

UNIVERZITA KARLOVA

Přírodovědecká fakulta, studijní program: Biologie se zaměřením na
vzdělávání



**EXISTUJE VZTAH MEZI POLYPLOIDIÍ A ÚSPĚŠNOSTÍ
DRUHU NA SEŠLAPÁVANÝCH STANOVIŠTÍCH?**

**IS THERE AN ASSOCIATION BETWEEN POLYPLOIDY
AND THE SUCCESS OF A SPECIES IN TRAMPLED HABITATS?**

Anežka Chvojková

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Mgr. Marek Slovák, Ph.D.

Praha, 2024

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 26. 4. 2024

Podpis

Ráda bych poděkovala Mgr. Marku Slovákovi, Ph.D., nejen za velkou podporu při psaní této práce, ale také za jeho skutečný zájem o ni. Dále děkuji Mgr. Zdeňkovi Kaplanovi, Ph.D., za cenné připomínky k formálním záležitostem této studie. Vážím si také pomoci Markéty Machalové, která si práci prošla po gramatické stránce.

Abstrakt

Polyplodie je v říši rostlin významným evolučním fenoménem. U většiny polyplodních rostlin může docházet ke změnám v morfologii, fyziologii, fenologii a ekologických nárocích. V mnoha případech polyplodie zvyšuje toleranci cytotypů vůči různým stresovým podmínkám. Jedním z příkladů stresového prostředí jsou stanoviště narušené lidskou činností, kde extrémním případem jsou městská sešlapávaná stanoviště. To vede k otázce, zda existuje spojitost mezi výskytem polyplodních cytotypů a jejich úspěšností na těchto stanovištích.

Cílem této práce je na základě současných znalostí vytvořit podklad pro hypotézu o možných souvislostech mezi polyplodií a stresovými podmínkami na sešlapávaných biotopech. V úvodní části jsou shrnuty poznatky o synantropní vegetaci, s důrazem na různé typy narušení. Detailněji popisují sešlapávaná stanoviště, včetně vlivu sešlapu na vegetaci, výhodných vlastností pro toleranci sešlapávání, a reakce jedinců na mechanické podněty jako je sešlap, a to jak na úrovni morfo-anatomické, tak i na molekulárně genetické. Ve druhé části práce se zaměřuji na polyplodii, kde jsem popsala její vliv na morfologii, fyziologii a ekologické nároky u polyplodních cytotypů. Následně jsem zhodnotila možné souvislosti mezi tolerancí mechanického stresu způsobeného sešlapem a výskytem a úspěšností polyplodních cytotypů.

Polyploidy is a significant evolutionary phenomenon in the plant kingdom. In most polyploid plants, it might lead to changes in morphology, physiology, phenology, and ecological requirements. In many cases, polyploidy enhances the tolerance of cytotypes to various stressful conditions. One example of a stressful environment is habitats disrupted by human activities, with urban trampled sites being an extreme case. This raises the question of whether there is a connection between the occurrence of polyploid cytotypes and their success on trampled habitats or not.

The aim of this work is to create a basis for the hypothesis regarding potential correlations between polyploidy and the stressful conditions of trampled habitats, based on existing knowledge. In the introductory section, I have summarized knowledge about synanthropic vegetation, with an emphasis on different types of disturbances. I have provided a more detailed characterization of trampled sites, including advantageous traits for tolerance to trampling, the impact of trampling on vegetation, and individual responses to mechanical stimuli, including trampling, at morpho-anatomical but also at the molecular-genetic level. In the second part of the work, I focused on polyploidy, describing and evaluating its influence on the morphology, physiology, and shifts in ecological requirements in polyploid cytotypes. Subsequently, I assessed a possible link between tolerance to trampling-induced mechanical stress on trampled sites and the occurrence and success of polyploid cytotypes.

Klíčová slova: městské prostředí, polyplodie, synantropní vegetace, sešlapávaná stanoviště

Key words: urban environment, polyploidy, synanthropic vegetation, trampled habitats

Obsah

1. Synantropní a městská vegetace.....	7
1.1 Synantropní vegetace.....	7
1.2. Disturbance.....	8
1.3. Městská vegetace a její diverzita.....	10
2. Sešlapávaná vegetace.....	12
2.1. Mechanicky narušovaná stanoviště.....	12
2.2 Rostliny sešlapávaných stanovišť a jejich životní strategie.....	14
3. Reakce rostlin na mechanické podněty.....	17
3.1 Mechanorecepce u rostlin.....	17
3.2 Mechanické působení.....	18
3.4.Regenerace a thigmomorfogeneze.....	21
4. Polyploidie.....	25
4.1 Překážky při vzniku nového polyploidního druhu.....	25
4.2 Projevy polyploidie na úrovni genotypu a fenotypu.....	26
4.3 Polyploidie a stres.....	29
4.4 Polyploidie a urbanizace.....	31
4.5 Polyploidie a sešlap.....	32
5. Závěr.....	33
Seznam použité literatury.....	35

Úvod

S dnešním nárůstem urbanizace nabývá otázka jejího vlivu na vegetaci stále většího významu. Městské podmínky ovlivňují složení flóry v dané lokalitě, případně se promítají do okolní přírody, když například podporují šíření invazních druhů. Ve městech se výjimečnou měrou uplatňuje různé narušování vegetace člověkem a takové zásahy vedou k šíření a úspěšnému usazení se synantropních druhů flóry.

Oproti lokalitám ve volné přírodě jsou města dále typická tím, že se v nich stanoviště vhodná pro vegetaci člení do mnoha oddělených fragmentů, jež se od sebe často značně liší co do podmínek. Rostliny zde tedy mohou obsadit pestrou škálu různých stanovišť podle toho, k čemu jsou uzpůsobeny. Fragments tak v konečném důsledku významně zvyšují diverzitu rostlin ve městech. Na druhou stranu se zde s úzce vyhraněnými specialisty setkáme pouze zřídka, zatímco jsou zde hojně zastoupeny takové druhy, které dokáží uspět v mnoha různých podmínkách. Městská prostředí jsou také často spojena s vysokou koncentrací živin v půdě, vysokými teplotami vlivem snadno rozpálených materiálů, znečištěním půdy a vzduchu, nebo sešlapáváním rostlin. Kromě toho, že se ve městech daří ekologicky nevyhraněným rostlinám, může být tedy výhodné, pokud je daný druh přizpůsoben těmto stresovým faktorům.

Předpokládá se, že většinu potřebných adaptací městské druhy získaly již ve svém přirozeném prostředí a následně je využily i ve městě. Takové adaptace spočívají v určité stavbě těla, ve struktuře pletiv nebo v metabolismu, ale také ve způsobu rozmnožování a délce života. V případě sešlapu jsou důležité především mechanické vlastnosti pletiv, výška nadzemní části rostliny a schopnost regenerace, ale také například odolnost vůči patogenům a schopnost čelit efektům sešlapem ztuhlé půdy. Z hlediska adaptací je zajímavým také fenomén polyploidie, protože ta může vést ke vzniku a etablování mnoha výhodných vlastností, které následně zvyšují potenciál rostlin přizpůsobit se daným podmínkám. Adaptační potenciál duplikovaného genomu se projevuje nejen na úrovni jedince, ale v konečném důsledku i v rámci celé generace, což může podporovat evoluční procesy a v některých případech i vznik nových druhů. U řady polyploidních rostlin již bylo potvrzeno rozšíření jejich areálu a nik oproti jejich diploidním předkům, což by skutečně odpovídalo lepší schopnosti těchto druhů snášet různorodé stresové faktory. Na druhou stranu může znásobení genomu rostliny v určitých ohledech znevýhodňovat, a tak jsou známy i případy, kdy byli polyploidi při kolonizaci nových stanovišť méně úspěšní. Jednoduše zobecnitelný vztah mezi polyploidii a úspěšností v nepříznivých podmínkách tedy nejspíš neexistuje. Každopádně je patrné, že se polyploidie na toleranci stresových faktorů nějakým způsobem podílí.

Zatímco souvislost polyploidie s tolerancí sucha, vysokých či nízkých teplot nebo například znečištění byla prostudována relativně podrobně, schopnost polyploidů čelit mnoha dalším stresovým podmínkám zůstává neprozkoumána, a tedy bude předmětem budoucích výzkumů. V této práci charakterizují sešlapávané biotopy v kontextu městských podmínek, shrnu dosavadní poznatky o vztahu polyploidie a tolerance stresu a následně se pokusím navrhnout možné souvislosti mezi polyploidii a odolností vůči sešlapu.

Kapitola 1

Synantropní a městská vegetace

1.1 Synantropní vegetace

V přírodě nalezneme mnoho biotopů - typů stanovišť, které se vyznačují různými podmínkami pro život. Druhové složení vegetace a fauny na daném stanovišti často odráží vlastnosti jeho neživé složky; zároveň se však podílí na jeho utváření. Biotopy však mohou vznikat i díky lidské činnosti. Člověkem utvářené (antropogenní) prostředí jako celek bývá z ekologického hlediska velmi rozmanité a můžeme ho dále členit do více kategorií. Mnohá specifika spojená s lidskou činností se ale uplatňují víceméně u každé z nich. Rostliny charakteristické pro toto prostředí tak lze souhrnně označit jako rostliny synantropní neboli doprovázející člověka (Chytrý, 2009). Termín synantropní bývá mnohdy zaměňován s termínem ruderalní, jímž se často označují rostliny vyskytující se v prostředí utvářeném lidskou činností. Z pohledu Grimovy teorie (Grime, 2001; viz dále) se však pojem ruderalní týká strategie života v disturbovaném prostředí, kdy rostliny investují do rychlé reprodukce, nikoli konkrétního stanoviště, třebaže je s antropogenním prostředím tato strategie silně spjata, jak uvedeme později. Chytrý (2009) dělí synantropní vegetaci na plevelnou (obdělávaná půda) a ruderalní (lidská sídla), zároveň však uvádí i přirozené ruderalní biotopy, které jsou obdobou těch antropogenních.

Antropogenní stanoviště jsou zpravidla dělena do dvou kategorií: zemědělská půda a biotopy v okolí lidských sídel, včetně objektů průmyslu, dopravy atd. (Lososová et al., 2006; Chytrý, 2009). Kromě toho můžeme zmínit i krajinu utvářenou lesnictvím (Chytrý 2009). Významnými centry antropogenní disturbance jsou ale především města, jímž v této práci budeme věnovat zvláštní pozornost.

Mnohé z dnešních synantropních druhů přenesly svůj hlavní výskyt z původní krajiny do lidské blízkosti; v takovém případě je jedná o apofyty, tedy druhy sekundárně se vyskytující v antropogenním prostředí (Rikli, 1903/04; cit. v Wittig 2002). Ne vždy je ale původní biotop výskytu daného druhu známý a existují i druhy, jejichž samotný původ je pravděpodobně spojen právě s lidskou činností, aniž by šlo o záměrné šlechtění. Pak hovoříme o tzv. anekofytech (Hanson, Zohary, 1962; Scholz, 1991).

V okolí člověka se kromě apofytů šíří i druhy nepůvodní (archofyty a neofyty), pro něž lidská činnost znamená jak tvorbu příhodných nik (Wittig, 2002), tak i způsob šíření. Mnohé z dnes známých synantropních druhů člověka doprovází již od pravěku, procesy synantropizace však probíhají neustále (Wittig, 2002). Vliv člověka na určitou vlastnost prostředí není vždy jednostranný a na různých stanovištích může docházet i k opačným efektům (Williams et al., 2015). Například intenzita záření bývá často vysoká díky otevřené krajině, města však kvůli zástavbě vytvářejí i stinná stanoviště. Co se týče typických společných rysů antropogenních stanovišť, významná je vysoká míra disturbance (Chytrý, 2009), kterou podrobněji charakterizujeme níže.

1.2. Disturbance

Lidské zásahy do stanovišť rostlin většinou souvisí se stavebními či údržbovými pracemi, rekreací, dopravou, průmyslem či zemědělstvím. Pokud jde o konkrétní události v čase, můžeme tyto zásahy označit jako disturbance (Dornelas, 2010). Jejich účinek na vegetaci je přitom alespoň v počáteční fázi negativní – způsobuje smrt jedinců nebo snížení jejich biomasy (Huston, 1994; Grime, 2001). Disturbance velmi často souvisí s lidskou činností, ale může být způsobena i herbivory, patogeny nebo abiotickými vlivy, jako je oheň, vítr nebo záplavy (Chytrý, 2009). Podobný negativní dopad vedoucí ke snížení biomasy až smrti jedinců či celých populací může mít i stres. Narozdíl od disturbance však k těmto důsledkům dochází vlivem dlouhodobě zatěžujících podmínek; většinou se jedná o nedostatek či přebytek určitého zdroje jako například vody, živin a světla (Grime, 2001). Sporné mohou být případy, kdy se disturbance opakují s natolik vysokou frekvencí, že je regenerace rostliny v mezičase zanedbatelná. Nejspíš by se pak dalo mluvit o přechodu mezi disturbancí a stresem. Ani vymezení samotného pojmu disturbance vůči stresu není v literatuře vždy jednotné. V této práci však chápou oba pojmy podle výše uvedené definice, v souladu s teoriemi CSR a r/K strategií (MacArthur a Wilson, 1967; Grime, 2001 a viz níže), s nimiž budu dále pracovat.

Ze samotného charakteru lidských zásahů do krajiny lze usoudit, že krátkodobé narušení stanoviště je snadnější než tvorba extrémních podmínek v dlouhodobém horizontu. To je patrné i z toho, že například ve městech je zastoupení druhů adaptovaných na stres sníženo (Wittig, 2002). Na druhou stranu antropogenní krajina stále představuje pro rostliny zvláštní prostředí plné výzev a rozhodně zde nelze výskyt stresových podmínek popřít. Příkladem může být znečištění prostředí, nedostatek živin a vody na dětských pískovištích, na šterku či ve spárách betonu a dlažby, nebo vysoké teploty (například na rozpáleném betonu (Čeplová et al., 2016)). Speciálním případem je pak již zmíněný přechod mezi disturbancí a stresem, konkrétně se může jednat o nepřetržitě udržované trávníky, intenzivní pastvu či sešlapávané plochy.

Na druhou stranu, disturbance nemusí mít na populaci v dlouhodobém měřítku negativní vliv. Vzniká při ní místo a zdroje pro další jedince (Connell, 1978), díky čemuž může být počet jedinců v konečném důsledku dokonce navýšen. Celková abundance pak přirozeně zvyšuje i diverzitu; tento jev jednoduše souvisí se zvýšením pravděpodobnosti výskytu více druhů v prostředí s více jedinci (MacArthur and Wilson, 1967, cit. v Wright 1983). Kromě toho vlivem disturbance, pokud není v rámci celé posuzované oblasti plošná a uniformní, dochází k rozrůznění nik, což umožňuje koexistenci více druhů (Tilman, 1982). Reakce společenstva na disturbanci závisí na mnoha faktorech, jako je dostatek zdrojů pro regeneraci nebo stupeň izolace daných populací (Dornelas, 2010). Vliv má také míra disturbance; teorie IDH (Intermediate Disturbance Hypothesis; Connell, 1978) například zavádí její střední intenzitu, která je pro obohacení druhového složení optimální.

Důsledkem disturbance je také vyšší podíl druhů s průměrnými vlastnostmi, tedy těch, které jsou málo ekologicky vyhraněné. Specialisté naopak mizí, protože vlivem disturbance ztrácejí prostředí, v nichž mají oproti generalistům výhodu díky své adaptaci na dané podmínky (Chesson, 2000). Tento trend lze sledovat i v rámci let, vzhledem ke změnám životního prostředí (Rooney et al., 2004). V tom se disturbance liší od stresu, ten totiž naopak zvýhodňuje užší specializace na dané podmínky (Carboni et al., 2016). Například vodní stres zvyšuje výskyt druhů s různými adaptacemi na sucho, jako jsou trichomy, silná kutikula apod.

Rostliny čelí limitujícím faktorům, jako je disturbance, různými způsoby. Jedná se především o tzv. “trade offs”, kdy jsou zdroje investovány do některých oblastí přednostně a určité výhodné vlastnosti jsou tak vykoupeny nevýhodou v jiném směru (Charles Darwin, 1859; Garland, 2014). V kontextu disturbovaných antropogenních stanovišť je důležité, zda rostliny investují přednostně do jedince, či do rozmnožování. Od určité míry rizika přestává být strategie dlouhověkých, pomalu se množících jednotlivců výhodná, zatímco úspěšnější jsou druhy s krátkým životním cyklem, schopné rychle kolonizovat disturbance uvolněnou niku, jak potvrzuje studie týkající se strategií rostlin při disturbance (Schippers et al., 2001). Byla zde vytvořena škála pro míru disturbance vyjádřené v procentech a ukázalo se, že se jednoleté a vytrvalé rostliny na společném stanovišti spíše nevyskytují, přičemž za hranicí 20% disturbance prudce mizí vytrvalé druhy.

Existuje více teorií vymezujících různé strategie organismů vzhledem k vnějším podmínkám. Patří sem například teorie r/K selekce (MacArthur, Wilson, viz i dále) nebo CSR teorie (Grime). Zde se budeme podrobněji zabývat CSR teorií. Tento model pracuje s disturbance podobně jako teorie r/K selekce, díky rozlišení vlivu kompetice a stresu je však komplexnější, a to díky rozlišení vlivu kompetice a stresu. Teorie r/K selekce navrhuje dvě protikladné strategie: rychlé rozmnožování krátce žijících organismů v nestabilním prostředí, nebo pomalu se množící déle žijící jedinci v prostředí s nízkou mírou disturbance. CSR teorie (Grime, 2001) pracuje s konceptem tří omezujících faktorů (kompetice, stres a disturbance), kterým rostliny čelí investicí energie do různých oblastí. Kompetitoři (C) jsou druhy vyžadující málo narušené prostředí s nízkou mírou stresu, kde díky investici energie do růstu jedince dokáží získat živiny na úkor konkurenčně slabších druhů. Semena mívají spíše méně a jde především o vytrvalé rostliny. U rostlin tolerujících stres (S) je adaptace na stres vysoká, nikoli však na disturbance a kompetici. Jsou vytrvalé, rostou pomalu a semena tvoří mnoho; svou energii vynakládají na přežití ve stresových podmínkách. S disturbance jsou pak spojeny tzv. ruderalní druhy (R), které upřednostňují stanoviště s nízkým stupněm stresu i kompetice, zatímco jsou adaptovány na disturbance. Je pro ně typický krátký životní cyklus, spíše nízký vzrůst a rychlé rozmnožování velkým počtem malých semen. V případě disturbance je strategie tvorby mnoha malých semen prokazatelně výhodnější, a to i na úkor jejich schopnosti dormance (Schippers et al., 2001).

Jak již bylo řečeno, disturbance a výskyt ruderalních druhů je typický právě pro antropogenní stanoviště. V souladu s tím je i syntaxonomický pohled na druhové složení antropogenních stanovišť, jako jsou města: například Chytrý ve své publikaci o synantropních společenstvech (Chytrý, 2009) pracuje s třídou *Stellaria mediae*, kterou skutečně charakterizuje jako soubor především jednoletých ruderalních druhů. Ty dosahují nízkého vzrůstu, ale rychle a ve velkých počtech se množí. Ruderalní druhy však najdeme i na přirozených lokalitách, v nichž lze spatřovat jakousi obdobu antropogenních stanovišť. Patří sem například místa v údolích řek, často narušovaná zvěří či záplavami (Chytrý, 2009), které intenzitou disturbance a podílem živin mohou připomínat podmínky ve městech. Jako přirozená disturbance pak může být vnímáno také střídání ročních období; ukázalo se, že i tento faktor zvyšuje zastoupení krátkověkých druhů (Hill et al., 2002). Kromě vlastností popsaných zmíněnými teoriemi je disturbance spojena také s několika dalšími charakteristikami. Bylo například zjištěno, že pod vlivem antropogenní disturbance často roste plasticita fenotypu daného druhu (Crispo et al., 2010). Vliv disturbance na druhové složení by však měl být brán s rezervou. Ačkoli jsou totiž ruderalní strategové v antropogenních stanovištích úspěšní, studie (Hill et al., 2002) ukázala, že mnohé druhy se ve městech vyskytují ve velkém zastoupení přirozeně, aniž by na disturbance byly závislé. Patří sem obecně hojně druhy s nízkou mírou specializace, o nichž se zmíním později.

