

Lipasi alcalina per lavorazione carta e pasta: controllo di pitch, stickies, contaminanti lipofili e supporto al deinking

Team di ricerca Enzymes.bio · Wellington, Nuova Zelanda · June 20, 2026

La lipasi alcalina per paper and pulp processing è un enzima pensato per intervenire su frazioni grasse, esteri lipidici e contaminanti idrofobici presenti in pasta, carta riciclata e acque di processo. La sua utilità è più plausibile quando il problema industriale riguarda pitch, resine, stickies con componente lipidica o residui oleosi associati al deinking, non quando il difetto deriva principalmente da cellulosa, lignina o polimeri sintetici non sensibili all'idrolisi lipasica. Le lipasi alcaline sono studiate perché possono mantenere funzionalità in ambienti basici e, in alcuni casi, in presenza di tensioattivi, condizioni rilevanti per diversi passaggi del ciclo cartario ^[1].

Che cos'è una lipasi alcalina nel contesto carta e cellulosa

Una lipasi è un biocatalizzatore che accelera l'idrolisi di legami estere in substrati lipidici. In termini pratici, può scindere trigliceridi e altri esteri grassi in molecole più piccole, come acidi grassi e alcoli, modificando il comportamento di materiali oleosi o idrofobici dispersi nella sospensione fibrosa. L'aggettivo "alcalina" indica che l'enzima è selezionato per operare in condizioni tendenzialmente basiche, un requisito importante quando il trattamento avviene in linee dove il pH non è neutro e dove sono presenti componenti chimici di lavaggio, dispersione o flottazione ^[2].

Nel settore pulp & paper, la lipasi alcalina non svolge lo stesso ruolo di cellulasi, emicellulasi, xilanasi o laccasi. Le cellulasi ed emicellulasi sono studiate soprattutto per modificare la superficie delle fibre, influenzare la drenabilità e contribuire al raffinamento; le xilanasi sono collegate a trattamenti su emicellulose e alla sbiancabilità; le laccasi intervengono in trasformazioni ossidative della lignina. La lipasi, invece, è più mirata verso sostanze lipofile: oli, grassi, cere, trigliceridi, esteri e alcune frazioni di resine o adesivi ^[3].

Alkaline Lipase Paper And Pulp Processing fornita da Enzymes.bio va quindi interpretata come uno strumento tecnico specifico per contaminanti grassi e idrofobici, non come un additivo enzimatico universale. Enzymes.bio opera come fornitore online: non è un produttore né un laboratorio. Il

prodotto è disponibile direttamente online in unità da **1 kg**; il certificato di analisi e la scheda di dati di sicurezza sono forniti insieme all'ordine.

Perché i contaminanti lipofili sono critici nei processi cartari

Le sospensioni di pasta e carta non contengono solo fibre. In base alla materia prima e al ciclo di processo possono essere presenti estrattivi del legno, residui di inchiostro, cere, componenti di adesivi, additivi di patinatura, leganti, sostanze disciolte e colloidali provenienti dal macero. In sistemi con elevato ricircolo dell'acqua, questi materiali possono concentrarsi, cambiare stato colloidale e contribuire alla formazione di depositi o difetti superficiali; la gestione dell'acqua è infatti una questione centrale per l'efficienza e la stabilità delle cartiere moderne ^[4].



Figure 1. 알칼리성 리파아제는 피치가 발생하기 쉬운 버진 펄프, 재생섬유 탈목, 백수 오염물 제어, 그리고 일부 펄프 청정도 개선 보조 공정과 가장 관련이 깊다.

Pitch e stickies sono due categorie operative spesso discusse insieme, ma non sono identiche. Il pitch è associato a materiali resinosi e lipofili, inclusi componenti naturali del legno e frazioni idrofobiche che possono agglomerarsi. Gli stickies, più tipici delle linee con carta riciclata, derivano spesso da adesivi, etichette, nastri, rivestimenti e polimeri sensibili alla pressione. Una lipasi alcalina è tecnicamente pertinente solo per la parte del problema che contiene legami estere lipidici o frazioni grasse accessibili all'enzima; non degrada automaticamente ogni adesivo o deposito.

Questo punto è essenziale per un uso professionale. Se un deposito è ricco di trigliceridi, cere o esteri grassi, l'idrolisi lipasica può modificarne la bagnabilità, la dispersione o la tendenza all'accumulo. Se invece il deposito è costituito principalmente da particelle minerali, lignina ossidata, polimeri acrilici o

materiali termoplastici non idrolizzabili dalla lipasi, l'effetto atteso sarà più limitato. La letteratura sulle applicazioni enzimatiche nel pulp & paper mostra infatti che ogni classe enzimatica deve essere collegata al proprio substrato bersaglio e alla fase di processo appropriata ^[5].

