



## Pengaruh Variasi Konsentrasi Carbon Dots Berbahan Dasar Limbah Kulit Melon Terhadap Pertumbuhan Tanaman Cabai

Azfa Restu Putra<sup>1\*</sup>, Rahmat Firman Septiyanto<sup>1</sup>, Yudi Guntara<sup>1</sup>, Isriyanti Affifah<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

<sup>2</sup>Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Email: [2280210027@untirta.ac.id](mailto:2280210027@untirta.ac.id)

### ABSTRACT

*This study examines the effect of carbon dots synthesized from melon peel waste on chili plant growth. Carbon dots are carbon-based nanomaterials with fluorescent properties that exhibit high biocompatibility, low toxicity, and high resistance to photobleaching. This study employed a microwave synthesis method to produce carbon dot solutions from melon peel waste at concentrations of 50 mg/L, 60 mg/L, and 70 mg/L, with a control group consisting of distilled water without carbon dots. Chili pepper seeds were watered and observed for 10 days. The results showed that the application of carbon dot solutions accelerated seedling emergence and enhanced plant growth compared to the control. The sample with a concentration of 70 mg/L exhibited the highest growth, which was 25% higher than the control. UV-Vis analysis indicated that carbon dots absorb UV-B and UV-C light, which can support enhanced photosynthesis by increasing electron transfer rates and rubisco enzyme activity during the photosynthesis process. Thus, carbon dots derived from melon peel waste have potential as an environmentally friendly additive to support chili plant growth efficiency.*

**Keywords:** carbon dots, melon rind, microwave method, photosynthesis

### ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji pengaruh carbon dots yang disintesis dari limbah kulit melon terhadap pertumbuhan tanaman cabai. Carbon dots merupakan nanomaterial berbasis karbon dengan sifat fluorescent yang memiliki biokompabilitas tinggi, toksisitas rendah serta ketahanan yang tinggi terhadap fotobleaching. Penelitian ini menggunakan metode sintesis microwave untuk menghasilkan larutan carbon dots dari limbah kulit melon dengan konsentrasi 50 mg/L, 60 mg/L, dan 70 mg/L, serta kontrol berupa aquades tanpa carbon dots. Benih cabai disiram dan diamati selama 10 hari. Hasilnya menunjukkan bahwa pemberian larutan carbon dots mempercepat kemunculan tunas dan meningkatkan pertumbuhan tanaman dibandingkan kontrol. Sampel dengan konsentrasi 70 mg/L menunjukkan pertumbuhan tertinggi, yaitu 25% lebih tinggi dari kontrol. Analisis UV-Vis menunjukkan bahwa carbon dots menyerap sinar UV-B dan UV-C, yang dapat mendukung peningkatan fotosintesis dengan cara meningkatkan laju transfer elektron dan aktivitas enzim rubisco dalam proses fotosintesis. Dengan demikian, carbon dots dari limbah kulit melon berpotensi sebagai bahan aditif ramah lingkungan untuk mendukung efisiensi pertumbuhan tanaman cabai.

**Kata Kunci:** carbon dots, fotosintesis, kulit melon, metode microwave

## **PENDAHULUAN**

Cabai merupakan salah satu tanaman penting di Indonesia, baik sebagai kebutuhan rumah tangga maupun sebagai bahan baku industri makanan. Namun, dalam praktiknya, produktivitas cabai sering kali dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti hama, penyakit, serta kualitas dan kesuburan tanah. Untuk mengatasi masalah tersebut, penggunaan pupuk dan pestisida kimia masih menjadi solusi utama. Penggunaan pestisida dapat menyebabkan efisiensi penggunaan pupuk menjadi rendah serta menyebabkan hilangnya pupuk, yang secara serius mengancam ekosistem global dan tidak kondusif untuk pembangunan pertanian yang berkelanjutan.

Untuk mengatasi tantangan pertumbuhan pangan dan pembangunan ketahanan pertanian berkelanjutan, ada kebutuhan mendesak bagi pertanian untuk mengembangkan teknologi baru yang ramah lingkungan dan ramah lingkungan untuk meningkatkan pertumbuhan dan pengembangan tanaman. Nanomaterial dianggap memainkan peran penting dalam mengatasi tantangan yang dihadapi dalam pertanian masa depan. Dalam dekade terakhir, sejumlah besar nanomaterial telah dikembangkan dan diterapkan di bidang pertanian, memainkan peran penting dalam mendorong pertumbuhan dan perkembangan tanaman, meningkatkan hasil, meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, melindungi lingkungan ekologis, dan mengurangi tekanan lingkungan (G. Li et al., 2023).

