

بیوپلیمرهای فرامولکولی به عنوان مواد زیستی نوآورانه برای افزایش جذب عناصر غذایی و کاهش پاتوژن های گیاهی

محدثه حسنی سعدی^{۱*}

گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، رفسنجان، ایران

روح اله صابری ریشه^۲

گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، رفسنجان، ایران

چکیده

کشاورزی پایدار نقش مهمی در برآوردن نیاز به رشد جهانی برای غذای ایفا می کند و در عین حال طبیعی نامطلوب زیست محیطی ناشی از استفاده بیش از حد از آفت کش های مصنوعی و کودهای معمولی را به حداقل می رساند. از آنجایی که پلیمرهای زیستی تجدیدپذیر هستند، یک راه حل عملی جهت افزایش پایداری و بهره وری کشاورزی ارائه می دهند. بیوپلیمرهای فوق مولکولی به دلیل ویژگی های متمایز و فراتر از پلیمرهای زیستی رایج در این زمینه بسیار قابل توجه هستند. این بیومواد به محرک ها پاسخ می دهند و پتانسیل خود ترمیمی دارند. ترکیب این مولکول های کاربردی بخش های مختلف کشاورزی از جمله اصلاح خاک و مدیریت بیماری های گیاهی می تواند کاربردهای جدید کشاورزی را تسهیل کند. این مطالعه تأثیر بالقوه بیوپلیمرهای فوق مولکولی را در کاربردهایی از جمله تأثیر آنها بر جذب عناصر غذایی و مدیریت بیماری های گیاهی بررسی می کند و به صراحت به توانایی آنها در افزایش بهره وری کشاورزی می پردازد. پلیمرهای زیستی آزادسازی کنترل شده مواد زیست فعال را فراهم می کنند و تحویل هدفمند عوامل زیست فعال و محرک های زیستی را تسهیل می کنند. این آزادسازی کنترل شده در کنار استفاده از عوامل ضد باکتریایی حفاظت از محصول را افزایش دهند، در حالی که طبیعت دوستدار محیط زیست آنها کشاورزی پایدار را ترویج می کند. این نمای کلی بینش های ارزشمندی را در مورد کاربرد عملی و بهینه سازی بیوپلیمرهای فوق مولکولی در کشاورزی پایدار جهت انکپسولاسیون باکتری های پروبیوتیک گیاهی ارائه می دهد. در نهایت، هدف کمک به توسعه راه حل های نوآورانه و سازگار با محیط زیست است که می تواند بهره وری کشاورزی را افزایش دهد و در عین حال اثرات زیست محیطی را به حداقل برساند.

واژگان کلیدی: پلیمرهای زیستی، پلیمرهای فرامولکولی، بیماری های گیاهی، آزادسازی کنترل شده، کشاورزی پایدار.



مقدمه

لازمه کشاورزی پایدار فراهم کردن شرایطی است که با توجه به مسائلی همچون رشد جمعیت، منابع محدود و نگرانی‌های زیست‌محیطی، بتواند به حفظ تعادل پیامدهای خود و زیستگاه‌ها کمک کند. استفاده‌های مضر مواد شیمیایی در کشاورزی، مصرف بی رویه آب و رویکردهای مخرب در کشاورزی سنتی، به اکوسیستم و سلامتی موجودات زنده آسیب می‌رسانند (Okey-Onyesolu et al., 2021). کشاورزی پایدار به منظور تولید مواد غذایی با استفاده از رویکرد اکولوژیکی، سعی دارد تا تأثیرات زیست‌محیطی را به حداقل برساند، منابع طبیعی را حفظ کند و تنوع زیستی را در درازمدت حفظ کند. در این راستا کاربرد مواد نوظهور جهت افزایش بهره‌وری کشاورزی امری حائز اهمیت است.

