



Doctoral Thesis

Maize and weed interactions belowground

Author(s):

Britschgi, Deborah

Publication Date:

2011

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006499401> →

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. 19471

MAIZE AND WEED INTERACTIONS BELOWGROUND

A dissertation submitted to
ETH Zurich

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

DEBORAH BRITSCHGI

Dipl. Ing. Agr. ETH Zurich
born 28 January 1983
from Alpnach-Dorf OW

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. P. Stamp, examiner
Dr. M. Liedgens, co-examiner
Prof. Dr. E. Frossard, co-examiner

Zurich 2011

Summary

Roots play a vital role in the supply of resources for growth, and yet we have a relatively poor understanding of how they function. Further the belowground interactions of roots of different plants are an important issue, because it is crucial to understand and manage the coexistence of plants in agricultural and natural ecosystems. The main challenge remains the methodological constraints, because roots are hidden in soil and intermingled with other species roots.

The cultivation of maize in the field is limited by various environmental factors. The competition by weeds is a major biotic stress which leads to important crop yield loss. The first and second part of this study aimed to observe the impact of different weed species grown in competition with maize (*Zea mays* L.). The dicots *Amaranthus retroflexus* L., *Chenopodium album* L., and the monocots *Cyperus esculentus* L. and *Echinochloa crus-galli* (L.) P. BEAUV. are among the most common weed species in maize cultivation. We studied maize and each of these weeds growing alone or in binary crop – weed combinations with different plant arrangements in the greenhouse.

Root investigations in this study were carried out on a recently developed method based on the green fluorescent protein (GFP) which allowed studying roots in mixed plant stands by using maize transformed to express the green fluorescent protein (GFP) and a suitable camera system to observe roots through minirhizotrons. The ETH GFP maize was developed previously by our group.

The objectives were to investigate i) whether the presence of the weed species alter rooting behavior of maize and *vice-versa*, ii) whether the root and shoot responses of the maize plants to the weeds are correlated, and iii) whether the observed effects are weed specific. For this purpose three types of experiments were conducted: Row plants (R), single (P-) and two (P+) plants experiments.

The results proved a significant decrease in root density of maize when grown with weeds. Maize shoot dry weight was decreased when grown with weeds, however not as significantly as the roots, varying to some extent in the specific experiments. Weeds had a greater impact on the root than on the shoot of maize. These effects were not dependent of the weed species.

The weeds reacted more diverse to the presence of maize. In contrast to maize, for which the root density declined relatively more than the shoot biomass due to the presence of the weeds, all weeds responded to the presence of maize relatively stronger by a decrease in shoot biomass whereas the investment into root density were little affected in absolute terms or even increased somewhat: The dicots *A. retroflexus* and *C. album* increased their root density when exposed to maize, while the monocots *C. esculentus* and *E. crus-galli* were generally not impacted, and when they responded to maize, they did it rather by reducing the size of the shoot than the root density.

Compared to maize, which usually did not adjusted significantly its shoot mass to weed competition, but which drastically reduced the root density, the fundamental difference of weeds seemed to be their ability to sustain the production of root in spite of competition.

It is concluded that maize and weeds have different strategies when grown in interspecific mixtures. Maize invested more in its shoot growth, while the weed species invested more in root density.

The last part of this study is a review about the current research methodologies for studying root interaction. To date several methods exist that identify relative species proportion in mixed root samples. However, these methods are labor-intense, time-consuming, and the accuracy of their results is often not great. There are mainly two different fields of methods used: Destructive and non-destructive methods. Excavation of the whole root system, mapping of intersects of a cut surface in the soil, split-root experiments, the use of tracers (e.g. ^{15}N) are examples for destructive techniques. The disadvantage is that the same roots can be sampled only once. With the regard to the large spatial variability of the soil, it is a serious problem: successive samples integrate the variability brought about by the experimental factors and the spatial soil variability, demanding a large number of samples in order to allow for reliable statistical interference. Non-destructive screening at transparent observations interfaces overcome this limitation and are effective for following the spatial and temporal dynamics of the root growth of plants. However, up to now there was no reliable method available to determine the precise location of roots from different plants.

The recently developed and in this study used method based on the green fluorescent protein (GFP) helps to overcome some of the limitations of studying roots in mixed plant stands: using maize transformed to express the green fluorescent protein (GFP) and a suitable camera system to observe roots through minirhizotrons, it was possible to distinguish roots of two plant species growing together. In this study, the classification of the roots of maize and the weed species could have been made with a high probability. Furthermore there were made different specific observations for the weeds in regard to its appearance. Although this current camera system brings the benefit of distinguishing the roots of different species, there are still some limitations; mainly the time consuming data analysis and the instable light quality of the camera. In spite of the high potential to improve the method based on GFP expression some limitations associated to the fact that the method is based on minirhizotrons would not be possible to overcome.

However, it is concluded that the current camera system is a very substantial progress in root research with a number of future potential uses.

Zusammenfassung

Das Wissen um Wechselwirkungen im Wurzelraum ist von fundamentaler Bedeutung für die Funktionsweise von landwirtschaftlichen aber auch natürlichen Ökosystemen. Im Gegensatz zur oberirdischen Konkurrenz um Licht zwischen Sprossen ist die Funktionsweise dieser Wechselwirkungen im Wurzelraum weitgehend unbekannt. Ein Grund dafür ist, dass die Unterscheidung von Wurzeln in Beständen verschiedener Pflanzenarten bis anhin nur mit grossem, kostspieligen und wenig präzisiertem Aufwand möglich war.

