

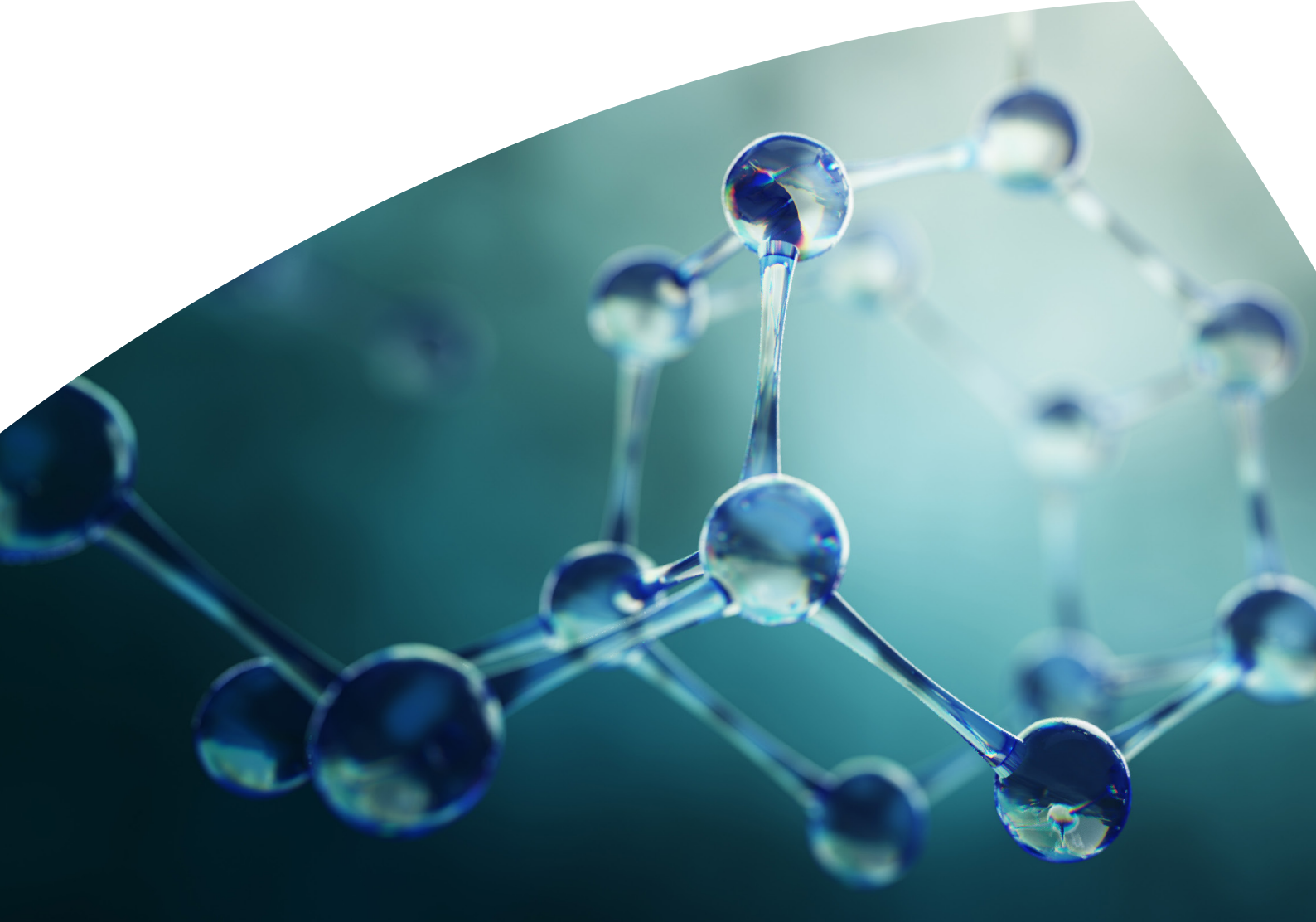


Organik selenyum

Form, kaynak ve işlevin karşılaştırılması

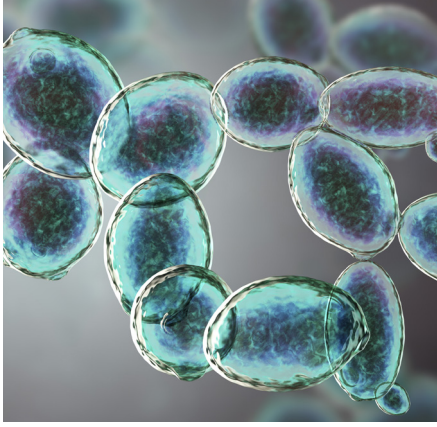
Dr. Richard Murphy

Alltech Avrupa Biyobilim Merkezi, İrlanda



Giriş

1900'lerin başındaki ilk keşfinden bu yana selenyum, potansiyel olarak zehirli ama oldukça gerekli bir iz mineral olarak bu ikili durumu nedeniyle beslenmede bir bilmece olmuştur. Selenyumun sunulduğu form, bu mineralin inorganik ve organik formları arasındaki farklılıklarının ve etkinliğinin ana belirleyicisidir. İnorganik sodyum selenit tarihsel olarak yeme eklenen en yaygın selenyum kaynağı olsa da, araştırmalar inorganik selenyumun yüksek toksisiteye sahip olduğunu, vücuttaki emilim ve dönüşüm oranlarının düşük olduğunu göstermiştir.



Organik selenyumun daha etkili bir kaynak olduğu çeşitli araştırmalarla ortaya konmuştur. Organik selenyum; hayvan başına yavru sayısının artmasını, bağışıklık fonksiyonunun uyarılmasını, hayvan sağlığının genel olarak iyileşmesini, et, süt ve yumurta için daha uzun raf ömrü sağlanmasını sağlamaktadır. Elde edilen bu sonuçlar, hüresel düzeyde antioksidan seviyesindeki genel artışa ve oksidatif stresin etkilerinin iyileştirilmesine atfedilmektedir. Bununla birlikte, bu etkilerin aracılık ettiği kesin mekanizmalar belirsizliğini korumaktadır. Organik selenyum takviyesi artık hayvan beslenmesini, sağlığını ve refahını iyileştirmek için kilit bir unsur olarak kabul edilmektedir. Hakemli araştırmalar, organik selenyum içeren rasyon değişimlerinin, tüm hayvan türleri için önemli ölçüde artan üretim ve sağlık yararları ile sonuçlandığını açıkça göstermiştir.



Hayvan sağlığı ve üretiminde selenyum

Büyüme ve üreme gibi temel süreçler için yeterli miktarda selenyum seviyeleri gereklidir ve selenyum eksikliği çiftlik hayvanlarında bazı spesifik dejeneratif hastalıklardan sorumludur. Hem erkek hem de dişilerde kısırılık, düşük hastalık direnci ve tiroid hormon metabolizması bozuklukları da dahil olmak üzere çeşitli pratik ve maliyet yaratan sorunlar ile selenyum arasında uzun süredir bir ilişki olduğu bilinmektedir.

Selenyumun hayvan beslenmesindeki önemi, selenyumun hayvan tarafından doğru biçimde ve dozda tüketilmesine bağlı olan bir dizi sağlık ve ürün kalitesi faydasıyla da ilişkilendirilmiştir. **(Tablo 1)**

Table 1: Selenyum ile ilişkili hastalık durumları ve sağlık yararları

Düşük selenyum statüsüyle ilişkili hastalık durumları	Selenyum takviyesinin fayda sağladığı sağlık ve ürün kalitesi
Civcivlerde pankreas atrofisi	Gelişmiş antioksidan savunma sistemi
Eksudatif diyatez (civcivler)	Gelişmiş bağışıklık tepkisi
Ensefalomalazi (civcivler)	Viral hastalıklara karşı üstün direnç
Kas distrofisi (civcivler)	Tiroid fonksiyonunun iyileşmesi
Kanatlılarda bozulmuş tüy yapısı	Gelişmiş doğurganlık
Azalan yumurta üretimi	Damızlık hayvanlarda daha uzun ve verimli ömür
Kabuk içi ölümler (Erken mortalite,civcivler)	Et ve yumurtada yüksek selenyum içeriği
Düşük kuluçka performansı	Gelişmiş et rengi
Yumurtadan çıkışta düşük civciv ağırlığı	Azalan su kaybı – drip loss
Düşük bağışıklık	Daha iyi ürün tazeliği
Tüm türlerde üreme yetersizliği ve kısırılık	Artan raf ömrü
Beyaz kas hastalığı (genç ruminantlar)	
Plasantanın atılmaması, zayıf veya ölü doğmuş buzağlar	

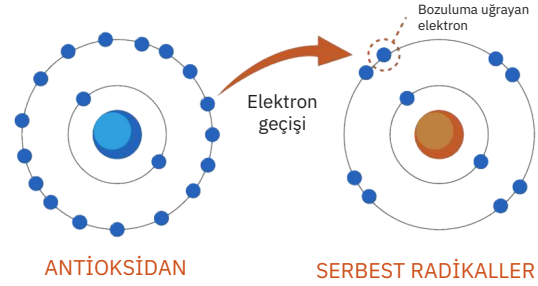


Selenyumun Biyolojik İşlevleri

Serbest radikallerin zararlı etkilerini önlemekle sorumlu olan geniş kapsamlı bir antioksidan sistem son yıllarda daha net olarak karakterize edilmiştir. Bu sistemde, birden fazla antioksidan türü serbest radikal oluşumunu önlemekte ve zararlı etkileri azaltmaktadır.

