

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra ekologie a životního prostředí



Klimatické charakteristiky jako determinanty migrace vybraných druhů lišajovitých (Sphingidae)

Vendula Kadlecová

Bakalářská práce
předložená
na Katedře ekologie a životního prostředí
Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků
na získání titulu Bc. v oboru
Ekologie a ochrana životního prostředí

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

Olomouc 2020

Kadlecová V. 2020. Klimatické charakteristiky jako determinanty migrace vybraných druhů lišajovitých [bakalářská práce]. Olomouc: Katedra ekologie a ŽP PřF UP v Olomouci. 30 s. 2 přílohy. Česky.

Abstrakt

Čeď lišajovitých (Sphingidae) zahrnuje velmi dobré letce, kteří jsou schopni šíření na velké vzdálenosti. Není zcela jasné, o jaký typ šíření (viz rozptylování vs. migrace) se jedná a co toto šíření spouští. V rámci své práce jsem se zaměřila na stanovení příčin šíření vybraných druhů lišajovitých původem z afrotropické oblasti, kteří se nepravidelně šíří do střední Evropy. Modelovými druhy byly *Daphnis nerii*, *Hyles livornica*, *Acherontia atropos*, *Agrius convolvuli* a *Hippotion celerio*. Metodami mnohorozměrné statistiky jsem testovala vlivy klimatu na přítomnost druhů ve střední Evropě. Jako nezávislé proměnné jsem testovala klimatické veličiny průměrných teplot, úhrnů srážek v místě euareálu druhů (Portugalsko, Tunisko, Řecko) a v ČR, a systému NAO. Závislou hodnotou byla přítomnost druhů v ČR v letech 1957 až 2019. Jediným komplexním klimatickým parametrem vysvětlujícím variabilitu v druhových datech byla hodnota indexu NAO červnového měsíce. Z dílčích klimatických veličin pak nejlépe vysvětloval přítomnost druhů v ČR květnový úhrn srážek v oblasti severní Afriky (Tunisko). Teplotní charakteristiky na přítomnost druhů v ČR neměly vliv. Šíření druhů lišajů je determinováno následovně. Na šíření *D. nerii* má vliv srážkový úhrn v období vývoje, předpokladem pro šíření *H. livornica* je nižší množství srážek. *A. atropos* a *H. celerio* se šíří nezávisle na vnějších podmínkách, šíření *A. convolvuli* by mohla determinovat vyšší teplota.

Klíčová slova: *Agrius convolvuli*, *Acherontia atropos*, *Daphnis nerii*, *Hippotion celerio*, *Hyles livornica*, migrace, rozptylování

Kadlecová V. 2020. Climate characteristics as principal factors affecting migration of the selected hawk-moth species [bachelor's thesis]. Olomouc: Department of Ecology and Environmental Sciences, Faculty of Science, Palacky University of Olomouc. 30 pp. 2 Appendices. Czech.

Abstract

The family of hawk-moths (Sphingidae) includes very good flyers who are able to spread over long distances. It is not entirely clear which type of spread (dispersal vs. migration) their movements represent and what are the factors including it. As part of my work, I focused on determining the causes of the movements of selected hawk-moth species originating in the Afrotropical region which spread irregularly to the Central Europe. The model species were *Daphnis nerii*, *Hyles livornica*, *Acherontia atropos*, *Agrius convolvuli* and *Hippotion celerio*. Using multidimensional statistics, I tested the effects of diverse climatic variables on the presence of species in the Central Europe. As independent variables, I tested the average temperatures, precipitation totals at the euareal of species (Portugal, Tunisia, Greece) and in the Czech Republic, and the NAO indices (represented by average annual values of the NAO index, average monthly values of the NAO index, winter NAO index – from December to March, seasonal NAO index). The dependent variables were the occurrences of particular species in the Czech Republic in the years 1957 to 2019. The only complex climatic parameter explaining the variability in species data was the value of the June NAO index. Of the partial climatic variables, the presence of species in the Czech Republic was best explained by the May total precipitation in the area of North Africa (Tunisia). Temperature characteristics did not affect the presence of species in the Czech Republic. The spread hawk-moth species is determined as follow. The spread of *D. nerii* is determined by the total precipitation during the development period. The spread of *H. livornica* is assumed by the low precipitation. The spread of *A. atropos* and *H. celerio* is determined independently of external conditions. The spread of *A. convolvuli* could be determined by higher temperatures.

Keywords: *Acherontia atropos*; *Agrius convolvuli*; *Daphnis nerii*; dispersal; *Hippotion celerio*; *Hyles livornica*; migration

Prohlášení

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

V Olomouci 24. července 2020

.....
podpis

Obsah

Seznam tabulek	vii
Seznam obrázků	viii
Poděkování.....	x
Úvod.....	1
Cíle práce	4
Materiál a metody	5
Zájmové druhy lišajovitých.....	5
Druhovú data	8
Klimatická data	8
Analýza a úprava dat	9
Výsledky	11
Diskuse.....	19
Závěr	22
Literatura	23
Přílohy	28
Příloha A	28
Příloha B.....	30

Seznam tabulek

Tabulka 1 GLM model prezenze druhů lišajovitých v ČR ve vztahu k prediktoru průměrných červnových hodnot NAO (<i>NAO-Jun</i>)	11
Tabulka 2 Variabilita prezenze zájmových druhů lišajovitých (Sphingidae) na území České republiky vysvětlená dílčími klimatickými parametry systému NAO	13
Tabulka 3 Sumární výsledek CCA Modelu I. popisujícího vztah mezi prezencí zájmových druhů lišajovitých (Sphingidae) v České republice a klimatickým parametrem <i>NAO-Jun</i>	13
Tabulka 4 GLM model prezenze druhů lišajovitých v ČR ve vztahu k prediktoru úhrnných květnových srážek v oblasti Tuniska (<i>TN-P-May</i>)	14
Tabulka 5 Variabilita prezenze zájmových druhů lišajovitých (Sphingidae) na území České republiky vysvětlená dílčími klimatickými parametry úhrnů srážek	14
Tabulka 6 Sumární výsledek CCA Modelu II. popisujícího vztah mezi prezencí zájmových druhů lišajovitých (Sphingidae) v České republice a klimatickým parametrem <i>TN-P-May</i>	16
Tabulka 7 Variabilita prezenze zájmových druhů lišajovitých (Sphingidae) na území České republiky vysvětlená dílčími klimatickými parametry průměrných teplot	18
Tabulka 8 Přehled nálezů zájmových druhů (<i>Daphnis nerii</i> , <i>Hyles livornica</i> , <i>Acherontia atropos</i> , <i>Agrius convolvuli</i> , <i>Hippotion celerio</i>) v České republice v letech 1957 až 2019	28
Tabulka 9 Geografické souřadnice vybraných oblastí Portugalska, Řecka, Tuniska a České republiky, jejichž klimatické údaje vstupovaly do analýz	30

Seznam obrázků

- Obr. 1 CCA Model I. znázorňující vzájemné pozice zájmových druhů lišajovitých s klimatickým parametrem *NAO-Jun* na I. a II. ordinační ose. Druhy jsou vyneseny jako modré trojúhelníky (*AA* = *Acherontia atropos*, *DN* = *Daphnis nerii*, *HL* = *Hyles livornica*), nezávislý environmentální faktor *NAO-Jun* jako červená šipka. 13
- Obr. 2 CCA Model II. znázorňující vzájemné pozice zájmových druhů lišajovitých s klimatickým parametrem *TN-P-May* na I. a II. ordinační ose. Druhy jsou vyneseny jako trojúhelníky (*AA* = *Acherontia atropos*, *DN* = *Daphnis nerii*, *HL* = *Hyles livornica*), nezávislý environmentální faktor *TN-P-May* jako červená šipka. 17

Seznam zkratek

AA – *Acherontia atropos*

AC – *Agrius convolvuli*

CCA – kanonická korespondenční analýza

ČR, CZ – Česká republika

DN – *Daphnis nerii*

dtb – databáze

env. – enviromentální

GR – Řecko

HC – *Hippotion celerio*

HL – *Hyles livornica*

MCPT – Monte Carlo permutační test

NAO – Severoatlantická oscilace (*North Atlantic Oscillation*)

PT – Portugalsko

TU – Tunisko

Poděkování

Za odborné vedení, cenné rady a poskytnutí podkladů pro zpracování této práce děkuji RNDr. Tomášovi Kurasovi, Ph.D., dále bych chtěla poděkovat Mgr. Martinu Bitomskému za pomoc při práci s R studiem. Velké poděkování patří také mé rodině za podporu a trpělivost po dobu celého studia i při psaní této práce.

V Olomouci 24. července 2020

Úvod

Obecnou vlastností organismů je jejich schopnost se šířit. Ačkoliv většina rostlin a sesilných živočichů je schopna se přemísťovat pouze v juvenilní fázi svého života (semena šířící se pasivně, pohyblivé larvy), jde o evolučně stabilní strategii, umožňující vyrovnat se např. s proměnlivostí prostředí či nerovnoměrnou distribucí zdrojů. Na rozdíl od rostlin, hub a přisedlých živočichů je většina fylogeneticky odvozenějších taxonů živočichů schopna různých typů přemísťování v prostředí po většinu života. Typů šíření je celá řada, od pravidelných diurnálních pohybů za účelem obstarávání potravy, přes vyhledání partnera v období rozmnožování až po méně častý pohyb jedinců na větší vzdálenosti (Van Dyck & Bagueette 2005). Předpokladem šíření živočichů na dlouhé vzdálenosti je např. únik z podmínek prostředí neslučitelných s úspěšným dokončením životního cyklu (Chapman & Reynolds 2012).

