

Unkrautunterdrückung durch Zwischenfrüchte: Analyse verschiedener Faktoren

Frédéric Tschuy, Aurélie Gfeller, Roger Azevedo, Caroline Khamissé, Lydie Henriet und Judith Wirth
Agroscope, Institut für Pflanzenbauwissenschaften IPB, 1260 Nyon, Schweiz
Auskünfte: Judith Wirth, E-Mail: judith.wirth@agroscope.admin.ch



Übersicht über den Feldversuch. (Foto: Frédéric Tschuy)

Einleitung

Seit einigen Jahren nimmt der Zwischenfruchtanbau in der Schweiz zu und wird von den Schweizer Behörden gefördert. Zwischenfrüchte sind Pflanzenbestände, die zwischen zwei Hauptkulturen angebaut, selbst aber nicht geerntet werden (Arvalis 2011). Sie erbringen ökologische Leistungen wie die Verringerung von Nährstoffauswaschung, Stickstoff-Bereitstellung für die Folgekultur, Schutz vor Erosion, Verbesserung der Bodenstruktur sowie des Wasserhaushaltes, eine Verringerung des Schädlingsdruckes auf die Kulturen und eine Reduzierung des Unkrautwachstums (Justes *et al.* 2012). Bei der Unkrautunterdrückung durch Zwischenfrüchte spielen verschiedene Faktoren eine Rolle. Einerseits gibt es die Konkurrenz um verfügbare Ressourcen wie Wasser, Nährstoffe und Licht, andererseits gibt es eventuell allelopathische Effekte der angepflanzten Kulturen. Allelo-

pathie wird definiert als direkter oder indirekter, positiver oder negativer Effekt einer Pflanze auf eine andere mittels biochemischer Substanzen, die in die Umwelt abgegeben werden (Rice 1984). In den meisten Fällen handelt es sich um die hemmende Wirkung einer Pflanze (Donor) auf die Entwicklung (Keimung und Wachstum) einer anderen Pflanze (Akzeptor). Allelochemische Substanzen können von den Donorpflanzen durch Verdunstung, Auswaschung aus den Blättern, verrottende Pflanzenteile oder Wurzelausscheidungen freigesetzt werden. Es ist sehr schwierig, die Konkurrenz um Wachstumsfaktoren von den allelopathischen Effekten zu trennen. Mehrere Autoren sind der Meinung, dass dies in natürlichen Systemen praktisch unmöglich ist (He *et al.* 2012; Inderjit und del Moral 1997).

Um das Phänomen Allelopathie nachzuweisen, werden die meisten Versuche im Labor oder im Gewächshaus unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt. In

vielen Studien werden oberirdische Pflanzenteile und/oder Wurzeln mit Wasser oder Ethanol extrahiert, um anschliessend Keimtests mit Testpflanzen wie Kresse oder Salat durchzuführen (Kalinova und Vrchotova 2009). Unter natürlichen Bedingungen ist eine Studie viel komplexer, da biotische und abiotische Interaktionen im Boden das Vorhandensein allelopathischer Stoffe beeinflussen können. Zudem können die unterschiedlichen Formen der Konkurrenz zwischen den Pflanzen die gesuchten allelopathischen Effekte maskieren (Inderjit und Callaway 2003). Für die vorliegende Studie wurden drei Arten ausgewählt (Buchweizen, Sorghum, Brauner Senf), die dafür bekannt sind, während ihres Wachstums Unkräuter im Feld stark zu unterdrücken (Kumar *et al.* 2009; Tominaga und Uezu 1995; Weston *et al.* 2013). Ziel dieses Feldversuchs ist es zu verstehen, warum wachsende Zwischenfruchtbestände Unkräuter unterdrücken. Zugleich soll eine Methode entwickelt werden, mit der die verschiedenen Konkurrenzfaktoren, vor allem die Beschattung, von möglichen allelopathischen Effekten getrennt werden können. Diese Methode soll dazu dienen verschiedene Arten oder Sorten von Zwischenfrüchten bezüglich ihrer allelopathischen Wirkung zu charakterisieren und zu beurteilen. Sobald ein allelopathischer Effekt bewiesen ist, werden wir versuchen, die Allelochemikalien im Boden zu identifizieren und zu quantifizieren.

Material und Methoden

Verwendetes Pflanzenmaterial

Das Saatgutmaterial wurde bei der Firma UFA-Samen erworben. Folgende Arten und Sorten wurden ausgewählt: *Fagopyrum esculentum* Moench (Buchweizen, Sorte Lileija), *Sorghum bicolor* Moench x *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf (Hybridsorghum, Sorte Haykin) und *Brassica juncea* (Brauner Senf, Sorte Vitasso). Die Samen des Zurückgekrümmten Fuchsschwanz (*Amaranthus retroflexus*) wurden von Herbiseed (Twyford, England) geliefert.

