



Faculty of Agricultural Sciences

Institute of Soil Science and Land Evaluation (310b)

University of Hohenheim

Department of Soil Biology

Professor Dr. Ellen Kandeler

**EFFECTS OF ELEVATED SOIL TEMPERATURE AND ALTERED PRECIPITATION PATTERNS ON
N-CYCLING AND PRODUCTION OF N₂O AND CO₂ IN AN AGRICULTURAL SOIL**

Dissertation

submitted in fulfillment of the requirements for the degree

“Doktor der Agrarwissenschaften”

(Dr.sc.agr./PhD in Agricultural Sciences)

to the

Faculty of Agricultural Sciences

presented by

Yadana Khin Latt

Myanmar

2015

Summary

Both temperature and precipitation regimes are expected to change with climate change and are, at the same time, major environmental factors regulating biogeochemical cycles in terrestrial ecosystems. Therefore, crop water availability, soil nitrogen transformations, losses, and uptake by plants as well as CO₂ emissions from soil are likely to be changed by climate change. Agriculture is known to be one of the most important human activities for releasing significant amounts of N₂O and CO₂ to the atmosphere. Due to global concern about the changing climate, there has been a great interest in reducing emissions of N₂O and CO₂ from agricultural soils. CO₂ and N₂O are produced in soil primarily by microbial processes. Their production and emissions from the soil are controlled by a number of environmental variables including inorganic N availability, soil temperature and water content. Agricultural management practices, such as irrigation, affect these environmental variables and thus have the potential to dramatically alter N₂O and CO₂ emissions from the soil.

The present study is titled "Effects of elevated soil temperature and altered precipitation patterns on N cycling and production of N₂O and CO₂ in an agricultural soil". The objectives of this study were: to determine the effects of elevated soil temperature on N cycling in a winter wheat cropping system, to investigate the short-term response of N₂O and CO₂ fluxes during rewetting of soils after extended dry periods in summer, and to determine the effects of different degrees of rewetting on the CO₂ emission peaks after rewetting in laboratory incubations.

In the 1st experiment, we used the Hohenheim Climate Change (HoCC) experiment in Stuttgart, Germany, to test the hypothesis that elevated soil temperature will increase microbial N cycling, plant N uptake and wheat growth. In the HoCC experiment, soil temperature is elevated by 2.5°C at 4 cm depth. This experiment was conducted at non-roofed plots (1m x 1m) with ambient (T_a) and elevated (T_e) soil temperature and with ambient precipitation. In 2012, winter wheat (*Triticum aestivum*) was planted. C and N concentrations in soil and aboveground plant fractions, soil microbial biomass C and N (C_{mic} and N_{mic}), mineral N content (NH₄⁺ - N and NO₃⁻ - N), potential nitrification and enzymes involved in nitrogen cycling were analyzed at soil depths of 0-15 and 15-30 cm at five

sampling dates. The plants were rated weekly for their phenological development and senescence behavior. We found that an increase in soil temperature by 2.5°C did not have a persistent effect on mineral N content and the activity of potential nitrification within the soil. Plant growth development also did not respond to increased soil temperature. However microbial biomass C and N, and some enzyme activities involved in N-cycling, tended to increase under elevated soil temperature. Overall, the results of this study suggested that soil warming by 2.5°C slightly stimulates soil N cycling but does not alter plant growth development.

In the 2nd experiment, in 2013, the effects of a change in the amount and frequency of precipitation patterns on N₂O and CO₂ emissions were studied after the two dry periods in summer in the HoCC experiment. N₂O and CO₂ gas samples were taken from four subplots (1m x 1m) of each roofed plot exposed to ambient (Ta) or elevated (Te) soil temperature and four precipitation manipulations (ambient plot, reduced precipitation amount, reduced precipitation frequency, and reduced precipitation amount and frequency). We found that CO₂ emissions were affected only by temperature, but not by precipitation pattern. It can be said that N₂O and CO₂ emissions after rewetting of dry soil were not altered by changing precipitation patterns during dry periods in summer.

