



Zemědělská
fakulta
Faculty
of Agriculture

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Katedra biologických disciplín

Bakalářská práce

Porovnání klíčení ohroženého rdestu ostrolistého (*Potamogeton acutifolius*) a expanzivního rdestu kadeřavého (*Potamogeton crispus*)

Autorka práce: Radana Pospíšilová
Vedoucí práce: Mgr. Jana Navrátilová, Ph.D.
Konzultant práce: doc. RNDr. Josef Navrátil, Ph.D.

České Budějovice
2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval(a) pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

Podpis

Abstrakt

Tato práce se zabývá zejména problematikou klíčení semen, a obnovy růstu turionů, a jejich uchovávání u dvou druhů rdestu. Konkrétně se jedná o v české květeně ustupující rdest ostrolistý (*Potamogeton acutifolius*) a v mnohých částech světa invazivní rdest kadeřavý (*Potamogeton crispus*). Úvodní kapitoly jsou věnované popisu těchto dvou druhů, problematice uchování a klíčení semen i některých dalších vodních rostlin mírného pásu, a charakteristice turionu. Poté se práce zaměřuje na samotný experiment, včetně postupu práce a popisu jednotlivých testů, jejichž výsledky jsou statisticky zhodnoceny. Nakonec jsou ze získaných dat učiněny závěry.

Klíčová slova: *Potamogeton acutifolius* (rdest ostrolistý), *Potamogeton crispus* (rdest kadeřavý), vodní rostliny, vodní rostliny mírného pásu, uchování semen, uchování turionů, klíčení semen, obnova růstu turionů.

Abstract

This work mainly focuses on the issue of seed germination, restoration of turion growth, and their preservation in two *Potamogeton* species. Particularly speaking about, receding in Czech flora *Potamogeton acutifolius* (sharp-leaved pondweed) and, in many parts of the world invasive, *Potamogeton crispus* (curly-leaf pondweed). The introductory chapters contain descriptions of these two species, the germination and turion growth issue of some other temperate zone aquatic plants and turion characteristics. Then the study deals with the experiment itself, including progress of work and the description of individual tests, the results of which are statistically evaluated. Finally, conclusions are drawn from the obtained data.

Keywords: *Potamogeton acutifolius* (sharp-leaved pondweed), *Potamogeton crispus* (curly-leaf pondweed), aquatic plants, aquatic plants of temperate zone, seed preservation, turions preservation, seed germination, restoration of turion growth

Poděkování

Autorem jsem pouze já sama, ale bez podpory a pomoci ostatních bych to nezvládla, proto ze srdce děkuji vedoucí mé práce Mgr. Janě Navrátilové, Ph.D a konzultantovi doc. RNDr. Josefovi Navrátilovi, Ph.D. za jejich přístup, cenné rady a připomínky. Dále děkuji Botanickému ústavu AV ČR v.v.i. v Třeboni, že jsem na jejich půdě mohla provést experiment. Velké díky si zaslouží i můj partner Dáda za nekonečnou trpělivost, podporu a věcné připomínky. V poslední řadě děkuji Mgr. Evičce Maškové za velmi rychlou korekturu, svému bráškovi Matějovi a mamince Dášence, za to, že je mám a že při mně stojí.

Obsah

Úvod	6
1 Literární rešerše.....	7
1.1 <i>Potamogeton</i>	7
1.1.1 Systematické zařazení.....	7
1.1.2 Obecné znaky rdestů.....	7
1.1.3 Výskyt.....	9
1.2 Rdest ostrolistý.....	14
1.2.1 Morfologie.....	14
1.2.2 Variabilita.....	15
1.2.3 Odlišnost od podobných druhů.....	15
1.2.4 Výskyt.....	16
1.2.5 Rozšíření v ČR.....	16
1.3 Rdest kadeřavý.....	16
1.3.1 Morfologie.....	16
1.3.2 Variabilita.....	17
1.3.3 Výskyt.....	17
1.3.4 Rozšíření v ČR.....	18
1.3.5 Invazivnost.....	18
1.4 Uchování a klíčení semen vodních rostlin mírného pásu.....	19
1.4.1 Charakteristika vodních rostlin.....	19
1.4.2 Sběr semen vodních rostlin.....	20
1.4.3 Uchování semen vodních rostlin.....	20
1.4.4 Klíčení semen vodních rostlin.....	21

1.5. Dormance.....	23
1.6 Turiony.....	24
2 Cíle práce.....	28
3 Metodika.....	30
3.1 Rostlinný materiál.....	30
3.1.1 Turiony.....	30
3.1.2 Semena.....	31
3.2 Experiment.....	31
3.2.1 Turiony.....	31
3.2.2 Semena.....	33
3.3 Zpracování dat.....	34
3.3.1 Turiony.....	34
3.3.2 Semena.....	35
4 Výsledky.....	36
4.1 Turiony.....	36
4.2 Semena.....	39
4.2.1 Prolomení dormance.....	45
5 Diskuze.....	49
5.1 Turiony.....	49
5.2 Semena.....	49
Závěr.....	51
Citovaná literatura.....	53

Úvod

Rdesty jsou významnou skupinou vodních makrofyt.

Vodní prostředí podléhá změnám, zásadně se na něm podepsalo znečištění, spojené především se zvýšením trofie povrchových vod a snížením průhlednosti, to vedlo k ústupu velkého množství druhů.

Specifickou skupinou rdestů jsou ty, které se rozmnožují především pomocí tzv. turionů, což jsou přezimující dormantní orgány některých vodních rostlin vyskytujících se od temperátních po polární oblasti. Většinou se vyvíjejí od konce léta a celý podzim (Kaplan, 2010).

V této skupině jsou jak druhy výrazně ustupující, jako je např. *Potamogeton acutifolius* (rdest ostrolistý). Je to evropský druh vyskytující se v temperátních oblastech většiny Evropy, s vzácným výskytem v jižní Evropě. (Kaplan, 2010) Stupeň ohrožení v ČR je C3 – ohrožený, podle červeného seznamu cévnatých rostlin České republiky, spadá pod ochranu dle Vyhlášky č. 395/1992 Sb. V celosvětovém měřítku je řazen do kategorie téměř ohrožený taxon (Lansdown, 2011).

Dále do skupiny patří druhy, které jsou mimo svůj areál invazivní, k nejznámějším patří *Potamogeton crispus* (rdest kadeřavý). Je to jednoletá submerzní rostlina vyskytující se kosmopolitně a roste v celé řadě klimatických stanovišť (Kaplan, 2010).

Oba druhy jsou schopny pohlavního rozmnožování, tvoří semena, proto jsou předmětem studia možnosti uchování v ex-situ podmínkách, uchovávání turionů je obtížné a z dlouhodobého hlediska pravděpodobně nemožné, naopak u semen by mohly existovat způsoby, které umožní populace archivovat dlouhodobě. S tím je spojena problematika uchování semen – existují různé možnosti, které jsou různě nákladné na místo a práci.

Z předchozích prací je zřejmé, že různé druhy rdestů reagují různou mírou klíčivosti na způsoby manipulace se semeny, byť obecně se zdá, že klíčivost druhů, které netvoří turiony je vyšší než u těch, které turiony tvoří.

Proto je tato práce věnována testu klíčivosti semen dvou odlišných druhů v jejichž rozmnožování dominuje vegetativní množení turiony.

1 Literární rešerše

Následující část bakalářské práce je věnována přehledu dosavadních poznatků o biologii zájmových druhů a možnostech uchování a klíčivosti semen rodu *Potamogeton* ve srovnání s dalšími vodními druhy vyšších rostlin. Členěna tak bude do částí věnovaných postupně rodu *Potamogeton*, oběma zájmovým druhům, poznatkům o klíčivosti semen vodních rostlin a problematice rozmnožování turiony.

1.1 *Potamogeton* (rdest)

1.1.1 Systematické zařazení

Říše: *Plantae* (rostliny)

Podříše: *Tracheobionta* (cévnaté rostliny)

Oddělení: *Magnoliophyta* (krytosemenné)

Třída: *Liliopsida* (jednoděložné)

Řád: *Alismatales* (žabníkotvaré)

Čeleď: *Potamogetonaceae* (rdestovité)

Rod: *Potamogeton* (rdest), *Stuckenia* (rdestík, rdest)

(<http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>)

Kaplan (2010) tvrdí, že dle fylogenetické studie doložené molekulárními daty se ukazuje, že rod *Potamogeton* se dělí na dvě monofyletické skupiny, které odpovídají tradičně definovaným podrodům. Na základě míry divergence je oprávněné hodnotit je na úrovni samostatných rodů. V minulosti rozeznávaný podrod *Coleogeton* by měl být posuzován jako samostatný rod *Stuckenia* (rdestík). Podobnost mezi rody *Potamogeton* a *Stuckenia* je nižší než mezi *Potamogeton* a *Groenlandia* (rdestice), které jsou tradičně rozeznávané.

1.1.2 Obecné znaky rdestů

Byliny rodu *Potamogeton* jsou vytrvalé vodní rostliny (Kaplan, 2010). Rostou ve sladkých nebo mírně brakických vodách. Některé z nich jsou schopny dočasně tvořit subterestrické formy při vyschnutí vodní oblasti, kde rostou (*P. natans*- rdest

vzplývavý, *P. gramineus*- r. trávolistý, *P. nodus*- r. uzlinatý). Jiné zvládají růst na rašeliníkových polštářích (*P. polygonifolius*- r. rdesnolistý) (Kaplan, 2002).

Rod je druhově nejrozmanitější v rámci vodních rostlin a současně je taxonomicky nejkritičtější. Problematika spočívá ve velké druhové diverzitě, podobnosti jednotlivých druhů a snadnému mezidruhovému křížení, které vede ke vzniku hybridů. Z různých předků vznikly paralelním vývojem téměř stejné typy. Určování taxonů rdestů je složité, protože mají málo obvyklých makromorfologických znaků. Rozlišování ztěžují ekomorfozy (odchylna ve tvaru orgánů vlivem prostředí). Spolehlivým rozlišovacím znakem jsou „palisty“, jejich velikost, textura a zbarvení, znaky na listech a anatomie lodyhy. Termín palisty je uveden do uvozovek z toho důvodu, že označení není zcela správné. U rostlin čeledi *Potamogetonaceae* se nacházejí specifické blanité orgány připomínající svinuté palisty dvouděložných rostlin či listovou plochu trav. Z hlediska organogeneze se však i přes celkovou podobnost nejedná o tyto orgány. Žádný jiný termín není k dispozici, a proto nesprávně užíváme termín palisty pro tyto orgány (Kaplan, 2010).

Rdesty často vytvářejí podzemní oddenky nebo nadzemní výběžky. Listy jsou ponořené nebo splývají s vodní hladinou, přisedlé nebo na bázi řapíku, celokrajné nebo pilovité, povětšinou ploché, mají jasnou středovou žilku. U všech listů jsou vytvořené palisty, u některých druhů nesrůstají s listovou bází, jsou volné, ale často srůstají navzájem. U jiných druhů palisty přirůstají k listům, obepínají lodyhu nad uzlinou a tvoří tak celkovou listovou plochu (*Potamogeton pectinatus*- rdest hřebenitý) (Kaplan, 2010).

U některých druhů jsou listy redukovány v pevná fylodia bez čepele (např.: *P. natans*, *P. lucens*- r. světký, *P. gramineus*, *P. polygonifolius*). Mnohdy tvoří morfologicky diferenciované turiony na uzlinách, postranních větvích nebo na vrcholech lodyhy (Kaplan, 2010). Jejich lodyha je výrazně zkrácená, dolní listy jsou odumřelé a horní, původně submerzní, bývají ztloustlé, s krátkým řapíkem (Kaplan, 2002).

Květenství je typu klas, nejčastěji válcovitý, ale vzácně kulovitý, dokonce až příčně elipsoidní s 2-80 květy, za plného květu většinou vyčnívající na hladinu. Gyneceum je složené z (1-)4(-8) nesrostlých pestíků, vzácně mohou srůstat. (Kaplan, 2002).

Plod je na rozhraní mezi peckovicí a nažkou, ale zcela neodpovídá žádnému běžně užívanému termínu pro plod. Osemení je srostlé s oplodím a běžně se nejedná o

suchý plod. Pokud uschne, ztrácí schopnost klíčit, přesto se užívá termín nažka pro plod rdestu. Má blanitý exokarp. Mezokarp je dužnatý až blanitý endokarp je měkký až tvrdý. Semena jsou malá a nemají endosperm jejich zárodky mohou být mírně zatočeny, někdy až do spirály. (Kaplan, 2010). V této práci budu plod označovat pojmem semeno.

Velká část populací našich druhů často nevytváří generativní orgány v průběhu celé sezóny, protože jsou velmi dobře uzpůsobeny vegetativnímu rozmnožování. Vytvářejí vytrvalé oddenky (*P. praelongus*- r. dlouholistý), turiony (*P. acutifolius*), vegetativní pupeny na konci výběžků (*P. crispus*) nebo hlízy na konci oddenků (*P. lucens*, *P. gramineus*). (Kaplan, 2002).

Rdesty obsahují sekundární metabolity - taniny a flavanoidy. Červené zbarvení některých druhů je způsobené barvivem rhodoxantin (Kaplan, 2010).

1.1.3 Výskyt:

Rod zahrnující okolo 165 druhů a minimálně 60 kříženců se nachází téměř na celém světě (The Plant List, 2013). Výjimkou jsou tropické deštné lesy a aridní oblasti. Největší diverzita se nachází v mírném pásu severní polokoule (Kaplan, 2010).

