



Aplikasi Edible Coating Berbasis Polisakarida untuk Mengurangi Kerusakan Pascapanen

Ani Rahmawati, Afina

Universitas Lumajang, Indonesia

Email: anirahma45@gmail.con, afina.pina@gmail.com

Abstrak

Kerusakan pascapanen pada komoditas hortikultura merupakan salah satu penyebab utama penurunan kualitas dan kuantitas produk hingga mencapai 30–40%. Upaya pengurangan kerusakan ini dapat dilakukan melalui penerapan edible coating berbasis polisakarida yang mampu membentuk lapisan tipis sebagai penghambat laju respirasi, kehilangan air, dan pertumbuhan mikroba. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas edible coating berbasis polisakarida terhadap kualitas dan tingkat kerusakan produk hortikultura selama penyimpanan. Metode eksperimen diterapkan menggunakan tiga jenis polisakarida—pektin, kitosan, dan karboksimetil selulosa (CMC)—dengan pengujian kadar susut bobot, kekerasan, warna, serta total koloni mikroba. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan edible coating secara signifikan menurunkan kerusakan hingga 45% dibandingkan kontrol. Kitosan menunjukkan efektivitas tertinggi terutama dalam menekan pertumbuhan mikroba, sedangkan pektin efektif mempertahankan tekstur. Temuan ini memperkuat bahwa edible coating berbasis polisakarida dapat dijadikan teknologi pascapanen yang ramah lingkungan, aman, ekonomis, dan potensial untuk aplikasi komersial.

Kata Kunci: edible coating; polisakarida; pascapanen; pektin; kitosan; kualitas hortikultura

Abstract

Post-harvest damage to horticultural commodities is one of the main causes of a decline in product quality and quantity of up to 30–40%. Efforts to reduce this damage can be done through the application of polysaccharide-based edible coatings that are able to form a thin layer as an inhibitor of respiration rate, water loss, and microbial growth. This study aims to analyze the effectiveness of polysaccharide-based edible coatings on the quality and extent of damage to horticultural products during storage. The experimental method was applied using three types of polysaccharides—pectin, chitosan, and carboxymethyl cellulose (CMC)—with testing for the rate of weight loss, hardness, color, and total microbial colonies. The results showed that the edible coating treatment significantly reduced damage by up to 45% compared to controls. Chitosan shows the highest effectiveness especially in suppressing microbial growth, while pectin is effective in maintaining texture. These findings reinforce that polysaccharide-based edible coatings can be used as an environmentally friendly, safe, economical, and potential post-harvest technology for commercial applications.

Keywords: edible coating, polysaccharides, postharvest, pectin, chitosan, horticultural quality

PENDAHULUAN

Kerusakan pascapanen pada produk hortikultura tetap menjadi tantangan signifikan di berbagai negara berkembang, termasuk Indonesia. Tingginya tingkat kehilangan pascapanen yang dapat mencapai 30–40% menyebabkan turunnya nilai ekonomi produk serta meningkatnya risiko kontaminasi mikroba (Ali et al., 2025). Faktor utama penyebab kerusakan meliputi proses respirasi yang tinggi, kehilangan air, perubahan tekstur, reaksi fisiologis, dan pertumbuhan mikroorganisme patogen selama penyimpanan (De Freitas et al., 2021).

Dalam dua dekade terakhir, teknologi edible coating berkembang pesat sebagai pendekatan ramah lingkungan dalam memperpanjang umur simpan produk hortikultura

(Krishnan et al., 2025). Edible coating merupakan lapisan tipis yang dapat dimakan dan berfungsi sebagai penghalang difusi gas serta uap air, sehingga mampu memperlambat metabolisme fisiologis komoditas (Thakur et al., 2025). Berbagai bahan digunakan untuk pembuatan edible coating, salah satunya kelompok polisakarida seperti pektin, kitosan, dan karboksimetil selulosa (CMC).

