

NUMERO 5 - NOVEMBRE 2025

PACKAGING SCIENCE

*E' la Rassegna Scientifica Internazionale della **Fondazione Carta Etica del Packaging**.*

Pubblicazione bimestrale in cui sono presentati 7 articoli multidisciplinari, afferenti al packaging, selezionati da diverse riviste del mondo scientifico digitale.

*Packaging Science attraverso le tematiche sempre attuali ed aggiornate dei suoi articoli in diverse discipline, concorre ampiamente alla promozione e all'evoluzione della corretta cultura del packaging e dei **10 Valori della Carta Etica** per accompagnare il packaging verso un futuro più consapevole.*

Valutazione delle caratteristiche di biodegradazione delle formulazioni di poli (butilene succinato) e poli(acido lattico) in condizioni di compostaggio controllato

I biopolimeri e le plastiche a base biologica, come l'acido polilattico (PLA) e il polibutilene succinato (PBS), sono riconosciuti come materiali ecologici e sono ampiamente utilizzati, soprattutto nell'industria degli imballaggi. Lo scopo di questo studio è stato quello di valutare la degradazione di formulazioni a base di PLA e PBS sotto forma di granuli e film in condizioni di compostaggio controllate su scala di laboratorio. I test di biodegradazione dei materiali a base biologica sono stati condotti in condizioni aerobiche controllate, secondo la norma EVS-EN ISO 14855-1:2012.



AppliedChem



Article

Assessing the Biodegradation Characteristics of Poly(*Butylene Succinate*) and Poly(*Lactic Acid*) Formulations Under Controlled Composting Conditions

Pavlo Lyshtva ^{*}, Viktoriya Voronova, Argo Kuusik and Yaroslav Kobets

Department of Civil Engineering and Architecture, Tallinn University of Technology, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn, Estonia; argo.kuusik@taltech.ee (A.K.); yaroslav.kobets@taltech.ee (Y.K.)

* Correspondence: pavlo.lyshtva@taltech.ee

Abstract

Biopolymers and bio-based plastics, such as polylactic acid (PLA) and polybutylene succinate (PBS), are recognized as environmentally friendly materials and are widely used, especially in the packaging industry. The purpose of this study was to assess the degradation of PLA- and PBS-based formulations in the forms of granules and films under controlled composting conditions at a laboratory scale. Biodegradation tests of bio-based materials were conducted under controlled aerobic conditions, following the standard EVS-EN ISO 14855-1:2012. Scanning electron microscopy (SEM) was performed using a high-resolution Zeiss Ultra 55 scanning electron microscope to analyze the samples. After the six-month laboratory-scale composting experiment, it was observed that the PLA-based materials degraded by 47.46–98.34%, while the PBS-based materials exhibited a final degradation degree of 34.15–80.36%. Additionally, the PLA-based compounds displayed

AppliedChem 2025, 5, 17

<https://doi.org/10.3390/appliedchem5030017>

<https://www.mdpi.com/2673-9623/5/3/17>

Miglioramento della sostenibilità ambientale della produzione di imballaggi in polipropilene a contatto con gli alimenti

La maggior parte dei tipi di imballaggi a contatto con gli alimenti sono realizzati in polipropilene (PP) e gli impatti ambientali della loro produzione e utilizzo sono ancora elevati. Attualmente, incorporare il PP riciclato nell'industria alimentare non è una soluzione praticabile per ridurre l'impatto ambientale a causa della sua complessità e dei suoi costi elevati. Per questo motivo, capire come ridurre gli impatti ambientali derivati dal processo di produzione degli imballaggi alimentari in plastica è fondamentale. Questo studio mira ad analizzare le prestazioni ambientali della produzione di imballaggi monouso in PP a contatto con gli alimenti utilizzando l'approccio Life Cycle Assessment al fine di stimare l'efficacia delle soluzioni proposte per mitigarne gli impatti.



Artide

Improving Environmental Sustainability of Food-Contact Polypropylene Packaging Production

Alberto Pietro Damiano Baltrocchi ^{1,2}, Francesco Romagnoli ³, Marco Carnevale Miino ^{1,*}
and Vincenzo Torretta ¹

¹ Department of Theoretical and Applied Sciences, University of Insubria, Via O. Rossi 9, I-21100 Varese, Italy; apdbaltrocchi@uninsubria.it (A.P.D.B.); vincenzo.torretta@uninsubria.it (V.T.)