Tabulka 1.1: Zástupci rodu, jejich rozšíření a stupeň ochrany

druh	rozšíření v ČR	rozšíření ve světě	celosvětové ohrožení podle IUCN červeného seznamu
<i>P. polygonifolius</i> rdest rdesnolistý	Ašský výběžek, celkem asi na 20 mikrolokalitách	atlantická část Evropy až po Norsko, Švédsko, Finsko, z Polsko, Rakousko, Korsika, sz. Itálie, v. Afrika, Azorské ostrovy, Madeira, v Severní Americe od Nového Skotska po New Foundland	málo dotčený taxon
<i>P. coloratus</i> rdest zbarvený	vyhynulý, naposledy pozorován na Hrabanovské černavě v roce 1977	z. a stř. Evropa, Maďarsko, Polsko, roztroušeně v j. Evropě, ojediněle v Asii a Africe	málo dotčený taxon

druh	rozšíření v ČR	rozšíření ve světě	celosvětové ohrožení podle IUCN červeného seznamu
<i>P. alpinus</i> rdest alpský	z., v. a j. Čechy, Českomoravská vrchovina, okrajově na Moravě	s. Evropa, Alpy, Polsko, Slovensko, Ukrajina, ojediněle v Pyrenejích, hory Bosny, Bulharska a Černé Hory, Rusko, Asie od Uralu až po Čukotku a Kamčatku, ojediněle v Turecku, Arménii, Pákistánu. V Severní Americe od Aleutských ostrovů a Aljašky po Labrador a jz. Grónsko	málo dotčený taxon
<i>P. nodosus</i> rdest uzlinatý	nížinné toky termofytika a nižší polohy mezofytika, dále řeky: Kyjovka, některé přítoky Labe, Úslava, Vltava nad Č. Budějovicemi, Zlatá Stoka, Stropnice, Dyje, niva Bečvy	disjunktivně téměř po celém světě, zj. v mírném až subtropickém pásu, těžiště výskytu na sev. polokouli	málo dotčený taxon
<i>P. lucens</i> rdest světlý	Pardubické Polabí, Břeclavsko, Kroměřížsko, Plzeňsko, Blatensko, Vodňansko, Ostravská pánev, Českolipsko, Dokesko, Dolní Poorličí, Litomyšlská pánev, Železné hory	temperátní oblasti Evropy a Asie, okrajově v tropech	málo dotčený taxon
<i>P. gramineus</i> rdest trávolistý	několik lokalit na Dokesku, okolí Loučeně, Železné hory, jižní část Českomoravské vrchoviny	Na většině území Evropy od Islandu a s Skandinávie po stř. Francii, Alpy, Maďarsko, Rumunsko, j. Ukrajiny, stř. část ev. Ruska, j. Evropa zřídka, V Asii hl. na Sibiři, sev. Kazachstán, sev. Mongolsko, sev.	málo dotčený taxon Kriticky ohrožený v ČR

		Japonsko, Turecko, Arménie, Írán, Tádžikistán, Severní Amerika	
<i>P. natans</i> rdest vzplývavý	od nížin do podhůří, zj. jihočeské pánve, Polabí, Blatensko, Plzeňsko, Českolipsko	Arktické a temperátní oblasti sev. polokoule,	málo dotčený taxon
<i>P. praelongus</i> rdest dlouholistý	pouze dvě chudé populace v Hradci Králové a u Malšovy Lhoty v dolním Poorličí	sev Evropa, po Francii, sev. Itálii, Slovinsko, sev. Ukrajinu, stř. část ev. Ruska, s Asie, až po JV, s. Japonsko, izolovaně v jz. Asii, Turecku, Arménii, S. Amerika roztroušeně: Aleuty, Aljaška, po stř. Kalifornii a jz. Utah, Newfoundland, New Jersey, izolovaně: Grónsko a stř. Mexiko	málo dotčený taxon
<i>P. perfoliatus</i> rdest prorostlý	Labe od Veltrub po Ústí n. Labem, Ohří, Ploučnice a její přítoky, na Moravě velmi vzácně	Evropa kromě Špicberků a nejteplejších území Středozeří, sever Asie po zhruba 70. rovnoběžku, j Indie, jv Čína, sev. Sumatra, vz. Madagaskar, temperátní oblasti Austrálie, sev. Amerika: trojúhelník mezi sv. Ontariem, Labradorem a jv. Virginii, ojedinele v Louisianě, Alabamě na Floridě, Kubě, v Guatemale	málo dotčený taxon
<i>P. crispus</i> rdest kadeřavý	termofytikum a mezofytikum více viz <i>P. crispus</i> - výskyt	všechny kontinenty, původně v Evropě, Asii, Africe a Austrálii, jinde zavlečen	málo dotčený taxon
<i>P. compressus</i> rdest smáčkutý	Poslední sběr roku 1953 v Polabí		o taxonu chybí údaje vyhynulý v ČR

druh	rozšíření v ČR	rozšíření ve světě	celosvětové ohrožení podle IUCN červeného seznamu
<i>P. acutifolius</i> rdest ostrolistý	více viz <i>P. acuti</i> - výskyt	temperátní oblasti Evropy od j. Anglie, stř. Francie, část ev. Ruska, stř. Švédsko, v j. Evropě vzácně v sev. Itálii, Srbsku, Rumunsku	téměř ohrožený taxon
<i>P. trichoides</i> rdest vláskovitý	hl. Blatensko, Vodňansko, Českobudějovicko, Třeboňsko, zřídka ve stř. a v. Čechách a na Moravě, vzácně v Pomoraví, na Břeclavsku a Ostravsku	temperátní oblasti Evropy, zj. stř. část po j. Skotsko, Dánsko, j. Švédsko, sev. evropského Ruska, j. Evropa vzácně, Asie pouze solitérní oblasti: Turecko, Libanon, Sýrie, Izrael, Arménie, Ázerbájdžán, Kazachstán, jz. Sibiř, Indie, v Africe velmi vzácně v Jihoafrické republice	málo dotčený taxon
<i>P. obtusifolius</i> rdest tupolistý	hl. Blatensko, Vodňansko, Českobudějovicko, Třeboňsko, řídčeji na Plzeňsku, Českolipsku, v Českém ráji, dol. Poorličí, Železných horách a na Českomoravské vrchovině, na Moravě vzácný (Opavsko, Ostravská pánev)	temperátní oblasti sev. polokoule, v Evropě hl. sev. část kromě nejchladnějších oblastí, na jih zasahuje do Francie po Alpy, do Rakouska, sz. Maďarska, na Slovensko, sev. Ukrajinu, do Ruska, v Asii od Uralu přes sev. Kazachstán aj. Sibiř až k Amuru až na Magadan a Kamčatku do sev. Japonska, na jih zasahuje do Mongolska a sev. Číny, v S. Americe od Aljašky	málo dotčený taxon

		přes Kanadu na jv. až po Newfoundland	
<i>P. pusillus</i> rdest maličký	roztroušeně v termofytiku a nižších polohách mezofytika hl. Blatensko, Vodňansko, Českobudějovicko, Třeboňsko, Rožďalovická tabule, Břeclavsko, Ostravská pánev	arktické až tropické oblasti s. polokoule s přesahem na j. polokouli v Africe, v Evropě na Špicberkách, s Skandinávií a ev. části Ruska, na Sardinii, Korsice a Krétě, V Asii výskyt na sever po 60. rovnoběžku, na jih po Jemen, Pákistán, s a sz. Indii, Nepál, Bhútán, Čínu a Korejský poloostrov na východ zasahuje do Japonska a na Kamčatku, vzácně na Taiwanu, Filipínách, Azorách, Madeiře, Kanárských ostrovech, Kapverdách, v S. Americe hl. v USA, vzácně v Kanadě a Mexiku	málo dotčený taxon
<i>P. berchtoldii</i> rdest Berchtoldův	nejvíce v chladných lesích a rašelinných mokřadech, Křivoklátsko, Kokořínsko, Dokesko, Mimoňsko, Trosecká pahorkatina	temperátní oblasti sev. polokoule, v Evropě všude kromě Portugalska a většiny ostrovů ve Středozeří, v Asii j. část Sibiře na sever, po zhruba 63. rovnoběžku na východ po Čukotku a Kamčatku, s. Čínu, Japonsko, v jz. Asii, S. Americe, Kanadě, USA na jih až do Mexika	málo dotčený taxon
<i>P. friesii</i> rdest hrotitý	Naposledy pozorován na Křivoklátsku 1989	Chladnější až temperátní oblasti s. polokoule, sev. Evropa kromě Islandu a Špicberků na jih po Alpy, Rakousko,	málo dotčený taxon

		sev. polovinu Čech, j. Polsko, sev. Ukrajinu, stř. část ev. Ruska, ojediněle v Černé Hoře, v. Rumunsku, v Asii na jihu Sibíře, vzácně za polárním kruhem, dále na Kamčatce, v S. Americe od Aljašky přes Kanadu do sev. USA dále na východ až po Newfoundland	
--	--	--	--

Kaplan (2010), IUCN red list.

1.2 Rdest ostrolistý (*Potamogeton acutifolius*)

1.2.1 Morfologie

Jedná se o vodní jednoletou bylinu světle až sytě zelené barvy. Na rozdíl od některých druhů tohoto rodu netvoří oddenky, ale lodyha, která je dlouhá až 100 cm může být řídké nebo bohatě větvená, přezimuje pomocí turionů. Přezimovací orgány se tvoří od srpna do října na vrcholech krátkých úžlabních větví. To, co se může jevit jako oddenek, je nadzemní plazivý výběžek při bázi lodyhy, který někdy tvoří.

Vždy submerzní listy jsou přisedlé a na vrcholu špičaté s krátkým nasazeným hrotem. Rozměry se pohybují od 35-90 mm, vzácně až 130 mm na délku a 1,8- 3,5 mm, v extrémních případech v rozmezí až 1,3- 4,3 mm, na šířku. Okraje jsou celistvé. Tuhost listu se popisuje jako měkká až mírně tuhá. Staré odumírající listy jsou většinou barvy zažloutlé až hnědožluté, jinak je barva zdravých a mladých listů světle až sytě zelená, vzácně tmavě nebo černozeleňá (Kaplan, 2002).



Obrázek 1.2: Lodyha *Potamogeton acutifolius*, léto 2015, foto Josef Navrátil, použito se svolením autora.



Obrázek 1.3: Žilnatina a sklerenchymatická vlákna *Potamogeton acutifolius*, léto 2015, foto Josef Navrátil, použito se svolením autora.



Obrázek 1.4 Porost *Potamogeton acutifolius*, říjen 2016, foto Jana Navrátilová, použito se svolením autorky.

1.2.2 Variabilita

Proměnlivost značně podléhá vlivům prostředí, a proto nemá z taxonomického hlediska žádný význam. Byly popsány dvě varianty: major- mající bohatou větvenost, dlouhá internodia a listy, a minor- vyznačující se naopak chudým rozvětvením, krátkými internodii a listy. Extrémní fenotypy mohou svými listy připomínat *P.compresus*. Jsou extrémně široké (4,3mm), tmavě zelené, na vrcholu zaokrouhlené a mají malý koncový hrot (Kaplan, 2010).

1.2.3 Odlišnost od podobných druhů

Od podobného druhu *P. obtusifolius* se liší v tom, že pruhovaný list je zakončen do špičky a internodia jsou plochá (Krása, 2010).

Někdy bývá zaměňován s širokolistou fenotypovou formou *Potamogeton berchtoldii*, který se liší oblou nebo jen mírně zmáčknutou lodyhou a listy bez podélných sklerenchymatických vláken (Kaplan, 2010).

1.2.4 Výskyt

Nejčastěji roste v rybnících, nepříliš hojně v odvodňovacích příkopech, mrtvých říčních ramenech, tůních a mokřadech. Ojedinele se vyskytuje v nížinných vodních tocích. Po většinou se jedná o vody stojaté, vzácně i pomalu proudící. Vzhledem k hloubce a obsahu výživných látek *P. acutifolius* nalezneme v mezotrofních až přirozeně eutrofních vodách bohatých na minerály s bahnitým dnem v hloubkách 20-120 cm (Kaplan, 2010).

1.2.5 Rozšíření v ČR

V Čechách není výskyt příliš hojný, roste zejména na Blatensku, Vodňansku, Českobudějovicku a Třeboňsku, vzácněji na Plzeňsku, Českolipsku, v Českém ráji a na Českomoravské vrchovině. Na Moravě je k nalezení ojedinele na Opavsku, Ostravsku, Břeclavsku a v Pomoraví od Zábřehu po Kvasice (Kaplan, 2010).

1.3 Rdest kadeřavý (*Potamogeton crispus*)

1.3.1 Morfologie

Oddenek je vždy jednoletý. Lodyha je dlouhá až 130 cm, jednoduchá nebo trochu

větvená, jednoletá nebo přezimuje pod ledem. Barvu má okrově hnědou až zelenohnědou a je výrazně plochá. Listy jsou ponořené pod hladinou, někdy splývají. Tvar je podlouhlý a podél okrajů jsou listy často značně kadeřavé, vzácně ploché, vrchol je tupě do špičky až zaoblený. Rozměry listů: 20-95 mm, výjimečně 120 mm na délku a 6-12 mm, vzácně 4-14 mm na šířku. Barva listů je živě, někdy tmavě až hnědě zelená, podél žilek načervenalá. Květenství je typu klas, válcovitého tvaru s 3-8 květy, nejčastěji dlouhé 17 mm. Květy mají v průměru 3-3,5 mm, okvětní lístky bývají světle zelenohnědé (Kaplan, 2010). Reprodukční strategií tohoto druhu je tvorba oddenků, hlíz a turionů (Sculthorpe 1967).



Obrázek 1.5: Mladý turion a plody *Potamogeton crispus*, podzim 2016, foto Jana Navrátilová, použito se svolením autorky.

