

**Univerzita Karlova v Praze  
Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Biologie  
Studijní obor: Biologie



Barbora Jourová

**Struktura společenstva půdních saprofágních roztočů a jejich  
potravní výběr**

Community structure of soil saprophagous mites and their food selection

Bakalářská práce

Školitel: prof. RNDr. Jaroslav Smrž, CSc.

Praha 2014



## Prohlášení

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

V Praze dne 13.5. 2014

.....

Barbora Jourová



## **Poděkování**

Děkuji svému školiteli prof. RNDr. Jaroslavu Smržovi, CSc. za jeho vytrvalé a trpělivé vedení mé práce. Dále děkuji své rodině za morální a materiální podporu bez které by tato práce nemohla vzniknout.

Také bych chtěla poděkovat pplk. Ing. Haně Šulákové, PhD. za nespočetné množství společných konzultací.



## Abstrakt

Struktura společenstva půdních saprofágních roztočů je velmi významným ukazatelem nejen diverzity, ale v širším pohledu i typu a zachovalosti biotopu. Reakce společenstva na změny pak také zahrnují i historii vývoje biotopu vzad i do budoucnosti. Nejedná se tedy o bodový, okamžitý parametr ale i o ukazatel dynamiky. K tomu přistupuje i potravní biologie, která se ukazuje být významným faktorem nejen biologickým, ale i ekologickým.

Tato práce přináší shrnutí dosavadních poznatků o studiu potravní biologie a struktury společenstev půdních saprofágních roztočů. Je zde také zahrnuto kritické zhodnocení metod studia půdních roztočů.

### Klíčová slova:

pancířníci, struktura společenstva, potravní selekce.

## Abstract

Community structure of soil saprophagous mites illustrates not only their diversity, but also it is able to characterize biotope as a whole. Such structure can be correlated with fluctuation of factors in with respect to the historical development and perspectives of biotope. Therefore, community structure exhibits the dynamics. The nutritional biology belongs to biological as well as to ecological parameters.

This work presents the summary of existing knowledge about study of nutritional biology and community structure of soil saprophagous mites and also critical analysis of methods studying soil mites.

### Keywords:

moss mites, community structure, food selection.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Metody zkoumání potravní biologie roztočů a jejich rozdělení do potravních skupin</b>	<b>4</b>
2.1	Potravní skupiny podle Schustera a Luxtona . . . . .	4
2.1.1	Makrofytofágové . . . . .	5
2.1.2	Mikrofytofágové . . . . .	5
2.1.3	Nespecifikovaní/Panfytofágové . . . . .	6
2.1.4	Zoofágové . . . . .	6
2.1.5	Nekrofágové . . . . .	6
2.1.6	Koprofágové . . . . .	6
2.2	Potravní guildy na základě kvantitativní enzymatické analýzy . . . . .	7
2.2.1	Herbivorní <i>grazers</i> . . . . .	7
2.2.2	Herbivorní <i>browsers</i> . . . . .	7
2.2.3	Fungivorní <i>grazers</i> . . . . .	7
2.2.4	Fungivorní <i>browsers</i> . . . . .	8
2.2.5	Herbo-fungivorní <i>grazers</i> . . . . .	8
2.2.6	Oportunističtí herbo-fungivoři . . . . .	8
2.2.7	Všežravci/Omnivoři . . . . .	8
2.3	Potravní guildy na základě metody stabilních izotopů . . . . .	8
2.3.1	Karnivorní a omnivorní pancířníci . . . . .	9
2.3.2	Sekundární rozkladači . . . . .	9
2.3.3	Primární rozkladači . . . . .	9
2.3.4	Fykofágní a fungivorní pancířníci . . . . .	9
2.4	Trofické interakce na základě analýzy mastných kyselin . . . . .	9
2.5	Testy potravní specializace . . . . .	10



2.6	Mikroanatomie a kultivace přijatých mikroorganismů . . . . .	11
2.7	Shrnutí . . . . .	11
<b>3</b>	<b>Charakteristika jednotlivých habitatů a jejich druhové složení roztočů</b>	<b>14</b>
3.1	Louky . . . . .	14
3.1.1	Charakteristika luk . . . . .	14
3.1.2	Potravní biologie a struktura společenstev půdních roztočů luk . . .	14
3.2	Lesy . . . . .	15
3.2.1	Charakteristika lesů . . . . .	15
3.2.2	Potravní biologie a struktura společenstev půdních roztočů lesů . .	16
3.3	Dočasné habitaty . . . . .	17
3.3.1	Dekompozice exkrementů . . . . .	17
3.3.2	Dekompozice těl . . . . .	17
<b>4</b>	<b>Vertikální distribuce</b>	<b>20</b>
4.1	Shrnutí . . . . .	21
<b>5</b>	<b>Horizontální distribuce</b>	<b>22</b>
5.1	Shrnutí . . . . .	23
<b>6</b>	<b>Závěr</b>	<b>24</b>



# Kapitola 1

## Úvod

Co se půdní biodiverzity týká, tvoří saprofágní roztoči majoritní skupinu živočichů v mnoha typech půd. Struktura společenstva roztočů je utvářena mnoha parametry, které dohromady produkují složitý a komplexní systém. Zde se také objevuje snaha roztrždit roztoče do skupin pro lepší pochopení struktury a fungování jejich společenstev. Studium potravní biologie je častým nástrojem využívaným ke klasifikaci roztočů. Názory na rozdělení roztočů do skupin dle jejich potravního výběru jsou ale nejednotné, přitom rozdílné zařazení jednotlivých roztočů je často způsobeno odlišnými metodami zkoumání potravní diferenciacce roztočů. V této práci budou některé z těchto metod, včetně jejich kladů a záporů, alespoň okrajově představeny.

Cílem práce je shromáždit informace o dosavadních systémech a způsobech klasifikace půdních roztočů. Také zde budou uvedeny některé významné faktory, které strukturu a potravní biologii společenstev roztočů nejvíce ovlivňují.



## Kapitola 2

# Metody zkoumání potravní biologie rozočů a jejich rozdělení do potravních skupin

Mnoho autorů se ve svých publikacích zabývá vlivem půdních rozočů na daný habitat, který se, soudě podle jejich početnosti, výživě a způsobu života zdá být značný. Pro sumarizaci dopadu rozočů na půdní ekosystém je, vzhledem k jejich velkému počtu, vhodné je rozřadit do skupin. Potravní biologie slouží jako vhodný faktor pro jejich rozřídění.

### 2.1 Potravní skupiny podle Schustera a Luxtona

Jako první se potravní biologii saprofágních rozočů zabýval Schuster (1956), který je rozřídil na tři skupiny: makrofytofágové, mikrofytofágové a nespecializovaní. Jeho charakteristiku rozšířil Luxton (1972), který guildu nespecializovaných nazývá panfytofágové a dále rozlišuje skupiny příležitostně zoofágních, nekrofágních a koprofágních pancířníků.

