

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí
Katedra aplikované ekologie



Morfologická a cytologická variabilita hybridních rostlin rodu *Fallopia*

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Kateřina Berchová, Ph.D.

Vypracoval: Lukáš Řeháček

Praha 2022

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Lukáš Řeháček

Environmentální vědy
Aplikovaná ekologie

Název práce

Morfologická a cytologická variabilita hybridních rostlin rodu *Fallopia*

Název anglicky

Morphological and cytological variability of hybrid plants of the genus *Fallopia*

Cíle práce

1. Cílem práce je detekovat nové hybridní kombinace křídlatek v lokalitách odběru.
2. Popsat cytologickou a morfologickou variabilitu hybridu *F. ×bohemica*.

Metodika

Sběr dat bude probíhat na 2 lokalitách (břehy řek Morávka a Bečva) v ČR. Na těchto lokalitách se vyskytují hybridy v obou pohlavích, tedy jako hermafroditní (funkčně samčí) a samičí rostliny. A je tedy velká pravděpodobnost, že zde může docházet ke generativnímu rozmnožování v rámci křížence. Všechny lokality budou navštíveny minimálně jednou, popř. dvakrát při nalezení hybridu či funkčně samičí rostliny *F. ×bohemica*. První návštěva se uskuteční v době květu křídlatek (srpna – září 2020), kdy bude taxon přesně klasifikován pomocí morfologických charakteristik; bude určeno funkční pohlaví a dojde k odběru části oddenkového systému rostlin

(zregenerované oddenky budou sloužit pro stanovení ploidie).

Sběr a regenerace oddenků křídlatek bude probíhat dodržením následujícího postupu:

- I. oddenky budou vykopány, označeny a uloženy,
- II. oddenky budou zasazeny do plastových truhlíků a naplněných zahradním substrátem,
- III. oddenky budou pravidelně zavlažovány a bude sledována jejich regenerace,
- IV. regenerující křídlátky budou v rané fázi podrobeny analýze průtokovou cytometrií

Doporučený rozsah práce

30-50 stran, 2 grafy

Klíčová slova

průtoková cytometrie, invazní rostliny, hybridizace, klíčivost křídlatky, evoluce

Doporučené zdroje informací

Bram M.R., McNair J.N., 2004. Seed germinability and its seasonal onset of Japanese knotweed (*Polygonum cuspidatum*). *Weed Science*, 52: 759-767.

Parepa M, Fischer M, Krebs C, Bossdorf O (2014) Hybridization increases invasive knotweed success. *Evol Appl* 7:413-420. doi: 10.1111/eva.12139

Tiebre M-S, Vanderhoeven S, Saad L, Mahy G (2007) Hybridization and Sexual Reproduction in the Invasive Alien *Fallopia* (*Polygonaceae*) Complex in Belgium. *Ann Bot* 99:193-203. doi: 10.1093/aob/mcl242

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FZP

Vedoucí práce

doc. Ing. Kateřina Berchová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 4. 3. 2022

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 12. 3. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 16. 03. 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Morfologická a cytologická variabilita hybridních rostlin rodu *Fallopia* vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla. Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze

Podpis

Poděkování

Na tomto místě chci poděkovat své vedoucí doc. Ing. Kateřina Berchové, Ph.D. za ochotu a odborné rady při zpracování bakalářské práce. Velké díky patří mému konzultantovi, Ing. Martině Kadlecové, za pomoc při vypracování statistických dat, čas, trpělivost a cenné komentáře. V poslední řadě chci poděkovat mé rodině za podporu a důvěru, kterou do mě vkládali během studia.

Abstrakt

Předmětem této bakalářské práce je analýza cytologické a morfologické variability hybrida *Fallopia ×bohemica* (křídlatka česká) v okolí řek Morávky a Bečvy v Moravskoslezském kraji v České republice. Hlavní část práce je zaměřena na screening ploidních úrovní a stanovení velikostí genomů odebraných rostlin. K zjištění velikosti genomu byla použita průtoková cytometrie. Další část práce byla zaměřena na popis morfologických charakteristik semenáčků vyklíčených ze semen nasbíraných na studovaných lokalitách.

Statistická analýza neprokázala, že by se studované lokality významně lišily v ploidii. Průměrný počet hexaploidů ($2n=66$) a oktoploidů ($2n=88$) je tedy na lokalitách obdobný. Rostliny se vyskytují více v hexaploidní formě. Na řece Morávce bylo nalezeno 14 hexaploidů a 3 oktoploidi. Na břehu Bečvy bylo nalezeno 38 hexaploidů a 10 oktoploidů. Semenáčky hexaploidních rostlin dosahují vyšších průměrných výšek oproti semenáčkům oktoploidních rostlin.

Klíčová slova: klíčivost, invaze, hybridizace, evoluce

Abstract

The subject of this bachelor thesis is the analysis of cytological and morphological variability of the hybrid *Fallopia ×bohemica* (Bohemian knotweed) in the vicinity of the Morávka and Bečva rivers in the Moravian-Silesian Region in the Czech Republic. The main part of the work is focused on screening ploidy levels and determining the genome sizes of collected plants. Flow cytometry was used to determine genome size. Another part of the work was focused on the description of morphological characteristics of seedlings germinated from seeds collected at the studied localities.

Statistical analysis did not show that the studied localities differed significantly in ploidy. The average number of hexaploids ($2n = 66$) and octoploids ($2n = 88$) is therefore similar in the localities. Plants occur more in hexaploid form. 14 hexaploids and 3 octoploids were found on the Morávka River. 38 hexaploids and 10 octoploids were found on the banks of the Bečva. Seedlings of hexaploid plants reach higher average heights compared to seedlings of octoploid plants.

Key word: germination, invasion, hybridization, evolution

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíl práce	2
3. Literární přehled.....	2
3.1. Invazní nepůvodní druhy rostlin.....	2
3.1.1. Vymezení pojmů invazních druhů	2
3.1.2 Faktory ovlivňující invazní druhy rostlin	4
3.1.3. Vliv invaze na biodiverzitu.....	5
3.2. Evropská legislativa ohledně omezování invazních druhů rostlin	5
3.2.1. Legislativa České republiky.....	5
3.2.2. Legislativa Evropské unie.....	7
3.3. Ekologie křídlatek	7
3.3.1. Taxonomie druhu.....	7
3.3.2. Původní a současné rozšíření.....	9
3.3.3. Současné stanoviště v České republice.....	10
3.3.4. Fenologie	11
3.3.5. Způsob rozmnožování.....	12
3.3.6. Velikost genomu a ploidie jednotlivých taxonů	13
3.3.7. Vliv invaze na ekosystémy	14
3.4. Hybridizace rodu Fallopia (syn. Reynoutria)	15
3.4.1. Dosud známí kříženci	15
3.5. Průtoková cytometrie.....	15
4. Metodika	16
4.1. Studovaný taxon.....	16
4.2. Sběr a regenerace oddenků.....	17
4.3. Měření velikosti genomu.....	19
4.4. Měření morfologické variability.....	20
4.5. Statistické analýzy	21
5. Výsledky	22
5.1. Výsledky cytologické variability oddenků mateřských rostlin	22
5.2. Výsledky morfologické variability semenáčků	24
5.2.1. Výška rostlin.....	24
5.2.2. Počet listů.....	25

5.2.3. Počet lodyh	26
6. Diskuse.....	27
7. Závěr	29
8. Literatura.....	30
9. Přílohy.....	38

1. Úvod

Práce je zaměřena na studium cytologických změn a morfologických charakteristik hybridního křížence *Fallopia ×bohemica*, který spolu se svými rodičovskými druhy *F. japonica* var. *japonica* a *F. sachalinensis*, patří mezi celosvětově problematické nepůvodní druhy rostlin. Hlavní část práce je zaměřena na screening ploidních úrovní a velikostí genomů populací *F. ×bohemica*. Práce byla zpracována z důvodu detekce nových možných hybridních kombinací kříďlatek, které by mohly zahrnovat také evolučně nové hybridní jedince, kteří by mohli být úspěšnější v šíření než jejich mateřské rostliny.

Nepůvodní rostliny se dostávají do nových oblastí převážně pomocí lidské činnosti, zejména díky transportu zboží. Dnes ve světě nenajdete ekosystém, ve kterém by nebyl zavlečený cizí druh (Kleunen et al. 2015). Mezi nejvýznamnější rostlinné vetřelce ekosystémů mírného pásma patří kříďlatky (*Fallopia*): *F. japonica*, *F. sachalinensis* a jejich kříženec *F. ×bohemica* (Bailey et al. 2007). *F. japonica* a *F. sachalinensis* byly zavlečeny z východní Asie do Evropy a časem i do Severní Ameriky v 19. století jako okrasné rostliny (Bailey et Conolly, 2000). O 50 let později byly nalezeny a zdokumentovány první hybridy těchto dvou druhů a v současnosti se v Severní Americe a Evropě rozšiřuje několik různých hybridních genotypů (Mandák et al. 2004; Bailey et al. 2007; Krebs et al. 2010). Zpočátku se *Fallopia* těšily z obrovského úspěchu ve společnosti, a to převážně v oblíbenosti v zahradách jako okrasné rostliny, později se stal tento druh velmi agresivní v ruderálních biotopech především na břehů řek (Pysek et al. 2009). *Fallopia* rostou velice rychle, vytváří sítě oddenků, které jsou velmi rozsáhlé. Jako invazivní druh způsobují v ekosystémech, které napadly významné změny v cyklech živin (Dassonville et al. 2007) a tím způsobí, že nakonec původní rostliny zcela vytlačí (Hejda et al. 2009; Aguilera et al. 2010). Následné náklady na likvidaci některých invazních rostlin činí v České republice statisíce i miliony korun (Křivánek, 2006).

Několik předchozích studií naznačuje, že hybridy např: *F. ×bohemica* mohou být konkurenčně schopnější než jejich rodiče. Důvodem je větší schopnost regenerace z fragmentů oddenků (Bimová et al. 2003; Pysek et al. 2003). Na hybrid *F. ×bohemica* se tato práce více zaměří, neboť se jedná o hybrid, který se stal úspěšnějším, než jeho rodiče (Parepa et al. 2014a), neustále se rozšiřuje, kříží a tvoří tak nové variace.

2. Cíl práce

Cílem práce je detekovat nové hybridní kombinace křídlatek v České republice a popsat cytologickou a morfologickou variabilitu hybridu *Fallopia ×bohemica*, který se zde vyskytuje.

3. Literární přehled

3.1. Invazní nepůvodní druhy rostlin

3.1.1. Vymezení pojmů invazních druhů

Introdukce nepůvodních druhů jsou spolu se změnami kvality stanovišť, změnou klimatu, vzrůstajícím využíváním přírodních zdrojů a znečištěním životního prostředí považovány za hlavní procesy, které výrazně negativně ovlivňují světovou biodiverzitu (Millennium Ecosystem Assessment 2005). Invazi lze popsat jako proces, při kterém druh překonává geografické a ekologické bariéry (Pyšek et Tichý, 2001). Invazní druhy mohou způsobit ztrátu biodiverzity, dokonce zničení struktury celého původního ekosystému (Dai et al. 2021). Zvyšující se aktivita lidské populace výrazně dopomáhá rozšiřování těchto druhů. Ty jsou tak do nových území zavlékány úmyslně např. jako okrasné rostliny. Těmi byly v druhé polovině 19. století i dnes tak nepříjemné křídlatky (*Fallopia*), netýkavka žláznatá (*Impatiens glandulifera*) či bolševník (*Heracleum mantegazzianum*) (AOPK ČR, 2022a). Přesto nám nepůvodní druhy dávají příležitost k prozkoumání ekologicko-evolučních a biogeografických jevů, jako jsou mechanismy šíření, přirozený výběr, kompetice či hybridizace (Allen et Meyerson, 2017; Latzel et al. 2016).

Jedna z prvních zpráv zabývající se popisováním přítomnosti nepůvodních druhů pochází od Alphonse de Candolle. Roku 1855 uvedl ve svém fyto geografickém díle, že zavlečené druhy často patří do rodů, které se v původní flóře daného území nevyskytují (Pyšek et Sádlo, 2004).