Anlage des Feldversuchs

Nach dem Pflügen (22 cm tief) am 5. August 2013 wurden die drei Kulturen am 6. August auf einen lehmigen Boden (29,1 % Ton, 42 % Schluff, 28,9 % Sand, 2,2 % OS, pH 8) gesät. Die Vorfrucht war Luzerne (*Medicago sativa*), welche am 30. März 2012 gesät worden war. Die Zwischenfrüchte wurden mit einem Reihenabstand von 12,5 cm mit folgenden Saatmengen gedrillt: Buchweizen 75 kg/ha, Hybridsorghum 60 kg/ha und Brauner Senf mit 10 kg/ha. Jede Kultur wurde in einem Block von 48 m² angelegt, wobei jeder Block in vier Teilflächen von glei- ➤

Zusammenfassung

Der Zwischenfruchtanbau in der Schweiz nimmt aufgrund seiner umfangreichen ökologischen Leistungen immer mehr zu. Eine wichtige Funktion von Zwischenfrüchten ist die Unkrautunterdrückung, die auf zwei Faktoren zurückzuführen ist. Einerseits die Konkurrenz um Wachstumsfaktoren (Wasser, Licht und Nährstoffe), andererseits eventuelle allelopathische Wechselwirkungen (biochemische Interaktionen zwischen Pflanzen). Um die Mechanismen der Unkrautunterdrückung durch Zwischenkulturen besser zu verstehen, haben wir einen Feldversuch durchgeführt, bei dem wir den Effekt dreier Zwischenfrüchte auf das Unkrautwachstum, vor allem Amaranth, untersucht haben. Dabei haben wir versucht zu verstehen, welche Faktoren bei der Unkrautunterdrückung eine Rolle spielen. Dazu haben wir einen neuartigen Versuchsaufbau entwickelt, der es uns ermöglicht, die Einflussfaktoren Beschattung durch die Deckfrucht und allelopathische Wurzelinteraktionen zwischen Deckfrucht und Amaranth jeweils isoliert zu untersuchen. Im ersten Versuchsjahr konnte der Konkurrenzfaktor Licht stark reduziert werden, allerdings gelang es uns aus methodischen Gründen nicht, Wurzelinteraktionen komplett zu verhindern. Die vorliegenden Zwischenergebnisse machen deutlich, dass die Lichtkonkurrenz bei der Unkrautunterdrückung im Feld eine sehr wichtige Rolle spielt. Ein allelopathischer Effekt der Zwischenfrüchte bei der Wachstumshemmung der Unkräuter konnte jedoch noch nicht nachgewiesen werden.



Abb. 1 | Versuchsvarianten B und D im Buchweizenbestand am 28. August (23 TnS). Zwischen zwei Netzen befinden sich zwei PVC-Rohre und zwei Ringe mit je fünf Amaranth Pflanzen. Die Netze drücken das Blattwerk zur Seite, damit die Amaranth Pflanzen nicht beschattet werden. (Foto: Frédéric Tschuy, Agroscope)

cher Grösse unterteilt war. Eine Kontrollparzelle mit nacktem Boden wurde identisch vorbereitet. Am 12. August, (7 TnS (= Tage nach der Saat)), wurde eine Düngergabe von 50 kg N/ha (27,5% Ammoniumnitrat) auf dem ganzen Versuch ausgebracht. Für die Versuchsvariante Trennung der Rhizosphären wurden PVC-Rohre (Durchmesser 10 cm, Länge 25 cm) zwischen den Saatzeilen der Zwischenfrüchte, sowie in der Kontrollparzelle (Tab. 1 | Versuchsvarianten C, D und F, N=8, Abb. 2b) am 6. August direkt nach der Saat in den Boden geklopft. Für die Versuchsvariante ohne Trennung der Rhizosphären wurden PVC-Ringe (Durchmesser 10 cm) zwischen den Saatzeilen der Zwischenfrüchte sowie in der Kontrollparzelle mit dem nackten Boden ausgelegt, um den Amaranth Testpflanzen die gleiche Fläche wie in den PVC-Rohren zuzuweisen (Tab. 1 | Versuchsvarianten A, B und E, N=8, Abb. 2a). Am selben Tag wurden etwa 30 Amaranth Samen in die Rohre und in die Ringe gesät. Am 23. August

(18 TnS) wurden die Amaranth Pflanzen auf fünf Pflanzen pro Rohr beziehungsweise pro Ring ausgedünnt, damit in allen Varianten die gleiche Anzahl Pflanzen vorhanden war. Für die Versuchsvariante Beschattung der Amaranth, die es ermöglicht den Konkurrenzfaktor Licht zu untersuchen, wurden am 26. August (21 TnS) starre Metallnetze (1,2×0,5 m, Maschenweite 12 mm) zwischen die Pflanzreihen positioniert (Tab. 1 | Versuchsvarianten B und D, N=4; Abb. 1).

