



Gözden geçirmek

Hümk Maddelerin Doğrudan ve Dolaylı Detoksifikasyon Etkileri

Lydia Bondareva 1,* ve Nadezhda Kudryasheva

2,3

- ¹ Federal Bilimsel Hijyen Merkezi Adını FF Erisman'dan almıştır, 141014 Moskova, Rusya Federal
- ² Araştırma Merkezi 'Krasnoyarsk Bilimsel Merkezi Sibirya Şubesi Rusya Bilimler Akademisi', Biyofizik Enstitüsü, 660036 Krasnoyarsk, Rusya; n-qdr@yandex.ru Biyofizik Bölümü, Sibirya Federal Üniversitesi, 660041 Krasnoyarsk, Rusya
- ³ Rusya
- * Yazışma: lydiabondareva@gmail.com; Tel.: +7-495-586-12-76

Özet: Derleme, suda çözünür hümk asitin detoksifikasyon etkileri üzerine yapılan çalışmaları özetlemektedir.

Su çözeltilerinde doğal detoksifiye edici maddeler olarak işlev gören toprak ve dip tortularındaki organik maddelerin doğal dönüşümünün ürünleri olan duruşlar (HS). Hümk maddelerin mikroorganizmalar üzerindeki detoksifiye edici etkileri oldukça karmaşıktır: Hümk maddeler, serbest kirleticileri nötralize eder (dolaylı biyoetkiler) ve ayrıca organizmaların koruyucu tepkisini uyarır (doğrudan biyoetkiler). Hümk maddeler varlığında çözeltilerin toksisitesini izlemek için biyoluminesan bakteri bazlı tahlilin beklentileri ve potansiyel sorunları tartışılmaktadır. Bioassay uygulaması için ana kriter çok yönlülük ve kullanım kolaylığıdır. Hümk maddelerin farklı kirlenici çözeltilerdeki detoksifikasyon etkinliği değerlendirildi ve detoksifikasyon mekanizmaları tartışıldı. Hümk maddelerin doğrudan ve karmaşık doğrudan + dolaylı etkilerine özel dikkat gösterildi. İnceleme, hümk maddelerin antioksidan özelliklerini özel olarak dikkate alarak radyonüklidlerin ve kararlı metal tuzlarının çözeltilerinde hümk maddelerin koruyucu işlevine odaklanmaktadır .

Anahtar Kelimeler: hümk maddeler; detoksifikasyon; parlak bakteriler; uyarlanabilir yanıt



Atıf: Bondareva, L.;

Kudryasheva, N. Doğrudan ve Dolaylı Hümk Maddelerin Detoksifikasyon Etkileri

maddeler. Tarla Bitkileri 2021, 11, 198. <https://doi.org/10.3390/agronomi11020198>

Akademik Editör: Maria Roulia

Geliş tarihi: 8 Aralık 2020

Kabul tarihi: 15 Ocak 2021

Yayın tarihi: 20 Ocak 2021

Yayıncının Notu: MDPI, yayınlanan haritalardaki ve kurumsal bağlantılardaki yetki iddiaları konusunda tarafsız kalır ilişkiler.



Telif hakkı: © 2021 yazarlara aittir.

Lisans Sahibi MDPI, Basel, İsviçre.

Bu makale açık erişimli bir makaledir şartlar altında dağıtılır ve

Creative Commons koşulları

Atıf (CC BY) lisansı (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

4.0/).

1. Giriş

Hümk maddeler (H2S), doğal kökenli yüksek moleküler organik bileşiklerin karmaşık karışımlarıdır. Hümk maddeler, bitki ve hayvan kalıntılarının mikroorganizmaların ve abiyotik çevresel faktörlerin etkisi altında ayrışması sonucu oluşur [1]. Hümk maddeler toprakta, nehirlerde ve göllerde bulunur [2] ve önemli Hümk maddeler matrisleri tortu, turba, kömür ve katı fosil yakıtları içerir. Toprak ve sudaki içerikleri toplam organik maddenin %60-80'i, turba ve kömürde ise %20-90 arasında değişmektedir [3].

Hümk maddelerin bileşimi, yapısı ve özellikleri yaşlarından ve nemlendirme derecelerinden büyük ölçüde etkilenir. Hümk maddelerin [3] genel kabul görmüş sınıflandırması, asitler ve alkalilerdeki çözünürlük farkına dayanmaktadır . Bu sınıflandırmaya göre hümk maddeler üç bileşene ayrılır: humin—geri kazanılamaz kalıntı, alkalilerde veya asitlerde çözünmez; hümk asitler—H2S fraksiyonu, alkalilerde çözünür ve asitlerde çözünmez (pH < 2'de); ve fulvik asitler—H2S fraksiyonu, hem alkalilerde hem de asitlerde çözünür. Hümk maddeler terimi hem hümk hem de fulvik asitlerin genel adı olarak kullanılmaktadır. Hümk asitler hümk asitlerin en hareketli ve reaktif bileşenidir ve ekosistemlerdeki kimyasal ve biyokimyasal süreçlere aktif olarak katılırlar.

Hümk maddelerin en önemli fonksiyonel grupları karboksilik, fenolik, alkolik, karbonil, amino ve sülfidril gruplarıdır; karboksil gruplarının baskınlığı hümk maddelerin asidik karakterine katkıda bulunur [3-6]. Hümk maddelerin tanımlanmış fonksiyonel grupları ayrıca şekerler, yağ asitleri, polipeptitler ve

amino asitler.

Önceden hümk maddeler, özellikle canlı organizmalarla ilgili olarak inert bileşikler olarak kabul ediliyordu. Tartışılan ana konular, hümk maddelerin asit durumu, ışık absorpsiyonu ve düşük moleküler ağırlıklı H2S parçalarını serbest bırakan fotolitik reaksiyonlar gibi fiziksel ve kimyasal özellikleriydi. Hümk maddelerin toprak ve su canlıları üzerindeki etkisi,

son birkaç on yılda ilgi gördü. Hümik maddelerin mikroorganizmalar üzerindeki detoksifiye edici etkilerinin oldukça karmaşık olduğu bilinmektedir. Hümik maddeler, çözeltilerdeki serbest kirleticileri nötralize etmekle kalmaz (dolaylı biyoetkiler), aynı zamanda organizmaların koruyucu tepkisini de uyarabilir (doğrudan biyoetkiler). Bu etkiler, hümik maddeler ve mikroorganizmalar arasındaki çoklu karşılıklı ilişkilerden dolayı, toprak ve tortulardaki organik maddenin nemlenmesi de dahil olmak üzere ilgi konusudur.

Literatürde hümik maddelerin organizmalar üzerindeki dolaylı etkileri hakkında çok az makale vardır ve hümik maddelerin doğrudan etkileri hakkında daha da az makale vardır. Bununla birlikte, hümik maddelerin hem sucul hem de karasal ekosistemlerdeki rolü kapsamlıdır. Uzun vadede, çözünmüş hümik maddeler, tüm rezervuarların kimyasını belirleyebilir veya önemli ölçüde değiştirebilir ve kirleticileri doğal sudan uzaklaştırmak için kritik doğal maddeler olarak hareket edebilir. Orta vadede hümik maddeler, bir besin kaynağı olarak hareket edebilir ve organik ve inorganik kirleticilerin konsantrasyonunu ve toksisitesini hızla değiştirebilir. Kısa vadede hümik maddeler, çeşitli biyolojik etkiler üreten ve dolayısıyla su topluluklarını etkileyebilen doğal ksenobiyotikler gibi davranabilir; bu değişikliklerde yer alan farklı mekanizmalar da değerlendirilmektedir [7,8].

Hümik maddelerin mikroorganizmalar üzerinde hem toksik hem de uyarıcı etkiler ürettiği bilinmektedir. HS LD-50'nin değeri kilogram başına 0,536 g'dır [9], bu da hümik maddelerin yüksek konsantrasyonlu çözeltilerinin zararsızlığını doğrular. Öte yandan, H₂S içeriği daha yüksek olan topraklarda 300 ppm'e kadar mikrobiyal aktivite artar [9].

Bu gözden geçirme, hümik maddelerin ekosistemin bir parçası olarak doğasına, özelliklerine, dinamiklerine ve işlevlerine daha fazla ışık tutmak için su ortamındaki kirleticilerin detoksifikasyonu olan hümik maddelerin önemli işlevlerinden birini yöneten ana sinyal olaylarını açıklamaktadır. Hümik maddelerin doğrudan ve karmaşık doğrudan + dolaylı etkilerine özel önem verilir ve içsel ve dışsal redoks dönüşümleri dikkate alınır. Radyonüklitlerin ve kararlı metal tuzlarının çözeltilerinde hümik maddelerin koruyucu işlevine özel dikkat gösterilmektedir.

2. Hümik Maddelerin Canlı Organizmalar Üzerindeki Etkisi

Çok sayıda çalışma hümik maddelerin kök, yaprak ve sürgün büyümesini artırdığını ve ayrıca çeşitli mahsul türlerinin çimlenmesini teşvik ettiğini göstermiştir [10-14]. Bu olumlu etkiler hümik maddelerin çeşitli fizyolojik ve metabolik süreçlere dahil olmasıyla açıklanmaktadır [11,12,15]. Hümik maddelerin eklenmesi, besin alımını, [16] hücre geçirgenliğini [17] uyarır ve bitki büyümesini uyarma mekanizmalarını düzenler [11,14,18-21].

Hümik maddelerin doğrudan ve dolaylı etkilerini ayırt etmek kolay değildir [22]. Pozitif etkilerin bazıları, toprak verimliliğinin genel olarak iyileştirilmesine ve bitkilerde daha yüksek besin mevcudiyetine atfedilirken, diğer durumlarda hümik maddelerin, spesifik fizyolojik hedefler üzerinde doğrudan hareket ederek bitki gelişiminin metabolik ve sinyal yollarını olumlu yönde etkilediği görülmektedir [11,14]. Bu nedenle hümik maddelerin biyolojik aktivitesini ve işlevlerini yerine getirdikleri moleküler mekanizmaları anlamak, önemli bir ekolojik görev ve çevre sorunlarıyla yüzleşmede geçerli bir araçtır.

