

Perspective ale potențialului zoonotic al *K. pneumoniae* de la păsările sălbatice la om

Perspectives of *K. pneumoniae*'s zoonotic potential from wild birds to human

Cocoș I. Daiana, Folescu M, Pătrînjan RT, Ardelean Larisa, Cristina RT

Faculty of Veterinary Medicine Timișoara

cocosdaiana@yahoo.com

Keywords: wild birds, *K. pneumoniae*, One Health, zoonotic potential

Cuvinte cheie: păsări sălbatice, *K. pneumoniae*, One Health, potențial zoonotic

Abstract

Research across various regions demonstrates the prevalence of antimicrobial resistance (AMR) *Klebsiella pneumoniae* in wild birds, with notable findings including the detection of carbapenemase-producing strains (*K. pneumoniae* carbapenemase, KPC) in gulls from Spain and Ukraine, and colistin-resistance genes (*mcr-1* and *mcr-2*) in Egyptian migratory waterfowl. Genetic overlaps were observed between avian isolates and human clinical strains, such as indistinguishable *K. pneumoniae* genomes from grey-crowned cranes in Rwanda and human cases. Migratory species, such as Eurasian Blackcaps in Italy, are implicated as sentinels and reservoirs of AMR genes, facilitating global dissemination. Geographic prevalence studies highlight variability, with 11.5% of birds in Spain harboring carbapenem-resistant phenotypes and 8% prevalence in Italian birds. This review examines the role of wild birds as reservoirs of *K. pneumoniae* and its implications for AMR and zoonotic transmission. The goal is to synthesize current knowledge on the prevalence, resistance profiles, and potential transmission pathways of *K. pneumoniae* from avian hosts to humans. Wild birds, including migratory and urban-adapted species, serve as significant reservoirs of AMR genes, potentially transmitting these pathogens to humans through shared environments or migration. The findings underscore the urgent need for a One Health approach to monitor wildlife as part of global AMR surveillance.

Rezumat

Cercetările efectuate în diferite regiuni demonstrează prevalența rezistenței antimicrobiene a *Klebsiella pneumoniae* la păsările sălbatice, constatările notabile incluzând detectarea tulpinilor producătoare de carbapenemază (*K. pneumoniae* carbapenemase, KPC) la pescărușii din Spania și Ucraina și a genelor de rezistență la colistină (*mcr-1* și *mcr-2*) la păsările de apă migratoare din Egipt. Au fost observate suprapuneri genetice între izolatele aviare și tulpinile clinice umane, cum ar fi genomurile *K. pneumoniae* indistincte de la cocorii cu coroană gri din Rwanda și cazurile umane. Speciile migratoare, cum ar fi silviile cu cap negru din Italia, sunt implicate ca santinele și rezervoare ale genelor RAM, facilitând diseminarea la nivel mondial. Studiile privind prevalența geografică evidențiază variabilitatea, 11,5% dintre păsările din Spania prezentând fenotipuri rezistente la carbapenem și o prevalență de 8% la păsările italiene. Această revizuire examinează rolul păsărilor sălbatice ca rezervoare ale *K. pneumoniae* și implicațiile sale pentru RAM și transmiterea zoonotică. Scopul este de a sintetiza cunoștințele actuale privind prevalența, profilurile de rezistență și căile potențiale de transmitere a *K. pneumoniae* de la gazdele aviare la om. Păsările sălbatice, inclusiv speciile migratoare și cele adaptate la mediul urban, servesc drept rezervoare semnificative de gene RAM, putând transmite acești agenți patogeni la om prin medii comune sau migrație. Constatările evidențiază necesitatea urgentă a unei abordări One Health pentru monitorizarea faunei sălbatice ca parte a supravegherii globale a RAM.

Introducere

Păsările sălbatice locuiesc adesea în zone care se suprapun cu mediile umane, cum ar fi mediile urbane și terenurile agricole. Această proximitate crește probabilitatea de contact între păsări și oameni, facilitând transmiterea potențială [24, 26].

K. pneumoniae este recunoscut ca un agent patogen oportunist care poate infecta o varietate de gazde, inclusiv oameni și animale [5, 7]. Aceasta se găsește frecvent în tractul

gastrointestinal al păsărilor sălbatice și domestice, ceea ce le face rezervoare potențiale ale bacteriei [17, 24, 27].

S-a constatat că izolatele de *K. pneumoniae* de la păsările sălbatice sunt purtătoare de plasmide cu rezistență la mai multe medicamente care sunt strâns legate de cele găsite la tulpinile care infectează oamenii. Acest lucru ridică probleme cu privire la posibilitatea ca aceste tulpini rezistente să fie transmise la om [12, 26, 27].

