

Xylanase Enzimi: Yem, Biyokütle, Kâğıt-Hamur ve Bitkisel Hammadde İşlemede Xylan Parçalama

Enzymes.bio Araştırma Ekibi · Wellington, Yeni Zelanda · June 21, 2026

Xylanase, bitki hücre duvarlarında bulunan xylan ve arabinoxylan yapılarını hidroliz ederek daha kısa zincirli bileşenlerin oluşmasına yardımcı olan endüstriyel bir enzimdir. Başlıca değeri; tahıl bazlı yemlerde viskozite ve besin erişilebilirliği, lignoselülozik biyokütlerde şekerleşme, kâğıt-hamurda biyolojik ön işlem ve bitkisel lif/gıda proseslerinde hücre duvarı modifikasyonu gibi uygulamalarda ortaya çıkar ^[1]. Enzymes.bio, Xylanase ürününü 1 kg birimler halinde çevrim içi doğrudan satın alma modeliyle tedarik eder; siparişe birlikte CoA ve SDS sağlar .

Xylanase nedir ve neden endüstriyel olarak önemlidir?

Xylanase, xylan adı verilen hemiselülozik polisakkaritin zincir yapısını parçalamaya yardımcı olan bir biyokatalizördür. Xylan, tahıllar, odunsu biyokütle, tarımsal yan ürünler, kepek, posa ve birçok bitkisel hammadde içinde hücre duvarı matrisinin önemli bir parçası olarak bulunur. Bu nedenle xylanase, yalnızca tek bir sektöre ait bir katkı değil; yem, gıda, içecek, biyoyakıt, biyokimya, kâğıt-hamur ve tekstil gibi farklı proseslerde bitkisel materyalin işlenebilirliğini değiştiren fonksiyonel bir enzim grubudur ^[2].

Xylanı pratik açıdan önemli kılan nokta, bitki hücre duvarında tek başına izole bir zincir gibi davranmamasıdır. Selüloz mikrofibrilleri, lignin, pektik bileşenler ve çeşitli yan zincirli hemiselülozlarla birlikte fiziksel bir ağ oluşturur. Xylanase bu ağın özellikle xylan / arabinoxylan bölümüne etki ederek hücre duvarının geçirgenliğini, su tutma davranışını, çözünür polisakkarit yükünü ve bazı sistemlerde viskoziteyi etkileyebilir ^[1].

Bu mekanizma, endüstride üç ana hedefe bağlanır: bitki hücre duvarı içinde hapsolmuş besin veya değerli bileşenlere erişimi artırmak, uzun zincirli hemiselülozların oluşturduğu akış ve filtrasyon sorunlarını azaltmak, lignoselülozik hammaddeleri sonraki enzimatik veya fermantatif adımlar için daha uygun hâle getirmek. Ancak xylanase, karmaşık bitkisel matrisi tek başına “tamamen çözen” bir enzim olarak düşünülmemelidir; performans, hammadde yapısı ve proses koşullarıyla birlikte değerlendirilir ^[3].

Xylanase nasıl çalışır? Somut mekanizma

Xylanase'ın temel görevi, xylan omurgasındaki belirli bağların su aracılığıyla kırılmasına katalitik olarak yardımcı olmaktır. Uzun zincirli xylan molekülü kesildikçe daha kısa zincirli xylan parçaları ve xylo-oligosakkarit yapılar oluşabilir; proses koşulları ve hammaddeye bağlı olarak daha küçük şeker bileşenlerine doğru ileri parçalanma da desteklenebilir. Literatürde endo-1,4- β -xylanase kristalleri üzerinde yapılan yapısal çalışmalar, bu enzimlerin xylan zinciriyle doğrudan etkileşen bir aktif bölge mimarisi üzerinden çalıştığını göstermektedir [4].

Bu etkiyi basit bir proses örneğiyle düşünmek mümkündür. Buğday veya arpa bazlı bir yem formülasyonunda çözünür arabinoxylan fraksiyonu suyla temas ettiğinde ortamın kıvamını artırabilir. Xylanase, bu uzun zincirleri daha kısa parçalara böldüğünde aynı polisakkarit yükü daha düşük moleküler büyüklükte dağılır; bunun sonucu olarak bağırsak içeriği veya proses sıvısının akış davranışı değişebilir. Bu mekanizma, özellikle tahıl bazlı yemlerde viskozite kontrolünün neden xylanase ile ilişkilendirildiğini açıklar [5].

Lignoselülozik biyokütlede mekanizma biraz daha geniştir. Tarımsal kalıntılar veya odunsu materyallerde xylan, selüloz ve ligninle birlikte sıkı bir hücre duvarı organizasyonu içinde bulunur. Xylanase hemiselüloz fraksiyonunu kısmen açtığında, selülozik bölgeler diğer enzimlere veya kimyasal/termal ön işlem sonrası dönüşüm adımlarına daha erişilebilir hâle gelebilir. Bu nedenle biyoyakıt ve biyorefinery uygulamalarında xylanase, genellikle tek başına nihai dönüşümü sağlayan araç değil, bütünleşik prosesin erişilebilirlik artırıcı bileşenlerinden biridir [6].

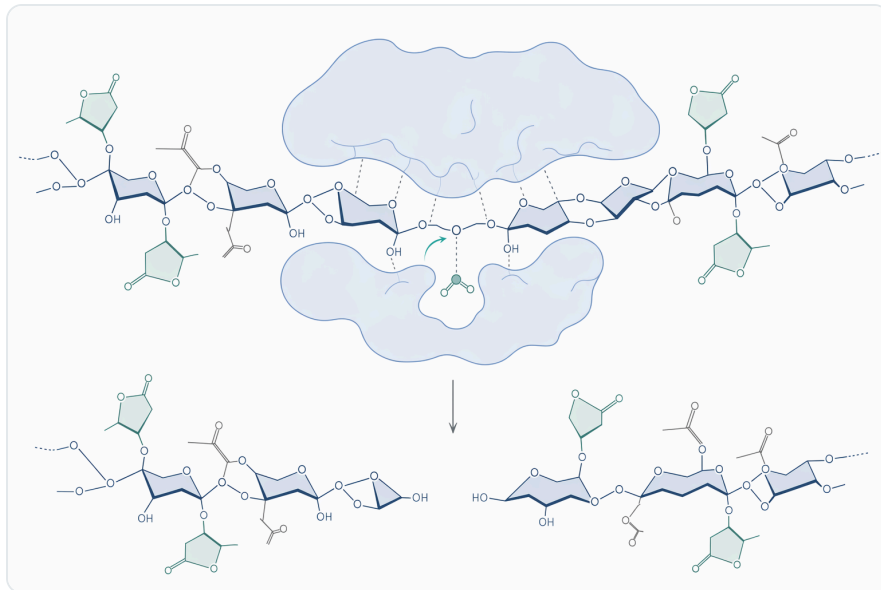


Figure 1. 자일라나아제는 자일란 골격의 내부 β -1,4 결합을 가수분해하여 더 짧은 자일로올리고당과 수용성 헤미셀룰로오스 조각을 형성한다.

