VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

STUDIUM VLIVU ROSTLINNÝCH ADAPTOGENŮ NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

STUDY OF THE INFLUENCE OF PLANT ADAPTOGENS ON THE ENVIRONMENT

TEZE DIZERTAČNÍ PRÁCE

SUMMARY OF DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE Ing. Jana Valíčková

AUTHOR

ŠKOLITEL doc. PharmDr. Ing. Radka Opatřilová, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2024

ABSTRAKT
Schisandra chinensis je divoce rostoucí liána pocházející z východní Asie. Je zařazena mezi rostlinné adaptogeny a její plody jsou v současnosti používány pro produkci potravinových doplňků s pozitivními účinky na lidské zdraví díky obsahu různých sekundárních metabolitů. Lignan schisandrin je dominantní bioaktivní látkou v plodech. Na druhou stranu lignany jsou známé pro své alelopatické nebo toxické účinky na jiné organismy (rostliny, zvířata). *S. chinensis* není v evropských ekosystémech přirozenou rostlinou a její ekotoxikologické vlastnosti, zejména v případě její intenzivní zemědělské produkce, nebyly dosud hodnoceny. Pomocí Soxhletovy extrakce byl připraven vodný extrakt z plodů *S. chinensis*, který simuloval přirozené vylouhování aktivních látek ze zralých plodů spadených do vody nebo na půdu. Extrakt byl použit v koncentracích 0,045 až 45 mg/L podle obsahu schisandrinu. Pro testy ekotoxicity byly vybrány modelové organismy *Lemna minor*, *Daphnia magna* a *Thamnocephalus platyurus* reprezentující vodní prostředí a kulturní plodiny *Panicum miliaceum* (jednoděložné) a *Sinapis alba* (dvouděložné) jako zástupci suchozemského prostředí. Během sedmidenní kultivace nízké koncentrace (0,045 a 0,09 mg/L) extraktu z plodů *S. chinensis* nezpůsobily žádné změny v růstových parametrech nebo fotosyntetickém výkonu *L. minor*. Vyšší zatížení (0,45 a 0,9 mg/L) vyvolala signifikantní omezení v počtu rostlin, celkové listové ploše a čerstvé hmotnosti. Fotosyntetické parametry (základní fluorescence chlorofylu, kvantové výtěžky) byly ovlivněny pouze koncentrací 0,9 mg/L. Nejvyšší koncentrace 45 mg/L byla extrémně toxická pro rostliny okřehku a způsobila jejich smrt během prvních pěti dnů kultivace. Efektivní koncentrace (EC_{50}) způsobující 50% letální účinek na *D. magna* byla stanovena na 0,045 mg/L po 24 hodinách a 0,015 mg/L po 48 hodinách. EC_{50} pro *T. platyurus* dosáhla 0,46 mg/L po 24 hodinách, tedy více než desetinásobně vyšší hodnota oproti *D. magna*. V případě suchozemských rostlin byla fytotoxicita extraktu testována na klíčivosti semen a růstu klíčních rostlin *P. miliaceum* a *S. alba*. Pouze nejvyšší koncentrace schisandrinu způsobila inhibici klíčení semen a růstu kořene a nadzemní části u obou druhů. Účinek nízkých koncentrací byl zanedbatelný a přídavek živin nepřispěl významně k potlačení negativního vlivu schisandrinu. Tato práce ukázala, že potenciální environmentálně relevantní koncentrace bioaktivních látek ze *S. chinensis* může představovat vážné riziko pro vodní i suchozemské ekosystémy.

KLÍČOVÁ SLOVA
Schisandra chinensis, ekotoxikologie, adaptogen, lignan, životní prostředí

ABSTRACT
Schisandra chinensis is a wild east-Asian liana plant. It is classified as a plant adaptogen and its fruits are currently used to produce nutrient supplements with positive effects on human health due to the content of various secondary metabolites. Lignan schisandrin is the dominant bioactive compound in fruits. On the other hand, lignans are known for their possible allelopathic or toxic effects concerning other organisms (plants, animals). *S. chinensis* is not native to European ecosystems, and its ecotoxicological properties, especially in the case of its intensive agricultural production, have not been verified yet. Using Soxhlet extraction the crude water extract from *S. chinensis* fruits was prepared to simulate the natural leakage of active substances from ripe fruits fallen into the water or soil. The extract was used in treatments from 0,045 to 45 mg/L according to the content of schisadrin. For ecotoxicity tests, *Lemna minor*, *Daphnia magna*, and *Thamnocephalus platyurus* were selected as suitable model organisms representing the aquatic environment and crops *Panicum miliaceum* (monocot) and *Sinapis alba* (dicot) as representatives from the terrestrial environment. During seven days of cultivation, in low treatments (0,045 and 0,09 mg/L), the extract of *S. chinensis* did not cause any changes in *L. minor* growth parameters or photosynthetic performance. Higher treatments (0,45 and 0,9 mg/L) caused significant limitations in plants' number, total leaf area, and fresh weight. The photosynthetic parameters (basal chlorophyll fluorescence, quantum yields) were affected only by 0,9 mg/L. The highest treatment, 45 mg/L, exhibited extreme toxicity to duckweed plants causing their death during the first five days of cultivation. Effective concentration (EC_{50}) causing 50% lethal effect for *D. magna* was established to 0,045 mg/L after 24 h and 0,015 mg/L after 48 h. EC_{50} for *T. platyurus* reached 0,46 mg/L after 24 h, i.e. more than ten times higher than for *D. magna*. In the case of terrestrial plants the extract´s phytotoxicity was tested based on seed germination and seedling growth of *P. miliaceum* and *S. alba*. Only the highest concentration of schisandrin caused inhibition of seed germination and root and shoot growth in both species. The effect of lower concentrations was negligible, and the addition of nutrients did not contribute considerably to suppressing the negative influence of schisandrin. This work showed that the potential environmentally relevant concentrations of *S. chinensis* bioactive compounds could represent a severe risk for both aquatic and terrestrial ecosystems.

KEYWORDS
Schisandra chinensis, ecotoxicology, adaptogen, lignan, environment

OBSAH

ÚVOD……..……. 5
1 CÍL PRÁCE……...… 7
2 STRUČNÉ SHRNUTÍ TÉMATU…… 8
2.1 Adaptogeny……..... 8
2.2 *Schisandra chinensis*…….….. 9
2.2.1 Taxonomické zařazení rostliny…… 9
2.2.2 Popis rostliny…….….. 9
2.2.3 Výskyt rostliny……. 11
2.2.4 Pěstování…….. 12
2.2.5 Lignany jako sekundární metabolity…… 13
2.2.6 Účinné látky ve *Schisandra chinensis*…….. 14
2.2.7 *Schisandra chinensis* a její využití……... 16
2.3 Ekotoxikologické vlastnosti *Schisandra chinensis*…… 17
3 SEZNÁMENÍ S VÝSLEDKY……... 19
3.1 Test fytotoxicity s *Lemna minor*…….. 19
3.1.1 Růstové parametry rostlin *L. minor*…….. 19
3.1.2 Fotosyntetická aktivita……. 20
3.1.3 Shrnutí výsledků s *Lemna minor*…….. 20
3.2. Akutní test toxicity s *D. magna* a *T. platyurus*…… 21
3.2.1 Výsledky testu toxicity s *D. magna*……... 21
3.2.2 Výsledky akutního testu toxicity s *T. platyurus*……. 22
3.2.3 Shrnutí výsledků s *D. magna* a *T. platyurus*……... 22
3.3 Test fytotoxicity s *Panicum miliaceum* a *Sinapis alba*……. 23
3.3.1 Test klíčivosti semen……. 23
3.3.2 Růst klíčních rostlin……... 23
3.3.3 Shrnutí výsledků s *P. miliaceum* a *S. alba*…… 24
ZÁVĚR……... 25
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ…….. 26
ŽIVOTOPIS……... 33

ÚVOD

Od pradávna lidstvo čerpá přírodní zdroje a udržuje kontinuální interakci s přírodním prostředím. Po tisíciletí usilujeme o překonání různorodých patogenů s cílem udržení optimálního zdravotního stavu a zvýšení fyzické i psychické energie, nezbytné pro efektivní zvládání složitých životních výzev, s nimiž se často setkáváme poprvé a mnohdy postrádáme adekvátní strategie řešení. V této souvislosti hrají klíčovou roli tzv. adaptogeny.

Adaptogeny jsou přírodní látky rostlinného původu, které lidskému organismu pomáhají adaptovat se na stresové podmínky, udržovat normální metabolické procesy a obnovovat rovnováhu. Zvyšují odolnost organismu vůči fyzikálním, biologickým, emocionálním a environmentálním stresorům a podporují obrannou reakci na akutní i chronický stres [1]. Od počátku 21. století lze zaznamenat nárůst zájmu farmaceutických firem i chemiků o oblast přírodních produktů včetně adaptogenů [2]. Poptávka spotřebitelů po takových produktech včetně rostlinných extraktů se v poslední době zvyšuje, a to pro jejich prokazatelně blahodárné účinky na lidské zdraví. Přestože jsou tyto produkty a extrakty přírodními látkami, a tudíž jsou laickou veřejností považovány za ekologické v porovnání s jejich syntetickými náhradami, mohou však být toxické pro necílové organismy [3].

Mezi adaptogeny patří také asijská liána *Schisandra chinensis*. Její bioaktivní látky jsou po staletí prověřeným řešením tradiční medicíny na nespočet lidských nemocí a stresových situací. Velké pozornosti se této rostlině dostává i v současnosti, kdy se zvyšuje poptávka po plodech s vysokým obsahem účinných látek a kvalitních produktech s obsahem tohoto adaptogenu. Rostlina je proto v centru zájmu vědců, kteří zkoumají její složení a také efekty na lidský organismus. Mezi hlavní účinné látky této rostliny patří lignany. Schisandrin je dominantním lignanem v jejích plodech. Existuje celá řada prací, které se zabývají pozitivním vlivem lignanů ze *S. chinensis* na lidské zdraví. Co však může být prospěšné pro člověka, nemusí být vždy přínosem pro okolní životní prostředí. Lignany jsou sekundárními metabolity rostlin a mohou působit alelopaticky na své okolí. Alelopatické vlastnosti rostlin nám ukazují, jak složité jsou interakce mezi rostlinami samotnými a prostředím. Tato problematika není dosud u řady rostlinných druhů detailně prostudována.

Dizertační práce je rozdělena na teoretickou a experimentální část. Teoretická část práce je věnována studiu dostupných dat o rostlinných adaptogenech, včetně vzniku pojmu adaptogen. Součástí je i studium dostupných poznatků o *S. chinensis* jako rostlinného adaptogenu, popisu účinných látek a jejich vlivu na lidský organismus a zvířata a případně jejich další využití, a také je zde uveden stručný přehled metod extrakce a analýz účinných látek. V experimentální části dizertační práce a v přiložených publikovaných článcích jsou výsledky z ekotoxikologického testování různých koncentrací vodného extraktu z plodů *S. chinensis* na vybraných modelových organismech. Tyto byly vybrány tak, aby byla docílena pestrost

testovaných druhů z různých prostředí a aby byly zastoupeny organismy z říše rostlinné i živočišné.

