Univerzita Karlova

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Parazitologie

Mgr. Tereza Vacková

Vliv teploty a vlhkosti na biologii prachových roztočů *Dermatophagoides farinae*

The effect of temperature and moisture on biology of house dust mites *Dermatophagoides farinae*

Rigorózní práce

Školitel: doc. Mgr. Jan Hubert, Ph.D.

Praha, 2023

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem rigorózní práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla použita k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 14. srpna 2023 Podpis

Poděkování

Chtěla bych velmi poděkovat mému školiteli panu doc. Mgr. Janu Hubertovi, Ph.D., za všechnu jeho trpělivost, ochotu, laskavost, cenné rady a pomoc při plánování (a následném publikování výsledků) našich experimentů. Můj velký díky patří také paní Ing. Martě Nesvorné, která mi byla skvělou laboratorní průvodkyní a mentorkou, Martinu Markovičovi za sehnání některých hůře dostupných článků a v neposlední řadě také mým blízkým za to, že tu pro mě vždy jsou.

Tato práce byla financována z projektů Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy (č. LTAUSA19012) a Grantové agentury České republiky (č.19-09998S).

Abstrakt

Biologie a schopnost alergenní produkce prachových roztočů jsou významně ovlivněny hygrotermálními faktory (teplotou a vlhkostí). Tato práce shrnuje studie zabývající se vlivem teploty a vlhkosti na populační růst roztočů druhu *Dermatophagoides farinae*, jejich metabolismus (reprezentovaný mírou respirace) a chování v rámci teplotního gradientu (simulujícího podmínky ve vertikálním průřezu matrace). Během experimentálního měření populační dynamiky kolonií *D. farinae* chovaných při různých kombinacích teplot a vlhkostí (v rozpětí 15-35 °C a 62-94% RH) byl pozorován průměrně nejvyšší a zároveň stabilní populační růst při 28 °C a 85% RH. Ze studovaného rozpětí teplot (15-35 °C) vykazovali roztoči tohoto druhu nejvyšší produkci CO_2 při 30 °C. Za těchto podmínek u nich byla patrná celkem dvě respirační maxima – při kombinaci s 90% RH a 65% RH. V teplotním gradientu (19 až 41 °C) se potravu přijímající roztoči nejčastěji zdržovali v sektoru s rozpětím 32–36 °C. Tento jev byl patrný v případě experimentu s čtyřiadvacetihodinovým teplotním gradientem, ale zároveň též i při pětidenním experimentu zahrnujícím periodické střídání zapnutého gradientu (8 h/denně) a chladnutí aparatury na pokojovou teplotu (16 h/denně). Naopak nejvíce potravu nepřijímajících roztočů bylo v obou variantách experimentů nalezeno v sektoru s teplotním rozpětím 19–23 °C. Data naměřená v těchto našich studiích lze souhrnně interpretovat tak, že během doby krmení by se mohli prachoví roztoči přednostně vyskytovat v nejsvrchnějších vrstvách matrace (teplem lidského těla zahřívaných až k hodnotám kolem 32–36 °C). Podmínky vhodné pro jejich populační růst naproti tomu patrně skýtají spíše hlubší vrstvy, kde by tito roztoči mohli zároveň vykazovat zvýšenou metabolickou aktivitu (respiraci). Metabolicky méně aktivní, potravu nepřijímající roztoči by se poté mohli soustřeďovat ve středních vrstvách matrací poskytujících jim ochranu před možnými disturbancemi.

Klíčová slova:

Dermatophagoides farinae, roztoči, teplota, vlhkost, populační růst, respirace, preference

Abstract

The biology and allergen production of dust mites are significantly influenced by hygrothermal factors (temperature and humidity). This thesis summarizes studies dealing with the effect of temperature and humidity on the population growth of mites species *Dermatophagoides farinae*, their metabolism (represented by their respiration rate) and migration patterns within a temperature gradient (simulating conditions in the vertical section of a mattress). *D. farinae* colonies reared at different combinations of temperature and humidity (in the range of 15-35 °C and 62-94% RH) showed the average highest and stable population growth at 28 °C and 85% RH. The highest CO_2 production of this species was – within studied temperature (15-35 °C) - observed at 30 °C. At this temperature there were two respiration peaks at RH 90% (smaller peak) and 65% (larger peak). Within a temperature gradient (19-41 °C), fed mites were most often found in the sector with a temperature range of 32-36 °C. This phenomenon was observed in both experimental designes: in a stable (24 h) temperature gradient, but also in experiment with 5 days of alternating cycles of the same gradient (8 h / day) and room temperature (16 h / day). Conversely, the highest number of non-feeding mites was found in the sector with a temperature range of 19-23 °C in both experimental variants. The resaults of our studies may be interpreted as suggesting that feeding mites might preferentially emerge in the most upper zones of the mattress (heated by body of resting human up to 32-36 °C). In contrast, conditions suitable for their population growth could be encountered in slightly deeper zones of the mattress, where mites also show increased metabolic activity (respiration). Metabolically less active, non-feeding mites, on the other hand, could be concentrated in the deeper zones of the mattresses, where they are also well protected from possible disturbances.

Key words

Dermatophagoides farinae, mites, growth, temperature, humidity, respiration, preference

Obsah

1. Úvod…… 1
1.1. Populační růst a respirace druhu *D. farinae* v závislosti na různých kombinacích teplot a vlhkostí…… 2
1.1.1. Populační růst ……2
1.1.2. Respirace……4
1.2. Preference a chování prachových roztočů druhu *D. farinae* v rámci teplotního gradientu…… 6
2. Shrnutí výsledků studií a články, v nichž byly publikovány ……8
2.1. Populační růst ……8
2.2. Respirace……8
2.3. Preference druhu *D. farinae* v rámci teplotního gradientu ……8
3. Společná diskuse……9
3.1. Populační růst …… 9
3.2. Respirace……11
3.3. Preference druhu *D. farinae* v rámci teplotního gradientu……12
4. Seznam použité literatury……15
5. Seznam příloh ……20

1. Úvod

Prachoví roztoči patří mezi časté producenty alergenů v lidských domácnostech (van Bronswijk a kol., 1971; Calderón a kol., 2015; WHO/IUIS 2022). Jedním z hojně se vyskytujících, kosmopolitně rozšířených druhů těchto roztočů je *Dermatophagoides farinae* Hughes, 1961 (česky: prachovka americká) (Colloff, 2009; Rodríguez a kol., 2021). V lidských obydlích se s ním lze nejčastěji setkat v matracích postelí, lůžkovinách, čalouněném nábytku a bytových textiliích (Spieksma, 1967; Arlian, 1975a; van Bronswijk, 1973; de Boer a Kuller, 1997; Colloff, 2009). Pro dané předměty bývá typické, že s nimi často přicházejí do kontaktu lidé, z jejichž těl zde ulpívají různé organické zbytky (např. kožní opad, kousky vlasů, nehtů...). Tyto zbytky poté slouží komenzálně se živícím roztočům druhu *D. farinae* coby zdroj potravy (Spieksma, 1967; Colloff, 2009) stejně tak jako druhy některých mikrosopických hub (umožňují-li vlhkostní podmínky daného místa jejich nárůst) (van Asselt, 1999; Naegele a kol., 2013).

Zdržování se v blízkosti lidí (či jejich domácích mazlíčků) však prachovým roztočům nezajišťuje pouze potravu, ale také teplo a vlhkost. Společné působení těchto dvou faktorů u roztočů významně ovlivňuje jejich schopnost přežívání, metabolické děje (např. rychlost vývoje, rozmnožování…) a skrze to i množství alergenů, které během svého života vyprodukují (Arlian, 1992; Arlian a kol., 1999a; Crowther a kol., 2000; Colloff, 2009).

Hygrotermických faktorů lze též využít v rámci metod eradikace a prevence výskytu prachových roztočů v domácnostech. Aby však tyto metody mohly být účinné, je při jejich aplikaci nezbytné vycházet z biologických zákonitostí – s jakými podmínkami se rámci svých habitatů tito roztoči běžně setkávají, jaká jsou jejich optima, tolerance, limity...

Cíli studií, jež tato práce shrnuje, bylo určit vliv různých kombinací vlhkostí a teplot na 3 aspekty biologie prachových roztočů druhu *Dermatophagoides farinae.* Předmětem našich pozorování byly jejich: 1) populační růst 2) metabolismus (odhadovaný na základě měření respirace) a 3) preference v rámci teplotního gradientu (simulujícího teplotní podmínky vertikálního průřezu matrace postele). Naměřená data by mohla posloužit k doplnění poznatků z předchozích studií, poukázat na možnost využití alternativních metod při studiu behaviorálních a fyziologických reakcí prachových roztočů na abiotické faktory a být základem pro návrhy možných strategií boje s těmito alergenními činiteli.