V práci budou používány tyto termíny:

invazní druh

Nepůvodní druh, jehož introdukce nebo šíření ohrožuje biologickou diverzitu.
(Mlíkovský et Stýblo, 2006)

Následující terminologie převzata od (Richardson et al. 2000; Pyšek et al. 2004).

nepůvodní druh

Druh, který se do území dostal v důsledku činnosti člověka z území, ve kterém je původní, anebo přirozenou cestou z území, ve kterém je nepůvodní.

expanze

Proces šíření původního druhu.

invaze

Proces šíření nepůvodního druhu zahrnující různá stádia, tj. od zavlečení až po invazi.

původní druh

Druh, který v území vznikl v průběhu evoluce, nebo se do něj dostal bez přispění člověka z území, kde je původní.

původní areál

Oblast původního rozšíření.

nepůvodní areál

Oblast druhotného rozšíření, do které byl druh zavlečen.

zavlečení

Úmyslný nebo neúmyslný přenos druhu do oblasti mimo jeho původní areál.

zplanění

Rozšíření záměrně pěstovaného druhu mimo zahradní, zemědělské nebo lesní kultury.

přechodně zavlečený druh

Druh, jehož přežívání v území závisí na opakovaném přísunu diaspor v důsledku lidské činnosti, pokud se rozmnožuje mimo kulturu, pak pouze přechodně.

naturalizovaný druh (zdomácněný)

Zavlečený druh, který se v území pravidelně rozmnožuje po dlouhou dobu a nezávisle na činnosti člověka.

3.1.2 Faktory ovlivňující invazní druhy rostlin

Úspěšnost daného druhu na území rozhoduje řada faktorů. Záleží především na vlastnostech druhu daného společenstva a lokality (Lockwood et al. 2006). Mezi hlavní předpoklady úspěšné invaze rostlin je nutná vysoká produkce biomasy, schopnost přežít i v nepříznivých podmínkách, rychlý růst a vysoká rychlost rozmnožování (Pyšek et Tichý, 2001). Schopnost úspěšného a rychlého rozmnožování v sekundárním areálu spočívá v produkci velkého množství malých semen, v snadném šíření těchto semen, v jejich dobré klíčivosti a zda jsou schopna přetrvávat v půdě i po delší dobu (Pyšek et Tichý, 2001). U některých invazních druhů může dojít v sekundárním areálu ke křížení s příbuzným původního druhu, nebo může dojít i ke křížení dvou nepůvodních druhů (Marková et Hejda, 2011). Například můžeme uvést křídlatku českou (*Fallopia × bohemica*), která vznikla křížením křídlatky sachalinské (*F. sachalinensis*) a křídlatky japonské (*F. japonica*) (Pyšek et Tichý, 2001). Některé invazní druhy nejsou založeny na vysoké genetické variabilitě, pomocí které by se mohly rychle rozšířit v sekundárním areálu, ale jsou zaměřeny na schopnost rychlého vegetativního rozmnožování. Příklad může být právě výše zmíněná křídlatka, u které je vegetativní rozmnožování hlavním způsobem šíření převážně v sekundárním areálu (Berchová-Bímová et Mandák, 2008).

Faktorů, které mohou ovlivnit úspěšné uchycení rostliny ve společenstvu je mnoho. Jako první můžeme jmenovat klimatické podmínky. Invaznímu druhu rostlin se bude více dařit osidlovat oblast, která má stejné nebo podobné klimatické podmínky jako původní oblast výskytu. Dále můžeme jmenovat výskyt patogenů, býložravců či konkurenční druhy rostlin, které mohou být jak nápomocné, tak i mít negativní dopad na úspěšné uchycení druhu (Chytrý et Pyšek, 2008). Přísun diaspor, tzv. propagule

pressure, je další významný faktor pro invazní druhy. Vyjadřuje množství semen, oddenků či jiných rozmnožovacích částí nepůvodních druhů, které se do určité oblasti dostávají (Pyšek et al. 2008a).

3.1.3. Vliv invaze na biodiverzitu

Člověk, který v dnešní době čím dál více zasahuje do přírody, tím poskytuje příznivé podmínky pro invazní druhy (Pyšek et Richardson, 2007). Negativní vliv biologické invaze převažuje nad pozitivním. Nepůvodní druhy narušují vzhled krajiny, složení půdy, vytlačují původní druhy a s tím spojené živočichy, kteří se na nich živí a tím si dopomáhají ke svému snazšímu rozšiřování v krajině (Vilà et Ibáñez, 2011). Invazní druhy dosahující větších rozměrů a díky tomu dominují nad původním společenstvem. Tímto způsobem se v České republice projevuje například výše zmíněná křídlatka nebo bolševník velkolepý (*Heracleum mantegazzianum*). K potlačení a vytěsnění místní vegetace a konkurenčně slabším ohroženým druhům z luk bolševník velkolepý produkuje velké jednodruhové porosty (Hejda et al. 2009). Křídlatky, mají mohutný oddenkovým systém, který dokáže poškodit zdi, hráze, budovy. V oblasti toku může tento oddenkový systém sahat do země i několika metrů a negativně ho ovlivňovat, např: zanášení toku, poškozování břehů případně i lokální záplavy (Křivánek, 2004). Odlákání opylovačů je další způsob, jak invazní druhy ovlivňují místní flóru a konkurují jí (Chittka et Schürkens, 2001). K rozsáhlým změnám může dojít zejména pokud je nepůvodní druh dostatečně dominantní a je schopen měnit podmínky prostředí je tzv. transformerem (Richardson et al. 2000) toky látek a energií, dostupnost dusíku, fosforu, vody, stávající režim disturbancí (požáry, eroze), salinitu, dostupnost světla, celkovou produktivitu společenstva, rychlost dekompozice apod. (Pergl, 2008).

3.2. Evropská legislativa ohledně omezování invazních druhů rostlin

3.2.1. Legislativa České republiky

Od 1. 1. 2022 jsou do národní legislativy implementována evropská nařízení č. 1143/2014 (o prevenci a regulaci zavlékání či vysazování a šíření invazních

nepůvodních druhů). Toto nařízení stanoví pravidla pro prevenci, minimalizaci a zmírnění nepříznivých dopadů na biologickou rozmanitost spojených jak se záměrným, tak nezáměrným zavlékáním nebo vysazováním invazních nepůvodních druhů do Unie a s jejich šířením v Unii. Doporučuje zakázat na úrovni Unie dovoz, rozmnožování, pěstování, přepravu, nákup, prodej, využívání, výměnu, držení invazních nepůvodních druhů s významným dopadem na Unii a jejich uvolňování do oběhu, ať již jde o úmyslné jednání či jednání z nedbalosti, aby se zaručilo podniknutí včasných a důsledných kroků v celé Unii, které zamezí narušování vnitřního trhu a předejdou situacím, kdy je opatření přijaté v jednom členském státě oslabováno nečinností v jiném členském státě. a č. 708/2007 (o používání cizích a místně se nevyskytujících druhů v akvakultuře). Toto nařízení vytváří rámec upravující akvakulturní postupy ve vztahu k cizím a místně se nevyskytujícím druhům s cílem posoudit a minimalizovat možný vliv těchto druhů a všech souvisejících necílových druhů na vodní přírodní stanoviště, a tím přispět k dlouhodobě udržitelnému rozvoji tohoto odvětví.

Invazní a nepůvodní druhy rostlin a živočichů jsou řešeny na třech úrovních:

- nepůvodní druhy obecně
- cizí a místně se nevyskytující druhy v akvakultuře (vyplývá z nařízení č. 708/2007)
- invazní nepůvodní druhy z unijního seznamu (vyplývá z nařízení č. 1143/2014)

Stěžejním právním předpisem je Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny v platném znění.

Invazní druhy z pozice karanténních škůdců a škodlivých organismů jsou řešeny zákony

- Zákon č. 326/2004 Sb., o rostlinolékařské péči, v platném znění a navazující vyhláška č. 215/2008 Sb., o opatřeních proti zavlékání a rozšiřování škodlivých organismů rostlin a rostlinných produktů, v platném znění.
- Zákon č. 78/2004 Sb. o nakládání s geneticky modifikovanými organismy a genetickými produkty, v platném znění.
- Zákon č. 254/2001 Sb., vodní zákon, Zákon č. 99/2004 Sb., o rybářství, zákon č. 289/1995 Sb. o lesích, Zákon č. 449/2001 Sb., o myslivosti, v platném znění (AOPK ČR, 2022b).

3.2.2. Legislativa Evropské unie

Jedním z nejvýznamnějších právních aktů v rámci EU, který sjednocuje přístup EU v boji proti invazním druhům je od ledna 2015 účinné **nařízení Evropského parlamentu EU č. 1143/2014 o prevenci a regulaci zavlékání či vysazování a šíření invazních nepůvodních druhů**, ve vazbě na implementaci tohoto aktu bude aktualizována národní legislativa. Nařízení se vztahuje na druhy v seznamu invazních nepůvodních druhů s významným dopadem na Unii (tzv. "unijní seznam"),

V souvislosti s přijetím Nařízení EU č. 1143/2014 o prevenci a regulaci zavlékání či vysazování a šíření invazních nepůvodních druhů byl vytvořen seznam druhů, na které se Nařízení vztahuje, oficiálně nazvaný **seznam invazních nepůvodních druhů s významným dopadem na Unii**, zkráceně označovaný jako **"unijní seznam"**. Podmínkou přijetí druhu na něj byla jeho nepůvodnost na celém území Unie, prokazatelná schopnost přežít a šířit se v biogeografické oblasti společně alespoň dvěma státním a pravděpodobnost jejich závažného nepříznivého dopadu na biologickou rozmanitost, lidské zdraví či hospodářství. Pro druh musela být též vypracována analýza rizika. Po jednáních v roce 2015 vznikl dokument obsahující 37 druhů, který byl oficiálně zveřejněn ve Úředním věstníku EU v polovině července 2016 a od začátku srpna 2016 nabyl účinnosti. O rok později byl seznam aktualizován o dalších 12 druhů a v roce 2019 přibýlo dalších 17, takže od poloviny srpna 2019 v něm figuruje 66 druhů. Pro druhy na unijním seznamu platí zákaz dovozu a převozu druhů v rámci EU, uvádění na trh, zákaz držení, chovu, rozmnožování a vypouštění do volné přírody. Nařízení počítá s možností povolení výjimek ze zákazů pro účely výzkumu, ochrany ex-situ a medicínální účely (AOPK ČR, 2022c).

3.3. Ekologie křídlatek

3.3.1. Taxonomie druhu

Taxonomická situace celé skupiny je poměrně nepřehledná. Prameny se rozcházejí, co se týče taxonomického zařazení. Začlenění v minulosti procházelo neustálým vývojem (Beerling et al. 1994; Bailey et al. 2007), které vyvrcholilo v současnosti. Někteří autoři se se přiklání k rodu opletka (*Fallopia*), jsou to převážně zahraniční autoři, v České republice se zas v minulosti autoři přikláněli k rodu křídlatka (*Reynoutria*) (Holub, 1971), ovšem to se v poslední době mění

(Berchová-Bímová et Mandák, 2008) a autoři i vědci začínají používat pojmenování *Fallopia*. Podrobný rozbor vývoje jmen a taxonomického zařazení křídlatek uvádí (Bailey et al., 2007). S nejnovějšími poznatky se křídlatky řadí do rodu *Fallopia*, sekce *Reynoutria*. Toto zařazení, se odlišuje od tradičního českého (Holub, 1971). Studium ukázalo, že znaky, které se používají k odlišení rodů *Fallopia* a *Reynoutria* nejsou konzistentně vázány na jednotlivé rody, ale mají síťovitou strukturu. Především výskyt asijského druhu *Fallopia multiflora*, který je považován za liánu by měl být dle Holubova zařazení patřit do rodu *Fallopia*, významně komplikuje situaci. *Fallopia multiflora* je popínavého vzrůstu ale vytváří i oddenkový systém, který je charakteristický pro rod *Reynoutria*. Spojuje morfologické znaky obou rodu, můžeme tedy říct, že je jakýsi mezičlánek mezi těmito dvěma rody. Z těchto důvodů se v poslední době přiklání k názoru, připojit všechny druhy doposud řazené do rodu *Reynoutria* k široce pojatému rodu *Fallopia* (Berchová-Bímová et Mandák, 2008).

