

# Beta-Glucanase Enzimi: Bira Üretiminde Viskozite ve Filtrasyon Yönetimi İçin Teknik Rehber

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

**Beta-glucanase**, arpa, yulaf, maya, mantar ve bazı bitkisel hammaddelerde bulunan  $\beta$ -glukan zincirlerini daha kısa parçalara ayıran bir enzim grubudur. En yaygın endüstriyel kullanım alanı, özellikle arpa bazlı proseslerde viskoziteyi düşürmek ve filtrasyon akışını iyileştirmektir; bunun yanında yem, şarap, maya otolizi ve bitkisel ekstraksiyon uygulamalarında da teknik değer taşır. Etki düzeyi,  $\beta$ -glukanın bağ yapısına, proses ortamına ve enzimin hedef polisakkarit ile uyumuna bağlıdır <sup>[1]</sup>.

## Beta-glucanase nedir?

Beta-glucanase, glukoz birimlerinden oluşan  $\beta$ -glukan polisakkaritlerindeki  $\beta$ -glikozidik bağların hidrolizini katalizleyen enzimler için kullanılan genel bir addır.  $\beta$ -glukanlar tek tip moleküller değildir; tahıllarda, maya hücre duvarlarında, mantar hücre duvarlarında ve bazı bitki dokularında farklı bağlantı düzenleriyle bulunurlar. Bu nedenle "beta-glucanase" ifadesi pratikte, farklı  $\beta$ -glukan yapılarına farklı derecelerde etki eden bir enzim ailesini değil, daha geniş bir işlevsel grubu anlatır <sup>[2]</sup>.

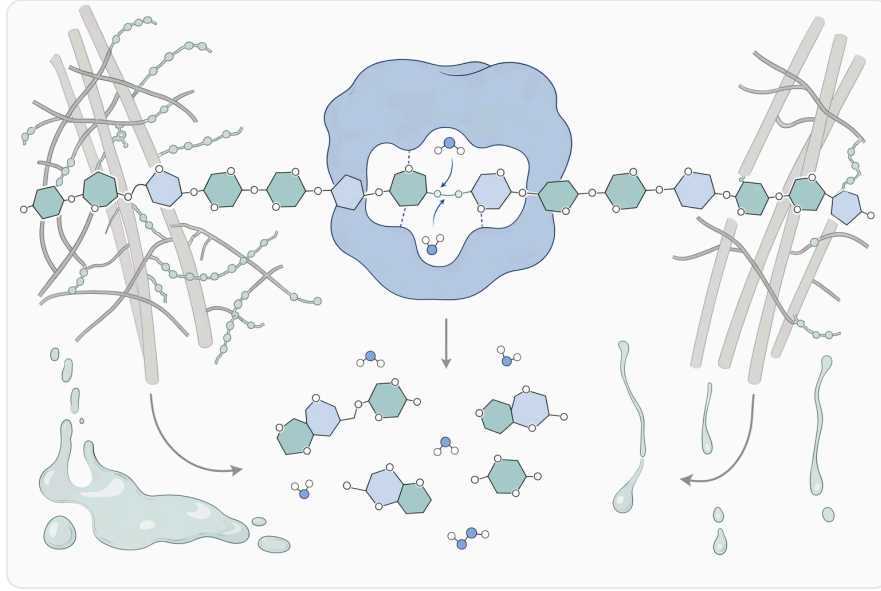
Endüstriyel açıdan önemli ayrım şudur: arpa ve yulaf gibi tahıllardaki  $\beta$ -glukanlar çoğunlukla karışık bağlantılı zincirler olarak proses sıvılarının viskozitesini artırabilirken, maya ve fungal hücre duvarlarındaki  $\beta$ -glukanlar hücre duvarının mekanik dayanımına katkıda bulunur. Bu iki substrat aynı adla anılsa da enzim tarafından aynı hızda veya aynı kapsamda parçalanmayabilir; örneğin literatürde hem  $\beta$ -1,3 hem de  $\beta$ -1,4 bağlantılarına yönelen farklı beta-glucanase örnekleri ayrı ayrı tanımlanmıştır <sup>[3]</sup>.

Beta-glucanase'in pratik değeri, uzun polisakkarit zincirlerinin proses sırasında oluşturduğu fiziksel etkiyi azaltmasından gelir. Uzun ve çözünür  $\beta$ -glukan zincirleri sulu fazda büyük hidrodinamik hacim kaplayarak akış direncini artırabilir; filtrasyon sırasında ise jel benzeri veya lifsi bir ağ oluşturarak filtre yatağının geçirgenliğini düşürebilir. Enzim bu zincirleri kısalttığında aynı toplam karbonhidrat miktarı bulunsun bile moleküler yapı değişir ve sıvının davranışı daha yönetilebilir hale gelebilir <sup>[4]</sup>.

Enzymes.bio tarafından sunulan Beta-Glucanase, çevrim içi ürün sayfası üzerinden 1 kg birimler halinde doğrudan satın alınabilen bir enzim ürünüdür. Enzymes.bio bir üretici veya analiz laboratuvarı değildir; ürün tedarikçisi olarak çevrim içi sipariş, ödeme ve teslimat akışıyla çalışır. Siparişe birlikte CoA ve SDS sağlanır; bu doküman, ürünün çalışma mantığını ve uygulama alanlarını açıklayan teknik bir kullanım bağlamı sunar .

## β-glukan yapısı neden proses performansını etkiler?

β-glukanların proses üzerindeki etkisi yalnızca “lif” veya “polisakkarit” olmalarından kaynaklanmaz; zincir uzunluğu, çözünürlük, dallanma ve bağ tipi, sıvı fazdaki davranışı belirler. Tahıl β-glukanları mayşede çözüldüğünde akışkanlığı düşürebilir; maya veya fungal glukanlar ise hücre duvarında üç boyutlu bir ağın parçası olarak bileşen salınımını sınırlayabilir. Bu nedenle beta-glucanase, bira üretiminde daha çok viskozite ve filtrasyonla; maya işleme veya şarapta ise hücre duvarı parçalanması ve berraklaştırmayla ilişkilendirilir <sup>[5]</sup>.



**Figure 1.** 베타-글루카나아제는 베타-글루칸 다당류를 더 짧은 올리고당으로 가수분해하여 곡물 세포벽 성분으로 인한 점도를 낮춥니다.

Mekanizma basitçe bir “şeker zincirini kesme” olayı gibi görünse de proses sonucu daha karmaşıktır. Zincirin birkaç noktadan kesilmesi, moleküler ağırlık dağılımını değiştirir; bu da çözeltinin akışına, partikül yüzeylerinde tutunmaya ve filtrasyon kekinin sıkışma davranışına yansiyabilir. Bu nedenle az miktarda yapısal hidroliz bile, özellikle yüksek β-glukanlı tahıl proseslerinde gözle görülür reolojik değişim yaratabilir <sup>[6]</sup>.