Carbon dots adalah nanomaterial dari bahan karbon fluorescent yang ditandai dengan ukurannya yang kecil dengan diameter di bawah 10 nm. Carbon dots muncul sebagai pengganti potensial untuk quantum dots berbasis logam karena komposisi dan biokompatibilitasnya yang unik (Sahana et al., 2023). Carbon dots dapat dibuat menggunakan limbah organik seperti sisa-sisa kulit buah. Limbah kulit melon dipilih karena memiliki kandungan karbon yang tinggi dan ketersediaannya melimpah. Carbon dots memiliki dispersibilitas air yang tinggi, biokompatibilitas, elastisitas yang baik dalam modifikasi, ketahanan yang tinggi terhadap fotobleaching, toksisitas rendah dan kelembaman kimia (Sharma & Das, 2019). Sifat-sifat tersebut membuat carbon dots dapat diterapkan dengan baik dalam *bio-imaging*, *bio-sensing*, *chemical-sensing* (De Medeiros et al., 2019). Pada tanaman, carbon dots berpengaruh dalam beberapa hal antara lain fotosintesis, asimilasi nutrisi, ketahanan terhadap stress biotik dan abiotik, serta pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Y. Li et al., 2020).

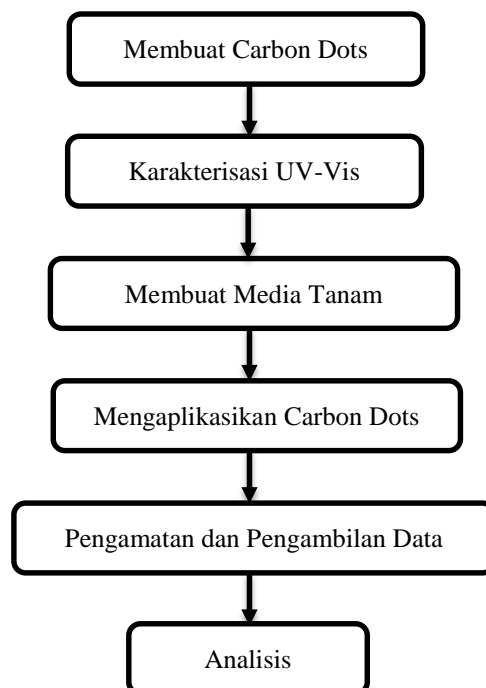
Pada umumnya tanaman memiliki kapasitas fotosintesis yang jauh lebih rendah daripada seharusnya secara teoritis. Ini merupakan sifat evolusioner. Dalam sinar matahari yang sebenarnya, hanya 45% cahaya yang berada dalam rentang panjang gelombang aktif fotosintesis. Dengan demikian, efisiensi maksimum teoritis konversi energi matahari adalah sekitar 11%. Selain itu, tanaman tidak menyerap semua sinar matahari yang masuk dan tidak mengubah semua energi yang diserap menjadi biomassa karena pantulan, fotorespirasi, kebutuhan akan tingkat radiasi matahari yang optimal, penyerapan cahaya oleh pigmen nonfotosintesis, dan inefisiensi fotokimia yang menghasilkan efisiensi fotosintesis keseluruhan maksimum 3–6% (Milenković et al., 2021).

Baru-baru ini telah ditunjukkan bahwa penggunaan nanopartikel pada tanaman adalah metodologi yang menjanjikan untuk mentransfer energi ke pusat reaksi fotosintesis, yang akan meningkatkan penyerapan cahaya (Chen et al., 2020). Penelitian sebelumnya

menunjukkan bahwa carbon dots berpengaruh pada tanaman. Milenković menguji pengaruh carbon dots pada tanaman jagung, hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan carbon dots membuat kemampuan fotosintesis tanaman meningkat (Milenković et al., 2021). Chakravarty melakukan pengujian carbon dots pada tanaman ketumbar dan bawang putih, hasilnya menunjukkan bahwa tinggi tanaman, panjang akar, serta berat akar pada tanaman yang diberi carbon dots lebih besar dibandingkan tanaman yang tidak diberi carbon dots (Chakravarty et al., 2015). Penelitian serupa juga pernah dilakukan pada gandum (Saxena et al., 2014), selada (Kou et al., 2021), tomat (Khodakovskaya et al., 2013) dan padi (Tan et al., 2021). Tujuan penelitian ini adalah menguji pengaruh variasi konsentrasi carbon dots yang dibuat dari limbah kulit melon pada pertumbuhan tanaman cabai.