Fallopia japonica se vyskytuje na ČR ve dvou formách a to jako (*F. japonica* var. *japonica* a *F. japonica* var. *compacta* – křídlatka japonská tuhá) (Berchová-Bímová et Mandák, 2008). Od sebe je lze odlišit pomocí barvy křídel okvěti. *Compacta* má narůžovělou barvu, *japonica* má zas barvu křídel bílou. Květenstvím je lata mnohokvětých lichoklasů vyrůstající z úžlabí listů, delší než řapík příslušného listu. Květy jsou pětičetné, pravidelné, okvěti není rozlišeno na kalich a korunu. Lodyhy mívají na řezu oblé, duté, jemně bradavčité nebo lysé. Plodem je nažka. V mládí jsou zelené s červenavým nádechem, později zůstávají tmavě kroupnaté (Kubát et al. 2002; Mandák et Pyšek, 1996). *F. japonica* dorůstá výš až 2,5 m s většími listy 10-17 x 8-12 cm. Listy jsou široce trojúhelníkovité, u nejvyšších listů zakončené dlouhou úzkou špičkou. *F. japonica* var. *compacta* je přibližně 1,3 m vysoká, s celkově menšími listy, téměř okrouhlými, zakončenými tupou trojúhelníkovitou špičkou (Kubát, 2002).

Fallopia sachalinensis nejvýraznější znak této rostliny jsou velké a měkké listy dosahující délky až 40 cm s vejčitou čepelí. Na vrcholu jsou listy zaokrouhleny a na rubu jsou dlouze roztroušeně chlupaté. Květy drobnými zelenobílými květy. Květy jsou uspořádanými v lichoklasech až 6 cm dlouhých. Křídla okvěti jsou úzká, po květní stopce se výrazně sbíhají. Plodem je nažka. Dorůstá někdy i 4 m, lodyhy jsou duté, holé, přímé, slabě ryhované skoro oblé (Chrtek, 1990).

Hybrid *F. × bohemica* bude popsán níže v podkapitole Studovaný taxon, protože se jedná o taxon, kvůli kterému táto práce vznikla.

3.3.2. Původní a současné rozšíření

Fallopia japonica, *F. sachalinensis* a *F. × bohemica* jsou klasifikovány jako invazní neofyty (nepůvodní rostlinný druh, v Evropě zavlečený po roce 1492) (Ottův slovník naučný, 1903) tvoří metapopulace a patří mezi 100 nejinvazivnějších druhů Evropy.

Primárním areálem *F. japonica* je podle některých autorů Japonsko (Yamazaki, 1994), podle jiných autorů může pocházet i z Korejského poloostrova, Číny a Taiwanu (Chrtek, 1990; Beerling et al. 1994). V rámci primárního areálu je druh morfologicky velmi variabilní, takže jeho taxonomie není zcela jasná (Mandák et al. 2004).

Primárním areálem *F. sachalinensis* je Japonsko (severní Honshu a Hokkaido) a ostrov Sachalin (Rusko) (Bailey et Conolly, 2000).

Primární areál *F. × bohemica*, křížence mezi *F. japonica* a *F. sachalinensis*, (Mandák et al. 2004) se vyskytuje v místech překryvu areálů obou rodičovských druhů, tedy v Evropě.

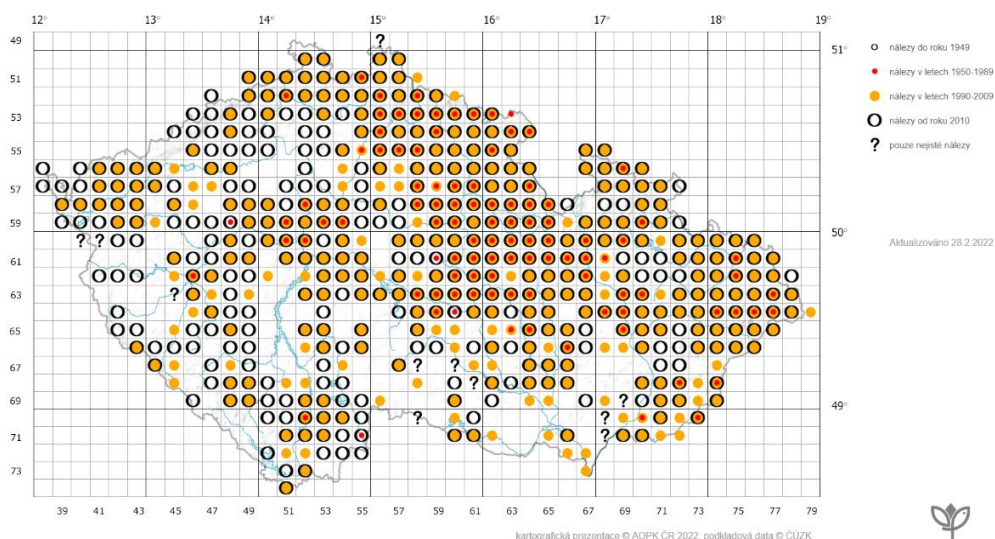
Fallopia japonica a *F. sachalinensis* byly introdukovány do Evropy jako okrasné rostliny v 19. století a brzy se začaly nekontrolovatelně šířit do okolí. Staly se z nich oblíbené rostliny viktoriánských zahrad, kvůli rychlému růstu, zdraví prospěšným účinkům oddenků i možnosti použití mladých listů místo zeleniny. Pěstovány byly pro dobytek jako pícnina nebo jako medonosná rostlina. Byly vysazovány pro ochranu zranitelných kultur před prudkým větrem, ostrým sluncem, nebo erozi (Jäger, 1995; Bailey et Conolly, 2000).

Fallopia sachalinensis byla introdukována a je brána jako invazní a nebezpečný druh napříč Evropou, Austrálií, Severní Amerikou, i na Novém Zélandě. Také již byla zjištěna v Indii a Jihoafrické republice. *F. japonica* v současnosti roste především v severní a střední Evropě. Zaznamenána byla i v jižní Evropě (Trinajstić, 1990). Invazní je i v různých částech Severní Ameriky, Austrálie a Nového Zélandu, zavlečena byla i do Jižní Ameriky (Chile). *F. × bohemica* je invazní na většině území

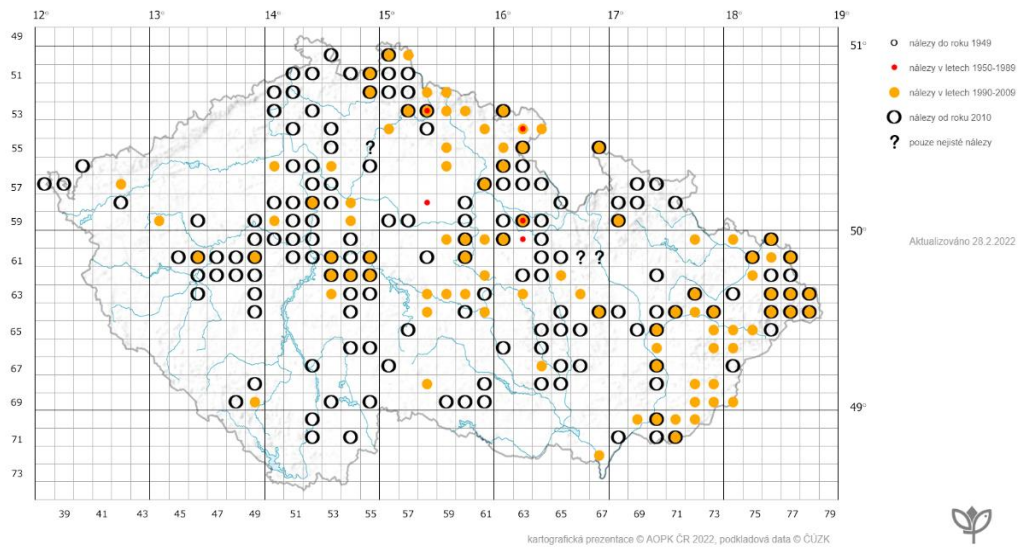
Evropy a v Severní Americe, v jižnějších a východnějších částech Evropy je rozšířenější než rodičovské druhy.

3.3.3. Současné stanoviště v České republice

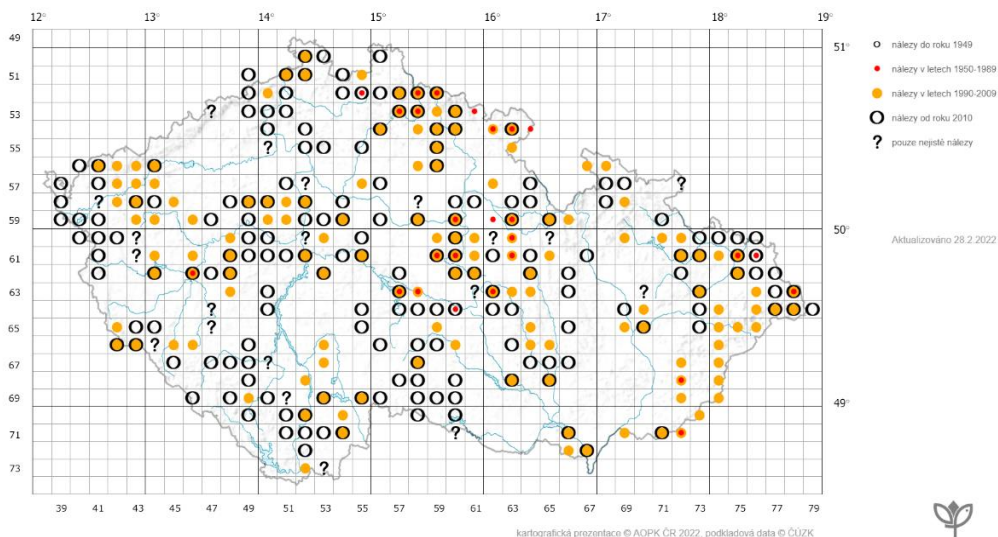
V současnosti chybí literatura o aktuálním rozšíření invazního rodu *Fallopia* v České republice. Informace, které nám mohou přiblížit nebo si představit o jak velké rozšíření se jedná tohoto rodu jsou např. mapy z NDOP AOPK, které se ročně aktualizují. *F. japonica* se u nás vykytuje hlavně podél silnic. *F. × bohemica* preferuje zas převážně vodní toky a zahrady. *F. sachalinensis* se stále pěstuje na zahradách, odkud se šíří dál (Mandák et. al. 2003; Mandák et. al. 2004). Následující mapy obsahují naleziště rodu *Fallopia* od roku 1949 až doposud. Roky jsou zaznamenány v Legendě a každé rozmezí let má přidělenou určitou značku na mapě.



Obrázek 1: Současné rozšíření druhu *Fallopia × bohemica* (AOPK, 2022d)



Obrázek 2: Současné rozšíření druhu *Fallopia japonica* (AOPK, 2022e).



Obrázek 3: Současné rozšíření druhu *Fallopia sachalinensis* (AOPK, 2022f).

Z obr.1,2 a 3 je patrné, že rod *Fallopia* se vyskytuje téměř po celé České republice a neustále se rozšiřuje. Především *R. japonica* obr. 2 je z něj patrné, že se rozprostírá po celé ČR. Musíme si ovšem uvědomit, že výskyt druhu je nestálý a neustále se mění a je tak častý, že mapy nám rozhodně neukazuje reálné rozšíření a jsou podhodnoceny.

3.3.4. Fenologie

Fenologie druhů celého rodu *Fallopia* je velmi podobná. Vegetační doba trvá přibližně 8 měsíců. Podzemní oddenky mladých rostlin vyráží během dubna a průběhem jara vyrostou velmi rychle (Šrubař, 2006). V průběhu sezóny má nárůst biomasy 2 vrcholy, v polovině června je první, do listů jde nejvíce biomasy, koncem

srpna je druhý kde se biomasa soustředí do kvetení (Berchová-Bímová et Mandák, 2008). Křídlatky kvetou od července (*F. japonica* a *F. ×bohemica*) do srpna (*F. sachalinensis*) až září (Cvachová et al. 2002).