Meccanismo d'azione: cosa fa la lipasi alcalina ai materiali grassi

Il meccanismo centrale della lipasi è l'idrolisi di legami estere. Nei trigliceridi, tre catene di acidi grassi sono esterificate a una molecola di glicerolo; la lipasi catalizza la rottura di questi legami, generando prodotti più piccoli e chimicamente diversi dal materiale di partenza. In una sospensione cartaria, questo significa trasformare una parte dei contaminanti lipidici da gocce o particelle più idrofobiche in specie che possono interagire diversamente con acqua, tensioattivi, cariche minerali e superfici fibrose ^[6].

Molte lipasi operano all'interfaccia tra fase acquosa e fase lipidica. Questo comportamento è rilevante nella pasta di carta, dove i contaminanti grassi non sono disciolti come molecole isolate ma spesso dispersi come microgocce, aggregati colloidali o depositi su fibre e superfici metalliche. L'efficienza dell'enzima dipende quindi dal contatto tra lipasi e substrato: miscelazione, accessibilità del contaminante, stato di emulsione e presenza di tensioattivi possono influenzare il risultato finale ^[1].

In ambiente alcalino, i prodotti dell'idrolisi possono assumere una forma più ionizzata o più facilmente dispersibile, a seconda della composizione del sistema. Questo non equivale a "sciogliere" tutti i depositi, ma può ridurre la persistenza di alcune frazioni grasse e facilitare la loro rimozione con il flusso d'acqua, la flottazione, il lavaggio o altri passaggi di separazione. Studi su lipasi alcaline termostabili e compatibili con detersivi confermano l'interesse industriale per enzimi capaci di operare in condizioni chimicamente impegnative, anche se i risultati dipendono dal ceppo enzimatico e dalla matrice applicativa ^[7].

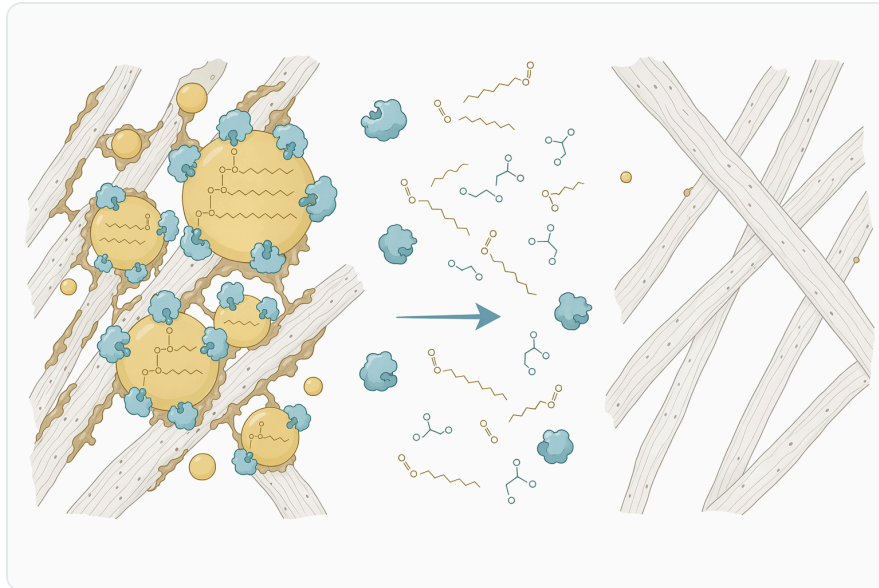


Figure 2. 리파아제는 트리글리세라이드와 지방산 에스터의 에스터 결합을 가수분해하여, 알칼리 조건에서 소수성 중성 지질을 더 작고 분산되기 쉬운 생성물로 전환한다.

Applicazioni principali nella lavorazione di carta e pasta

Controllo di pitch e resine

L'applicazione più coerente per una lipasi alcalina è il controllo delle frazioni lipofile che contribuiscono al pitch. In paste meccaniche, chemimeccaniche, kraft o in linee con riciclo intensivo, i materiali idrofobici possono aderire a fibre, tele, feltri, rulli e circuiti d'acqua. Quando questi materiali contengono trigliceridi o esteri grassi, la lipasi può ridurre la quota di substrati lipidici intatti, cambiando la stabilità colloidale del sistema e la propensione alla deposizione.

Il beneficio atteso non è la rimozione completa di ogni resina, ma la riduzione di una componente specifica del problema. Per esempio, una frazione oleosa che contribuisce all'adesività di un deposito può diventare meno problematica dopo idrolisi, mentre altre frazioni non lipasiche possono restare invariate. È per questo che la lipasi viene spesso considerata parte di una strategia di controllo dei contaminanti, non una soluzione isolata per ogni forma di pitch.

