

Nuclease Enzimi ile Nükleik Asit Yükünün Azaltılması: B2B Teknik Doküman

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

Nuclease, DNA veya RNA'nın fosfodiester omurgasını keserek nükleik asitleri daha küçük parçalara ayıran enzimler için kullanılan genel addir. B2B uygulamalarda başlıca değeri; biyolojik hammaddeler, hücre lizatları, fermentasyon türevleri veya araştırma karışımlarında nükleik asit yükünü azaltarak işlenebilirliği, proses kontrolünü ve analitik uyumluluğu desteklemesidir. Nükleazlar ayrıca TALEN nuclease, çinko parmak nükleazları, CRISPR-Cas sistemleri, biyosensörler ve prokaryotik Argonaute tabanlı araçlar gibi ileri biyoteknoloji platformlarının temel bileşenleri arasında yer alır ^[1].

Nuclease enzimi nedir?

Nuclease terimi tek bir enzimden çok, DNA veya RNA zincirlerindeki fosfodiester bağlarını kesebilen geniş bir biyokatalizör grubunu ifade eder. Bu grubun içinde bazı enzimler belirli bir diziye veya yapısal motife yönelirken, bazıları daha geniş substrat kabulüyle nükleik asitleri seçici olmayan biçimde parçalayabilir; bakteriyel seçici olmayan nükleazların biyoteknolojik potansiyeli bu çeşitliliğin açık örneklerinden biridir ^[2].

Bu nedenle "nuclease enzimi" ifadesi ürün bağlamında değerlendirilirken iki düzey birbirinden ayrılmalıdır: birincisi, nükleik asitleri parçalama işlevi; ikincisi, bu işlevin hangi uygulama koşulunda kullanılacağıdır. Gen düzenleme alanında TALEN nuclease veya CRISPR-Cas nükleazları hedefli DNA kesimi için tasarlanırken, proses odaklı kullanımda amaç çoğunlukla ortamda bulunan DNA/RNA yükünü azaltmak ve nükleik asit kaynaklı operasyonel zorlukları yönetmektir ^[3].

Nuclease enzimi, moleküler biyoloji literatüründe restriksiyon enzimlerinden Cas nükleazlarına, HNH nuclease alanı içeren proteinlerden DNA biyosensörlerinde kullanılan enzim destekli hedef geri dönüşüm sistemlerine kadar geniş bir uygulama yelpazesinde yer alır. DNAzyme ve nuclease temelli biyosensörlerin geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar, nükleazların yalnızca "parçalayıcı" enzimler olmadığını; sinyal üretimi, hedef ayrımı ve moleküler tanıma kurgularında da işlevsel bileşenler olduğunu gösterir ^[4].

Nuclease çalışma prensibi: fosfodiester bağıının enzimatik kesimi

DNA ve RNA, nükleotidlerin fosfodiester bağlarıyla birbirine bağlanmasıyla oluşan polimerlerdir. Nuclease enzimi, uygun substrat bağlanması gerçekleştiğinde bu omurgadaki bağları hidroliz yoluyla keser; sonuçta tek bir uzun molekül yerine daha kısa nükleik asit parçaları oluşur ^[4].

Bu reaksiyonun genel biyokimyasal mantığı dört basamakta özetlenebilir. Enzim önce nükleik asit molekülüyle temas eder, ardından substratın yapısına veya hedef bölgesine uygun bir bağlanma konumu oluşur; katalitik merkezde su molekülünün fosfor merkezine saldırısını kolaylaştıran düzenleme gerçekleşir ve fosfodiester bağı kırılarak zincir parçalanır ^[7].

Bütün nükleazlar aynı biçimde davranmaz. Bazıları DNA'nın belirli dizilerini veya yapısal özelliklerini tanıırken, bazıları DNA/RNA ayrımında veya tek iplikli/çift iplikli yapı tercihinde farklılık gösterebilir; prokaryotik Argonaute proteinleri gibi nükleik asit rehberli sistemler de biyoteknoloji araçları olarak incelenmektedir ^[8].

Gen düzenleme enzimlerinde tanıma ve kesim daha hedeflidir. Örneğin CRISPR-Cas9 sisteminde hedef seçicilik rehber RNA ile DNA arasındaki eşleşmeye ve Cas proteinindeki kesim alanlarının konumlanmasına bağlıdır; Cas9'un özgüllüğünü açıklayan çalışmalar, hedef dizinin tanınması ile kesim adımının birbirinden ayrılmadan değerlendirilmesi gerektiğini vurgular ^[9].

