

Pheophorbide as Natural Pigment and Applications

Tasya Fauziah¹, Okta Suryani²

^{1,2,3}Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang
e-mail: tsyaffz@gmail.com

Abstrak

Feoforbid adalah salah satu turunan klorofil yang telah menarik perhatian dalam penelitian ilmiah karena potensinya sebagai pigmen alami dengan berbagai aplikasi. Pigmen ini, yang diperoleh melalui degradasi klorofil, memiliki kemampuan unik dalam berinteraksi dengan cahaya dan menghasilkan spesies oksigen reaktif. Hal ini menjadikannya kandidat kuat untuk aplikasi dalam terapi fotodinamik, terutama dalam pengobatan kanker. Selain itu, feoforbid juga digunakan dalam industri kosmetik karena kemampuannya untuk melindungi kulit dari kerusakan akibat radiasi UV dan sebagai bahan anti-penuaan. Penggunaan feoforbid tidak hanya terbatas pada bidang medis dan kosmetik, tetapi juga memiliki peran penting dalam ekologi, seperti dalam studi penggembalaan mikrofitobentos dan pengendalian parasit akuatik. Oleh karena itu, feoforbid merupakan pigmen yang sangat potensial dengan aplikasi yang luas di berbagai bidang.

Kata kunci: *Feoforbid, Pigmen Alami, Terapi Fotodinamik, Anti-Penuaan, Degradasi Klorofil.*

Abstract

Feoforbide is one of the chlorophyll derivatives that has attracted attention in scientific research due to its potential as a natural pigment with various applications. This pigment, which is obtained through chlorophyll degradation, has the unique ability to interact with light and generate reactive oxygen species. This makes it a strong candidate for applications in photodynamic therapy, especially in cancer treatment. In addition, feoforbide is also used in the cosmetic industry for its ability to protect the skin from UV radiation damage and as an anti-aging ingredient. The use of feoforbid is not only limited to the medical and cosmetic fields, but also has an important role in ecology, such as in microphytobenthos grazing studies and aquatic parasite control. Therefore, feoforbid is a very potential pigment with wide applications in various fields.

Keywords: *Pheophorbide, Natural Pigment, Photodynamic Therapy, Anti-Aging, Chlorophyll Degradation*

PENDAHULUAN

Feoforbid merupakan salah satu turunan dari klorofil yang telah menarik perhatian dalam berbagai penelitian ilmiah karena potensinya sebagai pigmen alami dengan berbagai aplikasi. Pigmen ini, yang diperoleh melalui degradasi klorofil, memiliki struktur kimia yang memungkinkan berbagai interaksi fotokimia yang unik, menjadikannya subjek penelitian yang penting dalam bidang fotodinamika, kesehatan, dan kosmetik.

Feoforbid memiliki kemampuan untuk menyerap cahaya dan menghasilkan spesies oksigen reaktif yang dapat menyebabkan kerusakan seluler. Hal ini menjadikan feoforbid sebagai kandidat kuat untuk aplikasi dalam terapi fotodinamik, suatu metode yang memanfaatkan cahaya untuk mengaktifkan senyawa fotosensitizer

dalam pengobatan kanker. Sebagai contoh, penelitian menunjukkan bahwa feoforbid a dapat menginduksi efek antikanker yang signifikan dalam berbagai model sel kanker (Saide et al., 2020).

