

DOI: <https://doi.org/10.21009/JRSKT.101.04>

# Analisis Kandungan Residu Pestisida pada Cabai dan Kentang menggunakan Liquid Chromatography Tandem Mass Spectrometry (LC-MS/MS)

Jemmi Muharman<sup>1,\*</sup>, Della Dewanda<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Pusat Promosi dan Sertifikasi Hasil Pertanian, Jl. Jambore, Jakarta Timur, 13720, Jakarta, Indonesia*

<sup>2</sup>*Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, Jakarta, 13220, Indonesia*

\*Email: [jemmi2180@gmail.com](mailto:jemmi2180@gmail.com)

**Received:** 02 May 2024  
**Revised:** 17 May 2024  
**Accepted:** 01 June 2024  
**Online:** 16 June 2024  
**Published:** 30 June 2024

**Jurnal Riset Sains dan Kimia Terapan**  
p-ISSN: 2302 - 8467  
e-ISSN: 2303 – 0720



## Abstrak

Pestisida dalam pertanian merupakan hal yang umum digunakan oleh petani dalam mengendalikan hama dan penyakit tanaman. Namun, penggunaan pestisida berlebihan akan meninggalkan residu pestisida dalam jumlah besar yang dapat menimbulkan masalah kesehatan. Oleh karena itu, perlunya pengujian kadar residu pestisida (chlorpyrifos, diazinon dan dimethoate) pada cabai dan kentang yang mengacu pada nilai batas maksimum cemaran berdasarkan PERMENTAN Nomor 53 Tahun 2018. Pengujian dilakukan dengan metode QuEChERS EN 15662:2018 yang terdiri dari tahapan ekstraksi dan clean-up dengan penetapan kadar menggunakan LC-MS/MS. Hasil pengujian menunjukkan kadar residu pestisida chlorpyrifos, diazinon dan dimethoate dalam cabai dan kentang berada di bawah Batas Maksimum Residu yang telah ditetapkan oleh PERMENTAN Nomor 53 Tahun 2018 sehingga aman untuk dikonsumsi.

**Kata kunci:** LC-MS/MS, residu pestisida, QuEChERS

## Abstract

*Farmers frequently use pesticides in agriculture to control pests and plant diseases. However, excessive use of pesticides will leave large amounts of pesticide residue, which can cause health problems. Therefore, it is necessary to test pesticide residue levels (chlorpyrifos, diazinon, and dimethoate) on chilies and potatoes, which refers to the maximum limit value of contamination based on PERMENTAN Number 53 of 2018. The QuEChERS EN 15662:2018 method is used for the test. It has stages for extraction, clean-up, and an assay using LC-MS/MS. The test results demonstrate that chilies and potatoes do not contain pesticides chlorpyrifos, diazinon, or dimethoate above Permentan*

*Number 53 of the 2018 Maximum Residue Limit. This result means that foods are safe to eat.*

**Keywords:** LC-MS/MS, pesticide residues, QuEChERS

## Pendahuluan

Sayur-sayuran merupakan komoditas hortikultura yang menunjukkan prospek sangat baik di pasaran karena memiliki nilai ekonomi yang tinggi (Jha et al., 2019). Salah satu sayuran yang menjadi komoditas unggulan nasional disektor hortikultura adalah cabai dan kentang. Cabai merah menjadi salah satu dari lima tanaman sayuran dengan produksi tertinggi selama lima tahun terakhir (Dessie et al., 2019). Cabai kaya akan kandungan gizi dan vitamin seperti protein, lemak, karbohidrat, kalsium, vitamin A, B1 dan vitamin C (Bal et al., 2022). Selain cabai, kentang juga memiliki peranan cukup penting karena menduduki peringkat keempat sebagai tanaman pangan utama di dunia setelah padi, gandum dan jagung (Johnson & Cheein, 2023). Kandungan gizi dalam kentang melimpah seperti karbohidrat (Tomlekova et al., 2022), mineral (Mishra et al., 2020), dan vitamin (Gupta & Gupta, 2019) sehingga menjadikannya sebagai sumber potensial dalam diversifikasi pangan serta sumber karbohidrat (Xu et al., 2023).