² Department of Science and High Technology, University of Insubria, Via Valleggio 11, I-22100 Como, Italy

³ Institute of Energy Systems and Environment, Riga Technical University, Āzenes iela 12/1, LV-1048 Riga, Latvia; francesco.romagnoli@rtu.lv

* Correspondence: marco.carnevalemiino@uninsubria.it

Abstract

Most types of packaging that are in contact with food are made of polypropylene (PP), and the environmental impacts of their production and use are still high. Currently, incorporating recycled PP in the food industry is not a viable solution for reducing environmental impacts due to its complexity and high costs. For this reason, understanding how to reduce the environmental impacts derived from the production process of plastic food packaging is essential. This study aims to analyze the environmental performance of the production of single-use PP food-contact packaging using the Life Cycle Assessment approach in order to estimate the effectiveness of proposed solutions to mitigate its impacts. Furthermore, the economic savings from the avoided CO₂ emissions were estimated. To achieve these goals, three diverse scenarios with different energy source mixes were studied. The analysis was

Difese distrutte: effetti del bisfenolo A e dei suoi analoghi sulla produzione di anticorpi umani in vitro

Il bisfenolo A (BPA) è una sostanza chimica che altera il sistema endocrino con attività simile agli estrogeni, nota per compromettere la funzione immunitaria. Il BPA può agire come agente pro-infiammatorio, riducendo l'efficacia della risposta immunitaria, aumentando la carica batterica nelle infezioni da *E. coli* e alterando le risposte immunitarie nelle infezioni parassitarie (*Leishmania major*, *Nippostrongylus brasiliensis*, *Toxocara canis*) attraverso la modulazione delle citochine e delle cellule T regolatorie. A seguito del divieto dei materiali a contatto con gli alimenti in Europa, sono stati introdotti diversi analoghi. Questo studio ha valutato l'immunotossicità del BPA e di sei analoghi, ovvero BPAP, BPE, BPP, BPS-MAE, BPZ e TCBPA.



Artide

Disrupting Defenses: Effects of Bisphenol A and Its Analogs on Human Antibody Production In Vitro

Francesca Carlotta Passoni , Martina Iulini ^{*}, Valentina Galbiati , Marina Marinovich and Emanuela Corsini

Laboratory of Toxicology and Risk Assessment, Department of Pharmacological and Biomolecular Sciences "Rodolfo Paoletti", Università degli Studi di Milano, Via Balzaretti 9, 20133 Milan, Italy; francesca.passoni@unimi.it (F.C.P.); valentina.galbiati@unimi.it (V.G.); marina.marinovich@unimi.it (M.M.); emanuela.corsini@unimi.it (E.C.)

* Correspondence: martina.iulini@unimi.it; Tel: +39-02-5031-8315

Abstract

Bisphenol A (BPA) is an endocrine-disrupting chemical with estrogen-like activity, known to impair immune function. BPA may act as a pro-inflammatory agent, reducing immune response efficacy, increasing bacterial load in *E. coli* infections, and altering immune responses in parasitic infections (*Leishmania major*, *Nippostrongylus brasiliensis*, *Toxocara canis*) through cytokine and regulatory T-cell modulation. Following its ban in food contact materials in Europe, several analogs have been introduced. This study assessed the immunotoxicity of BPA and six analogs, namely BPAP, BPE, BPP, BPS-MAE, BPZ, and TCBPA, by evaluating in vitro the antibody production. Peripheral blood mononuclear cells from healthy male and female donors were exposed to increasing concentrations of each compound for 24 h. After stimulation with rhIL-2 and ODN2006, IgM and IgG secretion were measured on day six. All compounds suppressed antibody production

Preparazione di copolimeri di PLLA e PLGA con poli(etilene adipato) mediante miscelazione reattiva a fusione: caratterizzazione strutturale, proprietà termiche e approfondimenti sulla mobilità molecolare

Nel quadro di un'industria della plastica più sostenibile e della domanda di materiali alternativi [5,6], i polimeri biodegradabili sono stati introdotti in tutto il mondo in una varietà di applicazioni, come l'imballaggio alimentare, la somministrazione di farmaci, l'ingegneria tissutale e le parti interne di automobili [7,8]. Le materie prime biobased possono degradarsi più velocemente delle plastiche convenzionali grazie alla loro capacità di assorbire CO₂ dall'atmosfera; Pertanto, sono uno strumento adatto per ridurre le emissioni di carbonio e l'inquinamento da plastica. Il loro utilizzo comporta molti vantaggi ambientali, tra cui la rigenerazione delle materie prime [7,9].



Artide

Preparation of PLLA and PLGA Copolymers with Poly(ethylene adipate) Through Reactive Melt Mixing: Structural Characterization, Thermal Properties, and Molecular Mobility Insights

Evi Christodoulou ¹, Christina Samiotaki ¹, Alexandra Zamboulis ¹, Rizos Evangelos Bikiaris ², Panagiotis A. Klonos ^{1,3}, Apostolos Kyritsis ³ and Dimitrios N. Bikiaris ^{1,*}

¹ Laboratory of Polymer Chemistry and Technology, Department of Chemistry, Aristotle University of Thessaloniki, GR-54124 Thessaloniki, Greece; evicius@gmail.com (E.C.); samiotaki@chem.auth.gr (C.S.); azampouli@chem.auth.gr (A.Z.); pklonos@central.ntua.gr (P.A.K.)

