

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Vliv teplotního stresu na klíčení, růst a vývoj rostlin

Bakalářská práce

Joel Pospíšil

Rostlinná produkce

Vedoucí práce Ing. Jiří Kudrna

Konzultant: doc. Ing. František Hnilička, Ph.D.

© 2021 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv teplotního stresu na klíčení, růst a vývoj rostlin" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 3. 5. 2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Jiřímu Kudrnovi za cenné rady a trpělivost při vedení mé bakalářské práce. Rovněž bych chtěl poděkovat doc. Ing. Františkovi Hniličkovi, Ph.D za vstřícnost a pomoc při získávání informací a podkladů pro tuto bakalářskou práci.

Vliv teplotního stresu na klíčení, růst a vývoj rostlin

Souhrn

Značným problémem současné doby je stále se zvyšující poptávka po potravě pro narůstající lidskou populaci. Mezi nejvýznamnější plodiny celosvětové produkce řadíme cukrovou třtinu, rýži, kukuřici a pšenici, které řadíme do čeledi lipnicovité. Bakalářská práce seznamuje s působením vysoké teploty na rostliny z čeledi lipnicovité. Tato práce popisuje význam a botanickou charakteristiku této čeledi. Rostliny jsou v průběhu svého života ovlivňovány různými vnějšími podmínkami. Pěstování uvedených plodin je ovlivněno mnoha faktory, a to abiotickými a biotickými stresy, které působí na rostliny a ovlivňují tak jejich produkci. Teplotu řadíme mezi nejdůležitější environmentální faktory, které nejvíce ovlivňují vývoj, růst i metabolismus rostliny. Na rostliny nepůsobí pouze optimální teplota, ale jsou často vystavovány teplotám extrémním. S teplotou jsou spojené také globální změny klimatu. Tyto změny mají za následek zvyšující se výskyt a prodloužení period sucha. Z důvodu stále se zvyšující teploty země, je nad míru důležité věnovat pozornost novým šlechtitelským metodám.

Klíčová slova: teplotní stres, lipnicovité, klíčení, vzcházení, stresová reakce

Influence of temperature stress on germination, growth and development of plants

Summary

A major problem today is the ever-increasing demand for food for a growing human population. Sugarcane, rice, corn and wheat are among the most important crops in the world production, which we classify into the family Poaceae. This bachelor thesis introduces the effect of high temperature on plants of the family Poaceae. This bachelor thesis describes the meaning and botanical characteristics of this family. Plants are affected by various external conditions during their life. The cultivation of these crops is influenced by many factors, namely abiotic and biotic stresses, which act on the plants and thus affect their production. Temperature is one of the most important environmental factors that most affect the development, growth and metabolism of the plant. Plants are not only affected by the optimum temperature, but are often exposed to extreme temperatures. Temperature is also linked to global climate change. These changes result in an increasing incidence and prolongation of drought periods. Due to the ever-increasing temperature of the Earth, it is important to pay attention to new breeding techniques.

Keywords: temperature stress, poaceae, germination, emergence, stress reaction

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíl práce.....	2
3. Čeleď lipnicovité (<i>Poaceae</i> L.).....	3
4. Klíčení rostlin	5
5. Obecná koncepce stresu.....	5
6. Vliv teploty na rostliny.....	9
6.1 Vliv nízké teploty na rostliny	10
6.2 Vliv vysoké teploty na rostliny.....	11
6.3 Vliv vysoké teploty na fyziologické procesy rostlin	13
7. Globální klimatické změny	18
8. Pěstování a šlechtění na odolnost vůči stresorům	21
9. Závěr	26
10. Použitá literatura	27

1. Úvod

Trávy nás obklopují na každém kroku. Jednou v podobě trávníku, louky či pastviny, kde jejich využití vnímáme spíše jako úkryt pro drobné živočichy, podruhé jako potravu pro zvířata, ale mají také neodmyslitelný význam pro nás lidi, hlavně jako potravina. Jsou to obilniny, ze kterých získáváme suroviny na výrobu různých druhů bílého či celozrnného pečiva nebo v dnešní době tak oblíbené cereálie, ovesné vločky, rýže apod. Můžeme si také pochutnat na některém z nápojů, jež mají základ právě u těchto obilnin, a to především whisky, rum nebo i naše pivo.

Je všeobecně známo, že žijeme v době, kterou ovládá stres, který však není vynálezem posledního století. Konkrétně stres u rostlin byl v hledáčku lidí již od doby vzniku zemědělství. Zápavy nebo naopak sucho způsobovaly nízkou úrodu, která mohla vést k hrozbě hladomoru. Věda se však soustavně zabývá studiem stresu teprve necelé století. Za objevitele stresu považujeme Hanse Selyeho, podle kterého je stres nespecifická reakce organismu na všechny podněty, které ohrožují jeho nerovnováhu. Tuto koncepci stresu uvedl Hans Selye v roce 1936.

Stres, který působí na rostlinu, můžeme rozdělit na abiotický a biotický. Biotický stres u rostlin představuje působení patogenů (bakterií hub). Abiotický stres vyvolává nepříznivé životní prostředí, kterým je ovlivněn růst a vývoj rostliny. Vliv abiotického stresoru se u obilnin projevuje v produkci a její kvalitě. Sucho, které řadíme do abiotických stresových faktorů je nejvýznamnějším problémem celosvětového zemědělství. V současné době představují závažný problém právě klimatické změny, kterými naše planeta prochází velmi rychlým spádem. Vědecké poznatky z posledních let ukazují, že za klimatickými změnami stojí nárůst koncentrace skleníkových plynů, který je vyvoláván především lidskou činností. Globální oteplování způsobuje řadu negativních projevů v různých oblastech, a to včetně zemědělství. Zvyšující se teplota a prodlužování period sucha ovlivňuje produkci plodin (na špici světové produkce se nachází kukuřice, pšenice, rýže či cukrová třtina). Orné půdy ubývá, ubývá vody, na půdě se podepisuje eroze nebo zasolování a klimatické změny se stávají realitou. V zemědělství se zvyšoval výnos používáním hnojiv, pesticidy se zamezilo množení plevele a škůdců. Všechno to, se negativně odráží v přírodě. Je tedy nutné zavádět nové odrůdy, které mají vyšší výnosy a jsou dostatečně odolné vůči abiotickým nebo biotickým stresorům. Postupem vědy kupředu se inovují i šlechtitelské metody. Tyto metody poskytují ekonomicky výhodnou a rychlou realizaci potřebných změn v genomech rostlin. Například GM techniky mnohé přesvědčily o jejich unikátních přednostech, ale zároveň se našlo ještě více odpůrců těchto technik. Mnozí vidí naději pro budoucnost, jiní vidí nepřírozený přesun genů.

2. Cíl práce

Teplotní stres je jedním z významnějších stresorů, který celosvětově ovlivňuje rostlinnou produkci. Výkyvy teplot jsou vyvolány nejenom intenzitou dopadajícího slunečního záření, ale také délkou slunečního svitu, pohybem vzduchu apod. Dalším faktorem, který ovlivňuje globální nárůst teplot jsou skleníkové plyny. Na základě těchto skutečností byl stanoven následující cíl práce: sledovat vliv teploty na fyziologické parametry klíčení a vzcházení rostlin, studium vlivu teplotního stresu na růst a vývoj rostlin. Pozornost bude především zaměřena na zástupce čeledi lipnicovité.

3. Čeleď lipnicovité (*Poaceae* L.)

Trávy neodmyslitelně patří k zemědělství a lesnímu hospodářství. Pro člověka mají největší význam kulturní trávy. Do této čeledi řadíme např. ječmen, pšenice, žito, oves, čirok, kukuřice a v neposlední řadě i rýži. Tyto plodiny zajišťují výživu populace na celém světě. Obiloviny můžeme zařadit do trav s plody, které obsahují 55-70 % škrobu a přibližně 10-12% bílkovin, další obsažené látky jsou vitamíny a minerály (Krištín et al. 1983).

Nejkvalitnějším u nás pěstovaným druhem z hlediska obsahu lepku je pšenice obecná, která je surovinou pro výrobu pečiva, dále je to pšenice tvrdá a naduřelá, jejichž kultivary jsou vhodné pro výrobu těstovin. Další surovinou je žito, ze kterého jsou žitné chleby, ale používá se také na výrobu lihu nebo melty. Ječmen je možno využít k výrobě ječného sladu jako složka výroby piva. Mezi dobře stravitelné obilniny řadíme oves, který je především jako obilnina ke krmným účelům obzvláště pro koně, ale i pro jiná zvířata. S rostoucím zájmem o zdravý životní styl se zvýšil zájem o ovesné vločky a ovesné kaše (Krištín et al. 1983).

V teplejších oblastech se pěstuje kukuřice, která neobsahuje lepek, tudíž je dobře stravitelná a vhodná i pro bezlepkovou dietu. Jednou z nejdůležitějších obilnin na světě je rýže. Rýže jako taková je významnou potravinou, dále se využívá jako surovina k výrobě rýžové mouky, alkoholických nápojů nebo škrobu (Ingram 2006).

Do čeledi lipnicovité patří také cukrová třtina nebo bambus. Bambus se využívá jako stavební materiál, používá se k výrobě hudebních nástrojů, košíků, rohoží, nábytku nebo textilií a může se z něj vyrobit i papír (Rezl 2006).

Trávy tvoří husté drny a tím chrání půdu před erozí. Pod drny se hromadí humus, jež zvyšuje úrodnost půdy. Po sklizni nebo pastvě nastává rychlá regenerace díky vegetativnímu rozmnožování. Pro lesní hospodářství mají trávy také značný význam např. pro vývoj fytoocenóz, při zalesňování nebo obnově lesů. Jsou také potravou pro zvěř, a tudíž se eliminují škody na lesních kulturách. Také chrání sazenice a mladé semenáčky před úporným sluncem (Šindelářová 1970).

Do čeledi lipnicovité (*Poaceae*) řadíme kulturní a plané druhy trav. V rámci této čeledi je dle Šašková & Štolfa (1993) přibližně 600 rodů a 10 000 druhů. Konkrétně v České republice rostou trávy téměř na třetině rozlohy a je zde zastoupeno asi 80 rodů trav s 240 druhy.

Z hlediska morfologického zastupují trávy relativně jednotnou, monofyletickou, skupinu. Tyto rostliny můžeme charakterizovat jako jednoleté až vytrvalé byliny, které mají mnoho typických znaků (Unar & Unarová 1998). Zástupci této čeledi jsou rozšířeny po celém světě. Lipnicovité zastupují takřka všechny rostlinné uskupení (formace) a mnohokrát určují i jejich vzhled či druhové složení (Grau et al. 1998.).

Kořenový systém je tvořen tzv. sekundární homorhizií. Se sekundární homorhizií se však nesetkáme u všech druhů trav, konkrétně ji nenalezneme u kukuřice seté (*Zea mays*) (Slavíková 1990). Kořenový systém lipnicovitých trav dosahuje neobyčejné délky. Například

u dospělé rostliny žita je uváděna celková délka kořenového systému přibližně 80 km (Grau et al. 1998).

Délka internodií se zvětšuje od báze k vrcholku. Lipnicovité lze od ostatních rostlin trávovitého vzhladu diferencovat právě díky stavbě stébla, které bývá vždy okrouhlé, popřípadě slabě smáčklé. Stébla bývají dvouřadě olistěná (Grau et al. 1998).

Ve vnější morfologii trav je významným rozlišovacím prvkem způsob odnožování. Na bázi stonku se vytvoří tzv. odnožovací uzlina, ze které se vyvinou nové výhonky – tzv. odnože. Trávy odnožují pod zemí, nebo také nad zemí. Mohou svými výběžky pochvu prorážet (extravaginální) nebo mohou růst uvnitř pochvy (intravaginálně) (Šikula & Větvička 2016).

Podle způsobu odnožování mohou být trávy trsnaté (hustě nebo volné) nebo výběžkaté (s nadzemními, podzemními nebo oběma typy výběžků). Hustě trsnaté trávy jsou schopny snášet méně příznivé podmínky jako je například sucho či extrémní teploty, nedostatek živin, stín nebo nízké pH. Vytváří celistvé vystoupavé trsy, z tohoto důvodu nejsou hustě trsnaté trávy schopny (bez výběžkatých druhů trav) vytvořit trvalý porost (IOG 2013). Mezi trávy trsnaté hustě řadíme například metlici trsnatou (*Deschampsia spytosa*) nebo smilku tuhou (*Nardus striga*) (Hrouda 2010).

K druhům trav, které jsou trsnaté volně, řadíme bojínku luční (*Phleum pretense*), jílek vytrvalý (*Lolium perenne*) nebo srhu laločnatou (*Dactylis glomerata*) (Hrouda 2010). Tyto trávy nejsou tak příznivě přizpůsobeny nepříznivým podmínkám jako hustě trsnaté. Jsou náročnější na vodu i živiny. Vytvářejí volnější trsy, nicméně ani tento druh není schopen vytvořit trvalý porost.

Listové pochvy jsou skoro vždy otevřené, výjimku tvoří málo druhů trav, u kterých jsou listové pochvy trubkovitě srostlé – například u druhů rodu třeslice (*Briza* sp.) nebo strdivky (*Melica* sp.) (Slavíková 1990).