Peningkatan permintaan terhadap kentang dan cabai mendorong upaya peningkatan produksi (Sugiyanta & Kartika, 2018). Namun, seringkali ditemukan beberapa kendala seperti hama dan penyakit yang dapat menyebabkan kegagalan panen. Selain itu, sifat fisik sayuran yang mudah rusak membuat persyaratan mutu berfokus pada aspek visual seperti warna (Sharma et al., 2021), ukuran (Huynh et al., 2020), kesegaran dan aroma sehingga mendorong penggunaan pestisida secara berlebihan (Wang et al., 2022). Produk pertanian yang terkontaminasi residu pestisida dalam jumlah besar dapat menimbulkan masalah kesehatan pada manusia (Khattabi et al., 2023) seperti penurunan sistem imun, peningkatan risiko kanker, serta gangguan fungsi kerja syaraf (El-Sheikh et al., 2023). Hal ini mendorong perlunya pengelolaan mutu produk hortikultura, yaitu melalui regulasi keamanan pangan yang mengatur batas maksimum residu pestisida pada produk pertanian yang diatur oleh PERMENTAN No.53 Tahun 2018 (Wahab et al., 2022).

Pestisida dikelompokkan menjadi empat, yaitu golongan organoklorin, organofosfat, karbamat, dan piretroid (Araújo et al., 2023; Beane Freeman, 2022). Pestisida golongan organofosfat paling umum digunakan dalam produk pertanian seperti cabai dan kentang karena mempunyai daya basmi yang kuat dan cenderung mengalami dekomposisi yang cepat (Mali et al., 2022; Gori et al., 2021). Namun, pada manusia penggunaan pestisida ini dapat menimbulkan efek toksisitas yang tinggi (Sinha et al., 2022). Batas Maksimum Residu (BMR) pestisida pada cabai sesuai PERMENTAN No.53 Tahun 2018 adalah 20 mg/kg untuk chlorpyrifos; 0,5 mg/kg untuk diazinon dan 3 mg/kg untuk dimethoate. Sementara itu, untuk kentang nilai BMR yang berlaku adalah 2 mg/kg untuk chlorpyrifos; 0,01 mg/kg untuk diazinon dan 0,05 mg/kg untuk dimethoate. Untuk mengatasi kelebihan kandungan pestisida pada kentang dan cabai, diperlukan suatu metode, agar keamanan pada pangan terjaga dengan baik. Ada begitu banyak metode yang dapat digunakan, namun metode yang sebaiknya digunakan merupakan metode yang aman, sederhana, efektif dan mengurangi resiko terkontaminasi bahan kimia berbahaya atau beracun.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis kandungan residu pestisida adalah dengan metode QuEChERS EN 15662:2018 (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe) (Oyoo-Iluokol et al., 2023). Metode QuEChERS sering digunakan karena kesederhanaan dan keefektifan biayanya, sehingga cocok untuk pemantauan residu pestisida secara rutin dalam produk makanan (Keklik et al., 2024). Selain itu, kelebihan metode ini dinilai ramah lingkungan karena menggunakan sedikit pelarut organik (Alsefri et al., 2023). Pengujian residu pestisida, terutama untuk senyawa seperti dimetoat, klorpirifos, dan diazinon, sering kali menggunakan metode Kromatografi Cair Spektrometri Massa Tandem (LC-MS/MS) karena sensitivitas dan spesifisitasnya yang tinggi (Shrestha et al., 2024). Metode tersebut bertujuan untuk memisahkan beberapa senyawa berdasarkan tingkat kepolaran kemudian diidentifikasi berdasarkan berat molekul.