Endonükleaz, ekzonükleaz ve hedefli nükleaz yaklaşımlarının farkı

Nuclease terimi altında farklı çalışma biçimleri bulunur. Bazı nükleazlar zincirin iç bölgelerinden kesim yapar, bazıları uçlardan ilerleyerek nükleotidleri uzaklaştırır; gen düzenleme platformlarında ise nükleaz alanı, hedef tanıma modülüyle birleştirilerek belirli genom konumlarına yönlendirilir ^[10].

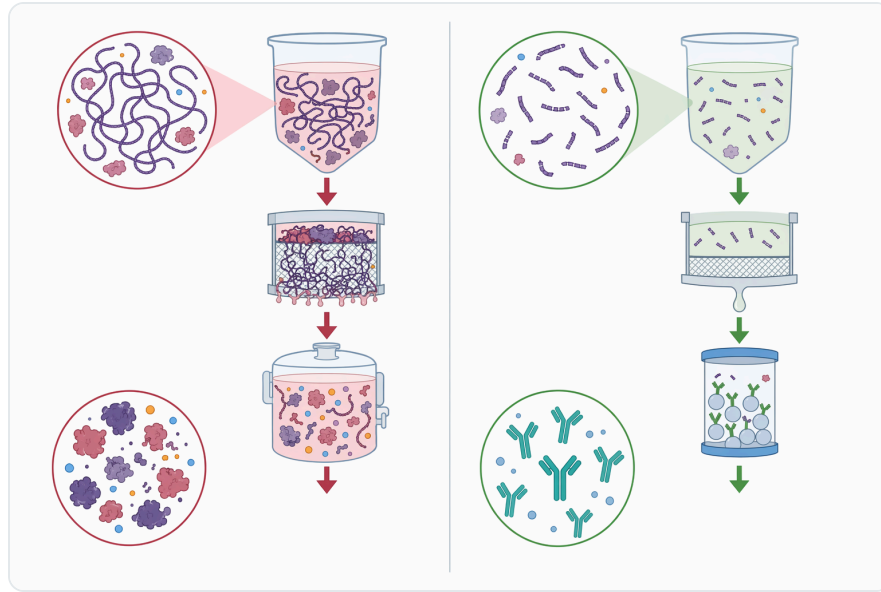


Figure 2. 엔도뉴클레이스는 핵산 가닥 내부를 절단하는 반면, 엑소뉴클레이스는 노출된 가닥 말단부터 점진적으로 분해합니다.

Aşağıdaki tablo, uygulama bakış açısıyla sık karşılaşılan nükleaz yaklaşımlarını karşılaştırır. Tablo ürün spesifikasyonu veya aktivite beyanı değildir; nükleazların biyoteknoloji ve proses bağlamında nasıl farklı işlevler üstlenebildiğini göstermek için hazırlanmıştır.

Yaklaşım	Tanıma biçimi	Tipik kullanım bağlamı	B2B açısından yorum
Seçici olmayan nuclease	Nükleik asit omurgasına geniş substrat kabulüyle etki eder	Hücre lizatları, biyolojik proses akımları, nükleik asit yükünün azaltılması	Proses işlenebilirliği ve nükleik asit kaynaklı yükün yönetimi için değerlendirilir
Restriksiyon tipi nükleazlar	Belirli DNA dizilerini tanır	Moleküler klonlama, DNA analizi, kontrollü kesim	Araştırma ve moleküler biyoloji odaklıdır; proses viskozitesi azaltma amacıyla genellenmemelidir
Zinc finger nuclease	Protein-DNA tanıma modülüyle hedefe yönelir	Genom mühendisliği, hücre hattı geliştirme	Hedefli kesim için tasarlanmış teknoloji ailesidir ^[11]
TALEN nuclease	TALE DNA bağlanma alanı ve nükleaz kesim alanı kombinasyonu	Bitki, hücre ve organizma genom düzenleme	Tasarım esnekliği nedeniyle biyoteknolojide yaygın incelenmiştir ^[1]
CRISPR-Cas nükleazları	Rehber RNA aracılığıyla hedef DNA/RNA tanıma	Çoklu genom düzenleme, fonksiyonel genetik, tarımsal biyoteknoloji	Yüksek programlanabilirlik sunar; hedef dışı etki ve özgüllük değerlendirmesi önemlidir ^[12]

Yaklaşım	Tanıma biçimi	Tipik kullanım bağlamı	B2B açısından yorum
Biyosensörlerde nuclease	Hedefe bağlı sinyal geri dönüşümü veya kesim	DNA/RNA hedeflerinin tespiti	Analitik sinyal güçlendirme kurgularında kullanılabilir ^[4]

Bu ayırım özellikle “nuclease” arama terimiyle gelen kullanıcıların beklentilerini netleştirmek için önemlidir. Bir kullanıcı TALEN nuclease hakkında bilgi arıyorsa hedefli genom düzenlemeyi, “nuclease enzyme” arıyorsa nükleik asit kesimini, “nuclease free water” veya “Promega nuclease free water” arıyorsa nükleaz içermeyen laboratuvar suyunu kastediyor olabilir; bu kavramlar aynı teknik ekosistemde yer alsada da aynı ürün veya aynı kullanım amacı değildir ^[3].