بیوپلیمرها بعنوان منابع نوظهور در سال‌های اخیر توجه قابل توجهی را در کشاورزی به خود جلب کرده‌اند. این بیوپلیمرها از منابع قابل تجدید مانند گیاهان، میکروب‌ها، حیوانات، منابع دریایی و یا بیوماس استخراج می‌شوند و قابل تجزیه بوده و اثرات زیست‌محیطی آن‌ها را به حداقل می‌رسانند (Saber Riseh, Hassanisaadi, Vatankhah, Soroush, & Varma, 2022). بیوپلیمرها می‌توانند وابستگی به منابع غیرقابل تجدید را کاهش داده، آلودگی ناشی از کودها و سموم شیمیایی را کم کنند و فرسایش خاک و رواناب مواد مغذی را به حداقل برسانند (Saber Riseh, 2023). در این راستا با ظهور تحولات علمی در تحقیقات بیوپلیمرها و نقش آن‌ها در انکبوسولاسیون عوامل بیولوژیک، دسته جدیدی از بیوپلیمرهای ساختاری با عنوان بیوپلیمرها فراملکولی توسعه و ظهور یافته‌اند.

ظهور پلیمرهای فراملکولی به گونه‌ای قابل توجه برخی حوزه‌ها را تحت تأثیر قرار داده است و چشم‌انداز بی‌نظیری را برای کاربردهای پیشرفته آن‌ها تداعی می‌کند. از جمله ویژگی‌های منحصر به فرد این دسته از بیوپلیمرها تمایل طبیعی آن‌ها به خود متراکم شدن که در نتیجه تشکیل ساختارهای بسیار منظم و پایداری باشد. علاوه بر این، این بیوپلیمرها قادرند در تعاملات نیمه مولکولی قابل برگشتی شرکت کنند که رفتارهای پویا مانند خودترمیم شدن و پاسخگویی به تحریکات خارجی را ممکن می‌سازد. انعطاف‌پذیری ذاتی آن‌ها به آن‌ها اجازه می‌دهد تا در صورت‌ها و مواقع مختلف به طور موثر کار کنند و این ویژگی آن‌ها را در سیستم‌های آزادسازی کنترل‌شده و پلتفرم‌های تحویل مواد فعال ارزشمند می‌کند. این نسل جدید از بیوپلیمرها از طریق تعاملات غیر کووالانسی مانند اتصال هیدروژنی، و تعاملات الکترواستاتیکی تشکیل می‌شوند (Emam, Abdellatif, & Abdelhameed, 2018; Novikov, 2023).

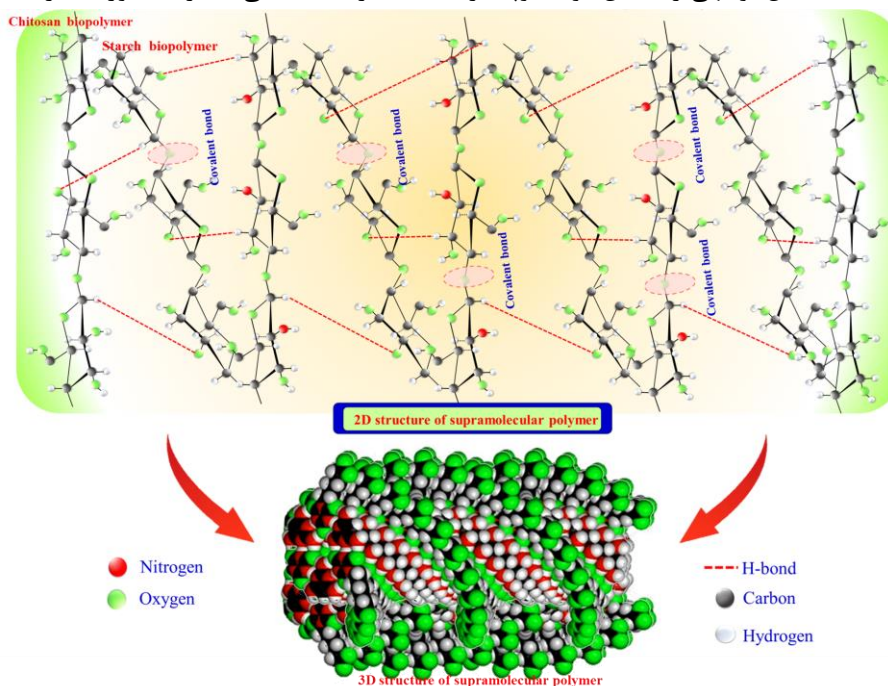
از آنجایی که صنعت کشاورزی در حال حاضر با چالش‌های قابل توجهی روبرو است. این بیوپلیمرها با ویژگی‌های ممتاز فرصتی امیدبخش برای نوین شدن رویکرد و کاربرد کشاورزی را فراهم می‌آورند. آن‌ها می‌توانند به طور قابل توجهی تغییری در روش‌های کشاورزی ایجاد کنند، به بهره‌وری محصولات کشاورزی کمک کنند، بهبود سلامت خاک را ایجاد کنند و به کشاورزی پایدار کمک کنند. این سیستم‌ها جذب مواد مغذی، استفاده موثر از مواد مغذی و ساختار خاک را ارتقا داده و به حفظ رطوبت، هوادهی، توسعه ریشه، بهره‌وری آب و نیاز به آبیاری کمک می‌کنند.