1.3.2 Variabilita

Druh je velmi variabilní ve tvarech, šířkách a mírách kadeřavosti listů. Proměnlivý je i tvar listového vrcholu, míra větvení a délka internodií (Kaplan, 2010)

1.3.3 Výskyt

Tento druh je možné nalézt ve vodách stojatých až středně rychle proudících, mezotrofních až eutrofních, s bahnitým až kamenitým dnem. Najdeme je v rybnících, mělkých vodních a hasičských nádržích, rybích sádkách, zatopených pískovnách a

lomech, odvodňovacích kanálech, mlýnských náhonech, potocích, středních a dolních tocích řek, mrtvých říčních ramenech. Obvykle rostou v hloubce 30-150 cm. Nejčastěji je objevíme ve společenstvech spolu s *Parvopotamion* (úzkolistý rdest), *Magnopotamion* (šírokolistý rdest), *Batrachion fluitantis* (lakušník vzplývavý) (Kaplan, 2010).

1.3.4 Rozšíření v ČR:

P. crispus se vyskytuje napříč všemi fytogeografickými oblastmi ČR například: nížiny velkých řek (jižní Morava, Polabí), ve vyšších polohách v typicky zamokřených oblastech (např v jihočeských pánvích, na Plzeňsku, Povltaví), v severních Čechách především na Českolipsku, Dokesku, Mimoňsku. Další lokality výskytu zahrnují východní Čechy, čteněji na Českomoravské vrchovině a na Moravě zejména v Pobečví a na Ostravsku. Vzácně byl nalezen v teplých moravských pahorkatinách. Nikdy neroste v horách a z chladnomilných společenství je znám ze tří oblastí: Žďárské a Jihlavské vrchy a Jizerské hory (Kaplan, 2010).



Obrázek 1.6: Habitus *Potamogeton crispus*, červenec 2013, foto Jana Navrátilová, použito se svolením autorky.

1.3.5 Invazivnost

V některých oblastech, kde se stává *P. crispus* velmi hojným, se ukázalo, že snaha o odplevelení je marná, neboť reaguje na prořezávání zvýšeným opětovným růstem stejně jako *P. perfoliatus*. Dříve oligotrofní jezera, která se stala eutrofními jsou snadno osidlována tímto druhem. Dokazuje to silnou konkurenční schopnost a vysvětluje jeden z důvodů invazivnosti (Zhao et al, 2019).

Invazivnost tohoto druhu je také částečně způsobena disperzí rostlinných fragmentů, což je pravděpodobně klíčovým mechanismem, který potenciálně vysvětluje rychlé šíření ponořeného makrofytu *Potamogeton crispus*. Disperze fragmentů makrofytů a jejich regenerace z kmenových fragmentů jsou přehlíženými mechanismy při obnově degradovaných ekosystémů nebo při řízení invazních druhů (Vilas et al, 2017).

Dalším důvodem škodlivého potenciálu tohoto druhu je, že ne všechny turiony *P. crispus* klesají ke dnu, ty, které zůstávají na hladině, nejsou skutečně spící. To dokazuje skutečnost vyšší koncentrace rozpustného cukru, dusíku a fosforu. Tyto turiony klíčí dříve a jejich sazenice jsou větší, proto představují větší míru ohrožení v teplých oblastech, neboť zde turiony nejsou zničeny mrazem. Klíčící klesající turiony tvoří větší klíčící biomasu, a to zdůrazňuje silné konkurenční schopnosti tohoto druhu (Xie et al, 2015).

Hlavní příčinou rychlého šíření *P. crispus* v jezeře Dongping v severní Číně je eutrofizace v důsledku lidské činnosti. Toto jezero je důležitou křižovatkou přenosu vody z jihu na sever a na trase ze západu na východ a rozšíření *P. crispus* způsobilo řadu ekologických problémů, včetně blokování vodních cest a velkého počtu úmrtí ryb (Yu et al., 2020).

1.4 Uchování a klíčení semen vodních druhů rostlin mírného pásu

1.4.1 Charakteristika vodních rostlin

Vodní rostliny jsou zajímavou skupinou rostlin, které se poté, co jejich vývojoví předci opustili vodní prostředí, do něj vrátily a jsou svým životním cyklem s vodním prostředím spjaty. Vodnímu prostředí (vodní toky, rybníky a jiné přírodní nebo uměle vytvořené vodní plochy či nádrže) je tak přizpůsoben jejich život.

Vodní rostlinou se rozumí rostlina částečně nebo zcela adaptovaná svým životním cyklem na vodní prostředí. Různorodost vodního prostředí umožnila vznik nejrůznějších adaptací. Mezi tyto patří plovoucí rostliny s listy plovajícími na hladině a volnými kořeny směřujícími dolů (možnost snadného přemístování vlivem prostředí). Dále jsou to rostliny s taktéž plovoucími listy, ale s možným výskytem i listů ponořených a kořeny uchycenými ve dně. Následně jsou to ponořené rostliny s listy výhradně pod vodní hladinou. Koření ve dně a květy mohou čnít nad vodní hladinu. Na závěr jsou to rostliny s listy vystupujícími nad hladinu a kořenicí ve dně (Baskin et Baskin 1998).

Vodnímu prostředí odpovídá i způsob rozšiřování semen. Těmi se rozumí zoochorie (hlavně vodní ptactvo) a hydrochorie (Kaplan et al, 2000). Metoda šíření semen ovlivňuje klíčení, některé potřebují temné podmínky u dna, jiné obnažený substrát na světle. (Baskin et Bastin 1998). Důležitý přínos zoochorie navíc spočívá v narušování tvrdých semenných obalů mechanicko-chemickou cestou v trávicím traktu větších živočichů vázaných na vodní prostředí, a tím zvyšování klíčivosti (Smolders et al, 1995).

Tvorba semen je odvislá od objemu vegetativní biomasy mateřské rostliny, teplotě prostředí a délce fotoperiody. Z pohledu tvorby semen se dají rostliny dělit na druhy produkující mnoho snadno klíčících semen (zejména jednoleté rostliny, klíčivost až 100%). Ve srovnání s nimi existují druhy produkující málo semen či dokonce žádná a pokud už se semena vytvoří, klíčivost je mizivá. (Vierssen, 1967).

Při klíčení semen *in vitro* se používají různá ošetření (skarifikace-mechanická nebo chemická, stratifikace, teplotní změny, změna salinity vody a množství rozpuštěného O₂).

Rozmnožování vodních rostlin pomocí semen se může provádět výsevem na vlhký substrát se zajištěním vysoké vzdušné vlhkosti. Do submerzní fáze se přemísťují semenáčky určité velikosti, postupně se zvyšuje hladina vody. Některé rostliny lze množit pouze výsevem (*Barclaya longifolia*, *Echinodorus berteroi*) (Fenner, 2000).

1.4.2 Sběr semen vodních rostlin

Semena pro pokusné klíčení je nejlepší sbírat za plné zralosti, ideálně když semena sama odpadávají od matečné rostliny. Tato semena mají nejlepší předpoklady k úspěšnému klíčení. Dále jsou tato semena vhodná i k dlouhodobému skladování,

protože je již plně vyvinuté oplodí, často velmi tvrdé, a tudíž pro vodu nepropustné (Baskin et Baskin, 1998).

1.4.3 Uchování semen vodních rostlin

Pro zkoušky klíčivosti semen je nejnadhnější používat semena čerstvá.

Ochranářským cílem ale je semena krátkodobě nebo dlouhodobě skladovat.

Nejvíce používaným způsobem pro dlouhodobé uchování většiny vodních druhů je prvotní vysušení a následné hloubkové zmrazení. Semena některých rostlin se nedaří dlouhodobě skladovat, respektive jejich klíčivost po jednom roce je nulová (př.: *Eucalyptus pauciflora*) (Baskin et Baskin, 1998)

Krátkodobé vyschnutí semen některých druhů podporuje prolomení dormance. Špatným skladováním může dojít k zániku embrya. Za špatné skladování je považováno: vysušování semen vodních rostlin tropů, hloubkové zmrazení vlhkých či mokrých semen nebo skladování některých druhů při vyšší teplotě. U nevysušených semen skladovaných při vyšší teplotě může dojít ke klíčení (Hay, 2008 by Hay et al, 2000).

Semena je možno skladovat v přirozených podmínkách nebo v laboratorních podmínkách co nejvíce přizpůsobených těm přírodním (Baskin et Baskin, 1998). Skladování semen tropických druhů je obtížné, protože vyžadují teplé a vlhké prostředí (6°C) a vlhkost může být živnou půdou pro nežádoucí mikroorganismy. U skladování semen rodu *Potamogeton*, *Butomus* (šmel), *Eleocharis* (bahnička), *Najas* (řečanka), *Nymphaea* (leknín), *Sagittaria* (šípka) a *Vallisneria* (zákrutich) byla vypořovávána ideální skladovací teplota 3°C (Baskin et Baskin 1998).

1.4.4 Klíčení semen vodních rostlin

Pro úspěšné klíčení semen vodních rostlin, které je obecně složité, je důležité znát a co nejvíce dodržet požadavky daných rostlin (substrát, množství vody, (vlhkost), pH vody, teplota nebo světlo). Lepších výsledků je dosahováno, pokud semena klíčí na substrátu nebo ve vodě odebrané z lokality sběru. Některá semena vyžadují pro klíčení stratifikaci, u vodních rostlin mírného pásu se tak rozumí krátkodobé vystavení nízké teplotě (Baskin et Baskin, 1998).

Tabulka 1.7: Příklady úspěšných nebo naopak neúspěšných pokusů o klíčení různých druhů vodních rostlin v laboratorních podmínkách.

druh	stratifikace (ano/ne/obě možnosti)	skarifikace (ano/ne)	inkubace (světelné podmínky, teplota, živné médium apod.)	úspěšnost klíčení (%)
<i>Nymphaea alba</i> (leknín bílý)	ne	ne	agarové ztuhlé médium	až 60 %
<i>Nymphaea alba</i>	obě možnosti	neuveдено	deonizovaná voda pH7, 16h světlo	0 %
<i>Nymphaea lutea</i> (stulík žlutý)	ano (anaerobní)	ne	neuveдено	98 %
<i>Calla palustris</i> (d'áblík bahenní)	ano (vlhká, studená)	ne	ve vodě, teplota 10- 30 °C	84,4- 99 %
<i>Alisma gramineum</i> (žabník trávolistý)	ano (vlhká, studená)	ano (bělicím prostředkem)	4cm vody, 20- 30 °C	94- 100 %
<i>Schoenoplectus supinus</i> (skřípínek poléhavý)	ano (vlhká, studená)	ano (bělicím prostředkem)	4cm vody, 15 °C	87- 99%
<i>Najas marina</i> (řečanka přimořská)	ano, 4°C	ne	ve vodě, 25° C, 12h světlo	40-55 %
<i>Iris pseudacorus</i> (kosatec žlutý)	ano, 4°C (ve vodě)	ne	vlhký substrát, 20- 25° C, 12h světlo	88 %
<i>Typha latifolia</i> (orobínek širokolistý)	ano, 4°C (ve vodě)	ne	vlhký substrát, 20- 25° C, 12h světlo	86 %

druh	stratifikace (ano/ne/obě možnosti)	skarifikace (ano/ne)	inkubace (světelné podmínky, teplota, živné médium apod.)	úspěšnost klíčení (%)
<i>Sparganium erectum</i> (zevar vzpřímený)	ano, 3°C	ano (smirkovým papírem, bělicím prostředkem) i bez skarifikace	18° C v noci, 28° C ve dne, 16h světlo	0 %
<i>Eleocharis palustris</i> (bahnička mokřadní)	ano, 3- 4°C (vlhká i suchá)	ano (smirkovým papírem, bělicím prostředkem) i bez skarifikace	15, 20, 25, 30°C, 12h světlo	≤2%

(Sumlu, Atar, & Khawar, 2014), (Barrat-Segretain, 1996), (Smits, Schmitz, Velde, & Voesenek, 1995), (Wagner & Oplinger, 2017), (Hroudová & Zákřavský, 2003), (Wagner & Oplinger, 2017), (Handley & Davy, 2005), (Belyakov & Lapirov, 2015)

1.5 Dormance

Dormance je nástroj blokující klíčení semene, sloužící rostlinám k překonání období nepříznivých environmentálních podmínek jako jsou chlad, nedostatek světla a vody. Dělí se na dva typy - vnitřní a vnější. Vnější dormance je ovlivňována osemením, vnitřní zárodkem. Narušením osemení je možné uměle prolomit dormanci.

Tabulka 1.8: Schéma typů dormance.

Typ	Příčina	Prolomení
Vnitřní:		
morfologická	nevyvinutí embrya	vhodné podmínky pro růst/ klíčení embrya
morfofyziologická	fyziologický inhibiční mechanismus klíčení a nevyvinutí embrya	teplá nebo/a studená stratifikace
fyziologická	fyziologický inhibiční mechanismus klíčení	teplá nebo/a studená stratifikace
Vnější:		
chemická	inhibitory klíčení	vyluhování
fyziická	osemení je nepropustné pro vodu	narušení osemení
Mechanická	struktury omezující růst	teplá nebo/a studená stratifikace

Baskin et Baskin (1998).

1.6 Turiony

Turiony tvoří tyto rody, v závorce je uvedena čeleď: *Ceratophyllum* (*Ceratophyllaceae*), *Brasenia* (*Cabombaceae*), *Aldrovanda* (*Droseraceae*), *Utricularia* (*Lentibulariaceae*), *Myriophyllum* (*Haloragaceae*), *Potamogeton* (*Potamogetonaceae*), *Caldesia* (*Alismataceae*), *Hydrocharis*, *Elodea*, *Hydrilla*, *Stratiotes* (*Hydrocharitaceae*), *Spirodela*, *Lemna*, *Wolffia* (*Araceae*) česky: růžkatec (růžkatcovité), brasénie (kabombovité), aldrovandka (rosnatkovité), bublinatka (bublinatkovité), stolístek (zrnulovité), rdest (rdestovité), vzplývavka (žábníkovité), vod'anka, vodní mor, přeslenice, řezan (vod'ankovité), závitka, plucha, drobníčka (okřehkovité), (APG, 2016).

