



Author/Autore  
Claudia Vorbeck  
FRAUNHOFER IGB



## Bio-based films and coatings for packaging made from chitin-containing waste materials

The processing of crustaceans from the fishing industry, the production of insect protein, and mushroom cultivation generate large quantities of chitin-containing waste. The Fraunhofer Institute for Interfacial Engineering and Biotechnology IGB has established a process chain for chitin processing to create added value from these waste streams. These technologies enable the production of high-purity chitosan, which can be used, among other things, for sustainable coatings.

Transparent films made from chitosan are suitable for use as biodegradable single-use packaging and could replace petroleum-based plastics.

The biopolymer chitin is primarily produced as a structural material by crustaceans, insects, and fungi and is – after plant-based cellulose – the second most abundant biopolymer on Earth.

Due to its nitrogen content, chitin is already used in agriculture as a fertilizer and soil conditioner or for the production of chitosan. However, commercial use has so far been limited mainly to chitosan, which is extracted from crab shells.

Yet, the food industry and biotechnology sectors worldwide are generating hundreds of thousands of additional tons of chitin-containing residues: insect exoskeletons from insect protein production, mycelium residues from fungal fermentation, and trimmings from mushroom cultivation.

Researchers at the Fraunhofer Institute for Interfacial Engineering and Biotechnology IGB have succeeded

## Film e rivestimenti bio per imballaggi ricavati dai materiali di scarto contenenti chitina

*Il trattamento dei crostacei dall'industria del pesce, la produzione delle proteine degli insetti e la coltivazione dei funghi dà luogo a grandi quantità di materiali di scarto contenenti chitina. L'Istituto Fraunhofer per l'Ingegneria Interfaciale e la Biotecnologia IGB ha messo a punto una catena di processo per il trattamento della chitina e per creare valore aggiunto da questi flussi di prodotti di scarto. Queste tecnologie consentono di produrre chitosani ad elevato grado di purezza che possono essere utilizzati, fra l'altro, per rivestimenti sostenibili. I film trasparenti ricavati dal chitosano sono adatti all'uso come confezioni monouso biodegradabili e possono sostituire la plastica a base di sostanze petrolifere. La chitina biopolimerica viene prodotta principalmente come materiale strutturale dai crostacei, insetti e funghi ed è dopo la cellulosa di origine vegetale, il secondo biopolimero più abbondante presente sulla terra. Per via del suo contenuto di azoto, la chitina viene già utilizzata in agricoltura come fertilizzante e ammendante del terreno oppure per la produzione di chitosano. Tuttavia, l'utilizzo commerciale si è limitato finora principalmente alla chitina, che viene estratta dai gusci dei granchi. Eppure, l'industria alimentare e i settori della biotecnologia in tutto il mondo generano centinaia di migliaia di tonnellate aggiuntive di residui contenenti chitina: esoscheletri degli insetti dalla produzione di proteine degli insetti, residui del micelio dalla fermentazione dei funghi e rifilatura dalla coltivazione dei funghi. I ricercatori dell'Istituto Fraunhofer per l'ingegneria Interfaciale e Biotecnologia IGB sono infine riusciti ad utilizzare gli esoscheletri dell'insetto e i residui*



**Fig. 1 - Insect exuviae are another source of raw material for chitin, alongside crab shells**  
*Le esuvie sono un'altra materia prima da cui ricavare chitina, insieme ai gusci di granchi*



in utilizing insect exoskeletons as well as mycelium-containing residues from fungal fermentation as sources of chitin for producing chitosan. To this end, the institute has established a process chain for chitin processing in which residual and waste streams are treated according to the principles of a biorefinery and converted into valuable materials.

### Gentle extraction of chitin from various sources

The composition of chitin-containing residues varies from organism to organism. Crab shells and insect chitin, for example, must be freed from calcium deposits and proteins, while chitin in fungal mycelium is often bound to glucans. “We have adapted our chitin extraction processes to the various waste materials and tailored the necessary separation and processing steps to the respective chemical composition”, explains Dr. Thomas Hahn, who has been researching chitin processing at Fraunhofer IGB for many years. This also involved developing or refining analytical methods to assess the success of the processing. Only by knowing the exact chemical composition of the chitin-containing biomass can the valuable raw material be processed in a tailored manner.

