



Aktivitas Fisik dan Homeostasis Kardiometabolik pada Pekerja Pertanian: Tinjauan Literatur Mengenai Interaksi Beban Kerja, Stres Panas, dan Paparan Agrokimia

Shellya Puti Sudesty¹, Khorina Fatin Bilqis², Sri Octa Handayani³

^{1,2,3}Program Studi Pendidikan Dokter, Fakultas Kedokteran, Universitas Lampung

Korespondensi: Shellya Puti Sudesty, alamat Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No. 1, Kota Bandar Lampung, Lampung, hp 081272818931, e-mail: shellyaputisudesty@fk.unila.ac.id

Received : 02 Juni 2026

Accepted : 10 Juni 2026

Published : 17 Juni 2026

ABSTRAK: Pekerja pertanian menghadapi paparan simultan berupa aktivitas fisik kerja berintensitas tinggi, panas lingkungan, dan pestisida yang berpotensi mengganggu homeostasis kardiometabolik. Tinjauan literatur ini bertujuan untuk mensintesis bukti ilmiah mengenai interaksi aktivitas fisik kerja, heat stress, dan paparan pestisida terhadap homeostasis kardiometabolik pekerja pertanian serta mengidentifikasi mekanisme fisiologis yang mendasari hubungan tersebut. Penelusuran literatur dilakukan pada basis data *Scopus*, *PubMed*, *ScienceDirect*, dan *Google Scholar* untuk artikel yang diterbitkan pada periode 2023–2025 menggunakan kata kunci *physical activity*, *cardiometabolic*, *agricultural workers*, *heat stress*, dan *pesticide exposure*. Dari 287 artikel yang teridentifikasi, sebanyak 14 studi memenuhi kriteria inklusi dan dianalisis dalam sintesis akhir. Studi yang ditelaah mencakup desain meta-analisis, tinjauan sistematis, eksperimen, studi kohort, dan penelitian lapangan. Hasil sintesis menunjukkan bahwa aktivitas fisik kerja tidak memberikan efek protektif yang setara dengan aktivitas fisik waktu luang dan berkontribusi terhadap peningkatan risiko kardiometabolik melalui inflamasi kronis dan peningkatan beban hemodinamik. Paparan panas meningkatkan *cardiac strain* dan risiko dehidrasi, sedangkan pestisida sebagai *endocrine-disrupting chemicals* berperan dalam resistensi insulin, stres oksidatif, dan disfungsi mitokondria. Selain itu, bukti *co-exposure* menunjukkan adanya efek sinergis antara panas dan pestisida yang memperburuk gangguan vaskular dan metabolik. Risiko kardiometabolik pada pekerja pertanian merupakan hasil interaksi multipaparan yang kompleks sehingga memerlukan pendekatan agromedisin yang komprehensif dalam upaya pencegahan dan pengendaliannya.

Kata kunci: aktivitas fisik kerja; agromedicine; *heat stress*; kardiometabolik; pestisida

Physical Activity and Cardiometabolic Homeostasis in Agricultural Workers: A Literature Review of the Interactions among Workload, Heat Stress, and Agrochemical Exposure

ABSTRACT: Agricultural workers are simultaneously exposed to high-intensity occupational physical activity, environmental heat, and pesticides, all of which may disrupt cardiometabolic homeostasis. This literature review aimed to synthesize scientific evidence regarding the interaction between occupational physical activity, heat stress, and pesticide exposure on cardiometabolic homeostasis among agricultural workers, as well as to identify the physiological mechanisms underlying these associations. A literature search was conducted in *Scopus*, *PubMed*, *ScienceDirect*, and *Google Scholar* for articles published between 2023 and 2025 using the keywords *physical activity*, *cardiometabolic*, *agricultural workers*, *heat stress*, and *pesticide exposure*. Of the 287 records identified, 14 studies met the inclusion criteria and were included in the final synthesis. The selected studies comprised meta-analyses, systematic reviews, experimental studies, cohort studies, and field investigations. The findings indicate that occupational physical activity does not confer the same cardioprotective benefits as leisure-time physical activity and may contribute to increased cardiometabolic risk through chronic inflammation and elevated hemodynamic burden. Heat exposure was associated with increased cardiac strain and dehydration risk, whereas pesticides, acting as *endocrine-disrupting chemicals*, were linked to insulin resistance, oxidative stress, and mitochondrial dysfunction. Furthermore, evidence of *co-exposure* suggests a synergistic interaction between heat and pesticides that