Schuster studoval potravní biologii pancířníku na základě analýzy obsahu střeva a studie potravní preference nabízené potravy. Luxton použil metodu studie aktivity karbohydráz. Měřením aktivity jednotlivých typů karbohydráz určoval typ trávené potravy. Nevýhodou této metody je, že pomocí ní nelze zjistit, zda enzymy produkoval přímo rozoč sám, či jeho symbiotické bakterie. Nelze proto určit, jak velký vliv mají bakterie v trávicím traktu na potravní biologii pancířníků.

### 2.1.1 Makrofytofágové

Obecně by se makrofytofágové dali charakterizovat jako skupina, která se živí rozkládajícími se částmi vyšších rostlin (Luxton 1972). Typy preferované potravy jsou různé. Roztoči se specializují na odlišné druhy stromů, stádia rozkladu či určité části dané rostliny (Wallwork 1958).

Makrofytofágy lze rozdělit na dvě podskupiny. Xylofágy, kteří se živí rozkládajícím se dřevem, a fylofágy živící se rozkládajícími se listy. Většina makrofytofágních druhů druhů je fylofágní (Luxton 1972).

### 2.1.2 Mikrofytofágové

Mikrofytofágy lze rozřadit na mykofágy, kteří se živí houbami, bakteriofágy konzumující bakterie a kvasinky, a fykofágy živící se řasami.

Velká část mikrofytofágů je považována za mykofágy (Luxton 1972). Zde se ovšem nabízí otázka, jak přesně mykofági definovat. Houby jsou totiž díky vysokému obsahu chitinu pro většinou organismů včetně roztočů nestrávitelné a ti si pro natrávení buněčných stěn hub musí opatřovat chitinolytické bakterie (Smrž 2010). Můžeme tedy za mykofága považovat roztoče, který je sám schopen strávit obsah houby, nebo toho, který dokáže rozložit i stěnu buňky hub, ale s pomocí bakterií produkujících chitinolytický enzym? Tímto problémem se zabývá Smrž (2010), který za mykofága považuje roztoče, který tráví buňku jako celek, včetně její stěny. Zároveň zkoumá původ chitinolytických bakterií v těle roztoče. Během výzkumu je zaznamenána adaptace roztočů na potravu tvořenou houbami poté, co je po určité době konzumují. Právě aspekt adaptace na nový druh potravy, který by mohl zásadním způsobem ovlivňovat vliv roztočů na prostředí, je při zkoumání potravní biologie roztočů často opomíjen (Smrž 2010).

Bakteriofágních roztočů je již mnohem méně a i ti, jako v případě *Gustavia microcephala*, se mohou příležitostně živit spory hub, a to hlavně jejich vysáváním (Schuster 1956).

Byť řasy patří k nejčastěji konzumovaným druhům potravy mezi pancířníky, jejich trávení však nebývá dokonalé a komplexní (Smrž 2002c). Luxton (1972) uvádí, že striktně fykofágní není zatím žádný známý pancířník.

### 2.1.3 Nespecifikovaní/Panfytofágové

Tato skupina tak, jak ji definoval Schuster (1956), se vyznačuje tím, že je schopna se živit širokým spektrem potravy momentálně dostupným v jejich habitatu. Nicméně i zde byla prokázána selektivita některých typů nabízené potravy. Určité druhy potravy mohou být pro roztoče vhodnější i z hlediska jejich fitness. Příkladem může být *Schelorigates laevigatus*. Ten po podání několika druhů potravy (filtrační papír, spory hub, zelené řasy a opadanka) konzumoval všechny nabídnuté druhy potravy, avšak pouze při konzumaci řasy (*Protococcus spp.*) se začal rozmnožovat (Hubert 1999), jak už ale bylo zmíněno výše, roztoč sice řasu konzumoval, nedokázal ji ale dokonale natrávit (Smrž 2002c).

### 2.1.4 Zoofágové

Pancírníci mohou příležitostně konzumovat živé tkáně. Dobře zdokumentovaným příkladem je *Pergalumna omniphagous* u které bylo prokázáno, že se živí půdními hlísticemi (Nematoda) (Rickett 1966). K zoofagii může docházet i zcela náhodně, například když roztoč při okusování rozkládajícího se materiálu ukousne kus larvy, která je opadem obklopena (Vitzthum 1943).

### 2.1.5 Nekrofágové

Konzumace mrtvých těl bezobratlých živočichů byla u roztočů také pozorována. Většina pancírníků se k nekrofagii uchýlí náhodou, velkou roli hrají okolnosti, například následkem hladovění (Luxton 1972). Výjimkou jsou například nymfy *Fuscozetes fuscipes*, u kterých byla nekrofágie preferovanou potravní strategií (Wallwork 1958).

Přítomnost mrtvých těl obratlovců je pro půdní roztoče odpudivá, nemají tedy zásadní vliv na jejich dekompozici (Bornemissza 1957). Nelze ovšem přehlédnout nárůst populace predátorů konzumujících skutečně nekrofágní členovce na příslušné mršině.

### 2.1.6 Koprofágové

Druhy jako *Galumna formicarius* či *Oppia* sp. jsou považovány za obligátní koprofágy (Wallwork 1958). Avšak většina pancírníků se exkrementy živí jen občasně. Mnoho fakultativních koprofágů je proto spíše řazeno mezi panfytofágy (Luxton 1972). Samotné exkrementy mohou také obsahovat mnoho ještě užitečných látek (Smrž 2001), (Smrž 2002c).

## 2.2 Potravní guildy na základě kvantitativní enzymatické analýzy

Siepel (1993), (1994) založil svou klasifikaci na základě vlivu roztočů na dekompozici. Aby mohli roztoči ovlivnit rozklad tkání, musí být schopni je strávit. Schopnost roztočů natrávit rostlinná, nebo houbová pletiva byla měřena na základě aktivity jejich trávicích enzymů - celulózy, chitinázy a trehalázy.

Roztoči byli rozděleni na dvě velké podskupiny *grazers* a *browsers*. *Grazers* jsou schopni strávit jak buněčný obsah, tak stěnu buňky. Naopak *browsers* dokáží strávit pouze obsah buněk.

Obecně by se dalo říci, že fungivorní roztoči mají na rychlost rozkladu pozitivní vliv, zatímco herbivoři vykazují vliv na produkci CO<sub>2</sub> řádově menší (Siepel 1994).