## Metode

### Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan antara lain blender, neraca analitik, tabung sentrifuge 50 mL dan 15 mL, sentrifuge, pipet mikro 5-10  $\mu$ L, 20-200  $\mu$ L, 100-1000  $\mu$ L, 1-10 mL vial, vortex, gelas kimia, gelas ukur, labu ukur, ultrasonikator dan seperangkat instrument LC MS/MS.

Bahan yang digunakan antara lain cabai, kentang, asetonitril, aquabides, EN QuEChERS extraction kit, EN QuEChERS dSPE for General Fruit and Vegetables, EN QuEChERS dSPE for High Pigment Fruit and Vegetables, triphenyl phosphate (TPP), ammonium format, metanol, standar chlorpyrifos, standar diazinon, dan standar dimethoate.

### Prosedur Penelitian

#### Pembuatan Fase Gerak

Fase gerak yang digunakan ada dua, yaitu fase gerak A dan fase gerak B. Fase gerak A dibuat dengan menimbang Ammonium Format sebanyak 0,1576 gram kemudian dilarutkan dengan 10 mL aquabides. Setelah itu, ditambahkan 500  $\mu$ L asam format 98-100% dan 10 mL metanol. Larutan kemudian dipindahkan ke labu ukur 500 mL lalu ditambahkan aquabides dan dihomogenkan dengan sonifikasi. Fase gerak B dibuat dengan menimbang ammonium format sebanyak 0,1576 gram yang dilarutkan dengan 10 mL aquabides. Setelah itu, ditambahkan 500  $\mu$ L asam format 98-100% dan 10 mL aquabides. Larutan kemudian dipindahkan ke labu ukur 500 mL lalu ditambahkan methanol dan dihomogenkan dengan sonifikasi.

#### Pembuatan Deret Standar

Deret larutan standar chlorpyrifos, diazinon dan dimethoate dibuat dengan konsentrasi 0,1; 0,2; 0,5; 1 dan 1,5  $\mu$ g/mL. Deret standar tersebut dibuat dari larutan induk 1000  $\mu$ g/mL yang diencerkan dengan pelarut asetonitril agar menjadi 10  $\mu$ g/mL. Setelah itu, dilakukan pengenceran lagi agar menjadi konsentrasi yang diinginkan dengan penambahan asetonitril dan 10  $\mu$ L TPP.

#### Ekstraksi dan Clean-Up Sampel

Ekstraksi sampel diawali dengan menghaluskan cabai dan kentang kemudian ditimbang sebanyak 10 gram menggunakan tabung sentrifuge 50 mL. Setelah itu, masing-masing ditambahkan 10 mL asetonitril dan EN QuEChERS extraction salt lalu dihomogenkan. Selanjutnya, disentrifugasi selama 5 menit dengan kecepatan 4500 rpm.

Clean-up sampel diawali dengan mengambil sebanyak 6 mL supernatant cabai ke dalam QuEChERS EN Highly Pigmented Fruit and Vegetables Clean up Tube dan 6 mL supernatant kentang ke dalam QuEChERS EN General Fruit and Vegetables Clean up Tube. Kedua sampel kemudian dihomogenkan dan disentrifugasi selama 5 menit dengan kecepatan 4500 rpm. Masing-masing sampel dipipet sebanyak 990  $\mu$ L ke dalam vial 2 mL lalu ditambahkan 10  $\mu$ L triphenyl phosphate (TPP) dengan konsentrasi 1 ppm. Vial kemudian dihomogenkan menggunakan vortex dan sampel siap untuk diinjeksikan menggunakan LC MS/MS.

