ETH zürich

ETH Library

Effects of warming and nitrogen enrichment on carbon turnover in a littoral wetland

Doctoral Thesis

Author(s):
Hammrich, Arne

Publication date:
2008

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-005764398

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. 17963

Effects of Warming and Nitrogen Enrichment on Carbon Turnover in a Littoral Wetland

A dissertation submitted to the
ETH ZÜRICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by:
ARNE HAMMRICH

Dipl. Biol. Universität Hamburg

born October 24, 1976

citizen of Germany

accepted on the recommodation of

Prof. Dr. Mark O. Gessner, examiner
Prof. Dr. Rien Aerts, co-examiner
Prof. Dr. Bernhard Wehrli, co-examiner

2008

Summary

Since the beginning of the Industrial Revolution in the 18th century, global mean surface temperature has risen by 0.74°C ± 0.18°C. This increase is largely attributed to the anthropogenic emission of greenhouse gases such as carbon dioxide (CO_2). A further temperature increase of 1.4 to 6.4 °C has been predicted by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) to occur by the end of this century. Additionally, extensive uses of fertilizers, land-use changes and emission of nitrous oxide (N_2O) have seriously altered the global nitrogen cycle. These global environmental changes may have serious impacts on ecosystems, but the nature and magnitude of these impacts are not well understood at present.

Aim of this dissertation was to assess effects of elevated temperature and nitrogen enrichment on important components of the carbon cycle in ecosystems, specifically on the decomposition of plant litter and whole-ecosystem metabolism in a freshwater wetland. To this end, a set of heatable enclosures was set up in a littoral marsh of a lake. Half of the enclosures were heated to a target temperature of 4°C above ambient water temperature, whereas the other half served as unheated controls. Furthermore, half of the heated and half of the unheated enclosures where monthly fertilized with nitrate to an initial concentration five times higher than in the marsh. Enclosures were made of a double-layer of uncoloured polypropylene cylinders 120 cm high and with an inner diameter of 142 cm. The cylinders were pushed into the sediment to about 20 cm depth and fixed with three rebars (300 cm x 2 cm). Rates of plant litter decomposition and ecosystem metabolism were determined in these enclosures in three different experiments.

In a first experiment we tested for possible combined effects global warming and nitrogen supply on decomposition on leaf-litter. Experimentally elevated temperature had a pronounced effect on the decomposition, causing significantly faster decomposition of *Phragmites australis* leaves. This stimulation was counteracted, however, by an inhibition of decomposition in response to elevated nitrogen supply. As a result, decomposition in enclosures that were both heated and enriched with nitrogen proceeded at almost the same rate as in control enclosures. These results imply that increases in temperature predicted by global-change scenarios may lead to accelerated litter decomposition and shift wetlands from net carbon sinks to sources of CO_2 This would have profound implications for the global carbon cycle. However, sustained nitrogen supply, which is

likely to occur in concert with warming, may limit and even reverse the stimulation of decomposition by elevated temperature.

In a second experiment, the possible impact on litter decomposition of elevated atmospheric CO_2 concentrations during growth of deciduous trees was tested. It was hypothesized that elevated CO_2 concentrations would lower litter quality by increasing the lignin concentration, C:N ratio and/or C:P of leaf litter. As a result, it was expected that litter grown under elevated CO_2 would decompose more slowly than litter from control trees, but that elevated temperature during decomposition would offset the negative effect of reduced litter quality. Leaves for this experiment were collected from a free-air CO_2 enrichment experiment (FACE) located in a mixed, fully-grown forest stand dominated by *Prunus avium, Tilia platyphyllos, Carpinus betulus, Acer campestre, Quercus petraea and Fagus sylvatica.* All six species were used, resulting in 12 different litter types. Contrary to expectations, litter chemistry remained largely unaffected by elevated CO_2 concentrations during the growing season. Lignin concentrations were unaffected in litter from four of the six species and *Acer* and *Quercus* leaves contained significant less, rather than more lignin when grown under conditions of elevated CO_2 levels. Similarly, the C:N and C:P ratios of litter showed no consistent response across all species and were decreased, rather than increased in three or four, respectively, of the six species. Decomposition rates tended to be higher when leaves were grown at elevated CO_2 levels but this effect could not be clearly related to changes in litter quality except for *Acer* and especially *Quercus* where faster decomposition correlated with lower litter lignin concentrations. Higher amounts of nonstructural carbohydrates may account for the observed effect in the other species where leaves grown at elevated CO_2 concentrations decomposed faster. Overall, elevated temperature had surprisingly little effect on decomposition rates, especially of recalcitrant leaves that remained longer in the field than the more rapidly decomposing species. This lack of a clear positive temperature effect may have been due to declines of dissolved oxygen concentrations in the enclosures.