Gestione di stickies con frazioni grasse o esteree

Nelle cartiere che utilizzano macero, gli stickies sono tra i contaminanti più difficili da gestire perché la loro composizione varia con la qualità della carta in ingresso. Etichette, colle hot-melt, adesivi pressure-sensitive, cere, rivestimenti e residui di packaging possono generare particelle appiccicose di dimensione e comportamento diversi. Una lipasi alcalina può essere rilevante quando nello stickie è presente una frazione lipidica, cerosa o esterea accessibile.

È importante evitare una generalizzazione: molti stickies sono formulati con polimeri sintetici che non rientrano nel normale spettro d'azione della lipasi. In questi casi l'enzima può agire solo su co-componenti grassi o additivi esterificati, mentre la matrice polimerica principale resta sostanzialmente non modificata. La corretta aspettativa è quindi una possibile riduzione dell'adesività o della tendenza all'agglomerazione in specifiche condizioni, non una degradazione completa del contaminante.

Supporto al deinking della carta riciclata

Nel deinking, l'obiettivo è separare inchiostri e contaminanti dalle fibre per ottenere una pasta riciclata più pulita. Gli enzimi sono studiati da anni come strumenti per rendere alcune fasi più selettive, ridurre l'intensità dei trattamenti chimici o migliorare la separazione dei contaminanti. La ricerca su cellulasi, emicellulasi e trattamenti enzimatici della pasta mostra che la modifica controllata della superficie fibrosa può influenzare proprietà come drenabilità, qualità della fibra e risposta al processo [3].



Figure 3. 피치 제어는 리파아제가 분산된 지질 방울이 공장 표면에서 혼합 침전 물로 뭉치기 전에 접촉할 때 가장 효과적이다.

La lipasi entra in questa logica quando l'inchiostro o il contaminante contiene veicoli oleosi, leganti grassi, cere o componenti esterificati. L'idrolisi di tali frazioni può facilitare il distacco o la dispersione di particelle idrofobiche, soprattutto se il processo include tensioattivi e condizioni alcaline compatibili. Tuttavia, la lipasi non sostituisce gli enzimi fibrolitici quando l'obiettivo primario è modificare la parete cellulare, né sostituisce trattamenti specifici per pigmenti, cariche o polimeri non lipidici.

Trattamento di acque di processo con residui organici idrofobici

La gestione delle acque di processo è sempre più importante perché molti stabilimenti riducono i consumi idrici e aumentano il ricircolo. La chiusura dei circuiti può concentrare sostanze disciolte e colloidali, con effetti su depositi, schiuma, odori, carica anionica e stabilità del processo. Una lipasi alcalina può contribuire solo per la quota di materiale organico idrofobico che rientra nel suo spettro d'azione; per colore, lignina o composti fenolici sono più pertinenti enzimi ossidativi come laccasi e perossidasi ^[8].

La letteratura sul trattamento enzimatico degli effluenti cartari mostra un interesse crescente per l'uso di isolati microbici ed enzimi nella degradazione o trasformazione di carichi organici complessi. Questi lavori confermano l'importanza dell'approccio enzimatico, ma indicano anche che l'effluente cartario è una matrice composita: nessun singolo enzima copre tutte le classi di contaminanti presenti ^[9].

Confronto tra lipasi alcalina e altri enzimi cartari

Classe enzimatica	Substrato o bersaglio principale	Applicazioni tipiche nel paper and pulp processing	Cosa non bisogna aspettarsi
Lipasi alcalina	Trigliceridi, esteri grassi, frazioni oleose e lipofile	Controllo di pitch lipidico, supporto alla gestione di stickies con componente grassa, contributo al deinking quando sono presenti veicoli oleosi	Non degrada in modo generale cellulosa, lignina, cariche minerali o polimeri sintetici non sensibili alla lipasi
Cellulasi	Cellulosa superficiale e microfibrille accessibili	Modifica delle fibre, drenabilità, supporto a raffinazione e trattamenti su pasta; studi su freeness, resistenza e qualità fibrosa ^[3]	Un uso non controllato può alterare eccessivamente la fibra; non è mirata ai grassi
Emicellulasi / xilanasi	Emicellulose, in particolare xilani	Supporto alla sbianca, modifica della matrice emicellulosica, miglioramento di alcune proprietà della pasta; xilanasi e pectinasi sono studiate in pretrattamenti di sbianca in ambiente debolmente alcalino ^[10]	Non risolve direttamente depositi lipidici o stickies polimerici
Laccasi e altri enzimi ossidativi	Lignina e composti fenolici	Modifica della lignina, trattamenti su paste meccaniche, supporto a processi più sostenibili; studi sulla produzione di nanofibrille lignocellulosiche ^[11]	Non è la scelta primaria per idrolizzare trigliceridi o cere