1.1. Populační růst a respirace druhu *Dermatophagoides farinae* v závislosti na různých kombinacích teplot a vlhkostí

1.1.1. Populační růst

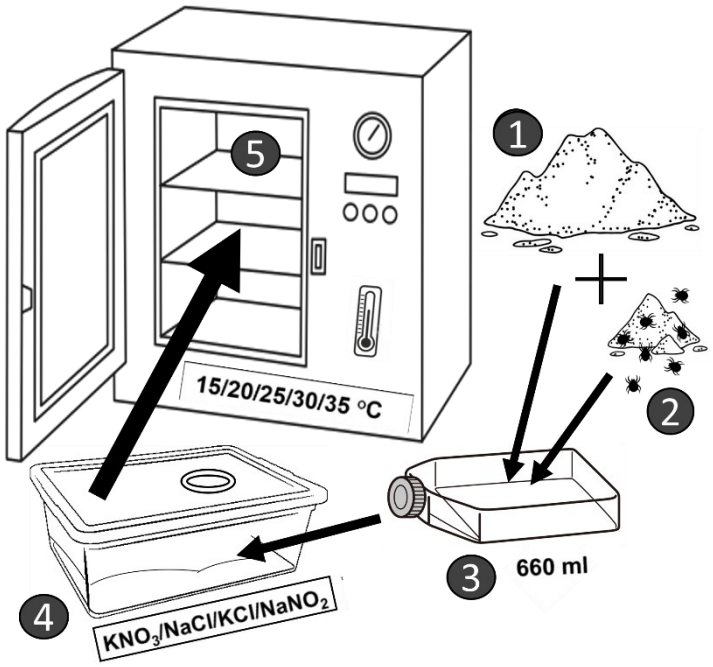
Zatímco v laboratorních podmínkách lze změny počtu roztočů v čase poměrně snadno monitorovat, v terénním prostředí je studium jejich populační dynamiky mnohem složitější (Hay, 1995; Wilkinson a kol., 2002). Habitat postelových matrací (na jehož problematiku se naše studie především zaměřovaly) se vyznačuje některými specifiky: roztoči se v něm nezdají být limitováni nedostatkem prostoru (de Boer a Kuller, 1994; Mollet a Robinson, 1996), ani množstvím potravy (Spieksma, 1967; Crowther a kol, 2001). Prakticky se zde též nevyskytují žádní predátoři (van Bronswijk a kol., 1971; Rao a kol., 1975). Některé studie naznačují, že počet jedinců různých druhů roztočů by mohl být částečně ovlivňován mezidruhovou konkurencí (Wharton, 1971; Arlian a kol., 1998b) a migrací (Mollet a Robinson, 1996; Colloff, 2009; Mailleux a kol., 2011). Vychýlení populačního růstu jejich kolonií v důsledku těchto faktorů je však nesrovnatelné oproti ohromnému vlivu, který mají na jejich biologii faktory abiotické – a z nich zejména pak teplota a vlhkost.

Jsou to právě tyto veličiny, které přímo ovlivňují líhnivost vajíček roztočů, délku vývoje a přežívání jednotlivých vývojových stádií a dospělců, jejich reprodukční chování, trvání ovipozice… a celkově veškeré jevy, které se spolupodílejí na výsledné populační dynamice. Jaký vliv však mají na populační dynamiku prachových roztočů konkrétní kombinace teplot a vlhkostí? Platí skutečně, že jejich populace nejlépe prosperují při kombinacích 22–25 °C a 70–85% vlhkosti, jak bývá často uváděno v literatuře (Gamal-Eddin a kol., 1983b; Crowther a kol., 2000; Crowther a kol., 2001; Collof, 2009; Rezk, 2004)? A jsou uváděné limitující teploty (35 °C a 16 °C) a relativní vlhkosti (85–90%, 40 %) pro jejich populační růst skutečně tak hraniční (van Bronswijk a kol., 1971; Arlian a Dippold, 1996; Arlian a kol. 1998b)?

V první z našich studií jsme se pokusili zmapovat populační růst roztočů *D. farinae* chovaných po dobu 14 týdnů ve 20 kombinacích konstantní teploty (15, 20, 25, 30 a 35 °C) a vlhkosti (62-66, 75-76, 84-87, 89-94 %). Abychom zamezili limitaci prostorem a potravou (a lépe tak simulovali podmínky v jejich přirozeném habitatu), měření populačního růstu probíhala ve velkých 660ml komůrkách na tkáňové kultury obsahujících 36 g chovné diety. Do každé z těchto komůrek byl následně přisypán substrát z měsíc starých chovů roztočů. Tento substrát se skládal ze směsi

~5000 jedinců (všech životních stádií), jejich svleček, exkrementů, mrtvých těl a zbytků staré chovné diety (dle Klimova a kol., 2019). Bylo tak učiněno opět proto, aby se výchozí stav experimentu co nejvíce podobal jejich přirozenému habitatu.

Tímto způsobem byla připravena jedna 660ml komůrka pro každou ze 20 studovaných kombinací teplot a vlhkostí. Pro zajištění potřebné vlhkosti byly komůrky umístěny do plastových boxů s nasycenými roztoky 4 různých druhů solí ($NaNO_2$, NaCl, KCl nebo KNO_3) (Arlian a kol, 1999a). Teplotních podmínek bylo docíleno vložením boxů do termostatů vyhřívaných na 5 různých teplot (15, 20, 25, 30 a 35 °C) – schéma zakládání experimentu viz Obrázek 1. Za těchto podmínek byli roztoči inkubováni po dobu 14 týdnů. Z každé komůrky byl ve 2.; 4.; 6.; 8.; 10.; 12. a 14. týdnu experimentu proveden odběr 6 vzorků (dle Klimova a kol., 2019). Množství jedinců v jednotlivých vzorcích bylo následně spočítáno.



Obrázek 1 – Schéma zakládání experimentů mapujících populační růst roztočů při různých kombinacích teplot a velkostí: (1) 36 g diety a (2) obsah 6,5 měsíc starých chovných komůrek s roztoči byly umístěny do (3) 660ml experimentální komůrky. Tato 660ml komůrka byla vložena do (4) plastikového boxu obsahujícího nasycený roztok KNO_3/NaCl/KCl či $NaNO_2$. Box byl poté umístěn do (5) termostatu vyhřívaného na 15/20/25/30 nebo 35 °C.

1.1.2. Respirace

Obecně lze říci, že u většiny ektotermů se s rostoucí teplotou fyziologické funkce urychlují a s klesající naopak zpomalují (Schowalter, 2006). Tento trend je však ohraničen limity, které jsou u každého druhu individuální (Fields, 1992; Colloff, 2009). Jak již bylo zmíněno: ze studií Arliana a Dippolda (1996) vyplývá, že horními a spodními limity pro zachování běžných fyziologických dějů jsou u druhu *D. farinae* teploty 35 °C a 16 °C (v kombinaci se 75% RH). V případě relativní vlhkosti bývají coby mezní uváděny hodnoty 85–90 % a zároveň ty nižší 40 % (při teplotě 25 °C) (van Bronswijk a kol., 1971; Arlian a kol., 1998b).

Nepříznivý vliv nízkých relativních vlhkostí se u prachových roztočů projevuje zejména problémy se ziskem vody (Arlian, 1992). Za normálních okolností je pro tyto organismy typické, že ji dovedou získávat čerpáním přímo ze vzdušné vlhkosti (což je jednou z důležitých preadaptací, které jim umožnily osídlit suchý habitat domácího prachu) (Arlian a Wharton, 1974; Wharton a Furumizo, 1977; Colloff, 2009). Aby však daný mechanismus mohl fungovat, je nutné, aby tato vlhkost neklesla pod určitou kritickou hodnotu. Pokud se tak stane, dojde u roztočů k narušení rovnováhy mezi příjmem a výdejem vody, což následně ovlivňuje další fyziologické děje v jejich tělech (Arlian a Wharton, 1974; Arlian a Veselica, 1981).

