

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
Přírodovědecká fakulta
Katedra ekologie a životního prostředí



Barbora Sonnková

**Vliv zvýšené koncentrace CO₂ na ontogenetický vývoj
pilatky smrkové**

Bakalářská práce
předložená
na katedře Ekologie a životního prostředí
Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků
na získání titulu Bc. v oboru
Ochrana a tvorba životního prostředí

Vedoucí práce: RNDr. Tomáš Kuras, Ph.D.

Olomouc 2014

Sonnková, B.: Vliv zvýšené koncentrace CO₂ na ontogenetický vývoj pilatky smrkové. Bakalářská práce, Katedra Ekologie a životního prostředí, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, 29 s., česky.

Abstrakt

Předložená práce se zabývá rešeršním zpracováním problematiky zvýšené koncentrace CO₂ na vývoj pilatky smrkové. Pilatka smrková je významným lesním škůdcem, jehož housenice konzumují jehlice smrku, především smrku ztepilého, a způsobují tak každoročně škody na jeho porostech. Rozsah hospodářských škod se odvíjí od početnosti pilatky. Ta je dána vnitrodruhovými i mezidruhovými vztahy pilatky v prostředí.

Jakožto stěžejní se v daném ohledu jeví nutriční kvalita potravy (jehlic), konzumované housenicemi pilatky. Nutriční kvalita je dána zejména poměrem C:N látek v pletivech jehlic smrku. Vyšší podíl N látek v pletivech rostlin je obecně herbivory vyhledáván jakožto nutričně kvalitnější potrava. Vzhledem k probíhající změně v kvantitě plynných látek ve vzdušném prostředí, jmenovitě stoupající koncentraci CO₂ v atmosféře (vzestup 30 ppm za 15 let), lze předpokládat změnu nutriční kvality rostlinných pletiv. Rostliny rostoucí při zvýšené koncentraci CO₂ mění poměr C:N ve smyslu snížení objemu dusíkatých sloučenin v sušině. Změna poměru C:N tak může mít zásadní roli v objemu konzumované biomasy jehlic bezobratlými herbivory.

Z hlediska vlivu na pilatku můžeme předpokládat především větší množství konzumovaných jehlic smrku a zkrácený ontogenetický vývoj, související s nižší nutriční kvalitou jehlic. Tyto hypotézy budou ověřovány v rámci výzkumu na terénní stanici Bílý kříž v Moravskoslezských Beskydech. Sazenice smrku zde jsou pěstovány v přirozené a dvojnásobné koncentraci CO₂, měřena bude nutriční kvalita jehlic smrku a rychlost ontogenetického vývoje pilatky.

Získané informace budou významné pro predikce gradací škůdců, nebo také pro predikci vlivů globálních změn na složku herbivorních bezobratlých jako takových.

Klíčová slova: *Pristiphora abietina*, *Picea abies*, rychlost vývoje, nutriční kvalita, poměr C:N

Sonnková, B.: Influence of elevated CO₂ on ontogenesis of spruce sawfly. Bachelor's thesis, Department of Ecology and Environmental Sciences, Faculty of Science, Palacky University in Olomouc, 29 p., in Czech.

Abstract

Sonnková, B.: Influence of elevated CO₂ on ontogenesis of spruce sawfly

Submitted work engages in background research elaboration of elevated CO₂ and its influence on the development of the little spruce sawfly. Little spruce sawfly is an important forest pest, whose caterpillar consume spruce needles, of norway spruce in particular, and therefore cause damage on its growth year by year. Economic damage extension is related to quantity of sawflies. This quantity is set by intraspecific and interspecific relations of little spruce sawfly in the environment.

From this point of view, it is the nutritious quality of needles consumed by little spruce sawfly caterpillars, which appears to be fundamental. Nutritious quality is mostly influenced by C:N ratio in spruce needle tissue. Higher rate of N compounds in plant tissue is generally preferred by herbivores as a nutriment of higher quality. In view of currently running change of gasses quantity in air, nominally elevating CO₂ in the atmosphere (raised by 30 ppm in 15 years), the change of nutritious quality of plant tissues may be expected. Plants growing in elevated CO₂ change the C:N ratio in the sense of decreasing the volume of nitrogenous compounds in dry mass. This is why the change of C:N ratio can have essential role in how massive the volume of the needle biomass consumed by invertebrate herbivores will be.

In light of effect on the sawfly, we can assume greater amount of consumed spruce needles and shortened ontogenetic development, due to lower quality of the needles. Those hypotheses will be verified within the frame of research on field station Bílý Kříž in Moravskoslezské Beskydy. Spruce nurselings are cultivated in natural and double CO₂ concentration. The measurements will include the nutritious quality of spruce needles and rapidness of ontogenetic development of spruce sawfly. Gained information will be meaningful for pest damage gradient prediction or for the prediction of influence of global changes on the component of herbivore invertebrates as such.

Key words: *Pristiphora abietina*, *Picea abies*, rapidness of development, nutritious quality, C:N ratio

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Tomáše Kurase, Ph.D. a jen s použitím citovaných literárních pramenů.

V Olomouci 30. července 2014

.....
podpis

Věnování

Svou bakalářskou práci tímto věnuji svým rodičům, Karlovi a Anně Sonnkovým, kteří mě nejen při psaní práce, ale vždy v životě podporovali ať už cennými radami, psychickou oporou nebo podporou finanční.

Obsah

| | |
|---|------------------|
| Seznam ilustrací..... | viii |
| Seznam tabulek..... | ix |
| Seznam diagramů..... | x |
| Seznam použitých zkratk a symbolů..... | xi |
| Poděkování..... | xii |
| <u>1 Úvod.....</u> | <u>1</u> |
| <u>2 Význam CO₂ a jeho proměnlivost v historii Země.....</u> | <u>3</u> |
| 2.1 Kolísání koncentrace CO ₂ a předpokládaný vývoj do budoucna..... | 4 |
| <u>3 Vliv zvýšené koncentrace CO₂ na smrk ztepilý.....</u> | <u>8</u> |
| 3.1 Charakteristika smrku ztepilého..... | 8 |
| 3.2 Reakce smrku ztepilého na zvýšenou koncentraci CO ₂ | 9 |
| <u>4 Předpoklad vývoje herbivorního hmyzu na rostlinách rostoucích při zvýšené koncentraci CO₂.....</u> | <u>11</u> |
| <u>5 Bionomie pilatky smrkové.....</u> | <u>14</u> |
| 5.1 Historie šíření pilatky smrkové v České republice..... | 16 |
| <u>6 Návrh metodiky studia vlivu koncentrace CO₂ na vývoj pilatky smrkové.....</u> | <u>19</u> |
| 6.1 Experimentální ekologické pracoviště na Bílém kříži..... | 19 |
| 6.2 Metody měření vývoje pilatky smrkové..... | 21 |
| <u>7 Závěr.....</u> | <u>23</u> |
| <u>8 Literatura.....</u> | <u>24</u> |

Seznam ilustrací

| | |
|---|----|
| Ilustrace 1: Dospělec <i>Pristiphora abietina</i> | 14 |
| Ilustrace 2: Lamelové sféry na stanici Bílý kříž..... | 20 |

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1: Poměr velikosti zkonsumovaných jehlic k velikosti jedince..... | 22 |
|---|----|

Seznam diagramů

| | |
|---|----|
| Diagram 1: Rozbor vývoje koncentrace CO ₂ analýzou ledu..... | 5 |
| Diagram 2: Vývoj koncentrace CO ₂ od r. 1960 podle stanice na Mauna Loa..... | 7 |
| Diagram 3: Konzumace jehlic pilatkou Neodiprion lecontei za zvýšené koncentrace CO ₂ | 13 |
| Diagram 4: Obsah N v jehlicích Pinus taeda za zvýšené koncentrace CO ₂ | 13 |
| Diagram 5: Historický vývoj poškození pilatkou v Česku od r. 1961 do r. 2002..... | 17 |

Seznam použitých zkratk a symbolů

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

Poděkování

Poděkování za pomoc a rady při zpracování mé bakalářské práce patří především vedoucímu mého projektu panu RNDr. Tomáši Kurasovi, Ph.D. a také paní Mgr. Monice Mazalové, Ph.D. Velké díky chci touto cestou vyjádřit panu RNDr. Josefovi Satkemu, Ph.D. a Lukáši Vernerovi, za pomoc s formální stránkou práce. V neposlední řadě chci také poděkovat mým přátelům a rodině, za podporu při práci.

V Olomouci, 30. července 2014

1 Úvod

Bezobratlí patří svou početností, biomasou a druhovou bohatostí mezi nejdůležitější složky bioty a mají nezastupitelnou úlohu ve fungování ekosystémů (Plesník, 2005). Zejména hmyz představuje z taxonomického hlediska dominantní skupinu organismů na Zemi. Jeho schopnost rychlé reakce na měnící se podmínky z něj činí podstatný indikátor změn životního prostředí (Schowalter, 2006). Významná a často řešená je role hmyzu z aplikovaného hlediska pro lesnickou produkci, např. působení lesních škůdců. Podstatná je také role hmyzu z hlediska ochrannářského, např. herbivorní hmyz představuje druhově nejrozmanitější součást přírodních ekosystémů (Kuras, nepubl.).