Maya ve mantar hücre duvarı bağlamında etki farklı yorumlanmalıdır. Burada beta-glucanase, hücre duvarındaki  $\beta$ -glukan ağını zayıflatarak hücrenin yüzey bütünlüğünü ve duvar geçirgenliğini etkileyebilir; bu da otoliz, ekstraksiyon veya biyokütle parçalama süreçlerinde önemli olabilir. *Bacillus circulans* kaynaklı  $\beta$ -1,3-glucanase üzerine erken dönem ve sonraki genetik karakterizasyon çalışmaları, bu tip glukanların mikrobiyal hücre duvarı parçalanması bağlamında uzun süredir incelendiğini gösterir [7].

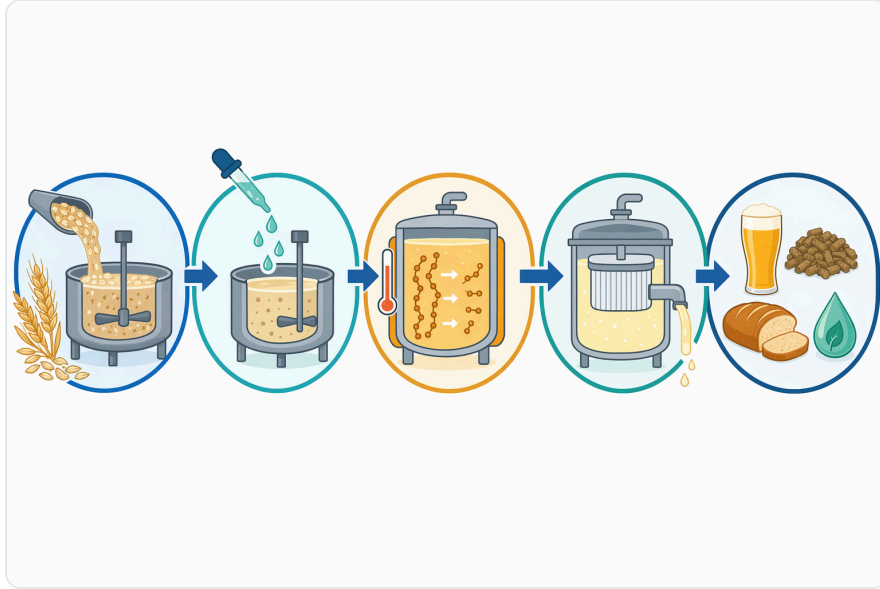
## Çalışma prensibi: beta-glucanase zinciri nasıl değiştirir?

Beta-glucanase, hedef  $\beta$ -glukan zincirindeki belirli  $\beta$ -glikozidik bağları su yardımıyla kırar. Zincir içinden kesim yapan enzimler uzun polimeri birden fazla orta uzunlukta parçaya bölebilir; zincir ucundan ilerleyen enzimler ise uçlardan daha küçük parçalar açığa çıkarabilir. Her iki durumda da temel sonuç, başlangıçtaki yüksek moleküler ağırlıklı polisakkarit yapısının daha kısa ve farklı çözünürlük davranışı gösteren ürünlere dönüşmesidir [3].

Bu dönüşümün bira veya tahıl bazlı içeceklerdeki pratik sonucu, mayşe ya da şıranın daha düşük akış direnci göstermesidir. Uzun  $\beta$ -glukan zincirleri filtre yüzeyinde suyu tutan, sıkışabilen bir tabaka oluşturabilir; hidroliz sonrası daha kısa zincirler aynı ağ yapısını kurmakta zorlanır. Böylece lautering, santrifüjleme veya filtrasyon gibi ayırma basamaklarında daha dengeli bir akış elde edilmesi beklenir [4].

Hücre duvarı uygulamalarında mekanizma, yalnızca viskozite düşüşünden ibaret değildir. Maya, mantar veya bazı bitkisel dokularda  $\beta$ -glukan, daha büyük bir yapısal matrisin parçasıdır; beta-glucanase bu matrisin glukan segmentlerini zayıflattığında duvarın mekanik bütünlüğü azalabilir. *Paenibacillus polymyxa* AT4 kaynaklı  $\beta$ -1,3-glucanase üzerine yapılan güncel çalışma, hücre duvarı glukanlarına yönelik enzimatik etkinin antifungal bağlamda dahi araştırıldığını göstermektedir [8].

Proses açısından kritik nokta, enzimin hedeflediği bağ yapısı ile hammaddedeki  $\beta$ -glukanın uyumudur. Tahıl kaynaklı karışık bağlantılı  $\beta$ -glukanlara uygun bir enzim, maya duvarındaki dallı  $\beta$ -glukanı aynı etkinlikte parçalamayabilir; bunun tersi de geçerlidir. Anaerobik fungus *Orpinomyces* strain PC-2'den tanımlanan karışık bağlantılı  $\beta$ -glucanase çalışması, farklı kaynaklardan gelen enzimlerin substrat özelliklerinin ayrı ayrı değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koyar [1].



**Figure 2.** 산업용 베타-글루카나아제 공정은 점성이 높은 곡물 베타-글루칸을 양조, 사료, 제빵 및 발효에 적합한 저점도 흐름으로 전환합니다.

## Başlıca uygulama: bira üretiminde viskozite ve filtrasyon yönetimi

Bira üretiminde beta-glucanase'in en yaygın teknik rolü, arpa kaynaklı  $\beta$ -glukanların mayşe ve sıra üzerinde yarattığı viskozite etkisini azaltmaktır. Özellikle yüksek  $\beta$ -glukanlı malt, yeterince modifiye olmamış malt, arpa veya yulaf katkısı kullanılan reçeteler ve yoğun tahıl yükü içeren proseslerde filtrasyon süresi uzayabilir. Beta-glucanase, bu bağlamda polisakkarit zincirlerini kısaltarak akış ve ayırma adımlarına destek verir [5].

Mayşeleme sırasında  $\beta$ -glukanın etkisi iki aşamalı düşünülebilir. Önce tahıl hücre duvarı bileşenleri hidratlanır ve çözünür faza geçer; ardından yüksek moleküler ağırlıklı zincirler sıvının viskozitesini artırır. Beta-glucanase için uygun temas sağlandığında zincir boyu kısalmış, bu da hem pompalama hem de tahıl yatağından süzülme sırasında daha az direnç anlamına gelebilir [4].