V obecné rovině existují dva typy rozptylování (šíření), tj. šíření v čase – přežívání nepříznivého období ve stavu redukováných životních funkcí (= dormance; Stenseth 1983) a šíření v prostoru. K přečkání nepříznivých období se evolučně vyvinul dvojí způsob adaptací: (a) snížení metabolismu (= kviescence), tj. přerušení vývoje v kterémkoli stádiu; (b) diapauza, ke které dochází během ontogeneticky evolučně fixovaného vývojového stádia (Denlinger 2009, Chapman & Reynolds 2012). Význam šíření v prostoru na velké vzdálenosti spočívá v tom, že umožňuje genetickou konektivitu, kolonizaci neobsazených stanovišť, rozšíření rozsahu napříč měnící se krajinou a udržení globální stálosti (Trakhtenbrot et al. 2005).

Jsou rozlišovány dva typy šíření organismů v prostoru – rozptylování (*dispersal*) a migrace (*migration*) jedinců (Dingle 1996). Chování v populaci může vést k pohybům jedinců od sebe, jedinci se rozptýlí (Begon, Harper, & Townsend 1990). Pojem ‚rozptylování‘ (*dispersal*) se používá ve smyslu opuštění místa narození za účelem rozmnožování na jiném místě a pro pohyby mezi místy, kde k rozmnožování došlo (Greenwood & Harvey 1982, Bullock et al. 2002). Funkcí rozptylování je opětovné přizpůsobení lokálním změnám kvality prostředí a vyhýbání se konkurenci (Gandon & Michalakis 2001). Toto šíření je nesměrované, jednocestné na kratší vzdálenosti, vzniklo přírodním výběrem za účelem změny místa v prostoru a může být aktivní i pasivní (Stenseth 1983).

V podstatě obdobnými mechanismy se vyvinuly migrace. Migracemi označujeme směrované pohyby jedinců. Adaptivní interpretace migračních přesunů jedinců se opírá opět o celou řadu působících faktorů, zahrnujících přesun z oblasti zhoršujících se podmínek prostředí do míst příznivějších (viz dostupnost potravy, úkrytu, sexuálních partnerů apod.; Kennedy 1985, Dingle 1996). Migracím jsou organismy přizpůsobeny celou řadou adaptací, od adaptací fyziologických, morfologických až po behaviorální, které jejich nositelům umožňují efektivnější přesun v prostoru nebo přesuny na větší vzdálenosti (Åkesson & Hedenström 2007, Ramenofsky & Wingfield 2007).

Kupříkladu v případě létajícího hmyzu těmito adaptacemi mohou být délka a tvar křídel, velikost thoraxu, který obsahuje křídelní svalovinu (Chai & Srygley 1990), tolerance změn klimatu (Wiens & Graham 2005) a šířka potravní niky u polyfágních druhů vyznačujících se potravní nevyhraněností (Quin et al. 1997).

K migraci na velkou vzdálenost dochází v rámci celé populace a jejím základním rysem je periodicita a návrat na původní místo (Tkadlec 2008). Migraci definuje Taylor (1986) jako čtyři různé spolu související způsoby pohybu: (1) perzistentní a nenarušený pohyb; (2) přemístění jedince, kdy toto přemístování trvá déle než jiné běžné denní pohyby; (3) sezónní hnutí populace mezi oblastmi se střídáním příznivých a nepříznivých podmínek (včetně jednoho regionu, kde dochází k rozmnožování); (4) pohyby vedoucí k přerozdělování jedinců v populaci expandující prostorem (Taylor 1986, Gatehouse 1987). Opakovaná migrace v době rozmnožování je typická pro hmyz. Posloupnost těchto jednosměrných pohybů může tvořit vícegenerační okružní cestu (*round trip*; Dingle 1996).

Schopností migrace se vyznačuje mnoho obratlovců, u nichž je migrace chápána ve smyslu směrovaného přesunu jedince za potravou. Jedinečnou skupinou jsou bezobratlí, u kterých se migrace na rozdíl od obratlovců definují nejednotně a mnohdy se ztotožňují s rozptylováním jedinců. Příkladně pro motýly (Lepidoptera) jsou typické jednocestné nebo dvoucestné migrace s návratem (Stenseth 1983). K těmto pohybům patří migrace na krátké vzdálenosti, migrace v altitudinálním gradientu a migrace v rámci svého areálu rozšíření (Sparks et al. 2005). Jednocestné migrace evropských druhů motýlů probíhají zpravidla v latitudinálním gradientu (zeměpisné šířky), přičemž se navracejí až jedinci z následující generace (Begon et al. 1996).

Významnou skupinou bezobratlých, jejichž zástupci jsou typickými reprezentanty migrujících druhů, jsou lišajovití, především zástupci podčeledi Sphinginae Latreille, 1802. V případě střední Evropy, resp. České republiky, mezi tyto druhy tradičně řadíme lišaje oleandrového (*Daphnis nerii*), lišaje vinného (*Hyles livornica*), lišaje smrtihlava (*Acherontia atropos*), lišaje svlačcového (*Agrius convolvuli*) a lišaje révového (*Hippotion celerio*; Pittaway 2017). Tyto druhy reprezentují robustní a rychlé letce, většinou s relativně krátkými křídly (Romoser & Stoffolano 1998). Všechny zmíněné druhy lišajů vykonávají lety na dlouhé vzdálenosti (Beerli et al. 2019) několik stovek až tisíců kilometrů (Beck, Kitching & Linsenmair 2006). Jak již bylo zmíněno, morfologické adaptace slouží k přínosnějšímu a také častějšímu přemísťování hmyzu a pro evropské lišaje jsou tyto adaptace spojeny s lepšími letovými schopnostmi při jejich šíření (Hill et al. 1997, Hanski et al. 2006). Housenky lišajů se živí různými druhy rostlin, přičemž mnohé druhy patří mezi potravní specialisty. Dospělí lišajové se živí nektarem, některé druhy mají zakrnělý sosák a potravu nepřijímají, mnoho druhů patří mezi významné opylovače, jiní mohou být zemědělskými škůdci (Karger et al. 2013). Indikují také kvalitu prostředí a kontinuitu původní vegetace (Janzen 1986, Kitching & Cadiou 2000). Motýli z čeledi lišajovitých jsou celosvětově rozšířeni, přítomni ve všech kontinentech s výjimkou Antarktidy, s počtem více než 1 500 druhů ve 206 rodech (Latreille 1802, Kitching 2018). Patří mezi několik málo taxonů tropického hmyzu s dostupností kvalitních údajů o jejich distribuci (Kitching & Cadiou 2000, Holloway, Kibby & Peggie 2001).

Přesto, že jsou druhy migrujících lišajů ve zvýšeném zájmu entomologů a lišajové jsou zmiňováni v mnohých studiích, chybí analýza příčin, proč se do střední Evropy šíří právě jedinci ze Středomoří. Různé zdroje uvádějí, že tzv. tažné druhy lišajovitých se ve střední Evropě objevují nepravidelně v ‚teplých letech‘ (Sparks et al. 2005, Macek et al. 2007), vlastní migrační spouštěč není znám. Lze proto předpokládat, že významnou roli, v souvislosti s prezencí druhů mimo jejich stálý areál rozšíření, budou mít klimatické faktory. Není ovšem zřejmé, které (a) klimatické charakteristiky podporují migraci jedinců, (b) zda je efekt klimatu na migraci regionálně podmíněn, a navíc není jasné, (c) zda druhy tzv. tažných lišajovitých skutečně migrují, nebo se jedná o šíření typu rozptylování. Pokud by se prokázal jistý vztah mezi konkrétními klimatickými charakteristikami a prezencí lišajů ve střední Evropě, byl by nepravidelný výskyt tažných lišajů objasněn.

Cíle práce

V rámci své bakalářské práce jsem se zaměřila na testování kauzálních vztahů mezi prezencí zájmových druhů tažných lišajovitých (tzn. *Daphnis nerii*, *Hyles livornica*, *Acherontia atropos*, *Agrius convolvuli* a *Hippotion celerio*) na území České republiky. Stanovila jsem si následující okruhy pracovních hypotéz (I.–III.):

- I. testovat závislost prezence uvedených druhů lišajovitých na území ČR ve vztahu k chodu klimatického systému NAO (*North Atlantic Oscillation*),
- II. testovat závislost prezence uvedených druhů lišajovitých na území ČR ve vztahu k regionálně odlišnému chodu srážek v různých částech areálu výskytu zájmových druhů,
- III. testovat závislost prezence uvedených druhů lišajovitých na území ČR ve vztahu k regionálně odlišnému chodu teplot v různých částech areálu výskytu zájmových druhů,
- pokusit se odpovědět na otázku, proč zájmové druhy zalétají do střední Evropy a specifikovat o jaký typ šíření se jedná.

Materiál a metody

Zájmové druhy lišajovitých

Níže uvádím charakteristiku zájmových druhů lišajovitých, které jsem použila pro testování vztahu ke klimatickým veličinám. Jedná se výhradně o druhy, které jsou v České republice považované za „migrující“ (Macek et al. 2007). V rámci popisu uvádím zejména informace o rozšíření, biologii a ekologii daného druhu.

Lišaj oleandrový, *Daphnis nerii* (Linnaeus, 1758)

Obývá oblast jižního Středomoří, severní Afriku a Střední východ, například Afghánistán. Dále se vyskytuje v Přední a Zadní Indii, na Havajských ostrovech, Filipínách, stálé populace jsou v Sicílii, Kypru a Krétě. Dočasné populace vznikají v jižní části Řecka a jižní Itálii. Vzácně zalétává na sever Evropy (Irsko, Švédsko, Anglie, Shetlandy; Landman 2013).

Druh s vazbou na suchá koryta řek, oáz a teplé stráně s řídké rozptýlenými oleandrovými keři. Lokalitám s hustým porostem oleandru se vyhýbá (Macek et al. 2007, Pittaway 2017).

