

Wirkungen eines polymeren Bodenverbessers auf die Ertragsbildung von Hirse unter ariden Bedingungen

S. Banedjschafie^{*1} und H. Herzog²

Zusammenfassung

Wasser ist in (semi)ariden Gebieten der entscheidende begrenzende Faktor in der Pflanzenproduktion. Unter dem Aspekt einer erhöhten Wasserspeicherung wurde die Wirkung einer Polymer-Gabe von 0 bzw. 0.3 % (G/G) zu drei Böden (leicht/mittel/schwer) bei drei Bewässerungsfrequenzen (4-, 8-, und 12-tägig) auf die Ertragsbildung von Hirse (*Panicum antidotale* Retz), die Wasserspeicherung und N-Auswaschung im Freiland (nordwestlich von Teheran) geprüft.

Vierzig Tage (d) nach Versuchsbeginn sank die Überlebensrate der Pflanzen, insbesondere auf leichtem Boden und bei geringer Bewässerungsfrequenz progressiv. Polymer-Zusatz und eine erhöhte Bewässerungsfrequenz zeitigten bei allen Pflanzenmerkmalen klare positive Wirkungen, wobei z. T. deutliche Interaktionen, auch mit den Böden bestanden. Auf allen Böden, insbesondere aber auf mittlerem Boden, welcher die Rispen- und Biomassebildung begünstigte, war der Effekt des Polymerzusatzes bei geringer bzw. mittlerer Bewässerungsfrequenz am stärksten ausgeprägt. Die Wechselwirkungen zwischen den Versuchsfaktoren werden vor dem Hintergrund einer durch Polymerzusatz erhöhten Wasserspeicherung und verminderten N-Auswaschung diskutiert.

Stichwörter: Polymer, Wasserspeicherung, Bewässerungsfrequenz, Bodenarten, Ertragsbildung von Hirse, Überlebensrate, N-Auswaschung

1 Einleitung

Wasser stellt ein Hauptproblemfaktor in der Pflanzenproduktion arider und semiarider Regionen dar. Nicht nur die natürliche Wasserknappheit begrenzt die Standortproduktivität, sondern auch ungünstige physikalische Bodeneigenschaften, wie geringe Infiltration, sowie Wasserspeicherung und -nachlieferung. Neben der Anwendung von Gründüngung, Mulchen oder anderer organischer Dünger, die zur Milderung dieser Probleme beitragen können, ist in den letzten Jahren auch der Einsatz von polymeren Bodenverbessern getestet worden. Hierzu zählen z.B. Perlit, Igeta, Hydroplus und andere Superabsorbenten bzw. Polymere. Diese Mittel können bei Kontakt mit Was-

* corresponding author

¹ Schahram Banedjschafie, Research Institute of Forests & Rangelands, Desert Division, P.O. Box 13185-116 Teheran/Iran, E-Mail: sbjschafie@rifr-ac.ir

² Prof. Dr. agr. Helmut Herzog, Institut für Pflanzenbauwissenschaften, Humboldt-Universität zu Berlin, Albrecht-Thaer-Weg 5, D-14195 Berlin

ser das 300 bis 500-fache ihres Volumens an Wasser absorbieren und es wieder an die Pflanzen abgeben. Neben dieser Wasserabsorption, die zu einer besseren Pflanzen- und Wurzelentwicklung führen kann, ist auch eine verminderte Nährstoffauswaschung aus dem Boden durch Polymere zu erwarten, wobei die Wirksamkeit im Boden mit bis ca. 5 Jahren angegeben wird (*Super AB, A-100*, Iran Polymer Institute). Polymere Bodenverbesserer können bei Neuanpflanzungen von Baumkulturen auf leichteren Böden trockener Klimata positive Effekte erzielen, wie Dosiseffekte von Polymerzusätzen zum Boden auf die Überlebensrate von Kiefern Sämlingen (*Pinus halepensis*) in Versuchen von HÜTTERMANN *et al.* (1997) belegen. In Versuchen mit *Populus euphratica* auf salzhaltigem Boden (Hüttermann *et al.* 1997) liessen Polymer-Behandlungen mit 0 % bis 0.6 % nach 7 und nach 60 Tagen ebenfalls abgestufte, deutliche Verbesserungen von Wachstum und Überlebensrate erkennen.

Aus anderen Bewässerungsversuchen von HÜTTERMANN *et al.* (1999) auf leichten Wüstenböden geht hervor, dass die durch Polymere gesteigerte Wasserspeicherung einen entscheidenden Einfluss auf das Überleben der Pflanzen ausübten. Darüber hinaus konnte in diesen Versuchen, wie auch in denen von DEGHAN *et al.* (1994), eine erhöhte Wurzelmasse bei Polymerzugaben beobachtet werden. In einem weiteren Bericht über Polymerversuche in Südafrika wird mitgeteilt, dass durch die Verwendung von Polymeren im Boden nicht nur die Sterblichkeitsrate von Eukalyptuspflanzen deutlich reduziert wurde, sondern auch die Bewässerungskosten abnahmen (ANONYMOUS, 1998).