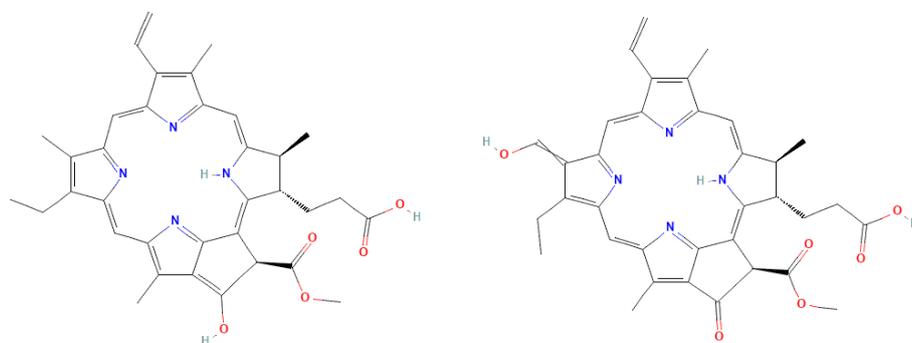
Selain aplikasinya dalam bidang medis, feoforbid juga menarik perhatian dalam industri kosmetik. Senyawa ini ditemukan memiliki efek anti-penuaan pada fibroblas kulit manusia yang terpapar sinar UVB, di mana feoforbid dan turunannya dapat mengurangi akumulasi radikal bebas dan ekspresi enzim matriks metalloproteinase, yang berperan dalam degradasi kolagen. Ini menegaskan potensinya sebagai agen anti-penuaan yang efektif (Lee et al., 2021).

Dalam konteks lingkungan, feoforbid juga digunakan sebagai penanda untuk mempelajari degradasi klorofil dalam sedimen laut. Feoforbid yang ditemukan dalam berbagai bentuk di sedimen laut menunjukkan proses degradasi alami dari klorofil, yang dapat memberikan wawasan mengenai dinamika ekosistem laut (Lorenzen, 1987).

Secara keseluruhan, feoforbid adalah pigmen yang memiliki banyak potensi aplikasi di berbagai bidang mulai dari kesehatan, kosmetik hingga ekologi. Setiap aplikasi ini didukung oleh penelitian ilmiah yang menunjukkan kemampuan unik feoforbid dalam berinteraksi dengan cahaya dan lingkungan seluler.

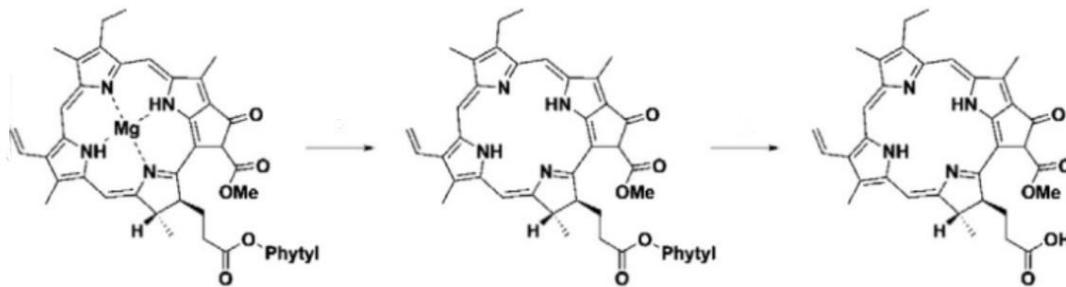
1. Struktur Kimia Feoforbid

Feoforbid adalah turunan dari klorofil yang mengalami penghilangan atom magnesium di pusat cincin porfirin, sehingga menghasilkan struktur yang berbeda dari klorofil asli. Struktur molekul feoforbid terdiri dari cincin tetrapirrol dengan substituen yang mirip dengan klorofil, tetapi tanpa atom magnesium pusat, membuatnya lebih stabil dalam kondisi tertentu. Cincin porfirin ini memainkan peran penting dalam sifat fotokimia dan fotofisika feoforbid, yang memungkinkannya untuk berinteraksi dengan cahaya dan menghasilkan spesies oksigen reaktif, seperti oksigen singlet, yang digunakan dalam aplikasi terapi fotodinamik.



(A) (B)
Gambar 1. (A) Feoforbid a, (B) Feoforbid b

Hubungan antara struktur kimia feoforbid dan sifat fotokimianya sangat penting dalam memahami potensinya sebagai fotosensitizer. Tanpa magnesium, feoforbid memiliki sifat penyerapan cahaya yang berbeda, yang membuatnya ideal untuk digunakan dalam lingkungan hidrofobik, seperti membran sel. Hal ini memungkinkan feoforbid untuk digunakan secara efektif dalam terapi fotodinamik, di mana interaksi dengan cahaya menginduksi pembentukan oksigen singlet yang dapat merusak sel kanker (E. Xodo et al., 2012).