In a third experiment, the influence of elevated temperature and nitrogen deposition on ecosystem metabolism was tested. This experiment revealed an inhibition of both gross primary production (GPP) and ecosystem respiration (ER) by nitrogen enrichment, whereas experimental warming had no effect. Patterns across treatments of GPP and ER were strikingly similar, suggesting that GPP might have been limited by rates of nutrient recycling in benthic organic matter, which was likely to dominate ER. There was no clear indication that the nitrogen-

induced inhibition of GPP and ER was due to exacerbated phosphorus limitation, the element that appeared to be in shortest supply. Instead, it may have been caused by a cascading effect triggered by an inhibition of organic matter decomposition by elevated nitrate concentrations, particularly of recalcitrant organic carbon compounds such as lignin.

In summary, results of the present dissertation revealed a stimulating effect of elevated temperature on the decomposition of *Phragmites* leaves, but a similar effect on leaf litter from a range of deciduous tree species was not observed, possibly due to the negative consequences of declines in dissolved oxygen concentrations in enclosures. Exposure of leaves to elevated CO_2 concentrations only produced a strong effect in two of six leaf species, although a similar tendency was also apparent in most other cases. Elevated nitrogen supply counteracted the acceleration of *Phragmites* decomposition and also impacted ecosystem metabolism in that both gross primary production of algae and whole-ecosystem respiration were reduced except in winter. Nitrogen enrichment thus appears to buffer warming effects on ecosystem processes and could potentially prevent wetlands from shifting from a CO_2 sink to a CO_2 sources when global temperature increases further in the future.

Zusammenfassung

Seit Beginn der Industriellen Revolution im 18. Jahrhundert hat sich die globale mittlere Jahrestemperatur um 0.74°C ± 0.18°C erhöht. Dieser Anstieg ist hauptsächlich auf den anthropogenen Ausstoss von Kohlenstoffdioxid (CO_2) zurückzuführen. Ein weiterer Anstieg um etwa 1.4 – 6.4 °C wird vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) bis zum Ende des Jahrhunderts prognostiziert. Darüber hinaus hat der intensive Einsatz von Stickstoffdünger in der Landwirtschaft und die Emission von Stickoxiden den globalen Stickstoff-Kreislauf stark verändert. Diese globalen Umweltveränderungen haben mit hoher Wahrscheinlichkeit starke Einflüsse auf Ökosysteme. Die Art und das Ausmass der zu erwartenden Veränderungen sind nach dem derzeitigen Stand der Wissenschaft jedoch kaum abzuschätzen.

Ziel dieser Doktorarbeit war die Untersuchung der Einflüsse erhöhter Temperaturen und Stickstoffdeposition auf wichtige Teile des Kohlenstoffkreislaufs, speziell auf den Abbau von Blattmaterial und den Gesamtkohlkenstoffumsatz in Schilfröhrichten. Für diese Untersuchungen wurden im Schilfgürtel eines Sees experimentell beheizbare Mesokosmen installiert. Die Hälfte der Mesokosmen wurde so beheizt, dass die Wassertemperatur in ihnen jeweils 4°C höher als die umgebende Seetemperatur war, die übrigen Mesokosmen dienten als ungeheizte Kontrollen. Zusätzlich wurde jeweils die Hälfte der geheizten und ungeheizten Mesokosmen monatlich mit Nitrat gedüngt, wobei die Zielkonzentration in den gedüngten Mesokosmen fünfmal höher war als die Nitratkonzentration im See. Drei verschiedene Experimente zum Abbau von Blattmaterial und Metabolismus wurden in diesen Mesokosmen durchgeführt.

Im ersten Experiment wurde der gemeinsame Einfluss von erhöhter Temperatur und Stickstoffdeposition auf den Abbau von Blattmaterial untersucht. Die experimentelle Erhöhung der Temperatur hatte einen starken Einfluss auf den Abbau und verursachte einen signifikant schnelleren Abbau der Blätter von *Phragmites australis*. Stickstoff wirkte tendenziell inhibierend auf den Abbau und wirkte dadurch der Erhöhung der Abbaurate durch Erwärmung entgegen. Dies führte dazu, dass die Blattabbaugeschwindigkeit in geheizten und gedüngten Mesokosmen ungefähr gleich hoch war wie in den (ungeheizten und ungedüngten) Kontrollmesokosmen. Diese Ergebnisse lassen darauf schließen, dass die globale Erwärmung zu einem schnelleren Abbau von organischem Material führen könnte und Feuchtgebiete von Kohlenstoffsenken zu Kohlenstoffquellen werden könnten. Gravierende Auswirkungen auf den globalen

Kohlenstoffkreislauf könnten die Folge sein. Eine in Zukunft sehr wahrscheinlich erhöhte Stickstoffdeposition könnte jedoch die Erhöhung der Abbauraten limitieren oder sogar umkehren.

