

**Univerzita Hradec Králové**

**Přírodovědecká fakulta**

**Katedra biologie**

Řasy a sinice aridních oblastí

Bakalářská práce

Autor: Jana Šubrová

Studijní program: B1501

Studijní obor: Systematická biologie a ekologie

Vedoucí práce: RNDr. Markéta Bohunická, Ph.D.

Hradec Králové

květen 2019

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem v seznamu použité literatury uvedla všechny prameny, z kterých jsem vycházela.

V Hradci Králové dne

Jméno a příjmení

## **PODĚKOVÁNÍ**

V první řadě bych chtěla poděkovat Dr. Markétě Bohunické za odborné vedení mé bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat Dr. Olze Lepšové z Přírodovědecké fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích za poskytnutí vzorků z Negevské pouště a Dr. Kateřině Čapkové z Hydrobiologického ústavu Akademie věd v Českých Budějovicích za poskytnutí vzorků z Ladaku. Na závěr bych chtěla poděkovat Dr. Aleně Lukešové z Ústavu půdní biologie Akademie věd v Českých Budějovicích za pomoc s určováním nalezených řas a sinic.

## **ANOTACE**

ŠUBROVÁ, J. *Řasy a sinice aridních oblastí*. Hradec Králové, 2019. Bakalářská práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Hradec Králové. Vedoucí bakalářské práce Markéta Bohunická. 54 s.

Tato práce se zabývá problematikou výskytu řas a sinic v aridních podmínkách (netýká se polárních pouští). Práce je z hlavní části rešerší, ve které jsou shromážděny poznatky o řasách a sinicích schopných obývat aridní podmínky. Součástí práce je také přehledová tabulka řas a sinic v minulosti nalezených v těchto oblastech. V praktické části jsou popsány metody izolace a kultivace půdních řas a sinic ze dvou odlišných aridních oblastí: Negevské pouště a východního Ladaku.

### **Klíčová slova**

Aridní klima, řasy, sinice, biologické půdní krusty, Negevská poušť, Ladak

## **ANNOTATION**

ŠUBROVÁ, J. *Algae and cyanobacteria of arid regions*. Hradec Králové, 2019. Bachelor Thesis at Faculty of Science University of Hradec Králové. Thesis supervisor Markéta Bohunická. 54 p.

This thesis deals with incidence of algae and cyanobacteria in arid conditions (except for polar areas). The thesis mainly comprises a review on algae and cyanobacteria capable of surviving in arid conditions. The thesis also contains an overview table of algae and cyanobacteria which were found in these areas in the past. The practical part focuses on the methods of isolation and cultivation of soil algae and cyanobacteria from two different arid areas: The Negev desert and Eastern Ladakh.

### **Keywords**

Arid climate, algae, cyanobacteria, biological soil crusts, the Negev desert, Ladakh

# OBSAH

1. Úvod.....	8
1.1. Obecný úvod do problematiky .....	8
1.2. Cíle práce .....	8
2. Literární přehled.....	9
2.1. Aridní klima.....	9
2.1.1. Vymezení pojmu aridity .....	9
2.1.2. Příčiny aridity .....	10
2.1.2.1. Srážky .....	11
2.1.2.2. Klima a teplota .....	11
2.1.2.3. Vlhkost.....	11
2.1.2.4. Vítr .....	11
2.2. Řasy a sinice aridních oblastí.....	12
2.2.1. Biotopy pouštních řas a sinic .....	12
2.2.1.1. Endedafické.....	13
2.2.1.2. Epedafické.....	14
2.2.1.3. Hypolitické.....	14
2.2.1.4. Chasmolitické .....	15
2.2.1.5. Endolitické.....	15
2.2.1.6. Typy řas a sinic v pouštních biotopech.....	16
2.2.2. Biologické půdní krusty.....	16
2.2.2.1. Distribuce biologických půdních krust.....	17
2.2.2.2. Sinice a řasy biologických půdních krust.....	18
2.2.2.3. Další mikroorganismy biologických půdních krust.....	19
2.3. Adaptace řas a sinic.....	20
2.3.1. Klidová stádia .....	20
2.3.2. Kompatibilní rozpouštědla .....	20

2.3.3. Extracelulární polysacharidy .....	21
2.3.4. Ochrana před vysokou intenzitou světla.....	21
2.3.5. Adaptace na úrovni komunitního shromáždění.....	22
2.4. Význam řas a sinic v aridních oblastech.....	22
2.4.1. Vliv na půdní hydrologii.....	22
2.4.2. Vliv na půdní stabilitu a ochrana před větrnou erozí.....	22
2.4.3. Fixace dusíku .....	23
2.4.4. Dostupnost uhlíku.....	23
3. Metodika.....	25
3.1. Teoretická část.....	25
3.2. Charakteristika lokalit .....	25
3.2.1. Negevská poušť.....	25
3.2.2. Ladak.....	28
3.3. Praktická část.....	31
3.3.1. Příprava média.....	31
3.3.2. Izolace kultur .....	33
3.3.3. Mikroskopování a determinace.....	33
4. Výsledky .....	34
4.1. Přehledové tabulky zástupců pouštních řas a sinic.....	34
4.2. Vlastní izoláty řas a sinic.....	41
5. Diskuse.....	46
6. Závěr .....	49
7. Přehled použité literatury.....	50

# 1. Úvod

## 1.1. Obecný úvod do problematiky

Přestože jsou řasy a sinice organismy primárně vázané na vodní prostředí, vyvinula se u nich celá řada adaptací a životních strategií, které jim umožňují přežít a prosperovat i v místech, kde je vody akutní nedostatek. Aridní oblasti zaujmají svojí rozlohou téměř třetinu celkové plochy světa, přesto jsou fototrofní mikroorganismy žijící v těchto oblastech málo probádané. Většina prací se zabývá buď jen sinicemi, nebo jen určitou skupinou řas, nebo se omezují pouze na jeden biotop v těchto oblastech. Dalším omezením je, že většina studií zkoumá tyto problémy jen na svém území, ale je málo prací, které by se snažily postihnout tento problém z širšího hlediska.

V první části této bakalářské práce jsou shrnuty poznatky o řasách a sinicích schopných obývat aridní oblasti. Tato práce může sloužit jako přehled pro další studium řas a sinic obývajících aridní oblasti.

V praktické části této bakalářské práce jsou popsány metody izolace a kultivace řas a sinic získaných ze dvou lokalit: horké subtropické Negevské poušti a chladné vysokohorské pouště v Ladaku.

## 1.2. Cíle práce

Hlavními cíli této bakalářské práce je:

1. Vypracovat přehled dosavadních znalostí o řasách a sinicích schopných obývat aridní oblasti formou literární rešerše.
2. Zpracovat přehledovou tabulku zástupců řas a sinic v minulosti nalezených v aridních podmínkách, která poskytne informace o jejich doposud zjištěné diverzitě v těchto oblastech.
3. Vyzkoušet si laboratorní metody izolace a kultivace půdních řas a sinic.
4. Naučit se determinovat řasy a sinice a pracovat s určovacími klíči.



## 2. Literární přehled

### 2.1. Aridní klima

#### 2.1.1. Vymezení pojmu aridity

Vymezení definice aridního klimatu je relativní, protože aridní oblasti jsou velmi různorodé, pokud jde o bilanci vody, půdu, faunu či flóru. Avšak společným znakem všech aridních oblastí je sucho.

Ariditu prostředí lze vyjádřit indexem aridity založeném na bilanci vody jako poměr  $p/ETP$ , přičemž:

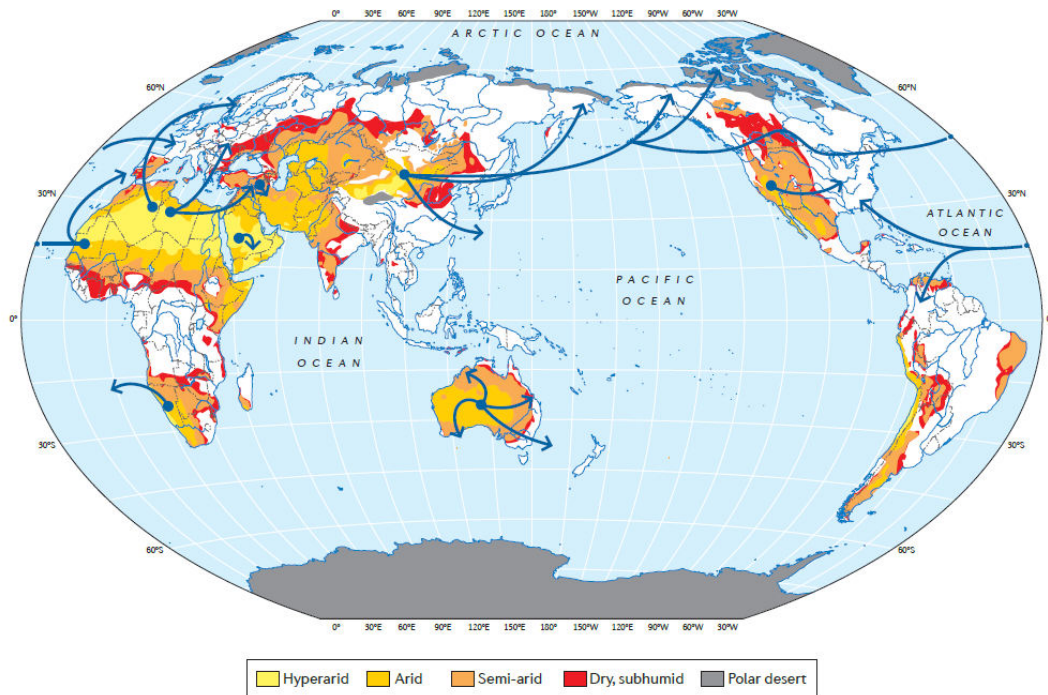
- $p$  = (precipitation) – značí srážky
- $ETP$  = (potential evapotranspiration) – značí potenciální evapotranspiraci (s ohledem na vlhkost vzduchu, sluneční záření a vliv větru; Sjöholm *et al.* 1989).

Pokud je potenciální evapotranspirace, skládající se ze dvou procesů – evaporace (výpar z půdy) a transpirace (výpar z rostlin) – vyšší než roční úhrn srážek, lze říci, že oblast je aridní (Isichei 1990).

Sjöholm *et al.* (1989) rozdělili aridní klima dle indexu aridity na následující základní zóny (Obr. 1):

- Hyperaridní zóna ( $p/ETP < 0,03$ ) – zahrnuje oblasti s velice nízkými ročními srážkami nepřesahující 100 mm. Deště jsou zde nepravidelné a vzácné. Obvykle se tyto suché oblasti označují jako pouště (McGinnies 1985).
- Aridní zóna ( $p/ETP = 0,03 - 0,2$ ) – zahrnuje oblasti s vysokou variabilitou srážek s ročním množstvím 100 až 300 mm.
- Semiaridní zóna ( $p/ETP = 0,2 - 0,5$ ) – zahrnuje oblasti s ročními srážkami pohybujícími se v rozmezí od 300 – 600 až 700 – 800 mm.
- Subhumidní suchá zóna ( $p/ETP = 0,5 - 0,75$ ) – zahrnuje oblasti, kde se také vyskytují suché podmínky.

Podle Sjöholm *et al.* (1989) pokrývá z celkové rozlohy pevniny hyperaridní zóna 4,2 %, aridní zóna 14,6 % a semiaridní zóna 12,2 %. Tím pádem je téměř třetina celkové plochy zemského povrchu aridní.



**Obr. 1** – Typy aridních oblastí ve světě: ■ subhumidní zóna ( $p/ETP = 0,5 - 0,75$ ), ■ semiaridní zóna ( $p/ETP = 0,2 - 0,5$ ), ■ aridní zóna ( $p/ETP = 0,03 - 0,2$ ), ■ hyperaridní zóna ( $p/ETP < 0,03$ ). Šipky znázorňují hlavní mezikontinentální proudění pouštního prachu (upraveno dle: Pointing & Belnap 2012).

### 2.1.2. Příčiny aridity

Příčinou vzniku aridního klimatu je nahromadění masy vzduchu klesající svou vahou do nižších poloh, kde dochází k jeho oteplování a vysušování. Jedná se o oblasti vysokého tlaku vzduchu (anticyklon), zahrnující suché subtropické zóny mezi  $20^\circ$  a  $30^\circ$  severní a jižní zeměpisnou šířkou směrem od rovníku (McGinnies 1985).

Aridní podmínky se vyskytují také v závětrí vysokých horských pásem (např. poušť Patagonie v závětrí And), které narušují strukturu cyklonů, které jimi procházejí. Teplý vzduch nasycený vodními parami narazí na překážku v podobě horského masivu. Vzduch musí tedy vystoupat vzhůru, aby překonal překážku, přičemž se začne ochlazovat a tvoří oblaka. Jelikož vzduch nedokáže udržet takové množství vlhkosti, tak ji na návětrné straně vyprší. Po překonání horského pásma je již vzduch zbaven vlhkosti, a proto v závětrí hor neprší, místo toho vzduch klesá do nižších poloh, čímž se u země otepluje a vysušuje a vznikají aridní oblasti. Dochází tak tedy k vysušení vzdušných mas pohybujících se nad horskou bariérou a vzniká efekt srážkového stínu (McGinnies 1985, Sjöholm *et al.* 1989).

Na ariditě se kromě nízkého úhrnu srážek podílí řada dalších příčin jako například konkrétní srážkový režim, intenzita srážek, teplota, vlhkost a vítr. Tyto příčiny mohou působit v kombinaci s jinými nebo mohou působit zcela individuálně.

#### **2.1.2.1. Srážky**

Rozložení srážek se liší v průběhu roku. V některých oblastech (např. Rabat – Maroko) prší během zimních období, zatímco v jiných (např. Sennar – Súdán) prší během letních období a v zimě je daná oblast bez srážek. Srážky padající v zimě jsou výhodnější, protože nedochází k tak vysokým ztrátám evaporací, jako je tomu během letních období, kdy srážky padají na vyhřátý povrch půdy. Přestože na zem v obou typech spadne přibližně stejné množství srážek, oblast s letními srážkami je výrazně aridnější (Sjöholm *et al.* 1989).

Dalším aspektem je také intenzita srážek. Během silných srážek není půda schopna absorbovat veškerou vodu a velké množství vody je ztraceno odtokem. A naopak během srážek s nízkou intenzitou je část vody ztracena během odpařování (Sjöholm *et al.* 1989).