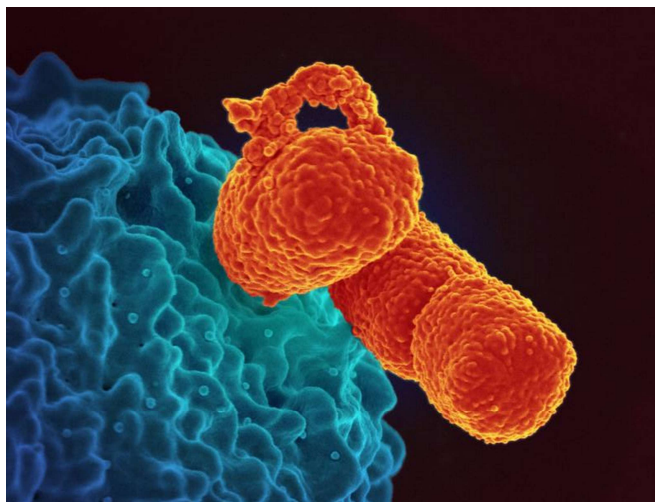


Figura 1. *K. pneumoniae* (NIAID).

Anumite specii de păsări sunt într-adevăr mai susceptibile de a purta bacterii multirezistente la medicamente, în special datorită habitatelor și interacțiunilor lor cu mediul uman [22,23,25].

Studiile au identificat anumite specii de păsări care adăpostesc frecvent tulpini de bacterii rezistente la mai multe medicamente, inclusiv **pescăruși, porumbei, rațe, gâște și păsări de pradă**.

Aceste specii locuiesc adesea în zone apropiate de activitatea umană, cum ar fi mediile urbane și terenurile agricole, unde sunt expuse la reziduuri de antibiotice și bacterii rezistente provenite din deșeuri [6,10].

S-a demonstrat că speciile migratoare, cum ar fi Gaia neagră și alte păsări migratoare, transportă *Escherichia coli* și *K. pneumoniae* multirezistente la medicamente. Modelele lor de migrație facilitează răspândirea acestor tulpini rezistente în regiuni [8,15,28].

Având în vedere capacitatea lor de a transporta și răspândi bacterii multirezistente la medicamente, anumite specii de păsări reprezintă un risc pentru sănătatea publică. Migrația acestor păsări poate duce la introducerea tulpinilor rezistente în medii noi, unde acestea pot intra în contact cu oamenii sau cu animalele domestice [6].

Supravegherea acestor populații este esențială pentru înțelegerea dinamicii

rezistenței la antibiotice. Scopul acestei analize a literaturii de specialitate este de a sintetiza cunoștințele actuale privind prevalența, căile de transmitere și rezistența antimicrobiană a *K.*

pneumoniae la păsările sălbatice, subliniind în același timp implicațiile pentru sănătatea aviară și riscurile potențiale pentru sănătatea umană.

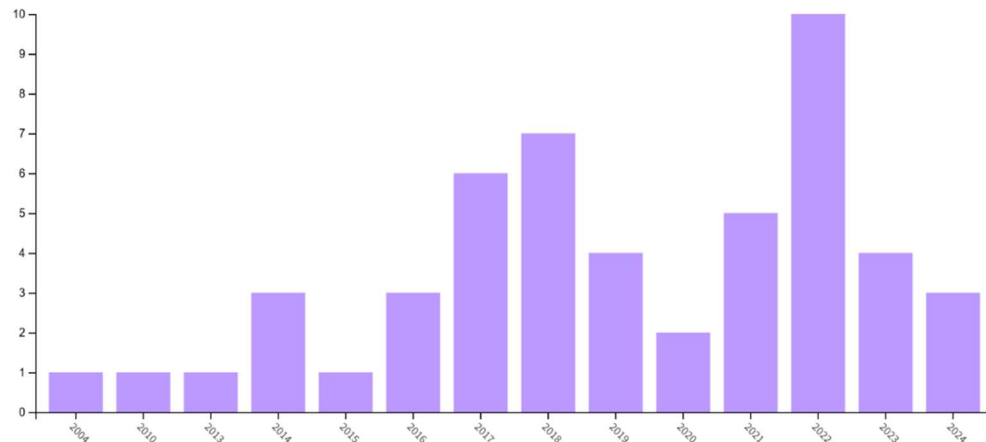


Figura 2. Ilustrarea distribuției anilor de publicare pentru 51 de articole preluate din Web of Science, concentrându-se pe studiile referitoare la *K. pneumoniae* la păsările sălbatice și RAM. Datele relevă tendințe temporale în activitatea de cercetare, evidențiind un interes crescut pentru acest subiect de-a lungul anilor.