#### Perhitungan

Hasil dari injeksi sampel menggunakan LC MS/MS akan diperoleh kromatogram yang memiliki nilai area dan ISTD area. Untuk membuat kurva kalibrasi standar dibutuhkan nilai konsentrasi standar dan rasio area puncak. Nilai rasio area diperoleh dengan menggunakan persamaan (1).

$$Rasio\ Area = \frac{Area}{ISTDArea} \quad (1)$$

Kurva kalibrasi tersebut digunakan untuk menetapkan kadar residu pestisida ( $\mu\text{g/mL}$ ). Penentuan kadar residu pestisida dilakukan dengan menggunakan persamaan (2) dengan mengonversi  $\mu\text{g/mL}$  menjadi  $\text{mg/Kg}$ .

$$Kadar\ Re\ sidu\ Pestisida\ (\text{mg/kg}) = \frac{Kadar\ (\mu\text{g/mL}) \times Vol.Sampel\ (\text{mL})}{Berat\ Sampel\ (\text{g})} \quad (2)$$

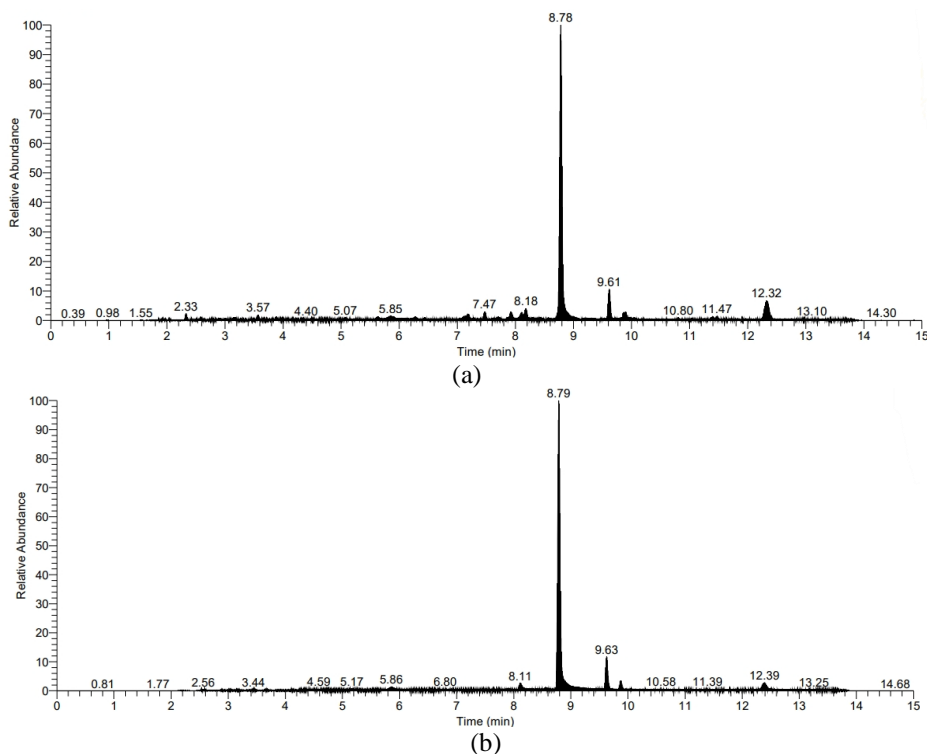
Selanjutnya, dilakukan perhitungan nilai perolehan kembali (*%recovery*) sebagai nilai akurasi dengan persamaan (3).

$$\% recovery = \frac{Kadar\ hasil\ Analisis}{Kadar\ Sesungguhnya} \times 100\% \quad (3)$$

Sampel yang dilakukan spiking harus memenuhi syarat yang ditetapkan, yaitu memasuki rentang 70-120%.

## Hasil dan Pembahasan

Data yang diperoleh dari LC-MS/Ms berupa kromatogram yang memiliki nilai area dan ISTD area. Area Sampel adalah nilai luas area puncak yang merepresentasikan senyawa sedangkan ISTD (Internal Standard) Area adalah nilai luas area yang mewakili standar internal.