exacerbates vascular and metabolic impairment. Overall, cardiometabolic risk among agricultural workers appears to result from complex interactions among multiple occupational and environmental exposures. These findings highlight the importance of adopting an integrated agromedicine approach to better understand and address cardiometabolic health risks in agricultural populations.

Keyword: agromedicine; cardiometabolic health; heat stress; pesticides; occupational physical
DOI : 10.23960/jka.v13i1.pp94-100

PENDAHULUAN

Pertanian modern harus dipahami sebagai bagian dari *exposome*, yakni totalitas paparan lingkungan dan gaya hidup yang membentuk risiko fisiologis sepanjang siklus hidup-karena praktik agrikultur, iklim, dan sistem pangan mempengaruhi determinan kardiometabolik secara langsung dan tidak langsung. Kerangka *exposome* menyediakan landasan teoritis untuk menghubungkan paparan fisik, kimia, dan perilaku dengan *outcome* kardiometabolik pada populasi agraris. Dengan menggunakan pendekatan sistemik ini, tinjauan literatur dapat mengevaluasi bagaimana interaksi multi-eksposur di tempat kerja pertanian memodifikasi homeostasis kardiometabolik yang sebelumnya dipelajari dalam studi populasi umum.¹

Aktivitas fisik rekreasi (*leisure-time physical activity*, LTPA) menurunkan risiko kejadian kardiovaskular dalam pola dosis-respons yang relatif konsisten, sedangkan bukti untuk manfaat aktivitas fisik yang dilakukan sebagai bagian pekerjaan (*occupational physical activity*, OPA) menunjukkan hasil yang berbeda atau netral, fenomena ini menegaskan bahwa domain dan karakteristik aktivitas (durasi, intensitas, pemulihan) menentukan efek kardiometaboliknya.²

Meta-analisis terbaru menunjukkan hubungan terbalik yang jelas antara LTPA dan insiden penyakit kardiovaskular, sedangkan OPA tidak menunjukkan asosiasi protektif yang serupa terhadap kejadian *cardiovascular disease* (CVD), sehingga teori umum “lebih aktif = lebih sehat” perlu dikontekstualisasi pada tenaga kerja pertanian yang melakukan tugas fisik panjang dan repetitif.² Penjelasan mekanistik untuk perbedaan domain ini melibatkan beban kardiovaskular kronis tanpa pemulihan yang adekuat dan tanda-tanda peradangan sistemik pada OPA berat, yang ditengarai berkontribusi pada *physical activity*

paradox.³

Pekerja lapangan sering mengekspos diri pada gabungan beban fisik tinggi dan panas lingkungan yang dapat menimbulkan *strain* kardiometabolik akut (contohnya peningkatan denyut jantung, viskositas darah, stres oksidatif) serta menurunnya kapasitas pemulihan, mekanisme ini menjelaskan peningkatan kerentanan kardiovaskular di tengah gelombang panas yang intensif akibat perubahan iklim.^{3,4} Selain itu, bukti epidemiologis di kawasan agraris menunjukkan hubungan antara paparan panas berulang dan *chronic kidney disease* (CKD) serta gangguan elektrolit yang dapat berinteraksi negatif dengan sistem kardiometabolik, menjadikan *heat stress* sebagai faktor kerja utama yang perlu diintegrasikan dalam penelitian kesehatan kardiometabolik agraris.⁵ Dengan demikian, kombinasi OPA berat dan paparan panas memperbesar kemungkinan efek pro-inflamasi dan disfungsi metabolik yang tidak tersamarakan oleh sekadar “tingginya pengeluaran energi”.^{3,5}