TALEN nuclease, ZFN ve CRISPR bağlamında nükleazların yeri

TALEN nuclease teknolojisi, TALE proteinlerinin DNA tanıma kapasitesini nükleaz kesim alanıyla birleştirerek hedefli DNA kırıkları oluşturmak üzere geliştirilmiştir. Bu yaklaşım bitki genom düzenleme dahil birçok biyoteknoloji alanında incelenmiş, TALEN ve diğer dizime özgü nükleazların yeni nesil genom düzenleme araçları olarak kullanımı literatürde değerlendirilmiştir ^[13].

Çinko parmak nükleazları da benzer şekilde DNA'ya bağlanan tasarlanmış protein alanlarını kesim işleviyle birleştirir. İnsan hücre hatlarında izogenik modeller üretmek için zinc finger nuclease tabanlı genom mühendisliği çalışmaları yapılmış; bu da nükleazların yalnızca temel biyokimya reaktifi değil, hücrel mühendislik aracı olarak da önem taşıdığını gösterir ^[11].

CRISPR-Cas sistemleri, tasarım kolaylığı ve çoklu hedef düzenleme potansiyeli nedeniyle mikroorganizmalardan bitkilere kadar geniş bir alanda kullanılır. Mikroorganizmalarda multiplex genom düzenleme üzerine yapılan çalışmalar, CRISPR-Cas nükleazlarının tek bir hedefle sınırlı kalmayıp aynı anda birden fazla genomik konumun düzenlenmesine olanak sağlayabildiğini göstermektedir ^[12].

Bu gen düzenleme örnekleri, nuclease enzim ailesinin biyoteknolojideki önemini ortaya koyar; ancak Enzymes.bio üzerinden tedarik edilen nuclease ürününün değerlendirilmesinde temel odak hedefli genom mühendisliği değil, nükleik asit parçalama işlevinin uygun B2B uygulamalarda kullanılmasıdır. Bu ayırım, teknik dokümanda ürünün olduğundan farklı bir araştırma platformu gibi sunulmaması açısından gereklidir ^[5].

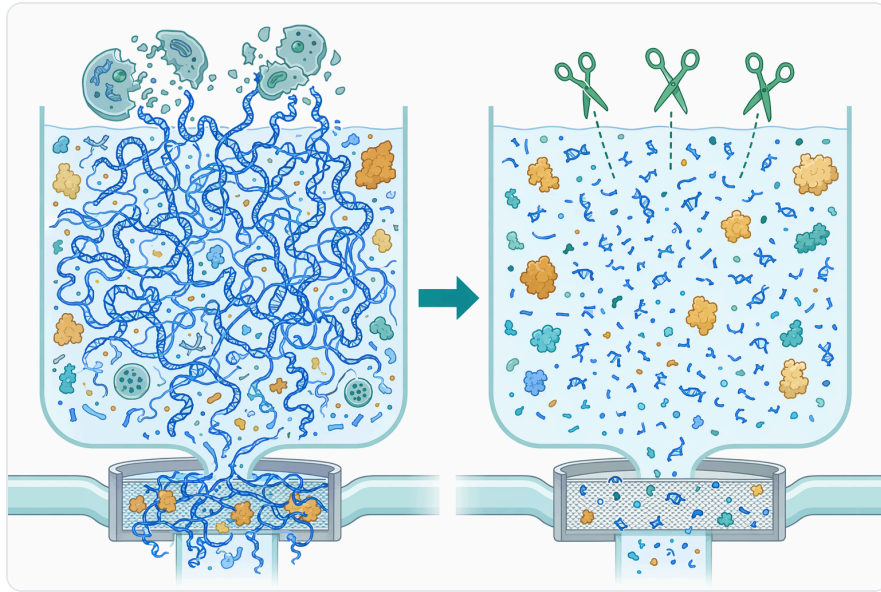


Figure 3. 방출된 긴 핵산은 점도와 점도를 증가시킬 수 있으며, 뉴클레아제에 의한 단편화는 이를 더 짧고 다루기 쉬운 물질로 바꿉니다.