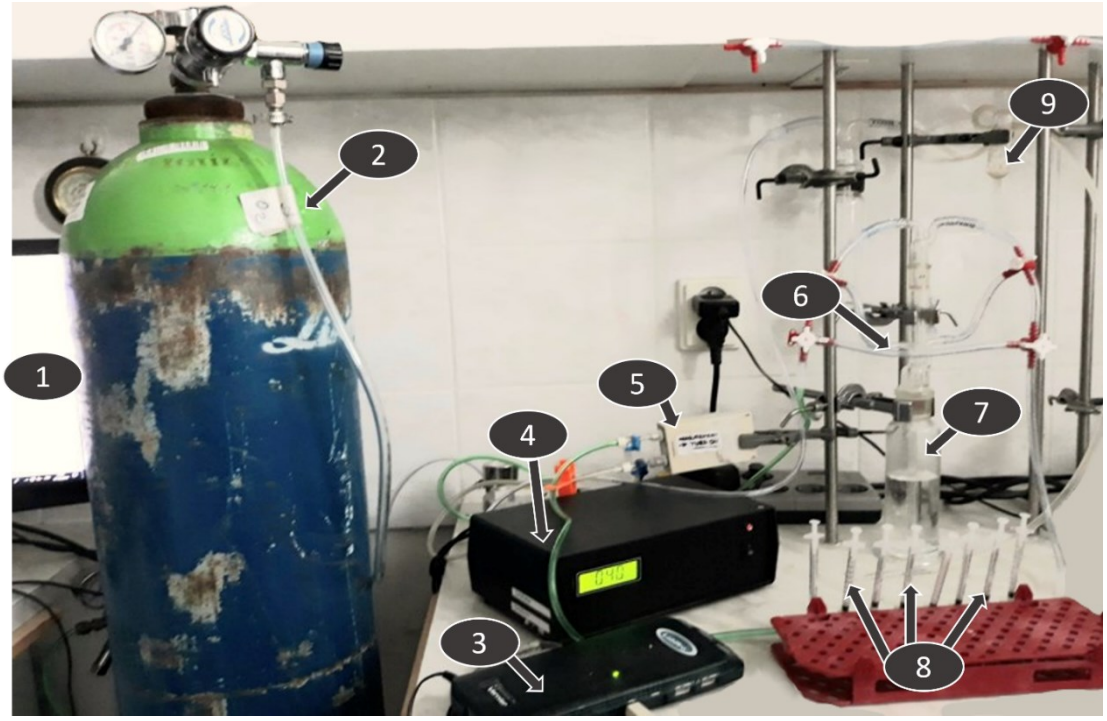
Za normálních okolností probíhá u astigmátních roztočů dýchání skrze kutikulu, nikoliv přes tracheje a stigmata (jako je tomu například u hmyzu či jiných skupin roztočů) (Spieksma, 1997; Colloff, 2009). V reakci na dehydrataci (a zamezení příjmu vody z okolního prostředí) u nich dochází ke snížení propustnosti kutikuly pro výměnu plynů (tj. transpiraci i pasivní difúzi) (Arlian, 1975b; Vidal-Quist a kol., 2015; Acevedo a kol., 2019). Jaké jsou však dopady tohoto jevu na výslednou respiraci těchto živočichů?

Fenoménem společného vlivu teploty a vlhkosti na respiraci prachových roztočů se dosud mnoho studií nezabývalo. My jsme se v rámci našich experimentů rozhodli změřit objem CO_2 vyprodukovaného druhem *D. farinae* během 24 h trvající inkubace v různých kombinacích teplot (10, 15, 20, 25, 30 a 35 °C) a vlhkostí (100, 84–87, 75–76, 62–66 %).

Za tímto účelem bylo 1–1,5 mg roztočů umístěno do injekčních stříkaček, které byly následně napojeny do aparatury respirometru (její popis viz Obrázek 2) a naplněny zvlhčeným syntetickým plynem (80 % N_2 a 20 % O_2). Plynu z tlakové lahve byla požadovaná vlhkost dodávána tím, že byl veden skrze promývačku obsahující čistou destilovanou vodu či nasycené roztoky solí ($NaNO_2$,

NaCl, KCl). Výběr druhu soli/destilované vody v promývačce poté určoval, v jakých vlhkostech budou roztoči inkubováni (Hubert a kol., 2010). Za účelem zajištění příslušných teplotních podmínek byly injekční stříkačky naplněné vlhčeným plynem následně umístěny do termostatů (vyhřívaných na 10, 15, 20, 25, 30 a 35 °C) a zde ponechány 24 h.

Po skončení inkubace byly injekční stříkačky znovu napojeny do respirometru. Poté, co procházející plyn napomohl k ustálení koncentrace CO_2 v systému, byl ihned změřen objem CO_2 vyprodukovaný roztoči v jednotlivých stříkačkách (Hubertem a kol.; 2010). Před a po sérii injekčních stříkaček s roztoči byla obdobným způsobem kontrolována i hladina CO_2 v negativních kontrolách. Množství CO_2 vyprodukované roztoči ve stříkačkách bylo zprůměrováno a (po odečtu obsahu negativních kontrol) následně přepočítáno na ppm CO_2 na mg čerstvé hmotnosti roztočů za 1 hodinu.



Obrázek 2 – Aparatura respirometru: (1) počítač s monitorem; (2) tlaková láhev se syntetickým plynem (N_2/O_2; 80/20 %) a redukčním ventilem; (3) IRGA-CO_2 senzor; (4) průtokoměr; (5) sušička a její přemostění; (6) přemostění promývačky; (7) promývačka s destilovanou vodou/nasyceným roztokem $NaNO_2$, NaCl či KCl; (8) injekční stříkačky se vzorky a negativní kontrolou – sériově zapojené v trojcestných ventilech; (9) výstupní promývačka se silikonovým olejem.

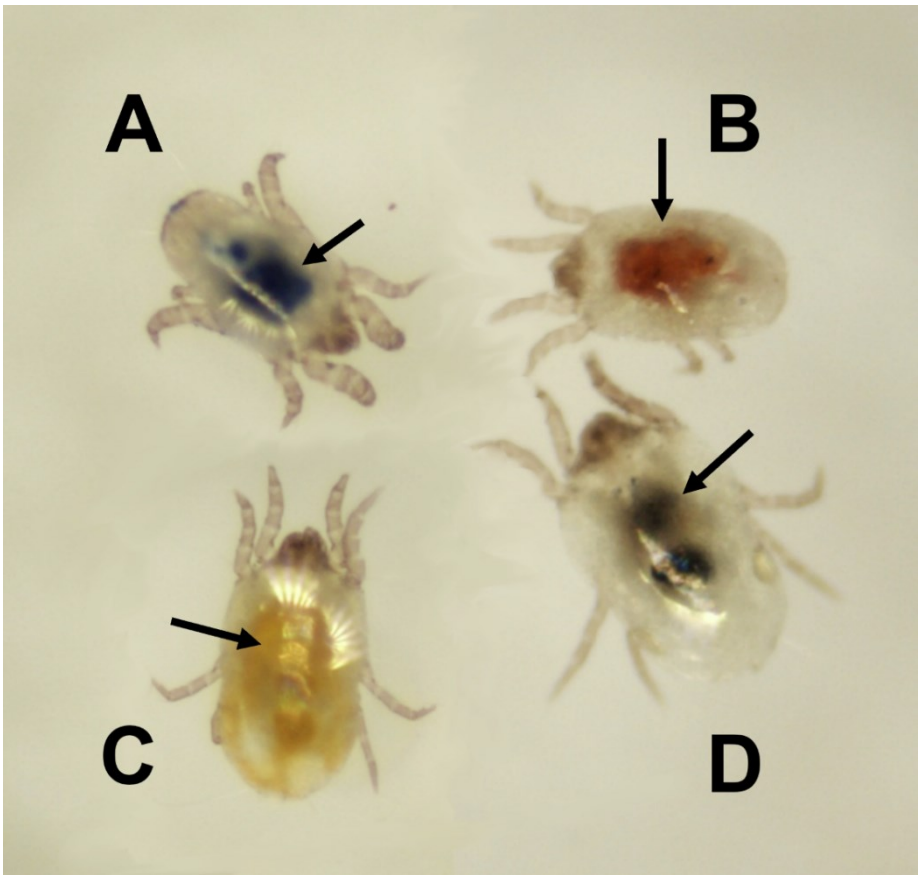
1.2. Preference a chování prachových roztočů druhu *Dermatophagoides farinae* v rámci teplotního gradientu

Habitaty, s nimiž je výskyt prachových roztočů notoricky spojován, – a skutečně bývají i těmito roztoči často osídlovány – jsou již zmiňované matrace postelí (de Boer a Kuller, 1997; van Bronswijk, 1973; Colloff, 2009). Po dobu, co jsou lidé ve svých postelích přítomni, produkují jejich těla teplo vytvářející v jednotlivých vertikálních vrstvách matrace teplotní gradient. O chování a migračních vzorcích roztočů v rámci těchto vrstev se toho doposud ví jen velmi málo. Lze předpokládat, že ve vztahu k hygrotermálním faktorům se roztoči budou zdržovat a krmit v místech, která v tomto ohledu nejlépe vyhovují jejich preferencím – tj. v místech, kde se teplota pohybuje v rozmezí 22–25 °C a vlhkost mezi 70–85 % (Gamal-Eddin a kol., 1983b; Crowther a kol., 2000; Crowther a kol., 2001; Collof, 2009; Rezk, 2004). Je tomu ale skutečně tak?

