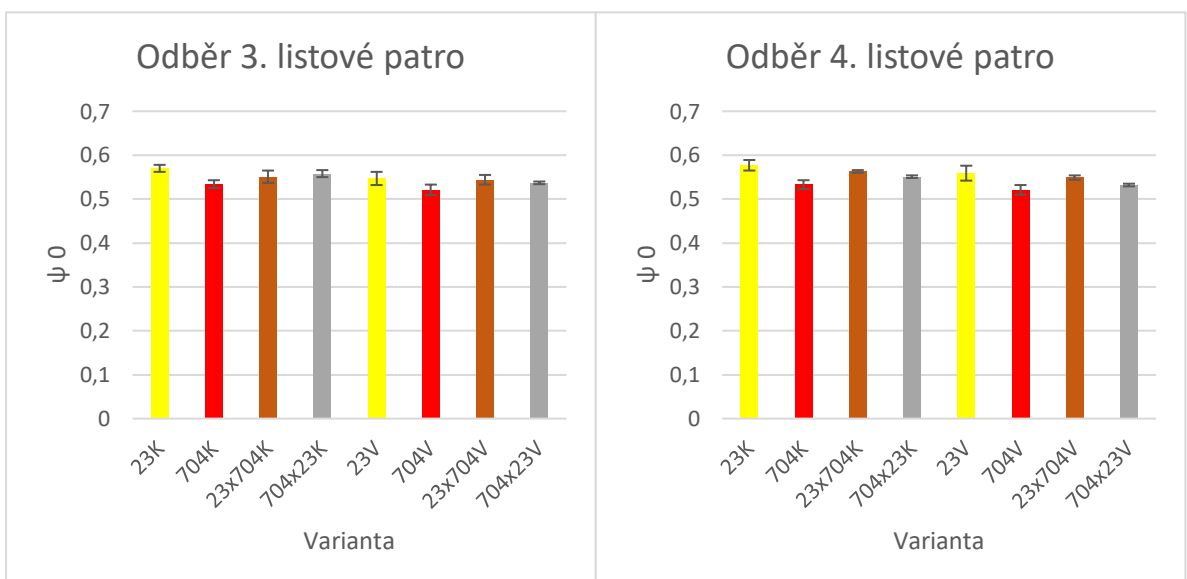
**Obr. 21: Hodnoty  $\phi_{REO}$**  dvou inbredních linií kukuřice (2023, CE7044) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704, CE704x2023) u mladších (3. listové patro) a starších (4. listové patro) rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (K) nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní (V). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). Výsledky statistické analýzy ANOVA jsou uvedeny v kapitole 5.5.



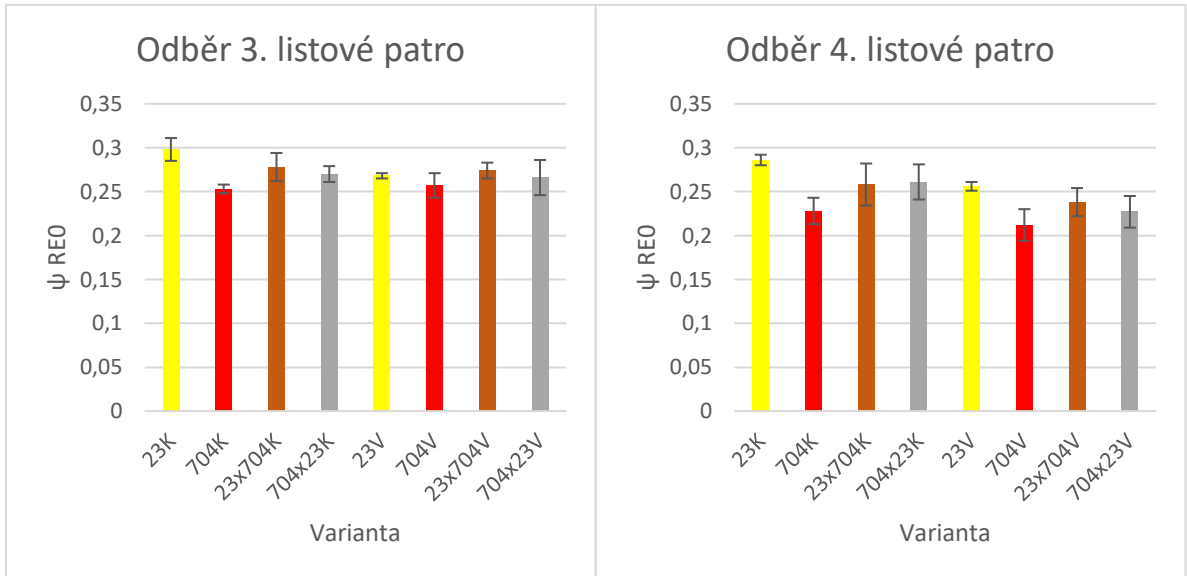
**Obr. 22: Hodnoty  $\phi D0$**  dvou inbredních linií kukuřice (2023, CE7044) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704, CE704x2023) u mladších (3. listové patro) a starších (4. listové patro) rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (K) nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní (V). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). Výsledky statistické analýzy ANOVA jsou uvedeny v kapitole 5.5.



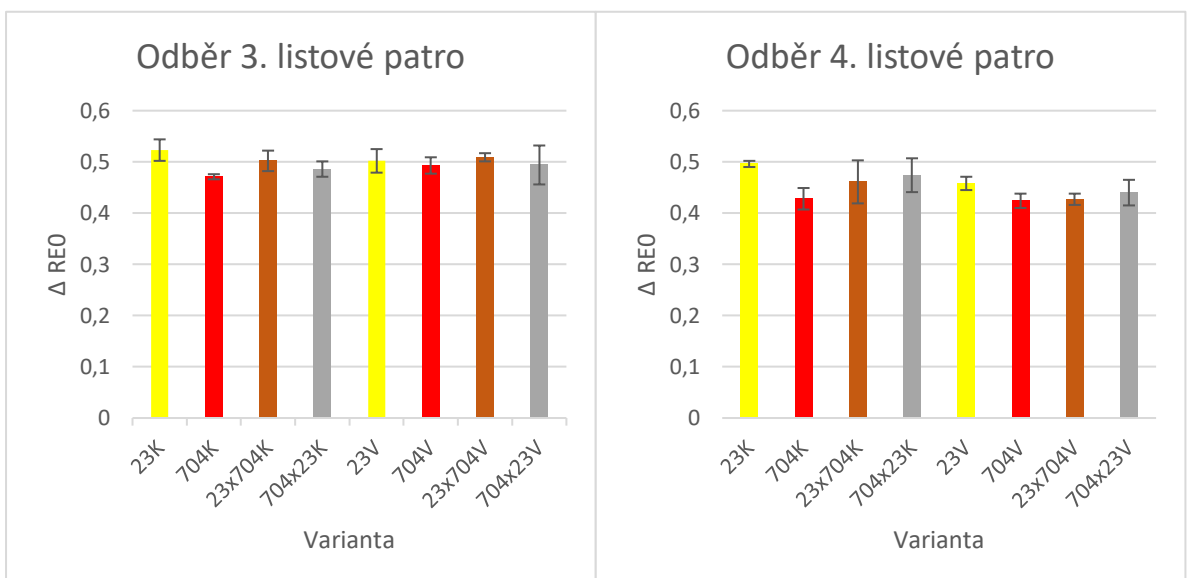
**Obr. 23: Hodnoty  $\psi 0$**  dvou inbredních linií kukuřice (2023, CE7044) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704, CE704x2023) u mladších (3. listové patro) a starších (4. listové patro) rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (K) nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní (V). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). Výsledky statistické analýzy ANOVA jsou uvedeny v kapitole 5.5.



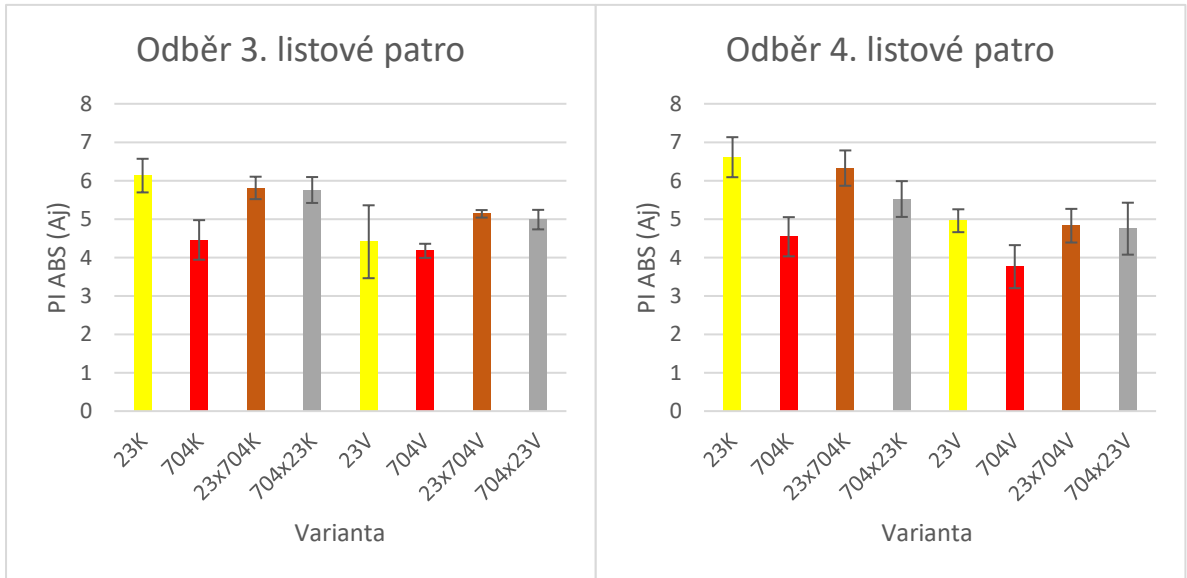
**Obr. 24: Hodnoty  $\psi$  RE0** dvou inbredních linií kukuřice (2023, CE7044) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704, CE704x2023) u mladších (3. listové patro) a starších (4. listové patro) rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (K) nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní (V). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). Výsledky statistické analýzy ANOVA jsou uvedeny v kapitole 5.5.



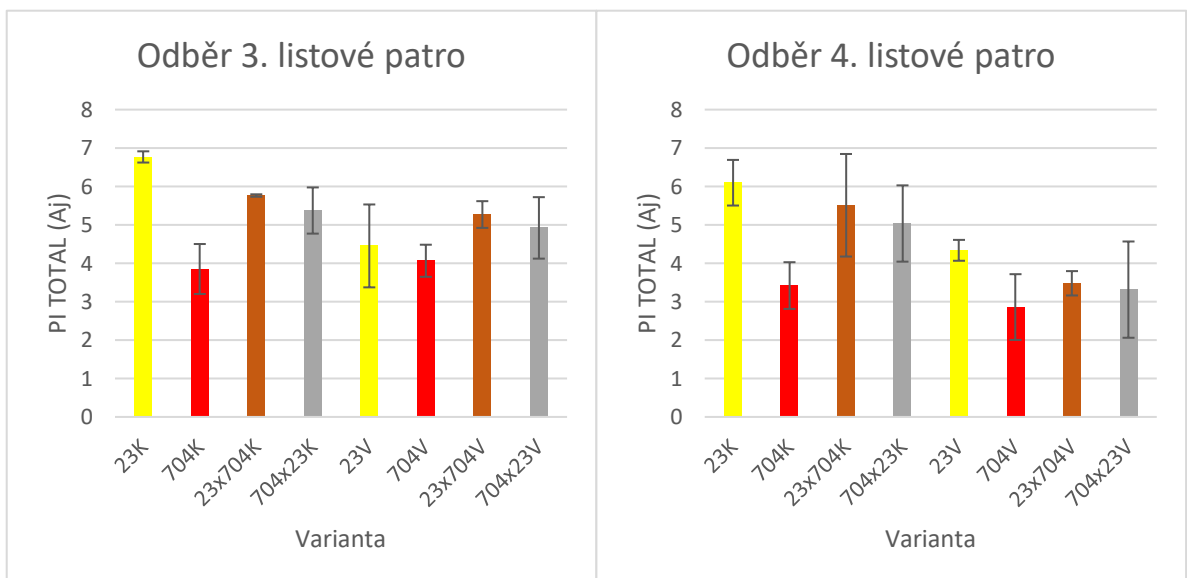
**Obr. 25: Hodnoty  $\Delta$  RE0** dvou inbredních linií kukuřice (2023, CE7044) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704, CE704x2023) u mladších (3. listové patro) a starších (4. listové patro) rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (K) nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní (V). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). Výsledky statistické analýzy ANOVA jsou uvedeny v kapitole 5.5.



**Obr. 26: Hodnoty PI ABS** dvou inbredních linií kukuřice (2023, CE7044) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704, CE704x2023) u mladších (3. listové patro) a starších (4. listové patro) rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (K) nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní (V). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). Výsledky statistické analýzy ANOVA jsou uvedeny v kapitole 5.5.



**Obr. 27: Hodnoty PI TOTAL** dvou inbredních linií kukuřice (2023, CE7044) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704, CE704x2023) u mladších (3. listové patro) a starších (4. listové patro) rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (K) nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní (V). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). Výsledky statistické analýzy ANOVA jsou uvedeny v kapitole 5.5.



### 5.3.3. Fotosyntetické pigmenty

Z uvedených výsledků je patrné, že zaplavení vede ke snížení obsahu chlorofylů v listu, které je výraznější u mladších rostlin. U obsahu karotenoidů vedlo zaplavení u mladších rostlin k poklesu hodnot s výjimkou linie 2023xCE704, u které byl zjištěn nárůst. U starších rostlin není pokles tak patrný a rozdíly mezi genotypy v kontrolních podmínkách pěstování a zaplavení se stírají (obr. 28-29).

Z ANOVA dvojného třídění jsou patrné (v závislosti na způsobu pěstování a způsobu přepočtu hodnot obsahu pigmentů) průkazné rozdíly mezi genotypy u mladších i starších rostlin (tab. 18, 19) a průkazné interakce mezi genotypy a způsobem pěstování u mladších i starších rostlin (tab. 18, 19).

U mladších rostlin v kontrolních podmínkách pěstování nebyly rozdíly mezi genotypy průkazné (tab. 22), avšak z výsledků je patrné, že linie CE704 převyšovala v obsahu chlorofylu a v přepočtu na listovou plochu ostatní genotypy. V podmínkách zaplavení dosahovali průkazně vyšších hodnot kříženci, kteří se mezi sebou průkazně nelišili, naopak průkazně nižších hodnot dosáhla linie 2023 (obr. 28, tab. 22).

U starších rostlin v kontrolních podmínkách pěstování nebyly zjištěny statisticky průkazné rozdíly mezi genotypy (tab. 23), ale ve srovnání s mladšími rostlinami se změnil vztahy mezi genotypy (obr. 28). Ve stresových podmínkách se rozdíly mezi genotypy stírají a výraznější rozdíl je patrný pouze u křížence CE704x2023, který dosahoval nižších hodnot oproti sledovaným genotypům (obr. 28).

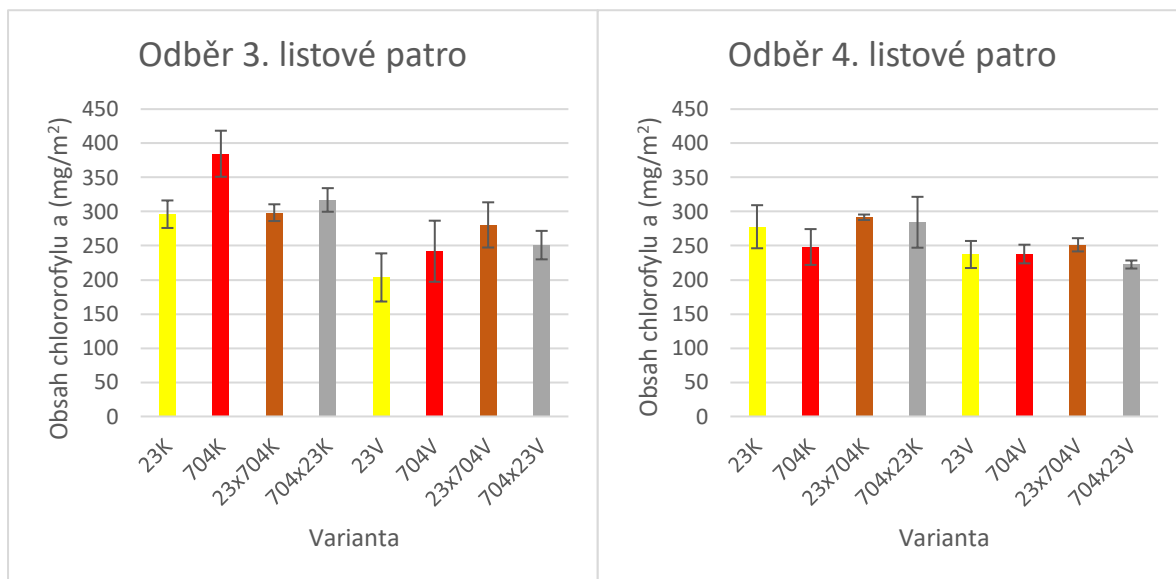
V obsahu karotenoidů byly zjištěny průkazné rozdíly mezi genotypy u mladších i starších rostlin v kontrolních i stresových podmínkách. U mladších rostlin v optimálních podmínkách pěstování dosahoval průkazně nejvyšších hodnot obsahu karotenoidů kříženec CE704x2023 naopak průkazně nižších hodnot dosahovali linie CE704 a kříženec 2023xCE704, kteří se mezi sebou nelišili. Nejnižších hodnot dosahovala průkazně linie 2023. V podmínkách zaplavení byly mezi genotypy zjištěny podobné vztahy jako v obsahu chlorofylu *a* (obr. 29, tab. 22).

Rovněž u starších rostlin odpovídaly vztahy mezi genotypy výsledkům, zjištěným pro obsah chlorofylu *a*, a to jak v případě optimálních, tak stresových podmínek (obr. 29, tab. 23).

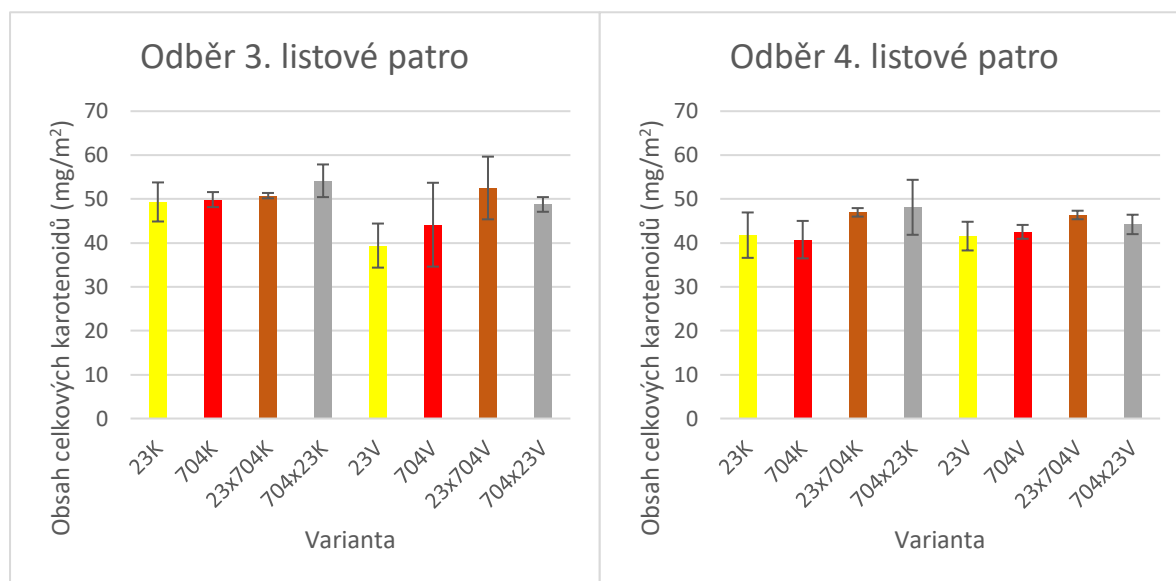
Poměr chlorofylu *a/b* nebyl ovlivněn zaplavením ani vývojovou fází rostlin a u všech genotypů byly zjištěny srovnatelné výsledky, jak v podmínkách zaplavení, tak i v optimálních podmínkách pěstování (obr. 30).



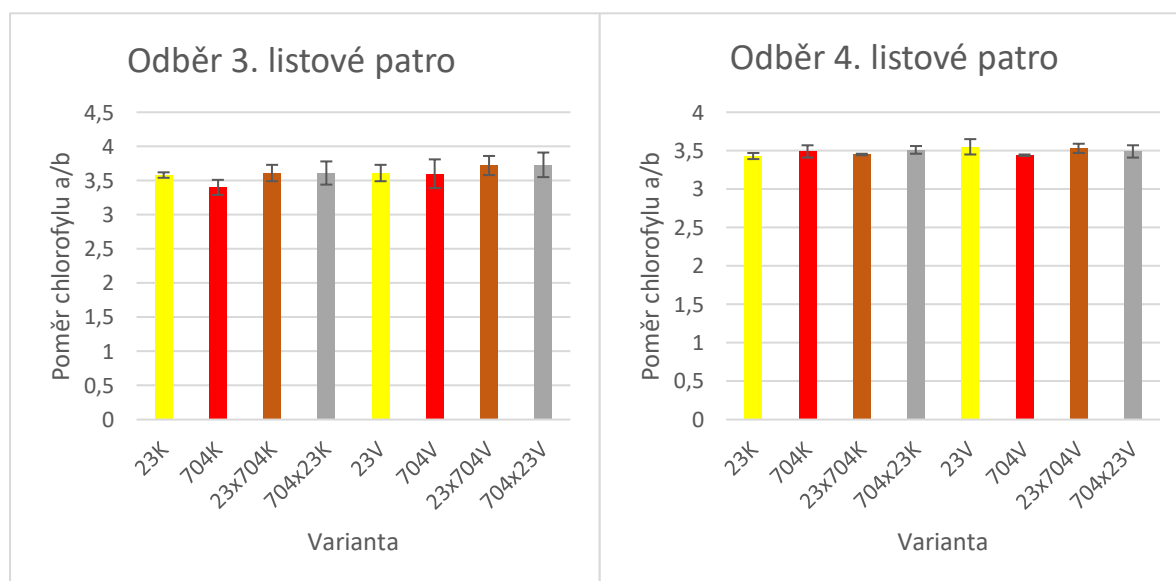
**Obr. 28: Hodnoty obsahu chlorofylu *a*** dvou inbredních linií kukuřice (2023, CE7044) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704, CE704x2023) u mladších (3. listové patro) a starších (4. listové patro) rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (K) nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní (V). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). Výsledky statistické analýzy ANOVA jsou uvedeny v kapitole 5.5.