Živnými rostlinami housenek jsou *Nerium oleander* (v Evropě jednoznačně preferován) a dále zástupci rostlin rodů – *Vitis*, *Vinca*, *Gardenia*, *Asclepias*, *Jasminum*, *Trachelospermum*, *Amsonia*, *Carissa*, *Mangifera*, *Tabernaemontana*, *Rhazya*, *Adenium*, *Catharanthus*, *Ipomoea*, *Thevetia* (Iltschev 1919, Heinig 1976, Koch & Heinig 1976).

Ve své domovské oblasti se vyskytuje od května do září ve čtyřech až pěti generacích, které se často překrývají. V jižní Evropě jsou patrné dvě generace rozptylujících se jedinců, a to během června a srpna, kdy někteří z nich zalétávají až do střední a severní Evropy (Lederer 1944, Pittaway 2017).

Lišaj vinný, *Hyles livornica* (Esper, 1780)

Vyskytuje se v Africe a subtropickém pásmu Palearktické oblasti, v Evropě jsou stálé populace ve Středomoří (Landman 2013).

Osídluje vyprahlé svahy a písčité duny nebo vinice (Pittaway 2017). V oblasti euareálu se housenky vyskytují od února do října, někdy ve stovkách tisíců jedinců v polopouštích po zimě s vydatnými dešti; dále na severu od června do září (Pittaway 2017).

K živným rostlinám housenek patří rody – *Fuchsia*, *Galium*, *Antirrhinum*, *Plantago*, *Eremurus*, *Boerhavia*, *Asparagus*, *Linaria*, *Cicer*, *Fagopyrum* (Durand 1931), *Asphodel*, *Euphorbia* (Macek et al. 2007), *Vitis*, *Parthenocissus*, *Acacia* (Durand 1931), *Gossypium* (Benlloch 1931). Dalšími živnými rostlinami jsou *Zygophyllum fabago*, *Emex spinosus* (Durand 1931).

V euareálu se vyskytuje od konce února do října. Ve Středomoří a v našich zeměpisných šířkách jsou od konce května do října zaznamenávání táhnoucí jedinci a jejich potomci, kteří však nepřežijí silné mrazy (Landman 2013).

Lišaj smrtihlav, *Acherontia atropos* (Linnaeus, 1758)

Druh s afrotropickým areálem rozšíření. Euareál lišaje zahrnuje oblast severně do Středomoří, na východ až do Zakavkazska a severního Íránu (Bienert 1870, Sutton 1963), jižně na Kypr (Lewandowski & Fisher 2002), do Turecka (Daniel 1932, de Freina 1979), Saudské Arábie (Wiltshire 1986) a Kuvajtu (Pittaway 1993). Trvale se nachází se také na Kanárských ostrovech, Madeiře (Martin, Barnett & Emms 2000), Azorech (Meyer 1991) a v celé Evropě jako migrant, včetně Islandu (Wolff 1971).

U nás vyhledává obdělávané plochy s bramborami, otevřené křoviny a pastviny, preferuje rostliny na slunných sušších stanovištích. Příležitostně bývá nalézán v úlech. Zimu přečkává na jihu jako housenka či kukla v zemi, naše podmínky housenky přežijí pouze při mírnějších mrazech (Macek et al. 2007, Pittaway 2017).

Potravou housenek jsou rostliny z čeledi *Solanaceae* (*Solanum tuberosum*, *Hyoscyamus niger*, *Atropa bella-donna*, *Lycium barbarum*, *Datura stramonium*, *Nicotiana tabacum*); *Verbenaceae* (*Vitex agnus-castus*); *Oleaceae* (*Jasminum*, *Ligustrum*, *Olea*; Landman 2013). Mezi živné rostliny se dále řadí *Beta vulgaris*, *Nerium oleander*, *Tecomaria capensis*, *Pyrus communis*, *Cannabis sativa*, rody *Sambucus*, *Buddleia* (Pittaway 2017).

Jedince z letní generace lze v našich podmínkách nalézt v květnu až červnu, hojněji pak během srpna až září, výjimečně i v únoru a říjnu. Ve střední a severní Evropě v některých ročních obdobích dochází k výrazným invazím. Pokud se dospělci pozdně letní včas nevydají na jih, vlivem nízkých zimních teplot hynou (Macek et al. 2007).

Lišaj svlačcový, *Agrius convolvuli* (Linnaeus, 1758)

Kosmopolitní výskyt mimo subarktickou oblast. Stálé populace jsou ve Středomoří, odtud proniká na sever až do Skandinávie, na Island, Faerské ostrovy. Do ČR pravidelně migruje z jižní Evropy (Macek et al. 2007).

Vyhýbá se hustému lesu. Mimo stálý areál výskytu přitahován zejména bramborovými poli, květinovými záhony a živými ploty. Housenky se ve své domovské oblasti vyskytují od dubna do listopadu; dál na severu během července až září. Druh je citlivější na chlad, proto středoevropské zimy přežívá méně kukel (Pittaway 2017).

Housenky se živí rostlinami z čeledi *Convolvulaceae* (rod *Convolvulus*, *Calystegia*, *Ipomoea*); zástupci rostlin rodů *Phaseolus*, *Chrysanthemum*, *Helianthus*, *Rumex*, *Zygophyllum* (Pittaway 2017).

Ve Středomoří se vyskytuje od dubna do října, až ve čtyřech generacích. Od června do srpna proniká dále na sever, v teplých letech v hojném počtu, a během srpna a září se vyvíjí podzimní generace migrující na jih (Alkemeier & Gatter 1990).

Lišaj révový, *Hippotion celerio* (Linnaeus, 1758)

Rozšířen z tropické Afriky, Asie, Austrálie a Indie (Pathania, Sunita Sharma & Gill 2014) do západní palearktické oblasti. Vyskytuje se také na Kanárských ostrovech, Azorách, v Maroku, Levantě, na Arabském poloostrově a v Egyptě (Badr et al. 1985). Příležitostně zalétává na sever Nového Zélandu. V Saúdské Arábii se vyskytuje celoročně (Pittaway 1979).

Dospělci neprokazují stanovištní preference, vyskytují se v místech s hojnými záhony vinné révy (*Vitis vinifera*; Pittaway 2017).

Živnými rostlinami jsou *Vitis vinifera* (Bodenheimer 1926) a zástupci rostlin rodů *Galium*, *Parthenocissus*, *Fuchsia*, *Epilobium*, *Arum*, *Beta*, *Convolvulus*, *Impatiens*, *Rumex*, *Scrophularia*, *Mirabilis*, *Verbascum*, *Syringa*, *Begonia*, *Cissus*, *Zantedeschia*, *Caladium* (Pittaway 2017).

V oblasti euareálu má až pět generací za rok. Ve Středomoří jsou mezi červnem a říjnem běžné dvě až tři generace, imaga migrují dále na sever, kde je lze nalézt během srpna, září a října. V jižní Evropě se nejčastěji vyskytují od července do září. Během teplejšího jarního období se na jihu Španělska jedinci objevují již začátkem února (Pittaway 2017).

Druhov^á data

Pracovala jsem s Databází mapování motýlů České republiky (Entomologický ústav, Biologické centrum Akademie věd ČR). V databázi jsou evidovány všechny známé nálezy zájmových druhů motýlů, a to s retrospekci od r. 1865 do současnosti. Databáze (dtb) implementuje publikované nálezy, záznamy z veřejných (muzejních, univerzitních) a dostupných soukromých sbírek. Dále jsou do dtb zahrnuty pravidelná hlášení entomologů o výskytu motýlů z celé ČR.

Informace uvedené v dtb jsem upravila pro potřeby testování následovně. Zpracovala jsem základní datovou tabulku s přehledem nálezů pro období 1957 až 2019 (viz Příloha A, Tab. 8). Data o výskytu zájmových druhů lišajů v jednotlivých letech vstupovala do analýz jako závislé proměnné ve formátu 1/0 (= prezenze / absence výskytu). Do analýz vstupovaly druhy s dostatečnou variabilitou prezenze výskytu v ČR při meziročním srovnání.

Klimatická data

K testování vztahu přítomnosti zájmových druhů lišajů na území střední Evropy a proměnných klimatu jsem použila data popisující chod teplot (°C) a srážek (mm) v místě předpokládaného vývoje preimaginálních stádií motýlů, tedy z území (a) Portugalska (PT), (b) Řecka (GR) a (c) Tuniska (TN). Tytéž klimatické parametry byly testovány také pro (d) Českou republiku (CZ), tedy oblast evidence imág lišajů.

Pro každou zemi jsem vybrala reprezentativní oblast o rozměru $\pm 81 \text{ km} \times 110 \text{ km}$. Lokace míst odkud pocházejí informace o klimatu podává jsou uvedeny v Příloze B, Tab. 9. Data o průměrných teplotách a úhrnech srážek, a to v jednotlivých (a) měsících, (b) tříměsíčních, (c) zimních (prosinec až březen) a (d) ročních intervalech, za období let 1957 až 2019 pro výše zmíněná území, jsem čerpala z online databáze NOAA ESRL Physical Sciences Division (PSD). Pro získání klimatických dat jsem použila RNCEP

package v programu R. Tyto klimatické veličiny vstupovaly do testování jako nezávislé proměnné.

Dalším testovaným souborným klimatickým parametrem k prezenci zájmových druhů lišajovitých byl Hurrellův station-based NAO index.

K analýze jsem použila (a) průměrné roční hodnoty NAO indexu, (b) průměrné měsíční hodnoty NAO indexu (c) tzv. zimní NAO index (za období prosinec až březen) a (d) hodnoty tzv. sezónního NAO indexu, které jsou počítány jako průměrné hodnoty pro 3 po sobě následující měsíce v daném roce (Hurrell 2019).