Pro většinu roztočů z monofyletické linie Psoroptida je typický parazitický styl života, setrvávání v těsné blízkosti svých hostitelů, a tudíž i adaptace na poměrně vysoké teploty a vlhkosti, které jsou těly jejich hostitelů generovány. Jedinou výjimku tvoří komenzální čeleď Pyroglyphidae zahrnující právě i rody roztočů domácího prachu. Klimova-OConnora hypotéza předpokládá, že prachoví roztoči měli s jim příbuznými parazitickými rody roztočů společného předka a k přechodu (z parazitismu) ke komensalismu u nich došlo až druhotně v průběhu evoluce (Klimov a OConnor, 2013). Vzhledem k blízkým fylogenetickým vztahům v linii Psoroptida se však nabízí otázka, kolik si prachoví roztoči zachovali z životní strategie svých parazitických předků? A zda by se tyto strategie nemohly nějak reflektovat i v jejich reakcích/migračních vzorcích v závislosti na hygrotermálních faktorech zprostředkovaných přítomností hostitele?

Cílem třetí z našich studií bylo zjistit teplotní preference prachových roztočů druhu *D. farinae* v rámci teplotního gradientu simulujícího podmínky ve vertikálním průřezu matrace. Experiment probíhal za využití aparatury topné lavice skládající se z pěti sektorů vyhřívaných v odlišném rozpětí teplot: 19-23 °C; 23-28 °C; 28-32 °C; 32-36 °C a 36-41 °C (dle Huberta a kol., 2010). Na hranici sektorů byla umístěna dieta obohacená o různá barviva. Ta dokázala obarvit zažívací trakt roztočů a zároveň byla skrze jejich transparentní kutikulu dobře viditelná (Mollet a Robinson, 1996; Erban a Hubert, 2008; Molva a kol., 2019) – viz Obrázek 3. Na základě zbarvení jednotlivých roztočů bylo poté možno mapovat jejich pohyb, preferované oblasti výskytu a příjem potravy.

To, že spolu byly sektory gradientu propojeny, umožnilo roztočům volně migrovat, zdržovat se a přijímat/nepřijímat potravu v jeho jednotlivých částech v závislosti na svých teplotních preferencích. Experiment byl proveden v několika variantách, které zahrnovaly: (i) kontrolní měření (inkubace roztočů v aparatuře topné lavice po dobu 24h při pokojové teplotě 20-23 °C, bez zapnutí tepelného gradientu); (ii) studium chování roztočů v rámci konstantního teplotního gradientu (19–41 °C) spuštěného po dobu 24 h a (iii) pozorování jejich reakcí na opakující se pětidenní střídavé spuštění gradientu (19–41 °C, po dobu 8 h/denně) a následné chladnutí aparatury až na úroveň pokojové teploty (16 h/denně). Třetí z uvedených variant měla simulovat situaci v průřezu matrace při jejím periodicky se opakujícím obsazováním člověkem – tj. pouze občasnou přítomnost hostitele coby zdroje tepla. Na konci každého druhu experimentu byl stanoven počet obarvených (tj. potravu přijímajících) a neobarvených (tj. nekrmících se) roztočů v jednotlivých sektorech.



Obrázek 3 – Dospělé samice druhu *Dermatophagoides farinae,* jejichž zažívací trakt byl obarven barvivy: A – Evans Blue; B – Congo Red; C – Orange G; D – aktivní uhlí obsaženými v dietě. Šipky ukazují na střední část jejich střeva. Foto: Vacková, 2023.

2. Shrnutí výsledků studií a články, v nichž byly publikovány

2.1. Populační růst

V rámci studovaných rozpětí teplot a vlhkostí byl pozorován maximální populační růst u roztočů druhu *D. farinae* inkubovaných při teplotě 28 °C a 85% relativní vlhkosti. Dle naměřených dat byl dolní teplotní práh jejich růstu (tj. nejnižší teplota, při níž se počty jedinců v kolonii ještě zvyšovaly) stanoven na 17 °C (při vzdušné vlhkosti vyšší 70 %). Horním teplotním prahem populačního růstu bylo poté 33 °C (nehledě na vzdušnou vlhkost – resp. při všech měřených RH). Zatímco populační růst se od spodního teplotního prahu směrem k maximu zvyšoval spíše pozvolna, jeho pokles od maxima k hornímu teplotnímu prahu byl strmější.

2.2. Respirace

Roztoči druhu *D. farinae* vykazovali v rámci studovaného rozpětí teplot (15-35 °C) nejvyšší respiraci při 30 °C. Při této teplotě byly pozorovány dva respirační vrcholy. Jeden (vyšší) při 30 °C v kombinaci s 65% RH a druhý (o něco nižší) při téže teplotě a 90% RH.

Výsledky experimentů zabývajících se vlivem teploty a vlhkosti na populační růst a respiraci druhu *D. farinae* byly publikovány v článku „Population growth and respiration in the dust mite *Dermatophagoides farinae* under different temperature and humidity regimes“, který vyšel v periodiku Experimental and Applied Acarology v únoru roku 2023 (Vackova a kol., 2023). Podílel se na něm kolektiv autorů ve složení: J. Hubert (design experimentu a spoluúčast na sepsání článku); T. Vacková (design experimentu, provedení experimentu a spoluúčast na sepsání článku); S. Pekár (analýza dat a spoluúčast na sepsání článku) a P. B. Klimov (spoluúčast na sepsání článku).

2.3. Preference druhu *D. farinae* v rámci teplotního gradientu

Roztoči druhu *Dermatophagoides farinae* umístění ve 24 h trvajícím teplotním gradientu (19-41 °C) přijímali nejčastěji potravu v sektoru s teplotním rozpětím 32-36 °C (při 55-59% RH). Teno sektor u nich byl preferován i ve variantě experimentu, kdy byl během pěti dní teplotní gradient každodenně střídavě zapínán na 8 h a posléze po zbytek času (16 h) nechán chladnout na pokojovou teplotu.

Mimo barevně značených (potravu přijímajících) roztočů se v obou variantách experimentu vyskytovalo i poměrně velké množství jedinců, kteří – dle absence zabarvení svého střeva – pravděpodobně nepřijímali potravu v žádném ze sektorů. V případě 24 h trvajícího experimentu bylo těchto roztočů 49 %, zatímco při tom pětidenním 31 %. Nejvíce neobarvených roztočů se v obou variantách experimentu nacházelo v nejchladnějším sektoru s teplotním rozpětím 19-23 °C (při 55-59% RH).

Na základě dat naměřených při výše popsaných experimentech s teplotním gradientem byl sepsán článek „Sharing a bed with mites: preferences of the house dust mite *Dermatophagoides farinae* in a temperature gradient“, publikovaný v periodiku Experimental and Applied Acarology v červenci roku 2021 (Vackova a kol., 2021). Mezi jeho autory patřili: J. Hubert (design experimentu a spoluúčast na sepsání článku); P. B. Klimov (design experimentu a spoluúčast na sepsání článku); T. Vacková (provedení experimentu a spoluúčast na sepsání článku); S. Pekár (analýza dat a spoluúčast na sepsání článku).

3. Společná diskuse

3.1. Populační růst

Populační růst byl u druhu *Dermatophagoides farinae* v našich experimentech patrný v teplotním rozmezí 20-30 °C (při všech testovaných vlhkostech - 62-94 %). Značný nárůst počtu jedinců za těchto podmínek pozorovali také autoři dalších studií (např. Ree a kol. 1997; Arlian a kol., 1998b; Yella a kol., 2013; Rodríguez a kol., 2021).

V rámci námi studovaných podmínek lze ze statistického hlediska považovat za optimální pro populační růst kombinaci 28 °C a 85 % RH. Maximum populačního růstu při téže teplotě (ale 64% RH) popisují také Ree a kol. (1997). Vůbec nejvyšší počet roztočů (průměrně 1101 jedinců ve 12,25 mg navážce) byl v našich experimentech zaznamenán při odběru z komůrky inkubované ve 25 °C a 85% RH. Vrchol populačního růstu byl za těchto podmínek naměřen v 8. týdnu inkubace. Rodríguez a kol. (2021), Yella a kol. (2013) a Ree a kol. (1997) naproti tomu popisují vrchol populačního růstu u téhož druhu při 24-26 °C a 75-80 % ve 14.; 10. a 6. týdnu inkubace s tím, že živé roztoče v komůrkách pozorovali i v 18., 8. a 20. týdnu od založení experimentu. Lze odhadovat, že rozdílná populační dynamika téhož druhu za (takřka) shodných podmínek by mohla být způsobena např. použitím rozdílných laboratorních kmenů roztočů, odlišnostmi v experimentálním designu, složením chovné diety apod. (Colloff, 1987; Colloff, 2009). Pro srovnání: nejvyšší populační růst byl při 25 °C a 75-85% RH – v porovnání s dalšími kombinacemi teplot a vlhkostí – pozorován i u blízce příbuzného druhu prachového roztoče *Dermatophagoides pteronyssinus* (Gamal-Eddin, 1983a; Crowther a kol., 2006; Yellou a kol., 2011).