Gambar 2. Perbedaan struktur kimia klorofil, feofitin, dan feoforbid

Jika dibandingkan dengan klorofil dan feofitin, feoforbid menunjukkan sifat yang unik. Feofitin adalah turunan klorofil lain yang juga kehilangan magnesium, tetapi tetap memiliki struktur yang lebih mirip dengan klorofil dibandingkan feoforbid. Sifat fotofisika feofitin, seperti fosforesensi dan generasi oksigen singlet, cukup mirip dengan feoforbid, tetapi feoforbid lebih stabil dalam kondisi agregat, yang mengurangi intensitas fosforesensinya dan aktivitas fotodinamiknya (Krasnovsky et al., 1990).

Feoforbid dan pheophytin memiliki peran berbeda dalam fotosintesis dan aplikasi medis, dengan feoforbid sering digunakan dalam terapi fotodinamik dan penelitian anti-kanker karena kemampuannya menghasilkan spesies oksigen reaktif, sedangkan feofitin lebih sering terlibat dalam proses fotosintesis alami sebagai akseptor elektron utama dalam fotosistem II (Kovacic et al., 1991).

2. Sifat Fotokimia dan Fotofisika

Feoforbid adalah senyawa yang memiliki sifat fotokimia dan fotofisika yang menonjol. Salah satu sifat fotokimia utama feoforbid adalah kemampuannya untuk menghasilkan oksigen singlet ketika terkena cahaya. Oksigen singlet adalah spesies oksigen reaktif yang sangat efektif dalam merusak sel-sel yang terpapar, terutama sel kanker. Ketika feoforbid menyerap foton dari sumber cahaya yang cocok, ia memasuki keadaan tereksitasi dan dapat mentransfer energi ke molekul oksigen di sekitarnya, mengubahnya menjadi oksigen singlet. Spesies oksigen reaktif ini kemudian dapat menyebabkan kerusakan oksidatif pada komponen seluler seperti lipid, protein, dan DNA, yang mengarah pada kematian sel terprogram (apoptosis) (Tanielian et al., 2001).

Selain produksi oksigen singlet, feoforbid juga menunjukkan sifat fotofisika lain yang penting, seperti fosforesensi. Fosforesensi adalah fenomena di mana molekul yang telah menyerap energi cahaya melepaskan energi ini dalam bentuk cahaya dengan laju yang lebih lambat dibandingkan dengan fluoresensi. Sifat fosforesensi feoforbid memungkinkan penggunaan dalam aplikasi pencitraan seluler, di mana molekul ini dapat digunakan untuk melacak dan memvisualisasikan distribusi seluler dalam sistem biologis. Dalam penelitian fotofisika, feoforbid telah menunjukkan emisi fosforesensi yang signifikan, yang dipengaruhi oleh lingkungan molekulnya, seperti tingkat agregasi dan jenis pelarut (Krasnovsky et al., 1990).

Feoforbid juga dikenal memiliki efisiensi kuantum yang tinggi dalam hal generasi oksigen singlet, yang membuatnya sangat efektif sebagai agen PDT. Efisiensi kuantum ini menggambarkan seberapa baik feoforbid dapat mengonversi energi cahaya yang diserap menjadi oksigen singlet yang reaktif. Efisiensi ini sangat penting dalam menentukan dosis dan efektivitas PDT dalam pengobatan kanker. Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang sifat fotokimia dan fotofisika feoforbid sangat penting untuk mengoptimalkan penggunaannya dalam terapi klinis (Kustov et al., 2018).

Lingkungan molekul feoforbid, seperti jenis pelarut atau media biologis di mana ia berada, juga memainkan peran penting dalam sifat fotokimia dan fotofisikanya. Feoforbid dalam lingkungan hidrofobik, seperti membran sel, cenderung menunjukkan peningkatan aktivitas fotodinamik karena interaksinya yang lebih baik dengan lipid

membran dan protein. Sebaliknya, dalam lingkungan yang lebih hidrofilik, aktivitas fotokimia mungkin menurun karena difusi yang lebih besar dari molekul oksigen reaktif keluar dari target seluler. Oleh karena itu, pemilihan lingkungan molekul yang tepat sangat penting dalam aplikasi praktis feoforbid (Gerola et al., 2011).

