



Araştırma Makalesi / Research Article

Pholcus phalangioides (Fuesslin, 1775) Örümcek Ağ Yapısının Morfolojisi ve Yeni Yaklaşımlar

Pholcus phalangioides (Fuesslin, 1775) Morphology of Spider Web Structure and The New Approaches

İlkay Çorak ÖCAL^{1*}, Nazife Yiğit KAYHAN²

¹Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Çankırı, Türkiye

²Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Yahşihan/Kırıkkale, Türkiye

Öz

Amaç: Örümcek ağları temel olarak ipek ipliklerden oluşur. Oldukça ince yapıdaki bu iplikler, hafif ve esnek olmalarının yanında, yüksek kaliteli çelikten daha güçlü bir yapıya sahiptir. Ağının antimikrobiyal özelliği bulunan *Pholcus phalangioides* (Fuesslin, 1775) örümceğinin ağ yapısının morfolojisi SEM kullanılarak ortaya konulmaya çalışılmıştır. Aynı zamanda bu çalışma, örümceklerin sanat eseri olan ağlarının tıbbi uygulamalar başta olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılma potansiyellerine dikkat çekmeyi amaçlamıştır.

Gereç ve Yöntem: Örümceklerin laboratuvarında ağ yapması için doğal ortam hazırlanmıştır. Ağlar kuru olarak alınıp direkt staba yapıştırılmıştır. Hazırlanan ağ örneklerini taramalı elektron mikroskopta incelemek için Polaron SC-500 model kaplama cihazı kullanılarak 1,8 kV ve 6 mA' de 2-3 dk altın kullanılarak kaplanmıştır. Ağ örnekleri, Jeol JSM-560 SEM ile incelenip, görüntüler doğrudan bilgisayar ortamına kaydedilerek elektromikrograflar elde edilmiştir.

Bulgular: İpek bezlerinin evrimsel kökeni ve özellikleri henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Örümcek ağlarının medikal kullanımı ile ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır. Ağ yapısında iki farklı fibril görülmüştür. *Pholcus phalangioides* ağının merkezi net olarak bulunmamaktadır. Örümceğin ağın orta yere yakın bir bölgesinde bulunduğu tespit edilmiştir.

Sonuç: *Pholcus phalangioides*'un ağ yapısında evrimsel başarı sağlayan adaptasyonlar görülmüştür. Ağ yapısı çok ince fibrillerden oluşur. Diğer gruplardan farklı olarak düzensiz ipek ipliklerinden oluştuğu gözlenmiştir. Örümcek ağlarının hala keşfedilmemiş özellikleri olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Örümcek, *Pholcus phalangioides*, Ağ yapısı, İpek fibrilleri, SEM

Abstract

Aim: Spider webs are mainly composed of silk fibrils. These very fine fibrils, besides being light and flexible, have a stronger structure than high quality steel. The morphology of the web structure of the spider *Pholcus phalangioides* (Fuesslin, 1775), whose web has antimicrobial properties, was tried to be revealed using SEM. At the same time, this study aimed to draw attention to the potential of spiders' webs, which are works of art, to be used in various fields, especially in medical applications.



Material and Method: A natural environment was prepared for spiders to make webs in the laboratory. The webs were taken dry and glued directly to the stub. The web samples prepared were coated with gold for 2-3 minutes by using a Polaron SC-500 model coating device at 1.8 kV and 6 mA in order to examine them under scanning electron microscopy. The web samples were analyzed using a Jeol JSM-560 SEM, and pictures were directly saved in a computer environment to obtain electron micrographs.

Results: Silk glands' evolutionary origin and characteristics are not yet fully understood. There are many studies on the medical use of spider webs. Two different fibrils were observed in the web structure. The centmore precise of the *Pholcus phalangioides* is not clear needs to be clarified. It was determined that the spider was found near the center of the web.

