

Diss. ETH No. 17329

NITROGEN DYNAMICS IN CONVENTIONAL AND ORGANIC CROPPING SYSTEMS

A dissertation submitted to the

ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by

CHRISTINA BOSSHARD

Dipl. Geogr., University of Zurich

born 08.03.1966

citizen of Zurich

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. E. Frossard, examiner

Prof. Dr. M. Kreuzer, co-examiner

Dr. P. Sørensen, co-examiner

Dr. A. Oberson, co-examiner

2007

Abstract

Intensification of agricultural production has greatly increased fluxes of nitrogen (N) between different compartments of the biosphere and more specifically emission of N compounds from agroecosystems with detrimental effects on the environment. In order to enhance fertilizer N use efficiency and reduce N losses to the environment and to sustain soil N stocks, understanding of N dynamics of animal manure and mineral fertilizer in agricultural cropping systems has to be improved. The impact of a long-term bio-organically (BIOORG) and conventionally (CONMIN) managed cropping system (receiving exclusively mineral fertilizer) and of different N sources (e. g. urine, feces, mineral fertilizer) on N dynamics were investigated in a field experiment. N use efficiency of animal manure and mineral fertilizer was assessed over three vegetation periods (wheat-soybean-maize), for a single application of ^{15}N -labeled slurries (either urine or feces labeled) and ^{15}N -labeled mineral fertilizer to microplots installed in the BIOORG and CONMIN soil. ^{15}N -labeled urine and feces were obtained from a sheep fed on ^{15}N -labeled ryegrass hay. The fate of fertilizer-N not taken up by the crops was investigated by determining ^{15}N recovered in the topsoil (0-18 cm) and by tracking incorporation of fertilizer- ^{15}N into different physically separated soil organic matter fractions (SOM). Changes in soil N stock of BIOORG and CONMIN were assessed by calculating N budgets and monitoring soil N content over a 26-years period.

Using ^{15}N -labeled ruminant manure in tracer studies requires uniform labeling of the manure components. Unequal ^{15}N -enrichment of feces fractions indicated that feces were not uniformly labeled. Still, the ^{15}N -enrichment of total feces N could be used to estimate N use efficiency of feces in slurry, because the enrichment of mineralized fecal N was not significantly different from the enrichment of total fecal N. Characterization of feces by Curie-point pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry and solid-state ^{15}N nuclear magnetic resonance spectroscopy revealed that most of the N-containing compounds in feces derived from proteins. In total 50.3%, 40.5% and 14.8 % of ^{15}N applied as mineral fertilizer, urine and feces was recovered by the three crops, with highest recoveries (10-47%) in the year of fertilizer application. In the subsequent years residual fertilizer N effect was low (< 3.5%). Despite higher microbial biomass size and

activity in BIOORG than CONMIN fertilizer N use efficiency by crops was predominantly affected by the form of fertilizer N applied and not by the cropping system. At the end of the third vegetation period 29.4%, 40.1% and 60.7% of mineral fertilizer-, urine- and feces- ^{15}N remained unaccounted, i. e. was not recovered in the three crops nor in the topsoil (0-18 cm). Similar amounts of N were retained in the topsoil independent of the N source applied. Most of fertilizer-derived N was incorporated into the macro-aggregates, which contained 67% of total soil N emphasizing their importance for N storage. The major N sink was the mineral-associated organic matter fraction. After dispersion (i. e. break up of aggregate structure) 37-55% of ^{15}N was lost from the macro-aggregates emphasizing the importance of aggregation for N protection.

Estimated yearly N deficit in the topsoil obtained from the N budget was $-77 \pm 17 \text{ kg N ha}^{-1}$ for BIOORG and $-89 \pm 10 \text{ kg N ha}^{-1}$ for CONMIN. Measured yearly decrease in topsoil N content was -29 kg N ha^{-1} for BIOORG and -39 kg N ha^{-1} for CONMIN. Hence, decrease in topsoil N stocks was overestimated by the N budget probably because of uncertainties in the budget caused by underlying assumptions, sampling errors and recycling of N. Repeated manure application in BIOORG which was expected to increase SOM and in parallel N content did not cause an increase in soil N stock in BIOORG. Despite inclusion of grass-clover mixtures and green manure crops in BIOORG and CONMIN and application of animal manure in BIOORG, the maintenance of soil N stocks may be difficult due to the high N mineralization potential of the Loess soil at this experimental site. Ongoing decrease of soil N stock may only be countered by reducing soil tillage activities to minimize release of N protected in soil aggregates.

N dynamics was shown to be mainly affected by the form of fertilizer N applied and to a lesser extent by the cropping system. To better synchronize N release with crop demand and thus improving fertilizer N use efficiency a better understanding of N dynamics particularly of recalcitrant organic N compounds contained in manure is still required.