S. chinensis není původním druhem rostliny v Evropě. V současné době se s ní lze setkat v botanických zahradách nebo v zahradách drobných pěstitelů, kde roste jako solitérní liána, často v blízkosti zahradních jezírek. Zájem o tuto rostlinu a její plody se však zvyšuje i mimo místo jejího původního výskytu. Tímto místem je Dálný východ Asie, kde roste divoce v lesích, a kde jsou její plody ručně sbírány. V některých oblastech Asie je pěstována i plantážně pro větší produkci plodů. V současné době je však nedostatek vědeckých dat a poznatků o ekotoxikologických rizicích účinných látek z plodů *S. chinensis* na okolní prostředí včetně vodního prostředí a ovlivnění potravního řetězce. Ekotoxikologickému riziku vlivu účinných látek nejen z plodů *S. chinensis* na růst kulturních plodin, které mohou být vysety nebo vysázeny na okolních plochách v blízkosti plantáží s mnoha rostlinami *S. chinensis*, je třeba také věnovat pozornost. Potenciální vliv této liány na životní prostředí v případě vysázení vyššího počtu rostlin a farmového pěstování v podmínkách České republiky a Evropy zatím není známý. Tato práce rozšiřuje vědecké poznatky o *S. chinensis* jako rostlinném adaptogenu, a to především o možném ekotoxikologickém riziku pro vodní organismy a prostředí a některé kulturní plodiny v podmínkách Evropy.

1 CÍL PRÁCE

Cílem této práce je vyhodnotit možná ekotoxikologická rizika vodného extraktu z plodů *Schisandra chinensis* na těchto vybraných modelových organismech: *Lemna minor*, *Daphnia magna*, *Thamnocephalus platyurus*, *Panicum miliaceum*, *Sinapis alba* pomocí akutních testů toxicity. V počátcích práce bylo zvažováno i použití vodného extraktu z listů *Schisandra chinensis* při testování, avšak chemická analýza listů ukázala, že obsah účinných látek v listech je minimální, a proto byl výzkum a celá práce následně provedeny pouze s vodným extraktem z plodů.

2 STRUČNÉ SHRNUTÍ TÉMATU

2.1 Adaptogeny

Termín adaptogen byl zaveden do vědecké literatury v průběhu 40. a 50. let 20. století. Definoval jej vědec a farmakolog Nikolaj Vasilijevič Lazarev (1895–1974), který zároveň vytvořil kritéria, podle nichž se posuzuje, zda rostlinu nebo látku lze zařadit mezi adaptogeny:

- musí zvyšovat odolnost organismu vůči fyzikálním, chemickým nebo biologickým škodlivým činitelům
- mít normalizační účinek na patologický stav organismu
- nesmí narušovat a ovlivňovat normální funkce těla [4-6]

Později vědci Israel I. Brekhman a I. V. Dardymov definici adaptogenu rozšířili:

- musí být pro příjemce netoxický
- musí v těle vyvolávat nespecifickou reakci, kterou tělo odolává různým stresorům
- musí mít na tělesnou fyziologii normalizující vliv bez ohledu na směr, kterým stresor odklonil tělo z fyziologického optima [1]

V literatuře se uvádí, že adaptogenem jsou látky extrahované z rostlin, které svými účinky splňují kritéria pro definici adaptogenu, a stejně tak adaptogenem mohou být samotné rostliny nebo jejich části. Např. Tillotson a kol. [7] popisuje jako adaptogeny byliny, jež bez ohledu na charakter nerovnováhy vracejí tělo do rovnovážného stavu, tj. že v sobě slučují tonické i vyvažující vlastnosti. Saggu a kol. [8] nazývá adaptogeny nefarmakologické přírodní rostlinné a minerální látky pro zvládání stresu, které pomáhají zvyšovat odolnost vůči stresu i v nepříznivých klimatických podmínkách jako je např. vysoká nadmořská výška nebo chlad.

Rozlišujeme dvě hlavní skupiny adaptogenů. První skupina jsou rostlinné adaptogeny a druhou skupinou jsou syntetické adaptogeny, tzv.aktoprotektory [9]. Mezi rostlinné adaptogeny patří např. ženšen pravý (*Panax ginseng*), eleuterokok ostnitý (*Eleutherococcus senticosus*), parcha saflorová (*Rhaponticum carthamoides*), rozchodnice růžová (*Rhodiola rosea*) a také asijská liána **klanopraška čínská (*Schisandra chinensis*)** [10]. Avšak počet rostlin patřící do této skupiny je mnohem vyšší. Naproti tomu aktoprotektory byly objeveny až v 70. letech 20. století a původně měly pomoci se zvýšením fyzické a pracovní kapacity v oblasti sportu, vojenské medicíny nebo při průzkumech vesmíru. Širší využití tyto látky našly také v lékařských oborech jako je neurologie, kardiologie a dalších [11].

Využití rostlinných adaptogenů má rozsáhlou historii, kdy byly a stále jsou používány pro své blahodárné účinky nejen na lidi, ale i na zvířata napříč celým světem. Adaptogeny lze v dnešní době užívat jako doplňky stravy v podobě kapslí, tablet, sušených plodů, či jiných částí rostliny, čajů, tinktur, mastí i krémů. V České republice upravuje užívání doplňků stravy vyhláška č. 58/2018 Sb., Vyhláška o

doplňcích stravy a složení potravin, která vymezuje mj. i podmínky pro použití některých rostlin a jejich nejvyšší přípustné množství v denní dávce [12].

2.2 *Schisandra chinensis*

2.2.1 Taxonomické zařazení rostliny

Pro taxonomické zařazení rostliny *Schisandra chinensis* bylo v této práci použito zařazení dle francouzského botanika Henri Baillona [13] včetně českého ekvivalentu:

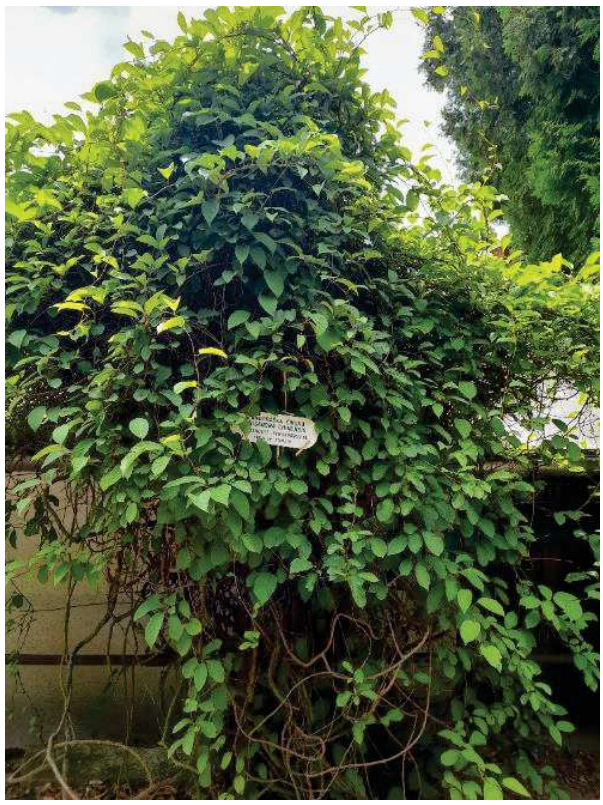
Říše	***Plantae*** (rostliny)
Podříše	***Tracheobionta*** (cévnaté rostliny)
Oddělení	***Magnoliophyta*** (krytosemenné)
Třída	***Magnolipsida*** (nižší dvouděložné)
Řád	***Austrobaileyales***
Čeleď	***Schisandraceae*** (klanopraškovité)
Rod	***Schisandra*** (klanopraška)
Druhový název	***Schisandra chinensis*** (Turcz.) Baill., 1868 (klanopraška čínská)

V literatuře se můžeme setkat i s jinými názvy pro rostlinu *Schisandra chinensis*, avšak tyto se považují za místní, starší nebo lidové názvy, např. čínská magnólie nebo Maximowiczův červený hrozen. V čínské literatuře je rostlina často označována jako *Wu-wei-zi* (bylina pěti chutí), v ruskojazyčné literatuře ji najdeme jako *Limonnik* (Лимонник китайский), v Koreji má název *Omicha*, a v Japonsku *Gomishi* [14]. Kromě botanického názvu *Schisandra chinensis* někteří autoři používají také označení *Schizandra chinensis* [15].

2.2.2 Popis rostliny

Schisandra chinensis je endemická, vytrvalá, keřovitá liána s dřevnatým stonkem a opadavými listy Vinoucí se stonek dorůstá do délky 10–15 metrů a má průměr 1,2 – 1,5 cm. *S. chinensis* používá okolní stromy jako svou oporu a šplhá do jejich korun (***Obrázek 1***). Listy jsou v průběhu vegetační sezóny světle zelené, na podzim získávají zlatožluté zbarvení. Květy jsou bílé nebo lehce krémové nebo narůžovělé barvy, voskovité, jednopohlavné, vyrůstají na bázi mladých výhonů a vydávají příjemnou citronovou vůni (***Obrázek 2***).

Plodem je souplodí červených bobulí o velikosti 5 až 7,5 mm (***Obrázek 3***). Plody jsou kulovitého tvaru a obsahují 1 až 2 lesklá semena žlutohnědé až tmavě hnědé barvy. Plody dozrávají obvykle v září až říjnu a dužina i slupka mají převážně kyselou a sladkou chuť [16-19]. Rostlina má svazčité kořeny rostoucí mělce v půdě [20].



Obrázek 1: *Schisandra chinensis* – rostlina pnoucí se po umělé opoře, Centrum léčivých rostlin Lékařské fakulty Masarykovy univerzity, Brno, (foto: Ing. Jana Valíčková)

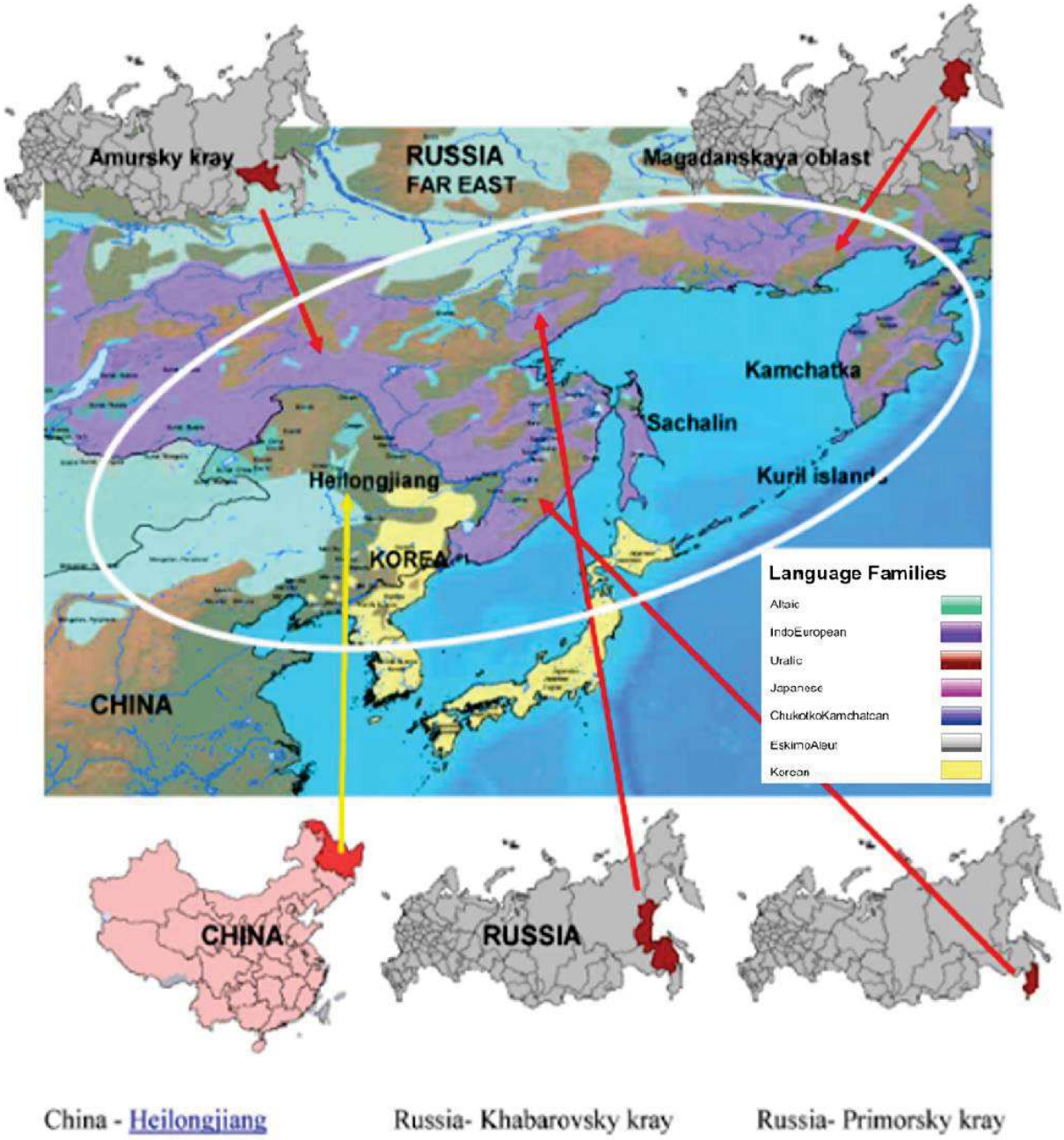
Obrázek 2: Květy *Schisandra chinensis*, Vracov (foto: Ing. Josef Kotlík, CSc.)