Bodenanalyse

Am 6. August wurde in jedem Block eine Bodenprobe gezogen, um die verfügbaren Nährstoffgehalte an P, K und Mg (Wasserextraktion) und die entsprechenden Reservenährstoffgehalte (Extraktion mit Ammoniumacetat + EDTA) zu analysieren. Am 9. und 27. September (35 und 53 TnS) wurde der Boden in jedem Block auf verfügbares P, K und Mg (Extraktion mit CO₂ gesättigtem Wasser gemäss Dirks-Scheffer) untersucht. Am 3. und 27. September (29 und 53 TnS) wurden N_{min} Gehalte gemessen (mit Ionen-Austausch-Chromatographie) (Agroscope ART und ACW 2010).

Messung der photosynthetisch aktiven Strahlung

Die PAR (*photosynthetically active radiation*) wurde zu verschiedenen Zeitpunkten während des Versuchs (25, 31, 39, 45 et 49 TnS) mit einem LI-191 Line Quantum Sensor (LI-COR Biosciences) gemessen. Die Messungen wurden stets zur Mittagszeit beim höchsten Sonnenstand vorgenommen. Die photosynthetisch aktive Strahlung wurde jeweils knapp oberhalb des Pflanzenbestandes und auf Bodenniveau gemessen. Die Fraktion des zurückgehaltenen photosynthetisch aktiven Lichts (absorbierte PAR) wurde nach folgender Formel berechnet: $(1 - (\text{PAR Bodenniveau} / \text{PAR Niveau Pflanzenbestand})) * 100$.



Abb. 2 | A) Versuchsvarianten mit Ring (A, B, E) und B) PVC-Rohr (C, D, F) am 28 August (23 TnS) im nackten Boden. In jedem Ring und Rohr wachsen fünf Amaranth Pflanzen.

Tab. 1 | Versuchsaufbau im Feld. P = PVC-Rohr, N = Netz, - = Fehlen, + = Vorhandensein

Versuchsvariante	Trennung der Rhizosphären	Wurzelinteraktionen	Netz	Beschattung der Amarante	Vorhandensein einer Zwischenfrucht
A (-P, -N)	nein	ja	nein	ja	ja
B (-P, +N)	nein	ja	ja	nein	ja
C (+P, -N)	ja	nein	nein	ja	ja
D (+P, +N)	ja	nein	ja	nein	ja
E (-P)	nein	–	–	nein	nein
F (+P)	ja	–	–	nein	nein

Bestimmung der Trockenmasse der Amarant Pflanzen

Am 27. September (53 TnS) wurden die in den Rohren und Ringen wachsenden Amarant Pflanzen auf Bodenniveau abgeschnitten. Das so geerntete Pflanzenmaterial wurde während 24 Stunden bei 50 °C getrocknet und anschliessend gewogen um die Trockenmasse (TM) zu bestimmen.

Bestimmung der Trockenmasse der Unkräuter

Am 7. August (2 TnS) wurden vier Zählrahmen (0,25 m²) zufällig in jedem Block ausgelegt um Anzahl und Biomasse der Unkräuter in den Pflanzenbeständen während des Versuches bestimmen zu können. Am 1. Oktober (57 TnS) wurden die in diesen Rahmen vorhandenen Unkräuter bestimmt, gezählt und auf Bodenniveau abgeschnitten. Danach wurden die so geernteten Pflanzen während 48 Stunden bei 50 °C getrocknet und anschliessend gewogen.

Statistische Analysen

Die Daten wurden mit R studio 3.0 analysiert. Für jede Pflanzenart wurde ein Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung der Daten durchgeführt. Die Homogenität der Varianzen wurde anschliessend mit dem Levene-Test überprüft. Eine nicht-parametrische Analyse wurde mit Hilfe des Statistikpaketes Rfit (*Rank-based Estimation for Linear Models*) (Kloke et McKean 2012) durchgeführt. Für Buchweizen und Sorghum musste eine logarithmi-

sche Transformation der Daten vorgenommen werden. Mit dem Bonferroni-Test wurden multiple Mittelwertvergleiche durchgeführt um signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ($p < 0,5$) festzustellen.