#### **2.1.2.2. Klima a teplota**

Klima je v aridních oblastech často charakterizováno velkými výkyvy teplot během dne a střídáním chladného a horkého období sucha a mírného období dešťů v průběhu roku. Během chladného období sucha se teploty během dne pohybují v rozmezí 35 až 45 °C a v noci klesají až na 10 °C. Během horkého období sucha klesají noční teploty na 15 °C. Během období dešťů se teploty pohybují v rozmezí 35 °C přes den a 20 °C přes noc a výkyvy teplot jsou tedy méně výrazné (Sjöholm *et al.* 1989).

#### **2.1.2.3. Vlhkost**

Pokud je obsah vlhkosti v půdě větší než ve vzduchu, voda má tendenci se odpařovat do vzduchu, zatímco pokud je větší obsah vlhkosti ve vzduchu, voda kondenzuje do půdy (Sjöholm *et al.* 1989). Dále má vliv také vzdálenost od oceánů, jež jsou zdrojem vlhkosti (McGinnies 1985).

#### **2.1.2.4. Vítr**

Pro aridní oblasti jsou typické větrné podmínky, které nemohou být redukovány například v důsledku nedostatku vegetace. Vítr odstraňuje vlhký vzduch okolo rostlin, které tím zvyšují evapotranspiraci. Vítr napomáhá půdní erozi obzvláště v podmínkách s hladkým povrchem země, volnou, suchou a jemnou zeminou, řídkým vegetačním krytem a dostatečně silným větrem, který je schopen zahájit pohyby půdy (Sjöholm *et al.* 1989).

## **2.2. Řasy a sinice aridních oblastí**

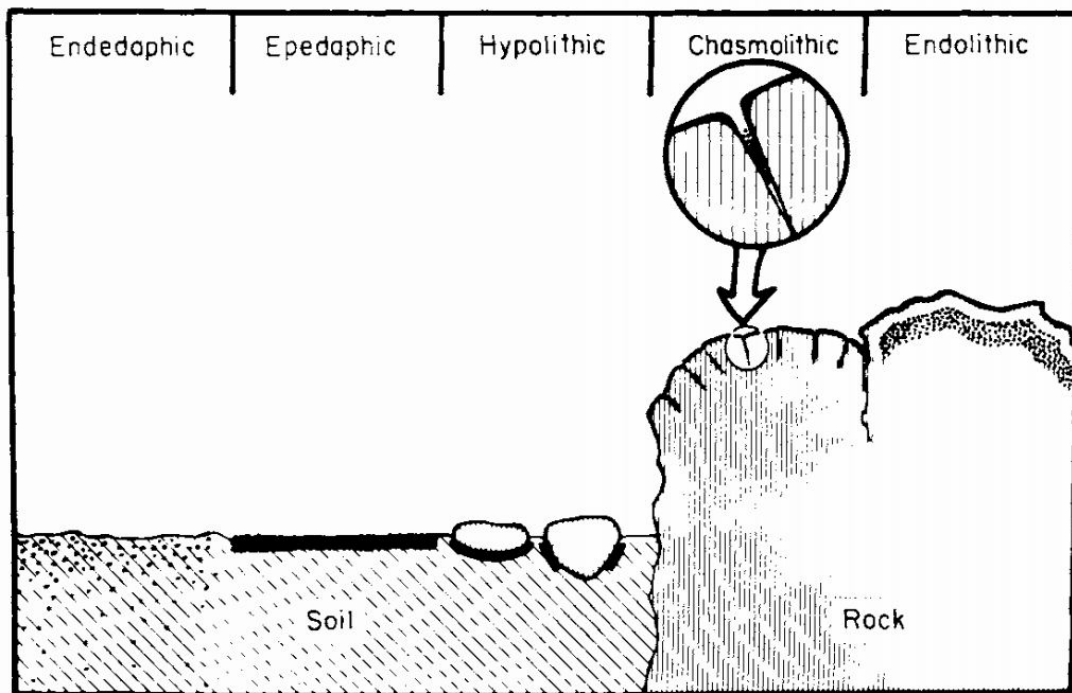
V aridních oblastech se řasy a sinice vyskytují ve vodním i nevodním prostředí. Mezi vodní útvary aridních oblastí patří například řeky, dočasné toky, jezera a kaluže vzniklé po bouřkách. V těchto vodních biotopech se vyskytují vláknité řasy a sinice, jejichž biomasa je určena hloubkou vody, útlumem příchozího záření a dostupností živin (Isichei 1990).

Terestrické lokality aridních oblastí obývají zejména sinice a řasy ze skupiny *Chlorophyta*. Některé z nich jsou volně žijící, zatímco jiné se vyskytují jako lišejníkoví fotobionti (Friedmann & Galun 1974).

Výskyt pouštních řas a sinic není omezen geografickými hranicemi, stejně tak tomu je i u ostatních životaschopných buněk mikroorganismů, které jsou přítomné v atmosféře a tak se pravděpodobně přenáší větrem po celém světě (Schlichting 1969).

### **2.2.1. Biotopy pouštních řas a sinic**

Friedmann *et al.* (1967) navrhli následující schéma biotopů obývaných pouštními řasami a sinicemi, založené na podmínkách Negevské pouště v Izraeli, které slouží jako všeobecný přehled (Obr. 2). Schéma však nezahrnuje řasy a sinice vyskytující se ve vodních útvarech. Biotopy jsou rozdělené na dvě základní úrovně: edafické a litofytické. Edafické společenstvo se vyskytuje v půdě nebo je alespoň v přímém kontaktu s půdou, zatímco litofytické společenstvo obývá prostory kamenů. Dle konkrétního umístění rozlišujeme ještě následující podskupiny.



**Obr. 2** – Schéma biotopů pouštních řas a sinic nezahrnujících vodní biotopy: endedafické (v půdě), epedafické (na povrchu půdy), hypolitické (na spodní straně kamenů částečně zanořených do půdy, chasmoitické (v trhlinách kamenů), endolitické (ve vnitřních prostorách kamenů; převzato dle: Friedmann & Galun 1974).

#### 2.2.1.1. Endedafické

Endedafické řasy a sinice žijí pod povrchem půdy v pouštích a polopouštích na mnoha částech světa (Friedmann & Galun 1974). Je obecným pravidlem, že počet řas a sinic se snižuje s rostoucí hloubkou (Friedmann & Galun 1974). Avšak Cameron & Blank (1965) v pouštích Severní Ameriky objevili životaschopné řasy a sinice v hloubce okolo 60 cm a podle Friedmanna & Galuna (1974) byly o pár let později v pouštích střední Asie objeveny řasy a sinice v hloubce až 200 cm pod povrchem přičemž v hloubkách zhruba 50 cm pod povrchem řasy a sinice zcela chyběly. Schwabe (1963) zpochybňuje tvrzení vztahující se k výskytu sinic a řas v afotické zóně a tvrdí, že světlo je nezbytný faktor pro růst sinic a řas. Zároveň připouští, že se řasy a sinice mohou případně dostat do hlubších vrstev afotické zóny například deštěm a přežít zde delší dobu s omezenou metabolickou aktivitou. Avšak tvrdí, že nebyly pozorovány v hlubších vrstvách žádné druhy, které by se nevyskytovaly i blízko povrchu.

V pouštích střední Asie zjistili, že rozdíl v různých vrstvách půdní flóry je dán kvalitativním složením. Sinice rostou ve vrstvách blíže k povrchu a zelené řasy jsou

dominantní ve větších hloubkách, což je způsobeno nízkou hladinou tolerance k procesům vysychání a ozáření u zelených řas. Bez ohledu na typ pouště jsou ve větším množství přítomné kokální zelené řasy a vláknité sinice, zatímco kokální sinice a rozsivky se vyskytují v menším množství (Friedmann & Galun, 1974).

#### **2.2.1.2. Epedafické**

Epedafické řasy a sinice obývají jen nejsvrchnější povrch půdy pouští a polopouští. V oblastech, kde nerostou vyšší rostliny, tvoří velice nápadné krusty, které jsou podrobně popsány v kapitole 2.2.2. Biologické půdní krusty. V extrémně suchých místech mohou být méně časté nebo dokonce mohou úplně chybět. Epedafické řasy mohou být buď volně žijící, nebo jsou doprovázené hyfami hub a tvoří lišejníková společenstva (Friedmann *et al.* 1967).

#### **2.2.1.3. Hypolitické**

Hypolitické řasy a sinice rostou na spodním povrchu hornin nebo jiných pevných předmětů, které leží nebo jsou zanořeny do půdy. Jsou charakteristické pro pouště a polopouště jihozápadního USA, jižní Afriky, Středního východu a Austrálie (Friedmann & Galun 1974). Hypolitické organismy se často vyskytují pod kameny, které tvoří pouštní chodníky. Kameny ukrývající řasy a sinice jsou průsvitné a obvykle světle zbarvené (křemen, kalcit, vápenec, dolomit). Nejčastějším předmětem v Negevské poušti uchovávající hypolitické řasy a sinice, je pazourek, který je částečně průsvitný, ačkoli je tmavě hnědě zbarvený (Friedmann & Galun 1974). Průsvitné kameny tvoří příznivé mikroprostředí tím, že snižují intenzitu světla na vhodnou úroveň a zároveň zadržují vlhkost. Intenzitu světla snižují odrazem, rozptylem a absorpcí (Friedmann & Galun 1974). Vogel (1955) na základě výzkumu v poušti jihozápadní Afriky zjistil, že dešťová voda proniká hluboko podél prostoru mezi kamenem a půdou a že malá vodní zásoba přetrvává pod kamenem i potom, co se voda v okolní oblasti odpařila.

Mezi další vhodné substráty patří různé vápenaté předměty živočišného původu, jako jsou například kosti, zuby a prázdné ulity. V pouštích jižní Afriky tvoří příznivé prostředí pro řasy a sinice sukulentní rostliny (*Aizoaceae* a *Liliaceae*), jejichž masité listy jsou částečně pohřbeny v půdě, a tvoří tak prostředí velmi podobné hypolitickému. Skrz horní plochou části listu na úrovni povrchu proniká světlo, které je částečně absorbováno. Podobně jako průsvitné kameny a sukulentní rostliny fungují i lišejníky (Friedmann & Galun 1974).

#### **2.2.1.4. Chasmolitické**

Chasmolitické řasy a sinice obývají skalní prostory variabilních rozměrů od velkých hrubých puklin až po mikroskopické štěrbiny (Friedmann *et al.* 1967, Friedmann & Galun 1974).

Řasy a sinice rostou mezi rozpadajícími se částicemi hornin, přičemž typ růstu sinic a řas se s morfologií horniny mění (Friedmann *et al.* 1967). Na odkrytém povrchu svislých štěrbin se mohou vyskytovat ve formě vodorovných pruhů pár milimetrů pod povrchem. Ve vodorovném směru rostou pod zvětralou a odlupující se vrstvou vápence, dolomitu, křemene nebo žuly, nebo mohou růst ve zcela nepravidelných tvarech mezi částicemi horniny na silně zvětralých a rozpadajících se žulách (Friedmann & Galun 1974). Kumulací biomasy v puklinách indukují mechanické a chemické zvětrávání substrátu, uvolňují minerální živiny a mění pH a strukturu povrchu (Hauer *et al.* 2015).

Prostor, který řasy obývají, je otevřen na povrch skály, takže ekologické podmínky mohou být podobné hypolitickému prostředí, zejména v hrubších trhlinách (sutinách), kde se mohou řasy kumulovat. Tak tomu je například v hrubých trhlinách vápenatých hornin v Negevské poušti v Izraeli (Friedmann & Galun 1974).

#### **2.2.1.5. Endolitické**

Endolitické řasy a sinice vyplňují vnitřní prostory hornin bez zjevného spojení s jejich vnějším povrchem. Vyskytují se např. v Negevské poušti v Izraeli a Údolí smrti v USA v pískovcích a krystalických a amorfních vápencích (Friedmann *et al.* 1967).

Kolonizované horniny bývají světle zbarvené a mají porézní a houbovitou strukturu. Řasy a sinice obývají vodorovně rozšířené prostory hornin a kolonizují mezery mezi částicemi. Bývá pravidlem, že obývaná zóna má jednotnou hloubku a následuje obrysy povrchu horniny. Nad touto zónou jsou mezery mezi částicemi vyplněny minerálními látkami. Vnitřní vzdušný prostor hornin je tedy utěsněn hustou povrchovou kůrou od vnějšího prostředí. Tato kůra je zhruba 0,1 – 3 mm široká a samotná zóna řas a sinic měří obvykle 0,1 – 2,5 mm.

Pórovitá hornina s nepropustnou povrchovou vrstvou představuje vhodný systém k zachycení a uchování vlhkosti a tím i k zajištění vyrovnaných teplotních podmínek během dne. Voda se z rosy nebo deště dostane do horniny kapilární silou. Hustá povrchová kůra zároveň zpomaluje odpařování.

Protože jsou kolonizované horniny světle zbarvené, jsou do určité míry průsvitné. Intenzita světla je důležitým faktorem v rozložení řas a sinic ve svislém směru. V horních vrstvách jsou organismy více adaptované na vyšší intenzitu světla, zatímco ve spodních vrstvách se vyskytují méně odolné druhy.

Nízká tepelná vodivost porézní horniny spolu s vysokou odrazivostí zabraňuje náhlému vzrůstu teploty během dne. Takto žijící sinice patří do řádu *Chroococcales*. Mohou tvořit samostatné populace, nebo mohou být doplněny o bakterie (Friedmann & Galun 1974).