Materiale și metode

A fost efectuată o revizuire cuprinzătoare a literaturii de specialitate utilizând baza de date Web of Science pentru a identifica studiile relevante privind *K. pneumoniae* la păsările sălbatice. Interogarea "*K. pneumoniae*" și "*păsări sălbatice*" a fost utilizată pentru a extrage articolele care abordează prevalența, rezistența antimicrobiană și implicațiile zoonotice ale *K. pneumoniae* în populațiile de păsări sălbatice.

Criteriile de includere

Criteriile de includere pentru această revizuire au inclus studii care au raportat detectarea sau izolarea *K. pneumoniae* la păsările sălbatice, investigații privind modelele de rezistență antimicrobiană ale izolatelor de *K. pneumoniae* de la gazdele aviare și cercetări care examinează riscurile de transmitere zoonotică sau care efectuează analize genomice comparative între tulpinile de *K.*

pneumoniae aviare și umane. În plus, au fost luate în considerare recenzii și meta-analize axate pe rolul *K. pneumoniae* în fauna sălbatică și implicațiile sale pentru sănătatea publică.

Criteriile de excludere

Criteriile de excludere pentru această revizuire au inclus studii axate exclusiv pe păsările domestice sau pe alte specii de păsări care nu sunt sălbatice, cercetări care nu au legătură directă cu *K. pneumoniae* sau care nu menționează în mod explicit păsările sălbatice, precum și rezumate de conferințe, editoriale și surse neexamine de experți.

Căutarea inițială a generat **51 de articole**, care au fost analizate pe baza titlurilor, rezumatelor și, după caz, a textelor complete. După aplicarea criteriilor de excludere, aria de interes a fost restrânsă la **36 de articole** cu acces liber studiate în 28 de regiuni diferite.

Dintre acestea, **22 de articole** au îndeplinit toate criteriile de includere și au fost selectate pentru analiză.

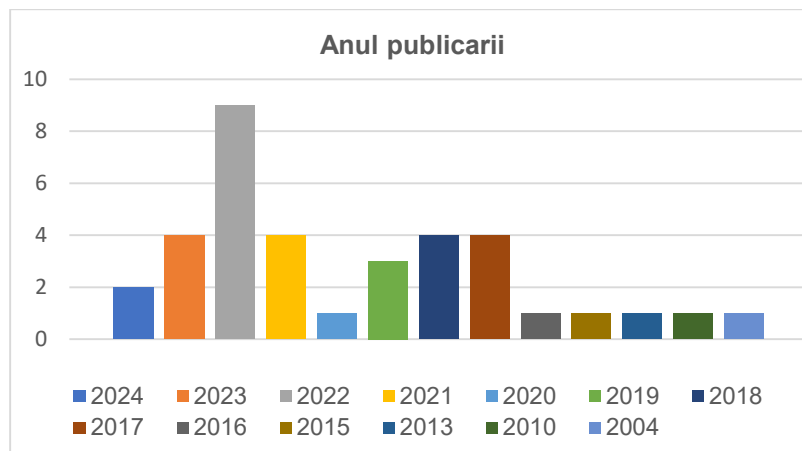


Figura 3. Anii de publicare a 36 de articole cu acces liber privind *K. pneumoniae* la păsările sălbatice (WOS).

Următoarele date au fost extrase din articolele selectate: locația și domeniul de aplicare a studiului; date privind prevalența; rezistență antimicrobiană; potențial zoonotic.

Datele extrase au fost sintetizate pentru a identifica modele, tendințe și lacune în cercetare, cu accent pe implicațiile de sănătate

publică ale *K. pneumoniae* la păsările sălbatice. Întrucât acest studiu este o revizuire a literaturii de specialitate, nu a implicat colectarea de date noi de la animale sau oameni. Toate datele analizate au fost obținute din surse disponibile public.

