



## PENGARUH PAPARAN ASAP OBAT NYAMUK BAKAR TERHADAP KADAR ESTROGEN DAN KUALITAS SPERMATOZOA PADA MENCIT (*Mus musculus*)

Submitted: 14 Februari 2026

Edited: 9 April 2026

Accepted: 22 Mei 2026

Eka Desnita<sup>1</sup>, Almahdy Almahdy<sup>2</sup>, Yufri Aldi<sup>3</sup>, Fatma Sri Wahyuni<sup>4</sup>, Dachriyanus<sup>5</sup>,  
Rama Feriska Putra<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Fakultas Farmasi, Universitas Andalas, Padang

<sup>1,6</sup> Prodi Farmasi Klinis, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Baiturrahmah, Padang  
Email: [desnitaeka@gmail.com](mailto:desnitaeka@gmail.com)

### ABSTRAK

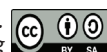
Penggunaan obat nyamuk bakar berbahan aktif piretroid masih luas di lingkungan rumah tangga dan berpotensi menimbulkan dampak terhadap sistem reproduksi akibat paparan asap hasil pembakaran. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh paparan asap obat nyamuk bakar terhadap kualitas spermatozoa dan kadar estrogen serum. Penelitian eksperimental dilakukan pada *Mus musculus* yang dibagi menjadi kelompok kontrol dan kelompok paparan. Parameter yang diamati meliputi konsentrasi spermatozoa, morfologi spermatozoa, dan kadar estrogen serum, kemudian dianalisis secara statistik untuk menentukan perbedaan antar kelompok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa paparan asap obat nyamuk bakar secara signifikan menurunkan konsentrasi spermatozoa dan meningkatkan persentase morfologi abnormal dibandingkan kelompok kontrol ( $p < 0,05$ ). Kadar estrogen serum pada kelompok paparan menunjukkan kecenderungan menurun, namun tidak berbeda signifikan secara statistik ( $p > 0,05$ ). Disimpulkan bahwa paparan asap obat nyamuk bakar berbasis piretroid berpotensi menurunkan kualitas spermatozoa dan memengaruhi regulasi hormonal. Temuan ini mengindikasikan adanya risiko gangguan fungsi reproduksi akibat paparan insektisida rumah tangga secara kronis.

**Kata Kunci :** obat nyamuk bakar, piretroid, Mencit, kualitas spermatozoa, estrogen, reproduksi

### ABSTRACT

*Mosquito coils containing synthetic pyrethroids are widely used in households and may pose reproductive health risks due to inhalation of combustion smoke. This study aimed to evaluate the effects of mosquito coil smoke exposure on sperm quality and serum estrogen levels. An experimental study was conducted using *Mus musculus* divided into control and exposure groups. The observed parameters included sperm concentration, sperm morphology, and serum estrogen levels, which were statistically analyzed to determine differences between groups. The results demonstrated that mosquito coil smoke exposure significantly decreased sperm concentration and increased abnormal sperm morphology compared to the control group ( $p < 0.05$ ). A decreasing trend in serum estrogen levels was observed in the exposure group; however, the difference was not statistically significant ( $p > 0.05$ ). In conclusion, exposure to mosquito coil smoke containing synthetic pyrethroids may impair sperm quality and influence hormonal regulation. These findings suggest a potential risk of reproductive dysfunction associated with chronic household insecticide exposure.*

**Keywords :** mosquito coil smoke, pyrethroids, mice, sperm quality, estrogen, reproduction



## PENDAHULUAN

Paparan asap obat nyamuk bakar merupakan salah satu sumber polutan udara dalam ruangan yang umum terjadi di lingkungan rumah tangga, terutama di wilayah tropis. Pembakaran obat nyamuk menghasilkan berbagai polutan, termasuk *particulate matter with a diameter*  $\leq 2.5 \mu\text{m}$  (PM<sub>2.5</sub>) dan senyawa organik volatil berbahaya yang dapat melebihi standar kualitas udara dan berdampak negatif terhadap kesehatan manusia. Beberapa studi menunjukkan bahwa inhalasi asap mosquito coil dapat menyebabkan stres oksidatif dan perubahan histopatologi pada organ vital hewan percobaan<sup>(1)</sup>.