U trav z čeledi lipnicovitých se někdy listová pochva na horním konci rozšíří na dvě postranní ouška (auriculae). Z vnitřní strany báze listové čepele vyrůstá blanitý jazýček (ligula) (Slavíková 1990).

Květy lipnicovitých se liší od jiných čeledí rostlin. Základem je květ, který se skládá z pluchy a plušky, U některých druhů trav vyrůstá na pluchách dlouhé nebo kratší tzv. osiny. Dále se na květu vyskytují dvě polodlouhé šupinky – plenky (lodicae) (Šikula & Větvička, 2016). Plenky plní funkci při rozkvétání květu, svým zduřením od sebe oddálí pluchu a plušku a blizny s tyčinkami se mohou vysunout a větrem opylit (Šašková & Štolfa 1993). Součástí květu jsou i tyčinky (stamen) a pestík (pistillum).

Další důležitou částí květu je klásek. Klásky jsou uspořádány do různých květenství a mohou být jednokvěté nebo mnohokvěté. Součástí květu jsou i tzv. listeny, které nazýváme plevy (glumae) (Šikula & Větvička 2016).

Plod lipnicovitých je obilka (caryopsis), která může být pluchatá neboli okoralá (*Hordeum vulgare*, *Avena sativa*). Naopak u žita (*Secale cereale*) či pšenice (*Triticum aestivum*) je tzv. obilka nahá (Slavíková 1990).

Klíčení rostliny obsahuje řadu obtížných fyzikálních, biologických a biochemických procesů, jejichž vlivem přechází embryo z klidového dehydratovaného stavu do stadia růstu (Hosnedl 2003). Zralé semeno se považuje za klidové stádium kvetoucí rostliny a jsou omezeny veškeré jeho životní projevy. Díky tomuto latentnímu stavu jsou semena schopna přežít i velice nepříznivé podmínky, jako například extrémní teploty, sucho, nedostatek kyslíku nebo tmu (Bretagnolle et al. 1995).

4. Klíčení rostlin

Klíčení představuje fyziologický proces, jehož počátkem je příjem vody a zároveň rychlé odbourání kyseliny abscisové. Samotné klíčení začíná prasknutím obalů embrya – koleoptyle a koleorizy. Příjem vody probíhá ve třech fázích. Poté, co semeno přijme určité množství vody, nastává fáze aerobního dýchání, během kterého dojde k aktivaci citrátového cyklu, oxidační fosforylaci. Dále dochází k silné aktivaci mitochondrií. V semenech dochází k aktivaci lipasy, α amylasy, proteasy, peptidasy, lipasy a začíná přesun do klíčícího embrya přes štítek (Bláha & Hnilička 2006).

Za klíčící semeno se zpravidla prohlašuje to, které má vyvinutý kořínek a to min. 1-2 mm. Za nejčastější anomálie klíčení a počátečního růstu se považují defekty kořínků a děloh. Mezi vnější podmínky, které podmiňují klíčení rostlin, řadíme vlhkost, teplotu, světlo a také vlastnosti substrátu (přítomnost patogenů či obsah solí). Nicméně klíčení rostliny může také ovlivnit například způsob sběru semen, uskladnění, stáří, technika výsevu či ožer hmyzem (Chloupek 2008, Houba & Hosnedl 2002).

5. Obecná koncepce stresu

Rostliny jsou v průběhu svého života ovlivňovány různými vnějšími podmínkami. Tyto podmínky (faktory) mají vliv na jejich fyziologické vlastnosti a jsou pro rostliny vhodné či nevhodné. Faktory, které rostlinám neprospívají označujeme pojmem stresové neboli stresory. Negativní stresory mohou mít za následek zpomalení růstu rostliny, napadení jejích orgánů, omezení životních funkcí a v neposlední řadě může rostlina uhynout. Nicméně ne všechny stresové faktory nutně působí na rostlinu negativně. Působení stresu na rostliny je oproti působení stresu na živočichy komplikovanější a to tím, že zmiňované stresory nepůsobí na objekt jednotlivě, avšak vždy společně. Stresory také nemusí postihovat celou rostlinu, ale pouze jen její některé orgány, což přispívá k větší složitosti dané problematiky (Hnilička & Hniličková 2016)

Stres je v dnešní době každodenním slovem naší slovní zásoby. A ačkoliv každý jedinec pojem stres zná, málokdo ví, co přesně znamená (Selye 1973). Základ pojmu „stress“ dala anglická technická terminologie, ve které tento termín znamená „sílu“, která působí na

těleso a následně v něm vyvolává napětí. Pokud má tato síla takovou intenzitu, že jí adekvátní napětí způsobí v tělese poškození jeho celistvosti (pevnosti), těleso přestává plnit svou funkci.

Počátek slova stres pochází z latinského výrazu „stringere“, které znamená svírat či něco utahovat. Tímto termínem se nazývá situace (stav) jedince v ohrožení. Dle fyziologické definice je stres stav organismu, jenž vzniká potom, co selžou regulační mechanismy udržující homeostázi neboli rovnováhu funkcí daného organismu. Do prostředí biologie byl pojem stres přenesen Hansem Selyem (Janíček & Marek 2013).

Jako další definicí je definice Levitta, který stres popisuje jako jakýkoliv faktor prostředí potencionálně nepříznivý pro živý organismus. Dle tohoto autora je stres chápán jako škodlivé působení přírodních faktorů, které lze rozdělit do dvou rovin. Tou první je působení vnějšího faktoru, kdy tento faktor je schopen vyvolat v živém organismu nežádoucí účinek. Druhá rovina představuje biologický stres. Biologický stres je chápán jako jakákoliv změna, která nastane ve vnějším prostředí a která má za následek nepříznivý vývoj živého organismu (Levitt 1980).

Již zmiňovaným termínem „stres“ pak označujeme souhrnně situaci, kdy je rostlina vystavena těmto negativním stresorům. To, že stres vyvolaný u rostlin má složitější průběh i charakter souvisí také s přisedlým způsobem života rostlin, který neumožňuje únik před působením stresových faktorů, ale také tím, že u rostlin je větší heterogenita vnitřního prostředí (buněk, pletiv) a také mezidruhová variabilita. Hlavními mechanismy, kterými může rostlina odolávat stresu jsou escape (únik), avoidance (vyhýbání se) nebo tolerance. Escape zahrnuje např. ranost v období sucha. Avoidance – při stresu suchem buněčné prostředí zůstává hydratováno jako za optimálních podmínek a tolerance je aktivní přizpůsobení snížené hydrataci rostlinných pletiv (Levitt 1980).

Stresové faktory (stresory) můžeme rozdělit na abiotické a biotické. Biotické faktory jsou představovány škůdci, viry či chorobami. Abiotický stresor může mít fyzikální či chemickou povahu. Do skupiny s fyzikální povahou řadíme například působení vody, teploty, radiace či větru. Chemickou povahou pak označujeme pesticidy, salinitu, pH vody a půdy (Kukla & Kuklová 2013).

Biotické faktory jsou živé organismy, které se vyskytují v různém životním prostředí a vytváří s jinými organismy i s prostředím vzájemné vztahy. Mohou se ovlivňovat mezidruhově i v rámci jednoho druhu (Freeman & Beattie 2008).

Rostlina disponuje řadou ochranných mechanismů, které slouží k obraně proti škodlivým činitelům. Díky těmto mechanismům rozpozná invazivní organismy a následně je může zneškodnit. Pro rostlinu je nutné bránit organismům, aby pronikly přes její pokožku do jednotlivých orgánů. Obrana rostlin má aktivní i pasivní charakter (Freeman & Beattie 2008).

Obrana pasivní je dle Serrano et al. (2014) obranou rostliny po celý život. Povrch rostlin tvoří kutikula, která se skládá z kutinu, suberinu, pektinu a celulózy. Tyto části tvoří bariéru patogenním organismům, aby nemohly proniknout do rostlinných pletiv. Zesílená buněčná stěna ligninem je další překážka proti patogenům. Proti okusu herbivory je rostlina ochráněna např. trichomy.

Dalším způsobem obrany je tvorba sekundárních metabolitů. Jedná se např. o flavonoidy, terpeny, alkaloidy, saponiny, silice, třísloviny. U rostlin plní hlavně ochrannou funkci proti napadení bakteriemi, houbami nebo chrání rostlinu proti hmyzu (Matusinsky 2016).

U bramboříku, prvosenky nebo břečťanu se setkáme s ochrannou rostliny proti chorobám a škůdcům ve formě emulze a pěny, ty vznikají kombinací hydrofilní a hydrofobní složky a tyto molekuly snižují povrchové napětí (Matusinsky 2016).

Aktivní obrana se spouští ve chvíli, kdy rostlina receptory rozpozná patogen a aktivuje své obranné mechanismy. Mezi tyto mechanismy řadíme např. syntézu látek, jakými jsou reaktivní formy kyslíku nebo fytoalexiny a proteiny PR (pathogenesis related proteins) (Matusinsky 2016).

Další obrannou reakcí po napadení patogeny např. houbovými vlákny (hyfa) je tvorba nektróz tzv. hypersenzitivní reakce. V buňce jsou během chvíle spuštěny biochemické procesy, které vedou k zničení vlastní buňky spolu s patogenem. Hypersenzitivní reakce nazvaná programovaná smrt vede ke zvýšení tvorby ochranných nektróz a dochází k rychlé smrti buněk v okolí patogena a zamezuje jeho šíření do jiných částí rostliny. Patogen je tímto odříznut od přísunu živin a vody (Matusinsky 2016).

Na rostlinu působí stresové faktory, které mohou být chemického nebo fyzikálního původu, které souhrnně označujeme pojmem abiotické stresory. Jedná se o chemické stresory (nedostatek kyslíku v půdě, oxidativní stres, toxické ionty v půdě, přsvětlení, nadbytek ozonu, nadbytek rizikových kovů, zasolení půdy) a fyzikální stresory (vysoké nebo nízké teploty, sucho, mráz, chlad) (Řepková 2013).

Nedostatek kyslíku (anoxie) v půdě úzce souvisí s půdní strukturou. Nedostatek kyslíku v půdě se nejčastěji projevuje při záplavách, kdy dochází k vadnutí rostliny a k odumírání kořenů. Při hypoxickém poškození se snižuje hladina kyslíku v pletivech pod hranici optima (záplavy, vlhké půdy) (Hrudová 2011).

Rostlina produkuje etylen, který stimuluje tvorbu aerenchymu, tím se mírní poškození rostliny a zlepší se příjem kyslíku např. kukuřice (*Zea mays*) naopak, některé rostliny nevytváří aerenchym vůbec např. řepka olejka (*Brassica napus*). Rozsah poškození rostlin při anoxie je závislý na délce období, po které mají kořeny rostlin nedostatek kyslíku, na druhu rostlin i na délce fenologické fáze (Hrudová 2011).

Oxidativní neboli oxidační stres můžeme charakterizovat jako nerovnováhu produkce volných radikálů (aktivních forem kyslíku) a antioxidační obrany (Řepková 2013). Stresové faktory mohou u rostliny vyvolat oxidativní stres, který je charakteristický prudkou přechodnou tvorbou velkého množství aktivních forem kyslíku (AFK). Za normálních podmínek je produkce AFK v buňce nízká. V případě, že na rostlinu působí stresové faktory, které naruší její buněčnou homeostázu, dojde k výraznému zvýšení koncentrace AFK. V biologických systémech mají AFK dvě funkce. Slouží jako signální molekuly pro expresi genů a zároveň způsobují jako toxické meziprodukty aerobního metabolismu poškození či zánik buňky (Piterková et al 2005).

Nejvyšší vliv na zvyšování koncentrace rizikových látek v půdě, ve vodních zdrojích i v atmosféře je zapříčiněna antropogenní činností. Svoji vinu nesou také průmyslové a zemědělské procesy, ke kterým patří hnojení půd (Banášová 1996).

Rostlina snadno přijímá ionty rizikových látek svými kořeny, které inaktivují redoxní systémy a enzymy. To má podle Seregin et al (1997) za následek zpomalení růstu kořenů např. u kukuřice (*Zea mays*) za působení kadmia a olova dochází k inhibici růstu hlavního kořene. Rostliny, které se setkávají na svém stanovišti s toxickými faktory rostou často s větším nebo menším poškozením.

Těžké kovy jim způsobují poruchy funkce průduchů, potlačují fotosyntézu, narušují respiraci nebo činnost enzymů. Toto se projeví zastavením růstu nebo uhynutím. Proto můžeme najít na půdách obsahujících rizikové látky rostliny malého vzrůstu (nanismy), menší diverzitu druhů nebo chlorózy (Banášová 1996).

Některé rostliny naopak rostou na půdách obsahující těžké kovy označujeme je jako hyperakumulátory. Tyto rostliny mají schopnost tolerovat a akumulovat kovy do nadzemní části, kde jejich koncentrace dosahují výrazně vyšší hodnoty než v půdě či v kořenech. Mezi tyto rostliny můžeme zařadit i lipnicovité (*Poaceae*) (Hobza et al. 2010).