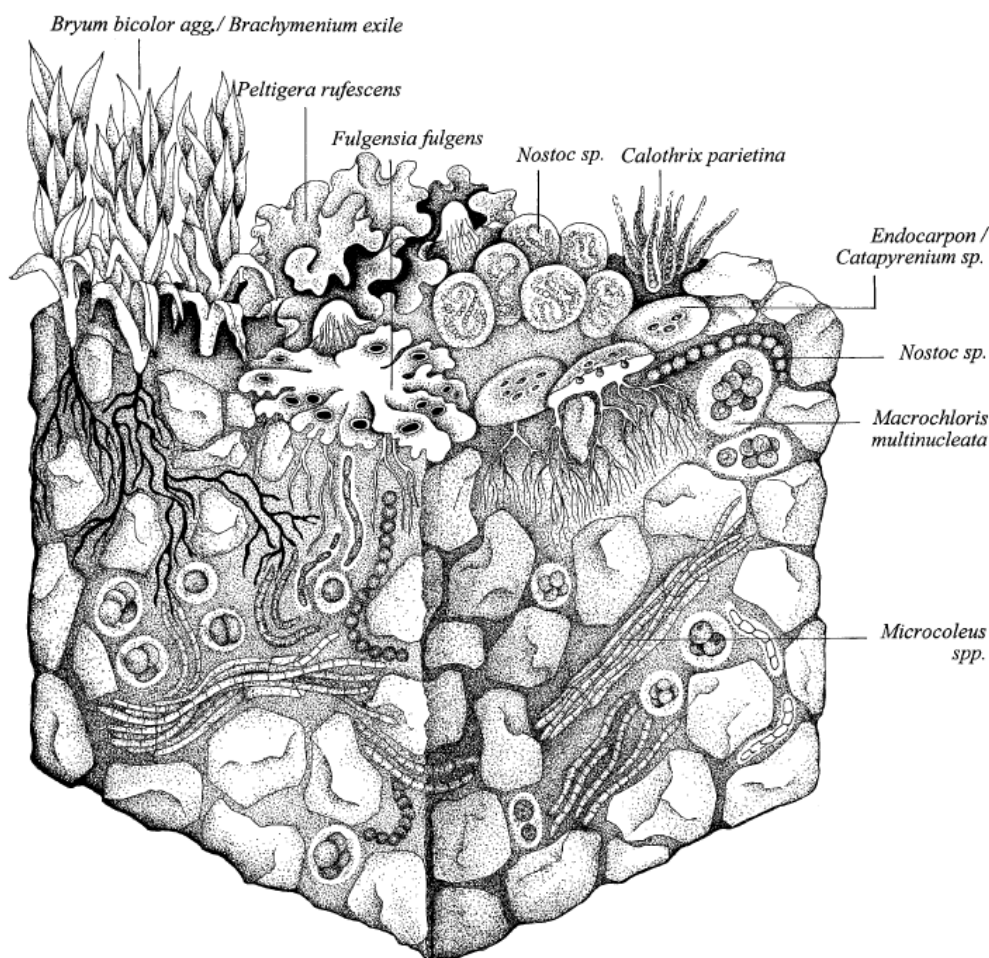
#### **2.2.1.6. Typy řas a sinic v pouštních biotopech**

Cameron (1960) došel k závěrům, že vláknité sinice a kokální zelené řasy převládají na většině suchých stanovišť, zatímco kokální sinice se objevují s rostoucí humiditou. Friedmann *et al.* (1967) však došli k jinému závěru. Jednobuněčné a málobuněčné zelené řasy a vláknité sinice obývají endedafické, epedafické, hypolitické a chasmolitické prostředí vápenatých a dolomitových hornin, zatímco kokální sinice převládají hlavně v hypolitickém prostředí na křemenu, v chasmolitickém prostředí plutonických kamenů a zejména v endolitických prostorech. Podle Camerona *et al.* (1970) je diverzita řas a sinic v horkých pouštích a na Antarktidě srovnatelná.

#### **2.2.2. Biologické půdní krusty**

Biologické půdní krusty (dále také jako BSCs = biological soil crusts) jsou speciální formou výskytu mikroorganismů. BSCs jsou společenstvem autotrofních i heterotrofních organismů doplněných o částice půdy (Obr. 3). Mezi autotrofní složku BSCs patří sinice, řasy, lišejníky a mechorosty. Heterotrofní složka je zastoupena především mikroskopickými houbami a bakteriemi. Půdní částice se agregují spolu s těmito živými organismy za vzniku pevné soudržné vrstvy. Tato vrstva se vyskytuje na povrchu nebo v horních pár milimetrech půdy (Belnap *et al.* 2001).





**Obr. 3** – Schéma biologické půdní krusty, tloušťka vrstvy je přibližně 3 mm (převzato dle: Belnap *et al.* 2001).

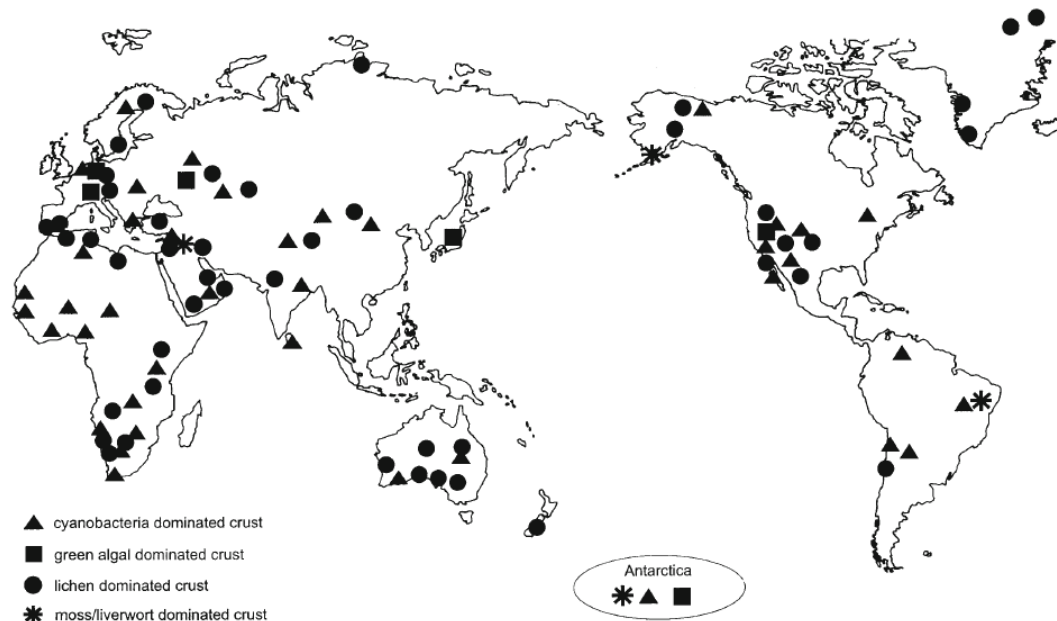
#### 2.2.2.1. Distribuce biologických půdních krust

Biologické půdní krusty se vyskytují napříč různými vegetačními pásy celého světa (Obr. 4). Obývají tropické, mírné nebo dokonce i polární oblasti (Belnap *et al.* 2001). Dle Büdela (2001) se BSCs nevyskytují v tropických deštných lesích. Nejvíce se však vyskytují v aridních a semiaridních oblastech. Podle Belnap & Weber (2013) biologické půdní krusty pokrývají v aridních a semiaridních oblastech více než 70 % rozlohy. Ve všech těchto oblastech se vyskytují jen v případě, že je zde nízká pokryvnost vegetace vyšších rostlin, nebo v oblastech, kde například vlivem lokální disturbance rostliny úplně chybí. V oblastech s vyšší pokryvností vyšších rostlin je rozvoj BSCs omezen z důvodu kompetice o světlo.

Protože biologické půdní krusty mají nízké požadavky ohledně vlhkosti a její dostupnosti, jsou schopné kolonizace volných mezer zanechaných po vegetaci vyšších rostlin. Přesto

ale preferují stanoviště s alespoň minimální vlhkostí, která je důležitá pro jejich metabolickou aktivitu.

Nacházejí se na téměř všech typech půd. Nemají ani speciální požadavky ohledně množství živin, jsou jen limitovány na půdách s vysokým obsahem jílu. Chemické složení a pH půdy má však vliv na druhové složení BSCs (Belnap *et al.* 2001).



**Obr. 4** – Schéma znázorňující distribuci biologických půdních krust a dominanci jednotlivých organismů v biologických půdních krustách ve světě (převzato dle: Büdel 2001).

#### 2.2.2.2. Sinice a řasy biologických půdních krust

Sinice zajišťují soudržné síly biologických půdních krust. Svazky vláken jsou obklopeny extracelulárními polysacharidovými pochvami. Za mokra vlákna opustí pochvy a pohybují se směrem k povrchu půdy. Když je naopak sucho, vlákna tvoří nové pochvy. Výsledkem těchto pohybů je tedy obrovské množství pochev v nejsvrchnější vrstvě půdy. Protože jsou pochvy lepkavé, slepují k sobě jednotlivé půdní částice (Belnap *et al.* 2001).

Mezi nejčastější sinice vyskytující v biologických půdních krustách patří *Microcoleus vaginatus*. Protože tvoří svazky vláken ve velmi silných slizovitých obalech, patří k zakladatelům BSCs. Patří mezi větší a vysoce mobilní sinice a je obvykle dominantní v oblastech, kde jsou sedimenty méně stabilní, jako například hrubé písčité půdy nebo

v nedávné době narušené oblasti. K dalším sinicím typicky se vyskytující v krustách patří *Nostoc* tvořící slizovité kolonie vláken. Časté jsou také rody *Scytonema* a *Calothrix* s nepravým větvením. Jednobuněčné sinice jsou reprezentovány řádem *Chroococcales* s typickým rodem *Gloeocapsa* tvořící kolonie. Sinice preferují alkalické půdy a vyšší obsahy solí, tolerují i méně srážek (Belnap *et al.* 2001). V biologických půdních krustách na chudých písčitéch půdách dominují sinice (Büdel 2001).

Eukaryotické řasy jsou obvykle sekundární organismy v tvorbě biologické půdní krusty, ačkoli jsou v BSCs také široce rozšířeny. Řasy i menší sinice nemohou vyrůstat přes velké množství uloženého sedimentu. Obvykle se nachází na více stabilních površích, např. na půdách zpočátku stabilizovaných většími sinicemi (Belnap *et al.* 2001).

Z řas dominuje skupina *Chlorophyta*, která preferuje kyselejší půdy a více srážek než jak tomu bylo v případě sinic. Ostatní skupiny řas se omezují pouze na mírně kyselé pouště nebo na půdy v temperátních oblastech (Büdel 2001). Skupina *Chlorophyta* je zastoupena především kokálními rody *Chlorococcum*, *Macrochloris* a *Stichococcus* (Belnap *et al.* 2001).

### **2.2.2.3. Další mikroorganismy biologických půdních krust**

Po stabilizaci povrchu půdy se přidávají mechorosty a lišejníky. Jejich rozsáhlá pokrývka se nachází na stabilních místech půdy. Mechorosty a lišejníky mají také vysokou kapacitu zadržování vody a vyšší obsah fosforu a síry.

V biologických půdních krustách se vyskytují oba typy fykolišejníků, a to jak lišejníky s fotobiontem zelenou řasou, tak i lišejníky se sinicovým fotobiontem. Lišejníky rostou napříč gradientem pH, přičemž se může měnit jejich druhové složení (Belnap *et al.* 2001) a jejich podíl v biologické půdní krustě se zvyšuje s obsahem uhličitanů v půdě (Büdel 2001).

Mechorosty jsou obvykle součástí BSCs, pokud se krusta vyskytuje na vlhčích stanovištích. Terestrické mechorosty jsou k půdě vázány pomocí rhizoidů, často rostoucích do hloubky větší než 10 mm. Mechorosty přispívají ke stabilitě nejvyšších vrstev půdy právě pomocí rhizoidů. Některé mechy zpevňují půdu také pomocí spodních částí stélek (Belnap *et al.* 2001).

Heterotrofní složka BSCs je zastoupena mikroskopickými houbami, které významně přispívají ke stabilizaci půdy a vývoji krusty. Kvasinky a plísňe jsou součástí BSCs spíše v chladných oblastech. Dominantní složkou krust jsou bakterie, které jsou v krustách

hlavními dekompozitory. Roli v koloběhu živin v ekosystému hrají také skupiny *Protista*, *Nematoda* a *Arthropoda* (Belnap 2001a).

### **2.3. Adaptace řas a sinic**

Řasy a sinice obývající aridní oblasti musí čelit řadě nepříznivých podmínek. Musí čelit především nedostatku vody, extrémům teploty a vysoké intenzitě světla. V aridních oblastech jsou mimo holou půdu či povrch kamene místa pro život řas a sinic relativně příznivější.

U hypolitických komunit jsou mikroorganismy chráněny např. kamenným krytem, který zamezuje jak ztrátě vody, tak nadměrnému ozáření organismů (Pointing & Belnap 2012). Pórovité horniny obývané endolitickými mikroorganismy uchovávají vlhkost a zpomalují odpařování vody (Friedmann & Galun 1974).

Následující nejdůležitější adaptace zahrnují klidová stádia, kompatibilní rozpouštědla, extracelulární polysacharidy sinic, scytonemin, aminokyselinové deriváty mycosporinu a karotenoidní pigmenty řas.

#### **2.3.1. Klidová stádia**

Některé sinice z řádu *Nostocales* (například u rodů *Nostoc*, *Anabaena* a *Scytonema*) tvoří akinety, což jsou klidové spory větších rozměrů se silnými buněčnými stěnami. Tyto struktury v sobě ukládají velké množství zásobních látek a pomáhají tak sinicím přečkat období s nevhodnými podmínkami, jako je například sucho nebo nedostatek živin (Flechtner 2007). Umožňují dočasné, ale i dlouhodobé přežívání sinic (Livingstone & Jaworski 1980).

U některých sinic, které netvoří akinety, tvoří celé vlákno dormantní strukturu umístěnou v tlustém plášti. V okamžiku, kdy je přítomná voda, vlákno vyklíčí a obnoví svůj vegetativní růst (Bhatnagar & Bhatnagar 2005).

#### **2.3.2. Kompatibilní rozpouštědla**

Některé sinice mají schopnost akumulovat disacharidy, zejména trehalózu, která funguje jako kompatibilní rozpouštědlo. V obdobích vodního deficitu tato kompatibilní rozpouštědla ochraňují blanku vody okolo proteinů. V extrémních podmínkách trehalóza plně nahrazuje blanku vody a stabilizuje tak strukturu proteinu. Hydratace proteinů je důležitá pro udržení jejich trojrozměrné struktury a následně jejich funkce. Po rehydrataci vysušených buněk tak může metabolická aktivita rychle pokračovat (Potts 1994).

### 2.3.3. Extracelulární polysacharidy

Některé sinice vylučují extracelulární polysacharidovou pochvu, jejíž vrstvy mají složitou strukturu. Jsou složené z hygroskopických polysacharidů a mohou být pigmentované. V některých případech tvoří tento plášť gel. U druhu *Nostoc commune* byly prokázány přechodové zóny mezi pevným stavem a stavem gelu. Když je sucho, kolonie jsou křehké. V počátečních fázích zvlhčování se stávají kolonie kožovité, až dosáhnou konzistence polotuhého gelu (Potts 1994). Zároveň tak mohou chránit buněčné stěny před poškozením při bobtnání a smršťování během změn dostatku a nedostatku vody. Extracelulární polysacharidy regulují ztráty vody z buněk a příjem vody do buňky a navíc mají velkou absorpční kapacitu (Potts 1999). Tvorba pigmentů extracelulárního polysacharidového pláště, např. gloeocapsinu, fuscorhodinu a fuscochlorinu také zvyšují toleranci k vysoušení (Bewley 1979).