Classe enzimatica	Substrato o bersaglio principale	Applicazioni tipiche nel paper and pulp processing	Cosa non bisogna aspettarsi
Proteasi alcaline	Proteine e frazioni peptidiche	Applicazioni industriali diverse e possibili ruoli in matrici specifiche; produzione studiata anche usando rifiuti cartari come mezzo di coltura ^[12]	Non agisce selettivamente su pitch grasso o esteri lipidici

La tabella evidenzia il criterio più importante: l'enzima deve essere abbinato al substrato. La lipasi alcalina ha senso quando il problema è lipofilo; se la criticità riguarda raffinazione energetica, sbiancabilità, lignina o drenabilità, altre classi enzimatiche possono essere più direttamente correlate all'obiettivo tecnico ^[13].

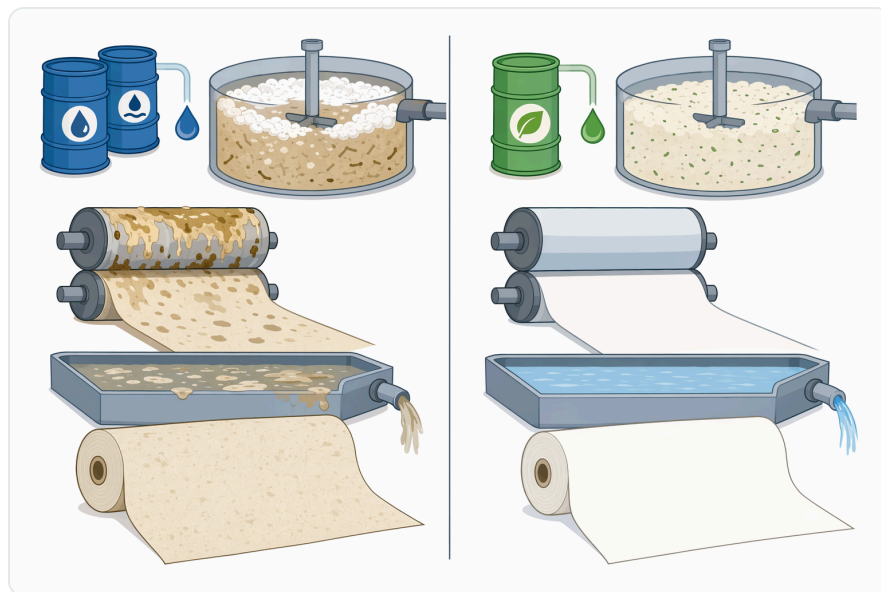


Figure 4. 종이 제조용 효소는 각각 다른 기질을 표적으로 하며, 리파아제는 셀룰로오스, 자일란, 리그닌 또는 무기 스케일이 아니라 지질 에스터에 작용한다.

Evidenze scientifiche: cosa è ben supportato e cosa resta dipendente dal processo

Le evidenze più robuste sul settore cartario riguardano l'utilità generale degli enzimi come strumenti di processo. Studi su raffinazione enzimatica hanno esaminato la riduzione dell'energia di raffinazione e il miglioramento della freeness sia in scala di laboratorio sia in scala di impianto, mostrando che l'azione enzimatica può avere effetti misurabili su parametri operativi importanti ^[14]. Lavori più recenti su paste hardwood e softwood confermano l'interesse per il risparmio energetico ottenibile tramite trattamenti enzimatici mirati, anche se questi studi riguardano soprattutto enzimi che interagiscono con la struttura fibrosa ^[13].

Per cellulasi ed emicellulasi, la documentazione è più diretta rispetto a freeness, resistenza della carta e qualità della fibra. Un lavoro su pasta kraft di pino non sbiancata ha valutato pretrattamenti con cellulasi ed emicellulasi commerciali insieme alla raffinazione di laboratorio, collegando l'azione enzimatica a proprietà della pasta e della carta [3]. Anche trattamenti enzimatici blandi su paste sbiancate per tissue mostrano come l'enzima possa essere usato per modulare proprietà di lavorazione e prodotto, sempre entro limiti applicativi definiti [15].