Analýza a úprava dat

Vstupní datová matice pro testování je charakteru mnohorozměrných dat. Pro analýzu těchto dat jsem proto použila statistický program CANOCO 5 (Šmilauer & Lepš 2014). Jako závislá (druhová) data v analýzách vystupovaly prezence zájmových druhů lišajů v jednotlivých letech (1957 až 2019). Z původního počtu 5 druhů vstupovaly do analýz pouze tyto 3 druhy: *Daphnis nerii*, *Hyles livornica* a *Acherontia atropos*.

Druhy *Agrius convolvuli* a *Hippotion celerio* byly z analýz pro nízkou variabilitu vyloučeny (*A. convolvuli* byl nalezen ve všech letech, naopak *H. celerio* byl nalezen pouze v roce jediném).

Pro testování vztahů mezi proměnnými byla použita kanonická korespondenční analýza (CCA). Jako nezávislá (environmentální) data vstupovaly do modelů příslušné klimatické parametry. V rámci testování dat byly vytvořeny 2 (3) ordinační modely: (i) Model I. – zahrnující jako env. klimatická data systému NAO, (ii) Model II. zahrnující jako env. klimatická data úhrnů srážek, a to souborně pro všechny geografické oblasti (viz CZ, GR, TN, PT). Analogický Modelu II. byl konstruován také Model III., do kterého vstupovaly jako nezávislé proměnné průměrné teploty.

Vstupní datové matice, ze kterých byly konstruovány Modely I.–III. byly dále upraveny následovně.

Model I. – jako nezávislé proměnné vstupovaly do modelu různě kumulované hodnoty klimatického indexu NAO pro daný rok. Úhrnem se jednalo o 26 proměnných. Do výsledného CCA Modelu I. byl zahrnut, po předchozím testování, jediný vysvětlující parametr dílčích hodnot NAO, tj. *NAO-Jun*.

Model II. – zahrnuje jako nezávislé proměnné různě kumulované úhrny srážek v daném roce, a to pro 4 geograficky odlišné oblasti (CZ, GR, TN, PT). Úhrnem se jednalo o 104 (4×26) proměnných. Do výsledného CCA Modelu II. byl zahrnut, po předchozím testování, jediný vysvětlující parametr dílčích hodnot popisující srážky, tj. *TN-P-May*.

Model III. – analogický Modelu II., Model III. zahrnuje jako nezávislé proměnné různé průměrné teploty v daném roce. Úhrnem se jednalo o 104 (4×26) proměnných. Protože žádná z testovaných proměnných teplot nevykazovala průkazný vliv, Model III. nebyl dále konstruován.

Výsledky

V rámci vyhodnocení postulovaných pracovních hypotéz I.–III. jsem se věnovala vyhodnocení klimatických veličin ve vztahu k prezenci zájmových druhů lišajovitých na území České republiky. Klimatické veličiny jsem testovala ve třech krocích, tj. vliv systému NAO, vliv chodu srážek a vliv teplot na prezenci zájmových druhů lišajovitých v ČR.

Nejprve jsem se zaměřila na význam komplexního klimatického systému NAO na prezenci zájmových druhů lišajovitých, tj. *Daphnis nerii*, *Hyles livornica*, *Acherontia atropos* na území České republiky. V prvním kroku testování jsem hodnotila vztah variability prezence zájmových druhů lišajovitých a jednotlivých klimatických parametrů systému NAO.

Variabilitu prezence zájmových druhů lišajovitých vysvětlenou dílčím testováním jednotlivých parametrů NAO uvádí Tab. 2. Z tabulky je patrné, že jediným parametrem NAO vysvětlující variabilitu v druhových datech je parametr *NAO-Jun*, tedy průměrná hodnota indexu NAO červnového měsíce.

CCA Model I. popisuje vztah mezi zájmovými druhy lišajovitých a nezávislé proměnné (*NAO-Jun*). Model I. je průkazný (MCPT všech os: pseudo-F = 5,6; P < 0,01) a vysvětluje 9 % variability v druhových datech (= 7,4 % vážené variability), viz Tab. 3. Grafické vyjádření Modelu I. podává Obr. 1. Průkazně největší váhu v Modelu I. Má druh *Hyles livornica*, význam dalších druhů je zanedbatelný (viz Tab. 1)

Tabulka 1 GLM model prezence druhů lišajovitých v ČR ve vztahu k prediktoru průměrných červnových hodnot NAO (*NAO-Jun*)

Druh	R ² [%]	F	P
<i>Daphnis nerii</i>	5,8	2,3	0,14
<i>Hyles livornica</i>	11,0	4,7	0,03
<i>Acherontia atropos</i>	0,4	0,05	0,82

GLM model, Poissonova distribuce, log link funkce.

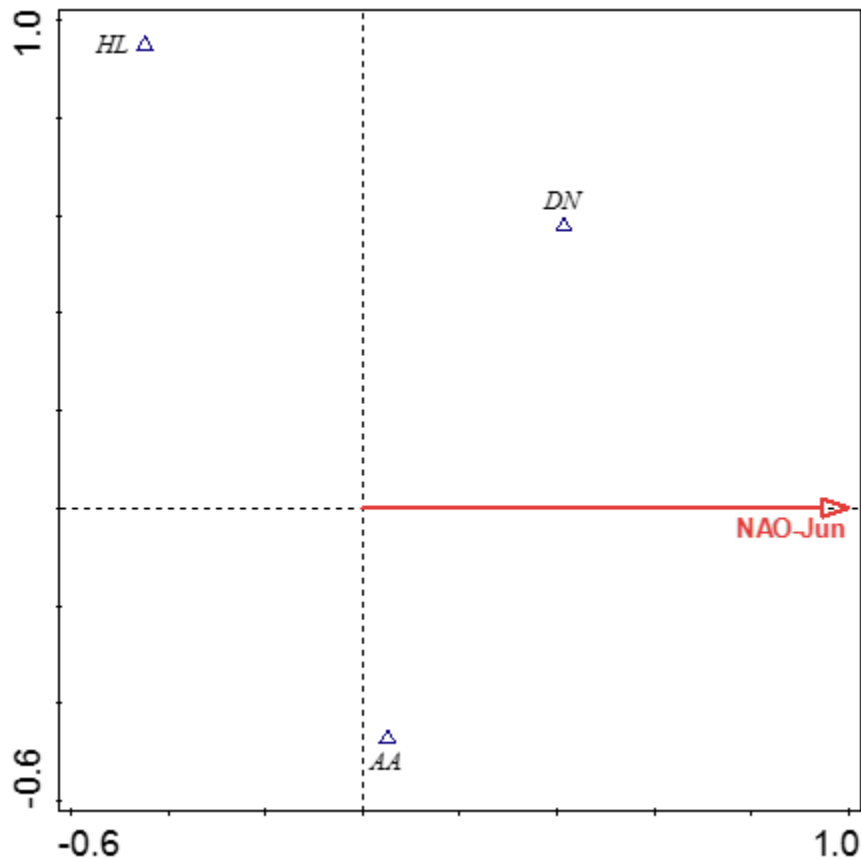
Tabulka 2 Variabilita prezence zájmových druhů lišajovitých (Sphingidae) na území České republiky vysvětlená dílčími klimatickými parametry systému NAO

NAO index v období	Vysvětlená variabilita [%]	pseudo-F	P	P(adj)
<i>NAO-Jun</i>	9,00	5,60	0,0036	0,09358
<i>NAO-Mar</i>	4,60	2,80	0,06699	0,43879
<i>NAO-Nov</i>	4,40	2,60	0,07558	0,43879
<i>NAO-AMJ</i>	4,30	2,50	0,08078	0,43879
<i>NAO-JAS</i>	4,10	2,50	0,08438	0,43879
<i>NAO-Annual</i>	3,50	2,10	0,12458	0,50625
<i>NAO-MAM</i>	3,40	2,00	0,13677	0,50625
<i>NAO-Sep</i>	3,10	1,80	0,15577	0,50625
<i>NAO-MJJ</i>	2,90	1,70	0,18156	0,52452
<i>NAO-Feb</i>	2,20	1,30	0,26835	0,61592
<i>NAO-FMA</i>	2,00	1,20	0,31194	0,61592
<i>NAO-OND</i>	1,90	1,10	0,31834	0,61592
<i>NAO-Jul</i>	1,90	1,10	0,33853	0,61592
<i>NAO-ASO</i>	1,80	1,00	0,36753	0,61592
<i>NAO-JJA</i>	1,70	1,00	0,37153	0,61592
<i>NAO-SON</i>	1,60	0,90	0,40272	0,61592
<i>NAO-JFM</i>	1,60	0,90	0,40152	0,61592
<i>NAO-NDJ</i>	1,30	0,80	0,46911	0,62777
<i>NAO-DJF</i>	1,30	0,80	0,45731	0,62777
<i>NAO-Dec</i>	1,30	0,70	0,48290	0,62777
<i>NAO-Oct</i>	1,10	0,60	0,52949	0,65556
<i>NAO-Aug</i>	1,00	0,60	0,56229	0,66452
<i>NAO-DJFM</i>	0,90	0,50	0,60428	0,66503
<i>NAO-Jan</i>	0,80	0,50	0,61388	0,66503
<i>NAO-May</i>	0,60	0,30	0,73225	0,74325
<i>NAO-Apr</i>	0,50	0,30	0,74325	0,74325

Pozn.: Jednotlivé proměnné klimatického systému NAO byly testovány vždy vůči celkové variabilitě v druhových datech (*Simple Term Effects*).