Xylanın doğal yapısı dallanmış olabilir; arabinoz, asetil, glukuronik asit ve fenolik bağlantılar gibi yan gruplar xylanase erişimini sınırlayabilir. Bu yüzden bazı uygulamalarda xylanase'in etkisi, pektinaz, mannanaz, lakkaz, selülozla ilişkili enzimler veya başka yardımcı aktivitelerle birlikte ele alınır. Örneğin yumuşak odun kraft hamurunun biyolojik ağartma yaklaşımında lakkaz, xylanase ve mannanase kombinasyonunun sinerjik etkiyle incelendiği çalışmalar, tek bir enzimin değil enzim kombinasyonlarının proses çıktısını değiştirebildiğini göstermektedir ^[7].

Hammadde tarafında hedef: xylan, arabinoxylan ve hemiselüloz

Xylanase uygulamalarının başarılı olması için hammaddede enzim tarafından hedeflenebilir bir xylan fraksiyonu bulunmalıdır. Bu fraksiyon; buğday, arpa, çavdar, mısır yan ürünleri, kepek, tarımsal saplar, posa, odunsu biyokütle, bazı meyve-sebze işleme kalıntıları ve lignoselülozik agro-endüstriyel kalıntılarda farklı oran ve yapılarla görülebilir. Agro-endüstriyel kalıntıların biyodönüşümünde xylanase üretimi ve uygulaması üzerine yapılan çalışmalar, hammadde bileşiminin enzimle elde edilen sonuçlarda belirleyici olduğunu vurgular ^[8].

Tahıl hammaddelerinde pratik ilgi genellikle arabinoxylan üzerinedir. Arabinoxylan, xylan omurgasına bağlı arabinoz yan grupları içeren bir yapı olarak su tutma, çözünürlük ve viskozite davranışını etkileyebilir. Bu nedenle yem ve fırıncılık uygulamalarında xylanase'in etkisi yalnızca "xylanı kesmek" şeklinde değil, su dağılımı, hamur reolojisi, bağırsak içeriği akışı veya ekstraksiyon davranışı gibi proses düzeyindeki sonuçlarla birlikte değerlendirilir ^[9].

Odunsu ve tarımsal biyokütlerde ise xylan fraksiyonu, lignin ve selülozla birlikte daha dirençli bir yapı içinde yer alabilir. Bu matriste xylanase'in etkisi, ön işlem görmemiş ve yüksek lignin etkisi altındaki materyallerde sınırlı kalabilir; ön işlem, öğütme, nem, sıcaklık ve temas süresi gibi değişkenler hidroliz derecesini doğrudan etkiler. *Aspergillus tamarii* Kita ile agro-endüstriyel kalıntıların fermente edilebilir şekerlere biyodönüşümü üzerine yapılan çalışma, bu tip uygulamalarda istatistiksel tasarım ve hammadde değişkenlerinin birlikte ele alınması gerektiğini gösterir ^[3].

Başlıca endüstriyel uygulamalar

Hayvan yemi: tahıl bazlı rasyonlarda viskozite ve besin erişilebilirliği

Xylanase, hayvan yemi sektöründe özellikle buğday, arpa, çavdar ve lifli yan ürün içeren formülasyonlarda kullanılır. Bu hammaddelerdeki non-niştasta polisakkaritler, sindirim sistemi içinde jel benzeri veya yüksek viskoziteli bir ortam oluşturarak enzimlerin besinlere erişimini, besin difüzyonunu ve bağırsak içeriği akışını etkileyebilir. Xylanase, arabinoxylan zincirlerini kısaltarak bu fiziksel bariyeri azaltmaya yardımcı olur ^[5].

Kanatlı yemlerinde bu etki genellikle enerji kullanımının desteklenmesi, besinlerin hücre duvarı içinde hapsolmesinin azaltılması ve sindirim içeriğinin daha yönetilebilir hâle gelmesiyle ilişkilendirilir. Düşük enerjili mısır-soya bazlı broyler rasyonlarında xylanase takviyesi üzerine yapılan çalışma, xylanase'ın yalnızca viskoziteye değil, rasyon enerji değerlendirmesine de uygulama bağlamında dahil edildiğini göstermektedir [5].

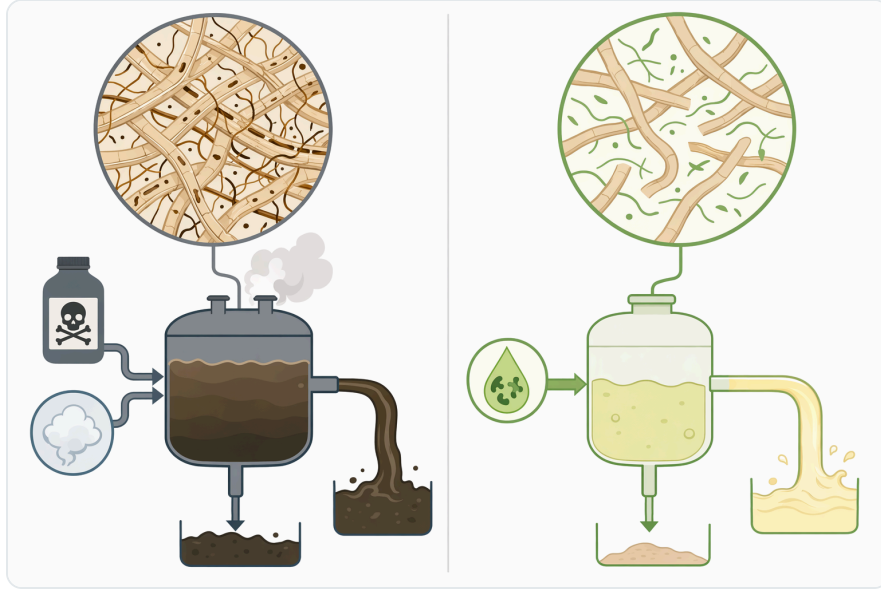


Figure 2. GH10 자일라나아제는 일반적으로 치환된 자일란을 수용할 수 있는 더 넓은 활성 부위 틈을 가지는 반면, GH11 자일라나아제는 대개 크기가 더 작고 접근 가능한 자일란 골격에 효율적으로 작용한다.