**Obr. 29: Hodnoty obsahu karotenoidů** dvou inbredních linií kukuřice (2023, CE7044) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704, CE704x2023) u mladších (3. listové patro) a starších (4. listové patro) rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (K) nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní (V). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). Výsledky statistické analýzy ANOVA jsou uvedeny v kapitole 5.5.



**Obr. 30: Poměr chlorofylu a/b** dvou inbredních linií kukuřice (2023, CE7044) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704, CE704x2023) u mladších (3. listové patro) a starších (4. listové patro) rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (K) nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní (V). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). Výsledky statistické analýzy ANOVA jsou uvedeny v kapitole 5.5.



## 5.4. Parametry poškození buněk

### 5.4.1. Index poškození membrán

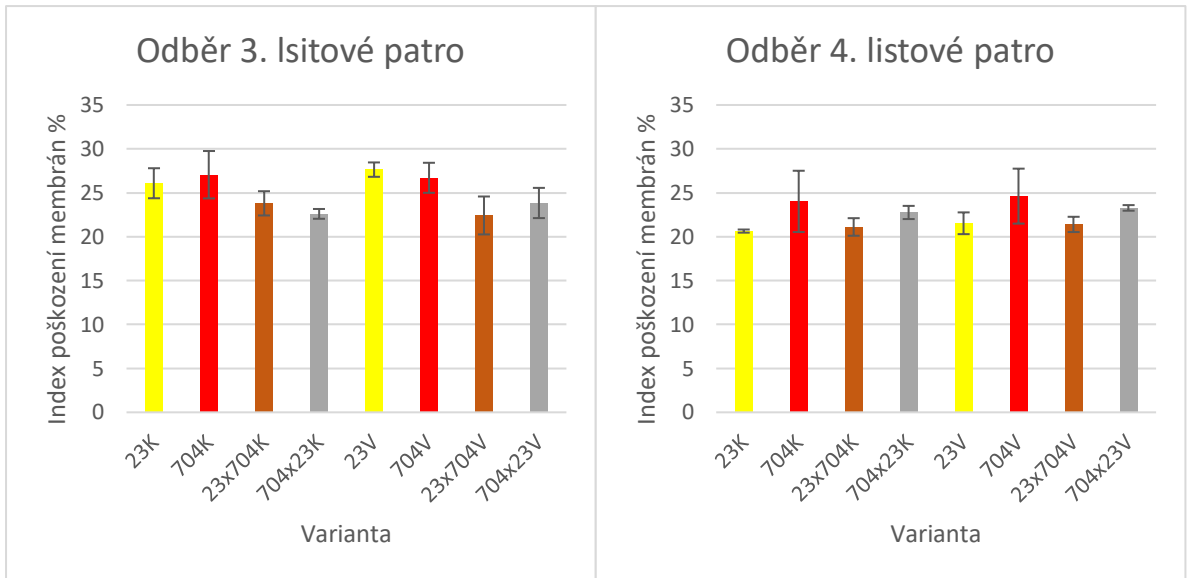
Poškození membrán bylo výraznější u mladších rostlin. Hodnoty indexu poškození membrán, které se pohybovaly v rozmezí 21–28 %, byly u jednotlivých genotypů srovnatelné jak v kontrolních, tak i stresových podmínkách (obr. 19).

Z ANOVA dvojného třídění vyplynuly průkazné rozdíly mezi genotypy u mladších rostlin (tab. 18) a starších rostlin (tab. 19), avšak detailnější analýza průkazné rozdíly u starších rostlin nepotvrdila (tab. 23). Interakce mezi genotypy a způsobem pěstování nebyly zjištěny (tab. 18, 19).

U mladších rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách pěstování dosahovala průkazně nejvyšších hodnot linie CE704. Naopak kříženec CE704x2023 dosahoval průkazně nejnižších hodnot oproti sledovaným genotypům a linie 2023 dosahovala průkazně vyšších hodnot oproti kříženci 2023xCE704 (obr. 31, tab. 22). V podmínkách zaplavení si zachovaly průkazně vyšší hodnoty rodičovské linie 2023 a CE704, které se mezi sebou nelišily, naopak kříženci dosáhli průkazně nižších hodnot a mezi sebou se také nelišili (obr. 31, tab. 22).

U starších rostlin nebyly zjištěny statisticky průkazné rozdíly, ale z výsledků je patrné, že v optimálních podmínkách pěstování dosahovala linie CE704 nejvyšších hodnot a linie 2023 naopak dosahovala nejnižších hodnot indexu poškození membrán. Kříženci se mezi s sebou výrazně nelišili. V podmínkách zaplavení dosahovala vyšších hodnot linie CE704 oproti sledovaným genotypům. Linie 2023 a kříženec 2023xCE704 dosahovali nejnižších hodnot a mezi s sebou se nelišili. (obr. 31).

**Obr. 31: Hodnoty poškození buněčných membrán** dvou inbredních linií kukuřice (2023, CE7044) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704, CE704x2023) u mladších (3. listové patro) a starších (4. listové patro) rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (K) nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní (V). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). Výsledky statistické analýzy ANOVA jsou uvedeny v kapitole 5.5.



#### 5.4.2. Obsah malondialdehydu

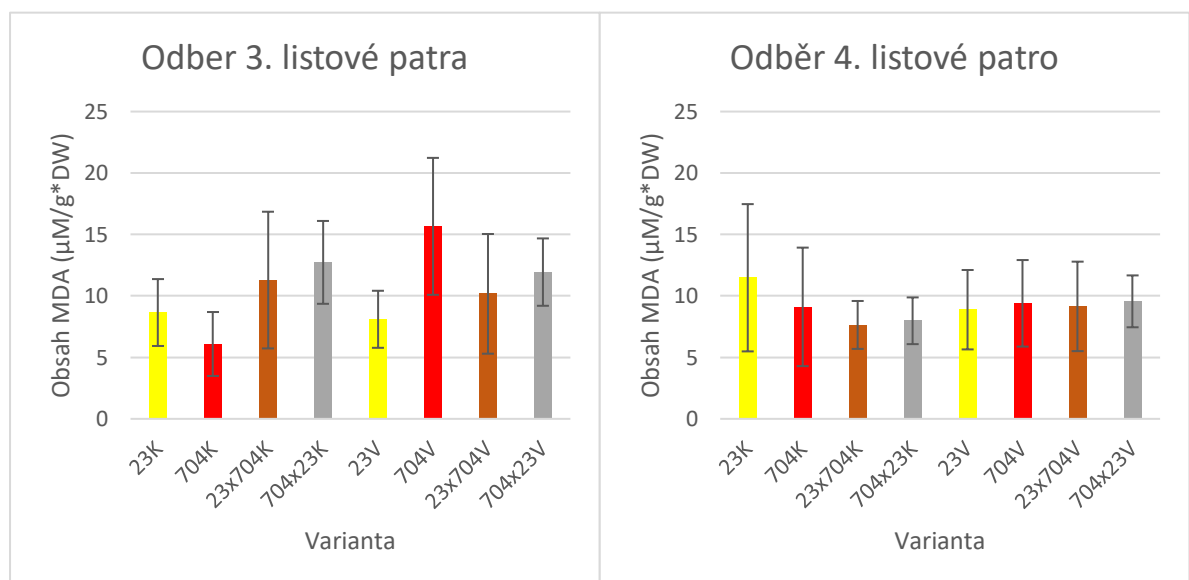
Koncentrace MDA v listu se pohybovala v rozmezí hodnot 3,24-24,22 nmol/g. Zaplavení vedlo u mladších rostlin k mírnému poklesu koncentrace MDA s výjimkou linie CE704, kde byl naopak sledován výrazný nárůst hodnot (obr. 32). U starších rostlin vedlo zaplavení k nárůstu hodnot s výjimkou linie 2023.

Z ANOVA dvojného třídění nebyly zjištěny průkazné rozdíly mezi genotypy ani interakce mezi genotypy a způsobem pěstování (tab. 18, 19).

U mladších rostlin v kontrolních podmínkách dosahovali vyšších hodnot oba kříženci oproti rodičovským liniím. U rostlin vystavených stresu zaplavením dosahovala nejvyšších hodnot linie CE704 oproti sledovaným genotypům a nejmenších 2023. Kříženec CE704x2023 dosahoval vyšších hodnot obsahu MDA oproti kříženci 2023xCE704 (obr. 32).

U starších rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách pěstování byly nejvyšší hodnoty MDA zjištěny u linie 2023, zatímco kříženci vykazovali nižší hodnoty, i ve srovnání s mladšími rostlinami. U rostlin vystavených zaplavení se rozdíly mezi genotypy stírají (obr. 32).

**Obr. 32: Hodnoty koncentrace MDA** dvou inbredních linií kukuřice (2023, CE7044) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704, CE704x2023) u mladších (3. listové patro) a starších (4. listové patro) rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (K) nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní (V). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). Výsledky statistické analýzy ANOVA jsou uvedeny v kapitole 5.5.



### 5.4.3. Obsah peroxidu vodíku

Obsah peroxidu vodíku v listu se pohyboval v širokém rozmezí hodnot (4,47-30,74  $\mu\text{mol/g}$ ). Odpověď rostlin se lišila v závislosti na fázi vývoje, ve které se rostliny nacházely během vystavení stresu. U mladších rostlin byly vyšší hodnoty pozorované u rostlin, které byly pěstovány v optimálních podmínkách, zatímco u starších rostlin tomu bylo naopak (obr. 33).

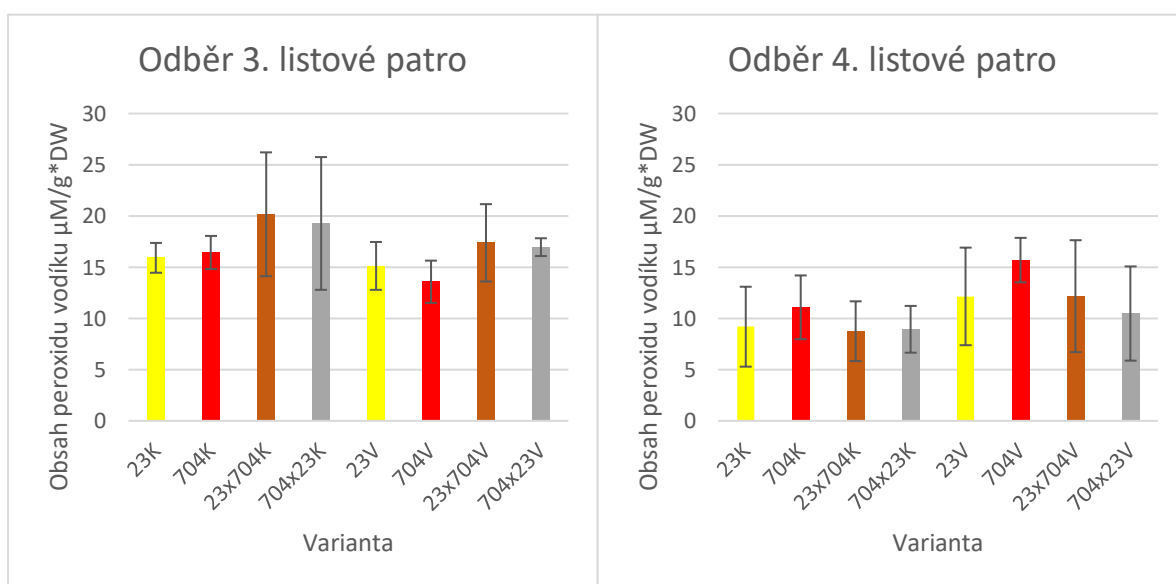
Z ANOVA dvojného třídění nebyly zjištěny průkazné rozdíly mezi genotypy ani interakce mezi genotypy a způsobem pěstování (tab. 18, 19).

Z výsledků je však patrné, že u mladších rostlin dosahovali vyšších hodnot kříženci oproti rodičovským liniím, jak v optimálních podmínkách pěstování, tak i u rostlin vystavených zaplavení (obr. 33).

U starších rostlin naopak vyšších hodnot obsahu peroxidu vodíku dosahovaly rodičovské linie oproti křížencům, jak v optimálních podmínkách pěstování, tak i u rostlin vystavených zaplavení (obr. 33).

Žádné popsané rozdíly však nebyly statisticky průkazné.

**Obr. 33: Hodnoty koncentrace  $\text{H}_2\text{O}_2$  dvou inbredních linií kukuřice (2023, CE7044) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704, CE704x2023) u mladších (3. listové patro) a starších (4. listové patro) rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (K) nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní (V). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). Výsledky statistické analýzy ANOVA jsou uvedeny v kapitole 5.5.**



#### 5.4.4. Aktivita katalázy

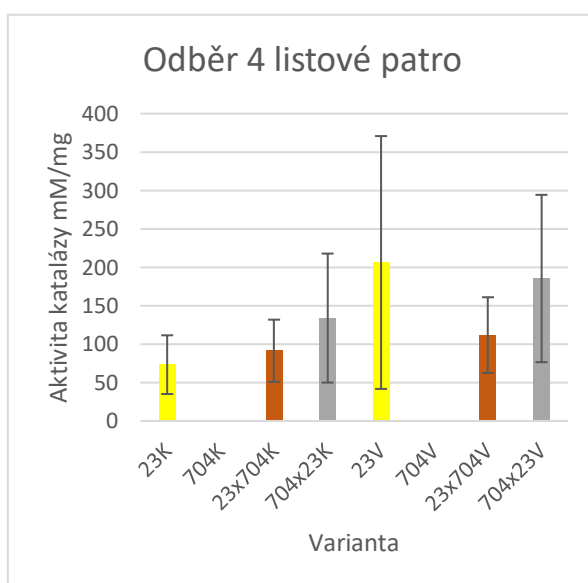
Z důvodu nedostatečného množství rostlinného materiálu, byla aktivita katalázy měřena jenom u starších rostlin u rodičovské linie 2023 a reciprokých kříženců.

Aktivita katalázy se pohybovala v širokém rozmezí hodnot (34-512 mmol/mg). Vyšší hodnoty byly pozorované u rostlin, které byly vystaveny zaplavení (obr. 34).

Z ANOVA dvojného třídění nevyplýnuly průkazné rozdíly mezi genotypy ani interakce mezi genotypy a způsobem pěstování (tab. 19).

U starších rostlin je však z výsledků patrné, že v optimálních podmínkách vykazují kříženci vyšší hodnoty aktivity katalázy oproti linii 2023, nicméně po zaplavení, které sice vedlo k nárůstu aktivity všech genotypů převýšily hodnoty linie 2023 oba křížence (obr. 34). Ani v tomto případě nebyly pozorované rozdíly průkazné zejména z důvodu značného rozptylu měřených hodnot.

**Obr. 34: Hodnoty aktivity katalázy** dvou inbredních linií kukuřice (2023, CE7044) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704, CE704x2023) u starších (4. listové patro) rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (K) nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní (V). V grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (n=5). Výsledky statistické analýzy ANOVA jsou uvedeny v kapitole 5.5.



## 5.5. Statistické vyhodnocení výsledků

### 5.5.1. Výsledek analýz rozptylů

**Tabulka 3:** Výsledky analýzy rozptylu (trojného třídění s interakcemi) pro hodnoty parametrů měřených u inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) u mladších (4. listové patro) a starších (4. listové patro) rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti (průkazné rozdíly vyznačeny šedě).

Parametr	p-hodnota							
	Genotyp	Pěstování	Stáří	Genotyp* Pěstování	Genotyp* Stáří	Pěstování* Stáří	Genotyp* Pěstování* Stáří	Bartlett
Relativní obsah vody v listu	0,0271	0,7315	0,0122	0,1074	0,9338	0,1325	0,9204	0,0160
Rychlost transpirace	0,0000	0,4598	0,6736	0,9741	0,1926	0,0161	0,1992	0,0139
Vodivost průduchů	0,0000	0,3007	0,0000	0,9337	0,0098	0,0021	0,3498	0,4100
WUE	0,8188	0,0000	0,0863	0,5521	0,1196	0,0411	0,6335	0,0608
WUEi	0,1213	0,0000	0,0000	0,5601	0,5722	0,0009	0,2504	0,0604
Rychlost čisté fotosyntézy	0,0000	0,0000	0,0650	0,8986	0,0044	0,5730	0,4198	0,0061
F0	0,0005	0,0007	0,0000	0,0351	0,0004	0,0226	0,0541	0,0000
VJ	0,0002	0,0000	0,0095	0,0505	0,0001	0,0434	0,1056	0,0000
VI	0,0022	0,0000	0,0000	0,0625	0,0012	0,1999	0,5820	0,0185
M0	0,0930	0,0001	0,0109	0,3466	0,0198	0,1388	0,4668	0,0000
φ P0	0,0001	0,0000	0,6852	0,0110	0,0000	0,4600	0,0174	0,0000
φ E0	0,0065	0,0000	0,0023	0,2012	0,0118	0,0050	0,2874	0,0140
φ RE0	0,1256	0,0000	0,0004	0,0372	0,0020	0,1344	0,5622	0,0002
φ D0	0,0001	0,0000	0,6852	0,0110	0,0000	0,4600	0,0174	0,0000
ψ 0	0,0002	0,0000	0,0095	0,0505	0,0001	0,0434	0,1056	0,0000
ψ RE0	0,0022	0,0000	0,0000	0,0516	0,0014	0,1477	0,6674	0,0304
Δ RE0	0,0002	0,0002	0,0000	0,2577	0,3336	0,7732	0,5631	0,0006
γ RC	0,0000	0,0000	0,0184	0,0250	0,0000	0,6336	0,0562	0,0001
ABS/RC	0,0000	0,0000	0,0241	0,0152	0,0000	0,4720	0,0293	0,0000
TP0/RC	0,0000	0,0000	0,0001	0,2059	0,0000	0,7497	0,1972	0,0592
ET0/RC	0,0000	0,2559	0,0418	0,2464	0,0179	0,2825	0,0616	0,0165
RE0/RC	0,0429	0,0000	0,0481	0,0594	0,0000	0,1185	0,2425	0,0001
DI0/RC	0,0000	0,0000	0,2459	0,0246	0,0000	0,8199	0,0518	0,0000
PI ABS	0,0000	0,0000	0,2287	0,0038	0,0000	0,6730	0,2964	0,0315
PI TOTAL	0,0101	0,0000	0,0198	0,0012	0,0000	0,0828	0,0647	0,0073
PRI listu	0,5069	0,4550	0,0001	0,0003	0,0001	0,1136	0,0016	0,0423
NDVI listu	0,8193	0,0000	0,0008	0,0327	0,0170	0,0000	0,1924	0,0000
Obsah chlorofylu a (mg/m <sup>2</sup> )	0,3222	0,0000	0,0176	0,0893	0,4080	0,0223	0,7644	0,0000
Obsah chlorofylu b (mg/m <sup>2</sup> )	0,3046	0,0000	0,0000	0,8256	0,4378	0,0074	0,5395	0,0000
Obsah celkového chlorofylu (mg/m <sup>2</sup> )	0,3171	0,0000	0,0045	0,8851	0,4119	0,0176	0,7206	0,0000
Obsah celkových karotenoidů (mg/m <sup>2</sup> )	0,0320	0,0055	0,1408	0,9758	0,8600	0,0183	0,8542	0,0000
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,0848	0,0000	0,1851	0,4695	0,5182	0,0246	0,8656	0,0000
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,0444	0,0000	0,0005	0,5491	0,4069	0,0036	0,8431	0,0011
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,0566	0,0000	0,0557	0,4904	0,5445	0,0204	0,8745	0,0000
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	0,5056	0,1806	0,5294	0,9465	0,8652	0,1334	0,9293	0,0000
Poměr chlorofylu a/b	0,5317	0,0015	0,0000	0,1324	0,3353	0,0357	0,1698	0,0028
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů	0,0148	0,0000	0,0000	0,0519	0,1067	0,5217	0,6705	0,0000
Index poškození membrán	0,0197	0,5317	0,4625	0,2206	0,0000	0,0813	0,1294	0,0075
Koncentrace MDA	0,1594	0,0066	0,0001	0,1546	0,3437	0,0104	0,4303	0,0000
Koncentrace H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,0012	0,0000	0,4407	0,5233	0,0202	0,0002	0,2189	0,0035
Aktivita katalázy	0,1148	0,0074	0,0000	0,6180	0,0532	0,2081	0,8780	0,0000
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,0000	0,0359	0,0660	0,5393	0,0275	0,0045	0,0433	0,4884
Hmotnost listu sušina	0,0000	0,1156	0,0001	0,2878	0,0030	0,0044	0,0489	0,6765
Specifická hmotnost listu	0,0000	0,0006	0,0000	0,3445	0,0237	0,0131	0,3304	0,0329
Plocha listu	0,0000	0,7032	0,1909	0,0990	0,1869	0,0299	0,0295	0,7638



**Tabulka 4:** Výsledky analýzy rozptylu (trojného třídění s interakcemi) pro hodnoty parametrů měřených u inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) u mladších rostlin (3. a 4 listové patro) pěstovaných v optimálních podmínkách nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti (průkazné rozdíly vyznačeny šedě).