Herbivorním hmyzem a zároveň významným hospodářským škůdcem lesů je pilatka smrková. Každoročně ničí zářím kultury porostů smrku ztepilého (Čermák et al., 2011). Smrkové kultury jsou důležitým zdrojem dřeva, které má mnoho způsobů využití. Poškození těchto porostů nejen pilatkou, ale i dalšími herbivory, vede ke značným škodám z hlediska ekonomických ztrát, ale také z hlediska ekologických, neboť vegetace (včetně porostů smrku), má díky své schopnosti ukládat vzdušný uhlík velký význam pro utváření celosvětového klimatu (Lhotáková, 2008).

Herbivorní hmyz je ovlivněn změnou kvality potravy, odvíjející se od měnící se koncentrace CO₂ v atmosféře. Na příkladu oxidu uhličitého lze dobře ilustrovat, jak dokáží poměrně malé změny látky (2 ppm/rok), která je navíc přítomna v malém množství (0,04% v celkovém objemu atmosféry), ovlivnit celý ekosystém (Canadell et al., 2007).

Zvýšená koncentrace oxidu uhličitého vede ke zvýšení sacharidů v jehlicích smrku, jakožto zdroje potravy pro housenice pilatky smrkové. S navýšením sacharidů se zároveň snižuje koncentrace N v jehlicích a zvyšuje se poměr C:N (Lincoln et al., 1984). Všechny tyto aspekty vedou k nižší koncentraci proteinu a tedy k nižší nutriční kvalitě pro pilatku.

Očekávanými reakcemi pilatky na tyto faktory jsou především prodloužený ontogenetický vývoj (Haettenschwiler a Schafellner, 1999), větší množství zkonsumované potravy a změna reprodukčního potenciálu (Pokorný, 2013).

Cílem práce je odpovědět zejména na otázky typu:

1. Do jaké míry ovlivňuje zvýšená koncentrace CO₂ studované živné rostliny.
2. Zda se změní nutriční kvalita studovaných rostlin.
3. Jaký je vztah mezi zvýšenou koncentrací CO₂ a vývojovým cyklem herbivorů.
4. Jaká bude odezva pilatky smrkové na změněnou kvalitu substrátu v podmínkách zvýšené koncentrace CO₂.

2 Význam CO₂ a jeho proměnlivost v historii Země

Uhlík patří mezi jedny z nejběžnějších a často se vyskytujících prvků jak na Zemi, tak i ve Vesmíru. Jeho zastoupení v zemské kůře kolísá v rozmezí 200–800 mg/kg, obsah v mořské vodě činí 28 mg/l. Ve vesmíru připadá jeden atom uhlíku přibližně na 20 000 atomů vodíku. Atomy uhlíku vytvářejí řadu anorganických sloučenin, v nichž se vyskytují v mocenství +2, +4 a -1, čímž vzniká velké množství látek s rozdílnými vlastnostmi (Cotton, 1973). Uhlík je obsažen ve všech organismech, tvoří 50% celkového objemu světové sušiny a je základním stavebním prvkem pro téměř deset milionů dosud známých organických látek, registrovaných tzv. Beilsteinovou databází (Houghton, 2003).

Účastní se biochemického cyklu v přírodě, kdy během koloběhu dochází k jeho neustálé fixaci a uvolňování. Hlavními rezervoáry jsou atmosféra, pevnina a oceány. Procesy, skrze které se uhlík pohybuje v těchto rezervoárech, probíhají na různých časových škálách. Sulzman (2000) uvádí, že tzv. rychlý uhlíkový cyklus (biologický) proběhne během několika let a zahrnuje například fotosyntézu a dýchání. Pomalý (karbonátový) proces, jako je například transformace uhlíku do vápence, probíhá v řádu desítek až stovek milionů let.

Sloučeniny uhlíku vytvářejí základní látky, které umožňují funkci životních projevů organismů. Mezi tyto látky patří i oxid uhličitý, jako nejvýznamnější z těchto sloučenin.

V atmosféře se vyskytuje v poměrně nízké koncentraci – zhruba 0,04% (401 ppm, viz podkapitola 1.2.) Tato koncentrace se mění v závislosti na místních podmínkách. Příkladem jsou vulkanicky aktivní oblasti, kde je zvýšená koncentrace oxidu uhličitého v místech výronu sopečných plynů ze země.

Přes toto poměrně malé zastoupení má sloučenina CO₂ nepostradatelnou funkci pro Zemi. Je součástí tzv. skleníkových plynů, které udržují stálou teplotu, bez níž by nebyl život na planetě možný (Houghton, 2003).

Život by nebyl možný ani bez procesu fotosyntézy, jednoho z nejdůležitějších biochemických pochodů na naší Zemi, během kterého je oxid uhličitý z atmosféry vázán rostlinami.

Fotosyntéza se rozděluje do dvou částí. První je světelná fáze, při které je uvolňován kyslík a dochází k rozkladu vody. V druhé fázi, tzv. temnostní, se redukuje oxid uhličitý, probíhá syntéza sacharidů, a ty jsou dále využívány například jako zásobárny energie. Zvyšuje se množství uhlíku vázaného v rostlinách v uhlíkatých řetězcích (Procházka, 1998). Koncentrace CO₂ ovlivňuje řadu metabolických procesů spojených s fotosyntézou, jako například produkci biomasy nebo dýchání. Janzen (2004) ve své práci podotýká, že lze proto při změnách koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře očekávat potenciální reakci na úrovni změn primární produktivity ekosystémů.

Téměř veškerá biomasa vzniká fotosyntézou ze vzdušného oxidu uhličitého. Zároveň je to jediný proces na Zemi, při kterém je uvolňován kyslík. Organické látky, vznikající v rostlinách při fotosyntéze, jsou spotřebovávány heterotrofními organismy. | Lze tedy říci, že energie vzniklá fotosyntetickou asimilací tvoří základ potravních řetězců (Marek, 2002).

Důležitost uhlíku a oxidu uhličitého je velmi obsáhlé téma, které není předmětem této práce, přesto je zde alespoň rámcově ukázáno, jaký význam uhlík a CO₂ mají. Ovlivňují celé ekosystémy skrze proces fotosyntézy, uhlíkový cyklus nebo produkci biomasy. Neméně důležitý je pak vliv stěžejního environmentálního parametru, koncentrace CO₂.

2.1 Kolísání koncentrace CO₂ a předpokládaný vývoj do budoucna

Přesná měření koncentrace CO₂ v atmosféře Země začala prakticky až v roce 1958 (Keeling et al., 1998).

Měření, která nám přinášejí údaje o koncentraci oxidu uhličitého v minulosti Země a údaje o jejím vývoji, se získávají různými metodami. V současnosti se měření množství oxidu uhličitého většinou provádí pomocí určování absorpce infračerveného světla. Tato metoda je založena na tom, že se vzduch, zbavený vodních par vymražením, pomalu nasává do měřicího prostoru (Wagner, 2008). Toto měření probíhá například v laboratořích na Mauna Loa, na Havajských ostrovech, kde jsou data získávána od roku 1974 (Keeling et al., 1976).

Výsledky měření absorpce infračerveného světla korespondují s výsledky další metody, užívané k zjištění koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře. Tou je metoda zkoumání ledu, který vzniká postupně ze sněhu v oblastech ledovců. V něm jsou bublinky vzduchu, které uchovávají informaci o jeho složení korespondující s dobou, kdy led vznikal (Wagner, op. cit.). Metoda je založena na drcení ledu ve vakuu, uvolňování plynu při drcení do vyprázdněné vzorkovací smyčky a analyzování koncentrace plynovou chromatografií (Barnola et al., 1987). Takto lze získat data z velmi vzdálených období historie Země. Každá metoda má i nevýhody, v tomto případě to je riziko změny složení vzduchu během získávání a zpracovávání vzorku nebo zlomy, které mohou způsobit kontaminaci bublin.

