dr. hab. Marek Zdanowski, em. prof. nadzw.
Instytut Biochemii i Biofizyki PAN
02-106 Warszawa, ul. Pawińskiego 5A

Warszawa, 10.07.2023 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. Jakuba Kowalika pt. „Bakteriocenozy mat mikrobialnych strefy proglacjalnej Lodowca Ekologii (Wyspa Króla Jerzego, Antarktyka) - struktura taksonomiczna i potencjał fizjologiczny"

Katedra Mikrobiologii i Mykologii, Wydział Biologii i Biotechnologii, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Praca wykonana w ramach programu „ Interdyscyplinarne Studia Doktoranckie w zakresie Biologii i Biotechnologii (POWR.03.05.00-00-Z310/17) ufundowanego przez Europejski Fundusz Społeczny

Przedstawiona do recenzji praca doktorska jest opracowaniem o wysokich walorach naukowych. Temat rozprawy jest bardzo dobrze wybrany, daje bowiem Doktorantowi możność ukazania wielu aspektów związanych z powstawaniem i funkcjonowaniem mat w szczególnym środowisku, jakim są zimne wody polarne. Problematyka badawcza przedstawiona w ocenianej rozprawie doktorskiej mgr. Jakuba Kowalika dotyka najbardziej aktualnych zjawisk o zasięgu globalnym, którymi są ocieplenie klimatu oraz antropopresja. Niewielkie w odczuciu większości ludzi tempo wzrostu temperatury zbliżone w wielu miejscach do +0,5°C na dekadę powoduje topnienie mas lodu zgromadzonego w postaci lodowców występujących nie tylko w strefach polarnych, ale także w najróżniejszych strefach globu. Konsekwencje wypływające z tego przynoszą już teraz nieobliczalne skutki w postaci topnienia lodowców, odsłaniania rozległych terenów i uwalnianie ogromnych mas wody słodkiej, które wraz z ładunkiem pierwiastków i soli organicznych i nieorganicznych akumulowanych przez setki lat w lodzie, trafiają do powstających zbiorników i cieków wodnych stając się miejscem tworzenia mat mikrobialnych. Doktorant podjął się badań niezwykle ważnego składnika mikrobiocenozy jaką stanowią maty mikrobialne, powstające w siedliskach antarktycznych. Maty mikrobiologiczne są najwcześniejszą formą życia na Ziemi, dla której istnieją zachowane ślady skamieniałości, począwszy od 3,5 mld lat.

Struktura przedstawionej do recenzji dysertacji obejmuje streszczenie w języku polskim i abstrakt w języku angielskim, obszerny, lecz treściwy wstęp stanowiący wystarczające i pełne

wprowadzenie czytelnika w problematykę badań uzasadniający ich celowość, cel i zakres pracy wraz z hipotezą badawczą. Praca obejmuje 166 stron i zawiera 21 tabel, 71 rycin. Imponująca jest bardzo obszerna bibliografia. Wykaz cytowanych prac zawiera 317 pozycji. Praca składa się z następujących rozdziałów: wstępu, obszernego omówienia materiału i metodyki, wyników i dyskusji wraz z podsumowaniem oraz końcowych wniosków.