Zusammenfassung

Die Zunahme von Stickstoff(N)-Emissionen aus Agrarökosystemen als Folge der Intensivierung der Agrarproduktion wirkt sich schädlich auf die Umwelt aus. Um die N-Ausnutzungseffizienz von Düngern zu erhöhen und die N-Emissionen zu verringern und um den Boden-N-Vorrat zu erhalten, muss die N-Dynamik von Hof- und Mineraldüngern in landwirtschaftlichen Anbausystemen besser verstanden werden. In einem Feld-Versuch wurde der Einfluss eines langzeit organisch-biologisch (BIOORG) und langzeit konventionell (CONMIN) (ausschliesslich Verwendung von Mineraldünger) bewirtschafteten Anbausystems sowie der Einfluss verschiedener N-Quellen (z. Bsp. Harn, Kot, Mineraldünger) auf die N-Dynamik untersucht. Die N-Ausnutzungseffizienz von Hof- und Mineraldünger wurde über drei Vegetationsperioden (Weizen-Soja-Mais) ermittelt. Dazu wurde ^{15}N -markierte Gülle (entweder Harn oder Kot markiert) sowie ^{15}N -markierter Mineraldünger als einmalige Gabe auf Mikroparzellen, welche im BIOORG und CONMIN angelegt wurden, ausgebracht. Der ^{15}N -markierte Harn und Kot stammten von einem mit ^{15}N -markiertem Heu gefütterten Schaf. Um den Verbleib des von den Pflanzen nicht aufgenommenen N zu ermitteln, wurde die Wiederfindung des Dünger- ^{15}N im Oberboden (0-18 cm) sowie dessen Inkorporation in verschiedene organische Bodenfraktionen bestimmt. Der Einsatz von ^{15}N -markierter Gülle zur Bestimmung der N-Ausnutzungseffizienz setzt voraus, dass die in der Gülle enthaltenen Komponenten homogen markiert sind. Die unterschiedliche ^{15}N -Anreicherung verschiedener Kotfraktionen wies darauf hin, dass der Kot nicht homogen markiert war. Die Anreicherung des Kots konnte aber dennoch zur Abschätzung der N-Ausnutzungseffizienz verwendet werden, da sich die Anreicherung von mineralisiertem Kot-N nicht signifikant von der Anreicherung im gesamten Kot unterschied. Analysen am Kot mittels Pyrolyse-Gaschromatographie/ Massenspektrometrie und Festphasen-NMR zeigten, dass der grösste Teil der N-haltigen Verbindungen im Kot von Proteinen stammt. Durch die Feldfrüchte wurde 50.3% des Mineraldünger- ^{15}N , 40.5% des Harn- ^{15}N und 14.8% des Kot- ^{15}N aufgenommen, davon der weitaus grösste Anteil (10-47%) im Ausbringungsjahr. Die Dünger-N-Nachwirkung in den nachfolgenden zwei Jahren war mit < 3.5% gering. Trotz der höheren mikrobiellen Aktivität im Boden von BIOORG

als CONMIN wurde die Dünger-N-Ausnutzungseffizienz hauptsächlich durch die Form der applizierten Dünger und weniger durch das Anbausystem beeinflusst. Am Ende der dritten Vegetationsperiode konnte 29.4% des Mineraldünger-¹⁵N, 40.1% des Harn-¹⁵N und 60.7% des Kot-¹⁵N weder in den Feldfrüchten noch im Oberboden wieder gefunden werden. Unabhängig von der applizierten N-Quelle wurde ungefähr dieselbe Menge an Dünger-N im Oberboden zurückgehalten. Die Inkorporation von Dünger-N erfolgte hauptsächlich in die Makroaggregate, welche 67% des gesamten Boden-N enthielten und somit einen wichtigen N-Speicher darstellen. Die wichtigste N-Senke war die Schluff-/Tonfraktion des Bodens. Durch die Dispersion der Aggregate wurde ein beachtlicher Anteil (37-55%) von zuvor vor allem in den Makroaggregaten geschütztem Dünger-¹⁵N freigesetzt. Das durch die N-Bilanz geschätzte jährliche N-Defizit belief sich für BIOORG auf $-77 \pm 17 \text{ kg N ha}^{-1}$ und für CONMIN auf $-89 \pm 10 \text{ kg N ha}^{-1}$. Die gemessene jährliche Veränderung im Boden-N-Gehalt betrug -29 kg N ha^{-1} für BIOORG und -39 kg N ha^{-1} für CONMIN. Das N-Defizit wurde in der Bilanz überschätzt. Annahmen und Schätzungen, die der N-Bilanzierung zugrunde liegen, sowie internes Recycling von N können zu Ungenauigkeiten in der Bilanz führen. Der wiederholte Eintrag von organischem Material durch die Hofdünger in BIOORG führte nicht wie erwartet zu einem Anstieg des Boden-N-Vorrates. Trotz mehrjähriger Kunstwiese und dem Anbau von Zwischenfrüchten in der Fruchtfolge von BIOORG und CONMIN und der Applikation von Hofdüngern in BIOORG könnte es wegen des hohen Mineralisierungspotentials des Loess-Bodens an diesem Standort schwierig werden, den Boden-N-Vorrat zu erhalten. Ein Fortschreiten der Abnahme des Boden-N-Vorrates kann möglicherweise nur dadurch verhindert werden, dass die Intensität der Bodenbearbeitung (v. a. Pflügen) drastisch reduziert wird und somit auch die Freisetzung von in Bodenaggregaten geschütztem N. Die N-Dynamik wurde vornehmlich durch die Art der ausgebrachten Dünger und in geringerem Mass vom Anbausystem beeinflusst. Damit die Freisetzung von Dünger-N besser mit dem N-Bedarf der Pflanzen abgestimmt werden kann, was wiederum zu einer Erhöhung der N-Ausnutzungseffizienz führt, muss vor allem die N-Dynamik von persistenten organischen N-Verbindungen in Hofdüngern besser verstanden werden.