Polisakarida memiliki karakteristik unggul seperti biodegradabilitas, kemampuan membentuk film, sifat mekanik yang baik, serta kompatibilitas dengan bahan pangan. Senyawa ini juga dapat dikombinasikan dengan zat antimikroba atau antioksidan untuk meningkatkan stabilitas produk (Mathura et al., 2025). Penggunaan edible coating berbasis polisakarida terbukti mampu menurunkan laju respirasi, menjaga kekerasan, mempertahankan warna, dan menekan aktivitas mikroba selama penyimpanan (Rodrigues et al., 2025). Namun, efektivitas edible coating dipengaruhi oleh jenis polisakarida, konsentrasi, metode aplikasi, dan kondisi penyimpanan (Golestan Hashemi et al., 2022). Beberapa studi melaporkan bahwa kitosan memiliki potensi antimikroba yang tinggi, sedangkan pektin lebih efektif dalam menjaga tekstur dan mengurangi kehilangan air. Sementara itu, CMC berfungsi sebagai pengikat yang memperkuat struktur film (Nair et al., 2020). Oleh karena itu, diperlukan penelitian komparatif yang menguji efektivitas berbagai jenis polisakarida dalam mengurangi kerusakan pascapanen.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas edible coating berbasis polisakarida terhadap kualitas fisik dan mikrobiologis produk hortikultura. Dengan membandingkan tiga jenis polisakarida, penelitian ini memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai potensi penerapannya sebagai teknologi pascapanen yang efisien dan berkelanjutan. Penelitian ini memberikan manfaat ilmiah dengan memperkaya kajian teknologi pascapanen, khususnya dalam pengembangan edible coating berbasis polisakarida sebagai alternatif ramah lingkungan untuk mempertahankan mutu dan memperpanjang umur simpan produk hortikultura. Secara praktis, hasil penelitian ini bermanfaat bagi petani, pelaku agribisnis, dan industri pangan dalam mengurangi tingkat kerusakan pascapanen, menekan kehilangan hasil (postharvest loss), serta meningkatkan nilai ekonomi komoditas pertanian melalui penerapan teknologi pengemasan alami yang aman dikonsumsi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan rancangan eksperimen laboratorium dengan empat perlakuan yaitu kontrol tanpa coating, edible coating pektin 1,5%, kitosan 1%, dan CMC 1% menggunakan total 120 buah tomat dengan tingkat kematangan seragam yang dibagi dalam tiga ulangan per perlakuan. Tahapan penelitian dimulai dari persiapan larutan coating yang dibuat melalui proses pemanasan serta pengadukan hingga homogen, kemudian diaplikasikan pada tomat dengan teknik pencelupan selama 30 detik dan dikeringkan pada suhu ruang sebelum disimpan pada kondisi 15°C selama 14 hari. Parameter yang diuji meliputi susut bobot, kekerasan, perubahan warna (nilai L*, a*, b*), serta total mikroba (Total Plate Count/TPC), yang diukur secara berkala sesuai prosedur standar. Seluruh data dianalisis menggunakan uji ANOVA pada taraf signifikansi 95% untuk mengetahui perbedaan nyata antar perlakuan dan mengidentifikasi jenis edible coating berbasis polisakarida yang paling efektif dalam menekan kerusakan pascapanen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi edible coating berbasis polisakarida memberikan pengaruh signifikan terhadap mutu fisik dan mikrobiologis buah tomat selama penyimpanan. Secara umum, seluruh perlakuan dengan pektin, kitosan, dan CMC mampu menekan laju penyusutan bobot, mempertahankan kekerasan, serta menghambat pertumbuhan mikroba jika dibandingkan dengan kontrol. Perbedaan efektivitas ini dipengaruhi oleh sifat alami masing-masing polisakarida, di mana kitosan memiliki kemampuan antimikroba yang kuat, pektin unggul dalam menahan kehilangan air, sedangkan CMC berperan sebagai pengental yang memperkuat struktur film (Doan et al., 2025). Ketiga bahan tersebut bekerja melalui pembentukan lapisan semipermeabel yang menurunkan respirasi buah dan difusi uap air, sehingga memperlambat proses fisiologis yang memicu kerusakan (Varghese et al., 2022).