Obrázek 3: Dozrávající plody *Schisandra chinensis*, Vracov (foto: Ing. Josef Kotlík, CSc.)

2.2.3 Výskyt rostliny

Rostlina se přirozeně vyskytuje v oblasti Dálného východu. Z botanického hlediska je tato oblast velice rozmanitá a v literatuře ji lze najít pod názvem Mandžusko. *S. chinensis* patří k endemitům a je označována jako japonsko-mandžuský endemit. Z hlediska současného uspořádání států v dané oblasti, přirozené stanoviště rostliny *S. chinensis* se rozprostírá na severovýchodě území dnešní Číny, východní části Ruska, na Kurilských ostrovech a Sachalinu a hraničí s Mongolskem a Korejskou lidově demokratickou republikou (***Obrázek 4)***. V historii byla toto území také pod vlivem Japonska [21]. V rámci čínského území se *S. chinensis* přirozeně vyskytuje v řadě provincií. Liu a kol. [22] uvádí tyto: Heilongjiang, Jilin, Liaoning, Neimenggu, Hebei, Shanxi, Ningxia, Gansu a Shandong.

S. chinensis se z místa svého původního výskytu rozšířila do Evropy jako okrasná rostlina do botanických zahrad a soukromých zahrad drobných pěstitelů. Semena rostlin rodu *Schisandra* se však vyskytovala v Evropě už dříve, jak dokazuje morfologicko-anatomická studie fosilních semen holotypu *Schisandra moravica* (MAI) Gregor ze Šafova na jižní Moravě a také dalších semen stejného druhu z České republiky z oblasti Chebské, Sokolovské a Mostecké pánve, která potvrdila přiřazení těchto semen k rodu *Schisandra* MICH [23].



Obrázek 4: Oblasti Dálného východu Ruska, Číny a část Koreje, ve kterých se *Schisandra chinensis* přirozeně vyskytuje (převzato a upraveno podle Panossian a Wikman [15])

2.2.4 Pěstování

Množení *S. chinensis* je převážně vegetativní (hřížením, kořenovými výběžky, řízkováním), avšak je možné i ze semen [24]. Nejvhodnější doba pro výsadbu mladých rostlin je časně na jaře. Rostliny v prvních měsících po výsadbě rostou pomalu a teprve za tři až čtyři roky po výsadbě začnou nasazovat květy a posléze i plody [19]. *S. chinensis* má mělký kořenový systém, lépe roste tam, kde je v letních měsících dostatek vláhy. Pro pěstování nejsou vhodné těžké, málo propustné hlinité

půdy, nejvhodnější jsou půdy vlhké, popř. lehce kyselá a propustná zem. Rostlina potřebuje ke svému růstu oporu, aby se mohla pnout [25]. Pokud rostlina nemá možnost přirozené šplhat do korun stromů, je nutné jí poskytnout umělou oporu v podobě např. dřevěných sloupů.

Vegetační cyklus rostliny začíná na jaře v březnu až dubnu, kdy rostlina zakládá pupeny, ze kterých vyrůstají listy a také generativní části rostliny s květy. Po odkvětu se z jednotlivých samičích květů začínají vytvářet souplodí. V srpnu až říjnu plody dozrávají a je možné je sklízet. Později na podzim dochází ke žloutnutí listů a jejich opadu. Rostlina vykazuje nejlepší růst podél břehů řek v nadmořských výškách do 250 metrů nad mořem, i když pěstování je možné i do 500-600 metrů nad mořem [26, 27]. V zemích původu roste *S. chinensis* v přírodě divoce, avšak od poloviny 20. století se v Asii pěstuje také plantážně pro uspokojení poptávky po zvyšující se spotřebě plodů [15, 25, 28].

Z rostliny se nejvíce využívají plody, které obsahují nejvíce tělu prospěšných látek [29]. Průměrná sklizeň plodů u rostlin v přirozeném prostředí lesů tajgy je asi 200 kg bobulí na hektar, v lesích s vysokou hustotou se uvádí až 1700 kg na hektar. Odhaduje se, že v oblasti Dálného východu v lesích tajgy zabírá *S. chinensis* plochu přibližně 1800 až 2000 hektarů z celkové plochy tajgy [26]. Opletal a kol. [30] uvádí, že produkce plodů je zpočátku menší (v 5. a 6.roce je to 70-120 g čerstvých bobulí u jedné liány), a později v době plné tvorby bobulí je produkce 2,5-3 kg (u liány, která má stáří 15-20 let).

2.2.5 Lignany jako sekundární metabolity

Lignany jsou skupinou polyfenolů, které se přirozeně vyskytují v rostlinách a jsou součástí buněčné stěny rostlinné buňky. Lignany patří k nejrozšířenějším sekundárním metabolitům v tělech rostlin a v poslední době si získaly velkou pozornost nejen chemiků, ale především farmaceutů díky své silné biologické a ochranné aktivitě a velkému potenciálu při vývoji léčiv [31].

Sekundární metabolity jsou vysoce druhově specifické organické látky nezbytné pro život rostliny, jejich nedostatek však nezpůsobí smrt organismu. Patří sem např. terpenoidy, fenoly, alkaloidy a další. Sekundární metabolity rostlinám slouží jako ochrana proti nemocem nebo parazitům a patří mezi ně i pigmenty nebo vonné látky rostlin. Sekundární metabolity se nacházejí na rozhraní mezi primárním metabolismem a interakcí organismů s okolním prostředím a slouží i jako modulátory v reakci na abiotické stresy. Kromě toho právě sekundární metabolity vykazují řadu farmakologicky významných účinků a mohou posloužit k výrobě léků [32]. Přehled zástupců primárních a sekundárních metabolitů je uveden v ***Tabulce 1***.

Lignany jsou skupinou sekundárních metabolitů biochemicky příbuzných ligninům. Název lignan je odvozen od latinského slova „*lignum*“ – dřevo. Lignany $(C_6\text{-}C_3)_2$ jsou nízkomolekulární sloučeniny. Strukturně jsou lignany převážně dimery [33] odvozené od monolignolu a některých oligomerů (hydroxyskořicových

alkoholů, allylfenolů nebo hydroxyskořicových kyselin), které se široce vyskytují v různých částech cévnatých rostlin. Mnohé lignany jsou známé jako insekticidy, nematocidy nebo látky s alelopatickým účinkem [34]. Přestože je molekulární kostra lignanů tvořena pouze ze dvou fenylpropanových jednotek, z chemického hlediska vykazují lignany obrovskou strukturální diverzitu [35]. Lignany jsou hlavními sekundárními metabolity čeledi *Podophyllaceae* a čeledi ***Schisandraceae***, která je vývojově nejstarší čeledí dvouděložných rostlin [36].

Tabulka 1: Přehled zástupců primárních a sekundárních metabolitů u rostlin (převzato a upraveno podle Vodrážka [37], Musilová a kol. [38], Taiz a Zeiger [39])

<table>
<tr><th>Primární metabolity</th><th>Sekundární metabolity</th></tr>
<tr><td>Sacharidy</td><td>Alkaloidy</td></tr>
<tr><td>Aminokyseliny</td><td>Isoprenoidy</td></tr>
<tr><td>Lipidy</td><td rowspan="3">Fenolické látky:
1. Jednoduché fenoly:
➢ Hydrochinon
➢ Arbutin

2. Polyfenoly:
➢ Flavonoidy
➢ Fenylpropanoidy – skořicové kyseliny, skořicové alkoholy, kumariny, ligniny, lignany</td></tr>
<tr><td>Nukleové kyseliny</td></tr>
<tr><td>Karboxylové kyseliny</td></tr>
</table>

2.2.6 Účinné látky ve *Schisandra chinensis*

Z chemického hlediska jsou lignany v rostlinách čeledi *Schisandraceae* klasifikovány do 5 tříd:

- dibenzocyklooktadienové lignany (typ A)
- spirobenzofuranoidní dibenzocyklooktadienové lignany (typ B)
- 4-aryltetralinové lignany (typ C)
- 2,3-dimethyl-1,4-diarylbutanové lignany (typ D)
- 2,5-diaryltetrahydrofuranové lignany (typ E) [29]

V rodu *Schisandra* převažují dibenzocyklooktadienové lignany (typ A), které jsou však často přítomny jako izomery [40], což může vést ke zmatkům ve strukturní identifikaci. Studiem a izolacemi lignanů z rostliny *S. chinensis* se v 70. letech 20. století zabývalo více nezávislých skupin vědců z Číny a Ruska, proto mohou některé z lignanů nést různé názvy a v literatuře se lze setkat se synonymy [41], jak je uvedeno v ***Tabulce 2***.

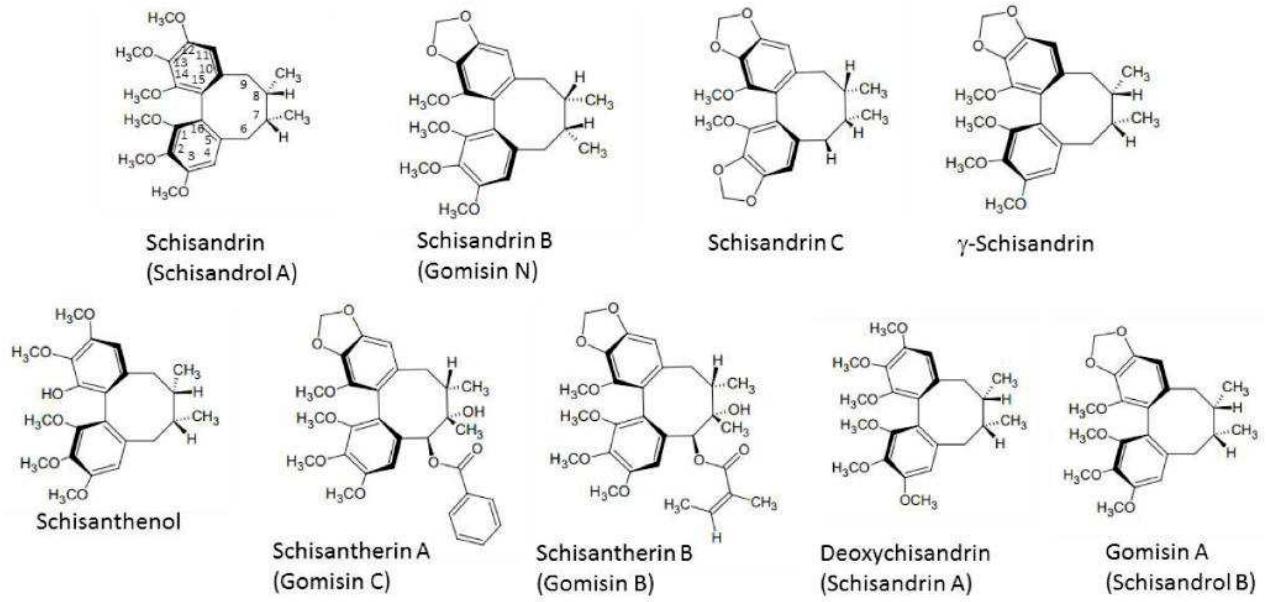
Obsah lignanů není v celé rostlině *S. chinensis* rovnoměrně rozložen, různé části rostliny mají různý obsah lignanů. Bylo zjištěno, že vyšší obsah lignanů mají semena a plody [42, 43]. Navíc obsah lignanů v rostlině může být ovlivněn regionem pěstování, a to vlivem nejen geografických ale i agroklimatických podmínek, jak bylo potvrzeno na obsahu dominantního lignanu schisandrinu ve vzorcích odebraných z různých míst v Číně [44].