## **METODE**

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah kulit melon, pisau, aquades, timbangan digital, blender, filter kopi, gelas baker, microwave, spatula, benih cabai, gelas plastik, dan tanah. Limbah kulit melon dicuci dengan aquades kemudian dihaluskan menggunakan blender dengan rasio 4 gram limbah kulit melon dan 80 ml aquades. Limbah kulit melon yang sudah halus kemudian disaring menggunakan filter kopi Abaca V60 Coffe Filter Paper. Larutan yang sudah disaring diletakkan pada gelas baker sebanyak 20 ml untuk dimasukkan ke dalam microwave dan dipanaskan selama 8 menit sampai terbentuk kerak. Kerak yang terbentuk pada gelas baker dilarutkan dengan aquades dan disaring kemudian melakukan karakterisasi spektrofotometer uv-vis menggunakan Horiba Scientific Aqualog, data karakterisasi uv-vis dianalisis menggunakan Excel dan OriginPro.



**Gambar 1. Diagram Alir Penelitian**

Untuk pengujian pada tanaman, kerak diambil dan dikumpulkan sebanyak 180 mg untuk membuat larutan carbon dots. Kerak yang sudah terkumpul dilarutkan dengan aquades sebanyak 1 L dengan jumlah yang berbeda-beda. Ada 3 variasi konsentrasi larutan carbon dots yaitu 50 mg/L, 60 mg/L, dan 70 mg/L, selain itu ada 1 L aquades tanpa carbon dots yang akan menjadi variabel kontrol sehingga ada total 4 sampel yang akan diuji pada pertumbuhan tanaman cabai. Variabel kontrol sebagai sampel a, larutan carbon dots dengan konsentrasi 50 mg/L sebagai sampel b, larutan carbon dots dengan konsentrasi 60 mg/L sebagai sampel c, larutan carbon dots dengan konsentrasi 70 mg/L sebagai sampel d.

Media tanam pada penelitian ini menggunakan gelas plastik, bagian bawah gelas plastik dilubangi yang berfungsi sebagai drainase, setelah itu gelas diisi dengan tanah hingga hampir penuh. Benih cabai disterilkan dengan cara dibilas menggunakan aquades kemudian ditanam dengan kedalaman 0,5 cm, setelah itu disiram dengan larutan carbon dots sebanyak 40 mL. Penyiraman dilakukan setiap pagi dan sore hari selama 10 hari. Ketika siang hari sampel diletakkan di luar ruangan yang terkena matahari, namun saat malam hari sampel diletakkan di dalam ruangan. Pengukuran tinggi tanaman yang sudah tumbuh dilakukan menggunakan penggaris.

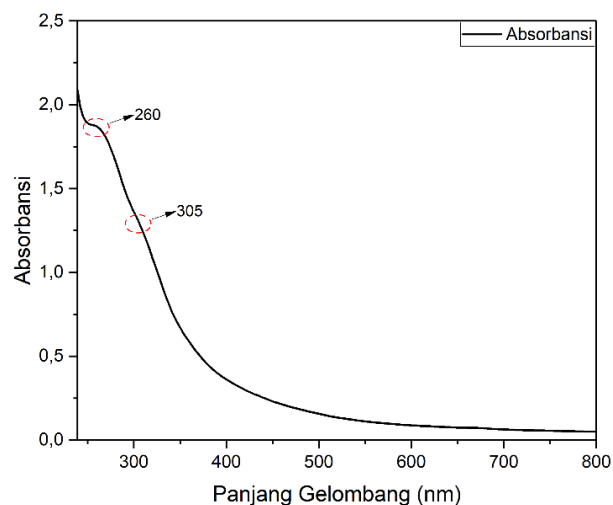
## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Kehidupan di Bumi terpapar spektrum cahaya mulai dari ultraviolet-B (UV-B) hingga panjang gelombang inframerah (295–2500 nm). Radiasi ultraviolet (UV) secara langsung mempengaruhi tanaman dan mikroorganisme, tetapi juga mengubah interaksi spesifik spesies di antara mereka. Bagian ultraviolet (UV) dari spektrum elektromagnetik terdiri dari tiga kelas: UV-C (200–280 nm), UV-B (280–315 nm) dan UV-A (315–400 nm) dengan hanya UV-B dan UV-A yang mencapai permukaan bumi. Pita radiasi UV yang berbeda antara UV-A, UV-B, dan UV-C memiliki efek yang berbeda pada tanaman dan mikroorganisme. UV-A dapat meningkatkan viabilitas benih, merangsang fotomorfogenesis dan meningkatkan sintesis klorofil. UV-B dapat memecah dormansi benih, memperkuat sistem pertahanan tanaman dan pemacu metabolit sekunder. UV-C dapat membunuh mikroorganisme seperti virus dan bakteri. (Vanhaelewyn et al., 2020).

