

Atividade antifúngica de briófitas: um estudo cientométrico

Antifungal activity of bryophytes: a scientometric study

Actividad antifúngica de briófitas: un estudio cientométrico

Recebido: 17/02/2022 | Revisado: 26/02/2022 | Aceito: 05/03/2022 | Publicado: 12/03/2022

Thyago Gonçalves Miranda

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6195-6941>
Universidade Federal do Pará, Brasil
E-mail: thyagomiran@hotmail.com

Raynon Joel Monteiro Alves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8091-4464>
Universidade Federal do Pará, Brasil
E-mail: raynon_alves@yahoo.com.br

Davison Márcio Silva de Assis

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6693-5883>
Universidade Federal do Pará, Brasil
E-mail: davison-assis@hotmail.com

Adriane Trindade Sarah

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6417-4710>
Universidade Federal do Pará, Brasil
E-mail: atrindade427@gmail.com

Alcindo da Silva Martins Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1519-6929>
Universidade Federal do Pará, Brasil
E-mail: alcindomartins@gmail.com

Ana Cláudia Caldeira Tavares-Martins

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4972-036X>
Universidade Federal do Pará, Brasil
E-mail: tavaresmartins7@gmail.com

Resumo

O artigo apresenta resultados de uma revisão sobre estudos da atividade biológica com briófitas em trabalhos realizados entre os anos de 2000 e 2019. Para a coleta de dados, utilizou-se as bases: *Science Direct*, *Scopus* e *Google Acadêmico*, os descritores foram: “*bryophytes antifungal extracts*” e “*antifungal activities of bryophyte extracts*”. Como critérios de inclusão: artigos com bioensaios e *open access*. Como critérios de exclusão: artigos de revisão, perfil químico, livros, notas científicas, breve relato e trabalhos em eventos. O status de conservação das espécies foi feita mediante busca no site da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN). Foram selecionadas 53 publicações, oriundas de diversos continentes, destacando-se o continente asiático, especialmente a Índia com um total de 21 publicações. No que tange os anos de publicação, destaca-se o ano de 2011 com 9 publicações. A *Marchantia polymorpha* L. foi a espécie com mais estudos (sete). Oito espécies utilizadas nos estudos estão sob algum grau de ameaça, destaque para a *Bryum cellulare* Hook enquadrada como Em Perigo (EN). Pesquisas sobre atividade biológica de briófitas no que se refere a suas atividades antifúngicas já estão em desenvolvimento, contudo todos eles de fora do Brasil e com pouco destaque para a América.

Palavras-chave: Fitoquímica; Metabolitos secundários; Atividade biológica.

Abstract

The article presents results of a review on studies of biological activity with bryophytes in works carried out between the years 2000 and 2019. For data collection, the bases were used: *Science Direct*, *Scopus* and *Google Scholar*, the descriptors were: “*bryophytes antifungal extracts*” and “*antifungal activities of bryophyte extracts*”. As inclusion criteria: articles with bioassays and open access. Exclusion criteria: review articles, chemical profile, books, scientific notes, brief report and work on events. The conservation status of the species was made by searching the website of the International Union for the Conservation of Nature (IUCN). 53 publications were selected, coming from different continents, especially the Asian continent, especially India with a total of 21 publications. Regarding the years of publication, 2011 stands out with 9 publications. *Marchantia polymorpha* L. was the species with the most studies (seven). Eight species used in the studies are under some degree of threat, especially the *Bryum cellulare* Hook, classified as In Danger (EN). Research on the biological activity of bryophytes with regard to their antifungal activities is already underway, however all of them from outside Brazil and with little emphasis on America.

Keywords: Phytochemistry; Secondary metabolites; Biological activity.

Resumen

El artículo presenta resultados de una revisión sobre estudios de actividad biológica con briófitas en trabajos realizados entre los años 2000 y 2019. Para la recolección de datos se utilizaron las bases: Science Direct, Scopus y Google Scholar, los descriptores fueron: “*bryophytes antifungal extracts*” y “*antifungal activities of bryophyte extracts*”. Como criterios de inclusión: artículos con bioensayos y *open access*. Como criterios de exclusión: artículos de revisión, perfil químico, libros, notas científicas, informe breve y trabajos en eventos. El estado de conservación de la especie se realizó consultando la página web de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Se seleccionaron 53 publicaciones, de diferentes continentes, destacando el continente asiático, en especial India con un total de 21 publicaciones. En cuanto a los años de publicación, se destaca el año 2011 con 9 publicaciones. *Marchantia polymorpha* L. fue la especie con más estudios (siete). Ocho especies utilizadas en los estudios se encuentran bajo algún grado de amenaza, destacándose el *Bryum cellule* Hook clasificado como En Peligro (EN). Las investigaciones sobre la actividad biológica de las briófitas con respecto a sus actividades antifúngicas ya están en desarrollo, sin embargo todas ellas son de fuera de Brasil y con poco énfasis en América.

Palabras clave: Fitoquímica; Metabolitos secundarios; Actividad biológica.

1. Introdução

As briófitas s.l. são consideradas as plantas mais antigas habitando a Terra por cerca de 472 milhões de anos, período no qual tenderam a investir intensamente em metabólitos secundários como modo de defesa, em virtude de sua suscetibilidade (Asakawa & Ludwiczuk, 2018; Cornelissen et al., 2007).

Diferentemente dos vegetais vasculares que receberam muita atenção da ciência, as briófitas ficaram por muito tempo negligenciadas, devido ao pequeno porte, as dificuldades de coletar grandes quantidades, a identificação depender de especialistas e serem consideradas nutricionalmente sem valor para os humanos (Asakawa, 2001). Contudo, outros fatores fizeram com que a atenção dos cientistas se voltasse para os estudos com briófitas, como a capacidade de adaptação a diversos ambientes, possibilidades de uso como bioindicadoras e, principalmente, pela relativa capacidade de serem imunes a ataques de parasitas e herbivoria (Oishi & Hiura, 2017).

As briófitas não possuem estruturas anatômicas que podem servir de proteção contra patógenos e predadores, então a capacidade de produção de arranjos moleculares para defesa torna-se salutar, com isso pesquisas na busca de elucidações sobre essa produção de metabólitos secundários são importantes (Peters et al., 2019).