Bu uygulamada beta-glucanase, nişasta dönüşümünü sağlayan amilazların yerine geçmez. Amilazlar nişasta fraksiyonunu fermente edilebilir veya kısmen fermente edilebilir şekerlere dönüştürürken, beta-glucanase esas olarak hücre duvarı kaynaklı glukan fraksiyonunu hedefler. Dolayısıyla etkisi ekstrakt veriminden çok proses akışkanlığı, filtrasyon istikrarı ve tortu yönetimi üzerinden değerlendirilmelidir [6].

Arpa çimlenmesi ve maltlama bağlamında yapılan çalışmalar,  $\beta$ -glukan parçalanmasının tahıl prosesleri için doğal olarak da önemli olduğunu gösterir. Germinasyon sırasında ifade edilen daha dayanıklı karışık bağlantılı  $\beta$ -glucanase üzerine yapılan transgenik arpa çalışması,  $\beta$ -glukan hidrolizinin malt ve mayşe özellikleriyle doğrudan ilişkili bir biyokimyasal basamak olduğunu destekler [5].

## Şarap, maya otolizi ve berraklaştırma uygulamaları

Şarap üretiminde beta-glucanase daha çok iki teknik problemle ilişkilidir: glukan kaynaklı filtrasyon zorluğu ve maya hücre duvarı parçalanmasının hızlandırılması. Botrytis etkilenmiş üzüm materyali veya maya kaynaklı glukan yükü, bazı şaraplarda berraklaştırma ve filtrasyon süreçlerini zorlaştırabilir. Enzimatik hidroliz, bu polisakkaritlerin oluşturduğu dirençli yapıyı azaltarak daha yönetilebilir bir ayırma sürecine katkıda bulunabilir [3].

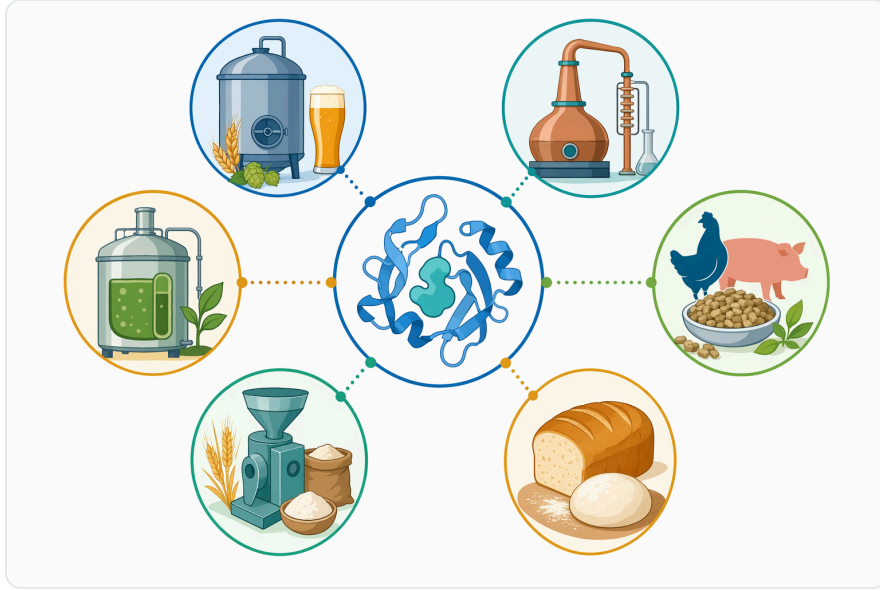


Figure 3. Beta-glukukanaaze ne juo yangjo, jeuryu, dongul saryo, jebyeung, gokmul gajong mit bayio-meoseu gwaneon balhyo-e saryongdopeunida.

Maya otolizi bağlamında beta-glucanase, hücre duvarındaki  $\beta$ -glukan ağını zayıflatarak i bileşenlerin ve duvar polisakkaritlerinin salınımını kolaylaştırabilir. Candida albicans üzerinde yapılan çalışma, exo- $\beta$ -1,3-glucanase aktivitesinin maya-miselyum geçişi gibi hücrenel durumlarla ilişkili değişebildiğini göstermiştir; bu, glukanazların mikrobiyal duvar dinamiğinde işlevsel öneme sahip olduğuna işaret eder [9].

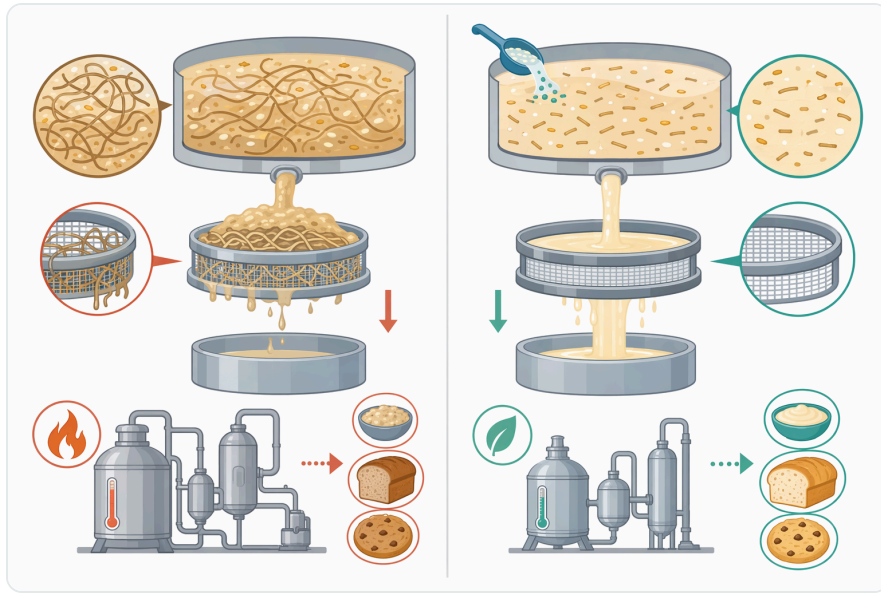
Şarapta bu etki “daha hızlı otoliz” gibi basit bir hedefle sınırlı görülmemelidir. Maya duvarının kontrollü hidrolizi; ağız hissi, kolloid stabilitesi, tortu yapısı ve filtrelenebilirlik gibi birden fazla parametreyi etkileyebilir. Ancak bu parametrelerin yönü ve büyüklüğü şarap matriksine, maya türüne ve proses akışına bağlı olduğundan beta-glucanase burada hassas bir proses yardımcısı olarak değerlendirilmelidir [2].