Ačkoliv roztoči inkubovaní při 20 °C (v kombinaci se všemi studovanými vlhkostmi) v našich experimentech vykazovali populační růst spíše pozvolný, jejich populace byly za těchto podmínek stabilní (a přežívající) až do plánovaného ukončení experimentu ve 14. týdnu. „Dlouhověkost“ a „neměnnost“ početnosti populací téhož druhu při 20 °C a 80-85% RH popisují i Arliana a kol. (1999a) a u druhu *D. pteronyssinus* Andersen (1988). Při teplotě 20-22 °C v kombinaci s 75% RH byly (v porovnání s jinými podmínkami) u samic druhu *D. farinae* též pozorovány nejdelší doba ovipozice a nejvyšší produkce vajíček (Alexander a kol. 2002; Matsumoto a kol. 1986).

Při inkubaci ve 30 °C je u druhu *D. farinae* popisováno urychlení vývojového cyklu (Arlian a Dippold, 1996; Colloff, 2009; Rezk, 2004). Tento fenomén byl patrný i v našich

experimentech, kdy populace roztočů chované při této teplotě (kombinované se všemi vlhkostmi) vykazovaly strmý populační růst. Během 21 dní se počet jedinců chovaných při 30 °C a 85-86% RH například znásobil 16,4 krát. Podobný efekt u druhu *D. pteronyssinus* pozorovali za těchto podmínek i Crowther a kol. (2006) – v jejich experimentech byl po třech týdnech počet roztočů (oproti počátečnímu stavu) devatenácti a půl násobný. Strmý populační nárůst roztočů byl však ve studiích nás i Crowthera a kol. (2006) za těchto podmínek patrný pouze krátkodobě (v případě naší studie s maximem ve 4. týdnu inkubace). Dle Arliana a Dippolda (1996) a Rezka (2004) při 30 °C a 75-80% RH u druhu *D. farinae* výrazně klesá průměrná doba dožívání. To, že se teplota 30 °C zdá být pro dlouhodobý populační růst prachových roztočů příliš vysoká, naznačují také studie Spieksmy (1967) a Gamal-Eddina a kol. (1983b). Našimi výpočty zjištěné optimum 28 °C (při 85 % RH) by naproti tomu mohlo být v rámci životní strategie prachových roztočů jistým kompromisem – tato vyšší teplota by mohla vést k urychlení jejich vývojového cyklu, ale zároveň nemít negativní vliv na fekunditu a délku dožívání.

Jako nevhodné pro populační růst druhu *D. farinae* se v našich experimentech ukázaly teploty 15 a 35 °C (při všech studovaných vlhkostech), což ve své studii potvrzují také Arlian a Dippold (1996). Při 15 °C (a všech studovaných vlhkostech) byly námi studované kolonie roztočů schopny přežívat po dobu 14. týdnů (tj. po celou dobu studie), avšak prakticky žádný populační růst u nich nebyl patrný. Roztoči inkubovaní ve 35 °C poté v našich experimentech nejenže nevykazovali žádný populační růst, ale zároveň i nepřežívali déle než po dobu 7, 5, 3 a 3 týdnů (při 62, 75, 84 a 89% RH). Arlian a Veselica (1981) změřili, že kritická rovnovážná (CEH) vlhkost druhu *D. farinae* je při 35 °C rovna 75 %. Vzhledem k tomuto faktu se delší dožívání roztočů při a pod limitem CEH (tj. při 75 a 62% RH) v porovnání s vyššími vlhkostmi (84 a 89% RH) může v našich experimentech jevit jako paradoxní. Jistým vysvětlením by však mohlo být namnožení plísní, u nichž je známo, že ve vyšších vlhkostech lépe prospívají (Hay a kol. 1993; Petrova-Nikitina a kol. 2011).

Nárůst těchto mikroskopických hub byl v našich experimentech patrný při teplotách 25, 30 a 35 °C (v kombinaci se všemi RH) s tím, že intenzita jejich nárůstu byla přímo úměrná zvyšující se vlhkosti. Ačkoliv byl růst mycelií plísní narušován pravidelným protřepáváním substrátu, na populace roztočů v komůrkách měla jejich přítomnost prokazatelně negativní vliv a ve všech případech nakonec vedla k jejich vymření. To naznačuje, že přítomnost mikroorganismů – jako jsou plísně (nebo resp. kompetice s nimi) – by mohla být vysvětlením, proč se roztoči ve svých habitatech vyskytují v nižších teplotách a vlhkostech, než by byla jejich fyziologická optima.

3.2. Respirace

Arlian a Veselica (1981) uvádí, že kritická rovnovážná vlhkost druhu *D. farinae* je při 25-30 °C rovna 65 % RH. Mohlo by se proto zdát paradoxem, že právě po inkubaci v těchto podmínkách (tj. 30 °C a 65% RH) vykazovali roztoči v našich experimentech vůbec nejvyšší produkci CO_2. Při 30 °C byl v našich experimentech patrný také ještě druhý respirační vrchol a sice – byla-li tato teplota v kombinaci s 90% RH. Produkce CO_2 u roztočů byla za těchto podmínek o něco nižší než při 30 °C a 65% RH, avšak zároveň stále výrazně vyšší než při ostatních studovaných kombinacích vlhkostí a teplot. Zvýšení respirace roztočů při 30 °C by se mohlo dát vysvětlit již výše zmiňovaným urychlením jejich metabolismu za těchto podmínek (Arlian a Dippold, 1996; Colloff, 2009; Rezk, 2004).

Proč však při této teplotě docházelo k vrcholu respirační aktivity zrovna při (obou) těchto vlhkostních extrémech, je otázkou. Fyziologie respiračních procesů není u astigmátních roztočů dosud zcela objasněná. Je možné, že vlhkost přesně rovna bodu CEH (tj, při 30 °C 65% RH) by u nich ještě nemusela spouštět obranné mechanismy v podobě změn permeability kutikuly – a tudíž i možné snížení respirace (jak ji popisují Arlian, 1975b; Vidal-Quist a kol., 2015 a Acevedo a kol., 2019).

Hubert a kol. (2010), kteří měřili produkci CO_2 u *D. farinae* po dvouhodinové inkubaci v 5-45 °C a jednotné ~ 100% RH, popsali vrchol respirace při 30 °C, což je výsledek velmi podobný druhému námi naměřenému maximu u tohoto druhu (tj. 30 °C a 90% RH). Coby optimální pro populační růst roztočů vycházely v našich výše popsaných experimentech teplota 28 °C a 85% RH – tedy podmínky opět ne tolik vzdálené od druhého námi zaznamenaného respiračního vrcholu. Z toho by se dalo usuzovat, že metabolismus prachových roztočů by mohl být na fungování při poměrně vysokých teplotách a vlhkostech adaptován stejně tak, jako je tomu u jim blízce příbuzných parazitických čeledí (např. Sarcoptidae či Psoroptidae) (Priselkova, 1954 (dle Sweatmana, 1958); Arlian a Vyszenski-Moher, 1988; Klimov a OConnor, 2013).

Z dat naměřených Hubertem a kol. (2010) dále vyplývá, že při teplotách vyšších a nižších maxima 30 °C poté metabolická aktivita druhu *D. farinae* během jejich měření postupně klesala, což odpovídalo i trendu v námi provedených experimentech.

Při 35 °C jsme pozorovali (při všech studovaných vlhkostech) snížení respirace, což mohl být následek omezení propustnosti kutikuly v důsledku zvýšeného odparu vody a částečného přechodu

na získávání energie z tukových zásob (Arlian a Wharton, 1974; Arlian, 1975b; Ellingsen,1978; Hubert a kol, 2010). Ačkoliv byla respirace roztočů za těchto podmínek snížena, stále zůstávala vyšší, než tomu bylo při stejných vlhkostech a 20 °C (s výjimkou 70-75% RH, kdy byla při 20 a 35 °C srovnatelná).

V rozmezí 20-10 °C jsme poté u roztočů v našich experimentech pozorovali nezávisle na vlhkosti poměrně strmý pokles respirační aktivity. Tento fenomén by mohl souviset s celkovým zpomalením enzymatických reakcí v jejich tělech a ztrátami metabolického tepla (jak je za těchto podmínek popisují např. van Bronswijk a kol., 1971; Fields, 1992; Arlian a Dippold, 1996; Hubert a kol, 2010). Vůbec nejnižší produkce CO_2 byla u roztočů patrná při inkubaci v 10 °C a 65% RH.