Per la lipasi alcalina, la base scientifica è diversa: è forte il razionale biochimico sull'idrolisi dei lipidi e sono numerosi gli studi su lipasi alcaline stabili o compatibili con condizioni industriali. Sono state descritte lipasi extracellulari alcaline, termoattive e compatibili con detergenti, così come lipasi alcaline stabili in sistemi contenenti tensioattivi, un profilo coerente con ambienti dove dispersione, lavaggio e alcalinità sono rilevanti [1]. Altre ricerche su lipasi alcaline termostabili derivate da librerie metagenomiche o da microrganismi ambientali confermano l'interesse per enzimi robusti destinati a impieghi industriali [2].

Un collegamento specifico con il settore cartario è dato anche dalla presenza e dallo studio di enzimi come proteasi, lipasi e amilasi in fanghi attivi provenienti dall'industria pulp & paper. Questo non equivale a dimostrare automaticamente una prestazione in ogni linea produttiva, ma conferma che le matrici cartarie possono ospitare attività enzimatiche rilevanti e che la lipasi è una delle classi considerate in quel contesto [16].

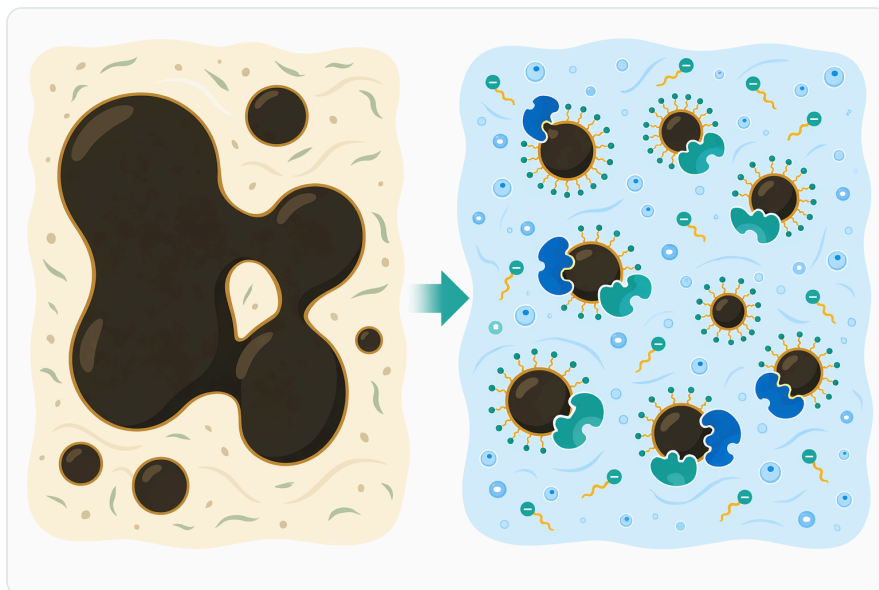


Figure 5. 알칼리 조건에서는 지방산 가수분해 생성물이 원래의 중성 트리글리세라이드가 풍부한 방울보다 더 이온화되고 분산되기 쉬워질 수 있다.

Condizioni di processo che influenzano l'efficacia

L'efficacia di una lipasi alcalina dipende prima di tutto dall'accessibilità del substrato. Un trigliceride disperso in microgocce o esposto sulla superficie di una particella è più raggiungibile di una frazione lipidica inglobata in un deposito compatto o in una matrice polimerica. Per questo, il risultato può cambiare in base a miscelazione, consistenza della pasta, tempo di permanenza, stato colloidale del contaminante e presenza di sostanze che favoriscono o ostacolano il contatto enzima-substrato.

Il pH è un altro fattore centrale. Le lipasi alcaline sono selezionate per condizioni basiche, ma "alcalino" non significa illimitatamente resistente a qualunque ambiente. Ogni enzima ha una finestra di stabilità e funzionalità; se la chimica di processo è troppo aggressiva o incompatibile, la proteina può perdere struttura e attività. Studi su lipasi alcaline mostrano proprio l'interesse per adattamenti strutturali che consentono stabilità in condizioni basiche, ma la prestazione rimane legata alla specifica proteina e alla matrice in cui viene utilizzata ^[6].

Anche i tensioattivi possono avere un doppio effetto. Da un lato possono migliorare la dispersione dei contaminanti idrofobici e aumentare la superficie di contatto disponibile per l'enzima. Dall'altro, alcune formulazioni possono interferire con la struttura della lipasi o con la sua adsorbimento all'interfaccia lipidica. La letteratura sulle lipasi detergent-compatible è utile perché dimostra che esistono enzimi capaci di mantenere funzionalità in presenza di agenti tensioattivi, una proprietà rilevante per processi di lavaggio e deinking ^[7].