Paparan pestisida yang berpotensi sebagai *endocrine-disrupting chemicals* (EDCs) dilaporkan mampu mengubah regulasi hormon, metabolisme lipid dan glukosa, serta jalur epigenetik yang terkait obesitas dan resistensi insulin, semua mekanisme yang relevan dengan homeostasis kardiometabolik.⁶ Tinjauan sistematis terbaru menunjukkan bukti eksperimental dan observasional bahwa beberapa senyawa (*chlorpyrifos* dan beberapa piretroid) mampu memodulasi adipogenesis dan fungsi insulin, sehingga paparan kronis atau perinatal dalam konteks pertanian dapat meningkatkan kerentanan metabolik di komunitas agraris.⁶ Oleh karena itu, paparan kimiawi di lahan pertanian bukan sekadar masalah toksisitas akut, tetapi juga faktor pemodifikasi jangka panjang dari profil kardiometabolik populasi pekerja pertanian, sebuah jalur yang harus dibawa masuk ke

dalam tinjauan aktivitas fisik dan heat stress untuk memperoleh gambaran holistik.^{1,6}

Mengacu pada kerangka *exposome* dan temuan empiris di atas, review ini akan mensintesis bukti mekanistik (biomarker inflamasi, fungsi endotel, regulasi insulin), temuan epidemiologis (insiden CVD, CKD, obesitas), serta rekomendasi kebijakan dan klinis untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai interaksi antara aktivitas fisik kerja, stres panas, dan paparan agrokimia dalam memengaruhi homeostasis kardiometabolik pekerja pertanian. Melalui sintesis tersebut, tinjauan literatur ini bertujuan menghasilkan kerangka konseptual yang mampu menjelaskan mekanisme multipaparan dalam konteks pertanian modern sekaligus mengidentifikasi prioritas riset dan strategi intervensi yang dapat diuji secara prospektif pada populasi agraris. Hasil tinjauan literatur ini diharapkan memberi kontribusi teoretis dan praktis, yaitu menyajikan integrasi fisiologi kardiometabolik dan agromedicine sebagai dasar rekomendasi pencegahan terpadu yang relevan untuk era perubahan iklim dan praktik pertanian modern.¹

Metode

Tinjauan literatur ini menggunakan desain *literature review* berbasis pedoman PRISMA 2020 untuk mengevaluasi hubungan antara aktivitas fisik, homeostasis kardiometabolik, beban kerja pertanian, paparan panas, dan pemajanan *agrochemical* pada pekerja pertanian. Penelusuran literatur dilakukan pada basis data *Scopus*, *PubMed*, *ScienceDirect*, dan *Google Scholar* dengan rentang publikasi 2023-2025, menggunakan kombinasi kata kunci seperti *physical activity*, *cardiometabolic*, *agricultural workers*, *heat stress*, dan *pesticide exposure*. Kriteria inklusi meliputi artikel *full-text* yang meneliti populasi pekerja pertanian, mengukur variabel fisiologis atau kardiometabolik secara kuantitatif, serta

terbit pada jurnal bereputasi. Kriteria eksklusi mencakup studi hewan, artikel non-ilmiah, laporan singkat, atau tinjauan yang tidak membahas integrasi faktor fisiologis dan paparan lingkungan. Hasil penelusuran awal memperoleh 287 artikel yang terdiri atas artikel dari *Scopus*, *PubMed*, *ScienceDirect*, dan *Google Scholar*. Setelah penghapusan 41 artikel duplikat, diperoleh 246 artikel untuk proses penyaringan berdasarkan judul dan abstrak. Sebanyak 201 artikel dieksklusi karena tidak sesuai dengan topik penelitian, tidak melibatkan populasi pekerja pertanian, atau tidak membahas parameter fisiologis maupun kardiometabolik yang relevan. Selanjutnya, 45 artikel ditelaah secara penuh (*full-text review*). Dari jumlah tersebut, 31 artikel dieksklusi karena tidak memenuhi kriteria inklusi, berupa studi hewan, artikel non-ilmiah, laporan singkat, atau tidak membahas integrasi faktor fisiologis dan paparan lingkungan. Proses seleksi menghasilkan 14 artikel yang memenuhi kriteria dan diikutsertakan dalam sintesis akhir. Sintesis dilakukan secara naratif untuk mengidentifikasi pola hubungan fisiologis dan mekanisme integratif yang relevan dalam konteks fisiologi medis dan *agromedicine*.