Wstęp do recenzowanej dysertacji doktorskiej zawiera wszystkie istotne elementy, w tym uzasadnienie wyboru tematyki pracy. We wstępie Autor opisuje obszar badań wokół Polskiej Stacji Antarktycznej PAN im. Henryka Arctowskiego, ze wskazaniem na zmiany środowiskowe, związane z docierającym do obszarów Antarktyki globalnym ociepleniem. Nasilenie procesów deglacjacji powoduje odsłanianie nowych ekosystemów wodnych i lądowych kolonizowanych przez liczne populacje autotroficznych i heterotroficznych mikroorganizmów. Powstające z topniejącego lodowca wody tworzą sieć efemerycznych cieków i stagnujących zbiorników, w których mogą powstawać maty mikrobialne. Autor odkreśla wpływ ekstremalnych czynników środowiskowych w Antarktyce: niska temperatura, intensywne nasłonecznienie, promieniowanie UV, na procesy kolonizacji oraz współdziałania między gatunkami tworzący biofilmy i maty bakteryjne. Przechodząc do kwestii zimnolubnych bakterii Autor podkreśla dominujące znaczenie psychrofili w globalnym mikrobiomie Ziemi, przytaczając fakt, że większość przestrzeni, w której żyją bakterie jest zimna, z temperaturą nieprzekraczającą 5°C. Życie w środowiskach, w których przeplatają się procesy zamarzania i rozmrażania wymagają posiadania przez mikroorganizmy specyficznych mechanizmów krioprotekcyjnych, które Autor w oparciu o cytowaną literaturę klarownie opisuje. Doktorant podkreśla fakt, że znajomość wielu aspektów życia bakterii w środowiskach polarnych (tak niegościnnych w naszym wyobrażeniu) zawdzięczamy między innymi standardowym technikom mikrobiologicznym, opartym zazwyczaj o długotrwałe hodowle. Zaznacza cytując piśmiennictwo, że ponad 80% potwierdzonych molekularnie gatunków nie namnaża się na stosowanych pożywkach. Obecnie dzięki rozwojowi technik molekularnych, w tym technologii bioinformatycznych stało się możliwe objęcie badaniami niehodowlanych form bakterii, pod kątem ich potencjału strukturalnego, fizjologicznego i biochemicznego. Bardzo starannie i czytelnie na sześciu stronach wstępu autor przedstawił złożone procesy powstawania i rozwoju mat mikrobialnych, odwołując się często do wiedzy zawartej w licznie cytowanych pozycjach literatury. Kluczowe znaczenie adhezji warunkującej kolonizacje biotycznych i abiotycznych powierzchni, i w dalszych etapach umożliwiającej powstawanie wielowarstwowych mat jest przez Autora przejrzyście opisana. We wstępie zabrakło komentarza do przejścia z opisu

procesów „matotwórczych" do opisu strukturalnej i funkcjonalnej charakterystyki mikroorganizmów występujących w glebach. Sporo uwagi Autor poświęca we wstępie sprawom potencjału aplikacyjnego, możliwości odkrywania i komercjalizacji nowych produktów do wykorzystania w medycynie i biotechnologii, opartych na zasobach biologicznych mat mikrobialnych.

Autor postawił sobie za cel przebadanie mat mikrobialnych występujących w efemerycznych zbiornikach na przedpolu Lodowca Ekologii pod kątem struktury taksonomicznej oraz potencjału fizjologicznego. Do realizacji celu wykorzystał zarówno współczesne analizy metagenomiczne wraz z molekularną identyfikacją wyizolowanych szczepów oraz klasyczne metody mikrobiologiczne: izolacje i hodowle szczepów w oparciu o fenotypowy „finger printing", analizę potencjału fizjologicznego i określenie potencjału środowiskowego. W przyjętej hipotezie badawczej znalazł się słabo zaznaczony we wstępie, a tak ważny wątek zależności strukturalnej pomiędzy bakteriocenozami mat mikrobialnych i gleb, z podkreśleniem, że bakteriocenoza gleby stanowi pierwotny mikrobiom.

Rozdział metodyczny w większości nie wzbudza zastrzeżeń pomimo trudnego i skomplikowanego układu badań. Bardzo dobrze, udokumentowane zdjęciami, przedstawione zostały stanowiska poboru mat mikrobialnych. W podrozdziale „Teren badań" czytelnik dowiaduje się, że „...materiał badawczy stanowiły maty mikrobialne pobrane w szczycie sezonu letniego w 2019 roku..." a na stronie 31, że „...materiał przywieziono do Polski w stanie zamrożonym". Sądzę, że tym informacjom powinien być poświęcony specjalny podrozdział, dotyczący poboru, przygotowania do transportu i samego transportu różnego rodzaju próbek do Polski (np. hodowli, stanowiących materiał wyjściowy do izolacji czystych kultur). Większość opisu podrozdziału 3.2„Charakterystyka badanych mat mikrobialnych" zawierająca dane dotyczące struktury sinic i okrzemek, powinna znaleźć się w Wynikach. Moje uwagi do podrozdziału.3.7 „Analiza właściwości metabolicznych metodą „fenotypowego odcisku palca" dotyczą prowadzonych hodowli. Płytki przed pomiarem były inkubowane w temp. 20°C. Jest to temperatura dopuszczalna dla większości psychrofili, ale ryzykownie wysoka. Doktorantowi chodziło zapewne o przyspieszenie reakcji. W mojej opinii lepiej by było inkubować hodowle w temp. 10°C w dłuższym czasie. Kolejna uwaga dotyczy doświadczalnych dawek promieniowania UVB wyrażonych w kJ/m^2 i ich wpływu na przeżywalność bakterii. Jakie są naturalne dawki promieniowania docierające do mat mikrobialnych w Antarktyce. Analizy statystyczne zastosowane w pracy potwierdzają

wiarygodność wyników uzyskanych przez Doktoranta i umożliwiają pełniejszą interpretację skomplikowanych powiązań uzyskanych wyników z warunkami środowiskowymi.