HNH nuclease ve kesim alanlarının teknik anlamı

“HNH nuclease” terimi, bazı nükleaz proteinlerinde bulunan ve nükleik asit kesiminde rol oynayan katalitik alanları ifade eder. CRISPR-Cas9 bağlamında HNH alanı genellikle hedef ipliğin kesimiyle ilişkilendirilirken, farklı nükleaz mimarilerinde kesim alanlarının konumu ve substratla ilişkisi değişebilir ^[9].

Bu bilgi B2B kullanıcı için iki açıdan önemlidir. Birincisi, nükleaz aktivitesi yalnızca “enzim varlığı” ile açıklanmaz; substrat bağlanması, hedef yapının erişilebilirliği ve katalitik alanın doğru konumlanması gerekir. İkincisi, gen düzenleme literatüründe geçen HNH nuclease gibi terimler, genel nükleik asit yükü azaltma amacıyla kullanılan proses nükleazlarıyla doğrudan eş anlamlı değildir ^[7].

Biyosensörlerde nuclease: sinyal geri dönüşümü ve seçici kesim

Nuclease enzimleri, biyosensör tasarımlarında hedef nükleik asitlerin daha görünür hale getirilmesi için kullanılabilir. DNazyme ve nuclease tabanlı DNA biyosensörleri üzerine yapılan değerlendirmeler, kesim reaksiyonunun yalnızca substratı yok etme değil, sinyal üretme veya hedef geri dönüşümü oluşturma aracı olarak da kurgulanabildiğini gösterir ^[4].

Bu tür sistemlerde mantık genellikle şudur: hedef nükleik asit, prob veya hibrid yapı ile etkileşir; nuclease uygun yapıyı keser; kesim sonrası oluşan ürün yeni sinyal döngülerini tetikleyebilir veya hedef yeniden kullanılabilir. Böylece düşük miktardaki hedeflerin analitik olarak tespit edilmesi kolaylaşabilir;

ancak bu uygulamalar kontrollü analitik tasarımlar gerektirir ve proses ölçekli nükleik asit yükü azaltma uygulamalarından ayrı değerlendirilmelidir [4].

Tarım, gıda bilimi ve biyoteknoloji araştırmalarında nükleazlar

Nükleazların en görünür kullanım alanlarından biri tarım ve gıda bilimiyle ilişkili genom düzenleme çalışmalarındadır. CRISPR-Cas9 teknolojisinin gıda ve tarım bilimindeki uygulamaları, bitki özelliklerinin iyileştirilmesi, fonksiyonel genlerin araştırılması ve üretimle ilişkili biyolojik yolların anlaşılması gibi hedeflerle kapsamlı biçimde incelenmiştir [14].

Farmakolojik aktif bitki doğal ürünlerinin optimize edilmesinde CRISPR-Cas genom düzenleme yaklaşımları da araştırılmıştır. Bu tür çalışmalar, nükleazların doğrudan ürün katkısı olmaktan çok biyolojik üretim yollarını anlamaya ve düzenlemeye yarayan araçlar olarak kullanılabilmediğini gösterir [15].

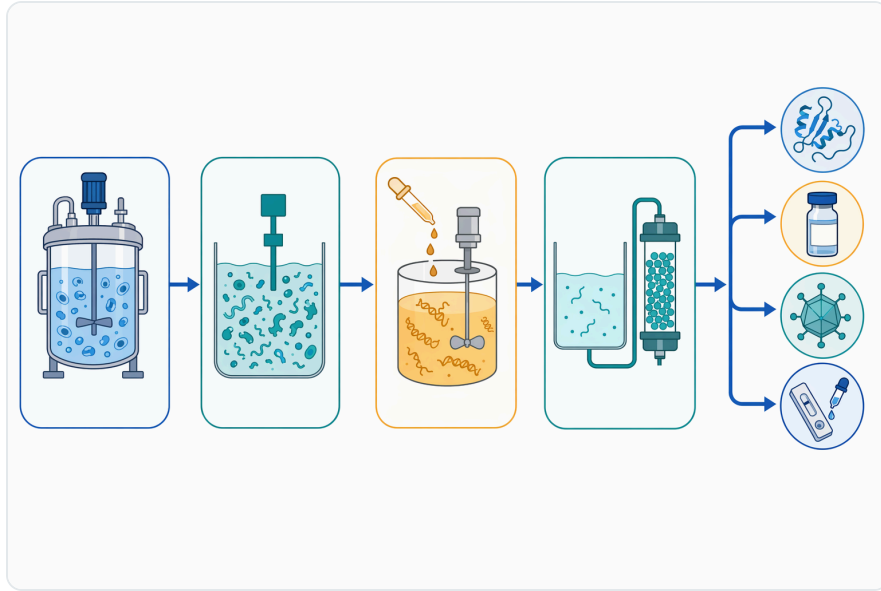


Figure 4. 뉴클레이스 처리 단계는 세포 파쇄 후에 배치하여 정화, 여과 또는 기타 하류 공정 전에 핵산 부담을 줄일 수 있습니다.