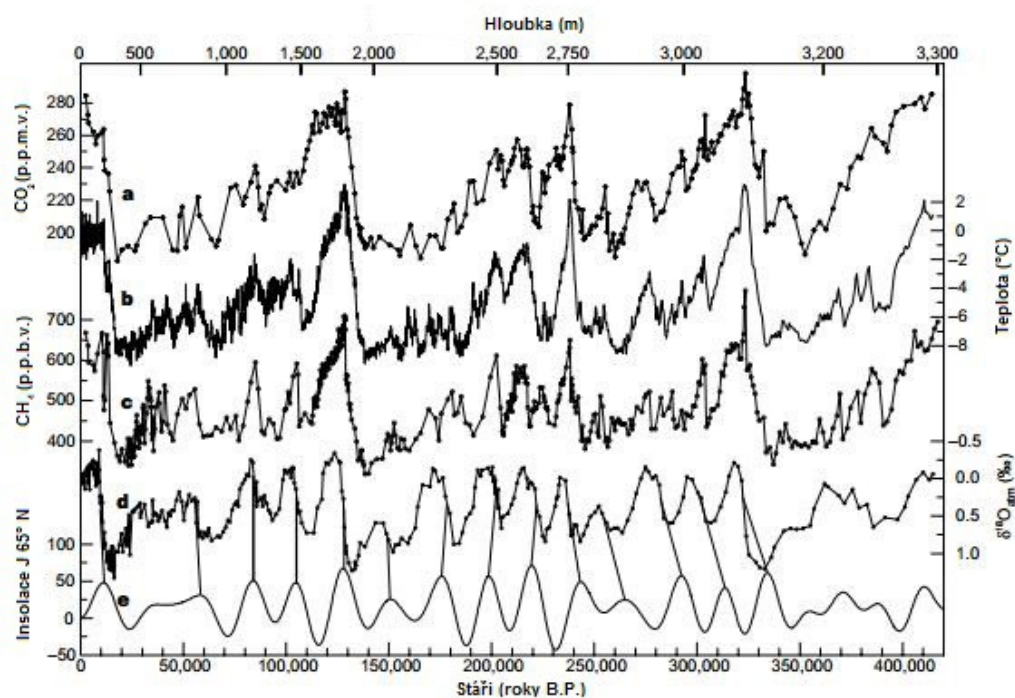


Diagram 1: Rozbor vývoje koncentrace CO_2 analýzou ledu

(převzato z Barnola et al., 1987)

Měření koncentrace CO_2 se v minulosti prováděla také pomocí chemických metod, ty však přinášely poněkud nepřesné výsledky.

Podle Nátra (2000) bylo prokázáno pravidelné kolísání koncentrace CO_2 při každém přechodu doby ledové a meziledové. Koncentrace se zvyšovala ze 180 na 280 až 300 ppm. K těmto výrazným změnám došlo dvakrát a to před 140 000 a 15 000 lety.

Bylo to v období přechodu posledních dvou dob ledových k teplejším obdobím. Konkrétně k době meziledové a poté k holocénu.

K dalším, ale už menším změnám, docházelo vždy po každé době ledové, koncentrace CO₂ se navýšila o 80 až 100 ppm. Konci doby ledové vždy předcházelo zvýšení hladiny CO₂, začátku zase naopak snížení (Petit et al., 1999). Tyto údaje viz diagram č. 1.

V posledních 10 000 letech se pak koncentrace oxidu uhličitého pohybovala kolem své horní hranice, 280 ppm, přičemž nejvýraznější změna nastala během 19. století, díky antropogenní činnosti. Lidé začali nebyvalou měrou využívat fosilní paliva a tím došlo k uvolňování CO₂ do atmosféry výrazně nad rámec přirozených procesů (Nátr, 2000).

Antropogenních příčin zvýšeného uvolňování CO₂ je více. Patří mezi ně špatné hospodaření s krajinou, zejména kácení lesů, kdy následným samovolným rozkladem rostlinného materiálu či spalováním dřeva přímo v místech těžby, vzniká množství CO₂ (Subak et al., 1993). Výrazným zdrojem je také chemický průmysl, kdy je při výrobě vápna a cementu do atmosféry vypouštěno 200 milionů tun oxidu uhličitého ročně, což je pro srovnání desetkrát více, než při vulkanické činnosti.

Další emise oxidu uhličitého pochází ze zemědělství. Vlivem odlesňování a převodů na ornou půdu je oproti minulosti méně uhlíku vázáno v biomase a procesem dekompozice organické složky půdy se do ovzduší uvolňují další objemy CO₂ (Nátr, 2000). Podíl antropogenních zdrojů CO₂ můžeme vyjádřit v procentech, kdy energetika vyprodukuje 35-40%, průmysl 20-35%, doprava až 20%, kácení lesů, deštných pralesů 15-20% a lokální topeniště v obcích až 10%. Údaje jsou však jen orientační a liší se v závislosti na geografické poloze (Bravený, 2011). Výsledkem je výrazné zvýšení koncentrace z hodnot pohybujících se kolem 280 ppm až k současným hodnotám, které činí 401 ppm (Tans, květen 2014, údaj podle NOAA, laboratoř na Mauna Loa). Viz diagram č. 2.

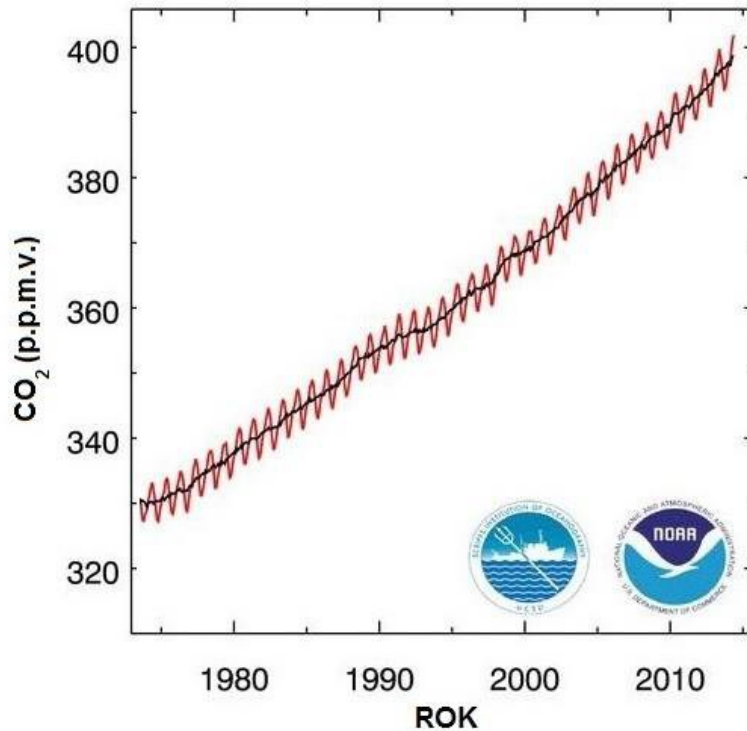


Diagram 2: Vývoj koncentrace CO₂ od r. 1960 podle stanice na Mauna Loa

(zdroj: www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/)

V budoucnu se očekává další vzestup koncentrace CO₂, ačkoliv konkrétní předpovídané scénáře se liší. V posledních desetiletích koncentrace oxidu uhličitého narůstá poměrně stabilně, přibližně o 2 ppm za rok (Marland et al., 2001). V roce 1992 vytvořil IPCC šest modelů budoucího vývoje koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře. Podle nejpesimističtějšího z modelů, IPCC očekává v roce 2100 koncentraci CO₂ až 700 ppm, pokud by však pokračovalo stabilní navyšování CO₂ o 2 ppm za rok, IPCC očekává koncentraci oxidu uhličitého v roce 2100 přibližně 480 ppm (Marland et al., op. cit.).

3 Vliv zvýšené koncentrace CO₂ na smrk ztepilý

V literatuře lze nalézt výsledky mnoha experimentů dokumentujících fyziologické reakce rostlin, včetně smrku ztepilého, na podmínky zvýšené vzdušné koncentrace CO₂. Reakce se mění v závislosti na rostlinném druhu, věku rostliny, růstových podmínkách, minerální výživě nebo na délce pěstování v podmínkách zvýšeného CO₂ (Urban, 2003).

3.1 Charakteristika smrku ztepilého

Smrk ztepilý (*Picea abies* L., Karst.) je stálezelený jehličnatý strom řadící se do čeledi Pinaceae (Lindl.) – borovicovité. Rozšířen je po celé severní polokouli, původně se vyskytoval především ve vyšších polohách Evropy a částečně i Asie.

Dorůstá až 50 m, má pravidelné přeslenité větvení, kuželovitou korunu a dožívá se 350 až 400 let (Kremer, 2006). Je to světlomilná dřevina, snášející v mládí zástín, takže snadno vniká do porostů jiných dřevin a postupně zaujímá jejich místo. Smrk ztepilý je náročný na půdní vlhkost, nedostatek vláhy je u něj limitujícím faktorem růstu. Snese dobře nadbytečnou vlhkost a vydrží i stagnující vodu bažin a rašelinišť. Na půdu a geologické podloží nemá velké nároky, citlivější je však k vysokým teplotám. Je málo odolný vůči působení větru, protože má mělký kořenový systém, následkem bývají vývraty (Szymanski, 2007). Často jsou vysazovány monokulturní porosty smrku, které však vykazují velkou ekologickou nestabilitu, proto jsou v posledních letech doplňovány nejtypičtěji bukem (Divíšek et al., 2010).

Je citlivý na znečištění oxidem siřičitým, na soli toxických kovů, fluoridy a alkalické sloučeniny (např. cementový prach). Naproti tomu je tolerantnější vůči ozonu nebo oxidům dusíku (Karolewski, 2007). Smrk ztepilý je jednou z nejrozšířenějších a ekonomicky nejdůležitějších dřevin v Evropě, kde se také v posledních dekádách navyšovalo jeho vysazování (Spiecker, 2000).

Je poměrně snadné jej pěstovat, má vysokou produktivitu a jeho dřevo je důležité pro svou užitkovost. Zpracovává se na řezivo, papír, pro stavebnictví, tesařství nebo truhlářství. Také je velmi ceněný v hudebním průmyslu, kdy se z něj vyrábí hudební nástroje. Vyrábí se z tzv. rezonančního dřeva, které musí mít pravidelné, úzké a husté letokruhy, bez suků a jakýchkoliv vad (Maulis, 2007).