Turiony byly prvně popsány Glückerem v roce 1906 jako přezimující dormantní orgány některých vodních rostlin vyskytujících se od temperátních po polární oblasti, většinou se vyvíjejí od konce léta a celý podzim, ale některé druhy např.:

Potamogeton crispus se vyvíjejí již od června. Turiony jsou jednou ze strategií

přezimování některých vodních rostlin. Vyhnou se tak mrazu a poškození (Kaplan, 2010).

Turiony jsou vegetativní, spící skladovací orgány tvořené vytrvalými vodními rostlinami. Jsou tvořeny kondenzací apikálních stonků s modifikovanými připojenými listy. Klíčí po oddělení od mateční rostliny.

Termín „turion“ by se měl používat pouze pro modifikované nadzemní, oddělitelné a zelené vodní výhonky (sestavující z listů a stonků), které díky obsahu chlorofylu jsou schopné fotosyntézy (Adamec, 2013). Jsou radiálně nebo bilaterálně souměrné (Gluck, 1906). Mimo jiné slouží jako ukládací orgány pro uhlohydráty (Winston et Gorham, 1979) a menším podílem se účastní na ukládání minerálních látek N, P, K, Ca, Mg.

Tvorba turionů je většinou podmíněna změnou teplot a někdy i délkou dne. V rámci mnoha druhů se nedají zobecnit konkrétní teploty. Rody *Aldovanda* a *Utricularia* indukuje tvorbu turionů výrazný relativní pokles teploty např. z 28°C na 20°C. Snížení a délka intenzity záření jsou napomáhajícími faktory k tvorbě turionů u vodních masožravých rostlin (Adamec, 2018). K úplnému zrání je však zapotřebí dlouhodobý pokles teplot na 8- 10°C, krátké dny a nízká intenzita ozáření (Adamec, 1999). Dozrávání turionů je patrné tím, že jsou kompaktnější a obsahují více zásobních látek (Adamec, 2018). Teplota hraje největší roli i při probouzení spících turionů, tentokrát jde o zvýšení teploty. Světlo nehraje příliš velkou roli z toho důvodu, že během zimy jsou turiony na bahnitém dně a často jsou pokryty jemným sedimentem. Při pokusu lámání vynucené dormance bylo jedinou zjištěnou změnou v turionech při klíčení rodu *Aldovanda* a *Utricularia* změna fytohormonů, které vedou k úplnému přerušení inhibice růstu a nastartování klíčení a tvorbě nových orgánů (Adamec, 2003).

Za klíčovou strategii turionů je považováno klesání ke dnu a stoupání k hladině. Tak přečkávají mrazy a na jaře se dostávají do teplejšího a více osvětleného prostoru. U rodu *Aldovanda* a *Hydrocharis* je klesání a stoupání způsobeno rozdílným obsahem škrobu a hlavně plynů (CO₂ a O₂) ve vzduchových bublinách na jaře vs. na podzim. Plyny mají nejspíš původ ve fermentaci a dýchání rostlin. (Adamaec, 2003)

Turiony rodu *Utricularia* mají menší hustotu než voda a jsou pevně spojeny s mateřskou rostlinou a klesají ke dnu díky tomu, že mateční rostlina odumírá. Brzy na jaře se spojující stonek zcela rozpadá a turion stoupá vzhůru. (Sculthorpe, 1967).

U. australis a *U. minor* tvoří z listů jakýsi koš, který zachytí vyvíjející se turion do doby, než se rozloží i přesto, že byl oddělen od mateřské rostliny (Adamec, 1999).

Velikost a počet turionů je ovlivněn množstvím minerálních látek ve vodě, především N a P. Dle experimentu (Xie a Yu, 2011), kdy byl *P. crispus* pěstován v kádích jednak s malým obsahem živin, tak i s vysokým obsahem živin, se ukázalo, že více živin znamená větší počet a velikost tvořených turionů.

Turiony *P. crispus* se vyvíjejí od června do října v úžlabí u báze listů na uzlinách hlavní lodyhy. Dorůstají délky 7-35mm. Mají barvu nejčastěji tmavě zelenou a úzce nahloučené, ztloustlé, redukované listy (Kaplan et al, 2010). Tyto turiony, na rozdíl od jiných rostlin tvořících turiony, nejsou dormantní. Vyrůstají na jaře nebo brzy v létě a začínají růst už na podzim. Kvetou již na jaře, protože olistěné lodyhy přezimují pod ledem. Ty, které nestihnout vykvést v té sezóně, ve které se vytvořily, přezimují, na jaře mají hnědou barvu a jejich klíčivost je nízká. Životnost přezimovaných („hnědých“) turionů *Potamogeton crispus* za různých podmínek může být 12 měsíců až 5 let. Hnědou barvu mají z důvodu hromadění taninů. Minimální teplota vody pro klíčení turionů tohoto druhu je 16°C, ale klíčí i při vyšších teplotách (do 26°C). (Sastroutomo, 1981).

Turiony *P. acutifolius* se tvoří od srpna do října na vrcholech krátkých úžlabních větví. To, co se může jevit jako oddenek, je nadzemní plazivý výběžek při bázi lodyhy, který někdy tvoří (Kaplan et al, 2010).

Využití turionů bylo zkoumáno u druhu *Spirodela polyrrhiza*, přičemž bylo zjištěno, že obsahují významný podíl škrobu, až 65,63%. Sklizený turion byl použit pro fermentaci ethanolu s výtěžkem ethanolu 0,34 g g⁻¹ (turion), což vedlo k ročnímu výnosu 4,69 t / ha. Tento výzkum objasnil, že turion z okřehku je nová biomasa pro výrobu biopaliv (Xu et al., 2018).

Studie zaměřená na růst a přezimování *Aldrovanda vesiculosa* (*Droseraceae*) zjistila, že turiony tohoto druhu se vytvářely od poloviny září a postupně klesaly na dno až do poloviny října. Jednalo se o rostliny rostoucí v hustém společenství a hloubce od 25 do 40 cm. Přesto, že některé turiony neklesly ke dnu a byly vyplaveny na břeh, kde byly vystaveny mrazům až -20°C, žádný z nich to neohrozilo v růstu, pouze některé byly požrány vodním ptactvem. Klíčily od konce dubna do poloviny května. (Adamec, 1999).

Turiony jsou důležitou, avšak rizikovou strategií pro přežití některých vodních

rostlin. Kompenzují to rychlým vegetačním růstem a značným větvením, aby byly schopné vytvořit co nejvíce turionů, které současně slouží jako propagule pro osídlení nových lokalit, za podmínek hydrochorie a ornitochorie. (Sculthorpe, 1967).

Přestože jednou z ekologických funkcí přezimujících turionů je únik ledu, přemísťují se i druhy různých druhů ve velmi mělké vodě nebo nad hladinou vody na mokřích substrátech, kde zažívají mráz a občasné sucho (Adamec, 1999). Již dlouho je známo, že zralé turiony vykazují určitý stupeň odolnosti proti mrazu a suchu (Sculthorpe, 1967). Glück (1906) experimentálně zjistil, že turiony *U. vulgaris*, *M. verticillatum* a *Potamogeton trichoides* zmrazené v ledových blocích při -6 až -10 ° C po dobu 3–10 dnů mohou přežít a obnovit růst, zatímco turiony *Hydrocharis* ne. Prodloužení délky zmrazení snížilo míru přežití turionu. Turiony *U. macrorhiza* obsažené v ledu dokázaly zcela přežít -8 ° C, ale vůbec ne -12 ° C (Winston et Gorham, 1979). Podobně byly *Aldrovanda* turiony schopny přežít na ledu v ledničce při -4 ° C měsíce, ale zemřely při -10 až -12 ° C (Adamec, 1999). Když se však postupně přizpůsobovaly mrazům, kdy ležely na mokřím přírodním substrátu buď na poli nebo ve venkovské kultuře po celou zimní sezónu, plně přežily teploty až okolo -15 až -20 ° C na úrovni turionu (Adamec, 1999). Odolnost proti mrznutí turionů tedy závisí na tom, zda jsou turiony obsaženy v ledu nebo leží volně na mokřím substrátu a zda je mráz náhlý, nebo se mohou turiony postupně aklimatizovat mírnými mrazy během několika týdnů.

2 Cíle bakalářské práce

Z výše uvedených skutečností plyne, že jednotlivé druhy vodních rostlin i jednotlivé druhy rodu *Potamogeton* mají specifické nároky na uchování semen a turionů. Jako možnost pro zachování genofundu vodních rostlin byly zkoumány jen omezeně.

Druh *Potamogeton acutifolius* je rychle ustupujícím druhem v květeně ČR, zatímco druh *Potamogeton crispus* je v mnoha částech světa invazivním druhem. Zatímco v případě prvního druhu je v našem zájmu uchování jeho genofundu v genofondových bankách, *Potamogeton crispus* je druhem, u něhož je poznání dílčích aspektů biologie podstatné k jeho případné eliminaci v nepůvodních oblastech, kde se rozšířil.

Turiony jsou doposud uchovávány jen v „živé“ podobě mezi dvěma sezónami a nelze je uchovávat dlouhodobě. Stejně tak je vysoce problematické dlouhodobé uchování semen vodních rostlin – sušením ztrácejí možnost klíčení (Baskin et Baskin, 1998) a mražením v syrovém (nesušeném) stavu dochází k rozpadu buněk a pletiv nicméně možnost napěstování semenáčků i u mražených semen na -20°C vlhkých na 95% byla prokázána mimo jiné u leknínů (Dalziell et al. 2019). Naším cílem bylo otestovat potenciální možnosti dlouhodobějšího uchování turionů a semen těchto rdestů při zachování jejich schopnosti obnovit růst, respektive klíčit. A to technicky jednoduchými postupy, které jsou možné v provozu malé botanické zahrady zaměřené na ex situ kultivace ohrožených vodních a mokřadních druhů, tedy sušením, chlazením a mražením v cenově dostupných konvenčních chladničkách a mrazničkách.

Proto byl pro tuto bakalářskou práci zvolen cíl: porovnání klíčení semen dvou druhů rdestů, které se rozmnožují převážně vegetativně turiony – těmi jsou ohrožený a dále ustupující rdest ostrolistý (*Potamogeton acutifolius*) a běžný rdest kadeřavý (*Potamogeton crispus*) – podle způsobu uchování semen v genové bance. Posouzen bude vliv teploty (mrazeno, nemrazeno) a vlhkosti uchování semen (sušené, vlhké) na klíčivost obou druhů. Posouzena bude také možnost uchování druhů pomocí turionů.

Výsledek práce je významný pro genofondovou skupiny při Unii botanických zahrad ČR a provedena bude na půdě jednoho ze zakládajících členů Genofondové skupiny ve Sběrce vodních a mokřadních rostlin Botanického ústavu AV ČR, v.v.i

v Třeboni, který bude výsledky aplikovat v metodice uchování jí spravovaného genofondu vodních a mokřadních rostlin.

3 Metodika a zpracování dat

3.1 Rostlinný materiál

3.1.1 Turiony

Obnovení růstu rostlin z turionů bylo testováno ve dvou vegetačních sezónách 2018 a 2019.

V roce 2018 proběhl test obnovení růstu turionů v laboratorních podmínkách. Turiony byly odebrány na podzim ve Sbírci vodních a mokřadních rostlin Botanického ústavu AV ČR, v. v. i. (Navrátilová, 2020):

Potamogeton acutifolius – IPEN Nr. CZ 0 HBT 2017.03718, pocházející ze Skašovského rybníka, nacházejícího se jižně od Tovačova u osady Annín

Potamogeton crispus – IPEN Nr. CZ 0 HBT 2017.03723, pocházející z rybníka Matka u Bohdaneče

Pro porovnání byl přidán:

Potamogeton obtusifolius – IPEN Nr. CZ 0 HBT 2017.03983, Branná: rybník Ruda, tůň v litorálu

V roce 2019 proběhl test obnovení růstu turionů v přírodních podmínkách. Turiony byly opět odebrány na podzim ve Sbírci vodních a mokřadních rostlin Botanického ústavu AV ČR, v. v. i. (Navrátilová, 2020):

Potamogeton acutifolius – IPEN Nr. CZ 0 HBT 2017.03718, pocházející ze Skašovského rybníka, nacházejícího se jižně od Tovačova u osady Annín

Potamogeton crispus – IPEN Nr. CZ 0 HBT 2017.03723, pocházející z rybníka Matka u Bohdaneče

Pro porovnání byly přidány:

Spirodella polyrhiza – IPEN Nr. CZ 0 HBT 2017.04043, Třeboň: rybník Pavelec u Opatovického mlýna

Myriophyllum spicatum – IPEN Nr. CZ 0 HBT 2017.03946, Třeboň: rybník Svět

3.1.2 Semena

Semena byla získána z rostlin pěstovaných ve Sbírce vodních a mokřadních rostlin Botanického ústavu AV ČR, v.v.i. (Navrátilová, 2020):

Potamogeton acutifolius – IPEN Nr. CZ 0 HBT 2017.03718, pocházející ze Skašovského rybníka, nacházejícího se jižně od Tovačova u osady Annín

Potamogeton crispus – IPEN Nr. CZ 0 HBT 2017.03723, pocházející z rybníka Matka u Bohdaneče

Sběr semen obou druhů proběhl na konci vegetační sezóny 2017 z rostlin pěstovaných ve Sbírce vodních a mokřadních rostlin.

3.2 Experiment

3.2.1 Turiony

Turiony byly sebrány s cílem zjistit, zda je možné je uchovávat zmrazením. Učiněny byly dva experimenty.