Tabulka 2: Hlavní dibenzocyklooktadienové lignany obsažené ve *S. chinensis* a jejich některá používaná synonyma (převzato a upraveno podle Szopa a kol. [14])

Dibenzocyklooktadienový lignan	**Synonymum**
deoxyschisandrin	deoxyschizandrin schisandrin A schizandrin A wuweizisu A dimethylgomisin J
gomisin A	schisandrol B schizandrol B wuweizichun B wuweizi alcohol B
schisandrin	schizandrin schisandrol A schizandrol A wuweizichun A
schisandrin B	schizandrin B gomisin N γ-schisandrin wuweizisu B
schisandrin C	schizandrin C wuweizisu C
schisanthenol	schizanthenol schisanhenol gomisin K3
schisantherin A	gomisin C schizandrer A wuweizi ester A
schisantherin B	gomisin B schizandrer B wuweizi ester B

Z plodů rostliny *S. chinensis* bylo izolováno přibližně 40 různých lignanů a za nejaktivnější a nejdůležitější se považuje schisandrin (synonyma schizandrin,

schisandrol A), schisandrin B (synonyma gomisin N, γ-schisandrin, wuwezisu B), schisantherin A (synonymum gomisin C), deoxyschisandrin (synonymum schisandrin A) a gomisin A (synonymum schisandrol B), přičemž každý z nich vykazuje jedinečnou biologickou aktivitu [42]. Strukrura nejdůležitějších lignanů izolovaných ze *S. chinensis* je znázorněna na ***Obrázku 5***. Kromě lignanů je v rostlině *S. chinensis* je zastoupena i řada jiných bioaktivních látek. V současné době bylo z této rostliny izolováno a identifikováno už celkem 202 sloučenin (včetně lignanů).



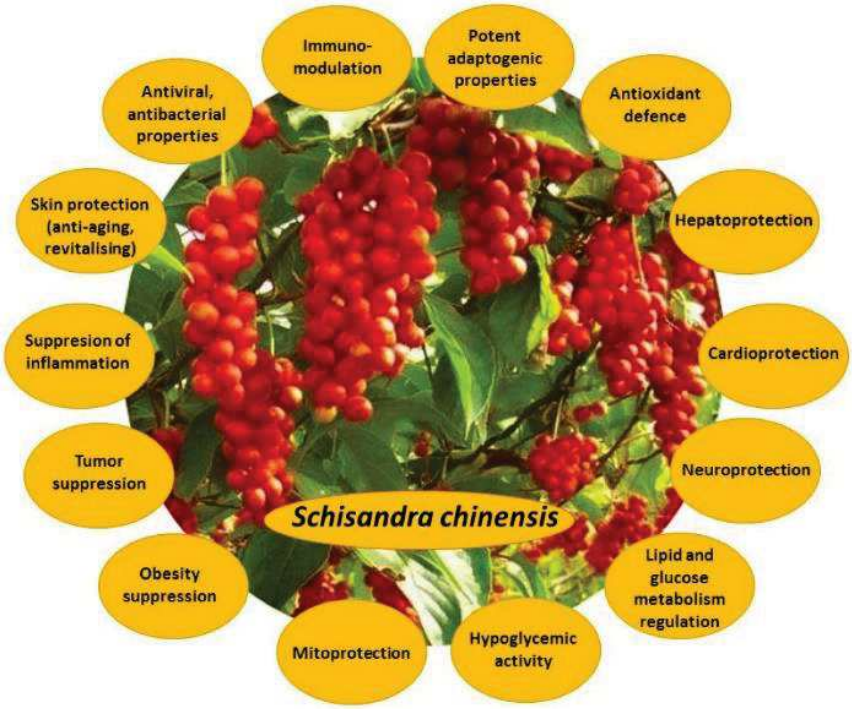
Obrázek 5: Struktura vybraných nejdůležitějších lignanů izolovaných ze *S. chinensis* (převzato a upraveno podle Kopustinskiene a Bernatoniene [45])

2.2.7 *Schisandra chinensis* a její využití

Díky bioaktivním složkám obsaženým v *S. chinensis* mají plody (včetně sušeného stavu) a také jejich extrakty za normálních i patologických podmínek širokou škálu příznivých účinků na lidský organismus (***Obrázek 6***).

V současné době je *S. chinensis* na trhu součástí široké řady produktů k užívání (kapsle, tobolky, tinktury, směsi s dalšími rostlinami, ale i samotné sušené plody). V komerčně dostupných produktech se obsah hlavních lignanů ze *S. chinensis* obvykle pohybuje v rozmezí 3 až 5 % [41]. Výhodou při užívání produktů s obsahem *S. chinensis* je kromě příznivých zdravotních účinků také jejich minimální riziko vedlejších účinků. Avšak pro úplné objasnění molekulárních mechanismů působení *S. chinensis* je potřeba dalších vědeckých výzkumů [46]. Účinné látky ze *S. chinensis* mají blahodárný vliv při různých onemocněních jako je např. diabetes mellitus, obezita, hyperlipidémie, rakovina, onemocnění jater, srdeční choroby, bakteriální a virová onemocnění, zánětlivá onemocnění, neplodnost a také stresová zátěž

organismu. Kromě vlivu na zdraví člověka našla *S. chinensis* využití také v potravinářském průmyslu, ve sportu, v kosmetickém průmyslu a ve výživě zvířat.



Obrázek 6: Vliv účinných látek ze *S. chinensis* je zaměřen na řadu onemocnění (převzato a upraveno podle Kopustinskiene [45])

2.3 Ekotoxikologické vlastnosti *Schisandra chinensis*

V současné době existuje mnoho prací zabývajících se *S. chinensis* a jejím prospěšným vlivem na zdraví lidí a také zvířat. Mnozí z autorů zaměřili svůj výzkum na co nejpřesnější izolace a analýzy lignanů ze *S. chinensis* s cílem zvýšit výtěžnost účinných látek z rostliny. *S. chinensis* však nemusí být pouze prospěšnou rostlinou. Lignany jsou obecně známé i jako látky s alelopatickými účinky. Li a kol. [47] uvádí, že fenolické alelochemikálie byly pozorovány v přírodních i řízených ekosystémech, kde způsobují řadu ekologických a ekonomických problémů, což může být pokles výnosů plodin v důsledku znehodnocení půdy, selhání regenerace přirozených porostů a problémy s opětovnou výsadbou v sadech.

Studiem alelopatických vlastností na okolní rhizosféru u málo rozšířených ovocných lián včetně *S. chinensis* při vytváření plantáží se zabývali autoři Skrypchenko a kol. [48], kteří potvrdili vysokou toxicitu rhizospherické půdy pod rostlinami *S. chinensis*, které rostly na jednom místě více než půl století, pomocí testu fytotoxicity s klíčními rostlinami pšenice. Autoři prokázali, že pro redukci fytotoxicity půdy po pěstování *S. chinensis* je vhodné do plánu střídání plodin zahrnout druh *Actinidia arguta* pro jeho schopnost fytoremediace. Zaimenko a kol. [49] prověřili vegetativní a generativní orgány *S. chinensis* a její okolní

rhizosferickou půdu z hlediska obsahu fenolických látek v některých půdních typech a různých klimatických podmínkách. K výrazné akumulaci fenolických látek docházelo během vegetačního období a jejich pokles nastal v období vegetačního klidu. Vzhledem k tomuto kolísání obsahu fenolických látek v rhizosféře u *S. chinensis* je možné její pěstování i v lesostepích Ukrajiny ve formě monokultury.

V neposlední řadě je důležité se také zabývat dopadem narůstajících sklizní plodů rostlin rostoucích divoce v přirozeném prostředí, a to v důsledku zvyšující se poptávky po plodech. Nadměrný výskyt lidí v přirozených ekosystémech může mít negativní dopad na celkovou biodiverzitu dané lokality. Důležité je především zvážit, jaký bude mít tato činnost dopad na různé druhy zvířat i rostlin, pokud dojde k masovému sběru plodů ve volné přírodě a s ní související ničení ekosystémů. Dopadem sklizní ve volné přírodě u příbuzného druhu *Schisandra sphenanthera* v přirozených stanovištích pandy velké (*Ailuropoda melanoleuca*) v Číně se věnovali Brinckmann a kol. [50]. Ve své práci autoři řešili dlouhodobé programy ochrany biodiverzity realizované v krajině, kde se přirozeně vyskytuje panda velká, a kde dochází ke komerčnímu sběru plodů *Schisandra sphenanthera.*

Z důvodu ochrany přirozených ekosystémů je na místě se zabývat otázkou, zda je vhodnější plody získávat z rostlin pěstovaných farmově. Před samotným vysázením velkého počtu rostlin na vhodnou lokalitu je potřeba o nich získat co nejvíce dat a o jejich vlivu na okolní a pro daný druh nepůvodní prostředí. *S. chinensis* má jeden z největších adaptogenních účinků na lidský organismus a s přihlédnutím na vhodnost podmínek pro pěstování v evropském regionu a nedostatku dat o ekotoxikologických rizicích pro životní prostředí a v neposlední řadě s ohledem na potřebu kvalitních potravinových doplňků s obsahem účinných látek ze *S. chinensis* na českém trhu, byla právě tato rostlina vybrána pro posouzení možných ekotoxikologických rizik pro prostředí v České republice.

Data o ekotoxikologických rizicích plodů ze *S. chinensis* ve vztahu k vodnímu prostředí včetně ovlivnění potravních řetězců jsou však nedostatečná. Také dat o vlivu na kulturní plodiny, které by mohly růst v blízkosti ploch s uměle vysázenou *S. chinensis*, je dosud málo.

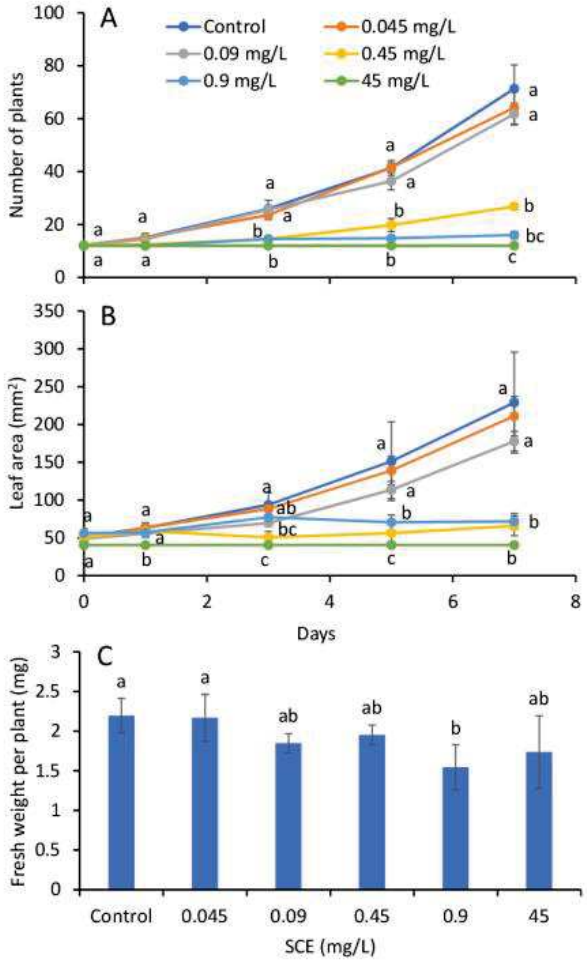
3 SEZNÁMENÍ S VÝSLEDKY

Pro účely testování toxicity byl z plodů *S. chinensis* připraven vodný extrakt (SCE) o koncentraci 45 mg/L schisandrinu, který byl následně ředěn vodou nebo živnými roztoky na finální testovací koncentrace.

