

Messung der Wassernutzungseffizienz von Grünland- und Futterpflanzen mit Hilfe von stabilen Isotopen

N. Wrage^{a*}, F. Küchenmeister^{a,b}, K. Küchenmeister^{a,b}, K. Kaminski^b, J. Isselstein^a

^aAbteilung Graslandwissenschaft, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Georg-August-Universität, von-Siebold-Str. 8, 37075 Göttingen;

^bArpadis Deutschland GmbH, Nordsternstr. 65, 45329 Essen; *nwrage@gwdg.de

Einleitung und Problemstellung

In Folge des Klimawandels ist es wahrscheinlich, dass die Anzahl und Stärke von Dürren und Starkregenereignissen weiter zunimmt (IPCC, 2007). Grünland- und Futterpflanzen werden daher in Zukunft auch in Deutschland eine gute Wassernutzungseffizienz aufweisen müssen, um für den Anbau geeignet zu sein.

Die Wassernutzungseffizienz kann mit Hilfe von stabilen Kohlenstoffisotopen gemessen werden (FARQUHAR and RICHARDS, 1984; KAHMEN et al., 2005; CHEN et al., 2007). Hierbei wird ausgenutzt, dass Pflanzen, die gut mit Wasser versorgt sind, ihre Stomata geöffnet lassen und viel CO₂ aufnehmen können. So können sie stärker zwischen isotopisch schwererem und leichterem CO₂ selektionieren. Das isotopisch leichtere CO₂ (¹²CO₂) wird präferiert, es kommt zu einer Fraktionierung, bei der das Produkt leichter (abgereicherter) ist als das Substrat. Sind Pflanzen nicht so gut mit Wasser versorgt, so müssen sie mehr von dem CO₂ nutzen, das durch die reduzierten Öffnungszeiten der Stomata zur Verfügung steht. Hierdurch ist die Fraktionierung weniger stark und die Pflanzen sind stärker angereichert (beinhalten mehr von dem schweren ¹³C-Isotop als gut wasserversorgte Pflanzen, der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert ist höher).

Das Ziel dieser Arbeit war, die Kohlenstoffsignatur in unterschiedlichen Grünland- und Futterpflanzen zu untersuchen, die mit ausreichender Wasserversorgung bzw. mit Trockenstress angezogen wurden. Ausserdem wurde getestet, inwieweit zwei wasserspeichernde Zusatzstoffe (Torf und Arpolith², ein Präparat aus einem 3D Polymer, versetzt mit Gesteinsmehlen und anderen Materialien, das bis zu dem 30fachen seines Gewichts an Wasser aufnehmen kann) die Kohlenstoffsignatur der Pflanzen beeinflussen.

² Das hier untersuchte Produkt (Stand Februar 2008) wird für die Untersuchung als Arpolith bezeichnet. Die Versuche dienten ausschließlich der Erforschung der Eigenschaften dieses Produktes, nicht seinem Vertrieb oder seiner Bewerbung. Das Produkt ist zur Zeit nicht in Deutschland erhältlich.

Material und Methoden

In Gewächshausversuchen in Göttingen und Riad (Saudi Arabien) wurden Mais (*Zea mays*), Weizen (*Triticum aestivum*) und je eine Grasart auf Quarzsand angezogen. Das in Göttingen verwendete Gras war Welsches Weidelgras (*Lolium multiflorum*), in Saudi Arabien wurde Rhodesgras (*Chloris gayana*) untersucht. Als Pflanzsubstrat diente Quarzsand, der für eine Behandlung mit 5,5 g (Deutschland) bzw. 9 g (Saudi Arabien) Arpolith je Topf (550 bzw. 900 g Quarzsand in Deutschland bzw. Saudi Arabien) versetzt wurde, für eine weitere mit 5,5 g (Deutschland) bzw. 20 g (Saudi Arabien) Torf. Die Pflanzen wurden nach Bedarf gedüngt.

Nachdem die Pflanzen gut etabliert waren, wurde die Hälfte der Töpfe normal weiter bewässert (tägliche Bewässerung, bis die Wasserhaltekapazität des Bodens erreicht war). Die andere Hälfte erhielt nur Wasser, wenn die Pflanzen schon deutliche Welkeerscheinungen zeigten und das Topfgewicht stark abgenommen hatte. Der Versuch wurde in beiden Ländern als Blockversuch mit je 10 Wiederholungen durchgeführt.