Hümik maddelerin çevredeki yararlı etkileri iki ana etkene atfedilmiştir:

su sistemleri üzerindeki tamamlayıcı etkiler [5,23]: (1) hümik maddeler etkileri, su çözeltilerinin özellikleri üzerindeki önceki etkilerinin bir sonucudur. Bu etkiler dolaylı etkiler olarak bilinir ve temel olarak hümik maddelerin topraktaki metallere kararlı doğal şelatlar veya kompleksler oluşturma yeteneğinden kaynaklanır [3]; ve (2) hümik maddelerin canlı organizmaların hücre zarları ile doğrudan etkileşiminden kaynaklanan hümik maddeler etkileri. İkincisi doğrudan etkiler olarak bilinir ve oksin, nitrik oksit, etilen, absisik asit, sitokinin ve reaktif oksijen türleri gibi ana bitki hormonları ve efektörleri tarafından düzenlenen karmaşık bir sinyal yolları ağı yoluyla canlı organizmaların büyümesini etkiler [21].

Hümik maddelerin canlı organizmalar üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerinin yoğunluğunu başka birkaç faktör de etkiler. Bu faktörler, içsel (yapı-konformasyon, boyut dağılımı vb. gibi hümik maddelerin içsel fizikokimyasal özellikleri ile ilgili) ve dışsal (mahsul yönetimi, abiyotik veya biyotik streslerin varlığı vb. ile ilgili) olarak sınıflandırılabilir [22, 24].

Trevisan ve ark. [25] hümik maddelerin bitki metabolizması üzerindeki etkilerini yöneten ana sinyal olaylarını analiz etti ve doğası, özellikleri, dinamikleri ve

hümik maddelerin toprak ve tarımsal ekosistemlerin bir parçası olarak işlevleri. Örneğin, çözülmüş organik maddenin fotokimyasal bozunması, ya doğrudan uçucu karbon türlerinin fotokimyasal üretimi yoluyla ya da ardışık fotokimyasal/biyolojik oksidasyon vb. yoluyla CO₂ üretimi yoluyla dolaylı olarak doğal sudaki karbon döngüsünde önemli bir rol oynayabilir [25].

Hümik maddelerin çevre üzerindeki etkisiyle ilişkili ana etkilere göre [2,25] 'e kadar Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Hümik maddeleri (HS) içeren çevresel sorunlar [25].

Konu	Humik Maddelerin Rolü
Karbon döngüsü	Major C havuzu, dönüşümler, taşıma ve biriktirme
Sulara ışık girişi	Hümik kromoforlar tarafından ışığın emilmesi ve zayıflatılması
toprak ısınması	Güneş radyasyonunun toprak humik maddesi tarafından emilmesi
Toprak ve su asitlenmesi	Toprakta ve suda proton, alüminyum ve baz katyonların bağlanması
besin kaynağı	Karbon, nitrojen, fosfor, kükürt ve klor deposu
Besin kontrolü	Demir ve fosfatın bağlanması
Mikrobiyal metabolizma	Mikroplar için substrat
ayırışma	Mineral çözünme hızının artırılması
Toprak oluşumu (podzolizasyon)	Çözülmüş hümik maddelerin ve ilgili metallerin (Al, Fe) translokasyonu
İnce tortuların özellikleri	Yüzeylerde adsorpsiyon ve koloidal özelliklerin değişmesi
toprak yapısı	Toprak mineralleri katları üzerinde agregasyon etkisi
fotokimya	İşığa dayalı reaksiyonların arabuluculuğu
Ağır metaller	Bağlanma, taşıma, biyoyararlanım üzerindeki etki, redoks reaksiyonları
Pestisitler, ksenobiyotikler	Bağlanma, taşıma, biyoyararlanım üzerindeki etki
radioaktif atık bertarafı	Yeraltı sularında radyonüklid iyonlarının bağlanması ve taşınması
Ekosistem tamponlama	Proton ve metal iyon konsantrasyonlarının kontrolü, kalıcılık
Doğrudan biyolojik etki	Canlı organizmalar ile alım ve doğrudan etkileşim

Hümik maddelerin ekosistemlerdeki dolaylı etkileri kapsamlı bir şekilde tartışılmıştır ve hümik maddelerin ağır metaller ve besin kontrolü dahil olmak üzere organizmalar üzerindeki dolaylı etkilerine ve ayrıca pestisitlerin ve diğer ksenobiyotiklerin toksisitesinin modülasyonuna odaklanılmıştır. Bununla birlikte, daha geniş anlamda, Tablo 1'de bahsedilen tüm hususlar (son madde hariç), hümik maddelerin canlı organizmalar üzerindeki çeşitli olası dolaylı etkilerini temsil eder.

Bitkilerde hümik maddelerin spesifik bir etki mekanizması Pflugmacher ve diğerleri tarafından gösterilmiştir. [26,27]. Çevreyle ilgili hümik madde konsantrasyonlarının, *Scenedesmus armatus* alglerinde, su yosunu *Vesicularia dubyana*'da ve hornwort *Ceratophyllum demersum*'da fotosentetik oksijen salınımının modülasyonunu indükleyebileceğini ortaya çıkardılar [7,26,27].

Daphnia magna'da hümik maddelerin sodyum metabolizması üzerindeki etkisi Glover ve ark. [28]. Suwannee Nehri doğal organik maddesinin ve ticari hümik maddelerin çevreyle ilgili seviyeleri, artan maksimum sodyum taşıma hızı ve alım afinitesi ile karakterize edilen sodyum akışını önemli ölçüde arttırdı. Sonraki çalışmada, yukarıda belirtilen iki tip HS karşılaştırılmış ve bir etki mekanizması önerilmiştir [29]. pH 4'te H₂S, düşük pH'ta hümik maddelerin gelişmiş zar bağlanmasına bağlı olarak değişen zar geçirgenliğine atfedilen doğrusal bir sodyum alım kinetik ilişkisini desteklemiştir. Buna karşılık, doğal bir organik madde, sodyum akışı üzerinde tutarlı bir etki göstermedi. Bu sonuçlar, sodyum metabolizması üzerindeki etkilerin belirli hümik maddeler türleri ile sınırlı olabileceğini düşündürmektedir [29].

Önceleri hümik maddelerin genel olarak biyoetkisiz olduğu kabul ediliyordu ve yalnızca metaller ve organik kirleticiler [30,31] için sorbent olarak kullanılıyordu, böylece

organizmalar. Bununla birlikte, bazı makaleler hümik maddelerin kimyasal ksenobiyotikler gibi davranabileceğini göstermiştir. Meinelt ve ark. [32], sentetik hümik maddelerin (HS1500) Xiphophorus helleri balığının fizyolojik durumunu ve cinsiyet oranını etkilediğini bulmuşlardır. Ek olarak, Hümik Maddelerin nematod *Caenorhabditis elegans* üzerindeki hormon benzeri etkisi [7,33]'te belirlenmiş ve amfipod ölümlerinin sayısındaki artış ve biyokimyasal parametrelerdeki değişiklikler de gösterilmiştir [34]. Sucul çözeltilerin toksisitesi, Kudryasheva [35,36] ve Vetrova ve ark. [37] bakteriyel biyoanaliz kullanarak, böylece hümik maddeler varlığında kinonların biyoetkileri hakkında bilgi sağlar.

3. Bakteriyel Biyoassay Yoluyla Hümik Maddelerin Antioksidan Özellikleri

Redoks işlemleri, solunum ve fotosentez gibi ana hayati metabolik döngülerin bir parçasıdır ve ortamdaki ekzojen redoks bileşiklerinin (kinonlar, fenoller ve çok değerli metallere) fazlalığı, redoks dengesini bozarak kirlleticilerin toksik etkisine neden olabilir. organizmalar üzerinde [38,39].

Organik oksitleyiciler olan kinonlar, su sistemleri ve sakinleri üzerinde zararlı etkisi olan semikinon radikalleri ve diğer reaktif oksijen türleri üretir. Doğada, kinonlar, en yaygın uç kirleticiden (metal tuzları ve petrol ürünlerinden sonra) biri olduğu bilinen bol miktarda hidrosillenmiş aromatik bileşik grubu olan fenollerin oksidatif transformasyonunun bir sonucu olarak üretilebilir. Fenoller, kimyasal geri kazanım, organik sentez ve ayrıca hidrolitik, selüloz ve keten endüstrilerinin atık sularında sık kullanılan bileşenlerdir [40-42]. Bir dizi fenolik madde de çeşitli toprak bakterileri tarafından sentezlenir ve hücre dışı olarak atılır ve bunlar mikrobiyal iletişimde moleküler sinyaller ve adaptojenler olarak kullanılır. Özellikle Fe(III) varlığında düşük pH'ta topraklarda ve akiferlerde redoks dönüşümlerine eğilimlidirler.

Şu anda, radyonüklidler dahil olmak üzere metal tuzları, çevre kirliliğinin önde gelen nedenlerinden biridir; bu nedenle özel ilgiyi hak ediyorlar. Tarasova ve ark. [43], inorganik kirleticilerin çözeltilerinin detoksifikasyon kalıpları, detoksifiye edici bir ajan olarak hümik maddeler kullanılarak araştırıldı. Kompleks tuz $K_3(Fe(CN)_6)$, sulu çözeltideki kararlılığı (koordine olmayan demirin aksine) ve monoelektronik oksidasyon Fe^{3+}/Fe^{2+} geçişinden dolayı model oksitleyici olarak seçilmiştir [44].

