

# Występowanie *Salmonella* w środowisku

RENATA KWIT<sup>1</sup>, MAGDALENA ZAJĄC<sup>1</sup>, MAGDALENA SKARŻYŃSKA<sup>1</sup>, ANNA LALAK<sup>1</sup>, ALEKSANDRA ŚMIAŁOWSKA-WĘGLIŃSKA<sup>1</sup>, PAULINA PASIM<sup>1</sup>, EMILIA MIKOS-WOJEWODA<sup>1</sup>, DOMINIKA WOJDAT<sup>1</sup>, WERONIKA KOZA<sup>1</sup>, EWELINA SKRZYPIEC<sup>1</sup>, MILENA SKÓRA<sup>1</sup>, DARIUSZ WASYL<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Zakład Mikrobiologii, <sup>2</sup>Zakład Analiz Omicznych,  
Państwowy Instytut Weterynaryjny – Państwowy Instytut Badawczy,  
Al. Partyzantów 57, 24-100 Puławy

Otrzymano 05.01.2023

Zaakceptowano 27.02.2023

Kwit R., Zajac M., Skarzyńska M., Lalak A., Śmiałowska-Węglińska A., Pasim P., Mikos-Wojewoda E., Wojdat D., Koza W., Skrzypiec E., Skóra M., Wasyl D.

## Occurrence of *Salmonella* in the environment

### Summary

*Salmonella* is one of the most common causes of foodborne diseases. Although it is an intestinal bacterium, it can function perfectly well in various environments outside the host's organism. *Salmonella* infections in humans are transmitted mainly through food of animal or plant origin and pose a serious problem for public health and the economy. *Salmonella* is an etiological factor of diseases in farm and free-living animals, which are also the most common source of environmental contamination. Reptiles and amphibians represent an important and often underestimated reservoir of these bacteria. Even under unfavorable conditions, the pathogen can survive for years in feed or food processing facilities mainly because of its ability to form biofilm. *Salmonella* can colonize plants epiphytically and endophytically. After penetrating external tissues, it can be transferred through the internal transport system to various organs, including fruit and seeds. This process depends on the serovar of the bacteria and the species of the plant being infected. The ability of *Salmonella* to survive and proliferate in the soil depends on many interacting factors, such as soil type, humidity, pH, temperature, and indigenous flora. Enriching the soil with natural fertilizers increases the occurrence of the pathogen and significantly reduces its rate of decline. In the aquatic environment, as well, *Salmonella* can survive for months after direct contamination with human or animal faeces or indirect contamination with insufficiently treated sewage sludge or runoff from agricultural land. The main determinants of *Salmonella* survival are temperature, sunlight, and the presence of accompanying microflora. Contaminated water used in processing can also be an indirect cause of transmission of intestinal pathogens to food.

**Keywords:** *Salmonella*, environment, survivability

W czasach globalizacji gospodarczej i społeczno-kulturowej niezwykle ważne jest poznanie oraz zrozumienie zagrożeń, jakie stanowią mikroorganizmy patogenne, wpływające w różnoraki sposób na nasze życie. W związku z powszechnością występowania, zarówno w środowisku, jak i w całym łańcuchu produkcji żywności, istotną rolę pełnią pałeczki z rodzaju *Salmonella*. Są one drugim najczęstszym czynnikiem etiologicznym zatruc pokarmowych u ludzi, a ich zdolności adaptacyjne do zmiennych warunków oraz duża różnorodność, utrudniają eliminację zagrożeń, jakie niosą dla zdrowia zarówno ludzi, jak i zwierząt (57). Niniejsza praca przeglądowa zawiera zestawienie informacji dotyczących występowania *Salmonella* w różnych środowiskach.

## Zakażenia człowieka

Typowymi dla człowieka chorobami wywoływanymi przez pałeczki *Salmonella* (*S.*) są dur brzuszny oraz dury rzekome, powodowane przez gatunkowo swoiste *S. Typhi* oraz *S. Paratyphi* A, B i C. Pozostałe serowary *Salmonella* są przyczyną chorób określanych jako salmonellozy i mimo mniej ostrego przebiegu, powodują stany zapalne żołądka i jelit, szczególnie niebezpieczne dla dzieci, osób starszych lub o osłabionej odporności (46). Według raportu Europejskiego Urzędu do spraw Bezpieczeństwa Żywności (EFSA) i Europejskiego Centrum ds. Zapobiegania i Kontroli Chorób (ECDC), liczba potwierdzonych przypadków salmonellozy ludzi w krajach Unii Europejskiej przez kilka lat utrzymywała się na stałym poziomie. W 2019 r. od-

notowano ponad 87 tysięcy zachorowań w 28 krajach (57). W związku z pandemią COVID-19, na skutek drastycznej zmiany stylu życia, zwiększenia dystansu społecznego oraz wzmożonej dezynfekcji, zaobserwowano znaczny spadek liczby zatruc pokarmowych. Pomimo tego w Unii Europejskiej, w 2021 r. pałeczki *Salmonella* odpowiadały za 60 050 zachorowań, w tym 71 przypadków śmiertelnych oraz 773 ognisk chorobowych, w których zmarła 1 osoba (57). Najczęściej notowanymi serowarami wywołującymi zakażenia w 2021 r., podobnie jak w latach poprzednich, były: *S. Enteritidis*, *S. Typhimurium*, jednofazowe szczepy *S. Typhimurium*, *S. Infantis*. Piąty, najpowszechniejszy serowar *S. Derby* od 2020 r. zastąpił *S. Newport* zajmujący to miejsce w 2019 r. (57). Zakażenia *Salmonella* stanowią również poważny problem w krajach rozwijających się, takich jak państwa subsaharyjskie Afryki czy kraje Azji południowo-wschodniej. Ostre przebiegi choroby w tych regionach wynika ze złych warunków sanitarnych, ograniczonego dostępu do czystej wody i ogólnego stanu zdrowia społeczeństwa (zakażenia wirusem HIV, malaria, niedożywienie, anemia) (7, 14).