Asap obat nyamuk bakar biasanya mengandung piretroid sintetis seperti allethrin, yang efektif sebagai insektisida, tetapi termasuk dalam kelompok *endocrine disrupting chemicals* (EDCs) yang berpotensi mengganggu keseimbangan hormon reproduksi<sup>(2,3,4)</sup>. Paparan pyrethroid dapat memengaruhi sumbu *hipotalamus-pituitari-gonad* (HPG), menghambat sintesis steroid, dan mengganggu regulasi hormon seks melalui mekanisme kompleks yang melibatkan reseptor hormonal serta sinyal endokrin<sup>(4,5)</sup>.

Hasil penelitian pada model hewan menunjukkan bahwa paparan pyrethroid berdampak negatif pada parameter sperma jantan, termasuk penurunan jumlah sperma, motilitas, dan morfologi abnormal, serta perubahan berat organ reproduktif dan kadar testosteron<sup>(6,7)</sup>. Bukti epidemiologis pada manusia juga menunjukkan bahwa paparan pyrethroid dapat berhubungan dengan penurunan kualitas sperma, meskipun hasilnya bersifat bervariasi antar populasi<sup>(4)</sup>.

Selain itu, gangguan hormonal akibat paparan *endocrine disrupting chemicals* (EDCs) tidak hanya berdampak pada sistem reproduksi jantan, tetapi juga dapat mengubah kadar hormon seks betina seperti estradiol dan progesteron pada mamalia, menunjukkan potensi gangguan endokrin secara luas<sup>(3,5)</sup>.

Meskipun banyak studi telah mengevaluasi pengaruh paparan bahan kimia lingkungan terhadap sistem reproduksi secara individual, masih terbatas penelitian yang menilai secara simultan hubungan antara paparan asap obat nyamuk bakar dengan perubahan hormonal dan kualitas spermatozoa pada model mencit jantan. Oleh karena itu, diperlukan kajian komprehensif

untuk memahami hubungan ini secara lebih holistik.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki dampak paparan asap obat nyamuk bakar terhadap kadar hormon estrogen serta parameter kualitas spermatozoa mencit jantan (*Mus musculus*). Evaluasi simultan kedua parameter ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai efek paparan asap obat nyamuk bakar terhadap kesehatan reproduksi serta kontribusinya terhadap literatur ilmiah yang masih terbatas.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental sejati dengan desain posttest-only control group design. Perlakuan diberikan kepada kelompok paparan, dan pengukuran dilakukan setelah intervensi. Penelitian ini telah mendapatkan persetujuan Komite Etika Fakultas Farmasi Universitas Andalas.

### Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan meliputi kandang mencit, tempat pakan dan minum, ruang pajanan (exposure chamber), perangkat bedah (dissecting kit), mikroskop cahaya binokuler, cawan petri, mikropipet, tabung mikrosentrifus, refrigerated centrifuge, dan ELISA reader. Bahan penelitian meliputi mencit (*Mus musculus*) jantan dan betina, pakan standar, air minum, obat nyamuk bakar berbahan aktif pyrethroid, ketamin (0,1 ml/kgBB), alkohol 70%, larutan phosphate-buffered saline (PBS), pewarna spermatozoa, serta kit ELISA estrogen dan testosteron.

### Persiapan Hewan Uji

Penelitian menggunakan mencit (*Mus musculus*) yang dikelompokkan berdasarkan jenis kelamin. Kelompok jantan terdiri dari 10 ekor (5 kontrol, 5 perlakuan) untuk evaluasi spermatozoa dan testosteron, sedangkan kelompok betina digunakan untuk analisis kadar estrogen. Seluruh subjek menjalani aklimatisasi 7 hari untuk meminimalkan stres lingkungan<sup>(6,7)</sup>. Kelompok kontrol dipelihara tanpa paparan, sementara kelompok perlakuan diberikan asap obat nyamuk bakar 8 jam/hari selama 15 hari untuk mensimulasikan kondisi rumah tangga<sup>(1,7)</sup>. Paparan ini bertujuan mengevaluasi efek pyrethroid sebagai *endocrine disrupting chemicals* (EDCs) terhadap sistem reproduksi

(2,3). Seluruh prosedur dilakukan dengan pengendalian suhu dan kelembaban ruangan untuk meminimalkan pengaruh faktor lingkungan pada integritas sel reproduktif (7). Evaluasi dilakukan setelah 15 hari, mencakup kualitas spermatozoa pada jantan dan kadar hormon estrogen pada betina.