Parametr	p-hodnota							
	G0genotyp	Pěstování	Listové patro	Genotyp* pěstování	Genotyp* Listové patro	Pěstování* Listové patro	Genotyp* Pěstování* Listové patro	Bartlett's X2
Relativní obsah vody v listu	0,0439	0,0883	0,0005	0,2296	0,4299	0,5544	0,5944	0,0431
Rychlost transpirace	0,0156	0,0104	0,0000	0,8268	0,0003	0,9531	0,5563	0,0005
Vodivost průduchů	0,0081	0,0035	0,0000	0,2192	0,0000	0,5395	0,0307	0,9297
WUE	0,1263	0,0000	0,0016	0,3923	0,3328	0,0026	0,6786	0,2016
WUEi	0,0656	0,0000	0,0268	0,1644	0,7369	0,0006	0,4530	0,0040
Rychlost čisté fotosyntézy	0,0339	0,1500	0,0000	0,5246	0,0000	0,0011	0,2224	0,0000
F0	0,0001	0,0002	0,1044	0,0078	0,0015	0,0398	0,1102	0,0000
VJ	0,0004	0,0000	0,0328	0,0294	0,0014	0,0450	0,1757	0,0003
VI	0,0380	0,0000	0,4513	0,0108	0,0345	0,0006	0,4917	0,0066
M0	0,0991	0,0002	0,0738	0,1889	0,1098	0,1156	0,6431	0,0000
φ P0	0,0000	0,0007	0,4820	0,0001	0,0018	0,2849	0,2165	0,0000
φ E0	0,0284	0,0000	0,0655	0,2591	0,1600	0,0222	0,3012	0,0075
φ RE0	0,0935	0,0000	0,4434	0,0061	0,0166	0,0004	0,4157	0,0000
φ D0	0,0000	0,0007	0,4820	0,0001	0,0018	0,2849	0,2165	0,0000
ψ 0	0,0004	0,0000	0,0328	0,0294	0,0014	0,0450	0,1757	0,0003
ψ RE0	0,0380	0,0000	0,4513	0,0108	0,0345	0,0006	0,4917	0,0066
Δ RE0	0,0031	0,0995	0,2408	0,4021	0,1029	0,0217	0,1706	0,0002
γ RC	0,0000	0,0000	0,1281	0,0050	0,0004	0,4289	0,5588	0,0000
ABS/RC	0,0000	0,0000	0,0862	0,0028	0,0004	0,4405	0,3224	0,0000
TP0/RC	0,0000	0,0000	0,0472	0,0353	0,0002	0,8381	0,9116	0,0594
ET0/RC	0,0000	0,5026	0,1593	0,1914	0,4365	0,0809	0,1153	0,1876
RE0/RC	0,0162	0,0000	0,1005	0,0039	0,0006	0,0003	0,4245	0,0000
D10/RC	0,0000	0,0000	0,2837	0,0003	0,0003	0,2861	0,3287	0,0000
PI ABS	0,0000	0,0000	0,3619	0,0004	0,0001	0,1665	0,6257	0,0000
PI TOTAL	0,0005	0,0000	0,1427	0,0000	0,0001	0,0003	0,0826	0,0004
PRI listu	0,5234	0,7440	0,0008	0,0071	0,0291	0,0559	0,0001	0,0115
NDVI listu	0,4064	0,0000	0,0008	0,0182	0,6890	0,0001	0,2607	0,0000
Obsah chlorofylu a (mg/m2)	0,0463	0,0000	0,0001	0,7667	0,9617	0,1595	0,4934	0,0002
Obsah chlorofylu b (mg/m2)	0,0604	0,0000	0,0000	0,8660	0,9924	0,1328	0,3169	0,0000
Obsah celkového chlorofylu (mg/m2)	0,0456	0,0000	0,0000	0,7892	0,9707	0,1454	0,4536	0,0001
Obsah celkových karotenoidů (mg/m2)	0,0267	0,0007	0,0005	0,7165	0,9833	0,3211	0,6754	0,0006
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,0421	0,0000	0,0033	0,5671	0,1007	0,0829	0,9254	0,0002
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,0123	0,0000	0,0000	0,8540	0,1533	0,0150	0,5750	0,0121
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,0287	0,0000	0,0012	0,6444	0,1040	0,0624	0,9063	0,0003
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	0,3897	0,0687	0,1351	0,9907	0,2422	0,4512	0,8938	0,0000
Poměr chlorofylu a/b	0,2896	0,0003	0,0000	0,2514	0,1025	0,4697	0,3893	0,7612
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů	0,3674	0,0000	0,0010	0,1457	0,9059	0,4151	0,7722	0,0046
Index poškození membrán	0,0000	0,3156	0,0000	0,3915	0,0005	0,1196	0,0137	0,6174
Koncentrace MDA	0,1065	0,0010	0,0058	0,1616	0,1994	0,0576	0,0380	0,0000
Koncentrace H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,0052	0,0045	0,0000	0,9157	0,1384	0,0000	0,2988	0,0003
Aktivita katalázy								
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,0000	0,0008	0,0000	0,0043	0,0000	0,0090	0,4472	0,0241
Hmotnost listu sušina	0,0000	0,0003	0,0000	0,0006	0,0000	0,0461	0,4038	0,0639
Specifická hmotnost listu	0,1794	0,0002	0,0000	0,0576	0,0015	0,6198	0,7064	0,0437
Plocha listu	0,0000	0,0596	0,0000	0,0001	0,0000	0,1984	0,2778	0,0533

**Tabulka 5:** Výsledky analýzy rozptylu (trojného třídění s interakcemi) pro hodnoty parametrů měřených u inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) u starších rostlin (4. a 5. listové patro) pěstovaných v optimálních podmínkách nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti (průkazné rozdíly vyznačeny šedě).

Parametr	p-hodnota							Bartlett
	Genotyp	Pěstování	Listové patro	Genotyp* pěstování	Genotyp* Listové patro	Pěstování* Listové patro	Genotyp* Pěstování* Listové patro	
Relativní obsah vody v listu	0,0077	0,2923	0,0447	0,0764	0,9712	0,9160	0,8745	0,0128
Rychlost transpirace	0,0008	0,0298	0,2034	0,0797	0,0012	0,5656	0,7453	0,0026
Vodivost průduchů	0,0039	0,5615	0,0392	0,0092	0,0004	0,0892	0,3667	0,0753
WUE	0,5339	0,0161	0,1017	0,6480	0,5456	0,9350	0,9699	0,0585
WUEi	0,8094	0,0234	0,1225	0,2241	0,5976	0,5796	0,8771	0,0338
Rychlost čisté fotosyntézy	0,0007	0,0020	0,1473	0,4699	0,0012	0,1161	0,6365	0,0000
F0	0,0000	0,0000	0,9336	0,2884	0,1485	0,0944	0,3007	0,0016
VJ	0,0000	0,0000	0,3507	0,5327	0,1186	0,8010	0,8176	0,0407
VI	0,0000	0,0000	0,0000	0,6521	0,3422	0,7394	0,6814	0,0087
M0	0,0000	0,0000	0,4004	0,6333	0,0521	0,7001	0,9668	0,0070
φ P0	0,0000	0,0000	0,0027	0,3327	0,1788	0,9744	0,3094	0,0105
φ E0	0,0000	0,5461	0,0824	0,7163	0,2609	0,6434	0,8987	0,3593
φ RE0	0,0000	0,0000	0,0001	0,2830	0,4147	0,6392	0,6571	0,0271
φ D0	0,0000	0,0000	0,0027	0,3327	0,1788	0,9744	0,3094	0,0105
ψ 0	0,0000	0,0000	0,4202	0,6732	0,0968	0,8979	0,8964	0,0277
ψ RE0	0,0000	0,0000	0,0001	0,7590	0,4560	0,6113	0,5229	0,0149
Δ RE0	0,0003	0,0000	0,0000	0,5868	0,6525	0,3310	0,6753	0,1196
γ RC	0,0000	0,0000	0,6447	0,5751	0,0689	0,5951	0,9463	0,0259
ABS/RC	0,0000	0,0000	0,6184	0,6448	0,0680	0,5567	0,9563	0,0146
TP0/RC	0,0000	0,0000	0,4032	0,2560	0,3809	0,7977	0,8562	0,0021
ET0/RC	0,0003	0,1346	0,1604	0,2115	0,3569	0,1204	0,2820	0,0194
RE0/RC	0,0000	0,0000	0,0002	0,5820	0,2955	0,9065	0,4025	0,0134
DI0/RC	0,0000	0,0000	0,1124	0,5815	0,1349	0,8989	3,9999	0,0025
PI ABS	0,0000	0,0000	0,5509	0,1041	0,2324	0,8815	0,6162	0,0382
PI TOTAL	0,0000	0,0000	0,0003	0,0551	0,2530	0,2224	0,9021	0,0067
PRI listu	0,0015	0,0462	0,9773	0,4649	0,0001	0,3840	0,0700	0,0086
NDVI listu	0,0093	0,0390	0,6432	0,3659	0,0923	0,0192	0,5575	0,0020
Obsah chlorofylu a (mg/m <sup>2</sup> )	0,0087	0,0000	0,4591	0,2562	0,1150	0,0002	0,4190	0,0205
Obsah chlorofylu b (mg/m <sup>2</sup> )	0,0042	0,0000	0,0002	0,0930	0,0549	0,0013	0,4471	0,0019
Obsah celkového chlorofylu (mg/m <sup>2</sup> )	0,0099	0,0000	0,1676	0,2530	0,1195	0,0004	0,4377	0,0149
Obsah celkových karotenoidů (mg/m <sup>2</sup> )	0,0003	0,0000	0,7113	0,7105	0,2596	0,0003	0,3571	0,0160
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,0005	0,0000	0,0004	0,0616	0,2559	0,0036	0,6841	0,0003
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,0001	0,0000	0,0000	0,1330	0,0249	0,0072	0,4283	0,0002
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0044	0,0196	0,0002	0,2636	0,0124
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	0,0000	0,0006	0,0022	0,0755	0,0700	0,0002	0,2425	0,0040
Poměr chlorofylu a/b	0,4789	0,6827	0,0000	0,9645	0,9036	0,4513	0,1317	0,0002
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů	0,0039	0,0000	0,0009	0,0242	0,0010	0,9246	0,8320	0,0000
Index poškození membrán	0,0046	0,8502	0,0003	0,9751	0,0707	0,2073	0,8580	0,0026
Koncentrace MDA	0,3201	0,2960	0,0050	0,4065	0,8297	0,2002	0,6745	0,0021
Koncentrace H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,6416	0,0000	0,0800	0,9863	0,2114	0,0879	0,6495	0,0000
Aktivita katalázy	0,6825	0,0009	0,0000	0,9177	0,5199	0,0978	0,3391	0,0000
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,0000	0,1789	0,0000	0,7519	0,0005	0,0678	0,6923	0,0107
Hmotnost listu sušina	0,0000	0,7141	0,0000	0,9603	0,0001	0,3143	0,9290	0,0006
Specifická hmotnost listu	0,0000	0,0027	0,0000	0,7141	0,8148	0,3142	0,7516	0,3646
Plocha listu	0,0000	0,7548	0,0000	0,8264	0,0001	0,4059	0,8502	0,0426

**Tabulka 6:** Výsledky analýzy rozptylu (dvojnásobného třídění s interakcemi) pro hodnoty parametrů měřených u inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) u mladších rostlin (3. a 4. listové patro) pěstovaných v optimálních podmínkách. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti (průkazné rozdíly vyznačeny šedě).

Parametr	p-hodnota			
	Genotyp	Listové patro	Genotyp* Listové patro	Bartlett's X2
Relativní obsah vody v listu	0,6897	0,0139	0,3055	0,2314
Rychlost transpirace	0,0590	0,0001	0,1771	0,0024
Vodivost průduchů	0,0053	0,0000	0,0485	0,8072
WUE	0,2644	0,0001	0,9198	0,6436
WUEi	0,1811	0,0007	0,4845	0,0496
Rychlost čisté fotosyntézy	0,1136	0,4590	0,0047	0,0013
F0	0,0002	0,4433	0,0158	0,1814
VJ	0,0000	0,8810	0,1271	0,3377
VI	0,0001	0,0123	0,0129	0,3476
M0	0,0029	0,6468	0,0048	0,0006
φ P0	0,0000	0,6147	0,0633	0,4255
φ E0	0,0068	0,6370	0,6799	0,3981
φ RE0	0,0000	0,0008	0,0005	0,9355
φ D0	0,0000	0,6147	0,0633	0,4255
ψ 0	0,0000	0,8810	0,1271	0,3377
ψ RE0	0,0001	0,0123	0,0129	0,3476
Δ RE0	0,0022	0,0047	0,1368	0,0198
γ RC	0,0031	0,4841	0,0616	0,1025
ABS/RC	0,0008	0,2823	0,0370	0,0505
TP0/RC	0,0092	0,1953	0,0319	0,1945
ET0/RC	0,0000	0,0095	0,0572	0,7075
RE0/RC	0,0004	0,0141	0,0001	0,1280
DI0/RC	0,0004	0,9954	0,0319	0,1876
PI ABS	0,0000	0,6595	0,0089	0,3888
PI TOTAL	0,0001	0,0906	0,0047	0,0003
PRI listu	0,3118	0,1873	0,0021	0,3124
NDVI listu	0,0810	0,2995	0,6657	0,0590
Obsah chlorofylu a (mg/m2)	0,0543	0,0010	0,1714	0,2965
Obsah chlorofylu b (mg/m2)	0,0520	0,0000	0,1430	0,0832
Obsah celkového chlorofylu (mg/m2)	0,0483	0,0003	0,1531	0,2003
Obsah celkových karotenoidů (mg/m2)	0,0475	0,0009	0,4057	0,2186
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,5228	0,2568	0,3476	0,0005
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,0840	0,0534	0,2172	0,0624
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,3978	0,1901	0,3568	0,0007
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	0,4383	0,4130	0,3433	0,0048
Poměr chlorofylu a/b	0,5288	0,0000	0,0302	0,7708
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů	0,4133	0,0338	0,5517	0,1065
Index poškození membrán	0,0001	0,0438	0,0005	0,3953
Koncentrace MDA	0,3941	0,3315	0,0104	0,0875
Koncentrace H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,0850	0,0000	0,0806	0,0011
Aktivita katalázy				
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,0000	0,0000	0,0166	0,0242
Hmotnost listu sušina	0,0000	0,0000	0,0109	0,1088
Specifická hmotnost listu	0,4992	0,0040	0,1478	0,0170
Plocha listu	0,0000	0,0000	0,0204	0,0223

**Tabulka 7:** Výsledky analýzy rozptylu (dvojnásobného třídění s interakcemi) pro hodnoty parametrů měřených u inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) u mladších rostlin (3. a 4. listové patro) vystavených hypoxii po dobu 10 dní. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti (průkazné rozdíly vyznačeny šedě).

Parametr	p-hodnota			
	Genotyp	Listové patro	Genotyp* Listové patro	Bartlett's X2
Relativní obsah vody v listu	0,0058	0,0171	0,9834	0,0393
Rychlost transpirace	0,3263	0,0000	0,0012	0,0175
Vodivost průduchů	0,6939	0,0001	0,0001	0,8073
WUE	0,2291	0,9108	0,2315	0,0511
WUEi	0,0340	0,2384	0,7253	0,0313
Rychlost čisté fotosyntézy	0,1771	0,0000	0,0001	0,0020
F0	0,0037	0,0759	0,0256	0,0000
VJ	0,0480	0,0315	0,0223	0,0023
VI	0,5360	0,0181	0,4816	0,0064
M0	0,2096	0,0936	0,3886	0,0000
φ P0	0,0002	0,3452	0,0243	0,0000
φ E0	0,2731	0,0232	0,1592	0,0208
φ RE0	0,2527	0,0253	0,3414	0,0002
φ D0	0,0002	0,3452	0,0243	0,0000
ψ 0	0,0480	0,0315	0,0223	0,0023
ψ RE0	0,5360	0,0181	0,4816	0,0064
Δ RE0	0,2064	0,4776	0,1697	0,0016
γ RC	0,0000	0,1876	0,0110	0,0002
ABS/RC	0,0001	0,1690	0,0081	0,0000
TP0/RC	0,0000	0,1338	0,0093	0,0480
ET0/RC	0,0534	0,8353	0,5293	0,0917
RE0/RC	0,0304	0,0051	0,0865	0,0025
D10/RC	0,0001	0,2398	0,0128	0,0000
PI ABS	0,0003	0,1935	0,0095	0,0000
PI TOTAL	0,0004	0,0070	0,0029	0,1081
PRI listu	0,0325	0,0017	0,0029	0,0077
NDVI listu	0,1044	0,0003	0,4216	0,0001
Obsah chlorofylu a (mg/m <sup>2</sup> )	0,1946	0,0032	0,8380	0,0494
Obsah chlorofylu b (mg/m <sup>2</sup> )	0,2631	0,0002	0,7153	0,0034
Obsah celkového chlorofylu (mg/m <sup>2</sup> )	0,2018	0,0016	0,8217	0,0456
Obsah celkových karotenoidů (mg/m <sup>2</sup> )	0,1247	0,0085	0,8762	0,1032
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,0999	0,0063	0,3335	0,0998
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,1420	0,0002	0,3522	0,1788
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,1062	0,0032	0,3344	0,1029
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	0,6982	0,1874	0,4761	0,0135
Poměr chlorofylu a/b	0,1589	0,0000	0,5200	0,9122
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů	0,1777	0,0101	0,9859	0,0095
Index poškození membrán	0,0004	0,0000	0,1311	0,7203
Koncentrace MDA	0,1025	0,0096	0,1611	0,0000
Koncentrace H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,0853	0,9544	0,3483	0,0592
Aktivita katalázy				
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,0000	0,0000	0,0000	0,4549
Hmotnost listu sušina	0,0000	0,0000	0,0000	0,2868
Specifická hmotnost listu	0,0303	0,0010	0,0129	0,3125
Plocha listu	0,0000	0,0000	0,0003	0,3235

**Tabulka 8:** Výsledky analýzy rozptylu (dvojnásobného třídění s interakcemi) pro hodnoty parametrů měřených u inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) u starších rostlin (4. a 5. listové patro) pěstovaných v optimálních podmínkách. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti (průkazné rozdíly vyznačeny šedě).

Parametr	p-hodnota			
	Genotyp	Listové patro	Genotyp* Listové patro	Bartlett's X2
Relativní obsah vody v listu	0,0834	0,1069	0,8434	0,0210
Rychlost transpirace	0,2551	0,2725	0,0350	0,0617
Vodivost průduchů	0,6956	0,8138	0,0084	0,0376
WUE	0,4158	0,3171	0,7997	0,1243
WUEi	0,8161	0,5600	0,6561	0,0449
Rychlost čisté fotosyntézy	0,2901	0,9391	0,0226	0,0000
F0	0,0000	0,1192	0,7454	0,1462
VJ	0,0000	0,3112	0,2447	0,1785
VI	0,0000	0,0011	0,2653	0,1406
M0	0,0000	0,6249	0,0917	0,8144
φ P0	0,0000	0,0046	0,1455	0,0683
φ E0	0,0000	0,0573	0,2689	0,8170
φ RE0	0,0000	0,0008	0,2578	0,2691
φ D0	0,0000	0,0046	0,1455	0,0683
ψ 0	0,0000	0,4217	0,2046	0,1211
ψ RE0	0,0000	0,0011	0,2653	0,1406
Δ RE0	0,0037	0,0002	0,4487	0,2319
γ RC	0,0000	0,3655	0,0687	0,1522
ABS/RC	0,0000	0,3043	0,0653	0,1339
TP0/RC	0,0012	0,4113	0,4239	0,0785
ET0/RC	0,0413	0,9107	0,4431	0,0161
RE0/RC	0,0000	0,0023	0,4294	0,1237
D10/RC	0,0000	0,0590	0,0583	0,0127
PI ABS	0,0000	0,5751	0,2925	0,0153
PI TOTAL	0,0000	0,0022	0,5815	0,0945
PRI listu	0,0299	0,6031	0,0219	0,0146
NDVI listu	0,0117	0,1623	0,1158	0,0068
Obsah chlorofylu a (mg/m2)	0,0240	0,0201	0,4240	0,0698
Obsah chlorofylu b (mg/m2)	0,0396	0,6628	0,5041	0,0089
Obsah celkového chlorofylu (mg/m2)	0,0269	0,0802	0,3932	0,0572
Obsah celkových karotenoidů (mg/m2)	0,0520	0,0100	0,7646	0,1615
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,0718	0,4833	0,3670	0,0111
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,0325	0,0003	0,3244	0,0017
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,0525	0,1020	0,4435	0,0065
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	0,0173	0,6058	0,9207	0,0041
Poměr chlorofylu a/b	0,3627	0,0000	0,0964	0,0204
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů	0,0007	0,0001	0,0001	0,0080
Index poškození membrán	0,1736	0,1052	0,2410	0,0067
Koncentrace MDA	0,2172	0,0104	0,8629	0,0011
Koncentrace H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,6689	0,9672	0,6716	0,0168
Aktivita katalázy	0,5313	0,0000	0,0824	0,0000
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,0000	0,0000	0,0179	0,0032
Hmotnost listu sušina	0,0000	0,0000	0,0039	0,0011
Specifická hmotnost listu	0,0002	0,0002	0,8658	0,6342
Plocha listu	0,0000	0,0000	0,0033	0,0082

**Tabulka 9:** Výsledky analýzy rozptylu (dvojnásobného třídění s interakcemi) pro hodnoty parametrů měřených u inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) u starších rostlin (4. a 5. listové patro) vystavených hypoxii po dobu 10 dní. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti (průkazné rozdíly vyznačeny šedě).