METODE

HASIL DAN PEMBAHASAN

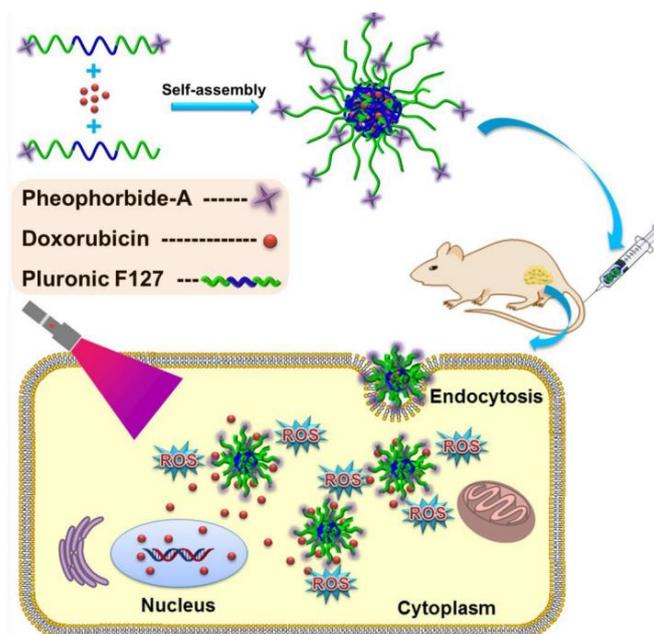
1. Feoforbid sebagai Aplikasi Medis

Feoforbid (pheophorbide) memiliki aplikasi medis yang luas, terutama dalam terapi fotodinamik (PDT) untuk pengobatan kanker. PDT adalah metode pengobatan yang melibatkan penggunaan fotosensitizer, seperti feoforbid, yang diaktifkan oleh cahaya pada panjang gelombang tertentu untuk menghasilkan spesies oksigen reaktif yang dapat membunuh sel kanker. Feoforbid, yang merupakan turunan dari klorofil, telah terbukti menjadi fotosensitizer yang sangat efektif dalam PDT, dengan kemampuan untuk menargetkan berbagai jenis kanker, termasuk kanker kulit, payudara, dan prostat (E. Xodo et al., 2012).

Studi klinis dan eksperimen telah menunjukkan bahwa feoforbid dapat menginduksi efek antiproliferatif yang signifikan dalam berbagai lini sel kanker, seperti yang dilaporkan dalam pengobatan kanker kulit dan kanker kepala dan leher. Dalam sebuah studi, PDT berbasis feoforbid berhasil menekan pertumbuhan tumor pada model tikus dengan kanker kulit, menunjukkan penurunan yang signifikan dalam ukuran tumor setelah perawatan. Selain itu, penggunaan feoforbid dalam PDT tidak hanya terbatas pada pengobatan kanker kulit; studi juga menunjukkan efektivitasnya dalam pengobatan kanker payudara dan prostat, di mana ia menginduksi apoptosis dan menghambat proliferasi sel kanker (Saide et al., 2020).

Selain aplikasi anti-kanker, feoforbid juga memiliki potensi sebagai agen antiinflamasi dan antioksidan. Feoforbid telah terbukti mengurangi peradangan dengan menghambat jalur sinyal tertentu yang terlibat dalam respon inflamasi, seperti jalur NF- κ B. Efek antiinflamasi ini sangat penting dalam konteks PDT, di mana pengurangan peradangan dapat membantu dalam mengurangi kerusakan jaringan sehat di sekitar tumor yang diobati. Sifat antioksidan feoforbid juga membantu dalam melindungi sel-sel normal dari kerusakan oksidatif yang diinduksi oleh PDT, meningkatkan toleransi dan keamanan pengobatan ini (Bui-Xuan et al., 2011).