Ayrıca, selenyumun genel hücresel antioksidan sistemin kontrolünde ve düzenlenmesinde kritik bir rol oynadığı ortaya konmuştur. Selenyum eksikliği belirtileri türler arasında farklılık gösterse de, selenyumun metabolizma ile ilgili işlevleri temelde aynıdır.

Selenyum, vücuda alındıktan sonra, biyolojik olarak birçok önemli role sahip ve selenyuma bağlı çok sayıdaki enzim ve proteinlere dahil olur.



Tablo 2 majör selenoproteinleri, birincil işlevlerini ve ilgili semptomlarla hastalık durumlarını ana hatlarıyla belirtmektedir. Selenyumun biyolojik sistemlerdeki en bilinen rolü, genellikle selenyum durumunun bir göstergesi olarak kullanılan bir antioksidan enzim olan glutatyon peroksidaz için kofaktör olmasıdır. E vitamini ve selenyum arasındaki sinerji uzun yıllardır bilinmektedir. Gerçekten de, selenyumun beslenme açısından gerekliliği, başlangıçta E vitamini eksikliği olan deneklerde ortaya konan E vitamini ile etkileşimi temelinde kurulmuştur. Sonraki denemeler de, selenyumun çeşitli hayvan türlerinde E vitamini eksikliği semptomlarının çoğunu önleyebileceğini göstermiştir.

Tablo 2: Selenyum içeren proteinlerin başlıca biyolojik rolleri

Selenoprotein	Primary function	Sendrom/Koşul
İyodotironin deiyodinazlar	Tiroid metabolizması	Zayıf büyüme Yetersiz tüylenme Soğuğa karşı hassasiyet
Glutatyon peroksidazlar Tioredoksin redüktaz Selenoprotein P Selenoprotein W	Antioksidan özellikler	Kas miyopatileri Hastalık duyarlılığı Eksüdatif diyatez Pankreas atrofisi Drip loss – Su kaybı Kısırlık Kötü kuluçka randımanı
Sperm kapsül selenoprotein	Sperm yapısı	Sperm hareketliliği Erkek kısırlığı



Selenyumun inorganik ve organik formları

Ticari üretim operasyonlarında selenyumun birincil eksikliğinin hastalık durumları artan şekilde belirlenmeye başlamıştır. Selenyum takviyeleri, sodyum selenit veya selenat gibi inorganik mineral tuzları; ağırlıklı olarak inorganik bileşiklerin kimyasal indirgenmesi yoluyla üretilen selenyum nanoparçacıkları; selenometiyonin gibi selenoamino asit analoglarının baskın olduğu selenyumla zenginleştirilmiş maya gibi organik formlarda; veya kimyasal olarak sentezlenmiş selenoamino asitler (L-SeMet gibi) ve sentetik gibi çeşitli formlarda mevcuttur.

Son zamanlarda pazara sürülen bazı selenyum ürünleri arasında sodyum selenitin amino asitler, hidrolize protein, inaktif maya ile reaksiyonundan oluşan şelatlar, kompleksler ve hatta proteinatlar yer almaktadır. Bunlarla ilgili iddiaların kimyasal bir temeli yoktur ve muhtemelen bunları doğrulayacak sağlam kimyasal veya fiziksel veriler de bulunmamaktadır. İz mineral olarak selenyum, kolayca şelatlanabilen Fe^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} veya Zn^{2+} gibi geçiş metallerinden çok farklı olan 16. grup elementlerdendir.

Selenyum, sıvı çözeltide bir katyon olarak bulunamaz ve aslında şelasyona izin vermeyen anyonik formlarda bulunur. Selenyum (çözelti halindeyken) ile amino asitler ve peptitler gibi organik ligandlar arasında oluşan herhangi bir bağ, en iyi ihtimalle, selenyum atomuna gerçekten hiçbir şelasyon koruması sağlamayan çok zayıf elektrostatik bağlar olacaktır. Amino asitler veya peptitlerle selenyumun kompleksleri veya şelatları olduğu iddia edilen materyaller en fazla sodyum selenitin ve hidrolize soya veya örneğin ekmeke mayasında bulunan amino asit veya peptitlerin basit fiziksel karışımları olarak görülebilir. Hayvan beslenmesi ve selenyum rezervleri oluşturma açısından ele alınırsa, sodyum selenit takviyesine veya gerçek bir organik selenyum kaynağı ile takviyeye göre kesinlikle hiçbir avantajları yoktur.

Yem endüstrisindeki selenyum şelasyonu ile ilgili kafa karışıklığını daha da artıracak şekilde, bir Zn-L-SeMet kompleksi kullanıma sunulmuştur. Bu materyal, bir Zn-L-SeMet kompleksi oluşturmak için L-SeMet'in (kimyasal sentezden) Zn²⁺ ile kompleksleştirilmesiyle üretilir. Daha da önemlisi, bu kompleks L-SeMet ve Zn²⁺ arasındaki reaksiyon yoluyla oluşturulur ve selenyum bu reaksiyonda hiçbir rol oynamaz

Selenyum düzeyini iyileştirmek

Hayvan dokularında selenyum ve selenyum formlarının dağılımı ve birikmesi büyük ölçüde sunulan selenyum takviyesine bağlıdır. Ek olarak, selenyumun sunulduğu form biyoyararlanım ve etkinlikte çok önemli bir rol oynayacaktır. Selenyumun organik formları optimal besin kaynağıdır ve hücre içinde alındıktan sonra, daha fazla kullanım ve/veya atılım için yaygın seleno-ara maddelere dönüştürülürler.

“ Selenyumun sunulduğu form, biyoyararlanım ve etkinlikte çok önemli bir rol oynayacaktır. Selenyumun organik formu en ideal besin kaynağıdır.”

Tablo 3 tüm türlerdeki üretim sırasında organik selenyumlu mayanın kullanımının sağladığı başlıca muazzam faydaları özetlemektedir.

Tablo 3: Organik selenyum takviyesinin hayvan türlerine özgü faydaları

Kümes hayvanları	Büyükbaş hayvanlar
FCR'da iyileşme	FCR'de iyileşme ve ağırlık kazancı
Gelişmiş büyüme oranı	Gelişmiş üreme/doğurganlık
Gelişmiş üreme	Gebelik başına daha az tohumlama sayısı
Daha iyi kuluçka performansı	Daha iyi plasenta tutulumu
Daha iyi tüy yapısı	Hastalık direncinde iyileşme
Gelişmiş termoregülasyon	Azalan somatik hücre sayısı
Asites vakalarının azalması	Buzağılama aralığında daha az gün sayısı
Derideki morarmaların azalması	Süt ve kolostrumda daha yüksek Se içeriği
Karkas kalitesinde iyileşme	Antioksidan savunması
Daha az sıvı kaybı - Drip loss	Hastalıktan korunma
Daha iyi gıda rengi	Soğuk ve sıcak stresine karşı gelişmiş direnç
Daha uzun raf ömrü	Artan tiroksin seviyeleri
	Daha az sıvı kaybı - Drip loss
	Daha iyi et kalitesi
İnsanlara sağladığı besinsel değerler	
Beyaz ette daha yüksek Se içeriği	Tüm süt ve kırmızı et ürünlerinde daha yüksek Se içeriği
Daha taze yumurta	Nutrasötik gıdalarda kullanım
Selenyumla zenginleştirilmiş yumurta	

Etkili bir organik selenyum kaynağının temel özelliği, yalnızca hayvan sağlığını iyileştirmek değil, aynı zamanda genel performansı iyileştirmek ve bunu yaparken çiftlik düzeyinde karlılığı da artırmaktır. Yerleşik olan organik selenyum ürünleri, biyo-etkinliklerini destekleyen çok sayıda ve uzmanlar tarafından değerlendirilmiş veri tabanına sahiptir. Mineralin daha yeni, daha yakın zamanda pazara sunulan formları ise, kapsamlı bir veri arşivine sahip olmadığından, yalnızca sınırlı bir veri kümesi üzerinde değerlendirilebilmektedir. Selenyum preparatlarının tek başına farklılığı akılda tutularak, bunların hayvan sağlığı ve performansı üzerindeki etkileri ayrı ayrı değerlendirilmelidir.

Tablo 4 her biri için mevcut hakemli veri kümeleri açısından selenyum kaynakları arasındaki eşitsizliği vurgulamaktadır.