V prvním experimentu (v roce 2018) byly turiony po sběru na podzim roku 2017 rozděleny (každý druh) do dvou skupin a uloženy do lahví o objemu 250 ml – jeden vzorek byl uložen do lednice se stálou teplotou +5°C a druhý do mrazáku se stálou teplotou -25°C. V roce 2018 byly rostliny vyjmuty z nádob a turiony 23. 4. 2018 přemístěny do Petriho misek 250 x 50 mm a zality vodou. Experiment probíhal v místnosti s regulovatelným klimatem – konstantní teplota 18°C, konstantními světelnými podmínkami a konstantním světelným režimem střídajícím se po 12 hodinách. Vzhledem k homogenním podmínkám v místnosti nebylo nutné připravovat speciální prostorový design rozmístění kombinací zásahů jednotlivých opakování. Obnova růstu byla sledována v týdenních intervalech do 21. 5. 2018.



Obrázek 3.1: Testování obnovení růstu turionů u *Potamogeton crispus*.

Pro druhý experiment (v roce 2019) byly turiony sebrány na podzim roku 2018 a tentokrát rozděleny do čtyř skupin (pro každý druh) a uloženy do lahví o objemu 250 ml. Jeden vzorek byl uložen do lednice se stálou teplotou +5°C, druhý do mrazáku se stálou teplotou -25°C, třetí umístěn na dně rybníka v hloubce 85 cm a čtvrtý na hladině rybníka. Počet turionů v každé lahvi pro *P. crispus* byl 18 ks, pro *P. acutifolius* 25 ks, *Myriophyllum verticillatum* 25 ks. Turiony *Spirodella polyrhiza* byly spočítány až po ukončení pokusu a činily u mrazeného vzorku 1138 ks, u chlazeného v lednici 1500, uchovaného na hladině rybníka 1687 ks a uchovaného na dně rybníka 1773. V roce 2019 byly turiony 17. 4. 2019 přeneseny do lahví o objemu 5 l a umístěny do kádí s vodou zajišťující udržování stabilnější teploty vody. Počet rostoucích turionů byl odečten 15. 7. 2019.

3.2.2 Semena

Cílem experimentu se semeny bylo zjistit, zda jsou schopna semena vybraných druhů rdestu klíčit po vysušení a zmrazení. Design experimentu se odvíjel od praktického požadavku cíle práce, na určení nejjednoduššího vhodného uchování semen a současné zachování klíčivosti semen v podmínkách botanické zahrady, tedy takového, kdy bude zachována klíčivost semen bez nutnosti podrobení semen složitým postupům před a při uskladnění. Cílem je dlouhodobé uchování semen, a proto je preferováno mrazení. Obecně jednodušší je uchovávání semen mrazením než uchováváním chlazením, a to především z důvodu možnosti dlouhodobého uchování semen v konstantních klimatických podmínkách. Mrazení nevysušených semen obecně vede k úhynu embrya, tomu se dá vyhnout vysušením semen – to ovšem pro většinu vodních rostlin znamená taktéž nemožnost klíčení.

Z výše uvedených důvodů jsme se pokusili sestavit základní typy uskladnění a testovat jejich vliv na klíčivost. Těmito typy uskladnění je preferované mrazení, dále chlazení (= rozdílná teplota uskladnění) a dále typy sušení – sušeno před uskladněním, nesušeno, uchováno nesušeno a sušeno až před výsevem. S ohledem na praktické možnosti uchovávání semen byla dále zjišťována také potenciální možnost uchování semen hlubokým zmrazením ve vodě.

Semena obou druhů byla na podzim roku 2017 ihned po sběru rozdělena a uložena do 24 plastových uzavíratelných nádob (pro každý druh 2*3 + 2 zásahy s vodou, tři opakování) o objemu 250 ml v množství měřeném podle objemu semen tak, aby byl v každé nádobě stejný objem semen. Nesušená semena byla uložena do mrazáku a lednice ihned po sběru. Sušení semen probíhalo po dobu 2 dní při konstantní teplotě 25°C a následně byla uskladněna v mrazáku a lednici. V mrazáku byla uchována semena při konstantní teplotě -25 °C a v lednici při konstantní teplotě +5°C.

Dva dny před zahájením experimentu byla polovina vlhkých semen z lednice i mrazáku a semen ve vodě z mrazáku sušena při teplotě 25°C. Experiment klíčení byl zahájen 30.4. 2018. Z každé uskladněné nádoby byla vyjmuta semena a umístěna do Petriho misek 120 x 20 mm, zalita 8 mm vody a uzavřena. Misky byly opatřeny identifikačním štítkem. Experiment probíhal v místnosti s regulovatelným klimatem – konstantní teplota 18°C, konstantními světelnými podmínkami a konstantním světelným režimem střídajícím se po 12 hodinách. Vzhledem k homogenním

podmínkám v místnosti nebylo nutné připravovat speciální prostorový design rozmístění kombinací zásahů jednotlivých opakování.



Obrázek 3.2: Označování experimentálních výsevů.

V týdenních intervalech počínaje 10. 5. 2018 byla z misek odstraňována a počítána klíčící semena. Zbylá byla promývána v tekoucí vodě a doplněna byla voda do výšky 8 mm. Vzhledem k tomu, že do pěti týdnů od zahájení experimentu došlo jen k minimálnímu počtu klíčení, bylo přistoupeno k mechanickému prolomení dormance semen nařezáním semene 4. 6. 2018. Experiment byl ukončen 25. 6. 2018 a byla dopočítána veškerá nevyklíčená semena.

3.3 Zpracování dat

3.3.1 Turiony

Počet turionů obnovujících růst byl zpracován deskriptivní statistikou, tabelárně a graficky vizualizován. Jelikož v prvním roce nedošlo k obnovení růstu ani u jednoho ze zásahů u *P. crispus* nebylo pro porovnání s *P. acutifolius* možno použít žádného

statistického testu. Pro porovnání obnovení růstu mezi *P. acutifolius* a *P. obtusifolius* bylo použito chí-kvadrát testu dobré shody s Yatesovou korekcí. Výsledky pokusu roku 2019 byly taktéž zpracovány četnostně a ze zájmových druhů mohl být proveden test vlivu uchování pro *P. acutifolius* a to také pomocí chí kvadrát testu dobré shody s očekávaným rovnoměrným rozložením rostoucích turionů.

3.3.2 Semena

Vzhledem k tomu, že v jednotlivých kombinacích faktorů a jejich opakování nebyl stejný počet semen (ta byla měřena objemově a nikoliv početně), byl nejprve ke každému datu odečtu počtu klíčících semen vypočten podíl všech klíčících semen do daného dne na všech semenech v daném pokusu (zjištěném na závěr jako součet klíčících semen v každém odečtu a zbylých nevyklíčených semen). Tyto údaje byly dále graficky vizualizovány a statisticky zpracovány.

Vzhledem k nutnosti prolomit dormanci zařezáním, bylo statistické vyhodnocení provedeno ke konečnému datu experimentu. Data mohla být s ohledem na cíl práce vyhodnocena třífaktorová ANOVA s testem aditivity všech dvojic a trojice faktorů. Testovanými faktory byly – (1) druh s úrovněmi *P. crispus* a *P. acutifolius*; (2) typ zásahu s úrovněmi mrazeno/sušeno, chlazeno/nesušeno, chlazeno/sušeno před výsevem, chlazeno/sušeno; (3) prolomení dormance s úrovněmi řezáno a neřezáno. Získaná data umožnila provedení statistického testu i všech interakcí mezi těmito faktory. Výsledek ANOVA byl pro všechny faktory a kombinace faktorů testován Tukeyho post-hoc testem. Výsledky jsou prezentovány tabelárně a graficky.

4 Výsledky

4.1 Turiony

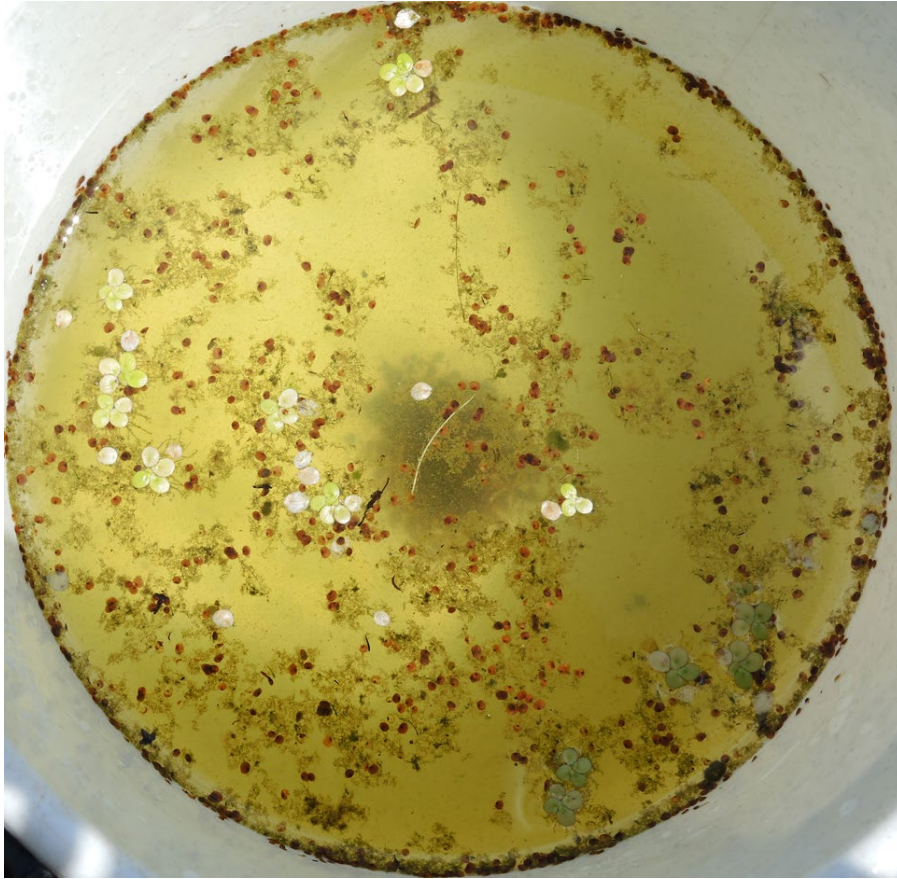
V experimentu obnovy růstu turionů v roce 2018 byl růst zaznamenán pouze u *P. obtusifolius* a *P. acutifolius* uchovaných v lednici. Žádný z mražených turionů žádného druhu neobnovil růst. U obou zmíněných druhů byl obnovný růst velmi dobrý – u *P. obtusifolius* 63,6 % a u *P. acutifolius* dokonce 72,0 %. S tím, že už do 7 dnů obnovilo růst 54,5 % turionů *P. obtusifolius* a 25 % turionů *P. acutifolius*. Obnovení růstu se mezi oběma druhy rdestu statisticky neliší (chí kvadrát = 0.011901; d.f. = 1; p = ,9131).

Pro druhý rok (2019) byly k dispozici turiony kromě obou cílových druhů rdestů pro komparaci dále turiony *Myriophyllum verticillatum* a *Spirodella polyrhiza* (Tabulka a). Ve všech případech byly turiony uchovány ve čtyřech typech podmínek – mrazáku, lednici a v „přírodních“ podmínkách na hladině rybníka a na dně v hloubce 80 cm.

Tabulka 4.1: Klíčivost sledovaných druhů k datu ukončení experimentu.

	mrazák	lednice	hladina	dno
<i>Potamogeton crispus</i>	0,00%	11,11%	0,00%	5,56%
<i>Potamogeton acutifolius</i>	0,00%	60,00%	44,00%	16,00%
<i>Spirodella polyrhiza</i>	1,58%	33,67%	38,53%	35,76%
<i>Myriophyllum verticillatum</i>	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%

Turiony obou rdestů uchované v mrazáku při konstantní teplotě -25°C neobnovily růst, stejně tak turiony *Myriophyllum verticillatum*. Ale pro *Spirodella polyrhiza* byl růst obnoven pro 18 ks. To znamená sice jen 1,58 % z turionů, nicméně se nám podařilo prokázat obnovu růstu tohoto druhu i po dlouhodobém hlubokém zmrazení turionů.



Obrázek 4.2: Růst turionů *Spirodelia polyrhiza* uchovaných přes zimu mražených na -20°C , 9.7.2019.

Obnova růstu turionů pro *P. crispus* byla dále nulová v mělké vodě a jen minimální obnova byla zaznamenána u turionů uchovaných v lednici – 11,11 % a na dně rybníka – 5,56 %. Podstatně vyšší ale byla obnova růstu z turionů u druhého cílového druhu, kterým je *P. acutifolius*. Největší podíl obnovy růstu turionů byl u rostlin uchovaných v lednici – a to 60 % a vysoký byl u turionů uchovaných na hladině rybníka – 44 %. Naopak velmi malá obnova růstu byla u turionů uchovaných na dně rybníka – 16 %. Tento rozdíl je statisticky významný oproti teoretickému rovnoměrnému rozložení rostoucích turionů (χ^2 kvadrát = 18,26667; d.f. = 3; $p = ,000388$).



Obrázek 4.5: Obnovený růst turionu *Potamogeton crispus*, 3.5.2018.



Obrázek 4.6: Obnovený růst turionu *Potamogeton acutilius*, 17.5.2018.

Dalším zajímavým zjištěním je obnova růstu turionů *Myriophyllum verticillatum*. V případě tohoto druhu je obnova růstu z turionů 100 % při uchování na hladině, zatímco ve všech ostatních případech uchování nedošlo k obnově růstu žádného turionu.



Obrázek 4.7: Růst *Myriophyllum verticillatum* z turionů uchovaných přes zimu na hladině vodní nádrže, 9.7.2019.