### 2.2.1 Herbivorní *grazers*

Herbivorní *grazers* produkují pouze celulózu, dokáží tak strávit rostlinnou stěnu i s jejím obsahem. V půdě proto slouží jako drtiči rostlinného materiálu, kterým se živí. Zde dochází Siepel k rozdílným výsledkům. V jedné práci (Siepel 1993) uvádí, že herbivorní *grazers* důležitou složkou komunity dekompozitorů. V následující publikaci (Siepel 1994) se ale objevuje opačné tvrzení, a to, že herbivorní *grazers* nemají na rozkladný proces žádný vliv.

### 2.2.2 Herbivorní *browsers*

Roztoči v této skupině neprokazují žádnou aktivitu studovaných enzymů. Absenci těchto enzymů lze vysvětlit tím, že jejich potravu z velké části tvoří živočišné složky, mohou tedy být predátoři, či se živit rozkládajícími se tkáněmi živočichů, nebo popřípadě konzumovat bakterie.

### 2.2.3 Fungivorní *grazers*

U fungivorních *grazers* byla prokázána chitinázová a trehalázová aktivita. Druhy patřící do této skupiny jsou schopni strávit rostlinné buňky včetně stěn. Díky chitináze jsou schopni se živit i mycelií.

V půdě mají na dekompozici pozitivní efekt - v jejich přítomnosti je produkce CO<sub>2</sub> zvýšena (Siepel 1994).



## 2.2.4 Fungivorní *browsers*

Fungivorní *browsers* jsou schopni strávit pouze trehalózu. Nemohou tedy rozložit stěnu buňky hub a konzumují pouze obsah buňek. Roztoči v této skupině se mohou živit i okusováním lišejníků. U takovýchto jedinců může docházet ke snížené aktivitě trehalázy.

Jejich výskyt v půdě nemá tak aktivující vliv na dekompozici - produkce CO<sub>2</sub> byla za jejich přítomnosti nižší.

## 2.2.5 Herbo-fungivorní *grazers*

U herbo-fungivorních *grazers* byla zaznamenána vysoká aktivita všech tří studovaných enzymů. Dokáží strávit všechny části buněk rostlin a hub. Do této skupiny také spadá největší procento studovaných roztočů.

Dekompozice byla v jejich přítomnosti urychlena.

## 2.2.6 Oportunističtí herbo-fungivoři

Tato skupina je schopna strávit jak celulózu, tak trehalózu. Jejich potrava se skládá hlavně z rostlin, houbami se živí jen příležitostně.

V jejich přítomnosti probíhá dekompozice pomaleji.

## 2.2.7 Všežravci/Omnivoři

Omnivoři se vyznačují celulázovou a chitinázovou aktivitou. Díky chitináze jsou schopni strávit buněčnou stěnu hub, avšak bez trehalázy nemohou strávit obsah buněk hub. Chitin je však součástí kutikuly členovců, předpokládá se tedy, že se roztoči mohou živit i jimi.

## 2.3 Potravní guildy na základě metody stabilních izotopů

Měřením poměru stabilních izotopů <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N byla zkoumána trofická diferenciace půdních roztočů (Schneider 2004). Tato relativně nová metoda má oproti metodě enzymatické analýzy tu výhodu, že zkoumá trofické vztahy dlouhodobě, není proto ovlivněna aktuálně trávenou potravou. Nevýhodou této metody je její obecnost. Nelze tak blíže specifikovat bazální zdroje potravy. Určuje pouze typ potravy, kterým se roztoči živí (Maraun 2011).

### 2.3.1 Karnivorní a omnivorní pancířníci

Druhy spadající do této guildy se vyznačují vyšším množstvím naměřeného  $^{15}\text{N}$ . To odpovídá potravě s vysokým obsahem dusíku jako jsou mrtvá a živá těla živočichů a hub.

### 2.3.2 Sekundární rozkladači

Hlavním zdrojem potravy této guildy jsou houby a částečně i opad. Naměřené hodnoty  $^{15}\text{N}$  jsou nižší než u předchozí skupiny a zároveň vyšší než u guildy primárních rozkladačů.

### 2.3.3 Primární rozkladači

Primární rozkladači žijí v opadu, kde se živí rozkládajícími se částmi rostlin, řas a hub.

### 2.3.4 Fykofágní a fungivorní pancířníci

Fykofágní a fungivorní pancířníci se vyznačují nepatrně nižší hodnotou naměřeného  $^{15}\text{N}$  než bylo naměřeno u předchozí guildy. Jejich hlavní složkou potravy jsou řasy a lišejníky.

## 2.4 Trofické interakce na základě analýzy mastných kyselin

Tato metoda byla původně používána pro studium terestických a mořských ekosystémů a postupně začala být aplikována i na ekosystémy půdní (Ruess 2002), (Ruess 2005a). Nyní je společně s metodou měření poměru stabilních izotopů využívána k odhalení celých potravních řetězců v půdních ekosystémech (Ruess 2005b). Metoda je založená na výzkumu a analýze trofického transferu mastných kyselin z potravy do těla konzumentů (Ederington 1995).

Mastné kyseliny, majoritní složky lipidů, slouží jako indikátory strávené potravy. Některé z mastných kyselin totiž mají své specifické zastoupení napříč taxony, vyizolované mastné kyseliny proto slouží jako markery natrávené potravy. Pro organismy je totiž energeticky výhodnější zabudovat mastnou kyselinu, přijatou z potravy, do tkáně bez jakýchkoliv modifikací. Tento proces se nazývá *dietary routing* (Blem 1976).

Aby bylo možné využívat mastné kyseliny jako biomarkery musí splňovat několik kritérií - a) musí být jedinečné pro konkrétní zdroj potravy, b) metabolismus konzumenta nesmí

být schopen jejich syntézy, c) minimální metabolické modifikace a za d) vhodný tvar a velikost molekuly pro inkorporaci do tkání konzumenta. Mastných kyselin splňujících tyto parametry není nazbyt, proto je často obtížné určit jakou potravu organismus pozřel.

Mapování půdních trofických interakcí je zatím v počátcích, lze tedy očekávat velký pokrok.

## 2.5 Testy potravní specializace

Testy na potravní specializaci spoívají na jednoduchém principu - roztočům jsou předkládány různé druhy potravy a jsou pozorovány jejich potravní preference. Testy mohou být prováděny několika způsoby. Roztočům může být podáván pouze jeden typ potravy, nebo formou kafeterie, kdy je roztočům předkládáno na výběr více druhů potravy. Chutnost potravy je pak vyhodnocována podle různých parametrů - produkce exkrementů, pohyb chelicer, kontakt s potravou atd. (Smrž 2010).

