

DISS. ETH NO. 27035

***BIOMES TO MICROHABITATS – CLIMATIC AND VEGETATION CONTROLS
OVER SOIL BACTERIAL DIVERSITY AND ABUNDANCE***

a thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

SAMUEL MULINDA BICKEL

MSc in Environmental Sciences (ETH Zurich)

born on 23.11.1987

citizen of

Switzerland, Bubikon ZH

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Dani Or

Prof. Dr. Richard Bardgett

Prof. Dr. Noah Fierer

Dr. Naoise Nunan

2020

Abstract

The diversity and abundance of soil bacteria are highly dynamic and vary considerably across scales and biomes with significant effects on soil ecological functioning. Soil bacterial communities are composed of a few abundant species, with most of their richness associated to rare species with largely unknown ecological roles. The thesis incorporates key environmental ingredients that affect soil bacterial abundance and diversity into a mechanistic modeling framework that links soil, climate and carbon inputs. The fragmentation of the soil aqueous-phase is directly linked to bacterial diversity found under different soils and climates. Soil bacterial diversity peaks at intermediate water contents with numerous aqueous habitats that remain well supplied by plant derived carbon. We employ statistical modeling of recent global soil bacterial datasets to test the dependency of bacterial richness on key soil and climatic attributes. Results confirm the well-established association of bacterial richness with soil pH and reveal a hierarchy among covariates. Climatic soil water content has been proposed to create links between aqueous micro-habitats and climatic conditions. Surprisingly, rare bacterial species that are present at low relative abundances exhibit high sensitivity to environmental conditions. A novel classification of common and rare soil bacteria suggests consistent changes of rarity as found in observations and predicted by the mechanistic model. Results show an increase in rare bacterial species proportions in drier soils with lower carbon inputs. A shift in bacterial species composition results from suppressed activity of common species leading to more even distributions of species abundances in arid soils. The novel modeling framework predicts general tendencies of soil bacterial abundance and diversity by considering microscale processes based on only few environmental variables. The results here pave the way for systematic incorporation of microscale processes and their effects on bacterial life across scales; from soil grain surfaces to terrestrial biomes.

Zusammenfassung

Die Diversität und Abundanz von Bodenbakterien sind sehr dynamisch und variieren beträchtlich über verschiedene Skalen und Biome hinweg mit signifikantem Einfluss auf die ökologische Funktion des Bodens. Bodenbakteriengemeinschaften setzen sich aus einigen wenigen, reichlich vorhandenen, Arten zusammen. Der grösste Teil ihrer Vielfalt besteht aus seltenen Arten mit weitgehend unbekannter ökologischer Rolle. In dieser Dissertation werden die wichtigsten Umweltfaktoren, welche die Diversität und Abundanz von Bodenbakterien beeinflussen, in ein mechanistisches Modellierungssystem integriert. Dazu werden Bodeneigenschaften, Klima und Kohlenstoffeinträge berücksichtigt. Die Fragmentierung der wässrigen Phase im Boden steht in direktem Zusammenhang mit der bakteriellen Artenvielfalt. Diese erreicht ihren Höhepunkt bei mittleren Bodenwassergehalten wo zahlreiche, isolierte, aquatische Habitate gut mit pflanzlichem Kohlenstoff versorgt bleiben. Statistische Modellierung von globalen Bodenbakteriendatensätzen testet die Abhängigkeit des Bakterienreichtums von wichtigen Boden- und Klimaattributen. Die Ergebnisse bestätigen die gut etablierte Assoziation der bakteriellen Artenvielfalt mit dem Boden pH-Wert und zeigen zudem eine Hierarchie zwischen den Umweltfaktoren auf. Der klimatische Bodenwassergehalt wurde vorgeschlagen um aquatische Mikrohabitate mit klimatischen Bedingungen zu verknüpfen. Überraschenderweise zeigen seltene Bakterienarten, die in geringen relativen Häufigkeiten vorkommen, eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Umweltbedingungen. Eine neue Klassifizierung von häufigen und seltenen Bodenbakterien lässt auf konsistente Veränderungen der Seltenheit schließen, in Übereinstimmung mit empirischen Beobachtungen und wie sie durch das mechanistische Modell vorhergesagt wurden. Die Ergebnisse zeigen eine Zunahme des Anteils seltener Bakterienarten in trockeneren Böden mit geringerem Kohlenstoffeintrag. Eine Verschiebung in der Zusammensetzung der Bakterienarten ergibt sich aus der unterdrückten Aktivität der häufigen Arten, was zu einer gleichmäßigeren Verteilung der Artenhäufigkeit in trockenen Böden führt. Der neuartige Modellierungsansatz sagt allgemeine Tendenzen der Häufigkeit und Vielfalt von Bodenbakterien voraus, indem mikroskalige Prozesse auf der Grundlage nur weniger Umweltvariablen berücksichtigt werden. Die Ergebnisse ebnen den Weg für die systematische Einbeziehung mikroskaliger Prozesse und ihrer Auswirkungen auf das bakterielle Leben über verschiedene Skalen hinweg; von der Oberfläche von Bodenkörnern bis hin zu terrestrischen Biomen.