### 2.3.4. Ochrana před vysokou intenzitou světla

Světlo je sice nezbytný prvek pro fotosyntézu sinic a řas, ale příliš mnoho světla škodí. Aby se ochránily před nebezpečným zářením, produkují řasy a sinice pigmenty, které absorbují UV záření a chrání je tak před škodlivými účinky světla. Mnoho eukaryotických řas produkuje žluté, oranžové nebo červené karotenoidní pigmenty chránící před mutacemi a fotooxidativním stresem.

Některé druhy sinic jako například *Scytonema*, *Nostoc* a *Calothrix* zase produkují scytonemin – žlutohnědý pigment rozpustný v lipidech. Scytonemin je indolický alkaloid, který sinice produkují v extracelulární polysacharidové pochvě (Flechtner 2007). Adaptivní strategie proti slunečnímu záření s krátkou vlnovou délkou může kombinovat jak produkci scytoneminu, tak zvýšení obsahu karotenoidů a snížení fykobilinu (Garcia – Pichel & Castenholz 1991).

Další skupiny sinic (například *Calothrix*, *Gloeocapsa* nebo *Nostoc*) akumulují bezbarvé aminokyselinové deriváty mycosporinu (Garcia – Pichel & Castenholz 1993). Jedná se o chromofory cyklohexenonu nebo cyklohexeniminu konjugované s dusíkovým substituentem aminokyseliny nebo jejího iminoalkoholu, který má absorpční maximum v rozmezí 310 – 360 nm. Jejich syntéza je vyvolána UV zářením. U většiny sinic se nachází v cytoplazmě, ale u *N. commune* se tvoří v extracelulární pochvě (Pattanaik *et al.* 2007).

### **2.3.5. Adaptace na úrovni komunitního shromáždění**

Speciální adaptací je adaptace na úrovni komunitního shromáždění, spočívající ve vrstvení biomasy. Horní vrstva biomasy s vyšší adaptací na stres ochraňuje a stíní spodní vrstvu biomasy, která je složená z organismů s nižší tolerancí na stres. V krustách, kde dominují především sinice, jsou sinice produkující ochranné sloučeniny před slunečním zářením lokalizovány v horních vrstvách kůry, zatímco více citlivé druhy sinic a řas se vyskytují ve spodnějších vrstvách. V lišejníkových krustách ochraňují fotosyntetické organismy hyfy hub. U některých organismů v krustách, jež nejsou chráněny silnou polysacharidovou pochvou, byla pozorována hydrotaxe. Jedná se o aktivní proces, ve kterém za příznivých podmínek (za většího vlhka) spodní vrstva autotrofů migruje do horních vrstev a ustupuje do spodních vrstev, když se opět zvyšuje vlhkostní stres. Adaptace na úrovni komunitního shromáždění se uplatňuje v aridních oblastech a dalších stresových prostředích, jako je například hypersalinní nebo geotermální prostředí (Pointing & Belnap 2012).

## **2.4. Význam řas a sinic v aridních oblastech**

### **2.4.1. Vliv na půdní hydrologii**

Přítomnost biologických půdních krust přispívá k pokryvu a členitosti povrchu půdy. Pokryv povrchu krustami snižuje kinetickou energii pádu dešťových kapek, což minimalizuje rozštěpení půdních částic a následné ucpání pórů (Eldridge & Greene 1994). Členitost povrchu půdy zpomaluje povrchový odtok, což umožňuje více času pro infiltraci vody a navíc snižuje erozivní energii. Když tedy intenzita srážek přesáhne rychlost infiltrace, může být voda uložena v malých sníženinách a infiltrována až později. Lišejníky a mechy jsou obvykle větší než sinice a řasy a tvoří tak větší nerovnosti na povrchu (Warren 2001). Přítomnost krust má dále tendenci zachovávat půdní vlhkost a navíc svým pokryvem snižují půdní evaporaci, což zvyšuje dostupnost vody pro rostliny. Vliv půdní hydrologie závisí na vnitřních (složení) a vnějších (morfologie) vlastnostech biokrust a vnějších faktorech (typy půd, topografie, rozložení vegetace; Chamizo *et al.* 2016).

### **2.4.2. Vliv na půdní stabilitu a ochrana před větrnou erozí**

Sinice a mikroskopické houby vylučují polysacharidy, které zachycují a poutají k sobě jednotlivé půdní částice a tvoří tak větší půdní agregáty. Tyto větší půdní agregáty jsou poté opět spojeny polysacharidy v ještě větší půdní agregáty, takže je nutná větší síla větru k uvedení těchto větších agregátů do pohybu (Belnap & Gardner 1993). Půdní krusty tak zajišťují odolnost vůči větrné erozi, která se zvyšuje s vývojem krusty, takže největší odolnost poskytují nejmypělejší půdní krusty. Půdy s hrubšími částicemi (píscité) jsou

náchylnější k erozi než půdy s jemnějšími částicemi (jílovitě). Z toho důvodu jsou písčité půdy závislé na ochraně biokrustami nebo kameny. Na stabilitě půdy se podílejí vláknité sinice a řasy, kořenující struktury (hyfy, rhiziny, protonemata) hub, lišejníků a mečů, stejně jako kořeny vyšších rostlin. Protože se kořenující struktury krust nachází pár milimetrů pod povrchem, kde dochází k erozi, může být jejich úloha ve stabilizaci půdy důležitější než u kořenů vyšších rostlin (Warren 2001). Neumann *et al.* (1996) tvrdí, že sinice lépe propojují půdní částice než řasy, protože sinice jsou obvykle větší a delší.

### 2.4.3. Fixace dusíku

Dusík se vyskytuje v atmosféře ve formě  $N_2$ , což je forma nevyužitelná pro cévnaté rostliny. Dusík musí být tedy nejprve fixován prokaryotickými organismy a poté být redukován na amoniak  $NH_4^+$ . Fixace dusíku je anaerobní proces probíhající u sinic ve specializovaných tlustostěnných buňkách – heterocytech (Belnap 2001b). Schopnost fixace dusíku nemají jen sinice, ale i lišejníky se sinicovým symbiontem a také některé heterotrofní bakterie (Warren 2014). Mezi běžné druhy sinic s heterocyty patří např. *Anabaena*, *Nostoc*, *Nodularia*, *Scytonema*, *Cylindrospermum* či *Calothrix* (Henson *et al.* 2004). Fixace dusíku byla zaznamenána i na druzích bez přítomnosti heterocytů, např. *Lyngbya*, *Microcoleus*, *Oscillatoria* či *Phormidium*, ačkoli tyto výsledky mohly ovlivnit bakterie (Belnap 2001b). Většina fixovaného dusíku je brzy uvolněna do půdy pro okolní organismy a zbytek dusíku se začlení do ekosystému až s rozpadem organismů fixující dusík (Belnap & Lange 2001).

Protože aridní a semiaridní oblasti jsou limitované dostupností dusíku, mohou být biologické půdní krusty důležitým zdrojem vstupu dusíku do ekosystému (Belnap 2001b). Obsah dusíku v půdách s přítomností BSCs může být až 7× vyšší, než v podobných půdách bez BSCs. Rostliny pěstované v půdách s výskytem BSCs reagují na zvýšené hladiny dusíku v půdě větší produkcí biomasy (Warren 2014).

### 2.4.4. Dostupnost uhlíku

Fotosyntetickou asimilací některé organismy biologických půdních krust fixují uhlík, který je následnou dekompozicí zejména heterotrofními bakteriemi zabudován do ekosystému. Fotosyntetická asimilace tak hraje důležitou roli v tvorbě humusu v půdě a zároveň podporuje život heterotrofních organismů. Dle Lange (2001) je obsah chlorofylu v biologické půdní krustě podobný jako obsah v listu C3 rostlin a maximální fotosyntetická aktivita BSCs je podobná listům rostlin rostoucích ve stejné oblasti. Metabolická aktivita poikilohydrických (organismy, v jejichž těle se značně mění obsah vody) autotrofů je však

omezena jen na krátkou dobu, kdy se krusty hydratují. Omezená produktivita komunit cévnatých rostlin v aridních a semiaridních oblastech vede k nízkému obsahu organického uhlíku v půdě. V těchto situacích může být biota BSCs nejdůležitějším autotrofním dodavatelem uhlíku do půdního ekosystému (Lange 2001).



## **3. Metodika**

### **3.1. Teoretická část**

Teoretická část spočívala ve vyhledávání relevantních zdrojů. Část literární rešerše zabývající se obecnou charakteristikou řas a sinic v aridních oblastech byla zpracována především z odborných článků a z monografie věnující se přímo biologickým půdním krustám uvedených v kapitole 7. Přehled použité literatury. Součástí teoretické části je zpracovaná přehledová tabulka, která byla zpracována z následujících zdrojů: řasy a sinice součástí krust (Grondin & Johansen 1993, Flechtner *et al.* 1998, Tirkey & Adhikary 2005, Alwathnani & Johansen 2011), řasy a sinice pod povrchem půdy (Chantanachat & Bold 1962, Friedmann *et al.* 1967, Friedmann & Galun 1974) a řasy a sinice součástí kamenů (Friedmann *et al.* 1967, Friedmann & Galun 1974, Bell 1993). Jednotlivá zařazení řas a sinic byla zrevidována podle databáze AlgaeBase (2019).

### **3.2. Charakteristika lokalit**

#### **3.2.1. Negevská poušť**

První lokalita odběru je ze subtropické horké Negevské pouště rozkládající se v jižní polovině Izraele (30°25'N, 34°50'E). Negevská poušť má tvar obráceného rovnoramenného trojúhelníku, jehož rohy se dotýkají středozevního moře na severozápadě, Mrtvého moře na severovýchodě a Akabského zálivu na jižní straně (Obr. 5; Kahana *et al.* 2002).

Podnebí je v létě horké a suché a během zimy naopak chladné. V létě během července a srpna se pohybují denní průměrné teploty mezi 17 a 33 °C, maxima (42 – 43 °C) však dosahují v květnu a červnu. Období dešťů zde nastává jen v zimních obdobích (od října do května; Portnov & Safriel 2004). Průměrné roční srážky se pohybují od 250 mm na severu až do 25 mm na jižním cípu Negevské pouště. Potenciální evaporace přesahuje 2000 mm ročně v celém regionu, což vede k extrémně suchému prostředí (Kahana *et al.* 2002).



**Obr. 5** – Lokace Negevské pouště – jih Izraele, obklopena státy Egypt a Jordánsko, červeně vyznačena rezervace Boker Ridge (upraveno dle: Kahana *et al.* 2002).

Biologické půdní krusty z Negevské pouště byly odebrány z následujících oblastí:

- 1 vzorek z jeskyně v rezervaci Boker Ridge (Obr. 6).
- 2 vzorky z povrchu půdy v rezervaci Boker Ridge (Obr. 7).



**Obr. 6** – Jeskyně v rezervaci Boker Ridge v Negevské poušti (foto: O. Lepšová).



**Obr. 7** – Zabarvená půda v rezervaci Boker Ridge v Negevské poušti (foto: O. Lepšová).

### 3.2.2. Ladak

Druhá lokalita odběru je z vysokohorské chladné pouště ve východním Ladaku, také nazývaného jako Malý Tibet v oblasti Changthang a je součástí států Džammú a Kašmír v Indii (32°59'N, 78°25'E). Ladak leží v horském systému východně od jezera Tso Moriri a geomorfologicky náleží k Tibetské náhorní plošině. Skládá se z vysokohorské náhorní plošiny (přibližně 40 km dlouhé od severu na jih a přibližně 20 km široké od západu na východ) s řetězcem vrcholů (severojižně orientovaných) přesahujících 6000 m n. m. Tato plošina sestupuje do údolí řeky Indus a je obklopena nížinami s několika brakickými a sladkovodními jezery (Obr. 8).

Oblast je charakterizovaná aridním prostředím chladné pouště, protože srážky zřídka kdy překročí vysoký hřeben Himalájského pásma. Většina srážek zde padá v létě a oblast nad 5000 m n. m. je zásobována srážkami většinou ve formě sněhu. Zimní srážky jsou zde nepravidelné a sněhová pokrývka je obvykle tenká. Srážky mají tendenci se zvyšovat s rostoucí nadmořskou výškou a teplota a evaporace se s rostoucí výškou snižuje.

Substráty se liší od křemičitých hornin v oblasti Tso Moriri po vápenaté a solné sedimenty v oblasti nížin okolo endorheických jezer. Půdy se vyznačují hrubozrnnou strukturou s vysokým podílem štěrku, nízkým obsahem vody a organického materiálu. Dále je zde vysoké pH (7 – 8) a relativně vysoké koncentrace makroživin. Typickým rysem těchto půd jsou biologické půdní krusty (Dvorský *et al.* 2015).



**Obr. 8** – Lokace Ladaku – vysokohorská náhorní plošina s řetězcem vrcholů, směrem na západ jezero Tso Moriri, červenou tečkou vyznačeny lokality odběru (upraveno dle: Dvorský *et al.* 2015).



Biologické půdní krusty z Ladaku byly odebrány ze tří různých nadmořských výšek:

- 5 600 m. n m., souřadnice: 32°59'57.3"N 78°25'54.6"E (Obr. 9).
- 5 800 m. n m., souřadnice: 32°59'35.2"N 78°26'32.6"E (Obr. 10).
- 5 900 m. n m., souřadnice: 32°59'58.2"N 78°27'33.4"E.



**Obr. 9** – Lokalita východní Ladak s nadmořskou výškou 5 600 m n. m. (foto: K. Čapková).



**Obr. 10** – Lokalita východní Ladak s nadmořskou výškou 5 800 m n. m. (foto: K. Čapková).

Na lokalitách bylo odebráno horních 2 – 4 cm půdy (podle tloušťky dané krusty) s krustou z plochy 10 cm<sup>2</sup> sterilní špachtlí (Obr. 11). Vzorek půdy byl poté sušen na hliníkových deskách po dobu 10 hodin okamžitě po odběru, protože podmínky v terénu neumožňují jiné skladování sebraného materiálu (Obr. 12). Vzorky byly po 10 hodinách umístěny do sterilních 100 ml propylenových sáčků (Čapková in litt.).