Domuz yavrularında yüksek lifli buğday-arpa-çavdar temelli ve yan ürün içeren rasyonlara xylanase, β -glukanaz, proteaz ve amilaz içeren çoklu enzim yaklaşımının eklenmesi üzerine yürütülen araştırma, xylanase'ın yem uygulamalarında çoğu zaman tek başına değil, hedef hammadde fraksiyonlarına göre tasarlanmış enzim kombinasyonlarının parçası olarak değerlendirildiğini gösterir [9]. Bu, pratikte “phytase and xylanase enzymes” gibi birlikte anılan enzim kombinasyonlarının neden yaygın arama terimi hâline geldiğini de açıklar.

Fitaz ve xylanase aynı hedef molekül üzerinde çalışmaz: fitaz fitatla ilişkili fosfor erişilebilirliğine odaklanırken xylanase arabinoxylan / xylan yapısını hedefler. Buna rağmen yem formülasyonunda “phytase and xylanase”, “phytase xylanase enzymes” veya “phytase with xylanase” ifadeleri sıklıkla birlikte kullanılır; çünkü iki enzim de bitkisel hammaddelerde besin erişilebilirliğini farklı mekanizmalarla iyileştirmeye yönelik yem enzimi stratejilerinin parçasıdır. Bu tür kombinasyonlarda sonuç, rasyonun fitat, lif, tahıl tipi, mineral düzeyi ve proses koşullarına bağlı olarak değişir [9].

Gıda ve fırıncılık: hamur davranışı, su dağılımı ve tekstür

Fırıncılıkta xylanase, un içindeki arabinoxylan fraksiyonuna etki ederek hamurun su tutma, elastikiyet, gaz tutma ve işlenebilirlik özelliklerini değiştirebilir. Uzun zincirli arabinoxylanların kontrollü parçalanması, hamurda bağlı suyun yeniden dağılımını ve gluten-nişasta matrisiyle etkileşimi etkileyebilir. Bu nedenle xylanase uygulaması ekmek hacmi, iç yapı ve tekstür gibi çıktılarla ilişkilendirilir; ancak sonuç un tipi ve formülasyonla doğrudan bağlantılıdır ^[1].

Gıda proseslerinde xylanase'in etkisi fırıncılıkla sınırlı değildir. Bitkisel materyalden ekstraksiyon, bazı içeceklerde berraklaştırma, lifli yan ürünlerin fonksiyonel bileşenlere dönüştürülmesi ve agro-endüstriyel kalıntıların fermente edilebilir şekerlere çevrilmesi gibi alanlarda da xylanase incelenmiştir. *Aspergillus tamarii* Kita kaynaklı xylanase'in agro-endüstriyel kalıntıların fermente edilebilir şekerlere biyodönüşümünde kullanıldığı çalışma, gıda ve biyoproses sınırındaki uygulamalara örnek oluşturur ^[3].

Bu alanda dikkat edilmesi gereken nokta, xylanase'in "daha fazla parçalama her zaman daha iyi sonuç verir" şeklinde çalışmamasıdır. Hamur sistemlerinde aşırı polisakkarit parçalanması su yönetimini, yapısal dayanımı veya nihai tekstürü olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle gıda uygulamalarında hedef, xylan fraksiyonunun kontrollü modifikasyonudur; nihai performans ürün reçetesi, işlem süresi, sıcaklık, pH ve diğer enzimlerle etkileşime bağlıdır ^[1].

Biyokütle, biyoyakıt ve biyorefinery: hemiselülozun erişilebilir hâle getirilmesi

Biyokütle işleme süreçlerinde xylanase'in ana rolü, lignoselülozik materyaldeki hemiselüloz bölümünü parçalayarak şekerleşme ve fermantasyon adımlarına destek olmaktır. Tarımsal atıklar, saplar, kabuklar ve odunsu kalıntılar yenilenebilir karbon kaynağı olarak değerlidir; ancak hücre duvarı mimarisi nedeniyle doğrudan dönüştürülmeleri zordur. Xylanase, bu dirençli yapının hemiselüloz kısmını hedef alarak biyolojik dönüşümün önündeki fiziksel engellerden birini azaltabilir ^[6].

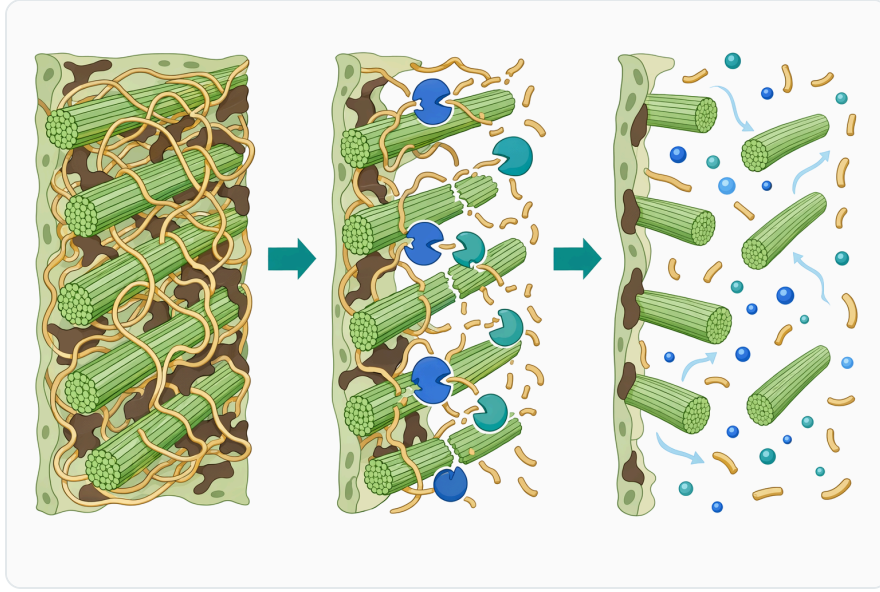


Figure 3. 엔도 자일라나아제는 셀룰로오스, 리그닌 함유 영역, 영양소 또는 수용성 추출물에 대한 접근을 제한하는 자일란 사슬을 짧게 만들어 식물성 물질을 느슨하게 한다.

Biyometanol ve biyokimyasal üretiminde xylanase, genellikle selüloz ve hemiselüloz hidrolizine yönelik çok adımlı stratejilerin parçasıdır. Xylanase üretimi ve biyometanol fermantasyonu üzerine yapılan proses optimizasyon çalışmaları, enzim üretimi, hammadde seçimi, şekerleşme ve fermantasyonun ayrı ayrı değil, birlikte optimize edilmesi gerektiğini göstermektedir [6].