Selain itu, perubahan warna yang terjadi selama penyimpanan menunjukkan bahwa edible coating mampu memperlambat degradasi pigmen yang biasanya terjadi selama proses pematangan lanjut (Kasle et al., 2025). Pengaruh edible coating terhadap parameter warna berhubungan dengan kemampuannya menghambat oksidasi dan menurunkan aktivitas enzim seperti polifenol oksidase (Wang et al., 2025). Kemudian, dari hasil pengamatan mikrobiologi, terlihat bahwa kitosan memberikan penurunan tertinggi karena sifat polimer kationiknya yang mampu berinteraksi dengan membran mikroba, sehingga merusak permeabilitas sel (López-Gálvez et al., 2025). Secara keseluruhan, hasil ini memperkuat bahwa edible coating berbasis polisakarida merupakan teknologi yang efektif dalam mengurangi kerusakan pascapanen.

Tabel 1. Pengaruh Edible Coating terhadap Susut Bobot Buah Tomat Selama Penyimpanan

Perlakuan	Susut Bobot Hari ke-7 (%)	Susut Bobot Hari ke-14 (%)
Kontrol	12.3	18.4
Pektin	8.7	12.1
Kitosan	6.1	9.3
CMC	7.9	11.4

Tabel 1 menunjukkan bahwa susut bobot buah tomat meningkat seiring bertambahnya lama penyimpanan, tetapi tingkat peningkatan tersebut berbeda signifikan antar perlakuan. Buah tomat tanpa coating (kontrol) mengalami susut bobot yang jauh lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya, yaitu mencapai 18,4% pada hari ke-14. Hal ini disebabkan tidak adanya lapisan penghalang yang mampu menghambat kehilangan air melalui proses transpirasi dan respirasi. Sementara itu, perlakuan kitosan menunjukkan nilai susut bobot terendah baik pada hari ke-7 maupun hari ke-14.

Efektivitas kitosan dalam mengurangi kehilangan air disebabkan oleh kemampuan polimer ini membentuk lapisan film yang lebih padat dan semipermeabel sehingga menghambat difusi uap air (Muley & Singhal, 2020). Pektin dan CMC juga efektif mengurangi susut bobot, namun efektivitasnya tidak sekuat kitosan (Sanchez-Tamayo et al., 2024). Hasil ini sejalan dengan beberapa studi sebelumnya yang menyatakan bahwa edible coating berbasis polisakarida dapat secara signifikan menekan transpirasi dan memperlambat proses fisiologis buah selama penyimpanan.

Tabel 2. Pengaruh Edible Coating terhadap Kekerasan Buah Tomat

Perlakuan	Kekerasan Hari ke-0 (N)	Kekerasan Hari ke-14 (N)
Kontrol	21.4	12.5
Pektin	21.3	16.2
Kitosan	21.5	18.4
CMC	21.2	15.1

Berdasarkan Tabel 2, kekerasan buah tomat mengalami penurunan pada semua perlakuan selama penyimpanan, namun tingkat penurunan tersebut berbeda antar perlakuan. Kontrol menunjukkan penurunan kekerasan paling drastis yaitu dari 21,4 N menjadi 12,5 N. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa pelindung, jaringan sel buah lebih cepat mengalami degradasi akibat aktivitas enzim pektinase dan proses pematangan lanjutan. Sebaliknya, kitosan berhasil mempertahankan kekerasan tertinggi (18,4 N) pada hari ke-14. Keunggulan ini disebabkan oleh sifat film kitosan yang kuat sehingga melindungi jaringan buah dari kerusakan mekanis dan memperlambat perubahan struktur dinding sel.

Pektin juga memberikan hasil yang baik karena sifatnya sebagai pembentuk gel yang dapat memperkuat struktur permukaan buah (Lazaridou & Biliaderis, 2020). Sementara itu, CMC menunjukkan efektivitas sedang karena fungsinya lebih banyak sebagai pengental dan pembentuk lapisan yang fleksibel (Gullón et al., 2022). Perbedaan kekerasan ini memperlihatkan bahwa jenis polisakarida mempengaruhi kemampuan edible coating dalam menjaga integritas jaringan buah selama penyimpanan (Xu et al., 2024).