Rostliny si po odkvetení a vytvoření generativních rozmnožovacích částí (plody, semena) stěhují asimiláty (cukry) do kořenového systému v podzemí začátkem podzimu (Šrubař, 2006). Vegetační období je ukončeno prvními mrazíky, kdy odumřou nadzemní části rostliny. Zimu přežívají v podobě oddenků (Beerling et al. 1994; Šrubař, 2006). Během zimy zůstávají odumřelé výhony vzpřímené až do dalšího vegetačního období, tím vytvářejí preventivní prostředí pro nově výhonky na jaře (Kroutil, 2011). Mladé rostliny jsou citlivé na mírné mrazy ale i na případné letní sucho. Mrazy poškozují semena, která dozrávají (Barney et al. 2006).

3.3.5. Způsob rozmnožování

Taxony rodu *Fallopia* se velice úspěšně množí vegetativně, především regenerací lodyh, oddenků a úlomků (Beerling et al. 1994; Bímová et al. 2003; Bailey et al. 2007; Berchová-Bímová et Mandák, 2008; Parepa et al. 2014), touto cestou vznikají stejné klony původních (mateřských) rostlin (Mandák et al. 2005). Tato schopnost zvyšuje invazivní potenciál těchto rostlin (Parepa et al. 2014). U *F. japonica* a *F. ×bohemica* dochází k menší úspěšnosti reprodukce a regeneraci prostřednictvím náhodného zakořenění fragmentů stonků ve srovnání s regenerací z oddenků. U *F. sachalinensis* se zjistilo, že má vyšší úspěšnost regenerace z náhodného zakořenění stonku fragmenty a nižší úspěšnost regenerace z oddenků (Bímová et al. 2003). Celkově vegetativní regenerace je nejvyšší u *F. × bohemica* (Bímová et al. 2003). Segmenty z těchto rostlin vyskytující se na povrchu půdy regenerují velice málo a může dojít u nich k úplnému vysušení. Všem taxonům prospívá vlhké prostředí. Oddenky regenerují lépe ve vlhké půdě na rozdíl od lodyh, které regenerují snadněji ve vodě (Berchová-Bímová et Mandák, 2008). *Fallopia* vyprodukuje během roku mnoho plodných semen, přičemž studie *F. japonica* a *F. sachalinensis* v Pensylvánii uvádí čísla okolo 50 000 až 150 000 semen ročně na stonku (Niewinski, 1998). Klíčivost semen *Fallopia* je opravdu mimořádná. Míra klíčivosti dosahuje až 92 % (polní klíčivost) (Bram et Mcnair, 2004), 93 % (sušená semena) (Groeneveld et al. 2014) a dokonce 100 % (přezimované semeno) (Forman

et Kesseli, 2003). Ukázalo se, že klíčivost daných semen závisí na úrovni zralosti semen (Bram et McNair, 2004).

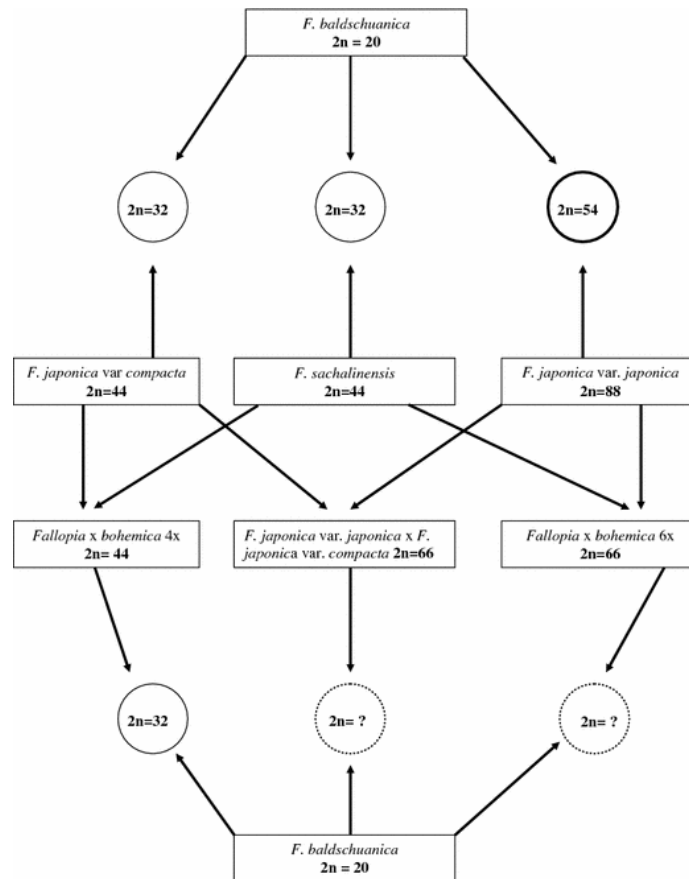
3.3.6. Velikost genomu a ploidie jednotlivých taxonů

Taxony křídlatek se od sebe liší nejen v morfologii a genetické variabilitě, ale také ve schopnostech jako je třeba, invadovat různé typy prostředí, regenerace či odolnost na likvidační zásahy (Bímová et al. 2001).

Přepokládalo se že *F. japonica* je v sekundárním areálu (octoploidní, $2n = 88$) a geneticky uniformní ovšem toto tvrzení se vyvrátilo molekulární studií Gammon et Kesseli, (2010), která v Severní Americe detekovala osm haplotypů. Také studie Bzdęga et al. (2016) potvrdila populaci s odlišnou genetickou variabilitou, objevili pět odlišných genotypů na území Polska. V Evropě *F. japonica* semena produkuje pouze hybridizací s příbuznými taxony, především s *F. sachalinensis*, *F. baldschuanica* a *F. ×bohemica*.

Hybrid *F. baldschuanica* a *F. japonica* je pojmenován jako *F. ×conollyana* ($2n = 54$), dosud se v přírodě usadila a vyklíčila nepatrná část (Bailey, 2001).

Fallopia sachalinensis, se v Evropě vyskytuje hlavně v tetraploidní chromozomové úrovni ($2n = 4x = 44$). Nachází se rostliny i hexaploidní ($2n = 6x = 66$) a oktoploidní ($2n = 8x = 88$) kdy se vyskytují současně obě aktivní pohlaví (hermafroditní jedinec a sterilní samec) (Mandák et al. 2003). Během spontánního mezidruhového křížení došlo ke vzniku hybrida *F. ×bohemica*. Hybrid byl popsán a objeven na území ČR během roku 1983 (Chrtěk et Chrtková, 1983). *F. ×bohemica* má schopnost projít opětovným křížením s jedním z rodičovských taxonů (Bailey et al. 2009) a tím dát vzniknout novým hybridním variantám daného druhu Obr. č. 4. V průběhu hybridizace mohou vznikat také nové hybridní genotypy, které se poté mohou šířit ve volné přírodě (Berchová-Bímová et Mandák, 2008) a vytvářet tak úplně nové hybridní populace. *F. ×bohemica* je na území České republiky zastoupena hexaploidní variantou ($2n = 6x = 66$). Můžeme zde nalézt ovšem i rostliny, které mají stejný počet chromozomů jak rodičovské druhy ($2n = 4x = 44$, $2n = 8x = 88$) nebo s rostlinami s jinými počty chromozomů ($2n = 77$, $2n = 98$) (Bímová et al. 2008).



Obrázek 4: Schéma znázorňující hlavní hybridizační cesty. Přestože byl proveden na britském materiálu, je stejně tak použitelný pro kontinentální Evropu (Bailey, 1999).

3.3.7. Vliv invaze na ekosystémy

Provedlo se mnoho studií na téma vliv druhu *Fallopia* na životní prostředí, výsledky byly jednoznačné. U *Fallopia* převažuje negativní vliv nad pozitivním na celý ekosystém. Studie zaměřené na houby, bakterie a améby zjistily, že podestýlka *Fallopia*, která se pomalu rozkládá upřednostňuje houby před bakteriemi, z důvodu větší schopnosti využití C a mineralizování rostlinných heteropolymerů (Mincheva et al. 2014; Tamura et Tharayil, 2014; Stefanowicz et al. 2016). K rozkladu polyfenolických sloučenin listů *Fallopia* jsou potřeba enzymy, které jsou produkovány několika mi druhy hub (Suseela et al. 2016). Dvě studie provedené v Polsku ukázaly, že *F. japonica* negativně ovlivňuje arbuskulární mykorhizní houby, nejspíše proto, že *Fallopia* jsou nemyorhizní rostliny (Stefanowicz et al. 2016; Zubek et al. 2016). Vliv invaze na rostliny je největší. Rostlinná biomasa v monokulturách *Fallopia* je mnohem početnější (až 13krát) než v okolních nezasažených lokalitách. Vysoká produktivita a

vysoká hustota stonků napomáhá k potlačení přirozených rostlin a bylin (Urgenson et al. 2009 ; Aguilera et al. 2010; Maurel et al. 2010; Chmura et al. 2015; Mincheva et al. 2016). Provedené studie prokazují, že rod *Fallopia* má v obě alelopatické sloučeniny, které jsou částečně zodpovědné za vyšší schopnost konkurovat vůči přirozeně se vyskytujícím rostlinám a za jejich snížený počet a schopnost růstu. (Moravcová et al. 2011; Murrell et al. 2011; Dommaget et al. 2014). Početné monokultury *Fallopia* snižují druhovou bohatost rostlin a živočichů a zjednodušují strukturní složitost biotopu pro bezobratlé, což může způsobit snížení diverzity a ovlivnit tak vyskytující se počet druhů býložravců (Stoll et al. 2012). Nižší počty potencionální kořisti mohou zas ovlivnit bezobratlé predátory, jako jsou například pavouci (Gerber et al. 2008).

3.4. Hybridizace rodu *Fallopia* (syn. *Reynoutria*)

3.4.1. Dosud známí kříženci

V České republice na principu analýz izoenzymů a průtokové cytometrii (Mandák et al. 2003; Pyšek et al. 2003) byly popsány tyto druhy a hybridy rodu *Fallopia*.

- *F. japonica*
- *F. sachalinensis*
- *F. ×bohemica*, hybrid mezi *F. japonica* a *F. sachalinensis*
- *F. japonica* var. *compacta*, vzácný
- *F. aubertii* (syn. *F. baldschuanica*), v přírodě vzácný, ale dnes běžně pěstovaný a velmi často zplaňující, v poslední době vykazující invazní chování.
- Hybrid *F. × conollyana*

3.5. Průtoková cytometrie

Průtoková cytometrie (anglicky flow cytometry, FCM) patří mezi moderní a perspektivní metody používané v současnosti v základním i aplikovaném výzkumu mnoha biologických oborů. Celkový rozsah jejích aplikací je značně široký a pokrývá například stanovení obsahu jaderné DNA, určení ploidie, analýzu buněčného cyklu,

studium genové exprese, počítání a určení typu krevních buněk, detekci a charakterizaci mikroorganismů, třídění požadovaných částic atd.

Název průtoková cytometrie dobře odráží dvě základní charakteristiky metody: veškerá měření se uskutečňují v pohybu a zaznamenávají jsou vybrané optické vlastnosti jednotlivých částic (např. buněk), z nichž nejčastější bývá intenzita fluorescence. Teoretický základ cytometrických analýz je poměrně jednoduchý. Před vlastním měřením se na dvoušroubovici DNA studovaného objektu naváže fluorescenční barvivo (fluorochrom). Je nutné, aby se zvolená látka vážala specificky (nebarvila i jiné orgány) a kvantitativně (množství navázaného fluorochromu bylo přímo úměrné množství DNA). Ozáříme-li fluorescenční barvivo světlem vhodné vlnové délky, dojde k jeho excitaci neboli k přechodu elektronů na vyšší energetickou hladinu. Excitovaný stav je však nestabilní a elektrony se vzápětí vrací zpět do původního, základního stavu. Tento přechod bývá doprovázen uvolněním tepelné a světelné (= fluorescence) energie. Protože část energie se ztrácí ve formě tepla, má vyzářené světlo jinou (delší) vlnovou délku než původní excitační záření. Vhodně zvolenou kombinací filtrů lze pak obě záření oddělit a fluorescenci pomocí průtokového cytometru měřit. (Suda, 2005)

Průtokovou cytometrii jsem si zvolil, protože to je rychlá metoda, díky které se dá stanovit úroveň ploidii. Díky této metodě se můžeme detekovat nové polyploidní úrovně rostlin a tím nové genetické varianty druhu, který jsou lépe přizpůsobeny životnímu prostředí.