### Pemeriksaan Spermatozoa

Parameter kualitas spermatozoa meliputi motilitas, viabilitas, dan morfologi,

Rumus perhitungan:

Perhitungan Jumlah Sperma :

$$\text{Jumlah sperma} = (\text{jumlah sperma yang dihitung} : 10) \times 1.000.000$$

Perhitungan Persentase Morfologi Sperma :

$$\text{Morfologi normal (\%)} = \frac{\text{Normal}}{\text{Normal} + \text{Abnormal}} \times 100\%$$

### Pemeriksaan Estrogen

Sampel darah dikumpulkan dan disentrifugasi pada 5.000 rpm selama 15 menit pada 4 °C untuk memperoleh serum (10). Kadar estrogen diukur menggunakan metode enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) atau protokol LC-MS/MS sesuai prosedur kit dan literatur standar. Pembacaan absorbansi dilakukan pada panjang gelombang 450 nm menggunakan ELISA reader (10,11,12).

### Analisis Data

Data dianalisis menggunakan SPSS. Uji normalitas dilakukan dengan Shapiro–Wilk dan homogenitas dengan Levene. Perbedaan antar kelompok dianalisis menggunakan *Independent T-test* atau *Mann–*

diamati menggunakan mikroskop cahaya pada perbesaran 400× (6). Pengambilan sampel dilakukan setelah pembiusan ketamin (0,1 ml/kgBB, i.m.), kemudian diseksi vas deferens dan cauda epididimis untuk pengambilan sperma menggunakan teknik *epididymal sperm aspiration* (8).

Sperma yang diperoleh disuspensikan dalam 1 ml phosphate buffered saline (PBS), kemudian dihitung konsentrasinya sesuai panduan WHO untuk analisis semen (9).

*Whitney*. Korelasi antara kadar hormon dan kualitas sperma dianalisis menggunakan korelasi Pearson. Nilai  $p < 0,05$  dianggap signifikan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Spermatozoa

Hasil analisis menunjukkan adanya perbedaan parameter kualitas spermatozoa antara kelompok kontrol dan kelompok paparan asap obat nyamuk bakar (Tabel 1). Konsentrasi spermatozoa pada kelompok kontrol adalah  $29,98 \pm 1,81$  juta/mL, sedangkan pada kelompok paparan menurun menjadi  $20,74 \pm 1,09$  juta/mL. Uji *t* independen menunjukkan perbedaan yang signifikan antara kedua kelompok ( $p < 0,001$ ).

**Tabel 1.** Profil Kualitas Spermatozoa Mencit (*Mus musculus*) pada Kelompok Kontrol dan Perlakuan

Parameter	Kontrol Mean ± SD	Paparan Mean ± SD	p-value
Konsentrasi spermatozoa (juta/mL)	29,98 ± 1,81	20,74 ± 1,09	< 0,001
Morfologi normal (skor)	20,40 ± 3,05	18,60 ± 4,16	0,460
Morfologi abnormal (skor)	3,60 ± 0,89	7,00 ± 1,22	0,001
Proteksi morfologi (%)	81,37	62,36	–

Ket.: Data disajikan sebagai mean ± SD dari 5 ulangan (n = 5). Nilai  $p < 0,05$  dianggap signifikan.

Pada parameter morfologi, jumlah spermatozoa dengan morfologi normal pada kelompok kontrol sebesar  $20,40 \pm 3,05$ , sedangkan pada kelompok paparan sebesar  $18,60 \pm 4,16$ . Hasil uji statistik menunjukkan bahwa perbedaan tersebut tidak signifikan secara statistik ( $p = 0,460$ ). Sebaliknya, jumlah spermatozoa dengan morfologi abnormal meningkat secara signifikan pada kelompok paparan ( $7,00 \pm 1,22$ ) dibandingkan kelompok kontrol ( $3,60 \pm 0,89$ ) ( $p = 0,001$ ). Persentase proteksi morfologi menunjukkan nilai yang lebih tinggi pada kelompok kontrol (81,37%) dibandingkan kelompok paparan (62,36%), yang mengindikasikan penurunan integritas morfologi spermatozoa akibat paparan asap obat nyamuk bakar.

Paparan asap obat nyamuk bakar pada penelitian ini terbukti menurunkan kualitas spermatozoa mencit jantan, khususnya pada parameter konsentrasi dan morfologi abnormal. Temuan ini menunjukkan bahwa komponen kimia dalam asap obat nyamuk bakar, terutama piretroid sintetik, memiliki potensi toksik terhadap sistem reproduksi jantan. Piretroid telah dilaporkan dapat mengganggu spermatogenesis melalui induksi stres oksidatif dan gangguan regulasi hormonal pada sumbu hipotalamus–pituitari–gonad (HPG) <sup>(2,6)</sup>.