3.1 Test fytotoxicity s *Lemna minor*

3.1.1 Růstové parametry rostlin *L. minor*

V koncentracích 0,09 a 0,045 mg/L (představujících nejvíce zředěný SCE) se zvyšoval počet rostlin *L. minor* po celou dobu testování, podobně jako u kontroly (***Obrázek 7A***). V koncentracích 0,9 a 0,45 mg/L se počet rostlin *L. minor* zvýšil jen minimálně. Při expozici samotným SCE (45 mg/L) byl růst rostlin *L. minor* zcela inhibován. S počtem rostlin korelovala i celková listová plocha rostlin *L. minor* (***Obrázek 7B***).



Obrázek 7: Počet (A), celková listová plocha (B, mm^2) a čerstvá hmotnost (C, mg) rostlin *L. minor* kultivovaných ve Steinbergově živném roztoku bez (kontrola) a s přídavkem SCE (0,045 až 45 mg/L) po dobu 7 dnů (ANOVA, Tukey HSD test, $p<0,05$) (převzato a upraveno podle Valíčková a kol. [51])

Čerstvá hmotnost jednotlivých rostlin (***Obrázek 7C***) po 7 dnech kultivace se významně nelišila v různých koncentracích SCE. Při koncentraci 0,9 mg/L byla čerstvá hmotnost na rostlinu nejnižší ve srovnání s kontrolou v souvislosti s menší velikostí nově vytvořených rostlin *L. minor*.

3.1.2 Fotosyntetická aktivita

Stresem vyvolané změny fotosyntetického aparátu mají obvykle za následek reverzibilní inaktivaci fotosystému II (PSII) spojenou se zvýšením základní fluorescence chlorofylu (F_0). Nejvýraznější změna v hodnotách F_0 byla zaznamenána u koncentrace 45 mg/L SCE, kdy se do jedné hodiny po aplikaci SCE hodnota F_0 téměř dvojnásobně zvýšila oproti kontrole a ostatním koncentracím SCE. Po jednom dni kultivace se hodnota F_0 u této koncentrace snížila pod hodnoty ostatních koncentrací a v dalších dnech kultivace dále klesala. V den 5 dosáhla hodnoty 0, což ukazuje, že fotosyntetická aktivita rostlin u této koncentrace byla zcela vyřazena.

Rostliny *L. minor* pěstované v nižších koncentracích SCE nevykazovaly žádné významné změny v hodnotě F_0 po celou dobu kultivace, což naznačuje, že při těchto koncentracích byly rostliny *L. minor* již schopny se přizpůsobit přítomnosti SCE.

Hodnoty maximálního (QY max) i efektivního (QY Lss) kvantového výtěžku fotosystému II rostlin *L. minor* vystavených koncentraci SCE 45 mg/l byly bezprostředně po aplikaci SCE významně nižší v porovnání s kontrolou a ostatními koncentracemi SCE. Podobně jako hodnota F_0 také hodnoty QY max a QY Lss během testu klesaly a 5. den dosáhly hodnoty 0. Tento jev ukazuje, že SCE v koncentraci 45 mg/L má silný inhibiční účinek na rostliny *L. minor*. Rostliny *L. minor* pěstované v nižších koncentracích SCE nevykazovaly žádné významné změny v hodnotách kvantových výtěžků.

3.1.3 Shrnutí výsledků s *Lemna minor*

Počet nově vytvořených rostlin *L. minor* se výrazně snížil o 75 % u koncentrace 0,45 mg/L a až o 93 % u koncentrace 0,9 mg/L SCE. Podobně byla u těchto koncentrací omezena také celková listová plocha. Čerstvá hmotnost jedné rostliny byla snížena pouze u koncentrace 0,9 mg/L, kde bylo zaznamenáno pouze několik nových rostlin s menší velikostí ve srovnání s koncentrací 0,45 mg/L.

Alelochemikálie mohou potenciálně zhoršovat výkon všech procesů fotosyntézy, včetně obsahu chlorofylu, transportu elektronů – světelná fáze a cyklu asimilace uhlíku – temnostní reakce [52], i když konkrétní mechanismy zůstávají do značné míry nejasné. Fotosyntetické parametry, jako je obsah fotosyntetických pigmentů, účinnost primárních procesů [53] a fixace uhlíku jsou uznávány jako spolehlivé indikátory stresu u rostlin. Inhibice fotosyntetických procesů je velmi často klíčovým mechanismem toxických účinků mnoha škodlivých látek. Parametry fluorescence chlorofylu (F_0, QY max, QY Lss a další) lze použít jako indikátory

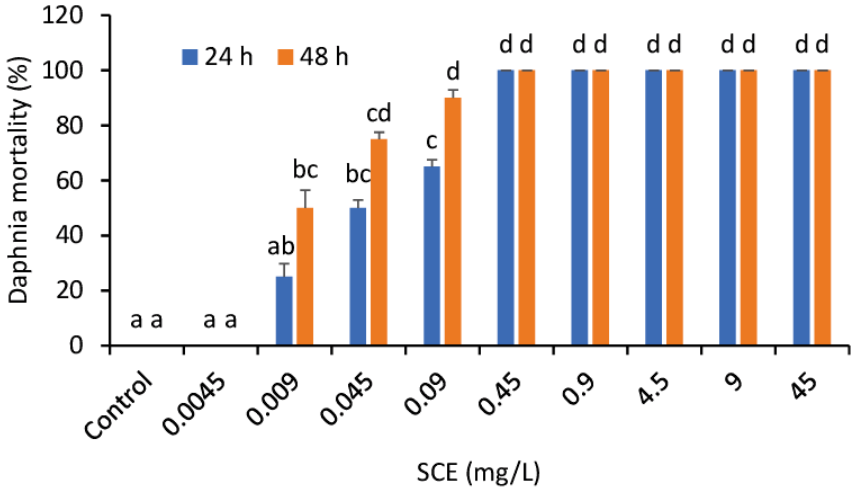
stresu ovlivňujícího fotochemickou dráhu, která využívá absorbovanou světelnou energii [54, 55].

Porucha v primárních fotosyntetických procesech je typicky charakterizována jako změna intenzity fluorescence chlorofylu a snížení kvantových výtěžků fotochemie fotosystému II. Při srovnání nejvyšších koncentrací, SCE 45 mg/L způsobil úhyn rostlin *L. minor*. Rostliny vystavené nižším koncentracím SCE byly schopny se vyrovnat s jeho účinkem. Zhou a Yu [52] popisují, že alelochemikálie mohou ovlivnit funkci fotosystému II, Hillovu reakci, transport elektronů a dokonce i asimilaci CO_2, ale mechanismus účinku je stále nejasný. Nicméně, stejně jako u zelených řas, vzhledem k těsnému kontaktu rostlin *L. minor* s kontaminovaným prostředím, lze předpokládat přímý účinek SCE na jeho buňky a chloroplasty.

3.2. Akutní test toxicity s *D. magna* a *T. platyurus*

3.2.1 Výsledky testu toxicity s *D. magna*

Počet mrtvých a imobilizovaných jedinců *Daphnia magna* byl hodnocen po 24 a 48 hodinách. Nejnižší testovaná koncentrace SCE (0,0045 mg/l) neovlivnila vitalitu *D. magna* ani po 24 hodinách, ani po 48 hodinách v porovnání s kontrolou. Počet přeživších jedinců *D. magna* se při koncentraci 0,009 mg/L SCE po 24 hodinách snížil o 25 % a po 48 hodinách o 50 %. Vyšší koncentrace 0,045 a 0,09 mg/L SCE způsobily více než 50% mortalitu v obou dnech testování. Od koncentrace 0,45 mg/L SCE všechny další koncentrace vykazovaly 100% mortalitu (***Obrázek 8***).

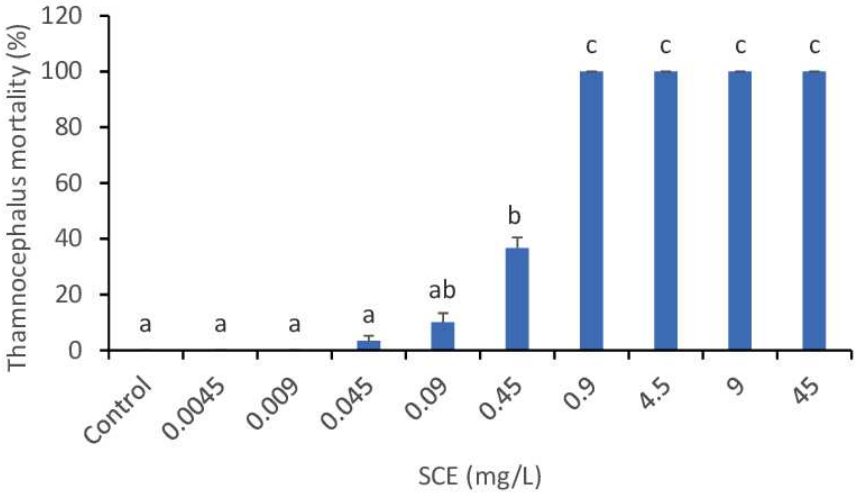


Obrázek 8: Akutní test toxicity s SCE na *D. magna* po 24 a 48 hodinách testování (Kruskal-Wallis test, $P < 0.05$) (převzato a upraveno podle Valíčková a kol. [56])

Efektivní koncentrace (EC_{50}) pro *D. magna* byla stanovena na 0,0448 mg/L po 24 hodinách a 0,0152 mg/L po 48 hodinách, což ukazuje na vysokou akutní toxicitu SCE pro tento druh vodního korýše.

3.2.2 Výsledky akutního testu toxicity s *T. platyurus*

Larvy *Thamnocephalus platyurus* byly vystaveny působení různých koncentrací SCE v testu akutní 24hodinové toxicity (***Obrázek 9***). Nejnižší testované koncentrace (0,0045 a 0,009 mg/L SCE) neovlivnily vitalitu larev *T. platyurus* po 24 hodinách v porovnání s kontrolou. Koncentrace 0,045, 0,09 a 0,45 mg/L SCE způsobily snížení počtu přeživších jedinců *T. platyurus* o 3, 10 a 36 %. U vyšších koncentrací (0,9 až 45 mg/L SCE) dosáhla mortalita hodnoty 100 %. Účinná koncentrace (EC_{50}) pro *T. platyurus* byla stanovena na 0,4572 mg/l po 24 hodinách.



Obrázek 9: Akutní test toxicity s SCE na *T. platyurus* po 24 hodinách testování (Kruskal-Wallis test, $P < 0.05$) (převzato a upraveno podle Valíčková a kol. [56])

3.2.3 Shrnutí výsledků s *D. magna* a *T. platyurus*

Vodní korýši jsou důležitou součástí vodního zooplanktonu. *D. magna* a *T. platyurus* patří k běžným druhům ve vodním prostředí a pro svou citlivost na znečištění ve vodním prostředí se často používají jako modelové organismy v ekotoxikologickém testování [57, 58]. Oba testované druhy vykazovaly značnou citlivost během expozice SCE. Po 24 hodinách byla hodnota EC_{50} pro *D. magna* (0,0448 mg/L), což je desetkrát nižší než pro *T. platyurus* (0,4572 mg/L) a po 48 hodinách se hodnota EC_{50} pro *D. magna* snížila dokonce na 0,0152 mg/L. Přesný mechanismus toxicity SCE pro tyto vodní korýše není v současné době znám.