Nejčastějším stresorem, kterým jsou rostliny sužovány je nedostatek vody. Vodní deficit je faktor, který zastavuje procesy fotosyntézy a dochází až k uschnutí rostliny. I proti tomuto stresu mají rostliny vyvinutou ochranou strategii v podobě krátkého životního cyklu. Další reakcí rostliny na vodní deficit je zvýšení příjmu vody kořeny a zamezení odpařování z listů regulací otevíráním průduchů. Některé rostliny umí hospodařit s vodou jako např. tučnolisté rostliny, kde jim jejich zduřelé lodyhy slouží jako zásobárna vody (Rhodes & Nadolská-Orcyk 2001).

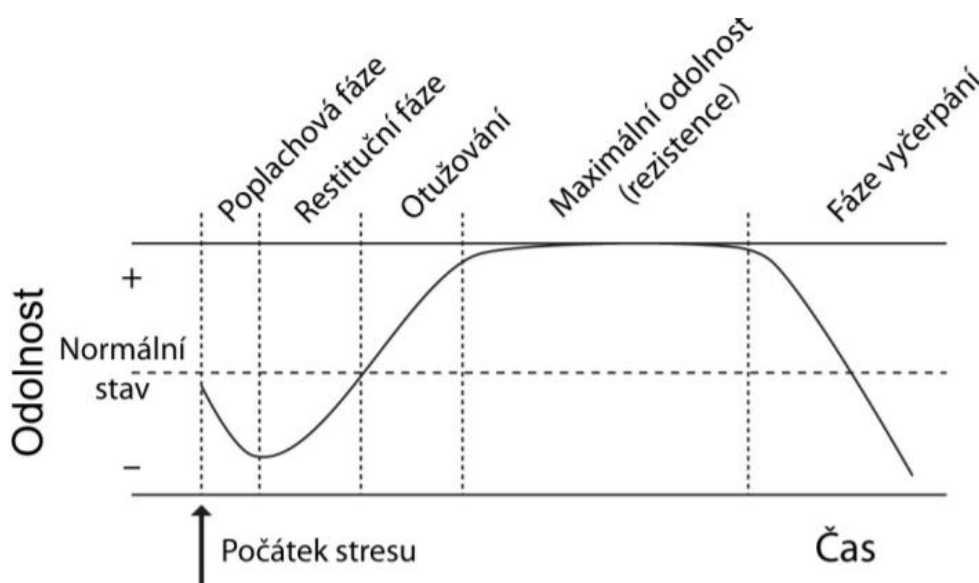
Salinita (zasolení) je stresor, který vzniká přílišným působením iontů solí. Zasolené půdy se nachází u slaných jezer, moří, ale mohou se vyskytovat všude tam, kde jsou minimální srážky a nadměrný výpar. K zasolení může docházet nadměrným používáním průmyslových hnojiv nebo v zimním období ošetřováním komunikací posypovou solí nebo také častým zavlažováním vodou bohatou na soli (Holubec & Štolcová 2002).

Zasoleným půdám se snižuje úrodnost, a tudíž dostatečně nezásobují rostliny živinami. Vysoká koncentrace iontů chlóru a sodíku poškozuje pletiva rostlin a působí toxicky. Při nadměrné salinitě dochází v rostlinném organismu ke zvýšení osmotického tlaku. Z buněk rostlin se ztrácí voda a turgor (Holubec & Štolcová 2002). Na rostlině se projeví redukce dělení buněk a redukce růstu listů a tím je omezena fotosyntéza, poškozen je i kořenový systém. Rostlina se stává oslabenou a může docházet k úhynu. Některé rostliny jsou adaptované k životu v zasolených oblastech (halofyta) a jiné jsou citlivé (glykofita) (Hrudová 2011).

Rostliny jako odezvu na podněty vnějšího prostředí spouští řadu obranných mechanismů, které umožňují opravit způsobené poškození a přizpůsobit se podmínkám. Obranné mechanismy jsou nespecifické (tvorba antioxidantních enzymů, zvýšená produkce

proteinů opravujících chybné proteiny – chaperony nebo degradujících poškozené proteiny), specifické (tvorby proteinů HSP - heat shock protein, protimrazových proteinů nebo proteinů při nadbytku kovů v půdě). Některé specifické odpovědi se mohou překrývat u stresů, který mají podobný účinek na rostliny např. mráz a zasolení způsobuje dehydrataci (Vítámvás & Prášil 2018).

Při prvotním působení stresového faktoru dochází k porušení buněčných funkcí a buněčných struktur. Tuto první fázi nazýváme poplachová fáze (obr.1), kdy je rozpoznáno působení stresoru a tato informace je předána signálními drahami do buňky, tam poté dochází ke změně exprese některých genů. Informace je rozšířena po celé rostlině. K mobilizaci kompenzačních mechanismů dochází v druhé restituční fázi a dovoluje rostlině přečkat stres. Za předpokladu, že intenzita působení stresového faktoru nepřekročí letální úroveň, rostliny svými mechanismy zvyšují odolnost vůči působení stresovým faktorům – fáze rezistence. Tato zvýšená odolnost často nemívá trvalý charakter. Při intenzivním a dlouhodobém působení stresového faktoru může dojít k vyčerpání energetických rezerv a při poklesu odolnosti nastává fáze vyčerpání a úhyn rostliny. Vždy záleží na fyziologickém stavu, genotypu a vývojovém stádiu rostliny (Kosová et al. 2011).



Obrázek č. 1: Schéma průběhu stresové reakce (<https://web2.mendelu.cz/>).

6. Vliv teploty na rostliny

Teplota je fyzikální veličina, která prostřednictvím jednoduchých termodynamických účinků ovlivňuje molekulární (DNA, bílkoviny) nebo supermolekulární (chromozomy, membrány) struktury (Žrobek-Sokolník 2012).

Teplota patří mezi nejdůležitější environmentální faktory, které nejvíce ovlivňují vývoj růst i metabolismus rostliny. Rostliny musí stále čelit změnám teplot, ať již během dne nebo v průběhu ročních období. Aby zamezily poškození, musí být schopny zareagovat na

kolísání teplot na molekulární úrovni. Rozpoznání těchto procesů je stále více důležité vzhledem ke klimatickým změnám (Penfield 2008).

Na rostliny nepůsobí pouze optimální teploty, ale často jsou vystavovány i teplotám extrémním, mohou je tedy poškodit jak teploty vysoké, tak i teploty nízké pohybující se okolo 0 °C nebo teploty pod bodem mrazu (Hnilička et al. 2003).

Opakující se proces poklesu teplot dochází na 64 % zemského povrchu. Silně citlivé na chlad jsou tropické rostliny, bývají poškozeny již při teplotě +10 °C (Yadav 2010).

Mezi rostliny, kterým chladné zimní teploty neuškodí patří geofyty (geophyta). Jsou to rostliny, které mají pod povrchem země obnovovací pupeny a zimu přečkají ve formě zásobovacích orgánů jako jsou cibule, oddenky nebo hlízy. Mezi geofyty patří např. rákos obecný (*Phragmites australis*)(Hroneš 2008).

6.1 Vliv nízké teploty na rostliny

Chlad

Chladový stres negativně ovlivňuje růst rostlin a jejich vývoj. Pokud se teploty pohybují nad bodem mrazu, nastává u rostlin poškození chladem, Tento jev má za následek narušení tvorby membránových lipidů a dochází k inaktivaci enzymů. Zpomaluje se fotosyntéza a zvyšuje rostlinná respirace, čímž dochází ke změně vodního režimu a růst se zastavuje. Při poškození rostliny chladem, ještě nedochází ke vzniku ledu v buňkách, a tudíž k zamrznutí (Yadav 2010).

Teplota, která náhle a skokově poklesne dokáže ovlivnit i rostliny, které jsou na nízké teploty adaptované, popřípadě na ně nejsou senzibilní. Na poškození chladem jsou nejvíce náchylné generativní orgány rostlin (Sanghera et al. 2011). Pro obilniny mohou být nízké teploty nebezpečné ve všech vývojových fázích. Pro reprodukci může být kritická i jedna chladná noc nebo horký den během oplodnění. Je tedy v rostlinné produkci nutné vědět, které fáze reprodukce a vývoje u obilovin jsou náchylné k nízkým teplotám. Obiloviny jsou schopné na molekulární úrovni reagovat změnou transkripce. Ta pomáhá buněčné procesy přeprogramovat tak, že se přizpůsobí chladu (Fowler & Thomashow 2002).

Rostliny, které byly vystaveny chladu vykazují řadu fenotypových znaků, jako je snížení dilatace listů, vadnutí, chlorózu a může docházet k nekróze pletiv. Stres chladem markantně ovlivňuje reprodukční vývoj rostlin. Chlad v době kvetení může způsobit sterilitu, vede i ke špatnému klíčení, rostlinky mohou zakrtnět. Listy žloutnou, vadnou a nastává redukce růstu výhonů. Pokud chlad působí v období reprodukčního stádia rostlin, způsobuje zpouzdřování a sterilitu pylu, což má za následek snížení výnosu (Yadav 2010).

Obiloviny používají k adaptaci na změny teploty faktory, které dokážou ovlivnit fluiditu membrány. K tomu jsou určeny změny hlavních skupin lipidů, izomerace mastných kyselin, zkracování nebo prodlužování řetězců mastných kyselin, změny v poměru cis-trans

mastných kyselin a zvýšení obsahu nenasycených mastných kyselin (Browse a Somerville 1991). Při nízkých teplotách dochází k uspořádání molekul a sníží se jejich pohyblivost. Následuje přechod lipidové dvojvrstvy, kterou je tvořena plazmatická membrána, ze stavu fluidního do zatuhlého (Uemura et al. 2006). V membráně se také mění hladina sacharózy a jednoduchých cukrů a dochází k akumulaci dehydrinů. Tyto proteiny získaly název díky tomu, že dokážou zabraňovat dehydrataci buňky a ve stresových podmínkách udržovat její objem, aby nedošlo k buněčnému kolapsu. Některé typy dehydrinů pomáhají buňce zbavovat se hydroxylových radikálů a jiné chrání enzymy citlivé na nízké teploty, aby nedošlo k jejich deaktivaci (Rorat 2006). Dehydriny se za normálních podmínek vyskytují v různých oddílech buněk jako je mitochondrie, jádro, cytosol, vakuola a další. Byly nalezeny ve všech pletivech rostlin. Dehydriny se akumulují v pozdní fázi embryogeneze. Snížená akumulace dehydrinů byla sledovaná při vernalizaci (Kosová et al. 2011).

Vernalizace (jarovizace) je důležitý fenologický regulátor u plodin, které jsou vystaveny nízkým teplotám z důvodu zpoždění přechodu z chladu tolerantního vegetativního období do reprodukční fáze (Kosová et al. 2008).

Mráz

Když teplota poklesne pod bod mrazu, začnou se v mezibuněčných prostorech tvořit ledové krystaly. Extracelulární led se vytváří dříve než intracelulární, neboť v buňkách je osmoticky aktivní prostředí, které bod tuhnutí snižuje (Thomashow 1998). Mění se chemické vlastnosti buněčných membrán, narušují se metabolické procesy a vznikají toxiny. Při extracelulární tvorbě ledu dochází k dehydrataci buněk z důvodu sníženého vodního potenciálu apoplastu (Sanghera et al. 2011). Podle Uemura et al. (2006) existují studie, které prokazují, že plazmatická membrána je prvotní místo, kde dochází k poškození nízkými teplotami. Toto poškození způsobuje dehydratace při střídání zmrazení a tání.

Hodně nízké teploty se často používají pro dlouhodobé uchovávání rostlinného materiálu (kryoprezervace). Aklimovaný materiál se rychle zmrazí na teplotu $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, aby se vytvořily co nejmenší krystaly ledu a nepoškodily buňky (Yano et al. 2005).

Při kryoprezervaci se navodí taková dehydratace pletiv, kde již není volná voda a netvoří se žádné krystaly ledu (vitrifikační stav). Po rychlém zmrazení musí nastat i rychlé rozmrazování to je zabezpečeno ponořením rostlinného materiálu do vody o teplotě 40°C . Vitrifikační metoda vede k navození amorfního stavu buněčného obsahu - biologického skla (Zámečník et al. 2013).

6.2 Vliv vysoké teploty na rostliny

Vysoká teplota, se během růstu považuje za jeden z nejdůležitějších abiotických stresorů. V důsledku dnešní změny klimatu má rostoucí charakter (Žrobek-Sokolník 2012).

Aby rostlina mohla přežít při zvýšených teplotách, má k tomu vyvinuté různé mechanismy. Tuto její strategii můžeme rozdělit na dlouhodobé fenologické a morfologické evoluční adaptace, do které můžeme zařadit orientaci listů, transpirační ochlazení či změny ve

složení lipidové membrány nebo krátkodobé mechanismy vyhýbání se stresu a aklimatizace. Mezi obecné mechanismy tolerance ke stresu jsou pro překonání účinků stresu potřebné stresové proteiny (Žrobek-Sokolník 2012).

