



Doctoral Thesis

Brassica plant acclimation to elevated CO₂ impacts on multitrophic plant-insect interactions

Author(s):

Klaiber, Jeannine

Publication Date:

2013

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-009757471> →

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. 20951

***Brassica* plant acclimation to elevated CO₂:
impacts on multitrophic plant-insect interactions**

A dissertation submitted to
ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

JEANNINE KLAIBER

MSc Biology ETH Zurich
born 15 February 1984
Winterthur (ZH)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Silvia Dorn
Prof. Dr. Achim Walter
Dr. Adriana Najjar-Rodriguez

2013

1 Summary

There is increasing evidence that the current changes in climate across the temperate regions will continue into the future. The atmospheric concentration of carbon dioxide (CO₂) is predicted to further increase and double by the year 2100, and such an increase is projected to have profound effects on biological systems.

Elevated CO₂ concentration may strongly affect plant physical traits and chemical profiles. As plant secondary metabolites play an important role in determining plant-insect interactions due to their function as defense compounds, CO₂-mediated alterations in plant chemistry could directly influence herbivore insect performance and even cascade via the herbivore to its natural antagonists.

To gain knowledge about the direction of changes in plant-insect interactions and their underlying mechanisms under a future predicted climate scenario is of particular interest for agricultural crop systems as, for instance, pest status of herbivores and performance of their natural antagonists in agricultural systems may fundamentally change.

In this thesis, the multitrophic agricultural system comprised of an annual crop plant (Brussels sprouts *Brassica oleracea* var. *gemmifera*), two specialist herbivores from contrasting feeding guilds (cabbage white *Pieris brassicae* and cabbage aphid *Brevicoryne brassicae*) and a natural antagonist (*Diaeretiella rapae*) was used to investigate how plants might acclimate to elevated CO₂ and how both herbivores and natural antagonists will respond to the CO₂-mediated changes in plant characteristics, particularly plant chemistry.

The first objective was to document the effects of plant acclimation to elevated CO₂ over several weeks on plant characteristics by assessing key morphological traits and selected chemical profiles. We found that plant acclimation to elevated CO₂ for up to 10 weeks resulted in changes in growth-related plant traits, particularly in a significant increase in plant size and biomass, measured as height and dry weight. Regarding plant chemical profiles, plant exposure to elevated CO₂ concentration did not lead to significant changes in primary metabolites, i.e. carbon and nitrogen content, but to a significant decrease in volatile emission and to a significant increase in plant constitutive secondary metabolites, specifically the defense-related glucosinolates.

The second objective was to assess the effects of plant acclimation to elevated CO₂ over several weeks on the performance of *P. brassicae* and *B. brassicae*. The two specialist

herbivores were grown on *Brassica* plants exposed to elevated CO₂ for up to 10 weeks. We found that the performance of both *P. brassicae* and *B. brassicae* was significantly impaired by elevated CO₂ even after a short plant exposure of two weeks. Development time for *P. brassicae* larvae feeding on *Brassica* plants grown under elevated CO₂ was significantly shorter, whereas development time of *B. brassicae* aphids, measured as pre-reproductive time, was significantly longer. Fecundity was not affected in *P. brassicae*, but significantly lower for *B. brassicae*. In contrast, body mass was significantly reduced for both insect herbivores when feeding on plants grown under elevated compared to ambient CO₂. Additionally, consumption of *P. brassicae* larvae was significantly higher and plant preference, assessed as colonization rate, of *B. brassicae* aphids was significantly lower under elevated compared to ambient CO₂. As plant chemical compounds are involved in mediating plant-insect interactions, any changes in plant chemical traits may potentially affect insect behavior and/or performance. Thus, the decrease in plant volatile emission and the increase in total leaf glucosinolate content found in the present thesis may be the driving force behind the observed changes in herbivore insect performance when developing on plants under elevated CO₂.