Ziel dieser Untersuchung war es, zu prüfen, inwieweit auch an annualen Nutzpflanzen unter den ariden Bedingungen des Irans positive Wirkungen von Polymerzugaben nachgewiesen werden können. Darüber hinaus sollten mögliche Wechselwirkungen mit Bewässerungsmassnahmen bzw. mit unterschiedlichen Wasserspeicherkapazitäten von Böden untersucht werden. Als annuelle Pflanze wurde hier Futterhirse (*Panicum antidotale* Retz.) ausgewählt, weil diese Pflanze neben Viehfutter auch als Schutz gegen Winderosionen in Trocken- bzw. Wüstengebieten eingesetzt werden kann.

2 Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden in einem Gefässversuch im Freiland während des Jahres 2000 am Forschungsinstitut für Wald und Weidewirtschaft (16 km nord-östlich von Teheran, 1300 m ü. NN) durchgeführt. Die mittleren jährlichen Niederschläge betragen dort ca. 230 mm mit Schwerpunkten im Frühjahr und im Spätherbst, so dass während der Versuchsmonate im Sommer weniger als 10 mm Regen fielen. Während des Versuchszeitraums betrug die monatliche Verdunstung ca. 170 mm und die mittleren Temperaturen lagen bei 21°C. Das Saatgut der Futterhirse (*Panicum antidotale* Retz.) wurde aus der Genbank des Forschungsinstituts (für Wald- und Weidewirtschaft) bezogen und zuvor auf seine Keimfähigkeit geprüft. Es wurden vier Körner pro Gefäss ausgesät und später auf eine Pflanze pro Topf ausgedünnt. Die Gefässe wurden jeweils mit 4 kg Boden unterschiedlicher Herkunft und Art (leicht, mittel und schwer, s. Tab. 1) befüllt. Den Böden wurde eine Dosis von 0 bzw. 0,3 % (G/G) des Polymers *Super AB, A-100* (Iran Polymer Institute) zugesetzt, welches den Verhältnissen in anderen Untersuchungen entsprach (WANG und GREGG, 1990; BOWMAN *et al.*, 1990; DEGHAN *et al.*, 1994; HÜTTER-

MANN *et al.*, 1997, 1999). Das verwendete Polymer bestand aus Polyacrylsäure mit einer Körnung von 0,05 - 0,15 mm, einer Dichte von 1,4 - 1,5 g/cm³ und hatte einen pH-Wert von 6 - 7 im wassergesättigten Zustand, welcher bei 203 g/g Polymer erreicht war. Die Bewässerung wurde mit 3 unterschiedlichen Frequenzen, alle 4, 8 oder 12 Tage vorgenommen, wobei zu jedem Bewässerungstermin den Gefässen entsprechend des Gewichts Wasser bis zum leichten Überschreiten der Feldkapazität zugegeben wurde.

Der Versuch war als split-split-plot design angelegt mit 3 Bewässerungsfrequenzen (3 main plots), die jeweils die 3 Bodenarten (3 split plots) beinhalteten, die wiederum jeweils in den unbehandelten und polymer-behandelten Boden (2 subsplit plots) unterteilt waren. Der Versuch wurde mit 4 Wiederholungen durchgeführt.

Die Düngermengen für N-P-K entsprachen den Empfehlungen von FINCK (1992) (berechnet über 80 000 Pflanzen/ha). Eine P- und K-Düngung (35 kg P/ha, 200 kg K/ha) wurde in Form von Triplesuperphosphat und Kaliumsulfat vorgenommen und dem Boden vor der Saat beigemischt. Die Stickstoffdüngung wurde mit ca. 100 kg/ha N dem Boden als wässrige Lösung in Form von Ammoniumnitrat zugeführt. Ein Viertel der N-Menge wurde im Sämlingsstadium, der Rest zur Blüte verabreicht. Die jeweils nach der N-Applikation erfolgenden 2 Bewässerungen waren derart bemessen, dass jeweils ca. 50-80 ml Sickerung erzeugt wurde, um den Einfluss des Bodenverbessers auf die potentielle N-Auswaschung ermitteln zu können.

Die Bodenkennwerte (Tab. 1) wurden im Labor des Research Institute of Forest & Rangelands i. W. nach Standardmethoden ermittelt (elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert im Sättigungs-extrakt elektrometrisch, Stickstoff nach Kjeldahl mit Aufschluss nach ROWELL (1994), Carbonatgehalt nach SCHLICHTING *et al.* (1995), Phosphat nach Olsen gemäß SCHINNER *et al.* (1991), Kalium mit 1N Ammoniumacetat nach COTTENIE (1980), organischer Kohlenstoff nach Walkley und Black gemäß BARUAH und BARTHAKUR (1997), KAK mit Ammonium bzw. Natrium flammenphotometrisch und Korngrößenverteilung hydrometrisch).

Tabelle 1: Kenndaten der unbehandelten Versuchsböden.