Penurunan kualitas spermatozoa pada kelompok paparan dapat dikaitkan dengan peningkatan spesies oksigen reaktif (ROS) di jaringan testis, yang menyebabkan peroksidasi lipid membran sel, kerusakan DNA sperma, serta apoptosis sel germinal. Stres oksidatif diketahui merupakan salah satu mekanisme utama gangguan fertilitas pria akibat paparan toksikan lingkungan <sup>(13)</sup>. Selain itu, piretroid dilaporkan dapat menghambat aktivitas enzim steroidogenik pada sel Leydig, sehingga menurunkan sintesis testosteron yang berperan penting dalam proses spermatogenesis <sup>(2)</sup>.

Pada parameter morfologi, peningkatan jumlah spermatozoa abnormal menunjukkan adanya gangguan pada proses diferensiasi dan pematangan sperma. Kelainan morfologi sperma dapat terjadi akibat kerusakan struktural pada kepala, midpiece, dan ekor spermatozoa yang disebabkan oleh efek

genotoksik dan sitotoksik senyawa kimia. Beberapa penelitian melaporkan bahwa paparan polutan lingkungan dan insektisida dapat meningkatkan abnormalitas morfologi sperma melalui kerusakan kromatin dan membran plasma sperma <sup>(14)</sup>.

Temuan ini juga didukung oleh penelitian eksperimental terbaru yang menunjukkan bahwa paparan campuran pyrethroid dapat menyebabkan penurunan fertilitas dan gangguan fungsi reproduksi jantan melalui mekanisme stres oksidatif, disfungsi sel germinal, serta perubahan regulasi gen yang terlibat dalam spermatogenesis. Priyanka et al. melaporkan bahwa paparan campuran pyrethroid pada model tikus menyebabkan penurunan jumlah dan kualitas sperma, serta gangguan fungsi reproduksi yang konsisten dengan efek toksik pada sistem reproduksi jantan <sup>(15)</sup>.

Penurunan integritas morfologi spermatozoa pada kelompok paparan juga menunjukkan bahwa asap obat nyamuk bakar dapat bertindak sebagai faktor risiko gangguan kualitas semen. Asap pembakaran obat nyamuk mengandung partikel halus dan senyawa organik volatil yang diketahui dapat memicu inflamasi sistemik dan stres oksidatif, yang berkontribusi terhadap penurunan kualitas semen baik pada hewan model maupun manusia <sup>(16)</sup>. Oleh karena itu, paparan asap obat nyamuk bakar dalam jangka panjang berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan reproduksi jantan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini mendukung bukti bahwa paparan insektisida rumah tangga berbasis piretroid dapat bertindak sebagai *endocrine disrupting chemicals* (EDCs) yang mengganggu spermatogenesis dan integritas struktural spermatozoa. Temuan ini memiliki implikasi penting terhadap kesehatan reproduksi, khususnya pada populasi yang terpapar asap obat nyamuk bakar secara kronis di lingkungan rumah tangga.

### **Esterogen**

Kadar estrogen serum mencit betina pada kelompok kontrol adalah  $1075,65 \pm 44,94$  ng/L, sedangkan pada kelompok paparan asap obat nyamuk bakar sebesar

929,05 ± 193,29 ng/L (Tabel 2). Hasil uji Independent T-test menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara kedua kelompok (p = 0,137).

Meskipun demikian, terdapat kecenderungan penurunan kadar estrogen pada kelompok perlakuan dibandingkan kelompok kontrol, dengan selisih rerata sebesar 146,6 ng/L.