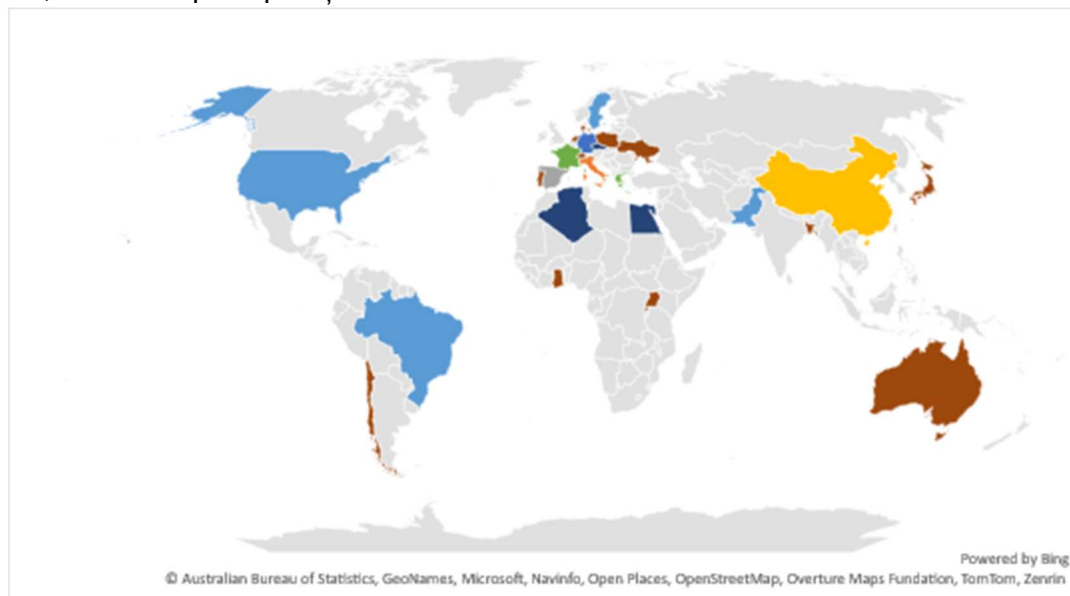


Figura 4. Distribuția geografică a publicațiilor relevante privind *K. pneumoniae* la păsările sălbatice. Graficul evidențiază regiunile și țările care contribuie la cercetare, cu numărul de studii din fiecare locație reprezentat proporțional. Această distribuție evidențiază interesul global pentru înțelegerea bacteriei în populațiile de păsări sălbatice, cu contribuții notabile din regiuni precum Germania, Italia, Spania, China, Brazilia și SUA, printre altele. Graficul oferă o perspectivă asupra tendințelor geografice de cercetare și asupra potențialelor lacune în acoperirea globală.

Rezultate și discuții

Rolul păsărilor sălbatice ca rezervoare ale rezistenței antimicrobiene

Studiile analizate susțin cu tărie rolul păsărilor sălbatice ca rezervoare semnificative și diseminatori potențiali ai bacteriilor AMR.

În diferite regiuni și specii, s-a constatat că păsările sălbatice adăpostesc agenți patogeni multirezistenți la medicamente precum *K. pneumoniae*, *E. coli* și alte Enterobacterales [13,16].

De exemplu, Mansoor și colab. (2023) au identificat rezistență fenotipică la tigeciclină în izolatele de *K. pneumoniae* de la Gaia neagră din Pakistan, subliniind riscul bacteriilor purtătoare de tet(X4) în fauna sălbatică.

În mod similar, Darwich și colab. (2019) au raportat o prevalență de 20% a *K. pneumoniae* rezistente la carbapenem (CR) în Spania, cu

co-rezistență la mai multe clase de antibiotice, ceea ce evidențiază potențialul păsărilor sălbatice de a servi ca rezervoare de mediu ale modelelor complexe de rezistență.

Păsările migratoare amplifică și mai mult această preocupare, după cum demonstrează studiile care au evidențiat diseminarea globală a genelor carbapenemazei (de exemplu, KPC) în populațiile de păsări sălbatice eșantionate pe toate continentele. Aceste dovezi subliniază rolul rutelor de migrație în răspândirea globală a RAM [1].

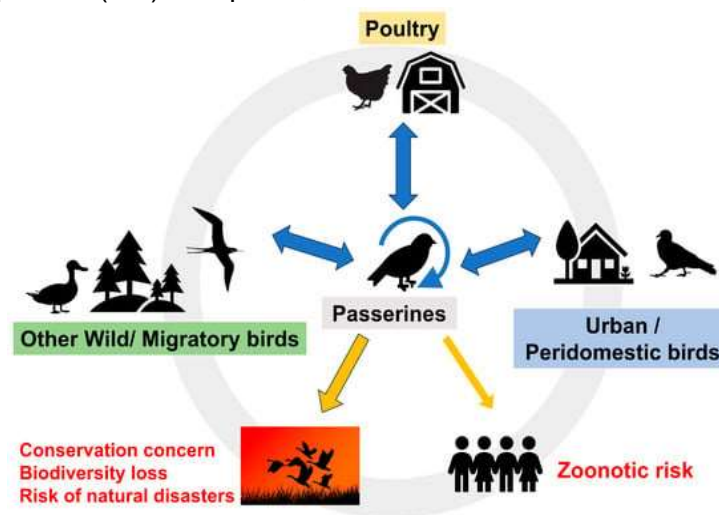


Figura 5. Rolul teoretic al păsărilor sălbatice în transmiterea agenților patogeni bacterieni către alte păsări, animale domestice și oameni (săgeți albastre și portocalii), evidențiind riscurile zoonotice și amenințările la adresa biodiversității în cadrul One Health (inel gri). Sursă: Williams și colab., 2023 (*Microorganisms*, 11(9), 2355) <https://doi.org/10.3390/microorganisms11092355>.