4.2 Semena

Ze semen uchovaných mražením ve vodě a jako vlhká nevyklíčilo žádné u *P. crispus* ani *P. acutifolius*. U ostatních způsobů uchování semen bylo zaznamenáno alespoň jedno klíčení u každého z obou druhů (Tabulka y, Tabulka x). Nicméně ve všech případech se jednalo o velmi malé počty klíčících semen. Před zásahem nařezání semen nedošlo k žádnému klíčení také u semen chlazených nesušených u *P. crispus* i

P. acutifolius. V případě semen chlazených a usušených nedošlo k žádnému klíčení před nařezáním u *P. acutifolius*, ale tři u *P. crispus* (2,0 %). Naopak u semen, která byla uchována mražením suchých semen, byla klíčivost u *P. crispus* zaznamenána taktéž, ale pouze u dvou semen (1,1 %), naproti tomu u *P. acutifolius* u 27 (12,0 %), což byla nejvyšší dosažená celková klíčivost vůbec bez nařezaných semen.

K vyklíčení srovnatelného množství semen došlo u obou druhů v případě chlazených usušených semen – 2,2 % u *P. acutifolius* a 3,2 % u *P. crispus*.

První klíčení semen *P. crispus* bylo zaznamenáno v jednom opakování u všech tří typů chlazených zásahů 24. 5. 2018, tedy 25 dní od započetí experimentu. První klíčení u zásahu mrazeno/sušeno bylo zaznamenáno jen se čtyřdenním zpožděním 28. 5. 2019. Nástup klíčení *P. acutifolius* měl úplně opačný charakter – k prvnímu klíčení došlo stejně jako u *P. crispus* 24. 5. 2018, ale ve dvou opakováních zásahu mrazeno/sušeno. Naproti tomu k prvnímu spontánnímu klíčení v zásahu chlazen/sušeno došlo až 14. 6. 2018, tedy plných 46 dní od započetí pokusu. A jak už bylo zmíněno výše, v zásazích chlazen/nesušeno a chlazen/sušeno před výsevem nedošlo k žádnému spontánnímu klíčení.

Tabulka 4.8: Procenta klíčících semen k danému datu kontroly pro *P. crispus*.

řezáno	mrazeno/sušeno			chlazen/nesušeno			chlazen/sušeno před výsevem			chlazen/sušeno		
	NE	NE	ANO	NE	NE	ANO	NE	NE	ANO	NE	NE	ANO
30.IV	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
03.V	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
24.V	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,82%	0,00%	0,00%	3,92%	2,08%	0,00%	0,00%
28.V	0,00%	1,15%	0,00%	0,00%	0,00%	3,64%	0,00%	2,50%	3,92%	2,08%	0,00%	0,00%
04.VI	0,00%	1,15%	1,28%	0,00%	0,00%	3,64%	0,00%	2,50%	5,88%	4,17%	1,11%	0,91%
07.VI	0,00%	1,15%	2,56%	0,00%	0,00%	3,64%	0,00%	2,50%	5,88%	4,17%	1,11%	0,91%
11.VI	0,00%	1,15%	3,85%	0,00%	0,00%	5,45%	0,00%	2,50%	5,88%	4,17%	1,11%	0,91%
14.VI	0,00%	1,15%	12,82%	0,00%	0,00%	9,09%	0,00%	2,50%	19,61%	4,17%	1,11%	7,27%
25.VI	1,15%	1,15%	15,38%	0,00%	0,00%	9,09%	0,00%	2,50%	19,61%	4,17%	2,22%	8,18%

Tabulka 4.9: Procenta klíčících semen k danému datu kontroly pro *P. acutifolius*.

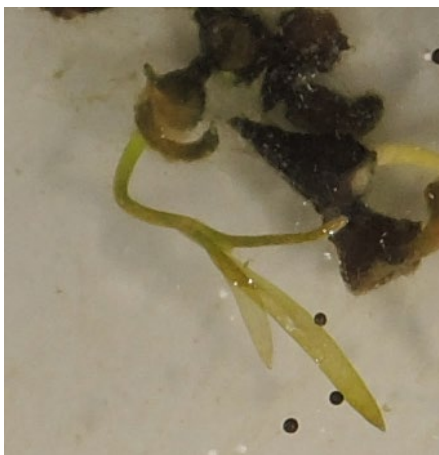
řezáno	mrazeno/sušeno			chlazeno/nesušeno			chlazeno/sušeno před výsevem			chlazeno/sušeno		
	NE	NE	ANO	NE	NE	ANO	NE	NE	ANO	NE	NE	ANO
30.IV	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
03.V	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
24.V	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
28.V	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
04.VI	0,00%	1,96%	1,60%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
07.VI	1,90%	1,96%	1,60%	0,00%	0,00%	5,33%	0,00%	0,00%	24,14%	0,00%	0,00%	6,67%
11.VI	1,90%	1,96%	1,60%	0,00%	0,00%	5,33%	0,00%	0,00%	24,14%	0,00%	0,00%	6,67%
14.VI	7,62%	10,78%	12,80%	0,00%	0,00%	32,00%	0,00%	0,00%	39,66%	0,00%	0,83%	36,67%
25.VI	10,48%	16,67%	14,40%	0,00%	0,00%	40,00%	0,00%	0,00%	46,55%	0,94%	3,33%	40,83%



Obrázek 4.10: Semenaček *Potamogeton acutifolius*, 24.5.2018.



Obrázek 4.11: Klíčení semene *Potamogeton crispus*, 11.6.2018.



Obrázek 4.12: Semenáček *Potamogeton crispus*, 14.6.2018.

Vzhledem k celkově velmi nízké úrovni klíčení semen bylo přikročeno 4. 6. 2018 k nařezání všech semen v jednom ze tří opakování každého zásahu. Po nařezání semen nedošlo k žádnému klíčení do ukončení experimentu u semen uchovaných mražením ve vodě a jako vlhká. Tento zásah měl velký efekt na klíčení semen u *P. acutifolius*, nižší byl u semen mrazených a u všech zásahů *P. crispus*, byť ve všech případech došlo k dalšímu klíčení semen. Vliv nařezání semen na klíčivost (= prolomení dormance) byl potvrzen statisticky – viz dále.



Obrázek 4.13: Klíčení semenáčků *Potamogonon acutifolius* z nařezaných plodů, 7.6.2018.



Obrázek 4.14: Klíčení semenáčků *Potamogonon crispus* z nařezaných plodů, 14.6.2018.

Získané informace nám umožnily provést několik testů otázek souvisejících s řešením méj bakalářské práce. Testovány byly pomocí faktoriální ANOVA rozdíly mezi oběma druhy, typy uskladnění, zásahem nařezání a aditivita všech kombinací

faktorů. Model třífaktorová ANOVA je statisticky významný pro všechny dílčí faktory a jejich veškeré kombinace (Tabulka x).

Tabulka 4.15: Výsledek třífaktorová ANOVA pro druh, typ zásahu a prolomení dormance řezáním pro podíly klíčících semen k datu ukončení experimentu.

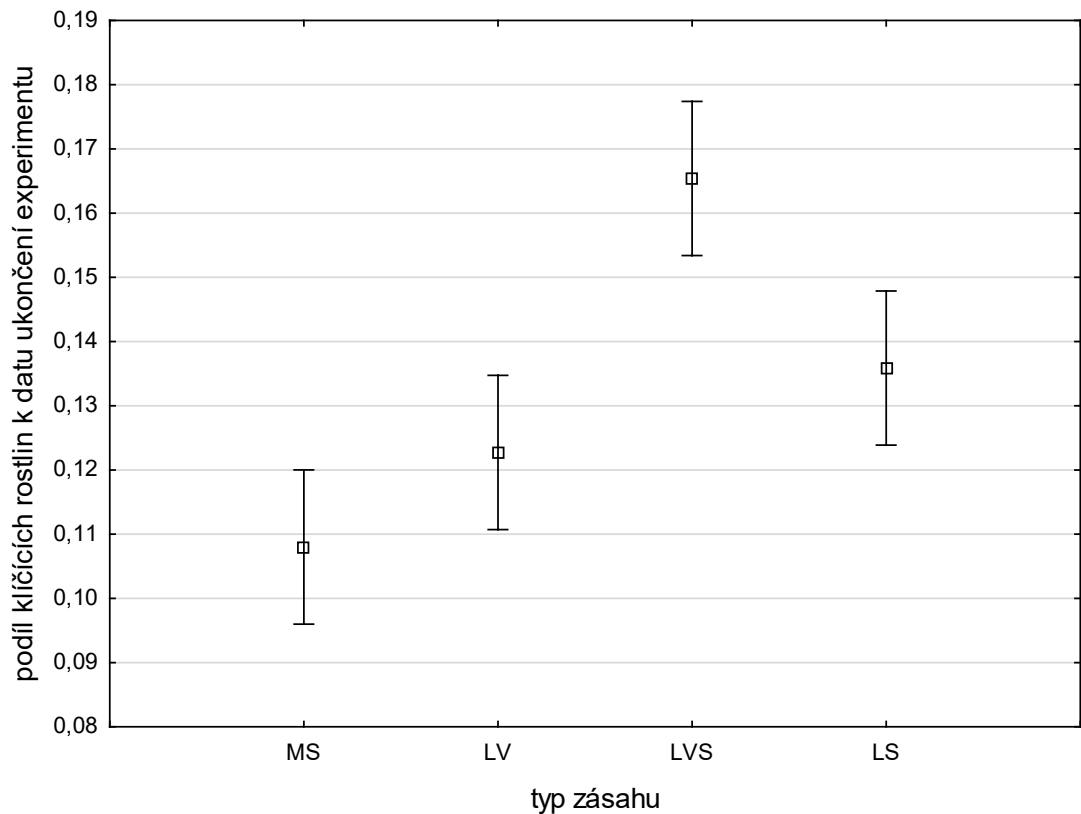
SS = suma čtverců, d.f. = počet stupňů volnosti, F = hodnota F statistiky, p = statistická významnost testu.

	SS	d.f.	MS	F	p
absolutní člen	0,377365	1	0,377365	2611,086	0,000000
druh	0,082817	1	0,082817	573,031	0,000000
typ zásahu	0,009537	3	0,003179	21,997	0,000321
řezáno	0,256085	1	0,256085	1771,919	0,000000
druh * typ zásahu	0,010000	3	0,003333	23,064	0,000272
druh * řezáno	0,052470	1	0,052470	363,055	0,000000
typ zásahu * řezáno	0,042683	3	0,014228	98,445	0,000001
druh * typ zásahu * řezáno	0,046418	3	0,015473	107,059	0,000001
chyba	0,001156	8	0,000145		

Podívejme se nejprve na jednotlivé faktory. Na prvním místě na rozdíl mezi druhy. Klíčivost druhu *P. acutifolius* je 19,5 % a je tak celkově výrazně vyšší (téměř 3x) než *P. crispus*, jehož průměrná klíčivost je velmi nízká a nedosáhla ani 10 % (konkrétně 7,1 %). Tento rozdíl způsoben především velmi vysokými hodnotami klíčivosti u nařezaných semen chlazených/sušených a chlazených/sušených před výsevem.

Co se týče rozdílů v klíčivosti podle typu zásahu, nejvyšší průměrná hodnota v našich datech je pro semena chlazená, skladována navlhko a před výsevem sušena (Obrázek 4.16). Tento průměr se statisticky významně liší od průměru pro semena skladována vlhká a jako vlhká vysazena, díky velkým rozptylům hodnot u semen sušených, ať už mrazených nebo chlazených, statistický rozdíl mezi nimi není.

Nicméně pro praktické využití nejsou rozdíly v klíčivosti nijak určující (10,8 – 16,5 %).

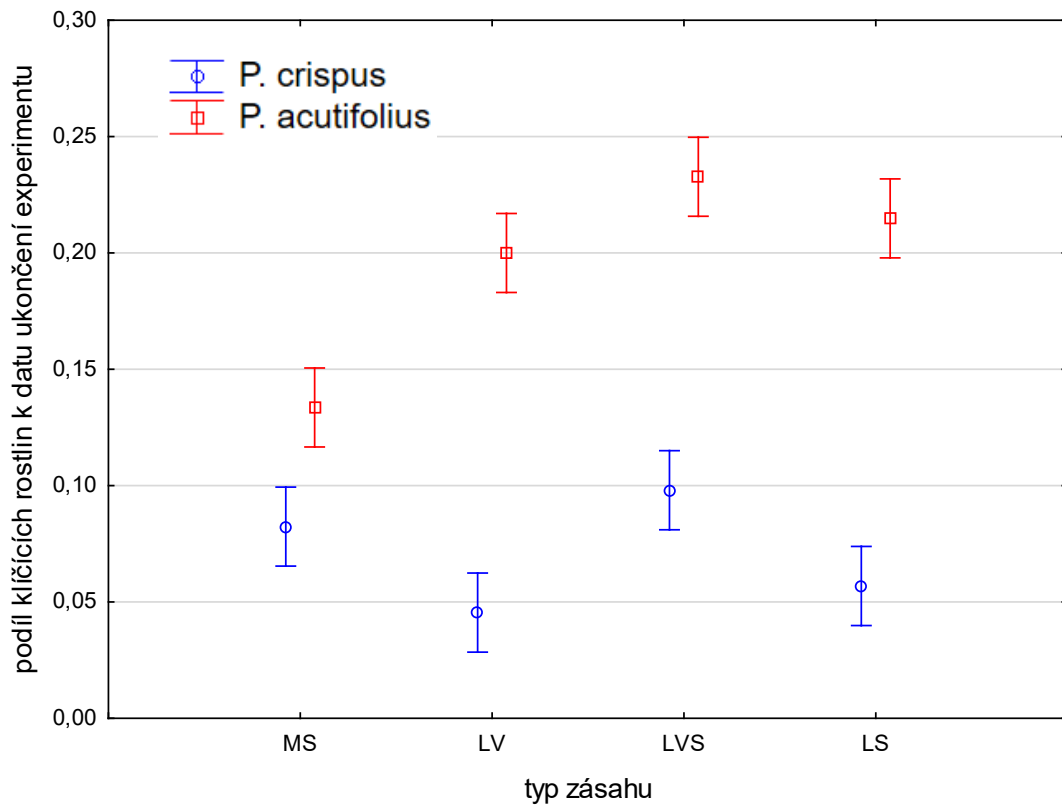


Obrázek 4.16: Průměry a 95% intervaly spolehlivosti pro typy zásahu k datu ukončení experimentu.