In the year 2014, using laboratory incubations, we also measured the short-term response of CO₂ production to a rewetting of dry soil to different volumetric water contents for 24 hours. This study was conducted by manipulating microcosms with agricultural soil from the HoCC experimental site, which had been exposed to severe drought conditions of three months' duration for each of the last six years. The results showed that CO₂ production increased with increases in the water content of soils by rewetting at 5%, 15%, 25%, 35% and 45% VWC. With increasing water additions more peaks in CO₂ production were detected and different temporal patterns of CO₂ emission were affected by adding different amounts of water. It might be due to the fact that with greater water additions successively larger pore sizes were water filled and therefore different bacterial groups located in different pore size classes might have contributed to CO₂ production.

In summary, the results from field study suggested that climate warming will affect N cycling in soils in an agricultural cropping system. The results from both field and microcosm

rewetting experiments contribute to a better understanding of C and N dynamics in soil by investigating the effect of varying soil water content on the emission of N₂O and CO₂.

Zusammenfassung

Im Zuge des Klimawandels wird angenommen, dass sich wichtige Klimafaktoren wie Temperatur und Niederschlagsereignisse, die maßgeblich an der Regulierung von Stoffkreisläufen in terrestrischen Ökosystemen beteiligt sind, verändern werden.

Daher ist es wahrscheinlich, dass der Klimawandel zu Veränderungen in der Wasserverfügbarkeit, den CO₂ Emissionen aus dem Boden sowie dem Stickstoffhaushalt und damit der Transformation sowie dem Verlust und der Aufnahme des Bodenstickstoffs durch Pflanzen führt. Ein erheblicher Anteil der klimarelevanten Gase CO₂ und N₂O wird durch die Landwirtschaft freigesetzt. Hauptsächlich werden diese Gase durch mikrobiologische Prozesse in Böden gebildet, wobei ihre Produktion von zahlreichen Umweltfaktoren, wie der Temperatur, dem Wassergehalt und der mineralischen Stickstoffverfügbarkeit abhängt. Landwirtschaftliche Bewirtschaftungsweisen, beispielsweise Bewässerung, können diese Umweltfaktoren beeinflussen und haben somit das Potenzial bodenbürtige N₂O und CO₂-Emissionen zu verändern. Eine Reduktion klimarelevanter Gase bedingt durch landwirtschaftliche Aktivitäten ist somit von weltweitem Interesse.

Die Ziele der gegenwärtigen Studie „Auswirkungen von erhöhter Bodentemperatur und veränderter Niederschlagsverteilung auf den Stickstoffkreislauf und die Produktion von N₂O und CO₂ in landwirtschaftlich genutzten Böden“ waren: 1) die Auswirkung von erhöhter Bodentemperatur auf den Stickstoffkreislauf in einem Feldexperiment mit Winterweizenbestand zu bestimmen, 2) die kurzfristige Reaktion von N₂O- und CO₂-Flüssen auf die Beregnung eines Ackerböden nach längeren Trockenperioden im Sommer zu untersuchen und 3) in Laborexperimenten den Einfluss unterschiedlicher Wiederbefeuchtungsszenarien auf die CO₂-Emissionskurven eines Ackerbodens nach längeren Trockenperioden im Sommer zu bestimmen.

Zur Untersuchung der ersten Hypothese, dass eine Temperaturerhöhung zur Förderung des Pflanzenwachstums, des mikrobiellen Stickstoffumsatzes, sowie der pflanzlichen Stickstoffaufnahme aus dem Boden beiträgt, wurde im Jahr 2102 ein Feldversuch auf den etablierten Versuchsflächen des Hohenheimer Climate Change (HoCC) Experimentes in Stuttgart-Hohenheim angelegt. Für das Feldexperiment wurden nicht überdachte Flächen in