Resultate und Diskussion

Vollständige Unterdrückung der Unkräuter

Die Unterdrückung der Unkräuter durch die drei Zwischenkulturen war praktisch vollständig (Tab. 2). In den drei Blöcken mit den Zwischenfrüchten war das Unkrautwachstum im Vergleich zur Kontrollparzelle mit nacktem Boden um 99 bis 100 % reduziert. Diese Beobachtungen decken sich mit Ergebnissen aus früheren Feldversuchen (Ergebnisse nicht gezeigt) sowie mit jenen anderer Forschergruppen (Kumar *et al.* 2009; Weston *et al.* 2013). Allerdings war der Unkrautdruck 2013, im Vergleich zu den vorherigen Jahren, sehr gering. In einem anderen Feldversuch 2012 wuchsen durchschnittlich 181 g Unkräuter/0,25 m² in der Kontrollparzelle mit nacktem Boden im Vergleich zu lediglich 64 g Unkräuter/0,25 m² 2013. Wir vermuten, dass der eineinhalbjährige Anbau von Luzerne ein sehr sauberes Feld hinterlassen hat. Zudem mussten wir feststellen, dass das Auftreten von Zurückgekrümmtem Fuchsschwanz in unserem Versuch, im Vergleich zum Versuch 2012, sehr schwach war. In den sechzehn Zählrahmen des Versuchs (vier pro Block) wurden folgende Pflanzenarten

Tab. 2 | Die Trockenmasse (TM) der Unkräuter pro 0,25 m² wurde 57 TnS bestimmt. Die Daten zeigen Mittelwerte aus vier Wiederholungen sowie Standardfehler. Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($p \leq 0,05$). Mit einem Sternchen gekennzeichnete Prozentwerte sind statistisch signifikant

Zwischenfrucht	TM Unkräuter/0,25 m ² (g)	Reduktion im Vergleich zur Kontrolle nackter Boden (%)
Brauner Senf	0,09 ± 0,0 a	-100*
Sorghum	0,73 ± 0,4 a	-99*
Buchweizen	0,15 ± 0,0 a	-100*
Nackter Boden	64,03 ± 9,2 b	

Tab. 3 | Die Reservenährstoffe im Boden wurden am 6.8. bestimmt (A). Die verfügbaren Nährstoffe im Boden wurden am 6.8., am 9.9. und am 27.9. bestimmt (B). N_{\min} wurde am 3.9. und am 27.9. gemessen (C). Am 12.8. wurden 50 kg N (Ammoniumnitrat 27,5 %)/ha ausgebracht.

A	Reservenährstoffe (mg/kg)		
	P	K	Mg
Datum	06.08.		
Brauner Senf	42	143	337
Sorghum	47	144	340
Buchweizen	49	149	289
Nackter Boden	42	141	329

B	Verfügbare Nährstoffe (mg/kg)								
	P			K			Mg		
Datum	06.08.	09.09.	27.09.	06.08.	09.09.	27.09.	06.08.	09.09.	27.09.
Brauner Senf	3,1	1,8	1,8	19,0	19,0	20,0	6,1	4,8	5,2
Sorghum	3,4	2,0	2,2	19,3	16,0	17,0	7,1	5,6	5,8
Buchweizen	2,5	1,8	1,7	19,8	16,0	17,0	7,4	6,0	6,2
Nackter Boden	2,6	1,6	2,1	18,9	15,0	18,0	6,6	5,2	5,4

C	N_{\min} (kg N/ha)	
	03.09.	27.09.
Brauner Senf	22,6	16,8
Sorghum	34,4	23,8
Buchweizen	31,4	23,2
Nackter Boden	56,2	23,3

bestimmt: Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*), Weisser Gänsefuss (*Chenopodium album*), Vielsamiger Gänsefuss (*Chenopodium polyspermum*), Luzerne (*Medicago sativa*), Sonnwend-Wolfsmilch (*Euphorbia helioscopia*), Gewöhnliches Hirtentäschel (*Capsella bursa-pastoris*), Acker-Schachtelhalm (*Equisetum arvense*) und Raue Gänsedistel (*Sonchus asper*). Die Zählrahmen in der Kontrollparzelle enthielten im Mittel elf Unkrautpflanzen.

