

Zusammenfassung

Protisten sind einzellige Eukaryoten, die weltweit verschiedenste terrestrische und aquatische (marine und limnische) Lebensräume besiedeln. Sie übernehmen die unterschiedlichsten Funktionen in Ökosystemen z.B. als Primärproduzenten, Parasiten und Räuber. Obwohl sie die individuenreichste Gruppe der Eukaryoten darstellen, existiert eine Vielzahl unbekannter, nicht bestimmter Protisten. In neueren Studien zeigten Untersuchungen die signifikante ökologische Bedeutung von einzelligen Eukaryoten in extremen Umgebungen, die eine entscheidende Rolle als eigenständige evolutionäre Abstammungslinie von Eukaryoten spielen. Der starke Selektionsdruck für besonders angepasste Organismen hat nur zu wenigen evolutionäre Linien geführt, die unter lebensfeindlichen Bedingungen koexistieren. Diese Protisten-Linien können in Habitaten mit extremen Bedingungen weltweit gefunden werden, dennoch unterscheiden sich diese Arten von einander. Diese Tatsache lässt vermuten, dass Protisten spezialisiert sind auf ihr Habitat und dadurch isoliert evolviert sind. Die Isolation von biologischen Gemeinschaften wird von landschaftlichen und klimatischen Veränderungen bestimmt. Solche isolierten Gemeinschaften werden zu neuen Phänotypen und schließlich zu endemischen Arten, wenn geographische Barrieren den Genfluss zwischen Populationen begrenzen oder verhindern.

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die Vielfalt von heterotrophen Protisten in extremen Habitaten am Beispiel der Atacama- Wüste. Protisten, die an dieses extreme Habitat angepasst sind, können die langen stabilen geologischen Bedingungen in der Atacama-Wüste widerspiegeln und Aufschluss

über

evolutionäre

Prozesse geben. Zentrales Thema ist die Frage, ob die Arten, die in dieser Arbeit untersucht wurden, Hinweise auf eine lang anhaltende Trennung lokaler und globaler Populationen geben oder ob eine kürzlich erfolgte genetische Trennung zu erkennen ist. Für die Ausbreitung einer Art müssen geeignete Korridore vorhanden sein. Die fehlenden Verbindungen zwischen den nördlichen und südlichen Gebieten der Atacama- Wüste tragen zur vollständigen Isolierung solcher Populationen bei. Daher ist anzunehmen, dass die Evolutionsrate in extremen Gebieten wie der Atacama- Wüste höher ist als die Verbreitungsrate der einzelnen Organismen.

Insbesondere wurde auf die Gruppe der Gregarinen, Tulamoebidae, Pharyngomonada und Percolomonada ein besonderes Augenmerk gerichtet und dadurch neue Erkenntnisse über die taxonomischen und systematischen Zusammenhänge der Vertreter der Ordnung Apicomplexa und Heterolobosea gewonnen. Es konnte eine erfolgreiche Methode für die schwierige Gregarinen-Sequenzierung entwickelt werden. Dadurch war es möglich, drei neue Gregarinen-Arten zu beschreiben. Diese Arten leben im Darm der endemischen Schwarzkäfer-Arten *Scotobius brevipes* und *Psectrascelis intricaticollis* der Atacama- Wüste. Erste Hinweise, dass die Evolutionsrate einiger Protistengruppen viel höher ist als ihre Ausbreitungsrate können in der Beziehung zwischen den Gregarinen und ihrem Wirt gesehen werden. Es konnte gezeigt werden, dass nah verwandte Gregarinen-Arten in Wirten leben, die ebenfalls phylogenetisch nah verwandt sind. Erwähnenswert ist, dass alle Gregarin-Sequenzen von Schwarzkäfern aus Nord- und Südamerika (alle in der Familie der Stylocephalidae) eine Klade bilden, die sich von denen der

eurasischen und afrikanischen Kontinente (alle in der Familie Gregarinidae) unterscheiden.

Weiterhin wurden sieben Percolomonaden-Isolate aus weltweit verteilten marinen,

Süßwasser- und Salzwasserhabitaten mittels Sequenzierung ihrer ribosomalen 18S DNA untersucht, sowie ergänzend morphologisch beschrieben. Es konnte gezeigt werden, dass es sich bei Percolatea nicht ausschließlich um marine Arten handelt, sondern dass Vertreter auch in hypersalinen Binnengewässern leben.

Anhand der molekularen Daten wurde die bestehende Sequenzdatenbank der Percolatea um drei Viertel erweitert, was eine mögliche Grundlage für eine umfassende Neuordnung der Percolozoa schafft. Diese Analyse konnte zu einer optimierten phylogenetischen Auflösung und zu einem verbesserten Verständnis der Evolution der Percolomonadidae beitragen. Desweiterem konnten vier neue Arten, die sich in die eukaryotische Supergruppe Excavata, Klasse Heterolobosea einfügen, beschrieben werden und in vier Gattungen (*Pleurostomum*, *Tulamoeba*, *Pharyngomonas*, und *Euplaesiobystra*) einteilen lassen. Zusätzlich wurden ökologische Untersuchungen zur Salztoleranz durchgeführt. Die isolierten Gattungen konnten in Salinitäten von mehr als ~ 100 ‰ kultiviert werden, wie auch in anderen Studien beschrieben. Eine Vielzahl von heteroloboseen Taxa überleben extrem hohe Salzgehalte (z. B. *Pleurostomum*, *Sawyeria*, *Psalteriomonas*, *Monopylocystis* und *Lyromona*). Heterolobosea sind die dominanten Taxa in hypersalinen Umgebungen. Sie unterscheiden sich aber anhand ihrer Arten auf den verschiedenen Kontinenten, womit die Hypothese der weltweiten Verbreitung von Protisten allgemein in Frage zu stellen ist.