3.2 Reakce smrku ztepilého na zvýšenou koncentraci CO₂

Jednou z funkčních reakcí smrku na zvýšenou koncentraci CO₂, zjištěných rozborem letokruhů, je zrychlení růstu, vyšší růst kořenů a vyšší tvorba biomasy, což vede i ke zrychlené rychlosti asimilace uhlíku v rostlinných pletivech (Ellsworth et al., 2012). Navíc díky zrychlené dekompozici více živin podporuje fixaci uhlíku skrze fotosyntetický proces, a tak se zrychluje dynamika uhlíkového cyklu.

Podle Ryana (1991) lesní ekosystémy sice v podmínkách zvýšené koncentrace CO₂ rostou rychleji a rychleji dospívají, ale také dříve umírají.

Velikost přírůstků biomasy se rapidně zvýší s lepší dostupností dusíku v půdním substrátu. Naopak nedostatek N může být výrazným limitujícím faktorem růstu v podmínkách navýšené vzdušné koncentrace CO₂ (Hättenschwiler a Körner, 1998).

Analýza publikovaných fyziolo-ekologických studií podle Zhenga (2009) naznačuje, že rostliny, včetně smrku, rostoucí pod zvýšenou úrovní CO₂, mají méně koncentrace dusíku v listových tkáních, než rostliny žijící v podmínkách běžné úrovně CO₂. To může mít negativní dopady na fotosyntézu, dynamiku rostlinného společenství, produkci herbivorů a půdních mikroorganismů. Nedávné studie, které několik let zkoumaly efekt CO₂ na rostliny odhalily, že snížení množství dusíku je hlavním omezením pro udržitelnost schopnosti rostlinného ekosystému odpovědět na zvýšenou hladinu CO₂. Proto je zvýšení vstupu dusíku (k udržení ideální C:N balance v rostlinách) nezbytné k udržení efektivního využívání CO₂ na úrovni celých ekosystémů (Zheng, 2009).

Obsah a dostupnost dusíku v půdě se tak stává důležitým konkurenčním faktorem, který bude také rozhodovat o rozložení C v nadzemních částech rostlin nebo naopak v kořenovém systému.

Gebauer a Martinková (2005) říkají, že v souvislosti s větší podporou růstu kořenového systému smrk obsáhne větší plochu půdy, což zabezpečí kromě lepšího zásobení dřeviny živinami a vodou, i lepší mechanickou stabilitu stromů a zvýší jeho odolnost proti působení větru.

Vezmeme-li v úvahu vliv zvýšené koncentrace oxidu uhličitého na fotosyntézu, pak se její rychlost zvýší. Současně však u smrku, jako u většiny jehličnanů, dochází ke snížení fotosyntetické kapacity, která rychlost fotosyntézy následně zpomaluje, neboli k tzv. aklimační depresi fotosyntézy (Pokorný a Urban, 2012).

Spolu se zvýšenou rychlostí fotosyntézy se zvyšuje také účinnost využití slunečního záření. Snižuje se kompenzační ozářenost, tj. minimální intenzita expozice, při níž je výdej CO₂ rostlinami skrze respiraci kompenzován jeho příjmem při procesu fotosyntézy (Marra, 2004).

Podle Pokorného a Urbana (2013) se tak stane ekvalence smrku ke světlu širší, což podpoří jeho růst a tvorbu strukturně bohatších porostů. Tím se ještě více navýší ekonomická důležitost této dřeviny.

Co se týče nároků na vodu, je smrk v podmínkách zvýšené koncentrace oxidu uhličitého zvýhodněn, protože se u něj snižuje spotřeba vody a narůstá plocha kořenů. To však ale neznamena, že se smrk stává dřevinou schopnou růst v podmínkách dlouhodobého nedostatku srážek. V takových podmínkách se u něj zvyšuje výpar bez ohledu na koncentraci CO₂ a může docházet k jeho odumírání (Pokorný a Urban, op. cit.).

Z hlediska biochemického složení jehlic smrku, zvýšená koncentrace CO₂ zvyšuje syntézu a obsah nestrukturních sacharidů (Lhotáková, 2008). Snižuje obsah dusíku v listech, přičemž dusík zaujímá mezi biogenními živinami mimořádné postavení (je např. přítomen ve všech bílkovinách). Nedostatečné množství N navyšuje hodnoty poměru C:N, omezuje produkci sušiny a urychluje rozklad enzymů, jako je Rubisco. Snížení množství N v jehlicích zapříčiňuje jejich nižší nutriční kvalitu pro herbivorní hmyz (Vičíková, 2011).

Pokorný et al. (2011) předpokládají, že zvýšená koncentrace CO₂ má sice sklony způsobovat prodlužování jehlic, zvětšování jejich plochy a také hustoty, výsledky Pokorného et al. (op. cit.) však ukazují, že zvýšená koncentrace CO₂ tyto morfologické parametry u jehlic mladých smrků zteplých významně neovlivňuje. Morfologické parametry jehlic se významně liší pouze u korunových částí stromu, rostoucích při dostatku slunečního záření, což je zřejmě hlavní faktor ovlivňující jejich počet a růst.

Mezi další vlivy zvýšené koncentrace CO₂ na smrk patří zvýšení nepříznivého vlivu nedostatku minerálních živin, zvýšení pevnosti dřeva, navýšení listové plochy atd.

4 Předpoklad vývoje herbivorního hmyzu na rostlinách rostoucích při zvýšené koncentraci CO₂

Herbivorní hmyz má v temperátních ekosystémech řadu ekologických funkcí, přičemž mezi klíčové patří vliv na strukturu společenstev (např. populační dynamika rostlin, diverzita) a ekosystémovou produkci (Crawley, 1989).

Curtis a Wang (1998) říkají, že studie, které byly dosud vedeny na téma vztahu herbivora a rostliny při zvýšené koncentraci CO₂, byly většinou prováděny v laboratorních podmínkách. To vylučuje vlivy přirozeného prostředí v přírodě, které mohou výsledky značně pozměnit.

Podle Covielly a Trumbleho (2001) dostupná data ukazují, že efekt zvýšené koncentrace oxidu uhličitého bude mít vliv nejen na interakce mezi jedinci jednotlivých druhů herbivorů, ale i na vztahy mezi rostlinou a herbivorem celkově. Může se například změnit geografické rozšíření škůdců, v závislosti na změně areálu hostitelské rostliny.

Nejdůležitějšími aspekty, jenž určují význam herbivorního hmyzu pro společenstvo, respektive celý ekosystém, je jeho abundance, počet generací a jejich načasování. Ontogenetický vývoj herbivorů je řízen dvěma hlavními mechanismy a to přes tzv. top-down a bottom-up effect. U top-down efektu dochází ke kontrole vývoje predaním tlakem parazitoidu. Naopak bottom-up effect kontroluje vývoj přes kvalitu přijímané potravy, kde kvalitnější potrava zajišťuje lepší vývoj jedince (Kuras, nepubl.).

Hlavní efekt zvýšené koncentrace CO₂ na herbivory, v tomto případě na pilatku smrkovou, spočívá ve snížení koncentrace živin (jako je N, Mg, Ca) v listech, respektive v jehlicích.

Důležitým aspektem pro kvalitu potravy a také pro její palatabilitu (tj. chutnost) je poměr C:N v pletivech rostlin. U rostlin pěstovaných při zvýšené koncentraci oxidu uhličitého se zvyšuje obsah sacharidů a škrobu (Srivastava et al., 2002). S navýšením obsahu sacharidů se snižuje koncentrace dusíku v listech a zvyšuje se poměr C:N. Vysoký poměr C:N a nízká koncentrace dusíku znamená nižší koncentraci proteinu v listech a tedy sníženou nutriční hodnotu pro herbivorní hmyz (Lincoln et al., 1984). Tím je ovlivněno jejich přežívání, množení a vývoj.

Herbivorní hmyz reaguje na nízký obsah proteinu dvojnásobným způsobem. Nárůstem množství konzumované potravy, nebo snížením růstu a váhy (Scriber a Slansky, 1981). Například podle výsledku studie Lincoln et al. (1986), kde byly pozorovány larvy motýlů, se zvýšilo množství konzumovaných listů o 30%, může se však navýšit až o 80%. Herbivorní hmyz konzumuje více potravy, aby vyrovnal snížené množství dusíku v rostlině, viz diagram č 3 a č. 4. Dostatek N je potřebný ke správnému vývoji herbivorů (Lincoln et al., 1993).

Navíc čím je dusíku v přijímané potravě více, tím je pro ně potrava chutnější, herbivoři jí přijímají více a jejich ontogenetický vývoj se zkracuje. Protože je však v případě zvýšené koncentrace CO₂ obsah dusíku nižší, vývoj se prodlužuje (Haettenschwiler a Schafellner, 1999).