1.3. Městská vegetace a její diverzita

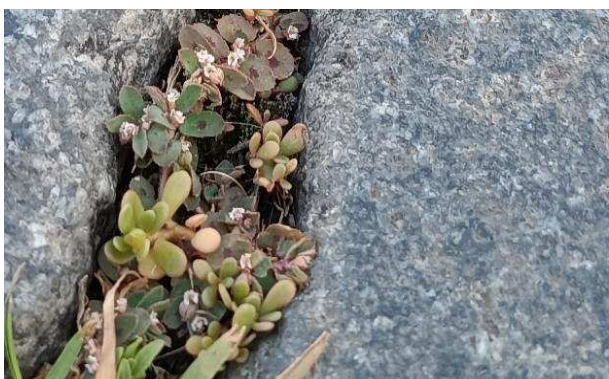
Významnou kategorií synantropní vegetace představují rostlinná společenstva obývající intravilánu měst. Města, jakožto antropogenní biotop, jsou charakteristická vysokou heterogenitou podmínek prostředí. Jde totiž o soubor stanovišť nejrůznějšího charakteru, v rámci něhož může lidská činnost vytvářet různé a na různých místech i protichůdné posuny podmínek oproti původní krajině (Williams et al., 2015). Některé rysy městského prostředí jsou však poměrně charakteristické; jde například o vyšší obsah živin, znečištění prostředí a alkalické pH půdy, dále sucho a vyšší teploty (Williams et al., 2015) způsobené hlavně konkrétním charakterem stanoviště, jako jsou betonové povrchy (Čeplová et al., 2017) nebo otevřené plochy. Platí přitom, že výskyt různých druhů odpovídá především rozdílům jednotlivých stanovišť utvářených lidskou činností. Příslušná zeměpisná poloha má v rámci střední Evropy na druhové složení relativně malý dopad (Plesník, 2005). Pokud rozlišujeme vegetaci v okolí sídel a vegetaci v zemědělství jako dvě hlavní kategorie synantropních společenstev, jak bylo uvedeno výše, nabízí se otázka, v čem se městské prostředí od biotopů utvářených zemědělstvím liší. Města se vyznačují vysokou heterogenitou jednotlivých stanovišť, která vede ke značné diverzitě (Lososová, Danihelka, 2014), kdežto na polích jsou podmínky víceméně stejné a plevelé zde čelí konkurenci s jediným druhem plodiny. S tím souvisí i vyšší tolerance nedostatku živin u plevelů na polích oproti synantropním druhům měst, které mívají na živiny vysoké nároky (Lososová et al., 2006). Kromě toho na polní vegetaci bývají ve značné míře aplikovány hnojiva a pesticidy; ve městech rostliny čelí v různé intenzitě různým typům znečištění, kromě pesticidů například vlivem solení silnic a chodníků.

Pokud jde o disturbanci, ta ve městech opět není jednotvárná, nabývá různé frekvence a intenzity (Lososová et al., 2006). Kvůli její nepředvídatelnosti je ve městech méně výhodné tvořit dlouhověkovou semennou banku (Čeplová et al., 2016) ve srovnání s polní vegetací, kde je tato strategie rozšířená (Grime, 2001). Městské druhy se tak často rozmnožují malými semeny s krátkou životností, a to především na silně disturbovaných stanovištích (Prach et al., 2016). Zároveň zde však najdeme i málo narušované plochy, a tak se ve městech oproti polím může obecně více uplatnit také C-strategie a trvalejší životní formy rostlin, jakož i vegetativní rozmnožování (Lososová et al., 2006), které jsou vlivem plošných sezónních disturbancí v zemědělství málo úspěšné. Zatímco na polích hustý porost dané plodiny kryje nižší plevelé, městská stanoviště jsou typicky více vystavena větru a slunečnímu záření (Lososová et al., 2006). Podmínky pro opylovače (a další organismy interagující s rostlinami) jsou zde málo vhodné, s čímž souvisí vyšší zastoupení anemogamních druhů a nižší podíl druhů opylovaných hmyzem ve městech (Prach, Pyšek, 1999; Ecke, Rydín, 2000). Narozdíl od zemědělské krajiny, tu městskou z velké části tvoří zastavěné plochy, které oddělují jednotlivé ostrůvky vegetace (tzv. fragmentace prostředí). Možnost se šířit mezi jednotlivými fragmenty je tímto do značné míry omezena, a tak jsou způsoby rozšiřování a jejich efektivita důležitými faktory úspěchu druhů (Ewers, Didham, 2006). Co se týče šíření rozmnožovacích propagulí, městské rostliny využívají především antropochorii nebo anemochorii (Lososová et al., 2006).

Z uvedených charakteristik je zřejmé, že antropogenní prostředí neposkytuje mnoho výhod úzkým specialistům (S-stratégům), kteří by upřednostňovali některou z krajních poloh (např. co se týče požadavků ohledně půdy (Landolt, 2000)). Výjimkou jsou zde například halofyty, jimž vyhovuje solení silnic (Fekete et al., 2022). Většinou však specialisté bývají z měst vyloučeni (Kowarik, 1990). Naproti tomu se ve městech rozšiřují populace druhů s tzv. širokou ekologickou amplitudou, tj. takových, které jsou schopny úspěšně růst v různých prostředích (Chytrý, 2009). Tyto skutečnosti je

třeba mít na paměti, pokud se zabýváme různými adaptacemi (resp. exaptacemi, viz dále Van Drunen, Johnson, 2022) rostlin na podmínky ve městech. Zdá se totiž, že konkrétní podmínky různých stanovišť nemají na zastoupení jednotlivých druhů výrazný vliv. Podstatnější je obecná rozšířenost druhu, široká ekologická amplituda a to, zda je schopen se šířit na disturbovaná místa (Chytrý, 2009).

Vzhledem k vyřazení mnohých S-stratégů z městských biotopů je zřejmé, že zde klesl počet původních druhů oproti jejich zastoupení v okolní krajině (Klotz, 1984a, cit. v Wittig, 2002). Na druhou stranu, neofyty, které jsou v původním prostředí oproti přirozeným druhům méně početné, ve městech svou diverzitu naopak zvýšily (Pyšek, 1989). Jejich šíření totiž napomáhají některá specifika měst; jde například o disturbance uvolňující nové niky (Rebele, 1994), fragmentaci prostředí (Celesti-Grappow et al., 2006), lidskou činnost podporující antropochorii, a nebo vyšší teploty, protože jsou to obvykle teplomilné druhy (Scholz, 1960). Příkladem takových druhů může být *Euphorbia maculata* (L.) a *Portulaca oleracea* (L.), viz obr. 1.



Obr. 1 - *Euphorbia maculata* (L.) a *Portulaca oleracea* (L.), Staroměstské náměstí. Jde o nepůvodní druhy, jež se původně vyskytují v teplých a suchých oblastech (Uddin et al., 2014; Park et al., 2023), a tak při jejich šíření kromě disturbance hraje roli vyšší teplota měst, a při sešlapu zde může figurovat i sucho (viz dále). Foto Anežka Chvojková

Při výzkumech druhového složení měst se často pracuje s kategoriemi jako jsou náměstí, bulváry, sídliště a parky, ale také tzv. území rané a střední sukcese, které se od sebe liší dobou uplynulou od poslední disturbance (Glišic et al. 2021). Rozdíly mezi těmito typy stanovišť spočívají například v rozdílu ve velikosti semen, kdy méně disturbovaná místa bývají spíše spojena s druhy s většími semeny (Čeplová et al., 2016). Dále se liší zastoupením různých životních forem; na náměstích nalezneme především jednoleté terofyty, směrem k méně narušovaným oblastem stoupá podíl vytrvalých druhů, a to především hemikryptofytů, ale i dalších životních forem.

Kapitola 2

Sešlapávaná vegetace

2.1. Mechanicky narušovaná stanoviště

Disturbanci jsme se až dosud věnovali na obecné rovině. Její účinek na vegetaci však závisí i jejím konkrétním způsobu. Disturbanci, událost způsobující snížení biomasy až smrt, chápeme především jako děj mechanického rázu, ačkoli sem jistě můžeme zařadit například i poškození jiným fyzikálním (oheň) nebo chemickým (zasolení, herbicidy atd.) faktorem. Samotná mechanická disturbance pak rovněž zahrnuje mnoho forem s různými specifiky. Při některých takových procesech dochází k úplnému odstranění jedinců, jak tomu často bývá například v rámci stavebních a zemědělských činností nebo při kultivaci parků a záhonů. Jiné formy disturbance jsou mírnější, často se na daném stanovišti opakují a jejich působením je celková biomasa vegetace daného stanoviště spíše nějakým způsobem ovlivněna, než zcela zničena (Plesník, 2005). Typickými příklady takové disturbance jsou pastva, sečení či kosení a sešlap. V takovýchto případech se kromě obecných strategií vůči disturbance, jako je krátký životní cyklus a investice do semen, mohou uplatnit i různé adaptace týkající se konkrétního typu mechanického narušování. Oproti jednorázové zničující disturbance je zde totiž při určitých vlastnostech možné dlouhodobě vydržet a rozmnožovat se navzdory nepříznivým podmínkám, především pokud jde o vytrvalé druhy. Naopak jednoleté druhy na sekaných trávnicích kvůli posekání v určité životní fázi již dostatečně nezregenerují a nejsou následně schopny reprodukce (Nakahama et al., 2016). V takových případech se i tato mírnější mechanická disturbance projeví jako úplné odstranění jedince nebo celého druhu daného území.

Pastva a sečení či kosení jsou v mnoha směrech podobné, přestože například pastva, narozdíl od ostatních, umožňuje i adaptaci využívající preferenci pasoucího se zvířete (např. jedovaté nebo trnité rostliny), zatímco sečení ve srovnání s pastvou a sešlapem nezpůsobuje poškození vlivem pošlapání člověkem či zvířaty (Plesník, 2005). Všechny tyto typy disturbance vedou obvykle ke zkrácení nadzemních částí rostlin a je u nich důležitá morfologie rostlin a jejich schopnost regenerace. Totéž platí i pro sešlap.

Sešlapávaná stanoviště jsou z hlediska teorie sukcese primární sukcesní stadium (Plesník, 2005), neboť opakovaná disturbance nenechává příliš prostor pro uzpůsobení stanoviště rostlinnými společenstvy a posun druhového složení v čase. Jako původce sešlapu většinou chápeme lidskou nohu, ale obdobný efekt mohou mít i zvířata, kola dopravních prostředků nebo na vegetaci pokládané předměty. Výskyt sešlapávaných stanovišť pochopitelně není vázán pouze na okolí člověka; mohou vznikat i ve volné přírodě. Sešlapem postižené rostliny mohou být v nejrůznějším rozsahu ohnuty či zlomeny a jejich růst do výšky je omezen (Liddle, 1975), přičemž často dochází ke snížené reprodukci (Littlemore, 2001). Narušení ochranných vrstev těla rostliny navíc vystavuje rostlinu patogenům, jako jsou houby, viry a bakterie (Rickard, Brown, 1974). Toto vše má za následek snížení biomasy, a to nejen bezprostředním působením, ale i v důsledku reakce rostliny na poškození (Sun, Liddle, 1993). Aktivní odpověď rostliny na sešlap (tzv. thigmomorfogeneze, viz následující kapitola) většinou spočívá ve snížení růstu (Liddle, 1975; Sun, Liddle, 1993; Mitchell, 1994); tvorba nových větví a květů se však může naopak zvýšit nebo může dojít ke změně morfologie listů a větvení (Mitchell,

1994; Dumitrașcu et al., 2010). V principu jde o kompenzaci ztráty biomasy vlivem omezení růstu do výšky. Některé rostliny také mohou tvořit poléhavé lodyhy rostoucí těsně při zemi, aby byly méně vystaveny dalšímu poškození, jako je tomu např. u *Polygonum arenastrum* L., a tvoří tak zakrslé růstové formy, které jsou navzdory své velikosti schopné dát vznik květům a plodům (Plesník, 2005), viz obr. 2. Co se týče fyziologických procesů, bylo dokázáno (Gamoun et al., 2010), že sešlap ovlivňuje také primární produkci, tedy rychlost přeměny anorganických zdrojů na organické látky. Při jeho mírné intenzitě je primární produkce stimulována, zatímco po překročení určité míry dochází k jejímu snížení. Odpověď rostlin na sešlap samozřejmě zahrnuje i regenerační procesy, jimž se budeme věnovat v příští kapitole.



Obr. 2 - *Stellaria media* L., Václavské náměstí. Pokud je kvůli sešlapu omezen vzrůst, rostlina může být schopná vykvést i v zakrslé formě. Foto Anežka Chvojková

Kromě přímého mechanického efektu na rostlinu sešlap často mění i okolní prostředí a způsobuje tak přidružený stres, který účinek sešlapu ještě umocňuje. Na první pohled viditelným dopadem sešlapu na vegetaci je snížení vegetačního pokryvu (Liddle, 1975; Cole, 1995 (I.)). Jeho závislost na intenzitě sešlapu je určena hyperbolou, t.j. pokud na vegetaci začne působit mírnější sešlap, je její biomasa zprvu prudce snižována, ale s každým dalším zvýšením intenzity sešlapu je pokles biomasy oproti předchozím stupňům menší. Při silném sešlapu totiž na stanovišti zůstávají jen vysoce tolerantní a většinou jednoleté druhy (Liddle, 1975; Plesník, 2005), jejich biomasa je navíc nízká a neposkytuje tak příliš prostoru pro další úbytek (Cole, 1995 (I.)). Následně na rostliny a na půdu nepokrytou vegetací dopadá více slunečního záření a dochází tak ke zvýšenému vysušování těchto míst (Yorks et al., 1997) a k fyzickému utužení půdy, s čímž je spojeno mnoho dalších stresových faktorů. Na základě těchto podmínek prostředí, které provázejí efekt samotného sešlapu, lze určit takové vlastnosti rostlin, jež jim na takových stanovištích poskytují výhodu. Mezi tyto vlastnosti patří nejen adaptace na sucho, vysoké teploty a intenzivní záření, ale i odolnost vůči patogenům. Jsou obzvláště patrné u mnoha nepůvodních druhů a podílí se na jejich úspěšnosti oproti původním druhům v takových podmínkách, jako je právě sešlap (Yorks et al., 1997).

2.2 Rostliny sešlapávaných stanovišť a jejich životní strategie

Druhy, které jsou na sešlapávaných stanovištích úspěšné, označujeme jako tolerantní k sešlapu. Většinou zde hovoříme o tzv. exaptaci, t.j. úspěšnost takových druhů se zakládá na vlastnostech, které rostliny mají i v prostředí bez sešlapu a které tedy nebyly vytvořeny účelově jako adaptace na sešlap, nakonec však rostlinám poskytují v takových podmínkách výhodu (Gould, Vrba, 1928; cit. v Van Drunen, Johnson, 2022). Tolerancí zde rozumíme schopnost čelit daným nepříznivým podmínkám, ať už je využita jakákoli z možných strategií. Druhy vyskytující se na sešlapávaných stanovištích jsou často ruderální strategové, avšak kromě typických vlastností pro tuto strategii, například investice do rozmnožování (Grime, 2001), disponují i schopností čelit stresovým podmínkám, jež sešlap provázejí,

jako je například nedostatek vody (Plesník, 2005). Tolerance vůči samotnému mechanickému vlivu pak bývá dosažena dvěma možnými způsoby; resiliencí či rezistencí.

První strategie spočívá v dobré schopnosti regenerace již poničených částí těla; tuto vlastnost označujeme jako resilienci (Cole, 1995 (II.)). Pro míru tolerance má právě schopnost resilience z těchto dvou strategií významnější význam (Cole, 1995 (II.)). Regenerace probíhá v místě poškození díky činnosti dělivého pletiva (viz následující kapitola). Pro sešlapávanou rostlinu je tedy výhodné, pokud se takové oblasti, například vzrostné vrcholy, paždí listů apod., nacházejí v blízkosti báze (Bates, 1935; Liddle, 1975) nebo pod zemí (Cole, 1995), kde je eliminováno riziko zlomu při sešlapu. Je pochopitelné, že s resiliencí pozitivně koreluje obecná rychlost růstu daného druhu, regenerace je však oproti přirozenému růstu rychlejší proces (měřeno porovnáním původní a konečné biomasy (Sun, 1992)). Výhodou rovněž může být delší období růstu daného druhu, díky němuž je rostlina schopna efektivněji kompenzovat případná poškození (Cole, 1987). Ze všech růstových forem mají patrně nejvyšší resilienci opět trávy (Yorks et al., 1997).

Druhou strategií vedoucí k toleranci je resistance. V případě velmi častého sešlapávání, kde již nelze uvažovat regenerační fázi, se dokonce bere v potaz pouze tato forma tolerance (Yorks et al. 1986). Jde o strategii využívající takové stavby těla nebo vnitřní struktury rostliny, která eliminuje samotnou možnost vzniku poškození. Je evidentní, že resistance je do značné míry dána morfologií a růstovou formou daného druhu (Sun, Liddle, 1993; Dumitrașcu et al., 2010). Vzpřímené a vysoké rostliny jsou vystaveny poškození více než drobné druhy (Sun, Liddle, 1993; Dumitrașcu et al., 2010) a jedinci s mnoha výběžky mají při sešlapu rovněž výhodu v porovnání s druhy výběžky netvořícími; kromě toho pak hrají významnou roli mechanické vlastnosti jejich orgánů (Sun, Liddle, 1993). Sun, Liddle (1993) ve svém experimentu hodnotili význam pevnosti listů a flexibility stonku pro toleranci vůči sešlapu. Ukázalo se, že je důležitá především ohebnost stonku. Pokud se totiž zlomí stonek, pevnost listů na něm již není podstatná. Tento závěr souhlasí i s výsledky dalších výzkumů (Dumitrașcu et al. 2010), které potvrdily, že sešlapu velmi dobře čelí graminoidy; vysoká flexibilita jejich stonku jim zaručuje značnou míru resistance, zejména pokud jde o trsnaté formy (Dumitrașcu et al., 2010; Sun, Liddle, 1993). Značně flexibilní stonek najdeme například u *Lolium perenne* (L.) (Sun, Liddle, 1993). I když jsou mnohé tolerantní druhy vysoce mechanicky flexibilní, ne všechny flexibilní druh lze označit jako tolerantní (Sun, Liddle, 1993). Flexibilita je navíc ovlivněna stářím rostliny a liší se i v rámci stonku v závislosti na vzdálenosti od jeho báze (Sun, Liddle, 1993). Na druhé straně i pevnost listů může být podstatná, zejména pokud daný druh tvoří stonek. Díky pevnosti listů je na sešlapávaných stanovištích velmi úspěšný například *Plantago major* (L.) (Bates, 1935), viz obr. 3.



Obr. 3 - *Plantago major*, Václavské náměstí. Tento druh je díky tuhým listům značně tolerantní i vůči intenzivnímu sešlapu. Foto Anežka Chvojková

Rychlý růst resistenci spíše snižuje, jak lze usoudit z jeho pozitivní korelace s resiliencí, která je vůči resistenci mírně protichůdná (Sun, 1992). Patrně to souvisí s faktem, že při rychlém růstu se tvoří méně ligninu (Kirst et al., 2004) a navíc je při něm obvykle

dosaženo vyššího vzrůstu, jenž pro rostlinu znamená větší riziko poškození. Tento vztah však není zcela evidentní a například výzkum odpovědí rostlin na experimentální sešlap (Cole, 1995 (II.)) neprokázal souvislost výšky rostliny s resiliencí, a dokonce ani s tolerancí.

Vzhledem ke zjištěné mírně negativní korelaci resistance s rychlostí regenerace (Sun, 1992) by bylo možné usoudit, že obě popsané strategie fungují spíše odděleně a že dobré předpoklady druhu pro využití jedné z těchto strategií často znamenají deficit vzhledem k té druhé (Sun, 1992). Skutečně se zde uplatňuje již zmíněný princip “trade-off” (viz předchozí kapitola). Zřejmě však může dojít i ke kombinaci obou strategií na vysoké úrovni, což pak vede k výjimečné toleranci. Podle výzkumu (Yorks et al., 1997) totiž trávy patřící mezi hemikryptofyty dosáhly za všech skupin růstových forem jak nejvyšší resistance, tak i tolerance. Vzhledem k jinak časté protichůdnosti resilience a resistance existují i druhy, pro něž je, navzdory obecně většímu významu resilience, klíčová právě resistance, zejména pokud je jejich příležitost k regeneraci zanedbatelná. Tak je tomu například u chamaefytů, keřků s adventivními pupeny ve výšce do 30 cm nad zemí, které téměř nejsou schopny resilience (Cole, 1995 (II.)). Rovněž u drobných rostlin ukrytých například ve spárách, může za toleranci stát hlavně resistance, dosažená nízkým vzrůstem, u něhož již nedochází k výraznému snižování biomasy.

Je třeba zmínit, že termíny resistance a resilience nejsou vždy chápány stejně. Puijalon et al. (2011) chápe toleranci jako jeden ze dvou způsobů resistance, kterou definuje jako schopnost minimalizace vzniku škod. Tolerance je pak forma resistance, již je dosaženo díky vlastní mechanické odolnosti, například vzniká širší stonek nebo více oporných pletiv. Její alternativu při vzniku resistance je tzv. avoidance, tedy strategie, při níž se rostlina danému vlivu vyhýbá takovou stavbou těla, že na ni síla při sešlapu působí co nejméně. Může jít o celkově nižší vzrůst či o schopnost pod vlivem sešlapu výhodně reorganizovat části těla. Pokud tento pohled na strategie spojíme s výše popsaným rozdělením, nehledě na rozdílnou definici pojmů tolerance a resistance, můžeme konstatovat, že strategie rostlin vůči sešlapu se zakládají buď na eliminaci jeho působení jako takového, nebo je ztrátám bráněno vlastní mechanickou odolností, a nebo k poškození dochází a poté je efektivně vykompenzováno. Podobně jako resilience, rovněž avoidance negativně koreluje se strategií založené na mechanické odolnosti pletiv (Puijalon et al., 2011). Důvodem je opět princip trade-offs; obě strategie něco stojí a jejich kombinace by znamenala příliš velkou energetickou investici. Na straně avoidance, schopnost reorganizace snižuje efektivitu fotosyntézy a malý vzrůst snižuje fitness (Patel et al., 2020); pokud jde o toleranci ve smyslu mechanické odolnosti, širší průřez stojí energii, jež by jinak mohla být investována do rozmnožování. Kromě toho lignin zpevňuje pletiva a zároveň snižuje schopnost reorganizace těla, takže je problematické dosáhnout obou výhod současně.