Tablo 4: PubMed, Scopus, Web of Science ve ScienceDirect bilimsel veri arşivlerinde türlere göre organik selenyum kaynaklarına ilişkin hakemli veri kümeleri için elektronik ortamdaki aramanın özeti

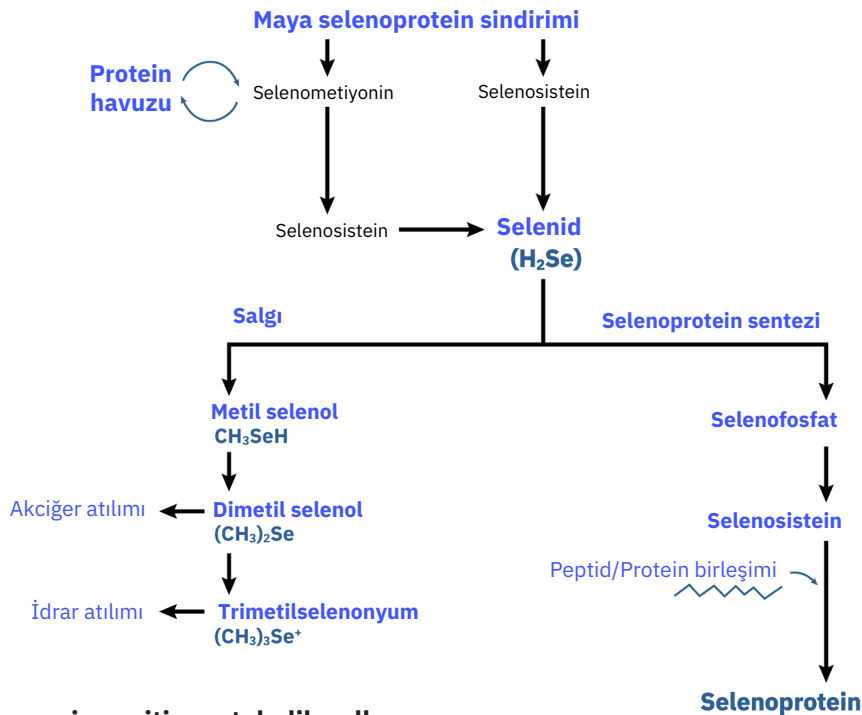
Hayvan türleri	Selenyum mayası A (Sel-Plex®)	Selenyumlu maya B (Rakip mayalar)	Selenyumlu maya C (Rakip mayalar)	L-SeMet (Kimyasal olarak sentezlenmiş)	HMSeBA (Kimyasal olarak sentezlenmiş)
Kanatlı	231	11	4	4	5
Süt sığırı	73	5	8	0	2
Besi sığırı	39	5	6	0	0
Su ürünleri	48	3	3	0	0



Organik selenyumun alımı ve birikimi

Selenyumun hayvan dokusunda dağılımı ve birikmesi, büyük ölçüde sunulan selenyum takviyesinin türüne bağlıdır. Form, mineralin biyoyararlanımı ve etkinliğinde çok önemli bir rol oynar. Organik selenyum optimal besin kaynağıdır ve hücre içinde alındıktan sonra daha fazla kullanım ve/veya atılım için seleno-ara maddelere dönüştürülür. Selenyum emilimi ince bağırsakta gerçekleşir ve L-SeMet metionin taşıma mekanizmaları kullanılarak emilir. Diğer taraftan, selenit gibi inorganik selenyumun emilimi daha az etkilidir ve esas olarak pasif difüzyon yoluyla gerçekleşir.

Emilimin ardından SeMet, metiyonin yerine genel vücut proteinlerine spesifik olmayan bir şekilde dahil edilebilir ve yetersiz selenyum alımı dönemlerinde kullanılabilen selenyum için biyolojik bir havuz görevi görebilir (**Şekil 1**).

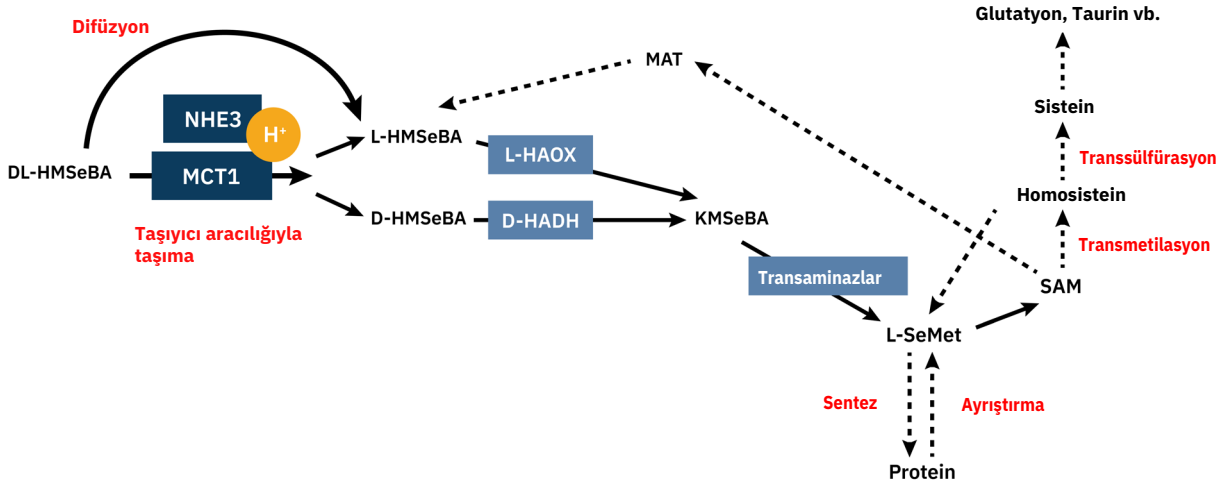


Şekil 1: Selenoamino asitin metabolik yolları

2-Hidroksi-4-metilseleno-bütanoik asit (DL-HMSeBA) gibi daha yeni sentetik selenyum kaynakları da geliştirilmiş ve doğal bir selenoamino asit olan SeMet'in işlevini "yansıtmak" için tasarlanmıştır. Yapısal bir bakış açısıyla, DL-HMSeBA, sülfürün yerini selenyumun aldığı selenize edilmiş bir DL-HMBA formudur ve metiyonin hidroksi analogu olarak da bilinir. Molekülün kimyasal sentezi, çok aşamalı bir üretim süreci gerektirir. Biyokimyasal bir bakışla, bu molekül laktik asidin yapısal bir analogudur ve difüzyon yoluyla veya amino asit yollarının aksine L-laktat taşınmasıyla ilişkili Na⁺ 'dan bağımsız bir taşıyıcı sistem tarafından alınır.

DL-HMSeBA'nın hücre metabolizması, molekülün D- ve L- formlarının rasemik bir karışımı olduğu göz önüne alındığında, biyokimyasal olarak kompleksdir. D- veya L- ataması, bir molekülün diğerinin ayna görüntüsü olduğu iki molekül arasında ayırım yapmak için kullanılır. Genel olarak söylemek gerekirse, D- ve L- izomerleri yalnızca farklı kullanım oranlarına değil, aynı zamanda farklı fizyolojik etkilere de sahip olabilir. Örneğin sentetik selenyum kaynağı DL-HMSeBA, molekülün 50:50 oranında hem D- hem de L- formlarını içerir. Hücre içinde fayda sağlamak üzere, D- ve L- HMSeBA izomerlerinin önce laktat taşıyıcılar veya difüzyon yoluyla hücreye taşınması gerekir, ardından izomerler ayrılır, bireysel izomerik formlar ayrı ayrı bir keto türevine oksitlenir ve daha sonra L-SeMet deaminasyonuna uğrar. Esasen, selenometiyoninden farklı olarak, materyal, önce iki ayrı hücre içi transformasyon aşamasından geçmediği sürece peptitlere ve proteinlere doğrudan dahil edilemez veya de novo selenosistein sentezi için kullanılamaz.

Kayda değer son bir nokta, ticari numunelerde monomerik formundan daha düşük biyopotansiye sahip, büyük oranda monomerik olmayan formlar içeriği bulunan ana molekül DL-HMBA ile ilgilidir. DL-HMSeBA'nın benzer şekilde davranıp davranmadığı ve aynı zamanda farklı etki derecelerine sahip daha kompleks, daha yüksek moleküler ağırlıklı monomerik olmayan varyantlar içerip içermediği gözlemlenmiştir.



Şekil 2: DL-HMSeBA metabolik yolu



Premiks ve beslemede selenyum kaynağı stabilitesi

Dünya çapında yem katkı maddelerinin kullanımının son derece açık doğası göz önüne alındığında, katkı maddesi toksisitesi ve kararlılığı gibi konularla ilgili pek çok bilgiye ulaşmak kolaydır. Örneğin, Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA), yem katkı maddelerinin yetkilendirme sürecini desteklemek için bilimsel tavsiyeler vermektedir. EFSA, izin için sunulan her yeni katkı maddesinin, izin verilen bir yem katkı maddesinin her yeni kullanımının ve izin verilen bir katkı maddesinin değiştirilmesinin veya yenilenmesinin bir değerlendirmesini yapmaktadır.

Avrupa Birliği (AB)'nde, şirketler, bir yem katkı maddesini pazarlamadan önce, katkı maddesi, kullanım koşulları ve kontrol yöntemleri ile bunun güvenliğini ve etkinliğini gösteren verileri içeren bir başvuru ve teknik dosya sunmalıdır.