Os metabólitos secundários assumem, também, importância taxonômica nas briófitas sendo úteis para o agrupamento de famílias, haja vista que muitas substâncias presentes nas briófitas podem ser marcadores quimiotaxômicos (Gradstein et al., 1988).

Apesar da importância dos metabólitos secundários, estudos envolvendo a química de briófitas, enfatizando sua utilidade, são raros no Brasil. Apenas duas publicações são registradas, ambas sobre a possibilidade das briófitas albergar substâncias químicas com poder antibiótico (Pinheiro et al., 1989) e (Vidal et al., 2012) este último estudo utilizou *Octoblepharum albidum* Hedw. como modelo de briófitas com possível atividade antibiótica.

Diante desse contexto, identificar as principais características, evolução e tendências potenciais das briófitas, em vista de estudos futuros dentro da química desse grupo no que tange sua atividade antifúngica é essencial para nortear várias descobertas.

O objetivo desse trabalho é averiguar a produção científica sobre atividade antifúngica de briófitas no mundo todo entre 2000 e 2019. Para isso as seguintes questões foram levantadas: quais os principais países no que tange publicações de artigos sobre a atividade antifúngica de briófitas? Quais o número de produções nos diferentes anos sobre essa temática? Quais as espécies e famílias mais utilizadas nos trabalhos? Na perspectiva do uso biotecnológico, alguma das espécies estudadas está em perigo ou ameaçada?

2. Metodologia

2.1 Caracterização do estudo

O presente artigo é caracterizado como uma análise cientométrica que Silva et al. (2011) definem como o estudo dos aspectos quantitativos da produção, disseminação e uso das informações, ou seja, é a medição da comunicação científica.

Para isso, fez-se abordagens qualitativas, através das leituras dos artigos recuperados, e quantitativas das publicações, analisando por meio de vários critérios, estudos da atividade biológica com ação antifúngica de briófitas em trabalhos realizados no mundo todo dentro de um período de 2000-2019 (Pereira et al., 2018).

2.2 Coleta de dados

O levantamento foi realizado nas seguintes bases de dados *Science Direct*, *Scopus* Google Acadêmico, os descritores usados para a coleta de dados foram: “*bryophytes antifungal extracts*” e “*antifungal activities of bryophyte extracts*”.

Como critérios de inclusão foram selecionados artigos entre os anos de 2000 à 2019, apenas publicações que obtiveram resultados de bioensaios com patógenos e trabalhos *open access*. Como critérios de exclusão desconsiderou-se artigos de revisão, artigos que continham apenas resultados de perfil químico, livros, notas científicas, comunicações científicas, breve relato e artigos em eventos.

Todos os nomes científicos das espécies relatadas nos estudos foram confirmados, atualizados e padronizados usando os sites do (Tropicos - Home, [s.d.]) e (Home — The Plant List, [s.d.]).

2.3 Análise dos dados

Os artigos selecionados foram obtidos na íntegra e foi verificado as seguintes categorias: autores, país de origem dos autores, espécies de briófitas utilizadas para os ensaios, famílias botânicas e patógenos.

Com auxílio das informações do *Google Acadêmico* (GA), verificou-se os dados de número de citação dos artigos afim de analisar a relevância do artigo, pois para (Bar-Ilan, 2010) o GA apresenta-se como o melhor buscador no que diz respeito a número total de citações, como em livros.

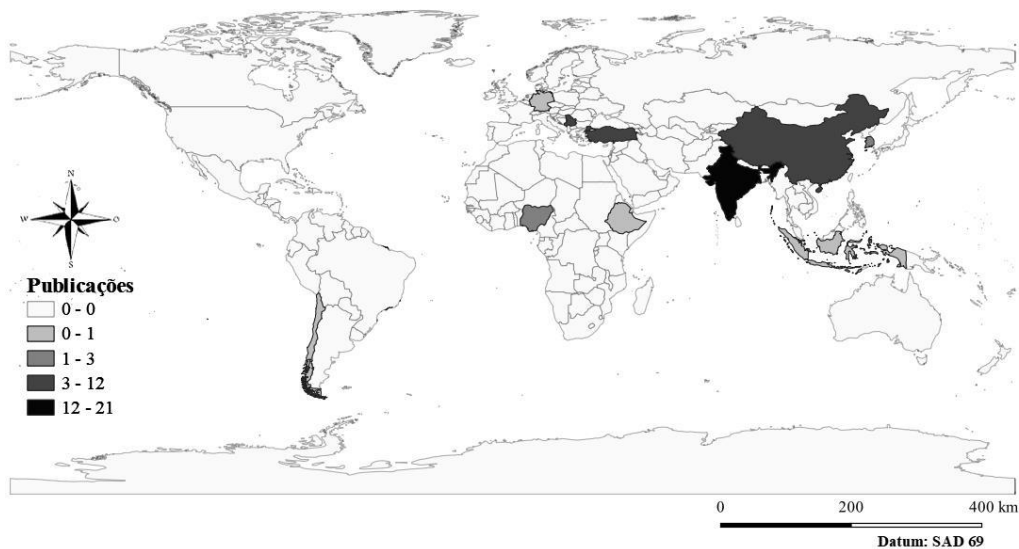
As espécies utilizadas nos estudos podem quadrar-se em algum critério de conservação e para analisar essa possível ameaça o status de conservação das espécies realizou-se uma busca no site da (INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE - IUCN, [s.d.])