Klironomos a Kendrick (1996) ve své studii dokazují, že roztoči selektivně vybírají svou potravu. Potravní preference je mění v závislosti na prostředí. V místě, kde roztoči nebyli ohroženi konkurencí, nevykazovali preference k žádné potravě. Tam, kde mezi sebou interagovalo několik druhů, vytvořily si druhy odlišné preference, čímž se vyhnuly mezidruhové konkurenci o potravní zdroje. Příkladem může být *Lasiobelba rigida*, která se při zvýšení počtu druhů v jednom mikrohabitatu přesunula z původně preferované vrstvy opadu do nižších vrstev (Klironomos 1996).

Klironomos (1996) si také všímá, že roztoči nejvíce konzumují potravu ve svrchní vrstvě opadu, což je v rozporu s výsledky Andersena (1978), který pozoroval nejvyšší diverzitu ve vrstvě fermentace. Protichůdné výsledky mohou být způsobeny odlišnými způsoby provedení experimentů. Klironomos prováděl svá studia v laboratorních podmínkách, zatímco Anderson studoval diverzitu roztočů v přirozeném prostředí.

Pande a Berthet (1973) se zaměřili na potravní biologii pancírníků v lesní půdě a jejich vliv na dekompozici organických látek. Jako chutná, stravitelná a roztoči preferovaná potrava byla stanovena ta, v jejímž okolí byly nalezeny exkrementy roztoče. Nebyla ale provedena žádná analýza exkrementů, není proto možné určit, zda roztoči dokázali přijatou potravu strávit. Většina studovaných druhů upřednostňovala jako potravu rozkládající se jehlice, kůru a dřevo, u některých byla pozorována mykofágie. Tito autoři prokázali, že odlišné druhy preferují různá stádia rozkladu potravy (Pande 1973). Vliv na dekompozici organického materiálu byl zaznamenán spíše minimální (Pande 1973). Hlavní přínos

pancírníků v rozkladném procesu byl vertikální přenos živin při migraci mezi vrstvami půdy a formace humusu (Wallwork 1967).

## 2.6 Mikroanatomie a kultivace přijatých mikroorganismů

Tato metoda je složena z několika částí. Po histologickém zpracování je pod mikroskopem pozorován obsah trávicího traktu, aktivita jeho stěn (sekrece) a exkrementů. Významnými se jeví i doprovodné jevy při konzumaci vhodné, tedy stravitelné potravy (produkce metabolitů, zde guaninových krystalů, ukládání zásobní látek, zde glykogenu, případný vznik interních extracelulárních bakteriálních těles kolem střeva roztoče). Zároveň je provedena kultivace asociovaných bakterií v homogenátu a poté jejich aplikace na houbové médium (Smrž 2010). Dále je zkoumána jejich chitinázová aktivita a schopnost rozkládat chitin. Je také provedena analýza enzymové aktivity (Smrž 2010). Metoda je vhodná pro hlubší zkoumání potravní biologie roztočů a v současnosti nejvíce studována u mykofágů (Smrž 2010).

Na základě této mikroanatomie a kultivace přijatých mikroorganismů byly stanoveny tři typy mykofágie roztočů (Smrž 2010). První typ dokáže strávit buňky houby, včetně její stěny. U těchto roztočů byla prokázána chitinázová aktivita. Druhým typem jsou ti, kteří nakusují či nabodávají hyfy a konzumují pouze obsah buněk. Jedinci tohoto typu nevykazují žádnou chitinázovou aktivitu. Posledním typem jsou jedinci, kteří zkonzumují mycelia či spory hub jako celek, ale ve střevě zužitkují jen jejich obsah, tedy opět nevykazují chitinolytickou aktivitu.

## 2.7 Shrnutí

Žádná z dosud používaných metod studia potravní biologie roztočů není bezchybná.

Testy potravní specializace mohou v laboratorních podmínkách vykazovat odlišné výsledky než při pokusech v přirozeném prostředí. Je tedy možné, že dojde k chybnému zařazení roztoče do potravní guildy. Tyto testy jsou zaměřeny na jednotlivce a momentální "chutě" roztoče, nestudují potravní biologii v dlouhodobém měřítku (Erdmann 2007). Bez analýzy exkrementů, či obsahu žaludku také nelze spolehlivě určit, zda došlo k natrávení potravy.

Metodou stabilních izotopů nelze rozlišit mezi zdroji potravy s podobným poměrem izotopů. Také je limitována malým počtem přirozeně se vyskytujících biologicky relevantních stabilních izotopů (Ruess 2010).

Analýzou obsahu žaludku a střev a kvantitativní enzymatickou analýzou získáme přehled o tom, jakou část potravy je roztoč schopen natrávit. Takto ale získáme jen momentální náhled na potravu roztoče a hrozí tak možné změny preferencí v potravě, které byly zaznamenány například v této studii (Klironomos 1996). Konkrétním příkladem může být *Achipteria coleoptrata*. U tohoto druhu byly pozorovány změny potravní preference v závislosti na tom, v jakém mikrohabitatu byl pozorován (Smrž 2007).

Pro minimalizaci chyb je vhodný multimetodický přístup, kdy jsou potravní zvyklosti roztočů studovány opakovaně a několika metodami (Smrž 2002b).



# Kapitola 3

## Charakteristika jednotlivých habitatů a jejich druhové složení roztočů

### 3.1 Louky

#### 3.1.1 Charakteristika luk

Pojem “louka” zahrnuje širokou škálu habitatů. Do tohoto pojmu mohou být zahrnuty mnohé formy jako savany, prémie, stepi, pastviny, nebo vřesoviště. Louky, v širokém slova smyslu, pokrývají 17% pevniny a vyprodukují přibližně 15% světové primární produkce.

Louky se přirozeně vyvíjejí na lokalitách příliš suchých pro vznik lesa, vzhledem k lidské činnosti jsou však louky vytvářeny i na místech, kde by se jinak vyskytoval les.

Vegetace je tvořena vytrvalými bylinnými mezofyty. Půda na loukách není, díky činnosti velkých saprofágů jako jsou žížaly, či mnohonožky, nijak výrazně stratifikovaná. Ti, totiž velmi rychle rozptylují organický materiál, nejčastěji pocházející z rozkládajících se kořenových systémů rostlin, vstupující do půdy.

Vlhkost půdy se mezi jednotlivými typy luk velmi výrazně liší. Pastviny a stepi bývají spíše sušší, zatímco mokřiny či rašeliniště mohou být trvale nebo periodicky podmáčené.

#### 3.1.2 Potravní biologie a struktura společenstev půdních roztočů luk

Vzhledem k mnoha odlišným typům luk, lze jen těžko obecně charakterizovat jejich druhové složení. Obvykle ale platí pravidlo, že druhová diverzita otevřených biotopů je chudší, než například v lesním biotopu (Salona 1993).