بنابراین، به دلیل کمبود تحقیقات گسترده درباره کاربردهای خاص این نسل‌های منحصر به فرد بیوپلیمرها در زمینه شیوه‌های مختلف کشاورزی، لازم است از طریق مطالعه کاربردهای خاص آن‌ها، این شکاف دانشی را برطرف نمود تا کشاورزی پایدار را ترویج داد. مطالعه مروری حاضر در ابتدا دانش علمی اساسی درباره بیوپلیمرهای فوق مولکولی را ارائه می‌دهد و آن‌ها را به طور خاص از پلیمرهای معمولی متمایز می‌کند. علاوه بر این، این تحلیل پتانسیل بیوپلیمرهای فراملکولی در کاربردهای مربوط به حفاظت گیاهان در برابر تنش‌های زیستی و نقش آن‌ها در بهبود سلامت خاک را مورد بررسی قرار می‌دهد. این پژوهش از طریق مدل‌سازی نظری، درباره پیاده‌سازی عملی و بهینه‌سازی بیوپلیمرهای فوق مولکولی در کشاورزی پایدار، بینش‌های ارزشمندی ارائه می‌دهد. نتایج به توسعه راهکارهای نوآورانه و دوستدار محیط زیست برای بهبود بهره‌وری کشاورزی و به حداقل رساندن آثار زیست‌محیطی کمک خواهد کرد.



تفاوت پلیمرهای معمولی و پلیمرهای فراملکولی

پلیمرهای فراساختاری از پلیمرهای معمولی در ساختار و رفتار مولکولی خود متفاوتند (شکل ۱). پلیمرهای معمولی معمولاً شامل واحدهای تکراری به صورت اتصال کووالانسی، که ساختارهای طولانی و به شکل زنجیره‌هایی را تشکیل می‌دهند و وزن مولکولی ثابت و ترکیب شیمیایی مشخصی را شامل می‌شوند (Pires et al., 2023). به علاوه، بیوپلیمرهای فراساختاری از طریق تعاملات غیرکووالانسی مانند پیوند هیدروژنی، تعاملات میزبان-میهمان و تعاملات هیدروفوبی شکل می‌گیرند که به آنها اجازه می‌دهد که ساختارهای با پیچیدگی بالاتر مانند مارپیچ، فیبرها و ژل‌ها را تشکیل دهند (Sánchez-Fernández, 2023). پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و پلی‌ساکاریدها نمونه‌هایی از بیوپلیمرهای فراساختاری هستند (Pérez-Pedroza, 2021). Ávila-Ramírez, Khan, Moretti, & Hauser, 2021). این مواد اغلب رفتار قابل برگشتی نشان می‌دهند. این انعطاف پذیری، ویژگی‌های جذاب قابل توجهی را به این مواد بیوپلیمری جدید، از جمله آسانی سنتز، تاب‌آوری سازه‌ای می‌بخشد.