Vliv teploty a vlhkosti na respiraci prachových roztočů je dosud fenoménem jen velmi málo prozkoumaným. K lepšímu pochopení/upřesnění našich výsledků by zajisté významně napomohlo jejich možné srovnání s budoucími obdobně zaměřenými studiemi.

3.3. Preference druhu *D. farinae* v rámci teplotního gradientu

Výsledky studií zaměřených na populační hustotu prachových roztočů v různých částech matrace naznačují, že nejvíce jedinců by se mohlo vyskytovat v hloubce přibližně 5-8 mm pod jejím povrchem (Mulla a kol., 1975; de Boer a van der Geest, 1990; de Boer a Kuller, 1994). V této její vrstvě (tj. 5 mm pod povrchem) se dle dat Pretlove a kol. (2001) teplota pohybuje kolem 32 °C (zatímco teplota povrchu po obsazení člověkem stoupá až ke 35-37 °C). Vzhledem k tomu, že kožní opad se v matracích běžně nachází přibližně do hloubky 12 mm (Van Bronswijk, 1973; Hay, 1995; Colloff, 2009), lze předpokládat, že roztoči se v těchto místech zdržují zejména kvůli příjmu potravy. V obou našich experimentálních designech (tj. při konstantním i periodicky spouštěném gradientu) se roztoči přijímající potravu nejčastěji vyskytovali v sektoru s teplotním rozpětím 32-36 °C (při 55-59% RH) – což by výše zmíněným poznatkům odpovídalo. Zvýšený výskyt potravu přijímajících roztočů v sektoru s rozpětím 26-32 °C zaznamenali v rámci svých experimentů s konstantním teplotním gradientem (7-42 °C) také Hubert a kol. (2010).

Jak již bylo zmíněno výše: navzdory zrychlené metabolické aktivitě (a námi naměřené zvýšené respiraci) druhu *D. farinae* při 30 °C (Arlian a Dippold, 1996; Colloff, 2009; Rezk, 2004), nejsou takto vysoké teploty pro stabilní populační růst těchto roztočů vhodné (dle Spieksmy, 1967;

Gamal-Eddina a kol., 1983b; Rezka, 2004 a výsledků našich studií). Šlo by namítnout, že ve svrchních vrstvách matrace, kde se roztoči při krmení shlukují, dochází vlivem opakovaného obsazování lůžka člověkem ke kolísání hygrotermálních podmínek. Stabilně vysoké teploty se zde prakticky nevyskytují, přičemž prachoví roztoči jsou na jisté fluktuace ve svém prostředí adaptováni (Arlian a kol., 1998a; Arlian a kol. 1999a; Colloff, 2009). To vše je pravdou. Faktorem, který dlouhodobé přežívání roztočů ve svrchních vrstvách matrace neumožňuje, je však především nejspíš nízká vlhkost. Ta v těchto místech dle Pretlove a kol. (2001) nepřesáhne 50 % (a po obsazení lůžka člověkem může klesat dokonce až pod 40 %), což je u druhu *D. farinae* v rozporu s jeho ekologickou valencí (Arlian a kol. 1998b).

Naopak nejvyšší vlhkost (64-67% RH) se dle Pretlove a kol. (2001) udržuje asi 1 cm pod povrchem matrace, kde teplota zároveň odpovídá 26-28 °C. Cunningham (1998) naproti tomu popisuje, že vlhkost ve středních (konkrétněji nespecifikovaných) vrstvách matrace může dosahovat až 64-71 %. Na základě těchto poznatků (v souladu s výsledky optima populačního růst v našich experimentech – 25-28 °C a 85% RH) lze usuzovat, že by prachoví roztoči mohli z povrchu matrace (kde přijímají potravu) migrovat do vrstev, kde hygrotermální podmínky lépe odpovídají jejich celkovým preferencím. Takovouto migraci v rámci teplotně-vlhkostního gradientu ve svých studiích popisují např. i Taylor (1975) či Pretlove a kol. (2001) a přímo v prostředí matrace např. de Boer a van der Geest (1990).

Zatímco zbarvení střeva roztočů v našich experimentech značilo příjem potravy, na základě nepřítomnosti barviva v jejich zažívacím traktu bylo usuzováno, že se v žádném ze sektorů gradientu nekrmili. Takovýchto roztočů jsem ve všech variantách experimentu pozorovali poměrně velké množství – v případě čtyřiadvacetihodinového kontrolního měření a pokusu s konstantním gradientem 49 % a při pětidenní inkubaci v aparatuře (se střídavě zapínaným gradientem) přibližně 31 %.

Možným vysvětlením tohoto jevu (tj. nekrmení roztočů v našich experimentech) může být, že: se jednalo o imobilní protonymfy a tritonymfy v klidovém období farátu (Matsumoto a kol., 1986; Arlian a Dippold, 1996); by frekvence krmení prachových roztočů mohla být delší než 5 dní (jak často přijímají potravu, není z dostupné literatury známo); roztoči mohli být v době vyhodnocení experimentů těsně po defekaci (průchod tráveniny jejich střevem trvá dle Akimova (1985) zhruba 3 h). Nutno však podotknout, že většina těchto roztočů byla v našich experimentech prokazatelně živých, pohyblivých a vyskytujících se mimo hromádky diety.

Signifikantně nejvíce potravu nepřijímajících roztočů se ve všech variantách experimentů nacházelo v nejchladnějšími sektoru s rozpětím 19-23 °C (při 55-59% RH). Dle Pretlove a kol. (2001) oscilují teploty ve střední vrstvě matrace kolem 17-23 °C, dle Cunninghama (1998) kolem 14-16 °C. To by – vzhledem k výsledkům našich studií – mohlo naznačovat, že by se potravu nepřijímající roztoči mohli stahovat spíše do těchto chladnějších vrstev matrace. Kde by u nich též – dle snížené respirační aktivity za těchto podmínek – mohlo (ve srovnání s teplejšími svrchními vrstvami) docházet i k jistému metabolickému útlumu.

Závěrem by šlo výsledky všech našich studií souhrnně interpretovat tak, že prachoví roztoči pravděpodobně migrují mezi horními a středními vrstvami matrace v závislosti na svých momentálních fyziologických potřebách a fázi životního cyklu. Příjem potravy u nich probíhá ve svrchních, nejteplejších vrstvách, kde se po dobu krmení zdržují poblíž těla člověka. Tento jev by mohl odkazovat na preadaptaci (vyhledávání blízkosti „hostitele“ za účelem krmení) zděděnou od jejich parazitických předků. V o něco hlubších vrstvách matrace by mohly hygrotermální podmínky odpovídat optimu pro jejich populační růst, který souvisí se zvýšenou metabolickou aktivitou (včetně respirace). Roztoči, kteří se uchylují do středních vrstev matrace s nižší teplotou, se zdají být naopak metabolicky méně aktivní a mohlo by u nich docházet k jevům, jako je například trávení. Stahování se do hlubších vrstev matrace by pro tyto roztoče zároveň představovalo výhodu v tom, že by byli ve svém „klidové stavu“ lépe chráněni před možnými disturbancemi.

Výsledky všech našich experimentů nastiňují možné podoby hygrotermálně podmíněného chování prachových roztočů v prostředí matrace. Stále je však důležité zmínit, že tato problematika je dosud jen málo probádaná a v budoucnu by mohla být předmětem dalších – zajisté potenciálně velmi zajímavých – studií.

4. Seznam použité literatury

*sekundární citace

Acevedo, N., Zakzuk, J., and Caraballo, L. (2019). House dust mite allergy under changing environments. *Allergy, Asthma and Immunology Research*, *11*(4), pp. 450–469. https://doi.org/10.4168/aair.2019.11.4.450

Akimov, I. A. (1985). [Biological foundations of harmfulness of acaroid mites], 1st edition. Naukova Dumka, Kiev, Ukraine. p. 100. ISBN: 595-427-59I-43-59I-53-576-744. (in Russian)

Alexander, A., Fall, N. and Arlian, L. (2002). Mating and fecundity of *Dermatophagoides farinae*. *Experimental and Applied Acarology*, 26(1–2), pp. 79–86. doi: 10.1023/A:1020920320439

Andersen, A. (1988). Population growth and developmental stages of the house dust mite, *Dermatophagoides pteronyssinus* (Acari: Pyroglyphidae). *Journal of Medical Entomology*, *25*(5), pp. 370–373. https://doi.org/10.1093/jmedent/25.5.370

Arlian, L. G. (1975a). Dehydration and survival of the European house dust mite, *Dermatophagoides pteronyssinus*. *Journal of Medical Entomology*, 12(4), pp. 437–442. doi: 10.1093/jmedent/12.4.437.