Doğada, redoks Fe dönüşümü süreci, kimyasal engelleri aşmak için yeterli enerji gerektirir ve dönüşümün etkinliği, çevresel koşullar altında sıcaklık, basınç, pH ve Fe konsantrasyonlarına bağlıdır. H_2S , Fe atomlarını birbirinden etkili bir mesafede tutan Fe(II)-HA kompleksini oluşturmak için demirli demiri şelatlayabilir.

Hümik maddelerin oksidan çözeltilerdeki detoksifiye edici özellikleri genellikle indirgeme yetenekleriyle açıklanır [45,46]: oksidanların indirgenmesinden fenolik, SH- ve diğer hümik maddeler makromolekül grupları sorumludur. Birikmiş kanıtlar, hümik maddelerin ve özellikle bunların kinoid fragmanlarının, kirleticilerin biyolojik bozunmasında yer alan mikrobiyal redoks reaksiyonlarında elektron taşıyıcıları olarak önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir [3].

Hümik maddelerin detoksifiye etme yeteneği, Tarasova ve diğerleri tarafından yayınlanan makalelerde tartışılmıştır. [43,47,48]. HS detoksifikasyon mekanizmasının karmaşık olduğu ve şunları içerdiği gösterilmiştir: (1) ilgili oksitleyicilerin bağlanması ve indirgenmesi ile çözeltilerdeki kimyasal ve fizyokimyasal işlemler; ve (2) endojen biyokimyasal reaksiyonların hızındaki artışa bağlı olarak organizmaların koruyucu tepkilerinin yoğunlaştırılması ve ayrıca hücre duvarlarının dışındaki mukus tabakalarının stabilizasyonu ve arttırılması.

Tüm klasik biyolojik testlerin ana özelliği, bütünsel yanıtıdır; bu, çözeltilerdeki tüm toksik bileşiklerin etkisinin karmaşık olduğu ve belirli fizyolojik işlevlerde değişikliklere yol açtığı anlamına gelir. Bu bağlamda, sadece biyolojik analizler kullanılarak toksik etkinin nedeninin (yani toksik bileşiklerin türü ve konsantrasyonu) belirlenmesi mümkün değildir. Biyolojik testlerin bir başka özelliği de çok sayıda çevresel kirleticisi ve doğal bileşenin etkilerinin toplanmamasıdır. Bu özellik, karmaşık çevresel çözeltilerdeki bileşiklerin toplamının birleşik toksik etkisinin olabileceği anlamına gelir.

bu bileşiklerin bireysel etkilerinin toplamından daha büyük veya daha az. Bu, karmaşık bir matrisin toksisitesini yalnızca kimyasal veri analizine dayalı olarak değerlendirmeyi imkansız kılar. Sonuç olarak, çevre araştırmalarına yönelik mevcut yaklaşım, kimyasal ve biyolojik yöntemlerin bir kombinasyonunu gerektirmektedir. Ek olarak, kimyasal test sistemlerinin başlangıçta belirli standart çevresel koşullar altında standart bir biyolojik sistem kullanılarak kalibre edildiğine her zaman dikkat edilmelidir.

Biyolojik tahlillerin farklı organizmalara dayalı farklı duyarlılığı, organizmaların fizyolojik, hücresel ve biyokimyasal özellikleri tarafından belirlenir; bu, çevresel araştırma sürecinde her zaman dikkate alınmalıdır. Çevresel izleme için geliştirilen kimyasal ve biyolojik yöntemlerin kombinasyonunun, kirleticilere karşı hassasiyetlerinde farklılık gösteren bir dizi biyolojik analiz içermesi gerektiği varsayılmaktadır [49-51]. Bununla birlikte, biyolojik testlerin hassasiyeti öncelikle tek tek maddeler ve bunların birbirleriyle kombinasyonları için değerlendirilmelidir [52].

Deniz bakterilerinin biyoluminesansı toksik bileşiklere karşı hassastır; bu nedenle deniz bakterileri, çevresel toksite değerlendirmesinde bir biyoanaliz olarak birkaç on yıldır yaygın olarak kullanılmaktadır [51-56].

Parlak deniz bakterilerini içeren biyoanaliz sistemleri, bioluminesans fenomeninin biyoteknolojik uygulaması için önemlidir [54-58]. Buradaki fizyolojik parametre, enstrümantal olarak kolayca ölçülebilen lüminesans yoğunluğudur. Bioluminesans yoğunluğunun bastırılması, su çözeltisinin toksisitesini değerlendirir. Bakteriyel bioluminesans deneyleri, çeşitli karmaşıklıkta biyolojik sistemlere dayanabilir ve sırasıyla bakteri hücreleri ve enzimler üzerindeki toksik bileşiklerin etkisini incelemek için kullanılan bakteri veya enzimleri içerebilir [54,59-63]. Hem bakteriyel hem de enzimatik deneyler, karbon ve Fe içeren nanopartiküllerin (fulleren türevleri ve manyetik bazlı kompozitler) [64-66] toksisitesinin yanı sıra antioksidan ve pro-oksidan aktivitesini izlemek için başarıyla kullanılmıştır. Bir çalışma [67], sırasıyla yapay ve doğal kaynaklı makro yapılar olarak fullerenollerin ve hümkik maddelerin antioksidan yeteneklerini karşılaştırdı. Her iki antioksidan da düşük konsantrasyonda detoksifiye edici etkiler gösterdi, ancak fullerenolün detoksifikasyon etkinliği daha yüksekti. Hümkik maddeler, muhtemelen hümkik maddeler makromoleküllerinin çözeltilerindeki difüzyon kısıtlamaları nedeniyle, orta derecede detoksifikasyon yeteneği ve bunun zamana bağlı olduğunu gösterdi.

Biyoluminesan bakterilere dayalı bir biyolojik testin ilk tanımı, 1969'da, Grabert ve Kossler tarafından bildirildiği üzere Kossler'in çalışmasında ortaya çıktı [68]. 1980'lerin sonlarında, test Almanya'da kirleticileri saptamak için bir yöntem olarak standardize edildi ve daha sonra belirli araştırmalar için uyarlandı [47,51-66].

Önceki derlemeler [33,34], eksojen bileşiklerin enzimatik reaksiyonların bakteriyel bioluminesans sistemi üzerindeki etkilerinin sınıflandırılmasını önermiştir. Eksojen bileşiklerin etkilerinin sınıflandırılması aşağıdaki mekanizmaları göz önünde bulundurur: (1) eksojen bileşiklerin, eksojen alıcı moleküllere moleküller arası enerji transferinin bir sonucu olarak bioluminesans yayıcının elektronik olarak uyarılmış hallerinin popülasyonu üzerindeki etkisi; (2) ağır halojen atomlarının mevcudiyetinde molekül içi tekli-üçlü enerji göçünün etkinliğindeki değişiklik; (3) endojen indirgeyicinin (NADH) oksidasyon sürecindeki rekabete bağlı olarak eşleştirilmiş reaksiyon oranlarındaki değişiklik, yani hidrojen transferi işlemi ($H = e + H^+$); (4) enzimlerle etkileşim ve aktivitelerindeki değişiklikler; ve (5) eksojen donörlerin ve elektron alıcılarının bioluminesan sistemdeki elektronik yoğunluk dağılımı üzerindeki spesifik olmayan etkisi.

Mekanizma 1 ve 2 şartlı olarak "fiziksel", 3 ve 4 "biyokimyasal" ve 5 "bütünsel fizyokimyasal" olarak sınıflandırılabilir. Lüminesan bakteri ve enzimatik sistemler, hümkik maddelerin [43,47,48], yani toprak ve dip tortularındaki organik maddelerin doğal dönüşümünün ürünleri olan detoksifiye edici özelliklerini incelemek için kullanıldı. Hümkik maddelerin metal tuzlarının ve organik oksidantların toksik etkilerini azaltabileceği ve ayrıca belirli koşullar altında artırabileceği çeşitli makalelerde [43,47,48] gösterilmiştir. Hümkik maddelerin çevredeki toksik maddeleri bağlayarak ve nötralize ederek içeriğini azaltmakla kalmayıp aynı zamanda metabolik süreçlere müdahale ederek endojen metabolizmayı hızlandırdığı kanıtlanmıştır.

Hümitik maddelerin mikroorganizmalar üzerindeki "dolaylı" ve "doğrudan" etkilerini gösteren biyolüminesan sistemdeki reaksiyonlar . Bu çalışmalar , en basit biyotahlil sistemindeki fiziko-kimyasal özelliklerine ve birincil fiziko-kimyasal süreçlerine odaklanan eksojen bileşiklerin varyasyonuna dayanan bir yaklaşım kullandı . Bu yaklaşım, sabit bir detoksifiye edici ajan önermektedir; Bununla birlikte, daha ileri çalışmaların hümitik maddeler preparatlarını farklı özelliklere sahip olacak şekilde değiştirebileceği düşünülmektedir. Birkaç çalışma [43,47,48] hümitik maddeler kaynağı olarak Gumat -80 preparatını ("Gumat", Irkutsk, Rusya) kullanmıştır. Kömürün alkali ile ekstraksiyon yapılmadan işlenmesiyle üretilir . Preparatın özellikleri şunlardır: hümitik asitler %85, çözünür potasyum-%9, demir-%1, su-%5, %1 su çözeltisinde pH 8-9.