Bodenart (% Ton/Schluff/Sand)	pH	EC [dS m ⁻¹]	P [mg kg ⁻¹]	K [cmol kg ⁻¹]	KAK [%]	WGS* [%]	N _t [%]	OC [%]	CaCO ₃ [%]
leicht (2/2/96)	7.42	1.65	0.10	5.7	4.1	26.7	0.029	0.21	5.33
mittel (20/50/30)	7.78	3.51	0.25	27.1	8.2	35.9	0.045	0.40	6.67
schwer (30/38/32)	7.33	2.23	0.14	12.8	8.7	40.4	0.056	0.51	9.33

* Wassergehalt bei Sättigung [% G/G], ermittelt aus Gewicht im gesättigten und stark luftgetrockneten Boden.

An den Pflanzen wurde die phänologische Entwicklung (Feldaufgang, Schoss- und Blühbeginn, absolute Pflanzenanzahlen) jeweils an verschiedenen Tagen bonitiert und später die Überlebensrate regelmässig erfasst. Zur Varianzanalyse der Überlebensrate wurden die Daten zunächst nach der Formel $X = \sqrt{x + 0.5}$ transformiert und anschliessend analysiert, wobei x den Wert 0 für abgestorbene und 1 für lebende Pflanzen annehmen

konnte. Bei der Probenahme einzelner Pflanzen wurde die Trockenmasse (105°C), die Rispenanzahl und die Pflanzenhöhe ermittelt. Das Datenmaterial wurde einer Varianzanalyse unterzogen und bei Vorliegen von signifikanten Effekten wurden Mittelwertvergleiche mittels des Duncan-Tests durchgeführt. Die Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm MSTAT.

3 Ergebnisse

Die phänologische Entwicklung der Futterhirse war gekennzeichnet durch Aufgang am 7.-9. Tag nach der Saat (TnS), Schossbeginn zwischen dem 31.-38. TnS und Blühbeginn zwischen dem 52.-55. TnS. Die drei Versuchsfaktoren zeitigten bei allen fünf Pflanzenmerkmalen (Tab. 2) signifikante Hauptwirkungen, aber auch Wechselwirkungen, insbesondere zwischen der Bewässerung (A) und dem Boden (B). Bezüglich der Hauptwirkungen (Tab. 3) erwies sich der mittlere Boden generell als das günstigste Substrat und eine Verringerung der Bewässerungsfrequenz senkte sowohl Überlebensrate, die Pflanzenhöhe, Rispenanzahl und Trockenmasse der Hirse stufenweise; hierbei war die Reduktion jeweils auf dem leichten Boden relativ am stärksten ausgeprägt. Ein positiver Effekt des polymeren Bodenverbessers auf die Überlebensrate der Hirse (Abb. 1) prägte sich zunehmend ab dem 35 TnS aus, und erhöhte die Rate zur Reife absolut um 10 %, was im wesentlichen auf der Wirkung bei leichtem Boden mit 4- und 8-tägiger Bewässerung und bei mittlerem Boden bei 12-tägiger Bewässerung beruhte (vergl. Tab. 3).

Tabelle 2: Varianzanalysen zum Einfluss der Versuchsfaktoren Bewässerung (A), Boden (B) und Polymerzusatz (C) auf verschiedene Merkmale.

Quelle	F-Werte					
	Freiheitsgrade	Überlebensrate [†]	Rispenzahl	Pflanzenhöhe	Trockenmasse	N im Dränwasser
A	2 (1) [‡]	10.5**	18.3***	13.8***	47.6**	32.8**
B	2	33.4**	72.7***	37.1***	75.1**	14.3**
AB	4	7.0**	5.8**	1.4 ^{n.s.}	4.9**	5.9*
Error	27 (6) [‡]	–	–	–	–	–
C	1	4.8*	15.1***	13.1**	67.3**	10.2*
AC	2	0.3 ^{n.s.}	0.6 ^{n.s.}	0.01 ^{n.s.}	0.5 ^{n.s.}	0.6 ^{n.s.}
BC	2	2.1 ^{n.s.}	1.6 ^{n.s.}	1.0 ^{n.s.}	3.5*	0.9 ^{n.s.}
ABC	4	1.7 ^{n.s.}	4.4**	3.6*	3.3*	0.1 ^{n.s.}
Error	27 (6) [‡]	–	–	–	–	–
Total	71 (23) [‡]	–	–	–	–	–

[†] Freiheitsgrade () für N im Dränwasser; [‡] transformierte Daten

* / ** : signifikant bei p = 0.05 bzw. 0.01, ^{n.s.} : not significant

Das Zusammenwirken der drei Versuchsfaktoren auf die wichtigen Ertragsmerkmale Rispenanzahl und Trockenmasse (Abb. 2 und 3) war sehr ähnlich, wobei ein positiver Polymer-Effekt sich praktisch auf allen Boden×Bewässerung-Kombinationen abzeichne-

Tabelle 3: Haupt- und Wechselwirkungen¹ von Bewässerung (A) und Boden (B) auf die diversen Merkmale der Rispenhirse am Versuchsende.