4. Metodika

4.1. Studovaný taxon

Vzhled *F. ×bohemica* může vést k záměně s rodičovskými druhy. Dorůstá výšky až 3 m, lodyhy jsou červeně skvrnitě a duté. Listy má zpravidla široce vejčité, na vrcholu zašpičatělé. nebo zakončené dlouhou ostrou špičkou. Báze je mělce srdčitá nebo tupě klínovitá. Na rubu můžeme najít krátké jemné chlupy. dosahují nejvíce 2-4 cm a bývají delší než řapík. Květy jsou drobné žlutobílé až zelenobílé uspořádané v latě mnohokvětých lichoklasů. Křídla okvětí jsou široka 2–3 mm, nevýrazně sbíhává po květní stopce (Mandák et Pyšek, 1996).

4.2. Sběr a regenerace oddenků

Lokality sběru v byly vytipovány pomocí předešlého terénního průzkumu a doporučeny Dr. Michaelou Vítkovou z Botanického ústavu AV ČR. Lokality sběru byly oba břehy řek Bečvy a Morávky Obr. č. 5. Na těchto lokalitách se vyskytovali hybridní obou pohlaví, tedy jako hermafroditní (funkčně samčí) a samičí rostliny. První návštěva se uskutečnila v době květu křídlatek (srpen–září 2020), kdy byl taxon přesně klasifikován pomocí morfologických charakteristik; bylo určeno funkční pohlaví a došlo k odběru části oddenkového systému rostlin (zregenerované oddenky byly použity pro stanovení ploidie). Celkem bylo sebráno 65 vzorků oddenků z toho 48 z Bečvy a 17 z Morávky. Při druhé návštěvě došlo ke sběru semen a týkalo se to pouze lokalit, kde byly nalezeny hybridní či samičí rostliny. Sběr proběhl v zimním období (prosinec 2020). Sběr a regenerace oddenků křídlatek probíhal dodržáním následujícího postupu:

- Oddenky byly vykopány, označeny a uloženy do igelitových pytlů Obr. č. 6.
- Oddenky byly zasazeny do plastových truhlíků (rozměry 39x17x14 cm) naplněny zahradním substrátem.
- Oddenky byly pravidelně zavlažovány a byla sledována jejich regenerace.
- Regenerující křídlatky byly v rané fázi podrobeny analýze průtokovou cytometrii.
- Sběr a stratifikace semen rostlin probíhal na konci vegetační sezóny 2020 semena byla sbírána na vybraných řečených lokalitách (výše), semena byla následně stratifikována při -16 °C po dobu 14 dní.
- Semena byla klíčena na Petriho miskách v klimaboxu při teplotě 21 °C po dobu 20 dnů.
- Semena byla zasazena do plastových truhlíků Obr. č. 7 a zalévána po 3 měsících jsem změřil údaje (počet listu, výška, počet lodyh).

Následně bylo provedeno testování klíčivosti na České zemědělské univerzitě.



Obrázek 5: *Populace rodu Fallopia podél toku řeky Bečvy.*



Obrázek 6: *Čerstvě vykopaný oddenek Fallopia.*



Obrázek 7: První klíčící rostliny v plastových truhlíkách ve skleníku ČZU.

4.3. Měření velikosti genomu

Analýza genomu pomocí průtokové cytometrie byl provedena v laboratoři Botanického ústavu AV ČR dodržením dvoustupňového postupu s použitím pufrů Otto I a II (Otto 1990). Jako interní referenční standard byla použita (*Bellis perennis*), protože se její genomová velikost $2C\ DNA = 3,38\ pg$ (Schönswetter et al. 2007) je blíží k testovanému taxonu. Z rostlin vyrašených na oddencích byla odebrána listová tkáň ($1\ cm^2$) a pomocí žiletky rozsekána v Petriho misce obsahující $0,1\ ml$ ledově studeného pufru Otto I ($0,1\ M$ citronová) monohydrát kyseliny, $0,5\ %\ obj./obj.$ Tween 20) s čerstvými listovými tkáněmi ($1\ cm^2$) *B. perennis* po dobu cca. $90\ s$. Vzniklá suspenze byla filtrována přes $42\ \mu m$ nylonové plátýnko. Jádra byla obarvena $1\ ml$ roztokem pufru Otto II ($0,4\ M\ Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$) doplněného o $1\ ml$ zásobního roztoku DAPI ($10\ mg\ DAPI$ se rozpustí ve $100\ ml\ H_2O$) + $50\ \mu l$ β merkcaptoethanolu ($2\ \mu l / ml$) Obr. č. 8.

Vzorky byly inkubovány při pokojové teplotě a analyzovány do 10 minut za použití průtokového cytometru Sysmex-Partec CyFlow SL vybaveného zeleným (532 nm, výstupní výkon 100 mW) laserem v pevné fázi.



Obrázek 8: Průběh přípravy vzorku na průtokovou cytometrii.

4.4. Měření morfologické variability

Měření se provedlo celkově na 46 semenech z toho bylo 30 z lokality Bečva a 16 z Morávky. Semena byla nejdříve klíčena a pravidelně zavlažována na Petriho miskách obsahující filtrační papír v klimaboxu v laboratoři České zemědělské univerzity po dobu 20 dnů při teplotě 21°C. Po 20 dnech se vyklíčená semena přenesla do skleníku na České zemědělské univerzity. Zde se zasadila do plastových truhlíků s hlínou a zahradním substrátem Obr. č. 7 a pravidelně zalévána (2x týdně). Vyrostlé hybridní rostliny byly pěstovány na pozemcích České zemědělské univerzity v plastových truhlících, které se pravidelně zalévaly. Měření se provádělo po třech měsících po vyklíčení rostlin. U rostlin byla změřena výška a spočítán počet listů a lodyh.

4.5. Statistické analýzy

Pro statistické testy bylo použito statistického prostředí softweru R Studio. Velikost genomu byla hodnocena pomocí neparametrického testu (Wilcoxonův test), kde závislou proměnnou představovala velikost genomu a jako prediktor byla zvolena lokalita výskytu (Morávka, Bečva) studovaných rostlin. Neparametrický test byl zvolen jako obdoba dvouvýběrového t-testu z důvodu nesplnění podmínky normality dat (Shapiro-Wilkův test, $p < 10^{-6}$), která přetrvávala i po logaritmické transformaci. Rozdělení proměnné počet listů odpovídalo Poissonovu rozdělení, ale díky vysokým počtům a tvaru se rozdělení blížilo normálnímu, proto byla u nich použita dvoufaktorová ANOVA bez začlenění Poissonova rozdělení. Výšky semenáčků byly hodnoceny také pomocí více-faktorové ANOVA (dvoufaktorová ANOVA) s interakcemi. U počtu lodyh byl použit zobecněný lineární model (GLM) s interakcemi z důvodu nesplnění normality dat (Shapiro-Wilkův test, $p < 10^{-6}$) která přetrvávala i po logaritmické transformaci. Jako prediktor byl zvolena lokalita a ploidie mateřské rostliny.

Statistické testy byly hodnoceny na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

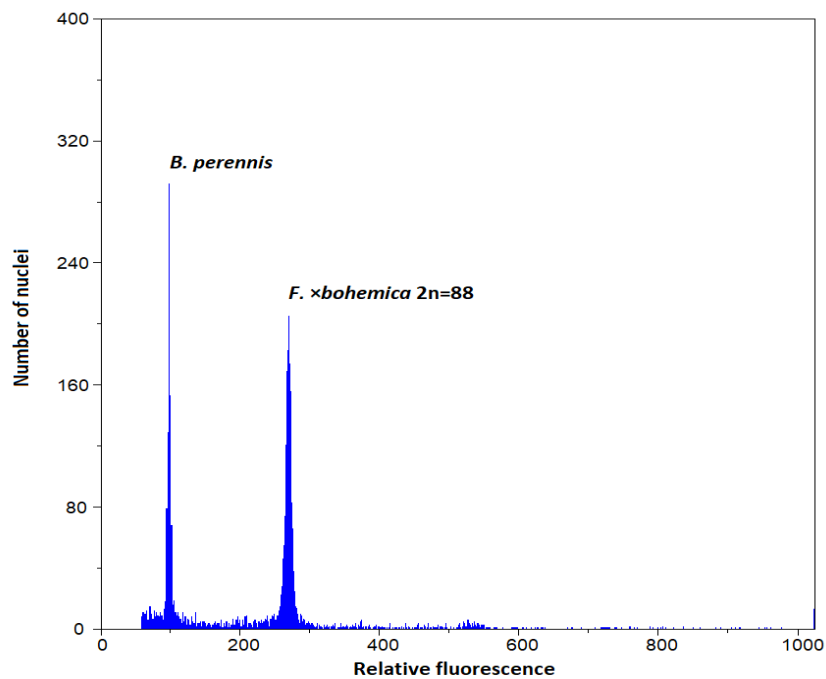
5. Výsledky

5.1. Výsledky cytologické variability oddenků mateřských rostlin

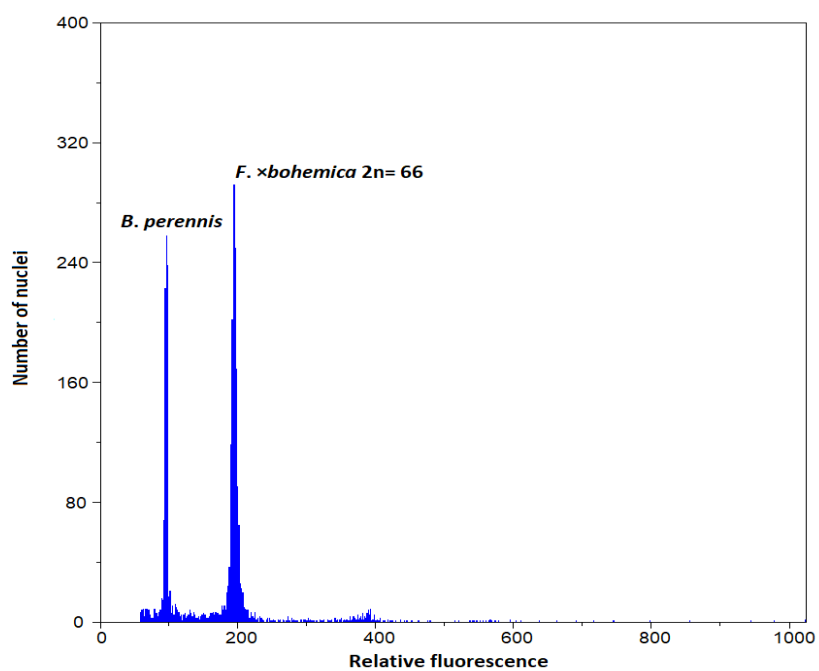
Statistická analýza neprokázala, že by se studované lokality významně lišily v ploidii odebraných rostlin *F. ×bohemica* (Wilcox. test; $w = 452.5$, $p = 0,5112$). Průměrný počet hexaploidů a oktoploidů je tedy na lokalitách obdobný. Rostliny se vyskytují více v hexaploidní formě. Celkem bylo nalezeno 13 oktoploidů (Obr. č. 9) a 52 hexaploidů (Obr. č. 10). Konkrétní nalezené počty hexaploidů, oktoploidů dle lokality a výsledky velikostí genomu studovaných rostlin byly pro přehlednost zaznamenány do (Tab. č. 1).

Taxon	Počet vzorků	Lokalita	Průměrná velikost genomu Hexaploid	Průměrná velikost genomu Oktoploid
<i>F. × bohemica</i>	14 (hexaploid) 3 (oktoploid)	Morávka	$6,67 \pm 0,07$	$9,44 \pm 0,08$
<i>F. × bohemica</i>	38 (hexaploid) 10 (oktoploid)	Bečva	$6,68 \pm 0,11$	$9,24 \pm 0,09$

Tabulka 1: Velikosti genomu (hodnoty $2C$ v DNA pg; průměr $\pm SD$) analyzovaných vzorků *F. × bohemica*. Standardní velikosti genomu oktoploidní *F. × bohemica* dosahují $9,25 \pm 0,07$, pro hexaploidní úroveň $6,93 \pm 0,03$ (Suda et al., 2010).