3. Resultados e Discussão

3.1 Continentes e países das publicações sobre atividades antifúngicas das briófitas

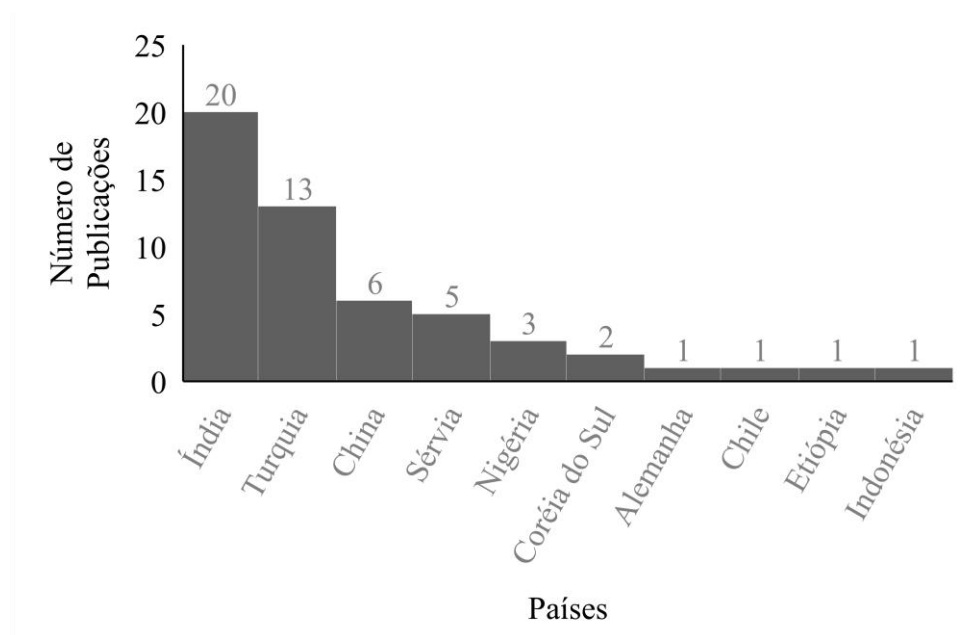
Um total de 53 trabalhos foram incluídos no estudo, entre os países com mais publicações (Figura 1 e 2) estão: Índia (n= 22) na Ásia, Turquia (n= 13) na Europa e China (n= 6) também na Ásia.

Figura 1: Mapa de produção científica de artigos sobre atividade antifúngica de briófitas pelo mundo.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 2: Países com publicações sobre atividade antifúngica de briófitas entre os anos de 2000-2019.



Fonte: Dados da pesquisa.

Um estudo realizado pela *National Science Board (NSB)* (2020), apontou que a Índia foi o terceiro país com mais publicações científicas gerais entre os anos de 2000 a 2018, sendo também o país que mais cresceu em número de artigos nesse intervalo de tempo, saindo da 12ª posição para a 3ª. O número de publicações sobre a atividade antifúngica de briófitas parece ser um reflexo deste relevante incremento nas produções indianas.

Sathish et al. (2013), afirmam que as briófitas formam um dos grupos botânicos mais ricos da Índia, bem como estão em destaque por estudos com monitoramento ambiental.

A geografia também pode ter relação com o alto número de publicações na Índia, visto que é um país tropical e segundo (Frahm, 1990), as briófitas são importantes componentes de florestas desta faixa geográfica do globo, com acentuada representatividade na biomassa e diversidade.

Os resultados também apontam para a importância da Ásia em fomentar o conhecimento sobre a atividade antifúngica de briófitas, dando destaque, além da Índia, para a China, que segundo (National Science Board, 2020), a China, em 18 anos saiu de 6º para 1º lugar, ultrapassando o EUA neste tipo de abordagem.

Nos trabalhos produzidos na Índia, (Alam, 2012) voltado para fungos patogênicos nas plantas, demonstrou que fungos considerados como resistentes e que causam doenças e prejuízos econômicos em culturas como batata e tomate (*Trichoderma viridae* e *Phytophthora infestans*) aos tratamentos convencionais, foram sensíveis aos extratos de *Plagiochasma rupestre* (Frost.) Steph.

(Sharma et al., 2015) com as espécies, *Pellia endiviifolia* (Dicks.) Dumort. e *Plagiochasma appendiculatum* Lehm. & Lindenb., realizaram um estudo de potencial antifúngico, obtiveram resultados chegando a 100% de inibição micelial.

No que tange a produção da China, no trabalho de (Qu et al., 2007), a espécie *Asterella angusta* (Steph.) Pandé, K.P. Srivast. & Sultan Khan obteve melhor taxa de inibição micelial em comparação ao Fluconazol.

Wu et al. (2010), comprovaram a atividade antifúngica da *Marchantia polymorpha* L., atribuindo à substância *Plagiochin E* a responsabilidade da apoptose de células do fungo *Candida albicans* (C.P. Robin) Berkhout.

O segundo continente com mais trabalhos foi o Europeu, destacando-se a Turquia com 13 publicações. Entre os mais relevantes estudos ressalta-se o de (Oztopcu-Vatan et al., 2011) cujo teste de inibição de fungos utilizando *Homalothecium sericeum* (Hedw.) Schimp., não chegaram a ser satisfatórios, diferente dos resultados obtidos para outros organismos como bactérias. Anos mais tarde, porém (Oztopcu-Vatan et al., 2017) que reportam uma inibição no crescimento do fungo utilizando extratos de *Aulacomnium androgynum* (Hedw.) Schwagr.

Na Sérvia registrou-se um total de cinco publicações, como as de (Veljić et al., 2010; Veljić et al., 2008), que quando os extratos de briófitas não obtiveram resultado superior ao fungicida comercial (Bifonazol), ao menos foram semelhantes ao produto comercializado, depreendendo-se a aplicação prática comercial dos compostos presentes na espécie.

A África foi o terceiro continente que mais contribuiu com estudos, sendo a Nigéria um país com um total de três produções. (Ariyo et al., 2011) contribuíram elucidando a eficácia do extrato da *Riccia nigerica* Jones contra fungos que causam doenças em humanos, mas ressaltam que precisam ser realizados mais levantamentos etnobotânicos sobre plantas medicinais, principalmente sobre as briófitas, pois assim pode-se aumentar a exploração científica sobre esse grupo vegetal.

No continente Americano registrou-se apenas o trabalho de (Labbé et al., 2005), realizado com a espécie chilena *Balantiopsis cancellata* (Nees) Steph. Os referidos autores obtiveram resultados promissores para atividade antifúngica, atribuindo atividade ao composto trans- β -metiltioacrilato.

3.2 Publicações e evolução dos estudos ao longo dos anos

Figura 3: Número de publicações sobre atividade antifúngica de briófitas entre os anos de 2000-2019.



Fonte: Dados da pesquisa.

Quanto ao ano de publicação (Figura 3), 2011 foi o ano mais representativo ($n=9$), seguido de 2015 ($n=7$) e 2005 ($n=5$). De acordo com a Figura 3, observou-se que no período compreendido entre 2006 à 2011, com exceção do ano 2009, houve um significativo crescimento no número de publicações sobre atividades antifúngicas de Briófitas. É perceptível, de outra forma, uma queda no número de publicações com esta abordagem a partir de 2011, chegando ao número mínimo de um artigo no ano de 2014. Deste ano em diante registrou-se um incremento de sete publicações em 2015, seguido de queda com estabilidade até o ano de 2019.