## Yem uygulamalarında tahıl kaynaklı viskoziteyi azaltma

Yem sektöründe beta-glucanase, arpa ve yulaf gibi çözünür  $\beta$ -glukan içeren tahılların kullanıldığı rasyonlarda önem kazanır. Bu tahıllardaki çözünür polisakkaritler sindirim sistemi içeriğinin viskozitesini artırabilir; yüksek viskozite, besin maddelerinin sindirim enzimleriyle temasını ve bağırsak içindeki difüzyonu sınırlayabilir. Beta-glucanase'in hedefi, bu polisakkaritleri daha kısa parçalara ayırarak sindirim ortamındaki fiziksel engeli azaltmaktır [10].

EFSA değerlendirmelerinde endo-1,3(4)-beta-glucanase ve endo-1,4-beta-xylanase içeren yem katkıları; süttan kesilmiş domuz yavruları, besi domuzları ve kanatlı türleri gibi üretim hayvanlarında sindirilebilirliği destekleyen zooteknik katkı bağlamında ele alınmıştır. Bu değerlendirmeler, beta-glucanase'in yem uygulamalarında çoğu zaman tek başına değil, tahıl hücre duvarının farklı polisakkaritlerini hedefleyen enzim kombinasyonları içinde kullanıldığını gösterir [11].

Kanatlı yemlerinde xylanase ve beta-glucanase kombinasyonları, özellikle buğday, arpa ve benzeri tahıl bazlı formülasyonlarda hücre duvarı polisakkaritlerini parçalama stratejisinin parçasıdır. AveMix XG 10 için yapılan yetkilendirme yenileme değerlendirmesi de endo-1,4-beta-xylanase ile endo-1,3(4)-beta-glucanase'in birlikte ele alındığı bir örnektir [12].



**Figure 4.** 고온 처리나 무처리 공정과 비교할 때, 베타-글루카나아제 처리는 점도를 낮추고 여과성과 추출물 회수율을 향상시킵니다.

Yem bağlamında önemli sınırlama, hammaddenin gerçek polisakkarit profilidir. Mısır ağırlıklı bir formül ile arpa ağırlıklı bir formül aynı  $\beta$ -glukan yüküne sahip değildir; bu nedenle beta-glucanase etkisi rasyon bileşimine ve hedef hayvanın sindirim fizyolojisine bağlıdır. Bu yaklaşım, enzimi genel bir

“performans artırıcı” olarak değil, belirli tahıl polisakkaritlerini hedefleyen fonksiyonel bir proses girdisi olarak konumlandırır [10].

## Bitkisel ekstraksiyon ve tahıl yan ürünlerinde kullanım mantığı

---

Bitkisel ekstraksiyon proseslerinde hücre duvarı, hedef bileşenlere erişimi sınırlayan fiziksel bir bariyerdir. Selüloz, hemiselüloz, pektin ve  $\beta$ -glukan gibi polisakkaritlerin oluşturduğu ağ, su veya çözücü fazının hücre içi bileşenlere ulaşmasını zorlaştırabilir. Beta-glucanase, bu ağdaki  $\beta$ -glukan segmentlerinin hidrolizine katkı sağlayarak ekstraksiyon ve sıvı-katı ayırma basamaklarını destekleyebilir [13].

Kırmızı pirinç kepeğinin enzimatik biyoproseslenmesi üzerine yapılan çalışma, enzim konsantrasyonlarının nutrasötik bileşim, antioksidan özellikler ve LDL oksidasyonunu inhibe etme kapasitesi gibi çıktılar üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu tür çalışmalar, bitkisel yan ürünlerde enzimatik işlemenin yalnızca verim artışı değil, aynı zamanda bileşen erişilebilirliği ve fonksiyonel kompozisyon açısından da değerlendirilebildiğini gösterir [13].

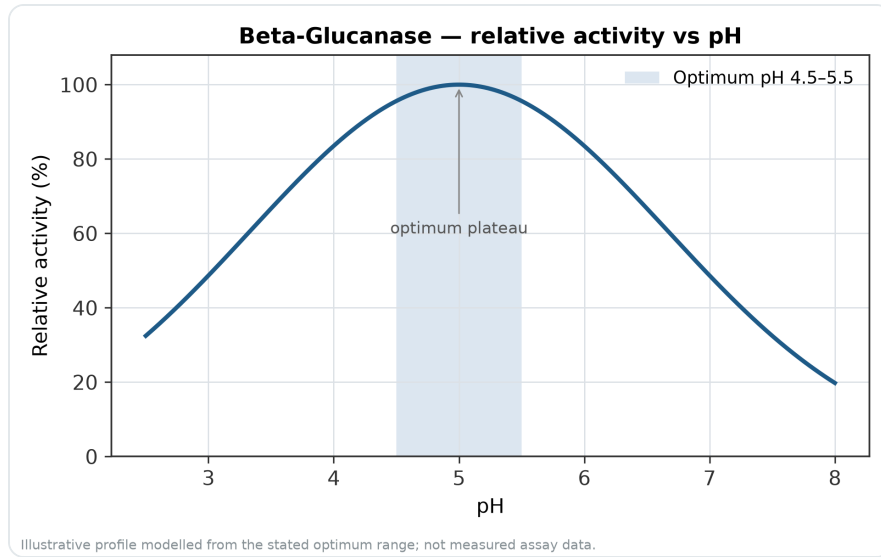
Tahıl yan ürünleri ve kepek fraksiyonları, hücre duvarı bileşenleri bakımından zengin oldukları için beta-glucanase gibi polisakkarit hedefli enzimlerin uygulama alanına girer. Ancak bu hammaddelerde  $\beta$ -glukan tek bileşen değildir; arabinoksilan, selüloz ve fenolik bileşiklerle ilişkili yapılar da proses sonucunu etkileyebilir. Tam tahıl bileşenlerinin dağılımını ele alan güncel derlemeler, tahıl matrisinin besinsel ve endüstriyel bakımdan çok bileşenli bir yapı olduğunu vurgular [14].

Bu nedenle bitkisel ekstraksiyonda beta-glucanase çoğu zaman tek enzimli bir çözüm gibi değil, hedeflenen hücre duvarı mimarisinin bir parçasını zayıflatan yardımcı biyokatalizör olarak düşünülür. Eğer prosesin ana kısıtı pektin ağı ise pektin hedefli enzimler daha belirleyici olabilir; eğer kısıt  $\beta$ -glukan kaynaklı viskozite veya duvar direnci ise beta-glucanase daha görünür katkı sağlayabilir [13].