Conclusion: Adaptations to the web structure of *Pholcus phalangioides* provided evolutionary success were analyzed. It was observed that the web structure is made of very fine fibrils and consists of irregular silk threads, unlike other groups.

Keywords: Spider, *Pholcus phalangioides*, Web structure, Silk fibrils, SEM

İletişim adresi/Address for Correspondence:

İlkay Çorak Öcal  <https://orcid.org/0000-0003-1479-2697>; Nazife Yiğit Kayhan  <https://orcid.org/0000-0002-3317-0589>

Adres: Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Çankırı, Türkiye

E-mail: corakilkay@yahoo.com

Telefon:

Geliş Tarihi/Received:19 Mart 2024. Kabul Tarihi/Accepted:15 Nisan 2024. Çevrimiçi Yayın:Published Online: 30 Nisan 2024

GİRİŞ

Örümcekler, Arthropoda şubesinin Arachnida sınıfında yer alan oldukça kalabalık canlı gruplarından biridir. Örümceklerin dünya üzerinde varlığı fosil kayıtlarına göre Karbonifer periyodundan 300 milyon yıl öncesine dayanmaktadır. Dünya yüzeyinde tanımlanmış yaklaşık 51.991 örümcek türü bulunmaktadır¹. Örümcekler; böceklerden sonra karasal yaşama uyum sağlamış en başarılı karasal omurgasız canlılardır. Örümcekler; dünya üzerinde çok değişik habitatlarda yaşayabilirler. Aynı zamanda pek çok örümcek türü, insanların yaşam alanlarına da iyi bir uyum sağlayarak, insanlarla iç içe uzun süredir aynı yaşam alanları paylaşmaktadırlar^{2,3}. Örümcekler, çeşitli ekosistemlerde bir dizi artropod avcısı olup, çevresel değişikliklerin hassas biyogöstergeleri olarak hareket ederler⁴. Örümcekler çoğunlukla böcekler üzerinden beslenirler. Hem tarımsal hem de doğal ekosistemlerde ve hatta evlerimizde dahi çok sayıda bulunan örümcekler böcekleri besin olarak tercih etmektedirler. Örümceklerin gerçekte tükettikleri avın 50 katı kadarını tüketmediği halde öldürdükleri bilinmektedir⁵. Örümceklerin en dikkat çekici özelliği, ipek iplikleri kullanarak yaptıkları ağlardır. Aslında ağ ören örümcekler tükettikleri besinleri ipeğe dönüştüren bir mekanizmaya sahip olması nedeniyle bu ördükleri ağları kullanarak daha fazla av yakalayabilme kapasitesine sahiptir. Örümceklerin ağları oldukça meşhurdur ve her biri bir sanat eseri gibidir. Örümceklerin ağ yapıları ait oldukları familyaya göre farklı şekillerde organize edilebilir ve sınıflandırılabilir. Örneğin, Theridiidae familyasından örümcekler cobweb ağ ören örümcekler olarak sınıflandırılırken, Araneidae familyasından olanlar küre şeklinde ağ ören örümcekler olarak sınıflandırılır⁶. Örümceklerin abdomenlerinin altlarında arka taraflarında genellikle üç çift, bazı türlerinde 2-4 çift ya da 7 adet ağ memesi ya da örü memesi bulunur. Her birinin dışarıya ayrı bir çıkışı vardır. Bezlerden meydana gelen yapışkan ve sıvı iplik maddesi, havayla temas edince polimerize olarak sertleşir. Her ağ memeciğinde ince ve küçük "spigot" adı verilen kanalcıklar bulunur. Bu ince kanalcıklardan sızan iplikçikler bir araya gelerek büküldükleri zaman

tek iplik durumuna gelirler. Esnek ve yapışkandırlar. Bir sinek ne kadar sert çarpsa da kopmazlar. Ağ yapmak isteyen örümcek, örü memelerini bacaklarının bir kısmı ile bastırarak ağ maddesinin akışını başlatır. Örümcekler, iplik deliklerinden çıkan tellerin hepsini toplayıp bir tek tel halinde kullandıkları gibi bunlardan ayrı ayrı incecik tel de yaparlar².