Variații regionale în profilurile RAM

Diversitatea geografică a studiilor reflectă variația profilurilor AMR în populațiile de păsări sălbatice.

În Egipt, Ahmed și colab. (2019) au observat gene de rezistență la colistină (mcr-1 și mcr-2) în izolatele de păsări sălbatice, alături de recuperarea bacteriilor AMR din apă și din probe umane.

Acest lucru evidențiază contaminarea mediului și posibila transmitere interspecii.

În Italia, atât Foti și colab. (2017), cât și Russo și colab. (2022) au confirmat prevalența *K. pneumoniae* multirezistentă la medicamente și a altor bacterii RAM, subliniind rolul de santinelă al păsărilor în monitorizarea impactului antropogen asupra rezistenței microbiene.

America de Nord și America de Sud prezintă preocupări similare, Kutilova și colab. (2021) documentând *K. pneumoniae* ST258 rezistentă la mai multe medicamente, o clonă nosocomială distribuită la nivel mondial, la corbii americani.

În Brazilia, Matias și colab. (2016) au raportat prezența bacteriilor RAM la păsările sălbatice implicate în comerțul ilegal, ridicând îngrijorări cu privire la impactul traficului de animale sălbatice asupra diseminării RAM.

Posibila transmitere între specii și mediu

Mai multe studii sugerează o legătură puternică între animalele sălbatice, oameni și rezervoarele de mediu ale bacteriilor RAM [3,4,19].

Nsengimana și colab. (2022) au constatat că izolatele de *K. pneumoniae* de la cocorii cenușii în captivitate din Rwanda nu se deosebeau genetic de cele izolate în cazurile clinice umane. Acest lucru implică un potențial de infecție încrucișată între animalele sălbatice și oameni, posibil prin medii comune sau contact direct.

Tabelul 1.

Distribuția geografică a genelor de rezistență

Regiune	Specia	Gene rezistente	Constatări semnificative
Pakistan	<i>Milvus migrans</i>	tet(X4)	Rezistență la tigeciclină găsită în izolatele de <i>K. pneumoniae</i> și <i>E. coli</i>
Spania	Variate (Bufniță, serin)	Multiple (CR phenotype)	11,5% prevalență CR; izolate <i>K. pneumoniae</i> multirezistente
Rwanda	Cocor cu coroană cenușie	Carbapene mase	Similaritate genomică între izolatele aviare și umane
Egipt	Ciorile, păsările de apă	mcr-1, mcr-2	Gene de rezistență legate de riscurile zoonotice
SUA	Corbi	KPC (ST258)	<i>K. pneumoniae</i> multidrog-rezistent de la ciori asociat cu tulpini spitalicești

Wang și colab. (China) au evidențiat capacitatea păsărilor sălbatice de a purta gene de beta-lactamază cu spectru extins (ESBL), asociate în mod tradițional cu cadrele medicale, subliniind astfel potențialul de răspândire a determinantilor RAM între animalele sălbatice și cadrele umane.

Implicații pentru sănătatea publică și riscul zoonotic

Capacitatea păsărilor sălbatice de a transporta și răspândi bacteriile RAM are implicații semnificative asupra sănătății publice. Capacitatea lor de a traversa zone geografice vaste și de a frecventa medii urbane, agricole și naturale creează căi de transmitere zoonotică.

Ahmed și colab. (2019) și Foti și colab. (2017) au subliniat că păsările migratoare ar putea acționa ca santinele pentru sănătatea mediului, prezentând în același timp riscuri ca rezervoare zoonotice.

Ahlstrom și colab. (2022) au subliniat în continuare modul în care diversitatea genetică ridicată a genelor RAM (de exemplu, carbapenemazele) în populațiile de păsări sălbatice reprezintă o provocare tot mai mare pentru sănătatea mondială.

Monitorizare și direcții viitoare

Sisteme de monitorizare: Extinderea sistemelor de supraveghere care integrează datele privind sănătatea faunei sălbatice, a oamenilor și a mediului poate contribui la urmărirea răspândirii RAM. Studii precum cele realizate de Foti și colab. (2017) subliniază valoarea păsărilor ca indicatori ai sănătății mediului.

Studii genomice: Instrumentele genomice avansate, precum cele utilizate de Ahlstrom și colab. (2022), sunt esențiale pentru înțelegerea evoluției și dinamicii transmiterii genelor de rezistență între gazde și regiuni.