Bodenfruchtbarkeit

Zu Beginn des Versuchs (06.08.13) war die Menge der Reservenährstoffe im Boden ausreichend (P und K) bis reichhaltig (Mg) (Tab. 3A). Die Menge an verfügbarem P und K (Korrekturfaktor gemäss Düngungsnorm: 1.0) war während der gesamten Versuchsdauer ebenfalls ausreichend, die Mg-Gehalte hingegen waren mittelmässig (Korrekturfaktor gemäss Düngungsnorm: 1.4) (Tab. 3B) (Sinaj *et al.* 2009). Auf Grund dieser Ergebnisse gehen wir davon aus, dass alle Zwischenfrüchte gut mit Nährstoffen versorgt und keiner Mangelsituation unterworfen waren. Was die Stickstoffversorgung angeht, so hat die Düngergabe von 50 kg N/ha Anfang August bis zum Versuchsende (Messung vom 27.09) ein optimales Stickstoffangebot für die Entwicklung der

Pflanzen gewährleistet (Tab. 3C). Die Ergebnisse zeigen auch, dass die Nährstoffgehalte zwischen den verschiedenen Versuchsvarianten (darunter auch der nackte Boden) während der gesamten Wachstumsperiode sehr ähnlich waren.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es wahrscheinlich keine Konkurrenz um die Makronährstoffe P, K, Mg und N gab, da die Pflanzen während der gesamten Versuchsdauer ausreichend versorgt waren. Indessen kann man nicht ausschliessen, dass andere Makronährstoffe und/oder Mikronährstoffen in unzureichenden Mengen vorlagen. Ebenso lässt sich nicht ausschliessen, dass allelopathische Substanzen im Boden eventuell die Nährstoffaufnahme durch die Amaranthpflanzen beeinflusst haben. Es konnte gezeigt werden, dass die Ausscheidung des Phytotoxins 8HQ (8-hydroxy-Quinolin) durch die Sparrige Flockenblume (*Centaurea diffusa* Lam.) die Aufnahme von Metallen, insbesondere von Eisen, erleichtern kann (Tharayil *et al.* 2009). Um mögliche Effekte der Wurzelabscheidungen der Zwischenfrüchte auf die Nährstoffaufnahme durch Amaranth zu untersuchen, ist es in unserem nächsten Feldversuch unter anderem vorgesehen, den Nährstoffgehalt in den Amaranthblättern zu messen.

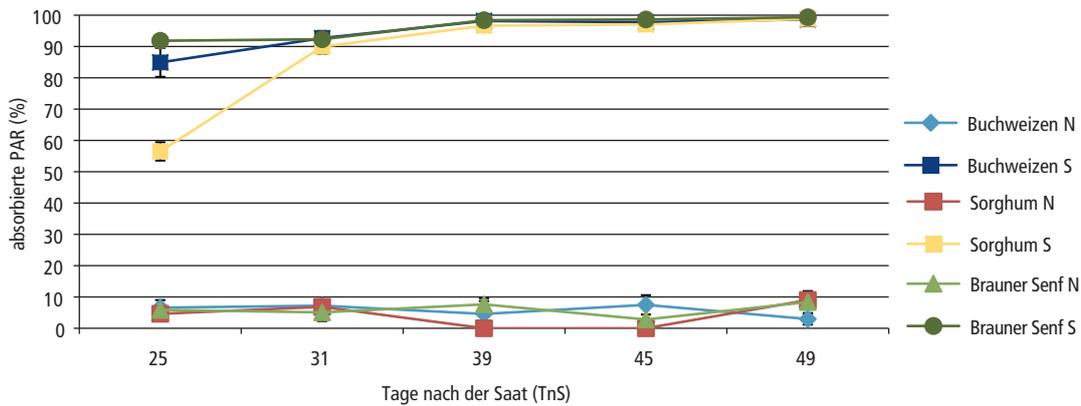


Abb. 3 | Die absorbierte photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) wurde zur Mittagszeit zwischen den Netzen (N) und innerhalb der verschiedenen Pflanzenbestände (S) 25, 31, 39, 45 und 49 TnS gemessen. Die Daten zeigen Mittelwerte aus vier Wiederholungen sowie Standardfehler. N = Netz, S = Schatten