Tabulka 3 Sumární výsledek CCA Modelu I. popisujícího vztah mezi prezencí zájmových druhů lišajovitých (Sphingidae) v České republice a klimatickým parametrem *NAO-Jun*

Statistika	Osa 1	Osa 2	Osa 3	Osa 4
Vlastní hodnoty	0,0828	0,4474	0,3922	
Vysvětlená variace (kumulativní)	8,97	57,48	100	
Pseudo-kanonická korelace	0,4133	0,00	0,00	
Explained fitted variace (kumulativní)				100



Obr. 1 CCA Model I. znázorňující vzájemné pozice zájmových druhů lišajovitých s klimatickým parametrem *NAO-Jun* na I. a II. ordinační ose. Druhy jsou vyneseny jako modré trojúhelníky (*AA* = *Acherontia atropos*, *DN* = *Daphnis nerii*, *HL* = *Hyles livornica*), nezávislý environmentální faktor *NAO-Jun* jako červená šipka.

Druhým krokem testování bylo vyhodnocení vztahu variability prevalence zájmových druhů lišajovitých a jednotlivých parametrů úhrnů srážek v daném roce, a to pro 4 geograficky odlišné oblasti (CZ, GR, TN, PT).

Variabilitu prevalence zájmových druhů lišajovitých vysvětlenou dílčím testováním jednotlivých parametrů úhrnů srážek podává Tab. 5. Z tabulky je patrné, že jediným parametrem úhrnů srážek vysvětlující variabilitu v druhových datech je parametr *TN-P-May*, tedy úhrn srážek za měsíc květen v oblasti Tuniska.

Výsledný CCA Model II. popisuje vztah mezi zájmovými druhy lišajovitých a nezávislé proměnné (*TN-P-May*). Model II. je průkazný (MCPT všech os: pseudo-F = 7,1; $P < 0,01$) a vysvětluje 11 % variability v druhových datech (= 9,4 % vážené variability), viz Tab. 6. Grafické vyjádření Modelu II. uvádí Obr. 2.

Průkazně největší váhu v Modelu II. má druh *Daphnis nerii*, význam dalších druhů je zanedbatelný (viz. Tab. 4)

Tabulka 4 GLM model prevalence druhů lišajovitých v ČR ve vztahu k prediktoru úhrnných květnových srážek v oblasti Tuniska (TN-P-May)

Druh	R ² [%]	F	P
<i>Daphnis nerii</i>	14,8	5,9	0,02
<i>Hyles livornica</i>	1,2	0,515	0,52
<i>Acherontia atropos</i>	0,3	0,018	0,90

GLM model, Poissonova distribuce, log link funkce.

Tabulka 5 Variabilita prevalence zájmových druhů lišajovitých (Sphingidae) na území České republiky vysvětlená dílčími klimatickými parametry úhrnů srážek

Srážky v období	Vysvětlená variabilita [%]	pseudo-F	P	P(adj)
<i>TN-P-May</i>	10,9	7,1	0,0004	0,04159
<i>TN-P-OND</i>	7,9	4,9	0,0070	0,27629
<i>TN-P-AMJ</i>	7,0	4,4	0,0142	0,27629
<i>PRT-P-Feb</i>	6,7	4,2	0,0150	0,27629
<i>TN-P-MAM</i>	6,6	4,1	0,0170	0,27629
<i>CZ-P-Jun</i>	6,5	4,1	0,0174	0,27629
<i>TN-P-Annual</i>	6,3	3,9	0,0186	0,27629
<i>TN-P-NDJ</i>	5,6	3,4	0,03219	0,39512
<i>CZ-P-MAM</i>	5,4	3,3	0,03679	0,39512
<i>TN-P-SON</i>	5,3	3,2	0,03899	0,39512
<i>TN-P-Dec</i>	5,2	3,2	0,04319	0,39512
<i>TN-P-Sep</i>	5,0	3,1	0,04559	0,39512
<i>TN-P-Nov</i>	5,0	3,0	0,05219	0,39651
<i>TN-P-MJJ</i>	4,9	3,0	0,05479	0,39651
<i>CZ-P-Apr</i>	4,7	2,9	0,05719	0,39651
<i>TN-P-Feb</i>	4,5	2,7	0,06919	0,44971
<i>CZ-P-MJJ</i>	4,1	2,4	0,08258	0,48925
<i>GR-P-OND</i>	4,0	2,4	0,08938	0,48925
<i>GR-P-Jun</i>	4,0	2,4	0,08878	0,48925
<i>TN-P-DJF</i>	3,9	2,3	0,10078	0,50306
<i>TN-P-ASO</i>	3,7	2,2	0,10158	0,50306
<i>TN-P-FMA</i>	3,6	2,2	0,11118	0,52073
<i>GR-P-MJJ</i>	3,6	2,2	0,11678	0,52073
<i>TN-P-DJFM</i>	3,6	2,1	0,12517	0,52073
<i>CZ-P-FMA</i>	3,5	2,1	0,12338	0,52073
<i>TN-P-JAS</i>	3,5	2,1	0,13057	0,52230
<i>GR-P-Oct</i>	3,3	2,0	0,14337	0,55225
<i>PRT-P-Oct</i>	3,2	1,9	0,15417	0,56866
<i>PRT-P-Jun</i>	3,2	1,9	0,15857	0,56866
<i>GR-P-Dec</i>	2,9	1,7	0,17776	0,61496
<i>PRT-P-SON</i>	2,9	1,7	0,18656	0,61496
<i>GR-P-Feb</i>	2,7	1,6	0,19876	0,61496

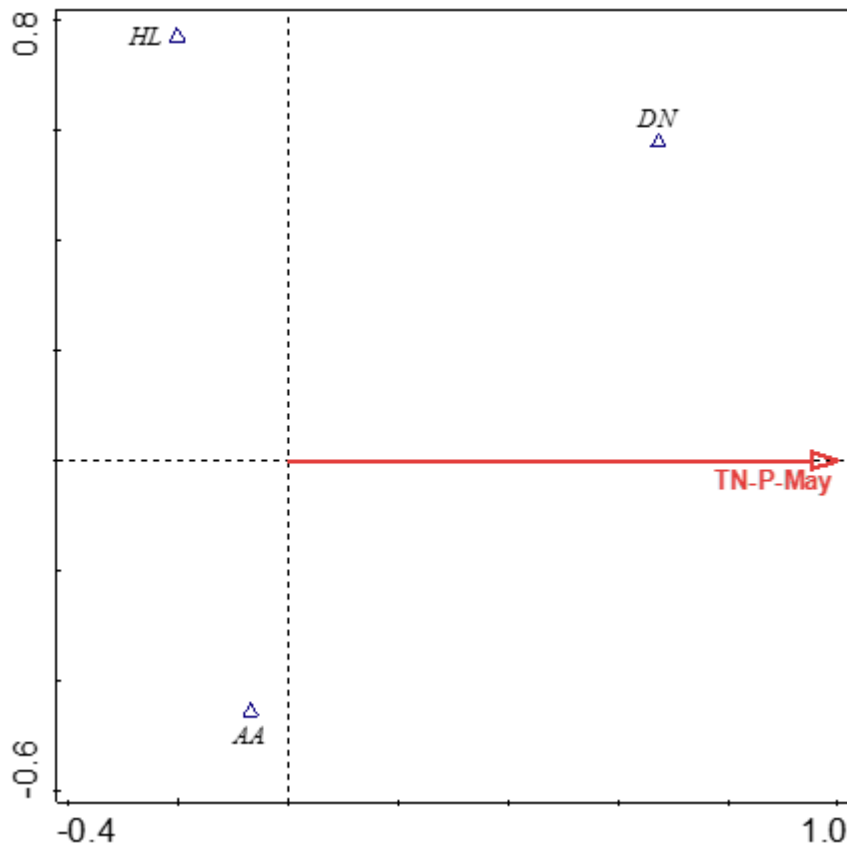
Srážky v období	Vysvětlená variabilita [%]	pseudo-F	P	P(adj)
<i>CZ-P-JJA</i>	2,7	1,6	0,20316	0,61496
<i>GR-P-May</i>	2,7	1,6	0,20436	0,61496
<i>CZ-P-May</i>	2,7	1,6	0,20696	0,61496
<i>PRT-P-AMJ</i>	2,5	1,5	0,22056	0,63716
<i>GR-P-NDJ</i>	2,3	1,4	0,24995	0,67386
<i>PRT-P-ASO</i>	2,3	1,4	0,26475	0,67386
<i>TN-P-JJA</i>	2,3	1,3	0,26455	0,67386
<i>TN-P-Jun</i>	2,3	1,3	0,26215	0,67386
<i>TN-P-Apr</i>	2,2	1,3	0,26635	0,67386
<i>PRT-P-FMA</i>	2,1	1,3	0,27974	0,67386
<i>GR-P-JFM</i>	2,0	1,2	0,30774	0,67386
<i>GR-P-ASO</i>	2,0	1,2	0,31134	0,67386
<i>GR-P-Nov</i>	2,0	1,2	0,30814	0,67386
<i>GR-P-SON</i>	1,9	1,1	0,31234	0,67386
<i>CZ-P-JFM</i>	1,9	1,1	0,31174	0,67386
<i>TN-P-Aug</i>	1,9	1,1	0,32513	0,67386
<i>PRT-P-OND</i>	1,9	1,1	0,33153	0,67386
<i>GR-P-AMJ</i>	1,8	1,1	0,33613	0,67386
<i>CZ-P-Mar</i>	1,8	1,0	0,36733	0,67386
<i>TN-P-JFM</i>	1,7	1,0	0,34833	0,67386
<i>GR-P-Jul</i>	1,7	1,0	0,35693	0,67386
<i>CZ-P-Jul</i>	1,7	1,0	0,36153	0,67386
<i>TN-P-Oct</i>	1,7	1,0	0,35673	0,67386
<i>PRT-P-JFM</i>	1,7	1,0	0,36753	0,67386
<i>PRT-P-MAM</i>	1,7	1,0	0,36933	0,67386
<i>GR-P-FMA</i>	1,6	0,9	0,39092	0,69991
<i>GR-P-JJA</i>	1,6	0,9	0,40552	0,69991
<i>CZ-P-Sep</i>	1,5	0,9	0,41132	0,69991
<i>CZ-P-AMJ</i>	1,5	0,9	0,42751	0,69991
<i>PRT-P-May</i>	1,5	0,9	0,43071	0,69991
<i>GR-P-MAM</i>	1,5	0,9	0,42192	0,69991
<i>GR-P-Apr</i>	1,4	0,8	0,42052	0,69991
<i>PRT-P-DJF</i>	1,3	0,8	0,46151	0,73841
<i>PRT-P-Aug</i>	1,2	0,7	0,49570	0,74714
<i>PRT-P-MJJ</i>	1,2	0,7	0,49050	0,74714
<i>CZ-P-Jan</i>	1,2	0,7	0,47810	0,74714
<i>PRT-P-Sep</i>	1,2	0,7	0,48990	0,74714
<i>GR-P-DJF</i>	1,1	0,6	0,52529	0,77161
<i>CZ-P-JAS</i>	1,1	0,6	0,53509	0,77161
<i>CZ-P-DJFM</i>	1,1	0,6	0,53349	0,77161
<i>PRT-P-DJFM</i>	1,1	0,6	0,55069	0,77161
<i>TN-P-Jul</i>	1,0	0,6	0,56489	0,77161
<i>GR-P-Annual</i>	1,0	0,6	0,56829	0,77161
<i>GR-P-Aug</i>	1,0	0,6	0,56849	0,77161
<i>GR-P-DJFM</i>	1,0	0,6	0,57129	0,77161
<i>PRT-P-Annual</i>	0,9	0,5	0,58728	0,77313
<i>CZ-P-Annual</i>	0,9	0,5	0,58568	0,77313
<i>CZ-P-ASO</i>	0,8	0,5	0,60288	0,78374
<i>PRT-P-Mar</i>	0,8	0,4	0,64587	0,82375
<i>CZ-P-Oct</i>	0,7	0,4	0,66147	0,82375
<i>CZ-P-SON</i>	0,7	0,4	0,68106	0,82375