## Farklı $\beta$ -glukan kaynakları ve beklenen proses etkileri

---

Aşağıdaki tablo, beta-glucanase kullanımında sık karşılaşılan  $\beta$ -glukan kaynaklarını ve proses açısından beklenen ana etkileri özetler. Bu tablo bir dozaj veya analiz yöntemi önerisi değildir; uygulama mantığını substrat yapısı ve endüstriyel hedef üzerinden açıklamak için hazırlanmıştır.



**Figure 5.** pH'e 따른 베타-글루카나아제의 상대 활성으로, pH 4.5–5.5에서 최적 활성 구간을 보입니다.

<b>β-glukan kaynağı</b>	<b>Tipik proses bağlamı</b>	<b>Beta-glucanase'in hedeflediği sorun</b>	<b>Beklenen teknik sonuç</b>	<b>Kanıt notu</b>
Arpa ve malt	Bira, malt içecekleri, tahıl mayşesi	Mayşe/şıra viskozitesi, yavaş süzülme	Zincir kısalmasıyla daha yönetilebilir akış ve filtrasyon	Arpa germinasyonu ve karışık bağlantılı β-glukan hidrolizi literatürde güçlü biçimde incelenmiştir [5]
Yulaf ve arpa içeren yem	Kanatlı ve domuz yemleri	Sindirim içeriğinde çözünür lif kaynaklı viskozite	Besin erişilebilirliğini destekleyen polisakkarit parçalanması	EFSA değerlendirmeleri, beta-glucanase-xylanase kombinasyonlarını yem katkısı bağlamında ele alır [11]
Maya hücre duvarı	Şarap, maya ekstraktı, otoliz süreçleri	Hücre duvarı direnci, sınırlı bileşen salınımı	Duvar glukanlarının zayıflaması ve otoliz desteği	β-1,3-glucanase aktivitesinin maya morfolojisiyle ilişkili olduğu gösterilmiştir [9]
Fungal hücre duvarı	Biyokütle işleme, antifungal araştırmalar	Glukan ağına bağlı hücre duvarı bütünlüğü	Duvar zayıflaması ve yapı değişimi	Paenibacillus kaynaklı β-1,3-glucanase çalışması bu alanı destekler [8]
Bitkisel yan ürünler	Kepek, botanik ekstraksiyon, gıda prosesleri	Hücre duvarı bariyeri ve filtrasyon yükü	Matrisin kısmi açılması, sıvı-katı ayrımının kolaylaşması	Kırmızı pirinç kepeği biyoproses çalışmaları enzimatik işlemenin kompozisyon etkilerini inceler [13]

## Beta-glucanase, selüloz ve xylanase ile nasıl karşılaştırılır?

---

Beta-glucanase, selüloz ve xylanase aynı genel başlık altında “karbonhidrat parçalayan enzimler” gibi görünse de hedefledikleri polisakkaritler farklıdır. Selülozlar selüloz zincirleriyle, xylanase enzimleri arabinoksilan ve ksilan yapılarıyla, beta-glucanase ise  $\beta$ -glukan zincirleriyle ilişkilidir. Ruminococcus albus endo-1,4-beta-glucanase geninin tanımlanması gibi çalışmalar, farklı mikroorganizmaların bitkisel polisakkaritleri parçalamak için ayrı enzim sistemleri geliştirdiğini gösterir <sup>[15]</sup>.

Bu fark proses tasarımında önemlidir. Örneğin bira üretiminde sorun yüksek  $\beta$ -glukan kaynaklı filtrasyon direnci ise beta-glucanase öncelikli rol oynayabilir; buğday bazlı viskozite veya hücre duvarı sorunu daha çok arabinoksilan kaynaklıysa xylanase etkisi daha belirgin olabilir. Yem katkısı değerlendirmelerinde xylanase ve beta-glucanase’in birlikte ele alınması, tahıl hücre duvarının tek polimerden oluşmadığını pratik olarak doğrular <sup>[10]</sup>.

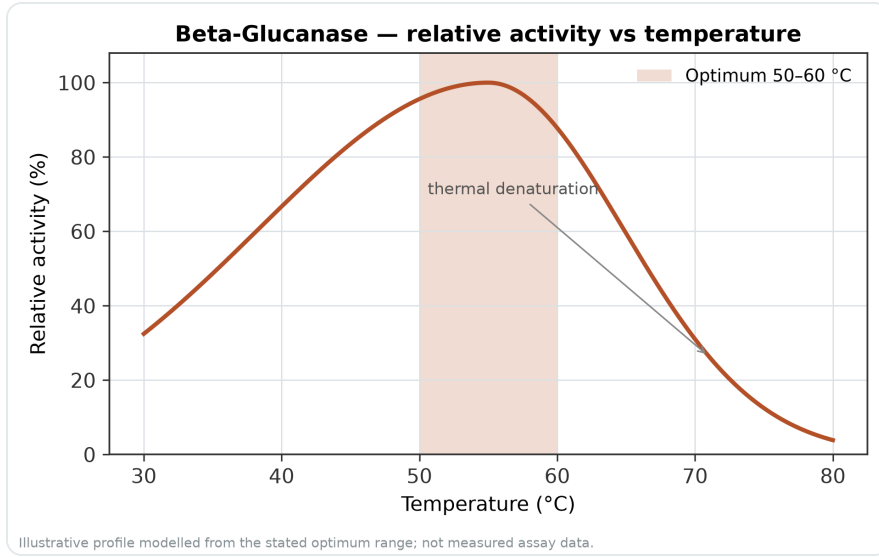
Selüloz ve türevleri üzerinde yapılan saflaştırılmış 1,4-beta-glucanase çalışmaları, bazı beta-glucanase tiplerinin selülozik substratlarla da etkileşebildiğini göstermiştir. Ancak bu, her beta-glucanase ürününün selüloz gibi davranacağı anlamına gelmez; substrat özgüllüğü ve proses sonucu enzimin kaynağına ve yapısal özelliklerine bağlıdır <sup>[4]</sup>.

## Proses koşullarını etkileyen pratik değişkenler

---

Beta-glucanase performansı, hedef substratın erişilebilirliğiyle başlar.  $\beta$ -glukan zincirleri çözünmüş, şişmiş veya hücre duvarı içinde açığa çıkmış durumdaysa enzimle temas olasılığı artar; sıkı paketlenmiş, lignifiye veya başka polisakkaritlerle maskelenmiş yapılarda etki daha sınırlı olabilir. Bu nedenle aynı enzim, mayşe gibi sulu ve karıştırılan bir ortamda farklı; kuru veya az hidratlanmış bir bitkisel matriste farklı sonuç verebilir <sup>[16]</sup>.