Konkurrenzfaktor Beschattung

Der Anteil der photosynthetisch aktiven Strahlung der durch die Zwischenkulturen absorbiert wurde, konnte durch PAR Messungen zu verschiedenen Zeitpunkten (25 bis 49 TnS) bestimmt werden. Dabei wird deutlich, dass die drei Pflanzenbestände 39 TnS das Licht praktisch vollständig absorbieren (zwischen 97 und 98 %, Abb. 3, Buchweizen S, Sorghum S und Brauner Senf S). Der Sorghum Bestand (Sorghum S) hat sich dabei am langsamsten entwickelt. Durch die Installation der Netze (Abb. 1) konnte die Beschattung der Amarant Pflanzen beträchtlich reduziert werden (absorbierte PAR zwischen 0 bis 9 %, Abb. 3, Buchweizen N, Sorghum N und Brauner Senf N). Durch das Ausschalten der Lichtkonkurrenz konnte der Beschattungseffekt der verschiedenen Zwischenfrüchte auf das Amarant Wachstum untersucht werden. Der Gesamteffekt der Wachstumsreduzierung der Ama-

rante, genauer gesagt der Unterschied zwischen den Versuchsvarianten D (keine Lichtkonkurrenz, keine Wurzelinteraktionen) und A (starke Beschattung, Wurzelinteraktionen) war für die drei Kulturen sehr hoch (zwischen 76 und 97 %) (Tab. 4A und B). In unserem Versuch lässt sich der Gesamteffekt der Wachstumsreduzierung durch die Beschattung erklären (Tab. 4B, Effekt des Lichts). Es scheint daher, dass der Faktor Beschattung allein für die Wachstumshemmung der Amarante verantwortlich ist.

Wurzelinteraktionen

Im Feldversuch konnte kein wachstumshemmender Effekt der Wurzelinteraktionen auf die Amarant Entwicklung aufgezeigt werden (Tab. 4B, Effekt des Rohrs). Ausser beim Braunen Senf, führte das Vorhandensein der PVC-Rohre (Trennung der Rhizosphären) zu keinem

Tab. 4 | TM pro Amarant (mg) 53 TnS in den drei Zwischenfruchtbeständen für die Versuchsvarianten A bis D (A). Die Daten zeigen Mittelwerte aus acht Wiederholungen sowie Standardfehler. P = PVC-Rohr; N = Netz; - = Fehlen; + = Vorhandensein. Wirkung (%) zwischen den Versuchsvarianten (B). Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($P \leq 0,05$). Mit einem Sternchen gekennzeichnete Prozentwerte sind statistisch signifikant.

A	TM pro Amarant (mg)		
	Buchweizen	Sorghum	Brauner Senf
A (-P -N)	24 ± 9 a	232 ± 49 a	34 ± 12 a
B (-P +N)	670 ± 191 b	1429 ± 305 b	264 ± 47 b
C (+P -N)	20 ± 3 a	273 ± 64 a	39 ± 13 a
D (+P +N)	746 ± 127 b	969 ± 54 b	521 ± 54 c

B	Gesamteffekt (%) (D vers. A)	Effekt des Lichts (%)		Effekt des Rohrs (%)	
		(B vers. A)	(D vers. C)	(C vers. A)	(D vers. B)
Buchweizen	-97*	-96*	-97*	18	-10
Sorghum	-76*	-84*	-72*	-15	48
Brauner Senf	-93*	-87*	-93*	-11	-49*

signifikantem Effekt auf das Amaranth Wachstum (Brauner Senf -11 und -49 %, Sorghum -15 und 4 %, Buchweizen 18 und -10 %, Vergleich der TM von Amaranth bei Vorhandensein und Fehlen der PVC-Rohre). Im Gegensatz zur Beschattung, kann der Gesamteffekt der Wachstumsreduzierung der Amaranthe daher nicht durch die vorhandenen Wurzelinteraktionen erklärt werden. Aufgrund versuchstechnischer Probleme konnte die Trennung der Rhizosphären im Feldversuch allerdings nicht vollständig gewährleistet werden. In der Tat konnte die Trennung der Rhizosphären durch ein Rohr nicht verhindern, dass es zu Wurzelkontakten zwischen dem Unkraut und den verschiedenen Zwischenfrüchten kam. Die Methode mit dem Rohr wurde gewählt, da das Rohr nach der Saat in den Boden geklopft werden konnte, ohne graben und die Bodenstruktur verändern zu müssen. Die lange Pfahlwurzel der Amaranth Pflanzen hat allerdings wahrscheinlich schon nach circa 15 Tagen das untere offene Ende der PVC-Rohre erreicht (Beobachtung aus einem nachfolgenden Versuch in der Klimakammer, Ergebnisse nicht gezeigt). Die Wurzeln der Zwischenfrüchte hatten also Kontakt mit den Amaranth Wurzeln. Trockenperioden während des Versuchs haben möglicherweise zu Wasserstress der Kulturen geführt. Wasserkonkurrenz zwischen den Zwischenkulturen und den Unkräutern kann daher nicht ausgeschlossen werden. Es ist erwiesen, dass das Vorhandensein von Hünerhirse (*Echinochloa crus-galli*) die Ausscheidung von allelopathischen Molekülen bei Reis induziert (Zhao *et al.* 2005). Es ist daher möglich, dass Unkräuter als ökologischer Auslöser vorhanden sein müssen, um die allelopathische Wirkung der untersuchten Zwischenkulturen auszulösen. Die geringe Unkrautdichte (besonders von Amaranth) in unserem Versuch könnte daher erklären, weshalb die Wurzelinteraktionen keinen Effekt auf das Amaranth Wachstum hatten. Es ist auch möglich, dass ein dichter, sich rasch entwickelnder Zwischenfruchtbestand genügend Beschattung verursacht, um das Unkrautwachstum praktisch vollständig zu unterdrücken. Die Zwischenfrüchte hätten somit keinen «Bedarf» Wurzel-ausscheidungen zu produzieren um die Konkurrenzpflanzen zu unterdrücken. Das hätte zur Folge, dass allelopathische Effekte nicht während der gesamten Vegetationsperiode zu beobachten sind, sondern lediglich während bestimmter Entwicklungsphasen der Pflanze, insbesondere in den ersten Entwicklungsstadien vor der Etablierung eines dichten Bestandes.