Eine an der ETH neu entwickelte Methode, basierend auf dem grünfluoreszierenden Protein (GFP), erlaubt jetzt mit Hilfe eines speziellen Kamerasystem und Minirhizotronen die Beobachtung und Differenzierung der Wurzeln von verschiedenen Pflanzenspezies *in-situ*.

Der Anbau von Mais (*Zea mays* L.) auf dem Feld wird erschwert durch den Unkrautdruck. *Amaranthus retroflexus* L., *Chenopodium album* L., *Cyperus esculentus* L. und *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. gehören zu den

wichtigsten Maisunkrautarten auf der Welt. In unserer Studie untersuchten wir den Einfluss dieser vier Unkräuter auf das Wurzel- und Sprosswachstum von Mais. Die Experimente wurden im Gewächshaus in extra angefertigten Kisten für die Wurzelforschung ausgeführt. Unsere neu entwickelte GFP-basierte Kamera stützte sich auf dem ebenfalls an der ETH entwickelten ETH-GFP Mais, der mit dem entsprechenden Gen transformiert wurde.

Die Ziele bestanden darin zu untersuchen ob i) das Vorhandensein von einem Unkraut das Wurzelwachstum von Mais beeinträchtigt, und umgekehrt, ii) ob die Reaktionen im Wurzelbereich mit denen vom Spross gekoppelt sind und iii) ob diese Effekte spezifisch für die jeweiligen Unkräuter sind. Es wurden drei Typen von Experimenten ausgeführt: Reihenexperimente (R) und Pflanzenexperimente mit Ersatz (P+) und ohne Ersatz (P-).

Die Resultate machen deutlich, dass die Maispflanzen durch das Vorhandensein der Unkräuter stärker im Wurzelraum beeinträchtigt waren als im Sprosswachstum. Die Wurzeldichte von Mais nahm signifikant ab, wenn Mais zusammen mit Unkräutern gewachsen war. Das Sprosswachstum war zwar auch verringert, doch eine statistische Signifikanz wurde nicht für alle Experimente erhalten.

Im Gegensatz zu Mais reagierten die Unkräuter heterogener. Die Unkräuter wurden durch das Vorhandensein von Mais unterirdisch wie auch oberirdisch weniger beeinträchtigt. Die Reaktionen der jeweiligen Spezies variierten sehr stark zwischen den einzelnen Experimenten, wobei vielfach eine Abnahme des Sprosses, aber eine Zunahme der Wurzeldichte beobachtet wurde (*A. retroflexus* und *C. album*) oder keine Reaktion im Wurzelbereich (*C. esculentus* und *E. crus-galli*). Doch es konnte eine signifikante Zunahme der Wurzeldichte zu Sprossmasse Verhältnisses festgestellt werden, wenn Mais vorhanden war.

Der fundamentale Unterschied von Mais und den Unkräuter bestand darin, dass Mais normalerweise durch das Vorhandensein der Unkräuter nicht signifikant im Sprosswachstum beeinträchtigt wurde, aber das Wurzelwachstum drastisch reduzierte und im Gegensatz dazu die Unkräuter die Fähigkeit besitzen die Wurzelproduktion trotz Konkurrenz aufrecht zu erhalten. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass Mais und die Unkräuter verschiedene Strategien haben, wenn sie Konkurrenz ausgesetzt sind. Mais reagierte vor allem mit einer

Abnahme der Wurzeldichte und die Unkräuter mit einer Reduzierung des Sprosses.

Der dritte Teil dieser Arbeit gibt einen Überblick über den Stand der Methoden zur Forschung von Wurzelinteraktionen. Es gibt einige Methoden um den Anteil von verschiedenen Spezies zu bestimmen. Doch diese Methoden sind meistens arbeits- und zeitintensiv und kostspielig, und die Genauigkeit der Daten ist oft gering. Es gibt hauptsächlich zwei Gruppen von Methodenarten: Die destruktiven und die nicht-destruktiven Methoden. Zu den destruktiven Methoden gehören zum Beispiel die vollständige Ausgrabung des Wurzelsystems, die Kartierung der Wurzeln auf einer Schnittstelle im Boden, "split-root" Experimente, sowie die Anwendung von sogenannten "tracers". Der Nachteil dieser Methoden besteht darin, dass man die Erprobung der Wurzeln nur einmal durchführen kann. Anbetracht der grossen räumlichen Variabilität im Boden, ist dies eine ernst zu nehmende Problematik und es braucht eine hohe Anzahl an Wiederholungen um eine statistisch fundierte Aussage machen zu können. Die nicht-destruktiven Methoden erlauben eine zeitliche und räumliche Messung des Wurzelsystems. Trotzdem gibt es bis heute keine bewährte Methode, welche die präzise Bestimmung des Ortes von Wurzeln von verschiedenen Pflanzenspezies erlaubt.

Die kürzlich entwickelte und in dieser Arbeit verwendete Methode, trägt dazu bei, die obenerwähnten Schwierigkeiten zu mindern. Die Methode basiert auf dem grün fluoreszierenden Protein (GFP), welches in den Wurzeln eines genetisch transformierten Mais exprimiert wird. Mit Hilfe von Minirhizotronen und einem speziell angepassten Kamerasystem kann die artspezifische Zuordnung der Wurzeln des Mais und einer anderen Pflanze gemacht werden. In unserer Arbeit betrug die Wahrscheinlichkeit für eine richtig klassierte Wurzel 94-100%. Zusätzlich wurden artspezifische Wurzelmerkmale beobachtet.

Trotz bestehenden Einschränkungen (u.a. die zeitintensive Aufbereitung der Daten oder die Instabilität der Lichtquellen) kommen wir zum Schluss, dass die GFP-Kameramethode einen beachtlichen Fortschritt in der Wurzelforschung mit hoher Zukunftsbedeutung bringt.