² Hephaestus Laboratory, School of Chemistry, Faculty of Sciences, Democritus University of Thrace, GR-65404 Kavala, Greece; rizosbikiaris@gmail.com

³ Dielectrics Research Group, Department of Physics, National Technical University of Athens, Zografou Campus, GR-15780 Athens, Greece; akyrits@central.ntua.gr

* Correspondence: dbic@chem.auth.gr

Abstract

In this study, a series of copolymers was synthesized using the promising biodegradable polymers Poly(L-lactic acid) (PLLA), Poly(lactic-co-glycolic acid) (PLGA), and Poly(ethylene adipate) (PEAd), known for their high potential. PEAd was synthesized through a two-step melt polycondensation process and then used to prepare copolymers with PLLA (PLLA-co-PEAd) and PLGA (PLGA-co-PEAd) at weight ratios of 90/10 and

Sicurezza della migrazione delle sostanze perfluoroalchiliche dalle stoviglie in polpa di canna da zucchero: analisi dei residui e studio di simulazione da asporto

Questo studio fornisce una valutazione completa della sicurezza dei PFAS nelle stoviglie commerciali in polpa di canna da zucchero, integrando l'analisi dei residui e la cinetica di migrazione in condizioni d'uso simulate. Nonostante livelli elevati di fluoro totale (TF > 50 mg/kg nel 31% dei campioni) e residui sporadici di PFOA superiori ai limiti UE (25 µg/kg nel 9% dei campioni), la migrazione di cinque PFAS target (PFOA, PFOS, PFNA, PFHxA, PFPeA) dalle stoviglie in polpa di canna da zucchero nei simulanti alimentari (acqua, 4% HAc, 50% EtOH, 95% EtOH) è rimasta eccezionalmente bassa ($\leq 0,70$ µg/kg) in condizioni standardizzate e ha registrato un aumento minimo a 0,99 µg/kg in scenari di asporto simulati aggressivi (oscillazione di 50 °C + 25 °C di conservazione).



Article

Migration Safety of Perfluoroalkyl Substances from Sugarcane Pulp Tableware: Residue Analysis and Takeout Simulation Study

Ling Chen ¹, Changying Hu ^{2,*} and Zhiwei Wang ^{1,*} 

¹ Key Laboratory of Product Packaging and Logistics of Guangdong Higher Education Institutes, College of Packaging Engineering, Jinan University, Zuhai 519070, China; chenlingwh@stu2022.jnu.edu.cn

² Department of Food Science and Engineering, Jinan University, Guangzhou 510632, China

* Correspondence: hucy0000@sina.com (C.H.); wangzw@jnu.edu.cn (Z.W.)

Abstract

The rapid growth of plant-based biodegradable tableware, driven by plastic restrictions, necessitates rigorous safety assessments of potential chemical contaminants like per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs). This study comprehensively evaluated PFAS contamination risks in commercial sugarcane pulp tableware, focusing on the residues of five target PFASs (PFOA, PFOS, PFNA, PFHxA, PFPeA) and their migration behavior under simulated use and takeout conditions. An analysis of 22 samples revealed elevated levels of total fluorine (TF: 33.7–163.6 mg/kg) exceeding the EU limit (50 mg/kg) in 31% of products. While sporadic PFOA residues surpassed the EU single compound limit (0.025 mg/kg) in 9% of samples (16.1–25.5 µg/kg), the levels of extractable organic fluorine (EOF: 4.9–17.4 mg/kg) and the low EOF/TF ratio (3.19–10.4%) indicated inorganic fluorides as the primary TF source. Critically, the migration of all target PFASs into food simulants (water, 4% acetic acid, 50% ethanol, 95% ethanol) under standardized use conditions was

Molecules 2025, 30, 3166

<https://doi.org/10.3390/molecules30153166>

<https://www.mdpi.com/1420-3049/30/15/3166>

Proprietà strutturali e di trazione di pellicole in polietilene modificate con antiossidanti e CaCO₃

La domanda di materiali di imballaggio modificati aumenta ogni anno. Allo stesso tempo, c'è un crescente interesse per lo sviluppo di imballaggi funzionali. L'incorporazione di modificatori, stabilizzanti e riempitivi nelle matrici polimeriche può migliorare la funzionalità del materiale, ma può anche influire negativamente sulla sua sicurezza. I polimeri sono suscettibili alla degradazione, che influisce negativamente sulla loro resistenza e sulle proprietà di trazione in presenza di fattori esterni (fisici, chimici o ambientali). Gli imballaggi contenenti agenti antimicrobici e antiossidanti sono tra i più promettenti, in quanto contribuiscono alla qualità del prodotto durante lo stoccaggio.