Dennoch kann die Unkrautunterdrückung im Feld nicht allein durch den Deckungsgrad der Zwischenkulturen erklärt werden (Gebhard *et al.* 2013). In einem Topfversuch in der Klimakammer mit denselben Versuchsvarianten (Dauer 28 Tage) konnte gezeigt werden, dass

Wurzelinteraktionen zwischen Unkraut und Zwischenfrucht vorhanden sein müssen um das Amaranth Wachstum durch Buchweizen und Sorghum zu unterdrücken. Der das Wachstum unterdrückende Effekt auf den Amaranth war grösser wenn sowohl Beschattung als auch Wurzelinteraktionen vorhanden waren. Der beobachtete Effekt war bei Buchweizen stärker als bei Sorghum. Im Klimakammerversuch konnten Wasser und Nährstoffkonkurrenz durch regelmässige Bewässerung und optimale Nährstoffgaben ausgeschlossen werden. Zu bemerken ist jedoch, dass der Klimakammerversuch kürzer als der Feldversuch war und dass der Buchweizenbestand 53 TnS im Feld sehr dicht war im Vergleich zum Topfversuch in der Klimakammer 28 TnS. Diese Ergebnisse lassen uns hoffen, dass wir nach einigen Veränderungen des Versuchsaufbaus, das Vorhandensein oder das Fehlen allelopathischer Effekte unter Feldbedingungen nachweisen können.

Schlussfolgerungen

- Der vorliegende Feldversuch wurde durchgeführt um das Phänomen Allelopathie vom Konkurrenzfaktor Licht getrennt zu untersuchen.
- Wir haben eine Methode entwickelt, die es ermöglicht die Beschattung der Unkräuter durch Zwischenfrüchte effizient zu verhindern und konnten zeigen, wie wichtig Lichtkonkurrenz zwischen den Pflanzen ist.
- Die Nährstoffkonkurrenz konnte kontrolliert werden und wir gehen davon aus, dass dieser Faktor für die Ergebnisse nicht entscheidend war.
- Wasser spielte in dem Versuch nur eine marginale Rolle. Es wäre jedoch wünschenswert seinen Einfluss besser in den Griff zu bekommen.
- Die Trennung der Rhizosphären konnte durch 25 cm lange PCV-Rohre nicht gewährleistet werden.

Weitere Versuche sind notwendig um allelopathische Effekte in situ auf dem Feld verstehen und nachweisen zu können. ■

Riassunto

Soppressione delle avventizie mediante coperture vegetali: diversi fattori analizzati

Le colture intercalari rappresentano una tecnica colturale sempre più diffusa in Svizzera grazie ai loro servizi ecosistemici, tra i quali la soppressione delle avventizie. Questo fenomeno può essere spiegato dall'azione congiunta di fattori di competizione (per acqua, luce ed elementi nutritivi) e di eventuali fenomeni allelopatici (interazioni biochimiche tra le piante). Per meglio comprendere i fenomeni di soppressione delle avventizie attraverso le coperture vegetali, abbiamo realizzato una prova in campo che permette di misurare l'effetto di tre coperture sulla crescita delle avventizie, in particolare, l'amaranto. Inoltre, abbiamo tentato di comprendere il ruolo dei diversi fattori di soppressione attraverso l'installazione di un nuovo dispositivo sperimentale. Si trattava di studiare separatamente l'effetto dovuto alla competizione per la luce attraverso le coperture e l'effetto dovuto ai fenomeni allelopatici in seguito a interazioni radicali tra le coperture e gli amaranti. Durante questo primo anno di prova, la competizione per la luce ha potuto essere fortemente ridotta; tuttavia, per ragioni metodologiche, le interazioni radicali non hanno potuto essere completamente sopresse in campo. I risultati intermedi hanno mostrato il ruolo importante della concorrenza per la luce nel controllo delle avventizie in campo, mentre non è ancora stato possibile osservare il ruolo dell'allelopatia.