Örümceklerde bulunan farklı ağ bezleri farklı ipek iplikleri üretmektedir ve bu ipekler de farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Örneğin ana ampullat bezi tarafından üretilen dragline ipeği, bir cankurtaran halatı görevi görür, ağın inşasında radyal ve çerçevesi için kullanılır. Flagelliform ipek flagelliform bez tarafından üretilen, ağın spiralini oluşturmak ve avı yakalamak için kullanılan bir ipektir. Agrega bezi tarafından üretilen agrega ipeği, yakalama spiralini kaplamak için kullanılan yapışkan bir malzemedir. Piriform bezi tarafından üretilen piriform ipek, ağı alt tabakalara bağlayan bir çapa olarak kullanılır. Silindirik bez tarafından üretilen silindir şeklindeki ipek, yumurta ile yakın temas halindedir ve bir koruyucu olarak kullanılır. Asiniform bez tarafından üretilen asiniform ipek, kokon yapımında ve avı sarmak için kullanılır ve küçük ampullat ipek, ağ takviyesi ve yardımcı bir spiral oluşturmak için kullanılır^{7,8}.

Yapılış amacı avlanmak olan ağ, bir nevi tuzaktır. Fakat her örümcek türü ağ yapmaz. Ancak bütün örümcekler ağ tellerinden yumurtalarının etrafını saran kokonlar yaparlar. Bazıları da ağ bezlerini, yaprakları yapıştırmakta, yuvalarının içini döşemede, açtıkları çukurun çevresini kapatmakta vs. işlerde kullanırlar. Ağ kurmayan bu tür avcı örümceklerde, arkalarında ağdan bir iz bırakarak, rüzgarla sürüklenmekten korunurlar. Erkekler, dişileri bulmakta da bu izlerden faydalanırlar. Esnek ve yapışkandırlar. Bir sinek ne kadar sert çarpsa da kopmazlar. Ağ yapmak isteyen örümcek, örü memelerini bacaklarının bir kısmı ile bastırarak ağ maddesinin akışını başlatır. Örümcekler, iplik deliklerinden çıkan tellerin hepsini toplayıp bir tek tel halinde kullandıkları gibi bunlardan ayrı ayrı incecik tel de yaparlar. Düşme esnasında bir yere taktığı ağ telini, kendisi yere varıncaya kadar uzatabilir. Genç örümcekler, ağ tellerinin sayesinde uzun mesafelere uçabilirler. Bunun için telin bir ucunu bir yere bağlayarak

kendilerini hava akımlarına bırakırlar. Böylece yerlerinden havalanan örümcekler, karada 5 km, denizde ise yüzlerce km uzaklara savrulabilirler. Okyanuslardaki ıssız adalarda yaşayan örümcekler, hep böyle havadan gelmişlerdir. Sonbaharda bol bol rastlanan ağ telleri de uçan genç örümceklerden kalmıştır. Ağ örümü çoğunlukla gece olur. Örülmesi en fazla 60 dakika alır. Ağın ortasında spiral ve yapışkan bir yer vardır. Diğer iplikçikler kurudur. Bir sinek ağa konsa hemen yapışır. Kurtulmak için çırpındıkça daha da yapışır. İkaz iplikçığı ile avın yakalandığını anlayan örümcek gelerek avını zehirler. İkaz iplikçığının bir ucu ağa bağlı, diğer ucu ise daima kendisindedir².