Article

Tensile and Structural Properties of Antioxidant- and CaCO₃-Modified Polyethylene Films

Dmitry Myalenko *, Olga Fedotova, Aleksandr Agarkov, Sergey Sirotin and Polina Poletaeva

All-Russian Dairy Research Institute (VNIMI), 115093 Moscow, Russia; o_fedotova@vnimi.org (O.F.); a_agarkov@vnimi.org (A.A.); sergey.sirotin@leaneco.ru (S.S.); p_poletaeva@vnimi.org (P.P.)
* Correspondence: d_myalenko@vnimi.org

Abstract

The demand for modified packaging materials increases annually. At the same time, there is growing interest in the development of functional packaging. The incorporation of modifiers, stabilizers, and fillers into polymer matrices can enhance the functionality of the material but may also negatively affect its safety. Polymers are susceptible to degradation, which negatively affects their strength and tensile properties under external factors (physical, chemical or environmental). Packaging containing antimicrobial and antioxidant agents is among the most promising, as it contributes to the product quality during storage. Films based on calcium carbonate (CaCO₃) and dihydroquercetin (DHQ) remain insufficiently studied, despite their potential. Such materials are especially relevant for fatty products with a large contact surface area, including butter, cheese, and other solid high-fat foods. This study aimed to comprehensively investigate the structural and tensile properties of polyethylene films modified with varying contents of CaCO₃ and DHQ. The films were produced via blown film extrusion using a laboratory extruder (SJ-28). Surface analysis was performed using scanning electron microscopy (SEM) and atomic force microscopy (AFM). Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy was used to examine the film's composition. The results showed that the introduction of more than 40.0 wt.% of CaCO₃ into the polymer base affected the strength properties. The

Coloranti e pigmenti naturali: applicazioni sostenibili e prospettive future

I coloranti e i pigmenti naturali stanno acquisendo importanza come alternativa sostenibile ai coloranti sintetici. Provenienti da materiali rinnovabili, sono noti per le loro proprietà biodegradabili e non tossiche, offrendo una vasta gamma di profili colore e applicazioni in settori come quello tessile, cosmetico, alimentare e farmaceutico. I coloranti a base vegetale, d'altra parte, stanno guadagnando attenzione grazie alla loro natura ecologica e alle diverse applicazioni. Questi composti naturali, come antociani, carotenoidi, flavonoidi e betalaine, offrono un'ampia gamma di colori distinti e possiedono proprietà che li rendono preziosi negli alimenti, nei tessuti e nei cosmetici. Tuttavia, rimangono sfide per massimizzare la loro stabilità e usabilità, poiché fattori come l'ossidazione, la sensibilità al pH e l'esposizione alla luce possono comprometterne l'efficacia.



Review

Natural Dyes and Pigments: Sustainable Applications and Future Scope

Arvind Negi 

Faculty of Educational Science, University of Helsinki, 00014 Helsinki, Finland; arvindnegi2301@gmail.com or arvind.negi@helsinki.fi

Abstract

Natural dyes and pigments are gaining importance as a sustainable alternative to synthetic dyes. Sourced from renewable materials, they are known for their biodegradable and non-toxic properties, offering a diverse range of color profiles and applications across industries such as textiles, cosmetics, food, and pharmaceuticals. This manuscript discusses various aspects of natural dyes and pigments (derived from plants and microbes), including anthocyanins, flavonoids, carotenoids, lactones, and chlorophyll. Furthermore, it highlights the polyphenolic nature of these compounds, which is responsible for their antioxidant activity and contributes to their anticancer, antibacterial, antifungal, antiprotozoal, and immunomodulatory effects. However, natural dyes are often categorized as pigments rather than dyes due to their limited solubility, a consequence of their molecular characteristics. Consequently, this manuscript provides a detailed discussion of key structural challenges associated with natural dyes and pigments, including thermal decomposition, photodegradation, photoisomerization, cross-reactivity, and pH sensitivity. Due to these limitations, natural dyes are currently used in relatively limited applications, primarily in the food industry, and, to lesser extent, in textiles and coatings. Nevertheless, with ongoing research and technological innovations, natural dyes present a viable alternative to synthetic dyes, promoting a more sustainable and environmentally conscious future.

Sustain. Chem. **2025**, *6*, 23

<https://doi.org/10.3390/suschem6030023>

<https://www.mdpi.com/2673-4079/6/3/23>



Via Cosimo Del Fante 10 - 20122 Milano - Tel. +39 02 58319624

C.F: 97870780158

segreteria@fondazionepackaging.org - www.fondazionecartaeticapackaging.org