“ Belki de en çarpıcı gözlemlerden biri, premikslerdeki her bir kaynağın kararlılığı arasındaki kayda değer farklardır ”

AB içinde, selenyumla zenginleştirilmiş maya veya L-SeMet ve DL-HMSeBA gibi kimyasal olarak sentezlenmiş selenyum kaynakları gibi yem katkı maddeleri oldukça sıkı bir düzenlemeye dayanan onay sürecine tabidir. Bu nedenle, katkı maddesinin insan ve hayvan sağlığına veya çevreye zararlı bir etkisinin olmadığına yönelik EFSA'nın bilimsel değerlendirmesine dayanan onayı olmadan pazara sunulamaz. Bu, son kullanıcıların, her bir ürünün hem kendi üretim sistemleri hem de son kullanımları için uygunluğu konusunda bilinçli kararlar almalarına olanak tanır.

“ Organik selenyumlu maya kaynakları, premikste, karma yemde ve peletlemeden sonra yüksek düzeyde doğrulanmış stabilite sergilemelele birlikte, aralarında kaynağa bağlı farklılıklar da ortaya konmuştur”

Bazı materyallerle ilgili EFSA mevzuat görüşlerine göre, birkaç organik selenyumlu maya ve sentetik selenyum kaynaklarına ilişkin stabilite verilerinin bir incelemesi, bunlar arasındaki dikkate değer farklılıkları vurgulamıştır. (Tablo 5) Belki de en çarpıcı gözlemlerden biri, premikslerdeki her bir kaynağın kararlılığı arasındaki dikkate değer farklılıklardır.

Sentetik L-SeMet selenyum kaynağının azalan stabilitesi oldukça belirgindi ve 3, 6 ve 9 ay sonrasında sırasıyla %55, %54 ve %37 olarak rapor edilen iyileşmeler oldu.

Tablo 5: Selenyum kaynaklarının stabilitesi

Kaynak	Selenyumlu maya A	Selenyumlu maya B	L-SeMet	DL-HMSeBA
Raf ömrü	Min. 24 ay	Min. 12 ay	12 ay	12 ay
Premikslerde	12 ay	4 ay	Stabil değil, dengesiz	Doğrudan belirlenemedi
Yemlerde	6 ay	3 ay	Belirlenememiş uygun olmayan çalışma	Doğrudan belirlenemedi
Peletlemede	Isıl işleme karşı stabil	Isıl işleme karşı stabil	Yetersiz veri	Doğrudan belirlenemedi

Diğer bir sentetik kaynak sadece selenize edilmemiş bir varyant molekülün stabilitesini göstermiş, ancak gerçek bileşiğin stabilitesini ölçülebilir şekilde ortaya koyamamıştır. Karma yemde ve peletleme sonrasındaki yemde bulunan her iki sentetik kaynağın stabilitesi ile ilgili, ya yetersiz veri elde edildi ya da doğrudan stabilite ölçümü yapılmadı.

“ Premikslerdeki etkileşimlerden veya peletlemeden kaynaklanan potansiyel kayıplar büyük endişe kaynağıdır”

Bununla birlikte, organik selenyumlu maya kaynakları, aralarındaki çeşitli kaynak farklılıklarına rağmen, premikste, karma yemde ve peletleme sonrasında yüksek düzeyde doğrulanmış stabilite göstermiştir. Ham madde ve yem katkı maddelerinin artan maliyetleri göz önüne alındığında, premiks ve yem üreticileri, şaşırtıcı olmayan bir şekilde, materyallerin tek tek stabilitesine odaklanarak formülasyonları giderek daha fazla incelemektedir ve ön karışımdaki etkileşimlerden veya peletlemeden kaynaklanan potansiyel kayıplar önemli bir endişe kaynağı olmaktadır.



Selenyum kaynaklarının farklı toksisiteleri

“ Çok açıktır ki, her selenyum kaynağını eşit olarak ele almak mümkün değildir”

Tablo 6, inorganik, organik ve kimyasal olarak sentezlenmiş selenyum kaynaklarıyla ilişkili toksisiteleri vurgulamaktadır. Bu verilerde ilgi çekici olan, selenyum kaynakları arasındaki oldukça belirgin ve dikkate değer farklılıklardır.

Organik selenyumlu maya ürününün kullanımıyla ilgili olumsuz anlayışların sayısı nispeten çok daha azdır. Buna karşılık, inorganik ve kimyasal olarak sentezlenmiş selenyum kaynakları, akut oral toksisiteleri açısından birbirine oldukça benzeyen, açıkça tanımlanmış toksik özelliklere sahiptir.

Ayrıca, aynı sentetik selenyum ürünlerinin sıvı ve katı formlarının toksisiteleri ile ilgili detaylar da dikkate değerdir. Açıkçası, sentetik ve inorganik kaynakları formüle ederken ve kullanırken büyük özen ve dikkat gerektiğinden, çeşitli selenyum kaynakları eşit kabul edilemez.

Tablo 6: Selenyum kaynağı toksisitesi ve tehlike etiketlemesi

Test maddesi	LD ₅₀ (mg/kg/VA)	Yönetmeliğe uygun etiketleme (EC) No. 1272/2008	Uyarı kelimesi
Selenyumlu maya	>2000	Zorunlu değildir	Zorunlu değildir
Sodyum selenit	5-50		Tehlikeli
L-SeMet	4.25		Tehlikeli
DL-HMSeBa	10-25		Tehlikeli

? Selenyum toksisite farklılıklarına ilişkin açıklamalar

Selenyum kaynakları arasındaki toksisite farklarını anlamak açısından, selenyumun ardında yatan biyokimyayı ve hücresel düzeyde olumsuz etki yapma potansiyelini incelemek faydalı olabilir. Sodyum selenit gibi inorganik selenyum kaynaklarının pro-oksidan özellikleri, bunların kolayca oksitlenen ve reaktif oksijen türleri (ROS) oluşturan selenide veya selenollere dönüştürülmesinden kaynaklanır. Selenitin toksisitesinin, esas olarak apoptotik ve nekrotik hücre ölümüne yol açan ROS'a bağlı DNA sarmal kırılmalarının ve/veya baz oksidasyonunun indüklenmesinden kaynaklanan DNA hasarından kaynaklandığı ortaya konmuştur.

Son araştırmalar, serbestçe erişilebilen seleno bileşiklerinin, sodyum selenit ile aynı, ancak ek oksidasyon/indirgeme döngüleri nedeniyle daha da ileri seviyede pro-oksidan özellikleri olabileceğini göstermiştir. Bu redoks döngüleri, GSH gibi hücre içi antioksidanları ve sonuç olarak indirgeyici kofaktör NADPH'yi tüketmektedir. Bu tür selenobileşiğin neden olduğu redoks döngüsü yalnızca antioksidan dengesizliğine yol açmaz, aynı zamanda sürekli şekilde artan ROS üretimine yol açarak nükleik asitlere, proteinlere ve lipitlere daha fazla zarar verebilir.

Ayrıca oksitlenmiş selenoller, düşük moleküler ağırlıklı tioller ve proteinler arasında disülfid köprülerinin oluşumunu katalize ederek potansiyel olarak protein inaktivasyonuna veya agregasyonuna yol açabilir. Araştırmalar, serbestçe erişilebilen seleno bileşiklerinin toksisitesinin, proteotoksik strese aracılık etme yeteneğine sahip bir selenoamino asit olan selenosisteine dönüşmesinden kaynaklandığını ve böylece daha önceleri ciddiye alınmayan selenyum toksisitesinde rol oynadığını göstermektedir.



Selenosistein aracılı proteotoksiteden kaynaklanan doğal toksisite riski, hücresel üretimle ilişkili sonuçların tam olarak anlaşılması için bilim dünyası tarafından daha fazla araştırılmalıdır. Kimyasal olarak sentezlenen analogların artan toksisitelerinin, artan redoks döngüsünden ve/veya hücresel düzeyde gelişmiş selenosistein sentezine bağlı olarak artan proteotoksikite indüksiyonundan kaynaklanmış olması muhtemeldir, bu da inorganik sodyum selenit olanlarda benzer bir etkiye sahip akut oral toksisitelere yol açar.

Açıkçası, bu yeni açıklanan toksisite sorunlarına yönelik ek araştırmalar dikkate alınmalıdır.