**Gambar 1.** (a) Kromatogram Sampel Cabai, (b) Kromatogram Sampel Kentang.

Dari data-data tersebut kemudian diolah secara statistik untuk memperoleh nilai rasio area. Nilai rasio area standar yang diperoleh akan digunakan untuk membuat kurva kalibrasi dengan hubungan antara konsentrasi standar sebagai sumbu-x dengan rasio area puncak sebagai sumbu-y kemudian dihitung persamaan garis regresi dan koefisien korelasinya dimana nilai regresi yang baik adalah  $R^2 > 0,99$ . Kurva kalibrasi digunakan untuk menentukan kadar chlorpyrifos, diazinon dan dimethoate

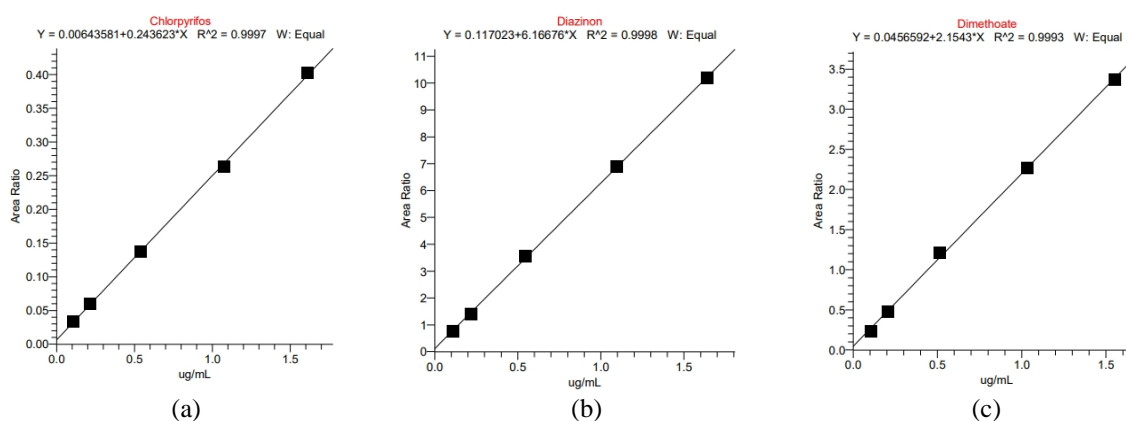
pada sampel ( $\mu\text{g/mL}$ ). Berdasarkan PERMENTAN Nomor 53 Tahun 2018 telah diatur batas maksimum residu pestisida dengan menggunakan satuan mg/kg sehingga perlu dilakukan konversi dari  $\mu\text{g/mL}$  menjadi mg/kg.

Konsentrasi deret standar yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan kandungan chlorpyrifos, diazinon dan dimethoate pada sampel adalah 0,1 ppm; 0,2 ppm; 0,5 ppm; 1,0 ppm; dan 1,5 ppm. Data berupa luas peak (area) dan ISTD area yang diperoleh kemudian diolah secara statistik sehingga menghasilkan nilai rasio area.

**Tabel 1.** Data Absorbansi Larutan Standar

Residu Pestisida	Konsentrasi ( $\mu\text{g/mL}$ )	Area	ISTD Area	Ratio Area
<i>Chlorpyrifos</i>	0,1	62330	1866522	0,033
	0,2	111209	1852929	0,060
	0,5	246217	1794966	0,137
	1,0	483218	1829937	0,264
	1,5	769825	1914264	0,402
<i>Diazinon</i>	0,1	1411926	1866522	0,756
	0,2	2634752	1852929	1,422
	0,5	6416926	1794966	3,575
	1,0	12645723	1829937	6,910
	1,5	19517148	1914264	10,196
<i>Dimethoate</i>	0,1	444701	1866522	0,238
	0,2	886424	1852929	0,478
	0,5	2183298	1794966	1,216
	1,0	4152597	1829937	2,269
	1,5	6447041	1914264	3,368

Dari data tersebut, diperoleh persamaan linear untuk chlorpyrifos adalah  $y = 0,00643581 + 0,243623x$  dengan  $R^2 = 0,9997$ , untuk diazinon diperoleh  $y = 0,117023 + 6,16676x$  dengan  $R^2 = 0,9998$  dan untuk dimethoate diperoleh  $y = 0,0456592 + 2,1543x$  dengan  $R^2 = 0,9993$ . Kurva kalibrasi dikatakan akurat dan presisi apabila koefisien regresi mendekati atau sama dengan satu.