Podstawowym źródłem zakażenia ludzi pałeczkami *Salmonella* jest żywność, głównie mięso, mleko, ryby, jaja oraz ich przetwory, zaś w krajach rozwijających się również zanieczyszczona woda (46, 57). Pomimo wdrożenia w wielu państwach systemów nadzoru i zwalczania zarazki, nadal dochodzi do częstych zakażeń, w tym również o zasięgu globalnym (46). Dla przykładu, w okresie od 2015 do 2018 r. zgłoszono ponad 1000 przypadków salmonellozy (w tym 2 śmiertelne) w 18 krajach UE, wywołanej przez *S. Enteritidis*. Źródłem zakażenia były jaja pochodzące z Polski (45). W 2018 r. francuskie sery zakażone *S. Newport* były przyczyną ogniska obejmującego 153 przypadki (49). Mimo że *Salmonella* zazwyczaj kojarzona jest z produktami zwierzęcymi, częstym jej źródłem jest również zanieczyszczona żywność pochodzenia roślinnego (2). W 2013 r. w Wielkiej Brytanii potwierdzono duże ognisko salmonellozy wywołane przez *S. Agona*, związane ze świeżymi liśćmi curry (58). W 2021 r. zdiagnozowano 348 przypadków salmonellozy w 13 krajach, których czynnikiem etiologicznym była *S. Braenderup* wyizolowana z melonów (38). W 2014 r. w Chorwacji zgłoszono 68 przypadków zakażeń *S. Enteritidis* będących wynikiem spożywania wody pochodzącej ze źródła wód gruntowych (29).

Poza aspektem zdrowotnym występowanie *Salmonella* ma również istotne znaczenie dla człowieka pod względem gospodarczym. Jako powszechny patogen jest przyczyną dużych strat ekonomicznych związanych nie tylko z kosztami leczenia, ale również kosztami społecznymi firm i gospodarstw domowych, wynikającymi ze złego samopoczucia oraz absencji pracowników. EFSA szacuje, że obciążenie gospodarcze związane z salmonellozą u ludzi może wynieść nawet 3 miliardy euro rocznie. Ponadto należy pamiętać o wysokich kosztach ponoszonych przez hodowców

oraz producentów (<https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/salmonella>).

### Występowanie *Salmonella* u zwierząt

Głównymi źródłami zakażeń pałeczkami *Salmonella* zwierząt są: zanieczyszczona pasza, środowisko oraz kontakt z innymi zwierzętami chorymi lub bezobjawowymi nosicielami – siewcami zarazki (3). Chociaż większość serowarów może wywoływać zakażenia wielu gatunków zwierząt, czego najlepszym przykładem jest *S. Typhimurium* lub *S. Enteritidis*, niektóre z nich wykazują znacznie mniejszą swoistość w zakresie gospodarza, np. *S. Dublin* wywołująca głównie zakażenia bydła, *S. Choleraesuis* typowy serowar dla świń czy *S. Gallinarum*, którego występowanie jest ograniczone do drobiu (35). Salmonelloza u zwierząt hodowlanych może wystąpić jako infekcja stada z objawami klinicznymi (najczęściej biegunka, gorączka) lub jako postać subkliniczna. Nasilenie symptomów choroby zależy od wielu czynników, w tym od zjadliwości szczepu, kondycji immunologicznej gospodarza, dawki zakażającej czy też występowania różnych bodźców stresowych. Duże znaczenie w utrzymaniu infekcji w stadzie mają zakażenia bezobjawowe, w których zwierzęta będące nosicielami wydalają patogen wraz z kałem do środowiska chowu. Przewlekła infekcja może prowadzić do spadku przyrostów masy ciała lub młeczności, ronień, a nawet upadków zwierząt (3, 10). Największym rezerwuarem *Salmonella* w łańcuchu żywnościowym jest drób oraz świny, rzadziej bydło i inne gatunki zwierząt (57). Salmonelloza u zwierząt hodowlanych ma duże znaczenie ze względu na bezpieczeństwo konsumentów, jak i straty ekonomiczne. W związku z tym, w wielu krajach wprowadzono monitorowanie oraz eliminację zakażonych stad. Ograniczenie rozprzestrzeniania się zarazki i jego skutków dla zdrowia publicznego mają na celu programy zwalczania wybranych serowarów *Salmonella* wdrażane w krajach UE (57).

Istotnym zagrożeniem dla zdrowia mogą być również zwierzęta towarzyszące, ze względu na ich bliski kontakt z człowiekiem. Zgodnie z raportem EFSA i ECDC w 2021 r. odnotowano występowanie *Salmonella* w 4,7% próbek pobranych od kotów oraz 2,7% u psów (57). W Australii z próbek pochodzących od zwierząt domowych oraz mieszkańców schronisk potwierdzono 1,7% pozytywnych wyników u kotów i 5,4% u psów (43). Bogatym, aczkolwiek często bagatelizowanym rezerwuarem zarazki są również inne zwierzęta towarzyszące – gady i płazy. Pałeczki *Salmonella* wchodzą w fizjologiczny skład flory jelitowej tych zwierząt, zwykle nie wywołując jakichkolwiek objawów klinicznych. Charakteryzują się one szeroką różnorodnością serowarów oraz, w odróżnieniu od szczepów izolowanych od zwierząt hodowlanych, zwykle wrażliwością na antybiotyki (60, 61). W pracy Zajac i wsp. (61) z 731 próbek pochodzących od gadów i z ich otoczenia wyizolowano łącznie 918 szczepów

reprezentujących 207 serowarów, w większości wrażliwych na wszystkie badane substancje przeciwdrobnoustrojowe. *Salmonella* występuje również u zwierząt wolnożyjących, które mimo iż mają jedynie pośredni kontakt z człowiekiem, mogą być zarówno rezerwuarem, jak i wektorem bakterii. W Nowej Zelandii jaszczurki występujące w popularnych, nadrzecznych terenach wypoczynkowych zidentyfikowano jako źródło licznych zakażeń *S. Saintpaul* (23). *Salmonella*, takie jak *S. Schleisshem*, *S. Abony*, *S. Telhashomer*, stwierdzano u wielu osobników rodzimego gatunku jaszczurki zwinki, żyjącego w mieście (35). Badania przeprowadzone w Polsce wykazały, że aż 87,5% węży pochodzących ze środowiska naturalnego było nosicielami *Salmonella* (62). Zarówno w przypadku węży, jak i jaszczurek stwierdzane serowary były inne niż te dominujące u zwierząt hodowlanych (35, 62). W 2021 r. z 1175 próbek pochodzących od dzików pobranych na terenie 3 państw, uzyskano 6,6% wyników dodatnich (57).