Hasil

Bagian hasil dari tinjauan literatur ini meliputi pemaparan karakteristik utama dari empat belas artikel ilmiah terpilih berdasarkan relevansinya terhadap tiga komponen fisiologis utama yang menjadi fokus analisis, yaitu aktivitas fisik pekerja pertanian, respons kardiometabolik, serta pengaruh faktor lingkungan kerja termasuk paparan panas dan *agrochemical*. Sehingga keseluruhan temuan ini membentuk landasan analisis integratif dalam kerangka konseptual *literature review*.

Tabel 1. Hasil *Literature Review*

No	Studi	Fokus Studi	Populasi / Metode	Temuan Utama	Mekanisme Fisiologis yang Relevan
1	Kazemi <i>et al.</i> , 2024	OPA vs risiko CVD	Meta-analisis 29 kohort	OPA tidak protektif; meningkatkan risiko CVD	Stres fisiologis kronis → aktivasi simpatis → inflamasi vaskular
2	Jordakieva <i>et al.</i> , 2023	OPA & inflamasi sistemik	Review klinis	OPA intens meningkatkan CRP, IL-6	Aktivasi inflamasi kronis → resistensi insulin
3	Pérez-Bermejo <i>et al.</i> , 2024	Pestisida & obesitas	<i>Systematic review</i>	EDC meningkatkan adipogenesis & resistensi insulin	Disrupsi endokrin → gangguan metabolisme lipid & glukosa
4	Kazi <i>et al.</i> , 2024	Panas & kardiovaskular	<i>Systematic review</i>	Panas ekstrem menaikkan HR, BP, risiko aritmia	Vasodilatasi perifer → peningkatan cardiac strain
5	Rao <i>et al.</i> , 2023	Panas & CKDu	<i>Review</i>	Paparan panas berulang picu dehidrasi	Pengentalan darah → ketidakseimbangan elektrolit → gangguan tekanan darah
6	Lucas <i>et al.</i> , 2023	Heat strain pada pekerja tebu	Studi lapangan	HR meningkat 20–30 bpm saat kerja berat	Dehidrasi → penurunan perfusi → stres kardiovaskular
7	He <i>et al.</i> , 2024	Mitokondria & EDC	<i>Experimental</i>	EDC menurunkan ATP mitokondria & meningkatkan ROS	Disfungsi energi → inflamasi → gangguan metabolik
8	Cremonini <i>et al.</i> , 2023	Sindrom metabolik pada petani	<i>Cross-sectional</i>	Prevalensi MS 2–3× lebih tinggi pada petani	Pajanan pestisida → resistensi insulin & dislipidemia
9	de Souza <i>et al.</i> , 2024	Panas × pestisida	<i>Experimental</i>	Co-exposure memperburuk kerusakan endotel	Synergistic vascular toxicity → peningkatan ROS
10	Arab <i>et al.</i> , 2023	Pestisida & biomarker metabolik	<i>Systematic review</i>	Pajanan organofosfat ↑ HOMA-IR, TG, CRP	Hambatan enzim metabolik → inflamasi
11	Zanchi <i>et al.</i> , 2024	Stres oksidatif petani	<i>Clinical</i>	Pekerja dengan paparan kronis memiliki ROS tinggi	Stres oksidatif → disfungsi seluler & inflamasi
12	Dias <i>et al.</i> , 2023	Cardiovascular load	<i>Review</i>	Aktivitas agraris memicu spikes HR & BP	Overload hemodinamik → hipoperfusi
13	Hansson <i>et al.</i> , 2024	Intervensi hidrasi	Intervensi	Rehidrasi menurunkan HR, Hct	Homeostasis cairan → pemulihan cardiovascular load