**Tabel 2.** Perbandingan Kadar Estrogen Serum Mencit pada Kelompok Kontrol dan Paparan Asap Obat Nyamuk Bakar

Parameter	Kelompok Kontrol (n = 5)	Kelompok Paparan (n = 5)	Nilai p
Kadar estrogen (ng/L)	1075,65 ± 44,94	929,05 ± 193,29	0,137

Hasil penelitian ini menunjukkan kecenderungan penurunan kadar estrogen pada mencit yang terpapar asap obat nyamuk bakar dibandingkan kelompok kontrol, meskipun perbedaan tidak mencapai signifikan secara statistik. Temuan ini selaras dengan bukti bahwa paparan *endocrine disrupting chemicals* (EDCs), termasuk golongan pyrethroid, dapat mengganggu homeostasis hormon seks melalui berbagai mekanisme molekuler dan fisiologis<sup>(17,18)</sup>. Paparan pyrethroid diketahui dapat mengganggu jalur steroidogenesis di ovarium, yaitu proses sintesis hormon steroid yang melibatkan enzim-enzim kunci seperti aromatase (CYP19A1) yang berperan dalam konversi androgen menjadi estrogen. Dalam penelitian eksperimental, paparan cypermethrin jangka panjang pada dosis relevan lingkungan menyebabkan insufisiensi ovarium primer disertai penurunan kadar estrogen serum<sup>(17)</sup>. Selain itu, pyrethroid juga dilaporkan dapat berinteraksi dengan reseptor estrogen dan memodulasi *molecular initiating events* pada jalur estrogenik<sup>(19)</sup>.

Bukti epidemiologis pada manusia turut mendukung adanya gangguan hormonal akibat paparan pyrethroid. Studi berbasis populasi menunjukkan adanya hubungan antara biomarker paparan pyrethroid dalam urin dengan perubahan kadar hormon steroid seks pada orang dewasa<sup>(4)</sup>. Meskipun konteksnya berbeda dengan model hewan, hasil tersebut mengindikasikan bahwa senyawa ini dapat memengaruhi regulasi hormonal secara sistemik. Selain gangguan langsung pada enzim steroidogenik, mekanisme lain yang dilaporkan adalah efek terhadap perkembangan folikel ovarium. Penelitian oleh Song et al. menunjukkan bahwa paparan campuran beberapa

jenis pyrethroid pada model tikus betina menyebabkan gangguan perkembangan folikel ovarium, peningkatan apoptosis sel granulosa, serta penurunan kadar estrogen. Studi tersebut juga menemukan perubahan ekspresi *microRNA* yang berperan dalam regulasi gen-gen yang terlibat dalam fungsi ovarium dan steroidogenesis<sup>(20)</sup>. Temuan ini menunjukkan bahwa efek pyrethroid tidak hanya terjadi pada tingkat biokimia enzimatik, tetapi juga melibatkan regulasi genetik yang lebih kompleks.

Secara umum, tinjauan komprehensif mengenai toksisitas pyrethroid menyebutkan bahwa paparan kronis dosis rendah dapat menimbulkan gangguan sistem reproduksi melalui stres oksidatif, gangguan endokrin, serta perubahan ekspresi gen yang berkaitan dengan hormon reproduksi<sup>(4)</sup>. Hal ini memberikan dasar biologis yang mendukung kecenderungan penurunan estrogen yang ditemukan dalam penelitian ini.

Meskipun tidak signifikan secara statistik, arah penurunan rerata kadar estrogen pada kelompok paparan tetap relevan secara biologis. Respons sistem endokrin terhadap EDC seringkali bersifat non-linier dan dipengaruhi oleh dosis, durasi paparan, serta variasi biologis individu. Oleh karena itu, hasil penelitian ini masih konsisten dengan literatur yang menunjukkan bahwa paparan pyrethroid berpotensi mengganggu fungsi reproduksi betina melalui berbagai mekanisme molekuler dan fisiologis.

## SIMPULAN

Paparan asap obat nyamuk bakar berbahan aktif piretroid dalam penelitian ini terbukti menurunkan kualitas spermatozoa mencit jantan, ditunjukkan oleh penurunan konsentrasi dan peningkatan morfologi