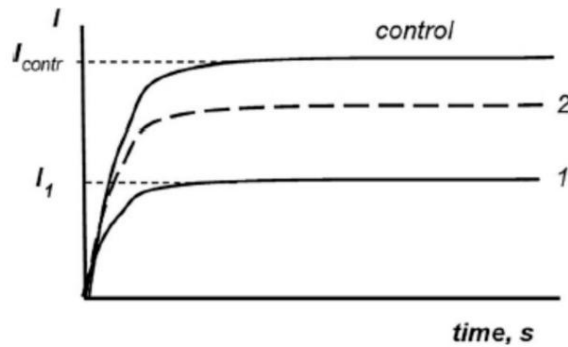
Radyoaktif solüsyonlarda hümitik maddelerin detoksifikasyon etkisinin en önemli örneği [68] 'de sunulmuştur . Rusya Biyofizik Enstitüsü SB RAS'ın Koleksiyonundan (CCIBSO 836) ışıklı bakteri P. phosphorum 1883 IBSO, biyoanaliz olarak kullanıldı; antropojenik radyonüklid Am-241 çözeltileri detoksifiye edildi. 1.1 M NaNO₃ (pH 7.0) içinde 10⁻¹⁰ M konsantrasyon ve 3,0 Bq· L aktiviteye sahip Am(NO₃)₃ çözeltileri iyonlaştırıcı radyasyon kaynağı olarak uygulandı. Çözeltilerin radyoaktivitesi, gama spektrometresi ve sıvı sintilasyon spektrometresi kullanılarak ölçüldü . "RadSpectraDec" İkinci durumda ("Radon", Moskova, Rusya Federasyonu) program paketi uygulanmıştır. Gumat-80 preparasyonu H₂S kaynağı olarak kullanıldı. Deneyler için biyolüminesans yoğunluğunu ⁻¹ , değiştirmeyen 0.25 g· L hümitik madde konsantrasyonu seçildi. Am-241'in bakteriler üzerindeki etkisini değerlendirmek için, şu şekilde hesapladığım bağıl biyolüminesans yoğunluğu: rel oldu

$$I_{rel} = \frac{I_{ben}}{I_{simge}} \quad (1)$$

burada, I₁ , bir radyoaktif solüsyonda bakteriyel biyolüminesans yoğunluğudur; I_{contr} , bir kontrol (radyoaktif olmayan) solüsyondaki bakteriyel biyolüminesans yoğunluğudur.

ben değerleri I_{rel} Am-241'e maruz kalma süresine karşı çizildi. I_{HS}, onların yokluğunda ilgili varlığındakiyle karşılaştırıldı.

Şekil 1 , biyolüminesans yoğunluğunun kontrol (radyoaktif olmayan) ve radyoaktif çözeltilerdeki maruz kalma süresine şematik bağımlılığını göstermektedir . Görülebileceği gibi, radyasyona maruz kalma bakteriyel parlamasını bastırdı (Eğri 1) ve hümitik maddelerin varlığı , kinetik eğriyi kontrole yaklaştırarak (Eğri 2) bastırmayı hafifletti.



Şekil 1. Toksikite ölçümlerinin ilkesi: Toksik bileşik (1) varlığında ve toksik bileşik + detoksifiye edici ajan, H₂S (2) içeren bir çözeltide bir kontrol örneğinde (kontrol) biyolüminesans yoğunluğunun (I) zamana bağıllığı .

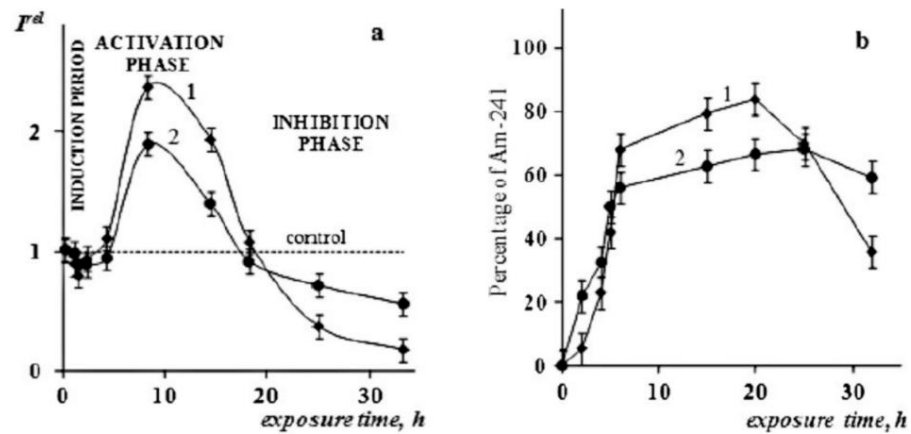
Toksik ve radyotoksik metal iyonlarının, örneğin aktinidlerin migrasyon davranışı, hümitik maddelerden etkilenebilen oksidasyon durumlarına güçlü bir şekilde bağlıdır [69]. Ortamdaki aktinidlerin hareketliliği üzerindeki hümitik maddelerin etkisinin ayrıntılı bir açıklaması , hümitik maddelerin aktinidlerin oksidasyon durumları üzerindeki etkilerinin yanı sıra hümitik maddeler tarafından aktinid iyon kompleksi oluşumu hakkında bilgi sahibi olmayı gerektirir.

Örneğin, Bio-Rex70 hümitik maddelerdeki metal kompleksleşme bölgelerinin doğasını incelemek için bir referans madde olarak kullanılmıştır . Bio-Rex70, H₂S'nin aksine fenolik OH grupları içermeyen, yalnızca bağlanma yeteneğine sahip karboksil grupları içeren bir katyon değişim reçinesidir.

metal iyonları. Bu nedenle, Bio-Rex70 üzerindeki Th(IV), Np(IV) ve Np(V) sorbatları, aktinid iyonlarının karboksil grupları ile etkileşimi için yapısal parametreleri belirlemek üzere incelenmiştir [70]. Np(V) durumunda, H₂S fenolik/asidik OH gruplarının Np(V) ve H₂S arasındaki etkileşim üzerindeki etkisi, pH 7'de, modifiye edilmemiş hümik maddelere ek olarak bloke edilmiş fenolik/asidik OH gruplarıyla modifiye edilmiş hümik asit uygulanarak incelenmiştir. .

Hümik asitlerin redoks özelliklerini ve aktinid hümik komplekslerinin redoks stabilitesini ayrıntılı olarak incelemek için, Choppin [71] belirgin redoks fonksiyonelliklerine sahip model sentetik hümik asitler geliştirmiştir. .

Şekil 2a, hümik maddelerin yokluğunda (Eğri 1) ve varlığında (Eğri 2) bağlı biyoluminesans yoğunluğu (I_{rel}) ile Am-241'e maruz kalma süresi arasındaki ilişkiyi gösterir [72]. Am-241'in her iki sistemde de maruziyetin ilk 4 saati boyunca biyoluminesansın yoğunluğunu etkilemediği görülebilir (Eğri 1 ve 2, Şekil 2a). Ancak, daha fazla maruz kalma (20 saate kadar) biyoluminesansın aktivasyonuna yol açtı (I > 1). < 1) 'e daha uzun süre maruz kalma .^{rel} Radyonüklid ile ilgili olarak (>20 h), biyoluminesansın inhibisyonuyla sonuçlandı (I



Şekil 2. Am-241'in parlak bakteriler üzerindeki kronik etkileri: (a) göreceli biyoluminesans yoğunluğu (I_{rel}) - maruz kalma süresi, (b) hücresel fraksiyonda Am-241 birikimi. 1—HS 2—HS'nin varlığı. Am-241 solüsyonunun aktivitesi 3 kBq · L⁻¹ idi .⁻¹ yokluğu, (C = 10⁻¹⁰ M) ve H₂S konsantrasyonu 0,25 g · L⁻¹ idi [69].

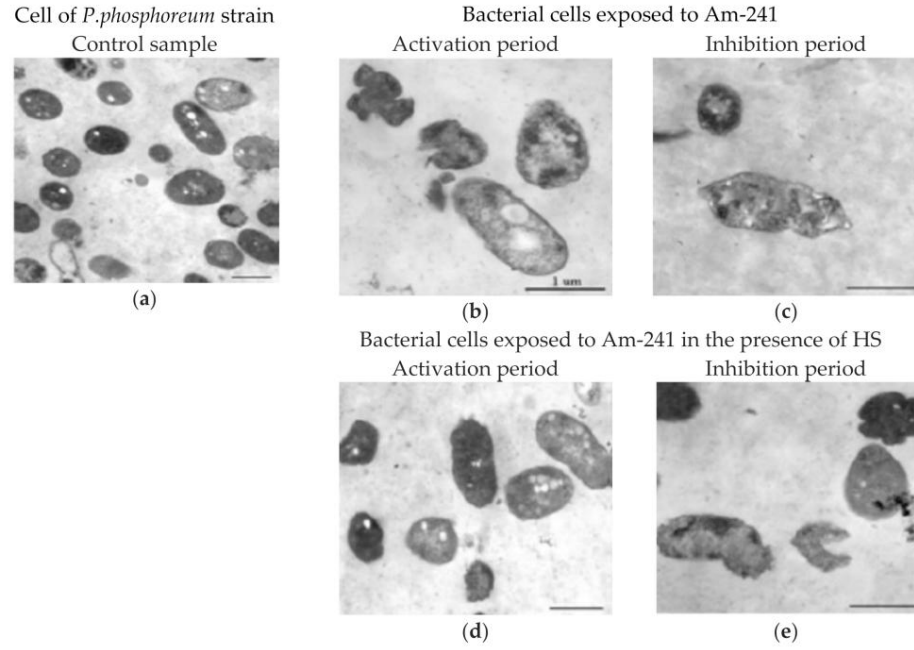
Bu nedenle, Şekil 2a, hümik maddelerin aktivasyon periyodu sırasında biyoluminesansın yoğunluğunu azalttığını ve inhibisyon periyodu boyunca arttırdığını, böylece kontrol (radyoaktif olmayan) ve radyoaktif numuneler arasındaki farkı azalttığını göstermektedir. Hümik maddelerin Am-241 radyoaktivitesinin etkilerini azalttığı (hafiflettiği) sonucuna varılmıştır. . Şekil 2b, bakteriyel süspansiyonda hümik maddelerin varlığının, gözlemin son zaman periyodu hariç, bakteriyel hücrelerde Am-241 birikimini azalttığını göstermektedir. İkinci etki, Am-241'in [69] radyoaktivitesi ile bakteri hücrelerinin yok edilmesi olarak açıklanmıştır. Yazarlar bu deneysel sonuçları, radyonüklidin H₂S ile bir kompleks halinde bağlanmasına ve H₂S'nin su süspansiyonlarındaki "maskeleyen etkisine", yani H₂S'nin mikroorganizma üzerindeki dolaylı etkisine bağladılar. Sonuçlar , alfa yayan radyonüklid Am-241'in radyoaktif solüsyonlarında hümik maddelerin detoksifiye edici özelliklerini göstermektedir.