Xylanase'ın biyorefinery bağlamındaki değeri yalnızca xylose veya fermente edilebilir şeker üretimiyle sınırlı değildir. Xylo-oligosakkarit üretimi, lifli yan ürünlerin fonksiyonel bileşenlere dönüştürülmesi ve tarımsal atıkların daha yüksek katma değerli ürünlere yönlendirilmesi de araştırma alanları arasındadır. Soğuğa uyumlu bir xylanase'ın xylo-oligosakkarit hazırlama amacıyla ifade edilip karakterize edildiği çalışma, proses sıcaklığına uygun enzim seçiminin uygulama hedefiyle bağlantılı olduğunu gösterir [10].

Kâğıt-hamur ve biyolojik ağartma: kimyasal yükü azaltmaya destek

Kâğıt ve selüloz hamuru işlemede xylanase, hamur içindeki hemiselülozik kalıntıların modifikasyonu yoluyla ağartma proseslerinin daha verimli ilerlemesine yardımcı olabilir. Xylanın kısmen uzaklaştırılması veya yapısının değiştirilmesi, ligninle ilişkili bileşenlerin erişilebilirliğini etkileyebilir ve sonraki ağartma adımlarında kimyasal ihtiyacı azaltmaya yönelik stratejilerde değerlendirilir [7].

Yumuşak odun kraft hamurunda lakkaz, xylanase ve mannanase kombinasyonunun biyolojik ağartma etkisinin incelenmesi, enzimlerin tekil değil sinerjik etkiyle düşünülmesi gerektiğini gösterir. Bu tip uygulamalarda xylanase, selüloz lifini hedeflemekten çok hemiselüloz-lignin ilişkisini zayıflatmaya

odaklanır; amaç hamurun parlaklık ve işlenebilirlik hedeflerine daha yumuşak proses koşullarıyla yaklaşmaktır [7].

Kavak kemitermomekanik hamurunda zayıf alkali hidrojen peroksit ağartması öncesinde xylanase-pektinase ön işleminin incelendiği çalışma, enzim kombinasyonlarının farklı hamur tiplerinde farklı hedeflere bağlanabileceğini gösterir. Burada xylanase'ın değeri, tek başına evrensel bir ağartıcı olması değil, hamurun polisakkarit matrisini sonraki ağartma kimyasına daha duyarlı hâle getirebilmesidir [11].

Tekstil ve bitkisel lif işleme: kontrollü hemiselüloz uzaklaştırma

Tekstil ve bitkisel lif işlemede xylanase, lif yüzeyindeki hemiselüloz bileşenlerin kontrollü modifikasyonunda değerlendirilebilir. Bitkisel liflerin yumuşatılması, yüzey temizliği, biyolojik ön işlem ve bazı degumming uygulamaları, xylanase'ın hemiselüloz hedefli etkisinden yararlanabilir.

Trichoderma longibrachiatum kaynaklı xylanase'ın termodinamik karakterizasyonu ve potansiyel tekstil uygulamaları üzerine yapılan çalışma, bu alanın araştırma düzeyinde de aktif olduğunu göstermektedir [12].

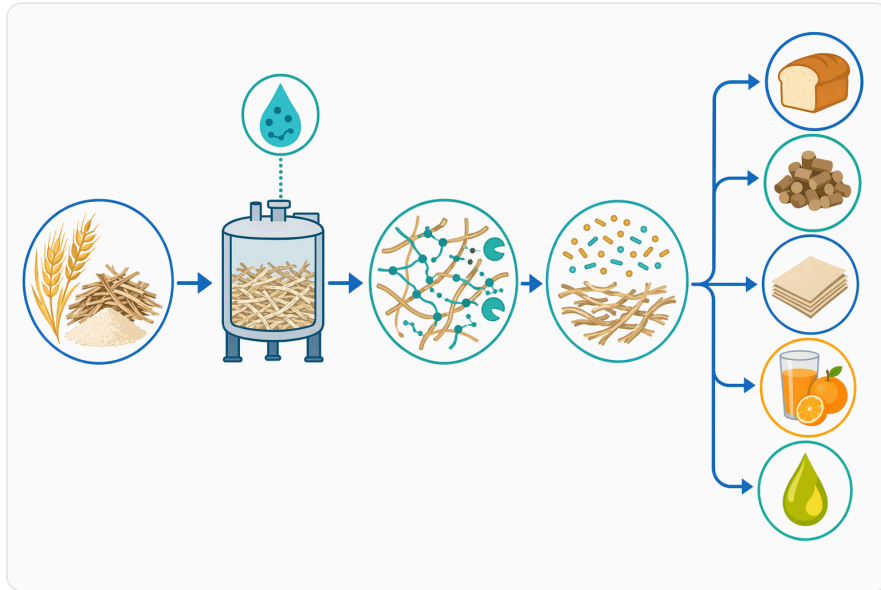


Figure 4. 펄프 전표백 과정에서 자일라나아제는 섬유 표면에 재침착된 자일란을 부분적으로 제거하여 표백 화학물질이 섬유 안으로 더 효과적으로 침투하고 리그닌 유래 발색단이 빠져나가도록 돕는다.

Tekstil uygulamalarında performans, lif tipi, pH, sıcaklık, işlem süresi ve enzim karışımındaki diğer aktivitelerle belirlenir. Amaç çoğu zaman lifin ana taşıyıcı yapısını bozmak değil, istenmeyen veya işlenebilirliği sınırlayan hemiselüloz fraksiyonu kontrollü olarak azaltmaktır. Bu nedenle xylanase tekstilde, mekanik ve kimyasal işlemlerin tamamlayıcısı olarak ele alınır [12].