Soya gibi ekonomik bitkilerde CRISPR/Cas9 tabanlı moleküler ışlah araştırmaları da nükleazların tarımsal biyoteknolojiye etkisini ortaya koyar. Burada nuclease işlevi, bitkisel biyokütle içindeki nükleik asit yükünü azaltma amacıyla değil, genom üzerinde programlanabilir kesim oluşturma amacıyla kullanılır [16].

Enzymes.bio ürün bağlamında ise tarım ve gıda işleme kullanıcıları için daha pratik soru, biyolojik matristeki nükleik asitlerin proses davranışını etkileyip etkilemediğidir. Eğer DNA/RNA yükü karışımın işlenebilirliğini, filtrasyon davranışını veya downstream adımlarla uyumunu etkiliyorsa nuclease enzimi,

uygun proses koşulları altında teknik olarak değerlendirilebilecek bir biyokatalizördür [2].

RNA uygulamaları ve nükleaz hassasiyeti

RNA temelli teknolojilerde nükleazlar çift yönlü bir öneme sahiptir. Bir yandan RNA'yı parçalayabilen enzimler istenmeyen bozunma riski oluşturur; diğer yandan belirli tasarımlarda RNA hedeflerinin kontrollü kesimi veya nükleik asit yükünün azaltılması için işlevsel olabilir [17].

RNAi aracılı zararlı kontrolü gibi uygulamalarda ekzogen RNA'nın çevresel ve biyolojik ortamlarda parçalanmaya açık olması önemli bir konudur. RNA teslim teknikleri üzerine yapılan değerlendirmeler, RNA'nın hedefe ulaşmadan önce bozunmasını önlemenin uygulama başarısı açısından kritik olduğunu vurgular; bu da "nuclease varlığı" ile "nuclease'den korunma" kavramlarının aynı teknik alanın iki zıt ihtiyacı olduğunu gösterir [17].

Bu nedenle "how to make nuclease free water" veya "Promega nuclease free water" gibi arama ifadeleri, genellikle RNA/DNA çalışmalarında nükleaz kontaminasyonundan kaçınma ihtiyacına yöneliktir. Nuclease enzimi satın alma bağlamında ise amaç bunun tersidir: kontrollü koşullarda nükleik asitlerin enzimatik olarak parçalanmasını sağlamaktır.

Proses koşullarının sonucu belirlemesi

Nuclease performansı, yalnızca enzimin nükleik asit kesebilme özelliğine bağlı değildir. Matrisin pH'ı, sıcaklığı, tuz yükü, divalent iyon dengesi, şelatlayıcı bileşenler, protein yükü, polisakkarit varlığı, fenolik bileşenler ve nükleik asidin yapısı reaksiyon verimini etkileyebilir [5].

Hedefli nükleaz teknolojilerinde bile etkinlik ve güvenlik karşılaştırmaları yapılırken verimlilik, uygulanabilirlik ve hedef dışı etkiler birlikte değerlendirilir. Bu bakış açısı proses tipi nuclease kullanımına da uyarlanabilir: tek başına enzim eklemek yerine, nükleik asitlerin erişilebilirliği ve reaksiyon ortamının katalizle uyumu göz önünde bulundurulmalıdır [5].

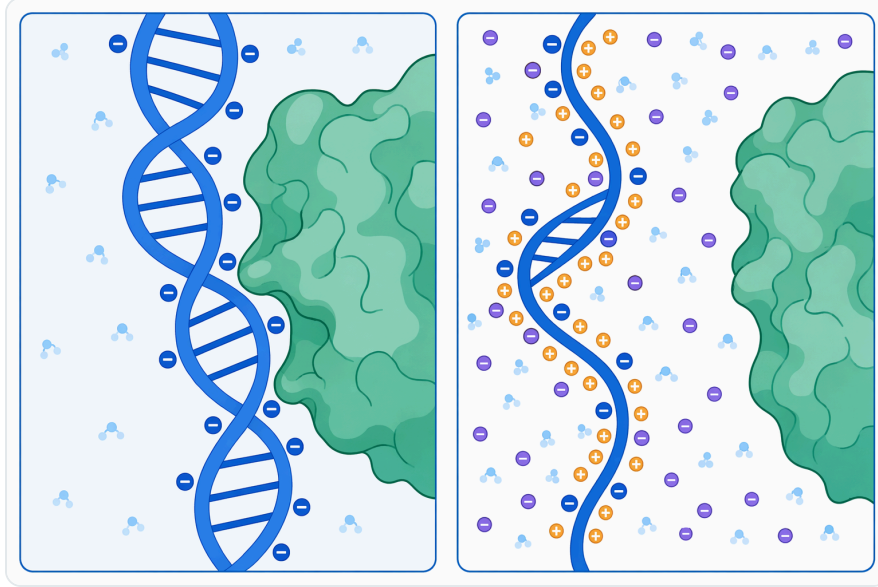


Figure 5. 염과 매트릭스의 화학적 특성은 효소 표면과 핵산 골격 사이의 정전기적 상호작용에 영향을 주어 뉴클레이스 성능을 좌우할 수 있습니다.