Arlian, L. G. a Veselica, M. M. (1981). Reevaluation of the humidity requirements of the house dust mite *Dermatophagoides farinae* (Acari: Pyroglyphidae). *Journal of Medical Entomology*,18(4), pp. 351–352. doi: 10.1093/jmedent/18.4.351.

Arlian, L. G. and Vyszenski-Moher, D. L. (1988) Life cycle of *Sarcoptes scabiei* var. *canis*, *The Journal of Parasitology*, 74(3), pp. 427–430. doi: 10.2307/3282050.

Arlian, L. G. (1992). Water balance and humidity requirements of house dust mites. *Experimental and Applied Acarology*, 16(1–2), pp.15–35. doi: 10.1007/BF01201490.

Arlian, L. G., Neal, J. S. and Bacon, S. W. (1998a). Survival, fecundity, and development of *Dermatophagoides farinae* (Acari: Pyroglyphidae) at fluctuating relative humidity. *Journal of Medical Entomology*, 35(6), pp. 962– 966. doi: 10.1093/jmedent/35.6.962.

Arlian, L. G., Confer, P. D., Rapp, C. M., Vyszenski-Moher, D. L. and Chang, J. C. S. (1998b). Population dynamics of the house dust mites *Dermatophagoides farinae*, *D. pteronyssinus*, and *Euroglyphus maynei* (Acari: Pyroglyphidae) at specific relative humidities. *Journal of Medical Entomology*, 35(1), pp. 46–53. doi: 10.1093/jmedent/35.1.46.

Arlian, L. G. and Dippold, J. S. (1996). Development and fecundity of *Dermatophagoides farinae* (Acari: Pyroglyphidae). *Journal of Medical Entomology*, 33(2), pp. 257–260. doi: 10.1093/jmedent/33.2.257.

Arlian, L. G., Neal, J. S. and Vyszenski-Moher, D. L. (1999a). Reducing relative humidity to control the house dust mite *Dermatophagoides farinae*. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, *104*(4 I), pp. 852–856. https://doi.org/10.1016/S0091-6749(99)70298-8

Arlian, L. G., Neal, J. S. and Vyszenski-Moher, D. L. (1999b). Fluctuating hydrating and dehydrating relative humidities effects on the life cycle of *Dermatophagoides farinae* (Acari: Pyroglyphidae). *Journal of Medical Entomology*, *36*(4), pp. 457–461. https://doi.org/10.1093/jmedent/36.4.457

Arlian, L. G. and Wharton, G. W. (1974). Kinetics of active and passive components of water exchange between the air and a mite, *Dermatophagoides farinae*. *Journal of Insect Physiology*, 20(6), pp. 1063–1077. doi: 10.1016/0022-1910(74)90148-6

Arlian, L. G. (1975b). Water exchange and effect of water vapour activity on metabolic rate in the dust mite, *Dermatophagoides*. *Journal of Insect Physiology*. 21(8), pp. 1439-1442. doi: 10.1016/0022-1910(75)90204-8.

Calderón, M. A., Linneberg, A., Kleine-Tebbe, J., de Blay, F., de Rojas, D. H. F., Virchow, J. C. and Demoly, P. (2015). Respiratory allergy caused by house dust mites: What do we really know? *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, *136*(1), pp. 38–48.https://doi.org/10.1016/j.jaci.2014.10.012

Colloff, M. J. (1987) Effects of temperature and relative humidity on development times and mortality of eggs from laboratory and wild populations of the European house-dust mite *Dermatophagoides pteronyssinus* (Acari: Pyroglyphidae), *Experimental and Applied Acarology*, 3(4), pp. 279–289. doi: 10.1007/BF01193165.

Colloff, M. J. (2009). Dust Mites, 1st edition. CSIRO Publishing, Collingwood, VIC, pp. 77-78, 105, 119-123, 125, 130, 139, 148-157, 164-166, 173-177, 216-218, 238, 260, 266-169, 244, 255-260, 273-284. ISBN: 978-0-643-10049-7.

Crowther, D, Oreszczyn, T., Pretlove, S., Ridley, I., Horwood, J., Cox, P. and Leung, B. (2001). Controlling house dust mites through ventilation: the development of a model of mite response to varying hygrothermal conditions. In: Biocontaminants de l'air intérieur: Effets sur la santé et prévention, International Society of the Built Environment, Dijon, France. 15. 6. 2001

Crowther, D., Horwood, J., Baker, N., Thomson, D., Pretlove, S., Ridley I. and Oreszczyn, T. (2000). House dust mites and the built environment: A literature review. Report for the EPSRC project "A Hygrothermal Model for Predicting House-DustMite Response to Environmental Conditions in Dwellings". The Bartlett, UCL, London, United Kingdom.

Crowther, D., Wilkinson, T., Biddulph, P., Oreszczyn, T., Pretlove, S. and Ridley, I. (2006) A simple model for predicting the effect of hygrothermal conditions on populations of house dust mite *Dermatophagoides pteronyssinus* (Acari: Pyroglyphidae), *Experimental and Applied Acarology*, 39(2), pp. 127–148. doi: 10.1007/s10493-006-9003-8.

Cunningham, M. J. (1998). Direct measurements of temperature and humidity in dust mite microhabitats. *Clinical and Experimental Allergy*, *28*(9), pp. 1104–1112. https://doi.org/10.1046/j.1365-2222.1998.00351.x

de Boer, R., and Kuller, K. (1997). Mattresses as a winter refuge for house dust mite populations. *Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology*, *52*(3), pp. 299–305. https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.1997.tb00994.x

de Boer, R., and van der Geest, L. P. (1990). House-dust mite (Pyroglyphidae) populations in mattresses, and their control by electric blankets. *Experimental and Applied Acarology*, *9*(1–2), pp. 113–122. https://doi.org/10.1007/BF01198989

de Boer, R. and Kuller (1994). House dust mites (*Dermatophagoides pteronyssinus*) in mattresses Vertical distribution. *Proceedings of Experimental and Applied Entomology*, 5, pp. 129-130.

Ellingsen, I. J. (1978). Oxygen consumption in active and quiescent protonymphs of the American house-dust mite. *Journal of Insect Physiology*, 24(1), pp. 13-16

Erban, T., and Hubert, J. (2008). Digestive function of lysozyme in synanthropic acaridid mites enables utilization of bacteria as a food source. *Experimental and Applied Acarology*, *44*(3), pp. 199–212. https://doi.org/10.1007/s10493-008-9138-x

Fields, P. G. (1992) The control of stored-product insects and mites with extreme temperatures, *Journal of Stored Products Research*, 28(2), pp. 89–118. doi: 10.1016/0022-474x(92)90018-l.

Gamal-Eddin, F.M., Abou-Sinna, F.M., Tayel, S.E., Aboul-Atta, A.M., Seif, A.M., Gaafar, S.M (1983a) Duration of the development stages of house dust mites *Dermatophagoides farinae* and *D. pteronyssinus* under controlled temperatures and relative humidities to pave the way in front of the workers in the field of house-dust mite bronchial asthma. 1 - Pre-imaginal period. *Journal of the Egyptian Society of Parasitology*, 13(2), pp. 319–334.

Gamal-Eddin, F.M., Shehata, K.K., Tayel, S.E., Abou-Sinna, F.M., Aboul-Atta, A.M., Seif, A.I., Imam, M.H. and Hafez, A.H. (1983b). Duration of the developmental stages of house-dust mites *Dermatophagoides farinae* and *D. pteronyssinus* under controlled conditions, to pave the way in front of the workers in the field of house-dust mite asthmatic bronchitis. 2 — Oviposition period, fecundity and oval duration. *Journal of the Egyptian Society of Parasitology*,13(5), pp. 557–581.

Hay, D. B. and Douglas, A. E. and Hart, B. J. (1993). Effects of the fungus *Aspergillus penicillioides* on the house dust mite *Dermatophagoides pteronyssinus*: an experimental re-evaluation. *Medical and Veterinary Entomology,* 7(3), pp. 271-274. doi: 10.1111/j.1365-2915.1993.tb00687.x.

Hay, D. B. (1995). An in situ coring technique for estimating the population size of house dust mites in their natural habitat. *Acarologia*, 36(4), pp. 341-345.

Hubert, J., Pekár, S., Nesvorná, M. and Šustr, V. (2010) Temperature preference and respiration of acaridid mites, *Journal of Economic Entomology*, 103(6), pp. 2249–2257. doi: 10.1603/ec10237.

Klimov, P. B. and OConnor, B. (2013) Is permanent parasitism reversible? – Critical evidence from early evolution of house dust mites, *Systematic Biology*, 62(3), pp. 411–423. doi: 10.1093/sysbio/syt008.