Obsah schisandrinu v plodech *S. chinensis* může dosahovat 0,2 až 0,5 % jejich sušiny [59, 60], tzn. jedna bobule *S. chinensis* (průměrná sušina 30 mg) může obsahovat 0,06 až 0,15 mg schisandrinu. Hypoteticky, při zvážení tohoto obsahu schisandrinu, pro dosažení koncentrace schisandrinu ve vodním prostředí blízko hodnoty EC_{50} pro *D. magna*, by mohly jen desítky bobulí plodů *S. chinensis* stačit ke kontaminaci stovek litrů vody.

Citlivost obou testovaných druhů je však rozdílná. *T. platyurus* byl méně citlivý na SCE v porovnání s *D. magna*, podobně jako tomu bylo u výsledků publikovaných

s jiným organickým znečištěním, jako jsou např. odpadní vody z lisoven olivového oleje [61] nebo různé organické látky (kompost, digestát nebo kalové eluenty) [57]. Výsledky z tohoto testování také ukazují, že extrakt z plodů *S. chinensis* je pro korýše z rodu *Daphnia* více toxický než extrakty z jiných rostlin, např. *Trapa japonica* [62] nebo *Hedychium coronarium* [63]. V případě *T. platyurus* byla popsána vyšší citlivost tohoto druhu v porovnání s jiným korýšem *Artemia salina* při vystavení extraktu z guatemalské rostliny [64]. Z výsledků testování s SCE vyplývá, že i náhodná kontaminace vody bioaktivními látkami z plodů *S. chinensis* by mohla narušit křehké potravní sítě ve vodním prostředí.

3.3 Test fytotoxicity s *Panicum miliaceum* a *Sinapis alba*

3.3.1 Test klíčivosti semen

Klíčení semen a růst mladých sazenic jsou dvě důležitá stádia v raném životě rostlin. Pokud jsou rostliny v tomto období vystaveny toxickým sloučeninám, může být jejich následný vývoj narušen včetně jejich výnosu. Rané fáze klíčení semen se vyznačují intenzivním příjmem vody a nízkou potřebou živin. Navíc vlastnosti obalů semen (tloušťka, obsah ligninu a suberinu, výskyt fenolických sloučenin) mohou omezit příjem organických i anorganických sloučenin z prostředí [65].

Energie klíčení semen nebyla u *P. miliaceum* a *S. alba* SCE ovlivněna. Jediná významná inhibice klíčivosti semen byla zaznamenána u neředěného SCE (45 mg/L) a to 70 % u *P. miliaceum* a 100 % *S. alba*.

Semena dvouděložné *S. alba* a jednoděložného *P. miliaceum* mají podobnou velikost a tvar, liší se však tloušťkou a složením obalů semen. Obal semene *P. miliaceum* se stejně jako u obilnin skládá ze dvou vrstev, oplodí a osemení [66], zatímco semeno *S. alba* má pouze jednu vrstvu osemení [67]. Vzhledem k různému obsahu ligninu může představovat méně účinnou bariéru pro příjem jakýchkoli chemikálií, včetně schisandrinu.

3.3.2 Růst klíčních rostlin

Třídenní klíční rostliny *P. miliaceum* měly kratší kořeny při expozici SCE než kontrola v deionizované vodě. Naopak při kultivaci v živném roztoku s přídavkem SCE délka kořenů klíčních rostlin nevykazovala žádné významné rozdíly. V porovnání s délkou kořene ani u délky hypokotylu se neprokázala žádná významná změna v přítomnosti SCE. Délka kořene i hypokotylu byla u klíčních rostlin *P. miliaceum* významně inhibována jen u koncentrace 45 mg/L.

V případě *S. alba* jako dvouděložné rostliny byla reakce délky kořenů na vyšší koncentrace SCE (od 0,03 až po 0,45 mg/L) v deionizované vodě v porovnání s kontrolou stimulovaná. Klíční rostliny kultivované v živném roztoku měly delší kořen, ale bez významné reakce na koncentraci SCE. Růst hypokotylu *S. alba* byl stimulován pouze v případě koncentrace 0,45 mg/L SCE v deionizované vodě a 0,045 mg/L SCE v živném roztoku, ostatní koncentrace SCE nevykazovaly rozdíly

oproti kontrole. Délka kořene i hypokotylu byla významně inhibována opět jen u koncentrace 45 mg/L SCE.

3.3.3 Shrnutí výsledků s *P. miliaceum* a *S. alba*

Podle dostupných literárních zdrojů [68-70] řada sekundárních metabolitů rostlin, včetně lignanů, vykazuje alelopatické vlastnosti a může působit fytotoxicky na okolní vegetaci, např. vyvolat inhibici klíčení semen nebo omezit růst klíčních rostlin. Bylo zjištěno, že např. extrakt z listů *Magnolia liliflora* obsahující směs lignanů inhiboval růst kořene a nadzemní části salátu při koncentraci přibližně 1 mM [69]. Podobně extrakt ze *Schisandra chinensis* o koncentraci 45 mg/L, odpovídající 104 μM schisandrinu, způsobil kompletní inhibici růstu kořene *P. miliaceum* a *S. alba.*

ZÁVĚR

V předložené dizertační práci byla řešena ekotoxikologická problematika zaměřená na S. *chinensis*. Jak bylo popsáno v teoretické části, asijská liána *S. chinensis* má četné blahodárné účinky na lidský organismus a existují historické doklady o jejím používání v tradiční medicíně. Rostlina a zejména plody jsou bohatým zdrojem účinných látek, řadících se mezi lignany, a z nichž je nejvíce zastoupen schisandrin. Lignany jako sekundární metabolity rostlin však mají alelopatické vlastnosti už při nízkých koncentracích a mohou negativně ovlivňovat další organismy v okolí rostliny.

Provedené akutní testy toxicity na modelových organismech ověřily, že vodný extrakt z plodů *S. chinensis* může představovat riziko pro necílové vodní organismy a některé jednoděložné i dvouděložné kulturní plodiny. Testy fytotoxicity s *L. minor* jako významného bioindikátoru toxicity vodního prostředí ukázaly, že extrakt z plodů *S. chinensis* měl při potenciálně environmentálně relevantních koncentracích negativní vliv na jeho růst a fotosyntézu.

V případě bezobratlých vodních korýšů testy toxicity prokázaly, že účinná koncentrace EC_{50} extraktu z plodů *S. chinensis* pro *T. platyurus* dosáhla hodnoty 0,46 mg/L a pro *D. magna* dokonce jen 0,045 mg/L po 24 hodinách a v případě vyhodnocení pro *D. magna* po 48 hodinách byla ještě nižší. Vzhledem k tomu, že vodní prostředí je bohaté na mnoho dalších druhů zoo- a fytoplanktonu, u kterých reakce na vodný extrakt z plodů *S. chinensis* zatím není známa, je možné, že náhodná kontaminace vody bioaktivními látkami z plodů *S. chinensis* by mohla už v environmentálně relevantních koncentracích narušit křehké vodní ekosystémy.

V porovnání s výsledky z vodního prostředí testy klíčivosti semen a růstu klíčních rostlin s kulturními plodinami (*P. miliaceum*, *S. alba*) ukázaly, že inhibice klíčení a růstu semenáčků je vyvolána jen vysokými koncentracemi vodného extraktu účinných látek z plodů *S. chinensis*, jejichž výskyt je v životním prostředí jen málo pravděpodobný. Nelze však vyloučit již prokázanou schopnost rostlin jako je *S. chinensis* vylučovat do své rhizosféry vyšší množství alelochemikálií, které by mohly negativně ovlivnit okolní vegetaci.

V současné době poptávka po kvalitních plodech *S. chinensis* s vysokým obsahem účinných látek a také produktů s jejich obsahem stoupá, a proto je potřeba hledat jejich udržitelné zdroje. Vedle farmového pěstování je stálým hlavním zdrojem této suroviny i sběr plodů z divoce rostoucích rostlin v lesích v místech přirozeného výskytu. Avšak zvyšující se intenzita sběru plodů může vést k narušení původních lesních ekosystémů. Proto je potřeba věnovat pozornost dalšímu vědeckému zkoumání možných ekotoxikologických rizik dané rostliny a v návaznosti na ně se zabývat vhodnými postupy případného farmového pěstování i v místech mimo původní stanoviště *S. chinensis*.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. WINSTON, D. a S. MAIMES. Adaptogeny, byliny poskytující odolnost, vytrvalost a úlevu od stresu. 2011, Praha: Stanislav Juhaňák - Triton
2. ZÁLEŠÁK, F., D. J.-Y. D. BON a J. POSPÍŠIL. Lignans and neolignans: Plant secondary metabolites as a reservoir of biologically active substances. Pharmacological Research. 2019, **146**, 104284. DOI:10.1016/j.phrs.2019.104284
3. AFONSO, S., V. FERREIRA a M. MOREIRA-SANTOS. Comparing the sensitivity of aquatic organisms relative to *Daphnia* sp. toward essential oils and crude extracts: A meta-analysis. Science of the Total Environment. 2024, **908**, 168467. DOI:10.1016/j.scitotenv.2023.168467
4. LAZAREV, N. V. Experimental data for the evaluation of the Far East *Schisandra* as a stimulant: Transactions of the scientific and medical board of the administration of the Medical-sanitary department of the USSR Navy. 1946, **5**(17), 62-69
5. LAZAREV, N. V. Actual problems in studies of the action of adaptogens, particularly preparations of *Eleutherococcus*. Symposium on *Ginseng* and *Eleutherococcus*. In: Twentieth meeting on investigations of *Ginseng* and other medicinal plants of the Far East. Dalne Vostochnoiy Filial Sibirskogo Otdeleniya Academii Nauk SSSR, Vladivostok. 1962, 7-14
6. BREKHMAN, I. I. *Eleutherococcus*. Nauka. 1968, Leningrad, 1-168
7. TILLOTSON, A. K., N.-s. H. TILLOTSON a R. ABEL. The one earth herbal sourcebook. 2001, New York, Kensington Publishing Corp, 596
8. SAGGU, S. a R. KUMAR. Stress management and herbal adaptogens. In: Chemistry and Medicinal Value. Studium Press LLC, Houston. 2009, 253-271
9. TODOROVA, V., K. IVANOV, C. DELATTRE, V. NALBANTOVA, D. KARCHEVA-BAHCHEVANSKA, S. IVANOVA. Plant Adaptogens - history and future perspectives. Nutrients. 2021, **13**(8), 2861. DOI:10.3390/nu13082861
10. BREKHMAN, I. I. a I. V. DARDYMOV. New substances of plant origin which increase nonspecific resistance. Annual Review of Pharmacology. 1969, **9**(1), 419-430. DOI:10.1146/annurev.pa.09.040169.002223
11. OLIYNYK, S. a S. OH. The pharmacology of actoprotectors: practical application for improvement of mental and physical performance. Biomolecules & Therapeutics. 2012, **20**(5), 446-456. DOI:10.4062/biomolther.2012.20.5.446
12. Vyhláška č. 58/2018 Sb., o doplňcích stravy a složení potravin. https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2018-58, cit. 15. 2. 2024