Summary

Weed suppression by cover crops: analyzing different factors

Cover crops represent an increasingly widespread agricultural technique in Switzerland as they provide different ecosystem services. One important role of cover crops is weed control, which can be explained by resource competition (for water, nutrients and light) and allelopathic effects (biochemical interactions between plants). To better understand the phenomenon of weed suppression by cover crops, we set up a field experiment that has allowed us to measure the effect of three cover crops on weed growth, particularly amaranth. In addition, we tried to understand the role of different weed growth suppression factors by using a new experimental approach. It allowed us to study separately the factor of light competition by the plant cover and the allelopathic root interactions between the cover crops and the amaranth plants. In this first year of the trial, light competition could be strongly reduced, but root interactions in the field could not be prevented completely due to methodological reasons. The intermediate results have demonstrated clearly the important role of light competition for weed control in the field. The role of allelopathy in weed suppression by cover crops remains to be identified.

Key words: cover crops, weed suppression, buckwheat, sorghum, brown mustard, resource competition, allelopathy, root interactions.

Literatur

- Agroscope ART & ACW, 2010. Schweizerische Referenzmethoden der landwirtschaftlichen Forschungsanstalten, Band 1
- Arvalis, 2011. Cultures intermédiaires. Impacts et conduite. Arvalis Institut du végétal, 1–236 S.
- Gebhard C.A., Büchi L., Liebisch F., Sinaj S., Ramseier H. & Charles R., 2013. Screening de légumineuses pour couverts végétaux: azote et adventices. *Recherche Agronomique Suisse* 4 (9), 384–393.
- He H.B., Wang H.B., Fang C.X., Lin Z.H., Yu Z.M. & Lin W.X., 2012. Separation of Allelopathy from Resource Competition Using Rice/Barnyardgrass Mixed-Cultures. *Plos One* 7 (5).
- Inderjit & del Moral R., 1997. Is separating resource competition from allelopathy realistic? *Botanical Review* 63 (3), 221–230.
- Inderjit & Callaway R.M., 2003. Experimental designs for the study of allelopathy. *Plant and Soil* 256 (1), 1–11.
- Justes E., Beaudoin N., Bertuzzi P., Charles R., Constantin J., Dürr C., Hermon C., A. J., Le Bas C., Mary B., Mignolet C., Montfort F., Ruiz L., Sarthou J.P., Souchère V. & Tournebize J., 2012. Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires: conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques. INRA (France), 1–31 S.
- Kalinova J. & Vrchatova N., 2009. Level of Catechin, Myricetin, Quercetin and Isoquercitrin in Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench), Changes of Their Levels during Vegetation and Their Effect on The Growth of Selected Weeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57 (7), 2719–2725.
- Klope J.D. & McKean J.W., 2012. Rfit: Rank-based Estimation for Linear Models. *R Journal* 4 (2), 57–64.
- Kumar V., Brainard D.C. & Bellinder R.R., 2009. Effects of Spring-sown Cover Crops on Establishment and Growth of Hairy Galinsoga (*Galinsoga ciliata*) and Four Vegetable Crops. *Hortscience* 44 (3), 730–736.
- Rice E.L., 1984. Allelopathy. Academic Press Inc. (London) Ltd, London. p.
- Sinaj S., Richner W., Flisch R. & Charles R., 2009. Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages. *Revue suisse d'agriculture* 41 (1).
- Tharayil N., Bhowmik P., Alpert P., Walker E., Amarasiriwardena D. & Xing B., 2009. Dual purpose secondary compounds: phytotoxin of *Centaurea diffusa* also facilitates nutrient uptake. *New Phytologist* 181 (2), 424–434.
- Tominaga T. & Uezu T., 1995. Weed Suppression by Buckwheat. *Current Advances in Buckwheat Research* 693–697.
- Weston L.A., Alsaadawi I.S. & Baerson S.R., 2013. Sorghum Allelopathy-From Ecosystem to Molecule. *Journal of Chemical Ecology* 39 (2), 142–153.
- Zhao H., Li H.B., Kong C.H., Xu X.H. & Liang W.J., 2005. Chemical response of allelopathic rice seedlings under varying environmental conditions. *Allelopathy Journal* 15 (1), 105–110.