Son yıllarda pek çok çalışma hem dayanıklı hem elastikiyet özelliği olan örümceklerin ağlarını örnek için kullandıkları ipek ipliği üzerine yoğunlaşmıştır. Yeni biyomekanik malzemelerin araştırılmasında en önde gelmektedir ve elastikiyet özelliklerinin araştırılması sonucunda en güçlü biyolojik malzemelerden biri olduğu düşünülmektedir^{9,10}. İnsanoğlu örümcek ipeğini çok eski yıllarda kullanmaya başlamışlardır ve özellikle bandaj olarak kullanıldığına dair kayıtlar bulunmaktadır. Bon'a (1710) ait "Örümcek İpeğinin Yararlılığı Üzerine Bir Söylem" adlı eserinde kanamayı durdurma ve yara iyileşmesine yardımcı olma yeteneği tanımlanmıştır¹¹. İspanya'da Gonzales ve Vallejo, kanamaları durdurmak, yaraları ve yanıkları iyileştirmek, rahim kanamalarını tedavi etmek, siğilleri gidermek ve boğaz ağrılarını hafifletmek için örümcek ipeğinden yararlanan 59 topikal formül bildirmiştir¹². Bunlara ek olarak, örümcek ipek biyopolimerinin yüksek sıcaklıklara dayanabileceğini ve bunun yanmaz ve kurşun geçirmez yelekler geliştirmek için uygulanabileceği gösterilmiştir^{13,14}.

Son yıllarda örümcek ağlarının medikal kullanımı ile ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır. Örümcek ağlarının hala keşfedilmemiş özellikleri olduğu düşünülmektedir. Doğal ürünlerde bulunan biyoaktif moleküllerin bulaşıcı hastalıkları tedavi etmek için yeni ilaçların keşfedilmesinde öncü moleküller olduğu düşünülmektedir ve varolan tedavilere yanıt vermeyen

enfeksiyonların tedavisi için bir yeni umut ışığı olmuştur¹⁵.

Pholcus phalangioides (Fuesslin, 1775) türünün Asya kıtasına özgü olduğu düşünülmektedir^{16,17}. Sinantropik bir tür olan *Pholcus phalangioides*'in modern coğrafi dağılımı büyük ölçüde insanların dünyaya yayılmasıyla belirlenmiştir. Bugün bu örümceklere dünyanın her kıtasında rastlamak mümkündür¹⁸.

Bu çalışmada, literatürde ağının antimikrobiyal özelliği bulunan *Pholcus phalangioides* (Fuesslin, 1775) örümceğinin ağ yapısının morfolojisi SEM kullanılarak ortaya konulmaya çalışılmıştır. Aynı zamanda bu çalışma ile örümceklerin sanat eseri olan ağlarının tıbbi uygulamalar başta olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılma potansiyellerine dikkat çekilmek istenmiştir.

GEREÇ VE YÖNTEM

Örnekler, 2017 yılının Temmuz ayında, Kırıkkale Üniversitesi merkez kampüsünden toplanmıştır. Toplama işlemi günün erken saatlerinde yapılmıştır. Diğer gruplara göre daha ince ağlar ören *Pholcus phalangioides* ağını fotoğraflayabilmek için, ağın üzerine su püskürtme yöntemi kullanılmıştır.

Araziden toplanan örümceklerin laboratuvarında uygun ortamda ağ yapması sağlanmıştır. SEM'de incelenecek olan ağlar kuru olarak alınıp direkt olarak staba yapıştırılmıştır. Bu şekilde hazırlanan ağ örneklerini taramalı elektron mikroskopta incelemek için Polaron SC-500 model kaplama cihazı kullanılarak 1,8 kV ve 6 mA' de 2-3 dk altın kullanılarak kaplanmıştır. Ağ örnekleri, Jeol JSM-560 SEM ile incelenip, görüntüler doğrudan bilgisayar ortamına kaydedilerek elektromikrograflar elde edilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Pholcus phalangioides'in ağları gevşek, düzensiz ve yataydır. Ağlar çok ince olduğu için görülmesi çok zordur. Bu nedenle ağları arazide fotoğraflarken ağın arkasına siyah bir zemin yerleştirilmiştir. Ağı fotoğraflayabilmek için su fişkırtma yöntemi kullanılmıştır. Suyu emen ağ kalınlaşır daha net fotoğraflanmıştır (Şekil 1).