Na celkovou toleranci mají vliv také podmínky daného prostředí (Kuss, 1986; Cole, 1987), jež se podílí na mechanické kondici těla rostliny a z něhož jsou čerpány potřebné zdroje pro regeneraci, ať už jde například o živiny nebo vodu v půdě (Cole, 1987). Například nedostatek vody je pochopitelně překážkou pro celkové fungování rostliny a negativní důsledky sešlapu jsou v takových podmínkách o to výraznější (Campbell, Grime 1992; cit. v Dumitrașcu et al., 2010). Toto tvrzení se může zdát v rozporu s faktem, že pokud jde o přímý dopad sešlapu na danou půdu, mokrá stanoviště bývají sešlapem poničena více (Edmond, 1962; Yorks et al., 1997). Výhoda dostatku vody na daném stanovišti však spočívá v lepší možnosti následné regenerace (Cole, 1985; cit. v Yorks et al., 1997).

Z teorie IDH plyne, že přiměřená míra disturbance působí pozitivně na diverzitu daného stanoviště, kdežto její příliš nízká či příliš vysoká intenzita počet druhů snižuje (Connell, 1978, Liddle 1975). Tento trend platí i v případě kosení či sekání (Smith et al., 2018), pastvy (Li et al., 2021) nebo sešlapu (Grime, 1973; cit. v Liddle, 1975). Málo narušovaná stanoviště jsou snadno zaplněna kompetičně silnými druhy; mohou zde například dominovat vysoké rostliny bránící těm menším v přístupu ke světlu (Anten, Hirose, 1999). Mírně zvýšené narušování úspěšnost jednotlivých druhů

vyrovnává, například díky omezení růstu do výšky, které je pro všechna tato prostředí charakteristické. Vysoké druhy tak mohou například při kosení a sekání ztratit výhodu v kompetici o světlo, následkem čehož získají menší rostliny šanci se uplatnit vedle nich (Klimeš, Klimešová, 2001). Světlo však pochopitelně na mnoha stanovištích není limitujícím faktorem a kompetice se může týkat i jiných zdrojů. Čím intenzivnější je sešlap či jiný typ mechanického narušování, tím méně druhů je mu schopno čelit a tím více je diverzita opět snížena (Plesník, 2005). Jak již bylo řečeno v souvislosti s vlivem míry disturbance na diverzitu (IDH), účinek disturbance závisí i na podmínkách daného prostředí, například i v případě pastvy byl potvrzen negativní vliv sucha (Zhang et al., 2023), podobně jako je tomu v případě sešlapu, kde sucho může vést k výraznějšímu poškození vegetace (viz výše).

Již bylo zmíněno, že na silně sešlapávaných stanovištích nalezneme pouze několik málo dobře adaptovaných druhů. Druhové složení takovýchto oblastí je i vzhledem k různým geografickým oblastem poměrně univerzální (Plesník, 2005). Kromě typických druhů pro tato stanoviště zde však často nalezneme i další rostliny, zejména pokud sešlap není příliš intenzivní. Některé se zde vyskytují díky své široké ekologické amplitudě a celkové rozšířenosti ve městech, jiné se sem náhodně dostanou z přilehlých trávníků; často pak jde o zástupce lučních společenstev (Plesník, 2005).

Ačkoli byl až dosud sešlap popisován spíše v negativním slova smyslu, v některých případech může znamenat i jisté výhody. Toto platí buď pro konkurenčně slabé druhy, které se díky svým vlastnostem dokáží prosadit právě na sešlapávaných místech, nebo pro druhy využívající sešlap k šíření svých semen, jež se například pomocí slizového obalu zachycují na podrážkách chodců; tuto strategii nalezneme mimo jiné u *Plantago major*, *Bellis perennis* (L.) nebo *Matricaria discoidea* DC. (Plesník, 2005).

Kapitola 3

Reakce rostlin na mechanické podněty

3.1 Mechanorecepce u rostlin

V předchozí kapitole jsme popsali přímý efekt sešlapu na vegetaci a nastínili jsme i to, že rostliny mají možnost se daným podmínkám přizpůsobit. Vedle již zmíněných strategií, které jsou pravděpodobně záležitostí exaptace, a u nichž tedy nelze hovořit o reakci jedince v pravém slova smyslu, mohou rostliny na tyto podmínky, resp. na mechanické vlivy obecně, reagovat i přímo, například pomocí hormonů a epigenetických změn, a vyvolat tak fyziologické či morfologické změny v rámci konkrétního jedince. Procesům, jež se týkají vnímání mechanických stimulů a odpovědí jedince na ně, se budeme podrobněji věnovat v této kapitole.

Rostliny vnímají celou řadu mechanických podnětů, ačkoli je u nich tato oblast oproti živočichům méně prozkoumaná (Kouhen et al., 2023). Je sice známo několik případů rychlých reakcí typu sklápění listů u rodu *Mimosa* či lapání u masožravých rostlin rodu *Dionaea*, které fungují na základě elektrických impulsů (Volkov et al., 2007), obvykle však rostliny pro přenos signálů používají složitější a pomalejší cesty, což je nutné pro dosažení dlouhodobých morfologických změn (Toyota, Gilroy, 2013). Odpovědi rostlin na daný podnět, které jsou často spojeny s růstovými procesy, tak lze většinou sledovat až po delší prodlevě (Toyota, Gilroy, 2013). Je poměrně snadno představitelné, že rostliny vnímají fyzikální a chemické faktory, jako je světlo, množství vody nebo přítomnost různých chemických látek. Tyto vlivy na náš organismus totiž působí mnohých ohledech podobně jako na rostliny; jsou méně spojeny s činností nervové soustavy a často vedou k reakcím v delším časovém horizontu, přičemž mnohdy si jich nejsme vědomi. Mechanické podněty si však člověk zpravidla uvědomuje a jeho reakce bývají víceméně okamžité. Může tedy znít nezvykle, že rostliny takové podněty rovněž vnímají, jakkoli jsou jejich viditelné reakce často opožděné (Kouhen et al., 2023). Skutečně však disponují značně komplexním systémem mechanorecepce, při níž jsou některé děje až překvapivě rychlé (Behrens et al., 1985; Perbal et al., 2002).

3.2 Mechanické působení

Mechanické působení může mít nejrůznější původ. Známy je například efekt větru v horských oblastech, kde bývá stavba rostliny často zřetelně pozměněna (Gardiner et al., 2016). Dalším abiotickým zdrojem mechanického působení je déšť. Kromě čistě fyzikálního vlivu tíhy kapek vody může dešťová voda fungovat i jako zdroj patogenů a zvýšit tak riziko infekce (Kouhen et al., 2023). Podobně jako mechanický podnět se chová i gravitace (Toyota, Gilroy, 2013; Kouhen et al., 2023). Při experimentech bývá mechanické působení vyvoláno i třesením s pokusnými rostlinami (Mitchell, 1994) nebo umělým zatížením či zastřiháváním jejich částí těla (Ko et al., 2004; Bossdorf, Pigliucci, 2008). Mechanické působení může být samozřejmě zprostředkováno i různými přímými dotyky. Máme zde na mysli buď dotyk spojený s pohybem člověka a jiných organismů, dopravních prostředků aj. (sešlap, mechanická manipulace apod.), nebo kontakt s překážkami, k nimž se rostlina během svého růstu dostane, ať už jde o neživé předměty (zed', kameny v zemi apod.) či o rostliny v okolí (Kouhen

et al., 2023). Vzájemné dotyky rostlin hrají roli v procesech, kdy se rostliny nebo samotné části v rámci jedince vyhýbají sobě navzájem (Meng et al., 2006; Elhakeem et al., 2018). Zajímavá je také schopnost rostlin specificky rozpoznat přítomnost housenky na základě vibrací jejího okusování (Appel, Cocroft, 2014; Body et al., 2019). Kromě právě popsaných vnějších mechanických stimulů existuje i tzv. endogenní mechanické působení, které vzniká při změnách ve vnitřní struktuře jedince a je vnímáno jednotlivými buňkami jako změna tlaku, jenž na ně působí prostřednictvím buněk okolních při jejich dělení či růstu (Toyota, Gilroy, 2013; Kouhen et al., 2023) nebo prostou tíhou určitých orgánů včetně květů a plodů (Ko et al., 2004). Do jaké míry a jakým způsobem se vnímání různých typů mechanických podnětů liší, je spíše předmětem budoucích výzkumů (Kouhen et al., 2023). Různorodost příčin těchto stimulů a jejich dopadů na rostlinu každopádně naznačuje, že mechanorecepce u rostlin není zdaleka univerzální. To ostatně dokládá i níže uvedená pestrá škála odpovědí na mechanický podnět.

Rostliny ke vnímání podnětů využívají signální kaskády, tzv. "stress signaling pathways" (Kouhen et al., 2023), umožňující vnímání stresu a přenos informací o něm. Existují i specifické signální dráhy pro informaci o mechanickém podnětu. V rámci těchto kaskád dochází ke změnám koncentrace iontů (Fasano et al., 2002; Toyota, Gilroy, 2013) a k aktivaci různých enzymů (Kudla et al., 2018; Kouhen et al., 2023). Rovněž se vyplavují různé hormony (Biro, Jaffe, 1984; Madlung et al., 1999; Mensuali, 2006) a jsou aktivovány různé transkripční faktory; ty následně spustí změnu v genové expresi, která vede k reakci na mechanický podnět (Galon et al., 2010; Lee, Seo, 2021). Signální dráhy aktivované mechanickým stimulem tak nakonec vedou ke vzniku odpovědi na fenotypové úrovni, tzv. thigmomorfogenezi (viz dále), přičemž ta může být pozorovatelná až po určité prodlevě vzhledem k fázi exprese genů (Kouhen et al., 2023).

3.4 Regenerace a thigmomorfogeneze

Jak již bylo nastíněno v úvodu, rostliny dokáží na mechanické podněty včetně sešlapu přímo reagovat, přičemž tyto změny se odehrávají jak na úrovni morfologie, tak v rámci vnitřní struktury rostliny. Pokud jde o jednorázovou obnovu poraněných pletiv, hovoříme o regeneraci; změny vedoucí k přizpůsobení lze shrnout do pojmu thigmomorfogeneze (Jaffe, 1973).

Možnost regenerace poničených částí těla je pro rostliny nezbytná, protože nedokáží uniknout před případným poškozujícím zásahem z okolního prostředí. Určitou míru této schopnosti potřebují k přežití i jedinci na málo disturbovaných stanovištích, pro sešlapávané rostliny má však regenerace pochopitelně zvláštní význam. Schopnost regenerace po poškození nazýváme resiliencí, což je jedna ze strategií tolerance vůči sešlapu (viz předchozí kapitola). Regenerace jedince může mít různý rozsah, někdy jde o drobné opravy poničených pletiv, jindy jsou obnovovány celé orgány či dokonce celé nadzemní části rostlin. V extrémním případě, pokud jedinec jako takový zahyne, může být nahrazen svými potomky v rámci regenerace na úrovni populace (Glenn-Lewin et al., 1992). Takto se typicky obnovují populace ruderálních strategů po disturbanci (Grime, 2001).

Pokud jde o regeneraci poškozeného těla samotného jedince, podobně jako u přímé reakci na mechanický podnět, i tady můžeme mluvit o souhře hormonálního řízení (Su, Zhang, 2014; Park et al., 2019) a změn v expresi určitých genů (Banno et al., 2001; Iwase et al., 2017; Kamm et al., 2019). Jak už bylo zmíněno, děje se tak v přímé návaznosti na signální dráhy nesoucí informace o poškození. V rámci regenerace rostliny dokáží nejen obnovit určité struktury, ale také vytvořit celé orgány de novo,

tedy i po úplném zničení těchto orgánů, a to díky lokální tvorbě pletiv schopných diferenciaci (Su, Zhang, 2014). Takové pletivo se označuje jako tzv. kalus, je podobné standardnímu dělivému pletivu meristému a působením hormonů se v závislosti na jejich poměru dokáže diferencovat na různé orgány (Skoog, Miller, 1957; cit. v Su, Zhang, 2014). Vznik kalusu spočívá v přeměně již dříve diferencovaných buněk v místě poškození či v jeho okolí na buňky méně diferencované (Su, Zhang, 2014), hovoříme pak o tzv. transdiferenciaci (Sugimoto et al., 2010).

O thigmomorfogenezi mluvíme tehdy, pokud jde o odpovědi na mechanický podnět v pravém slova smyslu, tedy o reakci s adaptivním významem, jež nějakým způsobem pomáhá minimalizovat negativní dopad mechanického narušování (Zio et al., 2020). Thigmomorfogeneze však nemusí být na první pohled odlišitelná od přímých následků mechanického poškození jedince. Například nižší vzrůst může být důsledkem prostého zničení vrcholové části těla, ale může jít i o aktivní reakci rostliny na daný podnět, jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole (Sun, Liddle 1993). Na to, jak moc se v daném případě projeví thigmomorfogeneze, mají vliv i vnější podmínky; můžeme mluvit o změně citlivosti vůči mechanickému působení (Jaffe, 1976). Významným faktorem je zde například nedostatek světla (Jones et al., 1990) či chlad (Jaffe, 1976).

Projevů thigmomorfogeneze existuje celá řada a do značné míry se liší podle toho, o jakou životní strategii se jedná, tedy jestli jde o vytrvalou či jednoletou bylinu (Kouhen et al. 2023). U dřevin a jiných vytrvalých rostlin tyto procesy probíhají především díky aktivitě kambia a týkají se hlavně změn v xylému (Ruelle, 2013; cit. v Kouhen et al., 2023). V rámci xylému se působením hormonů (Du, Yamato, 2007) při mechanickém působení formuje několik sektorů lišících se pozicí vzhledem k místu působení podnětu, vnitřní strukturou, případně orientací růstu (Lintilhac, Vesecky, 1984; Felten, Sundberg, 2013; Lopez et al., 2021). Například tzv. "flexure wood", typ xylému utvářený ve větrných podmínkách, obsahuje méně ohebnou strukturu (Zio et al., 2020). Navenek se thigmomorfogeneze velmi často projevuje například změnou mechanických vlastností pletiv (Pruyn et al., 2000; Paul-Victor, Rowe, 2010; Paul-Victor, Rowe, 2011), konkrétně jde většinou o snížení jejich rigidity, t.j. zvýšení flexibility (Telewski, 2016), jež byla uvedena v předchozí kapitole jako výhodná vlastnost pro toleranci vůči sešlapu. Mechanickému narušování vystavení jedinci měli v interfascikulárním pletivu (t.j. v pletivu mezi jednotlivými cévními svazky) větší mezibuněčné prostory, o 50 % tenčí buněčné stěny než kontroly a méně lignifikovaných buněk (Paul-Victor, Rowe, 2011). Velmi charakteristické je také tloušťnutí stonku (Erner et al., 1980; Mitchell, 1994; Goeschl et al., 1966), jež se společně s charakteristikou pletiv podílí na celkové odolnosti stonku (Telewski, 2016). Dokonce i roční bylina *Arabidopsis thaliana* (L.) dokáže v rámci thigmomorfogeneze při zatížení stonku tvořit kambium a díky němu druhotnou strukturu stonku (Ko et al., 2004). U mechanického narušení se tento efekt zatím nepotvrdil, dokonce se u kontrolních rostlin projevila vyšší aktivita kambia; nejspíše vlivem faktorů jako je omezený vzrůst mechanicky narušovaných jedinců a z tedy menší potřeba tvořit silné stonky (Paul-Victor, Rowe, 2010).

Při dalších experimentech s *Arabidopsis thaliana* (Paul-Victor, Rowe, 2010; 2011) po aplikaci mechanického stresu došlo naopak ke snížení průměru stonku. Ačkoli bylo výše uvedeno, že pro thigmomorfogenezi je typická tvorba širších stonků, neplatí to tedy zcela. Zmenšení průměru v reakci na mechanický stres bylo sledováno u determinovaně rostoucích částí těla, jako jsou řapíky, a to i u dřevin (Niklas, 1996). Vzhledem k tomu, že i *Arabidopsis* je bylina se silně determinovaným růstem, nedeterminovanost zjevně souvisí se schopností tvořit silnější stonky během thigmomorfogeneze. U bylin nikdy netvořících sekundární pletiva nedochází k podstatnějším změnám ani v jednom z těchto

směrů (Paul-Victor, Rowe, 2010). Kromě obvyklého zvýšení průměru stonku může mechanický stres vést i ke změně tvaru jeho průřezu (Goodman, Ennos, 1998). Dále běžně dochází k omezení či k inhibici růstu, s čímž souvisí i časté zkrácení internodií (Goeschl et al., 1966). Inhibice růstu stonku snižuje tzv. moment ohybu a tím i riziko poškození při ohýbání (Paul-Victor, Rowe, 2010). Zde je však třeba podotknout, že v případě mírných vibrací, ty mohou růst naopak stimulovat (Takahashi et al., 1991). Dalším častým rysem thigmomorfogeneze je více větvený stonek, ten byl pozorován u *Arabidopsis thaliana* vystaveného působení větru (Pigliucci, 2002).

Co se týče tvorby květů a plodů, výsledky experimentů se různí. Například chryzantémy vystavené mechanickému stresu tvořily stejné květy jako kontrolní rostliny (Hammer et al., 1974), kdežto třesení s rostlinami hrachu v určitých případech vedlo ke snížené produkci semen (Akers, Mitchell, 1984). U *Arabidopsis thaliana* se pod vlivem větru naopak zvýšil počet plodů (Pigliucci 2002). Vlivem mechanického stresu dochází také ke zpoždění doby kvetení (Akers, Mitchell, 1984; Johnson et al., 1998).

Thigmomorfogeneze se může týkat i úprav na mnoha dalších rovinách včetně úrovně biochemické (Zio et al., 2020). Běžná je například zvýšená produkce určitých sekundárních metabolitů v reakci na napadení rostliny patogenem či herbivorem. Tyto látky se buď podílejí na signální kaskádě vedoucí k expresi příslušných genů, nebo mají určitou obrannou funkci samy o sobě (Divekar et al., 2022). Vnímání patogenů se však často neomezuje na mechanorecepci, ale je založeno i na chemických stimulech, kdy jsou rostlinou kromě mechanického poškození rozpoznány i některé metabolity, specifické pro daný patogen (Patel et al., 2020). Proto i mnohé z výše uvedených biochemických odpovědí musí být chápány v širším kontextu rostlinného vnímání.

Kapitola 4

Polyplodie

Reakce rostliny na stres často souvisí s na první pohled nenápadným vnitřním faktorem, a to se stupněm ploidie neboli s celkovým znásobením genomu. V rostlinné říši totiž běžně existují i jedinci se znásobeným počtem chromozomových sad, hovoříme pak o genomu polyplodním. Určitou polyplodní minulost má za sebou pravděpodobně většina druhů krytosemenných (Skalická, 2005; Jiao et al., 2011). Polyplodie hraje v rostlinné říši důležitou roli, co se týče speciace, podporuje totiž genotypovou variabilitu, vznik nových vlastností a posun nik u vznikajících druhů (Heslop-Harrison, 2022). Pro člověka mají dnes polyplodní druhy rovněž velký význam; často jsou využívány jako kulturní plodiny (Leitch, Leitch, 2011), protože takové rostliny bývají větší nebo mají výhodnější složení pletiv (Corneillie et al., 2019).

K polyplodizaci může dojít z různých příčin. Pokud jde o důsledek chyby při meiotickém dělení jádra, kdy vznikají neredukované gamety, hovoříme o autopolyplodii, protože genom se zde znásobil v rámci jednoho druhu. Ukázalo se, že tvorba neredukovaných gamet je častější ve stresových podmínkách (Tossi et al., 2022), jako je vysoká teplota (Pécirix et al., 2011) či chlad (Veilleux, Lauer, 1981). Tento vliv na meiózu se prokázal i v několika případech mechanického poškození rostlin, konkrétně při napadení herbivory (Kostoff, Kendal, 1929), nicméně zatím není potvrzeno, zda by ke stejnému efektu došlo i při umělém mechanickém působení na rostliny (Sora et al., 2016). Za zmínku však stojí, že u rodu *Solanum* byla prokázána tvorba a následné množení polyplodních buněk přímo na rostlinách, jež byly experimentálně zastříženy (Jorgensen, 1928). Alopolyplodie se naproti tomu objevuje u jedinců vzniklých hybridizací dvou různých druhů, jakožto kompenzace s tím spojených obtížích. Pokud jsou totiž jejich rodičovské chromozomy natolik odlišné, že při meióze nemůže dojít k jejich normálnímu párování, dokáže rostlina problém vyřešit zdvojením obou rodičovských sad, protože v rámci vzniklých dvojic pak párování probíhá bez potíží (Buggs et al., 2009).