Srážky v období	Vysvětlená variabilita [%]	pseudo-F	P	P(adj)
<i>PRT-P-Jul</i>	0,6	0,4	0,68786	0,82375
<i>PRT-P-JJA</i>	0,6	0,4	0,68406	0,82375
<i>PRT-P-Nov</i>	0,6	0,4	0,68986	0,82375
<i>PRT-P-JAS</i>	0,6	0,4	0,69786	0,82375
<i>GR-P-Jan</i>	0,6	0,3	0,70546	0,82375
<i>TN-P-Mar</i>	0,6	0,3	0,70946	0,82375
<i>PRT-P-Jan</i>	0,6	0,3	0,71286	0,82375
<i>CZ-P-DJF</i>	0,4	0,3	0,77425	0,88485
<i>PRT-P-Apr</i>	0,4	0,2	0,79164	0,89490
<i>CZ-P-Dec</i>	0,4	0,2	0,81964	0,90683
<i>GR-P-Sep</i>	0,3	0,2	0,81284	0,90683
<i>PRT-P-Dec</i>	0,3	0,2	0,84483	0,92152
<i>CZ-P-Nov</i>	0,3	0,2	0,85063	0,92152
<i>GR-P-JAS</i>	0,2	0,1	0,86663	0,92917
<i>CZ-P-Feb</i>	0,2	0,1	0,88822	0,94260
<i>GR-P-Mar</i>	0,1	<0,1	0,91762	0,96396
<i>TN-P-Jan</i>	0,1	<0,1	0,93721	0,97470
<i>CZ-P-OND</i>	<0,1	<0,1	0,95361	0,97680
<i>CZ-P-Aug</i>	<0,1	<0,1	0,96041	0,97680
<i>PRT-P-NDJ</i>	<0,1	<0,1	0,96741	0,97680
<i>CZ-P-NDJ</i>	<0,1	<0,1	0,98420	0,98420

Pozn.: Jednotlivé proměnné klimatického parametru úhrnů srážek byly testovány vždy vůči celkové variabilitě v druhových datech (*Simple Term Effects*).

Tabulka 6 Sumární výsledek CCA Modelu II. popisujícího vztah mezi prezencí zájmových druhů lišajovitých (*Sphingidae*) v České republice a klimatickým parametrem *TN-P-May*

Statistika	Osa 1	Osa 2	Osa 3	Osa 4
Vlastní hodnoty	0,0762	0,3245	0,2978	
Vysvětlená variace (kumulativní)	10,90	57,36	100	
Pseudo-kanonická korelace	0,4506	0,00	0,00	
Explained fitted variace (kumulativní)				100



Obr. 2 CCA Model II. znázorňující vzájemné pozice zájmových druhů lišajovitých s klimatickým parametrem *TN-P-May* na I. a II. ordinační ose. Druhy jsou vyneseny jako trojúhelníky (*AA* = *Acherontia atropos*, *DN* = *Daphnis nerii*, *HL* = *Hyles livornica*), nezávislý environmentální faktor *TN-P-May* jako červená šipka.

V posledním kroku testování jsem hodnotila vztah variability prevalence zájmových druhů lišajovitých a jednotlivých parametrů průměrných teplot v daném roce, a to pro 4 geograficky odlišné oblasti (CZ, GR, TN, PT).

Variabilitu prevalence zájmových druhů lišajovitých v ČR vysvětlenou dílčím testováním jednotlivých parametrů průměrných teplot v daném roce podává Tab. 5.

Z tabulky je patrné, že žádná z testovaných proměnných teplot nevykazovala průkazný vliv. Následná konstrukce ordinačního modelu pro teploty proto nebyla realizována.

Tabulka 7 Variabilita prezenze zájmových druhů lišajovitých (Sphingidae) na území České republiky vysvětlená dílčími klimatickými parametry průměrných teplot

Teplota v období	Vysvětlená variabilita [%]	pseudo- F	P	P(adj)
<i>PRT-T-Oct</i>	7,21	4,5	0,01280	0,63081
<i>GR-T-Jul</i>	6,80	4,2	0,01420	0,63081
<i>GR-T-JJA</i>	6,43	4,0	0,01820	0,63081
<i>GR-T-Jun</i>	5,27	3,2	0,04559	0,89473
<i>PRT-T-OND</i>	4,96	3,0	0,04739	0,89473
<i>PRT-T-SON</i>	4,75	2,9	0,05259	0,89473
<i>CZ-T-Aug</i>	4,00	2,4	0,08698	0,89473
<i>GR-T-MJJ</i>	3,74	2,3	0,10478	0,89473
<i>GR-T-JAS</i>	3,64	2,2	0,10938	0,89473
<i>PRT-T-Sep</i>	3,64	2,2	0,11198	0,89473
<i>GR-T-Apr</i>	3,59	2,2	0,11778	0,89473
<i>PRT-T-Jul</i>	3,56	2,1	0,11618	0,89473
<i>GR-T-Aug</i>	3,54	2,1	0,12258	0,89473
<i>TN-T-Sep</i>	3,37	2,0	0,14277	0,89473
<i>GR-T-ASO</i>	3,33	2,0	0,14217	0,89473
<i>TN-T-Jun</i>	3,22	1,9	0,14617	0,89473
<i>PRT-T-MAM</i>	3,07	1,8	0,15477	0,89473
<i>TN-T-Feb</i>	3,06	1,8	0,16777	0,89473

Pozn.: Jednotlivé proměnné průměrných teplot byly testovány vždy vůči celkové variabilitě v druhových datech (*Simple Term Effects*). Uvedeny jsou pouze hodnoty s vysvětlovanou variabilitou > 3 %.

Diskuse

Studovala jsem vztahy mezi prezencí tzv. tažných druhů lišajovitých, tj. *Daphnis nerii*, *Hyles livornica*, *Acherontia atropos*, *Agrius convolvuli* a *Hippotion celerio*, na území České republiky a klimatickými parametry prostředí. Mezi studované klimatické parametry prostředí jsem zahrнула: komplexní klimatický parametr NAO, úhrny srážek a průměrné teploty. Přítomnost testovaných druhů v ČR determinoval červnový parametr NAO a průměrné hodnoty květnových srážek v oblasti severní Afriky. Z výsledků je zřejmé, že každý ze studovaných druhů lišajovitých reaguje na klimatické parametry specificky. Podrobnější zdůvodnění výsledků testování dále argumentuji pro jednotlivé druhy.

Lišaj oleandrový

S prezencí *D. nerii* území České republiky koreluje kladná hodnota červnového parametru NAO (viz Tab. 2). NAO pro měsíc červen spadá pod tzv. letní NAO, jehož kladná hodnota značí vyšší množství srážek a nižší teploty v oblasti Středomoří. V severní Africe je letní období charakteristické vyšším množstvím srážek a vyššími teplotami (Met Office 2020). Generace *D. nerii* se objevuje v ČR výhradně během letního období (Pittaway 2017). Čím je hodnota NAO indexu vyšší, tím je větší pravděpodobnost prezenze *D. nerii* na našem území, jak ve své práci zmiňuje i Vlasáková (2018). Prostřednictvím NAO indexu lze zjistit informace o proudění větru na území Evropy v daném časovém období. Silnější větrné proudění může podpořit migraci jedinců, protože noční motýli se při šíření agregují v nadmořské výšce s největší rychlostí větru (Chapman et al. 2008).