13. BAILLON, H. Histoire des plantes. Monographie des *Magnoliacées*. Librairie de Hachette et C.ie, Boulevard de Saint-Germain, Paris. 1868, **77**, 192
14. SZOPA, A., R. EKIERT a H. EKIERT. Current knowledge of *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill. (Chinese magnolia vine) as a medicinal plant species: a review on the bioactive components, pharmacological properties, analytical and biotechnological studies. Phytochemistry Reviews. 2017, **16**(2), 195-218. DOI:10.1007/s11101-016-9470-4
15. PANOSSIAN, A. a G. WIKMAN. Pharmacology of *Schisandra chinensis* Bail.: An overview of Russian research and uses in medicine. Journal of Ethnopharmacology. 2008, **118**(2), 183-212. DOI:10.1016/j.jep.2008.04.020
16. LEBEDEV, A. A. Limonnik (*Schisandra chinensis)*. Tashkent, Uzbek SSR: Meditsina Publishing House. 1971
17. HANCKE, J. L., R. A. BURGOS a F. AHUMADA. *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill. Fitoterapia. 1999. **70**(5), 451-471. DOI:10.1016/s0367-326x(99)00102-1
18. OPLETAL, L. a V. OPLETALOVÁ. Pokroky ve farmaci. Praha: Avicenum. 1990, ISBN: 80-201-0072-5
19. NIANHE, X., L. YUHU a R. M. K. SAUNDERS. Flora of China - *Schisandreae*. Beijing: Law Yuwu, ed., Fl. Reipubl. Popularis Sin. 1996, **30**(1), 231–269, 271–273
20. ŠAMLA, J. Subtropy, pěstitelské praktikum B. Brno: Edice Citrusář. 1994, 162
21. BENSKY, D. a A. GAMBLE. Chinese herbal medicine: Materia medica. Vista: Eastland Press. 1992, 376-378, ISBN: 978-0939616152
22. LIU, Y. H., X. R. LUO, R. F. WU a B. N. ZHANG. Flora of China. Science Press. 1996, **30**(1), 252
23. TEODORIDIS, V. Early miocene seeds of *Schisandra moravica* (MAI) GREGOR from the Czech republic. Neues Jahrbuch Fur Geologie und Palaontologie-Monatshefte. 2005, (11), 663-682
24. TITLYANOV, A. A. a N. V. KONECHNAYA. About germination of *Schisandra chinensis* seeds. In: BREKHMAN, I. I., I. F. BELIKOV a G. E. KUZNETSOVA (Eds.). Materials for the study of *Ginseng* and *Schizandra*. Vladivostok: Far East Branch of the USSR Academy of Science, Primorsk Book Publisher. 1963
25. RYBNIKÁŘ, M., K. ŠMEJKAL a M. ŽEMLIČKA. *Schisandra čínská* a její využití ve fytoterapii. Česká a slovenská farmacie. 2019, **68**, 95-118
26. GUTNIKOVA, Z. I. *Schizandra chinensis* in the Far East. In: LAZAREV, N. V. (Ed.). Materials for the study of *Ginseng* and *Schizandra* roots. Vladivostok: Far East Branch of the USSR, Academy of Science. 1951

27. AGEJENKO, A. S. a B. T. KOMISSARENKO. *Schizandra* and its therapeutic administration. Yuzhno Sakhalinsk: Sakhalinsk Book Press. 1960
28. KIM, J., J. SHIN, C. G. PARK a S-H. LEE. Pesticide residue monitoring and risk assessment in the herbal fruits *Schisandra chinensis*, *Lycium chinense*, and *Cornus officinalis* in Korea. Food Science and Biotechnology. 2021. **30**(1), 137-147. DOI:10.1007/s10068-020-00840-5
29. LU, Y. a D. F. CHEN. Analysis of *Schisandra chinensis* and *Schisandra sphenanthera*. Journal of Chromatography A. 2009, **1216**(11), 1980-1990. DOI:10.1016/j.chroma.2008.09.070
30. OPLETAL, L., M. KŘENKOVÁ a P. HAVLÍČKOVÁ. Fytoterapeutické aspekty onemocnění oběhového systému 8. Magnolka čínská (*Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill), Produkce drogy a jejich hodnocení, léčivé a dietetické přípravky. Česká a slovenská farmacie. 2001, **50**, 219-224
31. WANG, L. X., H. L. WANG, J. HUANG, T. Z. CHU, C. PENG, H. ZHANG, H. L. CHEN, Y. A. XIONG a Y. Z. TAN. Review of lignans from 2019 to 2021: Newly reported compounds, diverse activities, structure-activity relationships and clinical applications. Phytochemistry. 2022, **202**, 113326. DOI:10.1016/j.phytochem.2022.113326
32. TAIZ, L., E. ZEIGER, I. M. MOLLER a A. MURPHY. Plant physiology and development - international sixth edition. Oxford: Oxford University Press. 2018, 761. ISBN: 9781605357454
33. DAVIN, L. a N. LEWIS. An historical perspective on lignan biosynthesis: monolignol, allylphenol and hydroxycinnamic acid coupling and downstream metabolism. Phytochemistry Reviews. 2003, **2**, 257-288. DOI:10.1023/B:PHYT.0000046175.83729.b5
34. IBRAHIM, R. K. Phenylpropanoid metabolism, In: ROBERTS, K. (Ed.) Handbook of Plant Science - Volume 2, John Wiley & Sons Ltd.: Chichester, UK. 2007, 974-983. 978-ISBN: 0-470-05723-0
35. SALEEM, M., H. J. KIM, M. S. ALI a Y. S. LEE. An update on bioactive plant lignans. Natural Product Reports. 2005, **22**(6), 696-716. DOI:10.1039/b514045p
36. SLANINA, J. Biological and pharmacological activity of lignans. Chemicke Listy. 2000, **94**(2), 111-116
37. VODRÁŽKA, Z. Biochemie. Praha: Academia. 1996. ISBN: 80-200-0600-1
38. MUSILOVÁ, L., O. UHLÍK, M. MACKOVÁ a T. MACEK. Úloha sekundárních metabolitů rostlin v bakteriální degradaci organických xenobiotik. Chemické Listy. 2012, **106**, 1029-1033
39. TAIZ, L. a E. ZEIGER. Plant physiology - fourth edition. Sunderland, USA: Sinauer Associates, Inc. 2006, 764. ISBN: 0-87893-856-7

40. HE, X. G., L. Z. LIAN a L. Z. LIN. Analysis of lignan constituents from *Schisandra chinensis* by liquid chromatography-electrospray mass spectrometry. Journal of Chromatography A. 1997, **757**(1-2), 81-87. DOI:10.1016/s0021-9673(96)00685-1
41. OPLETAL, L., H. SOVOVÁ a M. BÁRTLOVÁ. Dibenzocyclooctadiene lignans of the genus *Schisandra*: importance, isolation and determination. Journal of Chromatography B-Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences. 2004, **812**(1-2), 357-371. DOI:10.1016/j.jchromb.2004.07.040
42. OLAS, B. Cardioprotective potential of berries of *Schisandra chinensis* Turcz. (Baill.), Their components and food products. Nutrients. 2023, **15**(3), 592. DOI:10.3390/nu15030592
43. HALSTEAD, C. W., S. Lee, C. S. Khoo, J. R. Hennell a A. Bensoussan. Validation of a method for the simultaneous determination of four *Schisandra* lignans in the raw herb and commercial dried aqueous extracts of *Schisandra chinensis* (Wu Wei Zi) by RP-LC with DAD. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. 2007, **45**(1), 30-37. DOI:10.1016/j.jpba.2007.05.016
44. ZHU, M., Y. CAO a G. R. FAN, Microwave-assisted extraction and fingerprint studies of *Schisandra Chinensis* (Turcz.) by high performance liquid chromatography. Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies. 2007, **30**(1), 123-133. DOI:10.1080/10826070601036258
45. KOPUSTINSKIENE, D. M. a J. BERNATONIENE. Antioxidant effects of *Schisandra chinensis* fruits and their active constituents. Antioxidants. 2021, **10**(4). DOI:10.3390/antiox10040620
46. NOWAK, A., M. ZAKLOS-SZYDA, J. BLASIAK, Z. ZHANG a B. L. ZHANG. Potential of *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill. in human health and nutrition: A review of current knowledge and therapeutic perspectives. Nutrients. 2019, **11**(2), 333. DOI:10.3390/nu11020333
47. LI, Z. H., Q. A. WANG, X. A. RUAN, C. D. PAN a D. A. JIANG. Phenolics and plant allelopathy. Molecules. 2010, **15**(12), 8933-8952. DOI:10.3390/molecules15128933
48. SKRYPCHENKO, N. V., O. I. DZYUBA a N. Y. GORBENKO. Assessment of soil under the conditions of prolonged cultivation of wood fruit lianas. Scientific Bulletin of NLTU Ukraine. 2020, **30**(3), 36-40. DOI:10.3693300/40300306
49. ZAIMENKO, N. V., N. V. SKRYPCHENKO, B. O. IVANYTSKA, T. B. VENEDIKTOVA, N. P. KOVALSKA, U. V. KARPIUK, T. G. STASIV a D. LIU. Peculiarities of the distribution of assimilates in the organs of *Schisandra chinensis* plants under different soil and climatic conditions. Biosystems Diversity. 2022, **30**(4), 423-429. DOI:10.15421/012241

50. BRINCKMANN, J. A., W. LUO, Q. XU, X. HE, J. WU a A. B. CUNNINGHAM. Sustainable harvest, people and pandas: assessing a decade of managed wild harvest and trade in *Schisandra sphenanthera*. Journal of Ethnopharmacology. 2018, **224**, 522-534. DOI:10.1016/j.jep.2018.05.042
51. VALÍČKOVÁ, J., Š. ZEZULKA, E. MARŠÁLKOVÁ, J. KOTLÍK, B. MARŠÁLEK a R. OPATŘILOVÁ. Bioactive compounds from *Schisandra chinensis* - Risk for aquatic plants?. Aquatic Toxicology. 2023, 254, 106365. DOI:10.1016/j.aquatox.2022.106365
52. ZHOU, Y. H. a J. Q. YU. Allelochemicals and photosynthesis. Allelopathy: a Physiological Process with Ecological Implications. 2006, 127-139. DOI:10.1007/1-4020-4280-9_6
53. GONZALEZ-NARANJO, Victor, K. BOLTES, I. DE BUSTAMANTE a P. PALACIOS-DIAZ. Environmental risk of combined emerging pollutants in terrestrial environments: chlorophyll a fluorescence analysis. Environmental Science and Pollution Research. 2015, **22**(9), 6920-6931. DOI:10.1007/s11356-014-3899-z
54. KRAUSE, G. H. a E. WEIS. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis – The basics. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 1991, **42**, 313-349. DOI:10.1146/annurev.pp.42.060191.001525
55. MALLAKIN, A., T. S. BABU, D. G. DIXON a B. M. GREENBERG. Sites of toxicity of specific photooxidation products of anthracene to higher plants: Inhibition of photosynthetic activity and electron transport in *Lemna gibba* L. G-3 (duckweed). Environmental Toxicology. 2002, **17**(5), 462-471. DOI:10.1002/tox.10080
56. VALÍČKOVÁ, J., Š. ZEZULKA, E. MARŠÁLKOVÁ, J. KOTLÍK, B. MARŠÁLEK a R. OPATŘILOVÁ. Potential toxicity of *Schisandra chinensis* to water environment: acute toxicity tests with water crustaceans. Environmental Science and Pollution Research. 2023, 30 (52), 112625-12630. DOI:10.1007/s11356-023-30182-8
57. ALVARENGA, P., C. MOURINHA, M. FARTO, P. PALMA, J. SENGO, M. MORAIS a C. CUNHA-QUEDA. Ecotoxicological assessment of the potential impact on soil porewater, surface and groundwater from the use of organic wastes as soil amendments. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2016, **126**, 102-110. DOI:10.1016/j.ecoenv.2015.12.019
58. SZKLAREK, S., A. GORECKA, B. SALABERT a A. WOJTAL-FRANKIEWICZ. Acute toxicity of seven de-icing salts on four zooplankton species- is there an "eco-friendly" alternative?. Ecohydrology & Hydrobiology. 2022, **22**(4), 589-597. DOI:10.1016/j.ecohyd.2022.08.005