No	Studi	Fokus Studi	Populasi / Metode	Temuan Utama	Mekanisme Fisiologis yang Relevan
14	Warner <i>et al.</i> , 2024	Pestisida & insulin sensitivity	<i>Cohort panel</i>	Peningkatan konsentrasi pestisida = penurunan sensitivitas insulin	Disrupsi reseptor insulin

Pembahasan

Hasil sintesis terhadap empat belas studi dalam *literature review* ini menunjukkan bahwa kesehatan kardiometabolik pekerja pertanian dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara aktivitas fisik kerja berintensitas tinggi, paparan panas ekstrem, serta paparan pestisida yang bersifat disruptif terhadap sistem endokrin. Aktivitas fisik pekerjaan (*Occupational Physical Activity/OPA*) tidak memiliki sifat protektif seperti aktivitas fisik waktu luang, bahkan dapat meningkatkan risiko penyakit kardiovaskular akibat tekanan fisiologis berulang yang mengaktifasi sistem saraf simpatis dan memicu inflamasi. Selain itu, OPA berat diketahui meningkatkan biomarker inflamasi seperti CRP dan IL-6 sehingga menciptakan lingkungan fisiologis yang kondusif bagi resistensi insulin dan disfungsi endotel. Temuan tersebut menunjukkan bahwa beban kerja agraris bukan sekadar aktivitas fisik, melainkan suatu bentuk *chronic physiological stressor* yang memodifikasi risiko metabolik melalui jalur inflamasi sistemik.^{2,3}

Di sisi lain, paparan panas ekstrem yang menjadi bagian inheren dari pekerjaan pertanian juga berperan signifikan dalam meningkatkan beban kardiometabolik. Paparan panas lingkungan dapat menyebabkan peningkatan denyut jantung, tekanan darah, dan risiko aritmia melalui mekanisme vasodilatasi perifer yang meningkatkan *cardiac strain*. Paparan panas berulang juga dapat memicu dehidrasi kronis, pengentalan darah, serta disrupsi elektrolit yang berpotensi mengganggu perfusi ginjal dan regulasi tekanan darah. Dalam konteks kerja

lapangan, pekerja tebu dilaporkan mengalami peningkatan denyut jantung sebesar 20-30 bpm selama aktivitas berat di bawah suhu lingkungan yang tinggi, menunjukkan adanya peningkatan beban hemodinamik yang bermakna secara klinis. Temuan ini memperkuat pemahaman bahwa panas tidak hanya menjadi faktor risiko tambahan, tetapi juga memperkuat jalur patofisiologis yang telah diaktivasi oleh OPA.^{4,5,7}

Selain stres fisik dan termal, paparan pestisida menjadi faktor penting yang memperburuk homeostasis metabolik pekerja. Pestisida diketahui dapat bertindak sebagai *endocrine-disrupting chemicals* (EDCs) yang mendorong adipogenesis dan resistensi insulin melalui gangguan sinyal hormonal. Paparan organofosfat juga dikaitkan dengan peningkatan nilai HOMA-IR, trigliserida, dan CRP. Pada tingkat molekuler, pestisida dapat menyebabkan disfungsi mitokondria, menurunkan produksi ATP, serta meningkatkan pembentukan *reactive oxygen species* (ROS), sehingga memperburuk stres oksidatif dan inflamasi metabolik. Relevansi klinis fenomena tersebut diperkuat oleh temuan bahwa peningkatan kadar pestisida dalam darah berkorelasi dengan penurunan sensitivitas insulin pada komunitas agraris.^{6,8,9,10}