### **Salmonella w paszach**

Rozwój oraz intensyfikacja rolnictwa na świecie prowadzi do zwiększenia zapotrzebowania na pasze i karmy. Ich zanieczyszczenie pałeczkami *Salmonella* jest częstą przyczyną zakażeń nie tylko zwierząt hodowlanych, ale również zwierząt domowych oraz pośrednio i bezpośrednio ludzi (22, 53). Do zanieczyszczenia pasz może dojść na wielu etapach produkcji, począwszy od stosowanych materiałów roślinnych lub zwierzęcych, przez cały proces produkcji, na przechowywaniu i transporcie kończąc. Istotne znaczenie dla rozprzestrzeniania się bakterii ma często powstający w trakcie cyklu pył, który jest wektorem zarazka pomiędzy różnymi sektorami zakładów przetwórstwa pasz. Dodatkowym elementem jest dostęp nawet niewielkiej ilości wilgoci, która podnosi aktywność wody i sprzyja rozwojowi mikroorganizmów (47). Ważny jest również rodzaj pasz – *Salmonella* częściej izolowana jest z wysokobiałkowych komponentów paszowych roślin oleistych, rzadziej z mączek rybnych i pochodnych pszenicy (31).

W celu ograniczenia zagrożeń producenci wdrażają System Analizy Zagrożeń i Krytycznych Punktów Kontroli (HACCP) oraz monitorują środowisko produkcji (22, 48). Aby ograniczyć występowanie *Salmonella* stosowana jest obróbka termiczna (np. granulowanie) lub chemiczna (np. dodatek kwasów organicznych). Mimo tych działań na rynek wciąż trafiają produkty będące wektorem patogenu. W ciągu ostatnich lat udokumentowano przypadki salmonellozy wywołanej przez zanieczyszczoną paszę u drobiu (48) oraz trzody chlewnej (40). Potwierdzeniem roli pasz w cyklu szerzenia się salmonellozy może być 159 zachorowań człowieka odnotowanych w Austrii. W wyniku dochodzenia epidemiologicznego potwierdzono, że źródłem tego zakażenia były jaja pochodzące od kur karmionych śrutą sojową zanieczyszczoną

*S. Mbandaka* (48). W 2012 r. w Stanach Zjednoczonych i Kanadzie ogniska salmonellozy człowieka wywołała *S. Infantis* izolowana z suchej karmy dla psów (25).

*Salmonella* w środowisku produkcji i przechowywania pasz może utrzymywać się przez lata, mimo stosowania środków czyszczenia i dezynfekcji. Skuteczność odkażania zależna jest od rodzaju i stężenia substancji czynnej stosowanych preparatów oraz formy występowania patogenu (komórki wysuszone, biofilm, zawiesina komórkowa) (37). Wysoka odporność na suche warunki, które preferuje przemysł paszowy, jest ściśle związana ze zdolnością mikroorganizmów do tworzenia biofilmu. Powstając na powierzchniach produkcyjnych lub w innych częściach środowiska wytwórni, zwłaszcza trudno dostępnych, chroni on bakterie przed szkodliwym działaniem fizycznych i chemicznych czynników zewnętrznych (22, 39, 47). Kluczowa jest również zdolność do gromadzenia osmoprotektantów, chroniących komórkę bakteryjną przed nadmierną utratą wody. Funkcję taką pełni np. trehaloza, która zastępuje cząsteczki wody związane z głównymi grupami fosfolipidów błonowych i z łańcuchami bocznymi aminokwasów (15, 24). Ponadto potwierdzono, iż w trudnych warunkach, takich jak szok osmotyczny, pałeczki *Salmonella* mogą przejść w stan uśpienia określane jako VBNC (viable but non-culturable). Obniżając metabolizm oraz tracąc zdolność do podziałów komórkowych, są w stanie przetrwać w niekorzystnym środowisku przez długi czas. Jest to zjawisko szczególnie niebezpieczne, ponieważ komórki w stanie VBNC są niewykrywalne konwencjonalnymi metodami izolacji (22). Również tolerancja na kwaśne środowisko jest ważnym czynnikiem sprzyjającym przetrwaniu *Salmonella* w szeroko pojętym przemyśle paszowym, w którym kwasy organiczne wykorzystywane są do dekontaminacji partii produktów. Dzięki wykształceniu specjalnego systemu ochronnego, określanego jako Acid Tolerance Response (ATR) bakterie mogą być stosunkowo tolerancyjne na niskie wartości pH, co stanowi duże wyzwanie dla producentów oraz użytkowników pasz (9, 12).

### **Salmonella w roślinach**

Salmonelloza kojarzona jest głównie z produktami odzwierzęcymi, jednak coraz większe znaczenie w rozprzestrzenianiu tego patogenu mają rośliny. Ze względu na preferencje konsumentów, którzy kładą duży nacisk na zdrowe, minimalnie przetworzone lub surowe produkty roślinne, ma to istotne znaczenie dla zdrowia publicznego. W literaturze opisano wiele przypadków salmonelloz, w których źródłem zakażenia były owoce, warzywa, orzechy czy zioła (11, 18, 21, 26). Przenoszenie bakterii na rośliny może być wynikiem wykorzystywania do nawadniania pól lub mycia zanieczyszczonej wody, stosowania nieodpowiednio kompostowanych nawozów organicznych, wypasania zwierząt hodowlanych na sąsiadujących z uprawami

polach, nieodpowiedniej higieny w trakcie zbioru i podczas przetwarzania produktów (19, 28, 42, 56).