Luční biotopy jsou studovány hlavně v horizontální rovině, která se skládá z jednotlivých mikrohabitatů. Těchto odlišností si všímá Curry (1969), který na základě těchto předpokladů provedl kvantitativní i kvalitativní analýzu složení půdní fauny. Roztoči se ukázali nejpočetnější skupinou v obou metodách. V případě kvantitativní analýzy byl průměrný počet 106 120 jedinců/ $m^2$ . Kvalitativní metodou bylo 148 druhů z celkového počtu 189 druhů zařazeno mezi roztoče. Sám Curry však zdůrazňuje, že druhové složení jednotlivých luk je značně rozdílné a může se lišit. Při zaměření se na jednotlivé části jedné louky se množství a diverzita druhů roztočů oproti průměru značně mění (Curry 1973). Příkladem může být druh *Minunthozetes semirufus*. Průměrné zastoupení toho druhu na území celé louky bylo 9 983 jedinců/ $m^2$ . Jeho průměrný výskyt se výrazně měnil v závislosti na přítomnosti rozkládajících se rostlin - 14,2 jedinců na *Rumex crispus* až 227 jedinců na *Dactylis glomerata*. Z toho lze soudit, že složení vegetace, nebo vrstvy organického opadu jsou důležitými ekologickými faktory, které přímo ovlivňují výskyt druhů roztočů, kteří se na tomto materiálu živí. A jejich potravní biologie je tedy jedním z hlavních faktorů majících vliv na jejich výskyt.

Co se složení vegetace týká, lze uvést další příklad toho, jak se rozložení půdní fauny mění v závislosti na tom, pod kterou rostlinou žijí. Jedinci rodu *Lupotarsonemus* sp. byli velmi početní na druhu *Senecio jacobela*, kde tvořili 31,1% veškeré fauny. Na druhu *Urtica dioica* bylo jejich procentuální zastoupení pouze 2,3% (Curry 1975).

## 3.2 Lesy

### 3.2.1 Charakteristika lesů

Lesní biotopy lze rozdělit na několik typů, např. jehličnatý, listnatý a smíšený les.

Struktura lesních habitatů je studována především ve vertikální rovině. Lesy nabízejí širokou škálu mikrohabitatů díky tzv. stínovému efektu, který ovlivňuje mikroklima na povrchu půdy a určuje tak typ a rozmístění vegetace. Vrstva organického materiálu je tvořena především spadaným listím, jehlicemi a tlejícími kusy dřeva (Wallwork 1976). Dalšími mikrohabitaty umožňujícími větší vertikální distribuci organismů mohou být nárosty mechů a lišejníků na kmenech stromů, kůra stromů a mnoho dalších. Díky tomu se půdní fauna může vyskytovat i nad hranicí půdy.

Vrstva humusu v lesích se dělí na dva hlavní typy: mull a mor. Mullový humus je díky promíchání s minerální složkou půdy homogennější než mor. Dále se vyznačuje neutrálním či slabě zásaditým pH a často se vytváří na místech bohatých na uhličitán vápenatý.



Obecně jeho výskyt bývá vázán spíše na luční půdy a pouze některé typy lesů (např. lípa). Mor je obvykle kyselější se zřetelnou stratifikací. Mezi oběma typy bylo zaznamenáno mnoho přechodů. Právě stratifikovaná půda lesů umožňuje vznik většího množství mikrohabitátů. To má pozitivní vliv na velikost druhové diverzity roztočů (Salona 1993)

### **3.2.2 Potravní biologie a struktura společenstev půdních roztočů lesů**

Jak již bylo řečeno, ve srovnání s loukami jsou společenstva půdních saprofágních roztočů v lesích mnohem více diverzifikovaná. Lesní biotopy totiž nabízejí mnohem více mikrohabitátů a snižují tak mezidruhovou kompetici o životní prostor a potravní zdroje v rámci jednoho habitatu (Wallwork 1976).

V jehličnatých lesích jsou saprofágní roztoči mnohem hojnější než v těch listnatých. To je zřejmě způsobeno tím, že opad jehličnatých lesů má vysoký poměr C/N. Opad je tak mnohem hůře rozložitelný a více se akumuluje. V něm je pak zastoupena větší škála organické hmoty v různém stádiu rozkladu než v lese listnatém. To vytváří ideální podmínky velké množství mykofágů a detritivorů s různými preferencemi potravních zdrojů (Wallwork 1976).

Z pohledu potravní biologie se nabízí otázka, zda opad složený z několika druhů stromů poskytuje větší množství mikrohabitátů, než opad složený jen z jednoho druhu stromu. Přestože na toto téma bylo vypracováno několik studií, nedošlo se k žádnému jednotnému závěru. Výsledky jednotlivých prací byly často v rozporu s ostatními výzkumy. Například Hansen (1998), který studoval opad listnatých lesů, nachází jasnou pozitivní korelaci mezi heterogenitou opadu a diverzitou pancířníků. K rozdílnému výsledku dospěla Migge (1998), která nepozorovala signifikantní rozdíly v diverzitě a denzitě roztočů mezi opadem z jednoho, nebo z více druhů stromů. V heterogenním opadu však zaznamenala větší výskyt "endemitů", tedy druhů, které se vyskytovaly pouze v jednom stanovišti (Migge 1998). Částečné řešení nabízí Kaneko (1999), který také pozoroval vyšší diverzitu v heterogenním opadu. Vysvětluje ji však tím, že saprofágní roztoči využívají rozdílných stádií rozkladu opadu k vytvoření více mikrohabitátů. Stejně tak i rozdílné preference k různým druhům hub jim umožňují diferenciaci prostředí na menší celky a poskytují tak možnost soužití více diverzifikovaného společenstva roztočů (Kaneko 2005).

I přes svou velkou početnost metabolizují saprofágní roztoči jen asi 5% z celkové energie přijaté z organických zbytků do půdy za rok (Pande 1973). Jejich hlavní úlohou, jak už bylo zmíněno, je tedy zřejmě rozmělnění a distribuce živin v půdě (Mitchell 1978). Nelze

zanedbávat ani jejich vliv na mikroorganismální populace.

### 3.3 Dočasné habitaty

Vytváření nových habitatů je všeobecně důležité pro vývoj druhového složení roztočů. Nové habitaty totiž nabízejí nový prostor pro život mnoha druhům živočichů a zvyšují tak diverzitu fauny i flory. Dočasné habitaty jsou výborným příkladem pro studium sukcese, protože představují rychlý vývoj ekosystému od počátku až k jeho zániku. Lze na nich také jednodušeji sledovat povahu a trvání vlivů působících na mikrohabitat. Zřejmě nejčastěji zkoumanými dočasnými habitaty jsou rozkládající se exkrementy a těla živočichů. Studium sukcese rozkládajících se těl nachází uplatnění ve forenzních vědách. Nejčastěji jsou pro tyto studie využívány larvy řádu Diptera (Amendt 2004), nicméně studium roztočů zde má své nemalé zastoupení (Perotti 2009).