Obrázek 9: Odhad velikosti genomu oktoploidního hybridu *F. × bohemica* ($2n = 88$) s použitím *Bellis perennis* jako vnitřního standardu. Jádra byla obarvena propidium jodidem.



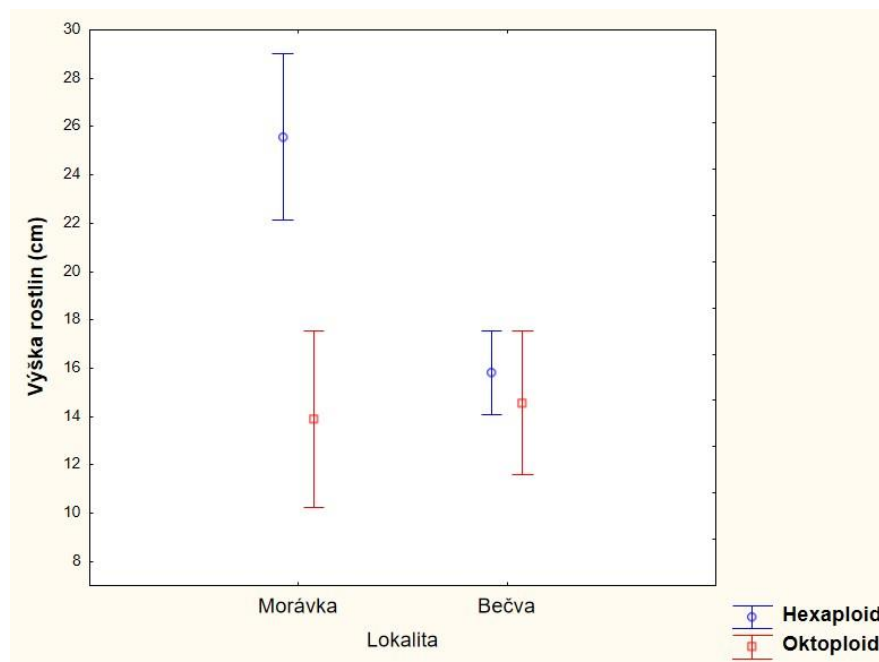
Obrázek 10: Odhad velikosti genomu hexaploidního hybridu *F. × bohemica* ($2n = 66$) s použitím *Bellis perennis* jako vnitřního standardu. Jádra byla obarvena propidium jodidem.

5.2. Výsledky morfologické variability semenáčků

5.2.1. Výška rostlin

Testovaný model: **dvou-faktorová ANOVA** (dále jen ANOVA) – **Výška ~ Lokalita * Ploidii**; Prediktor – ploidie a lokalita výskytu mateřské rostliny. Závislá proměnná (výška semenáčku).

Výsledek statistické analýzy ANOVA pro předpoklad, že výška semenáčků je ovlivněna lokalitou mateřské rostliny ukázal, že tento faktor vliv nemá (ANOVA; $F_{1,42} = 2.195$; $p = 0.1460$). Naopak jako průkazný se projevil faktor ploidie (ANOVA; $F_{1,42} = 4.082$; $p = 0.0498$). Semenáčky hexaploidních rostlin dosahují vyšších průměrných výšek (Obr.11). Interakce mezi lokalitou a ploidii se neprokázala (ANOVA; $F_{1,42} = 4.082$; $p = 0.1051$).

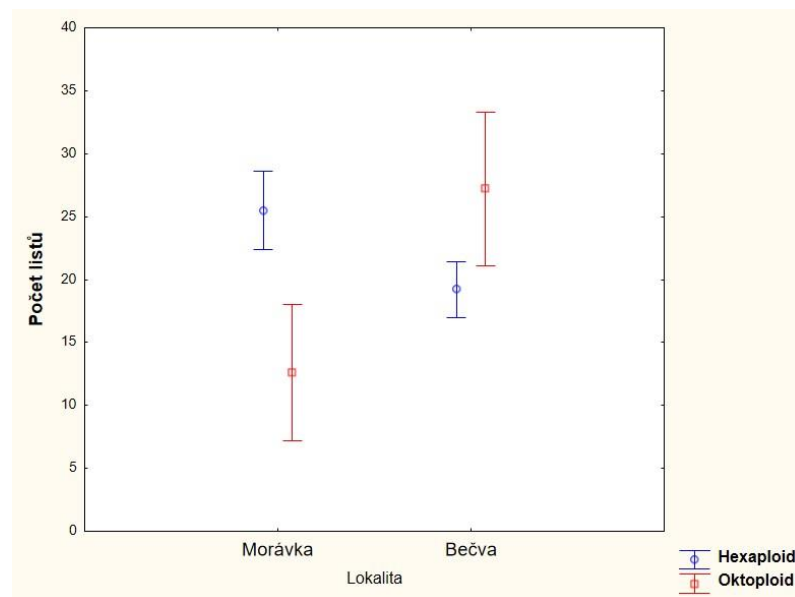


Obrázek 11: Průměrná výška vyklíčených rostlin v závislosti na různé lokalitě a ploidii mateřské rostliny (kolečko a čtverec označuje průměr, kolmé linie +/- SE).

5.2.2. Počet listů

Testovaný model: **ANOVA – Počet listů ~ Lokalita * Ploidii**; Prediktor – ploidie a lokalita výskytu mateřské rostliny. Závislá proměnná (počet listů semenáčku).

Výsledek ANOVA pro předpoklad, že počet listů semenáčků je ovlivněn lokalitou mateřské rostliny ukázal, že tento faktor vliv nemá (ANOVA; $F_{1,42} = 0.162$; $p = 0.6890$). Neprůkazný se projevil i faktor ploidie (ANOVA; $F_{1,42} = 0.162$; $p = 0.5926$). Modelem byla odhalena průkazná interakce mezi lokalitou a ploidii (ANOVA; $F_{1,42} = 6.399$; $p = 0.0153$). Semenáčky oktoploidních rostlin z řeky Morávky dosahují nižších průměrných počtů listů (13.9 ± 14.39) oproti semenáčkům hexaploidních rostlin (25.5 ± 8.17), na řece Bečvě pozorujeme opačný trend (Obr.12).

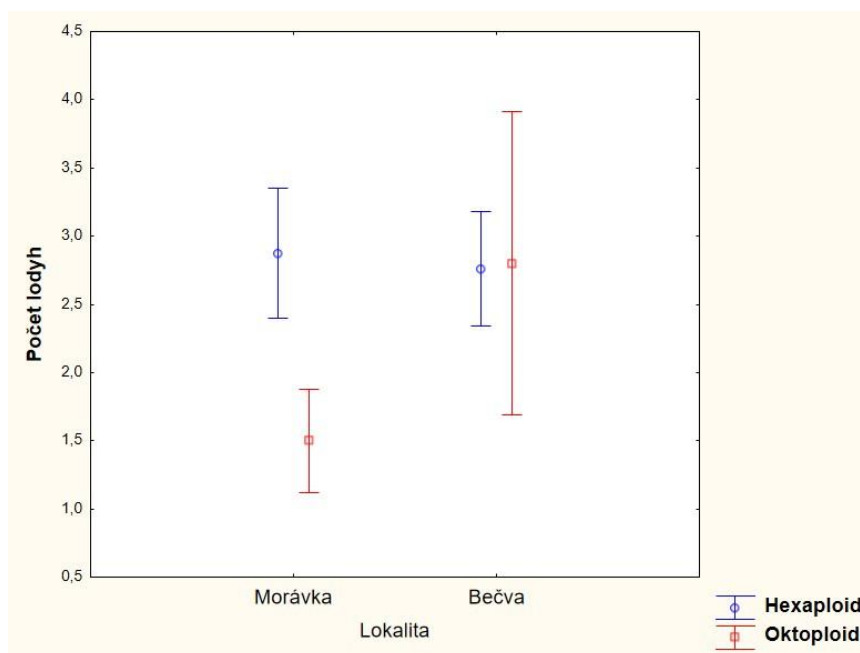


Obrázek 12: Průměrný počet listů vyklíčených rostlin v závislosti na různé lokalitě a ploidii mateřské rostliny (kolečko a čtverec označuje průměr, kolmé linie \pm SE).

5.2.3. Počet lodyh

Testovaný model **GLM– Počet lodyh ~ Lokalita * Ploidie**; Prediktor – ploidie a lokalita výskytu mateřské rostliny. Závislá proměnná (počet lodyh semenáčku).

Výsledek analýzy GLM pro předpoklad, že počet lodyh je ovlivněn lokalitou ukázal, že tento faktor vliv nemá (GLM, $t_{45,42} = 0.043$, $p = 0.966$). Neprůkazný se projevil i faktor ploidie (GLM, $t_{45,42} = 0.150$, $p = 0.552$). Neprůkazné se projevily i interakce mezi lokalitou a ploidii (GLM, $t_{45,42} = -1.069$, $p = 0.291$). Dle (Obr. č. 13) je vidět možný klesající trend v počtu lodyh u semenáčků oktoploidních rostlin z řeky Morávky (podrobněji rozebráno v diskuzi).



Obrázek 13: Průměrný počet lodyh vyklíčených rostlin v závislosti na různé lokalitě a ploidii mateřské rostliny (kolečko a čtverec označuje průměr, kolmé linie +/- SE).

6. Diskuse

Diskuse práce bude věnována dvěma výzkumným otázkám – velikosti genomu hybridních rostlin a fitness semenáčů vypěstovaných ze semen sesbíraných v přírodních populacích. První část práce byla zaměřena na studium velikostí genomu hybridních taxonů *F. ×bohemica* za použití průtokové cytometrie. Tato metoda umožňuje rychlé a přesné zjištění velikosti genomu a tím i ploidní úrovně daného porostu. Výzkum na řece Morávce a Bečvě ukázal, že se *F. ×bohemica* vyskytuje hlavně v hexaploidní úrovni (nalezeno 52 rostlin) oproti oktoploidní (nalezeno 13 rostlin). Poměry jejich výskytu ve studovaných oblastech tak odpovídají jejich celkovému rozšíření v České republice (např. Suda et al, 2010). K podobnému závěru došel i výzkum Mered'á et al. (2019) na Slovensku v oblasti Krivánska, Malá Fatra. Autoři uvádějí, že se na dané lokalitě vyskytuje pouze hexaploidní úroveň *F. ×bohemica*. Metodou průtokové cytometrie je možné detekovat i jedince s chromozomálními nepravidelnostmi (jako jsou aneuploidy) a snadno identifikovat novosti v této vysoce variabilní skupině nepůvodních taxonů (Suda et al. 2010). Hybridizační procesy kombinované s polyploidii mohou vést ke genotypovým a genomickým změnám, což může vést ke zvýšení invazní schopnosti. Nové hybridní formy by pak mohly vykazovat vyšší odolnost a schopnost šíření oproti původním formám (Berchová-Bímová et Mandák, 2008). Studie odhalila výrazné výkyvy ve velikostech genomu. Naměřené hodnoty odpovídaly standartním velikostem (Suda et al., 2010).

Někteří autoři poukazují na možnost, že genetická a cytologická variabilita může být ovlivněna původní mateřskou rostlinou a lokalitou, na kterou se daná rostlina dostala. Rostliny se v průběhu let selektují a přizpůsobují podmínkám prostředí a může docházet ke zpětnému křížení hybridů s mateřskými rostlinami (Ganski et al. 2014). Ganski et al. (2014) se zabýval výzkumem křídlatek v Severo-západní Americe. Zde se ukázalo, že nejběžnějším taxonem je hybrid *F. ×bohemica* s mnohem větší genetickou různorodostí než mateřské rostliny a taxony v Evropě. Možným důvodem proč má hybrid *F. ×bohemica* tak velkou genetickou variabilitu je, že taxon *F. japonica* je zastoupen pouze funkčně samičími jedinci s téměř výhradně vegetativní rozmnožováním, zatímco *F. ×bohemica* a *F. sachalinensis* se mohou množit jak semeny, tak i vegetativně (Bailey et al. 2006; Pyšek et al. 2012; Gaskin et al. 2014)

což jim umožňuje se daleko lépe rozšiřovat pomocí větru nebo zvířat (Tiébré et al. 2007) a následně se křížit s taxony se vzdálených lokalit.