4.1 Překážky při vzniku nového polyplodního druhu

Pokud v populaci vznikne polyplodní jedinec, prosazení jeho cytotypu v dalších generacích není vůbec samozřejmé. Nově vzniklí polyplodi se ve většině případů nedokáží prosadit, protože často nemají vůči diploidům adaptační výhody (Van de Peer et al., 2021), a i pokud jsou lépe přizpůsobeni daným podmínkám, jejich neúspěch může spočívat ve snížené schopnosti pohlavní reprodukce, jež pramení jednak z takzvaného efektu minoritního cytotypu (Levin, 1975), jednak z potíží s tvorbou gamet. Aby polyplodní jedinec zanechal polyplodní potomstvo a vytvořila se tak nová, polyplodní populace, případně druh, je zapotřebí překonat překážky spojené s minoritním cytotypem. Jedním z problémů, které mohou komplikovat reprodukci nově vzniklých a tudíž v populaci méně zastoupených cytotypů, je totiž absence či nedostatek vhodných polyplodních partnerů (Levin, 1975). Někdy dochází i ke kombinaci gamet polyploida s gametami diploidních rostlin, jimiž je takový jedinec většinou obklopen, což efekt minoritního cytotypu může ještě podpořit (Levin, 1975). Aby se nově vzniklý genom udržel a reprodukoval v tomtéž stavu, musí dojít ke vzniku tzv. reprodukční bariéry, kdy je rozmnožování mezi dvěma oddělujícími se druhy nějakým způsobem znemožněno (Heslop-Harrison, 2022; Šemberová et al., 2023). Reprodukční bariéru z velké části zajistí již to, že

hybridizace polyploidních a diploidních cytotypů není vždy možná, protože po polyploidizaci dochází k takovému odlišení nik či morfologie obou cytotypů, že je genový tok mezi cytotypy znemožněn (Levin, 1975; Šemberová et al., 2023). V některých případech však ke genovému toku mezi odlišnými ploidiemi dochází, čehož následkem je vznik jedinců přechodné ploidie nebo aneuploidů (Hülber et al., 2013; Šemberová et al., 2023).

Další překážkou v reprodukci polyploidů jsou potíže s tvorbou gamet, které polyploidii typicky provázejí (Leitch, Leitch, 2011; Kumar et al., 2014). Protože se v jádře vyskytují nikoli dva, ale více homologních chromozomů, při meióze hrozí vznik nepravidelných uskupení – multivalentů, které se počtem chromozomů liší od bivalentů (McCollum, 1957). Tento problém mohou kompenzovat například speciální geny, jež na chromozomech zajišťují bivalentní párování (Rawale et al., 2019). Vzhledem k výše popsaným potížím může být pro polyploidy výhodnější na pohlavní rozmnožování rezignovat a dát přednost apomixii či vegetativnímu rozmnožování (Husband et al., 2013). Pokud se rozmnožují pohlavně, bývá u nich častá samosprašnost, protože i díky ní může nový polyploidní druh úspěšně čelit efektu minoritního cytotypu (Levin, 1975). V neposlední řadě může úspěšnému etablování nového polyploidního cytotypu napomoci genový tok mezi ploidiemi neboli triploidní most (Kolář et al., 2017).

4.2 Projevy polyploidie na úrovni genotypu a fenotypu

Polyploidie může ovlivňovat vlastnosti rostlin, ať už jde o morfologické, fyziologické či molekulární a genetické aspekty, a to se pochopitelně může projevit i ve schopnosti snášet stresové faktory (Tossi et al., 2022). Někdy jde pouze o důsledky většího obsahu DNA, z nichž mnohé můžeme pozorovat také u diploidních jedinců s větším genomem (Benett, 1987; Balao et al., 2009), jindy může znásobení genomu ovlivnit i schopnost reagovat na dané prostředí jak adaptačně (Schranz et al., 2012; Peer et al., 2021), t.j. evolučními změnami, tak epigeneticky, tedy s okamžitým účinkem (Peer et al., 2021). Velký genom vede k vyšší pravděpodobnosti mutací (Manning, Dickson, 1986), což může znamenat vznik výhodných vlastností a zvýšení schopnosti adaptace na stresové podmínky (Tossi et al., 2022). Zároveň velký obsah DNA umožňuje rostlině překonat i případné negativní mutace (Tossi et al., 2022). V případě allopolyploidie adaptaci podporuje i přítomnost genů obou druhů v rámci jednoho jedince, zde však jde primárně o efekt samotné hybridizace, přičemž polyploidie zde má funkci udržení tohoto hybridního stavu; mluvíme o tzv. fixaci heterozygoty (Tossi et al., 2022).

Velikost genomu jako taková ovlivňuje celou řadu morfologických a dalších aspektů (Bennett, 1987; Meagher, Costich, 1994). Mnohé z těchto efektů souvisejí s replikací, která je u velkých genomů spojena s vyššími výdaji energie a dalšími komplikacemi (Corneillie et al., 2019). U polyploidů tak můžeme zaznamenat pomalejší dělení buněk a tím i obecně delší dobu vývoje rostlin, která může zvýšit tvorbu biomasy díky prodloužení vegetativní fáze vývoje (Corneillie et al., 2019). Zatímco se buňky u polyploidů hůře dělí, zvětšování objemu samotných buněk je u nich výraznější a buňky tak bývají větší (Tsukaya, 2008; Corneillie et al., 2019), ačkoli tomu tak není ve všech případech (Balao et al., 2011). Zpomalený vývoj, změna velikosti a počtu buněk mají za následek celou řadu dalších efektů týkajících se životního cyklu (polyploidie často souvisí s vytrvalou formou životního cyklu (Stebbins, 1938)), rozměrů těla i jednotlivých orgánů nebo uspořádání struktur v rostlině (Corneillie et al., 2019). U polyploidních cytotypů *Arabidopsis thaliana* byly například v souvislosti se zpomaleným vývojem pozorovány pozdější nástup a delší doba kvetení (Bose, Choudhury, 1961; Datta, 1963; Corneillie et

al., 2019). I zde došlo ke změně stavby buněčné stěny; ta obsahovala více hemicelulózy a pektinu, zatímco obsah celulózy a ligninu byl snížen, čímž buněčná stěna ztratila část své odolnosti (Corneillie et al., 2019). Co se týče změn rozměrů těla či jeho částí, ovlivněna může být jejich velikost (Tsukaya, 2008; Corneillie et al., 2019) včetně tloušťky listů a kutikuly, velikosti a počtu průduchů, šířky a počtu cév xylému, nebo například uspořádání kořenového systému (Maherali et al., 2010; Tossi et al., 2022). V souladu s těmito jevy je i fakt, že větší genom vede častěji k větším semenům (Beaulieu et al., 2007). U *Arabidopsis thaliana* rostla se stupněm ploidie velikost plodů a semen, kdežto počet semen v tobolce se v případě ploidie 6x a 8x snížil (Corneillie et al., 2019). Prokázána byla i rychlejší klíčivost polyploidních semen, která však podle dané studie nesouvisí s jejich biomasou (Chan et al., 2002). Díky zpomalenému vývoji a větším buňkám bývají polyploidní rostliny celkově větší (Corneillie et al., 2019), což je vnímáno jako jejich nejvíce typický znak (Becker et al., 2022), ačkoli zdaleka není univerzální (Balao et al., 2011). Například u *Arabidopsis thaliana* polyploidie prokazatelně zvyšovala šířku báze stonku, ale nejvyšší výšky a suché hmotnosti dosahovaly tetraploidní rostliny. U oktoploidů se biomasa opět snížila (Corneillie et al., 2019), patrně vlivem vyšších nákladů na buněčné dělení (Tsukaya, 2008).

Polyploidie může mít dále vliv například na míru apikální dominance, t.j. na poměr výšky hlavních a vedlejších větví, nebo na pravidelnost uspořádání buněk stonku (Corneillie et al., 2019). Ovlivněny mohou být také metabolické děje, nelze však jednoduše říct, zda je rychlost metabolismu polyploidů rychlejší či pomalejší oproti diploidům (Doyle, Coate, 2019). Polyploidie může mít vliv také na rychlost regenerace, jak se ukázalo v rámci výzkumu, kdy během regenerace po období sucha u polyploidů obnovilo o 35 % víc pletiva než u diploidních jedinců (Eisenring et al., 2022).

Poté co proběhne polyploidizace, následuje přestavba genomu a úprava transkriptomu. Tyto změny se pochopitelně odráží i na fenotypu, a tak může u daného cytotypu dojít například ke změně ekologické niky či k vytvoření reprodukční bariéry (Leitch, Leitch, 2011). Změny na úrovni genomu zahrnují jak změny jednotlivých úseků DNA (Song et al., 2012), tak i procesy postupně vedoucí k opětovné diploidizaci (Mandáková, Lysak, 2018). Rovněž je zde typické zvýšení aktivity transpozonů (Hanson et al., 2000) (transponovatelných elementů; TE), t.j. repetitivních úseků DNA schopných replikace a transpozice v rámci genomu. TE přitom mohou nejen vyvolat další změny obsahu DNA svojí replikací či delecí (Leitch, Leitch, 2011), ale svou vazbou k různým úsekům DNA mohou ovlivnit také aktivitu jiných genů. Bylo například prokázáno, že TE často interagují právě s geny pro reakce na stres a mohou tak stimulovat jejich expresi (Quadrana et al., 2019). Je zjevné, že popsané děje, odehrávající se v návaznosti na polyploidizaci, u těchto rostlin můžou zvyšovat plasticitu genomu. Ta následně přispívá ke schopnosti adaptace na nové nebo také měnící se podmínky (Pyšek et al., 2023; Turcotte et al., 2023) včetně toho, že může vést k zániku mnohých negativních korelací mezi odpověďmi na současně působící stresové faktory, které jinak svou protichůdností ztěžují efektivní obranu vůči nim (Turcotte et al., 2023).

Významné změny po polyploidizaci se dějí také na úrovni transkripce. Úprava transkriptomu spočívá zejména v odlišné regulaci jednotlivých genů díky epigenetickým změnám, přičemž často dochází i k umlčení těchto genů (Madlung et al. 2000; Leitch, Leitch, 2011). Smyslem úprav transkripce je optimalizovat fungování genomu po znásobení jeho obsahu (Heslop-Harrison, 2022), zejména pokud tento genom vznikl jako důsledek hybridizace (allopolyploidie) a rostlina se musí vyrovnat s rozdílností rodičovských genomů (Feldman et al., 1997). Kromě toho mají polyploidní rostliny k dispozici více genetického materiálu pro případné variace v jeho využití, a tak mohou

například dosáhnout lepší přizpůsobivosti vůči okolním podmínkám (Turcotte et al., 2023). Jinými slovy, buď je jejich genom heterogenní již vlivem hybridizace, jako je tomu u alopolyploidů (Wyatt, 1992), nebo jsou rostliny schopny epigenetickými procesy pozměnit funkci u části homologních genů (Dong, Adams, 2011). To znamená, že u konkrétních kopií znásobeného genu dojde k dané úpravě a tato část následně získá nový význam, zatímco původní funkce genu se díky ostatním kopiím zachová. Polyploidie tak mohou získat novou výhodnou vlastnost, jde o tzv. subfunkcionalizaci; často se tak děje při vystavení rostliny stresovým podmínkám (Tossi et al., 2022). U polyploidního *Arabidopsis thaliana* byla za určitých okolností zvýšena fenotypová plasticita v reakci na stres výrazněji než u jeho diploidních předků (Mattingly, Hovick, 2023). Fenotypová plasticita obecně vyjadřuje schopnost organismu nabývat různé vlastnosti v reakci na prostředí, jedinci se tak mohou podle podmínek navzájem lišit, ačkoli všechny nesou genetickou informaci daného druhu, a tak se přizpůsobit různým stanovištím (West-Eberhard, 2008). Zvýšenou fenotypovou plasticitu u polyploidů (Tossi et al., 2022) však na základě dosavadních výzkumů nelze zobecnit, vzhledem k tomu, že tato proměnlivost neroste vždy úměrně stupni ploidie (Vilas, Pannel, 2017).

4.3 Polyploidie a stres

Jak již bylo zmíněno, nově vzniklý polyploidní druh musí překonat nevýhodu minoritního cytotypu (Levin, 1975). Pokud díky polyploidizaci nese novou výhodnou vlastnost, jež mu umožní čelit stresu lépe než jeho diploidní předci, má větší šanci prosadit se i v dalších generacích, případně se evolučně dále vyvíjet (Turcotte et al., 2023). Větší genom a s ním spojená diverzifikace genetické informace v rámci jedné rostliny může tedy potlačovat negativní vliv inbreedingové deprese, především u nově vzniklých polyploidů (Husband et al., 2008), a podpořit je tak ve využívání samosprašnosti, a tím jim zabezpečit etablování se v majoritní diploidní populaci (Turcotte et al., 2023). Tato výhoda se však u déle existujících polyploidů vytrácí, protože se vlivem dlouhodobého samooplozování snižuje genetická diverzita (Clo, Kolář, 2022; Turcotte et al., 2023).

Vzhledem k tomu, že polyploidizace probíhá ve zvýšené míře ve stresovém prostředí, u nových polyploidů je často výhodné mít dobrou adaptaci na takové podmínky (Tossi et al., 2022). Již tyto skutečnosti se mohou podílet na tom, zda jsou polyploidní druhy vůči stresu odolnější než jejich diploidní předci. Řada dnešních studií se však věnuje vztahu tolerance vůči stresu s polyploidí jako takovou, tedy se snaží okamžitý efekt polyploidizace oddělit od ostatních vlivů (Van Drunen, Johnson, 2022). K tomuto účelu slouží výzkum syntetických neopolyploidů (tj. uměle vytvořených polyploidních rostlin), u nichž zmíněné efekty, jež by mohli význam samotné polyploidizace zkreslovat, přirozeně odpadají (Turcotte et al., 2023). Zvýšená tolerance vůči stresu byla dosud zaznamenána asi v 90 % studií na toto téma (Tossi et al., 2022), přičemž tato problematika se dobře studuje v kontextu zeměpisné polohy a tolerance různých teplot (Rice et al., 2019). Jak již bylo zmíněno, polyploidie může rozšiřovat ekologickou niku daného cytotypu (McIntyre, 2012; Rejlová et al., 2019), což se mnohdy vysvětluje tím, že polyploidie mají genotyp dobře uzpůsobený mnoha různým podmínkám, tzv. general purpose genotype (Turcotte et al., 2023). Ovšem v některých případech dochází naopak k zúžení a specializaci ekologické niky (Parisod, Broennimann, 2016; Afonso et al., 2023). Lze tedy konstatovat, že ačkoli jsou polyploidie často vůči stresu odolnější, nelze to označit za obecné pravidlo (Tossi et al., 2022; Turcotte et al., 2023). Tento závěr dává smysl i

vzhledem k tomu, že resistenci ovlivňuje mnoho různých faktorů (viz 1. kapitola) a že samotná polyploidie se může projevit na široké škále aspektů, jež byly popsány výše.

Změny v regulaci genů, konkrétně těch pro odpověď na různé typy stresu, mohou podle několika studií polyploidům ve stresových podmínkách přinést určité výhody (Del Pozo, Raminez-Parra, 2014; Xul et al., 2017; Liu, Sun, 2017). Pokud jde o změny velikosti a tvaru těla, jež vznikly v důsledku většího obsahu DNA, jejich vliv na toleranci nepříznivých podmínek je zřetelný zejména v kontextu odolnosti vůči suchu; je prokázáno, že větší průduchy a jejich menší počet na plochu, typické pro polyploidy (Beaulieu et al., 2008), snižují transpiraci, což může vést k větší odolnosti vůči suchu (Tossi et al., 2022). Na druhou stranu malé průduchy dokáží rychleji reagovat na aktuální podmínky a umožnit tak efektivnější regulaci obsahu vody (Lawson, Blatt, 2014). Větší buňky polyploidních rostlin a s tím související tloušťka kutikuly (Tossi et al., 2022), epidermis (Li et al., 1996), suberinu (Barrios-Masias et al., 2015) nebo též větší biomasa kořene (Mathew et al. 2018) by mohly potenciálně hrát v odolnosti vůči suchu také svou roli (Tossi et al., 2022). Konkrétně větší biomasa (Yang et al., 2017) kořenového systému může skýtat výhodu i u stresu kvůli nedostatku či nadbytku živin a minerálů (Tossi et al., 2022). Rovněž byla výše zmíněna změna průřezu xylémových cév u polyploidů, a tak mohou širší a početnější cévy umožnit polyploidům efektivnější příjem vody (Maherali et al., 2009). Při určitých typech stresu může mít význam také zpomalení vývoje jedince vlivem náročnosti replikace velkého genomu. Konkrétně může být pro rostlinu výhodná odlišná doba kvetení, jež někdy vede k lepšímu načasování reprodukce vzhledem k potenciálnímu poškození; tento vztah byl konkrétně zdokumentován u tolerance vůči herbivorům (Thompson et al., 1998), ačkoli v tomto případě kvetly tetraploidi oproti očekávání dříve než diploidi.

Bylo pozorováno mnoho dalších, při stresu výhodných vlastností, které se u polyploidů vyskytují obecně častěji. Mnohé z nich se týkají obsahu látek účinných proti poškození stresem, například u některých polyploidních cytotypů byla pozorována vyšší tvorba antioxidantů v reakci na stres, včetně látek působících proti poškození kyslíkovými radikály (ROS), které vznikají v důsledku nepříznivých podmínek (Li et al., 2017; Kong et al., 2017). Díky tomu dosáhly tyto rostliny vyšší tolerance vůči salinitě (Liu et al. 2011), suchu (Li, Zhang et al. 2021), vysokým teplotám (Zhang et al., 2010) nebo chladu (Deng et al., 2012). Polyploidie také pravděpodobně souvisí se zvýšenou akumulací osmolytů v buňkách (Li, Zhang et al., 2021), díky čemuž by polyploidní rostliny, na základě vytvořeného osmotického gradientu, mohly dokázat do buněk absorbovat více vody (Mullan, Pietragalla, 2012). Kromě toho u *Arabidopsis thaliana* mají polyploidi intenzivnější mechanismy resistance vůči patogenům, kdežto u diploidů dochází ke zvýšené obraně jen za přítomnosti patogenu (Mehlferber et al., 2022).

Experimentální data však často odhalí pouze korelaci mezi určitým aspektem tolerance a stupněm ploidie, přičemž není rozlišen konkrétní princip stojící za danou změnou (Ramsey, 2011; Deng et al., 2012). Pokud jde o vliv heterozygoty u allopolyploidů (Wyatt, 1992), je ho potřeba od účinku samotného znásobení genomu odlišit (Van Drunen, Johnson, 2022), což je snadné, pokud máme možnost porovnat vlastnosti allopolyploidů a autopolyploidů. Tímto způsobem bylo například zjištěno, že zvýšená resistance allotetraploidních citrusů vůči nedostatku živin je dána nikoli polyploidii jako takovou, nýbrž heterozygotitou danou hybridizací, jež umožnila lepší přizpůsobení daným podmínkám (Oustric et al., 2019).

4.4 Polyploidie a urbanizace

Molekulárně genetické výzkumy ukázaly, že prehistorická období extrémních klimatických změn byla provázena nárůstem polyploidie u rostlin (Levin, Soltis, 2018; Cai et al., 2018), což patrně souvisí s jejich obecně vyšší tolerancí vůči stresovým podmínkám (Peer et al., 2021; Tossi et al., 2022). V současné době je stres zprostředkován z velké části zásahem člověka, včetně urbanizace. To vede k hypotéze, že se analogické rozšiřování polyploidie může odehrávat i ve městském prostředí, které by na základě stresových faktorů a disturbance rovněž podpořilo tvorbu, uchycení a úspěšnost nových polyploidních cytotypů, t.j. neopolyploidů (Van Drunen, Johnson, 2022; Turcotte et al., 2023). Mnoho známých městských druhů rostlin je ve skutečnosti zastoupeno více cytotypy (t.j. jde o polyploidní komplexy) a je pravděpodobné, že potom můžeme mluvit o výskytu tzv. kryptických neopolyploidů ve městech (Van Drunen, Johnson, 2022). Ačkoli se zatím nepotvrdilo, zda jsou polyploidní rostliny ve městech skutečně více rozšířené (Van Drunen, Johnson, 2022), mnoho studií poukazuje na pravděpodobnost takového jevu. Předpokládá se přitom, že rozšíření neopolyploidů spočívá jak ve vyšší frekvenci polyploidizace, tak ve výhodách, které tyto rostliny v daném prostředí mohou mít oproti diploidům (Van Drunen, Johnson, 2022; Turcotte et al., 2023).