4.2.1 Prolomení dormance

Prolomení dormance mechanickou cestou je však nejvýznamnější z faktorů klíčivosti – rozdíl je vysoce statisticky průkazný a taktéž má jasné praktické dopady. U nenařezaných semen je průměrná klíčivost k datu ukončení experimentu pouhých 2,3 %, zatímco u nařezaných semen dosáhla 24,3 %. Je tedy zjevné, že dormance zásadně ovlivňuje výsledky klíčícího experimentu, a pro praktické využití výsledků bude významnější se dále podívat na interakce proměnných než na proměnné samotné.

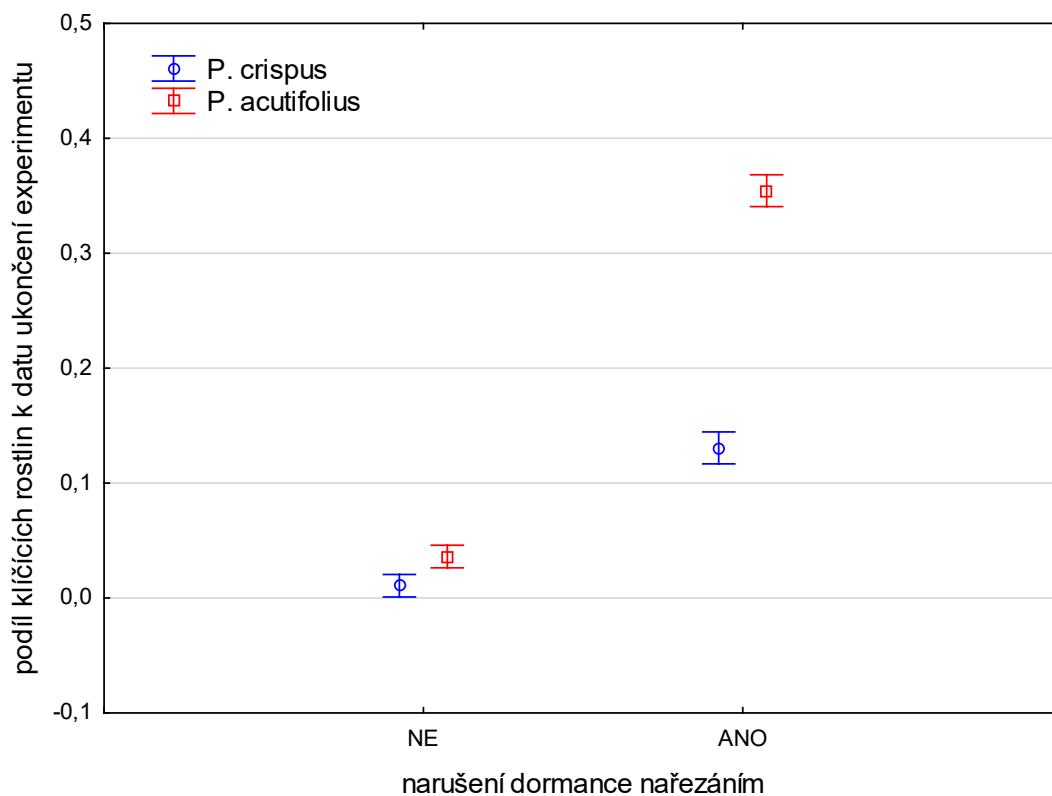
Při pohledu do výsledků vazby klíčivosti mezi druhy a typy zásahů je ve všech typech zásahů klíčivost u *P. crispus* relativně vyšší a pro *P. acutifolius* významně nižší. Ve všech ostatních zásazích (chlazených vzorků) je klíčivost pro *P. acutifolius* vyšší (Obrázek 4.17).



Obrázek 4.17: Průměry a 95% intervaly spolehlivosti pro typy zásahu a druhy k datu ukončení experimentu.

MS= mrazeno/sušeno, LV= chlazeno/vlhké, LVS= chlazeno/sušeno před výsevem, LS= chlazeno/ sušeno. Průměry označené stejným písmenem se statisticky významně neliší $p < 0,05$ (Tukey HSD post- hoc test).

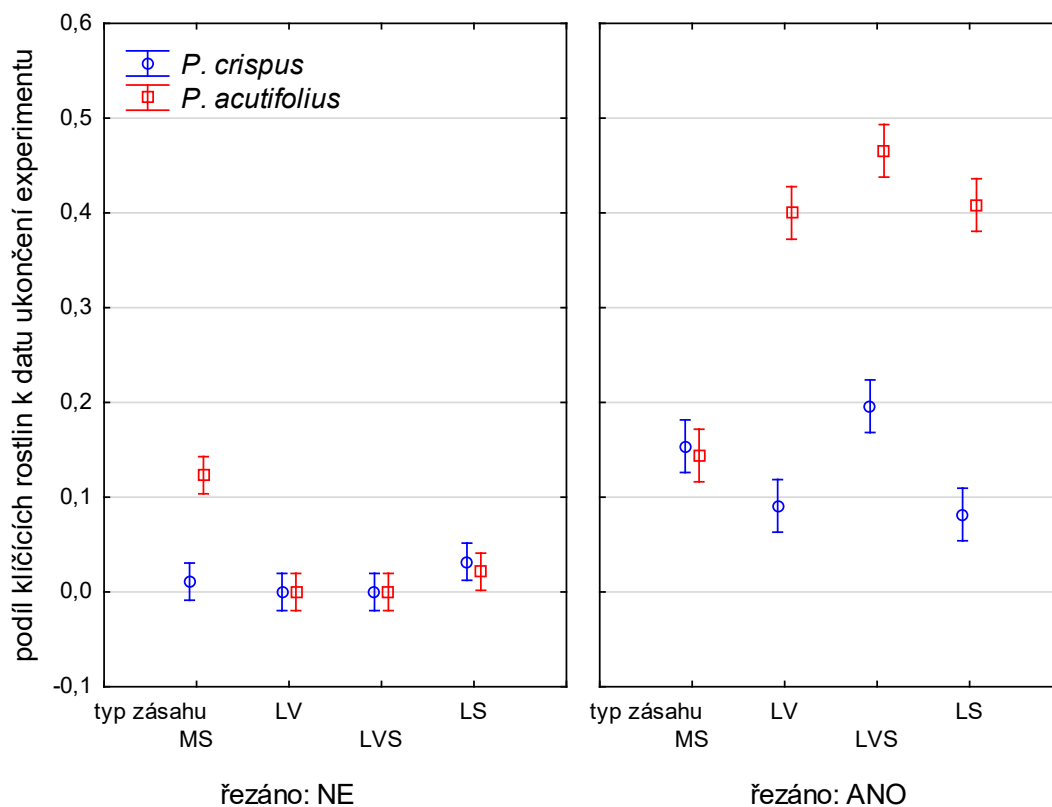
Nařezání semen se statisticky významně neprojevilo u zásahu mrazeno/sušeno, velmi významně se ale projevilo u zásahů chlazeno/nesušeno a chlazeno/sušeno před výsevem (Obrázek 4.18). Výrazněji se nařezání semen projevilo u druhu *P. acutifolius* než *P. crispus*.



Obrázek 4.18: Průměry a 95% intervaly spolehlivosti pro nařezání semen a druhy k datu ukončení experimentu.

MS= mrazeno/sušeno, LV= chlazeno/vlhké, LVS= chlazeno/sušeno před výsevem, LS= chlazeno/ sušeno. Průměry označené stejným písmenem se statisticky významně neliší $p < 0,05$ (Tukey HSD post- hoc test).

Nejzajímavějším pro praktickou aplikaci výsledků je samozřejmě výsledek posouzení aditivity všech tří sledovaných faktorů. Výše bylo zmíněno (Tabulka x), že výsledek i tohoto testu umožňuje zamítnout nulovou hypotézu o existenci aditivity tří sledovaných faktorů. Výsledek jsme se pokusila přehledně vizualizovat na následující dvojici grafů (Obrázek 4.19).



Obrázek 4.19: Průměry a 95% intervaly spolehlivosti pro nařezání semen, typy zásahu a druhy k datu ukončení experimentu.

Základní pro vlastní praktické uchování semen je posouzení vlivu nařezání semen – tedy dormance, které nemá zdánlivě nic společného s uchováním semen. Specifické je v tomto případě postavení hlavního zásahu pro Sbíрку, kterým je mrazení semen. Pouze v jeho případě u *P. acutifolius* došlo k vyššímu podílu klíčících nenařezaných semen, ale zatímco v případě *P. crispus* po nařezání došlo k významnému nárůstu klíčících semen, u *P. acutifolius* se v tomto případě nařezání semen nijak statisticky významně na klíčivosti neprojevilo. V obou případech bylo velmi významné prolomení dormance nařezáním semen u zásahu chlazení/sušení před výsevem. V případě *P. acutifolius* se však tato klíčivost neliší od zbylých dvou chlazených zásahů. Naproti tomu u *P. crispus* je hodnota klíčení v zásahu chlazení/sušení před výsevem významně vyšší než zbylá dva zásahy chlazení, ale neliší se od zásahu mrazení/sušení.

5 Diskuze

5.1 Turiony

Experimenty s podmínkami uchování turionů bylo zjištěno několik zajímavých zkušeností, které jsou významné pro možnost vegetativního rozmnožování především druhu *P. acutifolius*. Kvantitativním posouzením byla zjištěna vysoká obnova růstu turionů u *P. acutifolius* uchovaných v lednici v obou experimentech. V laboratorních podmínkách byla obnova růstu zjištěna pro 72 % turionů a v „přírodních“ podmínkách pro 60 % turionů, což jsou čísla srovnatelná s příbuzným a taktéž ohroženým druhem *P. obtusifolius*. Lednice se zdá být optimálním místem pro uchování turionů přezimujících rdestů, neboť nejvyšší bylo v tomto případě obnovení růstu i pro *P. crispus*.

Další výsledky z druhého experimentu s turiony nás však upozorňují, že tento výsledek nelze zobecnit i na další rody/druhy vodních rostlin vytvářejících turiony. *Myriophyllum spicatum* potřebovalo k přežití turionů světlo – jeho obnovení růstu z turionů uchovaných na hladině rybníky byla 100%, zatímco z turionů uchovaných v temnu neobnovil růst žádný. Nijak je nepoškodilo několikanásobné zmrznutí a roztání v průběhu zimy.

Hluboké zmrazení turionů vedlo k jejich úhynu. Na druhou stranu u drobného druhu *Spirodella polyrhiza* k obnově růstu u několika mrazených turionů k obnově došlo. Bylo to sice jen u 18 kusů, znamenajících ca. 1,5% z takto uchovaných turionů, nicméně se nemůže jednat o náhodu plynoucí z „nestandardních“ podmínek – turiony byly uchovány zmrazením na -25°C a několik měsíců skladovány při této teplotě v mrazáku.

Je tedy zjevné, že nějaká možnost uchování turionů mrazením, a tedy jejich dlouhodobější „konzervace“ v životaschopném stavu existuje. Turiony *M. spicatum* několikrát během zimy zmrzly v „přírodních“ podmínkách a *S. polyrhiza* u části turionů obnovila růst. Potenciálně tak existují otevřená vrátka pro uskladnění turionů ne jen mezi dvěma sezónami, nicméně bude třeba najít postup mrazení a jejich teploty, které umožní uchování turionů.

5.2 Semena

Mrazení semen obou druhů ve vodě či vlhku vedlo ke zničení zárodků a žádné ze semen nevyklíčilo. Tato skutečnost byla několikrát dříve zjištěna pro jiné druhy (Zhou et al., 2017).

Na druhou stranu se mi podařilo potvrdit, že semena těchto vodních rostlin lze před uskladněním sušit a ponechají si klíčivost. Suchá semena lze mrazit (s cílem dlouhodobého uskladnění), nicméně v případě obou mých testovaných druhů byla klíčivost těchto semen nízká. Jako lepší se ukázalo uchování sušených semen v chladu. Na druhou stranu nebyl zjištěn zásadnější rozdíl v klíčivosti semen uchovaných v chladu v suchém a vlhkém stavu. Samozřejmě pro delší skladování je lepší uchování v suchém stavu, protože vlhká semena jsou častěji napadána plísněmi (Wu et al., 2009).

Oba druhy mají velmi silnou dormanci. Klíčivost bez skarifikace byla v obou případech velmi nízká, což bylo pro některé druhy rdestu zjištěno již dříve (Hay et al. 2008). Výsledky po skarifikaci semen však naznačují, že význam pro prolomení dormance a vliv na klíčení mají i stratifikační zásahy. U obou druhů nejlépe klíčila semena uchována navlhko, ale před výsevem vysušená – v případě *P. crispus* je tento vliv statisticky průkazný.

Výsledky mého experimentu identifikovaly metody uchování semen při zachování jejich klíčivosti. Tyto bude nutné dále zpřesnit pro možnost dlouhodobého uskladnění semen obou druhů – mrazení sušených semen zásadně zpomaluje fyziologické procesy v semeni, zejména prodýchávání zásob, a prodlužuje tak možnost uskladnění, na druhou stranu výsledky mého experimentu ukazují, že klíčivost takto uchovaných semen je velmi nízká. Možnost uchování semen při nízkých teplotách, ale nad bodem mrazu, je nejlepší pro uchování klíčivosti, nicméně neumožňuje dlouhodobé skladování, a to především ve vlhkém stavu. Další výzkum testující dlouhodobé uchování semen obou druhů by se tak měl zaměřit na možnosti uchování sušených semen při nízkých kladných hodnotách.