Sıcaklık ve pH da enzim konformasyonunu ve substrat çözünürlüğünü etkiler. Bazı beta-glucanase çalışmalarında termal dayanıklılık, karışık bağlantılı  $\beta$ -glukan hidrolizi ve rekombinant ifade gibi konuların araştırılması, uygulama ortamının enzim seçimi üzerinde belirleyici olduğunu gösterir. Bununla birlikte burada belirli sıcaklık, pH veya aktivite birimi vermek yerine temel prensip vurgulanmalıdır: enzim, yapısını koruyabildiği ve substratla temas edebildiği aralıkta işlev görür <sup>[1]</sup>.



**Figure 6.** 온도에 따른 베타-글루카나아제의 상대 활성으로, 50–60°C에서 최적 활성을 보이며 최적 온도 이상에서는 열변성으로 인해 활성이 감소하는 특징을 나타냅니다.

Temas süresi de doğrudan önemlidir. Beta-glucanase zincirleri anında yok etmez; hidroliz, enzimin substrata bağlanması, uygun bağın konumlanması ve kesim reaksiyonunun tekrarlanmasıyla ilerler. Çok kısa temas, yetersiz karışım veya reaksiyon sonrası hızlı ısı inaktivasyon, beklenen viskozite düşüşünü sınırlayabilir [6].

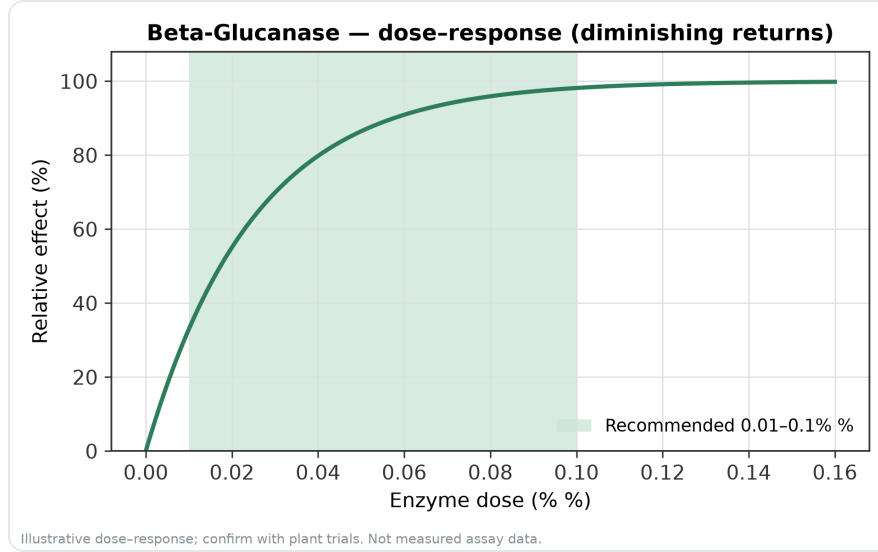
İnhibitör veya denatüre edici proses bileşenleri de dikkate alınmalıdır. Ağır proses koşulları, aşırı ısı yük veya enzim yapısını bozan kimyasal ortamlar aktiviteyi azaltabilir. Streptomyces beta-glucanase enzimlerinin üretim iyileştirmesi üzerine yapılan çalışma, endüstriyel ilginin yalnızca enzimin varlığına değil, ifade, stabilite ve uygulanabilirlik gibi özelliklere de yöneldiğini gösterir [17].

## Kanıt düzeyi ve uygulama güvenilirliği

Beta-glucanase için en güçlü uygulama gerekçesi, tahıl  $\beta$ -glukanlarının viskozite ve filtrasyon üzerindeki etkisinin iyi anlaşılmasıdır. Arpa germinasyonu, maltlama ve karışık bağlantılı  $\beta$ -glukan hidrolizi üzerine yapılan çalışmalar, bira ve tahıl prosesleriyle doğrudan ilişkili biyokimyasal zemini destekler. Bu nedenle bira üretiminde beta-glucanase kullanımı, mekanizması en anlaşılır ve pratik sonucu en izlenebilir alanlardan biridir [5].

Yem uygulamalarında kanıt, doğrudan ürün tipinden çok enzim kombinasyonları ve rasyon bağlamı üzerinden gelir. EFSA'nın farklı yem katkıları için yaptığı değerlendirmeler, endo-1,3(4)-beta-glucanase içeren preparatların xylanase ile birlikte kanatlılar ve domuzlar için teknik olarak ele alındığını göstermektedir. Bu, beta-glucanase'in hayvan beslemede rasyon matrisine bağlı bir araç olduğunu, her formülasyonda aynı etkiyi verecek bağımsız bir çözüm olmadığını gösterir [12].

Maya, fungal biyokütle ve hücre duvarı parçalanması alanında kanıt daha uygulamaya özgüdür.  $\beta$ -1,3-glucanase'lerin Bacillus, Talaromyces, Paenibacillus ve Candida gibi farklı sistemlerde tanımlanması, bu enzimlerin mikrobiyal duvar glukanlarıyla biyolojik ilişkisini ortaya koyar. Ancak şarap, maya ekstraktı veya antifungal araştırma gibi her uygulamada proses hedefi ve güvenlik bağlamı farklıdır [2].



**Figure 7.** 권장 사용 범위(0.01–0.1%)에서 베타-글루카나아제의 예시적 용량-반응 관계.

Bitkisel ekstraksiyon alanında kanıt, çoğu zaman çok enzimli biyoproses çalışmalarıyla desteklenir. Kırmızı pirinç kepeği gibi kompleks matrislerde enzimatik işlem, bileşen salınımı ve fonksiyonel özellikler üzerinde ölçülebilir etkiler gösterebilir; ancak bu etkinin ne kadarının beta-glucanase'e, ne kadarının diğer hücre duvarı enzimlerine bağlı olduğu proses tasarımına göre değişir [13].