Velmurugan e Radhakrishnan (2017), também em um estudo cientométrico sobre fitoquímica na Índia, destacam que o ano com maior número de publicações foi 2011, coincidindo com o ano de maior número de publicações deste trabalho. Esse dado pode explicar o fato desse ano, 2011, ter o auge nos números.

Mesmo que o intervalo de inclusão tenha iniciado no ano de 2000, o primeiro artigo publicado, segundo os critérios de inclusão e exclusão deste trabalho, foi no ano de 2003 com (Tadesse et al., 2003), publicação com o maior número de espécies de briófitas utilizadas, um total de 17 diferentes espécies. Ressalta-se que nesse trabalho as espécies *Bazzania trilobata* (L.) Gray, *Diplophyllum albicans* (L.) Dumort., *Sphagnum quinquefarium* (Lindb.) Warnst., *Dicranodontium denudatum* (Brid.) E. Britton e *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp., obtiveram 50% de inibição no desenvolvimento do fungo, sendo um resultado muito promissor.

As evoluções dos estudos começam com o trabalho de (Scher et al., 2004), onde além de descrever alguma ação inibitória sob fungos, também detalha compostos tanto em estrutura quanto em fórmula molecular ligados a ação antifúngica.

Ilhan et al. (2006) passa não apenas a verificar atividade antifúngica, mas a comparar com os tratamentos convencionais, visando provar a eficiência dos extratos de briófitas em detrimento aos fármacos.

Trabalhos como os de (Xie; Lou, 2008) e (Alam, 2012), verificaram a eficiência das briófitas frente a fungos que adquiriram resistência a fármacos, como o fluconazol, para assim evidenciar as briófitas como fontes de novas substâncias terapêuticas.

Outro avanço nas pesquisas com atividade antifúngica foi realizado por Murugan e Krishnan (2013), o qual demonstrou o modo de ação do extrato *Marchantia linearis* Lehm & Lindenb., relatando a desintegração morfofuncional e redução da capacidade de germinação dos fungos como provável mecanismo de ação da atividade antifúngica.

Ainda sobre a possível ação dos extratos de briófitas sobre as estruturas fúngicas, Deora e Suhalka, (2016), descreveram o modo de ação das substâncias presentes nestas plantas sobre a malformação das hifas. Ressalta-se que o extrato mais eficiente para os resultados positivos foi o metalônico.

Li et al. (2017) avançou mais, pois explicou a nível de genes, como os compostos presentes na *Tritomaria quinqueidentata* (Huds.) H. Buch, atuam para alterar o metabolismo da *Candida albicans* (c.p. robin) berkhout., e assim sendo eficiente como antifúngico.

3.3 Produções mais citadas e autores com maior contribuição científica na área

Os 10 artigos mais citados podem ser vistos na Tabela 1, merecem destaques os artigos de (Singh; Rawat; Govindarajan, 2007) na Índia, (Wu et al., 2010) na China e (Scher et al., 2004) na Alemanha, todos com mais de 100 citações, de acordo com a contagem do *Google* acadêmico.

Uma razão para poder explicar o alto número de citações desses periódicos é o fator de impacto das revistas, que para Almeida e Gracio (2019) é um importante índice para medir a relevância, impacto e visibilidade de um periódico e, conseqüentemente das publicações.

O *Journal of Ethnopharmacology* com Fator de Impacto (FI) igual a 3.690, *Biochimica et Biophysica Acta* com FI igual a 3.422 e a *Phytochemistry* com 2.547, foram os periódicos que publicaram os três trabalhos com maior número de citações, respectivamente.

Tabela 1: Os 10 artigos mais citados e os periódicos de publicação.

Países	Autores	Periódicos	Número de citações
Índia	(SINGH; RAWAT; GOVINDARAJAN, 2007)	<i>Journal of Ethnopharmacology</i>	201
China	WU et al., 2010	<i>Biochimica et Biophysica Acta</i>	107
Alemanha	SCHER et al., 2004	<i>Phytochemistry</i>	106
China	QU et al., 2007	<i>Phytochemistry</i>	94
Turquia	ILHAN et al., 2006	<i>Turkish Journal of Biology</i>	76
Índia	SUBHISHA; SUBRAMONIAM, 2005	<i>Indian Journal of Pharmacology</i>	70
Índia	BODADE et al. 2008	<i>Journal of Medicinal Plants</i>	61
Índia	SINGH; RAWAT; GOVINDARAJAN, 2007	<i>Fitoterapia</i>	60
Sérvia	VELJIĆ et al., 2008	<i>Pharmaceutical Biology</i>	41
China	WANG; YU; LOU, 2005	<i>Chemistry & Biodiversity</i>	37

Fonte: Dados da pesquisa.

No quesito número de publicações, seja como autor ou coautor (Tabela 2), três pesquisadores se destacam com seis publicações, Filik-Iscen, C., Ilhan, S. e Savaroglu, F. todos de universidades da Turquia.

A Índia se apresenta com o maior número de publicações, contudo a Turquia detém os autores com mais publicações, sendo que esses autores apresentaram muitas publicações entre si.

Esse dado ressalta a importância do fator de colaboração entre pesquisadores alavancando o conhecimento na área e o número de publicações de todos os pesquisadores, além de alargar a relevância do artigo publicado.

Outros fatores que devem motivar os pesquisadores a buscarem cooperação são: reduzir a possibilidade de erro, ampliar a capacidade de captação de recursos financeiros, equipamentos e aumentar o nível de expertise relacionado ao conteúdo do trabalho (Grácio, 2018).

Tabela 2 – Autores com mais publicações durante 2000-2019 sobre atividade antifúngica de briófitas.