Teplotní stres bývá často doprovázen dalšími abiotickými stresy jako je zasolení nebo stres ze sucha. Podle fází vývoje rostlin se mění i náchylnost k vysokým teplotám, ale do určité míry jsou ovlivněny všechny vegetativní i reprodukční fáze (Žrobek-Sokolník 2012).

Pokud se teplota zvýší zhruba nad 40 °C dochází u většiny rostlin k důležitým změnám ve fyzikálně-chemických vlastnostech buněčných membrán i proteinů. U některých citlivých druhů rostlin, mohou tyto změny nastat již při teplotách nad 35 °C. Opakem mohou být různé druhy rodu *Opuntia*, které jsou schopny růstu i při teplotě 56,5 °C (Žrobek-Sokolník 2012).

Teploty, které přesáhnou optimální mez způsobí stresové odpovědi, které mají různé projevy. Tepelný stres má v závislosti na délce působení a stádiu vývoje rostliny negativní vliv na některé fyziologické procesy, mezi ně patří morfologické změny jako jsou inhibice kořenů a výhonků, větvení stonků nebo růst výhonků (Rahman et al. 2004).

Rahman et al. (2004) poukazuje na skutečnost, že za působení vysokých teplot se snižuje rychlost růstu stonku a celkově se snižuje výška rostliny. Při optimálních podmínkách se výška pšenice pohybuje od 66,4 do 97,3 cm, pokud působí tepelný stres, výška se snižuje na 55,7-82,3 cm. Pokud tepelný stres je doplněn stresem ze sucha, je ovlivněno dělení a prodlužování buněk obilovin a tím pádem velikost listů.

U obilovin je ovlivněn vysokými teplotami reprodukční vývoj. Pokud se teploty zvyšují, snižuje se kvantita i kvalita výnosu. U kukuřice dochází vlivem vysokých teplot a sucha k problému asynchronního kvetení (Barnabás et al. 2007).

Dalšími procesy, které jsou ovlivněny teplem jsou anatomické procesy, kdy se zmenšují buňky a zvyšuje se hustota trichomů a průduchů. Stres ovlivňuje denaturaci proteinů, zvýší se tekutost membrány, nastává nestabilita cytoskeletu, změny se dotknou dýchání i fotosyntézy, aktivity enzymů, metabolismu uhlíku, změny fytohormonů a dalších. Tepelný stres indikuje oxidační stres, který generuje ROS (Reactive Oxygen Species, reaktivní formy kyslíku). Vysoká koncentrace ROS způsobuje toxicitu, naopak nízké koncentrace ROS působí jako signální molekula, která aktivuje rostlinné procesy jako je buněčná smrt (Hinojosa 2018).

V buňkách rostlin jsou ROS nejvíce produkovány chloroplasty, mitochondriemi a peroxizomy – orgány s velkou metabolickou aktivitou. Produkce ROS v organelách je zodpovědná za spouštění signálních kaskád (Piterková 2010). Během působení stresorů je důležité snížení produkce ROS v buňkách a zrovna tak jejich zachytávání. Úpravami buněčného metabolismu, je možné snížit produkci ROS. Tvorbu ROS mohou snižovat mechanismy fyziologické adaptace (C4, CAM metabolismus), anatomické adaptace (ukrytí průduchů ve specializovaných strukturách, pohyb listů) a molekulární mechanismy (snížení účinnosti a rychlosti fotosyntézy nebo její inhibice). Skupina enzymů-alternativní oxidasy mohou také snížit produkci ROS (Mittler, 2002).

Rostliny mají vyvinuté různé mechanismy pro přežití při vysokých teplotách. Tyto strategie můžeme rozdělit na dlouhodobé fenologické evoluční adaptace mezi něž můžeme zařadit změnu orientace listu, transpirační ochlazení nebo změny ve složení membrány či krátkodobé mechanismy vyhýbání stresu a aklimatizace. Jako obecné mechanismy tolerance stresu a pro potlačení jeho účinků jsou nezbytné stresové proteiny, lapače volných radikálů osmoprotektory, iontové transportéry a faktory, které jsou zapojeny do signálních kaskád a kontroly transkripce (Bitá 2013).

Obranné reakce jako odpověď na vysokou teplotu můžeme pozorovat za necelou hodinu od počátku působení stresu. Výdej energie transpirací je důležitý pro snížení vnitřní teploty. Energie při deexcitaci se mění v teplo, které je vydáno do okolí v podobě dlouhovlnného infračerveného záření, které je předáno do okolí kondukcí (Yang et al. 2006).

V membránách dochází ke snížení jejich fluidity (míry tekutosti). Fluidita je podle Gerdaye et al. (2007) jedna z důležitých podmínek, které ovlivňují funkčnost celého systému. Jde o viskozitu, která určuje propustnost (permeabilitu) membrány látkám, které volně prochází skrz ni (hydrofilní molekuly, malé molekuly apod.). Tekutost membrány závisí při určité teplotě na složení dvojvrstvy. Důležitý faktor je zastoupení mastných kyselin, délka jejich řetězce a poměr nasycených a nenasycených kyselin. Větší obsah nenasycených mastných kyselin zvyšuje fluiditu membrány.

Nedílnou součástí termoregulace je změna v expresi genů. Stresové proteiny jsou ve velké míře rozpustné ve vodě, a tím pomáhají ke stresové toleranci prostřednictvím hydratace buněčných struktur (Wahid & Close 2007).

Reakcí rostlin na vysokou teplotu je tvorba HSP (heat-shock proteins). Jedná se především o stresové proteiny nebo molekulové chaperony. V buňce se nachází těchto proteinů za normálních podmínek celkem malá koncentrace. Vyšší produkce těchto proteinů nastává, pokud na rostliny působí postupné nebo náhlé zvýšení teploty (Schoffl et al., 1999). Rozdělení skupiny HSP je podle jejich molekulární velikosti. Rozlišujeme například HSP100, HSP90, HSP70, HSP60 a smHSP (malé) (Trend 1996).

Rostliny pšenice, žito a kukuřice byly vystaveny tepelným šokům (42 °C). kukuřice exprimovala pět mitochondriálních LMW-HSP 28, 23, 22, 20, 19 (HSP s malou molekulovou hmotností), zatímco pšenice a žito exprimovali pouze jeden (HSP 20), což naznačuje důvod vyšší tolerance kukuřice proti vysoké teplotě (Wahid et al. 2007).

6.3 Vliv vysoké teploty na fyziologické procesy rostlin

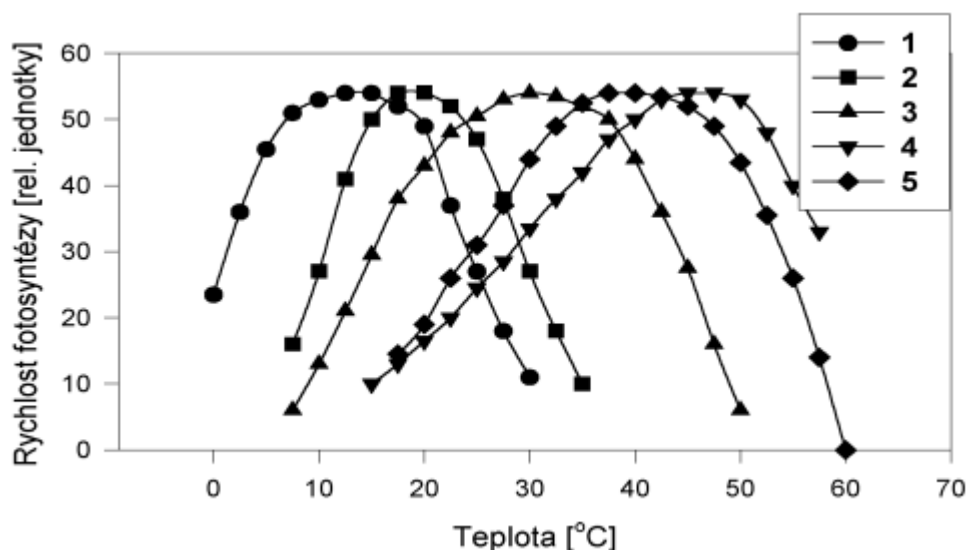
Teplota má pro fyziologické procesy rostlin velký význam. Pro chemickou reakci platí, že doba, která je nutná k její uskutečnění je proměnná a je závislá na koncentraci výchozích látek, na teplotě při reakci a na přítomnosti nebo nepřítomnosti katalyzátorů. Teplota ovlivňuje v rostlině metabolické procesy prostřednictvím působení na reakční kinetiku chemických dějů a na účinnost v nich zapojených enzymů. V praxi se používá Van'tHoffovo pravidlo, kdy se reakční rychlost s teplotou zvyšuje exponenciálně.

Van'tHoffovo pravidlo uvádí, že zvýšení teploty o 10 °C vede k růstu reakční rychlosti na dvojnásobek až trojnásobek (Procházka 1998).

Fotosyntéza typu C4 je zastoupena v čeledi lipnicových cca 5700 druhy. Mezi těmito druhy patří k nejvýznamnějším kukuřice setá (*Zea mays*), proso seté (*Panicum miliaceum*), čirok, cukrová třtina (*Saccharum officinarum*). Tento typ rostlin přispívá přibližně čtvrtinou primární produkce na planetě, kterou lidé konzumují buď přímo, jako rostlinný materiál nebo nepřímo prostřednictvím živočišných produktů. Druhy C4 zároveň patří k nejzávažnějším plevelům. V tropech a subtropích často výrazně snižují výnosy, a tím i životní úroveň lidí závislých na zemědělství. Mezi závažné plevele C4 patří např. béry (*Setaria* sp.), rosička (*Diitaria* sp.), troskut prstnatý (*Cynodon dactylon*) a ježatka kuří noha (*Echinochloa crus-galli*) (Kubásek 2012).

Fotosyntéza patří mezi procesy nejcitlivější na teplotní stres. Optimální teplota u rostlin typu C3 pro čistou fotosyntézu se pohybuje v rozmezí 15-25 °C a teplota nad 30 °C je již nevhodná. U rostlin typu C4 se optimální teplota pro fotosyntézu pohybuje v rozmezí 25-40 °C (Procházka 1998). Čistá fotosyntéza (Anet) se zvyšuje se zvyšováním teploty listů a vrcholí při optimální teplotě (Topt) a poté klesá (Bradley et al. 2019).

Rychlost fotosyntézy prudce klesá s nárůstem teploty nad optimální úroveň. Tato snížená rychlost fotosyntézy souvisí s poklesem odběru světla ve fotosystému II (PS II), který je výsledkem cyklického toku elektronů, omezení aktivity Rubisca a nestability tylakoidní membrány (obr. 2) (Muhammad et al. 2018). Při vystavení extrémnímu stresu dochází k inhibici fotosyntézy během několika minut. K inhibici dochází i pokud jsou teploty mírně vyšší, než jsou optimální pro růst (Szymanská et al. 2017).



Obrázek č.2: Teplotní závislosti rychlosti čisté fotosyntézy pro různé rostliny B - vyšší cévnaté rostliny: 1 - arkticko-alpínská rostlina *Oxyriadigyna*; 2 - brambor, velmi podobnou křivku se stejným optimem, ale trochu širší (protíná úroveň 50 % Pmax při 5 °C a při 35 °C) má pšenice; 3 - rýže; 4 - čirok (*Sorghumvulgare*); 5 - pouštní C4 rostlina *Tidestromiaoblongifolia*. Rychlosti fotosyntézy jsou uvedeny v procentech Pmax, sama maxima se s teplotou výrazně mění, přibližně tak, jak ukazuje čárkovaná křivka procházející všemi teplotami. Ta není zcela exponenciální, poněvadž maximální rychlosti u různých rostlin se přizpůsobují podmínkám stanoviště (<https://kebr.prf.jcu.cz/>).

Při zvýšené koncentraci CO₂ v ovzduší dochází ke zvyšování optimální teploty pro fotosyntézu. Vysoká teplota podporuje zvýšení kompenzačního ozáření (příjem a výdej CO₂ listem je v rovnováze), ale při působení vysokého obsahu CO₂ v ovzduší s vysokým ozáření se fotosyntéza často snižuje vlivem karboxilací RUBP. Bylo zjištěno, že reakční centrum PSII je životně důležité místo, kde dochází k poškození několika abiotickými stresy ve fotosyntetických systémech rostlin. Dále bylo zjištěno, že fotosystém II více reaguje na vysokou teplotu nebo vysoké světlo než fotosystém I. Aktivita fotosystému II, relativní obsah vody a obsah chlorofylu se za působení společného napětí světla a teploty snížily (Mohamed et al. 2018).