**Gambar 2.** Kurva Kalibrasi Standar Chlorpyrifos (a), Kurva Kalibrasi Standar Diazinon (b), Kurva Kalibrasi Standar Dimethoate (c).

Penentuan kadar residu pestisida chlorpyrifos, diazinon dan dimethoate dilakukan dengan menggunakan persamaan linear dengan rasio area sebagai nilai y kemudian disubstitusikan untuk memperoleh kadar residu pestisida. Kadar yang diperoleh kemudian dikonversi menjadi mg/kg dengan dikalikan volume ekstrak 10 mL kemudian dibagi oleh berat sampel.

**Tabel 2.** Kadar Residu Pestisida pada Cabai dan Kentang

Residu Pestisida	Sampel	Area	ISTD Area	Rasio Area	Kadar (µg/mL)	Kadar (mg/kg)
<i>Chlorpyrifos</i>	Cabai	16265	1759543	0,009	0,012	0,012
	Kentang	10065	2521834	0,004	-0,0100	-0,0100
<i>Diazinon</i>	Cabai	50948	1759543	0,029	-0,0143	-0,0143
	Kentang	9167	2521834	0,004	-0,0184	-0,0184
<i>Dimethoate</i>	Cabai	793	1759543	0.000	-0,0210	-0,0210
	Kentang	1227	2521834	0.000	-0,0210	-0,0210

Besarnya kadar yang diperoleh pada Tabel 2 kemudian dibandingkan dengan nilai LOD dan LOQ. Batas deteksi (LOD) dan batas penetapan (LOQ) ditetapkan melalui pengolahan secara statistik menggunakan garis regresi linier dari kurva standar.

**Tabel 3.** Data LOD, LOQ Kandungan Residu Pestisida

Pestida	LOD	LOQ	PERMENTAN No.53 Tahun 2018	
			Cabai	Kentang
<i>Chlorpyrifos</i>	5,288 µg/kg	17,625 µg/kg	20 mg/kg	2 mg/kg
<i>Diazinon</i>	1,458 µg/kg	4,858 µg/kg	0,5 mg/kg	0,01 mg/kg
<i>Dimethoate</i>	2,944 µg/kg	9,812 µg/kg	3 mg/kg	0,05 mg/kg

Sampel dapat dikatakan tidak terdeteksi (TTD) apabila kandungan residu pestisida berada di bawah nilai batas deteksi yang telah ditetapkan dan masih berada di bawah BMR. Namun bukan bukan berarti pada sampel yang dianalisa tidak mengandung residu pestisida tapi kandungannya berada di bawah nilai batas deteksi yang telah ditetapkan.

**Tabel 4.** Data Hasil Spiking Sampel Cabai

Parameter	Area	ISTD Area	Rasio Area	Kadar (µg/mL)	Kadar (mg/kg)	% Recovery
Klorpyrifos	108515	1942035	0,056	0,203	0.203	101%
Diazinone	2540234	1942035	1,308	0,193	0,193	97%
Dimethoate	858825	1942035	0.442	0.184	0.184	92%

Sampel cabai dilakukan spiking menggunakan standar, yaitu chlorpyrifos, diazinone, dan dimethoate. Spiking dilakukan dengan menambahkan sejumlah tertentu larutan standar yang sudah ditentukan konsentrasinya. Metode spike digunakan untuk memperoleh nilai recovery atau nilai akurasi dan tingkat ketepatan metode analisis. Dari hasil yang diperoleh, nilai Recovery (%R) memasuki rentang 70-120% berdasarkan pedoman SANTE/2020/12830 yang menunjukkan bahwa ketelitian metode analisis dapat diterima.