Pengujian spektrofotometer uv-vis dilakukan pada rentang panjang gelombang 240–800 nm. Hasil yang diperoleh berupa grafik hubungan antara panjang gelombang dengan absorbansi. Puncak absorbansi dengan panjang gelombang sekitar 250 nm menunjukkan transisi  $\pi-\pi^*$  untuk ikatan C=C terkonjugasi (Başoğlu et al., 2020). Sedangkan untuk puncak absorbansi dengan panjang gelombang sekitar 300 nm terkait dengan transisi  $n-\pi^*$  dari ikatan C=O (Kottam & Smrithi, 2021). Pada gambar 2, Larutan c-dots memperoleh dua puncak yaitu pada panjang gelombang 260 nm dan 305 nm. Puncak pada panjang gelombang 260 nm menunjukkan adanya transisi elektron  $\pi-\pi^*$  dari inti (core) C-dots, transisi ini juga menunjukkan adanya ikatan C=C yang umum terdapat pada sebagian besar C-dots yang disintesis. Sedangkan puncak pada panjang gelombang 305 menunjukkan adanya transisi elektron  $n-\pi^*$  dari permukaan (surface) C-dots, transisi ini juga menunjukkan adanya ikatan C=O. Kedua puncak ini berada dalam wilayah panjang gelombang ultraviolet, yakni UV-C (200–280 nm) dan UV-B (280–315 nm).

Hasil pengujian spektrofotometer uv-vis menunjukkan bahwa carbon dots yang telah dibuat dapat menyerap cahaya UV-C dan UV-B lebih optimal. Penyerapan ini menjadikan

carbon dots berfungsi sebagai agen fotoreaktif yang mampu memanen cahaya UV dan mengubahnya menjadi energi yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman, khususnya dalam proses fotosintesis.



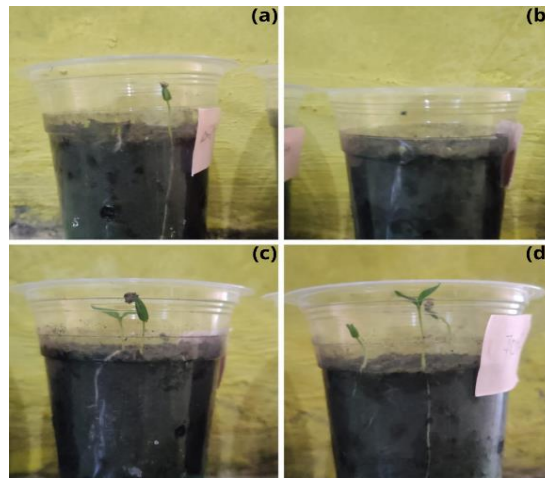
**Gambar 2. Grafik Absorbansi**

Penelitian Vanhaelewyn et al (2020) menunjukkan bahwa radiasi UV, terutama UV-B, dapat mengaktifkan jalur sinyal pertahanan tanaman melalui fotoreseptor seperti UVR8, dan meningkatkan produksi metabolit sekunder seperti flavonoid dan fenolik. CDots yang mampu menyerap panjang gelombang serupa dengan UV-B tersebut memiliki potensi untuk meniru atau memperkuat efek biologis sinar UV pada tanaman