In einem zweiten Experiment wurde untersucht, wie sich erhöhte CO_2-Konzentrationen während des Wachstums von Laubblättern auf den Streuabbau auswirken. Es wurde angenommen, dass erhöhte CO_2-Konzentrationen die Blattqualität aufgrund einer höheren Ligninkonzentration und veränderter C:N- und/oder C:P-Verhältnisse vermindern. Aufgrund ihrer geringeren Qualität könnten Blätter, die bei höheren CO_2 Konzentrationen gewachsen sind, langsamer abgebaut werden. Dieser Effekt könnte jedoch durch höhere Temperaturen wieder aufgehoben werden. Die Blätter für dieses Experiment wurden von einem CO_2-Begasungs-Experiment in einem Mischwald mit *Prunus avium, Tilia platyphyllos, Carpinus betulus, Acer campestre, Quercus petraea and Fagus sylvatica* gesammelt. Von allen sechs Arten wurden jeweils Blätter gesammelt die unter erhöhten CO_2-Konzentrationen gewachsen waren und Kontrollblätter, die unter normalen Konzentrationen gewachsen waren. In vier der sechs untersuchten Arten hatte CO_2 keinen Einfluss auf die Ligninkonzentration. *Acer* und *Quercus* enthielten sogar weniger Lignin. Die Verhältnisse von C:N und C:P zeigten ebenfalls kein klares Bild. Drei der sechs Arten hatten sogar niedrigere anstatt höhere Kohlenstoff-Nährstoff-Verhältnisse. Der Abbau war tendenziell schneller bei Blättern, die unter höheren CO_2-Konzentrationen gewachsen waren, die Abbaugeschwindigkeit liess sich jedoch nicht eindeutig mit einer veränderten Blattchemie korrelieren. Ausgenommen davon waren *Acer* und *Quercus*, bei denen ein schnellerer Abbau mit niedrigeren Ligninkonzentrationen korrelierte. Der schnellere Abbau von Blättern, die unter höheren CO_2-Konzentrationen gewachsen waren, könnte durch einen höheren Anteil von gut abbaubaren Kohlenhydraten verursacht worden sein, die nicht strukturgebundenen sind. Insgesamt war der Einfluss der erhöhten Temperatur gering, speziell bei schwer abbaubaren Blättern, die sehr lang im Röhricht exponiert waren. Dies wurde wahrscheinlich durch geringe Sauerstoffkonzentrationen in den Mesokosmen während der Sommermonate verursacht.

Im dritten Experiment wurde der Einfluss von erhöhter Temperatur und Stickstoffdüngung auf den Gesamtkohlenstoffhaushalt im Röhricht untersucht. Dieses Experiment zeigte eine Inhibierung der Bruttoprimärproduktion und der Ökosystem-Respiration durch Stickstoff, jedoch keinen Temperatureffekt. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Bruttoprimärproduktion möglicherweise indirekt durch eine Inhibierung der Ökosystem-Respiration und der damit verbundenen verminderten Nährstoffrezyklierung limitiert wurde. Der Mechanismus dieser

Limitierung ist jedoch nicht geklärt. Es ist denkbar, dass durch die experimentelle Stickstoffzugabe eine bestehende Phosphorlimitierung verschärft wurde. Ein anderer möglicher Effekt ist eine Inhibierung des Abbaus von ohnehin schwer abbaubaren Verbindungen. Dies könnte zu der erwähnten verminderten Nährstoffrezyklierung geführt haben und dadurch wiederum die Bruttoprimärproduktion limitiert haben.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit einen schnelleren Abbau von *Phragmites*-Blättern. Ein entsprechender Effekt bei verschiedenen anderen Laubarten konnte jedoch nicht eindeutig nachgewiesen werden, was möglicherweise durch niedrige Sauerstoffkonzentrationen in den Mesokosmen verursacht wurde. Erhöhte CO_2-Konzentrationen während des Blattwachstums veränderten nur in zwei von sechs Fällen den Abbau deutlich, wobei bei den anderen vier Arten jedoch Tendenzen festgestellt wurden. Erhöhte Stickstoffdeposition führte bei *Phragmites* zu einem verminderten Abbau und verminderte geringfügig, aber systematisch die Bruttoprimärproduktion und Ökosystem-Respiration - ausser im Winter, w die Umsatzraten sehr niedrig waren. Es scheint deshlab möglich dass erhöhte Stickstoffdeposition die stimulierenden Effekte erhöhter Temperatur auf den Streuabbau abpuffern könnte und dadurch verhindern, dass Feuchtgebiete von Kohlenstoffsenken zu Kohlenstoffquellen für die Atmosphäre werden, wenn die Klimaerwärmung weiter voranschreitet.