## Kesimpulan

Pada penelitian ini diperoleh kandungan chlorpyrifos pada sampel cabai adalah sebesar 0,012 mg/kg, sementara pada sampel kentang adalah -0,0100 mg/kg. Kandungan diazinon dalam cabai adalah -0,0143 mg/kg, dan dalam kentang adalah -0,0184 mg/kg. Sementara itu, kandungan dimethoate dalam cabai dan kentang adalah -0,021 mg/kg. Kandungan chlorpyrifos, diazinon, dan dimethoate dalam sampel cabai dan kentang berada di bawah Batas Maksimum Residu (BMR) yang ditetapkan oleh PERMENTAN Nomor 53 Tahun 2018, sehingga kedua jenis sampel tersebut aman untuk dikonsumsi.

## Daftar Pustaka

Alsefri, S., Balbaied, T., Alatawi, H., Albalawi, I., Hogan, A., & Moore, E. (2023). Development of the QuEChERS Extraction Method for the Determination of Polychlorinated Biphenyls (Aroclor 1254) in Soil Samples by Using GC-MS. *Separations*, 10(4), 250–250. <https://doi.org/10.3390/separations10040250>

- Araújo, M. F., Castanheira, E. M. S., & Sousa, S. F. (2023). The Buzz on Insecticides: A Review of Uses, Molecular Structures, Targets, Adverse Effects, and Alternatives. *Molecules*, 28(8), 3641. <https://doi.org/10.3390/molecules28083641>
- Bal, S., Sharangi, A. B., Upadhyay, T. K., Khan, F., Pandey, P., Siddiqui, S., Saeed, M., Lee, H.-J., & Yadav, D. K. (2022). Biomedical and Antioxidant Potentialities in Chilli: Perspectives and Way Forward. *Molecules*, 27(19), 6380. <https://doi.org/10.3390/molecules27196380>
- Beane Freeman, L. E. (2022). Invited Perspective: Pesticide Adjuvants and Inert Ingredients — A Missing Piece of the Puzzle. *Environmental Health Perspectives*, 130(8). <https://doi.org/10.1289/ehp11512>
- Dessie, A. B., Koye, T. D., Koye, A. D., & Abitew, A. A. (2019). Analysis of red pepper marketing: evidence from northwest Ethiopia. *Journal of Economic Structures*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40008-019-0156-0>
- El-Sheikh, E.-S. A., Li, D., Hamed, I., Ashour, M.-B., & Hammock, B. D. (2023). Residue Analysis and Risk Exposure Assessment of Multiple Pesticides in Tomato and Strawberry and Their Products from Markets. *Foods*, 12(10), 1936. <https://doi.org/10.3390/foods12101936>
- Gori, M., Thakur, A., Sharma, A., & Flora, S. J. S. (2021). Organic-Molecule-Based Fluorescent Chemosensor for Nerve Agents and Organophosphorus Pesticides. *Topics in Current Chemistry*, 379(5). <https://doi.org/10.1007/s41061-021-00345-7>
- Gupta, U. C., & Gupta, S. C. (2019). The Important Role of Potatoes, An Underrated Vegetable Food Crop in Human Health and Nutrition. *Current Nutrition & Food Science*, 15(1), 11–19. <https://doi.org/10.2174/1573401314666180906113417>
- Huynh, T., Tran, L., & Dao, S. (2020). Real-Time Size and Mass Estimation of Slender Axi-Symmetric Fruit/Vegetable Using a Single Top View Image. *Sensors*, 20(18), 5406. <https://doi.org/10.3390/s20185406>
- Jha, G. K., Suresh, A., Punera, B., & Supriya, P. (2019). Growth of horticulture sector in India: Trends and prospects. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 89(2). <https://doi.org/10.56093/ijas.v89i2.87091>
- Johnson, C. M., & Cheein, F. A. (2023). Machinery for potato harvesting: a state-of-the-art review. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1156734>
- Keklik, M., Golge, O., González-Curbelo, M. Á., & Kabak, B. (2024). Determination of Pesticide Residues in Vine Leaves Using the QuEChERS Method and Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. *Foods*, 13(6), 909–909. <https://doi.org/10.3390/foods13060909>
- Khattabi, L., Mokhtari, M., Bouhenna, M. M., Fellak, A., Abu-Mustapha, M., Akkal, S., & Saleh Sellam, S. (2023). Agricultural and Veterinary Pesticides Residues in Human Food. *Current Green Chemistry*, 10(2), 174–185. <https://doi.org/10.2174/2213346110666230607150014>
- Mali, H., Shah, C., Raghunandan, B. H., Prajapati, A. S., Patel, D. H., Trivedi, U., & Subramanian, R. B. (2022). Organophosphate pesticides an emerging environmental contaminant: Pollution, toxicity, bioremediation progress, and remaining challenges. *Journal of Environmental Sciences*, 127. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.04.023>
- Mishra, T., Raigond, P., Thakur, N., Dutt, S., & Singh, B. (2020). Recent Updates on Healthy Phytoconstituents in Potato: a Nutritional Depository. *Potato Research*, 63(3), 323–343. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09442-z>
- Oyoo-Ilukol, J., Abong, G. O., Okoth, M. W., & Nyongesa, M. W. (2023). Analysis of pesticide residues in potato varieties using modified quechers multi-residue method combined with gas chromatography tandem mass spectrometric detection. *Crop Science*, 64(3), 1399–1411. <https://doi.org/10.1002/csc2.21121>