Parametr	p-hodnota			
	Genotyp	Listové patro	Genotyp* Listové patro	Bartlett
Relativní obsah vody v listu	0,0147	0,2095	0,9746	0,0892
Rychlost transpirace	0,0000	0,4867	0,0284	0,0712
Vodivost průduchů	0,0000	0,0021	0,0275	0,7141
WUE	0,9478	0,1728	0,6785	0,1184
WUEi	0,0790	0,0505	0,9335	0,5764
Rychlost čisté fotosyntézy	0,0005	0,0155	0,0832	0,2089
F0	0,0004	0,3264	0,1821	0,0094
VJ	0,0010	0,6730	0,3886	0,0957
VI	0,0068	0,0117	0,7496	0,0069
M0	0,0520	0,4947	0,3588	0,0133
φ P0	0,0257	0,0740	0,2740	0,2109
φ E0	0,0180	0,4415	0,6662	0,2487
φ RE0	0,0270	0,0216	0,7884	0,0184
φ D0	0,0257	0,0740	0,2740	0,2109
ψ 0	0,0010	0,6730	0,3886	0,0957
ψ RE0	0,0073	0,0205	0,7701	0,0142
Δ RE0	0,0600	0,0110	0,9205	0,0964
γ RC	0,0260	0,9660	0,5132	0,1103
ABS/RC	0,0250	0,9573	0,4940	0,0971
TP0/RC	0,0131	0,7022	0,7453	0,0024
ET0/RC	0,0036	0,0484	0,2594	0,1492
RE0/RC	0,0020	0,0211	0,3559	0,0199
D10/RC	0,0111	0,3731	0,2541	0,6220
PI ABS	0,0200	0,7659	0,5203	0,3334
PI TOTAL	0,0402	0,0593	0,4077	0,0078
PRI listu	0,0815	0,4632	0,0006	0,1508
NDVI listu	0,3189	0,0572	0,0490	0,0293
Obsah chlorofylu a (mg/m <sup>2</sup> )	0,1057	0,0044	0,1527	0,0431
Obsah chlorofylu b (mg/m <sup>2</sup> )	0,0196	0,0000	0,0547	0,0202
Obsah celkového chlorofylu (mg/m <sup>2</sup> )	0,1092	0,0018	0,1707	0,0350
Obsah celkových karotenoidů (mg/m <sup>2</sup> )	0,0048	0,0118	0,0825	0,0140
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,0030	0,0005	0,4739	0,0425
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,0018	0,0000	0,0810	0,0462
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,0000	0,0000	0,0439	0,3650
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	0,0000	0,0000	0,0147	0,1104
Poměr chlorofylu a/b	0,8866	0,0000	0,6223	0,0054
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů	0,0170	0,0518	0,1389	0,0030
Index poškození membrán	0,0306	0,0004	0,3706	0,0457
Koncentrace MDA	0,7682	0,2007	0,5631	0,4819
Koncentrace H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,8891	0,0403	0,2840	0,0078
Aktivita katalázy	0,9086	0,0000	0,7582	0,0000
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,0000	0,0000	0,0322	0,2993
Hmotnost listu sušina	0,0000	0,0000	0,0230	0,0378
Specifická hmotnost listu	0,0000	0,0232	0,7168	0,1529
Plocha listu	0,0000	0,0000	0,0289	0,4879

**Tabulka 10:** Výsledky analýzy rozptylu (dvojného třídění s interakcemi) pro hodnoty parametrů měřených u inbrední linie kukuřice (2023) u mladších rostlin (3. a 4. listové patro) pěstovaných v optimálních podmínkách nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti (průkazné rozdíly vyznačeny šedě).

Parametr	p-hodnota			
	Pěstování	Listové patro	Pěstování* Listové patro	Bartlett's X2
Relativní obsah vody v listu	0,4262	0,7177	0,4989	0,2320
Rychlost transpirace	0,1654	0,0000	0,1484	0,2362
Vodivost průduchů	0,0269	0,0000	0,0922	0,5437
WUE	0,0160	0,5015	0,0678	0,5493
WUEi	0,0028	0,6170	0,0921	0,1962
Rychlost čisté fotosyntézy	0,1979	0,0000	0,0055	0,0001
F0	0,0097	0,0232	0,0836	0,0001
VJ	0,0044	0,0114	0,0920	0,0071
VI	0,0000	0,0026	0,0419	0,3608
M0	0,0008	0,0046	0,2467	0,0015
φ P0	0,0020	0,0293	0,1661	0,0155
φ E0	0,0096	0,0763	0,0740	0,0048
φ RE0	0,0000	0,0004	0,0130	0,3033
φ D0	0,0020	0,0293	0,1661	0,0155
ψ 0	0,0044	0,0114	0,0920	0,0071
ψ RE0	0,0000	0,0026	0,0419	0,3608
Δ RE0	0,1867	0,0892	0,4157	0,5595
γ RC	0,0032	0,0108	0,3350	0,0018
ABS/RC	0,0057	0,0159	0,2781	0,0004
TP0/RC	0,0008	0,0021	0,6945	0,1279
ET0/RC	0,1523	0,8635	0,0845	0,2309
RE0/RC	0,0000	0,0000	0,0255	0,2322
DI0/RC	0,0015	0,0127	0,2010	0,0074
PI ABS	0,0003	0,0049	0,2957	0,1276
PI TOTAL	0,0000	0,0004	0,1158	0,1653
PRI listu	0,0154	0,0694	0,0011	0,0082
NDVI listu	0,0005	0,0641	0,0237	0,0005
Obsah chlorofylu a (mg/m2)	0,0077	0,1185	0,7801	0,0012
Obsah chlorofylu b (mg/m2)	0,0030	0,0367	0,7795	0,0010
Obsah celkového chlorofylu (mg/m2)	0,0063	0,0945	0,7796	0,0004
Obsah celkových karotenoidů (mg/m2)	0,0259	0,0894	0,9215	0,0067
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,0024	0,1014	0,3515	0,0118
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,0007	0,0265	0,2479	0,0324
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,0015	0,0781	0,2680	0,0284
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	0,4147	0,9770	0,9157	0,0009
Poměr chlorofylu a/b	0,6293	0,0249	0,9350	0,1014
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů	0,0016	0,1807	0,7167	0,0061
Index poškození membrán	0,0836	0,6954	0,0023	0,1640
Koncentrace MDA	0,3465	0,0004	0,2110	0,0144
Koncentrace H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,0521	0,0000	0,0119	0,2157
Aktivita katalázy				
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,0002	0,0000	0,0175	0,0793
Hmotnost listu sušina	0,0001	0,0000	0,0241	0,3135
Specifická hmotnost listu	0,0006	0,0005	0,9230	0,1689
Plocha listu	0,0003	0,0000	0,0432	0,0775

**Tabulka 11:** Výsledky analýzy rozptylu (dvojného třídění s interakcemi) pro hodnoty parametrů měřených u inbrední linie kukuřice (CE704) u mladších rostlin (3. a 4. listové patro) pěstovaných v optimálních podmínkách nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti (průkazné rozdíly vyznačeny šedě).

Parametr	p-hodnota			
	Pěstování	Listové patro	Pěstování* Listové patro	Bartlett's X2
Relativní obsah vody v listu	0,0188	0,0125	0,3281	0,0086
Rychlost transpirace	0,6481	0,6805	0,6829	0,0045
Vodivost průduchů	0,8784	0,7368	0,1198	0,6274
WUE	0,1541	0,0142	0,1890	0,5358
WUEi	0,1400	0,4974	0,2677	0,5797
Rychlost čisté fotosyntézy	0,4106	0,0700	0,4287	0,1677
F0	0,3611	0,1169	0,5477	0,0384
VJ	0,0143	0,6110	0,7769	0,8790
VI	0,5206	0,3459	0,2396	0,0170
M0	0,0378	0,2449	0,8444	0,5517
φ P0	0,6824	0,1538	0,5536	0,0001
φ E0	0,0055	0,1809	0,5623	0,4336
φ RE0	0,2070	0,0190	0,0519	0,1370
φ D0	0,6824	0,1538	0,5536	0,0001
ψ 0	0,0143	0,6110	0,7769	0,8790
ψ RE0	0,5206	0,3459	0,2396	0,0170
Δ RE0	0,5243	0,0893	0,1212	0,0007
γ RC	0,5481	0,2120	0,7300	0,1640
ABS/RC	0,6660	0,1264	0,6062	0,1302
TP0/RC	0,2643	0,1554	0,8687	0,1000
ET0/RC	0,9901	0,8432	0,8918	0,5378
RE0/RC	0,5191	0,0411	0,2154	0,0079
DI0/RC	0,8390	0,1360	0,9385	0,2009
PI ABS	0,2717	0,0396	0,7488	0,1722
PI TOTAL	0,7877	0,0046	0,2465	0,3910
PRI listu	0,4424	0,2183	0,0878	0,2285
NDVI listu	0,0050	0,0872	0,1194	0,0682
Obsah chlorofylu a (mg/m2)	0,0002	0,0525	0,2264	0,6210
Obsah chlorofylu b (mg/m2)	0,0000	0,0028	0,1837	0,8082
Obsah celkového chlorofylu (mg/m2)	0,0001	0,0274	0,2096	0,6616
Obsah celkových karotenoidů (mg/m2)	0,0396	0,0892	0,6486	0,1365
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,0022	0,3143	0,5384	0,0215
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,0001	0,6178	0,3855	0,1557
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,0010	0,4639	0,4961	0,0158
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	0,1399	0,5013	0,8726	0,0617
Poměr chlorofylu a/b	0,0422	0,0001	0,6459	0,6820
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů	0,0573	0,0707	0,8504	0,2619
Index poškození membrán	0,6544	0,0000	0,4314	0,8477
Koncentrace MDA	0,0096	0,2796	0,3224	0,0002
Koncentrace H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,3304	0,6034	0,0386	0,1450
Aktivita katalázy				
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,0895	0,0000	0,3248	0,9286
Hmotnost listu sušina	0,0450	0,0000	0,3300	0,5864
Specifická hmotnost listu	0,0268	0,0001	0,1756	0,5502
Plocha listu	0,2008	0,0000	0,5570	0,5916



**Tabulka 12:** Výsledky analýzy rozptylu (dvojného třídění s interakcemi) pro hodnoty parametrů měřených u reciprokého křížence (2023xCE704) u mladších rostlin (3. a 4. listové patro) pěstovaných v optimálních podmínkách nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti (průkazné rozdíly vyznačeny šedě).

Parametr	p-hodnota			
	Pěstování	Listové patro	Pěstování* Listové patro	Bartlett's X2
Relativní obsah vody v listu	0,6218	0,0407	0,7546	0,1768
Rychlost transpirace	0,0723	0,0036	0,9559	0,4933
Vodivost průduchů	0,0260	0,0260	0,5438	0,8567
WUE	0,1711	0,0426	0,5472	0,0595
WUEi	0,0194	0,2290	0,3337	0,0413
Rychlost čisté fotosyntézy	0,3950	0,0062	0,0021	0,0978
F0	0,0089	0,1643	0,7795	0,1372
VJ	0,0165	0,5648	0,2325	0,9276
VI	0,0401	0,4124	0,1237	0,2367
M0	0,0010	0,8786	0,0534	0,0009
φ P0	0,2797	0,0800	0,8792	0,4814
φ E0	0,0838	0,9336	0,3024	0,8557
φ RE0	0,0224	0,5216	0,1151	0,1274
φ D0	0,2797	0,0800	0,8792	0,4814
ψ 0	0,0165	0,5648	0,2325	0,9276
ψ RE0	0,0401	0,4124	0,1237	0,2367
Δ RE0	0,3208	0,0969	0,0935	0,1918
γ RC	0,0020	0,7367	0,9842	0,3622
ABS/RC	0,0001	0,7060	0,4541	0,9247
TP0/RC	0,0007	0,1258	0,6236	0,7396
ET0/RC	0,0736	0,0029	0,0125	0,8412
RE0/RC	0,0172	0,5263	0,0679	0,0171
DI0/RC	0,0070	0,2527	0,9001	0,0821
PI ABS	0,0000	0,2548	0,0658	0,2104
PI TOTAL	0,0070	0,9369	0,1459	0,0002
PRI listu	0,2437	0,6308	0,0133	0,3856
NDVI listu	0,5013	0,2379	0,2334	0,0001
Obsah chlorofylu a (mg/m2)	0,0066	0,0183	0,0512	0,0277
Obsah chlorofylu b (mg/m2)	0,0006	0,0025	0,0205	0,0549
Obsah celkového chlorofylu (mg/m2)	0,0040	0,0120	0,0419	0,0315
Obsah celkových karotenoidů (mg/m2)	0,3290	0,0820	0,1685	0,0278
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,0658	0,0486	0,2604	0,0476
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,0026	0,0238	0,0434	0,1325
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,0519	0,0371	0,2458	0,0440
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	0,5038	0,1238	0,3340	0,0452
Poměr chlorofylu a/b	0,0015	0,0035	0,0523	0,7846
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů	0,0000	0,1044	0,0942	0,3154
Index poškození membrán	0,3930	0,2086	0,5985	0,6771
Koncentrace MDA	0,5329	0,7744	0,1998	0,8317
Koncentrace H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,0235	0,0003	0,0003	0,3640
Aktivita katalázy				
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,5528	0,0000	0,6652	0,0592
Hmotnost listu sušina	0,2689	0,0000	0,9543	0,0753
Specifická hmotnost listu	0,9539	0,4388	0,9152	0,1756
Plocha listu	0,0486	0,0000	0,5905	0,7673

**Tabulka 13:** Výsledky analýzy rozptylu (dvojnásobného třídění s interakcemi) pro hodnoty parametrů měřených u reciprokého křížence (CE704x2023) u mladších rostlin (3. a 4. listové patro) pěstovaných v optimálních podmínkách nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti (průkazné rozdíly vyznačeny šedě).

Parametr	p-hodnota			
	Pěstování	Listové patro	Pěstování* Listové patro	Bartlett's X2
Relativní obsah vody v listu	0,6185	0,0341	0,3929	0,4732
Rychlost transpirace	0,0030	0,0001	0,2974	0,4668
Vodivost průduchů	0,0554	0,0000	0,0554	0,9208
WUE	0,0001	0,3019	0,0053	0,9375
WUEi	0,0000	0,0188	0,0006	0,0030
Rychlost čisté fotosyntézy	0,2221	0,0005	0,7277	0,1587
F0	0,0026	0,2652	0,1345	0,3390
VJ	0,0103	0,7628	0,8881	0,0134
VI	0,0153	0,3987	0,0355	0,0448
M0	0,1666	0,4743	0,3796	0,0000
φ P0	0,2460	0,3458	0,8807	0,0006
φ E0	0,0046	0,9710	0,5766	0,0646
φ RE0	0,0272	0,7408	0,0603	0,0075
φ D0	0,2460	0,3458	0,8807	0,0006
ψ 0	0,0103	0,7628	0,8881	0,0134
ψ RE0	0,0153	0,3987	0,0355	0,0448
Δ RE0	0,2351	0,5413	0,1129	0,0060
γ RC	0,0104	0,5957	0,6756	0,1379
ABS/RC	0,0110	0,5741	0,6851	0,1786
TP0/RC	0,0077	0,7777	0,6336	0,1980
ET0/RC	0,6737	0,5566	0,6494	0,7116
RE0/RC	0,0152	0,9806	0,0389	0,0156
DI0/RC	0,0421	0,3646	0,8221	0,0829
PI ABS	0,0114	0,2872	0,6417	0,0300
PI TOTAL	0,0014	0,9623	0,0081	0,4570
PRI listu	0,3592	0,0011	0,7877	0,0892
NDVI listu	0,0236	0,0321	0,0054	0,0018
Obsah chlorofylu a (mg/m <sup>2</sup> )	0,0024	0,0505	0,6461	0,0111
Obsah chlorofylu b (mg/m <sup>2</sup> )	0,0019	0,0350	0,8374	0,0001
Obsah celkového chlorofylu (mg/m <sup>2</sup> )	0,0018	0,0353	0,6585	0,0146
Obsah celkových karotenoidů (mg/m <sup>2</sup> )	0,1408	0,0655	0,8539	0,0132
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,0137	0,0260	0,4690	0,0402
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,0052	0,0051	0,5072	0,1201
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,0108	0,0181	0,4715	0,0463
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	0,3037	0,0342	0,7822	0,0139
Poměr chlorofylu a/b	0,1741	0,0306	0,9756	0,7599
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů	0,0050	0,0679	0,8922	0,0426
Index poškození membrán	0,9140	0,0998	0,2166	0,2079
Koncentrace MDA	0,0512	0,1760	0,0303	0,0000
Koncentrace H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,2628	0,0104	0,0047	0,0003
Aktivita katalázy				
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,1334	0,0000	0,1785	0,0338
Hmotnost listu sušina	0,0701	0,0000	0,3690	0,1036
Specifická hmotnost listu	0,0570	0,8777	0,8334	0,0074
Plocha listu	0,3870	0,0000	0,5468	0,0155

**Tabulka 14:** Výsledky analýzy rozptylu (dvojnásobného třídění s interakcemi) pro hodnoty parametrů měřených u inbrední linie kukuřice (2023) u starších rostlin (4. a 5. listové patro) pěstovaných v optimálních podmínkách nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti (průkazné rozdíly vyznačeny šedě).

Parametr	p-hodnota			
	Pěstování	Listové patro	Pěstování* Listové patro	Bartlett's X2
Relativní obsah vody v listu	0,1353	0,2606	0,4979	0,2120
Rychlost transpirace	0,3192	0,5463	0,8466	0,1005
Vodivost průduchů	0,0604	0,3820	0,1186	0,1734
WUE	0,0310	0,7900	0,9144	0,0290
WUEi	0,0269	0,4590	0,5891	0,4081
Rychlost čisté fotosyntézy	0,3610	0,8253	0,5871	0,1257
F0	0,0604	0,5444	0,4247	0,0221
VJ	0,0141	0,0337	0,9897	0,7368
VI	0,0063	0,4664	0,9860	0,0185
M0	0,0009	0,0081	0,5597	0,2045
φ P0	0,0001	0,2907	0,1442	0,2103
φ E0	0,4775	0,0363	0,9848	0,6188
φ RE0	0,0036	0,4916	0,9357	0,0118
φ D0	0,0001	0,2907	0,1442	0,2103
ψ 0	0,0141	0,0337	0,9879	0,7368
ψ RE0	0,0063	0,4667	0,9860	0,0185
Δ RE0	0,0243	0,1194	0,9620	0,0361
γ RC	0,0052	0,3999	0,9861	0,2116
ABS/RC	0,0063	0,3899	0,9266	0,1431
TP0/RC	0,0121	0,3165	0,9573	0,4693
ET0/RC	0,5099	0,4424	0,8919	0,1851
RE0/RC	0,0028	0,7168	0,6937	0,0302
D10/RC	0,0032	0,8493	0,3345	0,1077
PI ABS	0,0012	0,3282	0,5721	0,0036
PI TOTAL	0,0001	0,6946	0,3375	0,0870
PRI listu	0,1603	0,0000	0,3614	0,3338
NDVI listu	0,2186	0,2697	0,1395	0,2715
Obsah chlorofylu a (mg/m2)	0,0001	0,0600	0,0363	0,3767
Obsah chlorofylu b (mg/m2)	0,0000	0,0009	0,0288	0,4046
Obsah celkového chlorofylu (mg/m2)	0,0001	0,0360	0,0474	0,4282
Obsah celkových karotenoidů (mg/m2)	0,0047	0,3781	0,0059	0,5914
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,0012	0,0196	0,1728	0,0013
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,0000	0,0000	0,0078	0,0941
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,0000	0,0001	0,0046	0,0225
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	0,0022	0,0016	0,0028	0,2451
Poměr chlorofylu a/b	0,9374	0,0008	0,0697	0,1006
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů	0,0000	0,0003	0,5807	0,0044
Index poškození membrán	0,6360	0,7295	0,0578	0,0434
Koncentrace MDA	0,1966	0,1596	0,9582	0,0695
Koncentrace H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,0427	0,1924	0,5725	0,0631
Aktivita katalázy	0,1070	0,0001	0,8305	0,0000
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,5208	0,0004	0,1755	0,1357
Hmotnost listu sušina	0,9794	0,0000	0,4416	0,1167
Specifická hmotnost listu	0,2017	0,0186	0,5564	0,4565
Plocha listu	0,7708	0,0000	0,4392	0,3238

**Tabulka 15:** Výsledky analýzy rozptylu (dvojného třídění s interakcemi) pro hodnoty parametrů měřených u inbrední linie kukuřice (CE704) u starších rostlin (4. a 5. listové patro) pěstovaných v optimálních podmínkách nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti (průkazné rozdíly vyznačeny šedě).