Další testování odhalilo význam srážkového úhrnu. Srážkový úhrn za měsíc květen v oblasti Tuniska koreluje s prezencí *D. nerii* (viz Tab. 5) v ČR. Uvedený pattern lze vysvětlit skrze zvýšenou dostupnost potravy housenek v době jejich žíru (květen). Pokud v oblasti severní Afriky nastane dešťové období, (déšť v jarním období je v Tunisku vzácným jevem; Tunisia climate 2020) v oblasti euareálu druhu bude obecně více živných rostlin pro housenky (Janzen 1986). Proto v takovém případě úspěšně dokončí vývoj více jedinců z jarní generace motýla, kteří se následně šíří do střední Evropy.

Lišaj vinný

Prezence *H. livornica* v ČR vykazuje negativní vztah k červnovému parametru NAO (Tab. 1). To značí předpoklad, že pokud je v euareálu v době vývoje housenek více srážek, na sever se bude šířit méně jedinců. Jelikož tomu ekologie druhu příliš neodpovídá, interpretace negativního vztahu mezi prezencí a parametrem NAO zůstává otevřená. S určitou pravděpodobností se může také jednat o metodický artefakt.

Lišaj smrtihlav

Druh se chová nezávisle k testovaným faktorům a jeho výskyt na území ČR není vázán na klimatické podmínky. Housenky *A. atropos* se vyvíjejí na druzích rostlin z čeledi *Solanaceae* (např. *Solanum tuberosum*), které jsou běžně rozšířeny i ve středoevropském klimatu. Lulák & Krnáč (1999) zmiňují vazbu častějšího výskytu *A. atropos* na vyšší teploty na migrační trase z jižní Evropy. V teplých letech s vyšší průměrnou teplotou přilétá z oblasti Středomoří velký počet jedinců, v chladnějším období je naopak přilet minimální (Hrabák 1985). *A. atropos* zalétává do střední Evropy každý rok a ve stadiu kukly dokážou jedinci přežít i středoevropské zimy.

Lišaj svlačcový

Z tabulky nálezů (Příloha A) je patrný výskyt druhu ve střední Evropě v každém roce. Vývoj housenek může probíhat na některých běžných středoevropských druzích rostlin, například *Convolvulus* spp., *Solanum tuberosum*. *A. convolvuli* je vícegenerační a jak vyplývá z ekologie tohoto druhu, vyšší teploty značí větší počet migrujících jedinců (Pittaway 2017).

Lišaj révový

Není limitován stanovištními preferencemi, mezi živné rostliny housenek i dospělců patří v ČR relativně běžně pěstovaný druh *Vitis vinifera* (Botany 2020). Jediný nález na území ČR (viz Příloha A) se dá považovat za zanedbatelný a nedostatečný k interpretaci významu klimatických faktorů na prezenci jedinců v ČR. *H. celerio* je typický stejným původem a ekologickými nároky jako *D. nerii* a *H. livornica* (viz. Zájmové druhy

lišajovitých), přítomnost jednoho z druhů může predikovat výskyt i ostatních dvou druhů motýlů.

Protože se lišajovití snaží uniknout z podmínek prostředí nevhodných pro vývoj či přežívání do oblastí příznivějších a s lepší dostupností potravy (Chapman & Reynolds 2012), lze toto šíření považovat za migrace vyvolané vzájemně působícími faktory (Williams 1957). Migrující druhy lišajů se opět navracejí na původní místo do Středomoří. Vracejí se jedinci letní a podzimní generace, protože všechny studované druhy lišajů jsou vícegenerační. Limitující pro migrace lišajů může být nízké množství srážek (*D. neri*) a silné mrazy (*H. livornica*).

K jasnému vyhodnocení vztahu mezi jednotlivými prezencemi a klimatickými parametry jsou data prezence lišajů v ČR na příliš hrubé škále. Pro lépe vypovídající interpretaci rozdílů v prezenci, by byla vhodnější škála jemnější. Do budoucna bude jistě žádoucí směřovat výzkum na souvislost s dalšími klimatickými faktory jako je rychlost větru, směr větru nebo atmosférický tlak, jakožto další z možných faktorů predikujících častější migrace lišajovitých do střední Evropy.

Závěr

Zaměřila jsem se na testování vztahu mezi přítomností tzv. tažných druhů lišajů na území České republiky a klimatickými parametry prostředí.

- (I.) Pro prezenci druhů *Daphnis nerii* a *Hyles livornica* na území ČR byla prokázána závislost ve vztahu k chodu klimatického systému NAO. Migrace *D. nerii* do střední Evropy je podporována vysokými teplotami a vyšším množstvím srážek v oblasti vývoje housenek v severní Africe.

Pro výsledek testování prezence *H. livornica* a systému NAO při zohlednění ekologie druhu nebylo možné potvrdit předpoklad, že vyšší množství srážek predikuje méně migrujících jedinců.

- (II.) Závislost prezence *D. nerii* na území ČR byla prokázána ve vztahu k regionálně odlišnému chodu srážek pro oblast výskytu zájmových druhů v severní Africe (Tunisko). Vyšší úhrn srážek pozitivně ovlivňuje prezenci *D. nerii* ve střední Evropě, jak již bylo zmíněno (viz I.). Housenky mají v takovém případě lepší podmínky pro uživení a po jejich úspěšném vývoji migrují imaga motýlů do ČR ve větším počtu.

- (III.) Závislost prezence uvedených druhů lišajovitých na území ČR ve vztahu k regionálně odlišnému chodu teplot v různých částech areálu výskytu zájmových druhů prokázána nebyla, migrující druhy lišajovitých jsou obecně limitováni nízkým množstvím srážek a mrazem. Proto se žádný z lišajů, kromě druhu *A. atropos*, na území ČR v zimním období nevyskytuje.

Vzhledem k tomu, že prezence druhů *A. convolvuli* a *H. celerio* kvůli nedostatečné variabilitě nebyla testována, není možné s jistotou odůvodnit vliv klimatických faktorů (např. vyšších teplot pro *A. convolvuli*) na jejich migraci do ČR.

Pro každého ze studovaných druhů lišajovitých je předpoklad k migraci specifický, přičemž se odvíjí od podobností v ekologických a potravních nárocích. Z klimatických faktorů je migrace determinována odlišným chodem srážek v době vývoje housenek v domovské oblasti, jak tomu v případě vyššího úhrnu srážek pro *D. nerii* napovídá ekologie druhu.

Literatura

Elektronické zdroje:

Botany.cz. *Vitis Vinifera L.* – réva vinná. [Internet]. [cit. 22. 7. 2020]. Dostupný z: <https://botany.cz/cs/vitis-vinifera/>.

Data Discovery Guided by Experts. NCAR Climate Data Guide. [Internet]. [cit. 28. 9. 2019]. Dostupný z: https://climatedataguide.ucar.edu/sites/default/files/nao_pc_monthly.txt.

ESRL PSD NCEP/NCAR Sciences Division. NCEP/NCAR Reanalysis 1. Summary [Internet]. [cit. 29. 1. 2020]. Dostupný z: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>.

Hurrell J & National Center for Atmospheric Research Staff (Eds). "The Climate Data Guide: Hurrell North Atlantic Oscillation NAO Index station-based." [Internet]. [cit. 30. 10. 2019]. Dostupný z: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-station-based>.

Kitching IJ. Sphingidae taxonomic inventory creating a taxonomic e-science. 2018. [Internet]. [cit. 30. 10. 2019]. Dostupný z: <http://sphingidae.myspecies.info/>.

Met Office. The North Atlantic Oscillation. Weather and climate change. [Internet]. [cit. 5. 7. 2020]. Dostupný z: <https://www.metoffice.gov.uk/research/climate/seasonal-to-decadal/gpc-outlooks/ens-mean/nao-description>.

NOAA. Foreign Climate Data. Central Library. [Internet]. [cit. 17. 11. 2019]. Dostupný z: <https://library.noaa.gov/Collections/Digital-Documents/Foreign-Climate-Data-Home>.

Pittaway AR. Sphingidae of the western palaeartic (including Europe, North Africa, The Middle East, Western Siberia and Western Central Asia). 2017. [Internet]. [cit. 20. 10. 2019]. Dostupný z: <http://tpittaway.tripod.com/sphinx/list.htm>.

Tunisia climate: average weather, temperature, precipitation. Climates to Travel. World climate guide. [Internet]. [cit. 17. 7. 2020]. Dostupný z: <https://www.climatestotravel.com/climate/tunisia>.

Literárni zdroje:

- Åkesson S, Hedenström A 2007. How migrants get there: Migratory performance and orientation. *BioScience*. 57: 123–133.
- Alerstam T, Hedenström A, Åkesson S. 2003. Long-distance migration: evolution and determinants. *Oikos*. 103: 247–260.
- Beck J, Kitching IJ, Linsenmair KE. 2006. Measuring range sizes of Southeast-Asian hawkmoths (Lepidoptera: Sphingidae): effects of scale, resolution and phylogeny. *Global Ecology and Biogeography*. 15: 339–348.
- Beck J, Takano H, Ballesteros-Mejia L, Kitching IJ, McCain CM. 2018. Field sampling is biased against small-ranged species of high conservation value: a case study on the sphingid moths of East Africa. *Biodiversity conserv.* 27: 3533–3544.
- Beerli N, Bärtschi F, Ballesteros-Mejia L, Kitching IJ, Beck J. 2019. How has the environment shaped geographical patterns of insect body sizes? A test of hypotheses using sphingid moths. *Journal of Biogeography*. 46: 1687–1698.
- Begon M, Harper JL, Townsend CR. 1990. *Ecology: Individuals, populations and communities*. Wiley-Blackwell; 3 edition. 1068 s.
- Bullock JM, Kenward RE, Hails RS. 2002. *Dispersal Ecology: The 42nd Symposium of the British Ecological Society*. Cambridge University Press; 1 edition. 480 s.
- Chai P, Srygley RB. 1990. Predation and the flight, morphology, and temperature of Neotropical rain-forest butterflies. *The American Naturalist*. 135: 748–765.
- Chapman JW, Reynolds R, Mouritsen H, Hill JK, Riley JR, Sivell D, Smith AD, Woiwod IP. 2008 Wind Selection and Drift Compensation Optimize Migratory Pathways in a High-Flying Moth. *Current Biology*. 18: 514–518.
- Chapman JW, Bell JR, Burgin LE, Reynolds DR, Pettersson LB, Hill JK, Bonsall MB, Thomas JA. 2012. Seasonal migration to high latitudes results in major reproductive benefits in an insect. *PNAS*. 109: 14924–14929.
- Chapman JW, Reynolds DR, Wilson K. 2015. Long-range seasonal migration in insect: mechanisms, evolutionary drivers and ecological consequences. *Ecol. Lett.* 18: 287–302.