Mladší instary housenic mohou být více negativně ovlivňovány rozdílnou nutriční kvalitou potravy, než instary starší, které jsou na nižší nutriční kvalitu potravy méně citlivé, na což ve své práci poukazuje Williams et. al. (1994). Zkoumal pilatku *Neodiprion lecontei*, jejíž housenice se živily na borovici kadidlové, *Pinus taeda*. Housenice tohoto druhu reagovaly na nižší koncentraci dusíku jednak vyšší konzumací jehlic, ale také změnou ve využití požitého N.

Tato změna se může projevit na úrovni rychlosti vývoje herbivora, což bylo otestováno v experimentu vedeném Fajerem et al. (1989). Tým Fajera sledoval jiný druh herbivora, babočky *Junonia coenia*, v prostředí se zvýšeným obsahem CO₂. Zejména v raných stádiích vývoje se babočky vyvíjely pomaleji, než jedinci rostoucí v prostředí s nižším obsahem CO₂. Vývoj byl ovlivněn nejen nižší nutriční kvalitou potravy, ale také nižším množstvím vody v listech.

Hypotéza vyššího poměru C:N předpokládá, že zvýšení CO₂ umožní rostlinám přidělit více sacharidů ze sekundárního metabolismu k tvorbě sloučenin využívaných k obraně vůči herbivornímu hmyzu. Jedním z důsledků vyšší konzumace potravy herbivory, může být i současná vyšší konzumace těchto obranných látek, které produkuje napadená rostlina, což může mít výrazný efekt na neadaptovaný druh herbivora (Coviella a Trumbler, 2001).

Tento předpoklad byl prokázán u několika druhů rostlin (např. u miříku celeru), nelze jej však zobecnit a vztáhnout na všechny herbivorní škůdce a napadené rostliny, tedy ani na interakci pilatky smrkové a smrku ztepilého. Potenciální efekt změny koncentrace obranných látek rostlin je nutné vyhodnocovat v rámci jednotlivých případů (Coviella a Trumbler, op. cit.).

Dalšími reakcemi herbivorů může být i zvýšená mortalita larev, nebo redukce rozmnožování, což má výrazný vliv na populační dynamiku celého společenstva daného herbivora. Především však větší množství konzumované potravy za zvýšené koncentrace CO_2 navyšuje škody na rostlinách. Všechny tyto aspekty mohou měnit interakce rostlina - herbivor, dynamiku společenství a fungování ekosystémů (Asshoff a Hättenschwiler, 2004). Pokorný (2013) ve své studii uvádí, že se dá předpokládat vyšší četnost výskytu nejen pilatky smrkové, ale i dalších druhů hmyzích škůdců a patogenů.

Výsledky experimentu Williamse et al. (1994).

Byla zkoumána pilatka *Neodiprion lecontei*, živící se na borovici *Pinus taeda*. Potvrdilo se, že zvýšená koncentrace CO_2 způsobuje nižší koncentraci dusíku v jehlicích. Zároveň se tak zvýšila konzumace jehlic pilatkou.

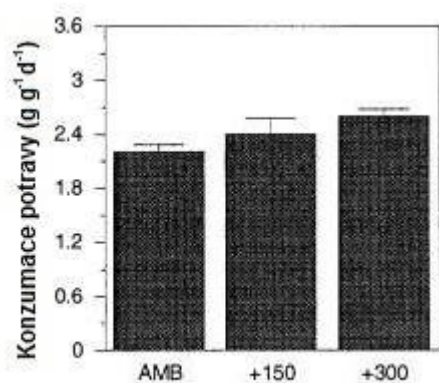


Diagram 3: Konzumace jehlic pilatkou *Neodiprion lecontei* za zvýšené koncentrace CO_2

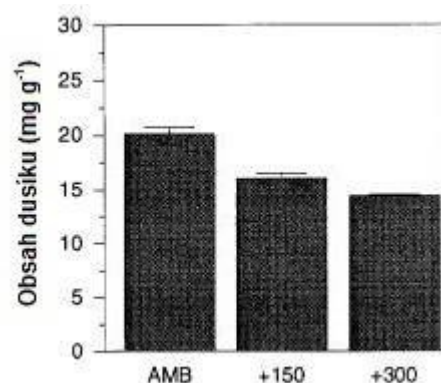


Diagram 4: Obsah N v jehlicích *Pinus taeda* za zvýšené koncentrace CO_2

AMB – měření v přirozené koncentraci CO_2

+150 – měření v koncentraci vyšší o $150 \mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1} \text{CO}_2$

+300 – měření v koncentraci vyšší o $300 \mu\text{l}\cdot\text{l}^{-1} \text{CO}_2$

5 Bionomie pilatky smrkové

Pilatka smrková, *Pristiphora abietina* (Christ, 1791), se řadí mezi hmyz s proměnou dokonalou, řádu blanokřídlí – Hymenoptera, podřádu širopasí – Symphyta, čeledi pilatkovití – Tenthredinidae (Brudea a Pei, 2006). Pilatka smrková je dominantním druhem od nejnižších poloh, kolem 250 m n. m., až po místa s nadmořskou výškou 700 m (Holuša a Drápela, 1996). V současnosti se vyskytuje ve střední a severní Evropě, původně byl však její areál rozšířen na původní výskyt smrku, což znamenalo především vysoké polohy v Evropě a částečně Asii. Ze všech druhů pilatek, které jsou vázány na smrk, má tato největší gradační potenciál (Holuša J a Holuša O, 2003).

Samičky jsou větší než samečci, 5 až 6 mm dlouhé, lesklé, černohnědé se žlutavou ventrální stranou zadečku, hřbetní stranou předohrudí a ústním ústrojím. Samečci jsou 4,5 až 5 mm dlouzí, na vrchní straně převážně černě zbarvení, místy žlutaví. Zadeček je zakončený krátkým pilovitým kladélkem (Čermák et al., 2011).



Ilustrace 1: Dospělec *Pristiphora abietina*

(zdroj: <http://insects.botgard.uran.ru>)

Křístek a Urban (2004) uvádí, že vajíčka tohoto druhu pilatky jsou sklovitě průhledná, bezbarvá, velká asi 1 mm. Housenice, které se z nich líhnou, mají tři páry hrudních nohou, šest párů panožek a jeden pár pošinek.

Starší, dorostlé housenice, mají světle zelenou barvu, se světle žlutočervenou hlavou, jsou dlouhé až 15 mm. Kokon, neboli zámotek, je hladký, válcovitý, zaoblený, hnědé až tmavě hnědé barvy.

Pilatka smrková je jednogeneračním druhem, který se rojí v době rašení smrku. Samičky vajíčka kladou jednotlivě, na vnější stranu jehlic narašených, ještě nerozevřených pupenů, především v nejvyšších částech korun. Preferují mladé a středně staré smrky (10 až 60 let).

Vajíčka jsou umístěna v bazální polovině jehlic (Křístek a Urban, 2004). Jedna samička klade průměrně 85 až 100 vajíček. Jehlice, na kterých jsou umístěna, začínou postupně blednout, žloutnout, až nakonec uschnou, ještě před dosažením plné délky. Housenice se z vajíček líhnou po několika dnech, přičemž samečci se líhnou o několik dní dříve než samičky. Jejich vývoj probíhá velmi rychle (Kolubajiv, 1939). U pilatky smrkové byla potvrzena existence pěti instarů (Holuša, 1999).

Doba letové aktivity pilatky trvá přibližně od konce dubna do konce května, záleží na nadmořské výšce. Vrcholí v první polovině května (Holuša a Švestka, 2000). Holuša a Švestka (op. cit.) ve své práci zmiňují výzkum, který uvádí, že závisí na podmínkách daného období, například při chladném nebo deštivém počasí je rojení zpožděno, stejně tak následně i letová aktivita.

Za nepříznivých podmínek je vyhledávání opačného pohlaví stížené, proto zůstává značné množství vajíček neoplozených. Z těchto vajíček se pak líhnou pouze samčí larvy, samci jsou pak v následující generaci v mnohem vyšším zastoupení, jinak je poměr pohlaví vyrovnaný, nebo při přemnožení převládají samičky. Rozmnožování, při kterém se z neoplozených vajíček líhnou samečci, se nazývá arrhenotokní partenogeneze (Křístek a Urban, 2004).

Vyvinuté housenice slézají nebo padají na zem, kde si vytvářejí zámotky. Zhotovují je na spíše nezatravněném místě, v povrchové vrstvě hrabanky, obvykle v hloubce 1 až 4 cm. V těchto zámotkách larvy procházejí letní diapauzou. Při ochlazení na podzim se změní v tzv. pronymfy, které zimují. Na jaře se kuklí a asi po 2 týdnech se vylíhnou dospělci. Může však nastat i stav, kdy se larvy v pronymfy nezmění, ale pokračují ve vývoji až ve druhém roce.

Někteří jedinci tímto způsobem mohou přelétat až 6 let (Čermák et al., 2011). Housenice jsou požírány nejčastěji špačky, pěnkavami, sýkorami, datly, některými druhy slunéček, mravenců nebo lumků (Křístek a Urban, op. cit.).

Dospělci *Pristiphora abietina* žijí průměrně 7,5 dnů v případě samců a 9,5 dnů v případě samic (Holuša, 1999).