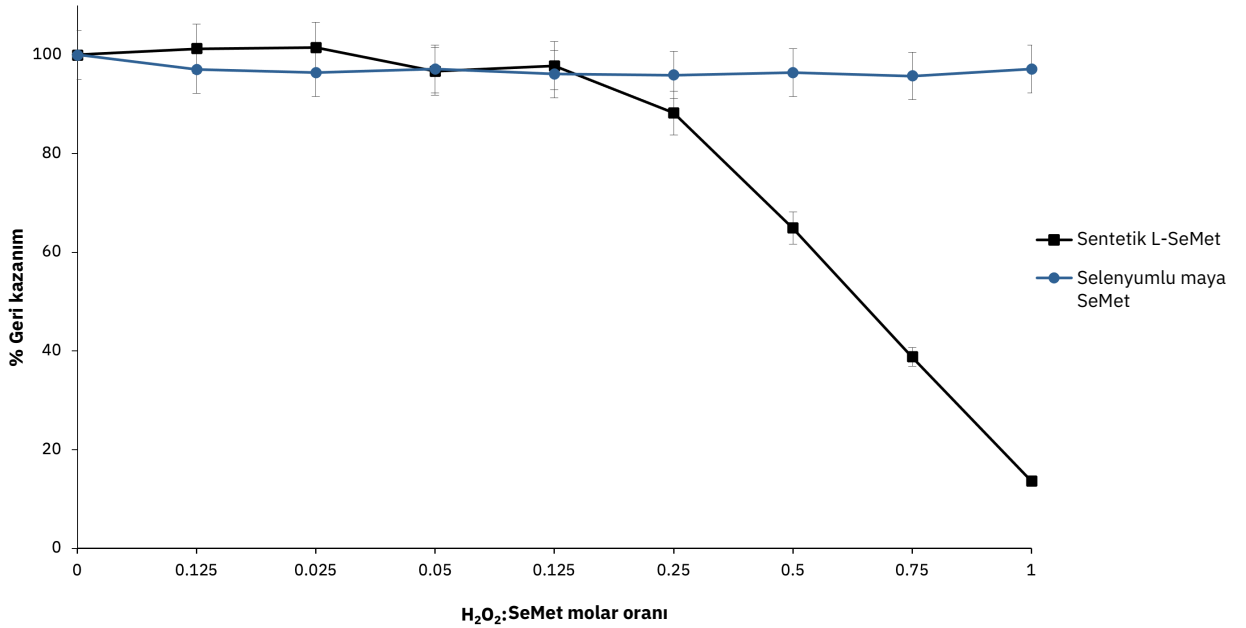
Protein katılımı selenometiyonini stabilize eder

Seleno bileşik toksisitesi ile ilgili olarak, organik selenyumlu mayanın bir yararı, selenyumun peptit ve protein birleşimi tarafından sağlanan dengeleyici etkidir. Mayanın selenyum içeren amino asitleri peptidlere ve proteinlere dahil etme yeteneği sayesinde istikrarsızlık potansiyeli büyük ölçüde azalmaktadır.

“ **Mayanın selenyum içeren amino asitleri peptidlere ve proteinlere dahil etme yeteneği sayesinde, istikrarsızlık büyük ölçüde azalır**”

Dikkate değer şekilde, hücresel düzeyde ROS aracılı DNA, protein ve lipid hasarı üzerindeki etki reddedilir. Buna karşılık, kimyasal olarak sentezlenmiş kaynakların, mayayı proteinle birleştirmeye dair koruyucu faydası yoktur.

Sentetik selenoamino asitlerin kararsızlığı etkili şekilde ortaya konmuştur. Örneğin, bu fenomeni vurgulayan bazı çalışmalar, sentetik L-selenometiyonin ve organik selenyumlu maya örneklerini bir peroksit tehdidi şeklinde oksitleyici koşullara tabi tutmuştur. Bu sonuçlar **Şekil 3**'te gösterilmektedir. Burada çözeltinin oksitleyici koşulları arttırıldığında sentetik L-selenometiyoninin saf haliyle geri kazanımı hızla azalmaktadır. Tam tersine, organik selenyumlu mayada selenometiyonin geri kazanımı aynı koşullar altında sabit kalmıştır, bu da onun daha yüksek bir kararlılığa sahip olduğunu ve oksidasyona karşı duyarlılığının azaldığını göstermektedir. Doğrudan bir *in vivo* ölçüm olmasa da, bu basit teknik, oksitleyici bir basınç uygulandığında iz mineral formlarının potansiyel stabilitesini veya kararsızlığını göstermektedir. En yaygın GI yolu oksitleyici ajanlar arasında hidroksil radikalleri ve lipid peroksitler bulunmaktadır.



Şekil 3: Oksitleyici koşulların sentetik L-SeMet ve peptit bağlı SeMet'in (selenyumlu maya) geri kazanımı üzerindeki etkisi



Selenyum formu reaktiviteyi etkiler

Kimyasal olarak sentezlenmiş selenyum kaynaklarının kullanımı çeşitli nedenlerle gastrointestinal ortamda potansiyel olarak sorunludur. Öncelikle, selenyumlu mayadaki seleno bileşiklerinin büyük çoğunluğu proteine bağlıdır ve bu nedenle, GI geçişi sırasında olumsuz etkilerden korunurlar. Ve ayrıca bağırsak ortamı oksidatifdir. Midede daha sonra artan pH değerleri, rasyondaki mütevazı yağ seviyeleriyle birleştiğinde, burayı reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimi ve lipid peroksitler gibi zararlı moleküllerin oluşumu için ideal bir ortam haline getirir.

L-metiyonin ve L-selenometiyonin'in en kolay oksitlenen amino asitler arasında olduğunu hatırlamak önemlidir. Bağırsakta, serbest L-selenometiyonin, biyo-asimilasyon için alınmazsa, muhtemelen oksitlenmiş bir forma dönüştürülecektir. Hepsi GI sisteminde bol miktarda bulunabilen hidrojen peroksit, hidroksil radikalleri, lipid peroksitler, kloraminler ve peroksinit tarafından kolayca saldırıya uğrarlar. Metionin analogları veya -NH₂'nin bir -OH ile değiştirildiği hidroksil analogları gibi selenometiyonin, oksidasyona eşit derecede duyarlı olacaktır, çünkü oksidasyon selenyum mineralinin metil grubuna yakın konumunda meydana gelir. Ayrıca, metiyonin kolayca oksitlenirken, korumasız selenometiyonin oksidasyona karşı daha hassastır, çünkü zaten değişken olan bir besinin daha da değişken bir formunu temsil etmektedir. Yüksek seviyelerde sentetik veya serbest formu L-SeMet'e maruz kalmanın ardından, hücresel koruyucular olan glutatyon ve askorbik asit tükenebilir, bu da oksidatif stresin ve/veya sitotoksitenin yanı sıra değiştirilmiş gen ekspresyon profillerine yol açar. SeMet veya analoglarının bağırsakta oksidasyonu, selenyumun emilemeyeceği anlamına gelmez de, beslenen selenyum formunun dolaşıma mutlaka girecek olan bir form olmayacağı anlamına gelir. Kısacası ortaya çıkan kimyasal modifikasyonlar sadece *in vitro* stabiliteyi etkilemez; *in vivo* biyolojik işlevler de etkilenecektir.



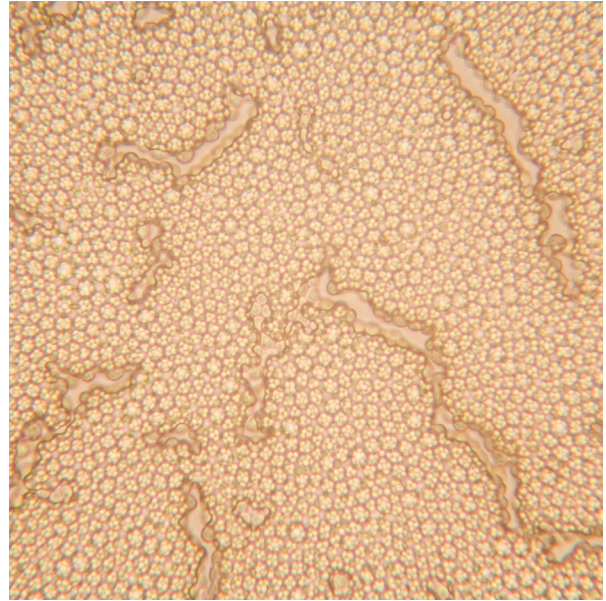
Maya selenometabolom

İnorganik selenitin kükürt metabolik yolu yoluyla *Saccharomyces cerevisiae*'ye özümlemesi, çeşitli organik seleno bileşikleri içeren selenyum açısından zenginleştirilmiş bir maya haline gelmesiyle sonuçlanır. *Saccharomyces* mayasında selenyum birikimi 2.000–3.000 mg/kg kuru ağırlığa kadar çıkabilir. Seleno bileşikleri arasında çok sayıda organoselenyum metabolitlerine ilaveten selenometiyonin, selenoglutatyon ve selenosistein yer alır.

Bugüne kadar, selenyumlu mayada, miktarları ve çeşidi belirli maya suşlarının tanımlanması için bir parmak izi görevi gören 180'den fazla seleno bileşik tanımlanmıştır. Araştırmalar, selenometiyoninin inorganik selenyum kaynaklarına göre daha üstün bir biyoyararlanıma sahip olduğunu ve selenyumun ince bağırsak yoluyla en yüksek biyoerişilebilirliği ile proteinlere hızla dahil edildiğini göstermiştir.

Selenometiyonin formundaki organik selenyum da dahil olmak üzere, toplam selenyum konsantrasyonunun belirlenmesi, türleşme sürecinin yalnızca küçük bir bileşenidir. Maya suşları, karşılaştırılabilir toplam selenyum konsantrasyonlarına ve nispeten benzer miktarlarda selenometiyonine sahip olabilirken, deiyonize su ile basit bir ekstraksiyon, çok sayıda farklı organoselenyum metabolitini ortaya koymaktadır.