Parametr	p-hodnota			
	Pěstování	Listové patro	Pěstování* Listové patro	Bartlett's X2
Relativní obsah vody v listu	0,2006	0,5754	0,9831	0,2690
Rychlost transpirace	0,5762	0,0038	0,3486	0,0124
Vodivost průduchů	0,4484	0,0088	0,1123	0,0484
WUE	0,0986	0,0186	0,7431	0,9094
WUEi	0,0190	0,7867	0,3206	0,0767
Rychlost čisté fotosyntézy	0,4692	0,0638	0,1247	0,0597
F0	0,0051	0,1828	0,6093	0,5497
VJ	0,1924	0,5644	0,3715	0,5115
VI	0,0179	0,0072	0,6804	0,1048
M0	0,0016	0,3173	0,9662	0,6178
φ P0	0,0067	0,0067	0,4963	0,1572
φ E0	0,4299	0,3683	0,8697	0,3852
φ RE0	0,0606	0,0255	0,4215	0,1347
φ D0	0,0067	0,0067	0,4963	0,1572
ψ 0	0,1305	0,4115	0,5388	0,2985
ψ RE0	0,0179	0,0072	0,6804	0,1048
Δ RE0	0,0830	0,0124	0,1602	0,7196
γ RC	0,0002	0,0043	0,6856	0,4547
ABS/RC	0,0003	0,0045	0,7153	0,4577
TP0/RC	0,0015	0,2792	0,7165	0,1769
ET0/RC	0,0581	0,4220	0,0535	0,4911
RE0/RC	0,0288	0,0578	0,4644	0,0114
D10/RC	0,0021	0,0126	0,7651	0,0816
PI ABS	0,0031	0,0313	0,6739	0,4157
PI TOTAL	0,0106	0,0147	0,3636	0,0116
PRI listu	0,1125	0,0325	0,0594	0,1253
NDVI listu	0,2885	0,8628	0,7233	0,2403
Obsah chlorofylu a (mg/m2)	0,0012	0,4794	0,0090	0,5584
Obsah chlorofylu b (mg/m2)	0,0120	0,3188	0,0397	0,0821
Obsah celkového chlorofylu (mg/m2)	0,0017	0,7303	0,0105	0,4803
Obsah celkových karotenoidů (mg/m2)	0,1681	0,2060	0,0375	0,2654
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,0809	0,1867	0,0275	0,0118
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,0362	0,0897	0,2304	0,0001
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,0459	0,0604	0,0321	0,0129
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	0,7604	0,4882	0,0800	0,0044
Poměr chlorofylu a/b	0,7567	0,0016	0,2968	0,0185
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů	0,0000	0,0272	0,3821	0,0449
Index poškození membrán	0,9315	0,0149	0,6865	0,0771
Koncentrace MDA	0,3323	0,5078	0,2506	0,6394
Koncentrace H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,0007	0,2334	0,8608	0,2164
Aktivita katalázy				
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,8937	0,0000	0,9978	0,2868
Hmotnost listu sušina	0,8892	0,0000	0,9629	0,1803
Specifická hmotnost listu	0,0282	0,0737	0,3268	0,9066
Plocha listu	0,3893	0,0000	0,6889	0,2512

**Tabulka 16:** Výsledky analýzy rozptylu (dvojného třídění s interakcemi) pro hodnoty parametrů měřených u reciprokého křížence (2023xCE704) u starších rostlin (4. a 5. listové patro) pěstovaných v optimálních podmínkách nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti (průkazné rozdíly vyznačeny šedě).

Parametr	p-hodnota			
	Pěstování	Listové patro	Pěstování* Listové patro	Bartlett's X2
Relativní obsah vody v listu	0,0179	0,1671	0,5081	0,0029
Rychlost transpirace	0,1737	0,5024	0,8527	0,2378
Vodivost průduchů	0,2843	0,0274	0,5154	0,2444
WUE	0,3133	0,3735	0,8193	0,0281
WUEi	0,4440	0,5542	0,8088	0,3863
Rychlost čisté fotosyntézy	0,0455	0,0602	0,5187	0,0000
F0	0,0013	0,0280	0,0027	0,1451
VJ	0,0039	0,7355	0,5437	0,0558
VI	0,0004	0,0015	0,2754	0,3459
M0	0,0000	0,8485	0,9064	0,7407
φ P0	0,0001	0,3572	0,6974	0,0310
φ E0	0,6336	0,5819	0,9350	0,1204
φ RE0	0,0001	0,0016	0,2863	0,2832
φ D0	0,0001	0,3572	0,6974	0,0310
ψ 0	0,0039	0,7355	0,5437	0,0558
ψ RE0	0,0010	0,0039	0,1517	0,6247
Δ RE0	0,0020	0,0018	0,2875	0,1910
γ RC	0,0000	0,4885	0,9786	0,1435
ABS/RC	0,0000	0,5618	0,9901	0,1214
TP0/RC	0,0001	0,2912	0,9906	0,0009
ET0/RC	0,0835	0,0983	0,5417	0,0034
RE0/RC	0,0001	0,0132	0,6556	0,0969
DI0/RC	0,0000	0,8740	0,9368	0,0405
PI ABS	0,0000	0,4312	0,7486	0,8912
PI TOTAL	0,0000	0,0040	0,3867	0,0529
PRI listu	0,3486	0,0635	0,6978	0,4834
NDVI listu	0,7838	0,1256	0,0902	0,0534
Obsah chlorofylu a (mg/m <sup>2</sup> )	0,0000	0,8851	0,0100	0,0205
Obsah chlorofylu b (mg/m <sup>2</sup> )	0,0000	0,0189	0,0194	0,1108
Obsah celkového chlorofylu (mg/m <sup>2</sup> )	0,0000	0,5148	0,0108	0,0331
Obsah celkových karotenoidů (mg/m <sup>2</sup> )	0,0018	0,1945	0,0041	0,0261
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,0000	0,0305	0,0886	0,7950
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,0000	0,0003	0,2079	0,4905
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,0000	0,0105	0,1040	0,7629
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	0,0107	0,0235	0,0167	0,2654
Poměr chlorofylu a/b	0,3125	0,0000	0,2182	0,1123
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů	0,0000	0,0996	0,7342	0,0091
Index poškození membrán	0,9724	0,0460	0,6300	0,7711
Koncentrace MDA	0,2883	0,0450	0,8527	0,2536
Koncentrace H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,0045	0,3717	0,4368	0,2817
Aktivita katalázy	0,0382	0,0000	0,0781	0,0000
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,2886	0,0000	0,4152	0,1996
Hmotnost listu sušina	0,6566	0,0000	0,5650	0,0434
Specifická hmotnost listu	0,0414	0,0406	0,3313	0,4753
Plocha listu	0,8390	0,0000	0,7730	0,2076

**Tabulka 17:** Výsledky analýzy rozptylu (dvojnásobného třídění s interakcemi) pro hodnoty parametrů měřených u reciprokého křížence (CE704x2023) u starších rostlin (4. a 5. listové patro) pěstovaných v optimálních podmínkách nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti (průkazné rozdíly vyznačeny šedě).

Parametr	p-hodnota			
	Pěstování	Listové patro	Pěstování* Listové patro	Bartlett's X2
Relativní obsah vody v listu	0,8257	0,2706	0,8298	0,3175
Rychlost transpirace	0,0157	0,1303	0,6635	0,0229
Vodivost průduchů	0,0045	0,0015	0,4571	0,6110
WUE	0,7891	0,9289	0,7732	0,9381
WUEi	0,6201	0,0580	0,6537	0,0999
Rychlost čisté fotosyntézy	0,0036	0,0004	0,8689	0,0916
F0	0,4044	0,1583	0,4566	0,1861
VJ	0,0289	0,8710	0,8710	0,0077
VI	0,0132	0,0698	0,5771	0,0599
M0	0,0187	0,6894	0,8349	0,0465
φ P0	0,0003	0,3473	0,2356	0,0496
φ E0	0,5638	0,4066	0,4577	0,2619
φ RE0	0,0062	0,0640	0,6004	0,2509
φ D0	0,0003	0,3473	0,2356	0,0496
ψ 0	0,0289	0,8710	0,8710	0,0077
ψ RE0	0,0132	0,0698	0,5771	0,0599
Δ RE0	0,0613	0,0676	0,8617	0,2280
γ RC	0,0070	0,8325	0,4411	0,0526
ABS/RC	0,0095	0,8540	0,4364	0,0451
TP0/RC	0,2060	0,5698	0,3593	0,0660
ET0/RC	0,4613	0,2464	0,1934	0,3907
RE0/RC	0,0072	0,0134	0,1611	0,6925
DI0/RC	0,0105	0,9801	0,2480	0,0059
PI ABS	0,0062	0,9808	0,3847	0,3965
PI TOTAL	0,0035	0,1085	0,9904	0,9670
PRI listu	0,8407	0,5527	0,2394	0,0038
NDVI listu	0,0200	0,1112	0,4174	0,0007
Obsah chlorofylu a (mg/m2)	0,0004	0,7172	0,6650	0,0422
Obsah chlorofylu b (mg/m2)	0,0019	0,4741	0,8181	0,0020
Obsah celkového chlorofylu (mg/m2)	0,0004	0,9373	0,7056	0,0187
Obsah celkových karotenoidů (mg/m2)	0,1007	0,3873	0,7055	0,1569
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,0002	0,3071	0,5114	0,0964
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,0010	0,0439	0,7398	0,0327
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,0003	0,1977	0,5642	0,0694
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	0,1639	0,9849	0,7084	0,0214
Poměr chlorofylu a/b	0,9888	0,0006	0,7900	0,0104
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů	0,0000	0,5605	0,9153	0,0414
Index poškození membrán	0,7533	0,0350	0,7640	0,1000
Koncentrace MDA	0,6974	0,0817	0,1922	0,0022
Koncentrace H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,0062	0,0398	0,0554	0,0001
Aktivita katalázy	0,0336	0,0028	0,1477	0,0000
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,4327	0,0000	0,2031	0,3573
Hmotnost listu sušina	0,8508	0,0000	0,6621	0,0590
Specifická hmotnost listu	0,5565	0,0345	0,6924	0,0315
Plocha listu	0,3806	0,0000	0,2991	0,2436

**Tabulka 18:** Výsledky analýzy rozptylu (dvojnásobného třídění s interakcemi) pro hodnoty parametrů měřených u inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) u mladších rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (kontrola) nebo vystavených hypoxii (stres) po dobu 10 dní. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti (průkazné rozdíly vyznačeny šedě). Průkazné hodnoty Bartlettova testu vyznačeny šedě značí zamítnutí hypotézy o shodnosti rozptylů i po logaritmické transformaci dat (následná analýza Games-Howellův test). Hodnoty označené hvězdičkou značí potvrzení shody rozptylů po logaritmické transformaci dat (pro následnou analýzu mohl být použit Tukey-Kramerův test).

Parametr	p-hodnota			
	Genotyp	Pěstování	Genotyp* pěstování	Bartlett
Relativní obsah vody v listu	0,2506	0,4336	0,4948	0,1643
Rychlost transpirace	0,0796	0,1489	0,8395	0,0061
Vodivost průduchů	0,1028	0,1134	0,0198	0,5839
WUE	0,1818	0,2310	0,9322	0,6425
WUEi	0,2279	0,0074	0,6458	0,0307
Rychlost čisté fotosyntézy	0,2005	0,2154	0,3343	0,0010
F0	0,0039	0,0193	0,4963	0,5439
VJ	0,0000	0,0001	0,5221	0,4446
VI	0,0007	0,0538	0,0695	0,1828
M0	0,0016	0,0000	0,0289	0,0000
φ P0	0,0019	0,0085	0,0238	0,0000
φ E0	0,0303	0,0081	0,7948	0,1189
φ RE0	0,0001	0,0133	0,0160	0,2670
φ D0	0,0019	0,0085	0,0238	0,0000
ψ 0	0,0000	0,0001	0,5221	0,4446
ψ RE0	0,0007	0,0538	0,0695	0,1828
Δ RE0	0,0199	0,5748	0,1945	0,0447
γ RC	0,0426	0,0006	0,2504	0,0150
ABS/RC	0,0163	0,0002	0,1707	0,0068
TP0/RC	0,0311	0,0004	0,4006	0,0626
ET0/RC	0,0013	0,4333	0,3129	0,8792
RE0/RC	0,0047	0,0346	0,0283	0,0605
D10/RC	0,0030	0,0006	0,0575	0,0517 *
PI ABS	0,0000	0,0000	0,0118	0,0062
PI TOTAL	0,0000	0,0020	0,0035	0,0096
PRI listu	0,0753	0,1526	0,1766	0,0320
NDVI listu	0,7965	0,1896	0,0237	0,0014
Obsah chlorofylu a (mg/m <sup>2</sup> )	0,0213	0,0000	0,0536	0,2787
Obsah chlorofylu b (mg/m <sup>2</sup> )	0,0340	0,0000	0,0437	0,0113
Obsah celkového chlorofylu (mg/m <sup>2</sup> )	0,0209	0,000	0,0498	0,3591
Obsah celkových karotenoidů (mg/m <sup>2</sup> )	0,0308	0,0219	0,2232	0,0234
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,0018	0,0001	0,4790	0,0126
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,0035	0,0000	0,6479	0,1537
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,0010	0,0001	0,5569	0,0266
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	0,0030	0,2248	0,7170	0,0157
Poměr chlorofylu a/b	0,0702	0,0289	0,7130	0,5382
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů	0,6543	0,0000	0,5501	0,0167
Index poškození membrán	0,0000	0,6618	0,3009	0,3227
Koncentrace MDA	0,0536	0,0762	0,0005	0,0798
Koncentrace H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,1879	0,1393	0,9450	0,1134 *
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,0000	0,3613	0,1078	0,6279
Hmotnost listu sušina	0,0000	0,0635	0,0466	0,7608
Specifická hmotnost listu	0,0464	0,0175	0,2701	0,2778
Plocha listu	0,0000	0,5375	0,0510	0,1452

**Tabulka 19:** Výsledky analýzy rozptylu (dvojnásobného třídění s interakcemi) pro hodnoty parametrů měřených u inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročních kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) u starších rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (kontrola) nebo vystavených hypoxii (stres) po dobu 10 dní. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti (průkazné rozdíly vyznačeny šedě). Průkazné hodnoty Bartlettova testu vyznačeny šedě značí zamítnutí hypotézy o shodnosti rozptylů i po logaritmické transformaci dat (následná analýza Games-Howellův test). Hodnoty označené hvězdičkou značí potvrzení shody rozptylů po logaritmické transformaci dat (pro následnou analýzu mohl být použit Tukey-Kramerův test).

Parametr	p-hodnota			
	Genotyp	Pěstování	Genotyp* pěstování	Bartlett's X2
Relativní obsah vody v listu	0,2733	0,4584	0,3107	0,2255
Rychlost transpirace	0,0000	0,2713	0,5779	0,0569
Vodivost průduchů	0,0000	0,0907	0,4941	0,1478
WUE	0,4165	0,0757	0,9006	0,2185
WUEi	0,3977	0,1694	0,7499	0,0390
Rychlost čisté fotosyntézy	0,0004	0,0084	0,8650	0,1492
F0	0,0000	0,0347	0,5927	0,1551
VJ	0,0000	0,0001	0,8870	0,0185
VI	0,0000	0,0001	0,6717	0,1470
M0	0,0001	0,0001	0,9123	0,0128
φ P0	0,0002	0,0000	0,9695	0,0206
φ E0	0,0001	0,4195	0,7381	0,3416
φ RE0	0,0005	0,0002	0,3692	0,0423
φ D0	0,0002	0,0000	0,9695	0,0206
ψ 0	0,0000	0,0001	0,8870	0,0185
ψ RE0	0,0000	0,0002	0,6272	0,2292
Δ RE0	0,0037	0,0038	0,5328	0,0993
γ RC	0,0000	0,0000	0,4710	0,2466
ABS/RC	0,0000	0,0000	0,5066	0,2313
TP0/RC	0,0002	0,0000	0,7448	0,0818
ET0/RC	0,0017	0,9673	0,1543	0,1117
RE0/RC	0,0000	0,0001	0,5900	0,0192
D10/RC	0,0005	0,0001	0,6661	0,0020
PI ABS	0,0000	0,0000	0,1292	0,9606
PI TOTAL	0,0002	0,0000	0,2833	0,0754
PRI listu	0,0000	0,4025	0,7736	0,2522
NDVI listu	0,0008	0,7943	0,1334	0,0007
Obsah chlorofylu a (mg/m2)	0,0969	0,0000	0,1786	0,0125
Obsah chlorofylu b (mg/m2)	0,1486	0,0000	0,1491	0,0137
Obsah celkového chlorofylu (mg/m2)	0,1053	0,0000	0,1699	0,0130
Obsah celkových karotenoidů (mg/m2)	0,0052	0,5482	0,4222	0,0077
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,0281	0,0001	0,0421	0,2190
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,1475	0,0001	0,4964	0,0378
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,0117	0,0000	0,0484	0,3728
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	0,0025	0,7525	0,2233	0,2921
Poměr chlorofylu a/b	0,7204	0,1349	0,0448	0,0809
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karotenoidů	0,0002	0,0000	0,0839	0,0000
Index poškození membrán	0,0054	0,4249	0,9920	0,0003
Koncentrace MDA	0,7487	0,6228	0,4558	0,1925 *
Koncentrace H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,0785	0,0017	0,7454	0,1325
Aktivita katalázy	0,3261	0,0128	0,2846	0,4573 *
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,0000	0,5604	0,7663	0,6798
Hmotnost listu sušina	0,0000	0,3577	0,8888	0,8244
Specifická hmotnost listu	0,0000	0,0822	0,9946	0,4789
Plocha listu	0,0000	0,2054	0,8607	0,5689



**Tabulka 20:** Výsledky analýzy rozptylu (jednoduché třídění) pro hodnoty parametrů měřených u dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) u mladších rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (kontrola) nebo vystavených hypoxii (stres) po dobu 10 dní. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti, jako zdroj variability byly použity genotypy. V případě, že hodnoty Bartlettova testu (B) vyšly u navazujících ANOVA průkazné (\*), jsou uvedeny p-hodnoty welch anovy.

Parametr	Kontrola		Stres	
	B	p-hodnota	B	p-hodnota
F0	0,3221	0,0109	0,6052	0,1598
VJ	0,5111	0,0004	0,2453	0,0201
VI	0,2877	0,0005	0,1133	0,3121
M0	0,0004*	0,0113	0,0098*	0,0041
$\phi$ P0	0,7240	0,0017	0,0000*	0,0000
$\phi$ E0	0,1856	0,2110	0,0897	0,1479
$\phi$ RE0	0,6101	0,0001	0,0869	0,1455
$\phi$ D0	0,7240	0,0017	0,0000*	0,0000
$\psi$ 0	0,5111	0,0004	0,2453	0,0210
$\psi$ RE0	0,2877	0,0005	0,1133	0,3121
$\Delta$ RE0	0,1448	0,0033	0,0678	0,7486
$\gamma$ RC	0,0437*	0,3813	0,0316*	0,1606
ABS/RC	0,0157*	0,0994	0,0313*	0,1589
TP0/RC	0,0746	0,1594	0,0963	0,0775
ET0/RC	0,8483	0,0139	0,5312	0,0500
RE0/RC	0,1026	0,0010	0,0729	0,2668
DIO/RC	0,4094	0,0118	0,0042*	0,0252
PI ABS	0,7097	0,000	0,0006*	0,0001
PI TOTAL	0,0111*	0,0006	0,1271	0,0839
Obsah chlorofylu a (mg/m <sup>2</sup> )	0,2682	0,4102	0,5826	0,0224
Obsah chlorofylu b (mg/m <sup>2</sup> )	0,0428*	0,1269	0,0377*	0,0648
Obsah celkového chlorofylu (mg/m <sup>2</sup> )	0,3656	0,4187	0,5890	0,0208
Obsah celkových karotenoidů (mg/m <sup>2</sup> )	0,1103	0,1852	0,1792	0,0541
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,1607	0,0028	0,5959	0,0506
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	0,4361	0,0198	0,6832	0,0790
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,3641	0,0018	0,6238	0,0539
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	0,3994	0,0063	0,0752	0,0708
Index poškození membrán	0,1239	0,0107	0,5382	0,0020
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,2440	0,0010	0,8967	0,0001
Hmotnost listu sušina	0,6426	0,0003	0,6936	0,0001
Specifická hmotnost listu	0,4232	0,1770	0,1261	0,1019
Plocha listu	0,2646	0,000	0,1400	0,0002

**Tabulka 21:** Výsledky analýzy rozptylu (jednoduché třídění) pro hodnoty parametrů měřených u dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) u starších rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (kontrola) nebo vystavených hypoxii (stres) po dobu 10 dní. Uvedeny jsou hladiny statistické významnosti, jako zdroj variability byly použity genotypy. V případě, že hodnoty Bartlettova testu (B) vyšly u navazujících ANOVA průkazné (\*), jsou uvedeny p-hodnoty welch anovy.

Parametr	Kontrola		Stres	
	B	p-hodnota	B	p-hodnota
Rychlost transpirace	0,0321*	0,3384	0,6802	0,0002
Vodivost průduchu	0,0534	0,0262	0,5841	0,0003
Rychlost čisté fotosyntézy	0,0308*	0,0592	0,9774	0,0038
F0	0,1206	0,0008	0,2957	0,0010
VJ	0,0569	0,0000	0,0358*	0,0021
VI	0,3227	0,0066	0,1134	0,0023
M0	0,8418	0,0001	0,0136*	0,0129
$\phi$ P0	0,0827	0,0002	0,3257	0,0949
$\phi$ E0	0,5667	0,0009	0,3964	0,0573
$\phi$ RE0	0,3328	0,0047	0,0119*	0,0081
$\phi$ D0	0,0827	0,0002	0,3257	0,0949
$\psi$ 0	0,0569	0,0000	0,0358*	0,0021
$\psi$ RE0	0,3227	0,0066	0,1623	0,0042
$\Delta$ RE0	0,1286	0,0405	0,4423	0,0516
$\gamma$ RC	0,2156	0,0001	0,2998	0,0151
ABS/RC	0,2215	0,0001	0,2987	0,0122
TP0/RC	0,1572	0,0065	0,0643	0,0402
ET0/RC	0,3308	0,0171	0,2251	0,0265
RE0/RC	0,4191	0,0021	0,0036*	0,0088
DI0/RC	0,0134*	0,0008	0,7900	0,0452
PI ABS	0,9937	0,0000	0,6057	0,0105
PI TOTAL	0,3850	0,0040	0,0252*	0,0093
PRI	0,2984	0,0151	0,2528	0,0014
NDVI	0,0021*	0,0000	0,0234*	0,0021
Obsah celkových karotenoidů (mg/m <sup>2</sup> )	0,0807	0,0699	0,1720	0,0197
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	0,1850	0,5034	0,2083	0,0107
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	0,4104	0,5200	0,2066	0,0090
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	0,0989	0,1459	0,6698	0,0055
Poměr chlorofylu (a+b)/celkových karotenoidů	0,0012*	0,0003	0,0021*	0,0259
Index poškození membrán	0,0008*	0,0301	0,0178*	0,0192
Hmotnost listu čerstvá biomasa	0,2979	0,0000	0,7764	0,0000
Hmotnost listu sušina	0,4221	0,0000	0,9253	0,0000
Specifická hmotnost listu	0,8366	0,0091	0,1353	0,0033
Plocha listu	0,2506	0,0000	0,9269	0,0000

**Tabulka 22:** Výsledky Tukey-Kramerova nebo Games-Howellova testu pro hodnoty parametrů měřených u dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich recipročných kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) u mladších rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (kontrola) nebo vystavených hypoxii (stres) po dobu 10 dní. Statisticky průkazné rozdíly mezi genotypy (na hladině významnosti 0,05) jsou označeny písmenem S, n/a značí nedostatek dat.