Doktorant posługując się liczbą odczytów sekwencji ukazuje podobieństwa i różnice w strukturze taksonomicznej bakteriocenoz mat i gleb, wskazując na słuszność przyjętej hipotezy o współzależności tych bakteriocenoz. Niestety opis zawarty w rozdziale 4.1., ze względu na wielorakość omawianych czynników jest mało przejrzysty i trudny do czytania. Większość danych mogłaby się znaleźć w tabeli. Reasumując, przyjętą hipotezę potwierdza fakt, że cytuję: „Wszystkie taksony na poziomie typów bakterii występujące w matach były reprezentowane w mikrobiocenozie gleb". Chciałbym zwrócić uwagę na różnice w proporcjach taksonów występujących w matach i w glebie. Po zsumowaniu procentów sekwencji dla głównych typów bakterii (96% - gleba; 99% - maty), widać, że średnio ponad 61% ogólnej liczby odczytów z mat stanowiły sinice, wobec 0,6% odczytanych sekwencji z gleby. Wysoko oceniam zastosowanie analizy redundancji, w celu objaśnienia i uporządkowania zależności pomiędzy typami bakterii w odniesieniu do czynników środowiskowych mat i gleb. Z dość przydługiego opisu rozkładu typu Bacteroidetes w próbkach mat i gleb wynika istotny fakt częstego wspólnego występowania wykrytych taksonów w obu rodzajach próbek, przy czym udział wspólnych taksonów zależał od lokalizacji miejsca poboru próbek. Wysoki udział wspólnych taksonów notowano w rejonie starych gleb, zaś niską współzależność odnotowano w rejonie najmłodszych gleb. Z przedstawionych danych wynika wyraźna współzależność badanych mikrobiocenoz, a przeprowadzona analiza PCA wskazała istotne różnice w strukturze mat pochodzących z dwóch typów środowisk wodnych. Typ Proteobacteria to jedna z największych grup mikroorganizmów nic dziwnego zatem, że zajmuje też poczesne miejsce wśród zimnolubnych bakterii, lokując się w matach i w glebie. Doktorant omówił kolejno trzy klasy wchodzące w skład tego typu: Alpha- Beta- i Gamma- Proteobacteria. Podobnie jak przy opisach poprzednich typów bardzo jasno wykazał podobieństwa i różnice pomiędzy poszczególnymi stanowiskami i próbkami opisanymi na podstawie uzyskanych sekwencji, obrazując to rycinami i tabelami. Chciałbym zaznaczyć, że z dobrze przygotowanych tabel i rycin (analiza PCA), bez zagłębiania się w tekst można wyczytać podobieństwa i różnice w strukturze taksonomicznej bakterii pomiędzy stanowiskami. W klasie Alphaproteobacteria należy zwrócić uwagę na dość liczne taksony spotykane tylko w matach. Sądzę, że wpływ zasilania zbiorników znajdujących się na przedpolu topniejącego lodowca, w mikrobiotę lodowcową jest jedną z możliwych interpretacji tego zjawiska. Moje badania, jak i najnowsze doniesienia, potwierdzają tezę, w których wskazuje się na „stare filogenetycznie" bakterie z

grupy Bacteroidetes i Verrucomicrobia mogące służyć za markery wieku warstw lodowca. Występowanie wspólnych taksonów w przypadku Betaproteobacteria i Gammaproteobacteria w matach i glebach jest kolejną ciekawą obserwacją dokonaną przez Doktoranta. Podsumowując wyniki w typie Proteobacteria widać wyraźnie, że wysoki udział taksonów wspólnych w matach i glebach potwierdza tezę o współzależności obu środowisk. W typie Verrucomicrobia zwraca uwagę moją uwagę wysoka częstość wykrytych sekwencji rodziny Verrucomicrobiaceae we wszystkich matach i glebie antropogenicznej GS, starej glebie GZ oraz bardzo niskie wartości dla młodych gleb GE i GO. Znaczna liczba taksonów unikalnych była obserwowana w glebach, a jedynie tylko dwa unikalne nowo opisane w matach ze zbiorników astatycznych MZ2 i MZ3. Pozostałe typy taksonomiczne Cyanobacteria i Planctomycetes stanowiące, (co jest powszechnie wiadome) istotny składnik biofilmów i mat mikrobialnych są świetnie opisane i zilustrowane przez Doktoranta. Brakuje mi natomiast, chociaż szczątkowej informacji na temat typu TM-7, skąd unikalność w matach i znaczny udział taksonów w glebach. W mojej opinii podsumowanie analiz taksonomicznych jest klarownie przedstawione i dobrze kończące skomplikowane opisy poszczególnych typów bakterii.