Pałeczki *Salmonella* nie są typowymi patogenami roślin, w związku z czym nie posiadają enzymów odpowiedzialnych za degradację ściany komórkowej. Aby móc się rozwijać i rozprzestrzeniać, bakterie korzystają z obecności fitopatogenów, które hamują procesy obronne rośliny oraz uszkodzają jej tkanki, uwalniając niezbędne składniki odżywcze (56). Pałeczki *Salmonella* wykształciły również własne mechanizmy kolonizacji, dzięki którym są w stanie przeżyć na powierzchni w pełni rozwiniętych roślin, mimo panujących trudnych dla nich warunków, tj.: ekspozycji na promienie UV, zmiennej dostępności składników odżywczych oraz wysychania (4, 30, 32). Podobnie jak w przypadku środowiska przetwórstwa, ważnym czynnikiem wpływającym na zakażenia jest zdolność *Salmonella* do tworzenia biofilmu, umożliwiającego silne przyleganie do powierzchni rośliny oraz chroniącego mikroorganizmy przed niekorzystnymi czynnikami środowiskowymi (19, 28, 42). Rolę biofilmu potwierdzają badania prowadzone na szczepach *S. Typhimurium*, w których transfer mutantów z delecją genów odpowiedzialnych za ekspresję głównych składników biofilmu do pietruszki był niższy w porównaniu do szczepu dzikiego (42). Tempo i zakres formowania biofilmu zależy od serowaru oraz gatunku i odmiany rośliny. Dla przykładu: szczepy należące do serowaru *S. Tennessee* wytwarzały dużo więcej biofilmu w warunkach *in vitro* i wykazywały również znacznie lepszą adhezję do powierzchni badanych roślin w porównaniu do pozostałych badanych serowarów (19). Przetrwanie oraz proliferacja drobnoustroju jest możliwa również dzięki obecności wici, które pozwalają bakterii przedostać się poprzez naturalne otwory, takie jak aparaty szparkowe, szparki wodne czy nektarniki, do głębiej położonych tkanek. Inkubacja *S. Typhimurium* z liśćmi sałaty lodowej, w warunkach oświetlenia, powodowała agregację bakterii w pobliżu otwartych aparatów szparkowych oraz inwazję wewnętrznej tkanki liścia (32). Badania prowadzone na pomidorach potwierdziły także zdolność *S. Typhimurium* do wnikania do wnętrza tkanek rośliny poprzez stale otwarte szparki wodne (27, 30). Najczęstszą i najprostszą drogą infekcji są jednak uszkodzenia mechaniczne (21, 30, 32, 56). Zarówno nasiona, jak i sadzonki są bardziej podatne na zakażenia, ponieważ nie posiadają jeszcze naturalnych barier chroniących przed przedostawaniem się do ich wnętrza niepożądanych organizmów i cząsteczek (20). Deering i wsp. (11) po krótkiej ekspozycji nasion orzecha ziemnego na zawieszinę bakterii, wykryli duże ilości *Salmonella* na sadzonce, jak również w komórkach naskórka, kory, tkanki naczyniowej oraz miękiszowej. Bakterie po przejściu do tkanek rośliny mogą być przenoszone wewnętrznym systemem transportowym (głównie przez łyko) do różnych organów, w tym do owoców i nasion. Zarówno Guo X i wsp. (21), jak

i Gu G i wsp. (20) po zaszczepieniu kwiatu i łodygi wykryli patogen w owocach pomidora. Konsekwencją przemieszczania *Salmonella* w obrębie rośliny może być dalsze rozsiewanie patogenu oraz umożliwienie przekazywania go z pokolenia na pokolenie (11, 20, 30). Innym torem kolonizacji flory jest system korzeniowy. Korzenie roślin wydzielają do gleby związki stanowiące idealne dla mikroorganizmów źródło węgla, azotu i aminokwasów. Substancje te stymulują bakterie do chemotaksji, co odgrywa ważną rolę w kolonizacji nowego żywiciela. Istotna na tym etapie jest konkurencja pomiędzy drobnoustrojami zasiedlającymi to środowisko. Bakterie glebowe w ramach współzawodnictwa o dostęp do korzeni oraz związków odżywczych ograniczają rozwój i liczebność mikrobioty konkurencyjnej, w tym również *Salmonella* (28, 56).

Powyższe przykłady potwierdzają związek zdolności kolonizacji *Salmonella* z serowarem oraz rodzajem atakowanej rośliny (20, 27, 28, 30).

### Przeżywalność *Salmonella* w glebie

Gleba jako jeden z zasiedlanych ekosystemów, pełni ważną rolę w transmisji patogenów jelitowych i może być przyczyną skażenia zarówno wód gruntowych, jak i roślin uprawnych. Podstawowym źródłem zanieczyszczenia są: woda oraz nieprawidłowo kompostowane nawozy naturalne (41, 50, 55). Przetrwanie *Salmonella*, jak również ich zdolność do namnażania się w tym środowisku, według różnych danych literaturowych, waha się od kilku dni do około 1 roku i zależy od wielu, wzajemnie oddziałujących składników biotycznych oraz abiotycznych (41, 55, 59). Istotnym czynnikiem wpływającym na utrzymanie bakterii jest typ gleby. Potwierdzono większą przeżywalność *Salmonella* w glebie gliniastej w porównaniu z glebą o większej zawartości frakcji piaskowej, co może być związane z dostępnością składników odżywczych, zatrzymywaniem wilgoci oraz mniejszym rozmiarem cząsteczek, zapewniającym ochronę przed wysuszeniem i światłem UV (1, 27, 44). Wzbogacenie gleby nawozami naturalnymi, stanowiącymi bogate źródło składników odżywczych, znacznie zmniejsza tempo redukcji liczby komórek patogenu (27, 44). W pracy Bardsley i wsp. (1) potwierdzono, iż dodatek obornika do podłoża wydłużył czas, w którym izolowano patogen średnio o 89 dni. W badaniach Paluszak i wsp. (41) prowadzonych w 20°C, po dodaniu gnojowicy bakterie *Salmonella* wykrywano o 6,5 tygodnia dłużej, jednak zależności tej nie potwierdzono w temperaturze 4°C. *Salmonella* w środowisku glebowym wykazuje dłuższą przeżywalność w temperaturach niższych, co może wynikać ze zwolnionego metabolizmu podczas ekspozycji na nietypowe dla niej warunki. W badaniu Phan-Thien i wsp. (44) wykazano wolniejszy spadek liczby bakterii w temp. 5°C niż 21°C, zaś najwyższą redukcję odnotowano w temp. 37°C. W doświadczeniu Paluszak i wsp. (41) tempo spadku było zależne zarówno od temperatury, jak i wzbogacenia podłoża