abnormal secara signifikan. Temuan ini mengindikasikan adanya efek toksik terhadap proses spermatogenesis yang kemungkinan dimediasi melalui mekanisme stres oksidatif dan gangguan regulasi hormonal. Pada parameter hormonal, paparan menunjukkan kecenderungan penurunan kadar estrogen serum, meskipun tidak signifikan secara statistik. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini mendukung peran insektisida rumah tangga berbasis piretroid sebagai *endocrine disrupting chemicals* (EDCs) yang berpotensi mengganggu fungsi reproduksi.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Liu W, Zhang J, Hashim JH, Jalaludin J, Hashim Z, Goldstein BD. Mosquito coil emissions and health implications. *Environ Health Perspect*. 2003 Sep;111(12):1454–60.
2. Wang Q, Shen JY, Zhang R, Hong JW, Li Z, Ding Z, et al. Effects and mechanisms of pyrethroids on male reproductive system. *Toxicology*. 2020 May;438:152460.
3. Sharma A, Mollier J, Brocklesby RWK, Caves C, Jayasena CN, Minhas S. Endocrine-disrupting chemicals and male reproductive health. *Reprod Med Biol*. 2020 Jul 14;19(3):243–53.
4. Xu H, Bo Y. Associations between pyrethroid exposure and serum sex steroid hormones in adults: Findings from a nationally representative sample. *Chemosphere*. 2022 Aug;300:134591.
5. Ye X, Liu J. Effects of pyrethroid insecticides on hypothalamic-pituitary-gonadal axis: A reproductive health perspective. *Environ Pollut*. 2019 Feb;245:590–9.
6. Zhang X, Zhang T, Ren X, Chen X, Wang S, Qin C. Pyrethroids Toxicity to Male Reproductive System and Offspring as a Function of Oxidative Stress Induction: Rodent Studies. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2021 May 27;12.
7. Silvani Permatasari, Agnes Frethernety, Herlina Eka Shinta. Pengaruh Obat Nyamuk Bakar dan Semprot Terhadap Motilitas Sperma Tikus (*Rattus norvegicus*). *J Kedokt Univ Palangka Raya*. 2022 Feb 13;8(1):946–51.
8. Boersma A, Olszanska O, Walter I, Rüllicke T. Microsurgical and Precautaneous of Epididymis. 2015;54(5):471–7.
9. Organization WH. WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen [Internet]. 6, editor. Geneva: World Health Organization; 2021. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240030787>
10. Liu W, Yuan D, Han M, Huang J, Xie Y. Development and validation of a sensitive LC-MS/MS method for simultaneous quantification of thirteen steroid hormones in human serum and its application to the study of type 2 diabetes mellitus. *J Pharm Biomed Anal*. 2021 May;199:114059.
11. Gjorgoska M, Rižner TL. Simultaneous measurement of 17 endogenous steroid hormones in human serum by liquid chromatography-tandem mass spectrometry without derivatization. *J Steroid Biochem Mol Biol*. 2024 Oct;243:106578.
12. Zhang Y, Wang G, Shao Y, Zheng P, Guo C, Liu Z, et al. Simultaneous determination of 18 steroids in the hypothalamic pituitary gonadal axis based on UPLC-MS/MS with multimode ionization. *Analyst*. 2024;149(18):4663–74.
13. Agarwal A, Baskaran S, Parekh N, Cho CL, Henkel R, Vij S, et al. Male infertility. *Lancet*. 2021 Jan;397(10271):319–33.
14. Pizzol D, Foresta C, Garolla A, Demurtas J, Trott M, Bertoldo A, et al. Pollutants and sperm quality: a systematic review and meta-analysis. *Environ Sci Pollut Res*. 2021 Jan 16;28(4):4095–103.
15. Priyanka PP, Ravula AR, Yenugu S. A mixture of pyrethroids induces reduced fecundity and increased testicular genotoxicity in rats. *Andrologia*. 2022 Dec 22;54(11).
16. Zhang J, Cai Z, Ma C, Xiong J, Li H. Impacts of Outdoor Air Pollution on Human Semen Quality: A Meta-Analysis and Systematic Review. *Biomed Res Int*. 2020 Jan 28;2020(1).

17. Ma X, Zhang W, Song J, Li F, Liu J. Lifelong exposure to pyrethroid insecticide cypermethrin at environmentally relevant doses causes primary ovarian insufficiency in female mice. *Environ Pollut.* 2022 Apr;298:118839.
18. Radwan P, Wielgomas B, Radwan M, Krasinski R, Kilanowicz-Sapota A, Banaszczyk R, et al. Synthetic Pyrethroids Exposure and Embryological Outcomes: A Cohort Study in Women from Fertility Clinic. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(9):1–10.
19. Ortiz DMD, Park J, Lee H, Park K. Integrated Assessment for the Estrogenic Effects of Pyrethroid Compounds: Defining the Molecular Initiating Events and Key Events for the Adverse Outcome Pathway. *Toxics.* 2024 Mar 15;12(3):218.
20. Song J, Ma X, Li F, Liu J. Exposure to multiple pyrethroid insecticides affects ovarian follicular development via modifying microRNA expression. *Sci Total Environ.* 2022 Jul;828:154384.