Parametr	Kontrola						Stres					
	2023-CE704	2023-2023x704	2023-704x2023	CE704-2023x704	CE704-704x2023	2023x704-704x2023	2023-CE704	2023-2023x704	2023-704x2023	CE704-2023x704	CE704-704x2023	2023x704-704x2023
F0	s			s	s							
VJ	s	s	s	s	s	s	s		s	s	s	s
VI	s	s	s	s	s	s						
M0		s	s							s		
φ P0	s			s	s					s	s	
φ E0							s	s	s	s	s	
φ RE0	s	s	s	s	s		s	s		s	s	s
φ D0	s			s	s		s			s	s	
ψ 0	s	s	s	s	s	s	s		s	s	s	s
ψ RE0	s	s	s	s	s	s						
Δ RE0	s	s	s	s	s	s						
γ RC												
ABS/RC												
TP0/RC	s	s		s	s	s	s	s	s	s		s
ET0/RC	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s		s
RE0/RC	s	s	s	s	s	s						
DI0/RC	s			s	s	s				s	s	
PI ABS	s			s	s	s				s	s	
PI TOTAL	s	n/a	s	s	s		s	s		s	s	s
Obsah chlorofylu a (mg/m <sup>2</sup> )							s	s	s	s	s	
Obsah chlorofylu b (mg/m <sup>2</sup> )								s				
Obsah celkového chlorofylu (mg/m <sup>2</sup> )							s	s	s	s	s	
Obsah celkových karotenoidů (mg/m <sup>2</sup> )	s	s	s		s	s	s	s	s	s		s
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s		s
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)		s	s	s	s		s	s	s	s	s	
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	s	s	s	s	s	s		s	s	s	s	s
Index poškození membrán	s	s	s	s	s	s		s	s	s	s	
Hmotnost listu čerstvá biomasa	s			s	s		s			s	s	
Hmotnost listu sušina	s	s		s	s	s	s			s	s	
Specifická hmotnost listu							s		s	s	s	s
Plocha listu	s	s	s	s	s	s	s			s	s	

**Tabulka 23:** Výsledky Tukey-Kramerova nebo Games-Howellova testu pro hodnoty parametrů měřených u dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) u starších rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách (kontrola) nebo vystavených hypoxii (stres) po dobu 10 dní. Statisticky průkazné rozdíly mezi genotypy (na hladině významnosti 0,05) jsou označeny písmenem S, n/a značí nedostatek dat.

Parametr	Kontrola						Stres					
	2023-CE704	2023-2023x704	2023-704x2023	CE704-2023x704	CE704-704x2023	2023x704-704x2023	2023-CE704	2023-2023x704	2023-704x2023	CE704-2023x704	CE704-704x2023	2023x704-704x2023
Rychlost transpirace	s			s	s		s	s	s	s	s	s
Vodivost průduchu	s	s	s	s	s			s	s	s	s	
Rychlost čisté fotosyntézy	s	s	s	s	s			s	s	s	s	
F0	s			s	s		s			s	s	
VJ	s	s	s	s	s		s			s		s
VI	s			s	s		s	s	s			
M0	s		s	s	s	s	s			s		
φ P0	s			s	s		s		s	s	s	s
φ E0	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s		s
φ RE0	s			s	s		s	s	s	s		s
φ D0	s			s	s		s		s	s	s	s
ψ 0	s	s	s	s	s		s			s		s
ψ RE0	s			s	s		s	s	s	s	s	s
Δ RE0	s	s		s	s	s	s	s	s		s	s
γ RC	s	s	s	s	s	s	s			s	s	
ABS/RC	s	s	s	s	s	s	s			s	s	
TP0/RC	s			s	s	s	s			s	s	
ET0/RC	s	s	s				s	s	s		s	s
RE0/RC	s			s	s			s				n/a
DIO/RC	n/a		n/a	s	n/a		s			s	s	
PI ABS	s		s	s	s	s	s			s	s	
PI TOTAL	s			s	s			s				
PRI	s	s	s	s	s	s	s	s	s			s
NVDI						s					s	
Obsah celkových karotenoidů (mg/m <sup>2</sup> )	s		s	s	s	s	s	s		s	s	s
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)							s			s	s	
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)							s			s	s	
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	s	s	s	s	s		s	s	s	s	s	s
Poměr chlorofylu (a+b)/celkových karotenoidů	s	s	s	s								
Index poškození membrán			n/a									
Hmotnost listu čerstvá biomasa	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
Hmotnost listu sušina	s	s	s	s	s	s	s			s	s	
Specifická hmotnost listu	s			s	s	s	s			s	s	
Plocha listu	s	s	s	s	s	s	s			s	s	

**Tabulka 24:** Výsledky Tukey-Kramerova nebo Games-Howellova testu hodnoty parametrů měřených u dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) mladších rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní. Statisticky průkazné rozdíly mezi způsobem pěstování (na hladině významnosti 0,05) jsou označeny písmenem S.

Parametr	Genotyp			
	2023	CE704	2023xCE704	CE704x2023
Vodivost průduchu	s			
M0	s		s	s
$\varphi$ P0	s			
$\varphi$ RE0	s			
$\varphi$ D0	s			
RE0/RC	s			
PI ABS	s		s	s
PI TOTAL	s			
NDVI	s		s	
MDA		s		
Obsah chlorofylu b (mg/m <sup>2</sup> )	s	s		s
Obsah celkového chlorofylu (mg/m <sup>2</sup> )	s	s		s
Hmotnost listu sušina	s			

**Tabulka 25:** Výsledky Tukey-Kramerova testu hodnoty parametrů měřených u dvou inbredních linií kukuřice (CE704 a 2023) a jejich reciprokých kříženců (2023xCE704 a CE704x2023) starších rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách nebo vystavených hypoxii po dobu 10 dní. Statisticky průkazné rozdíly mezi způsobem pěstování (na hladině významnosti 0,05) jsou označeny písmenem S.

Parametr	Genotyp			
	2023	CE704	2023xCE704	CE704x2023
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	s		s	s
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	s		s	s

### 5.5.2. Rozdíly mezi listovými patry

Ze statistického hodnocení nebyly zjištěny průkazné rozdíly mezi studovanými parametry v závislosti na stáří listu, ve kterém byl vystaven zaplavení, a to mezi listem, který započal i dokončil vývoj během zaplavení, a u listu, který započal vývoj během optimálních podmínek pěstování a dokončil ho během zaplavení. Avšak z jednotlivých výsledků jsou patrné někdy i poměrně výrazné rozdíly mezi různě starými listy, a proto jsme pro porovnání těchto rozdílů zvolili procentuální vyjádření. Naměřené hodnoty u listů, které zahájili vývoj v optimálních pěstebních podmínkách představovaly 100% a tyto hodnoty jsem vztahoval k hodnotám jednotlivých parametrů, které jsem u stejného rostlinného materiálu, pěstovaného za stejných podmínek získal v předchozích pokusech (Čečetka 2018).

U mladších rostlin jsou viditelné rozdíly mezi listovými patry u většiny studovaných parametrů (tab. 26). U vodního stavu rostlin starší listy měly vyšší rychlost transpirace a vodivost průduchů jak v optimálních podmínkách pěstování, tak i po vystavení stresu. Oproti tomu vyšší hodnoty WUE a WUE<sub>i</sub> vykazovaly u všech genotypů pěstovaných v optimálních podmínkách mladší listy. V podmínkách zaplavení nebyl patrný jednoznačný trend. U rychlosti čisté fotosyntézy vykazovalo vyšší hodnoty mladší listové patro u linie CE704 v kontrolních podmínkách i během zaplavení. U parametrů fluorescence chlorofylu *a* byly výraznější rozdíly mezi listovými patry zjištěny u performačních indexů zachování energie (PI ABS, PI TOTAL). U těchto indexů byly zjištěny (s jednou výjimkou) nižší hodnoty u mladšího listového patra u linie 2023 jak v optimálních, tak stresových podmínkách. Podobně se chovali i kříženci vystavení zaplavení. Naopak u linie CE704 vykazují v obou prostředích mladší listy vyšší hodnoty těchto indexů. Vyšší hodnoty byly zjištěny i u kříženců pěstovaných v optimálních podmínkách. Obsah fotosyntetických pigmentů je obvykle nižší u mladších listů než u starších, jak v kontrolních podmínkách, tak i během vystavení zaplavení. Ve stresovaných podmínkách je tento rozdíl podstatně výraznější oproti kontrolním podmínkám pěstování. Obsah peroxidu vodíku byl výrazně nižší u mladších listů oproti starším v optimálních podmínkách i během vystavení zaplavení s výjimkou linie CE704, kdy stresované mladší listy dosáhly vyšších hodnot oproti starším. Odlišná odpověď byla sledována v případě obsahu MDA, kdy u mladších listů byly zjištěny vyšší hodnoty oproti hodnotám u starších listů s výjimkou kříženců rostoucích v optimálních podmínkách pěstování. Index poškození membrán byl podobně jako zbylé parametry buněčného poškození též ovlivněn odlišným stářím listů. S výjimkou linie 2023 (za optimálních podmínek) byla u ostatních rostlin zjištěna menší míra poškození buněčných membrán u mladších listů než u starších. U všech studovaných morfologických

parametrů, s výjimkou specifické hmotnosti listů, dosahují výrazně vyšších hodnot mladší listy oproti starším.

Podobně jako u mladších rostlin jsou i u starších viditelné rozdíly mezi studovanými parametry (tab. 26). V případě parametrů popisujících vodní stav rostliny dosahovali kříženci vyšších hodnot rychlosti transpirace a vodivosti průduchů u mladšího listového patra během stresu i za optimálních podmínek pěstování. Naopak u linie CE704 byly zjištěny nižší hodnoty rychlosti transpirace během zaplavení i u optimálních podmínek pěstování. U parametru WUE bylo zjištěno odlišné chování oproti mladším rostlinám, kdy se rozdíly mezi jednotlivými patry částečně stírají. Naopak u WUE<sub>i</sub> vykazuje starší listové patro vyšší hodnoty u kříženců a linie 2023 během zaplavení, a i u křížence CE704x2023 pěstovaného v optimálních podmínkách pěstování. U rychlosti čisté fotosyntézy byly zjištěny rozdíly mezi kříženci, kdy vyšších hodnot dosahovaly mladší listy oproti starším v optimálních podmínkách pěstování i během zaplavení. U parametrů fluorescence chlorofylu bylo zjištěno podstatně více rozdílu než u mladších rostlin. U  $\phi$ RE0,  $\psi$ RE0 a  $\Delta$ RE0 byly u všech genotypů kromě linie 2023 zjištěny vyšší hodnoty těchto parametrů u mladšího listového patra oproti staršímu jak v kontrolních podmínkách pěstování, tak i během stresu. Oproti tomu u RE0/RC vykazovaly starší rostliny vyšší hodnoty tohoto parametru u rodičovské linie CE704 a kříženců jak během zaplavení, tak i v optimálních podmínkách pěstování. Podobné výsledky byly zjištěny i u linie CE704 a křížence CE704x2023 pěstovaného v optimálních podmínkách u parametru DI0/RC. V případě performačního indexu (PI TOTAL) byly zjištěny vyšší hodnoty u mladších listů všech sledovaných genotypů s výjimkou linie 2023 vystavené zaplavení. Výraznější rozdíly byly zjištěny u indexu spektrální odrazivosti (PRI), kdy u rodičovských linií dosahovalo vyšších hodnot starší listové patro v optimálních podmínkách pěstování a u linie 2023 během zaplavení. Naopak u kříženců v optimálních podmínkách a u linie CE704 vystavené zaplavení dosahovalo vyšších hodnot tohoto parametru mladší listové patro. U fotosyntetických pigmentů dosahují nižších hodnot obsahu mladší listy v podmínkách vystavení stresu zaplavením. Podobně jako stresované rostliny dosahuje i nižších hodnot u mladších listů linie 2023 v přepočtu na suchou hmotnost listu. V kontrolních podmínkách naopak u linie CE704 a křížence 2023xCE704 dosahuje vyšších hodnot obsahu fotosyntetických pigmentů mladší listové patro při přepočtu na plochu listu. U obsahu peroxidu vodíku byl sledován opačný trend oproti mladším rostlinám a mladší listové patro vykazovalo v podmínkách zaplavení vyšší hodnot obsahu oproti staršímu s výjimkou linie CE704, kde obsah H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> byl vyšší u staršího listového patra. Podobně jako u mladších rostlin i zde byl obsah MDA vyšší u mladších listů oproti starším s výjimkou linie

CE704 pěstované v během zaplavení. Míra poškození buněčných membrán byla podobně jako u mladších rostlin vyšší u mladšího listového patra. Aktivita katalázy byla výrazně vyšší u mladšího listového patra a lišila se v závislosti na způsobu pěstování. Linie 2023 vykazuje vyšší rozdíl v aktivitě katalázy u rostlin pěstovaných v optimálních podmínkách. Naopak kříženci vykazují opačné chování. U morfologických parametrů byly zjištěny podobné výsledky jako v případě mladších listů s výjimkou specifické hmotnosti listů, kdy vyšších hodnot dosahovalo mladší listové patro oproti staršímu v optimálních podmínkách pěstování, tak i během zaplavení.

**Tabulka. 26:** Znázornění rozdílů mezi listovými patry pokusných rostlin. U mladších rostlin jsou uvedeny rozdíly mezi 3. a 4. listovým patrem a u starších rostlin mezi 4. a 5. listovým patrem. Rozdíly jsou uvedeny v procentech vztažených k vývojově staršímu listu, jehož hodnota představuje 100 % (Hodnoty pro mladší listy byly použity z diplomové práce Čečetka 2018). Barevná znázornění rozpětí rozdílů (v %) jsou uvedena níže.

50-79	80-94	95-105	104-120	121-200	201-600
-------	-------	--------	---------	---------	---------



Parametr	Mladší rostliny								Starší rostlin							
	2023		CE704		2023xCE704		CE704x2023		2023		CE704		2023xCE704		CE704x2023	
	Kontrola	Stres	Kontrola	Stres	Kontrola	Stres	Kontrola	Stres	Kontrola	Stres	Kontrola	Stres	Kontrola	Stres	Kontrola	Stres
Relativní obsah vody v listu	100	99	96	98	97	98	97	98	99	98	99	99	98	99	98	98
Rychlost transpirace	68	61	92	100	83	97	78	87	95	98	73	85	104	106	111	107
Vodivost průduchů	67	57	92	109	90	83	67	83	100	113	80	100	113	150	129	133
WUE	118	91	124	108	118	110	113	93	102	101	111	116	109	94	99	103
WUEi	112	92	109	98	113	102	127	92	99	93	105	97	98	94	89	93
Rychlost čisté fotosyntézy	85	56	122	109	102	76	82	78	97	102	82	98	109	120	116	120
F0	107	142	93	97	102	103	93	101	99	106	95	98	98	112	99	96
VJ	104	115	100	101	98	101	99	100	104	104	100	98	99	100	100	100
VI	101	105	98	100	99	102	96	102	109	99	97	97	94	97	98	97
M0	111	121	98	97	96	103	98	119	106	110	98	97	100	103	96	100
φ P0	99	95	100	101	101	101	101	100	100	101	101	102	101	100	101	100
φ E0	100	108	101	102	99	101	99	100	103	103	101	101	99	100	102	100
φ RE0	96	104	111	101	102	94	114	90	103	103	113	107	116	110	106	113
φ D0	104	115	99	97	98	98	98	98	100	97	95	94	98	99	95	100
ψ 0	97	88	100	99	102	99	101	100	97	97	99	102	101	100	100	100
ψ RE0	97	87	106	99	102	93	113	94	102	103	111	109	115	106	105	111
Δ RE0	102	105	107	100	100	93	109	96	105	105	111	104	113	108	106	108
γ RC	96	92	101	101	100	100	101	100	99	99	102	102	100	100	101	99
ABS/RC	109	119	98	96	101	100	98	100	102	102	95	96	101	101	98	101
TP0/RC	107	108	98	97	102	101	99	100	102	102	98	99	102	101	102	100
ET0/RC	107	108	98	97	102	101	99	100	98	99	98	104	104	102	100	106
RE0/RC	113	127	89	97	95	109	85	114	97	100	88	94	88	93	94	85
DI0/RC	113	130	94	94	97	97	96	98	102	96	92	91	99	99	94	105
PI ABS	83	53	108	112	108	98	109	104	92	97	108	115	104	102	106	94
PI TOTAL	82	41	127	112	108	91	130	68	109	94	178	118	131	129	117	126
PRI listu	115	56	104	84	88	119	75	78	81	87	93	120	115	110	108	97
NDVI listu	102	82	100	93	100	93	103	82	101	93	100	99	110	100	98	95
Obsah chlorofylu a (mg/m2)	82	82	96	78	97	71	89	78	101	73	116	90	109	89	104	100
Obsah chlorofylu b (mg/m2)	79	76	84	71	94	64	85	77	92	62	106	83	100	124	97	93
Obsah celkového chlorofylu (mg/m2)	81	80	94	77	96	69	88	77	99	72	114	88	107	88	102	98
Obsah celkových karotenoidů (mg/m2)	85	83	91	84	96	75	87	82	111	80	119	95	106	86	108	103
Obsah chlorofylu a (g/kg sušiny)	93	71	108	102	92	73	89	75	93	72	104	85	98	86	98	91
Obsah chlorofylu b (g/kg sušiny)	91	67	102	92	98	66	84	71	87	57	97	84	91	80	91	85
Obsah celkového chlorofylu (g/kg sušiny)	94	70	107	100	92	71	88	74	91	61	101	83	97	85	97	90
Obsah celkových karotenoidů (g/kg sušiny)	101	99	106	104	94	77	87	82	99	70	105	90	101	84	102	98
Poměr chlorofylu a/b	105	106	113	111	102	109	105	105	112	105	105	109	109	106	108	109
Poměr chlorofylu (a+b)/ celkových karoten	95	91	94	94	100	92	93	91	89	90	97	94	98	98	101	102
Index poškození membrán	111	87	76	82	92	97	98	89	105	94	88	84	96	93	92	90
Koncentrace MDA	153	210	188	114	77	117	77	201	123	132	131	105	135	125	166	108
Koncentrace H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	32	70	62	129	38	100	36	101	116	130	84	92	102	121	103	164
Aktivita katalázy									561	249			330	481	191	278
Hmotnost listu čerstvá biomasa	186	144	201	183	233	201	242	210	175	135	176	175	196	176	189	170
Hmotnost listu sušina	177	145	201	188	236	221	227	219	195	166	204	199	227	203	216	206
Specifická hmotnost listu	87	85	89	80	96	97	100	101	111	107	109	103	108	103	106	108
Plocha listu	184	159	214	210	214	210	217	208	178	155	175	180	199	186	194	181

### 5.5.3. Výsledky korelační analýzy

Mezi studovanými parametry buď nebyly korelace průkazné, nebo byly zjištěny průkazné negativní i pozitivní korelace. Oba typy průkazných korelací se častěji vyskytovaly u mladších rostlin. Jednalo se o pozitivní korelace mezi morfologickými parametry a některými fotosyntetickými parametry, které charakterizují účinnost primární fotosyntézy ( $\psi E_0$ ,  $\psi RE_0$ ) a indexy zachování energie (PI ABS, PI TOTAL). Častější však byly negativní korelace morfologických parametrů a parametrů charakterizujících primární fotosyntetické procesy. Negativní korelace byly také zjištěny mezi morfologickými parametry a relativním obsahem vody. Korelace byly průkazné i mezi fotosyntetickými pigmenty a parametry primárních procesů fotosyntézy, častěji se jednalo o negativní korelace. Rovněž korelace mezi parametry charakterizujícími buněčné poškození a ostatní parametry buď nebyly prokázány, nebo byly pozitivní i negativní. Některé korelace mezi parametry poškození membrán (IPM, peroxid vodíku) a některými fotosyntetickými parametry (popř. i dalšími) vykazovaly odlišnou průkaznost (tab. 27).

U starších rostlin se pozitivní i negativní korelace vyskytovaly v menší míře oproti mladším rostlinám. Podobně jako u mladších rostlin byla zjištěna negativní korelace mezi morfologickými parametry a parametry vodního provozu rostlin ( $E$ ,  $g_s$ ). Negativní korelace byla též nalezena mezi morfologickými parametry (SpHm) a parametry charakterizující poškození buněk (IPM,  $H_2O_2$ ). Spíše výjimečně byly nalezeny pozitivní i negativní korelace mezi morfologickými parametry (SpHm) a parametry účinnosti primární fotosyntézy. Pozitivní i negativní korelace byly rovněž zjištěny mezi všemi fotosyntetickými parametry a mezi některými parametry vodního stavu rostlin (WUE, WUEi) a také mezi obsahem fotosyntetických pigmentů a parametry primární fáze fotosyntézy. Odlišnou průkaznost vykazovaly fotosyntetické pigmenty s parametry primární účinnosti fotosyntézy oproti parametrům poškození buněk (IMP,  $H_2O_2$ ) a primární fáze fotosyntézy (tab. 28).