#### 3.3.1 Dekompozice exkrementů

Rozkládající se exkrementy jsou důležitým faktorem ovlivňujícím druhové složení půdních roztočů hlavně v lučních biotopech sloužících jako pastviny. Na nich se vytváří nové, dynamicky se rozvíjející ekosystémy. Roztoči jsou zde po chvostoskocích (Collembola) druhou nejdominantnější skupinou (Curry 1979). Studium potravní biologie bylo prokázáno, že druhy se zde vyskytující často nejsou koprofágní, nýbrž dravé, či mykofágní. Toho tvrzení potvrzuje rod *Tyrophagus*, který se podle Wallworka živí nánosem bakterií a hub a byl na exkrementech nalezen (Wallwork 1967).

#### 3.3.2 Dekompozice těl

Naprostá většina (99%) všech rozkládajících se organických látek vstupujících do půdy, pochází z rostlinného materiálu nebo exkrementů (Swift 1979). Přesto ani rozkládající se těla nejsou zanedbatelným zdrojem organických látek. Až 750 kg organického materiálu živočišného původu může být introdukováno do jednoho kilometru čtverečního půdy za rok (Carter 2007).

Jednotlivá stádia rozkladu ovlivňují půdní roztoče odlišnými způsoby. Nejvíce půdní faunu ovlivňuje fáze, kdy se do půdy začínají uvolňovat páchnoucí látky. V této chvíli dočasně mizí, či se úplně změní složení fauny nacházející se ve svrchní vrstvě půdy (Bor-nemissza 1957).

V pokročilém stádiu rozkladu se v půdě pod tělem zvyšuje obsah uhlíku, živin a pH (Carter 2007). Jaký přesně to má vliv na půdní faunu a její potravní biologii zatím není dostatečně prozkoumáno.



# Kapitola 4

## Vertikální distribuce

Vrstvu organického nánosu lze rozdělit na tři vrstvy L,F a H.

Jako L se označuje nejsvrchnější vrstva opadu (litter). Velké formy roztočů jako například *Steganacarus magnus* nebo *Damaeus clavipes* se spíše vyskytují v této vrstvě, než ve vrstvách spodnějších (Luxton 1972). Jejich velikost jim neumožňuje se v hlubších vrstvách pohybovat. Podle Andersena (1978) je nízká diverzita druhů v této vrstvě zapříčiněna nízkou strukturální komplexitou. Struktura a počet habitatů se mění v závislosti s probíhajícím rozkladem opadu. Během tohoto procesu se opad stává komplexnější a zvyšují se tak i počty druhů. Během vysychání opadu se diverzita opět snižuje.

Zóna fermentace F se nachází mezi vrstvami L a H. Je tvořena z fragmentů rostlin, mykorhiz, zbytků těl členovců atd. Vrstva fermentace má mnohem komplexnější strukturu (probíhá zde totiž asi největší množství rozkladných a biochemických procesů) a tím i vyšší diverzitu roztočů než ve vrstvě opadu (Anderson 1978).

Nejspodněji je nachází vrstva humusu H. Roztoči obývající tuto vrstvu jsou často malí, málo sklerotizovaní a málo odolní vůči vysychání (Luxton 1972). Humus v této vrstvě je více rozmělněný, tudíž i méně komplexní, než v zóně fermentace. Diverzita roztočů je zde vyšší než v zóně opadu (Anderson 1978).

Jak již bylo zmíněno, roztoči se mohou pohybovat mezi jednotlivými vrstvami půdy a napomáhat tak distribuci živin, případně mikroorganismů v půdě (Wallwork 1967). Vertikální pohyb byl mnohokrát zpracován pro lesní půdu, chybí však definice organických vrstev otevřených prostranstvích jako jsou louky (André 2002).

Mitchell (1978) zaznamenal vertikální posun vlivem změny ročního období. Na podzim docházelo k sestupu roztočů do vrstvy fermentace, na jaře opět došlo k návratu do vrstvy opadu. Někteří autoři naopak ve svých studiích žádný pohyb mezi vrstvami nepozorovali

(Anderson 1971), (Haarlov 1960). K migraci tedy patrně dochází vlivem změny klimatu, či jako reakce na ochranu proti vyschnutí.

## 4.1 Shrnutí

Studium vertikální distribuce populací saprofágních roztočů je důležité pro pochopení jejich ekologie. Jako všechny ostatní metody, má i studium vertikální distribuce organismů svá omezení. Například naprostá většina publikací (přes 70%) je limitovaná na svrchních 10 centimetrů půdy (André 2002), to je pochopitelné z ekologických i ekonomických důvodů. Je ale možné, že studium takto malých hloubek nám může dát nepřesný obraz struktury habitatů roztočů. Příkladem je *Pomerantzia prolata* (Actinedida), která se nevyskytuje ve svrchních 23 centimetrech půdy (Price 1976).

# Kapitola 5

## Horizontální distribuce

V horizontální rovině je fauna agregována do mikrohabitátů. Takovéto rozdělení habitatů na menší části je umožněno mnoha faktory jako jsou rozdílná distribuce organické hmoty, potravní biologie, či unikátní mikroklima habitatů. Jednotlivé mikrohabitáty navíc nejsou striktně vyhrazené a mohou se překrývat (Mitchell 1978).

Rozčlenění biotopu na menší části je důležité z hlediska konkurence jak mezidruhové, tak vnitrodruhové. Čím více mikrohabitátů se v půdě nachází, tím je i větší diverzita druhů se zde vyskytujících (Anderson 1978).

Strukturu a horizontální distribuci jednotlivých společenstev lze demonstrovat na ukázkové studii prováděné na stepním biotopu (Smrž 2007). I přes to, že se studované lokality nacházely vedle sebe, bylo druhové složení fauny rozdílné. Struktura společenstev ale vykazovala podobné znaky. Faunu jednotlivých mikrohabitátů bylo možné rozdělit dle potravní biologie do několika skupin.

První skupinou byly dominantní druhy, ti jsou vysoce specializovaní, žíví se jen tím, co je pro ně chutné a co dokáží vždy dokonale strávit. Pokud se v daném mikrohabitatu nevyskytuje jejich preferovaná potrava, není zde ani daný roztoč (Smrž 2007). Příkladem může být *Damaeus* sp., který nebyl nalezen v těch mikrohabitátech, ve kterých se nevyskytovala ani houba, kterou se žíví.