Sali, carica ionica, sostanze disciolte, colloidi organici e minerali possono modificare ulteriormente il comportamento del sistema. Gli enzimi tolleranti a sali o condizioni industriali sono studiati proprio perché molti processi reali non avvengono in acqua pura, ma in matrici complesse. Le applicazioni industriali di enzimi microbici salt-tolerant mostrano come la robustezza in condizioni non ideali sia un criterio tecnologico importante, soprattutto quando le acque di processo vengono riciclate e concentrate ^[17].

Benefici realistici per cartiere e trasformatori

Il primo beneficio atteso è la gestione più selettiva di materiali grassi e lipofili. Se il problema operativo deriva da trigliceridi, esteri o frazioni oleose, la lipasi alcalina può trasformare una parte del contaminante in prodotti meno problematici per deposito, adesività o dispersione. Questo può contribuire a ridurre macchie, accumuli e instabilità legati a componenti grasse, sempre in funzione della composizione reale della pasta.

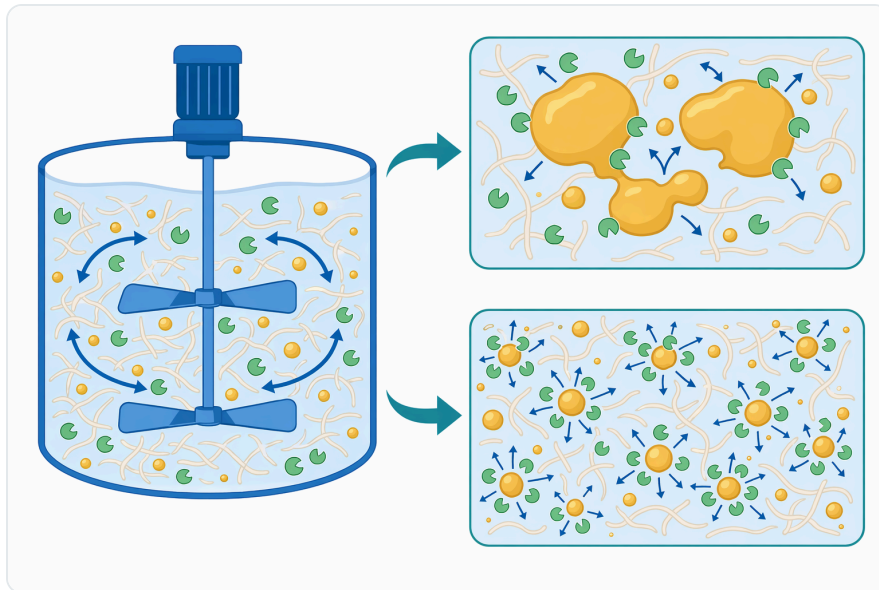


Figure 6. 리파아제의 성능은 물-지질 계면에서의 접촉에 좌우되므로, 혼합과 방울 분산은 접근 가능한 기질 표면적을 증가시킨다.

Un secondo beneficio è la compatibilità con strategie enzimatiche più ampie. Le cartiere possono avere obiettivi diversi: ridurre energia di raffinazione, migliorare drenabilità, supportare la sbianca, controllare depositi o trattare acque. Gli studi su raffinazione enzimatica dimostrano che gli enzimi possono incidere su parametri industriali concreti, ma anche che la scelta dell'enzima deve essere guidata dal meccanismo d'azione ^[13]. In questa logica, la lipasi alcalina occupa la nicchia dei contaminanti lipidici.

Un terzo beneficio riguarda la sostenibilità di processo. L'uso di enzimi può contribuire a interventi più mirati rispetto a trattamenti chimici generalisti, riducendo in alcuni casi la severità necessaria di lavaggi, dispersioni o trattamenti ausiliari. La ricerca su pretrattamenti enzimatici per ottenere materiali cellulósici e carta da residui agroindustriali conferma il ruolo degli enzimi nelle strategie di valorizzazione e processo più sostenibili, anche se il tipo di enzima cambia in base alla biomassa e all'obiettivo ^[18].

Limiti tecnici da considerare

La lipasi alcalina non è un agente di delignificazione. Se l'obiettivo principale è modificare lignina, colore o composti fenolici, la letteratura punta più direttamente verso enzimi ossidativi come laccasi e sistemi correlati. Studi sulla rimozione di lignina e colore da acque di cartiera mediante ceppi fungini ed enzimi confermano che queste problematiche richiedono meccanismi differenti dall'idrolisi dei grassi ^[8].

Non è nemmeno un sostituto delle cellulasi quando l'obiettivo è modificare la fibra. Le cellulasi possono incidere su fibrillazione, drenabilità e risposta alla raffinazione; una lipasi non attacca la cellulosa come substrato principale. Analogamente, le xilanasi sono più adatte quando si vuole intervenire su emicellulose o migliorare la sbiancabilità, come mostrato da pretrattamenti xilanasi-pectinasi in processi di bleaching debolmente alcalini [10].