## Uygulama alanlarına göre dengeli değerlendirme

Uygulama alanı	Beta-glucanase'in teknik rolü	Güçlü olduğu nokta	Sınırları
Bira üretimi	Arpa $\beta$ -glukanlarını kısaltarak mayşe ve şıra akışını destekleme	Viskozite ve filtrasyon sorunlarıyla doğrudan ilişki	Malt kalitesi, tahıl reçetesi ve proses aşaması sonucu belirler
Şarap ve maya otolizi	Glukan kaynaklı filtrasyon yükünü ve maya duvarı direncini azaltma	Berraklaştırma ve otoliz süreçlerinde mekanistik uyum	Şarap matriksi ve maya türüne bağlı değişken sonuç
Yem	Tahıl hücre duvarı polisakkaritlerini parçalayarak sindirim viskozitesini azaltma	Arpa/yulaf içeren rasyonlarda rasyonel kullanım	Genellikle xylanase gibi enzimlerle birlikte değerlendirilir

Uygulama alanı	Beta-glucanase'in teknik rolü	Güçlü olduğu nokta	Sınırları
Bitkisel ekstraksiyon	Hücre duvarı bariyerinin $\beta$ -glukan bileşenini zayıflatma	Kepek ve bitkisel yan ürünlerde erişilebilirliği destekleme	Çok bileşenli matrislerde tek başına belirleyici olmayabilir
Fungal veya mikrobiyal biyokütle	$\beta$ -1,3 glukan ağını hedefleme	Hücre duvarı yapısına doğrudan mekanistik etki	Uygulama güvenliği ve proses hedefi ayrı ayrı değerlendirilmelidir

## Sınırlar: beta-glucanase ne yapmaz?

Beta-glucanase nişastayı şekere dönüştüren bir amilaz değildir. Bu ayrım özellikle bira, distilasyon ve tahıl bazlı içecek proseslerinde önemlidir; nişasta dönüşümü ile  $\beta$ -glukan hidrolizi farklı substratlara ve farklı proses çıktısına yöneliktir. Beta-glucanase'in başarılı olması, nişasta dönüşümünün tamamlandığı veya fermentasyon şeker profilinin optimize edildiği anlamına gelmez <sup>[4]</sup>.

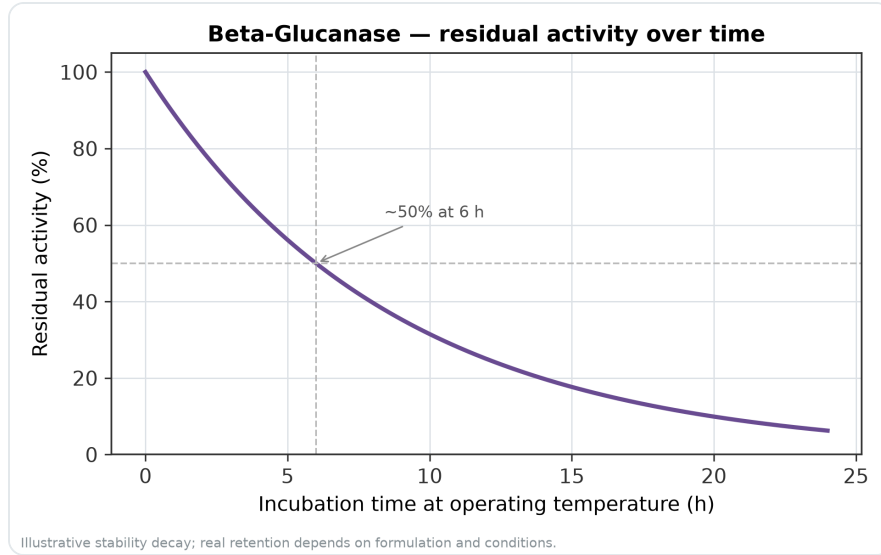
Beta-glucanase her hücre duvarını tamamen parçalamaz. Bitki hücre duvarları pektin, selüloz, hemiselüloz, protein ve fenolik çapraz bağlar içerebilir; maya ve mantar duvarlarında ise mannopteinler, kitin ve farklı glukan düzenleri bulunabilir. Dolayısıyla  $\beta$ -glukan zincirlerinin kesilmesi önemli bir zayıflatma sağlayabilir, fakat tüm matrisi tek başına çözmesi beklenmemelidir <sup>[8]</sup>.

Beta-glucanase'in her  $\beta$ -glukan üzerinde aynı etkiyi göstermesi de beklenmez. Karışık bağlantılı tahıl  $\beta$ -glukanı,  $\beta$ -1,3 ağırlıklı fungal glukan ve dallanmış maya glukanı farklı üç boyutlu düzenlere sahiptir. *Talaromyces emersonii*'den saflaştırılan exo-1,3-beta-glucanase çalışması, belirli bağ tiplerine yönelen enzimlerin ayrı özellikler taşıyabildiğini gösterir <sup>[3]</sup>.

Gıda uygulamalarında ayrıca besinsel fonksiyon konusu vardır.  $\beta$ -glukan bazı ürünlerde istenmeyen viskozite kaynağı olabilirken, bazı ürünlerde çözünür lif olarak ürün değerinin bir parçasıdır. Tahıl fitokimyasalları ve mikrobeyinlerinin dağılımını ele alan literatür, tahıl matrisinin yalnızca proses kolaylığı açısından değil, besinsel kompozisyon açısından da değerlendirilmesi gerektiğini vurgular <sup>[14]</sup>.

## Enzymes.bio üzerinden ürün konumlandırması

Enzymes.bio'daki Beta-Glucanase, teknik kullanıcıların çevrim içi olarak 1 kg birimler halinde doğrudan satın alabildiği bir enzim ürünüdür. Ürün sayfası üzerinden sipariş verilir, ödeme tamamlandıktan sonra işleme alınır ve teslimat süreci başlatılır. Enzymes.bio üretici veya laboratuvar olarak değil, B2B odaklı çevrim içi enzim tedarikçisi olarak konumlanır .



**Figure 8.** 베타-글루카나아제의 예시적 열 안정성 감소 – 작동 온도에서 시간이 지남에 따라 잔존 활성이 감소합니다.

Siparişle birlikte CoA ve SDS sağlanır. Bu belgeler, ürünün ilgili parti ve güvenlik bilgileriyle birlikte değerlendirilmesine yardımcı olur; ancak bu doküman belirli aktivite birimi, analiz yöntemi veya proses reçetesi sunmayı amaçlamaz. Buradaki amaç, beta-glucanase'in hangi teknik sorunlara neden çözümlenebileceğini ve hangi sınırlarda düşünülmesi gerektiğini açık biçimde anlatmaktır .

## Sonuç: beta-glucanase'i doğru bağlamda değerlendirmek

Beta-glucanase,  $\beta$ -glukan içeren hammaddelerde zincir uzunluğunu ve hücre duvarı davranışını değiştiren hedefli bir biyokatalizördür. Bira üretiminde mayşe ve şıra viskozitesinin azaltılması, yem uygulamalarında tahıl kaynaklı sindirim viskozitesinin yönetilmesi, şarapta filtrasyon ve maya otolizinin desteklenmesi, bitkisel ekstraksiyonda hücre duvarı bariyerinin zayıflatılması başlıca teknik kullanım alanlarıdır <sup>[10]</sup>.