تصویر ۱. ساختار پلیمرهای فراملکولی در مقایسه با بیوپلیمرهای معمولی

کابرد پلیمرهای فراملکولی جهت افزایش جذب مواد غذایی خاک

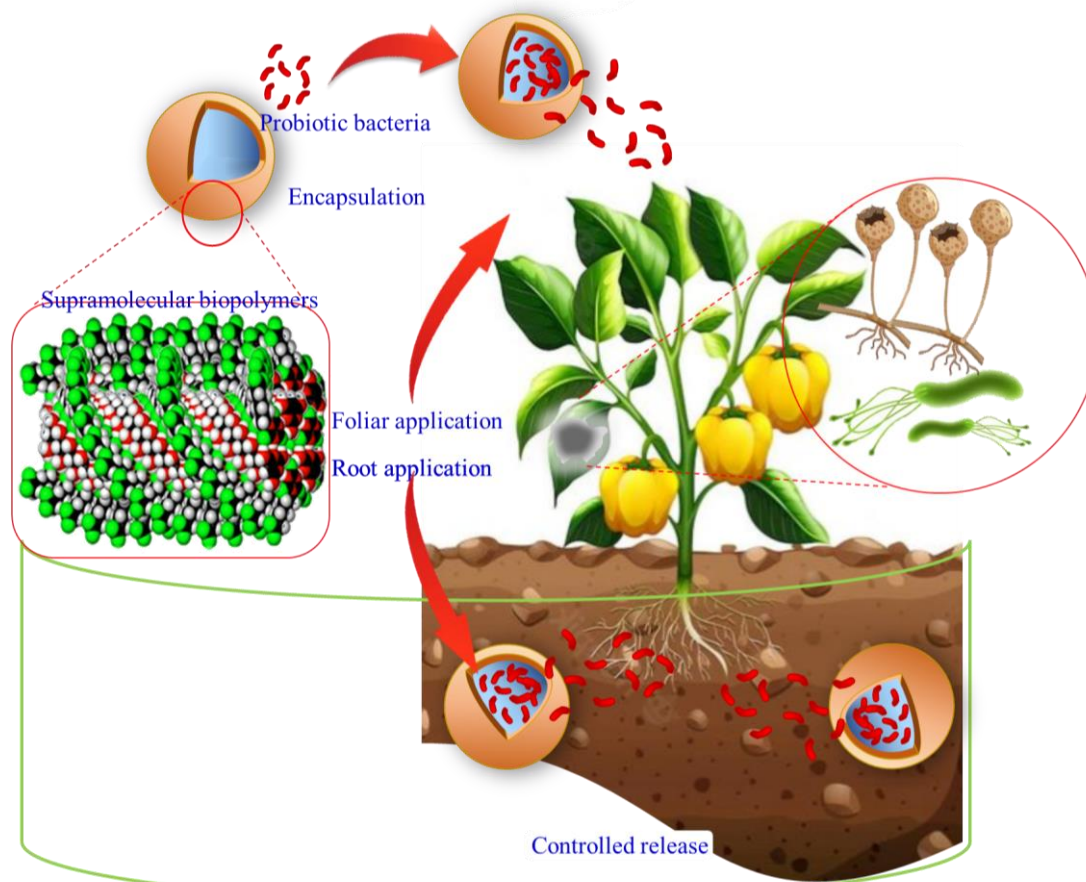
استفاده از بیوپلیمرهای فراملکولی در بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاه بسیار قابل توجه است. این بیوپلیمرهای نوظهور با ساختارهای پیچیده، چندین مزیت در بهبود جذب و استفاده از مواد غذایی گیاهی ارائه می‌دهند. ویژگی‌های منحصر به فرد بیوپلیمرهای فراملکولی، آنها را برای عمل به عنوان حامل‌های واکنش‌پذیر به محرک مناسب می‌سازد و امکان رهاکردن کنترل شده و هدفمند ماکرو و میکرو عناصر غذایی را فراهم می‌کند، که از طریق آن تحویل مؤثرتری به ریشه‌های گیاهی انجام می‌شود. این امر می‌تواند جذب مواد غذایی و بهره‌وری گیاه را بهبود بخشد (Dutta, Pal, Panwar, Sharma, & Bhutia, 2022). علاوه بر این، این بیوپلیمرها قادرند از طریق انکپسولاسیون عناصر غذایی، آنها را در خود جا دهند و از تجزیه یا نشت آنها در خاک جلوگیری کنند و از این طریق پایداری و دسترس‌پذیری آنها را در طولانی‌ترین دوره بهبود دهند. در یک پژوهش بارگذاری دانه‌های اوره درون یک ساختار فراملکولی متشکل از کیتوزان/ پلی وینیل الکل و نانوذرات لیگنین، به خواص عالی آزادسازی کند نیتروژن در طول یک دوره زمانی منجر شد (Elhassani et al., 2023). در مطالعه‌ای دیگر Rachid و همکارانش با اسپری گیاه با محلول فراملکولی هیومیک اسید پارامترهای رشدی را به طور قابل توجهی در گیاه گل