- Denlinger DL. 2009. *Encyclopedia of Insects*. Academic Press; 2 edition. 1168 s.
- Dingle H. 1996. *Migration. The Biology of Life on the Move*. Oxford Univ. Press. 223 s.
- Drake VA, Reynolds DR. 2012. *Radar entomology: observing insect flight and migration*. CABI Wallingford UK. 489 s.
- Gandon S, Michalakis Y. 2001. 'Multiple causes of the evolution of dispersal', in Clobert J, Nichols JD, Danchin E. et al. eds. *Dispersal*. Oxford University Press.
- Gatehouse AG. 1987. Migration: A behavioral process with ecological consequences. *Antenna*. 11: 10–12.
- Greenwood PJ, Harvey PH. 1982. The natal and breeding dispersal of birds. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 13: 1–21.
- Hanski I, Saastamoinen M, Ovaskainen O. 2006. Dispersal related life-history trade-offs in a butterfly metapopulation. *Journal of Animal Ecology*. 75: 91–100.
- Hill JK, Thomas CD, Blakeley DS. 1999. Evolution of flight morphology in a butterfly that has recently expanded its geographic range. *Oecologia*. 121: 165–170.
- Hrabák R. 1985. *Kapesní atlas našich motýlů*. SZN. 349 s.
- Janzen DH. 1986. Biogeography of an unexceptional place: What determines the saturniid and sphingid moth fauna of Santa Rosa National Park, Costa Rica, and what does it mean to conservation biology? *Brenesia*. 25–26: 51–87.
- Janzen DH. 1987. Insect diversity of a Costa Rican dry forest: why keep it, and how? *Biological Journal of the Linnean Society*. 30: 343–356.
- Karger DN, Abrahamczy S, Kessler M. 2013. Abundance and species richness of hawkmoths (Lepidoptera: Sphingidae) in the fragmented landscape of Santa Cruz (Bolivia). *Ecología en Bolivia*. 48: 46–51.
- Kitching IJ, Cadiou JM. 2000. *Hawkmoths of the world an annotated and illustrated revisionary checklist (Lepidoptera; Sphingidae)*. London: Cornell University Press. 240 s.

- Krpač V, Zeqiri R, Kučinić M, Abdija X, Beadini N, Krpač M, Darcemont Ch, Lemonnier-Darcemont M, Krsteska V, Lazarevska S, Černila M. 2019. Contribution to the fauna of the hawk moth family (Lepidoptera, Sphingidae) in the Republic of North Macedonia. *Nat. Croat.* 28: 107–130.
- Landman W. 2013. *Motýli – Praktická encyklopedie*. 2. vyd. Rebo. 272 s.
- Lulák M, Krnáč J. 1999. *Začínáme s entomologií a chovem motýlů*. 1. vyd. Karviná: Alfa Consulting. 352 s.
- Macek J, Dvořák J, Traxler L, Červenka V. 2007. *Motýli a housenky střední Evropy. Noční motýli 1*. Academia. 340 s.
- Pittaway AR. 1993. *The Hawkmoths of the Western Palaearctic*. UK: Harley books. 240 s.
- Powell JA. 2009. *Encyclopedia of Insects*. Academic Press; 2 edition. 1168 s.
- Quinn RM, Gaston KJ, Blackburn TM, Eversham BC. 1997. Abundance-range size relationships of Macrolepidoptera in Britain: the effects of taxonomy and life history variables. *Ecological Entomology*. 22: 453–461.
- Ramenofsky M, Wingfield JC. 2007. Regulation of migration. *BioScience*. 57: 135–143.
- Romoser W, Stoffolano JG. 1998. *The science of Entomology*. McGraw-Hill, Boston. 605 s.
- Sparks TH, Roy DB, Dennis RLH. 2005. The influence of temperature on migration of Lepidoptera into Britain. *Global Change Biol.* 11: 507–514.
- Stenseth NC. 1983. Causes and consequences of dispersal in small mammals, in *The Ecology of Animal Movement*, Oxford University Press, Oxford. s. 63–101.
- Šmilauer P, Lepš J. 2014. *Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO 5*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 376 s.
- Taylor LR. 1986. Synoptic ecology, migration of the second kind, and the Rothamsted Insect Survey. Presidential Address. *Journal of Animal Ecology*. 55: 1–38.
- Trakhtenbrot A, Nathan R, Perry G, Richardson DM. 2005. The importance of long-distance dispersal in biodiversity conservation *Diversity and Distributions, Diversity Distrib.* 11: 173–181.

- Tkadlec E. 2008. Populační ekologie: struktura, růst a dynamika populací. Univerzita Palackého v Olomouci. 392 s.
- Van Dyck H, Baguette M. 2005. Dispersal behaviour in fragmented landscapes: Routine or special movements? *Basic and Applied Ecology* 6. s. 535–545.
- Van Nieuwerkerken E. 2011. Order Lepidoptera Linnaeus, 1758. In: Zhang, Z.-Q. (Ed.) *Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness*. *Zootaxa*. 3148: 212–221.
- Vlasáková V. 2018. Výskyt lišaje oleandrového v České republice a příčiny jeho expanze [bakalářská práce]. Olomouc (CZ): Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta. 33 s.
- Wiens JJ, Graham CH. 2005. Niche conservatism: integrating evolution, ecology, and conservation biology. *Annual Reviews in Ecology, Evolution and Systematics*. 36: 519–539.
- Williams CB. 1957. Insect migration. *Annual Review of Entomology*. 2: 163–180.

Přílohy

Příloha A

Tabulka 8 Přehled nálezů zájmových druhů (*Daphnis nerii*, *Hyles livornica*, *Acherontia atropos*, *Agrius convolvuli*, *Hippotion celerio*) v České republice v letech 1957 až 2019

Rok	DN	HL	AA	AC	HC
1957	0	1	0	1	0
1958	0	1	1	1	0
1959	0	0	1	1	0
1960	0	0	1	1	0
1961	0	0	1	1	0
1962	0	0	1	1	0
1963	0	0	1	1	0
1964	0	1	1	1	0
1965	1	0	1	1	0
1966	0	0	1	1	1
1967	1	0	1	1	0
1968	1	0	0	1	0
1969	0	0	1	1	0
1970	0	0	1	1	0
1971	0	0	1	1	0
1972	1	0	1	1	0
1973	0	0	1	1	0
1974	0	0	1	1	0
1975	1	0	1	1	0
1976	1	0	1	1	0
1977	1	1	1	1	0
1978	0	0	0	1	0
1979	0	0	1	1	0
1980	0	1	0	1	0
1981	0	1	1	1	0
1982	0	0	1	1	0
1983	1	1	1	1	0
1984	0	0	1	1	0
1985	1	1	1	1	0
1986	1	0	0	1	0
1987	0	1	0	1	0
1988	0	1	1	1	0
1989	0	0	1	1	0
1990	0	0	1	1	0
1991	0	0	1	1	0
1992	0	0	1	1	0
1993	0	0	1	1	0

Rok	DN	HL	AA	AC	HC
1994	0	0	1	1	0
1995	0	0	1	1	0
1996	0	0	0	1	0
1997	0	1	0	1	0
1998	0	0	1	1	0
1999	0	0	1	1	0
2000	0	0	1	1	0
2001	0	0	1	1	0
2002	0	0	0	1	0
2003	0	0	1	1	0
2004	0	0	1	1	0
2005	0	0	0	1	0
2006	0	0	1	1	0
2007	0	1	1	1	0
2008	0	1	0	1	0
2009	0	1	1	1	0
2010	0	1	1	1	0
2011	0	1	1	1	0
2012	0	0	1	1	0
2013	0	0	1	1	0
2014	1	0	1	1	0
2015	0	0	1	1	0
2016	1	1	1	1	0
2017	1	0	1	1	0
2018	0	1	1	1	0
2019	0	0	1	1	0

Pozn.: prezence (0), absence (1); *Daphnis nerii* (DN), *Hyles livornica* (HL),
Acherontia atropos, (AA), *Hippotion celerio* (HC)

Příloha B

Tabulka 9 Geografické souřadnice vybraných oblastí Portugalska, Řecka, Tuniska a České republiky, jejichž klimatické údaje vstupovaly do analýz

Stát	Geografické souřadnice			
	Bod č. 1	Bod č. 2	Bod č. 3	Bod č. 4
Portugalsko	41,3945244N 8,0353322W	41,4027656N 7,0081106W	40,4210178N 8,0215994W	40,4293811N 7,0218436W
Řecko	39,1189269N 22,1321758E	40,0544767N 21,0719953E	40,0670894N 22,0168194E	39,1172327N 21,0952355E
Tunisko	32,1028858N 9,0308803E	32,1028858N 10,1295133E	33,1024228N 9,0638394E	33,0656022N 10,1404994E
Česká republika	50,1665139N 15,0908834E	50,1594758N 16,0576853E	49,1782867N 15,0469431E	49,1711044N 16,0137400E