The third objective was to test for potential tritrophic effects of plant acclimation to elevated CO₂ over several weeks on a natural antagonist of the cabbage aphid, the solitary endoparasitoid *Diaretiella rapae*, by assessing parasitoid performance. We observed a significant decrease in *D. rapae* performance and parasitoid efficiency under elevated CO₂. The CO₂-effect on the parasitoid is likely related to aphid host characteristics, potentially due to an impairment of insect host quality caused by CO₂-mediated alterations in plant chemical traits.

In summary, our results illustrate that CO₂-mediated changes in plant characteristics, particularly chemical traits, may strongly affect specialist herbivore insects and even cascade, via the herbivore, up to the third trophic level, thus also affecting natural antagonists.

2 Zusammenfassung

Die Anhaltspunkte für eine Fortdauer der derzeitigen Klimaveränderungen in den gemässigten Zonen mehren sich. Die atmosphärische Konzentration von Kohlendioxid (CO₂) wird voraussichtlich weiterhin steigen und könnte bis zum Jahre 2100 das Doppelte des heutigen Wertes erreichen. Eine solche Erhöhung wird den Erwartungen gemäss tiefgreifende Auswirkungen auf biologische Systeme haben.

Das Wachstum unter erhöhter CO₂ Konzentration kann Pflanzen stark beeinflussen und zu Veränderungen in ihren physikalischen Eigenschaften sowie in ihren chemischen Inhaltsstoffen führen. Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe spielen wegen ihrer Verteidigungsfunktion gegenüber Herbivoren eine wesentliche Rolle bei der Mitbestimmung bei Pflanzen-Insekten Interaktionen. So kann sich eine durch Akklimatisation an erhöhtes CO₂ hervorgerufene Veränderung besagter sekundärer Inhaltsstoffe direkt auf das Verhalten und/oder die Entwicklung von Insekten auswirken. Effekte können nicht nur auf Herbivore wirken, sondern auch, vermittelt durch die Herbivoren, einen weiterführenden Einfluss auf deren natürliche Gegenspieler ausüben.

Das Erlangen von neuen Erkenntnissen über die Veränderungen in Pflanzen-Insekten Interaktionen sowie über die den Veränderungen zugrundeliegenden Mechanismen ist für landwirtschaftliche Anbausysteme von Interesse. Wichtig ist dies insbesondere vor dem Hintergrund des erwarteten zukünftigen Klimaszenarios, da sich beispielsweise der Schädlingsstatus von Insekten und die Effizienz von natürlichen Gegenspielern grundlegend ändern kann.

In der vorliegenden Arbeit konzentrierten wir uns auf ein multitrophisches landwirtschaftliches System. Es bestand aus einer einjährigen Nutzpflanze (Rosenkohl *Brassica oleracea* var. *gemmifera*), zwei sich in der Art der Nahrungsaufnahme unterscheidenden spezialisierten Herbivoren (Grosser Kohlweissling *Pieris brassicae* und Mehliges Kohlblattlaus *Brevicoryne brassicae*) sowie einem natürlichen Gegenspieler (*Diaeretiella rapae*). Anhand dieses Systems untersuchten wir, welche Veränderungen eine CO₂-Akklimatisation der Pflanze in deren morphologischen Eigenschaften und chemischen Inhaltsstoffen hervorruft. Wir interessierten uns dafür wie sich solche Veränderungen, insbesondere jene der Pflanzenchemie, auf Herbivoren und deren natürliche Gegenspieler auswirken.