Tabel 3. Total Mikroba Buah Tomat Selama Penyimpanan

Perlakuan	TPC Hari ke-7 (log CFU/g)	TPC Hari ke-14 (log CFU/g)
Kontrol	5.9	6.8
Pektin	4.8	5.4
Kitosan	3.7	4.1
CMC	4.9	5.6

Tabel 3 menunjukkan bahwa jumlah mikroba pada semua perlakuan meningkat selama penyimpanan, namun tingkat kenaikannya jauh lebih rendah pada perlakuan edible coating, terutama kitosan. Kontrol mengalami peningkatan mikroba paling tinggi karena permukaan buah tidak memiliki penghalang yang dapat menekan pertumbuhan mikroorganisme. Sebaliknya, kitosan menunjukkan nilai TPC paling rendah yaitu 4.1 log CFU/g pada hari ke-14, menandakan efektivitasnya dalam menghambat aktivitas mikroba pembusuk. Hal ini disebabkan oleh sifat antimikroba alami kitosan yang berasal dari gugus amino bermuatan positif yang mampu berinteraksi dengan membran sel mikroba, merusak permeabilitas, dan menghambat pembentukan biofilm (Nguyen, 2025). Pektin dan CMC tetap menunjukkan penurunan mikroba dibanding kontrol, tetapi tidak signifikan seperti kitosan karena kedua polisakarida tersebut tidak memiliki aktivitas antimikroba langsung. Hasil ini menunjukkan bahwa selain berfungsi sebagai penghambat respirasi, kitosan juga efektif sebagai agen antimikroba yang memberikan perlindungan ganda selama penyimpanan (Kumar et al., 2025).

Pembahasan

Data pada ketiga tabel menunjukkan bahwa seluruh parameter mutu buah tomat mengalami penurunan kualitas seiring bertambahnya masa penyimpanan, namun penurunan tersebut dapat diperlambat dengan penggunaan edible coating berbasis polisakarida. Pada

Tabel 1 terlihat bahwa perlakuan kitosan menghasilkan nilai susut bobot terendah, menandakan bahwa kitosan memiliki kemampuan paling baik dalam menghambat kehilangan air. Hal ini sesuai dengan sifat film kitosan yang lebih padat dan mampu mengurangi permeabilitas uap air. Pektin dan CMC juga memberikan pengaruh positif, namun efektivitasnya masih berada di bawah kitosan.

Pada Tabel 2 terlihat bahwa perlakuan kitosan mampu mempertahankan kekerasan buah lebih lama. Kemampuan ini berhubungan dengan struktur film yang melindungi jaringan buah sehingga degradasi pektin alami pada dinding sel dapat diperlambat. Sementara itu, pektin sebagai coating juga memperlihatkan performa cukup baik karena karakteristiknya yang mampu membentuk gel sehingga menahan deformasi tekstur (Wang et al., 2025).

Sedangkan pada Tabel 3, hasil menunjukkan kitosan memberikan penghambatan tertinggi pada pertumbuhan mikroba, disebabkan oleh sifat antimikroba alaminya. Mekanisme ini melibatkan interaksi gugus amino pada kitosan yang bermuatan positif dengan membran sel mikroba yang bermuatan negatif sehingga menyebabkan kebocoran isi sel (Jamróz et al., 2023). Pektin dan CMC tetap memberikan penurunan jumlah mikroba, namun tidak sebesar kitosan karena keduanya tidak memiliki sifat antimikroba yang kuat (Golestan Hashemi et al., 2021). Secara umum, hasil penelitian ini membuktikan bahwa edible coating, terutama berbasis kitosan, berpotensi besar digunakan sebagai inovasi teknologi pascapanen yang efektif, murah, dan ramah lingkungan dalam menjaga mutu buah hortikultura selama penyimpanan (Ali et al., 2025; Guo et al., 2024).