gnojowicą. Dodatkowym czynnikiem mającym wpływ na trwałość *Salmonella* jest pH podłoża; patogeny zaszczone w glebie kwaśnej utrzymują się znacznie krócej w porównaniu do gleb o odczynie obojętnym i lekko zasadowym (13). Jak w każdym środowisku, również w glebie dochodzi do konkurencji mikroorganizmów allochtonicznych i rodzimych, przy czym organizmy naturalnie zajmujące dany ekosystem wykazują lepsze przystosowanie, wypierając bakterie patogene (27, 41, 50, 55, 59). Schierstaedt i wsp. (50) wykazali zwiększoną przeżywalność *Salmonella* w glebie o zmniejszonej różnorodności drobno-ustrojów w porównaniu do gleby niezmienionej, potwierdzili także zdolność patogenu do adaptacji do naturalnego środowiska po wcześniejszej ekspozycji na autoklawowane podłoże. Podobnie You i wsp. (59) potwierdzili większy, początkowy wzrost ilości *Salmonella* Newport oraz dłuższy czas przeżycia w glebie sterylizowanej. Islam i wsp. (26) w prowadzonych badaniach terenowych zaobserwowali również, że różnice w czasie utrzymywania się *Salmonella* w zanieczyszczonej glebie zależą od prowadzonej uprawy. Badania 12 różnych serowarów *Salmonella* potwierdziły korelacje pomiędzy zastosowanym szczepem a czasem przeżywalności mikroorganizmu w glebie. Serowar *S. Muenchen* wykazywał szybszy dzienny wskaźnik wymierania w porównaniu do pozostałych szczepów, zaś *S. Braenderup*, *S. Meleagridis* i *S. Newport* charakteryzowały się wskaźnikiem najwolniejszym (1). Rozpatrując glebę jako rezerwuariat *Salmonella*, należy uwzględnić jej różnorodność oraz złożoność wynikającą z wzajemnego oddziaływania wszystkich wymienionych czynników.

### ***Salmonella* w środowisku wodnym**

Środowisko wodne nie jest typowym ekosystemem pałeczek *Salmonella*, mimo to dane literaturowe wskazują na ich częste występowanie zarówno w wodach powierzchniowych, jak i gruntowych. Patogeny jelitowe dostają się do zbiorników wodnych bezpośrednio wraz z odchodami ludzi i zwierząt, tak hodowlanych, jak wolnożyjących lub pośrednio z niewystarczająco oczyszczonymi osadami ściekowymi czy spływami z gruntów rolnych (6, 36, 54). Dla przykładu: z próbek pobranych z jeziora w Indiach, szczególnie ważnego ze względu na powszechne wykorzystywanie akwenu przez miejscową ludność, wyizolowano serowary, takie jak: *Salmonella* Paratyphi A, B, C oraz *S. Newport* (7). Badania wód gruntowych na terenie południowych Włoch wykazały że w 10,3% badanych studni wykryto obecność *Salmonella* (17). W wodzie morskiej patogen był izolowany głównie z przybrzeżnych rejonów w okolicach ujścia rzek i strumieni, a jego występowanie było ściśle związane z występującymi intensywnymi opadami deszczu, umożliwiającymi przeniesienie bakterii z pierwotnych punktów źródłowych, takich jak farmy, gospodarstwa domowe czy oczyszczalnia ścieków (33, 51). W wyniku badań działu wodnego

rzeki Oconee w USA zidentyfikowano 19 serowarów występujących w 62 punktach poboru próbek (34). Dochodzenie epidemiologiczne w Kanadzie ujawniło zanieczyszczenie wody pochodzącej z akwariów domowych oraz sklepów zoologicznych ponad 15 różnymi serowarami *Salmonella* (16). *Salmonella* w środowisku wodnym, mimo ograniczonego dostępu składników odżywczych jest w stanie przetrwać kilka miesięcy od zanieczyszczenia w zależności od panujących warunków (5, 54). W osadach dennych, które stanowią ochronę przed niekorzystnymi czynnikami środowiskowymi oraz cenne źródło substancji pokarmowych, czas przetrwania bakterii, jak i ich liczba znacznie wzrastają (8, 36). W badaniu Moore i wsp. (36) *Salmonella* w wodzie wykrywano przez 54 dni, zaś w osadach do 119 dni. Chandran i wsp. (6.) izolowali pałeczki *Salmonella* przez cały okres trwania badania zarówno z wody, jak i osadów, jednak w osadach ilość patogenu była znacznie wyższa. Ponadto badany szczep wykazywał lepszą przeżywalność w osadach o małej wielkości cząsteczek oraz wyższej zawartości związków organicznych. Głównymi czynnikami warunkującymi przeżycie *Salmonella* są temperatura oraz światło słoneczne. Badania dowodzą, iż bakterie w środowisku wodnym, analogicznie do bakterii bytujących w glebie, wykazują lepsze przystosowanie do temperatur niższych oraz do mniejszego natężenia światła (5, 6, 54). W pracy Sinton i wsp. (52) wskaźniki inaktywacji patogenu były znacznie wolniejsze w ciemności niż po ekspozycji na światło słoneczne, ponadto potwierdzono synergistyczne działanie nasłonecznienia oraz zasolenia na przeżycie *Salmonella*. Duży wpływ na przeżywalność i rozwój patogenów w zbiornikach wodnych ma również dostępność tlenu oraz poziom zawartych biogenów, niezbędnych dla prawidłowego metabolizmu mikroorganizmów (5, 6). Obecność autochtonicznej mikroflory wód, związana z nią konkurencja, jak i typ odżywiania pierwotniaków, bakteriofagów (preferujących bakterie Gram-ujemne) ograniczają rozwój *Salmonella* w wodach. Usunięcie mikroflory rodzimej znacznie zwiększa przeżywalność bakterii jelitowych (6, 8). Zanieczyszczenie wód gruntowych przy jednoczesnym wykorzystywaniu jej w procesach przetwórstwa może być również pośrednią przyczyną transmisji patogenów jelitowych na żywność (18, 32). Środowiska wodne mogą służyć jako rezerwuariaty dla enteropatogenów człowieka i chociaż w krajach uprzemysłowionych ryzyko zakażenia jest niewielkie ze względu na niskie prawdopodobieństwo przyjęcia dawki zakaźnej, to w krajach rozwijających się stanowi istotne źródło w rozprzestrzenianiu durów i durów rzekomych.