Das Resultat der morphologischen und phylogenetischen Untersuchungen

ist eine detaillierte Charakterisierung von taxonomisch wichtigen, sowie neuartigen Protisten. Die Funde von drei neuen Gregarinen-Arten und drei neuen Heterolobosean, sowie von sieben Percolomonaden-Arten zeigen, dass die Artenzahl

der vorkommenden Protisten möglicherweise unterschätzt wird. Trotz deren hohen Abundanz und Diversität beweist diese hohe Anzahl an Neubeschreibungen die lückenhafte (Arten-) Kenntnis über Protisten in extremen Habitaten. Diese Untersuchungen zeigen, dass selbst in morphologisch gut definierten Gruppen wie den Gregarinen und Heterolobosea eine vermutlich hohe Anzahl an zum Teil biogeographisch getrennter Arten verborgen ist.

Die extrem trockene Atacama-Wüste bietet ein einzigartiges Studiengebiet auf der Erde, wo die Bedingungen seit Millionen von Jahren konstant geblieben sind. Die geringe Anzahl der vorkommenden Arten bietet eine Chance, Evolutions-Prozesse in einem relativ einfachen System zu verstehen.

Abstract

Protists are single-celled eukaryotes that inhabit a wide variety of terrestrial and aquatic (marine and limnic) habitats worldwide. They perform the most diverse functions in ecosystems, e.g. as primary producers, parasites and predators. Although they represent the individual richest group of eukaryotes, there are a variety of unknown, unidentified protists. In recent studies, investigations have shown the significant ecological importance of unicellular eukaryotes in extreme environments, which play a crucial role as a distinct evolutionary lineage of eukaryotes. The strong selection pressure for specially adapted organisms has led to only a few evolutionary lineages that coexist under harsh conditions. These protist lineages can be found in habitats with extreme conditions worldwide, yet these species differ from each other. This fact suggests that protists are specialized to their habitat and thereby evolved in isolation. The isolation of biological communities is determined by landscape and climatic changes. Such isolated communities become new phenotypes and ultimately endemic species when geographical barriers limit or prevent gene flow between populations.

The present work focuses on the diversity of heterotrophic protists in extreme habitats using the example of the Atacama Desert. Protists adapted to this extreme habitat can reflect the long stable geological conditions in the Atacama Desert and provide information about evolutionary processes. The central issue is whether the species studied in this work provide evidence of a long-lasting separation of local and global populations, or whether a recent genetic separation can be identified. For the dispersal of species suitable

corridors must be present. The lack of links between the northern and southern areas of the Atacama Desert contribute to the complete isolation of such populations. It can therefore be assumed that the evolution rate in extreme areas such as the Atacama Desert is higher than the rate of distribution of the individual organisms. In particular, special attention was paid to the group of gregarines, Tulamoebidae, Pharyngomonada and Percolomonada, thus gaining new insights into the taxonomic and systematic relationships of the members of the order Apicomplexa and Heterolobosea. A successful method for the difficult gregarine sequencing could be developed. This made it possible to describe three new gregarine species. These species live in the intestine of the endemic darkling beetle species *Scotobius brevipes* and *Psectrascelis intricaticollis* of the Atacama Desert. Initial evidence that the rate of evolution of some protist groups is much higher than their rate of distribution can be seen in the relationship between the gregarins and their host. It could be shown that closely related gregarine species live in hosts that are also phylogenetically closely related. It is noteworthy that all gregarine sequences of darkling beetles from North and South America (all in the family of Stylocephalidae) form a clade that is different from those of the Eurasian and African continents (all in the family Gregarinidae). Furthermore, seven percolomonad isolates from globally distributed marine, freshwater and saltwater habitats were investigated by sequencing their ribosomal 18S DNA, as well as described morphologically. It could be shown that Percolatea are not exclusively marine species, but that representatives also live in hypersaline inland waters. Based on the molecular data, the existing sequence database of the Percolatea was extended by three quarters, which provides a possible basis for a comprehensive rearrangement of

Percolozoa. This analysis could contribute to an optimized phylogenetic resolution and an improved understanding of the evolution of Percolomonadidae. In addition, four new species that fit into the eukaryotic supergroup Excavata, class Heterolobosea, have been described and classified into four genera (*Pleurostomum*, *Tulamoeba*, *Pharyngomonas*, and *Euplaesiobystra*). In addition, ecological studies on salt tolerance were carried out. The isolated genera could be cultured in salinities of more than ~ 100 ‰, as described in other studies. A variety of heterolobosean taxa survive in extremely high levels of salinity (e.g., *Pleurostomum*, *Sawyeria*, *Psalteriomonas*, *Monopylocystis* and *Lyromona*). Heterolobosea are the dominant taxa in hypersaline environments. However, they differ in their species on the different continents, thus questioning the hypothesis of the worldwide distribution of protists in general.

The result of the morphological and phylogenetic investigations is a detailed characterization of taxonomically important as well as novel protists. The findings of three new gregarine species and three new heterolobosean species, as well as seven percolomonad species, indicate that the number of species of the existing protists may be underestimated. Despite their high abundance and diversity this high number of new descriptions proves the incomplete (species) knowledge of protists in extreme habitats. These studies show that even in morphologically well-defined groups such as the gregarines and Heterolobosea a presumably high number of partially biogeographically separated species is hidden. The extremely dry Atacama Desert offers a unique study area on Earth, where conditions have remained constant for millions of years. The small number of occurring species provides a chance to understand

evolutionary processes in a relatively simple system.