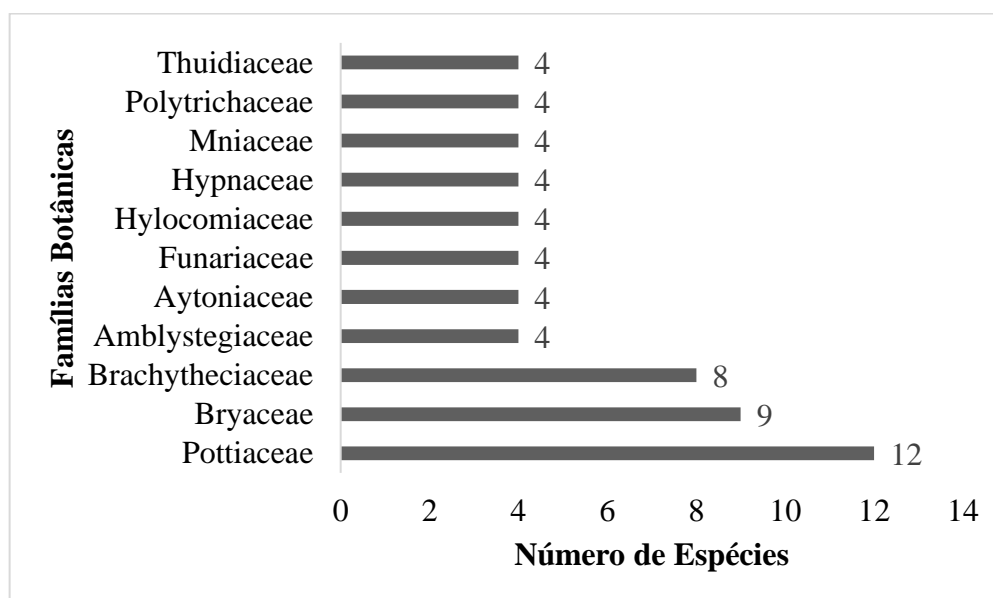
AUTOR	NÚMERO DE PUBLICAÇÕES	INSTITUIÇÃO	PAÍSES
Filik-Isçen, C.	6	Eskiflehir Osmangazi University	Turquia
Ilhan, S.	6	Eskiflehir Osmangazi University	Turquia
Savaroglu, F.	6	Eskiflehir Osmangazi University	Turquia
Alam, A.	5	Banasthali University	Índia
Lou, H.	5	Shandong University	China
Kabadere, S.	4	Eskisehir Osmangazi University	Turquia
Oztopcu-Vatan, P.	4	Eskisehir Osmangazi University	Turquia
Sokovic, M.	4	Institute for Biological Research “Sinisa Stankovic” Belgrade	Sérvia
Veljic, M.	4	University of Belgrade	Sérvia
Marin, P. D.	3	University of Belgrade	Sérvia

Fonte: Dados da pesquisa.

3.4 Famílias botânicas

Um total de 51 famílias botânicas foram mencionadas nos artigos com ação antifúngica, onde Pottiaceae, Bryaceae e Brachytheciaceae (Figura 4) tiveram maior destaque com 12, 9 e 7 registros, respectivamente.

Figura 4: famílias botânicas mais numerosas nas publicações sobre atividade antifúngica de briófitas entre 2000-2019.



Fonte: Dados da pesquisa.

O fato de Pottiaceae ser a família botânica mais estudada pode estar diretamente ligado com a numerosa representatividade dessa família entre as briófitas, com cerca de 1450 espécies catalogadas (Zander et al., 2007).

A família Bryaceae também foi representativa, sendo o gênero *Bryum* Hedw. o mais recorrente nos estudos analisados (n=4). A Bryaceae é considerada uma das maiores famílias do grupo das briófitas, bem como é uma família cosmopolita, ou seja, apresenta ampla distribuição, e *Bryum* Hedw é o gênero mais expressivo dentro da família (Pedersen et al., 2007).

3.5 Espécies com potencial antifúngico relacionadas pela ciência

A espécie com maior número de citações, em um universo de 114 espécies diferentes de briófitas foram estudadas durante os anos de 2000 a 2019, foi a *Marchantia polymorpha* L. relatada em sete estudos.

M. polymorpha, tem distribuição ampla e é bastante conhecida na literatura, principalmente em aspectos morfológicos, taxonômicos e fisiológicos (Shimamura, 2016). Outro fator que pode contribuir para o número de trabalhos realizados com esta espécie é a presença de organelas denominadas de oleocorpos, essas são relatadas pela literatura como sendo capazes de armazenar metabolitos secundários (He et al., 2013).

As ações de *M. polymorpha*, apresentaram-se com versatilidade, sendo citadas como controle para patógenos humanos (Mishra & Verma, 2011), demonstrando dominância em relação a outras espécies na atividade antifúngica. Sabovljevic et al. (2011), revelaram bons resultados para esta espécie quando testada no controle de fitopatógenos. (Gahtori & Chaturvedi, 2011), reportaram que *M. polymorpha* ainda possui um amplo espectro de substâncias com propriedades antifúngicas, sendo assim um promissor fator para o desenvolvimento de biopesticidas.

Nos trabalhos analisados os pesquisadores utilizaram mais espécies do Filo Bryophyta (n=82) em comparação com o Filo Marchantiophyta (n=32). Quanto aos estudos de perfil químico as hepáticas são mais estudadas, haja vista a capacidade desse grupo em armazenarem metabolitos secundários nos oleocorpos (Asakawa, 2007).

3.6 Status de conservação

Das 114 espécies mencionadas nos artigos, oito estão sob algum grau de conservação ameaçada, duas Quase Ameaçadas (NT), quatro Vulneráveis (VU), uma Criticamente em perigo (CR) e uma Em Perigo (EM).

A espécie que levanta maior preocupação é a *Bryum cellulare* Hook. enquadrada como Em Perigo (EN), (BODADE et al., 2008) em seu trabalho com essa espécie, demonstrou que o extrato etanólico obteve até 16 mm de inibição sob *Aspergillus niger*,

Para Baillie et al. (2004), uma espécie EN já perdeu cerca de 70% de seu tamanho populacional em um período de 10 anos, além de possuir uma estimativa de extinção em 20 anos.

Isso desperta atenção para futuros investimentos e estudos sobre a química e ensaios sobre os potenciais como controle biológicos dessa espécie, bem como métodos de cultivo e conservação para evitar que essa ameaça se concretize.

Sabovljević et al. (2014) ressaltam que nas últimas décadas o interesse pelas briófitas aumentou também por causa dos estudos químicos, e por isso deve-se salientar a importância da conservação desse grupo vegetal das briófitas.