Am-241'in doğa benzeri ortamlardaki gerçek gerçekliğine dikkat edilmesi gerekiyor. Bu radyonüklid, radyoaktif silah plütonyumunun bozunmasının bir yan ürünüdür ve uzun ömrü (432,6 yıl) ile karakterize edilir; şu anda çevrede birikmekte ve gelecek nesiller için gerçek bir çevre sorunu olmayı vaat etmektedir.

Am-241 ile bakteriyel süspansiyonda hümik maddelerin "maskeleyen etkisine" dair kanıt aramak için elektron mikroskobu kullanılmıştır. Görüntüler , kontrol hücrelerini (Şekil 3a) ve HS'nin yokluğunda ve varlığında inhibisyon ve aktivasyon aşamasında radyonüklid ile sabitlenmiş bakteri hücrelerini gösteren Şekil 3'te gösterilmiştir (Şekil 3b-e).

Kontrol numunesi hücreleri, düzgün bir hücre zarfı ile düzenli bir oval şekle sahipti ve küçük elektron geçirgen fragmanlar içeriyordu. Kontrol hücresi şekli sırasında değişmedi

tüm deney. Am-241'e kronik maruz kalma durumunda , hücrelerin görünür ince yapısı, aktivasyon (Şekil 3b) ve inhibisyon süresi (Şekil 3c) sırasında hasar gösterdi. Örneklerin ultra ince kesitlerinde çok sayıda pleomorfik hücre ve yarı hücre gözlemlendi . Aktivasyon (Şekil 3b) ve inhibisyon (Şekil 3c) dönemlerinde bakteri ince yapısında bazı farklılıklar vardı. Aktivasyon döneminde birçok normal hücre vardı , ancak inhibisyon döneminde tüm hücreler hasar gördü.



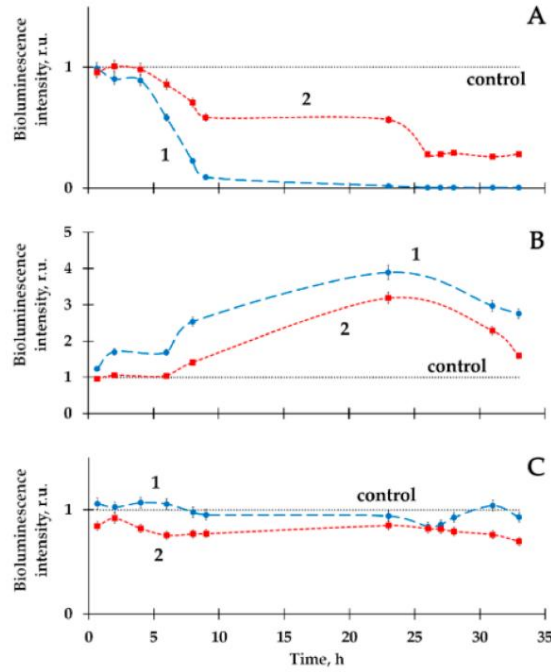
Şekil 3. HS'nin yokluğunda (b,c) ve (d,e) varlığında Am-241'e maruz bırakılan *Photobacterium phosphorum*'un ince yapısı: (a) kontrol numuneleri, (b,d) aktivasyon süresi, (c,e) inhibisyon süresi. Am-241 çözümüün etkinliği 10^{-13} M (10⁻¹³ M). HS konsantrasyonu $0,25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ [69].

Şekil 3d,e, hümitik maddelerin varlığında Am-241 çözeltilerindeki hücresel değişiklikleri göstermektedir. Hasarlı hücreler de mevcuttu. Ancak, aktivasyon döneminde daha az hasar görmüş hücreler vardı. İnhibisyon periyodu, HS'siz sistemin aksine (Şekil 3b,c) bozulmamış hücrelerin varlığını gösterdi (Şekil 3d,e).

Hümitik maddeler varlığında hücrelerin daha az zarar görmesi (Şekil 4), muhtemelen büyük bir H₂S ve Am kompleksinin sterik etkisinden dolayı , hücre fraksiyonunda (Şekil 3b) Am-241 birikimindeki azalma ile de ilişkilendirilebilir. -241 iyon.

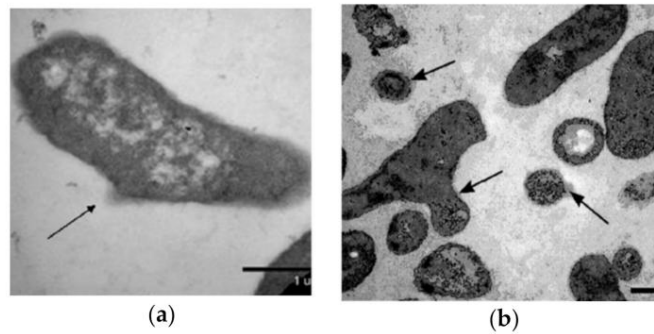
[72]'de , beta yayan radyonüklid trityum ve H₂S'nin parlak bakteriler üzerindeki birleşik etkileri incelenmiştir. Trityum seçimi, çevresel yaygınlığı ile gerekçelendirildi; nükleer endüstrideki en yaygın bozunma ürünlerinden biridir. Trityum, deniz bakterilerinin ve enzimlerinin biyoluminesansını aktive edebilir veya inhibe edebilir [61,73,74]. Trityumun bakteri süspansiyonları üzerindeki etkileri Şekil 4 a-c, Eğri 1'de sunulmaktadır. Hümitik maddelerin, Am-241'inkine benzer şekilde trityumun inhibisyon ve aktivasyon etkilerini azalttığı gösterilmiştir (Şekil 4 a,b) . HS , trityum etkisinin yokluğunda biyoluminesans yoğunluğunu değiştirmede (Şekil 4c). [72]'de radyoaktif bakteri süspansiyonlarında biyoluminesans yoğunluğu ile reaktif oksijen türlerinin (ROS) içeriği arasındaki korelasyonlar bulundu, dolayısıyla ROS'un detoksifikasyon süreçlerine dahil olduğu kanıtlandı.

H₂S'nin bakteri hücreleri üzerindeki etkisini incelemek için elektron mikroskobu da kullanılmıştır. radyoaktif olmayan toksik bileşiklerin çözeltileri [47,48,75].



Şekil 4. H₂S'nin yokluğunda (1) ve varlığında (2) tritiye suda bakteriyel biyoluminesans kinetiği . Spesifik radyoaktivite: (A) 2 MBq· L⁻¹ 10³g⁻¹; (B) 50 MBq· L⁻¹ ; (C) 200 MBq· L⁻¹ . Hüyük madde konsantrasyonu—⁻¹ [72].

Şekil 5 , iki model toksik bileşiğin çözeltileri için mikroskopik görüntüleri göstermektedir: CrCl₃ ve tetrafloro-1,4-benzokinon [47,48]. Hüyük maddelerin varlığında hücre zarlarında spesifik değişikliklerin ortaya çıktığı bulundu. Çoğu hücrede, hücre duvarlarının dışında ortalama elektron yoğunluğuna sahip amorf bir madde mevcuttu (bkz. Şekil 5'teki oklar). HS makromolekülleri tarafından sabitlenmiş bir mukus tabakasının kalıntılarını temsil ediyor gibi görünüyü. Hüyük maddeler içermeyen toksik çözeltilerde veya toksik madde içermeyen hüyük maddeler içeren çözeltilerde mukoza kapsülü kalıntılarının gözlenmemesi önemlidir . Mukoza kapsüllerinin bakterileri antimikrobiyal ajanlardan koruduğu bilinmektedir [76] . Neredeyse her zaman doğada büyüyen hücrelerin yüzeyinde bulunurlar (laboratuvar kültürlerinin aksine). Elektron mikroskobu prosedürü için numuneler hazırlanırken , mukus tabakaları genellikle kısmen yıka



Şekil 5. (a) CrCl₃+ + HS [42] ve (b) tetrafloro-1,4-benzokinon + HS'den etkilenen *P. phosphorum* toplu kültürünün ince yapısı. Oklar, mukoza kapsüllerinin parçalarını gösterir. Çubuk = 1 µ m [59].

Bakterilerin [50] toksik bileşiklerin (CrCl₃ veya benzokinon) olumsuz etkisine bir yanıt olarak hücre dışı matrisin sentezini yoğunlaştırdığı düşünülmüştür. Büyük olasılıkla, HS makromolekülleri mukus kapsülünü geliştirir ve stabilize eder, böylece hücrelerin koruyucu tepkisini yoğunlaştırır. Bu sonuçlar hüyük maddelerin doğrudan ve muhtemelen karmaşık +dolaylı etkilerini göstermektedir.