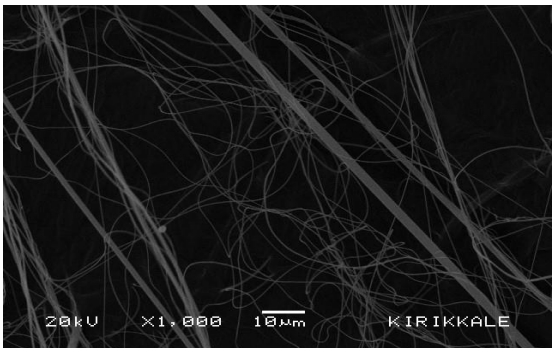
Şekil 1. Su püskürtülmüş ve arkasına siyah plaka konulmuş *P. phalangioides* ağı.

P. phalangioides türü örümceklerin ördükleri ağlarda ağın merkezi net değildir. Ağ yapısı düzensiz ve karmaşıktır. Avını bekleyen ya da dinlenme halindeki örümcek ağın ortaya denk gelen kısmında bekler (Şekil 2).



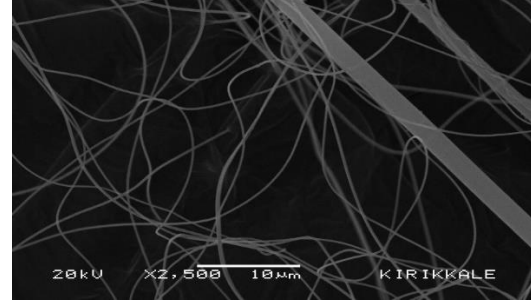
Şekil 2. *P. phalangioides* örümceğinin ağ üzerindeki görüntüsü

Oldukça karmaşık olan *P. phalangioides* ağ yapısı SEM'de incelenmiş ve yoğun olarak 2 farklı tip ipek ipliği gözlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. *P. phalangioides* ağ yapısı

P. phalangioides ağları yapışkan değildir. İpek fibrilleri üzerinde ağın yapıştırıcılığı sağlayan damlacık şeklindeki salgılar görülmemektedir. Kalın ve ince ipeklerin ağın içerisinde düzensiz olarak dağıldıkları gözlemlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Kalın ve ince ipeklerin görünümü

Dünya yüzeyinde pek çok habitata uyum sağlayabilen örümceklerin ilk akla gelen özelliği ağ örmeleridir. Ağlar çok eski yıllardan beri insanoğlunun dikkatini çekmiş ve bu ağları çeşitli amaçlar için kullanmaya çalışmışlardır. Örümceklerin ağlarını örmek için ürettikleri ipek ipliklerinin olağanüstü özellikleri son yapılan çalışmalarla ortaya konulmaya çalışılmaktadır. İpek ipliğinin termal ve mekanik özelliklerinden dolayı öncelikle biyomalzemeler olarak incelenmektedirler^{19,20}. Ancak hala pek çok ağ örücü örümceğin ağ yapısı ve mimarisi tam olarak bilinmemektedir. Bu çalışmada, evlerimizin köşeleri başta olmak üzere oldukça yaygın olarak bulunan *Pholcus phalangioides*'in ördüğü ağlar incelenmiş genel mimarisinin oldukça karışık düzensiz olduğu görülmüştür. Bu grup örümceklerin ağları oldukça ince olduğu için görüntülenmesi de oldukça zor olmuştur. SEM bulguları da bize bu türün ağ yapısında iki çeşit ipek ipliği kullandığını göstermektedir.