Merkmal	Boden	Bewässerungsfrequenz			Boden (B)
		4-tätig	8-tätig	12-tätig	
Überlebensrate [%] ²	leicht	88.8 ^a	55.0 ^b	10.0 ^c	51.3 ^β
	mittel	100.0 ^a	100.0 ^a	88.8 ^a	96.3 ^α
	schwer	100.0 ^a	100.0 ^a	100.0 ^a	100.0 ^α
	Bewässerung (A)	96.3 ^α	85.0 ^α	66.3 ^β	–
Pflanzenhöhe [cm]	leicht	Keine signifikante Wechselwirkung (<i>n.s.</i>) zwischen A×B			17.2 ^β
	mittel				46.6 ^α
	schwer				54.3 ^α
	Bewässerung (A)	52.5 ^α	36.7 ^β	29.0 ^β	–
Rispenanzahl je Pflanze	leicht	1.1 ^d	0.3 ^e	0.0 ^e	0.5 ^γ
	mittel	9.3 ^a	5.4 ^b	3.3 ^c	6.0 ^α
	schwer	2.6 ^{cd}	1.4 ^{cde}	1.4 ^{cde}	1.8 ^β
	Bewässerung (A)	4.3 ^α	2.4 ^β	1.6 ^β	–
Trockenmasse je Pflanze [g]	leicht	2.20 ^d	0.68 ^e	0.00 ^e	0.96 ^γ
	mittel	6.75 ^a	3.74 ^b	2.53 ^{cd}	4.34 ^α
	schwer	3.48 ^{bc}	2.35 ^d	2.09 ^d	2.64 ^β
	Bewässerung (A)	4.14 ^α	2.25 ^β	1.54 ^γ	–

¹: unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Hauptwirkungen A bzw. B (α, β, γ) bzw. Wechselwirkungen A × B ($a - e$) an

²: transformierte Daten

te. Ausnahme bildeten die Kombination L12, wo alle Pflanzen abgestorben waren, und M4, bei der ohne Polymergaben höchste Rispenanzahlen und Trockenmassen erreicht wurden. Signifikant war der Polymer-Effekt bei den Kombinationen (S8), S4, M12 und M8, bei welchen halbwegs passable Wachstumsbedingungen (s. u.) auch ohne Polymergaben noch eine mäßige Ausprägung zu liessen. Dies zeigt sich auch an der zunehmenden Polymer-Wirksamkeit von leichten, über den schweren, zum mittleren Boden (Tab. 4).

Effekte der polymeren Bodenverbesserer auf die Pflanzen könnten unmittelbar über die erhöhte Wasserspeicherfähigkeit der Böden, aber auch indirekt über eine verminderte Nährstoffauswaschung bei überschüssigem Regen wirksam werden. Deshalb wurden die Feldkapazität und N-Menge in Sickerwasser untersucht. Der Wassergehalt bei Feldka-

Abbildung 1: Wirkung des polymeren Bodenverbessers auf die Überlebensrate von Hirse.

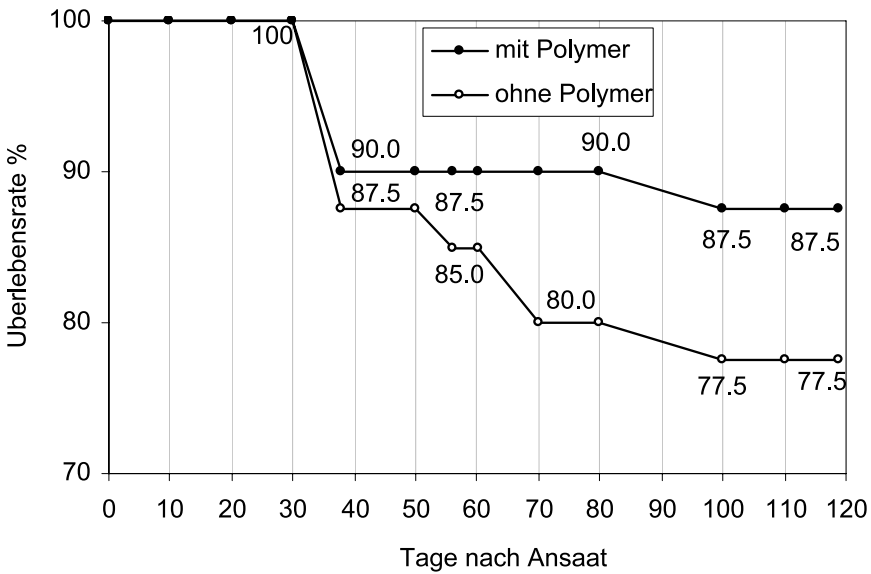


Abbildung 2: Wechselwirkungen von Polymerzusatz, Bewässerung und Boden auf die Rispenzahl von Hirsepflanzen am Versuchsende. (Bewässerung: 12/8/4 =12-, 8- und 4-tägig; Boden: L=leicht, M=mittel, S=schwer; gleiche Buchstaben bedeuten keinen signifikanten Unterschied bei $p < 0.05$).