**Obr. 11** – Detail biologické půdní krusty ve východním Ladaku (foto: K. Čapková).



**Obr. 12** – Sušení vzorků půdy na hliníkových deskách (foto: K. Čapková).

### **3.3. Praktická část**

#### **3.3.1. Příprava média**

Vlastní praktická část sestávala z izolace a kultivace půdních řas a sinic ze dvou odlišných aridních oblastí. Nejprve byly připraveny misky s agarovým médiem. Pro přípravu agarového média bylo použito univerzální minerální Z médium (Zehnder in Staub 1961), které bylo připraveno smícháním následujících složek uvedených v Tab. 1: odměřeno pipetou 10 ml zásobních roztoků č. 1 – 5, 0,2 ml roztoku č. 6, následným přidáním 0,08 ml roztoků mikroprvků č. 7 odměřených mikropipetou a 1000 ml deionisované vody odměřených odměrným válcem. Vše bylo převedeno do odměrné baňky a pečlivě promícháno jejím převrácením.

Z takto připraveného Z média bylo odebráno 800 ml a do tohoto objemu bylo přidáno 12 g agaru (tj. výsledná koncentrace byla 1,5 %) a nakonec převedeno do láhve se šroubovacím uzávěrem a znovu byla směs promíchána za vzniku agarového Z média. Dále bylo pipetou odměřeno 10 ml deionisované vody do 18 zkumavek. Nakonec bylo agarové médium v lahvi se šroubovacím uzávěrem, zkumavky s 10 ml deionisované vody, čisté zkumavky a čisté Petriho misky vysterilizovány v autoklávu. Agarové médium bylo poté nalito na Petriho misky a do prázdných zkumavek se šroubovacími uzávěry, které byly před ztuhnutím agarového média zafixovány tak, aby agar vytvořil ve zkumavce šikmou plochu.



Číslo zásobního roztoku	Zásobní roztok	Koncentrace zásobního roztoku		Použité množství
1	NaNO <sub>3</sub>	46,7 g/1000 ml destilované vody		10 ml
2	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	5,9 g/1000 ml destilované vody		10 ml
3	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	3,1 g/1000 ml destilované vody		10 ml
4	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	2,5 g/1000 ml destilované vody		10 ml
5	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2,1 g/1000 ml destilované vody		10 ml
6	Fe - EDTA	H <sub>2</sub> O	250 ml	0,2 ml
		35% HCl	2,2 ml	
		Na <sub>2</sub> EDTA	4,65 g	
		FeCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	4,5 g	
7	Roztok mikroprvků (Gaffron) do 100 ml destilované vody	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0,31 g	0,08 ml
		MnSO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0,223 g	
		Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·24H <sub>2</sub> O	0,0474 g	
		ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0,0287 g	
		NiSO <sub>4</sub> (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0,0198 g	
		Cd(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0,0154 g	
		Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0,0146 g	
		CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	0,0125 g	
		KBr	0,0119 g	
		(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0,0088 g	
		KI	0,0083 g	
		Cr(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0,0037 g	
		V <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·16H <sub>2</sub> O	0,0035 g	
Na <sub>2</sub> WO <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0,003 g			

**Tab. 1** – Seznam jednotlivých složek použitých v kultivačním Z médiu (upraveno dle: Zehnder in Staub 1961).



### **3.3.2. Izolace kultur**

Vzorky půdních krust (celkem 6 vzorků) byly rozdrčeny v třecí misce s tloučkem. 1 g každého rozdrčeného vzorku byl převeden do zkumavky s 10 ml sterilní deionisované vody (1:10), takže bylo provedeno 1. ředění. Z každé této zkumavky byl odebrán 1 ml a poté byl převeden do další zkumavky s 10 ml sterilní deionisované vody, takže bylo provedeno 2. ředění (1:100). Z předchozí zkumavky byl následně odebrán 1 ml a převeden do další zkumavky s 10 ml sterilní deionisované vody, takže bylo provedeno 3. ředění (1:1000).

Z 2. a 3. ředění (1:100) a (1:1000) bylo mikropipetou odebráno 0,25 ml suspenze vzorku a vypuštěno na agarovou misku. Poté byla suspenze vzorku po agarové misce rozetřena mikrobiologickou hokejkou, vysterilizovanou nad plamenem po celé ploše agaru. Takto připravené Petriho misky byly zalepeny parafilmem, aby se zabránilo jejich kontaminaci a vysychání.

Misky byly umístěny na okenní parapet laboratoře, což zajistilo přirozený světelný režim pro růst autotrofních organismů. Průběžně pak s cca týdenním intervalem docházelo ke kontrole růstu kolonií řas a sinic. Zhruba po 1 měsíci kultivace byly jednotlivé kolonie přeneseny pomocí kapiláry Pasteurovy pipety na čistou Petriho misku s agarovým Z médiem. Tento krok byl opakován tak dlouho, dokud nebylo dosaženo jednodruhové kultury řas a sinic na každé Petriho misce. Nakonec byly kultury pro dlouhodobé uchování a další práci přeneseny na šikmé agary ve zkumavkách.

### **3.3.3. Mikroskopování a determinace**

Všechny jednotlivé kultury byly poté přeneseny na podložní sklíčko s kapkou vody, překryty krycím sklíčkem. Takto připravené vzorky byly pozorovány pomocí mikroskopu Olympus BX51 vybaveným DIC a kamerou Olympus DP71 pod zvětšením 400x a za použití imerzního oleje pod zvětšením 1000x. Snímky byly pořizovány pomocí programu Cell<sup>^</sup>D. K determinaci byly použity určovací klíče (Komárek & Anagnostidis 2000 a 2005, Ettl & Gärtner 2013, Komárek 2013).

## 4. Výsledky

### 4.1. Přehledové tabulky zástupců pouštních řas a sinic

Do přehledových tabulek (Tab. 2 pro sinice a Tab. 3 pro eukaryotické řasy) byly zaznamenány zástupci řas a sinic v minulosti nalezených v aridních podmínkách tří biotopů: 1. řasy a sinice jako součást biologických půdních krust, 2. řasy a sinice pod povrchem půdy a 3. řasy sinice obývající prostory hornin.

Z řas, jež jsou součástí biologických půdních krust, převládá v diverzitě na rodové úrovni skupina *Chlorophyta* a *Bacillariophyta* s 18 a 12 rody. Ze sinic vyskytujících se v biologických půdních krustách v naprosté většině převládají vláknité sinice s 10 rody z řádu *Nostocales* a 8 rody z řádu *Oscillatoriales*. V zanedbatelném množství se zde vyskytují i kokální sinice. Pokud se jedná o četnost druhů, nejvíce je zastoupen rod *Nostoc* s 12 druhy, rod *Scytonema* s 10 druhy, rod *Lynghya* s 9 druhy a rod *Calothrix* s 8 druhy. Eukaryotické řasy nejsou tak hojné na počet druhů jako sinice, nejvíce je však zastoupen rod *Chlorosarcinopsis* s 6 druhy.

Z řas a sinic vyskytujících se pod povrchem půdy dominovaly zelené řasy ze skupiny *Chlorophyta* s nejvíce zastoupenými rody z řádu *Chlamydomonadales* s 12 rody, zatímco rody z jiných skupin eukaryotických řas byly zastoupeny v menším množství. Ze sinic se zde vyskytovaly převážně vláknité sinice, které zde zastupuje především řád *Oscillatoriales* s 6 rody.

Z řas a sinic obývajících prostory hornin dominovaly zelené řasy ze skupiny *Chlorophyta* s nejvíce zastoupenými rody z řádu *Chlamydomonadales* se 7 rody, zatímco ze skupin *Bacillariophyta* a *Ochrophyta* nebyl zaznamenán žádný rod. Ze sinic se nejhojněji vyskytovaly kokální sinice z řádu *Chroococcales* s 5 rody a vláknité sinice z řádu *Oscillatoriales* také s 5 rody.

Celkově se ze skupiny sinic řád *Chroococcales* s 5 rody nejvíce vyskytoval v prostorách hornin, řád *Nostocales* s 10 rody byl nejhojnější v biologických půdních krustách. Řád *Oscillatoriales* se vyskytoval na všech biotopech přibližně ve stejném poměru.

Z eukaryotických řas se skupina *Bacillariophyta* vyskytovala hojně v biologických půdních krustách s 12 rody, pod povrchem půdy se vyskytovalo zanedbatelné množství rodů a v prostorách hornin nebyl zaznamenán žádný rod. Skupina *Charophyta* se vyskytovala v zanedbatelném množství ve všech biotopech přibližně ve stejném poměru. Skupina *Chlorophyta* se vyskytovala nejhojněji pod povrchem půdy s 28 rody napříč všemi řády.

Nejhojnějším ze skupiny *Chlorophyta* byl řád *Chlamydomonadales*. Skupina Ochrophyta se vyskytovala relativně hojně pod povrchem půdy s 8 rody, v biologických půdních krustách se vyskytovalo zanedbatelné množství rodů a v prostorách hornin nebyl zaznamenán žádný rod.

Sinice, část 1	v biologických půdních krustách	pod povrchem půdy	obývající prostory hornin
<b>Chroococcales</b>			
<i>Aphanothece</i>			x
<i>Chlorogloea</i>	<i>fritschii</i>		
<i>Chroococcus</i>	<i>lithophilus, rufescens, turgidus</i>		x
<i>Gloeocapsa</i>		x	x
<i>Gloeothece</i>			x
<i>Microcystis</i>		x	
<i>Paracapsa</i>			x
<b>Chroococciopsidales</b>			
<i>Chroococciopsis</i>			x
<b>Nostocales</b>			
<i>Anabaena</i>	<i>torulosa, variabilis</i>	x	x
<i>Aulosira</i>	<i>pseudoramosa, prolifica</i>		
<i>Calothrix</i>	<i>bharadwajae, brevissima, castelli, clavatooides, javanica, marchica, parietina, scytonemicola</i>		
<i>Cylindrospermum</i>	<i>indicum</i>		
<i>Fischerella</i>	<i>ambigua, muscicola</i>		
<i>Hapalosiphon</i>	<i>welwitschii</i>		
<i>Nostoc</i>	<i>caeruleum, calcicola, carneum, commune, desertorum, ellipso sporum, indistinguendum, linckia, microscopicum, muscorum, piscinale, punctiforme</i>	x	x
<i>Scytonema</i>	<i>burmanicum, chiastum, coactile, hyalinum, javanicum, myochrous, ocellatum, rivulare, schmidti, varium</i>	x	<i>ocellatum</i>
<i>Stigonema</i>	<i>tomentosum</i>		
<i>Westiellopsis</i>	<i>prolifica</i>		
<b>Oscillatoriales</b>			
<i>Arthrospira</i>	<i>jenneri</i>		
<i>Borzia</i>		x	x
<i>Lyngbya</i>	<i>allorgei, arboricola, ceylanica, diguetii, limnetica, major, nordgaardii, palmarum, putealis</i>	x	x
<i>Microcoleus</i>	<i>lacustris, sociatus, steenstrupii, subtorulosus, vaginatus</i>	x	<i>chthonoplastes</i>
<i>Oscillatoria</i>	<i>foreau, formosa, hamelii, ornata</i>	x	
<i>Phormidium</i>	<i>ambiguum, tenue</i>	x	<i>autumnale</i>

Sinice, část 2	v biologických půdních krustách	pod povrchem půdy	obývající prostory hornin
<b>Oscillatoriales</b>			
<i>Plectonema</i>	<i>notatum, puteale, radiosum, tomasinianum</i>	x	x
<i>Pseudophormidium</i>	<i>hollerbachianum</i>		
<i>Symploca</i>	<i>muscorum</i>		
<b>Pleurocapsales</b>			
<i>Myxosarcina</i>	<i>burmensis, spectabilis</i>		x
<b>Synechococcales</b>			
<i>Arthronema</i>	<i>cf. africanum</i>		
<i>Aphanocapsa</i>			x
<i>Leptolyngbya</i>	<i>foveolara, nostocorum, tenuis</i>		
<i>Schizothrix</i>	<i>calcicola, fragilis</i>	x	<i>calcicola</i>
<i>Synechococcus</i>		x	<i>elongatus</i>
<i>Synechocystis</i>		x	
<i>Trichocoleus</i>	x		

**Tab. 2** – Přehled sinic v jednotlivých terestrických biotopech aridních oblastí. V levém sloupci jsou tučně zaznamenány řády sinic a pod nimi jsou vypsány jednotlivé rody. Přítomnost jednotlivých druhů je vypsána u konkrétního biotopu. Pokud byla přítomnost rodu zaznamenána, ale organismus nebyl určen do druhu, pak je jeho přítomnost zaznamenána křížkem. Pro lepší orientaci je vše seřazeno dle abecedního pořadí.