Die Pflanzen wurden zur Ernte am Boden abgeschnitten, getrocknet (24 Stunden bei 60 °C) und gemahlen (0,2 mm, Zentrifugalmühle). Die Isotopenproben wurden auf einem Finnigan MAT 251 Isotopenverhältnismassenspektrometer (IRMS; Finnigan, Bremen), das mit einem Conflo II-Interface (Thermo-Finnigan, Bremen) an einen NA1500 Elementaranalysator (Carlo Erba Instruments, Milano, Italien) gekoppelt war, gemessen. Als Referenzgas wurde N₂ verwendet, das gegen die Standards N1 und N2 (IAEA, Wien) kalibriert war. Acetanilid wurde als interner Standard genutzt.

Die Ergebnisse wurden mit SPSS für Windows statistisch ausgewertet. Die Daten wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalität geprüft. Unterschiede zwischen Behandlungen wurden mit Varianzanalyse (ANOVA, $\alpha = 0,05$) getestet.

Ergebnisse und Diskussion

Es ergaben sich deutliche Unterschiede in der ¹³C-Signatur zwischen den C₃- und C₄-Pflanzen (Abb. 1). Wie erwartet, waren die C₄-Pflanzen (Mais und Rhodesgras) deutlich stärker angereichert als die C₃-Pflanzen. Dies kommt durch die geringere Fraktionierung durch PEP-Carboxylase in der C₄-Photosynthese (STRASBURGER et al., 1991). In dem Experiment in Saudi-Arabien waren die Pflanzen generell angereicherter als in Deutschland (Abb. 1). Dies ist wahrscheinlich durch die höheren Gewächshaustemperaturen in Saudi-Arabien bedingt, die bei allen Pflanzen einen gewissen Trockentress verursachten.

Bei den C₃-Pflanzen waren deutliche Unterschiede in der ¹³C-Signatur zwischen den Bewässerungsbehandlungen sichtbar (Abb. 1). Die ausreichend bewässerten Pflanzen wiesen -wie erwartet- signifikant abgereicherte Werte auf ($P < 0,001$). Bei den C₄-Pflanzen waren Unterschiede zwischen den Behandlungen viel geringer. Unter den saudi-arabischen Bedingungen zeigte der Mais keine signifikanten Unterschiede in der ¹³C-Signatur zwischen den Behandlungen. Ansonsten waren C₄-Pflanzen, die mit Wasserstress gewachsen waren, signifikant abgereicherter als die ausreichend bewässerten Pflanzen ($P < 0,001$). Es

gibt Hinweise darauf, dass die Photosynthese bei C₄-Pflanzen durch Wasserstress stärker beeinträchtigt wird als bei C₃-Pflanzen (RIPLEY et al., 2007). Wenn die interzelluläre CO₂-Konzentration bei Trockenstress weniger stark abfällt als die Photosyntheseleistung, so besteht ein größerer CO₂-Pool, so dass die Fraktionierung bei der Photosynthese stärker sein könnte. Dies könnte eventuell die Abreicherung unter Trockenstress bei C₄-Pflanzen erklären, muss jedoch noch näher untersucht werden.

Bei den in Deutschland durchgeführten Versuchen mit C₃-Pflanzen zeigten Pflanzen, die unter Wasserstressbedingungen gewachsen waren, mit Arpolith tendenziell abgereichertere Werte als mit Sand oder Torf als Substrat (Abb. 1). Dies könnte auf eine bessere Wasserverfügbarkeit für die Pflanzen durch das Substrat hinweisen. Dieser Trend konnte in Saudi-Arabien nicht bestätigt werden, was vermutlich auf eine Beeinträchtigung der Quellfähigkeit von Arpolith durch eine höhere Salzkonzentration des Gießwassers bedingt war. Die C₄-Pflanzen zeigten keine Unterschiede im Isotopenwert hinsichtlich des Substrats.