Selenyum bileşiklerinin oldukça büyük bir kısmı, potansiyel doğal antioksidan fonksiyonları olan tiol ve glutatyon içeren moleküllerdir. Bu nedenle, organik selenyumlu maya, hücresel ve doku antioksidan durumunu destekleyen bir selenyum kaynağı olarak hizmet ederken, içerdiği selenyumlu benzersiz moleküller, sentetik kaynaklarda bulunmayan bir özellik olan, *in vivo* olarak doğrudan, antioksidanlar olarak işlev görme potansiyeline sahiptir.



“ Veriler ayrıca her bir organik selenyumlu maya preparasyonunun benzersizliğini göstermektedir. ”

Tablo 7, organik selenyumlu mayanın antioksidan potansiyelini vurgulayarak selenometabolomun çeşitliliğe dayanan doğasını vurgulamaktadır. Benzer şekilde veriler, selenometabolomlarının yapısındaki farklılıkları vurgulayarak her bir organik selenyumlu maya preparasyonunun benzersizliğini de göstermektedir.

Tablo 7: Maya selenometabolomları

Adı	Elemental kompozisyon [M+H] ⁺	SY 1	SY 2	SY 3	SY 4
Selenometiyonin	C ₅ H ₁₂ NO ₂ Se ⁺	✓	✓	✓	✓
2,3-DHP-Se-metil selenosistein	C ₇ H ₁₄ NO ₅ Se ⁺				✓
Selenohomolantionin	C ₈ H ₁₇ N ₂ O ₄ Se ⁺	✓			
γ-glutamil-metil selenosistein	C ₉ H ₁₇ N ₂ O ₅ Se ⁺	✓		✓	✓
Selenoadenozin	C ₁₀ H ₁₃ N ₅ O ₃ Se ⁺	✓	✓	✓	✓
N-asetilsistein-selenohomosistein	C ₉ H ₁₇ N ₂ O ₅ SSe ⁺			✓	✓
N-asetilsistein-selenohomosistein	C ₉ H ₁₇ N ₂ O ₅ SSe ⁺			✓	✓
N-asetil-sistein-selenometiyonin S-Se konjugatı	C ₉ H ₁₇ N ₂ O ₅ SSe ⁺			✓	✓
2,3-DHP-Selenolantionin	C ₉ H ₁₇ N ₂ O ₇ Se ⁺			✓	✓
Selenometil-5'selenoadenozin	C ₁₁ H ₁₆ N ₅ O ₃ Se ⁺	✓	✓	✓	✓
N-2,3-DHP-selenosistatinyonin	C ₁₀ H ₁₉ N ₂ O ₇ Se ⁺	✓		✓	✓
Etil selenoadenozin	C ₁₂ H ₁₈ N ₅ O ₃ Se ⁺	✓			
Seleno-adenosil-Se(metil)-selenoksit	C ₁₁ H ₁₆ N ₅ O ₄ Se ⁺	✓	✓	✓	✓
5'-Se-metil-oksit-selenoadenozin	C ₁₁ H ₁₆ N ₅ O ₄ Se ⁺		✓		
Metilselenoglutatyon	C ₁₁ H ₂₀ N ₃ O ₆ Se ⁺	✓		✓	✓
N-asetilselenosistein-selenohomosistein	C ₉ H ₁₇ N ₂ O ₅ SSe ₂ ⁺		✓		✓
Metiltioselenoglutatyon	C ₁₁ H ₂₀ N ₃ O ₆ SSe ⁺	✓	✓	✓	✓
Metilselenol-Se-metil-5'-selenoadenozinin S-Se konjugatı	C ₁₁ H ₁₆ N ₅ O ₃ Se ₂ ⁺	✓	✓	✓	
Seleno-adenosil homosistein	C ₁₄ H ₂₁ N ₆ O ₅ Se ⁺	✓	✓	✓	✓
2,3-DHP-selenosistein-sisteinilglisin	C ₁₁ H ₂₀ N ₃ O ₈ SSe ⁺				✓
2,3-DHP-selenosistein-selenohomosistein	C ₁₀ H ₁₉ N ₂ O ₇ Se ₂ ⁺				✓
N-2,3-DHP-selenometil-selenohomosisteinin Se-Se konjugatı	C ₁₀ H ₁₉ N ₂ O ₇ Se ₂ ⁺	✓	✓	✓	✓
Seleno-hidroksi adenosil homosistein	C ₁₄ H ₂₁ N ₆ O ₆ Se ⁺				
Selenometil-selenoglutatyon	C ₁₁ H ₂₀ N ₃ O ₆ Se ₂ ⁺	✓	✓	✓	✓
Selenoglutatyon-sistein	C ₁₃ H ₂₃ N ₄ O ₈ SSe ⁺				✓
Metilselenol-tioselenoglutatinyonin Se-S-Se konjugatı	C ₁₁ H ₂₀ N ₃ O ₆ SSe ₂ ⁺		✓	✓	
Glutatyon-selenohomosistein	C ₁₄ H ₂₅ N ₄ O ₈ SSe ⁺			✓	
N-2,3-DHP-SeCys-N-asetil-homoCys'in Se-S konjugatı	C ₁₄ H ₂₃ N ₃ O ₉ SSe ⁺		✓	✓	
Glutatyon-N-asetilselenohomosistein	C ₁₆ H ₂₇ N ₄ O ₉ SSe ⁺			✓	✓
Glutatyon-selenosisteinilglisin	C ₁₅ H ₂₆ N ₅ O ₉ SSe ⁺			✓	✓
γ-Glutamil selenosistein-γ-glutamil sistein	C ₁₆ H ₂₇ N ₄ O ₁₀ SSe ⁺	✓			
γ-Glutamilsistein-2,3-DHP-selenosistein	C ₁₄ H ₂₄ N ₃ O ₁₀ Se ₂ ⁺				✓
Glutatyon-2,3-DHP-selenosistein	C ₁₆ H ₂₇ N ₄ O ₁₁ SSe ⁺	✓	✓	✓	✓
N-asetil-N-2,3-dihidroksipropiyonil selenosistein-N-2,3-dihidroksipropiyonil-selenohomosisteinin Se-Se konjugatı	C ₁₅ H ₂₅ N ₃ O ₁₀ Se ₂ ⁺		✓		✓
Glutatyon-2,3-DHP-selenohomosistein	C ₁₇ H ₂₉ N ₄ O ₁₁ SSe ⁺	✓	✓	✓	✓
Glutatyon-2,3-DHP-selenosistein [M+Na ⁺]	C ₁₆ H ₂₆ N ₄ O ₁₁ SSeNa ⁺			✓	✓
Glutatyon-γ-glutamilselenosistein	C ₁₈ H ₃₀ N ₅ O ₁₁ SSe ⁺		✓		✓
Selenoglutatyon-2,3-DHP-selenosistein	C ₁₆ H ₂₇ N ₄ O ₁₁ Se ₂ ⁺	✓	✓	✓	✓
Selenoglutatyon-2,3-DHP-selenohomosistein	C ₁₇ H ₂₉ N ₄ O ₁₁ SSe ₂ ⁺				✓
Glutatyon-selenoadenozinin S-Se konjugatı	C ₂₀ H ₂₉ N ₈ O ₉ SSe ⁺		✓	✓	✓
Selenoglutatyon-γ-glutamilselenosistein	C ₁₈ H ₃₀ N ₅ O ₁₁ SSe ₂ ⁺				✓
Selenoglutatyon-glutatyon	C ₂₀ H ₃₃ N ₆ O ₁₂ SSe ⁺			✓	✓
Selenodiglutatyon	C ₂₀ H ₃₃ N ₆ O ₁₂ S ₂ Se ⁺			✓	
Di-selenoglutatyon	C ₂₀ H ₃₃ N ₆ O ₁₂ Se ₂ ⁺				✓



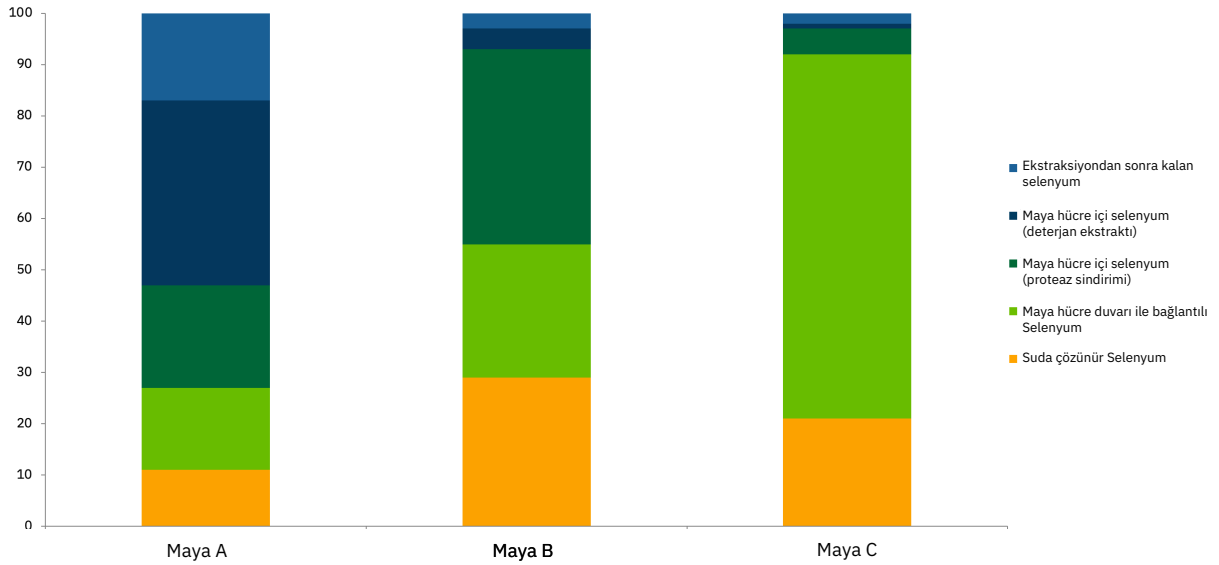
Organik selenyumlu maya ürünleri arasındaki bileşimsel farklılıklar