Klimov, P. B., Molva, V., Nesvorna, M., Pekar, S., Shcherbachenko, E., Erban, T. and Hubert, J. (2019). Dynamics of the microbial community during growth of the house dust mite *Dermatophagoides farinae* in culture. *FEMS Microbiology Ecology*, 1;95(11), fiz153. https://doi.org/10.1093/femsec/fiz153

Mailleux, A. C., Astudillo Fernandez, A., Martin, G. S., Detrain, C. and Deneubourg, J. L. (2011). Collective migration in house dust mites. *Ethology*, *117*(1), 72–82. https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.2010.01845.x

Matsumoto, K., Okam, M. and Wada, Y. (1986) [Effect of relative humidity on life cycle of the house dust mites, *Dermatophagoides farinae* and *D. pteronyssinus*], *Medical Entomology and Zoology*, 37(1), pp.79–90. doi: 10.7601/mez.37.79. (in Japanese)

Mollet, J. A., and Robinson, W. H. (1996). Dispersal of American house dust mites (Acari: Pyroglyphidae) in a residence. *Journal of Medical Entomology*. 33, pp. 844–847. doi:10.1093/JMEDENT/33.5.844

Molva, V., Nesvorna, M. and Hubert, J. (2019). Feeding interactions between microorganisms and the house dust mites *Dermatophagoides pteronyssinus* and *Dermatophagoides farinae* (Astigmata: Pyroglyphidae). *Journal of Medical Entomology*, *56*(6), pp. 1669–1677. https://doi.org/10.1093/jme/tjz089

Mulla, M. S., Harkrider, J. R., Galan, S. P., and Amin, L. (1975). Some house dust control measures and abundance of *Dermatophagoide*s mites in Southern California (Acari: Pyroglyphidae). *Journal of Medical Entomology*, *12*(1), pp. 5–9. https://doi.org/10.1093/jmedent/12.1.5

Naegele, A., Reboux, G., Scherer, E., Roussel, S. and Millon, L. (2013) Fungal food choices of *Dermatophagoides farinae* affect indoor fungi selection and dispersal, *International Journal of Environmental Health Research*, 23(2), pp. 91–95. doi: 10.1080/09603123.2012.699029.

Petrova-Nikitina, A. D., Antropova, A. B., Bilanenko, E. N. and Mokeeva, V. L. (2011). Population dynamics of mites of the family Pyroglyphidae and micromycetes in laboratory cultures. *Entomological Review*, *91*(3), pp. 377-387. https://doi.org/10.1134/S0013873811030134

Pretlove, S. E. C., Ridley, I., Horwood, J. A., Leung, B., Cox, P., Thomson, D., Baker, N., Crowther, D. and Oreszczyn, T. (2001). A combined transient hygrothermal and population model of house dust mites in beds. IAQ 2001: Moisture, Microbes and Health Effects: Indoor Air Quality and Moisture in Buildings, ASHRAE, San Francisco, USA. 4.-7. 11. 2001

*Priselkova D. O. (1954) '[Morphology, biology and ecology of mange mites from horses]' *First Soviet Conference of Veterinary Dermatology*. pp. 59–63. (in Russian)

Rao, V. R. , Dean, B. V., Seaton, A. and Williams, D.A. (1975). A comparison of mite populations in mattress dust from hospital and from private houses in Cardiff, Wales. *Clinical & Experimental Allergy*, *5*(2), pp. 209–215. https://doi.org/10.1111/j.1365-2222.1975.tb01854.x

Ree, H., Leei, I. Y., Kim, T. E., Jeon, S. H and Hong, C. (1997). Mass culture of house dust mites, *Dermatophagoides farinae* and *D. pteronyssinus* (Acari: Pyroglyphidae). *Medical Entomology and Zoology* 48(2), pp. 109-116. DOI:10.7601/mez.48.109.

Rezk, H. A. (2004) Influence of temperature on life history parameters of the American house dust mite, *Dermatophagoides farinae*, Hughes (Acari: Pyroglyphidae), *Alexandria Journal of Agricultral Research*, 49(3), pp. 25 – 31.

Rodríguez, D., Palacios, R., Martínez, J., Guisantes, J. A. and Postigo, I. (2021). Kinetics of *Dermatophagoides pteronyssinus* and *Dermatophagoides farinae* growth and an analysis of the allergen expression in semi-synthetic culture medium. *Acarologia*, *61*(2), pp. 403–411. https://doi.org/10.24349/acarologia/20214439

Schowalter, T. D. (2006). Insect Ecology. An Ecosystem Approach, 2nd edition. Elsevier, Amsterdam, p. 34. ISBN: 978-0-12-088772-9.

Spieksma, F. T. (1967). The house dust mite *Dermatophagoides pteronyssinus* (Trouessart 1897), producer of the house dust allergens (Acari: Psoroptidae). A thesis for the degree of doctor of science. Leiden University, Leiden, pp. 26–27, 30, 33, 37–38.

Spieksma, F. T. M. (1997). Domestic mites from an acarologic perspective. *Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology*, *52*(4), pp. 360–368. https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.1997.tb01012.x

Sweatman, G. K. (1958). On the life history and validity of the species in *Psoroptes*, a genus of mange mites, *Canadian Journal of Zoology*, 36(6), pp. 905–929. doi: 10.1139/z58-078.

Taylor, R. N. (1975). Contributions to the biology and ecology of house dust mites. A thesis for the degree of Ph.D..University of Glasgow, Glasgow, United Kingdom, pp. 50-52; 57-58; 79

Vackova, T., Pekar, S., Klimov, P.B., Hubert, J. (2021). Sharing a bed with mites: preferences of the house dust mite *Dermatophagoides farinae* in a temperature gradient. *Experimental and Applied Acarology*, 84(4), pp. 755-767. DOI: 10.1007/s10493-021-00649-9

Vackova, T., Pekar, S., Klimov, P.B., Hubert, J. (2023). Population growth and respiration in the dust mite *Dermatophagoides farinae* under different temperature and humidity regimes. *Experimental and Applied Acarology*, 89(2), pp.157-169. DOI: 10.1007/s10493-022-00775-y.

van Asselt, L. (1999). Interactions between domestic mites and fungi. *Indoor and Built Environment*, *8*(4), pp. 216–220. https://doi.org/10.1177/1420326X9900800402

van Bronswijk, J. E. (1973). *Dermatophagoides pteronyssinus* (Trouessary, 1897) in mattress and floor dust in a temperate climate (Acari: Pyroglyphidae). *Journal of Medical Entomology*, *10*(1), pp. 63–70. https://doi.org/10.1093/jmedent/10.1.63

van Bronswijk, J. E. M. H., Schoonen, J. M. C. P., Berlie, M. A. F. and Lukoschus, F. S. (1971) On the abundance of *Dermatophagoides pteronyssinus* (Trouessart, 1897) (Pyroglyphidae: Acarina) in house dust, *Researches on Population Ecology*, 13(1), pp. 67–79. doi: 10.1007/BF02522014.

Vidal-Quist, J. C., Ortego, F., Lombardero, M., Castañera, P. and Hernández-Crespo, P. (2015). Allergen expression in the European house dust mite *Dermatophagoides pteronyssinus* throughout development and response to environmental conditions. *Medical and Veterinary Entomology*, 29(2), pp. 137–146. https://doi.org/10.1111/mve.12102

Wharton, G. W. (1971). Spatial Relations of House Dust Mites. *Proceedings of the 3rd International Congress of Acarology*, pp. 557–559. https://doi.org/10.1007/978-94-010-2709-0_108

Wharton, G. W. and Furumizo, R. T. (1977). Supracoxal gland secretions as a source of freshwater for Acaridei. *Acarologia*, 19 (1), pp. 112-116.

Wilkinson, T., Horwood, J., Cox, P., Crowther, D., Ridley, I., Oreszczyn, T. and Pretlove, S. (2002). Factors affecting the carrying capacity (K) of a mattress for the house dust mite *Dermatophagoides pteronyssinus* (Acari: Pyroglyphidae). Platform Presentation given at 11th International Congress of Acarology, Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Merida, Yucatan, Mexico. 8. –13. 9. 2002

Yella, L., Morgan, M. S., and Arlian, L. G. (2013). Population growth and allergen accumulation of *Dermatophagoides farinae* cultured at 20 and 25 °C. *Experimental and Applied Acarology*, 60(1), pp. 117–126. https://doi.org/10.1007/s10493-012-9626-x

<u>Webové stránky:</u>

WHO/IUIS (2022). Allergen Nomenclature Sub-Committee . Dostupné z: http://www.allergen.org/search.php?allergensource=Dermatophagoides+farinae. [cit. 21.11. 2022].

5. Seznam příloh

1) Sharing a bed with mites: preferences of the house dust mite *Dermatophagoides farinae* in a temperature gradient (2021)

2) Population growth and respiration in the dust mite *Dermatophagoides farinae* under different temperature and humidity regimes (2023)