Pokud jde o samotný vznik polyploidů, teoretické předpoklady a simulace naznačují, že ve městech k němu může docházet častěji, a to ať už mluvíme o vyšší tvorbě neredukovaných gamet vlivem stresových faktorů (Thompson et al., 2018) či o hybridizaci, která může být ve městech zvýšena díky disturbanci a antropogenní introdukci nových druhů rostlin umožňující nové mezidruhové interakce (Thomas, 2015). To by naznačovalo, že městské prostředí může zvyšovat tvorbu autopolyploidů i alopolyloidů (Thompson et al., 2018). Teorie vzniku nových taxonů, případně dokonce cytotypů uvnitř měst v reakci na příslušné podmínky je zajímavá, protože přesahuje obvyklý koncept apofytů a exaptace, kdy městské druhy pocházejí z okolní krajiny a v antropogenním prostředí se jim daří díky vlastnostem, jimiž disponovaly již ve svém přirozeném prostředí.

Vzhledem k tomu, že městská stanoviště jsou velmi heterogenní a podléhají častým disturbancím, nabízejí velké množství neobsazených a různorodých nik (Connell, 1978; Lososová, Danihelka, 2014). Města tak mohou neopolyploidům poskytovat výhodu při jejich uchycení, t.j. podpořit je při překonávání nevýhody minoritního cytotypu (Turcotte et al., 2023). Podobný princip lze sledovat i u šíření neofytů a invazních druhů ve městech, které ke svému uchycení rovněž potřebují dostatek nik neobsazených původními druhy (Rebele, 1994; Foxcroft et al., 2010; viz 1. kapitola). Samozřejmě bychom také mohli mluvit o kombinaci invaznosti a polyploidie, jež spolu do značné míry korelují (Moura et al., 2010; Beest et al., 2012), díky čemuž by polyploidie mohli převzít afinitu k městům, jež je patrná u invazních druhů (Borden, Flory, 2021). Že antropogenní disturbance skutečně může upřednostňovat polyploidy, naznačují studie, které v rámci vybraných polyploidních komplexů potvrdily vyšší výskyt polyploidů na stanovištích utvářených člověkem (Rejlová et al., 2019).

Dalším faktorem jsou samotné výhodné vlastnosti polyploidních rostlin. Ty mohou vést k vyšší toleranci městských podmínek, než mají diploidi, které pak polyploidie mohou v daných oblastech i nahrazovat (Van Drunen, Johnson, 2022). Typickým jevem ve městech je již uvedená disturbance, která byla označena za výhodnou při prosazování neopolyploidů. Pokud však jde o obecné snášení disturbance, obvyklá charakteristika polyploidů neodpovídá znakům ruderálních druhů (viz Grime 2001), a to zejména kvůli pomalému vývoji těchto cytotypů, častým problémům s reprodukcí (Leitch, Leitch, 2011; Kumar et al., 2014; Corneillie et al., 2019) a tvorbě menšího počtu

větších semen, pozorované u *Arabidopsis thaliana* (Corneillie et al., 2019). Výhodu by zde mohl polyploidům přinášet i jejich předpokládaný "general purpose genotype" (Baker, Stebbins, 1965; cit. v Turcotte et al., 2023), protože je prokázáno, že se ve městě hojně vyskytují druhy s širokou ekologickou amplitudou (Chytrý, 2009). Jako konkrétní městské stresové faktory, díky kterým se mohou polyploidie ve městech šířit úspěšněji, můžeme uvést vyšší teploty (Williams et al., 2015), zvýšenou salinitu (Cunningham, 2007) nebo znečištění; těmto stresorům polyploidní rostliny podle výzkumů čelí lépe než diploidní (Turcotte et al., 2023). Kromě toho známo, že urbanizace je překážkou pro interakce rostlin s opylovači (Cheptou, Avendaño, 2006), což pravděpodobně znamená další výhodu polyploidů, kteří mají tendenci se rozmnožovat buď prostřednictvím samooplozením nebo také nepohlavně (Levin, 1975; Van Drunen, Johnson, 2022). Ačkoli se vzhledem k výše uvedenému zdá souvislost urbanizace s nárůstem polyploidie pravděpodobná, uvedené hypotézy budou muset potvrdit budoucí výzkumy (Van Drunen, Johnson, 2022; Turcotte et al., 2023).

4.5 Polyploidie a sešlap

Sešlap je jedním ze stresorů týkajících se měst a nelze vyloučit, že by se na šíření polyploidie podílel také tento faktor. Zde je nutno zdůraznit, že na městská sešlapávaná stanoviště působí zároveň obecné vlivy urbanizace, a tak pokud bychom porovnávali například náměstí s přirozenou loukou, výsledek by samozřejmě nevypovídal pouze o účinku sešlapu. Pokud však jde o vliv sešlapu jako takového, podobně jako v obecném případě urbanizace, ani zde dosud nebyla potvrzena zobecnitelná korelace s počtem polyploidů, nicméně také v tomto ohledu existuje řada faktorů specifických právě pro sešlap, které by mohly jeho vztah s polyploidii podpořit. Vedle otázky tolerance sešlapu a výhodných vlastností polyploidů je zajímavé zmínit, že i sešlap by mohl přímo zvyšovat samotnou produkci neredukovaných gamet, jak naznačuje již zmíněný výzkum tvorby neredukovaných gamet při napadení herbivorem (Kostoff, Kendal, 1929). V kapitole o sešlapu bylo popsáno, jak se jeho působením mění vlastnosti půdy; patří sem zejména vysoušení půdy a odlišná distribuce minerálů nebo zhutnění vedoucí k horší klíčivosti semen (Harper et al., 1956; Yorks et al., 1997). Vůči všem těmto podmínkám by polyploidi měli být obecně tolerantnější, vzhledem k jejich odolnosti vůči suchu a nedostatku živin (Tossi et al., 2022) a díky rychlejšímu klíčení jejich semen (Chan et al., 2002).

Již bylo uvedeno, že vyšší vzrůst rostliny znamená větší riziko poškození sešlapem (Sun, Liddle, 1993), naproti tomu větvení stonku je typická odpověď na něj (Dumitrașcu et al., 2010). Vzhledem k obecně vyššímu vzrůstu polyploidů a výraznější apikální dominanci jejich stonků (Corneillie et al., 2019) můžeme tedy usoudit, že stavba těla u těchto polyploidních cytotypů toleranci k sešlapu spíše brání. Je rovněž známo, že polyploidie obvykle snižuje lignifikaci pletiv (Corneillie et al., 2019), a to by mohlo znamenat jednak vyšší náchylnost k porušení nadzemní části při sešlapu, jednak snížení schopnosti reorganizace těla, jež je při sešlapu důležitá (Puijalón et al., 2011). Nižší obsah ligninu v pletivech polyploidů (Corneillie et al., 2019) by naproti tomu mohl vést k vyšší flexibilitě rostliny, a ta se uplatňuje při toleranci vůči sešlapu (Sun, Liddle, 1993), jak již bylo popsáno výše. Lze tedy konstatovat, že pokud jde o morfologické a strukturní vlastnosti polyploidů, často způsobené velikostí genomu, mohly by těmto rostlinám přinášet mnohé nevýhody, ale i výhody.

Souvislosti polyploidie a sešlapu můžeme hledat i na úrovni produkce sekundárních metabolitů a hormonů. Protože je pro mechanicky narušované rostliny výhodné efektivně čelit infekci (Yorks et al., 1997), mohli by se polyploidi na sešlapávaných stanovištích uplatnit lépe, vzhledem k

jejich vyšší odolnosti vůči patogenům (Mehlferber et al., 2022). Úprava metabolismu (Lavania et al., 2005), možná ovlivňující i produkci hormonů u polyploidů, nebo rozdíly ve stavbě buněčné stěny (Corneillie et al., 2019) by potenciálně mohly ovlivnit i fungování signální kaskády pro mechanické podněty. To by mohlo vést k pozměněné odpovědi rostliny na sešlap a tato změna by se pak odrazila v úspěšnosti daného cytotypu na sešlapávaných místech.

Polyploidie umožňuje také vyšší míru genetických a epigenetických změn (Madlung et al., 2000), což naznačuje široké možnosti dalších neprozkoumaných souvislostí se sešlapem. Již samotná fenotypová variabilita, která z polyploidizace přímo vychází (Tossi et al. 2022; Mattingly, Hovick, 2023), je zdokumentována jako výhodná vlastnost u rostlin čelících sešlapu (Puijalon et al., 2011). Kromě toho již bylo odhaleno mnoho případů, kdy polyploidi díky odlišné genové regulaci lépe čelili určitému druhu stresu (viz výše), například vykazovali zvýšenou transkripci genů souvisejících s tolerancí (Xul et al., 2017). Zdá se proto pravděpodobné, že některá úprava tohoto typu by mohla vést rovněž k toleranci vůči sešlapu.

Závěr

Bylo již provedeno mnoho výzkumů, které měly odhalit význam polyploidie pro toleranci nepříznivých podmínek, především v kontextu snášení klimatických podmínek. Často protichůdné výsledky těchto studií dosud neumožňují formulovat teorii, jež by hovořila čistě ve prospěch polyploidů. Polyploidie je spíše společnou příčinou mnoha změn ve vlastnostech a ekologických nárocích rostliny, z čehož plyne, že ji nelze vnímat jako čistě pozitivní či negativní faktor, nýbrž že každý její dílčí efekt je nutné hodnotit samostatně. V mnoha případech každopádně polyploidie skutečně zvyšuje toleranci vůči určitému typu stresu a zdá se, že tento efekt je častější, oproti diploidním předkům nebo také evolučně méně úspěšným polyploidům. Toto lze vysvětlit nejen větším počtem kopií genů u polyploidů a tím lepšími možnostmi adaptačních úprav, ale také tím, že polyploidní populace musely absolvovat adaptační procesy nezávislé na duplikaci genomu, aby se mohly prosadit, zatímco neúspěšní polyploidi často vůbec neexistují. V kontextu vztahu polyploidie a stresu si poslední dobou získávají pozornost stanoviště ve městech, kde můžeme jmenovat mnoho antropogenních stresových faktorů, jako je sucho, vysoká teplota, znečištění nebo různé formy mechanické disturbance. Úspěšnost polyploidů na těchto stanovištích se zdá být pravděpodobná hned z několika důvodů, není ovšem dosud prokázána. Aby mohla být souvislost polyploidie s tolerancí stresu ve městech důkladněji popsána, je mimo jiné žádoucí, aby se další výzkumy zaměřily na její význam pro konkrétní stresové faktory, u nichž zatím tento vztah nebyl podrobněji objasněn.

Rozličné vlivy polyploidie na vlastnosti rostlin lze rozdělit na obecné efekty velkého genomu, jako je pomalý vývoj či zvětšení buněk a částí těla, a úpravy na molekulárně genetické úrovni, kam patří hlavně nejruznější epigenetické změny. Pokud jde o toleranci stresu spojeného s městskými podmínkami a sešlapem, některé efekty velkého genomu mohou přinášet značné výhody, zatímco jiné se mohou s obecným principem tolerance vůči sešlapu křížit. Naproti tomu specifické změny v genomu a transkriptomu souvisí s adaptací rostliny na konkrétní prostředí, což může kromě tolerance vůči jednomu druhu stresu způsobit i obecně vyšší odolnost vůči různým nepříznivým faktorům a umožnit danému druhu úspěšnost na široké škále stanovišť. Tyto změny mohou ale nemusí být spojené s polyploidii, a tuto skutečnost je dobré mít na paměti, pokud se zabýváme významem polyploidie na městských sešlapávaných stanovištích. Tato stanoviště totiž můžeme chápat, kromě specificky stresového stanoviště, jako jedny z kolonizačních cílů obecně městských druhů, jejichž úspěšnost obvykle nespočívá v specializaci na jeden typ stresu, ale v jejich široké ekologické amplitudě. Vidíme tedy, že souvislost mezi polyploidii a výskytem druhů na těchto stanovištích může spočívat i v polyploidii podporovaném utváření takovýchto všestranně adaptovaných druhů, které následně obsadí i další městská prostředí, včetně sešlapávaných stanovišť.

Velmi vhodným kandidátem pro studium vlivu polyploidie na úspěšnost v kolonizaci sešlapávaných stanovišť jsou hlavně autopolyploidní druhové komplexy, které mají jak diploidní rodičovský cytotyp, tak i cytotypy odvozené z autopolyploidního vzniku. Zde by bylo možné empiricky testovat, zda jsou sešlapávaná stanoviště preferována polyploidními cytotypy nebo nikoli. Co se týče hledání polyploidních komplexů, nebo také polyploidních druhů s jedním polyploidním cytotypem na sešlapávaných stanovištích, je zde tedy nutné zdůraznit, že jejich přítomnost sama o sobě nic nevyovídá o vlivu polyploidie na úspěšnost v těchto podmínkách; ten musí být zjištěn až na základě vzájemného porovnání úspěšnosti jednotlivých cytotypů. K výzkumu by tedy mohly být

vhodné takové druhy, které jsou adaptované na sešlap a které mohou existovat ve více ploidních úrovních. Podle databáze chromozomových počtů (Tropicos) mezi takovéto druhy patří například *Lepidium ruderales* L., *Poa annua* L., *Polygonum arenastrum* Boreau nebo *Portulaca oleracea* (L.) (Grime et al., 1988; Slavík, Hejný, 1990; 1992). Také bychom sem mohli zařadit jednoleté invazní druhy, které se na těchto místech vyskytují spíše díky své obecné hojnosti ve městech, často díky své široké ekologické amplitudě (*Erigeron annuus* (L.) Pers., *Conyza canadensis* (L.) Cronquist (Slavík, Štěpánková, 2014)). Zároveň ale existuje mnoho druhů, které jsou časté ve městech a především na sešlapávaných stanovištích (*Sagina procumbens* L., *Plantago major* (Slavík, Hejný, 1990)), nebo jsou hojné v městském prostředí (*Veronica arvensis* (L.) (Slavík, 2006)), ale existují pouze v jedné ploidní úrovni. Zde tedy polyploidie pravděpodobně nebude hrát žádnou úlohu. Nutno dodat, že u některých druhů v použité databázi nenajdeme dostatečný počet záznamů chromozomových počtů rostlin, abychom byli schopni s jistotou určit, zda jde o polyploidní komplex, či nikoli.

Předešlé studie již naznačily, že by polyploidní cytotypy mohly být zvýhodněny ve městech, avšak je třeba dalších výzkumů, které by tuto teorii potvrdily. Pokud jde o vliv polyploidie na úspěšnost v sešlapávaných městských stanovištích, žádný výzkum se mu dosud nevěnoval. Pro zjištění účinku polyploidie výhradně na toleranci sešlapu by bylo ideální provádět sešlap experimentálně v laboratorních podmínkách. Nicméně pro studium reálného městského sešlapávaného prostředí by bylo třeba do výzkumu zahrnout i obecně rozšířené městské druhy, které jsou schopny čelit mnoha různým antropogenním stresovým faktorům.

Seznam použité literatury

1. **AFONSO**, Ana et al. Ecological niches in the polyploid complex *Linum suffruticosum* s.l. *Frontiers in Plant Science*. *Frontiers*, 2023, roč. 14. ISSN 1664-462X. DOI: 10.3389/fpls.2023.1148828
2. **AGUILAR-MARCELINO**, Liliana et al. List of contributors. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. xiii–xvi. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00038-9
3. **AGUILAR-MARCELINO**, Liliana et al. Chapter 26 - Using molecular techniques applied to beneficial microorganisms as biotechnological tools for controlling agricultural plant pathogens and pest. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 333–349. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00027-4
4. **AKERS**, Stuart W. Cary A. MITCHELL. Seismic stress effects on vegetative and reproductive development of ‘Alaska’ pea. *Canadian Journal of Botany*. NRC Research Press, 1984, roč. 62, č. 10, s. 2011–2015. ISSN 0008-4026. DOI: 10.1139/b84-273
5. **AL-ANI**, Laith Khalil Tawfeeq a Edson Luiz FURTADO. Chapter 4 - The effect of incompatible plant pathogens on the host plant. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 47–57. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00004-3
6. **ALLARIO**, Thierry et al. Large changes in anatomy and physiology between diploid Rangpur lime (*Citrus limonia*) and its autotetraploid are not associated with large changes in leaf gene expression. *Journal of Experimental Botany*. 2011, roč. 62, č. 8, s. 2507–2519. ISSN 0022-0957. DOI: 10.1093/jxb/erq467
7. **ALOK**, Anshu, Siddharth TIWARI a Jaspreet KAUR. Chapter 27 - CRISPR/Cas9 mediated genome engineering in microbes and its application in plant beneficial effects. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 351–359. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00028-6
8. **ANTEN**, Niels P. R. Tadaki HIROSE. Interspecific differences in above-ground growth patterns result in spatial and temporal partitioning of light among species in a tall-grass meadow. *Journal of Ecology*. 1999, roč. 87, č. 4, s. 583–597. ISSN 1365-2745. DOI: 10.1046/j.1365-2745.1999.00365.x
9. **APPEL**, H. M. a R. B. COCROFT. Plants respond to leaf vibrations caused by insect herbivore chewing. *Oecologia*. 2014, roč. 175, č. 4, s. 1257–1266. ISSN 1432-1939. DOI: 10.1007/s00442-014-2995-6
10. **BALAO**, Francisco et al. Distribution and diversity of cytotypes in *Dianthus broteri* as evidenced by genome size variations. *Annals of Botany*. 2009, roč. 104, č. 5, s. 965–973. ISSN 0305-7364. DOI: 10.1093/aob/mcp182
11. **BALAO**, Francisco, Javier HERRERA a Salvador TALAVERA. Phenotypic consequences of polyploidy and genome size at the microevolutionary scale: a multivariate morphological approach. *New Phytologist*. 2011, roč. 192, č. 1, s. 256–265. ISSN 1469-8137. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2011.03787.x
12. **BANNO**, Hiroharu et al. Overexpression of *Arabidopsis* ESR1 Induces Initiation of Shoot Regeneration. *The Plant Cell*. 2001, roč. 13, č. 12, s. 2609–2618. ISSN 1040-4651. DOI: 10.1105/tpc.010234
13. **BARRIOS-MASIAS**, F.H., T. KNIPFER a A.J. MCELDRONE. Differential responses of grapevine rootstocks to water stress are associated with adjustments in fine root hydraulic physiology and suberization. *Journal of Experimental Botany*. 2015, roč. 66, č. 19, s. 6069–6078. ISSN 0022-0957. DOI: 10.1093/jxb/erv324
14. **BATES**, G. H. *The Vegetation of Footpaths, Sidewalks, Cart-Tracks and Gateways*. *Journal of Ecology*. [Wiley, British Ecological Society], 1935, roč. 23, č. 2, s. 470–487. ISSN 0022-0477. DOI: 10.2307/2256132
15. **BEAULIEU**, Jeremy M. et al. Genome size is a strong predictor of cell size and stomatal density in angiosperms. *New Phytologist*. 2008, roč. 179, č. 4, s. 975–986. ISSN 1469-8137. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2008.02528.x
16. **BEAULIEU**, Jeremy M. et al. Correlated evolution of genome size and seed mass. *New Phytologist*. 2007, roč. 173, č. 2, s. 422–437. ISSN 1469-8137. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2006.01919.x
17. **BECKER**, Frederik W. et al. Inconsistent expression of the gigas effect in polyploid *Oxalis*. *American Journal of Botany*. 2022, roč. 109, č. 10, s. 1607–1621. ISSN 1537-2197. DOI: 10.1002/ajb2.16077
18. **TE BEEST**, Mariska et al. The more the better? The role of polyploidy in facilitating plant invasions. *Annals of Botany*. 2012, roč. 109, č. 1, s. 19–45. ISSN 0305-7364. DOI: 10.1093/aob/mcr277
19. **BEHRENS**, H. M., D. GRADMANN a A. SIEVERS. Membrane-potential responses following gravistimulation in roots of *Lepidium sativum* L. *Planta*. 1985, roč. 163, č. 4, s. 463–472. ISSN 1432-2048. DOI: 10.1007/BF00392703
20. **BENNETT**, Michael D. Variation in Genomic Form in Plants and Its Ecological Implications. *New Phytologist*. 1987, roč. 106, č. s1, s. 177–200. ISSN 1469-8137. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1987.tb04689.x
21. **BERIS**, Despoina a Nikon VASSILAKOS. Chapter 2 - Plant beneficial microbes: do they have a role as antiviral agents in agriculture? In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 19–33. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00002-X