Feoforbid juga menunjukkan potensi sebagai agen terapi yang dapat dikombinasikan dengan obat kemoterapi lainnya untuk meningkatkan efektivitas pengobatan. Misalnya, kombinasi PDT berbasis feoforbid dengan obat kemoterapi seperti doxorubicin telah terbukti menghasilkan efek sinergis dalam pengobatan melanoma, di mana kombinasi ini mampu meningkatkan inhibisi pertumbuhan tumor lebih signifikan dibandingkan penggunaan salah satu agen secara terpisah. Ini menunjukkan bahwa feoforbid dapat menjadi komponen penting dalam strategi pengobatan kanker multimodal (Zhang et al., 2018).



Gambar 3. Ilustrasi untuk prosedur persiapan misel DOX/F127-PheoA dan perilaku terapi kombinasi kemofotodinamik. Sumber: (Zhang et al., 2018)

Selain dalam pengobatan kanker, feoforbid juga memiliki potensi dalam pengobatan kondisi vaskular. PDT yang menggunakan feoforbid dengan substitusi seng telah menunjukkan efektivitas dalam menargetkan sel-sel endotel vaskular, yang berpotensi digunakan dalam pengobatan gangguan vaskular seperti angiogenesis pada tumor. Ini memberikan harapan untuk penggunaan feoforbid dalam terapi yang lebih luas di luar onkologi, termasuk dalam pengobatan penyakit kardiovaskular dan vaskular lainnya (Szafraniec et al., 2022).

2. Feoforbid sebagai Aplikasi Kosmetik

Feoforbid digunakan dalam produk kosmetik anti-penuaan dan perawatan kulit karena sifat antioksidannya yang kuat. feoforbid efektif dalam mengurangi kerusakan kulit yang disebabkan oleh radiasi UVB, dengan cara menekan akumulasi spesies oksigen reaktif (ROS) dan mengurangi sekresi serta ekspresi gen matrix metalloproteinase (MMP) yang bertanggung jawab atas degradasi kolagen. Selain itu, pheophorbide meningkatkan sintesis prokolagen yang penting untuk mempertahankan elastisitas dan kekencangan kulit (Lee et al., 2021). Mekanisme ini menjadikan feoforbid sebagai bahan yang sangat potensial untuk dikembangkan dalam produk kosmetik yang tidak hanya melindungi kulit dari kerusakan akibat sinar UV tetapi juga memperlambat proses penuaan kulit. Pengembangan produk berbasis feoforbid terus dilakukan dengan fokus pada formulasi yang memungkinkan stabilitas dan efektivitas bahan aktif ini di dalam kosmetik yang mudah diaplikasikan sehari-hari (Nakamura et al., 1996).

3. Feoforbid sebagai Aplikasi Industri

Feoforbid memiliki berbagai aplikasi potensial dalam industri makanan dan minuman, terutama terkait dengan kualitas, keamanan, dan nilai tambah produk pangan. Dalam industri makanan, feoforbid a dan turunannya sering digunakan dalam suplemen kesehatan berbasis alga seperti *Chlorella* dan *Haematococcus*. Feoforbid a dikenal karena aktivitasnya sebagai fotosensitizer, yang berarti dapat menyebabkan reaksi fotosensitisasi jika terpapar cahaya tertentu. Oleh karena itu, deteksi dan kuantifikasi feoforbid dalam produk pangan sangat penting untuk menghindari risiko kesehatan seperti fotosensitivitas pada konsumen (Činčárová et al., 2021).

feoforbid juga memiliki potensi sebagai bahan tambahan pangan dengan aktivitas biologis, seperti antioksidan dan anti-inflamasi, yang dapat meningkatkan nilai gizi produk makanan dan minuman. Misalnya, feoforbid a yang diekstraksi dari alga

telah diuji untuk mencegah disfungsi endotel yang disebabkan oleh produk akhir glikasi lanjut (AGEs) yang berhubungan dengan diabetes. Ini menunjukkan bahwa feoforbid dapat digunakan dalam makanan fungsional untuk mengurangi risiko komplikasi diabetes (Hong et al., 2015).

Di samping itu, dalam proses produksi teh hijau, feoforbid a juga dapat terdeteksi sebagai hasil degradasi klorofil selama pengolahan. Kehadiran feoforbid dalam produk teh hijau dipantau karena bisa mempengaruhi rasa serta potensi fotosensitivitas pada konsumen jika kadar yang terkandung cukup tinggi (Kohata et al., 1998).