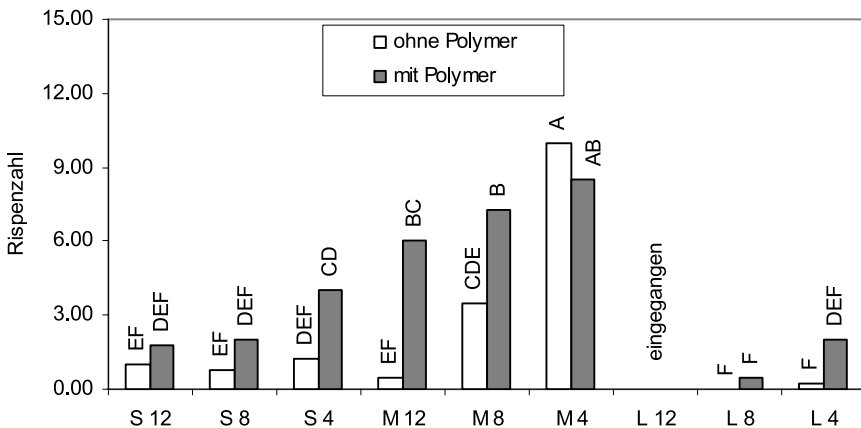


Abbildung 3: Wechselwirkungen von Polymerzusatz, Bewässerung und Boden auf die Trockenmassenbildung (g) von Hirsepflanzen am Versuchsende. (Bewässerung: 12/8/4 =12-, 8- und 4-tägig; Boden: L=leicht, M=mittel, S=schwer; gleiche Buchstaben bedeuten keinen signifikanten Unterschied bei $p < 0.05$)

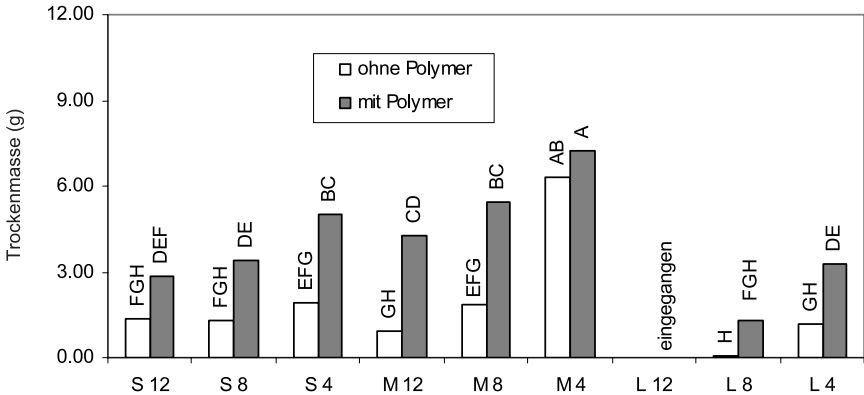


Tabelle 4: Wechselwirkung¹ zwischen Boden (B) und Polymerzusatz (C) auf die Trockenmasse von Hirse (g/Pflanze) am Versuchsende.

Bodenart	Polymerzusatz	
	ohne	mit
leicht	0.42 ^d	1.51 ^c
mittel	3.03 ^b	5.64 ^a
schwer	1.51 ^c	3.77 ^b

¹: unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen Mittelwerten an.

pazität erhöhte sich durch die Polymere um 15 % (Tab. 5). Hinsichtlich der N-Menge im Sickerwasser (Tab. 6) ergaben sich als Hauptwirkungen eine Zunahme von der 4- zur 8-tägigen Bewässerung (A) bzw. von leichten zum schweren Boden (B) und eine Reduktion durch den Polymerzusatz (C). Zwischen Boden (B) und Bewässerung (A) bestand eine Wechselwirkung derart, dass die 4-tägige Bewässerung zwar generell niedrige N-Werte im Dränwasser der 3 Böden als die 8-tägige Bewässerung hervorrief, dies aber bei mittlerem Boden nur tendenziell erkennbar war.

Tabelle 5: Hauptwirkungen¹ von Polymerzusatz (C) und Boden (B) auf den Bodenwassergehalt bei Sättigung² [% G/G]

C Polymerzusatz		B Boden		
ohne	mit	leicht	mittel	schwer
34.3 ^α	49.1 ^β	30.5 ^α	44.3 ^β	50.5 ^γ

¹: B×C n.s.; unterschiedliche Buchstaben α,β,γ indizieren signifikante Mittelwertunterschiede.

²: aus Gewichten bei Wassersättigung und stark luftgetrockneten Böden ermittelt

Tabelle 6: Wechselwirkung zwischen Boden (B), Bewässerung (A)¹ bzw. Polymerzusatz (C) hinsichtlich den N-Konzentrationen im Dränwasser [mg N/l], an 2 Terminen nach N-Gabe ohne Berücksichtigung von 12-tägiger Bewässerung (s.Text).