Strategii de atenuare: Rolul factorilor antropogeni în promovarea RAM, cum ar fi antibioticele agricole și contaminarea mediului, necesită reglementări mai stricte și practici durabile pentru a minimiza expunerea animalelor sălbatice. Combaterea comerțului cu specii sălbatice: Comerțul ilegal cu specii sălbatice, astfel cum a fost subliniat de Matias

și colab. (2016), reprezintă o cale critică de răspândire a RAM și necesită intervenții specifice pentru atenuarea impactului său.

Concluzii

Importanța studiului *K. pneumoniae* la păsările sălbatice are implicații considerabile pentru sănătatea și bunăstarea păsărilor, precum și pentru considerente ecologice și de sănătate publică mai ample.

În primul rând, păsările sălbatice pot servi drept rezervoare pentru tulpinile de *K. pneumoniae* rezistente la mai multe medicamente, ceea ce poate avea un impact negativ asupra sănătății lor prin creșterea susceptibilității la infecții și boli.

Prezența bacteriilor rezistente la antimicrobiene în aceste populații ridică semne de întrebare cu privire la capacitatea acestora de a se dezvolta în medii naturale, în special în condițiile în care pot întâlni agenți patogeni care sunt din ce în ce mai dificil de tratat. Acest lucru este deosebit de critic având în vedere criza globală actuală a biodiversității, în care multe specii de păsări se confruntă deja cu declinul populației din cauza pierderii habitatului și a altor presiuni antropogene. În plus, interacțiunea dintre păsările sălbatice și mediul uman - în special mediul urban - poate exacerba răspândirea rezistenței la antibiotice. Păsările care frecventează zone precum gropile de gunoi sau stațiile de tratare a apelor reziduale sunt mai susceptibile de a purta tulpini rezistente, care pot fi apoi transmise oamenilor sau animalelor domestice.

Acest lucru evidențiază necesitatea unor strategii eficiente de monitorizare și gestionare pentru a proteja atât populațiile aviare, cât și sănătatea umană. În plus, înțelegerea dinamicii transmiterii *K. pneumoniae* la păsările sălbatice poate contribui la eforturile de conservare și la politicile de sănătate publică menite să reducă riscurile asociate cu rezistența antimicrobiană. Recunoscând păsările sălbatice ca potențiali

vectori de transmitere a bolilor, părțile interesate pot dezvolta intervenții specifice pentru a reduce contaminarea mediului și a promova ecosisteme mai sănătoase.

Pe scurt, acest studiu subliniază importanța abordării sănătății și bunăstării păsărilor sălbatice nu numai pentru binele lor, ci și pentru menținerea echilibrului ecologic și protejarea sănătății umane în contextul creșterii rezistenței la antibiotice.

Păsările sălbatice servesc drept rezervoare critice și vectori potențiali ai bacteriilor RAM, cu implicații care vizează sănătatea publică, siguranța mediului și conservarea faunei sălbatice.

Diferențele regionale în ceea ce privește profilurile de rezistență, împreună cu dovezile privind transmiterea între specii, evidențiază necesitatea unei abordări de tip "o singură sănătate" pentru a aborda criza globală a RAM. Cercetările viitoare ar trebui să se concentreze asupra integrării supravegherii faunei sălbatice în cadrele existente de monitorizare a RAM, cu un accent deosebit pe analizele genomice și pe rolul căilor de migrație în diseminarea rezistenței.

Bibliografie

1. Ahlstrom, C. A., Woksepp, H., Sandegren, L., Mohsin, M., Hasan, B., Muzyka, D., Hernandez, J., Aguirre, F., Tok, A., Söderman, J., Olsen, B., Ramey, A. M., & Bonnedahl, J. (2022). Genomically diverse carbapenem resistant Enterobacteriaceae from wild birds provide insight into global patterns of spatiotemporal dissemination. *Science of The Total Environment*, 824, 153632. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153632>
2. Ahmed, Z. S., Elshafiee, E. A., Khalefa, H. S., Kadry, M., & Hamza, D. A. (2019). Evidence of colistin resistance genes (mcr-1 and mcr-2) in wild birds and its public health implication in Egypt. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, 8(1), 197. <https://doi.org/10.1186/s13756-019-0657-5>