W manuskrypcie bardzo jasne i klarowne jest skomunikowanie czytelnika z aktywnością metaboliczną szczepów wyizolowanych z mat mikrobialnych, na podstawie rycin, bez wgłębiania się w opisy tekstowe. Przegląd właściwości metabolicznych przedstawionych na rycinach uzmysławia czytelnikowi złożoność reakcji metabolicznych zachodzących w matach i kompensowanie braku aktywności u jednych szczepów przez obfitość aktywności u innych. W ten sposób mata działa jak organizm wyposażony w niewyobrażalnie skuteczne narzędzia wpływające na całość ekosystemu maty i otaczającego środowiska wodnego, a także wnosi do Zatoki Admiralicji produkty mat potokowych.

Szczególnym zjawiskiem odkrytym przez Doktoranta jest wysoki procent szczepów opornych na antybiotyki oraz, jak wykazała analiza statystyczna istnienie istotnej korelacji pomiędzy odpornością szczepów na czynniki chemiczne a ich antybiotykoopornością. Oba wątki wnoszą dużą ilość uniwersalnych informacji ukazujących świat bakterii, jako niesamowicie różnorodny, wymykający się wszelkim spekulacjom, także z uwagi na możliwość występowania archaicznych szczepów, spływających z topniejącego lodowca a posiadających niezbadane właściwości,.

Od połowy lat siedemdziesiątych notuje się postępujące zmniejszanie grubości warstwy stratosferycznego ozonu nad Antarktyką. Tak zwana „dziura ozonowa", która pojawia się tam

regularnie na wiosnę, prowadzi nie tylko do wzrostu promieniowania ultrafioletowego przy powierzchni ziemi, ale także zwiększa jego penetrację w głąb morskich wód Antarktyki. Ważnym spostrzeżeniem Doktoranta, wzbogacającym wiedzę o potencjale środowiskowym bakterii polarnych jest powszechność oporności na promieniowanie UV. W moich własnych badaniach prowadzonych w rejonie Antarktyki wykazałem wpływ irradiacji UV B na różne izolaty bakterii środowisk wodnych i lądowych. Ponadto wykazano istotną rolę zacienionych siedlisk bakteryjnych dla przeżywalności bakterii w środowiskach znajdujących się pod wpływem wzmożonego promieniowania UV-B. Ten mój przydługi opis uświadamia jak ważne dla przeżywalności bakterii jest usytuowanie wrażliwych szczepów w głębszych warstwach mat oraz produkcja osłonowych pigmentów. Uważam ten rozdział, omówiony przez Doktoranta za bardzo interesujący i klarownie przedstawiony, brakuje mi tylko odniesienia do poziomu naturalnego promieniowania UV B w badanych środowiskach. Szczególną moją uwagę przykuł fakt silnej odporności na promieniowanie UV B, wykazywanej przez wszystkie szczepy interesującego rodzaju Stenotrophomonas. W podsumowaniu aktywności fizjologicznej i biochemicznej doktorant wskazał szczepy Stenotrophomonas jako posiadające najwyższy potencjał fizjologiczny i środowiskowy.

Dobrze opisanym, ważnym elementem funkcjonalnym w zbiorowisku bakterii mat mikrobialnych są oddziaływania antagonistyczne. Interesującym spostrzeżeniem Doktoranta jest zwrócenie uwagi na fakt istniejącej istotnej statystycznie korelacji pomiędzy aktywnością antagonistyczną a odpornością na czynniki chemiczne. Ponadto wykazano zależność pomiędzy aktywnością antagonistyczną a opornością na antybiotyki oraz ujemną, pomiędzy wrażliwością na antagonistyczne oddziaływania a opornością na antybiotyki. Znaczącym odkryciem Doktoranta jest wykazanie powszechnie występującej wśród bakterii mat mikrobialnych odporności na zamarzanie oraz właściwości adhezyjne.