5.1 Historie šíření pilatky smrkové v České republice

Pilatka smrková je škůdcem především na mladých nepůvodních smrkových porostech, spíše v nižších polohách (do 500 m n. m.), ve vyšších polohách se vyskytuje s menší četností. Častěji jsou napadány tzv. mlaziny a tyčkoviny, na osluněných porostních okrajích, ve světlinách, porosty chráněné před větrem, častěji na východních a jižních svazích (Křístek a Urban, 2004). (Podle Simona a Vacka, 2008, je mlazina růstovou fází lesního porostu, ve věku 10 až 25 let, s výškou přibližně od 1,5 m, se začínajícím rozčleňováním výškových vrstev a se souvislou korunovou vrstvou. Tyčkovina je mladý až středně starý porost, u kterého vrcholí tloušťkový přírust, ve věku 25 až 40 let, s často odumírajícími spodními větvemi).

Téměř každoročně oslabuje porosty opakovaným žírem a snižuje přírust stromů vzhledem ke zmenšení asimilační plochy. Napadá porosty všech věkových tříd, nejvíce však první a druhou věkovou třídu (již zmíněné mlaziny a tyčkoviny). Poškození v těchto věkových třídách má celkově největší negativní dopad na celý porost. Opakované poškození způsobuje usychání vršků stromů, jejich zakrnění, zpomalení nebo úplné zastavení odrůstání (Holuša et al., 2007). Přesto bývá pilatka podceňovaným škůdcem, protože nezpůsobuje tzv. holožiry (likvidace veškerého listí nebo jehličí).

Rozsáhlá přemnožení pilatky smrkové se začala ve střední Evropě objevovat od poloviny minulého století, což časově koresponduje se zaváděním smrkového hospodářství (Holuša a Švestka, 2000). První zmínky o výskytu pilatky smrkové v Česku pochází z roku 1862, kdy se hojně vyskytla na různých místech, záznamy jsou například z Pardubic nebo z Mnichova Hradiště (Kolubajiv, 1939). Do té doby podle záznamů Kolubajiva zřejmě nebyla pilatka smrková na českém území pozorována. Poté se objevila až v roce 1887 ve Slezsku.

Holuša (2003) jmenuje práci z roku 1911, která uvádí hojnější výskyt *Pristiphora abietina* v první dekádě 20. století.

V následujících letech došlo k útlumu pilatky, další zmínky o jejím přemnožení pochází z roku 1935 z Moravskoslezských Beskyd, kde se vyskytla spolu s pilatkou horskou, která gradovala ve vyšším množství než pilatka smrková.

Od roku 1950 začaly obranné zásahy proti pilatce zejména ve středních Čechách, kde došlo k jejímu přemnožení. Podle Holuše (2003) studie z roku 1957 uvádějí, že v roce 1956 docházelo k opakovanému několikaletému poškození porostů pilatkou smrkovou, následkem bylo usychání vrcholků smrků. Dělo se tak především ve východních a středních Čechách a v bývalém Olomouckém a Gottwaldovském kraji (Zlínsko).

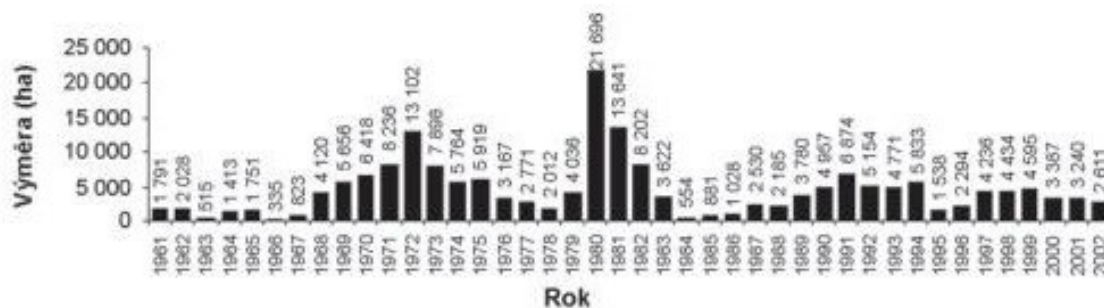


Diagram 5: Historický vývoj poškození pilatkou v Česku od r. 1961 do r. 2002

(převzato z Holuša J a Holuša O, 2003)

K dalšímu prudšímu nárůstu výskytu *Pristiphora abietina* došlo v roce 1968 opět ve středních a východních Čechách a na střední a severní Moravě. V roce 1970 bylo nutné přistoupit i k obranným zásahům a to na území Hradce nad Moravicí. Tyto zásahy pak pokračovaly především v 80. letech minulého století. Byly aplikovány insekticidy různého typu (př. Dimilin, Evisekt) se střídavými úspěchy i neúspěchy terestricky i letecky (Kupčák et al., 2007). Jak ukazuje diagram č. 5, v roce 1972 a 1980 byly plochy porostu napadaného pilatkou smrkovou největší.

V roce 1997 se na území severní Moravy a Slezska vyskytovaly silně poškozené porosty, včetně krnicích jedinců, díky obranným zásahům po třech letech známky žíru ustoupily. Severní Morava a Slezsko bylo dlouhodobě nejvíce postižovanými oblastmi, ve 21. století tyto oblasti předstihly východní Čechy (Holuša, 2003).

Obranné zásahy vůči přemnožení pilatky znamenaly především různé chemické přípravky, účinná biologická obrana zatím není známa. Ve druhé polovině 80. let došlo k nárůstu plochy poškozených porostů. V té době proběhlo výzkumné testování účinnosti přípravků působících jako inhibitory syntézy chitinu. Ukázalo se, že nedostatečně ochrání smrk před žírem, protože jejich účinek nastupuje se zpožděním.

Účinné jsou krátkodobě působící, kontaktní přípravky, které kromě housenic zahubí i dosud kladoucí samičky. Takovým přípravkem přijatelným i z hygienických hledisek, je v současnosti Trebon 10F (Holuša, 2000).

6 Návrh metodiky studia vlivu koncentrace CO₂ na vývoj pilatky smrkové

Výzkum popisovaný v této kapitole bude probíhat v roce 2015 a 2016 v rámci mé diplomové práce.

Testovány budou hypotézy snížené nutriční kvality potravy (tj. jehlic smrku ztepilého), dále prodlouženého vývoje pilatky smrkové na sazenicích smrku a zda se zvýší množství konzumované potravy.

Pro výzkum byl zvolen modelový a pro českou krajinu jeden z typických druhů dřevin, smrk ztepilý (*Picea abies*).

Lokality odchytů pilatek budou umístěny na význačné hraniční horské soustavě České republiky, v oblasti Karpat, v Moravskoslezských Beskydech. Měly by obsáhnout celou škálu stáří smrkových lesů. V horských smrčinách budou nalezeny dvojice lesů, které na straně jedné představují umělé antropogenní smrčiny a na straně druhé lesy, které alespoň původem a strukturou připomínají lesy přirozené.

Sazenice stromů budou pěstovány individuálně v oddělených boxech v prostředí se zvýšenou (700 ppm) koncentrací CO₂ a v místech s přirozenou (ambient, 350 ppm) koncentrací. Za tímto účelem je terénní stanice na Bílém kříži dostatečně vybavena systémem "minisfér" s definovanou koncentrací CO₂.

Výzkum bude realizován ve spolupráci s Ústavem systémové biologie a ekologie AV ČR, České Budějovice, v místě TS Bílý kříž (CHKO Beskydy), viz kap. 6.1.

6.1 Experimentální ekologické pracoviště na Bílém kříži

Terénní stanice Bílý kříž disponuje úplným a nadstandardním vybavením pro monitoring dlouhodobých globálních změn koncentrace CO₂ a vlivu těchto změn na lesní ekosystém.

Byla založena v Moravskoslezských Beskydech v roce 1986 v rámci projektu „Komplexní výzkum vlivu imisí na lesní hospodářství Beskyd“. Cílem projektu bylo popsat vliv různých typů ochranných a pěstebních opatření na zvýšení stability a odolnosti horských smrkových porostů k vzdušným imisím.

Po r. 1989 se výzkum zaměřil na studium vlivů globálních změn na lesní ekosystémy. Stanice Bílý Kříž se zabývá především studiem nárůstu vzdušné koncentrace CO₂ a s ním spojeným zesilováním skleníkového jevu. Centrem zájmu vědců je také monitorování toků energie a látek, zkoumání fyziologických procesů (především fotosyntézy, ale i respirace a transpirace), předpověď fungování smrkového ekosystému v podmínkách měnícího se klimatu a návrhy opatření pro udržení schopnosti smrkového ekosystému zachycovat CO₂ z atmosféry (Šprtová, 2014).

Pro tyto tzv. účinkové studie byly vybudovány komory s otevřeným vrchem, lamelové kultivační sféry a UV-B expoziční lavice, v nichž jsou simulovány podmínky očekávané kolem roku 2050. To je nárůst koncentrace CO₂ na dvojnásobek a nárůst intenzity UV záření o 25% v porovnání s koncem 20. stol (Hužvárová a Pavlíková, 2012).