- Sharma, S., Katoch, V., Kumar, S., & Chatterjee, S. (2021). Functional relationship of vegetable colors and bioactive compounds: Implications in human health. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, *92*, 108615. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2021.108615>
- Shrestha, S., Lamichhane, B., & Chaudhary, N. (2024). Method Validation and Measurement Uncertainty Estimation for Determination of Multiclass Pesticide Residues in Tomato by Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry (LC-MS/MS). *International Journal of Analytical Chemistry*, *2024*(1), 1–10. <https://doi.org/10.1155/2024/3846392>
- Sinha, S. N., Kumpati, R. K., Ramavath, P. N., Sangaraju, R., Gouda, B., & Chougule, P. (2022). Investigation of acute organophosphate poisoning in humans based on sociodemographic and role of neurotransmitters with survival study in South India. *Scientific Reports*, *12*(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21054-1>
- Sugiyanta, S., & Kartika, J. G. (2018). Increasing Production of Chilli (*Capsicum annuum* L.) through Foliar Fertilizer Application. *Journal of Tropical Crop Science*, *5*(1), 18–24. <https://doi.org/10.29244/jtcs.5.1.18-24>
- Tomlekova, N., Mladenov, P., Dincheva, I., & Nacheva, E. (2022). Metabolic Profiling of Bulgarian Potato Cultivars. *Foods*, *11*(13), 1981. <https://doi.org/10.3390/foods11131981>
- Wahab, S., Muzammil, K., Nasir, N., Khan, M. S., Ahmad, M. F., Khalid, M., Ahmad, W., Dawria, A., Reddy, L. K. V., & Busayli, A. M. (2022). Advancement and New Trends in Analysis of Pesticide Residues in Food: A Comprehensive Review. *Plants*, *11*(9), 1106. <https://doi.org/10.3390/plants11091106>
- Wang, S., Xu, T., & Li, X. (2022). Development Status and Perspectives of Crop Protection Machinery and Techniques for Vegetables. *Horticulturae*, *8*(2), 166–166. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8020166>
- Xu, J., Li, Y., Kaur, L., Singh, J., & Zeng, F. (2023). Functional Food Based on Potato. *Foods*, *12*(11), 2145–2145. <https://doi.org/10.3390/foods12112145>