22. **BIRO**, R. L. a M. J. **JAFFE**. Thigmomorphogenesis: Ethylene evolution and its role in the changes observed in mechanically perturbed bean plants. *Physiologia Plantarum*. 1984, roč. 62, č. 3, s. 289–296. ISSN 1399-3054. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1984.tb04575.x
23. **BOGUSZ**, Didier a Claudine **FRANCHE**. Frankia and the actinorhizal symbiosis. In: **SHARMA**, Vivek, Richa **SALWAN** a Laith Khalil Tawfeeq **AL-ANI**, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 367–380. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00030-4
24. **BORDEN**, Jesse B a S Luke **FLORY**. Urban evolution of invasive species. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2021, roč. 19, č. 3, s. 184–191. ISSN 1540-9309. DOI: 10.1002/fee.2295
25. **BOSE**, R. B. a J. K. **CHOUDHURY**. A Comparative Study of the Cytotaxonomy, Pallynology, Physiology of ‘Diploid’ and ‘Polyploid’ Plants of *Ocimum Kilimandscharicum* Guerke and their Yield of Raw Material and Volatile Contents. *Caryologia*. Taylor & Francis, 1962, roč. 15, č. 2, s. 435–454. ISSN 0008-7114. DOI: 10.1080/00087114.1962.10796070
26. **BOSSDORF**, Oliver a Massimo **PIGLIUCCI**. Plasticity to wind is modular and genetically variable in *Arabidopsis thaliana*. *Evolutionary Ecology*. 2009, roč. 23, č. 5, s. 669–685. ISSN 1573-8477. DOI: 10.1007/s10682-008-9263-3
27. **BRAAM**, Janet a Ronald W. **DAVIS**. Rain-, wind-, and touch-induced expression of calmodulin and calmodulin-related genes in *Arabidopsis*. *Cell*. 1990, roč. 60, č. 3, s. 357–364. ISSN 00928674. DOI: 10.1016/0092-8674(90)90587-5
28. **BUGGS**, Richard J. A., Pamela S. **SOLTIS** a Douglas E. **SOLTIS**. Does hybridization between divergent progenitors drive whole-genome duplication? *Molecular Ecology*. 2009, roč. 18, č. 16, s. 3334–3339. ISSN 1365-294X. DOI: 10.1111/j.1365-294X.2009.04285.x
29. **CAI**, Liming et al. Widespread ancient whole-genome duplications in Malpighiales coincide with Eocene global climatic upheaval. *New Phytologist*. 2019, roč. 221, č. 1, s. 565–576. ISSN 1469-8137. DOI: 10.1111/nph.15357
30. **CAMPBELL**, Bruce D. a J. Philip **GRIME**. An Experimental Test of Plant Strategy Theory. *Ecology*. Ecological Society of America, 1992, roč. 73, č. 1, s. 15–29. ISSN 0012-9658. DOI: 10.2307/1938717
31. **CARBONI**, Marta, David **ZELENÝ** a Alicia T.R. **ACOSTA**. Measuring ecological specialization along a natural stress gradient using a set of complementary niche breadth indices. *Journal of Vegetation Science*. 2016, roč. 27, č. 5, s. 892–903. ISSN 1654-1103. DOI: 10.1111/jvs.12413
32. **CARRO**, Lorena a Esther **MENÉNDEZ**. Chapter 13 - Knock, knock-let the bacteria in: enzymatic potential of plant associated bacteria. In: **SHARMA**, Vivek, Richa **SALWAN** a Laith Khalil Tawfeeq **AL-ANI**, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 169–178. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00014-6
33. **DE CARVALHO**, Juliana Oliveira et al. Chapter 25 - Endophytic fungi: positive association with plants. In: **SHARMA**, Vivek, Richa **SALWAN** a Laith Khalil Tawfeeq **AL-ANI**, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 321–332. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00026-2
34. **CELESTI-GRAPOW**, Laura et al. Determinants of native and alien species richness in the urban flora of Rome. *Diversity and Distributions*. 2006, roč. 12, č. 5, s. 490–501. ISSN 1472-4642. DOI: 10.1111/j.1366-9516.2006.00282.x
35. **CLELAND**, Robert E. Auxin and Cell Elongation. In: **DAVIES**, Peter J., ed. *Plant Hormones and their Role in Plant Growth and Development*. Dordrecht: Springer Netherlands, 1987, s. 132–148. ISBN 978-94-009-3585-3. DOI: 10.1007/978-94-009-3585-3_8
36. **COLE**, David N. Effects of three seasons of experimental trampling on five montane forest communities and a grassland in Western Montana, USA. *Biological Conservation*. 1987, roč. 40, č. 3, s. 219–244. ISSN 0006-3207. DOI: 10.1016/0006-3207(87)90087-5
37. **COLE**, David N. Experimental Trampling of Vegetation. I. Relationship Between Trampling Intensity and Vegetation Response. *Journal of Applied Ecology*. [British Ecological Society, Wiley], 1995, roč. 32, č. 1, s. 203–214. ISSN 0021-8901. DOI: 10.2307/2404429
38. **COLE**, David N. Experimental Trampling of Vegetation. II. Predictors of Resistance and Resilience. *Journal of Applied Ecology*. [British Ecological Society, Wiley], 1995, roč. 32, č. 1, s. 215–224. ISSN 0021-8901. DOI: 10.2307/2404430
39. **COLE**, David N., David N. **COLE** a Utah) **INTERMOUNTAIN RESEARCH STATION (OGDEN**. Recreational trampling effects on six habitat types in western Montana. Ogden, UT: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station, 1985. DOI: 10.5962/bhl.title.69014
40. **COLE**, David N. *Disturbance and Recovery of Trampled Montane Grassland and Forests in Montana*. Forgotten Books, 2018. ISBN-13: 978-0428614553
41. **CONNELL**, Joseph. Diversity in Tropical Rain Forests and Coral Reef. *Science (New York, N.Y.)*. 1978, roč. 199, s. 1302–10. DOI: 10.1126/science.199.4335.1302
42. **CORNEILLIE**, Sander et al. Polyploidy Affects Plant Growth and Alters Cell Wall Composition [OPEN]. *Plant Physiology*. 2019, roč. 179, č. 1, s. 74–87. ISSN 0032-0889. DOI: 10.1104/pp.18.00967
43. **VAN CREIJ**, Jelle, Peng **WANG** a Erik **LIMPENS**. Chapter 20 - Arbuscular mycorrhiza, a fungal perspective. In: **SHARMA**, Vivek, Richa **SALWAN** a Laith Khalil Tawfeeq **AL-ANI**, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 241–258. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00021-3

44. **CRISPO**, Erika et al. The evolution of phenotypic plasticity in response to anthropogenic disturbance. *Evolutionary Ecology Research*. Evolutionary Ecology, Ltd., 2010, roč. 12, č. 1, s. 47–66. ISSN 1522-0613.
45. **CUNNINGHAM**, Mary Ann et al. Accumulation of deicing salts in soils in an urban environment. *Urban Ecosystems*. 2008, roč. 11, č. 1, s. 17–31. ISSN 1573-1642. DOI: 10.1007/s11252-007-0031-x
46. **ČEPLOVÁ**, Natálie, Veronika KALUSOVÁ a Zdeňka LOSOSOVÁ. Effects of settlement size, urban heat island and habitat type on urban plant biodiversity. *Landscape and Urban Planning*. 2017, roč. 159, s. 15–22. ISSN 0169-2046. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2016.11.004
47. **ČERTNER**, Martin et al. Climatic conditions and human activities shape diploid–tetraploid coexistence at different spatial scales in the common weed *Tripleurospermum inodorum* (Asteraceae). *Journal of Biogeography*. 2019, roč. 46. DOI: 10.1111/jbi.13629
48. **DARWIN**, Charles. *The Origin of Species*. P. F. Collier, 1909. ISBN 978-81-87572-66-4.
49. **DE ZIO**, Elena et al. Tissue-specific hormone profiles from woody poplar roots under bending stress. *Physiologia Plantarum*. 2019, roč. 165, č. 1, s. 101–113. ISSN 1399-3054. DOI: 10.1111/ppl.12830
50. **DEL POZO**, Juan C. a Elena RAMIREZ-PARRA. Deciphering the molecular bases for drought tolerance in *Arabidopsis* autotetraploids. *Plant, Cell & Environment*. 2014, roč. 37, č. 12, s. 2722–2737. ISSN 1365-3040. DOI: 10.1111/pce.12344
51. **DELANGIZ**, Nasser et al. Chapter 33 - Beneficial microorganisms in the remediation of heavy metals. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 417–423. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00034-1
52. **DENG**, Benliang et al. Antioxidant response to drought, cold and nutrient stress in two ploidy levels of tobacco plants: low resource requirement confers polytolerance in polyploids? *Plant Growth Regulation*. 2012, roč. 66, č. 1, s. 37–47. ISSN 1573-5087. DOI: 10.1007/s10725-011-9626-6
53. **DIAGNE**, Nathalie et al. Advances in *Frankia* genome studies and molecular aspects of tolerance to environmental stresses. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 381–389. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00031-6
54. **DILNASHIN**, Hagera et al. Chapter 32 - Applications of agriculturally important microorganisms for sustainable crop production. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 403–415. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00033-X
55. **DIVEKAR**, Pratap Adinath et al. Plant Secondary Metabolites as Defense Tools against Herbivores for Sustainable Crop Protection. *International Journal of Molecular Sciences*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2022, roč. 23, č. 5, s. 2690. ISSN 1422-0067. DOI: 10.3390/ijms23052690
56. **DONG**, Shaowei a Keith L. ADAMS. Differential contributions to the transcriptome of duplicated genes in response to abiotic stresses in natural and synthetic polyploids. *New Phytologist*. 2011, roč. 190, č. 4, s. 1045–1057. ISSN 1469-8137. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2011.03650.x
57. **DORNELAS**, Maria. Disturbance and change in biodiversity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2010, roč. 365, č. 1558, s. 3719–3727. ISSN 0962-8436. DOI: 10.1098/rstb.2010.0295
58. **DOYLE**, Jeff J. Sue SHERMAN-BROYLES. Double trouble: taxonomy and definitions of polyploidy. *The New Phytologist*. [Wiley, New Phytologist Trust], 2017, roč. 213, č. 2, s. 487–493. ISSN 0028-646X.
59. **DRUNEN**, Wendy E. Van a Marc T. J. JOHNSON. Polyploidy in urban environments. *Trends in Ecology & Evolution*. Elsevier, 2022, roč. 37, č. 6, s. 507–516. ISSN 0169-5347. DOI: 10.1016/j.tree.2022.02.005
60. **DU**, Sheng a Fukuju YAMAMOTO. An Overview of the Biology of Reaction Wood Formation. *Journal of Integrative Plant Biology*. 2007, roč. 49, č. 2, s. 131–143. ISSN 1744-7909. DOI: 10.1111/j.1744-7909.2007.00427.x
61. **DUMITRAȘCU**, MIOARA, et al. Trampling effects on plant species morphology. *Bucharest: Rom. J. Biol, Plant Biol*, 2010, 5.2: 89-96.
62. **ECKE**, Frauke a Håkan RYDIN. Succession on a land uplift coast in relation to plant strategy theory. *Annales Botanici Fennici*. Finnish Zoological and Botanical Publishing Board, 2000, roč. 37, č. 3, s. 163–171. ISSN 0003-3847.
63. **EDMOND**, D. B. Effects of treading pasture in summer under different soil moisture levels. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. Taylor & Francis, 1962, roč. 5, č. 5–6, s. 389–395. ISSN 0028-8233. DOI: 10.1080/00288233.1962.10419935
64. **EISENRING**, Michael et al. Genotypic variation rather than ploidy level determines functional trait expression in a foundation tree species in the presence and absence of environmental stress. *Annals of Botany*. 2023, roč. 131, č. 1, s. 229–242. ISSN 0305-7364. DOI: 10.1093/aob/mcac071
65. **ELHAKEEM**, Ali et al. Aboveground mechanical stimuli affect belowground plant-plant communication. *PLOS ONE*. Public Library of Science, 2018, roč. 13, č. 5, s. e0195646. ISSN 1932-6203. DOI: 10.1371/journal.pone.0195646
66. **ERIC SCHRANZ**, M, Setareh MOHAMMADIN a Patrick P EDGER. Ancient whole genome duplications, novelty and diversification: the WGD Radiation Lag-Time Model. *Current Opinion in Plant Biology*. 2012, roč. 15, č. 2, s. 147–153. ISSN 1369-5266. DOI: 10.1016/j.pbi.2012.03.011

- 67. ERNER, Y., R. BIRO a M. J. JAFFE.** Thigmomorphogenesis: Evidence for a translocatable thigmomorphogenetic factor induced by mechanical perturbation of beans (*Phaseolus vulgaris*). *Physiologia Plantarum*. 1980, roč. 50, č. 1, s. 21–25. ISSN 1399-3054. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1980.tb02677.x
- 68. EWERS, Robert M. a Raphael K. DIDHAM.** Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. *Biological Reviews*. 2006, roč. 81, č. 1, s. 117–142. ISSN 1469-185X, 1464-7931. DOI: 10.1017/S1464793105006949
- 69. FASANO, Jeremiah M., Gioia D. MASSA a Simon GILROY.** Ionic Signaling in Plant Responses to Gravity and Touch. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2002, roč. 21, č. 2, s. 71–88. ISSN 1435-8107. DOI: 10.1007/s003440010049
- 70. FEKETE, R. et al.** Road traffic and landscape characteristics predict the occurrence of native halophytes on roadside verges. *Scientific Reports*. Nature Publishing Group, 2022, roč. 12, č. 1, s. 1298. ISSN 2045-2322. DOI: 10.1038/s41598-022-05084-3
- 71. FELDMAN, M. et al.** Rapid Elimination of Low-Copy DNA Sequences in Polyploid Wheat: A Possible Mechanism for Differentiation of Homoeologous Chromosomes. *Genetics*. 1997, roč. 147, č. 3, s. 1381–1387. ISSN 0016-6731.
- 72. FELTEN, Judith a Björn SUNDBERG.** Biology, Chemistry and Structure of Tension Wood. In: FROMM, Jörg, ed. *Cellular Aspects of Wood Formation*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013, s. 203–224. ISBN 978-3-642-36491-4. DOI: 10.1007/978-3-642-36491-4_8
- 73. FOXCROFT, Llewellyn C. et al.** Alien plant invasions in tropical and sub-tropical savannas: patterns, processes and prospects. *Biological Invasions*. 2010, roč. 12, č. 12, s. 3913–3933. ISSN 1573-1464. DOI: 10.1007/s10530-010-9823-7
- 74. FRY, S C et al.** Xyloglucan endotransglycosylase, a new wall-loosening enzyme activity from plants. *Biochemical Journal*. 1992, roč. 282, č. 3, s. 821–828. ISSN 0264-6021. DOI: 10.1042/bj2820821
- 75. GALON, Yael et al.** Calmodulin-binding transcription activator 1 mediates auxin signaling and responds to stresses in *Arabidopsis*. *Planta*. 2010, roč. 232, č. 1, s. 165–178. ISSN 1432-2048. DOI: 10.1007/s00425-010-1153-6
- 76. GAMOUN, Mouldi et al.** Effect of grazing and trampling on primary production and soil surface in North African rangelands. *Ekologia*. 2010, roč. 29, s. 219–226. DOI: 10.4149/ekol_2010_02_219
- 77. GARDINER, Barry, Peter BERRY, Bruno MOULIA.** Review: Wind impacts on plant growth, mechanics and damage. *Plant Science*. 2016, roč. 245, s. 94–118. ISSN 0168-9452. DOI: 10.1016/j.plantsci.2016.01.006
- 78. GARLAND, Theodore.** Trade-offs. *Current Biology*. Elsevier, 2014, roč. 24, č. 2, s. R60–R61. ISSN 0960-9822. DOI: 10.1016/j.cub.2013.11.036
- 79. GAUL, Horst.** Present aspects of induced mutations in plant breeding. *Euphytica*. 1958, roč. 7, č. 3, s. 275–289. ISSN 1573-5060. DOI: 10.1007/BF00025269
- 80. GIORIA, Margherita et al.** Why Are Invasive Plants Successful? *Annual Review of Plant Biology*. 2023, roč. 74, č. 1, s. 635–670. ISSN 1543-5008, 1545-2123. DOI: 10.1146/annurev-arplant-070522-071021
- 81. GLENN-LEWIN, D. C., R. K. PEET a T. T. VEBLEN.** *Plant Succession: Theory and prediction*. Springer Science & Business Media, 1992. ISBN 978-0-412-26900-4.
- 82. GLIŠIĆ, Milan et al.** Influence of Habitat Types on Diversity and Species Composition of Urban Flora—A Case Study in Serbia. *Plants*. 2021, roč. 10, č. 12, s. 2572. ISSN 2223-7747. DOI: 10.3390/plants10122572
- 83. GOESCHL, John D., Lawrence RAPPAPORT a Harlan K. PRATT.** Ethylene as a Factor Regulating the Growth of Pea Epicotyls Subjected to Physical Stress 1. *Plant Physiology*. 1966, roč. 41, č. 5, s. 877–884. ISSN 0032-0889. DOI: 10.1104/pp.41.5.877
- 84. GONZÁLEZ-LÓPEZ, Oscar a David RUANO-ROSA.** Chapter 8 - Root exudates, a key factor in the plant-bacteria interaction mechanisms. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 111–121. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00009-2
- 85. GOODMAN, A. M a A. R ENNOS.** Responses of the Root Systems of Sunflower and Maize to Unidirectional Stem Flexure. *Annals of Botany*. 1998, roč. 82, č. 3, s. 347–357. ISSN 0305-7364. DOI: 10.1006/anbo.1998.0693
- 86. GORDON-KAMM, Bill et al.** Using Morphogenic Genes to Improve Recovery and Regeneration of Transgenic Plants. *Plants*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2019, roč. 8, č. 2, s. 38. ISSN 2223-7747. DOI: 10.3390/plants8020038
- 87. GOULD, Stephen Jay a Elisabeth S. VRBA.** Exaptation—A Missing Term in the Science of Form. *Paleobiology*. Paleontological Society, 1982, roč. 8, č. 1, s. 4–15. ISSN 0094-8373.
- 88. GRIME, J. P.** Competitive Exclusion in Herbaceous Vegetation. *Nature*. Nature Publishing Group, 1973, roč. 242, č. 5396, s. 344–347. ISSN 1476-4687. DOI: 10.1038/242344a0
- 89. GRIME, J. Philip, J. Hodgson, Hunt.** *Comparative Plant Ecology*. Kluwer Academic Publishers, 1989. ISBN-13: 978-0044456858
- 90. GRIME, J. Philip.** *Plant Strategies, Vegetation Processes, and Ecosystem Properties*. John Wiley & Sons, 2006. ISBN 978-0-470-85040-4.
- 91. HAMMER, P. Allen, Cary A. MITCHELL a Thomas C. WEILER.** Height Control in Greenhouse Chrysanthemum by Mechanical Stress1. *HortScience*. American Society for Horticultural Science, 1974, roč. 9, č. 5, s. 474–475. ISSN 0018-5345, 2327-9834. DOI: 10.21273/HORTSCI.9.5.474