Pada hari pertama sampai kelima setelah benih cabai ditanam, belum terlihat adanya tunas yang muncul. Pada hari ke-6, mulai terlihat ada benih yang tumbuh yaitu pada sampel c. Pada hari ke-7, tanaman pada sampel c tumbuh pesat dan sampel d terlihat tunasnya. Pada hari ke-8 terlihat adanya tunas yang baru muncul pada sampel a, sampel d tumbuh dengan pesat, namun pertumbuhan pada sampel c tidak terlalu signifikan seperti hari sebelumnya. Pada hari ke-9 sampel a tumbuh pesat namun pertumbuhan sampel c dan d tidak terlalu pesat. Pada hari ke-10 semua sampel tidak mengalami pertumbuhan yang pesat, namun panjang tanaman sampel d melampaui panjang tanaman sampel c. Pada sampel b tidak terlihat adanya pertumbuhan, hal ini bisa terjadi karena adanya beberapa faktor seperti kualitas benih yang kurang baik atau kondisi lingkungan yang menyebabkan kualitas tanah menurun.

Pada penelitian ini setiap sampel mulai muncul tunas pada hari yang berbeda-beda. Sampel a muncul tunas pada hari ke 8, sampel c muncul tunas pada hari ke 6 dan sampel d muncul tunas pada hari ke 7. Setelah tunas tanaman cabai muncul, fotosintesis akan mulai berlangsung. Terdapat dua proses konversi energi yang terlibat dalam fotosintesis yaitu konversi energi cahaya menjadi energi listrik, kemudian menjadi energi kimia. Kromofor seperti klorofil dan xantofil pada membrane tilakoid kloroplas bertindak sebagai antena untuk menyerap energi cahaya (foton) selama fotosintesis (Segalla et al., 2005). Energi yang telah diserap oleh kromofor diangkut ke fotosistem I dan II melalui serangkaian rantai transfer elektron, disertai dengan produksi oksigen dan adenosin trifosfat (ATP). Selanjutnya ATP terlibat dalam asimilasi CO<sub>2</sub>, dimana CO<sub>2</sub> difiksasi dan diubah menjadi karbohidrat oleh

enzim fotosintesis (Paul et al., 2012). Hal ini menunjukkan bahwa proses perantara melalui transfer elektron mempengaruhi laju fotosintesis.

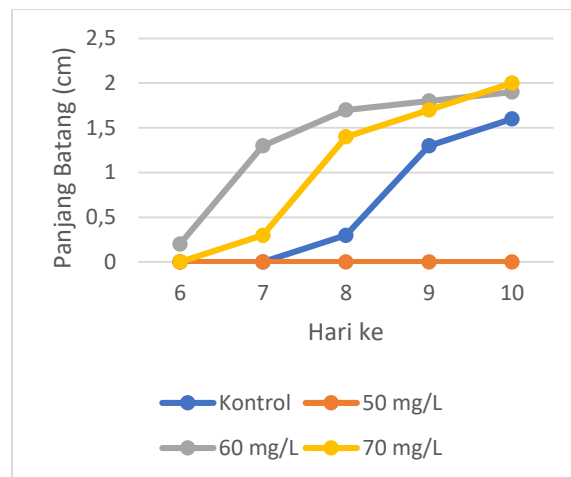


**Gambar 3. Kondisi tanaman pada hari ke-10 (a) kontrol, (b) 50 mg/L, (c) 60 mg/L, dan (d) 70 mg/L**

Penelitian Chandra et al (2014) membuktikan bahwa Carbon dots dapat meningkatkan fotosintesis tanaman kacang hijau dengan memodulasi proses transfer elektron karena mempercepat proses konversi energi cahaya menjadi energi listrik dan akhirnya menjadi energi kimia sebagai daya asimilasi (ATP). Carbon dots memiliki kemampuan untuk berkonjugasi kuat pada permukaan kloroplas dan mentransfer elektron ke kloroplas dengan bantuan cahaya atau foton yang diserap. Ketika tanaman diberi carbon dots, laju transfer elektron mengalami peningkatan mencapai 25% dibandingkan tanpa carbon dots. Dengan meningkatnya laju transfer elektron, maka reaksi fotosintesis akan mengalami peningkatan (W. Li et al., 2018).

Selain dapat mempercepat laju transfer elektron, carbon dots juga dapat meningkatkan aktivitas rubisco pada proses fotosintesis. Penggunaan carbon dots pada tanaman kacang hijau dapat meningkatkan aktivitas rubisco sebesar 30,9% (Wang et al., 2018). Pada tanaman padi, penggunaan carbon dots dapat meningkatkan aktivitas rubisco secara signifikan sebesar 42%. Selain itu, total hasil panen padi meningkat serta meningkatkan ketahanan tanaman padi terhadap penyakit (H. Li et al., 2018).