Il limite più pratico riguarda la variabilità dei contaminanti. Due depositi descritti entrambi come "pitch" o "stickies" possono avere composizione molto diversa. La parte lipasica può essere alta, bassa o quasi assente. Per questo è corretto presentare la lipasi alcalina come un intervento razionale quando esiste una componente lipidica significativa, non come garanzia di eliminazione universale dei depositi.

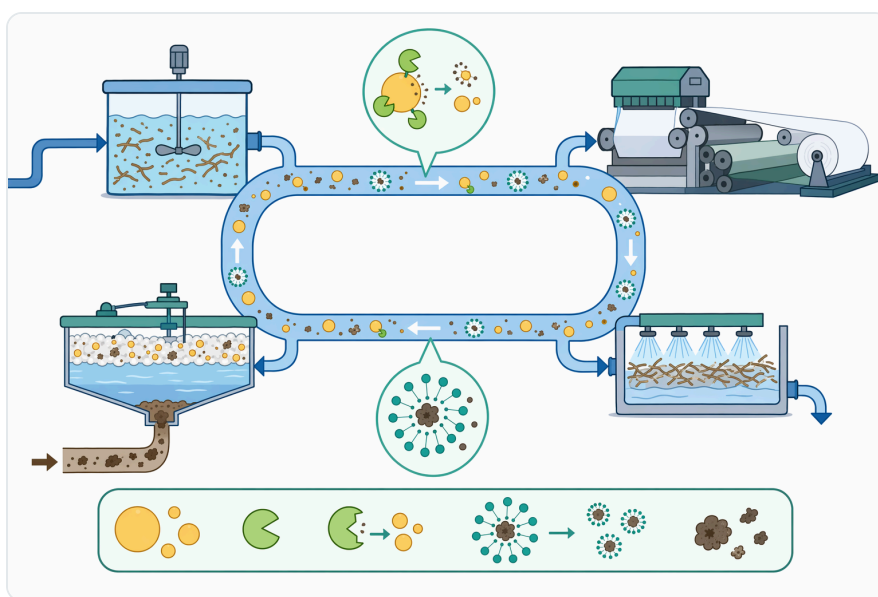


Figure 7. 리파아제는 지질의 화학적 성질을 변화시키며, 계면활성제, 백수 조건, 세척, 부유선별은 변형된 오염물이 어디로 이동할지를 결정한다.

Posizionamento di Alkaline Lipase Paper And Pulp Processing di Enzymes.bio

Alkaline Lipase Paper And Pulp Processing è adatta a operatori che cercano una lipasi alcalina da integrare in processi cartari dove il problema tecnico è riconducibile a grassi, esteri, oli, cere, pitch o stickies con frazione lipidica. Il suo valore deriva dall'allineamento tra meccanismo biochimico e contaminante bersaglio: l'enzima idrolizza substrati lipidici, quindi è più pertinente nei punti di processo in cui tali substrati sono presenti e accessibili.

Enzymes.bio fornisce il prodotto tramite vendita online in unità da **1 kg**. Il certificato di analisi e la scheda di dati di sicurezza accompagnano l'ordine. Il prodotto va considerato come materia prima enzimatica per uso industriale, da inserire in modo coerente con la chimica di processo, le condizioni

della linea e la natura del contaminante da gestire.

In sintesi, la lipasi alcalina per paper and pulp processing è uno strumento mirato per la gestione di contaminanti lipofili. È più credibile quando viene applicata a pitch lipidico, frazioni oleose nel deinking o stickies contenenti componenti grasse; è meno appropriata quando il problema riguarda lignina, cellulosa, emicellulose o polimeri non idrolizzabili. Questo posizionamento tecnico evita promesse generiche e consente di usare l'enzima dove il suo meccanismo d'azione è realmente pertinente.

Ordina Alkaline Lipase Paper And Pulp Processing online

Venduto in unità da 1 kg, disponibile a magazzino e pronto per la spedizione. Ordina direttamente dal nostro store: paga online e noi elaboriamo il tuo ordine. Un Certificato di Analisi e una Scheda Dati di Sicurezza sono inclusi in ogni ordine.

[Acquista Alkaline Lipase Paper And Pulp Processing →](#)

Riferimenti

Numerati in ordine di prima citazione. Fonti open access, ciascuna verificata come raggiungibile al momento della pubblicazione; i numeri di citazione nel testo rimandano qui.