Yem endüstrisinde, selenyum ürünlerindeki SeMet içeriklerine dair “daha iyi” olduğu yönünde bir yanlış bulunmaktadır. SeMet seviyesini artırmanın daha iyi bir ürün anlamına geleceğine dair hiçbir kanıt olmadığı için bu tür argümanların bilimsel bir temeli yoktur. SeMet seviyesi ürünler arasında farklılık gösterebileceği gibi, benzer şekilde, GI kanalındaki sindirim süreçleri tarafından salınan SeMet'in biyoerişilebilirliği ve mevcudiyeti de farklı olacaktır.

“ Yem endüstrisinde, selenyum ürünlerindeki toplam SeMet içeriğine ilişkin bir yanlış vardır: "Daha çok daha iyidir" inancı...”

Araştırma perspektifinden gidildiğinde, selenyumun sunulduğu formun stabiliteyi ve dolayısıyla molekülün hücrel reaktivitesini etkilemesi açıktır ve selenyumun daha az kararlı formları gelişmiş toksikolojik özelliklere sahipken, daha kararlı preparasyonlar çok daha az toksiktir.

Bireysel selenyum ürünlerinin benzersizliğini gösteren ilk çalışmalardan biri Encinar ve arkadaşları tarafından 2003 yılında gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar, her biri bir dizi sıralı ekstraksiyona ve ardından çeşitli polisakarit ve protein fraksiyonları ile ilişkili seleno bileşikler serbest bırakmak için tasarlanmış çeşitli enzimatik sindirime tabi tutularak selenyumla zenginleştirilmiş mayadan oluşan üç farklı ticari preparatı incelediler. Bu seleno bileşikler daha sonra ayrıldı ve SEC-ICP MS ile türleştirildi ve her bir maya ürününden çeşitli fraksiyonlardaki geri kazanımlar karşılaştırıldı. (**Şekil 4**)



Şekil 4: Selenyumla ilişkili maya fraksiyonları (Encinar ve arkadaşları, 2003'ten uyarlanmıştır.)

Yukarıda özetlenen sonuçlar, farklı ekstraksiyon teknikleri kullanılarak mayadaki seleno bileşiklerinin fraksiyonlanmasının ana hatlarını oraya koymaktadır.

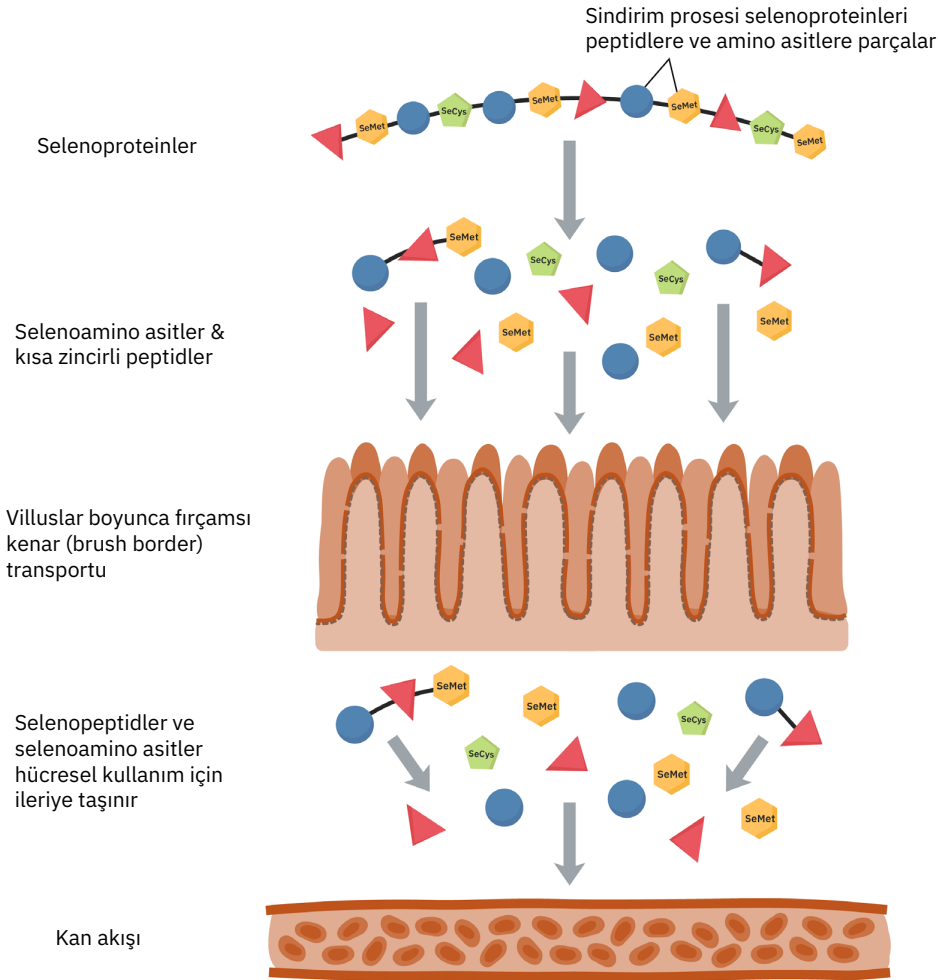
Tüm selenyumlu maya preparatlarının aynı olduğuna dair yaygın bir algı olmasına rağmen, durum bu değildir ve selenyumun maya içindeki bölümlendirilmesinin çeşitli preparatlar arasında tamamen farklı olduğu açıktır. Maya türleri arasında genetik düzeyde farklılıklar olduğu gibi, mayaların selenyumunu hücre içinde dağıtma biçiminde de temel farklılıklar vardır.

Selenyumla zenginleştirilmiş maya preparatları içindeki selenyumun hücre altı birikimi çok farklı olduğundan, bu preparatların raf ömrü, biyoyararlanımı ve biyoetkinliği gibi parametreler açısından da farklılık göstermesini beklemek mantıklıdır. Bu ürünlere aynı açıdan bakmak yerine, farklı selenyum preparatları olarak görülmeli ve hayvan sağlığı ve performansı üzerindeki etkileri ayrı ayrı değerlendirilmelidir.



Organik selenyumlu mayanın metabolizması: Sindirilebilirlik anahtardır.

Selenyumla zenginleştirilmiş maya gibi organik selenyum ürünleri söz konusu olduğunda, biyolojik etkinlik, preparasyonlarda bulunan selenyum içeren proteinlerin ve peptitlerin sindirilebilirliğine ve erişilebilirliğine bağlıdır. Selenometiyonin gibi amino asitler içeren selenyumun seviyesi ürünler arasında farklılık gösterebilir ve aynı şekilde sindirilebilirlik ve dolayısıyla sindirim sırasında serbest kalan biyolojik olarak kullanılabilir selenometiyonin miktarı da farklı olur. **(Şekil 5)** Aynı şekilde selenyumlu mayada bulunan diğer selenyum içeren amino asitlerin sindirilebilirliği de ürünler arasında farklılık gösterecektir. Özünde, maya selenometabolomunda bulunan 180'den fazla selenyum içeren molekülün sindirimi selenyumlu maya ürünlerinin genel biyoyararlanımını etkileyecektir.



Şekil 5: Selenyum içeren proteinlerin sindirimi SeMet'i serbest bırakır.

Hakemli araştırmalar, *in vitro* gastrointestinal sindirimi takiben selenyum açısından zenginleştirilmiş mayadaki selenyum içeren protein ve peptitlerin sindirilebilirliğini değerlendirerek bu konuyu ele almıştır. Şaşırtıcı bir şekilde, araştırmacıların bulguları, toplam selenyumun yaklaşık %90'ının gastrointestinal sindirimden sonra ekstrakte edildiğini, ancak sadece %34'ünün serbest selenometiyonin olarak ölçüldüğünü göstermiştir.