Pomimo zastosowania szeregu działań mających na celu ograniczenie rozprzestrzeniania się *Salmonella*, patogen ten nadal jest problemem globalnym, stanowiąc poważne zagrożenie w aspekcie zdrowia publicznego oraz zdrowia i dobrostanu zwierząt. Pałeczki z rodzaju *Salmonella*, dzięki wykształceniu szeregu

zróznicowanych systemów ochronnych, są w stanie przetrwać w niekorzystnych warunkach różnych środowisk. Ich przeżywalność jest związana z wieloma czynnikami, do których można przede wszystkim zaliczyć zajmowaną niszę ekologiczną i jej parametry fizyczno-chemiczne oraz dostępność do materii organicznej. Wśród serowarów *Salmonella* można dostrzec różnice w częstości ich występowania oraz trwałości w różnych środowiskach. Długoterminowa obecność *Salmonella* w ekosystemie wskazuje na wyraźne i aktualne ryzyko zanieczyszczeń krzyżowych oraz umożliwia dalsze rozprzestrzenianie się bakterii.

## Piśmiennictwo

- Bardsley C. A., Weller D. L., Ingram D. T., Chen Y., Oryang D., Rideout S. L., Strawn L. K.: Strain, soil-type, irrigation regimen, and poultry litter influence *Salmonella* survival and die-off in agricultural soils. *Front. Microbiol.* 2021, 12.
- Berger C. N., Shaw R. K., Brown D. J., Mather H., Clare S., Dougan G., Pallen M. J., Frankel G.: Interaction of *Salmonella enterica* with basil and other salad leaves. *ISME J.* 2009, 3, 261-265.
- Bonardi S.: *Salmonella* in the pork production chain and its impact on human health in the European Union. *Epidemiol. Infect.* 2017, 145, 1513-1526.
- Brandl M. T., Cox C. E., Teplitski M.: *Salmonella* interactions with plants and their associated microbiota. *Phytopathology* 2013, 103, 316-325.
- Budzińska K., Brudnicki A., Traczykowski A.: Przeżywalność *Salmonella* sp. w wodach powierzchniowych w zmiennych warunkach termicznych. *Annual Set the Environment Protection* 2009, 11, 935-943.
- Chandran A., Hatha A. A. M.: Relative survival of *Escherichia coli* and *Salmonella typhimurium* in a tropical estuary. *Water Res.* 2005, 39, 1397-1403.
- Chandran A., Hatha A. A. M., Varghese S.: Increased prevalence of indicator and pathogenic bacteria in Vembanadu Lake: a function of salt water regulator, along south west coast of India. *J. Water Health* 2008, 6, 539-546.
- Chandran A., Varghese S., Kandeler E., Thomas A., Hatha M., Mazumder A.: An assessment of potential public health risk associated with the extended survival of indicator and pathogenic bacteria in freshwater lake sediments. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 2011, 214, 258-264.
- Chapman J. S.: Disinfectant resistance mechanisms, cross-resistance, and co-resistance. *Int. Biodeterior. Biodegradation* 2003, 4, 271-276.
- Cummings K. J., Warnick L. D., Alexander K. A., Cripps C. J., Gröhn Y. T., McDonough P. L., Nydam D. V., Reed K. E.: The incidence of salmonellosis among dairy herds in the northeastern United States. *J. Dairy Sci.* 2009, 92, 3766-3774.
- Deering A. J., Pruitt R. E., Mauer L. J., Reuhs B. L.: Examination of the internalization of *Salmonella* serovar Typhimurium in peanut, *Arachis hypogaea*, using immunocytochemical techniques. *Food Res. Int.* 2012, 45, 1037-1043.
- Dubois-Brissonnet F.: Adaptation of *Salmonella* to antimicrobials in food-processing environments. *Salmonella – Distrib. Adapt. Control Meas. Mol. Technol.* 2012, 6, 123-145.
- Erickson M. C., Habteselassie M. Y., Liao J., Webb C. C., Mantripragada V., Davey L. E., Doyle M. P.: Examination of factors for use as potential predictors of human enteric pathogen survival in soil. *J. Appl. Microbiol.* 2014, 116, 335-349.
- Feasey N. A., Dougan G., Kingsley R. A., Heyderman R. S., Gordon M. A.: Invasive non-typhoidal salmonella disease: an emerging and neglected tropical disease in Africa. *Lancet*, London, England 2012, 379, 2489-2499.
- Finn S., Händler K., Condell O., Colgan A., Cooney S., McClure P., Amézquita A., Hinton J. C. D., Fanning S.: ProP Is Required for the Survival of Desiccated *Salmonella enterica* Serovar Typhimurium Cells on a Stainless Steel Surface. *Appl. Environ. Microbiol.* 2013, 79, 4376-4384.
- Gaulin C., Vincent C., Ismail J.: Sporadic infections of *Salmonella* Paratyphi B, var. Java associated with fish tanks. *Can. J. Public Health* 2005, 96, 471-474.
- Giglio O. de, Barbuti G., Trerotoli P., Brigida S., Calabrese A., Di Vittorio G., Lovero G., Caggiano G., Uricchio V. F., Montagna M. T.: Microbiological and hydrogeological assessment of groundwater in southern Italy. *Environ. Monit. Assess.* 2016, 188.
- Greene S. K., Daly E. R., Talbot E. A., Demma L. J., Holzbauer S., Patel N. J., Hill T. A., Walderhaug M. O., Hoekstra R. M., Lynch M. F., Painter J. A.: Recurrent multistate outbreak of *Salmonella* Newport associated with tomatoes from contaminated fields, 2005. *Epidemiol. Infect.* 2008, 136, 157-165.