En güçlü sonuçlar, hedef substratın gerçekten  $\beta$ -glukan kaynaklı olduğu ve enzimin bu yapıyla temas edebildiği proseslerde beklenir. Arpa veya yulaf gibi tahıl matrislerinde karışık bağlantılı  $\beta$ -glukanlar; maya ve mantar biyokütlesinde ise  $\beta$ -1,3 ağırlıklı duvar glukanları farklı uygulama mantıkları gerektirir. Bu nedenle beta-glucanase'i genel bir "polisakkarit parçalayıcı" olarak değil, belirli  $\beta$ -glukan yapılarına yönelik kontrollü bir proses aracı olarak görmek gerekir <sup>[1]</sup>.

Enzymes.bio Beta-Glucanase ürünü, bu teknik bağlamlarda değerlendirilmek üzere çevrim içi doğrudan satış modeliyle sunulur. Ürün 1 kg birimler halinde satın alınabilir; CoA ve SDS siparişle birlikte sağlanır. Doğru uygulama bağlamında beta-glucanase, proses akışkanlığı, filtrasyon verimliliği, hücre duvarı parçalanması ve tahıl bazlı matrikslerin daha yönetilebilir işlenmesi açısından pratik katkı sağlayabilir .

## Beta-Glucanase 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.

[Beta-Glucanase 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. Chen, H., Li, X., & Ljungdahl, L. (1997). Sequencing of a 1,3-1,4-beta-D-glucanase (lichenase) from the anaerobic fungus Orpinomyces strain PC-2: properties of the enzyme expressed in Escherichia coli and evidence that the gene has a bacterial origin. *Journal of Bacteriology*, 179, 6028 - 6034.
2. Yamamoto, M., Aono, R., & Horikoshi, K. (1993). Structure of the 87-kDa beta-1,3-glucanase gene of Bacillus circulans IAM1165 and properties of the enzyme accumulated in the periplasm of Escherichia coli carrying the gene. *Bioscience, biotechnology and biochemistry*, 57 9, 1518-25 .
3. O'Connell, E., Piggott, C., & Tuohy, M. (2011). Purification of exo-1,3-beta-glucanase, a new extracellular glucanolytic enzyme from Talaromyces emersonii. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 89, 685-696.
4. Halliwell, G., & Vincent, R. (1981). The action on cellulose and its derivatives of a purified 1,4-beta-glucanase from Trichoderma koningii. *Biochemical Journal*, 199 2, 409-17 .
5. Jensen, L. G., Olsen, O., Kops, O., Wolf, N., Thomsen, K. K., & Wettstein, D. V. (1996). Transgenic barley expressing a protein-engineered, thermostable (1,3-1,4)-beta-glucanase during germination. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 93 8, 3487-91 .
6. Eriksson, K., & Pettersson, B. (1975). Extracellular enzyme system utilized by the fungus Sporotrichum pulverulentum (Chryso sporium lignorum) for the breakdown of cellulose. 3. Purification and physico-chemical characterization of an exo-1,4-beta-glucanase. *European Journal of Biochemistry*, 51 1, 213-8 .
7. Horikoshi, K., Koffler, H., & Arima, K. (1963). Purification and properties of beta-1,3-glucanase from the "lytic enzyme" of Bacillus circulans. *Biochimica et Biophysica Acta*, 73, 267-75 .
8. Quang, H. T., Trâm, T., Hien, H., Thi, T., & Thi, P. (2024). Characterization and antifungal activity of extracellular  $\beta$ -1,3-glucanase from Paenibacillus polymyxa AT4. *Research journal of biotechnology*.
9. Molina, M., Cenamor, R., & Nombela, C. (1987). Exo-1,3-beta-glucanase activity in Candida albicans: effect of the yeast-to-mycelium transition. *Journal of General Microbiology*, 133 3, 609-17 .
10. Bampidis, V., Azimonti, G., Bastos, M., Christensen, H., Dusemund, B., Durjava, M. F., Kouba, M., ... et al. (2022). Safety and efficacy of a feed additive consisting of endo-1,4-beta-xylanase and endo-1,3(4)-beta-glucanase produced with

Talaromyces versatilis IMI 378536 and DSM 26702 (ROVABIO® ADVANCE) for weaned piglets and pigs for fattening (ADISSEO France S.A.S). *EFSA journal. European Food Safety Authority*, 20.

11. Villa, R., Azimonti, G., Bonos, E., Christensen, H., Durjava, M., Dusemund, B., Gehring, R., ... et al. (2025). Assessment of the feed additive consisting of endo-1,3(4)-beta-glucanase and endo-1,4-beta-xylanase (produced with Talaromyces versatilis IMI CC 378536) (Rovabio® Excel) for all poultry species, weaned piglets, pigs for fattening and sows for the renewal of its authorisation (Adisseo France SAS). *EFSA journal. European Food Safety Authority*, 23.
12. Bampidis, V., Azimonti, G., Bastos, M., Christensen, H., Dusemund, B., Durjava, M. K., Kouba, M., ... et al. (2020). Assessment of the application for renewal of authorisation of AveMix® XG 10 (endo-1,4-beta-xylanase and endo-1,3(4)-beta-glucanase) for chickens for fattening. *EFSA journal. European Food Safety Authority*, 18.
13. Sapna, I., & Jayadeep, A. (2021). Influence of enzyme concentrations in enzymatic bioprocessing of red rice bran: A detailed study on nutraceutical compositions, antioxidant and human LDL oxidation inhibition properties.. *Food Chemistry*, 351, 129272 .
14. Nguyen, S. N., Drawbridge, P., & Beta, T. (2024). Distribution of cereal phytochemicals and micronutrients in whole grains: A review of nutraceutical, industrial, and agricultural implications. *Cereal Chemistry*.
15. Ohmiya, K., Kajino, T., Kato, A., & Shimizu, S. (1989). Structure of a Ruminococcus albus endo-1,4-beta-glucanase gene. *Journal of Bacteriology*, 171, 6771 - 6775.
16. Velikodvorskaia, G. A., Chekanovskaia, L. A., Lunina, N. A., Sergienko, O., Lunin, V., Dvortsov, I. A., & Zverlov, V. (2013). [The family 28 carbohydrate-binding module of the thermostable endo-1,4-beta-glucanase CelD Caldicellulosiruptor bescii maximizes the enzyme's activity and binds irreversibly to amorphous cellulose]. *Молекулярная биология*, 47 4, 667-73 .
17. Edison, L., Dan, V. M., R., R. S., & S, P. N. (2020). A Strategic Production Improvement of Streptomyces Beta Glucanase Enzymes with Aid of Codon Optimization and Heterologous Expression. *Biosciences Biotechnology Research Asia*.

## Enzymes.bio ile iletişime geçin


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


E-POSTA [wholesale@enzymes.bio](mailto:wholesale@enzymes.bio)

TELEFON (ABD) **+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.