- 92. HANSON**, Herbert C. a Michael ZOHARY. Plant Life of Palestine, Israel, and Jordan. *Journal of Range Management*. 1962, roč. 15, č. 6, s. 339. ISSN 0022409X. DOI: 10.2307/3894769
- 93. HANSON**, Robert E. et al. Ty1-copia-retrotransposon Behavior in a Polyploid Cotton. *Chromosome Research*. 2000, roč. 8, č. 1, s. 73–76. ISSN 1573-6849. DOI: 10.1023/A:1009239522541
- 94. HARPER**, J. L., J. T. WILLIAMS a G. R. SAGAR. The Behaviour of Seeds in Soil: I. The Heterogeneity of Soil surfaces and its Role in Determining the Establishment of Plants from Seed. *Journal of Ecology*. [Wiley, British Ecological Society], 1965, roč. 53, č. 2, s. 273–286. ISSN 0022-0477. DOI: 10.2307/2257975
- 95. HASWELL**, Elizabeth S. et al. Two MscS Homologs Provide Mechanosensitive Channel Activities in the Arabidopsis Root. *Current Biology*. 2008, roč. 18, č. 10, s. 730–734. ISSN 09609822. DOI: 10.1016/j.cub.2008.04.039
- 96. HEJNÝ**, S., B. SLAVÍK. Květena České republiky 2. Academia, 1990.
- 97. HEJNÝ**, S., B. SLAVÍK. Květena České republiky 3. Academia, 1992.
- 98. HESLOP-HARRISON**, J S (Pat), Trude SCHWARZACHER a Qing LIU. Polyploidy: its consequences and enabling role in plant diversification and evolution. *Annals of Botany*. 2023, roč. 131, č. 1, s. 1–10. ISSN 0305-7364. DOI: 10.1093/aob/mcac132
- 99. HILL**, M. O., D. B. ROY a K. THOMPSON. Hemeroby, urbanity and ruderality: bioindicators of disturbance and human impact. *Journal of Applied Ecology*. 2002, roč. 39, č. 5, s. 708–720. ISSN 1365-2664. DOI: 10.1046/j.1365-2664.2002.00746.x
- 100. HŮLBER**, Karl et al. Ecological differentiation, lack of hybrids involving diploids, and asymmetric gene flow between polyploids in narrow contact zones of *Senecio carniolicus* (syn. *Jacobaea carniolica*, Asteraceae). *Ecology and Evolution*. 2015, roč. 5, č. 6, s. 1224–1234. ISSN 2045-7758. DOI: 10.1002/ece3.1430
- 101. HUSBAND**, Brian, Sarah BALDWIN a and SUDA. The Incidence of Polyploidy in Natural Plant Populations: Major Patterns and Evolutionary Processes. In: *Plant Genome Diversity*. 2. 2013, s. 255–276. ISBN 978-3-7091-1159-8. DOI: 10.1007/978-3-7091-1160-4_16
- 102. HUSBAND**, Brian C. et al. Mating Consequences of Polyploid Evolution in Flowering Plants: Current Trends and Insights from Synthetic Polyploids. *International Journal of Plant Sciences*. The University of Chicago Press, 2008, roč. 169, č. 1, s. 195–206. ISSN 1058-5893. DOI: 10.1086/523367
- 103. HUSTON**, Michael A. *Biological Diversity: The Coexistence of Species*. Cambridge University Press, 1994. ISBN 978-0-521-36930-5.
- 104. CHAN**, Jason C. S., Mark K. J. OOI a Lydia K. GUJA. Polyploidy but Not Range Size Is Associated With Seed and Seedling Traits That Affect Performance of Pomaderris Species. *Frontiers in Plant Science*. *Frontiers*, 2022, roč. 12. ISSN 1664-462X. DOI: 10.3389/fpls.2021.779651
- 105. CHEPTOU**, Pierre-Olivier a Lyz G. AVENDAÑO V. Pollination processes and the Allee effect in highly fragmented populations: consequences for the mating system in urban environments. *New Phytologist*. 2006, roč. 172, č. 4, s. 774–783. ISSN 1469-8137. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2006.01880.x
- 106. CHYTRÝ**, Milan, ed. *Vegetace České republiky =: Vegetation of the Czech Republic*. Vyd. 1. vyd. Praha: Academia, 2007. ISBN 978-80-200-1462-7.
- 107. IKBAL** et al. Chapter 3 - Multilegume biofertilizer: a dream. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 35–45. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00003-1
- 108. IKEUCHI**, Momoko, Bart RYMEN a Keiko SUGIMOTO. How do plants transduce wound signals to induce tissue repair and organ regeneration? *Current Opinion in Plant Biology*. 2020, roč. 57, s. 72–77. ISSN 1369-5266. DOI: 10.1016/j.pbi.2020.06.007
- 109. IWASE**, Akira et al. WIND1 Promotes Shoot Regeneration through Transcriptional Activation of ENHANCER OF SHOOT REGENERATION1 in Arabidopsis. *The Plant Cell*. 2017, roč. 29, č. 1, s. 54–69. ISSN 1040-4651. DOI: 10.1105/tpc.16.00623
- 110. JAFFE**, M. J. Thigmomorphogenesis: A Detailed Characterization of the Response of Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to Mechanical Stimulation. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie*. 1976, roč. 77, č. 5, s. 437–453. ISSN 0044-328X. DOI: 10.1016/S0044-328X(76)80017-7
- 111. JIAO**, Yuannian et al. Ancestral polyploidy in seed plants and angiosperms. *Nature*. Nature Publishing Group, 2011, roč. 473, č. 7345, s. 97–100. ISSN 1476-4687. DOI: 10.1038/nature09916
- 112. OHNSON**, Keith A. et al. Arabidopsis thaliana Responses to Mechanical Stimulation Do Not Require ETR1 or EIN21. *Plant Physiology*. 1998, roč. 116, č. 2, s. 643–649. ISSN 0032-0889. DOI: 10.1104/pp.116.2.643
- 113. JONES**, Russell S. a Cary A. MITCHELL. Calcium ion involvement in growth inhibition of mechanically stressed soybean (*Glycine max*) seedlings. *Physiologia Plantarum*. 1989, roč. 76, č. 4, s. 598–602. ISSN 1399-3054. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1989.tb05485.x
- 114. KAUR**, Gurdeep. Chapter 15 - Microbial phytases in plant minerals acquisition. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 185–194. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00016-X
- 115. KAZEMALILOU**, Solmaz et al. Chapter 9 - Insight into plant-bacteria-fungi interactions to improve plant performance via remediation of heavy metals: an overview. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 123–132. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00010-9

- 116. KHARE**, Ekta, Swati TYAGI a Kishor Sureshbhai PATIL. Chapter 5 - Language of plant-microbe-microbe interactions in rhizospheric ecosystems. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 59–76. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00005-5
- 117. KIMBROUGH**, Jeffery M. et al. The Fast and Transient Transcriptional Network of Gravity and Mechanical Stimulation in the Arabidopsis Root Apex. *Plant Physiology*. 2004, roč. 136, č. 1, s. 2790–2805. ISSN 0032-0889. DOI: 10.1104/pp.104.044594
- 118. KIRST**, Matias et al. Coordinated Genetic Regulation of Growth and Lignin Revealed by Quantitative Trait Locus Analysis of cDNA Microarray Data in an Interspecific Backcross of Eucalyptus. *Plant Physiology*. 2004, roč. 135, č. 4, s. 2368–2378. ISSN 0032-0889. DOI: 10.1104/pp.103.037960
- 119. KLIMEŠ**, Leoš a Jitka KLIMEŠOVÁ. The effects of mowing and fertilization on carbohydrate reserves and regrowth of grasses: do they promote plant coexistence in species-rich meadows? In: STUEFER, J. F. et al., eds. *Ecology and Evolutionary Biology of Clonal Plants: Proceedings of Clone-2000. An International Workshop held in Obergurgl, Austria, 20–25 August 2000*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2002, s. 141–160. ISBN 978-94-017-1345-0. DOI: 10.1007/978-94-017-1345-0_8
- 120. KLOTH**, Karen J. a Marcel DICKE. Rapid systemic responses to herbivory. *Current Opinion in Plant Biology*. 2022, roč. 68, s. 102242. ISSN 1369-5266. DOI: 10.1016/j.pbi.2022.102242
- 121. KO**, Jae-Heung et al. Plant Body Weight-Induced Secondary Growth in Arabidopsis and Its Transcription Phenotype Revealed by Whole-Transcriptome Profiling. *Plant Physiology*. 2004, roč. 135, č. 2, s. 1069–1083. ISSN 0032-0889. DOI: 10.1104/pp.104.038844
- 122. KOLÁŘ**, Filip et al. Mixed-Ploidy Species: Progress and Opportunities in Polyploid Research. *Trends in Plant Science*. 2017, roč. 22, č. 12, s. 1041–1055. ISSN 1878-4372. DOI: 10.1016/j.tplants.2017.09.011
- 123. KONG**, Dexin et al. A comparative study of the dynamic accumulation of polyphenol components and the changes in their antioxidant activities in diploid and tetraploid *Lonicera japonica*. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2017, roč. 112, s. 87–96. ISSN 0981-9428. DOI: 10.1016/j.plaphy.2016.12.027
- 124. KOSTOFF**, Dontcho a James KENDALL. Irregular meiosis in *Lycium halimifolium* Mill. Produced by gall mites (Eriophyes). *Journal of Genetics*. 1929, roč. 21, č. 1, s. 113–115. ISSN 0022-1333. DOI: 10.1007/BF02983362
- 125. KOUHEN**, Mohamed et al. The Course of Mechanical Stress: Types, Perception, and Plant Response. *Biology*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2023, roč. 12, č. 2, s. 217. ISSN 2079-7737. DOI: 10.3390/biology12020217
- 126. KOWARIK**, Ingo. Some responses of flora and vegetation to urbanization in Central Europe. In: *Urban ecology*. 1990, s. 45–75.
- 127. KUDLA**, Jörg et al. Advances and current challenges in calcium signaling. *New Phytologist*. 2018, roč. 218, č. 2, s. 414–431. ISSN 1469-8137. DOI: 10.1111/nph.14966
- 128. KUMAR**, Puneet et al. Chromosome numbers, characterization of chromosomal pairing during meiosis, origin and natural propagation in polyploid cytotypes (4x, 5x and 6x) of *Agrimonia eupatoria* L. (Rosaceae) in northwest Himalayas (India). *Protoplasma*. 2014, roč. 251, č. 4, s. 781–795. ISSN 1615-6102. DOI: 10.1007/s00709-013-0581-0
- 129. KUMAR**, Surender, Reenu KUMARI a Vipin HALLAN. Chapter 14 - Beneficial role of viruses in plants. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 179–184. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00015-8
- 130. KUMARI**, Indu et al. Tripartite interactions between plants, trichoderma and the pathogenic fungi. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 391–401. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00032-8
- 131. KUMARI**, Nidhi a S. SRIVIDHYA. Chapter 24 - Secondary metabolites and lytic tool box of trichoderma and their role in plant health. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 305–320. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00025-0
- 132. KUNG**, Ching. A possible unifying principle for mechanosensation. *Nature*. Nature Publishing Group, 2005, roč. 436, č. 7051, s. 647–654. ISSN 1476-4687. DOI: 10.1038/nature03896
- 133. KUSS**, Fred R. A review of major factors influencing plant responses to recreation impacts. *Environmental Management*. 1986, roč. 10, č. 5, s. 637–650. ISSN 1432-1009. DOI: 10.1007/BF01866768
- 134. LANDOLT**, Elias. Some results of a floristic inventory within the city of Zürich (1984-1998).
- 135. LAWSON**, Tracy a Michael R. BLATT. Stomatal Size, Speed, and Responsiveness Impact on Photosynthesis and Water Use Efficiency. *Plant Physiology*. 2014, roč. 164, č. 4, s. 1556–1570. ISSN 0032-0889. DOI: 10.1104/pp.114.237107
- 136. LEE**, Hyo-Jun a Pil Joon SEO. Ca²⁺-talyzing Initial Responses to Environmental Stresses. *Trends in Plant Science*. 2021, roč. 26, č. 8, s. 849–870. ISSN 1360-1385. DOI: 10.1016/j.tplants.2021.02.007
- 137. LEITCH**, Andrew a Ilia LEITCH. Leitch AR, Leitch IJ.. Genomic plasticity and the diversity of polyploid plants. *Science* 320: 481-483. *Science (New York, N.Y.)*. 2008, roč. 320, s. 481–3. DOI: 10.1126/science.1153585
- 138. LEVIN**, Donald A. Minority Cytotype Exclusion in Local Plant Populations. *Taxon*. International Association for Plant Taxonomy (IAPT), 1975, roč. 24, č. 1, s. 35–43. ISSN 0040-0262. DOI: 10.2307/1218997

- 139. LEVIN**, Donald A a Douglas E SOLTIS. Factors promoting polyploid persistence and diversification and limiting diploid speciation during the K–Pg interlude. *Current Opinion in Plant Biology*. 2018, roč. 42, s. 1–7. ISSN 1369-5266. DOI: 10.1016/j.pbi.2017.09.010
- 140. LI**, Meng et al. Multiple responses contribute to the enhanced drought tolerance of the autotetraploid *Ziziphus jujuba* Mill. var. *spinosa*. *Cell & Bioscience*. 2021, roč. 11, č. 1, s. 119. ISSN 2045-3701. DOI: 10.1186/s13578-021-00633-1
- 141. LI**, Mingjuan et al. Deciphering the physiological and molecular mechanisms for copper tolerance in autotetraploid *Arabidopsis*. *Plant Cell Reports*. 2017, roč. 36, č. 10, s. 1585–1597. ISSN 1432-203X. DOI: 10.1007/s00299-017-2176-2
- 142. LI**, Wan-Liang, Graeme P. BERLYN a P. Mark S. ASHTON. Polyploids and their Structural and Physiological Characteristics Relative to Water Deficit in *Betula papyrifera* (Betulaceae). *American Journal of Botany*. Botanical Society of America, 1996, roč. 83, č. 1, s. 15–20. ISSN 0002-9122. DOI: 10.2307/2445949
- 143. LI**, Wenlong et al. Effects of Different Grazing Disturbances on the Plant Diversity and Ecological Functions of Alpine Grassland Ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Frontiers in Plant Science*. *Frontiers*, 2021, roč. 12. ISSN 1664-462X. DOI: 10.3389/fpls.2021.765070
- 144. LIDDLE**, M. J. A selective review of the ecological effects of human trampling on natural ecosystems. *Biological Conservation*. 1975, roč. 7, č. 1, s. 17–36. ISSN 0006-3207. DOI: 10.1016/0006-3207(75)90028-2
- 145. LINTILHAC**, Philip a Thompson VESECKY. Stress-induced alignment of division plane in plant-tissues Grown-Invitro. *Nature*. 1984, roč. 307. DOI: 10.1038/307363a0
- 146. LITTLEMORE**, James a Susan BARKER. The ecological response of forest ground flora and soils to experimental trampling in British urban woodlands. *Urban Ecosystems*. 2001, roč. 5, č. 4, s. 257–276. ISSN 1573-1642. DOI: 10.1023/A:1025639828427
- 147. LIU**, Beibei a Genlou SUN. microRNAs contribute to enhanced salt adaptation of the autopolyploid *Hordeum bulbosum* compared with its diploid ancestor. *The Plant Journal*. 2017, roč. 91, č. 1, s. 57–69. ISSN 1365-313X. DOI: 10.1111/tpj.13546
- 148. LIU**, Siyu et al. In vitro induced tetraploid of *Dendranthema nankingense* (Nakai) Tzvel. shows an improved level of abiotic stress tolerance. *Scientia Horticulturae*. 2011, roč. 127, č. 3, s. 411–419. ISSN 0304-4238. DOI: 10.1016/j.scienta.2010.10.012
- 149. LIU**, Zengyu, Staffan PERSSON a Clara SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ. At the border: the plasma membrane–cell wall continuum. *Journal of Experimental Botany*. 2015, roč. 66, č. 6, s. 1553–1563. ISSN 0022-0957. DOI: 10.1093/jxb/erv019
- 150. LOPEZ**, David et al. Early transcriptional response to gravistimulation in poplar without phototropic confounding factors. *AoB PLANTS*. 2021, roč. 13, č. 1, s. plaa071. ISSN 2041-2851. DOI: 10.1093/aobpla/plaa071
- 151. LOSOSOVÁ**, Zdeňka a Jiří DANIHELKA. Proč je flóra velkoměst pestrá. Praha: Živa, 2014, s. 278-281. ISSN 0044-4812.
- 152. LOSOSOVÁ**, Zdeňka et al. Patterns of plant traits in annual vegetation of man-made habitats in central Europe. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. 2006, roč. 8, č. 2, s. 69–81. ISSN 1433-8319. DOI: 10.1016/j.ppees.2006.07.001
- 153. LU**, Shanfa et al. Novel and Mechanical Stress–Responsive MicroRNAs in *Populus trichocarpa* That Are Absent from *Arabidopsis*. *The Plant Cell*. 2005, roč. 17, č. 8, s. 2186–2203. ISSN 1040-4651. DOI: 10.1105/tpc.105.033456
- 154. MACARTHUR**, Robert H. a Edward O. WILSON. *The Theory of Island Biogeography* [online]. REV-Revised. vyd. Princeton University Press, 1967. ISBN 978-0-691-08836-5.
- 155. MADLUNG**, Andreas, Friedrich J. BEHRINGER a Terri L. LOMAX. Ethylene Plays Multiple Nonprimary Roles in Modulating the Gravitropic Response in Tomato1. *Plant Physiology*. 1999, roč. 120, č. 3, s. 897–906. ISSN 0032-0889. DOI: 10.1104/pp.120.3.897
- 156. MADLUNG**, Andreas et al. Remodeling of DNA Methylation and Phenotypic and Transcriptional Changes in Synthetic *Arabidopsis* Allotetraploids. *Plant Physiology*. 2002, roč. 129, č. 2, s. 733–746. ISSN 0032-0889. DOI: 10.1104/pp.003095
- 157. MAHERALI**, Hafiz, Alison E. WALDEN a Brian C. HUSBAND. Genome duplication and the evolution of physiological responses to water stress. *New Phytologist*. 2009, roč. 184, č. 3, s. 721–731. ISSN 1469-8137. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2009.02997.x
- 158. MANDÁKOVÁ**, Terezie a Martin A LYSAK. Post-polyploid diploidization and diversification through dysploid changes. *Current Opinion in Plant Biology*. 2018, roč. 42, s. 55–65. ISSN 1369-5266. DOI: 10.1016/j.pbi.2018.03.001
- 159. MANNING**, J. T. a D. P. E. DICKSON. Asexual reproduction, polyploidy and optimal mutation rates. *Journal of Theoretical Biology*. 1986, roč. 118, č. 4, s. 485–489. ISSN 0022-5193. DOI: 10.1016/S0022-5193(86)80166-7
- 160. MATHEW**, I. et al. Variance components and heritability of traits related to root: shoot biomass allocation and drought tolerance in wheat. *Euphytica*. 2018, roč. 214, č. 12, s. 225. ISSN 1573-5060. DOI: 10.1007/s10681-018-2302-4
- 161. MATTINGLY**, Kali Z a Stephen M HOVICK. Autopolyploids of *Arabidopsis thaliana* are more phenotypically plastic than their diploid progenitors. *Annals of Botany*. 2023, roč. 131, č. 1, s. 45–58. ISSN 0305-7364. DOI: 10.1093/aob/mcab081

- 162. MCCOLLUM**, Gilbert D. Comparative studies of chromosome pairing in natural and induced tetraploid dactylis. *Chromosoma*. 1957, roč. 9, č. 1, s. 571–605. ISSN 1432-0886. DOI: 10.1007/BF02568094
- 163. MCINTYRE**, Patrick J. Polyploidy associated with altered and broader ecological niches in the *Claytonia perfoliata* (Portulacaceae) species complex. *American Journal of Botany*. 2012, roč. 99, č. 4, s. 655–662. ISSN 1537-2197. DOI: 10.3732/ajb.1100466
- 164. MEAGHER**, Thomas R. a Denise E. COSTICH. Sexual Dimorphism in Nuclear DNA Content and Floral Morphology in Populations of *Silene latifolia* (Caryophyllaceae). *American Journal of Botany*. Botanical Society of America, 1994, roč. 81, č. 9, s. 1198–1204. ISSN 0002-9122. DOI: 10.2307/2445482
- 165. MEHLFERBER**, Elijah C. et al. Polyploidy and microbiome associations mediate similar responses to pathogens in *Arabidopsis*. *Current Biology*. Elsevier, 2022, roč. 32, č. 12, s. 2719–2729.e5. ISSN 0960-9822. DOI: 10.1016/j.cub.2022.05.015
- 166. MENG**, Shawn X. et al. Preventing crown collisions increases the crown cover and leaf area of maturing lodgepole pine. *Journal of Ecology*. 2006, roč. 94, č. 3, s. 681–686. ISSN 1365-2745. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2006.01121.x
- 167. MENSUALI**, Anna et al. Ethylene response to mechanical stress perturbation of *Salvia splendens* L. potted plants. *Acta Horticulturae*. 2006, roč. 723, s. 421–426. DOI: 10.17660/ActaHortic.2006.723.59
- 168. VAN MOERKERCKE**, Alex et al. A MYC2/MYC3/MYC4-dependent transcription factor network regulates water spray-responsive gene expression and jasmonate levels. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2019, roč. 116, č. 46, s. 23345–23356. ISSN 1091-6490. DOI: 10.1073/pnas.1911758116
- 169. MOLISZEWSKA**, Ewa B. a Małgorzata NABRDALIK. Chapter 6 - Application and biological impact of endophytic bacteria as IAA producers. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 77–87. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00007-9
- 170. MOURA**, Renan Fernandes et al. Polyploidy and high environmental tolerance increase the invasive success of plants. *Journal of Plant Research*. 2021, roč. 134, č. 1, s. 105–114. ISSN 1618-0860. DOI: 10.1007/s10265-020-01236-6
- 171. NAKAHAMA**, Naoyuki et al. Timing of mowing influences genetic diversity and reproductive success in endangered semi-natural grassland plants. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2016, roč. 221, s. 20–27. ISSN 0167-8809. DOI: 10.1016/j.agee.2016.01.029
- 172. NIKLAS**, KARL J. Differences between *Acer saccharum* Leaves from Open and Wind-Protected Sites. *Annals of Botany*. 1996, roč. 78, č. 1, s. 61–66. ISSN 0305-7364. DOI: 10.1006/anbo.1996.0096
- 173. OGAWA-OHNISHI**, Mari et al. Peptide ligand-mediated trade-off between plant growth and stress response. *Science*. American Association for the Advancement of Science, 2022, roč. 378, č. 6616, s. 175–180. DOI: 10.1126/science.abq5735
- 174. OUSTRIC**, Julie et al. Nutrient Deficiency Tolerance in Citrus Is Dependent on Genotype or Ploidy Level. *Frontiers in Plant Science*. Frontiers, 2019, roč. 10. ISSN 1664-462X. DOI: 10.3389/fpls.2019.00127
- 175. OVERVOORDE**, Paul J. et al. Functional Genomic Analysis of the AUXIN/INDOLE-3-ACETIC ACID Gene Family Members in *Arabidopsis thaliana* [W]. *The Plant Cell*. 2005, roč. 17, č. 12, s. 3282–3300. ISSN 1040-4651. DOI: 10.1105/tpc.105.036723
- 176. PANPATTE**, Deepak G., Yogeshvari K. JHALA a Rajababu V. VYAS. Chapter 10 - Signaling pathway of induced systemic resistance. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 133–141. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00011-0
- 177. PARISOD**, Christian a Olivier BROENNIMANN. Towards unified hypotheses of the impact of polyploidy on ecological niches. *New Phytologist*. 2016, roč. 212, č. 3, s. 540–542. ISSN 1469-8137. DOI: 10.1111/nph.14133
- 178. PARK**, Kyungtae et al. Dormancy Characteristics of *Euphorbia maculata* L. Seeds and Strategies for Their Effective Germination. *Horticulturae*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2023, roč. 9, č. 9, s. 990. ISSN 2311-7524. DOI: 10.3390/horticulturae9090990
- 179. PARR**, T. W. a J. M. WAY. Management of Roadside Vegetation: The Long-Term Effects of Cutting. *Journal of Applied Ecology*. [British Ecological Society, Wiley], 1988, roč. 25, č. 3, s. 1073–1087. ISSN 0021-8901. DOI: 10.2307/2403767
- 180. PATEL**, Jai Singh et al. Chapter 16 - PGPR secondary metabolites: an active syrup for improvement of plant health. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 195–208. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00017-1
- 190. PATEL**, Zalak M., Rita MAHAPATRA a Siva Satya Mohan JAMPALA. Chapter 11 - Role of fungal elicitors in plant defense mechanism. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 143–158. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00012-2
- 191. PAUL-VICTOR**, Cloé a Nick ROWE. Effect of mechanical perturbation on the biomechanics, primary growth and secondary tissue development of inflorescence stems of *Arabidopsis thaliana*. *Annals of Botany*. 2011, roč. 107, č. 2, s. 209–218. ISSN 0305-7364. DOI: 10.1093/aob/mcq227