Ilustrace 2: Lamelové sféry na stanici Bílý kříž

(převzato z Hužvárová a Pavlíková, 2012)

6.2 Metody měření vývoje pilatky smrkové

Jako odchyťové zařízení pilatek bude použit Malaiseho lapač Townesova (1972) typu. Vzhledem k tomu, že odchyty mezi jednotlivými Malaiseho lapači v sérii nejsou průkazně odlišné, bude na každé lokalitě instalován pouze jeden Malaiseho lapač.

Odchyt pilatek bude prováděn po celou sezónu (duben - říjen), vzorky odebírány ve čtrnáctidenních až měsíčních intervalech.

Na každou pěstovanou dřevinu budou umístěny housenice pilatky a to jednotlivě v textilních sáčcích tak, že na jedné větévkce dřeviny budou v blízké vzdálenosti od sebe dvě larvy s cílem zjistit, do jaké míry může vzdálenost konzumovaných listů ovlivnit palatabilitu listů, případně defenzivní mechanismy rostliny v závislosti na zvýšené koncentraci CO₂.

Další larvy budou umístěny na opačné straně dřeviny v dostatečné vzdálenosti od předchozích dvou pro zjištění, zda bude ovlivněna konzumace listů v závislosti na zvýšené koncentraci CO₂. Podobná metodika bude použita pro dřeviny pěstované v prostředí s přirozenou koncentrací CO₂ jako kontrolní vzorky. (Celkový počet dřevin 50, na každé rostlině 3 měření, celkem 150 měření). Souběžně bude standardními postupy měřena kvalita a množství přijímané potravy (viz C:N poměr v pletivech rostlin) a biochemická kvalita exkrementů larev.

Porovnáním obou parametrů bude možno stanovit účinnost asimilace dusíku za změněných podmínek kvality substrátu. Součástí těchto chovných experimentů bude vyhodnocení vlivů dvojnásobně zvýšené koncentrace CO₂ na rychlost vývoje druhů (bude sledován růst larev a časy potřebné k zakuklení) a změnu mortality (spojená s vývojem jedinců při různých koncentracích CO₂).

V závěru každého měření budou zaznamenávány informace o jedinci, o hostitelské rostlině a o míře konzumace listů. Míra konzumace listů bude vyjádřena jako podíl zkonsumované listové plochy k velikosti jedince statistickými hodnotami.

| | |
|-----|---|
| 2 | zkonsumovaná plocha listu byla větší než velikost jedince |
| 1 | zkonsumovaná plocha listu se rovnala velikosti jedince |
| 0,5 | zkonsumovaná plocha listu byla menší než velikost jedince |
| 0 | jedinec nezkonsumoval žádnou plochu listu |

Tabulka 1: Poměr velikosti zkonsumovaných jehlic k velikosti jedince

Vyhodnocení jednotlivých sledovaných parametrů na početnost a druhové spektrum pilatek bude testováno pomocí statistických metod mnohorozměrné analýzy zpracování dat, viz CANOCO for Windows 4.5©, R-software apod. (Ter Braak a Šmilauer, 1998).

7 Závěr

Pilatka smrková je významným škůdcem na důležité hospodářské dřevině, smrku ztepilém. Způsobuje viditelnou defoliaci smrkových porostů. Rozsahy poškození sice rok od roku kolísají, ale gradaci pilatky smrkové je možno na našem území přibližně od padesátých let 20. století považovat za permanentní.

Vývoj herbivorního hmyzu, včetně pilatky, se odvíjí především od kvality potravy. Ta se v podmínkách zvýšené koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře může podstatně změnit. Publikované práce naznačují, že na základě zvýšené koncentrace CO₂ lze předpokládat zvýšenou koncentraci sacharidů, snížený obsah dusíku a navýšení poměru C:N v jehlicích smrku. Všechny tyto aspekty vedou k nižší koncentraci proteinu a tedy k nižší nutriční kvalitě pro pilatku.

Očekávanými reakcemi pilatky na tyto faktory jsou především prodloužený ontogenetický vývoj a větší množství zkonsumované potravy. Díky těmto faktorům se dají předpokládat větší újmy na porostech smrku ztepilého, protože pilatka by při vyšší a déle trvající konzumaci jehlic způsobovala větší množství žíru, a tím by způsobovala větší ekonomické, ale i ekologické, ztráty.

Vývoj pilatky smrkové na rostlinách rostoucích při zvýšené koncentraci CO₂ není zatím odbornou literaturou dostatečně podchycen. Proto se hodlám této problematice dále věnovat v rámci výzkumu, který bude součástí mé magisterské diplomové práce, na stanici Bílý kříž v Moravskoslezských Beskydech. Experimentálně budu testovat především hypotézy prodlouženého ontogenetického vývoje pilatky smrkové na smrku ztepilém a hypotézu zvýšeného množství zkonsumované potravy, související s nižší nutriční hodnotou jehlic.

Navrhovaný výzkum může přispět biologům v rozpoznávání reakcí organismů na měnící se podmínky prostředí v kontextu celosvětové změny klimatu, lesníkům může naproti tomu pomoci například v hledání účinnější obrany vůči škůdcům na lesních porostech. Na téma odezvy živých systémů ke zvýšené koncentraci CO₂ byla vypracována řada studií a vzhledem k celospolečenské aktuálnosti problému bude téměř s určitostí tento trend výzkumu v blízké budoucnosti i nadále pokračovat.

8 Literatura

Asshoff R, Hättenschwiler S. 2004. Growth and reproduction of the alpine grasshopper *Miramella alpina* feeding on CO₂-enriched dwarf shrubs at treeline. *Oecologia*. 142: 191–201.

Barnola J M, Raynaud D, Korotkevich Y S, Lorius C. 1987. Vostok ice cores provides 160,000-year record of atmospheric CO₂. *Nature*. 329 (6138): 408–414.

Bravený A. 2011. Produkce CO₂ a obchod s emisními povolenkami [bakalářská práce]. [Brno (CZ)]: Vysoké učení technické v Brně. 31 p.

Brudea V, Pei G. 2006. Bioecology and control researches concerning the little spruce sawfly *Pristiphora abietina* (Christ.) (Hymenoptera: Tenthredinidae). *Analele Stiintifice ale Universitatii "Al. I. Cuza" din Iasi Sectiunea Biologie Animala*. 52: 131–136.

Canadell J G, Le Quere C, Raupach M R, Field C B, Buitenhuis E T, Ciais P, Conway T J, Gillett N P, Houghton R A, Marland G. 2007. Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 104 (47): 18866–18870.

Cotton F A, Wilkinson J. 1973. *Anorganická chemie, souborné zpracování pro pokročilé*. Praha: Academia. 1102 p.

Coviella C E, Trumble J T. 1999. Effects of Elevated Atmospheric Carbon Dioxide on Insect-Plant Interactions. *Conservation Biology*. 13 (4): 700–712.

Crawley M J. 1989. Insect herbivores and plant population dynamics. *Annual Review of Entomology*. 34: 531–562.

Curtis P S, Wang X. 1998. A meta-analysis of elevated CO₂ effects on woody plant mass, form and physiology. *Oecologia*. 113: 299–313.

Čermák P, Palovčíková D, Beránek J. Atlas poškození dřevin [Internet]. Brno: LDF MENDELU; 2011 [cited 2014 červenec 13]. Dostupný z: <http://atlasposkozeni.mendelu.cz/>

- Divíšek J, Culek M, Jiroušek M. Biogeografie: Smrk ztepilý (*Picea abies* L. Karst.) [online]. Brno: Masarykova Univerzita; 2010 [cited 2014 červenec 23]. Dostupný z: http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/ps10/biogeogr/web/index_Pic_abi.html
- Ellsworth D S, Thomas R, Crous K Y, Palmroth S, Ward E, Maier Ch, Delucia E, Oren R. 2012. Elevated CO₂ affects photosynthetic responses in canopy pine and subcanopy deciduous trees over 10 years: a synthesis from Duke FACE. *Global Change Biology*.18: 223–242.
- Fajer D E, Bowers D M, Bazzaz A F. 1989. The Effects of Enriched Carbon Dioxide Atmospheres on Plant—Insect Herbivore Interactions. *Science*. 243 (4895): 1198–1200.
- Gebauer R, Martinková M. 2005. Structure and functions of the types of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) roots. *Journal of forest science*. 51 (7): 305–311.
- Haettenschwiler S, Schafellner C. 1999. Opposing effects of elevated CO₂ and N deposition on *Lymantria monacha* larvae feeding on spruce trees. *Oecologia*. 118: 210–217.
- Hättenschwiler S, Körner Ch. 1998. Biomass allocation and canopy development in spruce model ecosystems under elevated CO₂ and increased N deposition. *Oecologia*. 113: 104–114.
- Holuša J jr, Švestka M. 2000. Pilatka smrková na severovýchodní Moravě a ve Slezsku. *Lesnická práce*. 79 (06): 270–272.
- Holuša J, Drápela K. 2003. Integrated Management of Little Spruce Sawfly (*Pristiphora abietina*): Design Pattern. In: McManus M L, Liebhold A M. (eds.). *Ecology, Survey and Management of Forest Insects*. Conference on Ecology, Survey and Management of Forest Insects; 2002 Sep 01–05; Krakow (PL). Radnor (Pa): USDA, FOREST SERV. NE. EXPTL. STN. p. 16–24.
- Holuša J, Holuša O. 2003. Historický průběh výskytu a poškození smrkových porostů pilatkou smrkovou (Hymenoptera: Tenthredinidae) v České republice. *Zprávy lesnického výzkumu*. 48 (4): 180–212.
- Holuša J. 1999. Bionomie pilatky smrkové (Hymenoptera: Tenthredinidae) na severní Moravě a ve Slezsku v letech 1998–1999. *Zprávy lesnického výzkumu*. 44 (04): 19–27.

