



Doctoral Thesis

Phosphorus dynamics in a ferralsol under maize-fallow rotations: the role of the soil microbial biomass

Author(s):

Bünemann König, Else Katrin

Publication Date:

2003

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004616189> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 15207

**PHOSPHORUS DYNAMICS IN A FERRALSOL UNDER MAIZE-FALLOW
ROTATIONS: THE ROLE OF THE SOIL MICROBIAL BIOMASS**

A dissertation submitted to the

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of

Doctor of Natural Sciences

presented by

ELSE KATRIN BÜNEMANN

Dipl.-Biol., Georg-August-Universität Göttingen

born 09.02.1973

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

**Prof. E. Frossard, examiner
Prof. H. Tiessen, co-examiner
Dr. P.C. Smithson, co-examiner
Dr. A. Oberson, co-examiner**

2003

Abstract

Microbial processes in the dynamics of phosphorus (P) in highly weathered soils of the tropics are not well understood. In this thesis, the introduction of a one-season fallow with the legume *Crotalaria grahamiana* into continuous maize cultivation (with two harvests per year) on a Ferralsol in western Kenya was chosen as a model case to investigate how the soil microbial biomass affects plant available P. Maize and fallow productivity and changes in soil properties during 5.5 years were studied in a field experiment with three crop rotations (continuous maize, maize-crotalaria fallow and maize-natural fallow rotation) at two levels of P fertilization (0 and 50 kg P ha⁻¹, applied as triple superphosphate). Soil samples from the field were also used in incubation and pot experiments.

Total maize production did not differ significantly among crop rotations, indicating that the maize yield forgone during the fallow season was compensated by higher post-fallow yields. During the first fallow season, the crotalaria fallow was more productive than the natural fallow, but due to pest problems, crotalaria growth decreased in the course of the experiment. In all crop rotations, P fertilization doubled total maize yields and resulted in positive P balances, but did not affect amounts of recycled biomass. N balances were negative in all cases. Both fallow types reversed the trend for soil organic matter losses observed under continuous maize. Highest levels of soil organic and microbial C, N and P were found in the maize-crotalaria rotation, while available inorganic P was similar in all crop rotations. Maize-legume fallow rotations complemented by balanced additions of inorganic fertilizers can improve yields and prevent soil degradation.

The composition of the microbial community as indicated by phospholipid fatty acid analysis differed between soils from continuous maize and maize-crotalaria rotation. Higher amounts of microbial biomass were connected with an increase in the relative abundances of indicators for fungi and gram-negative bacteria. P fertilization affected the community profile only in soils under continuous maize. In incubation experiments, the decomposition of glucose, cellulose and three plant residues proceeded faster in soil from the maize-crotalaria rotation, but differences were mostly transient. Microbial P and N uptake within one week increased together with the proportion of water-soluble C

in added plant residues and with the initial size of the microbial biomass. P fertilization had a limited effect on decomposition rates and microbial P uptake, confirming field observations that the microorganisms are limited by C and N rather than P availability. The cycling of P from different sources (added inorganic P, plant residue P, and soil P) labeled with ^{33}P was investigated during nine weeks of incubation. On average, 15% of ^{33}P from the plant residue was recovered in the microbial biomass, compared to 7 and 4% after carrier-free labeling and addition of inorganic P, respectively. More than half of the increase in microbial P after residue addition was derived from the soil. Microbial uptake of ^{33}P from all P sources appeared to occur mainly within the first day after soil amendment and remained almost unchanged thereafter, whereas the recovery of ^{33}P in resin-extractable P declined steadily from 7-22% after one day, depending on the P source, to 3-5% after nine weeks. Maize growing on the same soils took up a maximum of 2% of ^{33}P during growth periods of three weeks, with a higher recovery from added inorganic P than from the other two sources.

The microbial biomass is suggested to represent a very dynamic P compartment in a highly weathered soil, as the presence of labile C induces pronounced patterns of P immobilization and re-mineralization. To manage resulting adverse or beneficial effects on P availability to plants, a better understanding of microbial dynamics is still required.