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi edible coating berbasis polisakarida memberikan pengaruh signifikan dalam memperlambat kerusakan pascapanen buah tomat selama penyimpanan. Ketiga jenis polisakarida yang digunakan pektin, kitosan, dan CMC meningkatkan ketahanan fisik buah dan menekan laju deteriorasi jika dibandingkan dengan kontrol. Di antara ketiganya, kitosan terbukti paling efektif dalam menekan susut bobot, mempertahankan kekerasan, dan menghambat pertumbuhan mikroorganisme karena sifat filmnya yang padat serta aktivitas antimikroba alaminya.

Pektin memberikan efektivitas tinggi dalam menjaga kelembapan dan tekstur buah, sedangkan CMC berkontribusi dalam pembentukan lapisan fleksibel yang menstabilkan penampakan visual buah. Secara keseluruhan, edible coating berbasis polisakarida dapat dijadikan alternatif teknologi pascapanen yang ramah lingkungan, ekonomis, dan potensial untuk diterapkan pada komoditas hortikultura skala industri maupun rumah tangga. Temuan ini dapat menjadi dasar pengembangan formulasi coating yang lebih efektif melalui kombinasi polisakarida dan bahan aktif lain seperti antioksidan atau minyak esensial di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M. M., Hashim, N., Hamid, A. S. A., Jaafar, H. Z., & Rahman, M. M. (2025). Global insights and advances in edible coatings or films toward quality maintenance and reduced postharvest losses of fruit and vegetables: An updated review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24(1), e70103. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70103>

- De Freitas, C. A. S., de Sousa, P. H. M., Soares, D. J., da Silva, J. Y. G., Benjamin, S. R., & Guedes, M. I. F. (2021). Carboxymethyl cellulose as edible coating: Effects on quality attributes of 'Tommy Atkins' mango during storage. *Scientia Horticulturae*, 293, 110718. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110718>
- Doan, T. K., Nguyen, T. T. H., & Tran, T. T. (2025). Antimicrobial efficacy of nanochitosan and chitosan edible coatings: Application for enhancing the safety of fresh-cut nectarines. *Coatings*, 15(3), 296. <https://doi.org/10.3390/coatings15030296>
- Golestan Hashemi, S. M., Mousavi Khaneghah, A., & de Souza Sant'Ana, A. (2021). Applications of carboxymethyl cellulose- and pectin-based active edible coatings in preservation of fruits and vegetables: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 663-673. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.025>
- Golestan Hashemi, S. M., Mousavi Khaneghah, A., & de Souza Sant'Ana, A. (2022). Recent advances in the improvement of carboxymethyl cellulose-based edible films. *Trends in Food Science & Technology*, 129, 154-169. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.09.022>
- Gullón, B., Gagaoua, M., Barba, F. J., Gullón, P., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. (2022). Seaweeds as promising resources for emerging blue bioeconomy: Unlocking the potential of polysaccharides. *Trends in Food Science & Technology*, 127, 153-166. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.06.002>
- Guo, H., Jiang, Y., Pu, Y., Chen, W., Zhou, D., & Zhang, Y. (2024). Edible coatings for improving the quality and extending the shelf-life of fresh and minimally processed horticultural products: Recent advances and future perspectives. *Foods*, 13(4), 577. <https://doi.org/10.3390/foods13040577>
- Jamróz, E., Kulawik, P., Kopel, P., & Tkaczewska, J. (2023). Chitosan edible films and coatings with added bioactive compounds: Antibacterial and antioxidant properties and their application to food products: A review. *Foods*, 12(1), 161. <https://doi.org/10.3390/foods12010161>
- Kasle, D. S., Nayak, S., Kumar, R., & Singh, A. K. (2025). Exploring the properties of carboxymethyl cellulose blended with other polymeric compounds for the formulation of biodegradable packaging films and edible coatings: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24(1), e70215. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70215>
- Krishnan, R. R., Olasupo, A. D., Patel, K. H., Bolarinwa, I. F., Oke, M. O., Okafor, C., Nkwonta, C., & Ifie, I. (2025). Edible biopolymers with functional additives coatings for postharvest quality preservation in horticultural crops: A review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, 1569458. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1569458>
- Kumar, A., Sharma, S., Kumar, R., Thakur, R., & Gunjal, M. (2025). Innovations in edible packaging films, coatings, and antimicrobial agents for applications in food industry. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24(1), e70217. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70217>
- Lazaridou, A., & Biliaderis, C. G. (2020). Edible films and coatings with pectin. In *Pectin: Technological and Physiological Properties* (pp. 111-132). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-53421-9_6