- 192. PÉCRIX**, Yann et al. Polyploidization mechanisms: temperature environment can induce diploid gamete formation in *Rosa* sp. *Journal of Experimental Botany*. 2011, roč. 62, č. 10, s. 3587–3597. ISSN 0022-0957. DOI: 10.1093/jxb/err052
- 193. PERBAL**, Gérald et al. The dose–response curve of the gravitropic reaction: a re-analysis. *Physiologia Plantarum*. 2002, roč. 114, č. 3, s. 336–342. ISSN 1399-3054. DOI: 10.1034/j.1399-3054.2002.1140302.x
- 194. PIANKA**, Eric R. On r- and K-Selection. *The American Naturalist*. [University of Chicago Press, American Society of Naturalists], 1970, roč. 104, č. 940, s. 592–597. ISSN 0003-0147.
- 195. PIGLIUCCI**, Massimo. Touchy and Bushy: Phenotypic Plasticity and Integration in Response to Wind Stimulation in *Arabidopsis thaliana*. *International Journal of Plant Sciences*. The University of Chicago Press, 2002, roč. 163, č. 3, s. 399–408. ISSN 1058-5893. DOI: 10.1086/339158
- 196. PLESNÍK**, Jan. Jak rostliny reagují na sešlapování vegetace v různých biotopech. *Živa*, 1/2005
- 197. POMPIÈS**, Lise et al. Poplar stem transcriptome is massively remodelled in response to single or repeated mechanical stimuli. *BMC Genomics*. 2017, roč. 18, č. 1, s. 300. ISSN 1471-2164. DOI: 10.1186/s12864-017-3670-1
- 198. PRABHU KARTHIKEYAN**, S. R. et al. Chapter 28 - Understanding the molecular basis of the tripartite interaction between host-pathogen-bioagent through proteomic approach. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 361–365. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00029-8
- 199. PRACH**, Karel a Petr PYŠEK. How Do Species Dominating in Succession Differ from Others? *Journal of Vegetation Science*. Wiley, 1999, roč. 10, č. 3, s. 383–392. ISSN 1100-9233. DOI: 10.2307/3237067
- 200. PRUYN**, Michele L., Benjamin J. EWERS III a Frank W. TELEWSKI. Thigmomorphogenesis: changes in the morphology and mechanical properties of two *Populus* hybrids in response to mechanical perturbation. *Tree Physiology*. 2000, roč. 20, č. 8, s. 535–540. ISSN 0829-318X. DOI: 10.1093/treephys/20.8.535
- 201. PUIJALON**, Sara et al. Plant resistance to mechanical stress: evidence of an avoidance–tolerance trade-off. *New Phytologist*. 2011, roč. 191, č. 4, s. 1141–1149. ISSN 1469-8137. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2011.03763.x
- 202. PYŠEK**, Petr. Archeofyty a neofyty v ruderalní flóře některých sídlišť v Čechách.
- 203. QUADRANA**, Leandro et al. Transposition favors the generation of large effect mutations that may facilitate rapid adaption. *Nature Communications*. Nature Publishing Group, 2019, roč. 10, č. 1, s. 3421. ISSN 2041-1723. DOI: 10.1038/s41467-019-11385-5
- 204. RAMSEY**, Justin. Polyploidy and ecological adaptation in wild yarrow. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2011, roč. 108, č. 17, s. 7096–7101. DOI: 10.1073/pnas.1016631108
- 205. RAWALE**, Kanwardeep S., Muhammad A. KHAN a Kulvinder S. GILL. The novel function of the Ph1 gene to differentiate homologs from homoeologs evolved in *Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides* via a dramatic meiosis-specific increase in the expression of the 5B copy of the C-Ph1 gene. *Chromosoma*. 2019, roč. 128, č. 4, s. 561–570. ISSN 1432-0886. DOI: 10.1007/s00412-019-00724-6
- 206. RAZA**, Waseem a Qirong SHEN. Chapter 17 - Volatile organic compounds mediated plant-microbe interactions in soil. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 209–219. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00018-3
- 207. REBELE**, Franz. *Urban Ecology and Special Features of Urban Ecosystems*. *Global Ecology and Biogeography Letters*. Wiley, 1994, roč. 4, č. 6, s. 173–187. ISSN 0960-7447. DOI: 10.2307/2997649
- 208. REJLOVÁ**, Ludmila et al. Polyploid evolution: The ultimate way to grasp the nettle. *PLOS ONE*. *Public Library of Science*, 2019, roč. 14, č. 7, s. e0218389. ISSN 1932-6203. DOI: 10.1371/journal.pone.0218389
- 209. RENNY-BYFIELD**, Simon a Jonathan F. WENDEL. Doubling down on genomes: Polyploidy and crop plants. *American Journal of Botany*. 2014, roč. 101, č. 10, s. 1711–1725. ISSN 1537-2197. DOI: 10.3732/ajb.1400119
- 210. RICE**, Anna et al. The global biogeography of polyploid plants. *Nature Ecology & Evolution*. Nature Publishing Group, 2019, roč. 3, č. 2, s. 265–273. ISSN 2397-334X. DOI: 10.1038/s41559-018-0787-9
- 211. RICKARD**, Warren E. a Jerry BROWN. *Effects of Vehicles on Arctic Tundra*. *Environmental Conservation*. Cambridge University Press, 1974, roč. 1, č. 1, s. 55–62. ISSN 0376-8929.
- 212. RIKLI**, M. *Die Anthropochoren und der Formenkreis des Nasturtium palustre DC.* . [object Object], 1903. DOI: 10.5169/SEALS-13224
- 213. RUELLE**, Julien. Morphology, Anatomy and Ultrastructure of Reaction Wood. In: GARDINER, Barry et al., eds. *The Biology of Reaction Wood*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2014, s. 13–35. ISBN 978-3-642-10814-3. DOI: 10.1007/978-3-642-10814-3_2
- 214. SAGHAFI**, Davood, Behnam ASGARI LAJAYER a Mansour GHORBANPOUR. Chapter 21 - Engineering bacterial ACC deaminase for improving plant productivity under stressful conditions. In: **215. SHARMA**, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 259–277. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00022-5
- 216. SÁNCHEZ VILAS**, Julia a John R. PANNELL. No difference in plasticity between different ploidy levels in the Mediterranean herb *Mercurialis annua*. *Scientific Reports*. Nature Publishing Group, 2017, roč. 7, č. 1, s. 9484. ISSN 2045-2322. DOI: 10.1038/s41598-017-07877-3

- 217. SAVATIN**, Daniel V. et al. Wounding in the plant tissue: the defense of a dangerous passage. *Frontiers in Plant Science*. 2014, roč. 5, s. 470. ISSN 1664-462X. DOI: 10.3389/fpls.2014.00470
- 218. SCHIPPERS**, Peter et al. Herbaceous plant strategies in disturbed habitats. *Oikos* 95 (2001). 2001, roč. 95. DOI: 10.1034/j.1600-0706.2001.950202.x
- 219. SCHOLZ**, H. Die Veränderungen in der Ruderalflora Berlins Ein Beitrag zur jüngsten Florengeschichte. *Willdenowia*. Botanischer Garten und Botanisches Museum, Berlin-Dahlem, 1960, roč. 2, č. 3, s. 379–397. ISSN 0511-9618.
- 220. SKALICKÁ**, Kamila. Polyploidie dokáže s rostlinnými genomy pořádně zatřást. *Živa*, 2/2005
- 221. SKOOG**, F. a C. O. MILLER. Chemical regulation of growth and organ formation in plant tissues cultured in vitro. *Symposia of the Society for Experimental Biology*. 1957, roč. 11, s. 118–130. ISSN 0081-1386.
- 222. SLAVÍK**, B. Květena České republiky 6. *Academia*, 2000.
- 223. SLAVÍK**, B., J. ŠTĚPÁNKOVÁ. Květena České republiky 7. *Academia*, 2004.
- 224. SMITH**, Annabel, Russell BARRETT a Richard MILNER. Annual mowing maintains plant diversity in threatened temperate grasslands. *Applied Vegetation Science*. 2018, roč. 21. DOI: 10.1111/avsc.12365
- 225. SOARES**, Filipe Elias de Freitas, Patrícia Silva GÔLO a Éverton Kort Kamp FERNANDES. Chapter 23 - Nematophagous and entomopathogenic fungi: new insights into the beneficial fungus-plant interaction. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 295–304. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00024-9
- 226. SONG**, Can et al. Polyploid organisms. *Science China Life Sciences*. 2012, roč. 55, č. 4, s. 301–311. ISSN 1869-1889. DOI: 10.1007/s11427-012-4310-2
- 227. SORA**, D., P. KRON a B. C. HUSBAND. Genetic and environmental determinants of unreduced gamete production in *Brassica napus*, *Sinapis arvensis* and their hybrids. *Heredity*. Nature Publishing Group, 2016, roč. 117, č. 6, s. 440–448. ISSN 1365-2540. DOI: 10.1038/hdy.2016.69
- 228. SRIVIDHYA**, S. et al. Chapter 22 - Role of rhizobacteria in alleviating salt stress. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 279–294. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00023-7
- 229. STEBBINS**, G. Ledyard. Cytological Characteristics Associated with the Different Growth Habits in the Dicotyledons. *American Journal of Botany*. Botanical Society of America, 1938, roč. 25, č. 3, s. 189–198. ISSN 0002-9122. DOI: 10.2307/2436589
- 230. SU**, Ying Hua a Xian Sheng ZHANG. Chapter Two - The Hormonal Control of Regeneration in Plants. In: GALLIOT, Brigitte, ed. *Current Topics in Developmental Biology*. 108. Academic Press, 2014, s. 35–69. Mechanisms of Regeneration. DOI: 10.1016/B978-0-12-391498-9.00010-3
- 231. SUGIMOTO**, Kaoru, Sean P. GORDON a Elliot M. MEYEROWITZ. Regeneration in plants and animals: dedifferentiation, transdifferentiation, or just differentiation? *Trends in Cell Biology*. 2011, roč. 21, č. 4, s. 212–218. ISSN 0962-8924. DOI: 10.1016/j.tcb.2010.12.004
- 232. SUKOPP**, Herbert a Hildemar SCHOLZ. Herkunft der Unkräuter. *Osnabrücker naturwissenschaftliche Mitteilungen : Veröffentlichungen des Naturwissenschaftlichen Vereins Osnabrück*. Museum am Schölerberg Natur und Umwelt, 1997, roč. 23, s. 327–333. ISSN 0340-4781.
- 233. SUN**, Dan. Trampling resistance, recovery and growth rate of eight plant species. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 1992, roč. 38, č. 4, s. 265–273. ISSN 0167-8809. DOI: 10.1016/0167-8809(92)90150-A
- 234. SUN**, Dan a M. J. LIDDLE. Trampling resistance, stem flexibility and leaf strength in nine Australian grasses and herbs. *Biological Conservation*. 1993, roč. 65, č. 1, s. 35–41. ISSN 0006-3207. DOI: 10.1016/0006-3207(93)90194-6
- 235. ŠEMBEROVÁ**, Kristýna et al. Morphological and environmental differentiation as prezygotic reproductive barriers between parapatric and allopatric *Campanula rotundifolia* agg. cytotypes. *Annals of Botany*. 2021, roč. 131, č. 1, s. 71–86. ISSN 0305-7364. DOI: 10.1093/aob/mcab123
- 236. TAKANO**, Mamoru, Hideyuki TAKAHASHI a Hiroshi SUGE. Mechanical Stress and Gibberellin: Regulation of Hollowing Induction in the Stem of a Bean Plant, *Phaseolus vulgaris* L. *Plant and Cell Physiology*. 1995, roč. 36, č. 1, s. 101–108. ISSN 0032-0781. DOI: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a078725
- 237. TANAKA**, Yu et al. Enhancement of leaf photosynthetic capacity through increased stomatal density in *Arabidopsis*. *New Phytologist*. 2013, roč. 198, č. 3, s. 757–764. ISSN 1469-8137. DOI: 10.1111/nph.12186
- 238. TELEWSKI**, F. W. a M. J. JAFFE. Thigmomorphogenesis: field and laboratory studies of *Abies fraseri* in response to wind or mechanical perturbation. *Physiologia Plantarum*. 1986, roč. 66, s. 211–218. ISSN 0031-9317. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1986.tb02411.x
- 239. THOMAS**, Chris. Rapid acceleration of plant speciation during the Anthropocene. *Trends in ecology & evolution*. 2015, roč. 30. DOI: 10.1016/j.tree.2015.05.009
- 240. THOMPSON**, John N et al. Plant Polyploidy and Insect/Plant Interactions. *The American naturalist*. 1998, roč. 150, s. 730–743. DOI: 10.1086/286091
- 241. THOMPSON**, Ken A., Loren H. RIESEBERG a Dolph SCHLUTER. Speciation and the City. *Trends in Ecology & Evolution*. 2018, roč. 33, č. 11, s. 815–826. ISSN 0169-5347. DOI: 10.1016/j.tree.2018.08.007
- 242. TOSSI**, Vanesa E. et al. Impact of polyploidy on plant tolerance to abiotic and biotic stresses. *Frontiers in Plant Science*. *Frontiers*, 2022, roč. 13. ISSN 1664-462X. DOI: 10.3389/fpls.2022.869423

- 243. TOYOTA**, Masatsugu a Simon GILROY. Gravitropism and mechanical signaling in plants. *American Journal of Botany*. 2013, roč. 100, č. 1, s. 111–125. ISSN 1537-2197. DOI: 10.3732/ajb.1200408
- 244. TSUKAYA**, Hirokazu. Controlling Size in Multicellular Organs: Focus on the Leaf. *PLOS Biology*. Public Library of Science, 2008, roč. 6, č. 7, s. e174. ISSN 1545-7885. DOI: 10.1371/journal.pbio.0060174
- 245. TURCOTTE**, Martin M et al. Neopolyploidy increases stress tolerance and reduces fitness plasticity across multiple urban pollutants: support for the “general-purpose” genotype hypothesis. *Evolution Letters*. 2024, s. qrad072. ISSN 2056-3744. DOI: 10.1093/evlett/qrad072
- 246. UDDIN**, Md. Kamal et al. Purslane Weed (*Portulaca oleracea*): A Prospective Plant Source of Nutrition, Omega-3 Fatty Acid, and Antioxidant Attributes. *The Scientific World Journal*. 2014, roč. 2014, s. 951019. ISSN 2356-6140. DOI: 10.1155/2014/951019
- 247. VAN DE PEER**, Yves et al. Polyploidy: an evolutionary and ecological force in stressful times. *The Plant Cell*. 2021, roč. 33, č. 1, s. 11–26. ISSN 1040-4651. DOI: 10.1093/plcell/koaa015
- 248. VAN DRUNEN**, Wendy E. a Marc T. J. JOHNSON. Polyploidy in urban environments. *Trends in Ecology & Evolution*. 2022, roč. 37, č. 6, s. 507–516. ISSN 1872-8383. DOI: 10.1016/j.tree.2022.02.005
- 249. VANDANA**, Udaya Kumar et al. Chapter 18 - Molecular mechanisms in plant growth promoting bacteria (PGPR) to resist environmental stress in plants. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 221–233. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00019-5
- 250. VÁZQUEZ**, Diego P. a Daniel SIMBERLOFF. Ecological Specialization and Susceptibility to Disturbance: Conjectures and Refutations. *The American Naturalist*. The University of Chicago Press, 2002, roč. 159, č. 6, s. 606–623. ISSN 0003-0147. DOI: 10.1086/339991
- 251. VEILLEUX**, R. E. a F. I. LAUER. Variation for 2n pollen production in clones of *Solanum phureja* Juz. and Buk. *Theoretical and Applied Genetics*. 1981, roč. 59, č. 2, s. 95–100. ISSN 1432-2242. DOI: 10.1007/BF00285897
- 252. VOLKOV**, Alexander G., Tejumade ADESINA a Emil JOVANOVIĆ. Closing of Venus Flytrap by Electrical Stimulation of Motor Cells. *Plant Signaling & Behavior*. Taylor & Francis, 2007, roč. 2, č. 3, s. 139–145. ISSN null. DOI: 10.4161/psb.2.3.4217
- 253. WEST-EBERHARD**, M. J. Phenotypic Plasticity and the Origins of Diversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. Annual Reviews, 1989, roč. 20, č. Volume 20, 1989, s. 249–278. ISSN 1543-592X, 1545-2069. DOI: 10.1146/annurev.es.20.110189.001341
- 254. WILLIAMS**, Nicholas S. G., Amy K. HAHS a Peter A. VESK. Urbanisation, plant traits and the composition of urban floras. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. 2015, roč. 17, č. 1, s. 78–86. ISSN 1433-8319. DOI: 10.1016/j.ppees.2014.10.002
- 255. WISNIEWSKI**, Michael. Recent Advances in Plant Responses to Stress: Bridging the Gap between Science and Technology: Introduction to the Colloquium. *HortScience*. American Society for Horticultural Science, 1996, roč. 31, č. 1, s. 30–31. ISSN 0018-5345, 2327-9834. DOI: 10.21273/HORTSCI.31.1.30
- 256. WITTIG**, Rüdiger. The origin and development of the urban flora of Central Europe. *Urban Ecosystems*. 2004, roč. 7, č. 4, s. 323–329. ISSN 1573-1642. DOI: 10.1007/s11252-005-6833-9
- 257. WRIGHT**, David Hamilton. Species-Energy Theory: An Extension of Species-Area Theory. *Oikos* [JSTOR]. [Nordic Society Oikos, Wiley], 1983, roč. 41, č. 3, s. 496–506. ISSN 00301299, 16000706. DOI: 10.2307/3544109
- 258. WYATT**, Robert, Ireneusz J. ODRZYKOSKI Ann STONEBURNER. Isozyme Evidence of Reticulate Evolution in Mosses: *Plagiomnium medium* is an Allopolyploid of *P. ellipticum* x *P. insigne*. *Systematic Botany*. American Society of Plant Taxonomists, 1992, roč. 17, č. 4, s. 532–550. ISSN 0363-6445. DOI: 10.2307/2419725
- 259. XU**, Yanhao et al. Different patterns of transcriptomic response to high temperature between diploid and tetraploid *Dioscorea zingiberensis* C. H. *African Journal of Biotechnology*. Academic Journals, 2011, roč. 10, č. 44, s. 8847–8854. ISSN 1684-5315. DOI: 10.5897/AJB11.384
- 260. YANG**, Chunwu et al. A newly formed hexaploid wheat exhibits immediate higher tolerance to nitrogen-deficiency than its parental lines. *BMC Plant Biology*. 2018, roč. 18, č. 1, s. 113. ISSN 1471-2229. DOI: 10.1186/s12870-018-1334-1
- 261. YOO**, Chan Yul et al. The Arabidopsis GTL1 Transcription Factor Regulates Water Use Efficiency and Drought Tolerance by Modulating Stomatal Density via Transrepression of SDD1. *The Plant Cell*. 2010, roč. 22, č. 12, s. 4128–4141. ISSN 1040-4651. DOI: 10.1105/tpc.110.078691
- 262. YORKS**, TP et al. Toleration of Traffic by Vegetation: Life Form Conclusions and Summary Extracts from a Comprehensive Database. *Environmental management*. 1997, roč. 21, s. 121–31. DOI: 10.1007/s002679900011
- 263. ZHANG**, Junjie et al. Chapter 19 - Biogeographic distribution of chickpea rhizobia in the world. In: SHARMA, Vivek, Richa SALWAN a Laith Khalil Tawfeeq AL-ANI, eds. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*. Academic Press, 2020, s. 235–239. ISBN 978-0-12-818469-1. DOI: 10.1016/B978-0-12-818469-1.00020-1
- 264. ZHANG**, Minna et al. Experimental impacts of grazing on grassland biodiversity and function are explained by aridity. *Nature Communications*. Nature Publishing Group, 2023, roč. 14, č. 1, s. 5040. ISSN 2041-1723. DOI: 10.1038/s41467-023-40809-6
- 265. ZHANG**, Xiao-Yi, Chun-Gen HU and Jia-Ling YAO. Tetraploidization of diploid *Dioscorea* results in activation of the antioxidant defense system and increased heat tolerance. *Journal of Plant Physiology*. 2010, roč. 167, č. 2, s. 88–94. ISSN 0176-1617. DOI: 10.1016/j.jplph.2009.07.006