Řasy, část 1	v biologických půdních krustách	pod povrchem půdy	obývajcí prostory hornin
<b>BACILLARIOPHYTA</b>			
<b>Bacillariales</b>			
<i>Denticula</i>	<i>elegans</i>		
<i>Hantzschia</i>	<i>amphioxys</i>	x	
<i>Nitzschia</i>	<i>hantzschiana, punctata</i>		
<b>Fragilariales</b>			
<i>Staurosira</i>	<i>construens</i>		
<b>Mastogloiales</b>			
<i>Achnanthes</i>	<i>linearis</i>		
<b>Melosirales</b>			
<i>Melosira</i>	<i>roeseana</i>		
<b>Naviculales</b>			
<i>Caloneis</i>	<i>bacillum</i>		
<i>Luticola</i>	<i>mutica, muticoides</i>		
<i>Navicula</i>	<i>mutica</i>	x	
<i>Pinnularia</i>	<i>borealis</i>	x	
<i>Stauroneis</i>		x	
<b>Stephanodiscales</b>			
<i>Cyclotella</i>	<i>comta</i>		
<i>Stephanodiscus</i>	<i>carconensis</i>		
<b>CHAROPHYTA</b>			
<b>Desmidiales</b>			
<i>Cosmarium</i>		x	
<b>Klebsormidiales</b>			
<i>Elakatothrix</i>	<i>obtusata</i>		
<i>Klebsormidium</i>	<i>dissectum, flaccidum</i>		<i>sterile</i>
<b>Zygnematales</b>			
<i>Cylindrocystis</i>	<i>brebissonii</i>	x	
<b>CHLOROPHYTA</b>			
<b>Chaetophorales</b>			
<i>Gongrosira</i>		x	
<i>Pleurococcus</i>		x	
<b>Chlamydomonadales</b>			
<i>Actinochloris</i>		x	
<i>Borodinella</i>		x	<i>polytetras</i>
<i>Chlamydomonas</i>		x	
<i>Chlorococcum</i>	<i>minutum</i>	<i>diplobionticoideum</i>	<i>aerenosum, sphacosum</i>
<i>Chlorochytrium</i>		x	
<i>Chlorosarcina</i>		<i>brevispinosa, longispinosa</i>	
<i>Chlorosarcinopsis</i>	<i>aggregata, arenicola, auxotrophica, bastropiensis, gelatinosa, sempervirens</i>	<i>eremi, gelatinosa</i>	<i>aggregata, negevensis</i>

Řasy, část 2	v biologických půdních krustách	pod povrchem půdy	obývající prostory hornin
<b>Chlamydomonadales</b>			
<i>Ettlia</i>	<i>bilobata, cohaerens</i>		
<i>Fasciculochloris</i>	<i>mexicana</i>		<i>boldii</i>
<i>Lobococcus</i>	<i>irregularis</i>		
<i>Lobosphaeropsis</i>	<i>lobophora</i>		
<i>Macrochloris</i>		x	
<i>Protosiphon</i>		x	
<i>Radiosphaera</i>		x	<i>negevensis</i>
<i>Spongiochloris</i>	<i>minor</i>	<i>incrassata, minor</i>	
<i>Tetracystis</i>			<i>dissociata, isobilateralis</i>
<i>Tetraspora</i>		x	
<b>Chlorellales</b>			
<i>Apatococcus</i>	<i>constipatus</i>		
<i>Chlorella</i>	<i>ellipsoidea, protothecoides, vulgaris</i>	x	x
<i>Gloeotila</i>		x	
<i>Muriella</i>	<i>decolor, terrestris</i>		
<i>Oocystis</i>			<i>marssonii</i>
<i>Trochiscia</i>		x	x
<b>Prasiolales</b>			
<i>Diplosphaera</i>	x		
<i>Elliptochloris</i>	<i>subsphaerica</i>		
<i>Hormidium</i>		x	<i>sterile, subtilissimum</i>
<i>Stichococcus</i>	<i>bacillaris</i>	x	<i>bacillaris</i>
<b>Sphaeropleales</b>			
<i>Bracteacoccus</i>	<i>aggregatus, cohaerens, grandis, minor, pseudominor</i>	x	x
<i>Dictyococcus</i>		x	
<i>Neochloris</i>		<i>oleoabundans</i>	
<i>Scenedesmus</i>		x	
<b>Trebouxiales</b>			
<i>Friedmannia</i>	<i>israelensis</i>	<i>israelensis</i>	<i>israelensis</i>
<i>Lobosphaera</i>	<i>tirolensis</i>		
<i>Myrmecia</i>	<i>astigmatica, biatorellae, incisa, macronucleata</i>		x
<i>Trebouxia</i>		x	x
<b>Ulotrichales</b>			
<i>Chlorhormidium</i>	<i>flaccidum</i>		
<i>Chloroplana</i>		x	
<i>Fernandinella</i>		x	
<i>Ulothrix</i>		x	<i>minuta</i>

Řasy, část 3	v biologických půdních krustách	pod povrchem půdy	obývajcí prostory hornin
<b>OCHROPHYTA</b>			
<b>Eustigmatales</b>			
<i>Vischeria</i>	<i>helvetica</i>		
<b>Mischococcales</b>			
<i>Botrydiopsis</i>		x	
<i>Bumilleriopsis</i>		x	
<i>Chloridella</i>	x	x	
<i>Gloeobotrys</i>		x	
<i>Pleurochloris</i>		x	
<b>Tribonematales</b>			
<i>Heterococcus</i>		x	
<i>Heterothrix</i>		x	
<i>Tribonema</i>		x	

**Tab. 3** – Přehled eukaryotických řas v jednotlivých terestrických biotopech aridních oblastí. V levém sloupci jsou tučně kapitálkami uvedena jednotlivá oddělení řas, tučně jsou zaznamenány jednotlivé řády a pod nimi jsou vypsány jednotlivé rody. Přítomnost jednotlivých druhů je vypsána u konkrétního biotopu. Pokud byla přítomnost rodu zaznamenána, ale organismus nebyl určen do druhu, pak je jeho přítomnost zaznamenána křížkem. Pro lepší orientaci je vše seřazeno dle abecedního pořadí.



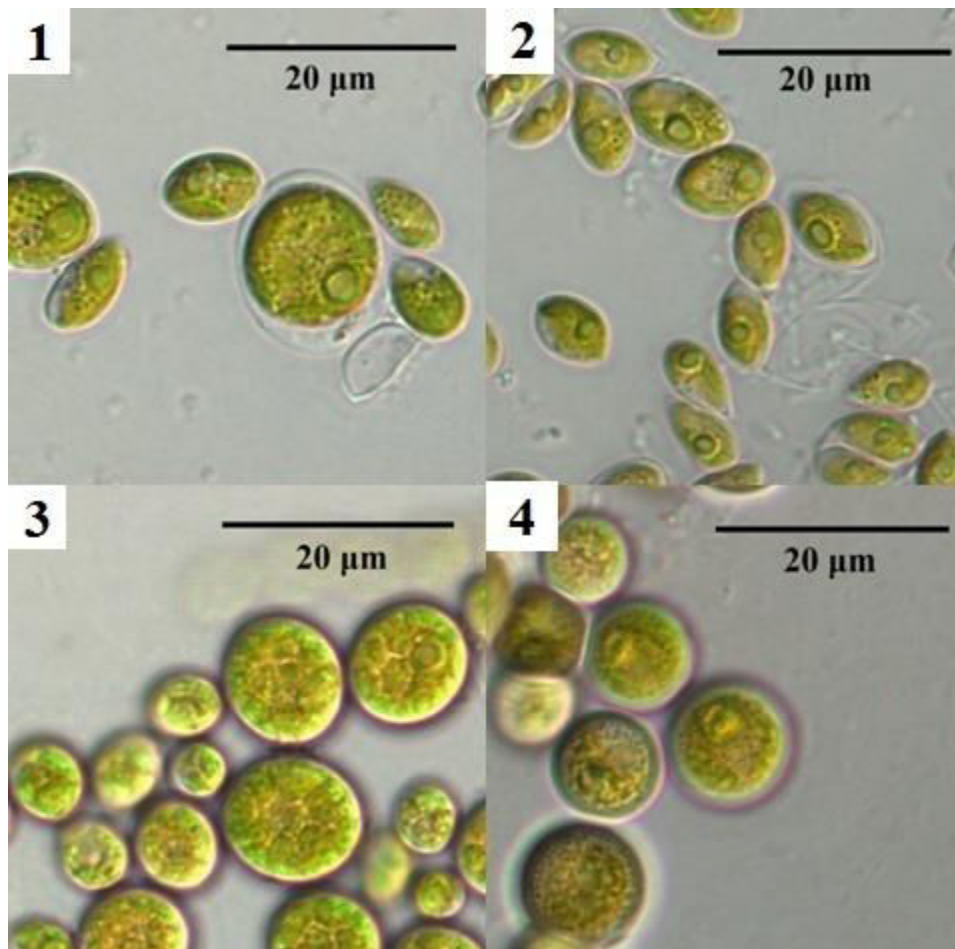
## 4.2. Vlastní izoláty řas a sinic

V rámci praktické části bakalářské práce byly izolovány a kultivovány půdní fototrofní organismy ze dvou odlišných oblastí: 1. řasy a sinice z horské subtropické Negevské pouště v Izraeli a 2. řasy a sinice z chladné vysokohorské pouště v Ladaku.

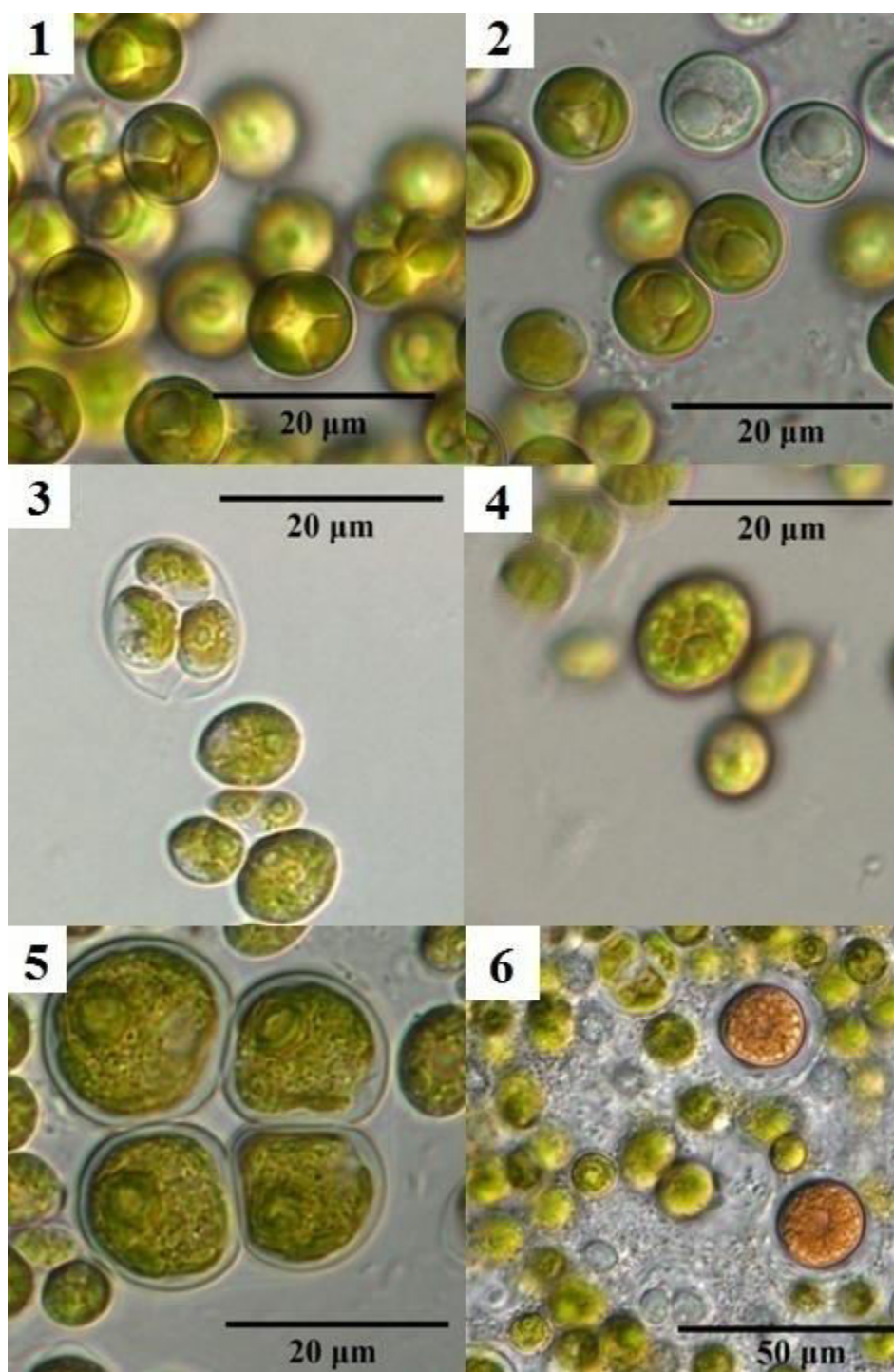
Z horké subtropické Negevské pouště byly vyizolovány pouze eukaryotické řasy ze dvou řasových oddělení: *Chlorophyta* (Obr. 13, Obr. 14) a *Bacillariophyta* bez fotodokumentace. Z lokality z jeskyně byly získány pouze 2 rody řas z oddělení *Chlorophyta* a řasy z oddělení *Bacillariophyta*. Z biologických půdních krust Negevské pouště byly získány 4 rody z oddělení *Chlorophyta*.

Z vysokohorské chladné pouště v Ladaku byly ze vzorků biologických půdních krust vyizolovány zástupci dvou skupin: *Cyanobacteria* a *Chlorophyta* (Obr. 15, Obr. 16). Z nadmořské výšky 5 600 m n. m. byly získány 3 rody sinic a 1 rod zelené řasy ze skupiny *Chlorophyta*. Z nadmořské výšky 5 800 m n. m. byl získán pouze 1 rod z oddělení *Cyanobacteria* a z oddělení *Chlorophyta* nebyl získán žádný rod. Z nadmořské výšky 5 900 m n. m. byly získány 2 rody z oddělení *Cyanobacteria* a 2 rody řas z oddělení *Chlorophyta*.

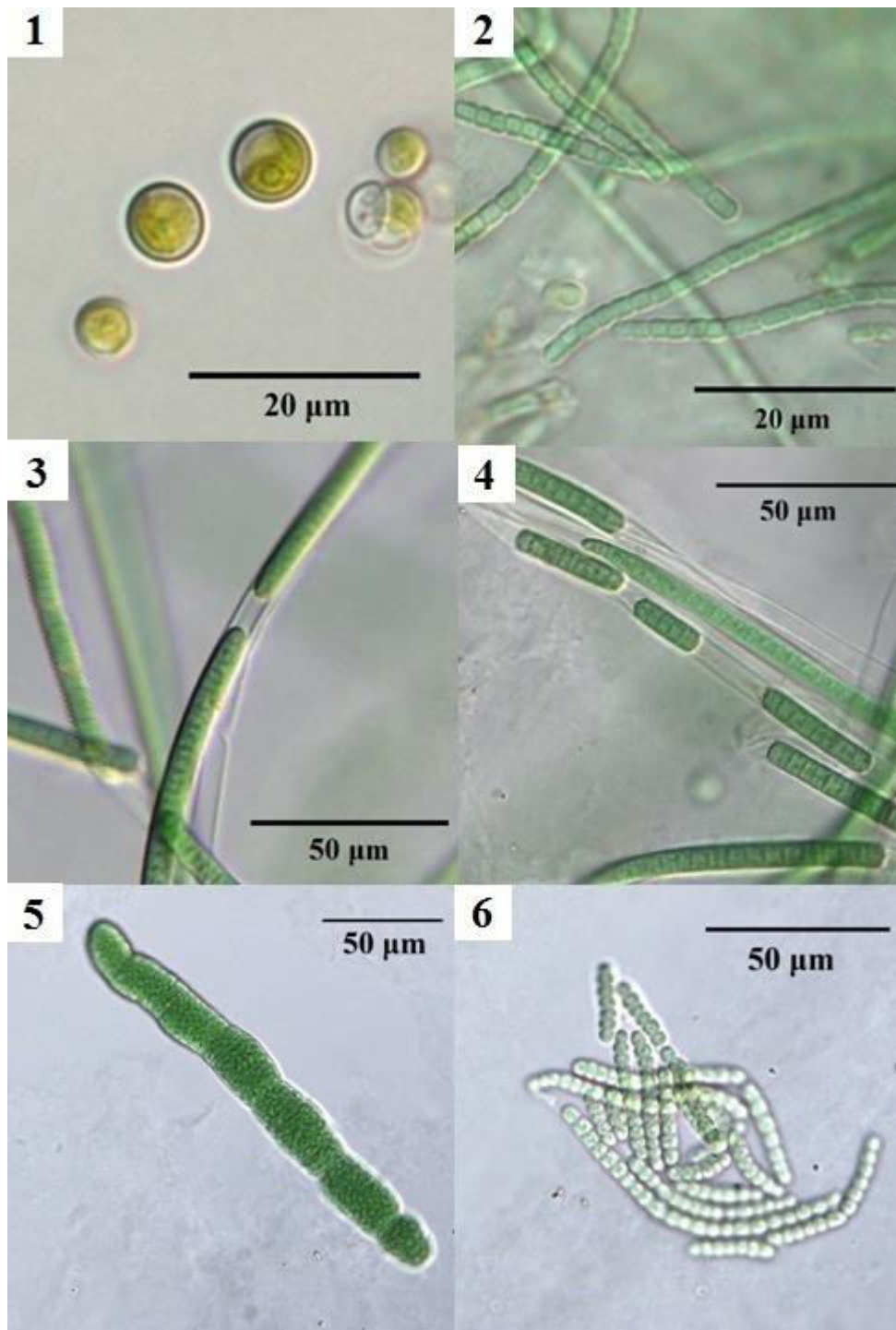
Největší biodiverzita řas z oddělení *Chlorophyta* byla zaznamenána v biologické půdní krustě na povrchu půdy v Negevské poušti se 4 rody a největší biodiverzita sinic se 3 rody byla zaznamenána v Ladaku v nadmořské výšce 5 600 m n. m.