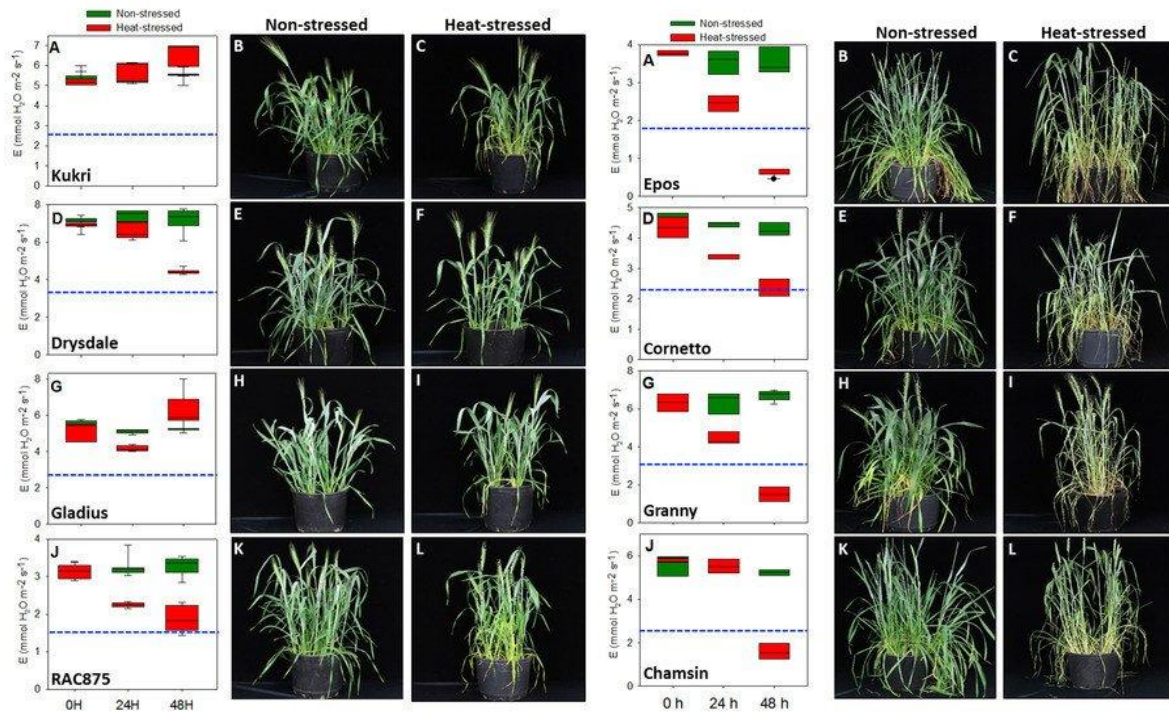
Vysoká teplota má za následek zvýšení tekutosti lipidových membrán buněk, což narušuje schopnost membrány regulovat, to, co je dovoleno procházet dovnitř a ven z buňky a organel. Toto poškození membrány je společné pro membrány lokalizované v chloroplastech, tak i pro mitochondriální membrány. V souvislosti s poškozením membrány v chloroplastu způsobené především peroxidací lipidů (polynenasycených masných kyselin), dochází ke gradientu pH požadovaného pro syntézu ATP. V mitochondriální membráně dochází, taktéž k peroxidaci, která má za následek inhibici aktivity cytochromu c oxidázy. Tato inhibice působí snižování transportu elektronů a syntézy ATP (Branley et al. 2019). Snižování rychlosti elektronů snižují poměr ATP/ADP a stromální redukční stav v chloroplastu, to má za následek snižování aktivity Rubiscoaktivasy (Yamori 2014).

Teplota výrazně ovlivňuje proces dýchání (respirace). Jedná se o děj, který je důležitý i pro klíčení semen. Při dýchání se uvolňuje uložená energie v sacharidech i v ostatních zásobních látkách, postupně se v buňkách spouští systém oxidoredukčních reakcí, při kterých je uvolňována energie z organických látek, důležitá pro syntézu metabolitů a do atmosféry se uvolňuje CO₂. Při teplotách pod 5 °C je aktivační energie pro procesy v dýchání velká a koeficient Q₁₀ je vysoký. Koeficient Q₁₀ určuje změnu rychlosti respirace v závislosti na změně teploty o 10 °C. Při teplotách 25° – 30 °C teplotní koeficient respirace u většiny rostlin klesá na 1,5 a méně. Při vyšších teplotách biochemické procesy bývají tak rychlé, že přísun substrátu a metabolitů neudrží tempo s přeměnou látek a energie. Velmi rychle klesá rychlost dýchání. Při teplotě 50° – 60 °C jsou funkčně důležité membránové struktury a enzymy teplem poškozovány a denaturovány, dýchání ustává (Pavlová 2005).

Transpiraci můžeme označit mechanismus, kterým se rostlina vyhýbá teplu a slouží jako primární mediátor rozptylu energie. Rychlost transpirace je dána deficitem tlaku par mezi vnitřkem listů a okolním vzduchem, jakož i intenzitou dopadajícího záření, s teplotami listů a vzduchu, rychlostí větru a relativní vlhkostí zahrnující hlavní faktory prostředí modulující rychlosti transpirace (rezaei et al. 2015).

Obecně se rychlost transpirace zvyšuje spolu se zvyšováním teplot vrchlíku. V neomezujících podmínkách míra transpirace určuje rychlost extrakce půdní vody a načasování následného vodního stresu. Transpirace rostlin je nejběžnější a nejaktivnější metoda chlazení pletiv plodin. Požadavky na chlazení rostlin stoupají s rostoucí teplotou (rezaei et al. 2015).

Za podmínek, které neomezují vodu, může zvýšená transpirace při vysoké teplotě vést k významnému citelnému přenosu tepla a relativnímu ochlazení listů, což vytváří negativní zpětnou vazbu na zvýšení rychlosti transpirace. Takový fenomén je částečným vysvětlením pozorování, že rychlost transpirace rostlin roste nelineárně, protože stomatální rezistence se snižuje se zvyšující se teplotou (Rezaei et al. 2015).



Obr. 3 vlevo Změna míry transpirace u australských odrůd pšenice při působení vysoké teploty Fyziologické a fenotypové účinky odrůd Epos (A - C), Cornetto (D - F), Granny (G - I) a Chamsin (J - L).

Obr. 3 vpravo Změna míry transpirace u evropských odrůd pšenice při působení vysoké teploty Fyziologické a fenotypové účinky odrůd Kukri (A - C), Drysdale (D - F), Gladius (G - I) a RAC875 (J - L).

Krabicové grafy znázorňují centrální tendenci a disperzi rychlosti transpirace mezi všemi evropskými a australskými kultivary. Zelené pole znázorňují rostliny, které nejsou stresovány a červené pole naopak ukazují stresované rostliny. Modrá přerušovaná čára znázorňuje 50% míru transpirace nestresovaných rostlin (Bergy et al. 2018)

Bergy et al. (2018) porovnávali vliv vysoké teploty evropských a australských kultivarů na transpiraci (obr.3). Rostliny byly pěstovány při teplotě 21/18 °C a 35/25 °C (denní/noční teplota). U australských kultivarů transpirace neklesla pod 50 %, a fenotypově se nezměnily, zatímco u evropských po 24 hod klesla transpirace o 25 % a po 48 hod téměř všechny kultivary cca 75 %. Tyto účinky se projeví i fenotypově, jako je vadnutí a žloutnutí listů. Australské kultivary vykazovaly vyšší toleranci k mírnému tepelnému stresu, což je dáno jejich vzhledem a trvalou vysokou mírou transpirace. Evropské kultivary byly méně tolerantní a vykazovaly výrazné snížení rychlosti transpirace.

Zárodek nové rostliny se ukrývá v semeni, a proto je jeho význam zásadní pro reprodukci rostlin. Pokud při klíčení na semena působí vysoká teplota a jiné stresové faktory, odráží se to významně na produkci a výnosu plodin (Kranner et al. 2010).

Klíčení je po dormanci první fáze životního cyklu rostliny. Aby se nastartovaly metabolické aktivity v semenech musí nastat rehydratace pletiv. Dochází k zbobtnání semene a je nutný dostatek kyslíku. Teplota výrazně ovlivňuje resorpci vody semeny, Pokud se zvýší teplota, tak se zároveň zvýší příjem vody – při zvýšení o 10 °C až 2x (Procházka et al. 1998).

Klíčení může probíhat jen v určitém rozpětí teplot, které se výrazně liší u jednotlivých druhů rostlin. Rozlišujeme tři kardinální teplotní body. Minimum a maximum – to jsou teploty, kdy klíčení ustává, a optimum to je teplota, kdy klíčení probíhá nejrychleji (Jablonský 2005). Pro většinu semen se teplotní optimum pohybuje v rozmezí 15–30 °C. U pšenice obecné (*Triticum aestivum* L.) je optimální teplota pro klíčení 25 °C, u ječmene (*Hordeum vulgare* L.) optimální teplota je jen 20 °C a u kukuřice (*Zea mays* L.) je naopak vyšší a to 35 °C (Houba & Hosnedl 2002).

Současné modely reakcí rostlin na oteplování klimatu předpovídají, že při každém zvyšování průměrné místní teploty o 1 °C během vegetačního období poklesnou průměrné výnosy hlavních plodin jako je kukuřice, rýže a pšenice až na 17 % z důvodu sterility indukované teplem. Nepříznivý vliv vysoké teploty na výnosy plodin vyplývá z poranění během reprodukčního vývoje, které přispívají k indexu sklizně a reakce se mění na délce a závažnosti tepleného stresu, vlivem stresu dochází k snižování zahájených kvetoucích větví (Sage et al. 2015).

Ve vyvíjejících se květech jsou samčí a samičí pohlavní orgány citlivé na teploty přes 30 °C. Bylo zjištěno, že zvýšená citlivost prašníků je pozorována, když vzájemné křížení s použitím pylu z rostlin ošetřovaných vysokou teplotou snižuje výnosy významně více než když samičí rostliny byly ošetřené stejnou teplotou. I když jsou prašníky považovány za citlivější na vysokou teplotu než samičí, údaje naznačují, že samičí pletiva (pestík) i procesy, důležité pro vývoj pylové láčky pro opylování, jsou rovněž citlivé na vysokou teplotu.

Teploty přes 30 °C snižují stigmatickou vnímavost, stigmatické klíčení pylu, následný růst stigmatu a penetraci vajíček. Neklíčení pylu na stigmatu lze také připisat modifikacím pylové stěny vyvolanou vysokou teplotou. U široku expozice vysokých denních a nočních teplot (přes 38/28 °C) po dobu 7 až 10 dnů zvyšuje ROS v pylu, mění fosfolipidy a snižuje integritu pylové membrány. Ztráta životaschopnosti pylu a integrity membrány po chronické expozici vysoké teploty u této plodiny je údajně způsobeno akumulací ROS (Sage et al. 2015).

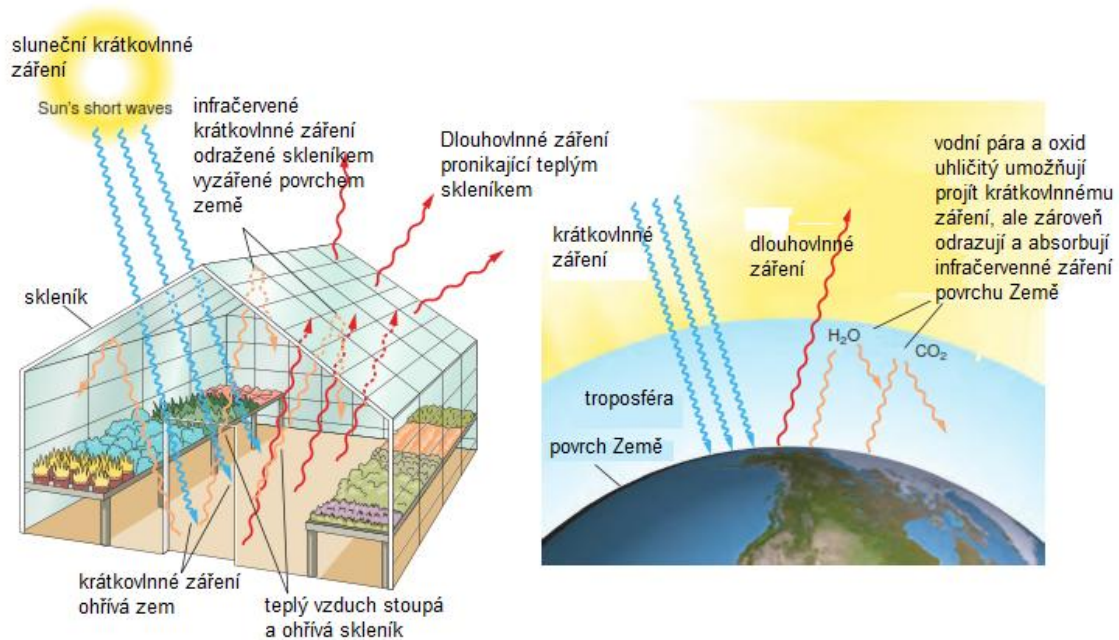
Fáze plnění zrna je velmi citlivá na vysokou teplotu. Tepelné napětí obecně zrychluje rychlost plnění zrna a zkracuje jeho dobu. U pšenice může být doba plnění zrna snížena o 12 dní se zvýšením teploty o 5 °C nad 20 °C (Akter & Islám 2017).