1. Gurkok, S., & Ozdal, M. (2021). Purification and characterisation of a novel extracellular, alkaline, thermoactive, and detergent-compatible lipase from *Aeromonas caviae* LipT51 for application in detergent industry. *Protein Expression and Purification*, 105819 .
2. Li, Q., Zhu, Z., Liu, Q., An, Y., Wang, Y., Zhang, S., & Li, G. (2022). Characterization of a novel thermostable alkaline lipase derived from a compost metagenomic library and its potential application in the detergent industry. *Frontiers in Microbiology*, 13.
3. Danielewicz, D. (2024). Effects of pre-treatment with commercial cellulase and hemicellulase and laboratory beating of unbleached pine kraft pulp on freeness, paper strength, and fiber quality. *BioResources*.
4. Ocklind, F., Liback, K., Lundqvist, L., Harge, W., & Venkatesh, G. (2024). Optimisation of Water-Use in Pulp and Paper Mills: A Streamlined Review of Scientific Journal Publications. *Studia Ecologiae et Bioethicae*.
5. Buhari, F., Njoku, K., Oboh, B., & Owolabi, F. A. (2025). INVESTIGATING LIGNIN-MODIFYING ENZYMES FOR SUSTAINABLE PULP AND PAPER PRODUCTION. *FUDMA Journal of Sciences*.
6. Batumalaie, K., Edbeib, M., Mahat, N., Huyop, F., & Wahab, R. (2018). In silico and empirical approaches toward understanding the structural adaptation of the alkaline-stable lipase KV1 from *Acinetobacter haemolyticus*. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 36, 3077 - 3093.
7. Devi, T., Sistla, S., Khan, R., Kailoo, S., Bhardwaj, M., & Rasool, S. (2025). Purification and characterization of detergent stable alkaline lipase from *Bacillus safensis* TKW3 isolated from Tso Kar brackish water lake. *PeerJ*, 13.

8. Srivastava, A., Sharma, V., Singh, P., & Srivastava, N. (2024). Lignin and colour removal of pulp and papermill wastewater by enzymatic action of different fungal strains. *Zaštita Materijala*.
9. Zainith, S., & Bahuguna, H. (2026). Enzyme-Mediated Biodegradation Of Pulp And Paper Industry Effluent By Indigenous Bacterial And Fungal Isolates. *International Journal of Allied Sciences and Research*.
10. 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 .
11. Henríquez-Gallegos, S., Albornoz-Palma, G., Andrade, A., Filgueira, D., Méndez-Miranda, A., Mendonça, R. T., & Pereira, M. (2024). Effect of enzyme lignin oxidation by laccase on the enzymatic-mechanical production process of lignocellulose nanofibrils from mechanical pulp. *Cellulose*, 31, 3545 - 3560.
12. Nouri, N., Sadeghi, L., & Marefat, A. (2024). Production of alkaline protease by *Aspergillus niger* in a new combinational paper waste culture medium. *Journal of Bioscience and Bioengineering*.
13. Nagl, M., Haske-Cornelius, O., Bauer, W., Nyanhongo, G., & Guebitz, G. (2023). Enhanced energy savings in enzymatic refining of hardwood and softwood pulp. *Energy, Sustainability and Society*, 13, 1-15.
14. Tripathi, S., Verma, P., Mishra, O., Sharma, N., Bhardwaj, N., & Tandon, R. (2019). Reduction in Refining Energy and Improvement in Pulp Freeness through Enzymatic Treatment – Lab and Plant Scale Studies.
15. Kmiotek, M., Dybka-Stępień, K., & Karmazyn, A. (2021). Mild enzymatic treatment of bleached pulp for tissue production. *Bioresources*, 16, 4221-4236.
16. Karn, S. K., & Kumar, A. (2019). Protease, lipase and amylase extraction and optimization from activated sludge of pulp and paper industry.
17. Wackett, L. (2012). Industrial applications of microbial salt-tolerant enzymes. *Microbial Biotechnology*, 5, 668 - 669.
18. Perzon, A., Jørgensen, B., & Ulvskov, P. (2020). Sustainable production of cellulose nanofiber gels and paper from sugar beet waste using enzymatic pre-treatment. *Carbohydrate Polymers*, 230, 115581 .


Contatta Enzymes.bio

Hai domande su un ordine? Il nostro team è lieto di aiutarti.

EMAIL wholesale@enzymes.bio

TELEFONO (USA) **+1 (507) 428-6057**

Contattaci →

 **400+** Clienti B2B

 **60+** partner di ricerca universitari

 **54** serviti in tutto il mondo

© 2026 Enzymes.bio · Fornitura di enzimi industriali e per la lavorazione alimentare · Non destinato al consumo umano né alla vendita al dettaglio.