Using newly established analytical methods, the researcher monitors the chitin content of the intermediate products after each individual purification step.

### Sustainable and economical at the same time

To preserve the chemical and physical properties of chitin, it should be separated from the remaining biomass as gently as possible.

Hahn therefore prefers to use aqueous media or relies on enzymes to selectively remove impurities. To ensure that the subsequent industrial implementation is also economically viable, the chemist is already evaluating and optimizing the individual process steps at the laboratory scale with a view to upscaling. “If, for example, solvents, reagents, or wash water can be reduced or recycled, this has



**Fig. 2 - To produce high-purity chitosan from insect exoskeletons, chitin is isolated, purified and converted**

*Per produrre chitosano ad alto grado di purezza dall'esoscheletro degli insetti, la chitina viene isolata, raffinata e convertita*

contenenti micelio dalla fermentazione dei funghi come fonte di chitina per la produzione del chitosano. A tal fine, l'Istituto ha definito una catena di processo per il trattamento della chitina in cui i flussi di residui e di scarti vengono trattati in base ai principi della bioraffineria e convertiti in materiali validi.

### Estrazione non invasiva della chitina da varie fonti

La composizione dei residui contenenti chitina varia da organismo a organismo. I gusci dei granchi e la chitina degli insetti, ad esempio, devono essere ripuliti dai depositi di calcio e dalle proteine, mentre la chitina del micelio del fungo è spesso legata ai glucani. “Abbiamo adattato i nostri processi di estrazione della chitina ai vari materiali di scarto e personalizzato la separazione necessaria e le fasi di processo alla rispettiva composizione chimica”, come ha spiegato

Dr. Thomas Hahn, che studia da molti anni il processo della chitina all'Istituto IGB Fraunhofer. Ciò ha implicato anche lo sviluppo o la revisione dei metodi analitici per valutare il successo del trattamento. Solo conoscendo la composizione chimica esatta della biomassa contenente la chitina è possibile trattare la materia prima idonea in modo specifico. Adottando le tecniche analitiche di nuova definizione, i ricercatori monitorano il contenuto di chitina dei prodotti intermedi dopo ogni fase individuale della raffinazione.

### Sostenibile ed economica allo stesso tempo

Per preservare le proprietà fisico-chimiche della chitina, essa deve essere separata dalla biomassa rimanente in modo meno distruttivo possibile. Hahn preferisce quindi utilizzare i veicoli acquosi oppure affidarsi agli enzimi per rimuovere selettivamente le impurità. Per garantire che l'implementazione industriale successiva sia economicamente possibile, il chimico sta già valutando e ottimizzando le fasi individuali del processo su scala di laboratorio in vista di un aggiornamento. “Se, ad esempio, i solventi, i reagenti o l'acqua di lavaggio possono essere ridotti o riciclati, ciò produce un effetto positivo sui costi generali di processo”, ha spiegato Hahn.



**Fig. 3 - Chitosan films are well-suited for packaging applications due to their balanced elasticity and transparency**  
*I film di chitosano sono adatti ad applicazioni di imballaggi per la loro elasticità e trasparenza bilanciata*



a positive effect on the overall cost of the process,” Hahn explains.

### **Optimized conversion of chitin to chitosan**

Chitosan, which is soluble in slightly acidic solutions and therefore highly versatile, is produced by deacetylation of chitin. However, the production of chitosan from chitin is not trivial and requires a keen sense of chemistry and experience. Typically, the process takes place at high temperatures and under harsh chemical conditions. “Over the course of our many years of research, we have been able to moderate the reaction conditions, further optimize them, and increase the yield,” says Hahn. Through appropriate purification steps, the chemist achieves chitosan with a purity of more than 90 percent – from crab shells as well as from fungal mycelium and insect exoskeletons. The subsequent analysis of the molecular weight, degree of deacetylation, and purity of the respective chitosan product already provides initial insights into possible applications. In a specially developed solvent-casting plate test, which examines film formation and swelling capacity, Hahn also identifies any compounds incompatible with chitosan as well as suitable cross-linking agents.