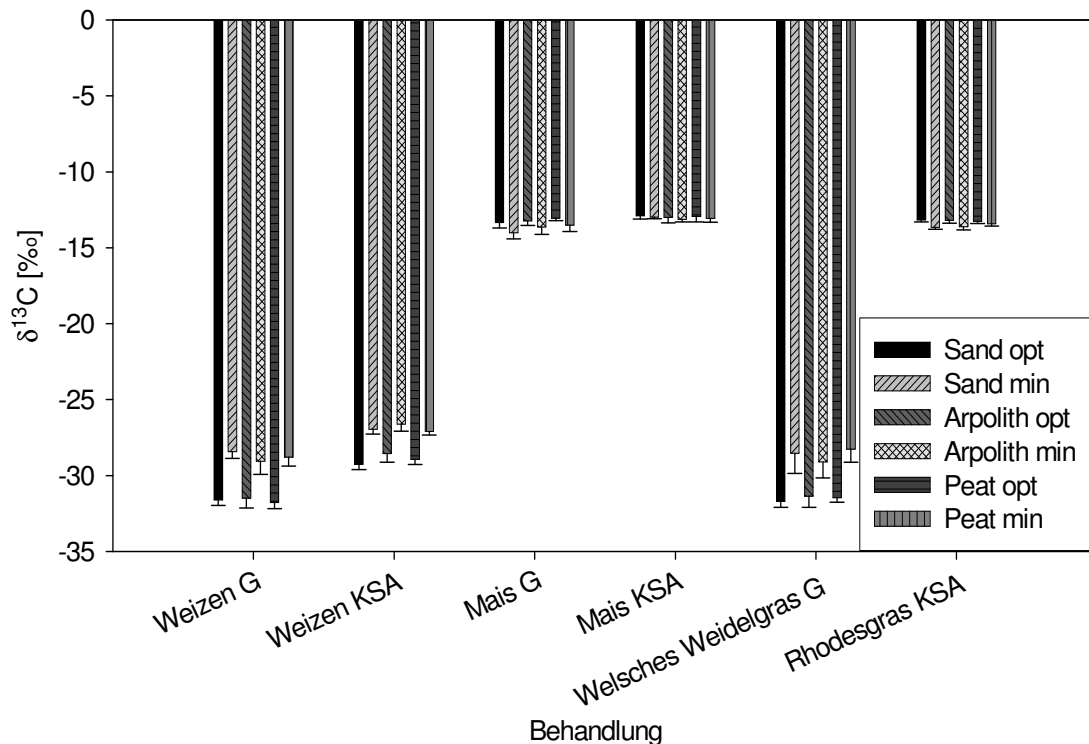


Abb. 1: Kohlenstoffsignaturen ($\delta^{13}\text{C}$) von Weizen, Mais, Welschem Weidelgras und Rhodesgras in Gewächshausversuchen in Deutschland (G) und Saudi-Arabien (KSA) mit ausreichender Bewässerung (opt) oder Trockenstress (min). Als Substrate für die Pflanzen wurden reiner Quarzsand (Sand), Quarzsand mit Arpolith (Arpolith) oder Quarzsand mit Torf (Torf) verwendet. Gezeigt sind Mittelwerte und Standardabweichungen ($n = 10$).

Schlussfolgerungen

Die Kohlenstoffsignatur der C₃-Pflanzen war bei geringerem Wasserstress angereicherter. Bei C₄-Pflanzen ergab sich ein umgekehrtes Bild. Die Gründe hierfür müssen noch näher untersucht werden. In dem Versuchsteil in Deutschland wiesen wenig bewässerte Pflanzen mit dem Substrat Arpolith weniger Wasserstress auf als Vergleichspflanzen mit Torf oder reinem Quarzsand. Dies konnte in Saudi-Arabien durch die verminderte Quellfähigkeit des Arpoliths aufgrund der höheren Salzkonzentration des Giesswassers nicht bestätigt werden.

Literatur

CHEN, S., Y. BAI, G. LIN, J. HUANG, und X. HAN. 2007. Isotopic carbon composition and related characters of dominant species along an environmental gradient in Inner Mongolia, China. *Journal of Arid Environments* 71: 12-28.

FARQUHAR, G. D., und R. A. RICHARDS. 1984. Isotopic Composition of Plant Carbon Correlates With Water-Use Efficiency of Wheat Genotypes. *Functional Plant Biology* 11: 539-552.

IPCC. 2007. Summary for Policymakers. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, and H. L. Miller [eds.], *Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

KAHMEN, A., J. PERNER, und N. BUCHMANN. 2005. Diversity-dependent productivity in semi-natural grasslands following climate perturbations. *Functional Ecology* 19: 594-601.

RIPLEY, B. S., M. E. GILBERT, D. G. IBRAHIM, und C. P. OSBORNE. 2007. Drought constraints on C₄ photosynthesis: stomatal and metabolic limitations in C₃ and C₄ subspecies of *Alloteropsis semialata*. *J. Exp. Bot.* 58: 1351-1363.

STRASBURGER, E., F. NOLL, H. SCHENCK, und A. F. W. SCHIMPER. neubearbeitet von P. Sitte, H. Ziegler, F. Ehrendorfer, and A. Bresinsky. 1991. *Lehrbuch der Botanik für Hochschulen*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York.