**Obr. 13** – Zástupci z Negevské pouště (1 – 3 lokalita jeskyně, 4 – lokalita povrch půdy), 1,2 – *Scenedesmus* sp., 3 – *Coelastrella* sp., 4 – *Elliptochloris*?

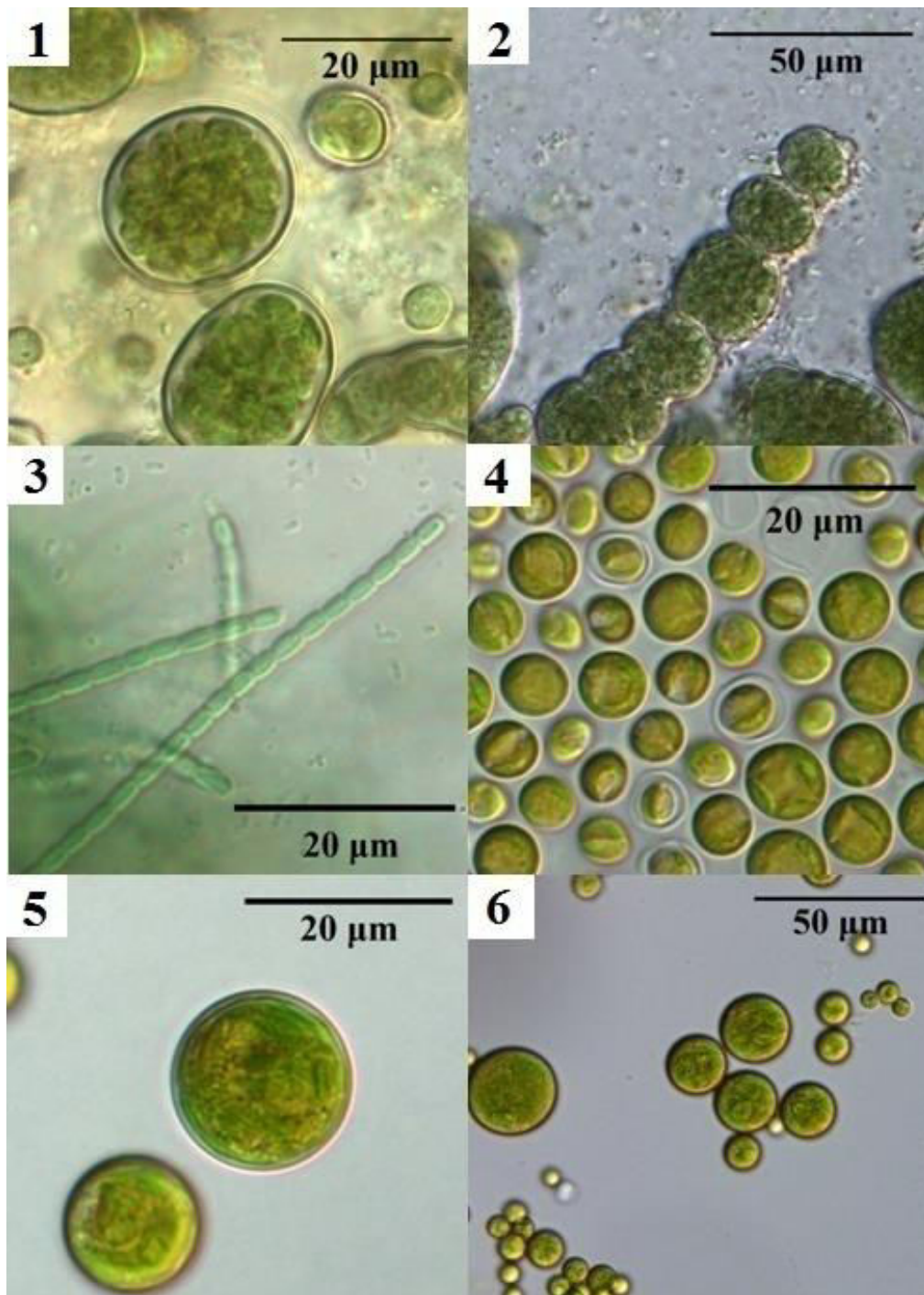


**Obr. 14** – Zástupci z Negevské pouště – lokalita povrch půdy, 1,2 – *Bracteacoccus minor* var. *deserticum*/*Pseudomuriella*? 3,4 – *Scenedesmus*/*Coellastrella*? 5,6 – *Tetracystis*?



**Obr. 15** – Zástupci z Ladaku 5 600 m n. m., 1 – *Chlorella* cf. *vulgaris*, 2 – *Leptolyngbya compacta*, 3, 4 – *Microcoleus vaginatus*, 5,6 – *Nostoc* sp.





**Obr. 16** – Zástupci z Ladaku (1 – Ladak 5 800 m n. m., 2 – 6 Ladak 5 900 m n. m.), 1 – *Nostoc* sp., 2 – *Nostoc punctiforme*, 3 – *Leptolyngbya* cf. *subtilissima*, 4 – *Pseudomuriella* sp., 5,6 – *Neochloris* sp.

## 5. Diskuse

Přestože aridní oblasti zaujímají svojí rozlohou téměř třetinu celkové plochy světa, fototrofní mikroorganismy žijící v těchto oblastech dosud nejsou dostatečně probádané. Většina prací zkoumá jen jeden určitý biotop v těchto oblastech nebo se zabývají buď jen sinicemi, nebo jen určitou skupinou řas. Dalším omezením je, že většina studií zkoumá tyto mikroorganismy jen na svém území, ale je málo prací, které by se snažily postihnout tento problém z širšího hlediska. Nejvíce jsou probádané pouště Asie (Chantanachat & Bold 1962, Friedmann *et al.* 1967, Friedmann & Galun 1974) a pouště Severní Ameriky (Chantanachat & Bold 1962, Cameron & Blank 1965, Groundin & Johansen 1993, Flechtner *et al.* 1998, Alwathnani & Johansen 2011). V posledních letech se staly středem zájmů biologické půdní krusty, zatímco práce týkající se řas nebo sinic obývajících jiné biotopy jako například prostory kamenů nebo řasy a sinice vyskytující se pod povrchem půdy, jsou spíše staršího data.

V přehledových tabulkách (Tab. 2 a Tab. 3) zástupců řas a sinic v minulosti nalezených v aridních podmínkách byly porovnávány tři biotopy: řasy a sinice součástí biologických půdních krust, řasy a sinice pod povrchem půdy a řasy a sinice obývajících prostory hornin.

V biologických půdních krustách převládají vláknité sinice z řádu *Nostocales* a *Oscillatoriales*. Vlákňité sinice tvoří slizové pochvy zajišťující soudržnost biologických půdních krust. Sinice z řádu *Nostocales* navíc tvoří akinety, které jim umožňují přežívat nepříznivé období a proto se tento řád v porovnání jiných biotopů vyskytuje právě nejčastěji v biologických půdních krustách. Z eukaryotických řas se hojně vyskytovala skupina *Chlorophyta*, která se vyšší intenzitě světla brání karotenoidními pigmenty, a skupina *Bacillariophyta*.

Pod povrchem půdy se nejvíce vyskytovaly sinice z řádu *Oscillatoriales*, zelené řasy ze skupiny *Chlorophyta* a řasy ze skupiny *Ochrophyta*. Posledně jmenované se v žádném biotopu nevyskytovaly tak hojně jako právě pod povrchem půdy. Tyto organismy se před nehostinnými podmínkami aridních oblastí chrání vrstvou půdy. Přičemž podle Friedmanna & Galuna (1974) se sinice vyskytují blíže pod povrchem a řasy jsou naopak dominantní ve větších hloubkách, což je způsobeno nízkou hladinou tolerance k procesům vysychání a ozáření u eukaryotických řas.

Z řas a sinic obývajících prostory hornin se ve velkém množství vyskytovaly kokální sinice z řádu *Chroococcales*, které se v jiném biotopu nevyskytovaly tak hojně jako právě v prostorách kamenů. Podle Camerona (1960) se kokální sinice objevují s rostoucí

humiditou, zatímco Friedmann *et al.* (1967) tvrdí, že kokální sinice převládají hlavně v endolitických prostorách. Pórovité horniny obývané endolitickými mikroorganismy uchovávají vlhkost a zpomalují odpařování vody (Friedmann & Galun 1974).

Navzdory rozšířenému výskytu řas a sinic v aridních podmínkách není porovnání na celosvětové úrovni možné z důvodu použití odlišných metodických postupů a použití odlišné taxonomie. Navíc daleko častěji se také zkoumají pouze sinice a většina studií určuje organismy pouze do rodu, protože determinace půdních organismů je obtížná. Samotné tabulky (Tab. 2 a Tab. 3.) nejsou úplné také proto, že pro jejich zpracování byly vybrány pouze některé studie, a proto mohou posloužit spíše pouze jako náhled do problematiky.

V rámci této bakalářské práce se z horké Negevské pouště v Izraeli podařilo vyizolovat pouze eukaryotické řasy z dvou oddělení: *Chlorophyta* a *Bacillariophyta*, sinice se v kultivačním pokusu nepodařilo zachytit žádné. Oproti tomu z chladné vysokohorské pouště ve východním Ladaku byli vyizolováni převážně zástupci ze skupiny *Cyanobacteria* a v menší míře eukaryotické řasy z oddělení *Chlorophyta*. Výčet získaných zástupců v rámci této práce však zdaleka není kompletní. Aby bylo dosaženo celkového zastoupení řas a sinic ve vzorcích biologických půdních krust, bylo by potřeba izolaci a kultivaci půdních fototrofních mikroorganismů několikrát opakovat. Zároveň by k přesnému určení všech vyizolovaných zástupců bylo potřeba kultury pozorovat opakovaně v určitých intervalech, aby mohl být zachycen průběh celého životního cyklu, zahrnující např. tvorbu zoospor a jiných znaků zásadních pro determinaci. I přesto by však pro spolehlivé určení bylo nejpřesnější provést genetickou analýzu, která by ale byla dalece nad rámec této práce, stejně jako pozorování cyklů.

Přestože mají biologické půdní krusty nízké požadavky ohledně vlhkosti a chemické složení a pH půdy nemá vliv na kolonizaci biologických půdních krust, jejich druhové složení může být parametry prostředí výrazně ovlivněno (Belnap *et al.* 2001).

Vzhledem k tomu, že z Negevské pouště byly vyizolovány pouze eukaryotické řasy, lze předpokládat, že jsou v této oblasti stabilnější povrchy půdy a více srážek než ve východním Ladaku, protože eukaryotické řasy preferují oblasti s vyšší dostupností srážek v porovnání se sinicemi. A zároveň díky rozmanitosti zelených řas ze skupiny *Chlorophyta* v Negevské poušti budou zřejmě kyselejší půdy (Belnap *et al.* 2001, Büdel 2001).

Friedmann *et al.* (1967) v Negevské poušti v Izraeli na povrchu půdy objevili převážně zelené řasy ze skupiny *Chlorophyta* zastoupené rody: *Bracteacoccus*, *Chlorosarcinopsis*, *Protosiphon*, řasy ze skupiny *Ochrophyta*: *Botrydium*, *Radiosphaera* a jeden rod sinice *Oscillatoria*. V hypolitickém a chasmolitickém prostředí, která jsou podobná lokalitě jeskyně, pozoroval Friedmann *et al.* (1967) 15 rodů sinic a 8 rodů řas z oddělení *Chlorophyta*.

Naopak ve vysokohorské chladné poušti v Ladaku převažovaly sinice, které se obecně vyskytují v oblastech, kde je více extrémní prostředí, které jsou schopné přežít pomocí nejrůznějších adaptací zahrnující například extracelulární polysacharidové pochvy, kompatibilní rozpouštědla nebo mohou tvořit klidová stádia. Eukaryotické řasy jsou evolučně mladší, což může být příčinou toho, že nemají tolik adaptací a proto se vyskytují na více příznivém prostředí s větší dostupností vlhkosti. Zároveň podle Řehákové *et al.* (2011) převaha sinic na této lokalitě může být dána vyšším pH půdy a nestabilním substrátem.

Práce Čapkové *et al.* (2015) zabývající se diverzitou sinic ve vysokohorské chladné poušti západních Himalájí napříč nadmořskou výškou, zaznamenala celkový nárůst fototrofů biologických půdních krust s rostoucí nadmořskou výškou. Jedná se o důsledek růstu extrémnějších podmínek s tímto gradientem, což má za následek pokles biomasy vyšších rostlin. Obecně se totiž biologické půdní krusty vyskytují v oblastech s nižší pokrývností vyšších rostlin z důvodu kompetice o světlo a zároveň jim extrémní podmínky příliš nevdají, protože jsou na to patřičně adaptovány.