3. Aruji, Y., Tamura, K., Sugita, S., & Adachi, Y. (2004). Intestinal microflora in 45 crows in Ueno Zoo and the *in vitro* susceptibilities of 29 *Escherichia coli* isolates to 14 antimicrobial agents. *Journal of Veterinary Medical Science*, 66(10), 1283–1286. <https://doi.org/10.1292/jvms.66.1283>
4. Athanasakopoulou, Z., Diezel, C., Braun, S.D., Sofia, M., Giannakopoulos, A., Monecke, S., Gary, D., Krähmer, D., Chatzopoulos, D.C., Touloudi, A., Birtsas, P., Palli, M., Georgakopoulos, G., Spyrou, V., Petinaki, E., Ehricht, R., & Billinis, C. (2022). Occurrence and Characteristics of ESBL- and Carbapenemase-Producing *Escherichia coli* from Wild and Feral Birds in Greece. *Microorganisms*, 10(6), 1217. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10061217>
5. Bonardi, S., & Pitino, R. (2019). Carbapenemase-producing bacteria in food-producing animals, wildlife and environment: A challenge for human health. *Italian Journal of Food Safety*, 8(2), 77–92. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2019.7956>
6. Bonnedahl, J., Järhult, J.D. (2014). Antibiotic resistance in wild birds. *Uppsala Journal of Medical Sciences*, 119(2), Article 2. <https://doi.org/10.3109/03009734.2014.905663>
7. Chiaverini, A., Cornacchia, A., Centorotola, G., Tieri, E.E., Sulli, N., Del Matto, I., Iannitto, G., Petrone, D., Petrini, A., Pomilio, F. (2022). Phenotypic and Genetic Characterization of *K. pneumoniae* Isolates from Wild Animals in Central Italy. *Animals*, 12(11), 1347. <https://doi.org/10.3390/ani12111347>
8. da Silva, S.K.S.M., Fuentes-Castillo, D.A., Ewbank, A.C., Sacristan, C., Catao-Dias, J.L., Seva, A.P., Lincopan, N., Deem, S.L., Feitosa, L.C.S., Catenacci, L.S. (2024). ESBL-Producing Enterobacterales at the Human-Domestic Animal-Wildlife Interface: A One Health Approach to Antimicrobial Resistance in Piauí, Northeastern Brazil. *Veterinary Sciences*, 11(5), 195. <https://doi.org/10.3390/vetsci11050195>
9. Darwich, L., Vidal, A., Seminati, C., Albamonte, A., Casado, A., López, F., Molina-López, R.A., Migura-Garcia, L. (2019). High prevalence and diversity of extended-spectrum β -lactamase and emergence of OXA-48 producing Enterobacterales in wildlife in Catalonia. *PLoS One*, 14(8), e0210686. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210686>
10. Expert reaction to city birds and antimicrobial resistant bacteria | Science Media Centre. (f.a.). Preluat în 4 decembrie 2024, din <https://www.sciencemediacentre.org/expert-reaction-to-city-birds-and-antimicrobial-resistant-bacteria/>
11. Foti, M., Mascetti, A., Fisichella, V., Fulco, E., Orlandella, B.M., & Lo Piccolo, F. (2017). Antibiotic resistance assessment in bacteria isolated in migratory Passeriformes transiting through the Metaponto territory (Basilicata, Italy). *Avian Research*, 8(1), 26. <https://doi.org/10.1186/s40657-017-0085-2>
12. Furmanek-Blaszk, B., Sektas, M., Rybak, B. (2023). High Prevalence of Plasmid-Mediated Quinolone Resistance among ESBL/AmpC-Producing Enterobacterales from Free-Living Birds in Poland. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(16), 12804. <https://doi.org/10.3390/ijms241612804>
13. Hasan, B., Olsen, B., Alam, A., Akter, L., Melhus, A. (2015). Dissemination of the multidrug-resistant extended-spectrum β -lactamase-producing *Escherichia coli* O25b-ST131 clone and the role of house crow (*Corvus splendens*) foraging on hospital waste in Bangladesh. *Clinical Microbiology and Infection*, 21(11), 1000.e1. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2015.06.016>
14. Kutilova, I., Valcek, A., Papagiannitsis, C.C., Cejkova, D., Masarikova, M., Paskova, V., Davidova-Gerzova, L., Videnska, P., Hrabak, J., Literak, I., Dolejska, M. (2021). Carbapenemase-Producing Gram-Negative Bacteria from American Crows in the United States. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 65(1), e00586-20. <https://doi.org/10.1128/AAC.00586-20>
15. Mansoor, M.H., Lu, X., Woksepp, H., Sattar, A., Humak, F., Ali, J., Li, R., Bonnedahl, J., Mohsin, M. (2024). Detection and genomic characterization of *K. pneumoniae* and *Escherichia coli* harboring tet(X4) in black kites (*Milvus migrans*) in Pakistan. *Scientific Reports*, 14(1), 9054. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59201-5>