Závěr

Úvod této bakalářské práce byl věnován informacím o rodu *Potamogeton*, existenci dvou podrodů, obecným znakům s elementárním popisem druhů a jejich rozšíření jak v ČR, tak ve světě. Současně byl zmíněn stupeň jejich ochrany. Detailněji byly popsány druhy *P. crispus* a *P. acutifolius*, jejich morfologie, variabilita, odlišnost od podobných druhů. *P. crispus* byl doplněn poznatky o jeho invazivnosti. Závěr rešerše je věnován charakteru klíčení semen vodních rostlin a dormanci semen.

Sbírka vodních a mokřadních rostlin Botanického ústavu AV ČR, v.v.i v Třeboni umožnila v roce 2018 a 2019 uskutečnění experimentu věnovanému klíčení semen vodních rostlin. Dále se experimentálně testovala obnova turionů. Tím se zabývala praktická část této práce. Cílem bylo porovnání klíčení dvou druhů rdestů (*Potamogeton crispus*) a (*Potamogen acutifolius*), které se primárně rozmnožují pomocí turionů. Pro porovnání byly současně klíčeny i druhy *Spirodella polyrhiza* a *Myriophyllum verticilatum*. Následně došlo ke statistickému zhodnocení dat z experimentu.

Z hlediska uchování turionů se mraz jeví jako úspěšný pouze pro druh *Spirodella polyrhiza*. Turiony *Potamogeton crispus* měly největší úspěšnost obnovy růstu po uchování v lednici, je to však pouhých 11,11%. Největší podíl obnovy růstu turionů byl u rostlin *Potamogeton acutifolius* uchovaných v lednici – a to 60 % a vysoký byl u turionů uchovaných na hladině rybníka – 44 %. Dalším zajímavým zjištěním byla obnova růstu turionů *Myriophyllum verticilatum*. V případě tohoto druhu byla obnova růstu z turionů 100 % při uchování na hladině, zatímco ve všech ostatních případech uchování nedošlo k obnově růstu žádného turionu.

Základním problémem klíčení semen obou druhů byla dormance. Bez umělého prolomení dormance semen byla maximální klíčivost *P. acutifolius* 16,67% a *P. crispus* jen 4,17%. Pro *P. acutifolius* se částečně podařilo dormanci prolomit mražením – nejlépe klíčila semena mražená nasucho. Naopak u *P. crispus* to byla semena, která byla uchována sušená v lednici

Ze semen uchovaných mražením ve vodě a jako vlhká nevyklíčilo žádné u *P. crispus* ani *P. acutifolius*. U ostatních způsobů uchování semen bylo zaznamenáno alespoň jedno klíčení u každého z obou druhů. Nicméně, jednalo se o velmi malé počty.

U obou druhů však byla tato klíčivost velmi nízká. Proto se přistoupilo k nařezání

oplodí. To se projevilo v okamžitém nástupu klíčení semen. Četněji z nenařezaných plodů, klíčil pouze *P. acutifolius* jehož semena byla uchována sušená mrazená.

V případě obou druhů byla klíčivost semen nejvyšší v případě, kdy byla semena uchována v lednici navlhko, ale před výsevem byla vysušena – jejich klíčivost je u obou druhů statisticky významně vyšší než u semen, které byly uchovány v lednici a byly vysety rovnou, ale i u semen, které byly uchovány v lednici suché. Podařilo se potvrdit, že semena těchto vodních rostlin lze před uskladněním sušit a ponechají si klíčivost. Suchá semena lze mrazit (s cílem dlouhodobého uskladnění), nicméně v případě obou mých testovaných druhů byla klíčivost těchto semen nízká. Jako lepší se ukázalo uchování sušených semen v chladu.

Seznam použité literatury

Citace knihy

- Jeden autor

Gluck (1906). *Über Das Eheliche Glück*. 1., Kessinger Publishing. New York, ISBN 10-1167671481

Kaplan, Z. (2000). *Úzkolisté druhy rodu Potamogeton v květeně České republiky: I. Úvod a klíč k určování*. Preslia, Praha, ISBN 80-200-0836-5.

Fenner, M. (2000). *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*. 2., CABI, New York, ISBN 0-85199-432-6.

- Dva autoři

Baskin, C.C. et Baskin, J.M. (1998) *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*; Academic, Press. ISBN 0-12-080260.

- Tři a více autorů

Kaplan, Z. et al. (2002). *Klíč ke květeně České republiky*. Academia, Praha, ISBN 978-80-200-0836-7.

Kaplan, Z. et al. (2010). *Květena České republiky 8*. Academia, Praha, ISBN 978-80-200-1824-3.

Citace vědeckých publikací:

- Jeden autor:

Adamec, L. (2013). A comparison of photosynthetic and respiration rates in six aquatic carnivorous *Utricularia* species differing in morphology. *Aquatic Botany*, 111, 89-94. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2013.06.004>

Adamec L. (2008). Respiration of turions and winter apices in aquatic carnivorous plants. *Biologia*, 63(4). <https://doi.org/10.2478/s11756-008-0073-4>

Adamec, L. (1999). Seasonal growth dynamics and overwintering of the aquatic carnivorous plant *Aldrovanda versiculosa* at experimental field sites. *Folia Geobotanica*, 1999(34), 287-297.

Grulich V. (2012): Red List of vascular plants of the Czech Republic: 3rd edition. – Preslia 84: 631–645.

Sastroutomo, S. (1981). Turion formation, dormancy and germination of curly pondweed, *Potamogeton crispus* L. *Aquatic Botany*, 1980(10), 161--173.

- **Dva autoři:**

Adamec L., & Kučerová, A. (2013). Overwintering temperatures affect freezing temperatures of turions of aquatic plants. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology Of Plants*, 208(8-9), 497-501.
<https://doi.org/10.1016/j.flora.2013.07.009>

Belyakov, E. A., & Lapirova, A. G. (2015). Fruit germination of some representatives of the family Sparganiaceae Rudolphi under laboratory conditions. *Inland Water Biology*, 8(1), 33-37. <https://doi.org/10.1134/S1995082915010034>

Caffrey, J. M., & Monahan, C. (2006). Control of *Myriophyllum verticillatum* L. in Irish canals by turion removal. *Hydrobiologia*, 570, 211-215.
<https://doi.org/10.1007/s10750-006-0183-3>

Gonzalez-Benito, M. E., & Martin, C. (2011). In Vitro Preservation of Spanish Biodiversity. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 47(1), 46-54.
<https://doi.org/10.1007/s11627-010-9333-4>

Handley, R. J., & Davy, A. J. (2005). Temperature effects on seed maturity and dormancy cycles in an aquatic annual, *Najas marina*, at the edge of its range. *Journal Of Ecology*, 93(6), 1185-1193. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2005.01062.x>

Hay, F., Probert, R., & Dawson, M. (2008). Laboratory germination of seeds from 10 British species of *Potamogeton*. *Aquatic Botany*, 88(4), 353-357.
<https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.010>

Heuschele, D. J., & Gleason, F. K. (2014). Two stages of dormancy in turions of *Potamogeton crispus* L. *Aquatic Botany*, 119, 100-104.

<https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2014.08.002>

Hroudová, Z., & Zákřavský, P. (2003). Germination responses of diploid *Butomus umbellatus* to light, temperature and flooding. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology Of Plants*, 198(1), 37-44. <https://doi.org/10.1078/0367-2530-00074>

Ren, D., & Zhang, S. H. (2008). Separation and identification of the yellow carotenoids in *Potamogeton crispus* L. *Food Chemistry*, 106(1), 410-414.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.074>

Segretain, B., M. -H. (1996). Germination and colonisation dynamics of *Nuphar lutea* (L.) Sm. in a former river channel. *Aquatic Botany*, 55(1), 31-38.

[https://doi.org/10.1016/0304-3770\(96\)01062-5](https://doi.org/10.1016/0304-3770(96)01062-5)

Wagner, E. J., & Oplinger, R. W. (2017). Effect of overwinter hydration, seed storage time, temperature, photoperiod, water depth, and scarification on seed germination of some *Schoenoplectus*, *Polygonum*, *Eleocharis* and *Alisma* species.

Aquatic Botany, 136, 164-174. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2016.10.004>

Weber, J. A., & Nooden, L. D. (1976). Environmental and hormonal control of turion germination in *Myriophyllum verticillatum*. *American Journal of Botany*, 63(7), 936-944.

<https://doi.org/10.2307/2441751>

Weber, J. A., & Nooden, L. D. (2005). The causes of sinking and floating in turions of *Myriophyllum verticillatum*. *Aquatic Botany*, 83(3), 219-226.

<https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2005.06.008>

Winston, R.D., Gorham, P.R., (1979). Roles of endogenous and exogenous growthregulators in dormancy of *Utricularia vulgaris*. *Can. J. Bot.* 57, 2750–2759.

- Tři a více autorů:

- Li, Z. Q. et al (2015). Seed weight and germination behavior of the submerged plant *Potamogeton pectinatus* in the arid zone of northwest China. *Ecology and Evolution*, 5(7), 1504-1512. <https://doi.org/10.1002/ece3.1451>
- Li, X. et al (2019). Distribution and Potential Ecological Risk of Heavy Metals in Water, Sediments, and Aquatic Macrophytes: A Case Study of the Junction of Four Rivers in Linyi City, China. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 16(16). <https://doi.org/10.3390/ijerph16162861>
- Newton, R.J., et al (1978). Turion formation and germination in *Spirodela polyrhiza*. *Am. J. Bot.* 65, 421–428.
- Pence, V. C. et al (2020). Cryobiotechnologies: Tools for expanding long-term ex situ conservation to all plant species. *Biological Conservation*, 250, Article 108736. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108736>
- Prausova, R. et al (2013). Testing achene germination of *Potamogeton praelongus* Wulfen. *Central European Journal of Biology*, 8(1), 78-86. <https://doi.org/10.2478/s11535-012-0114-4>
- Prausova, R. et al (2015). Generative reproduction of long stalked pondweed (*Potamogeton praelongus* Wulfen) in the laboratory. *Aquatic Botany*, 120, 268-274. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2014.09.005>
- Sculthorpe, C.D., 1967. *The Biology of Aquatic Vascular Plants*. Edward Arnold, London.
- Sirová, D.
- SMITS, A. J. M. et al. (1995). *Freshwater Biology*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1995.tb00421.x>
- Sumlu, S. et al. (2014). Breaking Seed Dormancy of Water Lily (*Nymphaea Alba* L.) Under In Vitro Conditions, 24(1), 1582-1586. <https://doi.org/10.2478/V10133-010-0009-3>
- VIERSSEN, V. van. Relationships between survival strategies of aquatic weeds and control measures. 1989
- Vilas, M. P. et al. (2017). Fragment dispersal and plant-induced dieback explain irregular ring-shaped pattern formation in a clonal submerged macrophyte.

Ecological Modelling, 363, 111-121.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.09.001>

Vyhláška Ministerstva životního prostředí ČR č. 395/1992 Sb.

Wang, J. Q. et al. (2017). Causes of large *Potamogeton crispus* L. population increase in Xuanwu Lake. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(6), 5144-5151. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6514-7>

Wu, J. et al. (2009). Effects of sediment anoxia and light on turion germination and early growth of *Potamogeton crispus*. *Hydrobiologia*, 628(1), 111-119.

<https://doi.org/10.1007/s10750-009-9749-1>

Xie, D. et al. (2015). Effects of Buoyancy and Season on Turion Dispersal of Submerged Macrophyte *Potamogeton crispus* L. *Clean - Soil, Air, Water*, 43(3), 324-329. <https://doi.org/10.1002/clen.201300833>

Xu, Y. -L. et al. (2018). Turion, an innovative duckweed-based starch production system for economical biofuel manufacture. *Industrial Crops And Products*, 124, 108-114. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.07.061>

Yu, Q. et al. (2020). Remote Sensing of *Potamogeton crispus* L. in Dongping Lake in the North China Plain Based on Vegetation Phenology. *Journal Of The Indian Society Of Remote Sensing*, 48(4), 563-573. <https://doi.org/10.1007/s12524-020-01103-w>

Zhao, J. et al. (2019). Diversity of anammox bacteria and abundance of functional genes for nitrogen cycling in the rhizosphere of submerged macrophytes in a freshwater lake in summer. *Journal Of Soils And Sediments*, 19(10), 3648-3656.

<https://doi.org/10.1007/s11368-019-02340-4>

Zhou, N. N. et al. (2017). The effects of water depth on the growth and reproduction of *Potamogeton crispus* in an in situ experiment. *Journal of Plant Ecology*, 10(3), 546-558. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtw048>

Citace webových zdrojů

- Bez uvedeného autora

Botany.cz (2007), POTAMOGETON CRISPUS L. – rdest kadeřavý / červenavec kučeravý, [online] [23. března 2021]. dostupné z: <https://botany.cz/cs/potamogeton-crispus/>

Botany.cz (2007), POTAMOGETON ACUTIFOLIUS Link – rdest ostrolistý / červenavec ostrolistý, [online] [23. března 2021]. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/potamogeton-acutifolius/>

Mobot.org (2017), Angiosperm Phylogeny Website. [online] [18. února 2021]. Dostupné z: <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>

Theplantlist.org (2013), Working list of all plant species. [online] [10. ledna 2021]. Dostupné z: <http://www.theplantlist.org/1.1/browse/A/Potamogetonaceae/>

- S uvedeným autorem

Lansdown, R.V. (2011). *Potamogeton acutifolius*. [online] [23. března 2021]. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2011, dostupné z: <https://www.iucnredlist.org/search?query=potamogeton%20&searchType=species>