Tanaman cabai termasuk ke dalam tumbuhan C3, kelompok ini bergantung pada Ribulose Biphosphate Carboxylase Oxygenase (RuBisCO) untuk menangkap karbon dioksida dan mengubahnya menjadi senyawa organik yang dibutuhkan untuk pertumbuhan. Tumbuhan C3 berasal dari daerah subtropis, selain cabai, tanaman yang termasuk ke dalam kelompok tumbuhan C3 antara lain padi, gandum, kacang hijau dan selada (Suyatman, 2021). Rubisco merupakan enzim yang menjadi kunci dalam siklus Calvin yang memfiksasi CO<sub>2</sub> dalam fotosintesis. Meningkatnya aktivitas rubisco dapat menyebabkan pembentukan karbohidrat semakin meningkat.



Gambar 4. Grafik pertumbuhan tanaman cabai

Penelitian ini sesuai dengan penelitian-penelitian sebelumnya dimana carbon dots dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman. Sehari setelah tunas muncul, sampel c dan d mengalami pertumbuhan 10% lebih tinggi dibandingkan sampel kontrol. Hasil ini menunjukkan bahwa carbon dots dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman cabai dengan cara meningkatkan laju transfer elektron dan aktivitas rubisco selama proses fotosintesis berlangsung. Setelah 10 hari, tanaman yang paling tinggi adalah sampel d dengan tinggi 25% lebih tinggi dibanding sampel kontrol. Hasil ini menunjukkan penggunaan carbon dots yang paling optimal adalah 70 mg/L.

## KESIMPULAN

Berdasarkan Penggunaan carbon dots untuk pertumbuhan tanaman cabai dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman cabai hingga 25%. Karakterisasi uv-vis menunjukkan carbon dots yang dibuat memiliki puncak absorbansi pada panjang gelombang 260 nm dan 305 nm. Berdasarkan sifatnya, carbon dots ini memiliki kemampuan untuk meningkatkan laju transfer elektron dan aktivitas rubisco, yang kemudian dapat mempercepat proses fotosintesis. Pada penelitian ini, pertumbuhan paling optimal terjadi pada sampel d yang menggunakan larutan carbon dots dengan konsentrasi 70 mg/L. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah untuk melakukan karakterisasi TEM dan HRTEM untuk melihat lebih detail bagaimana kondisi tanaman yang diberi carbon dots.

## DAFTAR PUSTAKA

- Başoğlu, A., Ocak, Ü., & Gümrükçüoğlu, A. (2020). Synthesis of Microwave-Assisted Fluorescence Carbon Quantum Dots Using Roasted-Chickpeas and its Applications for Sensitive and Selective Detection of Fe<sup>3+</sup> Ions. *Journal of Fluorescence*, 30, 515–526. <https://doi.org/10.1007/s10895-019-02428-7>
- Chakravarty, D., Erande, M. B., & Late, D. J. (2015). Graphene quantum dots as enhanced plant growth regulators: Effects on coriander and garlic plants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(13), 2772–2778. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7106>
- Chandra, S., Pradhan, S., Mitra, S., Patra, P., Bhattacharya, A., Pramanik, P., & Goswami, A. (2014). High throughput electron transfer from carbon dots to chloroplast: A rationale of enhanced photosynthesis. *Nanoscale*, 6(7), 3647–3655. <https://doi.org/10.1039/c3nr06079a>