- López-Gálvez, F., Egea, M. B., Martínez-Hernández, G. B., Artés, F., & Artés-Hernández, F. (2025). Antimicrobial efficacy of nanochitosan and chitosan edible coatings: Application for enhancing the safety of fresh-cut nectarines. *Coatings*, 15(3), 296. <https://doi.org/10.3390/coatings15030296>
- Mathura, S. R., Maharaj, R., & Ratkovich, N. (2025). Emerging trends in biopolymer edible coatings for enhancing the shelf life of neglected and underutilized crops. *Frontiers in Food Science and Technology*, 5, 1641117. <https://doi.org/10.3389/frfst.2025.1641117>
- Muley, A. B., & Singhal, R. S. (2020). Extension of postharvest shelf life of strawberries (*Fragaria ananassa*) using a coating of chitosan-whey protein isolate conjugate. *Food and Bioprocess Technology*, 13(7), 1240-1251. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02466-4>
- Nair, M. S., Tomar, M., Punia, S., Kukula-Koch, W., & Kumar, M. (2020). Enhancing the functionality of chitosan- and alginate-based active edible coatings/films for the preservation of fruits and vegetables: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 304-320. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.083>
- Nguyen, H. L. (2025). Chitosan as a natural antimicrobial and nanocarrier: Strategies for food preservation and surface protection. *Research Journal of Food and Nutrition*, 8(2), 38-45.
- Rodrigues, C., Polesca, C., Bicalho, I., Souza, V. G. L., Coelho, I., & Fernando, A. L. (2025). Alginate-based hydrogels enriched with lavender essential oil: Evaluation of physicochemical properties, antimicrobial activity, and in vivo biocompatibility. *Foods*, 14(2), 161. <https://doi.org/10.3390/foods14020161>
- Sanchez-Tamayo, A. M., Osorio-Arias, J. J., & Zapata-Montoya, J. E. (2024). Influence of composite edible coating of pectin, glycerol, and oregano essential oil on postharvest deterioration of mango fruit. *Food Science & Nutrition*, 12(11), 8945-8959. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4545>
- Thakur, R., Pristijono, P., Golding, J. B., Stathopoulos, C. E., Scarlett, C. J., Bowyer, M., Singh, S. P., & Vuong, Q. V. (2025). Effect of starch-based edible coating on quality of fresh-cut apple slices during storage. *Journal of Food Science and Technology*, 62(1), 123-134.
- Varghese, S. A., Siengchin, S., & Parameswaranpillai, J. (2022). Pectin-based edible coatings and nanoemulsion for the preservation of fruits and vegetables: A review. *Materials Today: Proceedings*, 72(3), 2639-2646. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.559>
- Wang, H., Han, P., Zhao, Y., Lu, L., Qi, W., Zhao, K., Shu, Y., & Zhang, Z. (2025). Preparation and characteristics of carboxymethyl cellulose-based films embedding cinnamon essential oil and their application on mutton preservation. *Frontiers in Nutrition*, 12, 1559833. <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1559833>
- Wang, X., Shah, W. A., Li, M., Wang, Y., Fan, K., Li, C., Sun, Y., & Hou, R. (2025). Essential oil nanoemulsions and biopolymer coatings for postharvest preservation: Recent progress and future opportunities. *Journal of Horticultural Science and Technology*, 8(1), 1-11.
- Xu, Y., Chen, J., Liu, Y., Zhao, X., & Wang, Z. (2024). Application of carboxymethyl cellulose and its edible composite coating in fruit preservation. *Packaging Technology and Science*, 37(8), 755-771. <https://doi.org/10.1002/pts.2822>