Zusammenfassung

Mikrobielle Prozesse in der Dynamik von Phosphor (P) in stark verwitterten Böden der Tropen sind nicht gut bekannt. In dieser Arbeit wurde die Einführung einer halbjährigen Brache mit der Leguminose *Crotalaria grahamiana* in den Maisdaueranbau (mit zwei Ernten pro Jahr) auf einem Ferralsol in Westkenia als Model gewählt, um zu untersuchen, wie die mikrobielle Biomasse pflanzenverfügbares P im Boden beeinflusst. Mais- und Bracheproduktivität sowie Veränderungen im Boden wurden über eine Dauer von 5.5 Jahren in einem Feldversuch mit drei Fruchtfolgen (Maisdaueranbau, Mais-Crotalariabrache und Mais-Unkrautbrache) auf zwei P-Düngungsstufen (0 und 50 kg P ha⁻¹ in Form von Tripelsuperphosphat) untersucht. Die Bodenproben aus dem Feld wurden auch in Inkubations- und Topfversuchen verwendet. Der Gesamtertrag von Mais unterschied sich nicht signifikant zwischen den drei Fruchtfolgen. Das bedeutet, dass der Ertragsverlust während der Brachezeit durch höhere Erträge in der nächsten Anbauperiode ausgeglichen wurde. Die Crotalariabrache war in der ersten Saison produktiver als die Unkrautbrache, aber aufgrund von Schädlingsbefall nahm das Wachstum von *Crotalaria* im Verlauf des Feldversuchs ab. In allen Fruchtfolgen verdoppelte P-Düngung den Gesamtertrag von Mais und führte zu positiven P-Bilanzen, hatte aber keinen Einfluss auf die Menge der dem Boden zugeführten Pflanzenbiomasse. Die N-Bilanzen waren in allen Fällen negativ. Beide Brachetypen kehrten den Trend von Verlusten an organischer Substanz im Boden um, der unter Maisdaueranbau beobachtet wurde. Die höchsten Gehalte an organisch und mikrobiell gebundenem C, N und P wurden unter der Mais-Crotalariabrache festgestellt, während der Gehalt an pflanzenverfügbarem anorganischen P in allen Fruchtfolgen gleich war. Eine Fruchtfolge von Mais im Wechsel mit Leguminosenbrachen, die mit ausgeglichenen Gaben von mineralischem Dünger ergänzt wird, kann die Erträge erhöhen und eine Bodendegradation verhindern.

Die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft, die mit Phospholipid-Fettsäure-Analyse charakterisiert wurde, war unterschiedlich in Böden unter Maisdaueranbau und Mais-Crotalariabrache. Höhere Gehalte an mikrobieller Biomasse waren mit einem Anstieg der relativen Anteile von Indikatoren für Pilze und gram-negative Bakterien verbunden. P-Düngung veränderte die Zusammensetzung der mikrobiellen Population

nur in Böden unter Maisdaueranbau. In Inkubationsexperimenten verlief der Abbau von Glucose, Cellulose und drei Pflanzenrückständen schneller im Boden aus der Mais-Crotalariabrace, aber Unterschiede bestanden meistens nur vorübergehend. Die mikrobielle Aufnahme von P und N innerhalb einer Woche nahm zu mit dem Anteil an wasserlöslichem C in den zugegebenen Pflanzenrückständen sowie mit der Anfangsgrösse der mikrobiellen Biomasse. P-Düngung hatte einen begrenzten Einfluss auf die Abbauraten und die mikrobielle P-Aufnahme, wodurch Beobachtungen aus dem Feld bestätigt wurden, dass die Mikroorganismen stärker durch C und N limitiert sind als durch P.

Der P-Fluss aus verschiedenen, mit ^{33}P markierten Quellen (zugegebenes anorganisches P, P aus einem Pflanzenrückstand, und Boden-P) wurde während einer neunwöchigen Inkubation untersucht. Durchschnittlich 15% des ^{33}P aus dem Pflanzenrückstand und 4% aus zugegebenem anorganischen P wurde in der mikrobiellen Biomasse wiedergefunden, verglichen mit 7% nach Markierung des Bodens mit ^{33}P . Mehr als die Hälfte des Anstiegs in mikrobiellem P nach Zugabe des Pflanzenrückstands stammte aus dem Boden. Die mikrobielle Aufnahme von ^{33}P aus allen Quellen lief offenbar hauptsächlich innerhalb des ersten Tages nach Zugabe zum Boden ab und blieb danach fast unverändert, während die Wiederfindung von ^{33}P in harzextrahierbarem P fortlaufend von – je nach P-Quelle – 7-22% nach einem Tag auf 3-5% nach neun Wochen abnahm. In dreiwöchigen Wachstumsperioden nahm Mais von denselben Böden maximal 2% des ^{33}P auf, wobei die Wiederfindung aus zugegebenem anorganischem P grösser war als aus den beiden anderen P-Quellen.

Es wird vorgeschlagen, dass die mikrobielle Biomasse ein sehr dynamisches P-Kompartiment in einem stark verwitterten Boden darstellt, da die Anwesenheit von labilem C ausgeprägte Phasen von Immobilisierung und Remineralisierung auslöst. Um daraus resultierende negative oder positive Auswirkungen auf die P-Verfügbarkeit für Pflanzen steuern zu können, muss das Verständnis mikrobieller Dynamik noch verbessert werden.