Vale destacar que nenhuma das publicações recuperadas para esse estudo, atentou-se para o estado de conservação das espécies utilizadas nos ensaios, isso pode ser pela preocupação estar apenas voltada para suas atividades e não, também, para sua perpetuação. Söderström (2006), destaca que pesquisas de conservação são frequentemente voltados para outros grupos vegetais, mas as ameaças ambientais também afetam as briófitas e que por isso deve-se estar mais atento em seus estudos.

A maioria dos compostos de muitas espécies de briófitas ainda são desconhecidos por isso, muito ainda deve ser feito tanto para se descobrir quanto para se comprovar a eficiência desses metabolitos secundários (Ludwiczuk & Asakawa, 2019). Em vista da insipiência deste conhecimento é que a conservação de briófitas é essencial. A perda de espécies representa também

a impossibilidade de identificar potenciais biopesticidas, produtos de interesse biotecnológico que são um dos interesses atuais da indústria agrícola.

3.7 O desenvolvimento da Biotecnologia

Com o potencial químico das briófitas já sendo demonstrado nas últimas décadas e mesmo com a gama de aplicações ainda existentes na agricultura e farmacologia, autores como (Beike et al., 2010), sugerem um nome para esse novo ramo da biotecnologia vegetal, a briotecnologia, um setor de rápido desenvolvimento e em franca expansão, devido o potencial de aplicações das briófitas para melhoria da agricultura e até para a saúde humana.

A procura pela substituição de pesticidas danosos ao meio ambiente também pode ser foco das pesquisas com briófitas. Nesse sentido, estudos voltados para a aplicação das briófitas na agricultura são importantes. Enfoques para atividades antifúngicas, antimicrobianas e de herbivoria são necessários, devido a demanda por métodos mais sustentáveis para o controle alternativo na agricultura.

Outro fator que vai fazer com que a briotecnologia seja cada vez mais importante está relacionado com o fato de que coletar quantidades suficientes de material botânico para extração e isolamento de compostos ainda é a principal dificuldade da fitoquímica de briófitas (Dey & De, 2012), a produção *in vitro* de briófitas visando eliminar a dependência de coletas é, portanto, uma das principais vertentes para estudos biotecnológicos com briófitas. (Sabovljević et al., 2011) realizaram um estudo comparando o potencial antifúngico de espécies cultivadas axenicamente *in vitro* tiveram melhores resultados que seus equivalentes naturais. Os autores ainda reiteram que estudos *in vitro* além de economizar espaço, também geram espécies livres de micróbios, esses estudos também abrem precedentes para uma maior aplicação dos estudos de cultura de tecido sobre esse grupo vegetal.

Outra área de interesse com briófitas é a transgenia, a capacidade de manusear genomas com a engenharia genética torna a manipulação de características desejáveis para humanos uma chave para uma gama de pesquisas, (Reski & Frank, 2005) utilizaram a espécie de musgo *Physcomitrella patens* (Hedw.) Bruch & Schimp. para produção de proteínas humanas com capacidade terapêutica.

A resistência a seca e capacidade de reidratação das briófitas também chama a atenção. (Scott; Oliver, 1994) realizaram um estudo com a *Tortula ruralis* (Hedw.) G. Gaertn., B. Mey. & Scherb. e identificaram o componente genético que qualifica a característica contra dessecação e assim podem conferir essa qualidade para outras espécies vegetais.

4. Conclusão

O baixo número de publicações no continente americano, apenas uma, faz este continente ter quantidade de publicações menor que um país da Ásia como a Índia (20) e da Europa como a Turquia (13). Esse fato ressalta a ausência de artigos brasileiros sobre esse tema, bem como é algo que demonstra um campo amplo de estudos a ser explorado, investido e publicado, principalmente em função da grande diversidade de espécies registradas com ampla distribuição para esse país.

Dentre as oito espécies que apresentaram potencial para uso com algum grau de ameaça segundo a IUCN *Bryum cellulare* Hook já se encontra ameaçada de extinção, o que desperta mais atenção para a necessidade de estudos ecofisiológicos para sua propagação.

Os estudos sobre a constituição química e atividades biológicas de briófitas já estão em desenvolvimento nas últimas décadas, mas poucos estudos referentes a sua escalabilidade, no que se refere a produção de matéria prima para extração, purificação e síntese de compostos com atividade biológicas de interesse na farmacologia e agricultura.

Diante do exposto nesse trabalho, existe um vazio de publicações sobre a química de briófitas bem como suas atividades biológicas, tem-se resultados muito promissores sobre esse tema no mundo. Contudo o Brasil ainda carece de estudos e

publicações sobre as atividades dos extratos de briófitas que ocorrem aqui, e que podem gerar produtos importantes para os campos da agricultura e farmácia.

Estudos que evidenciem mais as atividades biológicas dos metabólitos secundários de briófitas para outras ações contra insetos, pragas e outros organismos ainda se faz necessário para que evidências mais concretas possam ser divulgadas e que a utilização desse grupo de plantas possa ser amplamente visto como contraponto ao agrotóxicos convencionais.