Literatür taraması sonucunda dikkat çekici bir konu örümcek ağlarının yeni antimikrobiyal maddeler elde etmek için kullanılabilirliği. Örümcek ipeğinin tıbbi özellikleriyle ilgili çalışmalar, biyoteknoloji ve biyomühendisliğin odaklandığı konular olmuştur. Biyoteknolojik uygulamalar ilaç dağıtım sistemleri, dikişler, bandajlar ve doku rejenerasyonunun indüklenmesiyle ilgilidir^{21,22}. Schwenck ve arkadaşlarının yeni yayımladıkları

makalelerinde örümcek ipeğinin yeni antibiyotikler üretilmesi için potansiyel bir kaynak olduğu belirtilmiştir²³. Bu çalışmada ağ yapısını ortaya koymaya çalıştığımız örümcek türü *Pholcus phalangioides*'in ipeğinin antimikrobiyal etkisi de çalışılmış olup hem gram negatif hem de gram pozitif bakterileri etkilediği bulunmuştur²⁴.

SONUÇ

Olağanüstü termal, mekanik ve biyoteknolojik özellikleriyle bilinen *Pholcus phalangioides* ipekleri potansiyel bir antimikrobiyal kaynağı olarak da araştırılmaktadır. Örümcek ipeğinin klinik açıdan önemli bakteri türlerine karşı antibakteriyel potansiyeli de literatüre geçmiştir.

Etik Onay:

Çıkar Çatışması: Bu çalışma ile ilgili olarak yazarların çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Finansal Destek: Bu çalışma için herhangi bir kurum ya da firmadan maddi ve/veya manevi herhangi bir destek alınmamıştır.

Ethical Approval:

Conflict of Interest: The authors have no conflict of interest regarding this study.

Financial Support: No financial and/or moral support was received from any institution or company for this study.

KAYNAKLAR

- World Spider Catalog. World Spider Catalogue. Version 25.0. Bern Museum Of Natural History, 2024. Accessed Online At [Http://Wsc.Nmbe.Ch](http://Wsc.Nmbe.Ch) On {Access Date} <https://doi.org/10.24436/2>
- Levi, W. H., Levi, L.R. A Gold Guide: Spider and Their Kin, New York.1990.
- Preston, K. Identifying Spiders, Chartwell Books, Inc., Mafham.1982.
- Jansen, A. Terrestrial invertebrate community structure as an indicator of the success of a tropical rainforest restoration Project, *Rest Ecol*,1997;2:115–124. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.1997.09714.x>
- Kajak, A. Analysis of consumption by spiders under laboratory and field conditions, 1978;409-427.
- Ayoub, N. A., Friend, K., Clarke, T., Baker, R., Correa-Garhwal, S. M., Crean, A., Dendev, E., Foster, D., Hoff, L., Kelly, S.D., Patterson, W., Hayashi, C.Y., Opell, B. D. Protein composition and associated material properties of cobweb spiders' gumfoot glue droplets. *Integrative and Comparative Biology*, 2021;61(4):1459-1480. <https://doi.org/10.1093/icb/icab086>.
- Coddington, J.A. Spinneret silk spigot morphology: evidence for the monophyly of orbweaving spiders, Cyrtophorinae (Araneidae), and the group Theridiidae plus Nesticidae, *Journal of Arachnology*, 1989;71-95.
- Greco, G., Wolff, J. O., Pugno, N. M. Strong and tough silk for resilient attachment discs: The mechanical properties of piriform silk in the spider *Cupiennius salei* (Keyserling, 1877), *Frontiers in Materials*, 2020; 7:138. <https://doi.org/10.3389/fmats.2020.00138>.
- Agnarsson, I., Kuntner, M., Blackledge, T. A. Bioprospecting finds the toughest biological material: extraordinary silk from a giant riverine orb spider, *PLoS one*, 2010;5(9):e11234. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011234>
- Harmer, A. M. Blackledge, T. A., Madin, J. S., Herberstein, M. E. High-performance spider webs: integrating biomechanics, ecology and behavior, *Journal of the Royal Society Interface*, 2011;8(57):457-471. <https://doi.org/10.1098/rsif.2010.0454>.
- Bon, F. X. I. A discourse upon the usefulness of the silk of spiders. by Monsieur Bon, President of the Court of Accounts, Aydes and Finances, and President of the Royal Society of Science at Montpellier, Communicated by the Author. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1710;27(325), 2-16. <https://doi.org/10.1098/rstl.1710.0001>
- González, J. A., Vallejo, J. R. Las telarañas en la medicina popular española: historia reciente, vigencia y distribución geográfica de un recurso terapéutico. *Rev Ibérica Aracnol*, 2012;21, 169-74.
- Kuntner, M., Hamilton, C. A., Cheng, R. C., Gregoric, M., Lypse, N., Lokovsek, T., Lemmon, E.M., Lemmon, A.R., Agnarsson, I., Coddington, J.A., Bond, J. E. Golden orbweavers ignore biological rules: phylogenomic and comparative analyses unravel a complex evolution of sexual size dimorphism. *Systematic biology*, 2019;68(4): 555-572. <https://doi.org/10.1093/sysbio/syy082>
- Aparicio, G. M., Bonilla-Hurtado, V. A., Vargas, R. A. Caracterización mecánica y térmica del biopolímero hilo de araña *Nephila clavipes* como posible material para prótesis en hernia inguinal. *Rev. Col. de Física*, 2010;42(2): 176-180.
- Zothanpuia, Passari, A. K., Leo, V. V., Chandra, P., Kumar, B., Nayak, C., Hashem, A., Abdullah, E.F., Alqarawi, A.A., Singh, B.P. Bioprospection of actinobacteria derived from freshwater sediments for their potential to produce antimicrobial compounds. *Microbial cell factories*, 2018;17:1-14. <https://doi.org/10.1186/s12934-018-0912-0>
- Nentwig, W. Introduction, establishment rate, pathways and impact of spiders alien to Europe. *Biological Invasions*, 2015;17:2757-