4. Sonuçlar

Hümik maddeler (H2S), ölü organik maddenin ayrışmasının her yerde bulunan doğal ürünleridir. Uzun bir süre boyunca hümik maddelerin ekosistemlerde genellikle inert olduğu kabul edilmiştir. Bu nedenle hümik maddelerin ekotoksikolojik yönleri esas olarak ağır metalleri ve çeşitli organik ksenobiyotikleri bağlama yetenekleriyle bağlantılı olarak tartışılmıştır ve sonuç olarak biyoyararlanımları ve toksisiteleri modüle edilmiştir. Organizmalar üzerindeki bu tür etkilere dolaylı etkiler denir [77]

Hümik maddeler-organizma etkileşimlerini belirlemek için, abiyotik stresten korunma üzerinde en yüksek etkiye sahip olan fonksiyonel mekanizmaların anlaşılmasına öncelik verilmelidir. Hümik maddeler, biyokimyasal bileşenlerle etkileşime girer ve sinyal yollarını etkiler, antropojenik kirleticilerin toksik etkisini içeren çeşitli stres türleri sırasında mikroorganizmaların içinde dinamik sinyal karışmasını ortaya çıkarır [78,79].

Hümik maddeler, doğal detoksifiye edici maddeler olarak işlev görür ve radyonüklidler dahil olmak üzere antropojenik kirleticilerin biyolojik etkilerini azaltabilir. Aydınlık bakterisi bazlı biyoanaliz, doğal ekosistemlerde meydana gelen süreçleri izlemek için en umut verici biyoanaliz sistemi olduğunu öneriyoruz. Hümik maddelerin, alfa yayan radyonüklid Am-241 ve beta yayan radyonüklid trityumun parlak bakteriler üzerindeki etkilerini azaltma yeteneği bu derlemede analiz edilmiştir. Radyonüklidlerin hümik maddelerin varlığında ve yokluğunda bakteri hücreleri üzerindeki etkilerinin toksikolojik biyoluminesans izlemesi ve mikroskopik çalışmaları tartışılmıştır. Hümik maddelerin radyonüklidlere maruz kalan suda yaşayan mikroorganizmalar için koruyucu bir kalkan görevi gördüğü gösterilmiştir.

Radyonüklidlerin seçimi, gelecek on yıllar ve yüzyıllarda çevre üzerindeki etkilerinin potansiyel riskleri ile gereklendirildi. Am-241, uzun bozunma ömrü (432,6 yıl) ile karakterize edilen silah plütonyumunun radyoaktif bozunmasının bir yan ürünüdür ve şu anda çevrede birikmektedir. Trityum, birçok radyokimyasal işlemin bir ürünüdür ve nükleer endüstrideki en yaygın bozunma ürünlerinden biridir; nükleer santrallerin çevresinde ve nükleer olaylardan sonra birikir.

Hümik maddelerin organik ve inorganik çözeltilerdeki mikroorganizmaları koruma yeteneği kirleticiler de kanıtlanmıştır.

Hücrelerde NADH'ye bağlı enzimatik süreçlerin oranındaki artış ve hücre zarlarındaki toksik çözeltilerde Hümik Maddeler tarafından sabitlenen mukus tabakalarının sentezi gibi hümik maddelerin bakteriler üzerindeki doğrudan etkilerine dair kanıtlar sunuldu. Bu nedenle, hümik maddelerin toksik çözeltilerdeki doğrudan biyolojik etkileri, koruyucu bakteriyel tepkilerin uyarılması için temel oluşturabilir. Böylece antropojenik kirleticilerin H2S ile detoksifikasyon süreci değerlendirilmiş ve tartışılmıştır.

Yazar Katkıları: Kavramsallaştırma, LB ve NK; metodoloji, LB; doğrulama, NK; resmi analiz LB; soruşturma, NK; kaynaklar, LB, NK; veri iyileştirme, NK; yazma—orijinal taslak hazırlama, LB; yazma—inceleme ve düzenleme, NK; görselleştirme, LB ve NK; gözetim, NK; proje yönetimi, LB; finansman edinimi, LB Tüm yazarlar makalenin yayınlanmış sürümünü okumuş ve kabul etmiştir.

Finansman: Bu araştırma herhangi bir dış finansman almamıştır.

Kurumsal İnceleme Kurulu Beyanı: Uygulanamaz.

Hasta Onamı Beyanı: Uygulanamaz.

Veri Kullanılabilirlik Beyanı: Veri paylaşımı geçerli değil.

Teşekkür: Bu inceleme, Tüketici Haklarının Korunması ve İnsan Refahı Federal Teftiş Servisi Programının (Rusya Federasyonu) 2020–2025 kısmi mali desteği ile hazırlanmıştır.

Çıkar Çatışmaları: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemektedir.

Referanslar

1. Orlov, DS Toprak Hümik Asitleri ve Genel Nemlendirme Teorisi; Moskova Devlet Üniversitesi: Moskova, Rusya, 1990; p. 364. (içinde Rusça)
2. Weber, JH Hümik malzemelerle metallerin bağlanması ve taşınması. Hümik Maddeler ve Çevredeki Roller Konusunda; Frimmel, FH, Christman, RF, Ed.; J. Wiley & Sons Ltd: Londra, BK, 1988; sayfa 165-178.
3. Perminova, IV; Hatfield, K. Hümik maddelerin iyileştirme kimyası: Teori ve teknoloji için çıkarımlar. Kirlenmiş Ortamların İyileştirilmesinde Humik Maddelerin Kullanımında: Teoriden Pratiğe; Perminova, IV, Ed.; Springer: Amsterdam, Hollanda, 2005; sayfa 3-36.
4. Bezuglova, OS; Shestopalov, AV Ağır Metallerle Kirlenmiş Toprakların Detoksifikasyonunda Humatların Kullanımı. Kirlenmiş Ortamların İyileştirilmesinde Humik Maddelerin Kullanımında : Teoriden Pratiğe; Perminova, IV, Ed.; Springer: Amsterdam, Hollanda, 2005; s. 185-200.
5. Stevenson, FJ Humus Kimyası. Genesis, Bileşim, Reaksiyonlar, 2. baskı; Wiley: New York, NY, ABD, 1994.
6. Levinsky, B. Humate Hakkında Her Şey, 4. baskı; Korf-Poligraf: Irkutsk, Rusya, 2003. (Rusya'da)
7. Steinberg, Tatlı Sularda Hümik Maddelerin CEW Ekolojisi; Springer: Berlin/Heidelberg, Almanya, 2003; p. 563.
8. Weber., J. Hümik Maddeler ve Çevredeki Roller. EC Tarım. 2020, 1, 3-8.
9. Lotosh, TD Turbadan Hümik Asit müstahzarlarının tıpta ve tarımda kullanımına yönelik deneysel temeller ve beklentiler üretme. Nauchnye Doki Vyss Shkoly Biol. Bilim. 1991, 1, 99-103. (Rusya'da)
10. Piccolo, A.; Celano, G.; Pietramellara, G. Kömürden türetilen hümik maddelerin fraksiyonlarının tohumların çimlenmesi ve büyümesi üzerindeki etkileri fideler (Lactuca sativa ve Lycopersicon esculentum). Biol. Verimli Toprak 1993, 16, 11-15. [\[ÇaprazRef\]](#)
11. Fedotov, GN; Şoba, SA; Fedotova, MF; Demin, VV Humik Maddelerin Biyolojik Aktivitesinin Muhtemel Doğası Üzerine. Avrasya Toprak Bilimi. 2018, 51, 1034-1041. [\[ÇaprazRef\]](#)
12. Nardi, S.; Pizzeghello, D.; Muscolo, A.; Vianello, A. Humik maddelerin yüksek bitkiler üzerindeki fizyolojik etkileri. Toprak Biol. biyokimya 2002, 34, 1527-1536. [\[ÇaprazRef\]](#)
13. Lee, YS; Bartlett, RJ Hümik maddelerle bitki büyümesinin uyarılması. Toprak Bilimi Sos. Am. J. 1976, 40, 876-879. [\[ÇaprazRef\]](#)
14. Quaggiotti, S.; Ruperti, B.; Pizzeghello, D.; Francioso, O.; Tugnoli, V.; Nardi, S. Düşük moleküler boyutlu hümik maddelerin, mısırdaki (Zea mays L.) nitrat taşınması ve indirgenmesinde yer alan genlerin ekspresyonu üzerindeki etkisi. J. Uzm. Bot 2004, 55, 803-813. [\[ÇaprazRef\]](#)
15. Muskolo, A.; Bovalo, F.; Gionfriddo, F.; Nardi, S. Solucan hümik maddesi, Daucus karota hücre büyümesi ve nitrat metabolizması üzerinde oksin benzeri etkiler üretir . Toprak Biol. biyokimya 1999, 3, 1303-1311. [\[ÇaprazRef\]](#)
16. Dell'Agnola, G.; Nardi, S. Hormon benzeri etki ve depolikondense hümik fraksiyonların neden olduğu gelişmiş nitrat alımı Allobophora rosea ve A. caliginosa dışkısından elde edilmiştir. Biol. Verimli Topraklar 1987, 4, 115-118.
17. Vaughan, D.; Ord, BG 14C-işaretli toprak organik maddesinin Pisum sativum LJ Exp. Bot 1981, 32, 679-687. [\[ÇaprazRef\]](#)
18. Canellas, LP; Olivares, FL; Okorokova-Façanha, AL; Façanha, AR Solucan kompostundan izole edilen hümik asitler , mısır köklerinde kök uzamasını, yanıl kök çıkışı ve plazma zarı H⁺ -ATPase aktivitesini artırır. Bitki Fizyol. 2002, 130, 1951-1957. [\[ÇaprazRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
19. Canellas, LP; Teixeira, LRL, Jr.; Dobbss, LB; Silva, CA; Medici, LO; Zondonadi, DB; Feat, AR Hümik asitler çaprazlayıcı kök ve organik asitlerle eylemler. Ann. Uygulama Biol. 2008, 153, 157-166.
20. Alkış, CE; Chen, Y.; Hayes, MHB; Cheng, HH Hümik maddelerin bitki büyümesini teşvik edici aktivitesi. Toprak, Sediman ve Sulardaki Organik Maddeyi Anlama ve Yönetmede; Swift, RS, Sparks, KM, Eds.; Uluslararası Hümik Bilim Derneği: St. Paul, MN, ABD, 2001; pp. 243-555.
21. Dobbss, LB; Medici, LO; Peres, LEP; Pino-Nunes, LE; Rumjaneck, VM; Façanha, AR; Canellas, LP Kökteki değişiklikler oksidollerden organik madde tarafından teşvik edilen Arabidopsis'in gelişimi. Ann. Uygulama Biol. 2007, 151, 199-211. [\[ÇaprazRef\]](#)
22. O'Connor, NE; Emerson, MK; Crowe, TP; Donohue, I. Yırtıcı hayvanların doğrudan ve dolaylı etkilerini ayırt etmek karmaşık ekosistemler. J. Animasyon ekol. 2013, 82, 438-448. [\[ÇaprazRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
23. Mora, V.; Olaetxea, M.; Bacaicoa, E.; Baigorri, R.; Fuentes, M.; Zamarreno, AM; García-Mina, JM Bitkilerde abiyotik stres toleransı: Nitrik oksit ve hümik maddelerin rolünü keşfetmek. Bitkilerde Nitrik Oksit: Metabolizma ve Stres Fizyolojisindeki Rolü; Khan, NM, Mobin, M., Firoz, M., Corpas, FJ, Eds.; Springer: Berlin/Heidelberg, Almanya, 2014; sayfa 243-264.
24. Chen, Y.; Aviad, T. Hümik maddelerin bitki büyümesi üzerindeki etkileri. Toprak ve Bitki Biliminde Hümik Maddeler: Seçilmiş Kaynaklar; MacCarthy, P., Malcom, RE, Clapp, CE, Bloom, PR, Eds.; American Society of Agronomi and Soil Science Society of America: Madison, WI, ABD, 1990; s. 161-187.
25. Trevisan, S.; Francioso, O.; Quaggiotti, S.; Serenella, N. Çevresel yönlerden moleküler faktörlere kadar bitki-toprak arayüzündeki hümik maddelerin biyolojik aktivitesi . Bitki Sinyali. Davranış 2010, 5-6, 635-643. [\[ÇaprazRef\]](#)
26. Pflugmacher, S.; Spangenberg, M.; Steinberg, CEW Çözünmüş organik madde (DOM) ve sucul makrofit Ceratophyllum demersum üzerindeki etkiler ile fotosentez, pigment modeli ve detoksikasyon enzimlerinin aktivitesi ile ilgili. J. Uygulama Bot. 1999, 73, 184-190.
27. Pflugmacher, S.; Tidwell, LF; Stainberg, CEW Çözünmüş hümik maddeler tatlı su organizmalarını doğrudan etkileyebilir. açta Hidrokim. Hidrobiyol. 2001, 29, 34-40. [\[ÇaprazRef\]](#)
28. Glover, CN; Wood, CM Daphnia magna sodyum metabolizmasının hümik maddeler tarafından bozulması. Fizyol. biyokimya hayvanat bahçesi. 2005, 78, 1005-1016. [\[ÇaprazRef\]](#)