Referências

- Alam, A. (2012). Antifungal activity of *Plagiochasma rupestre* (Forst.) Steph. extracts. *Researcher*, 4(3), 62–64.
- Almeida, C. C., & Gracio, M. C. C. (2019). Produção científica brasileira sobre o indicador “Fator de Impacto”: um estudo nas bases SciELO, Scopus e Web of Science. *Encontros Bibli: Revista Eletrônica de Biblioteconomia e Ciência Da Informação*, 24(54), 62–77. <https://doi.org/10.5007/1518-2924.2019v24n54p62>
- Ariyo, O. A., Shonubi, O. O., Oyesiku, O. O., & Akande, A. O. (2011). Antimicrobial Activity of the Indigenous Liverwort, *Riccia nigerica* Jones, from Southwestern Nigeria. *Evanstia*, 28(2), 43–48. <https://doi.org/10.1639/079.028.0202>
- Asakawa, Y. (2001). Recent advances in phytochemistry of bryophytes-acetogenins, terpenoids and bis(bibenzylyls) from selected Japanese, Taiwanese, New Zealand, Argentinean and European liverworts. *Phytochemistry*, 56(3), 297–312. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)00454-4](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)00454-4)
- Asakawa, Y. (2007). Biologically active compounds from bryophytes. *Pure and Applied Chemistry*, 79(4), 557–580. <https://doi.org/10.1351/pac200779040557>
- Asakawa, Y., & Ludwiczuk, A. (2018). Chemical Constituents of Bryophytes: Structures and Biological Activity. *Journal of Natural Products*, 81(3), 641–660. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.6b01046>
- Baillie, J. E. M., Hilton-taylor, C., & Stuart, S. N. (2004). *IUCN Red List of Threatened Species™ A Global Species Assessment*.
- Bar-Ilan, J. (2010). Citations to the “Introduction to informetrics” indexed by WOS, Scopus and Google Scholar. *Scientometrics*, 82, 495–506. <https://doi.org/10.1007/s11192-010-0185-9>
- Beike, A. K., Decker, E. L., Frank, W., Lang, D., Vervliet-, M., Zimmer, A. D., & Reski, R. (2010). Applied Bryology - Bryotechnology. *Tropical Bryology*, 31(1), 22–32.
- Bodade, R. G., Borkar, P. S., Arfeen, S., & Khobragade, C. N. (2008). In vitro screening of bryophytes for antimicrobial activity. *Journal of Medicinal Plants*, 7(SUPPL. 4), 23–28.
- Cornelissen, J. H. C., Lang, S. I., Soudzilovskaia, N. A., & During, H. J. (2007). Comparative cryptogam ecology: A review of bryophyte and lichen traits that drive biogeochemistry. *Annals of Botany*, 99(5), 987–1001. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm030>
- Deora, G. S., & Suhalka, D. (2016). Phytochemical Composition and Fungicidal Potential of Moss *Philonotis Revoluta* against Spore Germination Process of Fungus *Helminthosporium Turcicum*. *Journal of Pharmacy and Biological Science*, 11(6), 38–43. <https://doi.org/10.9790/3008-1106033843>
- Dey, A., & De, J. N. (2012). Antioxidative Potential of Bryophytes: Stress Tolerance and Commercial Perspectives: A Review. *Pharmacologia*, 3(6), 151–159.
- Frahm, J. (1990). Bryophyte phytomass in tropical ecosystems. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 104(1–3), 23–33.
- Gahtori, D., & Chaturvedi, P. (2011). Antifungal and antibacterial potential of methanol and chloroform extracts of *Marchantia polymorpha* L. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 44(8), 726–731. <https://doi.org/10.1080/03235408.2010.516083>
- Grácio, M. C. C. (2018). Colaboração científica: indicadores relacionais de coautoria. *Brazilian Journal of Information Science: Research Trends*, 12(2), 24–32.
- Gradstein, S. R., Asakawa, Y., Mues, R., & Klein, R. (1988). On the Taxonomic Significance of Secondary Metabolites in Angiosperms. *Flowering Plants*, 64, 159–168. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-7076-2_12
- He, X., Sun, Y., & Zhu, R. L. (2013). The Oil Bodies of Liverworts: Unique and Important Organelles in Land Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 32(5), 293–302. <https://doi.org/10.1080/07352689.2013.765765>
- Home — *The Plant List*. (n.d.). Retrieved November 25, 2020, from <http://www.theplantlist.org/>
- Ilhan, S., Savaroğlu, F., Çolak, F., Işçen, C. F., & Erdemgil, F. Z. (2006). Antimicrobial activity of *Palustriella commutata* (Hedw.) ochyra extracts (Bryophyta). *Turkish Journal of Biology*, 30(3), 149–152.
- International Union for Conservation of Nature - IUCN. (n.d.). Retrieved November 25, 2020, from <https://www.iucn.org/>
- Labbé, C., Faini, F., Villagrán, C., Coll, J., & Rycroft, D. S. (2005). Antifungal and insect antifeedant 2-phenylethanol esters from the liverwort *Balantiopsis cancellata* from Chile. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(2), 247–249. <https://doi.org/10.1021/jf048935c>
- Li, S., Shi, H., Chang, W., Li, Y., Zhang, M., Qiao, Y., & Lou, H. (2017). Eudesmane sesquiterpenes from Chinese liverwort are substrates of Cdrs and display antifungal activity by targeting Erg6 and Erg11 of *Candida albicans*. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 25(20), 5764–5771. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2017.09.001>