Eine erste Zielsetzung war es zu dokumentieren, welche Auswirkungen die Akklimation an eine erhöhte CO₂ Konzentration über einen mehrere Wochen umfassenden Zeitraum auf verschiedene Schlüsselmerkmale der Pflanze hat. Dazu erfassten und beurteilten wir insbesondere morphologische Eigenschaften und chemische Inhaltsstoffe der Pflanze. Wir konnten zeigen, dass CO₂-Akklimation eine Veränderung in den wachstumsbezogenen Merkmalen der Pflanze zur Folge hatte. Besonders bei der Pflanzengröße und der Biomasse wurde ein signifikanter Anstieg verzeichnet. Hinsichtlich der chemischen Pflanzeninhaltsstoffe führte die CO₂-Akklimation zu keinen messbaren Unterschieden bei den primären Inhaltsstoffen, d.h. Kohlenstoff und Stickstoff, jedoch zu einer signifikanten Reduktion bei der Emission von pflanzlichen Duftstoffen sowie zu einem Anstieg der sekundären Inhaltsstoffe, namentlich bei den verteidigungsrelevanten Glucosinolaten.

Die zweite Zielsetzung war es zu beurteilen, welche Auswirkungen CO₂-akklimatisierte Pflanzen auf die Entwicklung von *P. brassicae* und *B. brassicae* haben. Beide spezialisierten Herbivoren entwickelten sich auf Pflanzen, welche bis zu zehn Wochen einer erhöhten CO₂ Konzentration ausgesetzt waren. Wir stellten fest, dass bereits nach einer Akklimationsphase von zwei Wochen signifikante Beeinträchtigungen der Insekten auftraten. Verglichen zur Entwicklung der Insekten unter normalem CO₂ war die Entwicklungszeit von *P. brassicae* Larven unter erhöhtem CO₂ signifikant kürzer, während jene von *B. brassicae* Blattläusen deutlich länger ausfiel. Die Fruchtbarkeit von *P. brassicae* war nicht messbar betroffen, jedoch bei *B. brassicae* unter erhöhtem CO₂ deutlich reduziert. Die Körpermasse beider Insekten war unter erhöhtem CO₂ signifikant verringert. Darüber hinaus verzehrten *P. brassicae* Larven unter erhöhtem CO₂ deutlich mehr Pflanzenmaterial und die Pflanzenpräferenz von *B. brassicae* war signifikant verringert, was sich in einer Reduktion der Kolonisationsrate zeigte. Da Pflanzeninhaltsstoffe eine wichtige Rolle in Pflanzen-Insekten Interaktionen spielen, können Änderungen in den Inhaltsstoffen potentiell das Verhalten und/oder die Entwicklung von herbivoren Insekten beeinflussen. Die Abnahme der Emission von pflanzlichen Duftstoffen und die Erhöhung von Glucosinolaten in der vorliegenden Arbeit könnte daher die treibende Kraft hinter den beobachteten Veränderungen in der Entwicklung der untersuchten herbivoren Insekten sein.

Eine dritte Zielsetzung war es zu testen, ob die Akklimation der Pflanze an eine über mehrere Wochen erhöhte CO₂ Konzentration potentielle tritrophische Auswirkungen auf

einen natürlichen Gegenspieler von *B. brassicae* hat. Dazu untersuchten wir die Entwicklung und die Effizienz des solitären Blattlausparasitoiden *D. rapae*. Unter erhöhtem CO₂ beobachteten wir eine signifikante Abnahme in der Parasitierungs-Effizienz von *D. rapae*. Der CO₂-Effekt auf die Parasitoiden hängt wahrscheinlich mit Eigenschaften des Blattlauswirtes zusammen und wurde möglicherweise durch eine Beeinträchtigung der Wirtsqualität verursacht, welche ihrerseits durch CO₂-verursachte Veränderungen der chemischen Pflanzeninhaltsstoffen hervorgerufen wurde.

Zusammenfassend betrachtet zeigen unsere Ergebnisse, dass die durch Akklimatisation an erhöhtes CO₂ verursachten Veränderungen der pflanzlichen Eigenschaften, insbesondere der chemischen Inhaltsstoffe, ein grosses Beeinflussungspotential auf spezialisierte herbivore Insekten und deren natürliche Gegenspieler haben können.