- Houghton R A. 2003. The contemporary carbon cycle. In: Karl D M, Schlesinger W H. (ed.). *Treatise on Geochemistry*. 2. vyd. Amsterdam: Elsevier. p. 473–513.
- Hužvárová M, Pavlíková M. 2012. Kde se měří dech lesa – CzechGlobe pracoviště Bílý Kříž. *Akademický bulletin* [Internet]. [cited 2014 červenec 12]; 2012 (10). Dostupný z: <http://data.abicko.avcr.cz/2012/10/17/index.html>
- Janzen H H. 2004. Carbon cycling in earth systems - a soil science perspective. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 104 (03): 399–417.
- Karolewski P. 2007. Norway spruce function in polluted environments. In: Tjoelker M G, Boratyński A, Bugała W. *Biology and Ecology of Norway Spruce* [Internet]. The Netherlands: Springer; 2007 [cited 2014 červenec 9]. Dostupný z: http://books.google.cz/books?id=58f5n0XTI1YC&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Keeling C D, Bacastow R B, Bainbridge A E, Ekdahl C A jr, Guenther P R, Waterman L S. 1976. Atmospheric carbon dioxide variations at Mauna Loa Observatory, Hawaii. *Tellus*. 28 (6): 538–551.
- Kolubajiv S. 1939. Příspěvek k biologii pilatek smrkových (*Lygaeonematus Pini* Retz. *Nematus abietinus* Christ.) a *Pachynematus montanus* Zadd. *Lesnická práce*. 18 (6): 317–338.
- Kremer B P. 2006. *Stromy*. 3 vyd. Praha: Euromedia Group, k. s. - Knižní klub v Praze. 288 p.
- Křístek J, Urban J. 2004. 1. vyd. *Lesnická entomologie*. Praha: nakladatelství Akademie věd České republiky. 448 p.
- Kupčák V, Bagar R, Dudík R, Gabzdil J, Hlaváčková P, Šmída Z, Urbanová M. 2007. *Regionální lesnický program pro území Moravskoslezského kraje*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. 391 p.
- Kuras T. [date unkown]. *Hmyz v kontextu současného lesního hospodaření a globálních změn*. Nepublikovaný rukopis.

- Lhotáková Z. 2008. Studie listoví vybraných jehličnanů ve vztahu k podmínkách prostředí s využitím přístupů kvantitativní anatomie a laboratorní spektroskopie [autoreferát disertační práce]. [Praha]: Univerzita Karlova. 20 p.
- Lincoln D E, Fajer E D, Johnson R H. 1993. Plant-insect herbivore interactions in elevated CO₂ environments. *Trends in Ecology & Evolution*. 8 (2): 64–68.
- Lincoln D E, Couvet D, Sionit N. 1986. Response of an insect herbivore to host plants grown in carbon dioxide enriched atmospheres. *Oecologia*. 69 (4): 556–560.
- Lincoln D E, Sionit N, Strain B R. 1984. Growth and Feeding Response of *Pseudoplusia includens* (Lepidoptera: Noctuidae) to Host Plants Grown in Controlled Carbon Dioxide Atmospheres. *Environmental Entomology*. 13 (6): 1527–1530.
- Marek M V. 2014. Fyziologie rostlin pro lesníky. Brno: Lesnická a dřevařská fakulta Mendelovy Univerzity. 147 p.
- Marland G, Boden T. 2001. Increasing concentration of atmospheric CO₂: How much, when and why? Oak Ridge (Tennessee): Environmental Sciences Division. 18 p.
- Marra J. 2004. The compensation irradiance for phytoplankton in nature. *Geophysical Research Letters*. 31 (6).
- Maulis V. 2007. Rezonanční dříví. [bakalářská práce]. [Praha (CZ)]: Česká zemědělská univerzita v Praze. 56 p.
- Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 2007. Regionální lesnický program pro území Moravskoslezského kraje. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. 391 p.
- Nátr L. 2000. Koncentrace CO₂ a rostliny. Praha: Nakladatelství ISV. 257 p
- Petit J R, Jouzel J, Raynaud D, Barkov N I, Barnola J M, Basile I, Bender M, Chappellaz J, Davisk M, Delaygue G, Delmotte M, Kotlyakov V M, Legrand M, Lipenkov V Y, Lorius C, Pepin L, Ritz C, Saltzman E, Stievenard M. 1999. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*. 399: 429–439.

- Plesník J. 2005. Význam červených seznamů pro ochranu bezobratlých. In: Farkač J, Král D, Škorpík M. 2005. Červený seznam ohrožených druhů České republiky. Bezobratlí. List of threatened species in the Czech Republic. Invertebrates. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. 760 p.
- Pokorný R, Urban O. 2012. Perspektivy pěstování smrku ztepilého – I. Lesnická práce. 91 (9): 26–27.
- Pokorný R, Urban O. 2013. Perspektivy pěstování smrku ztepilého – II. Lesnická práce. 91 (10): 26–27.
- Pokorný R. 2013. Pěstování lesů pod vlivem měnícího se klimatu. Brno: Mendelova univerzita v Brně. 39 p.
- Pokorny R, Tomaskova I, Marek M. V. 2011. The effects of elevated atmospheric [CO₂] on Norway spruce needle parameters. *Acta Physiol Plant*. 33: 2269–2277.
- Ryan G M. 1991. Effects of Climate Change on Plant Respiration. *Ecological Applications*. 1 (2): 157–167.
- Scriber J M, Slansky F jr. 1981. The Nutritional Ecology of Immature Insects. *Annual Review of Entomology*. 26: 183–211.
- Schowalter T D. *Insect Ecology: An Ecosystem Approach* [Internet]. London: Academic Press; 2006 [cited 2014 červenec 5]. Dostupný z: http://www.google.cz/books?id=LQqHWCTj0F0C&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Simon J, Vacek S. 2008. Výkladový slovník hospodářské úpravy lesů. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 126 p.
- Spiecker H. 2000. Growth of norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) under changing environmental conditions in Europe. In: Klimo E, Hager H, Kulhavý J. (ed.). *Spruce monocultures in central Europe – problems and prospects*. Joensuu (Finland): European Forest Institut. 208 p.
- Srivastava A C, Tiwari L D, Pal M, Sengupta U K. 2002. CO₂-mediated changes in mungbean chemistry: Impact on plant-herbivore interactions. *Current Science*. 82 (9): 1148–1151.

- Subak S, Raskin P, Hoppel V D. 1993. National greenhouse gas accounts: Current anthropogenic sources and sinks. *Climatic change*. 25 (1): 15–58.
- Szymański S. 2007. Silviculture of norway spruce. In: Tjoelker M G, Boratyński A, Bugała W. *Biology and Ecology of Norway Spruce* [Internet]. The Netherlands: Springer; 2007 [cited 2014 červenec 9]. Dostupný z: http://books.google.cz/books?id=58f5n0XTI1YC&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=fa
- Šprtová M. 2014. Centrum excellence CZECHGLOBE. Akademický bulletin [Internet]. [cited 2014 červenec 12]; 2014 (7–8). Dostupný z: <http://abicko.avcr.cz/2014/07/03/index.html>
- Tans P. 2014. Recent Monthly Average Mauna Loa CO₂. Earth System Research Laboratory [Internet]. [cited 2014 květen 14]. Dostupný z: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>
- Ter Braak C J F, Šmilauer P. 1998. CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows: Software for Canonical Community Ordination (version 4). Microcomputer Power. Ithaca.
- Urban O. 2003. Physiological Impacts of Elevated CO₂ Concentration Ranging from Molecular to Whole Plant Responses. *Photosynthetica*. 41 (1): 9–20.
- Vičíková M. 2011. Vliv listového dusíku a nestrukturních sacharidů na obsah a aktivitu enzymu Rubisco v podmínkách normální a zvýšené koncentrace oxidu uhličitého [diplomová práce]. [Brno]: Vysoké učení technické. 70 p.
- Wagner V. 2008. Jak se měří množství oxidu uhličitého v atmosféře a jaké jsou výsledky [Internet]. [cited 2014 červenec 12]. Dostupný z: <http://www.osel.cz/index.php?clanek=4150>
- Williams S R, Lincoln E D, Thomas B R, 1994. Loblolly pine grown under elevated CO₂ affects early instar pine sawfly performance. *Oecologia*. 98: 64–71.
- Zheng Z L. 2009. Carbon and nitrogen nutrient balance signaling in plants. *Plant Signal Behavior*. 4 (7): 584–591.