Faktor yang perlu mendapat perhatian khusus adalah potensi sinergisme antara paparan panas dan pestisida. Paparan panas dapat meningkatkan toksisitas pestisida dan mempercepat kerusakan endotel melalui peningkatan produksi ROS serta gangguan fungsi vaskular. Kondisi ini menunjukkan bahwa pekerja pertanian yang bekerja di bawah suhu lingkungan tinggi sambil terpapar

residu pestisida menghadapi risiko yang tidak hanya bersifat aditif, tetapi juga sinergis. Konsep tersebut sejalan dengan kerangka *exposome*, yang menjelaskan bahwa interaksi berbagai paparan lingkungan dapat menghasilkan dampak biologis yang lebih besar dibandingkan efek masing-masing paparan secara terpisah.¹¹

Efek kumulatif dari OPA berat, paparan panas, dan pestisida tercermin pada peningkatan stres oksidatif serta gangguan metabolik pada pekerja pertanian. Paparan kronis terhadap faktor-faktor tersebut dikaitkan dengan peningkatan ROS yang signifikan, memperkuat peran sentral jalur inflamasi dan stres oksidatif dalam patogenesis gangguan metabolik. Selain itu, prevalensi sindrom metabolik pada komunitas petani dilaporkan lebih tinggi dibandingkan populasi umum, menunjukkan bahwa akumulasi paparan di lingkungan kerja berkontribusi terhadap beban penyakit yang nyata pada tingkat populasi.^{12,13}

Walaupun berbagai faktor risiko dapat memperburuk homeostasis metabolik, beberapa intervensi telah menunjukkan potensi mitigasi. Program *rest-shade-hydration* (RSH) terbukti efektif dalam menurunkan denyut jantung dan hematokrit pada pekerja, yang menunjukkan terjadinya perbaikan *cardiovascular load* melalui stabilisasi homeostasis cairan. Namun demikian, pendekatan ini belum cukup untuk mengatasi dampak metabolik yang ditimbulkan oleh paparan pestisida maupun tekanan inflamasi akibat OPA yang berlangsung kronis.^{14,15}

Secara keseluruhan, risiko kardiometabolik pada pekerja pertanian merupakan hasil interaksi kompleks antara faktor fisik, lingkungan, dan kimia yang bekerja melalui jalur inflamasi, stres oksidatif, disfungsi mitokondria, serta gangguan endotel. Oleh karena itu, strategi pencegahan yang efektif perlu dilakukan secara multidimensional melalui pengelolaan beban kerja, perlindungan terhadap paparan panas, pengurangan paparan pestisida, pemantauan biomarker

metabolik, serta penguatan regulasi penggunaan bahan kimia yang berpotensi bertindak sebagai EDC di sektor pertanian.

Kesimpulan

Tinjauan literatur ini menunjukkan bahwa homeostasis kardiometabolik pada pekerja pertanian dipengaruhi oleh interaksi multidimensional antara aktivitas fisik kerja, paparan panas, dan paparan pestisida. Sintesis bukti yang tersedia mengindikasikan bahwa ketiga faktor tersebut berkontribusi terhadap peningkatan risiko kardiometabolik melalui jalur inflamasi, stres oksidatif, disfungsi mitokondria, gangguan endotel, dan disregulasi metabolisme glukosa. Selain itu, *co-exposure* panas dan pestisida berpotensi menimbulkan efek sinergis yang memperkuat dampak fisiologis terhadap sistem kardiometabolik. Sehingga penting untuk mempertimbangkan interaksi berbagai paparan lingkungan dan pekerjaan dalam memahami mekanisme yang mendasari gangguan homeostasis kardiometabolik pada populasi pekerja pertanian.