### **Chitosan: a versatile biopolymer that can replace petroleum-based polymers**

Chitosan is extremely versatile: it has antibacterial and odor-inhibiting properties, adheres well, regulates adhesion and viscosity, can form films – and is completely biodegradable. Due to its antimicrobial and hemostatic properties and excellent biocompatibility, chitosan is used in wound dressings; the cosmetics industry is already taking advantage of its ability to retain moisture – in the form of moisturizing and skin-care components in creams and lotions. Since the biopolymer provides binding sites for additional functionalities or molecules, Hahn has also modified it in various ways through internal collaboration at the institute.

Additionally, it can serve as a matrix for a fluorine-free hydrophobic finish of textiles or as a bio-based flocculant for treating complex wastewater. The biopolymer’s ability to form films makes it ideal for coatings and films to replace petroleum-based polymers. Hahn has produced transparent films after adding bio-based crosslinkers. “Due to their balanced elasticity and transparency, chitosan films are ideally suited as sustainable, bio-based, and biodegradable single-use packaging, e.g., in the food industry,” explains Hahn. Another advantage: By utilizing locally available resources on an industrial scale, fossil raw materials can be replaced and dependencies on international supply chains reduced.

### **Conversione ottimizzata della chitina in chitosano**

Il chitosano, che è solubile nelle soluzioni leggermente acide e che è quindi molto versatile, viene prodotto mediante deacetilazione della chitina. Tuttavia, la produzione del chitosano dalla chitina non è così scontato e richiede una vera conoscenza dei processi chimici ed esperienza. Tipicamente, il processo ha luogo ad alte temperature e nelle condizioni di un ambiente chimico molto esigente. “Nel corso di tanti anni di ricerca, siamo riusciti a moderare le condizioni di reazione, ottimizzandole e incrementandone il rendimento”, ha affermato Hahn. Mediante le fasi di raffinazione adeguate, il chimico ottiene il chitosano con una purezza superiore al 90%, dai gusci dei granchi, dal micelio dei funghi e dagli esoscheletri degli insetti. L’analisi successiva del peso molecolare, grado di deacetilazione e purezza del rispettivo prodotto chitosano dà già i primi dati iniziali di applicazioni possibili. In un test della piastra di colata con il solvente, che esamina la formazione del film e la funzionalità di rigonfiamento, Hahn ha individuato anche i composti incompatibili con il chitosano oltre agli agenti reticolanti idonei.

### **Chitosano: un biopolimero versatile che può sostituire i polimeri a base di petrolio**

Il chitosano è molto versatile: è dotato di proprietà antibatteriche e anti-odore, aderisce bene, regola l’adesione e la viscosità, e può formare i film ed è completamente biodegradabile. Per via delle proprietà antimicrobiche ed emostatiche e l’eccellente biocompatibilità, il chitosano è utilizzato per le medicazioni delle ferite: l’industria dei cosmetici sta già traendo vantaggio dalla sua capacità di trattenere l’umidità, nella forma di componenti umidificanti e per la cura della pelle in creme e lozioni. Dal momento che il biopolimero fornisce punti di riattivazione di altre funzionalità o molecole, Hahn lo ha modificato anche in vari modi avvalendosi di collaborazioni interne nell’Istituto. Inoltre, può servire da matrice per la finitura idrofobica esente da fluoro di prodotti tessili oppure da flocculante bio per trattare le acque reflue complesse. L’abilità del biopolimero di formare film lo rende ideale per rivestimenti e film in sostituzione dei polimeri a base di petrolio. Hahn ha prodotto film trasparenti, dopo aver aggiunto reticolanti bio. “Per la loro elasticità e trasparenza bilanciata, i film di chitosano sono idealmente adatti come confezioni monouso biodegradabili, sostenibili, bio e biodegradabili, ad esempio nell’industria alimentare”, ha spiegato Hahn. Un altro vantaggio offerto consiste nel fatto che utilizzando le risorse disponibili localmente su scala industriale, le materie prime fossili possono essere sostituite e la dipendenza dalle catene di distribuzione internazionale può essere ridotta.