- Ludwiczuk, A., & Asakawa, Y. (2019). Bryophytes as a source of bioactive volatile terpenoids – A review. *Food and Chemical Toxicology*, 132(June), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110649>
- Mishra, R., & Verma, D. L. (2011). Antifungal activity of some rare Himalayan bryophytes. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 4(3), 474–475.
- Murugan, K., & Krishnan, R. (2013). Phytochemical Analysis, in Vitro Antifungal Activity and Mode of Action of Ethanolic Extract of Marchantia Linearis Lehm & Lindenb. a Bryophyte. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2(5), 3650–3666.
- National Science Board. (2020). Publications Output: U.S. Trends and International Comparisons. *Science and Engineering Indicators*.
- Oishi, Y., & Hiura, T. (2017). Bryophytes as bioindicators of the atmospheric environment in urban-forest landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 167(July), 348–355. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.07.010>
- Oztopcu-Vatan, P., Savaroglu, F., Filik-Isçen, C., Kabadere, S., İlhan, S., & Uyar, R. (2011). Antimicrobial and antiproliferative activities of homalothecium sericeum (hedw.) schimp. extracts. *Fresenius Environmental Bulletin*, 20(2 A), 461–466.
- Oztopcu-Vatan, P., Savaroglu, F., Filik-Isçen, C., Kabadere, S., Ozturk, N., & İlhan, S. (2017). Screening of antimicrobial, cytotoxic effects and phenolic compounds of the moss Aulacomnium androgynum (Hedw.) schwagr (Bryophyta). *Journal of Animal and Plant Sciences*, 27(6), 1909–1917.
- Pedersen, N., Holyoak, D. T., & Newton, A. E. (2007). Systematics and morphological evolution within the moss family Bryaceae: A comparison between parsimony and Bayesian methods for reconstruction of ancestral character states. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 43(3), 891–907. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2006.10.018>
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). Metodologia da pesquisa científica. free e-book]. Santa Maria/RS. Ed. UAB/NTE/UFSM. 6.2).
- Peters, K., Treutler, H., Döll, S., Kindt, A. S. D., Hankemeier, T., & Neumann, S. (2019). Chemical diversity and classification of secondary metabolites in nine bryophyte species. *Metabolites*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/metabo9100222>
- Pinheiro, M. de F. da S., Lisboa, R. C. L., & Brazão, R. de V. (1989). Contribuição ao estudo de Briófitas como fontes de antibióticos. *Acta Amazonica*, 19(0), 139–145. <https://doi.org/10.1590/1809-43921989191145>
- Qu, J., Xie, C., Guo, H., Yu, W., & Lou, H. (2007). Antifungal dibenzofuran bis (bibenzyl) s from the liverwort *Asterella angusta*. *Phytochemistry*, 68, 1767–1774. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.04.036>
- Reski, R., & Frank, W. (2005). Moss (*Physcomitrella patens*) functional genomics - Gene discovery and tool development, with implications for crop plants and human health. *Briefings in Functional Genomics and Proteomics*, 4(1), 48–57. <https://doi.org/10.1093/bfgp/4.1.48>
- Sabovljević, A., Soković, M., Glamočlija, J., Ćirić, A., Vujičić, M., Pejin, B., & Sabovljević, M. (2011). Bio-activities of extracts from some axenically farmed and naturally grown bryophytes. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(4), 565–571.
- Sabovljević, M., Vujičić, M., Pantović, J., & Sabovljević, A. (2014). Bryophyte conservation biology: In vitro approach to the ex situ conservation of bryophytes from Europe. *Plant Biosystems*, 148(4), 857–868. <https://doi.org/10.1080/11263504.2014.949328>
- Sathish, S. S., Kavitha, R., & Kumar, S. S. (2013). Bryophytes In India – The Current Status Bryophytes In India – The Current Status. *International Journal of Research in Engineering and Bioscience*, 1(4), 23–31.
- Scher, J. M., Speakman, J. B., Zapp, J., & Becker, H. (2004). Bioactivity guided isolation of antifungal compounds from the liverwort *Bazzania trilobata* (L.) S.F. Gray. *Phytochemistry*, 65(18), 2583–2588. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2004.05.013>
- Scott, H. B., & Oliver, M. J. (1994). Accumulation and polysomal recruitment of transcripts in response to desiccation and rehydration of the moss *Tortula ruralis*. *Journal of Experimental Botany*, 45(5), 577–583. <https://doi.org/10.1093/jxb/45.5.577>
- Sharma, A., Slathia, S., Gupta, D., Handa, N., Choudhary, S. P., Langer, A., & Bhardwaj, R. (2015). Antifungal and Antioxidant Profile of Ethnomedicinally Important Liverworts (*Pellia endivaefolia* and *Plagiochasma appendiculatum*) Used by Indigenous Tribes of District Reasi: North West Himalayas. *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences*, 85(2), 571–579. <https://doi.org/10.1007/s40011-014-0373-0>
- Shimamura, M. (2016). *Marchantia polymorpha*: Taxonomy, phylogeny and morphology of a model system. *Plant and Cell Physiology*, 57(2), 230–256. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcv192>
- Silva, M. R. da, Hayashi, C. R. M., & Hayashi, M. C. P. I. (2011). Análise bibliométrica e cientométrica: desafios para especialistas que atuam em campo. *INCID: Revista de Documentação e Ciência da Informação*, 2(1), 110–129.
- Singh, M., Rawat, A. K. S., & Govindarajan, R. (2007). Antimicrobial activity of some Indian mosses. *Fitoterapia*, 78(2), 156–158. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2006.10.008>
- Söderström, L. (2006). Conservation biology of Bryophyte. *Lindbergia*, 31(1), 24–32.
- Tadesse, M., Steiner, U., Hindorf, H., & Dehne, H.-W. (2003). Bryophyte extracts with activity against plant pathogenic fungi *Mekuria Tadesse*. *SINET: Ethiopian Journal of Science*, 26(1), 55–62.
- Tropicos - Home*. (n.d.). Retrieved November 23, 2020, from <https://www.tropicos.org/home>
- Veljić, M., Ćirić, A., Soković, M., Janačković, P., & Marin, P. D. (2010). Antibacterial and antifungal activity of the liverwort (*Ptilidium pulcherrimum*) methanol extract. *Archives of Biological Sciences*, 62(2), 381–386. <https://doi.org/10.2298/ABS1002381V>

Veljic, M., Tarbuk, M., Marin, P. D., Ciric, A., Sokovic, M., & Marin, M. (2008). Antimicrobial activity of methanol extracts of mosses from Serbia. *Pharmaceutical Biology*, 46(12), 871–875. <https://doi.org/10.1080/13880200802367502>

Velmurugan, C., & Radhakrishnan, N. (2017). Phytochemistry research in India: A scientometric profile. *International Journal of Information Science and Management*, 15(2), 15–31.

Vidal, C. A. S., Sousa, E. O., Rodrigues, F. F. G., Campos, A. R., Lacerda, S. R., & Costa, J. G. M. (2012). Phytochemical screening and synergistic interactions between aminoglycosides, selected antibiotics and extracts from the bryophyte *Octoblepharum Albidum* hedw (Calymperaceae). *Archives of Biological Sciences*, 64(2), 465–470. <https://doi.org/10.2298/ABS1202465V>

Wu, X. Z., Chang, W. Q., Cheng, A. X., Sun, L. M., & Lou, H. X. (2010). Plagiochin E, an antifungal active macrocyclic bis(bibenzyl), induced apoptosis in *Candida albicans* through a metacaspase-dependent apoptotic pathway. *Biochimica et Biophysica Acta - General Subjects*, 1800(4), 439–447. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2010.01.001>

Xie, C., & Lou, H. (2008). Chemical Constituents from the Chinese Bryophytes and Their Reversal of Fungal Resistance. *Current Organic Chemistry*, 12(8), 619–628. <https://doi.org/10.2174/138527208784577385>

Zander, R. H., Toren, D., & Eckel, P. M. (2007). *Gymnostomum aeruginosum*, *G. calcareum* and *G. viridulum* (Pottiaceae, Bryopsida) in California. *Journal of Bryology*, 29(1), 27–32. <https://doi.org/10.1179/174328207X160568>