Uygulama alanlarına göre xylanase etkisinin karşılaştırılması

Uygulama alanı	Hedeflenen xylan kaynağı	Beklenen proses etkisi	Kritik sınırlama
Hayvan yemi	Buğday, arpa, çavdar ve lifli yan ürünlerde arabinoxylan	Viskozite kontrolü, besin erişilebilirliği, hücre duvarı bariyerinin azaltılması	Rasyon bileşimi, tahıl tipi ve ısıl işlem sonucu belirler ^[5]
Fitaz ile birlikte yem stratejileri	Xylanase için arabinoxylan; fitaz için fitat	Farklı besin sınırlamalarını ayrı mekanizmalarla hedefleme	“Phytase with xylanase” yaklaşımı matrise bağlıdır; etkiler otomatik olarak toplanmaz ^[9]
Fırıncılık ve gıda	Un ve bitkisel dokularda arabinoxylan / hemiselüloz	Hamur reolojisi, su dağılımı, ekstraksiyon veya tekstür modifikasyonu	Aşırı parçalanma ürün yapısını olumsuz etkileyebilir ^[1]
Biyokütle ve biyoyakıt	Tarımsal kalıntılar, odunsu biyokütle, posa	Hemiselüloz hidrolizi, şekerleşme ve fermantasyona hazırlık	Ön işlem ve diğer enzimlerle entegrasyon gerekir ^[6]
Kâğıt-hamur	Selüloz hamurunda kalan xylan / hemiselüloz	Biyolojik ön ağartma, kimyasal yükü azaltmaya destek	Hamur tipi ve enzim kombinasyonu belirleyicidir ^[7]
Tekstil ve bitkisel lif	Lif yüzeyinde hemiselülozik bileşenler	Yüzey modifikasyonu, yumuşatma, biyolojik ön işlem	Lif bütünlüğünü koruyacak kontrollü proses gerekir ^[12]

Phytase and xylanase enzymes: yem formülasyonunda birlikte neden anılır?

“Phytase and xylanase enzymes” ifadesi yem sektöründe yaygın bir arama ve formülasyon konusudur; çünkü iki enzim de bitkisel hammaddelerdeki besin erişilebilirliği sorunlarını hedefler. Ancak çalışma noktaları farklıdır: fitaz fitat kaynaklı fosfor ve mineral bağlanmasıyla ilişkilendirilirken, xylanase arabinoxylanın oluşturduğu hücre duvarı bariyeri ve viskozite etkisini azaltmaya yöneliktir. Bu ayrım, “phytase and xylanase” kombinasyonlarının neden tek bir mekanizma gibi değil, tamamlayıcı enzim stratejisi olarak değerlendirilmesi gerektiğini açıklar ^[9].

“Phytase xylanase enzymes” birlikte kullanıldığında beklenen fayda, rasyondaki iki farklı sınırlamanın eş zamanlı ele alınmasıdır. Xylanase hücre duvarı matrisini kısmen gevşeterek besin erişilebilirliğine katkı sağlayabilir; fitaz ise fitatla ilişkili fosfor kullanılabilirliğine yönelik ayrı bir biyokimyasal rol üstlenir. Bununla birlikte performans çıktıları, tahıl lif profili, fitat düzeyi, protein ve mineral dengesi, hayvan yaşı ve yem işleme koşulları gibi değişkenlerden etkilenir ^[5].

“Phytase with xylanase” şeklindeki pratik yaklaşım, özellikle yüksek lifli veya yan ürün içeren rasyonlarda daha anlamlı hâle gelebilir. Domuz yavrularında yüksek lifli buğday-arpa-çavdar temelli diyetlerde xylanase içeren çoklu enzim takviyesinin büyüme performansı bağlamında incelenmesi, lifli rasyonlarda enzim kombinasyonlarının neden araştırıldığını gösterir ^[9]. Burada önemli olan, xylanase’ın fitazın yerine geçmediği ve fitazın da xylanase mekanizmasını sağlamadığıdır.

Proses uyumluluğu: pH, sıcaklık, stabilite ve matris etkisi

Xylanase performansı, enzimin kullanılacağı ortamın pH’ı, sıcaklığı, su aktivitesi, substrat erişilebilirliği ve işlem süresiyle doğrudan ilişkilidir. Farklı mikrobiyal ve bitkisel kaynaklardan elde edilen xylanase’ların farklı pH ve sıcaklık profillerinde çalışabildiği literatürde gösterilmiştir; bu durum aynı “xylanase” adını taşıyan ürünlerin her proseste aynı davranacağı anlamına gelmez ^[13].

Yüksek sıcaklık içeren proseslerde enzim protein yapısının korunması kritik hâle gelir. Termostabil xylanase üreten *Myceliophthora thermophila* suşunun geliştirilmesi üzerine yapılan çalışma, endüstriyel koşullarda sıcaklık dayanımının neden önemli bir araştırma konusu olduğunu gösterir ^[14]. Benzer şekilde termostabil xylanase’ın agro-endüstriyel biyoağartma uygulamalarında incelenmesi, sıcaklık uyumluluğunun yalnızca üretim verimi değil uygulama performansı açısından da değerli olduğunu ortaya koyar ^[15].

Asidik koşullara dayanım da bazı proseslerde belirleyicidir. Fungal xylanase’larda yüzey amino asit kalıntılarının asit stabilitesini modüle ettiğini inceleyen çalışma, pH dayanımının moleküler yapı ile bağlantılı olduğunu gösterir ^[16]. Bu, gıda, yem sindirim ortamı veya asidik ekstraksiyon sistemleri gibi uygulamalarda xylanase seçimi ve proses tasarımının neden matrise özel yapılması gerektiğini açıklar.

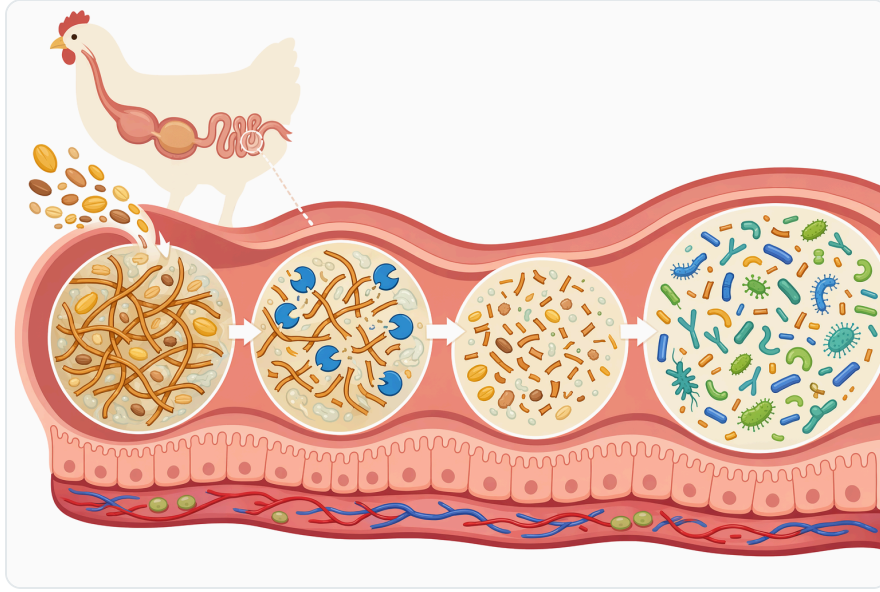


Figure 5. 사료에서 자일라나아제는 아라비노자일란 장벽을 줄이고, 이후 미생물 발효에 영향을 줄 수 있는 자일란 유래 조각을 생성할 수 있다.