- 2778.<https://doi.org/10.1007/s10530-015-0912-5>
17. Nentwig, W., Blick, T., Bosmans, R., Gloor, D., Hänggi, A., Kropf, C. *Pholcus phalangioides* (Fuesslin, 1775). *Araneae - Spiders of Europe*. 2023. Retrieved 14 July 2023.
 18. Mazza, Giuseppe. *Pholcus phalangioides*. *Monaco Nature Encyclopedia*. 2016. Retrieved 21 October 2020.
 19. Zheng, H., Wang, H., Yi, K., Lin, J., Chen, A., Chen, L., Zou, Z., Liu, M., Ji, Y., Dong, L., Lin, Z. Wearable LIG flexible stress sensor based on spider web bionic structure. *Coatings*, 2023;13(1):155. <https://doi.org/10.3390/coatings13010155>.
 20. Ko, F. K., Jovicic, J. Modeling of mechanical properties and structural design of spider web. *Biomacromolecules*, 2004;5(3):780-785. <https://doi.org/10.1021/bm0345099>
 21. Florczak, A., Mackiewicz, A., Dams-Kozłowska, H. Functionalized spider silk spheres as drug carriers for targeted cancer therapy. *Biomacromolecules*, 2014;15(8):2971-2981. <https://doi.org/10.1021/bm500591p>
 22. Franco, A. R., Fernandes, E. M., Rodrigues, M. T., Rodrigues, F. J., Gomes, M. E., Leonor, I. B., Kaplan, D.L., Reis, R. L. Antimicrobial coating of spider silk to prevent bacterial attachment on silk surgical sutures. *Acta biomaterialia*, 2019;99:236-246. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2019.09.004>
 23. Schwenck, L. D. C., Abreu, P. A., Nunes-da-Fonseca, R. Spider's Silk as a Potential Source of Antibiotics: An Integrative Review. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 2024;1-15. <https://doi.org/10.1007/s12602-024-10241-3>
 24. Abraham, A., Joseph, M. M., Francis, L. Spider silk as a potential antibiotic substitute. *Entomon*, 2022;47(3):345-348. <https://doi.org/10.33307/entomon.v47i3.775>.