Sıcaklık özelinde dikkat edilmesi gereken nokta, bir nükleazın kaynağı veya literatürdeki kullanım alanının her proses için aynı dayanıklılığı garanti etmemesidir. Farklı nükleazların yapı-fonksiyon özellikleri ve uygulama bağlamları değiştiğinden, ürünün performansı nihai kullanım ortamının gerçek bileşimi içinde değerlendirilmelidir [2].

pH ve iyonik ortam da benzer şekilde önemlidir. CRISPR-Cas veya TALEN gibi hedefli sistemlerde bile protein-DNA etkileşimi, hedef tanıma ve kesim geometrisi hassas biyofiziksel koşullara bağlıdır; genel proses nükleazlarında ise bu hassasiyet daha çok substrat erişimi ve katalitik uygunluk üzerinden kendini gösterir [9].

Nuclease kullanımının sınırları

Nuclease enzimi, nükleik asitleri parçalayabilen güçlü bir biyokatalizör olsa da her proses sorununu tek başına çözmez. Eğer proses problemi protein agregasyonu, lipid emülsiyonu, polisakkarit jelasyonu veya mineral kaynaklı çökelme ise nuclease etkisi sınırlı olabilir; çünkü enzimin doğrudan hedefi DNA/RNA omurgasıdır [2].

Ayrıca nükleik asitlerin parçalanması her zaman istenen son ürün kalitesine otomatik olarak karşılık gelmez. Bazı uygulamalarda büyük DNA/RNA moleküllerinin daha kısa parçalara ayrılması yeterli olabilirken, bazı uygulamalarda parçalanmış nükleik asitlerin downstream sistemdeki davranışı ayrıca dikkate alınmalıdır [4].

Gen düzenleme literatüründeki yüksek özgüllük, hedefli kesim veya programlanabilirlik iddiaları da proses tipi nuclease kullanımına doğrudan aktarılmamalıdır. TALEN nuclease, zinc finger nuclease ve CRISPR-Cas gibi sistemler belirli moleküler mühendislik amaçları için tasarlanmıştır; genel nükleik asit yükü azaltma ürünleri bu teknolojilerle aynı şekilde sunulmamalıdır [1].

Kavram karmaşasını önlemek: nuclease enzimi ile nuclease-free ürünler aynı değildir

“Nuclease” aramalarında kullanıcılar bazen enzim ürününü, bazen nükleaz içermeyen laboratuvar sarflarını, bazen de gen düzenleme teknolojilerini arar. “Nuclease free water”, “Promega nuclease free water” veya “how to make nuclease free water” gibi ifadeler, nükleaz aktivitesinden kaçınmak isteyen moleküler biyoloji kullanıcılarının kontaminasyon kontrolü ihtiyacını yansıtır.



Figure 6. 뉴클레이스는 DNA 복구, RNA 조절, 면역 방어, 바이러스 RNA 처리, 바이오필름 매트릭스 붕괴, 바이오공정 정제 등 생물학과 기술 전반에서 기능합니다.

Buna karşılık Enzymes.bio üzerinden tedarik edilen nuclease enzimi, nükleik asitlerin parçalanmasının istendiği profesyonel kullanım bağlamları için değerlendirilir. Yani bir tarafta nükleik asitleri korumak için nükleazdan arındırılmış ortamlar, diğer tarafta nükleik asitleri parçalamak için kullanılan nuclease enzimi bulunur; bu iki kavramın teknik amacı zıttır [17].

Bu ayrım özellikle RNA çalışmaları için kritiktir. RNAi teslim sistemleri gibi alanlarda nükleaz bozunmasından korunma önemliyken, proses yükü azaltma uygulamalarında nükleazın katalitik etkisi istenen fonksiyondur [17].

Enzymes.bio üzerinden tedarik bağılamı

Enzymes.bio, nuclease ürününde üretici veya laboratuvar değil, B2B enzim tedarikçisidir. Bu nedenle ürün dokümantasyonu, üretim iddiası veya laboratuvar validasyonu izlenimi verecek ifadelerden kaçınmalı; ürünün kullanım mantığını, bilimsel bağlamını ve B2B tedarik formatını açık şekilde anlatmalıdır.