- Gu G., Cevallos-Cevallos J. M., van Bruggen A. H. C.: Ingress of *Salmonella enterica* Typhimurium into tomato leaves through hydathodes. *PLoS One* 2013, 8.
- Gu G., Hu J., Cevallos-Cevallos J. M., Richardson S. M., Bartz J. A., van Bruggen A. H. C.: Internal colonization of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium in tomato plants. *PLoS One* 2011, 6.
- Guo X., Chen J., Brackett R. E., Beuchat L. R.: Survival of salmonellae on and in tomato plants from the time of inoculation at flowering and early stages of fruit development through fruit ripening. *Appl. Environ. Microbiol.* 2001, 67, 4760-4764.
- Habimana O., Nesse L. L., Møretro T., Berg K., Heir E., Vestby L. K., Langsrud S.: The persistence of *Salmonella* following desiccation under feed processing environmental conditions: a subject of relevance. *Lett. Appl. Microbiol.* 2014, 59, 464-470.
- Hamel F. A. de, McInnes H. M.: Lizards as vectors of human salmonellosis. *Epidemiol. Infect.* 1971, 69, 247-253.
- Howells A. M., Bullifent H. L., Dhaliwal K., Griffin K., Garcia De Castro A., Frith G., Tunnacliffe A., Tibball R. W.: Role of trehalose biosynthesis in environmental survival and virulence of *Salmonella enterica* serovar typhimurium. *Res. Microbiol.* 2002, 153, 281-287.
- Imanishi M., Rotstein D. S., Reimschuessel R., Schwensohn C. A., Woody D. H., Davis S. W., Hunt A. D., Arends K. D., Achen M., Cui J., Zhang Y., Denny L. F., Phan Q. N., Joseph L. A., Tuite C. C., Tataryn J. R., Behravesh C. B.: Outbreak of *Salmonella enterica* serotype Infantis infection in humans linked to dry dog food in the United States and Canada, 2012. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 2014, 244, 545-553.
- Islam M., Morgan J., Doyle M. P., Phatak S. C., Millner P., Jiang X.: Persistence of *Salmonella enterica* serovar typhimurium on lettuce and parsley and in soils on which they were grown in fields treated with contaminated manure composts or irrigation water. *Foodborne Pathog. Dis.* 2004, 1, 27-35.
- Jechalke S., Schierstaedt J., Becker M., Flemer B., Grosch R., Smalla K., Schikora A.: *Salmonella* establishment in agricultural soil and colonization of crop plants depend on soil type and plant species. *Front. Microbiol.* 2019, 10.
- Klerks M. M., Franz E., Van Gent-Pelzer M., Zijlstra C., Van Bruggen A. H. C.: Differential interaction of *Salmonella enterica* serovars with lettuce cultivars and plant-microbe factors influencing the colonization efficiency. *ISME J.* 2007, 1, 620-631.
- Kovačić A., Huljev Ž., Sušić E.: Ground water as the source of an outbreak of *Salmonella* Enteritidis. *J. Epidemiol. Glob. Health.* 2017, 7, 181-184.
- Kroupitski Y., Golberg D., Belausov E., Pinto R., Swartzberg D., Granot D., Sela S.: Internalization of *Salmonella enterica* in leaves is induced by light and involves chemotaxis and penetration through open stomata. *Appl. Environ. Microbiol.* 2009, 75, 6076-6086.
- Kukier E., Kwiatek K., Goldsztejn M., Grenda T.: Mikroflora pasz. *Życie Wet.* 2012, 90, 51-54.
- Lapidot A., Yaron S.: Transfer of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium from contaminated irrigation water to parsley is dependent on curli and cellulose, the biofilm matrix components. *J. Food Prot.* 2009, 72, 618-623.
- Martinez-Urtaza J., Saco M., De Nova J., Perez-Piñero P., Peiteado J., Lozano-Leon A., Garcia-Martin O.: Influence of environmental factors and human activity on the presence of *Salmonella* serovars in a marine environment. *Appl. Environ. Microbiol.* 2004, 70, 2089-2097.
- Meinersmann R. J., Berrang M. E., Jackson C. R., Fedorka-Cray P., Ladely S., Little E., Frye J. G., Mattsson B.: *Salmonella*, *Campylobacter* and *Enterococcus* spp.: Their antimicrobial resistance profiles and their spatial relationships in a synoptic study of the Upper Oconee River basin. *Microb. Ecol.* 2008, 55, 444-452.
- Mokračka J., Krzywińska S., Altunin D., Wasyl D., Koczura R., Dudek K., Dudek M., Chyleńska Z. A., Ekner-Grzyb A.: In vitro virulence characteristics of rare serovars of *Salmonella enterica* isolated from sand lizards (*Lacerta agilis* L.). *Antonie Van Leeuwenhoek.* 2018, 111, 1863-1870.
- Moore B. C., Martinez E., Gay J. M., Rice D. H.: Survival of *Salmonella enterica* in freshwater and sediments and transmission by the aquatic midge *Chironomus tentans* (Chironomidae: Diptera). *Appl. Environ. Microbiol.* 2003, 69, 4556-4560.
- Møretro T., Vestby L. K., Nesse L. L., Storheim S. E., Kotlarz K., Langsrud S.: Evaluation of efficacy of disinfectants against *Salmonella* from the feed industry. *J. Appl. Microbiol.* 2009, 106, 1005-1012.
- Multi-country outbreak of *Salmonella* Braenderup ST 22, presumed to be linked to imported melons. *EFSA Supporting Publications* 2021, 18.
- Nesse L. L., Nordby K., Heir E., Bergsjoe B., Vardund T., Nygaard H., Holstad G.: Molecular Analyses of *Salmonella enterica* Isolates from Fish