کلم افزایش دادند (Rachid, Bader, & Al-Alawy, 2020).

کاربرد پلیمرهای فراملکولی در جهت مقابله با بیماری های گیاهی

بیوپلیمرهای فراملکولی با ساختار منحصر به فرد خود، می توانند در مقابل تنش های زیستی، سیستم گیاهی را فعال کرده و پاسخ های ایمنی آن ها را تقویت کنند. این ساختارها ترکیبات دفاعی و دیواره های سلول را فعال می کنند و مسیرهای ارتباطی خاصی را در برابر میکروب ها و آفات فعال سازی می کنند (Korbecka-Glinka, Piekarska, & Wiśniewska-Wrona, 2022). به طور مثال تأثیر قوی کیتوزان بر پاسخ ایمنی گیاه ممکن است به دلیل تعامل آن با پکتین اسیدی در دیواره سلولی گیاه باشد که می تواند به کلسیم متصل شود و دایمرهای زنجیره ای را تشکیل دهد. این فعل و انفعال ساختار پکتین و دایمرهای پکتین را تغییر می دهد و یک سیگنال هشدار در مورد تخریب دیواره سلولی و حضور پاتوژن ایجاد می کند. این گیاه به کمپلکس های دایمر کیتوزان-پکتین به طور قابل توجهی قوی تر از اجزای جداگانه واکنش نشان می دهد (Stasińska-Jakubas & Hawrylak-Nowak, 2022). علاوه بر پتانسیل آنها به عنوان محافظ گیاهان، بیوپلیمرهای فراملکولی به عنوان حامل برای آفت کش ها، عوامل کنترل بیولوژیکی، ترکیبات طبیعی ضد میکروبی و محرک های زیستی عمل می کنند. این ساختارها کارایی مدیریت آفات و بیماری را با اجازه دادن به رهاسازی کنترل شده و تحویل هدفمند مواد فعال بهبود می بخشند (Ram et al., 2023). آگار اصلاح شده آگریز فراملکولی در محصور کردن مؤثر کورکومین و دستیابی به رهاسازی کنترل شده در شرایط قلیایی ضعیف، نوید قابل توجهی را از کاربرد این فرامکولها نشان می دهد (Jin et al., 2023). این یافته کاربرد بالقوه این میکروسفرهای هیدروژل را در ارائه آفت کش های آگریز برای اهداف کشاورزی برجسته می کند. Yang و همکاران با ترکیب پکتین بر روی میکروکپسول های سیلیسی توخالی متخلخل که با پروکلوراز توسط جذب الکترواستاتیکی بارگیری شده بودند، یک سیستم تحویل هوشمند دوگانه واکنش دهنده پکتیناز و pH بسیار نوآورانه تولید کردند. قابل ذکر است، این میکروکپسول ها کارایی کنترل طولانی مدتی را در برابر *Sclerotinia sclerotiorum* بدون به خطر انداختن رشد گیاه کلزا از خود نشان دادند. اجرای این وسیله نقلیه رهاسازی کنترل شده همچنین منجر به کاهش قابل توجهی در استفاده از آفت کش ها شد (Yang et al., 2021). تصویر ۲ نقش پلیمرهای فراملکولی در کاهش بیماری های گیاهی را نشان می دهد.