Boden B	Bewässerung A		Polymerzusatz C		Mittel B
	4-tägig	8-tägig	ohne	mit	
leicht	295 ^c	766 ^b	Keine signifikante Wirkung B×C		531 ^β
mittel	572 ^{bc}	664 ^b			618 ^β
schwer	631 ^b	1348 ^a			990 ^α
Mittel A/C	500 ^a	926 ^b	884 ^α	542 ^β	–

¹: B×A signifikant; unterschiedliche Buchstaben zeigen Hauptwirkungen A,B bzw. C (α,β,γ) bzw. Wechselwirkungen A×B (a – e)

4 Diskussion

Die phänologischen Beobachtungen zeigten, dass die Entwicklung der Futterhirse durch eine Zunahme der Bewässerungshäufigkeit bzw. durch die Polymerzugabe begünstigt war. Dies lässt sich wahrscheinlich auf bessere Wachstumsbedingungen zurückführen und stimmt überein mit einer schnelleren phänologischen Entwicklung und einem besseren Wachstum verschiedener Gemüse- und Zierpflanzen in Folge von Polymerzugabe zum Boden in Untersuchungen von KING *et al.* (1973); FERRAZZA (1974); BEARCE und MCCOLLUM (1977) (zitiert in GEHRING und LEWIS III (1980)). Verbesserte Wachstumsbedingungen spiegeln sich auch in den Überlebensraten wieder, welches an den Sämlingen von *Pinus halepensis* (HÜTTERMANN *et al.*, 1997) durch Polymerzusatz von 0, 0,2 bzw. 0,4 % zum Boden bereits 17 TnS von 38 auf 50 bzw. 100 % festgestellt werden konnte. Auch der Anteil lebender Pflanzen von *Populus euphratica* konnte durch Zusatz von 0,6 % Polymer zu gips- und salzhaltigem Boden nach 60tägig-

gem Wachstum von 46 auf 90 % gefördert werden (HÜTTERMANN *et al.*, 1997). Diese Ergebnisse stimmen mit der zwischen dem 40. und 100. TnS zunehmenden Steigerung der Überlebensrate von Futterhirse durch Polymere überein, welche allgemein von einer Zunahme der Rispenanzahl, Höhe und TM je Pflanze begleitet war. Grundsätzlich können diese Wirkungen an Futterhirse auf eine verbesserte Wasserspeicherung zurückgeführt werden, wie dies analog von GEHRING und LEWIS III (1980) und WEAVER *et al.* (1977) beschrieben wurde. Auch in anderen Arbeiten wird eine verbesserte Wasserspeicherung aufgrund von Polymeren als Ursache für ein verlängertes Überleben von Mais und Bohnen (BAKASS *et al.*, 2002) und für eine bessere Turgeszenz von Erdnuss (MOHANA RAJU *et al.*, 2002) bei knappen Wasserangebot angesehen.

Um die Wechselwirkungen zwischen Polymergabe und den Faktoren Boden bzw. Bewässerung zu bewerten, ist es notwendig zunächst die Wechselwirkung Boden-Bewässerung zu betrachten. Auf mittlerem Boden (und eingeschränkt auch bei leichtem) erhöhte eine zunehmende Bewässerungsfrequenz die Rispenanzahl und Trockenmasse von Futterhirse stufenweise, was auf Wassermangel als begrenzender Faktor für das Wachstum hinweist. Bei dem schweren Boden hatte die Bewässerung keinen bzw. nur einen schwachen Effekt. Hieraus ist zu schlussfolgern, dass Wassermangel zumindest nicht der einzige begrenzende Faktor war. Da der schwere Boden sich von mittleren nur durch einen höheren Ton- zulasten des Schluffgehaltes unterschied, dürfte dessen nutzbare Feldkapazität - trotz des höheren Wassergehalts bei Sättigung - aufgrund eines erheblich höheren Totwassergehaltes etwas geringer, aber besonders der Grobporenanteil deutlich geringer sein (SCHACHTSCHABEL *et al.*, 1989). Letzteres dürfte eine schlechte Belüftung bedingen und neben geringerer P- und K-Verfügbarkeit Ursache für eine verminderte Rispen- und TM-Bildung bei Futterhirse auf dem schweren im Vergleich zum mittleren Boden sein. Insofern ist davon auszugehen, dass bei höherer Bewässerungsfrequenz die schlechte Belüftung des schweren Bodens durch Verschlammung der Bodenoberfläche und Stauwasser noch verstärkt wurde und somit die positive Wirkung einer besseren Wasserversorgung abmilderte bzw. überdeckte.

Allgemein war die günstige Wirkung der **Polymergabe** in Verbindung mit den verschiedenen **Boden-Bewässerungskombinationen** bezüglich der Rispen- und TM-Bildung sehr ähnlich. Auf **mittlerem Boden** war eine fördernde Wirkung der Polymergabe bei geringer und mittlerer Bewässerungsfrequenz (M 12 und M 8) deutlich erkennbar, was einer Minderung des Wassermangels zugeschrieben werden kann. Die Wirkungslosigkeit der Polymergabe bei hoher Bewässerungshäufigkeit ist mit einer an sich günstigen Wasserversorgung dieser Boden-Bewässerungskombination zu erklären. Diese Ergebnisse belegen, dass es möglich ist, die Bewässerungsfrequenz durch Polymergabe von 4- auf 8-tägig ohne Nachteil zu reduzieren. Zu ähnlicher Schlussfolgerung gelangten HÜTTERMANN *et al.* (1997) in Versuchen an *Populus*, in denen die Bewässerung in einem längeren Intervall reduziert wurde und ein vermindertes Wachstum je nach Höhe der Polymerzugabe erst deutlich verzögert eintrat. Auch Experimente von DEHGAN *et al.* (1994); DEHGAN (1995) sowie STILL (1976) weisen in die gleiche Richtung. Auf **schwerem Boden** hatte die Bewässerungsfrequenz kaum einen Effekt auf die Rispenanzahl und TM, dennoch wirkten Polymergaben bei S 12, S 8 und S 4 in ähnlichem Umfang (tendenziell