Istotnym walorem przedstawionego do recenzji manuskryptu jest obszerna i wnikliwa dyskusja uzyskanych wyników. Efemeryczne, często krótkotrwałe zbiorniki muszą mieć czas na wytworzenie mat. Czy doktorant może coś powiedzieć o kinetyce, tempie kształtowania mat. W dyskusji podkreślono, że oligotroficzny charakter zbiorników wpływa na ograniczenie strukturalne mikrobiocenoz mat. Doktorant na podstawie badań własnych i w oparciu o literaturę wskazuje na kompensacyjną rolę bakterii wzbogacających ubogi ekosystem w potrzebne związki w tym związki azotu. Np. w potokach Lodowca Ekologii istotnym komponentem mat są diazotroficzne bakterie z rodziny Comamonadaceae, które posiadają geny nitrogenaz. Ponadto Doktorant zauważa inny model autotrofizmu polegający na zdolności

wykorzystania atmosferycznego wodoru, jako źródła energii w asymilacji dwutlenku węgla. Ciekawym odkryciem Doktoranta jest również wykazana w strukturze mat mikrobialnych znacząca rola bakterii z rodziny Rhodobacteraceae, które aktywnie uczestniczą, również w beztlenowych, cyklach biogeochemicznych węgla i siarki. W kształtowaniu struktury mikrobiologicznej gleb powstających na przedpolu topniejących lodowców istotne znaczenie odgrywa chronosekwencja i historia deglacjacji. W mojej opinii brak jest w dyskusji informacji o roli uwalnianych z lodowca „współczesnych i archaicznych" bakterii. W dyskusji poruszono, w oparciu o badania własne i bogate dane literaturowe, szereg ważnych aspektów dotyczących aktywności metabolicznej mikroorganizmów umożliwiającej sprawne ich funkcjonowanie w konsorcjach, w których istnieje zarówno silna konkurencja jak i wspomaganie jednych grup przez inne poprzez dostarczanie i usuwanie produktów metabolizmu. Ważnym aspektem jest tolerancja na różne parametry środowiska np. temperaturę, zasolenie, zmiany pH, innym aspektem są interakcje troficzne zachodzące pomiędzy autotroficznymi i heterotroficznymi komponentami mat mikrobialnych, stabilizujące układ. Jako przykład producentów wielu cukrowych związków polimerowych, stanowiących pożywkę dla heterotroficznych mikroorganizmów wskazano sinice będące dominującą grupą badanych mat. Wśród promieniowców rodzaj Arthrobacter został wymieniony, jako przedstawiciel mikroorganizmów o szerokich zdolnościach adaptacyjnych i przez wielu autorów wskazywany jako rodzaj pionierski w środowiskach polarnych. Wysoką aktywnością metaboliczną charakteryzowały się również bakterie z rodzaju Pseudomonas. Podsumowując, doktorant wskazuje, co wynika z badań własnych i doniesień literaturowych, że wysoka, ale też zróżnicowana aktywność metaboliczna potwierdza tezę, że maty mikrobialne są dynamicznymi i samoregulującymi się ekosystemami. Wysoka oporność na antybiotyki licznych szczepów bakterii wyizolowanych z mat mikrobialnych, co potwierdziły badania własne oraz liczne badania wielu autorów, jest uzasadniona. Ta oporność została ukształtowana w procesach mikroewolucji, jako obrona przed mikroorganizmami produkującymi naturalne antybiotyki. Jednak w dobie przemieszczania się mas ludzi i zwierząt w tereny polarne zaistniał problem wprowadzania mikrobiocenoz allochtonicznych drobnoustrojów antybiotykoopornych, o czym donoszą liczni autorzy cytowani w dyskusji. Zainteresowały mnie doniesienia autorów cytowanych w dyskusji, że jednym z istotnych wektorów odpowiedzialnych za transfer bakterii opornych na antybiotyki jest kryl, będący kluczowym elementem biocenozy antarktycznego ekosystemu, a także możliwość transportu szczepów antybiotykoopornych w rejony polarne na cząsteczkach mikroplastiku. Dyskutowany przez doktoranta potencjał środowiskowy wyraźnie