16. Mohsin, M., Raza, S., Schaufler, K., Roschanski, N., Sarwar, F., Semmler, T., Schierack, P., Guenther, S. (2017). High Prevalence of CTX-M-15-Type ESBL-Producing *E. Coli* from Migratory Avian Species in Pakistan. *Frontiers in Microbiology*, 8, 2476. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02476>
17. Nakhaee, P., Zarif Moghadam, H., Shokrpour, S., Razmyar, J. (2022). *K. pneumoniae* infection in canaries (*Serinus canaria Domestica*): A case report. *Iranian Journal of Veterinary Research*, 23(3), 280–284. <https://doi.org/10.22099/IJVR.2022.40469.5870>
18. Nsengimana, O., Habarugira, G., Ojok, L., Ruhagazi, D., Kayitare, A., Shyaka, A. (2022). Infectious coryza in a grey crowned crane (*Balearica regulorum*) recovered from captivity. *Veterinary Medicine and Science*, 8(2), 822–826. <https://doi.org/10.1002/vms3.766>
19. Pankok, F., Taudien, S., Dekker, D., Thye, T., Oppong, K., Akenten, C. W., Lamshoeft, M., Jaeger, A., Kaase, M., Scheithauer, S., Tanida, K., Frickmann, H., May, J., & Loderstaedt, U. (2022). Epidemiology of Plasmids in *Escherichia coli* and *K. pneumoniae* with Acquired Extended Spectrum Beta-Lactamase Genes Isolated from Chronic Wounds in Ghana. *Antibiotics-Basel*, 11(5), 689. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11050689>
20. Rey Matias, C.A., Pereira, I. A., Falavina dos Reis, E. M., Rodrigues, D. dos P., & Siciliano, S. (2016). Frequency of zoonotic bacteria among illegally traded wild birds in Rio de Janeiro. *Brazilian Journal of Microbiology*, 47(4), 882–888. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.07.012>
21. Russo, T. P., Minichino, A., Gargiulo, A., Varriale, L., Borrelli, L., Pace, A., Santaniello, A., Pompameo, M., Fioretti, A., & Dipineto, L. (2022). Prevalence and Phenotypic Antimicrobial Resistance among ESKAPE Bacteria and Enterobacterales Strains in Wild Birds. *Antibiotics*, 11(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11121825>
22. Saeed, M.A., Khan, A.U., Ehtisham-ul-Haque, S., Waheed, U., Qamar, M.F., Rehman, A. ur, Nasir, A., Zaman, M.A., Kashif, M., Gonzalez, J.-P., & El-Adawy, H. (2023). Detection and Phylogenetic Analysis of Extended-Spectrum β -Lactamase (ESBL)-Genetic Determinants in Gram-Negative Fecal-Microbiota of Wild Birds and Chicken Originated at Trimmu Barrage. *Antibiotics-Basel*, 12(9), 1376. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12091376>
23. Silva, G. G. da C., Campana, E. H., Vasconcelos, P. C., da Silva, N. M. V., Santos Filho, L., Leite, E. L., Givisiez, P. E. N., Gebreyes, W. A., & de Oliveira, C. J. B. (2021). Occurrence of KPC-Producing *Escherichia coli* in Psittaciformes Rescued from Trafficking in Paraiba, Brazil. *International Journal of Environmental Research And Public Health*, 18(1), 95. <https://doi.org/10.3390/ijerph18010095>
24. Wall, K., Macori, G., Koolman, L., Li, F., & Fanning, S. (2023). *Klebsiella*, a Hitherto Underappreciated Zoonotic Pathogen of Importance to One Health: A Short Review. *Zoonoses*, 3, 962. <https://doi.org/10.15212/ZOONOSSES-2023-0016>
25. Wang, J., Ma, Z.-B., Zeng, Z.-L., Yang, X.-W., Huang, Y., & Liu, J.-H. (2017). The role of wildlife (wild birds) in the global transmission of antimicrobial resistance genes. *Zoological Research*, 38(2), 55. <https://doi.org/10.24272/j.issn.2095-8137.2017.003>
26. Wang, X., Zhao, J., Ji, F., Wang, M., Wu, B., Qin, J., Dong, G., Zhao, R., & Wang, C. (2023). Genomic Characteristics and Molecular Epidemiology of Multidrug-Resistant *K. pneumoniae* Strains Carried by Wild Birds. *Microbiology Spectrum*, 11(2). <https://doi.org/10.1128/spectrum.02691-22>
27. Yang, Y., Jiang, X., Zheng, B., Xu, H., & Liu, W. (2024). Emergence of multidrug-resistant *K. pneumoniae* in wild animals in Africa. *The Lancet Microbe*, 5(5), e416. [https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(23\)00403-2](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(23)00403-2)
28. Yuan, Y., Liang, B., Jiang, B., Zhu, L., Wang, T., Li, Y., Liu, J., Guo, X., Ji, X., & Sun, Y. (2021). Migratory wild birds carrying multidrug-resistant *Escherichia coli* as potential transmitters of antimicrobial resistance in China. *Plos One*, 16(12), e0261444. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261444>