- Chen, Q., Chen, L., Nie, X., Man, H., Guo, Z., Wang, X., Tu, J., Jin, G., & Ci, L. (2020). Impacts of surface chemistry of functional carbon nanodots on the plant growth. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 206, 111220. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111220>
- De Medeiros, T. V., Manioudakis, J., Noun, F., Macairan, J. R., Victoria, F., & Naccache, R. (2019). Microwave-assisted synthesis of carbon dots and their applications. *Journal of Materials Chemistry C*, 7(24), 7175–7195. <https://doi.org/10.1039/c9tc01640f>
- Khodakovskaya, M. V., Kim, B. S., Kim, J. N., Alimohammadi, M., Dervishi, E., Mustafa, T., & Cernigla, C. E. (2013). Carbon nanotubes as plant growth regulators: Effects on tomato growth, reproductive system, and soil microbial community. *Small*, 9(1), 115–123. <https://doi.org/10.1002/smll.201201225>
- Kottam, N., & Smrithi, S. P. (2021). “Luminescent carbon nanodots: Current prospects on synthesis, properties and sensing applications.” *Methods and Applications in Fluorescence*, 9(1), 1–24. <https://doi.org/10.1088/2050-6120/abc008>
- Kou, E., Yao, Y., Yang, X., Song, S., Li, W., Kang, Y., Qu, S., Dong, R., Pan, X., Li, D., Zhang, H., & Lei, B. (2021). Regulation Mechanisms of Carbon Dots in the Development of Lettuce and Tomato. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 9(2), 944–953. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c08308>
- Li, G., Xu, J., & Xu, K. (2023). Physiological Functions of Carbon Dots and Their Applications in Agriculture: A Review. *Nanomaterials*, 13(19), 1–17. <https://doi.org/10.3390/nano13192684>
- Li, H., Huang, J., Lu, F., Liu, Y., Song, Y., Sun, Y., Zhong, J., Huang, H., Wang, Y., Li, S., Lifshitz, Y., Lee, S. T., & Kang, Z. (2018). Impacts of carbon dots on rice plants: Boosting the growth and improving the disease resistance. *ACS Applied Bio Materials*, 1(3), 663–672. <https://doi.org/10.1021/acsubm.8b00345>
- Li, W., Wu, S., Zhang, H., Zhang, X., Zhuang, J., Hu, C., ... & Wang, X. (2018). Enhanced biological photosynthetic efficiency using light-harvesting engineering with dual-emissive carbon dots. *Advanced Functional Materials*, 28(44), 1804004.
- Li, Y., Xu, X., Wu, Y., Zhuang, J., Zhang, X., Zhang, H., Lei, B., Hu, C., & Liu, Y. (2020). A review on the effects of carbon dots in plant systems. *Materials Chemistry Frontiers*, 4(2), 437–448. <https://doi.org/10.1039/c9qm00614a>
- Milenković, I., Borišev, M., Zhou, Y., Spasić, S. Z., Leblanc, R. M., & Radotić, K. (2021). Photosynthesis Enhancement in Maize via Nontoxic Orange Carbon Dots. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(19), 5446–5451. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c01094>
- Paul, A. L., Amalfitano, C. E., & Ferl, R. J. (2012). Plant growth strategies are remodeled by spaceflight. *BMC Plant Biology*, 12, 1–15. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-12-232>
- Sahana, S., Gautam, A., Singh, R., & Chandel, S. (2023). A recent update on development, synthesis methods, properties and application of natural products derived carbon dots. *Natural Products and Bioprospecting*, 13(51), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s13659-023-00415-x>
- Saxena, M., Maity, S., & Sarkar, S. (2014). Carbon nanoparticles in “biochar” boost wheat (*Triticum aestivum*) plant growth. *RSC Advances*, 4(75), 39948–39954. <https://doi.org/10.1039/c4ra06535b>
- Segalla, A., Szabò, I., Costantini, P., & Giacometti, G. M. (2005). Study of the effect of ion channel modulators on photosynthetic oxygen evolution. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 45(6), 1691–1700. <https://doi.org/10.1021/ci0501802>
- Sharma, A., & Das, J. (2019). Small molecules derived carbon dots: Synthesis and applications in sensing, catalysis, imaging, and biomedicine. *Journal of Nanobiotechnology*, 17(1), 1–24. <https://doi.org/10.1186/s12951-019-0525-8>
- Suyatman, S. (2021). Menyelidiki Energi Pada Fotosintesis Tumbuhan. *INKUIRI: Jurnal Pendidikan IPA*, 9(2), 134. <https://doi.org/10.20961/inkuiri.v9i2.50085>



- Tan, T. L., Zulkifli, N. A., Zaman, A. S. K., Jusoh, M. binti, Yaapar, M. N., & Rashid, S. A. (2021). Impact of photoluminescent carbon quantum dots on photosynthesis efficiency of rice and corn crops. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 737–751. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.031>
- Vanhaelewyn, L., Van Der Straeten, D., De Coninck, B., & Vandebussche, F. (2020). Ultraviolet Radiation From a Plant Perspective: The Plant-Microorganism Context. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1–18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.597642>
- Wang, H., Zhang, M., Song, Y., Li, H., Huang, H., Shao, M., Liu, Y., & Kang, Z. (2018). Carbon dots promote the growth and photosynthesis of mung bean sprouts. *Carbon*, 136, 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.04.051>