bzw. signifikant, Abb. 2 und 3). Dies könnte auf einer Minderung von Verschlammung und Stauwasser infolge eines durch Polymere verbesserten, stabileren Bodengefüges beruhen.

Auf dem **leichten Boden**, einem humusarmen Sand, war die Wasserspeicherung allgemein so gering, so dass ohne polymere Bodenverbesserer nur bei hoher Bewässerungsfrequenz eine sehr geringe Rispen- und TM-Bildung möglich war, welche mit Polymergabe schon bei mittlerer Frequenz erreicht wurde und bei hoher Frequenz noch deutlich überoffen wurde. Auf sehr leichtem Boden ist allerdings eine angemessene Hirseproduktivität nur bei hoher Bewässerungsfrequenz und Polymereinsatz zu erzielen. In die gleiche Richtung weisen Untersuchungen von GEESING und SCHMIDHALTER (2004), in denen eine signifikante Erhöhung der Trockenmasse bei Weizen nur erzielt wurde, wenn durch die Polymere ein Wassermangel vermieden wurde.

Insgesamt zeigen die Untersuchungen, dass Polymereinsatz auf mittleren und leichten Böden die Wasserversorgung und die Produktivität von annuellen Pflanzen wie Futterhirse verbessern kann, und bei mittlerem Boden die notwendige Bewässerungsfrequenz und damit auch Arbeit sowie Kosten gesenkt werden können. Dies bestätigen Untersuchungen von SIVAPALAN (2001a), anhand steigender Erträge von Sojabohnen aufgrund zunehmender Polymergaben bzw. gleicher Erträge, wenn bei höherer Polymerzugabe die Bewässerungsfrequenz erniedrigt wurde.

In einer weiteren Arbeit belegte SIVAPALAN (2001b) auf leichtem Boden eine verbesserte Wasserspeicherung durch Polymerzusatz, welche in unserem Versuch auf allen drei Böden auch die N-Auswaschung verringerte. Dabei ist die unerwartete höhere N-Auswaschung bei 8-tägiger im Vergleich zur 4-tägigen Bewässerung vermutlich auf die geringere Biomassebildung (Tab. 4) bzw. damit auch verringerter N-Aufnahme durch die Pflanzen nach der zweiten N-Gabe zur Blüte zurückzuführen. Die Versuche von SYVERTSEN und DUNLOP (2004) weisen auch darauf hin, dass durch Polymerzusatz zu einem Sandboden die N-Aufnahme von Citrussämlingen zunahm und darüber hinaus auch eine N-Auswaschung dort verhindert wurde.

Es bleibt zu prüfen, ob die allgemeine Förderung der Pflanzen durch Polymerzugabe auf schweren Böden (s u L) eventuell auf einer Strukturverbesserung des Bodens im Sinne einer besseren Belüftung beruhte.

Effects of a Polymer for Soil Amendation on Yield Formation of Millet under Arid Conditions

Summary

In arid and semiarid regions water is one of the main limiting factor for plant production. With regard to advantages of an improved water-holding capacity in such regions, we investigated the effects of polymer addition (0,3 % w/w) to three soils (light, medium and heavy) and of three irrigation frequencies (every 4, 8 or 12 days) on the survival and growth of *Panicum antidotale* Retz and on nitrogen leaching under the climatic conditions of north-west Iran.

40 d after sowing survival rate of millet decreased progressively, particularly on the light soil and at a low irrigation frequency. Polymer admixtures and high irrigation frequencies provoked marked positive effects on all plant traits with significant interactions with soils. On all soils, but particularly on the medium soil which favored panicle and biomass production, the effects of polymers were most pronounced at low and medium irrigation frequencies. The interactions are discussed on the background of an improved water-holding capacity, a better soil aeration, and a reduced leaching of nitrogen due to the polymer admixture.