pozwala określić wielorakość czynników wpływających na dobór i wzajemne odziaływania na siebie mikroorganizmów, na które działają różne czynniki środowiskowe w początkowych i późniejszych stadiach rozwoju mat mikrobialnych. Wpływ promieniowania UV-B na jedne mikroorganizmy działa zabójczo, na inne osłabiająco, a na niektóre stymulująco. W dyskusji podkreślona jest rola osłaniająca pigmentów, występowanie sprawnych systemów naprawczych uszkodzeń DNA, czy mniejsza wrażliwość u grup narażonych stale na kontakt z promieniowaniem. Inną kategorią są odziaływania antagonistyczne w gęstych skupiskach bakterii, jakie stanowią maty mikrobialne. Doktorant wskazuje na ograniczoną liczbę prac badawczych poświęconych tym oddziaływaniom, podczas gdy badania własne i nieliczne dane piśmiennictwa wskazują na ogromne znaczenie oddziaływań antagonistycznych w funkcjonowaniu zagregowanych układów mikrobialnych. Ciekawe są wyniki badań własnych wskazujące, że bakterie o dużym potencjale antagonistycznym są mniej podatne na antagonizmy innych szczepów. Adhezja do powierzchni jest niewątpliwie jedną z podstawowych cech, którą muszą posiadać bakterie tworzące mikrokolonie w początkowym etapie tworzenia mat mikrobialnych, na co zwraca uwagę Doktorant, wykorzystując w dyskusji wyniki badań własnych jak i przytaczając dane innych autorów. Autor wskazuje na różnice w aktywności adhezyjnej pomiędzy różnymi zbadanymi szczepami. Uważa, że stwierdzone w toku badan własnych różnice w zdolnościach adhezyjnych mogą być uwarunkowane budową ściany komórkowej oraz występowaniem specyficznych powierzchniowych adhezyn. Dużo uwagi poświęca Doktorant mechanizmom przystosowawczym do życia w środowisku, w którym zamarzanie i rozmarzanie zabiłoby organizmy nieprzystosowane do życia w tych warunkach. W swoich badaniach wymienia szereg gatunków o najsilniejszych właściwościach do ochrony przed zamarzaniem oraz wskazuje, powołując się także na innych autorów na właściwości krioprotekcyjne dzięki posiadaniu różnorodnych białek przeciwlodowych. Niewątpliwym osiągnięciem naukowym przeprowadzonych przez Doktoranta badań, jest dokonanie oceny potencjału biochemicznego i fizjologicznego szczepów bakterii heterotroficznych izolowanych z mat mikrobialnych. Zakres uzyskanych danych jest imponujący i w istotny sposób wzbogaca naszą wiedzę o funkcjonowaniu ekosystemów polarnych. Za szczególnie wartościowe należy uznać skumulowanie informacji o właściwościach metabolicznych poszczególnych izolowanych szczepów zebranych w opracowanym banku szczepów. Wykorzystując pomiary ilościowe Autor wykrył liczne szczepy charakteryzujące się ponad przeciętnymi cechami związanymi m. in. z aktywnością biochemiczną (*Arthrobacter psychrochitiniphilus, Flavobacterium limicola, Pseudomonas*

azotoformans) odpornością na promieniowanie UVB (*Salinibacterium xinjiangense, Arthrobacter scleromae, Rhodococcus erythropolis*), właściwościami antagonistycznymi (*Pseudomonas antarctica*) oraz zdolnością do syntezy białek przeciwlodowych (*Flavobacterium tiangeerense, Bosea lathyri*). Opracowana kolekcja szczepów polarnych jest istotnym, praktycznym osiągnięciem naukowym Doktoranta. Bardzo ważną informacją uzyskaną w toku badań był wykazany znaczący odsetek bakterii charakteryzujących się antybiotykoopornością. Niewątpliwie zjawisko to budzi niepokój i wymaga uwzględnienia w podejmowaniu działań związanych z ochroną naturalnych ekosystemów, w tym bardzo wrażliwych na działanie czynników antropogenicznych, ekosystemów polarnych. Zarówno podsumowanie jak i bardzo starannie opracowane wnioski zamykają tę nad wyraz interesującą pracę pokazującą szczególny przykład różnorodności świata bakterii.

W konkluzji jednoznacznie stwierdzam, że praca doktorska Pana mgr. Jakuba Kowalika prezentuje wysoki poziom naukowy, zawiera elementy nowości naukowej, wiedza w niej zawarta ma dużą wartość poznawczą i praktyczną, spełnia, zatem wszystkie ustawowe wymogi formalne i merytoryczne stawiane dysertacjom doktorskim. Stwierdzam, że rozprawa doktorska spełnia warunki określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U.2023.742 ze zm.). Wnoszę zatem do Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Biologiczne Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie o dopuszczenie Pana mgr. Jakuba Kowalika do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych.

Marek Zdanowski