Další část práce byla zaměřena na morfologickou variabilitu a fitness semenáčků analyzovaných hexaploidních a oktoploidních rostlin. Výzkum byl zaměřen na zjištění, zda se semenáčky hexaploidních rostlin statisticky významně liší v morfologických znacích od semenáčků oktoploidních rostlin. Na základě výsledků lze usuzovat, že semenáčky hexaploidních porostů *F. ×bohemica* dosahují průměrných vyšších výšek, což jim může přinést určité výhody. Například umožní lépe obstát v konkurenci o nezbytné zdroje (světlo). Naopak semenáčky oktoploidních rostlin se pak hůře prosazují a může docházet k jejich zvýšenému úhynu. Morfologické znaky může také ovlivnit donor pylu například, když je dárcem pylu *F. auberti*, semenáčky mají ne zcela vzpřímenou lodyhu a mají tendenci se plazit (Bailey, et al. 2007). Na studii by bylo tedy dobré navázat studiem ekologických charakteristik semenáčků (kompetice, regenerace, odolnost ke stresu aj.). Výzkum prokázal i možný vliv lokality výskytu mateřské rostliny na morfologické charakteristiky semenáčků. Semenáčky oktoploidních rostlin na řece Morávce by mohly tvořit méně lodyh než na řece Bečvě (doporučuji nasbírat a analyzovat další vzorky). Vliv lokality byl prokázán i v průměrné tvorbě listů. Semenáčky oktoploidních rostlin z řeky Morávky dosahovaly nižších průměrných počtů listů oproti semenáčkům hexaploidních rostlin, naopak na řece Bečvě je tento trend opačný. Vliv lokality mateřské rostliny na morfologické charakteristiky semenáčků by mohl souviset s epigenetickou pamětí, kdy mateřské rostliny předávají určité výhodné fenotypové projevy potomkům, které nejsou součástí genetické informace (Latzel et al. 2021). Ze získaných dat vychází, že vyšší fitness mají jedinci s hexaploidní úrovní.

Bylo by však chybou nepodotknout, že určité zkreslení těchto výsledků může představovat způsob jejich pěstování. Pěstování ve skleníku nemůže plně nahradit přirozené prostředí rostlin a může zapříčinit změnu velikosti rostlin, počtu lodyh nebo počtu listů, proto doporučuji provést tento experiment přímo in situ a tyto výsledky ověřit.

7. Závěr

Na obou lokalitách se vyskytuje jak oktoploidní tak i hexaploidní taxon *F. ×bohemica*. Hexaploidní forma se vyskytuje častěji. Průtoková cytometrie neprokázala výskyt nové polyploidní formy hybridu. Semenáčky hexaploidních porostů *F. ×bohemica* dosahují průměrných vyšších výšek, což jim může přinést určité výhody a zvyšovat šance na přežití. Semenáčky různých ploidií mateřských rostlin nevykazují výrazné morfologické odlišnosti a není tak možné na první pohled určit, jakou ploidií měla mateřská rostlina.

8. Literatura

Odborná literatura:

Aguilera AG, Alpert P, Dukes JS, Harrington R., 2010: Impacts of the invasive plant *Fallopia japonica* (Houtt.) on plant communities and ecosystem processes. *Biological Invasions*, 12: 1243–1252.

Allen W. J., Meyerson L. A., Cummings D., Anderson J., Bhattarai G. P., et Cronin, J. T., 2017: Biogeography of a plant invasion: Drivers of latitudinal variation in enemy release. *Global Ecology and Biogeography*, 26: 435–446.

Bailey J. P. & Conolly A. P., 2000: Prize-winners to pariahs: A history of Japanese Knotweed s. l. (*Polygonaceae*) in the British Isles. – *Watsonia* 23: 93–110.

Bailey J. P., Bímová K. et Mandák B., 2007: The potential role of polyploidy and hybridisation in the further evolution of the highly invasive *Fallopia* taxa in Europe. – *Ecol. Res.* 22: 920–928.

Bailey J. P., Bímová K. et Mandák B., 2009: Asexual spread versus sexual reproduction and evolution in Japanese Knotweed s.l. sets the stage for the ‘Battle of the Clones’. *Biol Invasions*. 11: 1189–1203.

Bailey JP, Wisskirchen R., 2006: The distribution and origins of *Fallopia × bohemica* (*Polygonaceae*) in Europe. *Nord J Bot* 24: 173–199.

Bailey JP., 1999: Japonská invaze křídlatky do Evropy; potenciál pro další vývoj v nepůvodních regiónech. In: Yano E, Matsuo K, Shiyomi M, Andow DA (eds) *Biologické invaze ekosystémů škůdci a užitečnými organismy*. National Institute of Agro-Environmental Sciences, Tsukuba, Japonsko, str. 27–37.

Bailey JP., 2001: *Fallopia × conollyana*: the railway-yard knotweed. *Watsonia* 23: 539–541.

Barney J. N., Tharayil N., Ditommaso A. et Bhowmik C., 2006: The biology of invasive alien plants in Canada. *Polygonum cuspidatum* Sieb. & Zucc. [= *Fallopia japonica* (Houtt.) Ronse Decr.] *Canadian Journal of Plant Science* 86: 887–905.

Beerling D. J., Bailey J. P. & Conolly A. P., 1994: Biological Flora of the British Isles No.183 *Fallopia japonica*. – *J. Ecol.* 82 (4): 959–979.

- Berchová-Bímová et Mandák, 2008: Všechno zlé je k něčemu dobré: evoluce křídlatek (*Fallopia*) v sekundárním areálu rozšíření. Zprávy České botanické společnosti, roč. 23, č. 0, s. 121–140.
- Bímová K., Mandák B. et Pyšek P., 2003: "Experimental Study of Vegetative Regeneration in Four Invasive Reynoutria Taxa (Polygonaceae)." *Plant Ecology*, 166.1: 1-11.
- Bímová K., Mandák B. et Pyšek P., 2001: Experimental control of Reynoutria congeners: a comparative study of a hybrid and its parents. – In: Brundu G., Brock J., Camarda I., Child L. & Wade M. (eds.), *Plant invasions: Species ecology and ecosystem management*, p. 283–290, Backhuys Publisher, Leiden, The Netherlands.
- Bram MR, Mcnair JN., 2004: Seed germinability and its seasonal onset of Japanese knotweed (*Polygonum cuspidatum*). *Weed Sci* 52: 759–767.
- Cvachová A., Chromý P., Gojdičová M., Leskovjanská A., Pietorová E., Šimková A. et Zaliberov M., 2002: Průručka na určovanie vybraných invázných druhov rastlín, ŠOP SR, Banská Bystrica, 62 s.
- Dai, G. H., Wang, S., Geng, Y. P., Dawazhaxi, Ou, X. K. & Zhang, Z. M., 2021: Potential risks of *Tithonia diversifolia* in Yunnan Province under climate change. *Ecological Research*, 36: 129-144.
- Dommanget F, Evette A, Spiegelberger T, Gallet C, Pacé M, Imbert M, Navas M-L., 2014: Differential allelopathic effects of Japanese knotweed on willow and cottonwood cuttings used in riverbank restoration techniques. *J Environ Manag* 132:71–78.
- Forman J, Kesseli RV., 2003: Sexual reproduction in the invasive species *Fallopia japonica* (Polygonaceae). *Am J Bot* 90: 586–592.
- Gaskin, J.F., Schwarzländer, M., Grevstad, F.S. et al., 2014: Extreme differences in population structure and genetic diversity for three invasive congeners: knotweeds in western North America. *Biol Invasions* 16: 2127–2136.
- Gerber E, Krebs C, Murrell C, Moretti M, Rocklin R, Schaffner U., 2008: Exotic invasive knotweeds (*Fallopia* spp.) negatively affect native plant and invertebrate assemblages in European riparian habitats. *Biol Conserv* 141: 646–654.

- Groeneveld E, Belzile FÇ, Lavoie C., 2014: Sexual reproduction of Japanese knotweed (*Fallopia japonica* s.l.) at its northern distribution limit: new evidence of the effect of climate warming on an invasive species. *Am J Bot* 101: 459–466.
- Hejda M., Pyšek P. et Jarošík V., 2009: Impact of invasive plants on the species richness, diversity and composition of invaded communities. *Journal of Ecology* 97: 393-403.
- Holub J., (1971): *Fallopia* Adans. 1763 instead of *Bilderdykia* Dum. 1827. *Folia Geobot Phytotax* 6: 171–177.
- Chittka L. Schürkensk., 2001: Successful invasion of a floral market. An exotic Asian plant has moved in on Europe's river-banks by bribing pollinators. – *Nature* 411: 653.
- Chmura D, Tokarska-Guzik B, Nowak T, Woźniak G, Bzdęga K, Koszela K, Gancarek M., 2015: Vliv invazních taxonů *Fallopia* na rezidentní druhy rostlin ve dvou říčních údolích (jižní Polsko). *Acta Soc Bot Pol*, 84: 23–33.
- Chrtek J. sen. et Chrtková A., 1983: *Reynoutria* × *bohemica*, nový kříženec z čeledi rdesnovitých. *Čas. Nár. Muz., Ser. Nat.*, 152 (2): 120.
- Chrtek J., 1990: *Reynoutria* Houtt., křídlatka. In: Hejný S., Slavík B., Hrouda L. & Skalický V. (eds.): *Květena ČR 2*. – Academia, Praha: 362–366.
- Chytrý M., Pyšek P., 2008: Invaze nepůvodních druhů v rostlinných společenstvech. Zpráva české botanické společnosti, rostlinné invaze v České republice: situace výzkum a management. *Česká botanická společnost*, 17-40.
- Jäger E. J., 1995: Die Gesamtareale von *Reynoutria japonica* Houtt. und *R. sachalinensis* (F. Schmidt) Nakai, ihre klimatische Interpretation und Daten zur Ausbreitungsgeschichte. – *Schr. -R. f. Vegetationskde., Sukopp-Festschrift* 27: 395–403.
- Krebs C, Mahy G, Matthies D, Schaffner U, Tiébré MS, Bizoux JP, *Plant Biol (Stuttg.)*, 2010: Jan; 12(1): 215-23.
- Kroutil P., 2011: Křídlatky (*Reynoutria* spp., syn. *Fallopia* spp.). Ministerstvo zemědělství ČR ve spolupráci se Státní rostlinolékařskou správou Těšnov 17, Praha, 8 s.

- Křivánek M., 2004: Rostlinné invaze – pět otázek a pět odpovědí. Ochrana přírody. *Environs: Praha*, 59(1): 10-12.
- Křivánek, Martin., 2006: Biologické invaze a možnosti jejich předpovědi: (predikční modely pro stanovení invazního potenciálu vyšších rostlin) = Biological invasions and different approaches of their prediction: (risk assessment schemes for evaluation of potentially invasive alien vascular plants). Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, ISBN isbn80-85116-46-4.
- Kubát K., Hrouda L., Chrtek J. jun., Kaplan Z., Kirschner J. et Štěpánek J. [eds], 2002: Klíč ke květeně České republiky. – Academia, Praha, p. 928.
- Latzel V, Rendina González AP., et Rosenthal J., 2016: Epigenetic Memory as a Basis for Intelligent Behavior in Clonal Plants. *Frontiers in Plant Science*. 7: 1354.
- Latzel, Vit et Puy, Javier & Thieme, Michael et Bucher, Etienne et Götzenberger, Lars et Bello, Francesco., 2021: Phenotypic diversity created by a transposable element increases productivity and resistance to competitors in plant populations.
- Lockwood J. L., Hoopes M. F., Marchetti M. P., 2006: Invasion ecology. Blackwell publishing, 129-130.
- Mandák B. et Pyšek P., 1996: Druhy rodu *Reynoutria* na území České republiky. – *Zprávy Čes. Bot. Společ.*, Praha, 32, Mater. 14: 45–57.
- Mandák B., Pyšek P. et Bímová K., 2004: History of the invasion and distribution of *Reynoutria* taxa in the Czech Republic: a hybrid spreading faster than its parents. – *Preslia*, Praha, 76: 15–64.
- Mandák, Bohumil, Petr Pyšek, Martin Lysák, Jan Suda, Anna Krahulcová et Kateřina Bímová., 2003: Variation in DNA-ploidy Levels of *Reynoutria* Taxa in the Czech Republic. *Annals of Botany*, **92**(2): 265-272.
- Marková Z., Hejda M., (2011): Invaze nepůvodních druhů rostlin jako environmentální problém. *Živa* 1/2011, 10-14.
- Maurel N, Salmon S, Ponge J-F, Machon N, Moret J, Muratet A., 2010: Does the invasive species *Reynoutria japonica* have an impact on soil and flora in urban wastelands? *Biol Invasions* 12: 1709–1719.