29. Glover, CN; Bölme, EF; Odun, CM Hüyük maddeler, tatlı su kabuklusu *Daphnia magna*'da sodyum metabolizmasını etkiler. *Fizyol. biyokimya hayvanat bahçesi*. 2005, 78, 405–416. [[ÇaprazRef](#)]
30. McCarthy, JF; Jimenez, ABD; Barbee, T. Çözünmüş humik malzemenin polisiklik aromatik hidrokarbonların birikimi üzerindeki etkisi: Yapı-etkinlik ilişkileri. *Su. Toksikol.* 1985, 7, 15–24. [[ÇaprazRef](#)]
31. Mezin, LC; Hale, RC Hüyük asitlerin tatlı su ve nehir ağızı omurgasızlarına DDT ve klorpirifos toksisitesi üzerindeki etkisi. *çevre. Toksikol. kimya* 2003, 23, 583–590.
32. Meinelt, T.; Schreckenbach, K.; Düğme, K.; Wienke, A.; Stuber, A.; Steinberg, CEW Hüyük maddeler kılıçkuyruk (*Xiphophorus Helleri*) yapısını artırır. *suda yaşayan Bilim* 2004, 66, 239–245.
33. Höss, S.; Bergtold, M.; Haitzer, M.; Traunspurger, W.; Steinberg, CEW Refrakter çözünmüş organik madde, *Caenorhabditis elegans*'ın (Nematoda) üremesi. *taze Biol.* 2001, 46, 1–10. [[ÇaprazRef](#)]
34. Timofeyev, MA; Wiegand, C.; Burnison, BK; Şatılina, ZM; Pflugmacher, S.; Steinberg, CEW Doğal organik maddenin doğrudan etkisi tatlı su amfipodlarında madde (NOM). *bilim Toplam Çevre*. 2004, 319, 115–121. [[ÇaprazRef](#)]
35. Kudryasheva, N. Biyoluminesans ve eksojen bileşikler: Biyoluminesans deneyi için fizikokimyasal temel. *J. Fotokim. Fotobiyol.* 2006, 83, 77–86. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
36. Kudryasheva, NS Eksojen bileşiklerin bakteriyel biyoluminesans enzimler üzerindeki spesifik olmayan etkileri: Floresans çalışması. *Curr. enzim. engelle.* 2006, 2, 363–372. [[ÇaprazRef](#)]
37. Vetrova, EV; Kudryasheva, NS; Kratasyuk, VA Redox bileşiklerinin NAD(P)H üzerindeki etkisi: FMN-oksidoredüktaz-lusiferaz biyoluminesans sistem. *Fotokim. Fotobiyol. bilim* 2007, 6, 35–40. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
38. Rizzo, L. Su ve atık su arıtımında gelişmiş oksidasyon süreçlerini değerlendirmek için bir araç olarak Bioassays. *Su Çöz.* 2011, 45, 4311–4340. [[ÇaprazRef](#)]
39. Agrawal, A.; Kumari, S.; Sahu, KK Endüstriyel atıklardan demir ve bakırın geri kazanımı/ortadan kaldırılması: Bir inceleme. *Endüstri Müh. kimya Res.* 2009, 48, 6145–6161. [[ÇaprazRef](#)]
40. Paisio, CE; Gonzalez, PS; Gerbaudo, A.; Bertuzzi, ML; Agostini, E. Kolza tohumu ve domates tüylü kökleri ile işlenen fenol çözeltilerinin toksisitesi. *Tuzdan arındırma* 2010, 263, 23–28. [[ÇaprazRef](#)]
41. Şurian, M.; Nogabi, KA; Zahiri, HS; Bağeri, T.; Karballai, G.; Mollai, M.; Rad, İ.; Ahadi, S.; Raheb, J.; Abbasi, H. Yeni karakterize edilen *Pseudomonas* sp. *Farmasötik atık sularından izole edilen SA01*. *Tuzdan arındırma* 2009, 246, 577–594. [[ÇaprazRef](#)]
42. Ren, S. Fenol toksik eylem sınıflandırması ve tahmini mekanizması: Bir karar ağacı yaklaşımı. *Toksikol. Letonya* 2003, 144, 313–323. [[ÇaprazRef](#)]
43. Tarasova, AS; Stom, DI; Kudryasheva, NS Bioluminescence metal tuzundaki detoksifikasyon süreçlerini incelemek için bir araç olarak hüyük maddeler içeren çözümler. *çevre. Toksikol. kimya* 2011, 30, 1013–1017. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
44. Katafias, A.; İmpert, Ö.; Alkali çözeltilerde hekzasiyanoferrat (III) indirgeyici olarak Kita, P. Hidrojen peroksit: Kinetik çalışmalar. *Taşıma. Tanışmak. kimya* 2008, 33, 1041–1046. [[ÇaprazRef](#)]
45. Skogerboe, R.; Wilson, A. İyonik türlerin fulvik asitle indirgenmesi. *Anal. kimya* 1981, 53, 228–232. [[ÇaprazRef](#)]
46. Matthiessen, A. Civa iyonlarının hüyük maddelerle indirgenmesinin kinetik yönleri. *Fresenius J. Anal. kimya Rev.* 1996, 354, 747–749. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
47. Tarasova, AS; Kışlan, SL; Fedorova, ES; Kuznetsov, AM; Mogilnaya, OA; Stom, DI; Kudryasheva, NS Bioluminescence, hüyük maddeleri içeren metal tuzu çözeltilerindeki detoksifikasyon süreçlerini incelemek için bir araç olarak. *J. Fotokim. Fotobiyol. B* 2012, 117, 164–170. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
48. Kudryasheva, NS; Tarasova, AS Kirlenici toksite ve hüyük maddelerle detoksifikasyon: Işıklı biyoizleme yoluyla mekanizmalar ve kantitatif değerlendirme. *çevre. bilim kirlilik. Res.* 2015, 22, 155–167. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
49. Deprez, K.; Robbens, J.; Nobeller, I.; Vanparys, C.; Vanermen, G.; Tirez, K.; Michiels, L.; Weltens, R. DISCRISSET: Hızlı atık sınıflandırması için bir dizi test — testlerin atık ekstraktları üzerinde uygulanması. *Atık Yönetimi* 2012, 32, 2218–2228. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
50. Tigini, V.; Giansanti, P.; Mangiavillano, A.; Pannocchia, A.; Varese, GC Simüle edilmiş tekstil ve tabakhane atıklarının toksite, genotoksite ve çevresel risklerinin bir dizi biyotest ile değerlendirilmesi. *ekotoksikol. çevre. Saf.* 2011, 74, 866–873. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
51. Kudryasheva, N.S.; Kratasyuk, V.; Esimbekova, EN; Vetrova, EV; Kudinova, İY; Nemtseva, EV Bioluminin geliştirilmesi kirlilik analizleri için yeni ortaya çıkan biyogöstergeler. *alan anal kimya Teknoloji* 1998, 5, 277–280. [[ÇaprazRef](#)]
52. Bulich, AA; Isenberg, DL Su toksisitesinin hızlı değerlendirmesi için ışıldayan bakteri sisteminin kullanımı. *ISA Trans.* 1981, 20, 29–33.
53. Roda, A.; Guardigli, M.; Michelini, E.; Analitik kimyada ve in vivo görüntüleme Mirasoni, M. Biyoluminesans. *Trac Eğilimleri Anal. kimya* 2009, 28, 307–322. [[ÇaprazRef](#)]
54. Roda, A.; Pasini, P.; Mirasoni, M.; Michelini, E.; Guardigli, M. Biyoluminesans ve kemilüminesansın biyoteknolojik uygulaması. *Trendler Biyoteknoloji.* 2004, 22, 295–303. [[ÇaprazRef](#)]
55. Girotti, S.; Ferri, EN; Fumo, MG; Maiolini, E. Biyoluminesans bakteriler tarafından çevresel kirlenicilerin izlenmesi. *Anal. Chim. Ağa* 2008, 608, 2–21. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
56. Abbas, M.; Adil, M.; Ehtisham-ul-Haque, S.; Münir, B.; Yamaen, M.; Ghaffar, A.; Şar, GA; Asif Tahir, M.; İkbal, M. *Vibrio fischeri* ekotoksite değerlendirilmesi için bioluminesans inhibisyon deneyi: Bir gözden geçirme. *bilim Toplam Çevre*. 2018, 626, 1295–1309. [[ÇaprazRef](#)]