Ürün 1 kg birimler halinde çevrim içi doğrudan satın alınabilir. Siparişle birlikte CoA ve SDS sağlanır; bu belgeler alıcının kendi kalite, güvenlik ve iç dokümantasyon süreçlerinde ürünü doğru şekilde kaydetmesine yardımcı olur.

Bu doküman, belirli aktivite değerleri, analiz yöntemleri veya uygulama protokolleri vermek için hazırlanmış değildir. Amaç, nuclease enziminin biyokimyasal işlevini, ilgili uygulama alanlarını ve teknik sınırlamalarını güvenilir bir çerçevede açıklamaktır.

Nuclease enzimi için gerçekçi değer önerisi

Nuclease enziminin B2B değer önerisi en açık biçimde nükleik asitlerin proses veya analiz açısından istenmeyen yük oluşturduğu durumlarda ortaya çıkar. DNA/RNA'nın parçalanması; biyolojik karışımlarda akışkanlık, işlenebilirlik, downstream uyumluluk veya araştırma amaçlı örnek hazırlama açısından fayda sağlayabilir, ancak bu sonuçlar uygulama koşullarına bağlıdır ^[2].

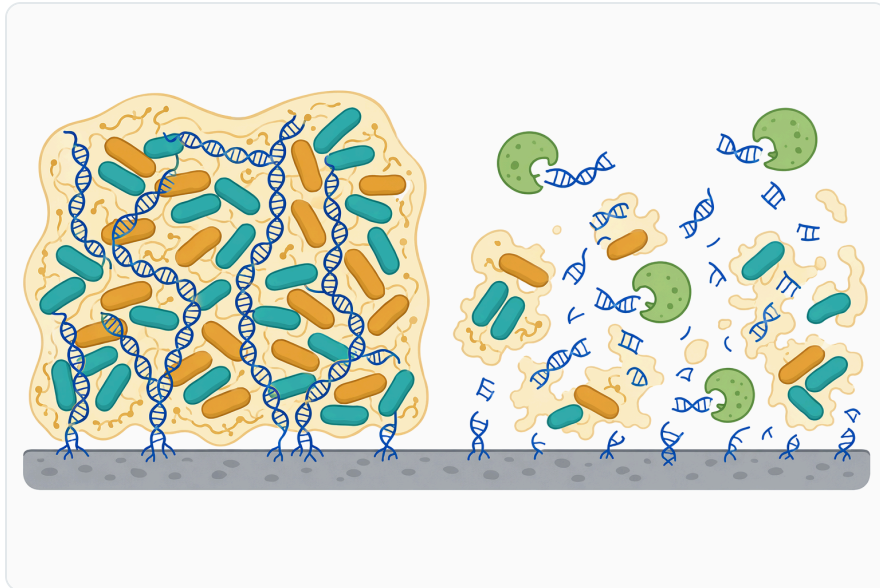


Figure 7. 세포외 DNA가 매트릭스 구조에 기여하는 바이오필름에서는 뉴클레이스 절단이 매트릭스 내 고분자 연속성을 감소시킬 수 있습니다.

İleri biyoteknoloji açısından nükleazlar, genom düzenleme ve hücre mühendisliği çalışmalarının da merkezindedir. Gene editing for cell engineering alanındaki eğilimler, nükleaz tabanlı araçların hücre fonksiyonu, model geliştirme ve biyoproses araştırmalarında önemli yer tuttuğunu göstermektedir [6].

Biyosensörlerde ise nuclease işlevi, nükleik asit hedeflerinin seçici kesimi veya hedef geri dönüşümü üzerinden sinyal üretimine bağlanabilir. Bu, ürünün her biyosensör tasarımında doğrudan kullanılacağı anlamına gelmez; ancak nükleazların modern analitik sistemlerde biyokimyasal modül olarak değerlendirildiğini gösterir [4].

Teknik sonuç

Nuclease, DNA ve RNA gibi nükleik asitleri daha küçük parçalara ayırabilen temel bir enzim ailesidir. B2B uygulamalarda en pratik kullanım alanı, biyolojik materyallerdeki nükleik asit yükünün azaltılması ve buna bağlı proses zorluklarının yönetilmesidir [2].

TALEN nuclease, zinc finger nuclease, HNH nuclease alanları ve CRISPR-Cas sistemleri, nükleaz biyolojisinin hedefli ve programlanabilir yönünü temsil eder. Buna karşılık proses odaklı nuclease kullanımı, daha çok ortamda bulunan DNA/RNA'nın enzimatik parçalanması ve uygulama matrisine bağlı işlenebilirlik kazanımları üzerine kuruludur [5].