7. Globální klimatické změny

Jedno z klíčových témat, kterému je v dnešní době věnována pozornost, nejen v enviromentální politice, je změna klimatu, její dopady a nutnost reakce. Stále větší vliv antropogenní činnosti vůči klimatu, především co se týká fosilních paliv (zejména ropy, uhlí či zemního plynu) a jejich spalování, a dále rozsáhlé odlesňování má za následek vznik tzv. skleníkových plynů a s ním spojený tzv. skleníkový efekt (Houghton 2005).

Pojem skleníkové plyny, z nichž nejdůležitější je oxid uhličitý, je označení pro velké množství emisí, které se dostává kvůli těmto činnostem do ovzduší. Tato problematika je celkově označována frází „globální oteplování“ (Houghton 2005).

To, jakou má teplotu naše planeta určuje rovnováha mezi energií, kterou vyzařuje naše planeta do vesmíru a energií, která přichází ve formě krátkovlnného záření od Slunce. Pojmenování celého procesu „skleníkového efektu“ je z důvodu přirovnání k funkci skleníku a jde o proces, při kterém je propuštěno do atmosféry krátkovlnné sluneční záření a toto sluneční záření ohřívá zemský povrch. Dlouhovlnné záření zemského povrchu je z části atmosférou pohlcováno a opětovně vyzařováno. Část energie se zpět vrací k zemskému povrchu a dochází k tomu, že se společně s nejspodnějšími částmi atmosféry ohřívá (obr. 4). Nicméně skleníkový efekt je pro zemský povrch důležitý, neboť kdyby neexistoval, teplota zemského povrchu by byla přibližně o 33 °C nižší, avšak současným problémem je, že koncentrace skleníkových plynů neustále narůstají a naše planeta se otepluje (MŽP 2017). Od roku 1750 se koncentrace oxidu uhličitého zvýšila o 34 %, do roku 1900 se koncentrace oxidu uhličitého zvýšila o 15 ppm, v roce 1958 činila hodnota této koncentrace 315 ppm a v roce 1988 dosáhla hodnoty 350 ppm. V současné době se s každoročním přírůstkem počítá na 1,8 ppm. Na tomto neustálém rychlém tempu růstu koncentrace CO₂ má hlavní podíl člověk, v důsledku již zmiňovaného využívání fosilních paliv, výroby cementu a využívání půdy, zejména pak v důsledku kácení lesů a vypalování savan (Kalvová 1993).



Obrázek č. 4: Skleníkový efekt. Převzato (<https://www.pocasicz.cz/aktuality-o-pocasi/aktuality-471/sklenikovy-efekt-1902>)

Mezi nejdůležitější radiačně aktivní plyny (mimo jiné jejichž počet dnes převyšuje čtyřicet), které mají potenciální vliv na změnu klimatu řadíme vedle oxidu uhličitého metan (CH_4), oxid dusný (N_2O), ozón a halogenové uhlovodíky (CFC a HCFC).

Zásadním antropogenním zdrojem metanu představuje pěstování rýže, chov dobytka, spalování biomasy či těžba a přeprava uhlí a zemního plynu. Roční přírůstek metanu se odhaduje na 0,015 ppm, což je 0,9 % (MŽP 2017).

Podle vědeckých poznatků za poslední období je dokázáno, že lidská činnost vyvolává nárůst koncentrace skleníkových plynů, která dále ovlivňuje klimatický systém Země. Nicméně jak vysokou měrou se člověk na těchto změnách podílí je velice těžké stanovit, jelikož se klimatický systém skládá z atmosféry, litosféry, pedosféry, hydrosféry a biosféry a mezi těmito sférami probíhá nesčetně dalších vazeb. Z tohoto důvodu se proto do dnešní doby nepodařilo vědcům odlišit do jaké míry má na klimatických změnách podíl lidská činnost a do jaké míry jsou tyto změny přirozené (MŽP 2017).

Klimatický systém se adaptuje na zvyšující se koncentraci skleníkových plynů, celá planeta se otepluje a dále se mění i celý systém. V současnosti je odhadováno, podle dostupných znalostí o veškerých vazbách, že teplota se do konce 21. století zvýší v rozpětí od 1,1 do 6,4 °C (MŽP 2017).

Globální oteplování má řadu negativních dopadů, zejména v životním prostředí, dopady na zvyšování hladin moří a oceánů, zásobování potravinami (zemědělství), lesní hospodářství, fungování ekosystému apod. Vliv globálního oteplování postihne i ekosystémové služby, na kterých je závislé zemědělství (IPCC 2014).

Jedná se zejména o opylování, cyklus živin a biologickou kontrolu. Objevuje se hypotéza, že velkým problémem bude opylování, a to z toho důvodu, jelikož hmyz je na změny klimatických podmínek vysoce citlivý. Je riziko, že změna klimatického systému může narušit také synchronizaci kvetení zemědělských plodin a období aktivity opylovačů (IPCC 2014). V důsledku teplotních změn bude také docházet v Evropě k šíření toxikogenních vláknitých mikroskopických hub (např. *Aspergillus flavus* a *A. carbonarius*) do mírného podnebného pásu (Medina et al. 2015).

Klimatická schémata počítají s tím, že oblasti, kterým se již dnes nedostává dostatku srážek a jsou suché (zejména Severní Afrika, Sahara, Středomoří a některé oblasti Asie) budou ještě více postiženy. V těchto oblastech může dojít k dalšímu poklesu srážek, což ještě více postihne zemědělskou produkci, která již dnes je velice na těchto územích omezená. Celá tato problematika pak zasáhne i obyvatelstvo těchto oblastí, jelikož jsou mnohokrát existenčně závislí na pastevectví, kdy často nemají na to, aby zajistili náhradní krmení pro jejich hospodářská zvířata. Reálně toto povede k ohrožení životů obyvatelstva (Matelka & Tolasz 2009).

Uvedení autoři dále konstatují, že postiženy však nebudou jen suché oblasti Afriky nýbrž i ta území, která se věnují především pěstování rýže. Výnosy pěstování rýže poklesnou až o 30 %. Tento problém se týká především Číny, Indie, Indonésie a Bangladéše. Klesnou i výnosy jiných zemědělských plodin, a to až o 40 %, zejména pěstování kukuřice a obilí v nižších polohách. Celkově tak vlivem klimatických změn bude docházet na území Evropy k ovlivnění bezpečnosti potravin živočišného ale i rostlinného původu.

Al Gore (2007) uvádí, že „klimatické změny v nedaleké budoucnosti pravděpodobně přinutí miliony lidí k přesunům ze severu a jihu kontinentu do vnitrozemí. Středoevropským státům tak bude hrozit přelidnění.“ Migrační vlny z důvodu zhoršujících se podmínek, mohou být závažným problémem, nemůžeme zde totiž vyloučit válečné konflikty například o vodu či potraviny. Zhoršující se teplotní podmínky mohou mít také za následek rozšiřování subtropických a tropických chorob do oblastí, ve kterých se nevyskytovaly. Celá změna klimatu tak může mít mnoho závažných problémů s dopadem jak na člověka, tak i na zvířata (Matelka & Tolasz 2009).

Z důvodu zrychlování změn klimatu a následně negativních dopadů těchto změn je nadmíru důležitá včasná celosvětová reakce, tedy aby státy přijaly určitá opatření, která by tyto negativní dopady do jisté míry omezila. Řada států, včetně České republiky se proto uchyluje k politice ochrany klimatu (MŽP 2017).

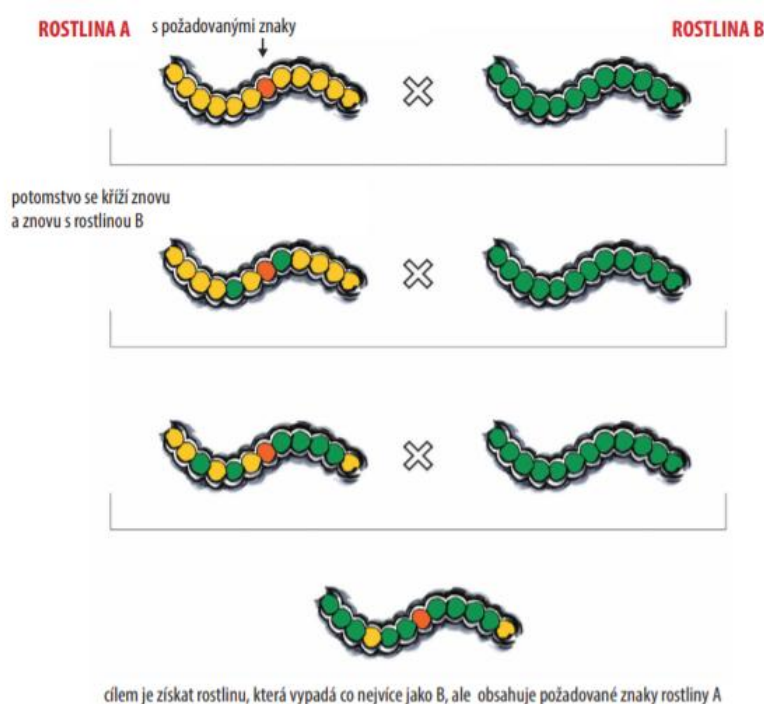
V roce 2004 byl vytvořen Ministerstvem životního prostředí České republiky Národní program na zmírnění dopadů změny klimatu v ČR. Tento národní program později nahradila „Politika ochrany klimatu v České republice“, která byla vládou schválena 22. března 2017. Politika ochrany klimatu si klade za cíl prostřednictvím opatření snížit emise skleníkových plynů a její strategie je zaměřována na období 2017 až 2030, výhledově až do roku 2050 (MŽP 2017).

Významnými prostředky, pomocí kterých se Česká republika snaží snížit emise skleníkových plynů je například výstavba bioplynových stanic, které zpracovávají zbytky

zemědělské produkce. Dále mezi tyto opatření je zařazena podpora ekologického zemědělství a podpora zalesňování, ochrana půdy proti erozi a nadměrnému vysychání, dodržování povinných požadavků na hospodaření či optimalizace hospodaření s hnojivy (MŽP 2017).

8. Pěstování a šlechtění na odolnost vůči stresorům

Základem a hlavním cílem šlechtění rostlin je zlepšit jejich vlastnosti, které mají vliv na kvalitu a zvyšování produkce na zemědělské půdě v dané oblasti. Mezi další šlechtitelské cíle patří i odolnost vůči abiotickým nebo biotickým stresům jako např. vysokým teplotám, suchu, mrazům apod. nebo rezistence vůči škůdcům či chorobám. V neposlední řadě je to zaměření i na vysoký výnos semen. Výsledkem šlechtění je vytváření nových odrůd, které mají nové žádoucí znaky (obr. 5). V dnešní době existují různě způsoby šlechtění rostlin, aby byly odolné vůči stresům. Jsou to techniky klasické, které se používají již dlouho a šlechtitelské techniky nové, které se postupně vyvíjí s vyvíjející se vědou (Gilliham et al 2017).



Obrázek č. 5 Šlechtění křížením rostlin (www.bezpecnostpotravin.cz)

Nové metody mohou napomoci ke zvyšování odolnosti rostlin vůči stresům. Dnešní kvalitní proteomika pomáhá identifikovat proteiny, které mohou přispívat k toleranci rostlin, a to porovnáním četnosti proteinů ve stresových podmínkách mezi genotypy, které se liší stresovými odpověďmi. K získání těchto výsledků je třeba rostliny vystavit stresům (Miladinovic et al. 2015).

Prvním krokem šlechtění je výběr rodičovských komponentů s vhodnými vlastnostmi, které chceme vzájemně kombinovat při křížení. Jde o způsob, který vede ke vznikům nových

kultivarů. Při křížení nastává spojení vlastností a znaků dvou geneticky různých jedinců (Hrouda & Hradská 2015).

Šlechtění se řídí genetickými mechanismy, které podmiňují dědičnost. Základem se staly Mendelovy zákony dědičnosti. Dalšími metodami, které se využívají při šlechtění je indukovaná metageneze a genetické modifikace (Lusser et al. 2011).

V druhé polovině 20. století se zvyšováním populace se začala používat metoda indukované mutageneze. Mutace jsou změny v genetickém materiálu jedince, které jsou přenášeny na další generace. Při indukované mutaci se vyvolávají změny v DNA prostřednictvím chemických látek nebo ozařováním. Touto metodou bylo vyšlechtěno více než 3000 odrůd a přes 200 druhů rostlin (Akademie věd ČR 2019).