Další skupinu tvoří ti, kteří se žíví širším spektrem potravy a jsou schopni adaptace na nové typy. Pozřenou potravu však nedokáží dokonale zpracovat. Mohou sem být zařazeni málo pohybliví roztoči, kteří bývají tolerantnější a méně vybíraví, co se potravy týká, a dokáží přežít i v extrémní podmínkách. Do této skupiny patří i tzv. “nomádi”, kteří jsou schopni adaptace na více druhů potravy, na rozdíl od předešlé skupiny jsou ale mnohem pohyblivější a při nepříznivých podmínkách migrují jinam (Smrž 2002b). Pokud to opět

vztáhneme k již zmiňované studii, takovým druhem je *Achipteria coleoptrata*. Jedinci tohoto druhu byli nalezeni ve všech studovaných mikrohabitátech. V každém mikrohabitatu preferovali jiný typ potravy a lišila se i míra chutnosti konzumované potravy.

Poslední, nepříliš početnou skupinou, jsou ti co, v daném mikrohabitatu přežívají, ale potrava, kterou konzumují jim poskytuje jen základní živiny. Tito roztoči se v daném mikrohabitatu množí jen minimálně, pokud vůbec. Příkladem pro tuto skupinu je *Scutovertex minutus*, který takto dokáže přežít za nepříznivých podmínek (Smrž 2002a). V již zmiňované studii (Smrž 2007) tuto skupinu reprezentuje *Eupelops occultus*. Ten se v malých počtech vyskytoval ve všech mikrohabitátech, žádná konzumovaná potrava pro něj ale nebyla chutná a nebyly ani nalezeny známky toho, že by v daném místě rozmnožoval.

## 5.1 Shrnutí

Omezení studia horizontální distribuce saprofágních roztočů nejsou až tak markantní jako v případě vertikální roviny. Pokud je sběr vzorků prováděn opakovaně, dojde k minimalizaci chyb a odchylek při studiu výskytu daný roztočů. Překážkou mohou být metody extrakce roztočů z půdy (to platí i pro studium vertikální distribuce). Nejčastěji je používán Berlese-Tullgrenův aparát a jeho různé modifikace, byť jeho účinnost není 100% (André 2002). Při jeho použití také záleží na povaze studované skupiny, pohyblivé druhy jsou hůře zachytitelné. Například pro endofágní roztoče je neúčinná (André 2002). Hrozí tedy, že i relativně početná skupina organismů bude přehlédnuta.



# Kapitola 6

## Závěr

Obrovská potravní diverzita půdních saprofágních roztočů zůstává záhadou, stejně tak i to, jak moc své životní prostředí na základě potravní biologie mění. Jejich vliv na prostředí může mít mnoho podob. Detritofágové slouží jako drtiči opadu a umožňují tak rychlejší rozklad částic. Mykofágové zase mohou stimulovat růst rozkladných hub a tím dekompozici urychlit, nebo mohou tento růst naopak potlačit a tím i dekompozici zpomalit atd.

Stejně tak struktura společenstev a prvky, které jí utváří, nejsou vždy jasné. Dobrým nástrojem pro studium jsou dočasné a rychle se rozvíjející habitaty, jejichž zkoumáním lze mnoho objasnit. V budoucnu je v této oblasti potřebný další výzkum.



# Bibliografie

- Amendt J., Krettek R.-Zehner R. (2004). "Forensic entomology". In: *Naturwissenschaften* **91.2**, s. 51–65.
- Anderson, J.M. (1971). "Observations on the vertical distribution of Oribatei (Acarina) in two woodland soils". In: *Proceedings of the 4th Colloquium of the Zoological Committee of the International Society of Soil Sciences* **590**, s. 257–272.
- Anderson, J.M. (1978). "Inter-and intra-habitat relationships between woodland Cryptosigmata species diversity and the diversity of soil and litter microhabitats". In: *Oecologia* **32.3**, s. 341–348.
- André H.M., Ducarme X.-Lebrun P. (2002). "Soil biodiversity: myth, reality or conning?" In: *Oikos* **96.1**, s. 3–24.
- Blem, Ch.R. (1976). "Patterns of lipid storage and utilization in birds". In: *American Zoologist* **16.4**, s. 671–684.
- Bornemissza, G.F. (1957). "An analysis of Arthropod succession in Carrion and the effect of its decomposition on the soil fauna." In: *Australian Journal of Zoology* **5.1**, s. 1–12.
- Carter D.O., Yellowlees D.-Tibbett M. (2007). "Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems". In: *Naturwissenschaften* **94.1**, s. 12–24.
- Curry, J.P. (1969). "The qualitative and quantitative composition of the fauna of an old grassland site at Celbridge, Co. Kildare". In: *Soil Biology and Biochemistry* **1.3**, s. 219–227.
- Curry, J.P. (1973). "The arthropods associated with the decomposition of some common grass and weed species in the soil". In: *Soil Biology and Biochemistry* **5.5**, s. 645–657.
- Curry, J.P. (1975). "The arthropod fauna of some common grass and weed species of pasture." In: *Proceedings of the Royal Irish Academy. Section B: Biological, geological, and chemical science* **76.1**, s. 1–35.

- Curry, J.P. (1979). "The arthropod fauna associated with cattle manure applied as slurry to grassland". In: *Proceedings of the Royal Irish Academy. Section B: Biological, Geological, and Chemical Science*, s. 15–27.
- Ederington M.C., McManus G.B.-Harvey H.R. et al (1995). "Trophic transfer of fatty acids, sterols, and a triterpenoid alcohol between bacteria, a ciliate, and the copepod *Acartia tonsa*". In: *Limnology and Oceanography* **40.5**, s. 860–867.
- Erdmann G., Otte V.-Langel R. et al. (2007). "The trophic structure of bark-living oribatid mite communities analysed with stable isotopes ( $^{15}\text{N}$ ,  $^{13}\text{C}$ ) indicates strong niche differentiation". In: *Experimental and Applied Acarology* **41.1-2**, s. 1–10.
- Haarlov N., et al. (1960). "Microarthropods from Danish soils. Ecology, phenology." In: *Oikos* **3** (suppl.)
- Hansen R.A., Coleman D.C. (1998). "Litter complexity and composition are determinants of the diversity and species composition of oribatid mites (Acari: Oribatida) in litterbags". In: *Applied Soil Ecology* **9.1**, s. 17–23.
- Hubert J., Sustr V.-Smrč J. (1999). "Feeding of the oribatid mite *Scheloribates laevigatus* (Acari: Oribatida) in laboratory experiments". In: *Pedobiologia* **43.4**, s. 328–339.
- Kaneko N., Salamanca E. (1999). "Mixed leaf litter effects on decomposition rates and soil microarthropod communities in an oak–pine stand in Japan". In: *Ecological Research* **14.2**, s. 131–138.
- Kaneko N., Sugawara Y.-Miyamoto T. et al. (2005). "Oribatid mite community structure and tree species diversity: A link?" In: *Pedobiologia* **49.6**, s. 521–528.
- Klironomos J.N., Kendrick W.B. (1996). "Palatability of microfungi to soil arthropods in relation to the functioning of arbuscular mycorrhizae". In: *Biology and Fertility of Soils* **21.1-2**, s. 43–52.
- Luxton, M. (1972). "Studies of the oribatid mites of a Danish beech wood soil. I. Nutritional biology". In: *Pedobiologia*.
- Maraun M., Erdmann G.-Fischer B.M. et al. (2011). "Stable isotopes revisited: their use and limits for oribatid mite trophic ecology". In: *Soil Biology and Biochemistry* **43.5**, s. 877–882.
- Migge S., Maraun M.-Scheu S. et al. (1998). "The oribatid mite community (*Acarina*) of pure and mixed stands of beech (*Fagus sylvatica*) and spruce (*Picea abies*) of different age". In: *Applied Soil Ecology* **9.1**, s. 115–121.
- Mitchell, M.J. (1978). "Vertical and horizontal distributions of oribatid mites (Acari: Cryptostigmata) in an aspen woodland soil". In: *Ecology* **59.3**, s. 516–525.