Daftar Pustaka

1. Daher B. Food for thought: Nourishing cardiovascular health amidst the exposome. *Methodist Debaque Cardiovasc J.* 2024;20(5):27-36. <https://doi.org/10.14797/mdcvj.1452>
2. Kazemi A, Soltani S, Aune D, Hosseini E, Mokhtari Z, Hassanzadeh Z, Akhlaghi M. Leisure-time and occupational physical activity and risk of cardiovascular disease incidence: A systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2024;21:45. <https://doi.org/10.1186/s12966-024-01593-8>
3. Jordakieva G, Hasenoehrl T, Steiner M, Jensen-Jarolim E, Crevenna R. Occupational physical activity: The good, the bad, and the pro-inflammatory. *Front Med (Lausanne).* 2023;10:1253951. <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1253951>

4. Kazi DS, Katznelson E, Liu CL, et al. Climate change and cardiovascular health: A systematic review. *JAMA Cardiol.* 2024;9(8):748-757. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2024.1321>
5. Rao IR, Bangera A, Nagaraju SP, Shenoy SV, Prabhu RA, Rangaswamy D, et al. Chronic kidney disease of unknown aetiology: A comprehensive review of a global public health problem. *Trop Med Int Health.* 2023;28(8):588-600. <https://doi.org/10.1111/tmi.13913>
6. Pérez-Bermejo M, Barrezueta-Aguilar C, Pérez-Murillo J, Ventura I, Legidos-García ME, Tomás-Aguirre F, et al. Impact of endocrine-disrupting pesticide use on obesity: A systematic review. *Biomedicines.* 2024;12(12):2677. <https://doi.org/10.3390/biomedicines12122677>
7. Lucas RAI, Skinner BD, Arias-Monge E, Jakobsson K, Wesseling C, Weiss I, et al. Targeting workload to ameliorate risk of heat stress in industrial sugarcane workers. *Scand J Work Environ Health.* 2023;49(1):43-52. <https://doi.org/10.5271/sjweh.4057>
8. Arab A, Mostafalou S. Pesticides and insulin resistance-related metabolic diseases: Evidences and mechanisms. *Pestic Biochem Physiol.* 2023;195:105521. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2023.105521>
9. He K, Chen R, Xu S, Ding Y, Wu Z, Bao M, et al. Environmental endocrine disruptor-induced mitochondrial dysfunction: A potential mechanism underlying diabetes and its complications. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2024;14:1422752. <https://doi.org/10.3389/fendo.2024.1422752>
10. Warner M, Rauch S, Eskenazi B, Calderon L, Gunier RB, Kogut K, Holland N, Guo W, Deardorff J, Torres JM. Persistent organochlorine pesticides and cardiometabolic outcomes among middle-aged Latina women in a California agricultural community: The CHAMACOS Maternal Cognition Study. *Environ Int.* 2025;196:109302. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109302>
11. de Souza SS, Silva JHO, et al. Effects of climate change and mixtures of pesticides on organismal physiology and health: Experimental and ecotoxicological evidence. *Sci Total Environ.* 2024;922:171379. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171379>
12. Zanchi MM, Marafon F, Marins K, Bagatini MD, Zamoner A. Redox imbalance and inflammation: A link to depression risk in Brazilian pesticide-exposed farmers. *Toxicology.* 2024;153706. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2023.153706>
13. Cremonini ACP, Ferreira JRS, Martins CA, do Prado CB, Petarli GB, Cattafesta M, et al. Metabolic syndrome and associated factors in farmers in southeastern Brazil: A cross-sectional study. *Int J Environ Res Public Health.* 2023;20(14):6328. <https://doi.org/10.3390/ijerph20146328>
14. Hansson E, Jakobsson K, Glaser J, Wesseling C, Lucas RAI, Wegman DH, et al. Impact of heat and a rest-shade-hydration (RSH) intervention on productivity of piece-paid industrial agricultural workers at risk of CKDnt. *Ann Work Expo Health.* 2024;68(4):366-375. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxae007>
15. Dias M, Silva L, Folgado D, et al. Cardiovascular load assessment in the workplace: Methods, biomarkers and implications for prevention. *Int J Ind Ergon.* 2023;96:103476. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2023.103476>