تصویر ۲. نقش پلیمرهای فراملکولی در کاهش بیماری های گیاهی.

نتیجه گیری

بیوپلیمرهای فراملکولی به دلیل سمی نبودن، زیست تخریب پذیری، زیست سازگاری و خاصیت ترمیم شوندگی توجه قابل ملاحظه ای را در صنعت کشاورزی به خود جلب کرده اند. این پلیمرها راه حل های مناسبی را برای چالش های مختلف کشاورزی از جمله بهبود رشد و نمو گیاهان و مدیریت بهتر بیمارگرهای گیاهی ارائه می دهند. یکی از مزایای کلیدی این بیوپلیمرها، توانایی آنها در آزادسازی مواد مغذی و مواد شیمیایی کشاورزی به صورت کنترل شده، کاهش آلودگی محیطی و بهینه سازی جذب عناصر غذایی توسط گیاهان است. آنها همچنین به عنوان سیستم های تحویل هوشمند عمل می کنند و اجازه می دهند تا مواد فعال زیستی را به مکان های مورد نظر مدیریت دقیق کنند، در نتیجه اثربخشی را افزایش داده و اثرات ناخواسته را به حداقل می رسانند. بیوپلیمرهای فراملکولی همچنین می توانند در فرمولاسیون های هدفمند برای فعال کردن مواد شیمیایی دفاعی و دیواره های سلولی مورد استفاده قرار گیرند و مسیرهای سیگنال دهی خاصی را در برابر بیمارگرهای گیاهی فعال سازی کنند. با این وجود، تحقیقات بیشتری برای درک کامل پتانسیل پلیمرهای زیستی در کشاورزی ضروری است، زیرا این ساختارها روش های کشاورزی پایدار و کارآمدی را ارائه می دهند که امنیت غذایی، حفاظت از محیط زیست و بهبود سیستم های کشاورزی را تضمین می کنند.



منابع:

- Dutta, S., Pal, S., Panwar, P., Sharma, R. K., & Bhutia, P. L. (2022). Biopolymeric nanocarriers for nutrient delivery and crop biofortification. *ACS omega*, 7(30), 25909-25920.
- Elhassani, C. E., El Ghararak, A., Essamlali, Y., Elamiri, S., Dânoun, K., Aboulhrouz, S., & Zahouily, M. (2023). Lignin nanoparticles filled chitosan/polyvinyl alcohol polymer blend as a coating material of urea with a slow-release property. *Journal of Applied Polymer Science*, 140(16), e53755.
- Emam, H. E., Abdellatif, F. H., & Abdelhameed, R. M. (2018). Cationization of cellulose fibers in respect of liquid fuel purification. *Journal of Cleaner Production*, 178, 457-467.
- Jin, S.-H., Kwon, T.-E., Kang, J.-U., Yoo, S.-H., Chang, P.-S., & Yoo, S.-H. (2023). Production of branched glucan polymer by a novel thermostable branching enzyme of *Bifidobacterium thermophilum* via one-pot biosynthesis containing a dual enzyme system. *Carbohydrate Polymers*, 309, 120646.
- Korbecka-Glinka, G., Piekarska, K., & Wiśniewska-Wrona, M. (2022). The use of carbohydrate biopolymers in plant protection against pathogenic fungi. *Polymers*, 14(14), 2854.
- Novikov, A. S. (2023). Non-Covalent Interactions in Polymers. In (Vol. 15, pp. 1139): MDPI.
- Okey-Onyesolu, C. F., Hassanisaadi, M., Bilal, M., Barani, M., Rahdar, A., Iqbal, J., & Kyzas, G. Z. (2021). Nanomaterials as nanofertilizers and nanopesticides: An overview. *ChemistrySelect*, 6(33), 8645-8663.
- Pérez-Pedroza, R., Ávila-Ramírez, A., Khan, Z., Moretti, M., & Hauser, C. A. (2021). Supramolecular biopolymers for tissue engineering. *Advances in Polymer Technology*, 2021, 1-23.
- Pires, P. C., Mascarenhas-Melo, F., Pedrosa, K., Lopes, D., Lopes, J., Macário-Soares, A., . . . Paiva-Santos, A. C. (2023). Polymer-based biomaterials for pharmaceutical and biomedical applications: A focus on topical drug administration. *European Polymer Journal*, 111868.
- Rachid, A. F., Bader, B. R., & Al-Alawy, H. H. (2020). Effect of foliar application of humic acid and nanocalcium on some growth, production, and photosynthetic pigments of cauliflower (*Brassica oleracea* var. Botrytis) planted in calcareous soil. *Plant Archives*, 20(1), 32-37.
- Ram, A. M., Singh, R., Rana, M., Dwivedi, S. K., Parmar, K., Sharma, A., . . . Mishra, S. (2023). Nanobiotechnology: Synthesis components and a few approaches for controlling plant diseases. *Plant Nano Biology*, 100038.
- Saberi Riseh, R. (2023). Advancing agriculture through bioresource technology: The role of cellulose-based biodegradable mulches. *International Journal of Biological Macromolecules*, 128006.
- Saberi Riseh, R., Hassanisaadi, M., Vatankhah, M., Soroush, F., & Varma, R. S. (2022). Nano/microencapsulation of plant biocontrol agents by chitosan, alginate, and other important biopolymers as a novel strategy for alleviating plant biotic stresses. *International Journal of Biological Macromolecules*.
- Sánchez-Fernández, J. A. (2023). Structural strategies for supramolecular hydrogels and their applications. *Polymers*, 15(6), 1365.
- Stasińska-Jakubas, M., & Hawrylak-Nowak, B. (2022). Protective, biostimulating, and eliciting effects of chitosan and its derivatives on crop plants. *Molecules*, 27(9), 2801.
- Yang, J., Gao, Y., Zhou, Z., Tang, J., Tang, G., Niu, J., . . . Cao, Y. (2021). A simple and green preparation process for PRO@ PIL-PHS-PEC microcapsules by using phosphonium ionic liquid as a multifunctional additive. *Chemical Engineering Journal*, 424, 130371.



Supramolecular Biopolymers as Innovative Biomaterials for Enhancing Nutrient Absorption and Alleviating Phytopathogens

Mohadeseh Hassanisaadi¹

Department of Plant Protection, Faculty of
Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan,
Rafsanjan, Iran

Roohallah Saberi Riseh²

Department of Plant Protection, Faculty of
Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan,
Rafsanjan, Iran

Abstract

Adopting sustainable agriculture practices is imperative to address the increasing worldwide need for food and mitigate the detrimental ecological impacts of the overuse of synthetic pesticides and conventional fertilizers. Biopolymers, being renewable, provide a viable means to enhance the sustainability and productivity of agriculture. Supramolecular biopolymers possess unique features that set them apart from typical biopolymers. These biomaterials exhibit responsiveness to stimuli and possess the ability to mend themselves. The incorporation of these functional compounds in the encapsulation of plant probiotic bacteria can enable novel agricultural uses. These functional compounds can be used in soil improvement and plant disease control to provide new agricultural applications. This study explores supramolecular biopolymers' effects on nutrient intake, plant disease control, and agricultural output. Biopolymers provide tailored distribution of bioactive chemicals and biostimulants. Biopolymers enable the regulated release of bioactive compounds and provide precise delivery of bioactive agents and biostimulants to specific targets. This study offers useful insights into the practical implementation and optimization of supramolecular biopolymers in sustainable agriculture to encapsulate plant probiotic bacteria. The ultimate objective is to facilitate the creation of inventive and ecologically sustainable solutions that can enhance agricultural output while reducing environmental harm.

Keywords: Biopolymers, Supramolecular biopolymers, Plant diseases, Controlled release, Sustainable agriculture