- Pande Y.D., Berthet P. (1973). "Studies on the food and feeding habits of soil Oribatei in a black pine plantation". In: *Oecologia* **12.4**, s. 413–426.
- Perotti M.A., Goff M.L.-Baker A.S. et al. (2009). "Forensic acarology: an introduction". In: *Experimental and applied acarology* **49.1-2**, s. 3–13.
- Price D.W., Benham Jr-G.S. (1976). "Vertical distribution of pomerantziid mites [Pomerantzia prolata](Acarina: Pomerantziidae)[Soils]". In: *Proceedings-Entomological Society of Washington* **78**.
- Rockett C.L., Woodring J.P. (1966). "Oribatid mites as predators of soil nematodes". In: *Annals of the Entomological Society of America* **59.4**, s. 669–671.
- Ruess L., Chamberlain P.M. (2010). "The fat that matters: soil food web analysis using fatty acids and their carbon stable isotope signature". In: *Soil Biology and Biochemistry* **42.11**, s. 1898–1910.
- Ruess L., Haggblom M.M.-Dighton J. et al. (2002). "Fatty acids of fungi and nematodes—possible biomarkers in the soil food chain?" In: *Soil Biology and Biochemistry* **34.6**, s. 745–756.
- Ruess L., Schutz K.-Haubert D. et al. (2005a). "Application of lipid analysis to understand trophic interactions in soil". In: *Ecology* **86.8**, s. 2075–2082.
- Ruess L., Tiunov A.-Haubert D. et al. (2005b). "Carbon stable isotope fractionation and trophic transfer of fatty acids in fungal based soil food chains". In: *Soil Biology and Biochemistry* **37.5**, s. 945–953.
- Salona M., Iturrondobeitia J.C. (1993). "A comparative study of the soil mite communities (Acari) of wooded and unwooded areas in the Basque Country, Northern Spain". In: *Ecological effects of afforestation-Studies in the history and ecology of afforestation in Western Europe. CAB International*, s. 153–163.
- Schneider K., Migge S.-Norton R.A. et al. (2004). "Trophic niche differentiation in soil microarthropods (Oribatida, Acari): evidence from stable isotope ratios ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ )". In: *Soil Biology and Biochemistry* **36.11**, s. 1769–1774.
- Schuster, R. (1956). "Der Anteil der Oribatiden an den Zersetzungsvorgängen im Boden". In: *Zoomorphology* **45.1**, s. 1–33.
- Siepel H., Maaskamp F. (1994). "Mites of different feeding guilds affect decomposition of organic matter". In: *Soil Biology and Biochemistry* **26.10**, s. 1389–1394.
- Siepel H., de Ruiter-Dijkman E.M. (1993). "Feeding guilds of oribatid mites based on their carbohydrase activities". In: *Soil Biology and Biochemistry* **25.11**, s. 1491–1497.

- Smrž J., Halliday R.B.-Walter D.E. et al. (2001). “Effects of moisture regime on the nutritional biology of saprophagous soil mites (Oribatida and Acaridida).” In: *Acarology: Proceedings of the 10th International Congress*. CSIRO Publishing, s. 266–268.
- Smrž, J. (2007). “Nutritional biology in the oribatid mites (Acari: Oribatida) communities in the different, closely neighbouring microhabitats in the steppe biotope - preliminary report”. In: *Contributions to Soil Zoology in Central Europe II*. Ed. Schlaghamerský J.-Pizl V. Tajovský K. v.v.i. České Budějovice: ISB BC AS CR, s. 15 –160.
- Smrž, J. (2010). “Enzyme activities and internal bacteria of saprophagous soil mites (Acari: Oribatida, Acaridida)”. English. In: *Trends in Acarology*. Ed. Bruin J. Sabelis M.W. Springer Netherlands, s. 217–219. ISBN: 978-90-481-9836-8.
- Smrž J., Čatská V. (2010). “Mycophagous mites and their internal associated bacteria cooperate to digest chitin in soil”. In: *Symbiosis* **52.1**, s. 33–40.
- Smrž, J. (2002a). “Microanatomical and microbiological characteristics of the quiescent state of *Scutovertex minutus* (Acari: Oribatida)”. In: *Experimental & applied acarology* **27.1-2**, s. 103–112.
- Smrž, J. (2002b). “Nutritional biology: the basic step in the autecological studies (multi-methodical approach)”. In: *European journal of soil biology* **38.1**, s. 35–38.
- Smrž, J. (2002c). “The excrement analysis—the useful tool for the biological and autecological studies in soil zoology”. In: *Studies on Soil Fauna in Central Europe*. Tajovský, K., Balík, V. and Pižl, V. eds. Biology Centre of the Academy of Sciences of the Czech Republic, České Budějovice, s. 185–189.
- Swift M.J., Heal O.W.-Anderson J.M. (1979). *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Sv. 5. Univ of California Press.
- Vitzthum, H. (1943). *Acarina*. Sv. 5. Akademische Verlagsgesellschaft.
- Wallwork, J.A. (1958). “Notes on the feeding behaviour of some forest soil Acarina”. In: *Oikos* **9.2**, s. 260–271.
- Wallwork, J.A. (1967). “Acari”. In: *Soil biology* **3634595**.
- Wallwork J.A., et al. (1976). “The distribution and Diversity of Soil fauna.” In: *The distribution and Diversity of Soil fauna*.