Pokud jde o vliv nadmořské výšky na konkrétní řady sinic, práce Řehákové *et al.* (2011) vykazuje nárůst biomasy řádů *Nostocales* a *Chroococcales* s rostoucí nadmořskou výškou, zatímco biomasa řádu *Oscillatoriales* s rostoucí nadmořskou výškou klesá. Nárůst biomasy řádu *Nostocales* může být způsoben lepším přizpůsobením extrémnějším podmínkám zahrnující například dobře vyvinuté extracelulární slizovité pochvy. Nárůst biomasy řádu *Chroococcales* může být způsoben tím, že jednobuněčné kokální organismy nevyžadují stabilní substráty s jemnou strukturou, zatímco sinice z řádu *Oscillatoriales* vyžadují jemnější půdy s větším množstvím organické hmoty (Řeháková *et al.* 2011). Naopak Belnap *et al.* (2001) tvrdí že *Microcoleus vaginatus* náležící k řádu *Oscillatoriales* je dominantní v oblastech s méně stabilními sedimenty, jako například na hrubých písčítých půdách, které zpevňují extracelulárními pochvami okolo svazku svých vláken.



## 6. Závěr

Cílem této práce bylo shrnout poznatky o řasách a sinicích schopných obývat nehostinné aridní oblasti, kde musí čelit řadě nepříznivých podmínek a to především nedostatku vody, extrémům teploty a vysoké intenzitě světla. V aridních oblastech jsou mimo holou půdu či povrch kamene místa pro život řas a sinic relativně příznivější. Např. u hypolitických komunit jsou mikroorganismy chráněny kamenným krytem, který zamezuje jak ztrátě vody, tak nadměrnému ozáření organismů. Pórovité horniny obývané endolitickými mikroorganismy uchovávají vlhkost a zpomalují odpařování vody. Speciální formou výskytu řas a sinic v aridních podmínkách je společenstvo biologických půdních krust, kde horní vrstva biomasy s vyšší adaptací na stres ochraňuje a stíní spodní vrstvu biomasy, která je složena z organismů s nižší tolerancí na stres. Řasy a sinice v aridních oblastech hrají klíčovou roli v půdě, na které se vyskytují. Mají vliv na půdní hydrologii a půdní stabilitu, ale hlavním významem je produkce živin, která je v těchto extrémních podmínkách zásadní, přesto však jejich role v ekosystému není dostatečně pochopena z důvodu působení několika vnějších a vnitřních faktorů současně.

Součástí teoretické části je i vypracovaná tabulka, kde byly porovnány fototrofní mikroorganismy ze tří biotopů v aridních oblastech, a to řasy a sinice součástí biologických půdních krust, řasy a sinice pod povrchem půdy a řasy a sinice obývajících prostory hornin, která poskytuje informaci o jejich doposud zjištěné diverzitě.

V praktické části této bakalářské práce byly izolovány a kultivovány řasy a sinice získané ze dvou lokalit: horké subtropické Negevské pouště a chladné vysokohorské pouště v Ladaku. Z horké subtropické Negevské pouště byly získány pouze eukaryotické řasy dvou oddělení *Chlorophyta* a *Bacillariophyta* a z chladné vysokohorské pouště v Ladaku byly získány především sinice a v menším množství řasy z oddělení *Chlorophyta*. Pro spolehlivé určení všech vyizolovaných zástupců by však bylo potřeba provést genetickou analýzu.

Cíle bakalářské práce byly splněny. Tato práce může sloužit jako přehled pro další studium řas a sinic obývajících aridní oblasti, protože všeobecný přehled o fototrofních mikroorganismech v aridních oblastech doposud chyběl.

## 7. Přehled použité literatury

Alwathnani, H., & Johansen, J. R. (2011). Cyanobacteria in soils from a Mojave Desert ecosystem. *Monographs of the Western North American Naturalist*, 5(1), 71-90.

Bell, R. A. (1993). Cryptoendolithic algae of hot semiarid lands and deserts. *Journal of Phycology*, 29(2), 133-139.

Belnap, J. (2001a). Microbes and microfauna associated with biological soil crusts. In: Belnap, J., & Lange, O. L. (Eds.): *Biological soil crusts: structure, function, and management* (pp. 167-174). Springer, Berlin, Heidelberg. ISBN 978-3-540-43757-4.

Belnap, J. (2001b). Factors influencing nitrogen fixation and nitrogen release in biological soil crusts. In: Belnap, J., & Lange, O. L. (Eds.): *Biological soil crusts: structure, function, and management* (pp. 241-261). Springer, Berlin, Heidelberg. ISBN 978-3-540-43757-4.

Belnap, J., Büdel, B., & Lange, O. L. (2001). Biological soil crusts: characteristics and distribution. In: Belnap, J., & Lange, O. L. (Eds.): *Biological soil crusts: structure, function, and management* (pp. 3-30). Springer, Berlin, Heidelberg. ISBN 978-3-540-43757-4.

Belnap, J., & Gardner, J. S. (1993). Soil microstructure in soils of the Colorado Plateau: the role of the cyanobacterium *Microcoleus vaginatus*. *Great Basin Naturalist*, 53(1), 40-47.

Belnap, J., & Lange, O. L. (2001). Structure and functioning of biological soil crusts: a synthesis. In: Belnap, J., & Lange, O. L. (Eds.): *Biological soil crusts: structure, function, and management* (pp. 471-479). Springer, Berlin, Heidelberg. ISBN 978-3-540-43757-4.

Belnap, J., & Weber, B. (2013). Biological soil crusts as an integral component of desert environments. *Ecological Processes*, 2(1), 11-12.

Bewley, J. D. (1979). Physiological aspects of desiccation tolerance. *Annual Review of Plant Physiology*, 30(1), 195-238.

Bhatnagar, A., & Bhatnagar, M. (2005). Microbial diversity in desert ecosystems. *Current Science*, 89(1), 91-100.

Büdel, B. (2001). Synopsis: comparative biogeography of soil-crust biota. In: Belnap, J., & Lange, O. L. (Eds.): *Biological soil crusts: Structure, function, and management* (pp. 141-152). Springer, Berlin, Heidelberg. ISBN 978-3-540-43757-4.

- Cameron, R. E. (1960). Communities of soil algae occurring in the Sonoran Desert in Arizona. *Journal of the Arizona Academy of Science*, 1(3), 85-88.
- Cameron, R. E., & Blank, G. B. (1965). Soil studies—microflora of desert regions VIII. *Distribution and abundance of microorganisms. Space Programs Summary*, 4, 193-202.
- Cameron, R. E., King, J., & David, C. N. (1970). Soil microbial ecology in Wheeler Valey, Antarctica. *Soil Science*, 109(2), 110-120.
- Chamizo, S., Cantón, Y., Rodríguez-Caballero, E., & Domingo, F. (2016). Biocrusts positively affect the soil water balance in semiarid ecosystems. *Ecohydrology*, 9(7), 1208-1221.
- Chantanachat, S., & Bold, H. C. (1962). Phycological Studies II. Some Algae From Arid Soils. The University of Texas Publication 6218
- Čapková, K., Hauer, T., Řeháková, K., & Doležal, J. (2015). Some like it high! Phylogenetic diversity of high-elevation cyanobacterial community from biological soil crusts of western Himalaya. *Microbial ecology*, 71(1), 113-123.
- Dvorský, M., Altman, J., Kopecký, M., Chlumská, Z., Řeháková, K., Janatková, K., & Doležal, J. (2015). Vascular plants at extreme elevations in eastern Ladakh, northwest Himalayas. *Plant Ecology & Diversity*, 8(4), 571-584.
- Eldridge, D. J., & Greene, R. S. B. (1994). Microbiotic soil crusts—a review of their roles in soil and ecological processes in the rangelands of Australia. *Soil Research*, 32(3), 389-415.
- Ettl, H., & Gärtner, G. (2013). Syllabus der boden-, luft-und flechtenalgen. Springer-Verlag. 773 pp. ISBN 978-3-642-3946-4.
- Flechtner, V. R. (2007). North American desert microbiotic soil crust communities. In: Seckbach, J. (Ed.): *Algae and cyanobacteria in extreme environments* (pp. 537-551). Springer, Dordrecht. ISBN 978-1-4020-6111-0
- Flechtner, V. R., Johansen, J. R., & Clark, W. H. (1998). Algal composition of microbiotic crusts from the central desert of Baja California, Mexico. *The Great Basin Naturalist*, 295-311.
- Friedmann, E. I., & Galun, M. (1974). Desert algae, lichens and fungi. In: Brown, G. W. (Ed.): *Desert biology*, 2, 165-212. Elsevier, New York. ISBN 0-12-135902-6.

- Friedmann, E. I., Lipkin, Y., & Ocampo-Paus, R. (1967). Desert algae of the Negev (Israel). *Phycologia*, 6(4), 185-200.
- Garcia-Pichel, F., & Castenholz, R. W. (1991). Characterization and biological implications of scytonemin, a cyanobacterial sheath pigment<sup>1</sup>. *Journal of Phycology*, 27(3), 395-409.
- Garcia-Pichel, F., & Castenholz, R. W. (1993). Occurrence of UV-absorbing, mycosporine-like compounds among cyanobacterial isolates and an estimate of their screening capacity. *Appl. Environ. Microbiol.*, 59(1), 163-169.
- Grondin, A. E., & Johansen, J. R. (1993). Microbial spatial heterogeneity in microbiotic crusts in Colorado National Monument. I. Algae. *Great Basin Naturalist*, 53(1), 24-30.
- Hauer, T., Mühlsteinová, R., Bohunická, M., Kaštovský, J., & Mareš, J. (2015). Diversity of cyanobacteria on rock surfaces. *Biodiversity and conservation*, 24(4), 759-779.
- Henson, B. J., Hesselbrock, S. M., Watson, L. E., & Barnum, S. R. (2004). Molecular phylogeny of the heterocystous cyanobacteria (subsections IV and V) based on *nifD*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54(2), 493-497.
- Isichei, A. O. (1990). The role of algae and cyanobacteria in arid lands. A review. *Arid Land Research and Management*, 4(1), 1-17.
- Kahana, R., Ziv, B., Enzel, Y., & Dayan, U. (2002). Synoptic climatology of major floods in the Negev Desert, Israel. *International Journal of Climatology*, 22(7), 867-882.
- Komárek, J. (2013). *Süßwasserflora von Mitteleuropa, 19/3: Cyanoprokaryota. 3. Heterocytous genera. Springer Verlag.*
- Komárek, J., & Anagnostidis, K. (2000). *Süßwasserflora von Mitteleuropa, 19/1: Cyanoprokaryota 1. Chroococcales. Spektrum, Akademischer Verlag.*
- Komárek, J., & Anagnostidis, K. (2005). *Süßwasserflora von Mitteleuropa, 19/2: Cyanoprokaryota 2. Oscillatoriales. Spektrum Akademischer Verlag.*
- Lange, O. L. (2001). Photosynthesis of soil-crust biota as dependent on environmental factors. In: Belnap, J., & Lange, O. L. (Eds.): *Biological soil crusts: structure, function, and management* (pp. 217-240). Springer, Berlin, Heidelberg. ISBN 978-3-540-43757-4.

- Livingstone, D., & Jaworski, G. H. M. (1980). The viability of akinetes of blue-green algae recovered from the sediments of Rostherne Mere. *British Phycological Journal*, 15(4), 357-364.
- McGinnies, W. G. (1985). What is a Desert? *Desert Plants*, 6(4), 182-188.
- Neuman, C. M., Maxwell, C. D., & Boulton, J. W. (1996). Wind transport of sand surfaces crusted with photoautotrophic microorganisms. *Catena*, 27(3-4), 229-247.
- Pattanaik, B., Schumann, R., & Karsten, U. (2007). Effects of ultraviolet radiation on cyanobacteria and their protective mechanisms. In: Seckbach, J. (Ed.): *Algae and cyanobacteria in extreme environments* (pp. 29-45). Springer, Dordrecht. ISBN 978-1-4020-6111-0
- Pointing, S. B., & Belnap, J. (2012). Microbial colonization and controls in dryland systems. *Nature Reviews Microbiology*, 10(8), 551.
- Portnov, B. A., & Safriel, U. N. (2004). Combating desertification in the Negev: dryland agriculture vs. dryland urbanization. *Journal of Arid Environments*, 56(4), 659-680.
- Potts, M. (1994). Desiccation tolerance of prokaryotes. *Microbiological reviews*, 58(4), 755-805.
- Potts, M. (1999). Mechanisms of desiccation tolerance in cyanobacteria. *European Journal of Phycology*, 34(4), 319-328.
- Řeháková, K., Chlumská, Z., & Doležal, J. (2011). Soil cyanobacterial and microalgal diversity in dry mountains of Ladakh, NW Himalaya, as related to site, altitude, and vegetation. *Microbial ecology*, 62(2), 337-346.
- Schlichting Jr, H. E. (1969). The importance of airborne algae and protozoa. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 19(12), 946-951.
- Schwabe, G. H. (1963). Blaualgen der phototrophen Grenzschicht. Blaualgen und Lebensraum VII. *Pedobiologia*, 2, 132 - 152.
- Tirkey, J., & Adhikary, S. P. (2005). Cyanobacteria in biological soil crusts of India. *Current Science*, 515-521.

Vogel, S. (1955). "Niedere Fensterpflanzen" in der sudafrikanischen Wüste." *Beitr. Biol. Pfl*, 31, 45-135.

Warren, S. D. (2001). Synopsis: influence of biological soil crusts on arid land hydrology and soil stability. In: Belnap, J., & Lange, O. L. (Eds.): *Biological soil crusts: Structure, function, and management* (pp. 349-360). Springer, Berlin, Heidelberg. ISBN 978-3-540-43757-4.

Warren, S. D. (2014). Role of biological soil crusts in desert hydrology and geomorphology: Implications for military training operations. *Reviews in Engineering Geology*, 22, 177-186.

Zehnder in Staub R. (1961). Ernährungphysiologisch-autökologische Untersuchung an den planktonischen Blaualge *Oscillatoria rubescens* DC. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie*, 23, 82-198.

### **Internetové zdroje**

Algaebase (2019). Taxonomická revize [online]. [cit. 2. 5. 2019]. Dostupné z WWW: <<http://www.algaebase.org/>>

Sjoholm, H., Reynders, M. I., Ffolliott, P. F., & Ben Salem, B. (1989). Arid zone forestry: a guide for field technicians [online]. [cit. 2. 5. 2019]. Dostupné z WWW: <<http://www.fao.org/3/t0122e/t0122e00.htm>>