## 6. Diskuze

Cílem mé diplomové práce bylo sledovat a vyhodnotit odpověď vybraných genotypů kukuřice seté lišících se stářím, ve kterém byly vystaveny nadbytku vody, u listového patra, které započalo svůj vývoj během optimálních podmínek pěstování a následně ho dokončilo během vystavení stresu zaplavením. Porovnával jsem změny parametrů charakterizujících, některé funkce rostlin a jejich obranné mechanismy v souvislosti se stářím rostlin a vývojovou fází listů v momentě, kdy byly rostliny vystaveny nadměrnému zaplavení.

V dostupné literatuře se nachází značné množství prací zabývajících se zaplavením, ale jenom zlomek těchto prací se věnuje studiu reakce různě starých listů vystavených zaplavení v odlišné fázi vývoje. Předpokládal jsem, že list, který se začal vyvíjet během zaplavení se dokáže lépe přizpůsobit těmto podmínkám než list, který zahájil vývoj během optimálních pěstebních podmínek a až poté byly rostliny vystaveny stresu zaplavením. Dále jsem předpokládal, že zaplavení výrazně ovlivní mladší rostliny. Abych mohl ověřit stanovené hypotézy práce, sledoval jsem různé parametry (morfologické a fotosyntetické parametry, parametry vodního stavu rostlin a buněčného poškození), které společně charakterizují odpověď rostlin na vystavení nadbytku vody

### 6.1. Morfologie rostlin

Produkce rostlinné biomasy závisí na interakci celé řady biologických procesů, které se odehrávají v rostlinách a které jsou ovlivněny podmínkami během růstu a vývoje rostlin (zásobení a hospodaření s vodou, příjem minerálních živin, transport látek, aktivita metabolických procesů apod.). Vystavení rostlin abiotickým stresorům tyto procesy různým způsobem ovlivňuje. Nejčastější reakcí rostlin je zpomalení růstu a vývoje, které vede ke zmenšení listové plochy a poklesu hmotnosti celkové biomasy.

V naší studii jsme nezjistili významné rozdíly u vybraných morfologických parametrů listů rostlin, které zahájily vývoj před vystavením stresu zaplavením, ve srovnání s rostlinami pěstovanými v optimálních podmínkách. Tyto výsledky neodpovídají údajům publikovaným v literatuře, kde byl velmi často zjištěn pokles morfologických parametrů v důsledku zaplavení. Rozdílné výsledky mohou být způsobeny odlišným uspořádáním pokusů, kdy autoři sledovali změny u listu, který zahájil vývoj až během vystavení stresu a jeho vývoj byl tedy výrazně ovlivněn (Zhou *et al.* 1995, Ismail *et al.* 1996, Mielke *et al.* 2003, Pocięcha *et al.* 2008,

Promkhambut *et al.* 2010, Celik *et al.* 2011, Kumar *et al.* 2013, Verma *et al.* 2014, Liu *et al.* 2015, Zhang *et al.* 2015, Parad *et al.* 2016, Ghobadi *et al.* 2017, Ghodke *et al.* 2018). Dle Bacanamwo a Purcell (1999) je zmenšení nárůstu listové plochy způsobeno snahou vyhnout se vodnímu deficitu v listech způsobeného poškozením kořenového systému během zaplavení. V naší studii list započal vývoj před vystavením stresu a po vystavení stresu zaplavením už nestihl reagovat na změnu podmínek a nedošlo k ovlivnění morfologických parametrů. Naproti tomu, průkazné rozdíly mezi genotypy, které jsem opakovaně zjistil při porovnání hodnot linie CE704 a ostatních genotypů jsou v souladu s publikovanými literárními údaji (Islam *et al.* 2008, Panda *et al.* 2008, Simova-Stoilova *et al.* 2012, Kumar *et al.* 2013). Tento rozdíl je způsoben vnitrodruhovou variabilitou, kde tato linie dorůstá i za optimálních podmínek menší velikosti a dosahuje nižších hodnot celkové biomasy oproti sledovaným genotypům. Výrazný rozdíl mezi starším a mladším listovým patrem je způsoben, že mladší listové patro dorůstá vyšší velikosti proti staršímu.

## 6.2. Vodní stav rostlin

Vodní provoz rostlin byl hodnocen na základě rychlosti transpirace, vodivosti průduchů a efektivity využití vody. Během zaplavení mohou nastat dvě velmi odlišné situace. Pokud je zaplavena celá rostlina nebo částečně nadzemní část, celá rostlina se potýká s nedostatečným zásobením kyslíku a nadbytkem vody. Pokud je zaplaven pouze kořenový systém dochází ke ztrátě hydraulické vodivosti xylému. Tento stav způsobuje nedostatečné zásobení vodou nadzemní části rostliny a tato část rostliny se potýká s podmínkami, které připomínají stav v průběhu sucha.

V naší studii byla pozorována nejednoznačná odpověď u rychlosti transpirace během zaplavení u mladších a starších rostlin. U mladších rostlin vedlo zaplavení k mírnému nárůstu hodnot tohoto parametru, zatímco u starších rostlin s výjimkou linie 2023 byl sledován mírný pokles hodnot rychlosti transpirace. Ve dostupné literatuře však byl ve většině případů popsán pokles hodnot rychlosti transpirace podobně jako jsme pozorovali u starších rostlin (Mielke *et al.* 2003, Pang *et al.* 2004, Yordanova *et al.* 2005, Yordanova *et al.* 2007, Pocięcha *et al.* 2008, Arbona *et al.* 2009, Jing *et al.* 2009, Yin *et al.* 2010, Verma *et al.* 2014, Yu *et al.* 2015, Zhang *et al.* 2015, Parad *et al.* 2016). Rozdílná odpověď mladších rostlin může být způsobena např. jiným uspořádáním pokusu nebo může mít souvislost s parametry (nodace kořenů, počet kořenů a jejich délka), které jsme během pokusu nesledovali, případně může být způsobena tím, že

rostlina stále čerpá zásobní látky z endospermu. Zároveň byly zjištěny výrazné rozdíly mezi listovými patry na téže rostlině u mladších rostlin, kdy starší listová patra dosahují výrazně vyšších hodnot ve srovnání s mladšími, což může být způsobeno odlišnou fází vývoje (plně vyvinutý list a list, který právě dokončil vývoj). Oproti tomu u kříženců starších rostlin byla zjištěná opačná odpověď.

Téměř shodná odpověď rostlin jako u rychlosti transpirace byla pozorována i u parametru stomatální vodivosti. Stejně jako v případě změn transpirace neodpovídají u mladších rostlin tyto výsledky publikovaným údajům, kde autoři většinou zjistili, že zaplavení vede k poklesu hodnot tohoto parametru (Mielke *et al.* 2003, Pang *et al.* 2004, Nicolás *et al.* 2005, Yordanova *et al.* 2005, Islam *et al.* 2008, Arbona *et al.* 2009, Jing *et al.* 2009, Promkhambut *et al.* 2010, Yin *et al.* 2010, Verma *et al.* 2014, Liu *et al.* 2015, Yu *et al.* 2015, Zhang *et al.* 2015, Parad *et al.* 2016, Ziegler *et al.* 2017). Nicméně Ismail *et al.* 1996 publikovali podobné výsledky u *Averrhoa carambola* L., které jsme zjistili u mladších rostlin v naší studii. Odlišnou reakci rostlin ve srovnání s jinými publikovanými pracemi vysvětlují vyšší nodací kořenů a jejich délkou. Podobné výsledky publikovali i Promkhambut *et al.* 2010 u jednoho kultivaru *Sorghum bicolor* a stejně jako Ismail *et al.* 1996 uvádějí, že nárůst hodnot je nejspíše způsobený vyšší nodací kořenů. Mielke *et al.* 2003 zjistili, že snížení vodivosti průduchů koreluje se propustností kořenů a hydraulickou vodivostí. Těmito parametry jsme se však v naší studii nezabývali, a bylo by možné pouze spekulovat o pozitivní korelaci i v našem případě.

Zaplavení v naší studii vedlo k mírnému poklesu efektivity využití vody u mladších i starších rostlin. Podobné výsledky publikovali např. Ahmed *et al.* 2002, Ahmed *et al.* 2006, Arbona *et al.* 2009. Ačkoliv v dostupné literatuře je obvykle popisován pokles hodnot tohoto parametru během zaplavení, Mielke *et al.* 2003 uvádějí, že tento parametr není zaplavením ovlivněn u rostlin, které se pravidelně se zaplavením setkávají.

V naší studii byly rovněž zjištěny rozdíly mezi listovými patry v rámci jedné rostliny, které vykazují opačný trend oproti vodivosti průduchů a rychlosti transpirace.

### **6.3. Fotosyntéza**

V naší studii mělo zaplavení odlišný vliv na rychlost čisté fotosyntézy u mladších a starších rostlin. U mladších rostlin podobně jako u rychlosti transpirace a vodivosti průduchů docházelo u rostlin stresovaných zaplavením k nárůstu hodnot s výjimkou křížence CE704x2023. U starších rostlin byl sledován podobně jako v dostupné literatuře (Jing *et al.*

2009, Zhou *et al.* 1995, Ismail *et al.* 1996, Ahmed *et al.* 2002, Mielke *et al.* 2003, Pang *et al.* 2004, Nicolás *et al.* 2005, Arbona *et al.* 2009, Hossain *et al.* 2009, Yin *et al.* 2010, Promkhambut *et al.* 2010, Verma *et al.* 2014, Liu *et al.* 2015, Yu *et al.* 2015, Zhang *et al.* 2015, Ziegler *et al.* 2017) pokles rychlosti fotosyntézy. Zároveň s výjimkou linie CE704 vykazují starší rostliny nižší hodnoty tohoto parametru ve srovnání s mladšími. Vyšší hodnoty rychlosti fotosyntézy, které jsme zjistili u mladších rostlin by mohly souviset například s odlišným uspořádáním pokusu, odlišným rostlinným druhem nebo s možností, že rostlina stále čerpá zásobní látky z endospermu semene. V naší studii jsme se zaměřili na list, který zahájil vývoj před vystavením stresu, a dokončil ho v první polovině stresové periody. Tato skutečnost mohla vést k lepšímu nastartování fotosyntetických procesů. S tím může souviset i vyšší odolnost těchto listů a vysvětlovat nárůst hodnot.

Účinnost primárních fotosyntetických procesů byla posuzována z výsledků měření fluorescence chlorofylu *a* a hodnotili jsme a vzájemně porovnávali parametry primárních procesů, které dobře charakterizují jednotlivé části primární fáze fotosyntézy a jejich změny během zaplavení. Takováto detailní analýza není v pracích zabývajících se podobnou problematikou obvyklá a většinou jsou v případě měření fluorescenčních parametrů porovnávány pouze základní parametry např.  $F_w/F_m$ ,  $F_o$ ,  $F_m$ ,  $\Phi_{PSII}$ , (Pang *et al.* 2004, Panda *et al.* 2008, Arbona *et al.* 2009, Pocięcha *et al.* 2008, Jing *et al.* 2009, Ezin *et al.* 2010, Chen *et al.* 2010, Bertolde *et al.* 2012, Verma *et al.* 2014, Liu *et al.* 2015, Parad *et al.* 2016). Navzdory tomu, že se jedná o základní parametry, byly i v těchto případech prokázány jejich změny v důsledku zaplavení. V naší studii byly fotosyntetické procesy ovlivněny zaplavením, u starších rostlin dochází vlivem stresu k ovlivnění elektron transportního řetězce, což dokazuje pokles hodnot  $\Psi_{REO}$ ,  $\phi_{REO}$ , PIABS a PITOTAL, které charakterizují stav elektron transportního řetězce. Primární procesy jsou u linie CE704 méně citlivé na zaplavení oproti sledovaným genotypům.

Mezi parametry charakterizující ovlivnění fotosyntetických procesů během zaplavení patří i obsah chlorofylu. V naší studii vedl nadbytek vody k poklesu obsahu chlorofylu *a* u starších i mladších rostlin. Tento pokles byl však výraznější u mladších rostlin, kde byly výrazněji zasaženy rodičovské inbrední linie. Podobně jako v naší studii byl sledován pokles obsahu chlorofylů během zaplavení např. u *Brassica napus* L. (Zhou *et al.* 1995), *Hordeum vulgare* L. (Pang *et al.* 2004), *Solanum lycopersicum* (Horchani *et al.* 2008), *Vicia faba* (Pocięcha *et al.* 2008, Balakhnina *et al.* 2010), *Oryza sativa* L. (Panda *et al.* 2008) *Dendranthema* (Yin *et al.* 2010), *Melaleuca alternifolia* (Jing *et al.* 2009), *Vigna radiata*



(Sairam *et al.* 2009), *Phaseolus vulgaris* L. (Celik *et al.* 2011), *Theobroma cacao* L. (Bertolde *et al.* 2012), *Trifolium repens* L. cv Rivendel a *Trifolium pratense* L. cv Raya (Simova-Stoilova *et al.* 2012) *Jatropha curcas* (Verma *et al.* 2014), *Gossypium hirsutum* L. (Zhang *et al.* 2015) *Triticum aestivum* (Tiryakioglu *et al.* 2015, Ghobadi *et al.* 2017), *Populus euphratica* (Yu *et al.* 2015). V naší studii byly zjištěny i rozdíly mezi listovými patry v různé fázi vývoje, kdy u mladších rostlin dosahuje vyšších hodnot obsahu chlorofylu 3. listové patro oproti 4. Rozdíl je výraznější u rostlin vystavených stresu zaplavením. Podobné chování sledovali např. Horchani *et al.* (2008) u *Solanum lycopersicum*. Podobně jako u rychlosti čisté fotosyntézy tyto rozdíly mohou být způsobeny odlišnou fází vývoje, ve které byla tato listová patra vystavena zaplavení, a tedy listové patro, které zahájilo vývoj až během vystavení stresovému faktoru se mu dokázalo lépe přizpůsobit.

Spolu s obsahem chlorofylu, byl sledován také obsah karotenoidů, které mají významnou roli v ochraně rostlin. V naší studii vedl stres způsobený zaplavením k poklesu obsahu karotenoidů u mladších rostlin s výjimkou křížence 2023xCE704, kde byl zjištěn mírný nárůst. Naopak u starších rostlin dochází ke stírání rozdílů mezi rostlinami pěstovanými v optimálních podmínkách a vystavenými stresu zaplavením. Podobně jako v našem případě lze v dostupné literatuře sledovat několik odlišných reakcí na zaplavení, kdy u *Zea mays* L. (Bennicelli *et al.* 1998), *Vicia faba* (Balakhmina *et al.* 2010), *Populus deltoides* (Du *et al.* 2012) *Trifolium repens* L. cv Rivendel a *Trifolium pratense* L. cv Raya (Simova-Stoilova *et al.* 2012), *Vigna radiata* (Kumar *et al.* 2013), *Triticum aestivum* (Tiryakioglu *et al.* 2015, Alizadeh-Vaskasi *et al.* 2018) byl sledován pokles, a naopak u *Mentha pulegium* (Candan *et al.* 2013), *Gossypium hirsutum* L. (Zhang *et al.* 2015) byl sledován nárůst obsahu karotenoidů. Odlišná reakce starších a mladších rostlin může být v našem případě způsobena vystavením rostlin v stresu zaplavením v odlišné fázi ontogenického vývoje a možnou úlohou karotenoidů v ochranném systému rostlin. Zároveň byly podobně jako u obsahu chlorofylu *a* zjištěny rozdíly u listů v odlišné fázi vývoje, kdy karotenoidy dosahují podobně jako chlorofyl *a* vyšších hodnot u staršího listového patra u mladších rostlin a u starších v kontrolních podmínkách dosahuje vyšších hodnot mladší listové patro. Tyto rozdíly mohou být způsobeny odlišnou fází vývoje během, které byly rostliny vystaveny tomuto stresovému faktoru.

Podobně jako u obsahu chlorofylu *a* a rychlosti čisté fotosyntézy dosahují karotenoidy u mladších rostlin vyšších hodnot u staršího listového patra.

#### 6.4. Buněčné poškození a aktivita katalázy

V naší studii stres zaplavením nezpůsobil výraznější změny v indexu poškození membrán, ačkoliv v dostupné literatuře byl sledován nárůst hodnot tohoto parametru (Yan *et al.* 1996, Yordanova *et al.* 2007, Jamei *et al.* 2009 Celik *et al.* 2011, Kumar *et al.* 2013, Verma *et al.* 2014). Zároveň mladší listová patra vykazují nižší hodnoty indexu poškození membrán oproti starším. U tohoto rozdílu usuzujeme, že je způsoben stářím listu, kdy u staršího listového patra se může začít projevovat senescence.

Malondialdehyd (MDA) je nízkomolekulární látka, která vzniká peroxidací lipidických membrán a patří tedy spolu s indexem poškození membrán mezi parametry charakterizující míru jejich poškození. V naší studii vedlo zaplavení u mladších rostlin k nárůstu obsahu MDA pouze u linie CE704, zatímco u ostatních genotypů byl sledován mírný pokles hodnot. U starších rostlin byl, s výjimkou inbrední linie 2023, sledován velmi mírný nárůst obsahu MDA. Výsledky, které jsme pozorovali u mladších rostlin, neodpovídají dostupné literatuře, kde byl u *Brassica napus* L. (Zhou *et al.* 1995), *Zea mays* L. (Yan *et al.* 1996, Yordanova *et al.* 2007, Jamei *et al.* 2009, Bin *et al.* 2010, Yong-zhong *et al.* 2010, Chugh *et al.* 2012), *Chrysanthemum* (Yin *et al.* 2009), *Dendranthema* (Yin *et al.* 2010), *Trifolium repens* L. cv Rivendel a *Trifolium pratense* L. cv Raya (Simova-Stoilova *et al.* 2012), *Sesbania virgata* (Zanandrea *et al.* 2013), *Gossypium hirsutum* L. (Zhang *et al.* 2015), *Vicia faba* (Yadav *et al.* 2017), *Triticum aestivum* (Alizadeh-Vaskasi *et al.* 2018, Škute *et al.* 2019) sledován nárůst hodnot. Podobně jako v naší studii u mladších rostlin byl zaznamenán pokles hodnot MDA během zaplavení u některých genotypů *Phaseolus vulgaris* L. (Celik *et al.* 2011), což může souviset s rozdílnou odolností jednotlivých genotypů vůči tomuto stresoru. Odlišná odpověď u mladších rostlin by však mohla souviset s nižším obsahem peroxidu vodíku, který jsme pozorovali u stresovaných rostlin. Nižší hladina reaktivních kyslíkových druhů vede k nižší peroxidaci lipidických membrán, a tedy i nižší koncentraci MDA.

Peroxid vodíku v rostlinném těle v nízkých koncentracích vystupuje jako signální látka. Jedná se o vysoce reaktivní molekulu, která ve vyšších koncentracích v případě změny regulace poškozují buněčné struktury. Během zaplavení byla v naší studii sledována odlišná odpověď u mladších a starších rostlin, pokud jde o hodnoty koncentrace peroxidu vodíku. U starších rostlin docházelo během zaplavení k nárůstu koncentrace, což odpovídá publikovaným výsledkům (Yan *et al.* 1996, Yordanova *et al.* 2004, Yordanova *et al.* 2007, Hossain *et al.* 2009, Jamei *et al.* 2009, Bansal *et al.* 2012, Chugh *et al.* 2012, Simova-Stoilova *et al.* 2012, Zanandrea *et al.* 2013, Yu *et al.* 2015, Zhang *et al.* 2015, Yadav *et al.* 2017). Naopak u mladších rostlin

docházelo během zaplavení k snížení hladiny peroxidu vodíku, což by mohlo být způsobeno např. zvýšenou aktivitou antioxidantních systémů. To by potvrdila, nebo naopak vyvrátila analýza aktivity katalázy, která se podílí na jeho odbourávání. Tu jsem v této sérii pokusů u mladších rostlin kvůli omezenému množství rostlinného materiálu nemohl provést, nicméně výsledky analýzy u starších rostlin naznačují, že zvýšená aktivita katalázy vede u inbrední linie 2023 k nižšímu nárůstu obsahu peroxidu vodíku, který pozorovali ve své práci např. Souza *et al.* (2013) u *Garcinia brasiliensis*, kdy po zvýšení aktivity katalázy docházelo k poklesu koncentrace peroxidu vodíku.

Kataláza patří mezi metaloenzymy, které se podílí na odbourávání peroxidu vodíku v rostlinném těle a má tedy významný podíl na snižování koncentrace tohoto ROS. V naší studii jsme měřili aktivitu katalázy kvůli omezenému množství rostlinného materiálu pouze u starších rostlin, u kterých zaplavení vedlo k zvýšení aktivity. Podobný nárůst aktivity během vystavení rostlin nadbytku vody byl v dostupné literatuře sledován např. u *Hordeum vulgare* L. (Yordanova *et al.* 2004), *Dendranthema* (Yin *et al.* 2010), *Cajanus cajan* (Bansal *et al.* 2012), *Zea mays* L. (Chugh *et al.* 2012), *Garcinia brasiliensis* (Souza *et al.* 2013), *Jatropha curcas* (Verma *et al.* 2014). Avšak existují i práce, kde byl sledován počáteční nárůst aktivity katalázy následovaný pokles (Ahmed *et al.* 2002, Hossain *et al.* 2009, Jamei *et al.* 2009, Yin *et al.* 2009, Bin *et al.* 2010, Chugh *et al.* 2011, Zanandrea *et al.* 2013) a práce, kde byl sledován pokles hodnot aktivity (Zhou *et al.* 1995, Yan *et al.* 1996, Simova-Stoilova *et al.* 2012). Nicméně Hossain *et al.* (2009) se domnívají, že tento pokles je způsoben narůstající aktivitou askorbát peroxidázy, která se také podílí na odbourávání peroxidu vodíku. Naopak Yin *et al.* (2009) se domnívají, že po 4. dni dochází k nezvratnému poškození pletiv a z tohoto důvodu dochází k poklesu aktivity katalázy. Zároveň jsme zjistili, že kataláza dosahuje vyšší aktivity ve vývojově mladším listovém patru, jak v podmínkách zaplavení, tak i u rostlin pěstovaných v optimálních pěstebních podmínkách.