einer Größe von 1 m x 1 m gewählt. Zur Untersuchung wurden Flächen herangezogen, bei denen die Bodentemperatur in 4 cm Tiefe um 2,5 °C erhöht (Te) und unbeeinflusst (Ta) waren. Die Bewässerung fand ausschließlich über die natürlichen Niederschlagsereignisse statt. Im Versuchsjahr 2012 wurde Winterweizen (*Triticum aestivum*) angebaut. Es erfolgte zu fünf Zeitpunkten eine Bodenprobenentnahme in den Tiefen 0–15 cm und 15–30 cm. Bestimmt wurden die Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte im Boden und der oberirdischen Vegetation, sowie im Boden C- und N-Gehalte der mikrobiellen Biomasse (C_{mik} und N_{mik}), der mineralische N-Gehalt ($\text{NH}_4^+\text{-N}$ und $\text{NO}_3^-\text{-N}$), die potenzielle Nitrifikation und charakteristische Enzyme des Stickstoffkreislaufes. Eine Bonitur der Vegetation hinsichtlich der phänologischen Entwicklung und des Seneszenzverhaltens wurde wöchentlich durchgeführt. Die Ergebnisse unserer Feldstudie zeigen, dass eine erhöhte Bodentemperatur um 2,5 °C keinen Einfluss auf das Pflanzenwachstum sowie den mineralischen Bodenstickstoffgehalt und die potenzielle Nitrifikation hat. Jedoch zeigte sich mit Erhöhung der Temperatur ein tendenzieller Anstieg der mikrobielle Biomasse (C_{mik} und N_{mik}) und einiger Enzymaktivitäten des N-Kreislaufs. Insgesamt zeigt die Studie, dass eine Erhöhung der Bodentemperatur um 2,5 °C zwar zu einer leichten Stimulierung des Stickstoffkreislaufes beiträgt, dies jedoch keinen Einfluss auf die Entwicklung des Pflanzenwachstums hat.

Im zweiten Feldexperiment wurde im Jahr 2013 die Auswirkung einer veränderten Niederschlagsverteilung (Menge und Frequenz) auf die CO_2 - und N_2O -Emission eines von Trockenheit beeinflussten Ackerbodens untersucht. Hierzu wurden die überdachten Versuchsfelder (1 m x 1 m) mit 2,5 °C erhöhter (Te) und unveränderter Temperatur (Ta) des HoCC-Experimentes genutzt. Bewässert wurde insgesamt zwei Mal nach einer längeren Trockenperiode im Sommer mit folgender Niederschlagsverteilung: standortentsprechendem Niederschlag, reduzierte Niederschlagsmenge, reduzierte Niederschlagshäufigkeit sowie reduzierte Niederschlagsmenge und -häufigkeit. Im Anschluss daran wurden von vier Teilflächen N_2O - und CO_2 -Gasproben entnommen. Es zeigte sich, dass die CO_2 -Emissionen ausschließlich vom Faktor Temperatur nicht aber durch die Niederschlagsverteilung (Menge und Häufigkeit) beeinflusst wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass sich N_2O - und CO_2 - Emissionen nach der Bewässerung von trockenen Böden nicht

ändern, auch wenn es zu veränderten Niederschlagsverteilungen in trockenen Sommerperioden kommt.

Im Jahr 2014 haben wir in Mikrokosmenexperimenten unter Laborbedingungen die kurzfristige Reaktion der CO₂-Produktion von Böden auf eine Wiederbefeuchtung nach längeren Trockenperioden untersucht. Hierzu wurden Mikrokosmen mit Ackerboden aus dem HoCC-Experiment befüllt, welcher über sechs Jahre jährlich dreimonatigen Trockenperioden ausgesetzt war. Dieser Boden wurde bis zur Erreichung unterschiedlicher volumetrischer Wassergehalte von 5 %, 15 %, 25 %, 35 % und 45 % beregnet. Anschließend wurden CO₂-Gasproben über einen Zeitraum von 24 Stunden entnommen. Die Ergebnisse zeigen, dass die CO₂-Produktion mit steigendem volumetrischem Bodenwassergehalt zunimmt und sich die zeitlichen Verläufe der CO₂-Emissionen je nach zugegebener Wassermenge verändern. Dies könnte mit der Tatsache zusammenhängen, dass mit zunehmendem Bodenwassergehalt auch Poren größeren Durchmessers wassergefüllt waren und darin befindliche, zusätzliche Bakteriengruppen an der CO₂-Produktion beteiligt waren.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der Feldstudien, dass eine Klimaerwärmung den Stickstoffkreislauf in landwirtschaftlich genutzten Böden beeinflusst. Zudem konnten die Ergebnisse sowohl der Feldstudien als auch des Mikrokosmenexperimentes, durch die Untersuchung der Wirkung unterschiedlicher Bodenwassergehalte auf die N₂O- und CO₂-Emissionen, zu einem besseren Verständnis der C- und N-Dynamik in Böden beitragen.