Kalan selenyum, çoğu düşük, orta ve yüksek moleküler ağırlıklı seleno bileşikler gibi seleno peptidlerde bulunmaktaydı. Açıkçası, bu peptidlerde bulunan selenyumun biyoyararlanımı daha geniş kapsamlıdır. Selenyumlu mayanın sindirimi üzerine yapılan bir çalışma, ticari selenyumla zenginleştirilmiş maya ürünlerinin protein sindirilebilirliği ve selenometiyonin gibi selenoamino asitlerin biyoerişilebilirliği açısından önemli ölçüde farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur.

“ **Ticari selenyumla zenginleştirilmiş maya ürünleri, protein sindirilebilirliği ve selenometiyonin gibi selenoamino asitlerin biyolojik olarak erişilebilirliği açısından önemli ölçüde farklılık gösterir**”

Tüm organik selenyum kaynaklarının, biyoerişilebilirlikleri veya dolayısıyla etkinlikleri açısından eşit olduğunu söylemek mümkün değildir. Sadece selenyum içeren proteinlerin ve peptitlerin sindirilebilirliği açısından değil, aynı zamanda pro-oksidan olarak hareket etme yetenekleri açısından da farklılık gösterirler. Bağlı selenometiyonin içeriğinin artırılması, selenyum kaynağının biyoyararlanımının da mutlaka artacağı anlamına gelmez.

Son olarak, her bir ürünün ayrı ayrı biyoyararlanımında, selenometiyonin gibi selenoamino asitlerin sindiriminde ve serbest bırakılmasında ve bunların pro-oksidan olarak hareket etme yeteneklerinde var olan varyasyona dikkat edilmelidir.

Selenyum kaynaklarının biyoerişilebilirliği

Selenyum kaynağı olan ürünler arasında biyoyararlanıma ilişkin doğrudan karşılaştırmalar yapmak zor olsa da, dokulardaki tutulma ile ilgili yayınlanmış verileri karşılaştırmak ve bunları her bir ürünün biyoerişilebilirliği ve biyosindirilebilirliğinin bir göstergesi olarak kullanmak mümkündür. Avrupa Birliği (AB) ürün ruhsatlandırma sürecinin bir parçası olarak, her bir organik selenyum üreticisinin ürünlerinin etkinliği, güvenliği ve toksisitesi ile ilgili detaylı dosyalar sunması gerekmektedir. EFSA daha sonra ürünlerin tüm hayvan türleri için etkinliğini ve güvenliğini ve ayrıca kullanıcı, tüketici ve çevre için güvenliğini değerlendirmektedir. AB'de kullanımına izin verilen bazı organik selenyum ürünlerine ilişkin EFSA görüşlerinde yayınlanan dokulardaki tutulma verilerinin bir özeti Tablo 8'de yer almaktadır. Ancak, tüm ürünler için veri bulunmadığını da belirtmek gerekiyor.

Tablo 8: Selenyumun dokularda tutulmasına ilişkin veriler(ST=Selenyum Tutulması, te=tespit edilmedi)

Hayvan türleri	Doku	Selenyumlu maya 1		Selenyumlu maya 2		Selenyumlu maya 3		DL-HMSeBA		Zn-L-SeMet	
		Se içeriği (ppm)	ST (ppm)	Se içeriği (ppm)	ST (ppm)	Se içeriği (ppm)	ST (ppm)	Se içeriği (ppm)	ST (ppm)	Se içeriği (ppm)	ST (ppm)
Kanatlı (Etlik piliç)	Kas	0,34	0,3	0,3	0,27	0,278	0,25	0,45	0,3	0,265	0,2
	Karaciğer	0,69	0,3	0,63	0,27	nd	nd	0,84	0,3	0,655	0,2
Kanatlı (Yumurtacı tavuk)	Yumurta	0,74	0,6	0,33	0,49	0,25	0,3	0,36	0,3	0,231	0,2
Büyükbaş ruminant hayvanlar	Süt	0,031	0,21-0,27	0,02	0,50	0,04	0,3	0,017	0,1	te	te
	Kan	0,167	0,24-0,31	0,12	0,30	0,167	0,3	te	te	te	te

Veri kümeleri, farklı ürünlerdeki denemeler açısından doğrudan karşılaştırılabilir olmasa da, bu veriler her bir ürünün hem doku hem de ürüne özgü bir şekilde selenyum içeriğini ve kalıcılığını geliştirdiğini açıkça göstermektedir. Daha da önemlisi, dokulardaki birikim mutlaka bir biyoetkinlik göstergesi değildir ve bu nedenle, her bir ürünü tam olarak değerlendirmek için, *in vivo* performansın değerlendirilmesi gibi, daha ileri değerlendirmeler gereklidir.

“ **Dokulardaki birikim kesin bir biyoetkinlik göstergesi değildir ve bu nedenle, her ürünü tam olarak değerlendirmek için, *in vivo* performans gibi, daha ileri değerlendirme yöntemleri kullanmak gerekir.**”

AB'de kullanımına izin verilen bazı selenyumla zenginleştirilmiş maya ürünlerine ilişkin EFSA görüşlerine dayanan ek bir analizde, selenyumlu maya ürünleriyle beslenen hayvanlardaki doku ve ürünleri tüketen yetişkin insanların maksimum günlük selenyum alımları hesaplanmıştır. Bunlar, SCOOP verilerine (EC, 2004) karşılık gelen tüketim rakamlarına dayanmaktadır. Mevcut veriler hayvansal gıda ürünlerinin teorik günlük tüketimiyle birlikte kullanılarak (2001/79/EC sayılı Direktif), yenilebilir dokular, yumurta ve süt için aşağıdaki tüketim rakamları elde edilmiştir. (Tablo 9).

Tablo 9: SCOOP verilerine göre (EC, 2004) selenyumla zenginleştirilmiş maya ile beslenen hayvanlardan elde edilen doku ve gıda ürünlerinin tüketimi yoluyla yetişkin tüketicilerin aldığı günlük maksimum selenyum alımı

Dokular/Ürünler	Alım (gr)	Selenyumlu maya 1 ($\mu\text{g d}^{-1}$)	Selenyumlu maya 2 ($\mu\text{g d}^{-1}$)	Selenyumlu maya 3 ($\mu\text{g d}^{-1}$)
Kas	105 ^a	36	22	37
Karaciğer	35 ^a	24	4	28
Böbrek	3.5 ^a		32	9
Süt	280 ^b	9	12	13
Yumurta	36 ^c	27	6	18
Toplam alım		96	76	105

^a2001/79/EC sayılı Direktif ile aynı oranda hesaplanan et alımı

^bOrtalama değer

^cMaksimum değer

Özünde, bu veriler organik selenyumlu maya ürünleri arasındaki belirgin farklılıkları göstermektedir. Bunun başlıca nedeni, selenyumun maya içinde bulunan çok sayıda peptit ve proteinde diferansiyel birikimi ve seleno bileşiklerinin sindirilebilirliği ve biyoerişilebilirliğidir. Bu veriler, ürünlerin her birindeki selenyum tutumunun ve dolayısıyla biyoyararlanımının farklı olduğunu göstermektedir.

“ Veriler, ürünlerin her birinde selenyum tutumunun ve dolayısıyla biyoyararlanımının farklı olduğunu göstermektedir.”

Sonuç ve tespitler

Verilere genel olarak bakıldığında, selenoamino asit ve selenoprotein biyoyararlanımının, GI kanalından geçerken kaynağına göre değişiklikler göstereceği açıktır. Selenyum kaynaklarının stabilitesindeki farklılıkların da raf ömrü ve ürün kalitesi gibi parametreleri etkilemesi beklenebilir. Daha da önemlisi, bu tür farklılıkların farklı preparatların toksik potansiyeli üzerinde bir etkisi olabilir ve kimyasal olarak sentezlenmiş selenyum kaynakları söz konusu olduğunda, inorganik sodyum selenitinkine benzer bir toksisite verebilir.

Organik selenyum kaynaklarını değerlendirmek ve türlerini belirlemek için kullanılan analitik yöntemlerde ilerlemeler devam ederken, bir yem katkı maddesini değerlendirmenin en önemli kısmının hayvan performansı üzerindeki etkisini dikkate almak olduğu unutulmamalıdır. Her bir organik selenyum preparatının benzersizliği göz önüne alındığında bu özellikle önemlidir ve bu nedenle hayvan sağlığı ve performansı üzerindeki etkileri ayrı ayrı değerlendirilmelidir.

“ Sel-Plex® markasıyla pazara sunulan selenyumlu maya formu bugüne kadar üzerinde 300'den fazla bilimsel araştırma yapılmış organik selenyum kaynağıdır”

Diğer kaynakların aksine Sel-Plex® markalı selenyumlu maya, üzerinde en çok araştırma yapılan organik selenyum kaynağıdır ve bugüne kadar 300'den fazla referans nitelikli performans çalışmasında yer almıştır. Bu çalışmalar, ürünün sağlık ve performansı olumlu yönde etkileme yeteneğini doğrulamakta, tüm hayvan türleri ve yaşam evreleri üzerindeki etkinliğini detaylandırmaktadır.

Organik bir selenyumlu maya olan Sel-Plex® güvenli olmasının yanı sıra, kümes hayvanları, ruminantlar ve su ürünleri üreticileri için karlılığı da artırmaktadır.