4. Feoforbid sebagai Aplikasi dalam Lingkungan dan Ekologi

Feoforbid, sebuah turunan klorofil, telah mendapatkan perhatian signifikan karena aplikasinya di bidang penelitian lingkungan dan ekologi. Salah satu aplikasi yang menonjol adalah dalam pengendalian fotodinamik parasit berbahaya di ekosistem perairan. Penelitian telah menunjukkan bahwa ketika feoforbid terpapar cahaya, ia menghasilkan spesies oksigen reaktif yang mematikan bagi berbagai hama air, seperti larva nyamuk, sehingga menawarkan metode potensial yang ramah lingkungan untuk mengendalikan populasi hama di badan air (Wohllebe et al., 2009).

Selain itu, feoforbid juga berfungsi sebagai penanda yang berguna dalam studi ekologi, khususnya dalam memahami pola penggembalaan di lingkungan laut. Para peneliti telah menggunakan feoforbid untuk melacak intensitas penggembalaan makrofauna pada mikrofitobentos intertidal, yang berkontribusi pada pemahaman yang lebih baik tentang transfer energi di ekosistem ini (Ford & Honeywill, 2002).

SIMPULAN

Feoforbid, sebagai turunan klorofil, menawarkan berbagai aplikasi potensial di bidang medis, kosmetik, dan industri. Dalam terapi fotodinamik, feoforbid menunjukkan efektivitas sebagai agen anti-kanker yang dapat diaktifkan oleh cahaya untuk menghasilkan spesies oksigen reaktif yang mematikan bagi sel kanker. Di sektor kosmetik, feoforbid digunakan sebagai agen anti-penuaan karena kemampuannya mengurangi kerusakan kulit yang disebabkan oleh radiasi UVB. Selain itu, dalam industri pangan dan ekologi, feoforbid berfungsi sebagai penanda penting untuk mempelajari degradasi klorofil dan pengendalian parasit di ekosistem air. Dengan berbagai keunggulannya, feoforbid merupakan senyawa yang sangat potensial untuk dikembangkan lebih lanjut dalam berbagai bidang aplikasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Ibu Okta Suryani, S.Pd., M.Sc, Ph.D selaku pembimbing akademik dan para pihak yang turut memberikan masukan dan kontribusi berharga dalam penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bui-Xuan, N. H., Tang, P. M. K., Wong, C. K., Chan, J. Y. W., Cheung, K. K. Y., Jiang, J. L., & Fung, K. P. (2011). Pheophorbide a: A photosensitizer with immunostimulating activities on mouse macrophage RAW 264.7 cells in the absence of irradiation. *Cellular Immunology*, 269(1), 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.cellimm.2011.02.010>
- Činčárová, D., Hájek, J., Dobřichovský, M., Lukeš, M., & Hrouzek, P. (2021). Recommendations on the quantitative analysis of pheophorbides, photosensitizers present in algal biomass intended as food supplement. *Algal Research*, 56(May). <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102298>
- E. Xodo, L., Rapozzi, V., Zacchigna, M., Drioli, S., & Zorzet, S. (2012). The Chlorophyll Catabolite Pheophorbide a as a Photosensitizer for the Photodynamic Therapy. *Current Medicinal Chemistry*, 19(6), 799–807. <https://doi.org/10.2174/092986712799034879>