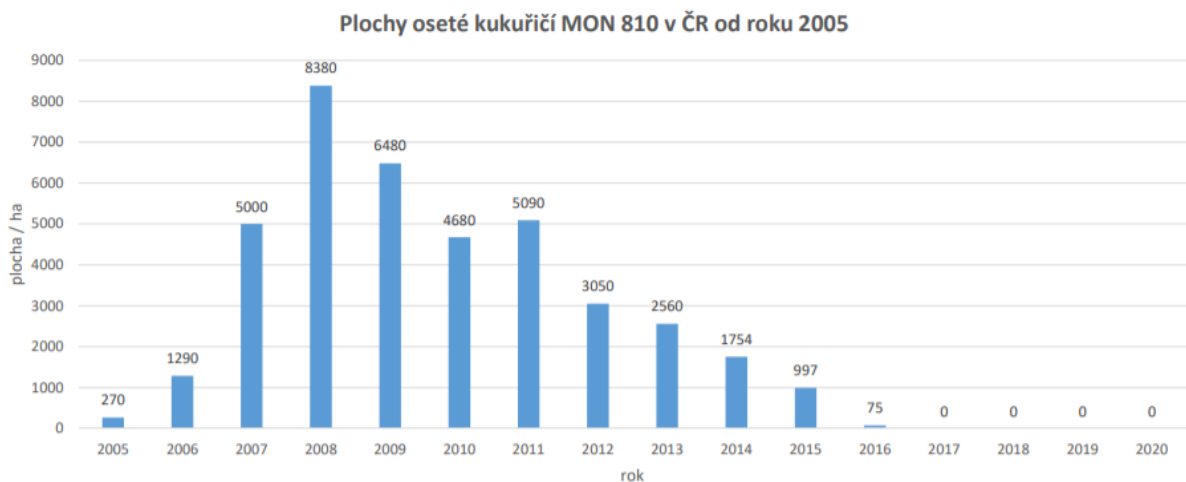
Podle Akademie věd ČR (2019) je tato technika závislá na náhodě a nelze ji nijak řídit. Dále uvedený autor uvádí, že extenzivní získávání požadovaných mutací je doprovázeno neznámým množstvím neznámých modifikací genomu. Mutageneze funguje, ale má spoustu nevýhod. Je třeba získat nové odrůdy a poukazuje, že růst výnosu nových odrůd nepostačí tempu růstu populace.

Dle Bláhy (2011) je nutné zvyšovat adaptabilitu rostlin z důvodu zvyšování variability počasí. Adaptabilitu je možné dosáhnout různými cestami např:

- 1) přizpůsobivost metabolismu ke střídavému obsahu vody v prostředí – genotyp, který je odolný velkému množství vody a za krátký čas naopak odolný vůči suchu, má různé metabolismy,
- 2) schopnost růst v různém prostředí – rostlina se vyrovnává s odlišnými klimatickými podmínkami,
- 3) ranost– rostlina urychlí růstovou a vývojovou fázi, dozrávání semen, zvýší se odolnost vůči suchu,
- 4) habitus rostlin – průduchy, listová plocha, transportní dráhy, úhel listu,
- 5) znaky u nadzemních částí rostlin,
- 6) rychlý nárůst biomasy – snížení výparů půdy,
- 7) odolnost vůči suchu – odolnost vůči vysoké teplotě. Odolnost vůči kombinaci vysoké teploty a sucha,
- 8) zvýšená efektivnost využití vody – důležité hospodaření rostliny s vodou začíná již u klíčení ovlivňuje vzházení i růst,
- 9) využití genových zdrojů odolnosti vůči abiotickým stresorům – dále pak využití u fyziologických funkcí, rychlejší asimilace po kvetení a zrychlení transportu a demobilizace látek po kvetení,
- 10) zvýšená reflektance listů – propustí jen fotosynteticky účinné záření,
- 11) zlepšování intenzity fotosyntézy – zvýšení využití dopadajícího záření v průběhu fotosyntézy,
- 12) testování novošlechtění, nových odrůd v extrémních podmínkách – testování genotypů v různých lokalitách a různých podmínkách a prostředí,

- 13) široká adaptabilita – schopnost rostliny tolerovat výkyvy počasí, nejčastěji průběhu teplot a střídavé dostupnosti vody, důležitá je maximalizace rostlinné produkce a minimalizace vstupů
- 14) složení xylémové šťávy,
Jedná se již o starší problém. Xylémové pH ovlivňuje apoplastické pH, kdy vyšší apoplastické pH umožní ovlivnit tvorbu a aktivitu ABA příslušné buňky. Též informace o napadení rostliny patogenem či pod vlivem stresoru může být velmi rychle přenášena do ostatních částí rostliny za účelem zahájení co nejrychlejší obrany organismu.
- 15) možnosti využití inokulace bakteriemi – zlepšení poměru mezi kořeny a nadzemní částí,
- 16) rostliny se sníženým obsahem etylénu – rostliny méně citlivě reagují na množství půdní vody, nižší hladina etylénu vede ke zlepšení růstu kořenů, snižuje růst listů, zároveň se zmenšuje plocha pro výpar vody, ovlivňuje také metabolické funkce,
- 17) svazky cévní – při mírném stresu se mohou zvětšit průměry xylému v místech, kde se syntetizují rostlinné hormony,

Novou technologií ve šlechtění se stal genový přenos, který ve druhé polovině 20. století vedl ke vzniku geneticky modifikovaných (GM) plodin. V některých částech světa považují tuto techniku za normální šlechtitelský postup a již mnoho let tyto vyšlechtěné plodiny pěstují a konzumují, ale naopak část zemí včetně EU, zůstává zdrženlivá, a proto jsou geneticky modifikované organismy (GMO) ošetřeny v legislativě EU. K pěstování těchto odrůd a jejich kříženců je nutné povolení Evropské komise a vývoz nebo dovoz je regulován státem (Drobník 2008). Dle MŽP (2020) v ČR se aktuálně nepěstuje žádné GM rostliny (obr. 6).



Obrázek č.6 Vývoj pěstování GMO - kukuřice v České republice to Ministerstvo (životního prostředí, odbor environmentálních rizik a ekologických škod)

Podle Cartagenského protokolu z roku 2000 je geneticky modifikovaný organismus každý živý organismus, který vlastní kombinaci genetického materiálu získaného pomocí moderní biotechnologie.

Ke vzniku GM plodin vede transgenóza. Přesně identifikovaný gen nebo skupina genů libovolného původu jsou vnášeny do rostlinné buňky v níž mohou být poté integrovány a jejich následná exprese je zajištěna cestou DNA/RNA/protein (Grunewald & Bury 2016). Technologie GM vedly ke vzniku nejrůznějších odrůd GM plodin využívaných pro zemědělskou praxi. Do roku 2018 bylo přibližně 10% zemědělské plochy obsazeno GM plodinami. Po roce 2018 se celosvětová oblast pěstovaných GM plodin zvýšila na 191,7 milionů hektarů. Biotechnologicky upravené plodiny pro výsadbu již schválilo 26 zemí a 44 zemí povolilo dovoz těchto plodin pro možné další zpracování jako potraviny nebo krmivo. Více než 20 let jsou používána v 90 % semena, která jsou geneticky modifikovaná vůči odolnosti proti hmyzu a herbicidům. To poukazuje na skutečnost, že GM mají vliv na produktivitu v zemědělství (Cho et al 2020).

Jejich rozdělení do skupin podle využití uvádí Bargi et al. (2018):

- I. Generace plodin: pěstované rostliny mají hlavně přínos pro pěstitelce, protože tyto transgenické odrůdy ulehčují obranu proti škůdcům, chorobám a plevelům. Nezanedbatelným přínosem je i šetrnost k životnímu prostředí.
- II. Generace plodin: transgenické rostliny, které jsou odolné vůči abiotickým stresům (tolerance sucha, chladu, zasolení)
- III. Generace plodin: rostliny s vyšší nutriční hodnotou (zastoupené aminokyseliny, lepší složení mastných kyselin, obsah vitamínů) nebo s léčivými účinky. Tyto plodiny by znamenaly přínos zejména v rozvojových zemích, kde by byly využity v boji proti nemocem a podvýživou. Uplatnění mají i jako krmivo s vyšší nutriční hodnotou.
- IV. Generace plodin: ekologicky výhodné pro některá průmyslová odvětví. Generace plodin: rostliny se používají jakožto náhrada fosilních paliv (bionafta, etanol)

Genetická modifikace plodin prošla velkou kritikou široké veřejnosti a na základě toho, a hlavně větších znalostí o rostlinách vznikl soubor metod, který můžeme nazvat jako Nové šlechtitelské techniky (New breedings techniques). Takto vzniklé produkty nejsou považovány za geneticky modifikované, protože se do genomu nekládá cizorodá či rekombinantní DNA. Mezi tyto nové techniky se řadí množství různých metod, které jsou velice heterogenní (Seyran & Craig 2018).

Transgenické přístupy a genetické inženýrství mohou snížit nepříznivé účinky vysokých teplot na obiloviny (Chapman et al 2012). Inkorporací požadovaných genů do rostlin má za následek zvýšení tolerance k tepelnému stresu. Výzkum genových modifikací pšenice, ztěžuje komplexnost jejího genomu. Při dlouhodobém působení vysokých teplot se zvyšuje množství

elongačního faktoru syntézy proteinů v chloroplastech. Tento faktor EF-Tu (elongation factor ther mounstable) je spojen se zvýšením tepelné tolerance v pšenici, tam snižuje narušení tylakoidních membrán, zvyšuje odolnost proti patogenům a zvyšuje schopnost fotosyntézy (Fu et al 2012).

9. Závěr

Práce se zabývá ve formě literárního přehledu problematikou vlivu teplotního stresu na klíčení, růst a vývoj rostlin. Uvedenou práci lze shrnout do následujících závěrů:

- a) Působení teploty ovlivňuje růst, vývoj, a metabolismus dané rostliny a to i na buněčné úrovni.
- b) Nízké teploty mají za následek předčasné kvetení rostliny, sterilitu klásků, může také docházet ke chloróze či nekróze listů.
- c) Při poškození rostliny mrazem se mění chemické vlastnosti buněčných membrán, narušují se metabolické procesy a vznikají toxiny. Tvoří se extracelulární a intracelulární led.
- d) Pokud rostlina vystavena působení vysoké teploty, ovlivňuje to především její růst. Teplotní stres má za následek snížení výšky rostliny.
- e) Vysoká teplota může být příčinou změny membránových funkcí, zejména z důvodu modifikace tekutostí membrán. Obzvláště nepostradatelnými membránovými procesy u rostlin představuje fotosyntéza a dýchání.
- f) Změna klimatu je hlavní hrozbou pro celosvětovou produkci plodin. Zvýšení průměrných teplot, kromě častějších extrémních klimatických jevů nebo ztráty dostupné půdy pro zemědělství, pravděpodobně v brzké budoucnosti ohrozí rostlinnou výrobu.
- g) Budoucí výzkum by se měl zaměřit na transgenní plodiny, které budou schopny odolávat abiotickým a biotickým stresům.

10. Použitá literatura

- Banásová V. 1996. Rostliny na substrátech s vysokým obsahem těžkých kovů. <https://doi.org/10.1038/npg.els.0001297>
- Barnabás B, Jäger K, Fehér A. 2007. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant Cell & Environment* **31(1)**:11-38.
- Bitá EC, Gerats T. 2013. Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. *Frontiers in Plant Science* <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00273>.
- Bláha L. 2011. Znaky adaptability k podmínkám stresu u zemědělských rostlin. Pages 726-735 in Badalíková B, Bártlová B, editors. Aktuální poznatky vpěstování, šlechtění, ochraně rostlin a zpracování produktů. Výzkumný ústav pícninářský, Zemědělský výzkum, Úroda, forma CD.
- Brandley BC, Kariyawasam BC, Bramley H, Coast O, Richards RA, Reynolds MP, Trethowan R, Atkin OK. 2019. Exploring high temperature responses of photosynthesis and respiration to improve heat tolerance in wheat. *Journal of Experimental Botany* **70(19)**:5051-5069.
- Bretagnolle F, Thompson JD, Lumaret R. 1995. The influence of seed size variation on seed-germination and seedling vigor in diploid and tetraploid *Dactylis glomerata* L. *Annals of Botany* **76(6)**:607-615.
- Essemine J, Ammar S, Bouzid S. 2010. Impact of Heat Stress on Germination and Growth in Higher Plants: Physiological, Biochemical and Molecular Repercussions and Mechanisms of Defence. *Journal of Biological Sciences* **10(6)**:565-572.
- Fowler S, Thomashow MF. 2002. Arabidopsis Transcriptome Profiling Indicates That Multiple Regulatory Pathways Are Activated during Cold Acclimation in Addition to the CBF Cold Response Pathway. *The plant cell* **14(8)**:1675-1690.
- Freeman BC, Beattie GA. 2008. An Overview of Plant Defenses against Pathogens and Herbivores. *The Plant Health Instructor*. DOI: 10.1094 / PHI-I-2008-0226-01
- Gerday C, Glandsdorff N. 2007. Physiology and biochemistry of extremophiles, Asm Gore A. *Nepříjemná pravda*. Argo, Praha.
- Grau J, Steinbach G, Váňa J. 1998. Trávy: lipnicovité, šachorovité, sítinovité a rostliny podobné travám Evropy. Ikar, Praha.
- Hinojosa L, González A, Barrios-Masias FH, Fuentes F, Murphy KM. 2018. Quinoa Abiotic Stress Responses. *Plants* **7(4)**:106.
- Hobza R, Čegan R, Vyskot B, Nevrtalová E. 2010. Molekulární mechanismy rezistence k těžkým kovům a jejich akumulace v rostlinách. Pages 121-138 in Bláha L, Hnilička F,