## 7. Souhrn

- Během zaplavení i optimálních podmínek pěstování se liší odpověď rodičovských linií. Linie 2023 reaguje na vystavení stresu zaplavením výrazněji oproti linii CE704, ale zároveň v optimálních podmínkách pěstování vykazuje lepší vlastnosti.
- Linie 2023 se u většiny studovaných parametrů jeví jako citlivý genotyp k tomuto stresovému faktoru.
- Reciproci kříženci vykazují podobné hodnoty u sledovaných parametrů.
- Morfologické parametry listového patra, které bylo vystaveno zaplavení během svého vývoje nejsou zaplavením ovlivněny.
- U většiny studovaných fotosyntetických parametrů vykazují výraznější ovlivnění zaplavením starší rostliny.
- U sledovaných parametrů se liší odpověď listových pater v různé fázi vývoje

## 8. Seznam použité literatury

- Ahmed, S., Nawata, E., Hosokawa, M., Domae, Y., Sakuratani, T. (2002). Alterations in photosynthesis and some antioxidant enzymatic activities of mungbean subjected to waterlogging. *Plant Science*. 163: 117–123.
- Ahmed, S., Nawata, E., Sakuratani, T. (2006). Changes of endogenous ABA and ACC, and their correlations to photosynthesis and water relations in mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczak cv. KPS1) during waterlogging. *Environmental and Experimental Botany*. 57: 278–284.
- Alizadeh-Vaskasi, F., Pirdashti, H., Cherati Araei, A., Saadatmand, S., (2018). Waterlogging effects on some antioxidant enzymes activities and yield of three wheat promising lines. *Acta agriculturae Slovenica* 111(3):621–631
- Araki, H., Hossain, M. A., Takahashi, T. (2012). Waterlogging and Hypoxia have Permanent Effects on Wheat Root Growth and Respiration. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 198: 264–275.
- Arbona, V., López-climent, M. F., Pérez-clemente, R. M., Gómez-cadenas, A. (2009). Maintenance of a high photosynthetic performance is linked to flooding tolerance in citrus. *Environmental and Experimental Botany*. 66: 135–142
- Bacanamwo, M., Purcell, L. C. (1999). Soybean root morphological and anatomical traits associated with acclimation to flooding. *Crop Science* 39: 143–149
- Bailey-Serres J, Voisenek LACJ (2008) Flooding stress: acclimations and genetic diversity. *Annual Review of Plant Biology* 59:313–339.
- Balakhnina, T. I., Bennicelli, R. P., Fomina, I. R. (2010). Oxidative damage and antioxidant defense system in leaves of *Vicia faba* major L. cv. Bartom during soil flooding and subsequent drainage. *Plant and Soil*. 327: 293–301.
- Bansal, R., Prakash, J. (2012). Antioxidative defense system in pigeonpea roots under waterlogging stress. *Acta Physiologiae Plantarum*. 34: 515–522.
- Bennicelli, R. P., Stepniewski, W., Zakrzhevsky, D.A., Balakhnina, T.I., Stepniewska, Z., Lipiec, J. (1998). The effect of soil aeration on superoxide dismutase activity, malondialdehyde level, pigment content and stomatal diffusive resistance in maize seedlings. *Environmental and Experimental Botany*. 39: 203–211.
- Bertolde, F. Z., Almeida, A.-A.F., Pirovani, C. P., Gomes, F. P., Ahnert, D., Baligar, V. C., Valle, R. R. (2012). Physiological and biochemical responses of *Theobroma cacao* L. genotypes to flooding. *Photosynthetica*. 50(3): 447–457.
- Bin, T., Shang-zhong, X. U., Xi-ling, Z. O. U., Yong-lian, Z., Fa-zhan, Q. I. U. (2010). Changes of Antioxidative Enzymes and Lipid Peroxidation in Leaves and Roots of Waterlogging-Tolerant and Waterlogging-Sensitive Maize Genotypes at Seedling Stage. *Agricultural Sciences in China*. 9(5): 651–661.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72: 248–254
- Candan, N., Tarhan, L. (2012). Tolerance or sensitivity responses of *Mentha pulegium* to osmotic and waterlogging stress in terms of antioxidant defense systems and membrane lipid peroxidation. *Environmental and Experimental Botany*, 75: 83–88.
- Celik, G., Turhan, E. (2011). Genotypic variation in growth and physiological responses of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to flooding. *African Journal of Biotechnology* 10(38): 7372–7380.
- Colmer, T. D., Voisenek, L. A. C. J. (2009) Flooding tolerance: suits of plant traits in variable environments. *Functional Plant Biology* 36: 665–681.
- Čečetka (2018): Analýza vybraných parametrů inbrední a hybridní kukuřice stresované zaplavením, Diplomová práce, Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha.

- Du, K.B., Xu, L., Wu, H., Tu, B., Zheng, B. (2012) Ecophysiological and morphological adaption to soil flooding of two poplar clones differing in flood-tolerance. *Flora* 207: 96-106.
- de Souza, T.C., Souza, E.D., Dousseau, S., de Castro, E.M., Magalhaes, P.C., (2013). Seedlings of *Garcinia brasiliensis* (Clusiaceae) subjected to root flooding: physio- logical, morphoanatomical, and antioxidant responses to the stress. *Aquatic. Botany. 111*: 43–49
- Ezi, V., Pena, R.D.L., Ahanched, A., (2010) Flooding tolerance of tomato genotypes during vegetative and reproductive stages. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 22(1):131–142.
- Ghobadi, M. E., Ghobadi, M., Zebarjadi, A. (2017). Effect of waterlogging at different growth stages on some morphological traits of wheat varieties. *International Journal of Biometeorology*. 61: 635–645.
- Ghodke, P.H., D.V. Shirsat, A. Thangasamy, V. Mahajan, V.N. Salunkhe, Y. Khade and Singh, M. (2018). Effect of Water Logging Stress at Specific Growth Stages in Onion Crop. *International Journal Current Microbiology Applied Sciences* 7(01): 3438-3448.
- Hague, M.E., Oyanagi, A., Kawaguchi, K., (2012). Aerenchyma formation in the semi- nal roots of Japanese wheat cultivars in relation to growth under waterlogged conditions. *Plant Production. Science*. 15: 164–173
- Hatami, M., Ghorbanpour, M. (2014). Defense enzyme activities and biochemical variations of *Pelargonium zonale* in response to nanosilver application and dark storage. *Turkish Journal of Biology*. 38: 130–139
- Heath, R.L., Packer, L (1968). Photoperoxidation in islated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 125: 189-198
- Hodges, D. M., Delong, J. M., Forney, C. F., Prange, R. K. (1999). Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta*. 207: 604–611.
- Hossain, Z., López-Climent, M. F., Arbona, V., Pérez-Clemente, R. M., Gómez-Cadenas, A. (2009). Modulation of the antioxidant system in citrus under waterlogging and subsequent drainage. *Journal of Plant Physiology*. 166: 1391-1404
- Chen, H., Zamorano, M. F., Ivanoff, D. (2010). Effect of Flooding Depth on Growth , Biomass , Photosynthesis , and Chlorophyll Fluorescence of *Typha domingensis*. *Wetlands*. 30: 957–965.
- Chugh, V., Gupta, A. K., Grewal, M. S., Kaur, N. (2012). Response of antioxidative and ethanolic fermentation enzymes in maize seedlings of tolerant and sensitive genotypes under short term waterlogging. *Indian Journal of Experimental Biology*. 50: 577–582.
- Chugh, V., Kaur, N., & Gupta, A. K. (2011). Role of antioxidant and anaerobic metabolism enzymes in providing tolerance to maize (*Zea mays* L.) seedlings against waterlogging. *Indian Journal of Biochemistry & Biophysics* 48: 346–352.
- Islam, M. R., Hamid, A., Karim, M. A., Haque, M. M., Khaliq, Q. A., Ahmed, J. U. (2008). Gas exchanges and yield responses of mungbean (*Vigna radiata* L. *Wilczek*) genotypes differing in flooding tolerance. *Acta Physiologiae Plantarum*. 30: 697–707.
- Ismail, M. R., Noor, K. M. (1996). Growth and physiological processes of young starfruit (*Averrhoa carambola* L.) plants under soil flooding. *Scientia Horticulturae*. 65: 229–238.
- Jamei, R., Heidari, R., Khara, J., Zare, S. (2009). Hypoxia Induced Changes in the Lipid Peroxidation , Membrane Permeability , Reactive Oxygen Species Generation , and Antioxidative Response Systems in *Zea mays* Leaves. *Turkish Journal of Biology*. 33: 45–52.
- Jing, Y. X., Li, G. L., Gu, B. H., Yang, D. J., Xiao, L., Liu, R. X., Peng, C. L. (2009). Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and growth responses of *Melaleuca alternifolia* seedlings to flooding and subsequent recovery. *Photosynthetica*. 47(4): 595–601.

- Junglee, S., Urban, L., Sallanon, H., Lopez-Lauri, F. (2014). Optimized assay for hydrogen peroxide determination in plant tissue using potassium iodide. *American Journal of Analytical Chemistry* 5: 730-736.
- Kholova, J., Sairam R. K., Meena R. C. (2010). Osmolytes and metal ions accumulations, oxidative stress and antioxidant enzymes activity as determinants of salinity stress tolerance in maize genotypes. *Acta Physiologiae Plantarum* 32: 477-486.
- Kumar, P., Pal, M., Joshi, R., Sairam, R. K. (2013). Yield, growth and physiological responses of mung bean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] genotypes to waterlogging at vegetative stage. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 19: 209–220.
- Horchani, F., Aloui, A., Brouquisse, R., Aschi-Smiti, S., (2008). Physiological responses of tomato plants (*Solanum lycopersicum*) as affected by root hypoxia. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 197: 297–303.
- Huang X, Shabala S, Shabala L, Rengel Z, Wu X, Zhang G, Zhou M (2015) Linking waterlogging tolerance with Mn<sup>2+</sup> toxicity: a case study for barley. *Plant Biology* 17: 26–33.
- Liu, Z., Cheng, R., Xiao, W., Guo, Q., Wang, Y., Wang, N., Wang, Y. (2015). Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence, non-structural carbohydrate content and growth responses of *Distylium chinense* during complete submergence and subaerial re-emergence. *Aquatic Botany*. 124: 70–77.
- Magneschi L, Perata P (2009) Rice germination and seedling growth in the absence of oxygen. *Annals of Botany* 103:181–196
- Marková, H. (2017). Reakce genotypů kukuřice lišících se citlivostí k suchu na opakované vystavení tomuto stresoru. Diplomová práce, Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha.
- Mielke, M. S., Almeida, A. F. De, Gomes, P., Aguilar, A. G., Antonio, P., Mangabeira, O. (2003). Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and growth responses of *Genipa americana* seedlings to soil flooding. *Environmental and Experimental Botany*. 50: 221–231.
- Nicolás, E., Torrecillas, A., Dell, J., Alarcón, J. J. (2005). The effect of short-term flooding on the sap flow, gas exchange and hydraulic conductivity of young apricot trees. *Trees*. 19: 51–57.
- Palta J, Ganjeali A, Turner N, Siddique K (2010) Effects of transient subsurface waterlogging on root growth, plant biomass and yield of chickpea. *Agricultural Water Management* 97:1469–1476.
- Panda, D., Sharma, S. G., Sarkar, R. K. (2008). Chlorophyll fluorescence parameters, CO<sub>2</sub> photosynthetic rate and regeneration capacity as a result of complete submergence and subsequent re-emergence in rice (*Oryza sativa* L.), *Aquatic Botany*. 88: 127–133.
- Pang, J., Zhou, M., Mendham, N., Shabala, S. (2004). Growth and physiological responses of six barley genotypes to waterlogging and subsequent recovery. *Australian Journal of Agricultural Research*. 55: 895–906.
- Parad, G. A., Kouchaksaraei, M. T., Striker, G. G., Sadati S. E., Nourmohammadi, K. (2016). Growth, morphology and gas exchange responses of two-year-old *Quercus castaneifolia* seedlings to flooding stress. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 31(5): 458–466.
- Phillips, I. R., Greenway, M. (1998). Changes in Water-Soluble and Exchangeable Ions, Cation Exchange Capacity, and Phosphorus<sub>max</sub> in Soils Under Alternating Waterlogged and Drying Conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 29: 51-65
- Pociecha, E., Koscielniak, J., Filek, W.. (2008). Effects of root flooding and stage of development on the growth and photosynthesis of field bean (*Vicia faba* L. *minor*). *Acta Physiologiae Plantarum*. 30: 529–535.
- Romina P, Abeledo LG, Miralles DJ (2014) Identifying the critical period for waterlogging on yield and its components in wheat and barley. *Plant and Soil* 378:265–277.

- Promkhambut, A., Younger, A., Polthanee, A., Akkasaeng, C. (2010). Morphological and Physiological Responses of Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to Waterlogging. *Asian Journal of Plant Sciences*. 9 (4): 183-193.
- Rubio, G., Oosterheld, M., Alvarez, C. R., Lavado, R. S. (1997) Mechanisms for the increase in phosphorus uptake of waterlogged plants: soil phosphorus availability, root morphology and uptake kinetics. *Oecologia* 112: 150-155
- Řehořová (2015): Vliv 24-epibrassinolidu na vybrané parametry genotypů kukuřice a bobu lišících se citlivostí k suchu. Diplomová práce, Univerzita Karlova, Praha.
- Sairam, R.K. (1994). Effects of homobrassinolide application on plant metabolism and grain yield under irrigated and moisture-stress conditions of two wheat varieties. *Plant Growth Regulation* 14. 173–181.
- Sairam, R. K., Dharmar, K., Chinnusamy, V., Meena, R. C. (2009). Waterlogging-induced increase in sugar mobilization, fermentation, and related gene expression in the roots of mung bean (*Vigna radiata*), *Journal of Plant Physiology*. 166: 602–616.
- Sauter M (2013) Root responses to flooding. *Curr Opin Plant Biology* 16: 282–286.
- Shimamura, S., Yamamoto, R., Nakamura, T., Shimada, S., Komatsu, S., 2010. Stem hypertrophied lenticels and secondary aerenchyma enable oxygen transport to roots of soybean in flooded soil. *Annals of Botany* 106: 277–284.
- Simova-stoilova, L., Demirevska, K., Kingston-smith, A., Feller, U. (2012). Plant Science Involvement of the leaf antioxidant system in the response to soil flooding in two *Trifolium* genotypes differing in their tolerance to waterlogging. *Plant Science*, 183: 43–49.
- Stirbet, A. D., Govindjee (2011). On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll a fluorescence induction) and Photosystem II: Basics and application of the OJIP fluorescence transient. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 104: 236-257.
- Strasser, R. J., Srivastava, A., Tsimilli-Michael, M. (2000). The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In: Mohanty P., Yunus U., Pathre M. (eds.): *Probing Photosynthesis: Mechanism, Regulation and Adaptation*. Taylor and Francis, London, 445-483.
- Strasser, R. J., Tsimilli-Michael, M., Srivastava, A. (2004). Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. In: Papageorgiou G.C., Govindjee (eds.): *Chlorophyll a Fluorescence. A Signature of Photosynthesis* (Advances in Photosynthesis and Respiration, Vol. 19). Springer, Dordrecht, 321-362.
- Sullivan, C.Y. (1972). Mechanisms of heat and drought resistance in grain Sorghum and methods of measurement. *Sorghum in Seventies*, Oxford & IBH Publishing Co., New Delhi.
- Šesták, Z., Čatský, J. (1966). *Metody studia fotosynthetické produkce rostlin*. Academia, Praha.
- Škute, N., Savicka, M., Kulbachna, A., Petjukevišs, A., Harlamova, N., (2019) Influence of Flooding on Leaf Cell Membranes of Three Latvian Wheat Cultivars (*Triticum aestivum* (L)). *Environment. Technology. Resources. Rezekne, Latvia* 1: 287-290
- Unger, I. M., Motavalli, P.P., Muzika, R-M., (2009) Changes in soil chemical properties with flooding: a field laboratory approach, *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 131: 105–110.
- Thomas, A.L., Guerreiro, S.M.C., Sodek, L., (2005). Aerenchyma formation and recovery from hypoxia of the flooded root system of nodulated soybean. *Annals of Botany* 96, 1191–1198.
- Tiryakioglu M, Karanlik S, Arsalan M (2015) Response of bread-wheat seedlings to waterlogging stress. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 39:1–10.
- Topa, M.A., McLeod, K.W., (1986). Aerenchyma and lenticel formation in pine seedlings: a possible avoidance mechanism to anaerobic growth conditions. *Physiologia Plantarum* 68, 540-550.
- Trought, M.C.T., Drew, M.C., 1980. The development of waterlogging damage in young wheat plant in anaerobic solution cultures. *Journal of Experimental Botany*. 31: 1573–1585



- Velikova, V., Yordanov, I., Edreva, A. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants Protective role of exogenous polyamines. *Plant Science*. 151: 59–66.
- Verma, K. K., Singh, M., Gupta, R. K., Verma, C. L. (2014). Photosynthetic gas exchange , chlorophyll fluorescence , antioxidant enzymes , and growth responses of *Jatropha curcas* during soil flooding. *Turkish Journal of Botany*. 38: 130–140.
- Wellburn, A. R. (1994). The spectral determination of chlorophylls *a* and *b*, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology* 144: 207-313.
- Xu, M., Ma, H., Zeng, L., Cheng, Y., Lu, G., Xu, J., Zhang, X., Zou, X. (2015) The effect of waterlogging on yield and seed quality at the early flowering stage in *Brassica napus* L. *Field Crops Research* 180:238– 245.
- Yadav, K. D., Hemantaranjan, A. (2017). Mitigating effects of paclobutrazol on flooding stress damage by shifting biochemical and antioxidant defense mechanisms in mungbean (*Vigna radiata* L.) at pre-flowering stage. *Legume Research*, 40(3):453-461
- Yan, B., Dai, Q., Liu, X., Huang, S., Wang, Z. (1996). Flooding-induced membrane damage, lipid oxidation and activated oxygen generation in corn leaves. *Plant and Soil*, 179(2): 261–268.
- Yetisir, H., Çalışkan, M., Soylu, S., Sakar, M. (2006). Some physiological and growth responses of watermelon [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. and Nakai] grafted onto *Lagenaria Siceraria* to flooding. *Environmental and Experimental Botany*. 58: 1-8.
- Yin, D., Chen, S., Chen, F., Guan, Z., Fang, W. (2009). Morphological and physiological responses of two chrysanthemum cultivars differing in their tolerance to waterlogging, *Environmental and Experimental Botany*. 67: 87–93.
- Yin, D., Chen, S., Chen, F., Guan, Z., Fang, W. (2010). Morpho-anatomical and physiological responses of two *Dendranthema* species to waterlogging, *Environmental and Experimental Botany*. 68: 122–130
- Yong-zhong, L. I. U., Bin, T., Yong-lian, Z., Ke-jun, M. A., Shang-zhong, X. U., Fa-zhan, Q. I. U. (2010). Screening Methods for Waterlogging Tolerance at Maize (*Zea mays* L.) Seedling Stage. *Agricultural Sciences in China*, 9(3): 362–369
- Yordanova, R. Y., Christov, K. N., Popova, L. P. (2004). Antioxidative enzymes in barley plants subjected to soil flooding, *Environmental and Experimental Botany*, 51: 93–101.
- Yordanova, R. Y., Uzunova, A. N., & Popova, L. P. (2005). Effects of short-term soil flooding on stomata behaviour and leaf gas exchange in barley plants, *Biologia Plantarum*. 49(2), 317–319
- Yordanova, R., Losanka, Y., Popova, P. (2007). Flooding-induced changes in photosynthesis and oxidative status in maize plants, *Acta Physiologiae Plantarum*, 29: 535–541.
- Yu, B., Zhao, C. Y., Li, J., Li, J. Y., Peng, G. (2015). Morphological , physiological , and biochemical responses of *Populus euphratica* to soil flooding, *Photosynthetica*, 53(1): 110–117.
- Zanandrea, I., Alves, J. D., Deuner, S., Goulart, P. De. F. P., Souza, K. R. D. De., Santos M. De O. (2013). Antioxidative responses and morpho-anatomical adaptations to waterlogging in *Sesbania virgata*, *Trees*, 27: 717–728.
- Zhang, Y., Song, X., Yang, G., Li, Z., Lu, H., Kong, X., Dong, H. (2015). Field Crops Research Physiological and molecular adjustment of cotton to waterlogging at peak-flowering in relation to growth and yield. *Field Crops Research*: 179: 164–172.
- Zhou, W., Lin, X. (1995). Effects of waterlogging at different growth stages on physiological characteristics and seed yield of winter rape (*Brassica napus* L.), *Field Crops Research*, 44: 103–110.
- Ziegler, V. H., Ploschuk, E., Weibel, A., Insausti, P. (2017). Short-term responses to flooding stress of three *Prunus* rootstocks. *Scientia Horticulturae*, 224: 135–141.

Zou, X.L., Cong, Y., Cheng, Y., Lu, G.Y., Zhang, X.K., 2013a. Screening and identification of waterlogging tolerant rapeseed (*Brassica napus* L.) during germination stage. In: 2013 Third International Conference on Intelligent System Design and Engineering Applications (Isdea), pp. 1248–1253.

Zou, X., Hu, C., Zeng, L., Cheng, Y., Xu, M., Zhang, X., 2014a. A comparison of screening methods to identify waterlogging tolerance in the field in *Brassica napus* L. during plant ontogeny. PLoS ONE 9: e89731