57. İvask, A.; Rolova, T.; Kahru, A. Biyolojik olarak kullanılabilir ağır maddenin miktarının belirlenmesi için bir rekombinant ışıldayan bakteri suşları paketi metallere ve toksisite testi. *BMC Biyoteknoloji*. 2009, 9, 1–15. [[ÇaprazRef](#)]
58. Deryabin, DG; Aleshina, ES Maden sularının biyotoksitesinde doğal ve rekombinant lüminesan mikroorganizmalar. *Uygulama biyokimya Mikrobiyoloji*. 2008, 44, 378–381. [[ÇaprazRef](#)]
59. Fedorova, E.; Kudryasheva, N.; Kuznetsov, A.; Mogil'naya, O.; Stom, D. Detoksifikasyon süreçlerinin biyolüminesansla izlenmesi: Kinon çözeltilerinde hümitik maddelerin etkinliği. *J. Fotokim. Fotobiol.* 2007, 88, 131–136. [[ÇaprazRef](#)]
60. Rozhko, TV; Kudryasheva, NS; Kuznetsov, AM; Vydryakova, GA; Bondareva, LG; Bolsunovsky, AY Düşük seviyeli α -radyasyonun çeşitli karmaşıklıkta biyolüminesan deney sistemleri üzerindeki etkisi. *Fotokim. Fotobiol. bilim* 2007, 6, 67–70. [[ÇaprazRef](#)]
61. Selivanova, MA; Mogil'naya, OA; Badun, GA; Vydryakova, GA; Kuznetsov, AM; Kudryasheva, NS Trityumun parlak deniz bakterileri ve enzim reaksiyonları üzerindeki etkisi. *J. Çevre. Radyoakt.* 2013, 120, 19–25. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
62. Ma, XY; Wang, XC; Ngo, HH; Guo, W.; Vu, MN; Wang, N. Bioassay bazlı ışıldayan bakteri: Girişimler, iyileştirmeler, ve uygulamalar. *bilim Toplam Çevre*. 2014, 468–469, 1–11. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
63. Kudryasheva, NS; Kovel, ES Farklı Karmaşıklıkta Lüminesan Biyoanalizlerle Düşük Yoğunluklu Maruz Kalmaların İzlenmesi: Hücreler, Enzim Reaksiyonları ve Floresan Proteinler. *Int. J. Mol. bilim* 2019, 20, 4451. [[CrossRef](#)]
64. Kudryasheva, NS; Kovel, ES; Saçkova, AS; Vorobeva, AA; İsakova, VG; Churilov, GN Bioluminescent enzimatik testi , biyoaktif bileşiklerin antioksidan aktivitesini ve toksitesini incelemek için bir araç olarak. *J. Fotokim. Fotobiol.* 2017, 93, 536–540. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
65. Kovel, ES; Saçkova, AS; Vnukova, NG; Churilov, GN; Knyazeva, EM; Kudryasheva, NS Biyolüminesans sinyali yoluyla fullerollerin antioksidan aktivitesi ve toksitesini: Oksijen süstitüentlerinin rolü. *Int. J. Mol. bilim* 2019, 20, 2324. [[CrossRef](#)]
66. Bondarenko, LS; Kovel, ES; Kydralieva, KA; Dzhardimalieva, GI; İlle, E.; Tombacz, E.; Kicheeva, AG; Kudryasheva, Yeni Zelanda Modifiye manyetit nanopartiküllerin bakteri hücreleri ve enzim reaksiyonları üzerindeki etkileri. *Nanomalzemeler* 2020, 10, 1499. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
67. Saçkova, AS; Kovel, ES; Churilov, GN; Stomm, DI; Kudryasheva, NS Karbonik nano yapıların biyolojik aktivitesi— Enzimatik biyoanaliz yoluyla karşılaştırma. *J. Soils Sediments* 2019, 19, 2689–2696. [[ÇaprazRef](#)]
68. Grabert, E.; Kossler, F. Besin maddelerinin ışıldayan bakteri testi üzerindeki etkileri hakkında. *Biyolüminesans ve Kemilüminesans*; Hastings, JW, Kricka, LJ, Stanley, PE, Eds.; John Wiley & Sons: Chichester, BK, 1997; sayfa 291–294.
69. Rozhko, T.; Bondareva, L.; Mogil'naya, O.; Vydryakova, G.; Bolsunovski, A.; Stom, D.; Kudryasheva, N. Am-241 çözeltilerinin hümitik maddelerle detoksifikasyonu: Biyolüminesans izleme. *Anal. Biyoanal. kimya* 2011, 400, 29–334. [[ÇaprazRef](#)]
70. Reiller, P.; Moulin, V.; Dautel, C.; Casanova, F. Th(IV)'ün hümitik maddelerle kompleks oluşturması. *FZKA 6, 524, Wissenschaftliche'de raporlar*; Buckau, G., Ed.; Karlsruhe Araştırma Merkezi: Karlsruhe, Almanya, 2000; s. 121–129.
71. Chopin, GR Ekosistemlerde aktinit davranışında humiklerin rolü. *Kimyasal Ayırma Teknolojileri ve Nükleer Atık Yönetimine İlişkin Yöntemlerde*; Chopin, GR, Khankhasaev, M., Eds.; Kluwer Akademik Yayıncıları: Amsterdam, Hollanda, 1999; sayfa 247–260.
72. Rozhko, T.; Kolesnik, O.; Badun, G.; Stom, D.; Kudryasheva, N. Hümitik maddeler, trityumun ışık üzerindeki etkisini azaltır deniz bakterileri. *Reaktif Oksijen Türlerinin Katılımı*. *Int. J. Mol. bilim* 2020, 21, 6783. [[CrossRef](#)]
73. Rozhko, T.; Nogovitsyna, E.; Badun, G.; Lukyançuk, A.; Kudryasheva, N. Reaktif oksijen türleri ve düşük doz etkileri bakteri hücreleri üzerinde trityum. *J. Çevre. Radyoakt.* 2019, 208–209, 106035. [[CrossRef](#)]
74. Rozhko, T.; Nemtseva, E.; Gardt, M.; Raikov, A.; Lisitsa, A.; Badun, G.; Kudryasheva, N. Düşük yoğunluklu trityum radyasyonuna enzimatik tepkiler . *Int. J. Mol. bilim* 2020, 21, 8464. [[CrossRef](#)]
75. Bondareva, L.; Fedorov, N. Am-241'in batık makrofit *Elodea canadensis* tarafından birikmesi ve doğrudan etkilerle radyonüklid toksitesinin değerlendirilmesi. *Uluslararası Çevre, Coğrafya ve Yer Bilimleri Araştırmalarında; Su Mühendisliği Bölümü, Ziraat Fakültesi, İsfahan Teknoloji Üniversitesi: İsfahan, İran, 2020; Cilt 3, s. 78–91.*
76. Costerton, JW Bakteri hücrelerinde çeşitli organizasyon seviyelerinde yapı ve plastisite. *Olabilmek*. *J. Mikrobiyoloji*. 1988, 34, 513–552. [[ÇaprazRef](#)]
77. Yakimenko, OS; Terekhova, VA Hümitik müstahzarlar ve sertifikalandırma amacıyla biyolojik aktivitelerinin değerlendirilmesi. *Avrasya. Toprak Bilimi* 2011, 44, 1222–1230. [[ÇaprazRef](#)]
78. Pukalçik, M.; Mercl, F.; Panova, M.; Brendová, K.; Terekhova, V.; Tlustoš, P. Biyokömür, odun külü ve hümitik madde değişiklikleriyle çok kontamine kumlu tınlı toprağın kimyasal ve biyolojik özelliklerinin iyileştirilmesi. *çevre. kirlilik*. 2017, 229, 516–524. [[ÇaprazRef](#)] [[PubMed](#)]
79. Pukalçik, M.; Panova, M.; Karpuhin, M.; Yakimenko, O.; Kydralieva, K.; Terekhova, V. Zn ve Pb ile kirlenmiş toprağı eski haline getirmek için katkı maddeleri olarak hümitik ürünlerin kullanılması: Hızlı tarama fitotesti son noktası kullanan bir vaka çalışması. *J. Soils Sediments* 2018, 18, 750–761. [[ÇaprazRef](#)]