- Martinková J, editors. Současné možnosti fyziologie a zemědělského výzkumu příspěvek k produkci rostlin. VÚRV, Praha.
- Holubec V, Štolcová J. 2002. Stres a adaptace rostlin v přírodních ekosystémech. Pages 13-22 in Hnilička F, editor. Vliv abiotických a biotických stresů na vlastnosti rostlin 2002. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Hosnedl V, Honsova H. 2002. Barleyseed sensitivity to water stress at germination stage. Rostlinná výroba **48(7)**: 293-297.
- Houba M, Hosnedl V. 2002. Osivo a sadba. Proffipress, Praha.
- Houghton J. 2005. Globalwarming. Reports on Progress in Physics **68(6)**:1343.
- Hrouda L. 2010. Trávy a jejich příbuzní napříč biotopy I. Systematika, fylogeneze, morfologie. Živa, **58(1)**:12-18
- Hrudová E. 2011. poškození rostlin související s půdními podmínkami. Available https://web2.mendelu.cz/af_291_sklad/frvs/hrudova/index_soubory/Page3307.htm (accessed March 2021).
- Chloupek O. 2008. Genetická diverzita, šlechtění a semenářství. Academia, Praha.
- Choudhury FK, Rivero RM, Blumwald E, Mittler R. 2017. Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination. the plant journal **90(5)**:856–867.
- IOG. 2013. Morfologie a životní cyklus trav. Available from <https://www.kshp.cz/download/travy.pdf> (accessed March 2021)
- IPCC. 2014. AR5 Climate change 2014. available from <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/> (accessed March 2021)
- Jablonský I. 2005. Pěstujeme klíčící osivo a výhonky. Grada. Praha.
- Kalvová J. 1993. Skleníkový efekt a změny klimatu. Pokroky matematiky, fyziky a astronomie **38(3)**:147-166.
- Kubásek J. 2012. Rostliny C4. Vesmír 95 **35**:146-149.
- Levitt J. 1980. Responses of Plant to Environment Stress: Water, Radiation, Salt and Other stresses. Academic Press, New York.
- Matušínský P. 2017. Obrana rostlin proti houbovým patogenům. Vesmír **96(10)** 570-571.
- Medina Á, Rodríguez A, Sultan Y, Magan N. 2015. Climate change factors and *Aspergillus flavus*: effects on gene expression, growth and aflatoxin production. World Mycotoxin Journal **8(2)**:171-179.
- Matelka L, Tolasz R. 2009. Klimatické změny: fakta bez mýtů. Heinrich-Boll-Stiftung, Praha.
- Mittler R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in plant Science **7(9)**:405–410.

- MŽP. 2017. Změna klimatu. Available from https://www.mzp.cz/cz/zmena_klimatu (accessed March 2021)
- Pavlová L. 2005. Rostlina a vnější fyzikální, chemické a biotické faktory. Available from http://kfrserver.natur.cuni.cz/studium/prednasky/pavlova/fyzrost/7_Vnejsi_faktory.pdf (accessed March 2021).
- Penfield S. 2008. Temperature perception and signal transduction in plants. *New Phytologist* **179**(3):615–628.
- Piterková J. 2010. Studium reaktivních forem dusíku a kyslíku u rostlin vystavených působení stresových faktorů. Disertační práce. Univerzita Palackého v Olomouci.
- Procházka S. 1998. Fyziologie stresu. In: Fyziologie rostlin, Academia Praha.
- Rhodes D, Nadolska-Orczyk A. 2001. Plant Stress Physiology. Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/npg.els.0001297>
- Řepková J. 2013. Odolnost rostlin k abiotickým stresovým faktorům. Available from <https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/js13/genetika/web/pages/08-rezistence-k-abiotickym-faktorum.html> (accessed March 2021)
- Sanghera GS, Wani SH, Hussain W, Singh NB. 2011. Engineering Cold Stress Tolerance in Crop Plants. *Current Genomics* **12**(1):30–43.
- Selye H. 1973. The Evolution of the Stress Concept. *American Scientist* **61**(6):692-699.
- Seregin IV, Ivanov VB. 1997. Is the endodermal barrier the only factor preventing the inhibition of root branching by heavy metal salts?. *Russian Journal of Plant Physiology* **44**(6):797-800.
- Serrano M, Coluccia F, Torres M, L'Haridon F, Métraux J-P. 2014. The cuticle and plant defense to pathogens. *Frontiers in Plant Science* **13**(5):274.
- Schöffl F, Prändl R, Reindl A. 1999. Molecular responses to heat stress. Pages 81-98 in Kazuo S, Kazuo Y-S, editors. *Molecular Responses to Cold, Drought, Heat and Salt Stress in Higher Plants*. R.G. LANDES COMPANY, Austin, Texas, U.S.A.
- Slavíková Z. 1990. Morfologie rostlin. Karolinum, Praha.
- Žrobek-Sokolník A. 2012. Temperature Stress and Responses of Plants. Pages 113-134 in Ahmad P, Prasad MNV, editors. *Environmental adaptations and stress tolerance of plants in the era of climate change*. Springer, New York, U.S.A.
- Szymańska R, Ślęzak I, Orzechowska A, Kruk J. 2017. Physiological and biochemical responses to high light and temperature stress in plants. *Environmental and Experimental Botany* **139**:165-177.

- Šašková D, Šolfa V. 1993. Trávy a obilí. Artia:Granit, Praha.
- Thomashow M. 1998. Role of cold-responsive genes in plant freezing tolerance. *Plant Physiology* **118**(1):1–7.
- Uemura M, Tominaga Y, Nakagawara C, Shigematsu S, Minami A, Kawamura Y. 2006. Responses of the plasma membrane to low temperatures. *Physiologia Plantarum* **126**(1):81–89.
- Unar J, Unarová J. 1998. Naše nejhojnější trávy – Nenápadné, ale významné. Rezerkvítek, Brno.
- Wahid A, Close TJ. 2007. Expression of dehydrins under heat stress and their relationship with water relations of sugarcane leaves. *Biologia Plantarum* **51**:104–109.
- Yadav SK. 2010. Cold stress tolerance mechanisms in plants. *Agronomy for Sustainable Development* **30**:515–527.
- Yamori W, Hisosaka K, Way DA. 2014. Temperature response of photosynthesis in C3, C4, and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation. *Photosynthesis Research* **119**:101–117.
- Yang KA, Lim CJ, Hong JK, Park CY, Cheong YH, Chung WS, Lee KO, Lee SY, Cho MJ, Lim CO. 2006. Identification of cell wall genes modified by a permissive high temperature in Chinese cabbage. *Plant Science* **171**:175–182.
- Yano R, Nakamura M, Yoneyama T, Nishida I. 2005. Starch-Related α Glucan/Water Dikinase Is Involved in the Cold-Induced Development of Freezing Tolerance in Arabidopsis. *Plant Physiology* **138**(2):837–846.
- Gilliam M, Able JA, Roy SJ. 2017. Translating knowledge about abiotic stress tolerance to breeding programmes. *The Plant Journal* **90**(5):898–917.
- Miladinovic J, Vidic M, Djordjevic V, Balesevic-Tubic S. 2015. New trends in plant breeding - example of soybean. *Genetika* **47**(1):131–142.
- Kočárek E. 2008. Genetika: Obecná genetika a cytogenetika, molekulární biologie, biotechnologie, genomika. Scientia, Praha.
- Lusser M, Parisi C, Rodriguez Cerezo E, Plan D. 2011. New plant breeding techniques. State-of-the-art and prospects for commercial development. European Union.
- Akademie věd ČR. 2019. Odborníci hovořili o potenciálu a rizicích genetických modifikací. Available from <https://vedavyzkum.cz/blogy-a-komentare/akademie-ved%20cr/odbornici-hovorili-o-potenciale-a-rizicich-geneticky-modifikaci> (accessed April 2021)
- Drobník J. 2016. Šlechtění a problematika geneticky modifikovaných organismů. Available from <https://www.cdk.cz/slechteni-problematika-geneticky-modifikovanych-organismu> (accessed April 2021)

GRUNEWALD W, BURY JO. 2016. The GMO revolution. LannooCampusPublLeuven, Belgium. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02232.x>

Cho JI, Park SH, Lee GS, Kim SM, Lim SM, Kim YS, Park SC. 2020. Current Status of GM Crop Development and Commercialization. *Korean Journal Breeding Science* **52**:40–48.

Seyran E, Craig W. 2018. New Breeding Techniques and Their Possible Regulation. *AgBioForum* **21**(1):1-12.

Fu J, Momčilović I, Prasad, PVV. 2012. Roles of Protein Synthesis Elongation Factor EF-Tu in Heat Tolerance in Plants. *Journal of Botany*. doi:10.1155/2012/835836.

Křištin J. 1983. Rostlinná výroba, Státní zemědělské nakladatelství, Praha

Šindelářová R. 1970. Atlas nejdůležitějších trav, Státní zemědělské nakladatelství, Praha

Vítámvás P, Prášil IT. 2018. odolnost rostlin vůči stresu. Available from https://www.novabotanika.eu/Rostliny_a_stres.html (accessed April 2021)

Bergy K, Weigert A, Egesa AO, Dresselhau T. 2018. Compared to Australian Cultivars, European Summer Wheat (*triticumaestivum*) Overreacts When Moderate Heat Stress Is Applied at the Pollen Development Stage. *Agronomy* **8**(7):99.

Rezaei EE, Webber H, Gaiser T, Naab J, Ewert F. 2015 Heat stress in cereals: Mechanism and modelling. *European Journal of Agronomy* **64**:98-113.

Kosová K, Vítámvás P, Prášil IT, Renaut J. 2011. Plant proteome changes under abiotic stress – Contribution of proteomics studies to understanding plant stress response. *Journal of proteomics* **74**:1301-1322.

Rorat T. 2006. Plant dehydrins – tissue location, structure and function. *Cellular & Molecular Biology Letters* **11**:536-556.

Kosová K, Prášil IT, Vítámvás P. 2008. The relationship between vernalization- and photoperiodically-regulated genes and the development of frost tolerance in wheat and barley. *Biologia Plantarum* **52**(4):601–615.

Zámečník J, Faltus M, Bilavčík A. 2013. Deset let provozu kryobanky vegetativně množených rostlin – zkušenosti a perspektivy. Pages 75-87 in Papoušková L, editor. *Genetické zdroje rostlin v ČR po 20 letech existence národního programu. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.*

Akter N, Islám MR. 2017. Heat stress effects and management in wheat. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **37**:37.

Bajerová E, Gabrovská D, Havelková V, Hrušková M, Jurkaninová L, Polišenská I, Sluková M, Vaculová K, Faměra O, Jirčík L, Příhoda J, Skřivan P, Švec I, Tláškal P. 2016. Obiloviny v lidské výživě. *Potravinářská komora ČR, Praha.*

- Rezl P. 2006. Bambusy a jejich pěstování u nás. Grada publishing, Praha.
- INGRAM C. 2006. Všechno o jídle: světová encyklopedie. Fortuna Print, Praha.
- Bláha L, Hnilička F. 2006. Význam vlastností kořenů a semen pro odolnost rostlin vůči abiotickým stresorům. Pages 1-9 in Hnilička F, editor. Vliv abiotických a biotických na vlastnosti rostlin. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Hnilička F, Hniličková H. 2016. Obecná koncepce stresu. Pages 2-27 in Hnilička F, Středa T, editor. Rostliny v podmínkách stresu – Abiotické stresory. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Šikula J, Větvička V. 2016. Trávy. AVENTINUM, Praha.
- Wahid A, Gelani S, Ashraf M, Foolad MR. 2007. Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany* **61**(3):199-223.
- Hosnedl V. 2003. Klíčivost a vzházivost osiva. Available from <http://www.agris.cz/clanek/125695/klicivost-a-vzhazivost-osiva> (accessed April).
- Rahman ur H, Malik AS, Saleem M. 2004. Heat tolerance of upland cotton during the fruiting stage evaluated using cellular membrane thermostability. *Field Crops Research* **85**:149-158.
- Chapman SC, Chakraborty S, Dreccer MF, Howden SM. 2012. Plant adaptation to climate change—opportunities and priorities in breeding. *Crop and Pasture Science* **63**(3):251-268.
- Browson J, Somerville. 1991. Glycerolipid Synthesis: Biochemistry and Regulation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* **42**:467:506.
- Kukla J, Kuklová M. 2013. Dopad abiotických stresorů na rostliny a ekosystémy. Pages 85-94 in Hnilička F, editor. Vliv abiotických a biotických na vlastnosti rostlin 2013. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Janiček P, Marek J. 2013. Expertní inženýrství v systémovém pojetí. Grada publishing, Praha.
- Hroneš M. 2008. Životní formy rostlin. Available <http://www.naturabohemica.cz/zivotni-formy-rostlin/> (accessed April)
- Piterková J, Tománková K, Luhová L, Petřivalský M, Peč P. 2005. Oxidativní stres: lokalizace tvorby aktivních forem kyslíku a jejich degradace v rostlinném organismu. *Chemické listy* **99**:455-466.
- Sage LT, Bagha S, Lundsgaard-Nielsen V, Branch AH, Sultmanis S, Sage FR. 2015. The effect of high temperature stress on male and female reproduction in plants. *Field Crops Research* **182**:30-42.