Mereďa, P., Koláriková, Z. & Hodálová, I., 2019: Cytological and morphological variation of *Fallopia* sect. *Reynoutria* taxa (Polygonaceae) in the Krivánska Malá Fatra Mountains (Slovakia). *Biologia* 74: 215–236.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005: Ecosystems and human well-being: synthesis. – Island Press. Washington, DC.

Mincheva T, Barni E, Siniscalco C., 2016: From plant traits to invasion success: impacts of the alien *Fallopia japonica* (Houtt.) Ronse Decraene on two native grassland species. *Plant Biosyst* 150: 1348–1357.

Mincheva T, Barni E, Varese GC, Brusa G, Cerabolini B, Siniscalco C., 2014: Litter quality, decomposition rates and saprotrophic mycoflora in *Fallopia japonica* (Houtt.) Ronse Decraene and in adjacent native grassland vegetation. *Acta Oecol* 54: 29–35.

Mlíkovský J. et Stýblo P. [eds], 2006: Nepůvodní druhy fauny a flóry České republiky. ČSOP, Praha, 496 s.

Moravcová L, Pyšek P, Jarošík V, Zákavský P., (2011): Potenciální fytotoxické a stínící účinky invazních taxonů *Fallopia* (Polygonaceae) na klíčení dominantních původních druhů. *NeoBiota* 9: 31–47.

Murrell C, Gerber E, Krebs C, Parepa M, Schaffner U, Bossdorf O., 2011: Invasive knotweed affects native plants through allelopathy. *Am J Bot* 98: 38–43.

Niewinski AT., 1998: The Reproductive Ecology of Japanese Knotweed (*Polygonum cuspidatum*) and Giant Knotweed (*Polygonum sachalinensis*) Seed. MS thesis. University Park, PA: Pennsylvania State University. 49 p.

Otto F., 1990: DAPI staining of xed cells for high-resolution ow cytometry of nuclear DNA. *Methods incell biology* 33: 105–10.

Ottův slovník naučný, heslo Neofyt. Sv. 18, str. 189.

Parepa M., Fischer M., Krebs C. et Bossdorf O., 2014a: Hybridization increases invasive knotweed success. *Evolutionary Applications*, 7(3), 413–420.

Pergl, J., 2008: Co víme o vlivu zavlečených rostlinných druhů? *Zprávy České botanické společnosti*. 2008, roč. 43, Mater. 23, s. 183-192.

Pyšek P, Jarosik V, Pergl J, Randall R, Chytrý M, Kuhn I, Tichý L, et al., 2009: The global invasion success of Central European plants is related to distribution characteristics in their native range and species traits. *Diversity and Distributions*, 15: 891–903.

Pyšek, P., J. H. Brock, K. Bimova, B. Mandak, V. Jarosik, I. Koukolikova, J. Pergl a J. Stepanek, 2003: Vegetative regeneration in invasive Reynoutria (Polygonaceae) taxa: the determinant of invasibility at the genotype level. *American Journal of Botany*, 90(10): 1487-1495.

Pyšek P, Chytrý M, Pergl J, Sádlo J, Wild J., 2012: Plant invasions in the Czech Republic: current state, introduction dynamics, invasive species and invaded habitats. *Preslia* 84:575–629.

Pyšek P., Chytrý M., Moravcová L., Pergl J., Perglová I., Prach K., Skálová H., 2008a: Návrh české terminologie vztahující se k rostlinným invazím. Zpráva české botanické společnosti, rostlinné invaze v České republice: situace výzkum a management. *Česká botanická společnost*, 219-222.

Pyšek P., Chytrý M., Prach K., 2008b: Dvanáct let výzkumu rostlinných invazí v České republice a ve světě. Zpráva české botanické společnosti, rostlinné invaze v České republice: situace výzkum a management. *Česká botanická společnost*, 3-15.

Pyšek P., Richardson D. M., 2007: Traits Associated with Invasiveness in Alien Plants: Where Do we Stand? *Biological Invasions. Ecological Studies* 193: 97-126.

Pyšek P., Tichý L., 2001: Rostlinné invaze. *Rezekvítek*, 2-16.

Richardson D. M., Pyšek P., Rejmánek M., Barbour M. G., Panetta F. D. & West C. J., 2000: Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. – *Diversity Distrib.* 6: 93–107.

Schönswetter P, Suda J, Popp M, Weiss-Schneeweiss H, Brochmann C., 2007: Circumpolar phylogeography of *Juncus biglumis* (Juncaceae) inferred from AFLP fingerprints, cpDNA sequences, nuclear DNA content and chromosome numbers. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 42: 92–103.

Stefanowicz AM, Stanek M, Nobis M, Zubek S., 2016: Species-specific effects of plant invasions on activity, biomass, and composition of soil microbial communities. *Biol Fertil Soils* 52: 841–852.

- Stoll P, Gatzsch K, Rusterholz H-P, Baur B., 2012: Response of plant and gastropod species to knotweed invasion. *Basic Appl Ecol* 13:232–240.
- Suda J, Trávníček P, Mandák B, Berchová-Bímová K., 2010: Genome size as a marker for identifying the invasive alien taxa in *Fallopia* section *Reynoutria*. *Preslia* 82: 97–106.
- Suda, J., 2005: Co se skrývá za rostlinnou průtokovou cytometrií. *Živa*, 53(1), 46-48.
- Suseela V, Alpert P, Nakatsu CH, Armstrong A, Tharayil N., 2016: Interakce mezi rostlinou a půdou regulují identitu půdního uhlíku v napadených ekosystémech: implikace pro efekty dědictví. *Funct Ecol* 30: 1227–1238.
- Šrubař, M., 2006: Konec vítězného tažení křídlatky. *Veronica*, roč. 20, č. 2, str. 15.
- Tamura M, Tharayil N., 2014: Plant litter chemistry and microbial priming regulate the accrual, composition and stability of soil carbon in invaded ecosystems. *New Phytol* 203: 110–124.
- Tiébré M-S, Vanderhoeven S, Saad L, Mahy G., 2007: Hybridization and sexual reproduction in the invasive alien *Fallopia* (*Polygonaceae*) complex in Belgium. *Ann Bot* 99: 193–203.
- Urgenson LS, Reichard SH, Halpern CB., 2009: Community and ecosystem consequences of giant knotweed (*Polygonum sachalinense*) invasion into riparian forests of western Washington, USA. *Biol Conserv* 142: 1536–1541.
- van Kleunen, M., Dawson, W., Essl, F. et al., 2015: Global exchange and accumulation of non-native plants. *Nature* **525**, 100–103.
- Vilà M. and Ibáñez I., 2011: Plant invasions in the landscape. *Landscape Ecology* 26: 461-472.
- Yamazaki T., 1994: On *Reynoutria yunnanensis* (Lévl.) Nakai ex Migo. – *J. Jap. Bot.* 69: 179–180.
- Zubek S, Majewska ML, Błaszowski J, Stefanowicz AM, Nobis M, Kapusta P., 2016: Invazní rostliny ovlivňují arbuskulární mykorhizní houby abundancí a druhovou bohatostí a také výkonnost původních rostlin pěstovaných v invadovaných půdách. *Biol Fertil Soils* 52: 879–893.

Internetové zdroje:

AOPK ČR, ©2022b: Národní legislativa (online) [cit. 2022-03-23], dostupné z <<https://invaznidruhy.nature.cz/legislativa/narodni/>>.

AOPK ČR, ©2022c: Legislativa EU (online) [cit. 2022-03-23], dostupné z <<https://invaznidruhy.nature.cz/legislativa/EU/>>.

AOPK ČR, ©2022a: Invazní druhy (online) [cit. 2022-03-23], dostupné z <<https://invaznidruhy.nature.cz/>>.

Legislativa:

Nařízení Evropského parlamentu EU č. 708/2007 o používání cizích a místně se nevyskytujících druhů v akvakultuře.

Nařízení Evropského parlamentu EU č. 708/2007 o používání cizích a místně se nevyskytujících druhů v akvakultuře.

Nařízení Evropského parlamentu EU č. 1143/2014 o prevenci a regulaci zavlékání či vysazování a šíření invazních nepůvodních druhů.

Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny.

Zákon č. 254/2001 Sb., vodní zákon, Zákon č. 99/2004 Sb., o rybářství.

zákon č. 289/1995 Sb. o lesích.

Zákon č. 326/2004 Sb., o rostlinolékařské péči, v platném znění a navazující vyhláška č. 215/2008 Sb., o opatřeních proti zavlékání a rozšiřování škodlivých organismů rostlin a rostlinných produktů, v platném znění.

Zákon č. 449/2001 Sb., o myslivosti, v platném znění.

Zákon č. 78/2004 Sb. o nakládání s geneticky modifikovanými organismy a genetickými produkty, v platném znění.

Seznam obrázků:

Obrázek 1: Současné rozšíření druhu <i>Fallopia ×bohemica</i> (AOPK, 2022d)	10
Obrázek 2: Současné rozšíření druhu <i>Fallopia japonica</i> (AOPK, 2022e).....	11
Obrázek 3: Současné rozšíření druhu <i>Fallopia sachalinensis</i> (AOPK, 2022f).....	11
Obrázek 4: Schéma znázorňující hlavní hybridizační cesty. Přestože byl proveden na britském materiálu, je stejně tak použitelný pro kontinentální Evropu (Bailey, 1999).	14
Obrázek 5: Populace rodu <i>Fallopia</i> podél toku řeky Bečvy.....	18
Obrázek 6: Čerstvě vykopaný oddenek <i>Fallopia</i>	18
Obrázek 7: První klíčící rostliny v plastových truhlíkách ve skleníku ČZU.	19
Obrázek 8: Průběh přípravy vzorku na průtokovou cytometrii.	20
Obrázek 9: Odhad velikosti genomu oktoploidního hybridu <i>F. × bohemica</i> ($2n = 88$) s použitím <i>Bellis perennis</i> jako vnitřního standardu. Jádra byla obarvena propidium jodidem.....	23
Obrázek 10: Odhad velikosti genomu hexaploidního hybridu <i>F. × bohemica</i> ($2n = 66$) s použitím <i>Bellis perennis</i> jako vnitřního standardu. Jádra byla obarvena propidium jodidem.....	23
Obrázek 11: Průměrná výška vyklíčených rostlin v závislosti na různé lokalitě a ploidii mateřské rostliny (kolečko a čtverec označuje průměr, kolmé linie +/- SE).	24
Obrázek 12: Průměrný počet listů vyklíčených rostlin v závislosti na různé lokalitě a ploidii mateřské rostliny (kolečko a čtverec označuje průměr, kolmé linie +/- SE)..	25
Obrázek 13: Průměrný počet lodyh vyklíčených rostlin v závislosti na různé lokalitě a ploidii mateřské rostliny (kolečko a čtverec označuje průměr, kolmé linie +/- SE)..	26

Seznam tabulek:

Tabulka 1: Velikosti genomu (hodnoty $2C$ v DNA pg; průměr \pm SD) analyzovaných vzorků <i>F. ×bohemica</i> . Standardní velikosti genomu oktoploidní <i>F. ×bohemica</i> dosahují $9,25\pm 0,07$, pro hexaploidní úroveň $6,93\pm 0,03$ (Suda et al., 2010).....	22
--	----

9. Přílohy