Soğuk veya ılımlı sıcaklıkta çalışan prosesler için de farklı xylanase adayları araştırılmaktadır. Soğuğa uyumlu Xyl-L xylanase'ın xylo-oligosakkarit hazırlama amacıyla ifade edilip karakterize edilmesi, düşük sıcaklıkta çalışan sistemlerde enerji yükünü azaltma veya ısıya hassas bileşenleri koruma gibi uygulama gereçlerinin bulunduğunu gösterir [10].

Üretim ve geliştirme literatürü ne söylüyor?

Xylanase'ın endüstriyel öneminin artması, yalnızca kullanım alanlarından değil, üretim süreçlerinin optimize edilmesine yönelik yoğun araştırmalardan da anlaşılır. *Pediococcus pentosaceus* G4 ile ekstraselüler xylanase üretimini etkileyen ortam bileşenlerinin istatistiksel yaklaşımlarla değerlendirilmesi, üretim verimliliğinin kültür ortamı ve proses parametrelerine bağlı olduğunu gösterir [17].

Bacillus halodurans CM1 xylanase üretiminin Box-Behnken yanıt yüzey yöntemiyle optimizasyonu da xylanase üretiminde deney tasarımının önemini vurgular. Bu tür çalışmalar, endüstriyel ölçekte enzim maliyeti, tutarlılık ve performans için yalnızca enzimin kendisinin değil, üretim ortamının da kritik olduğunu gösterir [18].

Makine öğrenmesi ve istatistiksel tasarımın xylanase üretim optimizasyonunda birlikte kullanılması, güncel araştırmaların klasik fermentasyon parametrelerini veri odaklı yöntemlerle birleştirmeye yöneldiğini gösterir. Bu yaklaşım, daha yüksek protein üretimi ve daha tekrarlanabilir prosesler hedeflendiğinde biyoteknolojik geliştirme hattının neden karmaşıklaştığını açıklar [19].

Bununla birlikte bu doküman, Enzymes.bio'nun üretim veya laboratuvar faaliyeti yürüttüğü anlamına gelmez. Enzymes.bio, Xylanase ürününü B2B kullanıcılar için çevrim içi doğrudan satın alma modelinde tedarik eden bir platformdur; ürün, 1 kg birimler halinde sunulur ve siparişle birlikte CoA ile SDS sağlanır .

İmmobilizasyon ve tekrar kullanım araştırmaları

Xylanase, bazı akademik ve endüstriyel araştırmalarda taşıyıcı materyallere immobilize edilerek tekrar kullanım, proses stabilitesi veya sürekli sistemlere uygunluk açısından incelenmiştir. Poly-(HEMA-co-GMA) kriyojel üzerinde xylanase immobilizasyonu üzerine yapılan çalışma, enzimin serbest form dışında taşıyıcıya bağlanmış biçimde de araştırıldığını göstermektedir [20].

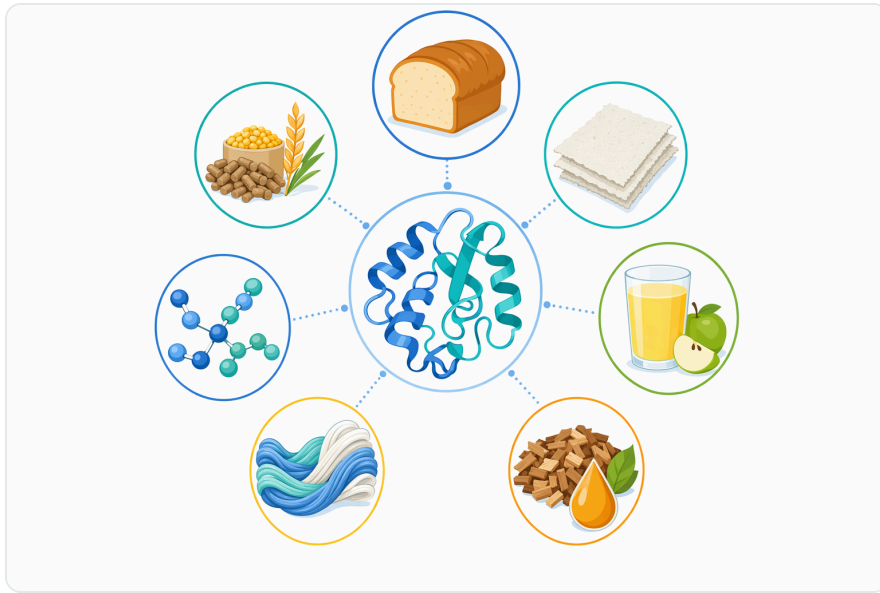


Figure 6. 식품 및 곡물 분야의 응용은 자일라나아제가 반죽의 수분 분포, 점도, 추출, 여과 및 결합 화합물의 방출에 미치는 아라비노자일란의 영향을 조절하는 데 달려 있다.

Sol-jel yöntemiyle xylanase immobilizasyonunun incelendiği çalışma da benzer şekilde, enzimin proses ortamından ayrılabilirliğini ve potansiyel stabilitesini artırmaya yönelik araştırma çizgisini temsil eder [21]. Ancak immobilizasyon sonuçları taşıyıcı kimyası, difüzyon sınırlamaları, substrat büyüklüğü ve proses akışı gibi birçok değişkene bağlıdır; bu nedenle immobilizasyon, her xylanase uygulamasında otomatik avantaj sağlayan bir çözüm değildir.

Bu araştırmalar pratik açıdan şunu gösterir: xylanase, yalnızca toz veya sıvı bir katkı olarak değil, belirli proses mühendisliği hedefleri içinde farklı formatlarda değerlendirilebilen bir biyokatalizördür. Ancak Enzymes.bio ürün sayfası bağlamında bu bilgiler, genel teknik arka plan olarak değerlendirilmelidir;

tedarik edilen ürünün spesifik üretim veya immobilizasyon yöntemi hakkında varsayım yapılmamalıdır [20].

Gerçekçi beklentiler ve sınırlamalar

Xylanase'in etkisi, hammaddedeki xylan miktarı ve xylanın erişilebilirliği ile sınırlıdır. Xylan oranı düşük, ligninle sıkı şekilde korunmuş veya işlem koşullarında enzime ulaşamayan bir matriste beklenen fayda sınırlı olabilir. Agro-endüstriyel kalıntı bileşiminin xylanase üretimi ve uygulamasına etkisini inceleyen çalışmalar, materyal kompozisyonunun sonuçlar üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir [18].