- Feed Factories and Fish Feed Ingredients. Appl. Environ. Microbiol. 2003, 69, 1075-1081.
40. Österberg J., Vågsholm I., Boqvist S., Lewerin S. S.: Feed-borne outbreak of *Salmonella cubana* in Swedish pig farms: risk factors and factors affecting the restriction period in infected farms. Acta Vet. Scand. 2006, 47, 13-21.
  41. Paluszak Z., Ligocka A., Breza-Boruta B., Olszewska H.: The survival of selected fecal bacteria in peat soil amended with slurry. Electron. J. Polish Agric. Univ. 2003, 6.
  42. Patel J., Sharma M.: Differences in attachment of *Salmonella enterica* serovars to cabbage and lettuce leaves. Int. J. Food Microbiol. 2010, 139, 41-47.
  43. Paul A. E. H., Stait J.: The intestinal microbiome in dogs and cats with diarrhoea as detected by a faecal polymerase chain reaction-based panel in Perth, Western Australia. Aust. Vet. J. 2019, 97, 418-421.
  44. Phan-Thien K., Metaferia M. H., Bell T. L., Bradbury M. I., Sassi H. P., van Ogtrop F. F., Suslow T. V., McConchie R.: Effect of soil type and temperature on survival of *Salmonella enterica* in poultry manure-amended soils. Lett. Appl. Microbiol. 2020, 71, 210-217.
  45. Pijnacker R., Dallman T. J., Tijmsma A. S. L., Hawkins G., Larkin L., Kotila S. M., Amore G., Amato E., Suzuki P. M., Denayer S., Klamer S., Pászti J., McCormick J., Hartman H., Hughes G. J., Brandal L. C. T., Brown D., Mossong J., Jernberg C., Müller L., Palm D., Severi E., Golebiowska J., Hunjak B., Owczarek S., Le Hello S., Garvey P., Mooijman K., Friesema I. H. M., van der Weijden C., van der Voort M., Rizzi V., Franz E.: International Outbreak Investigation Team: An international outbreak of *Salmonella enterica* serotype Enteritidis linked to eggs from Poland: a microbiological and epidemiological study. Lancet. Infect. Dis. 2019, 19, 778-786.
  46. Popa G. L., Popa M. I.: *Salmonella* spp. infection – a continuous threat worldwide. Germs. 2021, 11, 88.
  47. Prunić B., Milanov D., Mašić A., Jakšić S., Nešić K.: Facilities for animal feed production as salmonella reservoirs and sources of final products contamination. Arch. Vet. Med. 2019, 10, 71-83.
  48. Reiter E. V., Adler A., Kolar V.: Feed as a source of *Salmonella* contamination in poultry: two outbreaks in 2010 and 2011. Wiener Tierärztliche Monatsschrift – Vet. Med. Austria. 2012, 99, 51-54.
  49. Robinson E., Travanut M., Fabre L., Larréché S., Ramelli L., Pascal L., Guinard A., Vincent N., Calba C., Meurice L., Le Thien M. A., Fourgere E., Jones G., Fournet N., Smith Palmer A., Brown D., Le Hello S., Padros de la Gandara M., Weill F. X., Jourdan-Da Silva N.: Outbreak of *Salmonella* Newport associated with internationally distributed raw goats' milk cheese, France, 2018. Epidemiol. Infect. 2020, 148.
  50. Schierstaedt J., Jechalke S., Nesme J., Neuhaus K., Sørensen S. J., Grosch R., Smalla K., Schikora A.: *Salmonella* persistence in soil depends on reciprocal interactions with indigenous microorganisms. Environ. Microbiol. 2020, 22, 2639-2652.
  51. Simental L., Martinez-Urtaza J.: Climate patterns governing the presence and permanence of salmonellae in coastal areas of Bahía de Todos Santos, Mexico. Appl. Environ. Microbiol. 2008, 74, 5918-5924.
  52. Sinton L., Hall C., Braithwaite R.: Sunlight inactivation of *Campylobacter jejuni* and *Salmonella enterica*, compared with *Escherichia coli*, in seawater and river water. J. Water Health. 2007, 5, 357-365.
  53. Skarżyńska M., Hoszowski A., Zajac M., Lalak A., Samcik I., Kwit R., Wasyl D.: Distribution of *Salmonella* Serovars along the Food Chain in Poland, 2010-2015. J. Vet. Res. 2017, 61, 173-179.
  54. Szejniuk B., Budzińska K., Jurek A., Traczykowski A., Berleć K., Michalska M., Piątkowski J. K.: Przeżywalność bakterii *Salmonella* Enteritidis w wodach powierzchniowych. Annu. Set Environ. Prot. Rocz. Ochr. Środowiska 2013, 15, 2738-2749.
  55. Szejniuk B., Wasilewski P., Kubisz L., Szrajda P., Wroski G.: Eliminacja bakterii *Salmonella* Senftenberg W775 w uprawie wybranych roślin rolniczych. Acta Sci. Pol. Agric. 2007, 06, 73-81.
  56. Teplitski M., Barak J. D., Schneider K. R.: Human enteric pathogens in produce: un-answered ecological questions with direct implications for food safety. Curr. Opin. Biotechnol. 2009, 20, 166-171.
  57. The European Union One Health 2021 Zoonoses Report. EFSA J. 2022, 20.
  58. Waldram A., Lawler J., Jenkins C., Collins J., Payne M., Aird H., Swindlehurst M., Adak G. K., Grant K., Ready D., Gorton R., Foster K.: Large outbreak of multiple gastrointestinal pathogens associated with fresh curry leaves in North East England, 2013. Epidemiol. Infect. 2018, 146, 1940-1947.
  59. You Y., Rankin S. C., Aceto H. W., Benson C. E., Toth J. D., Dou Z.: Survival of *Salmonella enterica* serovar Newport in manure and manure-amended soils. Appl. Environ. Microbiol. 2006, 72, 5777-5783.
  60. Zajac M., Hoszowski A., Wasyl D., Szulowski K.: *Salmonella* u gadów – epidemiologia zakażeń i zagrożenie dla zdrowia publicznego. Med. Weter. 2011, 67, 376-379.
  61. Zajac M., Skarżyńska M., Lalak A., Kwit R., Śmiałowska-Węglińska A., Pasim P., Szulowski K., Wasyl D.: *Salmonella* in captive reptiles and their environment – can we tame the dragon? Microorganisms 2021, 9.
  62. Zajac M., Wasyl D., Różycki M., Bilka-Zajac E., Fafińska Z., Iwaniak W., Krajewska M., Hoszowski A., Konieczna O., Fafińska P., Szulowski K.: Free-living snakes as a source and possible vector of *Salmonella* spp. and parasites. Eur. J. Wildl. Res. 2016, 62, 161-166.

**Autor korespondencyjny: mgr Renata Kwit, Al. Partyzantów 57, 24-100 Puławy; e-mail: rkwit@piwet.pulawy.pl**