Keywords: polymer admixture, water-holding capacity, irrigation frequency, millet, *Panicum antidotale*, nitrogen leaching, survival rate

Literatur

- ANONYMOUS; Polymer gel holds water for tree seedlings; *S A Forestry*, July/August; 1998.
- BAKASS, M., A. MOKHLISSE und M. LALLEMANT; Absorption and Desorption of Liquid Water by a Superabsorbent Polymer: Effect of Polymer in the Drying of the Soil and the Quality of Certain Plants; *Journal of Applied Polymer Science*; 83:234–243; 2002.
- BARUAH, T. C. und H. P. BARTHAKUR; *A Textbook of Soil Analysis*; Vikas Publishing House PVT LTD; 1997.
- BEARCE, B. C. und R. W. MCCOLLUM; A comparison of peat-like and noncomposted hardwood-bark mixes for use in pot and bedding-plant production and the effects of a new hydrogel soil amendment on their performance; *Flor. Rev.*; 161(4169):21–23,66–67; 1977.
- BOWMAN, D. C., R. Y. EVANS und J. L. PAUL; Fertilizer salts reduce hydration of polyacrylamide gels and affect physical properties of gel-amanded container media; *Journal American Soc. Hort. Sci.*; 115(3):382–386; 1990.
- COTTENIE, A.; Soil and Plant testing as a basic of fertilizer recommendation; *FAO Soil Bulletin*, 38/2, Rome; 1980.
- DEHGAN, B.; Using polymers in landscape trees- preliminary research shows that polymers result in less irrigation; *Ornamental Outlook*; 4:17–18; 1995.
- DEHGAN, B., T. H. YEAGER und F. C. ALMIRA; Photinia and podocarpus growth response to a hydrophilic polymer amendend medium; *Hort. Sci.*; 29(6):641–644; 1994.
- FERRAZZA, J.; Grower evaluates soil amendment; *Flor. Rev.*; 155(4019):27, 69–70; 1974.
- FINCK, A.; *Dünger und Düngung*; Verlag Chemie, Weinheim, New York; 1992.
- GEESING, D. und U. SCHMIDHALTER; Influence of sodium polyacrylate on the water-holding capacity of three different soils and effects on growth of wheat; *Soil Use and Management*; 20:207–209; 2004.
- GEHRING, J. M. und A. J. LEWIS III; Effekt of Hydrogel on Wilting and Moistre Stress of Bedding Plants; *Journal American Soc. Hort. Sci.*; 105(4):511–513; 1980.
- HÜTTERMANN, A., K. REISE, M. ZOMORRODI und S. WANG; The use of hydrogels for afforestation of difficult stands: water and salt stress; in: ZHOU, H. und

- H. WEISGERBER (Herausgeber), *Afforestation in semi-arid regions*; S. 167 – 177; Datong/Jinshatan, China; 1997.
- HÜTTERMANN, A., M. ZOMMORODI und K. REISE; Addition of hydrogels to soil for prolonging the survival of *Pinus halepensis* seedlings subjected to drought; *Soil and Tillage Research*; 50:295–304; 1999.
- KING, P. A., R. H. EIKHOF und M. H. JENSEN; The influence of insolubilized poly(ethylene oxide) in the soil-plant-water matrix: its effect on vegetable crops; Proc. 11th Nat. Agric. Plastics Conf.; 1973.
- MOHANA RAJU, K., M. PADMANABHA RAJU und Y. MURALI MOHAN; Synthesis and Water Absorbency of Crosslinked Superabsorbent Polymers; *Journal of Applied Polymer Science*; 85:1795–1801; 2002.
- ROWELL, D. L.; *Bodenkunde. Untersuchungsmethoden und ihre Anwendungen*; Springer-Verlag Berlin; 1994.
- SCHACHTSCHABEL, P., H.-P. BLUME, G. BRÜMMER, K.-H. HARTGE und U. SCHWERTMANN; *Lehrbuch der Bodenkunde*; F. Enke Verlag Stuttgart; 1989.
- SCHINNER, F., R. ÖHLINGER und E. KANDELER; *Bodenbiologische Arbeitsmethoden*; Springer-Verlag Berlin, Heidelberg; 1991.
- SCHLICHTING, E., H. P. BLUME und K. STAHR; *Bodenkundliches Praktikum*; Pareys Studentexte 81; Blackwell Wissenschafts-Verlag Berlin, Wien; 1995.
- SIVAPALAN, S.; Effect of a Polymer on growth and yield of Soyabeans (*Glycine max*) grown in a coarse textured soil; Proceedings of the Irrigation Association of Australia Conference, Toowoomba, 11-12 July, pp. 28-32; 2001a.
- SIVAPALAN, S.; Effect of a Polymer on soil water holding capacity and plant water use efficiency; Pro. 10th Aust. Agron. Conf. Hobart. www.regional.org.au/asa; 2001b.
- STILL, S. M.; Growth of Sunny Mandalay chrysanthemums in hardwood-bark-amended media as affected by insolubilized poly(ethylene oxide); *Hort. Sci.*; 11:483–484; 1976.
- SYVERTSEN, J. P. und J. M. DUNLOP; Hydrophilic gel amendments to sand soil can increase growth and nitrogen uptake efficiency of citrus seedlings; *HortScience*; 39:267–271; 2004.
- WANG, Y. T. und L. L. GREGG; Hydrophilic polymers: Their response to soil amendments and effect on properties of a soilless potting mix; *Journal American Soc. Hort. Sci.*; 115(6):943–948; 1990.
- WEAVER, M. O., R. R. MONTGOMERY, L. D. MILLER, V. E. SOHNS, G. F. FANTA und W. M. DOANE; A practical process for the preparation of super slurper, a starch-based polymer with a large capacity to absorb water; *Die Stärke*; 29(12):410–413; 1977.