Tek bir xylanase uygulaması, bitkisel hücre duvarının tüm bileşenlerini parçalamaz. Selüloz, lignin, pektin, mannan ve protein nişasta matrisi gibi diğer yapılar süreçte rol oynuyorsa, hedefe göre başka enzimler veya ön işlemler gerekebilir. Yumuşak odun kraft hamurunda lakkaz, xylanase ve mannanase kombinasyonunun birlikte incelenmesi, çok bileşenli matrislerde sinerjik yaklaşımların önemini ortaya koyar [7].

Yem uygulamalarında sonuçlar rasyon bileşimine bağlıdır. Buğday-arpa-çavdar gibi tahıllar, mısır-soya temelli diyetler veya yan ürünlü yüksek lifli formülasyonlar aynı xylanase yanıtını vermeyebilir. Bu nedenle "phytase and xylanase enzymes" gibi kombinasyonlar pratikte güçlü bir arama ve formülasyon başlığı olsa da, etkiler rasyon matrisi ve hayvan kategorisine göre yorumlanmalıdır [9].

Gıda ve fırıncılıkta da xylanase doz-cevap davranışı doğrusal olmayabilir. Kontrollü arabinoxylan parçalanması hamur yapısını destekleyebilirken, aşırı modifikasyon ürün yapısını zayıflatabilir veya beklenmeyen tekstür değişimlerine yol açabilir. Bu nedenle xylanase, her reçetede aynı sonucu veren genel bir iyileştirici değil, belirli hammadde ve proses hedefiyle anlam kazanan bir enzimdir [1].

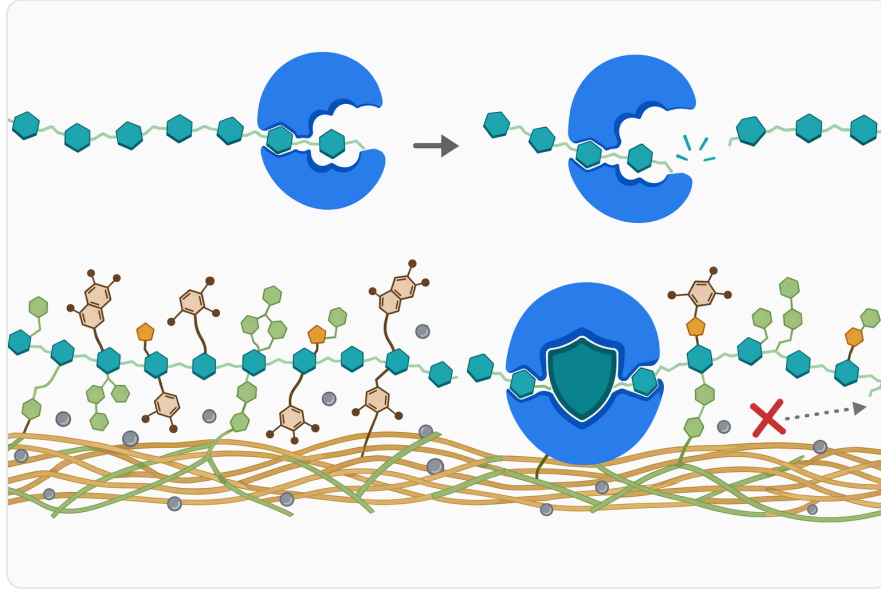


Figure 7. 식물 자일라나아제 저해제와 복잡한 원료 조성 때문에 정제된 자일란에서의 효소 성능과 실제 곡물 또는 농업 기질에서의 효소 성능이 달라질 수 있다.

Enzymes.bio Xylanase ürünü hakkında

Enzymes.bio tarafından tedarik edilen Xylanase, B2B kullanıcılar için 1 kg birimler halinde çevrim içi doğrudan satın alınabilen bir enzim ürünüdür. Sipariş çevrim içi olarak tamamlanır; ürünle birlikte Analiz Sertifikası ve Güvenlik Bilgi Formu sağlanır. Enzymes.bio bu ürün için üretici veya laboratuvar konumunda değildir; ürün sayfası ve teknik dokümanlar, satın alma ve uygulama bağlamında bilgilendirici içerik sunar .

Bu dokümanda verilen teknik bilgiler, xylanase enziminin bilimsel arka planını ve endüstriyel kullanım mantığını açıklamak içindir. Ürünün belirli bir proses sonucunu garanti ettiği anlamına gelmez; çünkü xylanase performansı hammadde, nem, pH, sıcaklık, temas süresi, proses akışı ve kullanılan diğer bileşenlerle birlikte şekillenir ^[1].

Sonuç: Xylanase'ın değeri hedefli xylan modifikasyonundan gelir

Xylanase, bitki bazlı hammaddelerdeki xylan ve arabinoxylan fraksiyonlarını hedefleyerek hücre duvarı erişilebilirliğini, viskoziteyi, şekerleşme potansiyelini ve bazı proseslerde biyolojik ön işlem verimini etkileyen çok yönlü bir endüstriyel enzimdir. Yem sektöründe tahıl bazlı rasyonlarda besin erişilebilirliği ve viskozite kontrolü; biyokütlede hemiselüloz hidrolizi; kâğıt-hamurda biyolojik ağartma desteği; gıda ve tekstilde ise kontrollü polisakkarit modifikasyonu öne çıkar ^[2].

En doğru teknik değerlendirme, xylanase'ı “genel parçalayıcı” olarak değil, xylan içeren matriste belirli bağları hedefleyen ve proses koşullarına duyarlı bir biyokatalizör olarak görmektir. Fitazla birlikte anıldığı yem uygulamalarında bile xylanase'ın rolü ayrıdır; “phytase and xylanase”, “phytase xylanase enzymes” veya “phytase with xylanase” yaklaşımları, farklı besin kısıtlarını tamamlayıcı mekanizmalarla ele alır ^[9].

Enzymes.bio, Xylanase ürününü 1 kg birimler halinde çevrim içi doğrudan tedarik eder ve siparişle birlikte CoA ile SDS sağlar. Teknik uygulama değeri ise her zaman hedef hammadde, proses koşulu ve istenen çıktı ile birlikte değerlendirilmelidir .

Xylanase ürününü online sipariş edin

1 kg birimler halinde satılır; stokta mevcut ve sevkiyata hazırdır. Mağazamızdan doğrudan sipariş verin — online ödeme yapın, siparişinizi işleme alalım. Her siparişe Analiz Sertifikası ve Güvenlik Bilgi Formu dahildir.