Enzymes.bio tarafından tedarik edilen nuclease, B2B kullanıcılar için 1 kg birimler halinde çevrim içi doğrudan satın alınabilen bir enzim ürünüdür. CoA ve SDS siparişe birlikte sağlanır; ürünün performansı ise hedef matris, proses koşulları ve nükleik asit yükünün gerçek niteliğiyle birlikte değerlendirilmelidir.

Nuclease 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.

[Nuclease 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. Ousterout, D. G., & Gersbach, C. (2016). The Development of TALE Nucleases for Biotechnology. *Methods in molecular biology*, 1338, 27 - 42.
2. Schwardmann, L. S., Nölle, V., & Elleuche, S. (2020). Bacterial non-specific nucleases of the phospholipase D superfamily and their biotechnological potential. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104, 3293 - 3304.
3. Glazkova, D., & Shipulin, G. (2014). TALE nucleases as a new tool for genome editing. *Molecular Biology*, 48, 305-318.
4. Yang, H., Peng, Y., Xu, M., Xu, S., & Zhou, Y. (2021). Development of DNA Biosensors Based on DNAszymes and Nucleases. *Critical reviews in analytical chemistry*, 53, 161 - 176.
5. Castro, N. G., Bjelic, J., Malhotra, G., Huang, C., & Alsaffar, S. (2021). Comparison of the Feasibility, Efficiency, and Safety of Genome Editing Technologies. *International Journal of Molecular Sciences*, 22.
6. Gupta, S. K., & Shukla, P. (2017). Gene editing for cell engineering: trends and applications. *Critical Reviews in Biotechnology*, 37, 672 - 684.
7. Saramago, M., Costa, V., Souza, C. S., Bárria, C., Domingues, S., Viegas, S. C., Lousa, D., ... et al. (2022). The nsp15 Nuclease as a Good Target to Combat SARS-CoV-2: Mechanism of Action and Its Inactivation with FDA-Approved Drugs. *Microorganisms*, 10.
8. Kropocheva, E., Lisitskaya, L. A., Agapov, A., Musabirov, A., Kulbachinskiy, A., & Eshunina, D. (2022). Prokaryotic Argonaute Proteins as a Tool for Biotechnology. *Molecular biology*, 56, 854 - 873.
9. Kulishova, L., Vokhtantsev, I., Kim, D. V., & Zharkov, D. (2023). Mechanisms of the Specificity of the CRISPR/Cas9 System in Genome Editing. *Molecular Biology*, 57, 258-271.
10. Krämer, O., Klausung, S., & Noll, T. (2010). Methods in mammalian cell line engineering: from random mutagenesis to sequence-specific approaches. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 88, 425-436.
11. Dreyer, A., & Cathomen, T. (2012). Zinc-finger nucleases-based genome engineering to generate isogenic human cell lines. *Methods in molecular biology*, 813, 145-56 .
12. Adiego-Pérez, B., Randazzo, P., Daran, J., Verwaal, R., Roubos, J. A., Daran-Lapujade, P., & Oost, J. (2019). Multiplex genome editing of microorganisms using CRISPR-Cas. *FEMS Microbiology Letters*, 366.
13. Sprink, T., Metje, J., & Hartung, F. (2015). Plant genome editing by novel tools: TALEN and other sequence specific nucleases. *Current Opinion in Biotechnology*, 32, 47-53 .
14. Eş, I., Gavahian, M., Martí-Quijal, F. J., Lorenzo, J., Khaneghah, A. M., Tsatsanis, C., Kampranis, S., ... et al. (2019). The application of the CRISPR-Cas9 genome editing machinery in food and agricultural science: Current status, future perspectives, and associated challenges. *Biotechnology Advances*, 37 3, 410-421 .
15. Dey, A. (2020). CRISPR/Cas genome editing to optimize pharmacologically active plant natural products. *Pharmacological Research*, 105359 .
16. Yao, D., Zhou, J., Zhang, A., Wang, J., Liu, Y., Wang, L., Wen-Pi, ... et al. (2023). Advances in CRISPR/Cas9-based research related to soybean [Glycine max (Linn.) Merr] molecular breeding. *Frontiers in Plant Science*, 14.
17. Adeyinka, O., Riaz, S., Toufiq, N., Yousaf, I., Bhatti, M. U., Batcho, A., Olajide, A., ... et al. (2020). Advances in exogenous RNA delivery techniques for RNAi-mediated pest control. *Molecular Biology Reports*, 47, 6309 - 6319.

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.