59. SLANINA, J., E. TABORSKA a L. LOJKOVA. Lignans in the seeds and fruits of *Schisandra chinensis* cultured in Europe. Planta Medica. 1997, **63**(3), 277-280. DOI:10.1055/s-2006-957676
60. KOHDA, H., M. OZAKI a A. NAMERA. Production of lignans in calluses of *Schisandra chinensis*. Journal of Natural Medicines. 2012, **66**(2), 373-376. DOI:10.1007/s11418-011-0586-y
61. PAIXAO, S. M., E. MENDONÇA, A. PICADO a A. M. ANSELMO. Acute toxicity evaluation of olive oil mill wastewaters: A comparative study of three aquatic organisms. Environmental Toxicology. 1999, **14**(2), 263-269. DOI:10.1002/(SICI)1522-7278(199905)14:2<263::AID-TOX7>3.0.CO;2-D
62. ISHIMOTA, M., D. NAKAJIMA, M. SAKAMOTO a Y. MIYABARA. Water-soluble bioactive natural compounds in *Trapa japonica* leaves: Temporal changes in chemical composition and effects on cladocerans. Ecological Research. 2019, **34**(2), 328-335. DOI:10.1111/1440-1703.1274
63. COSTA, R. O., B. H. VIEIRA, E. L. G. ESPINDOLA, A. I. RIBEIRO, J. L. R. FERRO, J. B. FERNANDES a D. M. D. MATOS. Toxicity of rhizomes of the invasive *Hedychium coronarium* (Zingiberaceae) on aquatic species. Biological Invasions. 2021, **23**(7), 2221-2231. DOI:10.1007/s10530-021-02501-y
64. MAYORGA, P., K. R. PÉREZ, S. M. CRUZ a A. CÁCERES. Comparison of bioassays using the anostracan crustaceans *Artemia salina* and *Thamnocephalus platyurus* for plant extract toxicity screening. Revista Brasileira De Farmacognosia-Brazilian Journal of Pharmacognosy. 2010, **20**(6), 897-903. DOI:10.1590/S0102-695X2010005000029
65. KHAN, M., P. B. CAVERS, M. KANE a K. THOMPSON. Role of the pigmented seed coat of prose millet (*Panicum miliaceum* L) in imbibition, germination and seed persistence. Seed Science Research. 1997, **7**(1), 21-25. DOI:10.1017/S0960258500003329
66. DUCLOS, D. V., D. T. RAY, D. J. JOHNSON a A. G. TAYLOR. Investigating seed dormancy in switchgrass (*Panicum virgatum* L.): understanding the physiology and mechanisms of coat-imposed seed dormancy. Industrial Crops and Products. 2013, **45**, 377-387. DOI:10.1016/j.indcrop.2013.01.005
67. JIANG, J. J., Y. SHAO, A. LI, Y. ZHANG, C. WEI a Y. WANG. FT-IR and NMR study of seed coat dissected from different colored progenies of *Brassica napus-Sinapis alba* hybrids. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2013, **93**(8), 1898-1902. DOI:10.1002/jsfa.5986
68. COSTAS-GIL, A., M. J. REIGOSA a A. M. SANCHEZ-MOREIRAS. The natural compound podophyllotoxin induces growth inhibition and

microtubule condensation on *Arabidopsis* roots. Allelopathy Journal. 2018, **45**(2), 255-262. DOI:10.26651/allelo.j./2018-45-2-1191

69. WU, H. B., T. T. LIU, Z. ZHANG, W. WANG, W. ZHU, L. LI, Y. LI a X. CHEN. Leaves of *Magnolia liliflora* Desr. as a high-potential by-product: Lignans composition, antioxidant, anti-inflammatory, anti-phytopathogenic fungal and phytotoxic activities. Industrial Crops and Products. 2018, **125**, 416-424. DOI:10.1016/j.indcrop.2018.09.023

70. GHANI, M. U., H. YUAN, M. TIAN, M. KAMRAN a F. HOU. Aqueous litter extracts of native grass species suppress exotic plant species under allelopathic conditions. Journal of Plant Growth Regulation. 2022, **42**(3), 1665-1680. DOI:10.1007/s00344-022-10649-7

ŽIVOTOPIS

Ing. Jana Valíčková
Adresa: Třída Generála Píky 9, 613 00 Brno
Telefon: +420 737 268 642
E-mail: xcvalickova@fch.vut.cz; ja.valickova@seznam.cz

Vzdělání:

2018–dosud	Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí Doktorské studium
1996–2001	Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta Magisterský studijní program, Agroekologie

Pracovní zkušenosti:

2020 – dosud	Sanofi ČR Medical Science Liaison
2011–2020	Eli Lilly ČR Pharmaceutical representative
2006–2011	KRKA ČR Medical representative

Kurzy:

2021–2022	Kurz základů psaní akademických textů, VUT Brno
1999–2001	Doplňující pedagogické studium, Mendelova univerzita v Brně

Publikace:

VALÍČKOVÁ, J., Š. ZEZULKA, E. MARŠÁLKOVÁ, J. KOTLÍK, B. MARŠÁLEK a R. OPATŘILOVÁ. Bioactive compounds from *Schisandra chinensis* - Risk for aquatic plants?. Aquatic Toxicology. 2023, **254**, 106365. DOI:10.1016/j.aquatox.2022.106365

VALÍČKOVÁ, J., Š. ZEZULKA, E. MARŠÁLKOVÁ, J. KOTLÍK, B. MARŠÁLEK a R. OPATŘILOVÁ. Potential toxicity of *Schisandra chinensis* to water environment: acute toxicity tests with water crustaceans. Environmental Science and Pollution Research. 2023, **30** (52), 112625-12630. DOI:10.1007/s11356-023-30182-8

VALÍČKOVÁ, J., Š. ZEZULKA, E. MARŠÁLKOVÁ, J. KOTLÍK, B. MARŠÁLEK a R. OPATŘILOVÁ. Early developmental stages of crops exposed to the contamination by natural products from *Schisandra chinensis*. Rukopis odeslán do redakce časopisu Water, Air, & Soil Pollution. 2024

Konferenční příspěvky:

PŮČKOVÁ, H., J. KOTLÍK, M. VÁVROVÁ, P. LEVEK, F. MIKŠÍK a J. VALÍČKOVÁ. Akumulace vody a energie v prostředí rychlerostoucích dřevin. In: Zborník XXVII. Vedecké sympózium, Situácia v ekologicky zaťažených regiónoch Slovenska a strednej Európy. Hrádok 2018. Slovenská banícka spoločnosť ZSVTS, Základná organizácia při Ústave geotechniky SAV. 2018, 68-72, ISBN: 978-80-89883-08-0.

KOTLÍK, J., P. LEVEK a J. VALÍČKOVÁ. Voda nad zlato?. In: Zborník XXVIII. Vedecké sympózium s mezinárodnou účasťou, Situácia v ekologicky zaťažených regiónoch Slovenska a strednej Európy. Hrádok 2019. Slovenská banícka spoločnosť ZSVTS, Základná organizácia pri Ústave geotechniky SAV. 2019, 85-89, ISBN: 978-80-89883-08-0.

VALÍČKOVÁ, J., D. KOTLÍKOVÁ, S. VLČNOVSKÁ KOTLÍKOVÁ a J. KOTLÍK. *Schisandra chinensis* – srovnávací analýza účinných látek v potravinových doplňcích. In: Zborník XXIX. vedecké sympózium s medzinárodnou účasťou, Situácia v ekologicky zaťažených regiónoch Slovenska a strednej Európy. Hrádok 2020. Slovenská banícka spoločnosť ZSVTS, Základná organizácia pri Ústave geotechniky SAV. 2020, 103-108, ISBN: 978-80-89883-11-0.

VALÍČKOVÁ, J., J. KOTLÍK a S. VLČNOVSKÁ KOTLÍKOVÁ. Využití odpadů z pěstování *Schisandry čínské* jako alternativního zdroje energie. In: Sborník 42. Nekonvenční zdroje elektrické energie. Vémyslice 2021. Česká elektrotechnická společnost Praha. 2021, 96-100, ISBN: 978-80-02-02936-6.

VALÍČKOVÁ, J., E. MARŠÁLKOVÁ a J. KOTLÍK. Posouzení možného vlivu *Schisandra chinensis* na životní prostředí v České republice. In: Zborník XXX. vedecké sympózium s medzinárodnou účasťou, Situácia v ekologicky zaťažených regiónoch Slovenska a strednej Európy. Hrádok 2021. Slovenská banícka spoločnosť ZSVTS. 2021, 105-109, ISBN: 978-80-89883-12-7.

VALÍČKOVÁ, J., E. MARŠÁLKOVÁ, Š. ZEZULKA a J. KOTLÍK. Zvládnou vodní ekosystémy v České republice odolat účinkům adaptogenů?. In: Sborník 43. Nekonvenční zdroje elektrické energie. Blansko 2022. Česká elektrotechnická společnost. 2022, 128-131, ISBN: 978-80-02-02972-4.

VALÍČKOVÁ, J., Š. ZEZULKA, E. MARŠÁLKOVÁ, J. KOTLÍK a D. KOTLÍKOVÁ. Possible influence of *Schisandra chinensis* fruit extract on

zooplankton. In: ZBORNÍK XXXI. vedecké sympózium s medzinárodnou účasťou, Situácia v ekologicky zaťažených regiónoch Slovenska a strednej Európy. Hrádok 2022. Slovenská banícka spoločnosť. 2022, 45-48, ISBN: 978-80-89883-13-4.

Konference a přednášky:

8. 10. 2019	Czech_Japan Workshop on Intellectual and Technological Exchange, Brno University of Technology, Faculty of Chemistry
24. 10.-25.10. 2019	XXVIII. vedecké sympózium s medzinárodnou účasťou, Situácia v ekologicky zaťažených regiónoch Slovenska a strednej Európy, Hrádok pri Jelšave, Slovensko
5. 11.-6. 11. 2020	XXIX. vedecké sympózium s medzinárodnou účasťou, Situácia v ekologicky zaťažených regiónoch Slovenska a strednej Európy, Hrádok pri Jelšave, Slovensko
23. 6.-25. 6. 2021	42. nekonvenční zdroje elektrické energie, Mezinárodní konference, Vémyslice
21. 10.-22. 10. 2021	XXX. vedecké sympózium s medzinárodnou účasťou, Situácia v ekologicky zaťažených regiónoch Slovenska a strednej Európy, Hrádok pri Jelšave, Slovensko
22. 6.-24. 6. 2022	43. nekonvenční zdroje elektrické energie, Mezinárodní konference, Blansko
24. 11.-25. 11. 2022	XXXI. vedecké sympózium s medzinárodnou účasťou, Situácia v ekologicky zaťažených regiónoch Slovenska a strednej Európy, Hrádok pri Jelšave, Slovensko

Stáže:

Březen 2024	Arboretum Mlyňany, Slovenská akadémia vied (1 den)
Červen 2022	Arboretum Mlyňany, Slovenská akadémia vied, Ústav ekológie lesa Zvolen (5 dní)
2020–2021	Botanický ústav AV ČR v.v.i., Oddělení experimentální fykologie a ekotoxikologie Brno
Květen 2019	Polytechnická univerzita Miláno (5 dní)
Únor 2019	Polytechnická univerzita Valencie, Španělsko (5 dní)
Říjen 2018	Stáž na ekosystémové stanici sítě CzeCOS v Lanžhotě a CzechGlobe Brno (2 dny)