[Xylanase satın alın →](#)

Kaynaklar

İlk atıf sırasına göre numaralandırılmıştır. Açık erişimli kaynaklardır; her birinin yayım sırasında erişilebilir olduğu doğrulanmıştır. Metindeki atıf numaraları buraya bağlantı verir.

1. Tyagi, D., & Sharma, D. (2021). Production and Industrial Applications of Xylanase: A Review.
2. Hazra, A., Saha, D., Banik, S., Banik, S., Das, S., & Maity, M. (2023). INDUSTRIALLY IMPORTANT XYLANASE FROM MICROBIAL SOURCES AND THEIR APPLICATIONS. *Journal of Survey in Fisheries Sciences.*
3. Salgado, J. S., Heinen, P. R., Messias, J. M., Oliveira-Monteiro, L. M., Cereia, M., Rechia, C., Maller, A., ... et al. (2024). Enhancing Xylanase Production from *Aspergillus tamarii* Kita and Its Application in the Bioconversion of Agro-Industrial Residues into Fermentable Sugars Using Factorial Design. *Fermentation.*
4. Nam, K., Park, S., & Park, J. (2022). Preliminary XFEL data from spontaneously grown endo-1,4-β-xylanase crystals from *Hypocrea virens*. *Acta Crystallographica Section F Structural Biology Communications*, 78 Pt 6, 226-231 .
5. Selim, N., Waly, A. H., Magied, H. A., Habib, H. H., Fadl, A., & Shalash, S. (2016). FURTHER BENEFITS OF XYLANASE ENZYME SUPPLEMENTATION TO LOW ENERGY CORN-SOYBEAN MEAL BROILER DIETS.
6. Zhi, T. C., Chen, I. T. S., Peng, T. Y., Chang, L. K., Balakrishnan, K., & Xian, O. Z. (2025). Process optimization studies on xylanase production and bioethanol fermentation. *E3S Web of Conferences.*
7. Guo, W., Hui, L., Song, F., Qu, Y., Wang, Q., Zhang, Y., Xin, J., ... et al. (2025). A new strategy for biological enzyme bleaching: combined effects of laccase, xylanase, and mannanase in the bleaching of softwood kraft pulp – a

synergistic effect of enzymes. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 40, 465 - 476.

8. Savanth, V. D., Gowrishankar, B., Roopa, K., & Patel, S. J. (2023). Effect of Agro-industrial Residue Composition on the Production of Endo-1, 4- β -Xylanase by *Bacillus pumilus*. *Indian Journal of Agricultural Research*.
9. Vinyeta-Punti, E., Tactacan, G., Dusel, G., & Velayudhan, D. (2023). 151 The Effect of a Multi-Enzyme Containing Xylanase, β -Glucanase, Protease and Amylase Added to a High-Fiber Wheat-Barley-Rye-Based Diet Containing by-Products, on the Growth Performance of Weaned Pigs. *Journal of Animal Science*.
10. Rodríguez, S., González, C., Reyes-Godoy, J. P., Gasser, B., Andrews, B., & Asenjo, J. A. (2025). Expression and characterization of cold-adapted xylanase Xyl-L in *Pichia pastoris* for xylooligosaccharide (XOS) preparation. *Microbial Cell Factories*, 24.
11. Li, J., Tian, J., Liu, Z., Wang, H., & Hou, Q. (2025). Synergistic improvement of bleachability for poplar chemi-thermomechanical pulp in weakly-alkaline hydrogen peroxide bleaching by xylanase-pectinase pre-treatment. *International Journal of Biological Macromolecules*, 148546 .
12. Aty, A. A. E., Saleh, S. A. A., Eid, B., Ibrahim, N., & Mostafa, F. (2018). Thermodynamics characterization and potential textile applications of *Trichoderma longibrachiatum* KT693225 xylanase. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 14, 129-137.
13. Pakaweerachat, P., & Chysirichote, T. (2025). Comparative Evaluation of Culture Media and pH Conditions for Xylanase Production in *Aspergillus niger*. *Journal of Pure and Applied Microbiology*.
14. Zhang, N., Jiang, Y., Sun, Y., Jiang, J., & Tong, Y. (2023). Breeding of a thermostable xylanase-producing strain of *Myceliophthora thermophila* by atmospheric room temperature plasma (ARTP) mutagenesis. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10.
15. Rehman, K., Abdelrahman, E. A., Albalawi, K., Alissa, M., Alghamdi, A., Alghamdi, S. A., Alhegaili, A. S., ... et al. (2025). Thermostable Xylanase from *Chenopodium album*: Thermodynamic and Kinetic Characterization with Sustainable Application in Agro-Industrial Biobleaching. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.
16. Xia, Y., Wang, W., Wei, Y., Guo, C., Song, S., Cai, S., & Miao, Y. (2024). Clustered surface amino acid residues modulate the acid stability of GH10 xylanase in fungi. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 108.
17. Ali, N. L., Foo, H., Ramli, N., Halim, M., & Thalij, K. M. (2025). Efficient Assessment and Optimisation of Medium Components Influencing Extracellular Xylanase Production by *Pediococcus pentosaceus* G4 Using Statistical Approaches. *International Journal of Molecular Sciences*, 26.
18. Layly, I. R., Nandyawati, D., Abidin, K. Y., Wahjono, E., Helianti, I., Suhendar, D., Waltam, D. R., ... et al. (2025). Box- Behnken response surface methodology in optimising fermentation of *Bacillus halodurans* CM1 xylanase enzyme production. *Biocatalysis and Biotransformation*, 43, 629 - 641.
19. Ergün, M. A., Köktürk-Güzel, B. E., & Keskin-Gündoğdu, T. (2025). Optimizing Xylanase Production: Bridging Statistical Design and Machine Learning for Improved Protein Production. *Fermentation*.
20. Noma, S. (2022). Immobilization of xylanase enzyme on poly-(HEMA-co-GMA) cryogel. *MANAS : Journal of Engineering*.
21. Hadianoro, S., Maryanty, Y., Wulan, D., Putri, S. A., Putra, E., & Achmadin, N. S. (2021). The study of xylanase immobilize enzyme using sol-gel method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1073.


Enzymes.bio ile iletişime geçin


Siparişinizle ilgili sorularınız mı var? Ekibimiz yardımcı olmaktan memnuniyet duyar.

E-POSTA wholesale@enzymes.bio

TELEFON (ABD) [+1 \(507\) 428-6057](tel:+1(507)428-6057)

[Bize ulaşın →](#)

 **400+** B2B müşteriler

 **60+** üniversite araştırma ortakları

 **54** dünya genelinde hizmet

© 2026 Enzymes.bio · Endüstriyel ve gıda işleme enzim tedariki · İnsan tüketimi veya perakende satış için değildir.