- Ford, R. B., & Honeywill, C. (2002). Grazing on intertidal microphytobenthos by macrofauna: Is pheophorbide a useful marker? *Marine Ecology Progress Series*, 229, 33–42. <https://doi.org/10.3354/meps229033>
- Gerola, A. P., Tsubone, T. M., Santana, A., De Oliveira, H. P. M., Hioka, N., & Caetano, W. (2011). Properties of chlorophyll and derivatives in homogeneous and microheterogeneous systems. *Journal of Physical Chemistry B*, 115(22), 7364–7373. <https://doi.org/10.1021/jp201278b>
- Hong, C. O., Nam, M. H., Oh, J. S., Lee, J. W., Kim, C. T., Park, K. W., Lee, D. H., & Lee, K. W. (2015). Pheophorbide a from *Capsosiphon fulvescens* Inhibits Advanced Glycation End Products Mediated Endothelial Dysfunction. *Planta Medica*, 82(1–2), 46–57. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1557829>
- Kohata, K., Hanada, K., & Horie, H. (1998). High Performance Liquid Chromatographic Determination of Pheophorbide-a and Its Related Chlorophyll Derivatives in Tea Leaves. *Food Science and Technology International, Tokyo*, 4(1), 80–84. <https://doi.org/10.3136/fsti9596t9798.4.80>
- Kovacic, P., Kiser, P. F., Smith, K. M., & Feinberg, B. A. (1991). Spectroelectrochemical titrations and cyclic voltammetry of methyl pheophorbide in acid: Possible role of pheophytin enol iminium in the primary process of PS II. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 320(3), 415–424. [https://doi.org/10.1016/0022-0728\(91\)85656-A](https://doi.org/10.1016/0022-0728(91)85656-A)
- Krasnovsky, A. A., Neverov, K. V., Egorov, S. Y., Roeder, B., & Levald, T. (1990). Photophysical studies of pheophorbide a and pheophytin a. Phosphorescence and photosensitized singlet oxygen luminescence. *Journal of Photochemistry and Photobiology, B: Biology*, 5(2), 245–254. [https://doi.org/10.1016/1011-1344\(90\)80009-M](https://doi.org/10.1016/1011-1344(90)80009-M)
- Kustov, A. V., Belykh, D. V., Smirnova, N. L., Venediktov, E. A., Kudayarova, T. V., Kruchin, S. O., Khudyaeva, I. S., & Berezin, D. B. (2018). Synthesis and investigation of water-soluble chlorophyll pigments for antimicrobial photodynamic therapy. *Dyes and Pigments*, 149, 553–559. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2017.09.073>
- Lee, H., Park, H. Y., & Jeong, T. S. (2021). Pheophorbide a derivatives exert antiwrinkle effects on uvb-induced skin aging in human fibroblasts. *Life*, 11(2), 1–13. <https://doi.org/10.3390/life11020147>
- Lorenzen, C. J. (1987). *Pheophytin a in Temperate Marine Waters*. 32(2), 352–358.
- Nakamura, Y., Murakami, A., Koshimizu, K., & Ohigashi, H. (1996). Inhibitory effect of pheophorbide α , a chlorophyll-related compound, on skin tumor promotion in ICR mouse. *Cancer Letters*, 108(2), 247–255. [https://doi.org/10.1016/S0304-3835\(96\)04422-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3835(96)04422-9)
- Saide, A., Lauritano, C., & Ianora, A. (2020). Pheophorbide A: State of the art. *Marine Drugs*, 18(5). <https://doi.org/10.3390/md18050257>
- Szafraniec, M. J., Toporkiewicz, M., & Gamian, A. (2022). Zinc-Substituted Pheophorbide A Is a Safe and Efficient Antivascular Photodynamic Agent. *Pharmaceuticals*, 15(2). <https://doi.org/10.3390/ph15020235>
- Tanielian, C., Kobayashi, M., & Wolff, C. (2001). Mechanism of photodynamic activity of pheophorbides. *Journal of Biomedical Optics*, 6(2), 252. <https://doi.org/10.1117/1.1352750>
- Wohllebe, S., Richter, R., Richter, P., & Häder, D. P. (2009). Photodynamic control of human pathogenic parasites in aquatic ecosystems using chlorophyllin and pheophorbide as photodynamic substances. *Parasitology Research*, 104(3), 593–600. <https://doi.org/10.1007/s00436-008-1235-6>
- Zhang, C., Zhang, J., Qin, Y., Song, H., Huang, P., Wang, W., Wang, C., Li, C., Wang, Y., & Kong, D. (2018). Co-delivery of doxorubicin and pheophorbide A by pluronic F127 micelles for chemo-photodynamic combination therapy of melanoma. *Journal of Materials Chemistry B*, 6(20), 3305–3314.

<https://doi.org/10.1039/c7tb03179c>