

SONDERDRUCK

aus

LANDWIRTSCHAFTLICHE FORSCHUNG

zugleich Zeitschrift des Verbandes Deutscher Landwirt-
schaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten

Herausgegeben von

H. Kick
Bonn

H.-J. Oslage
Braunschweig-Völkenrode

U. Ruge
Hamburg

F. Scheffer
Göttingen

E. Schlichting
Stuttgart-Hohenheim

L. Schmitt
Darmstadt

W. Wöhlbier
Stuttgart-Hohenheim

BAND 26 · HEFT 2
1973



J. D. SAUERLÄNDER'S VERLAG, FRANKFURT AM MAIN

**Veränderung der Gehalte an Glucose, Fructose,
Saccharose und Fructosan sowie des Polymerisationsgrades
von Fructosanmolekülen in Blättern und Stengeln
einiger Knaulgrassorten während des Wachstums*)**

(Aus dem Institut für Grünlandlehre der Technischen Universität München
in Freising-Weihenstephan; Dir.: Prof. Dr. G. VOIGTLÄNDER)

Von W. KÜHBAUCH**)

Eingegangen am 26. 10. 1972

Einleitung

Das Hauptreservepolysaccharid im Knaulgras ist Fructosan, ohne Unterschied zwischen den Sorten. Sortenunterschiede zeigen sich vor allem im Einlagerungsrhythmus dieser Stoffgruppe (KÜHBAUCH, 1). Fructosane sind Kettenmoleküle, welche durch Kondensation von Fructoseresten entstehen. Im Falle des Knaulgrases erfolgt die Kondensation auf Saccharose (ASPINALL u. a. 2). Die allgemeine Formel für diese Stoffgruppe lautet daher Glu-Fru-(Fru)_n . Über den Polymerisationsgrad (= DP^{***}) der Fructose im Knaulgras gibt es wenig Informationen. Angaben über Kettenlängen reichen von DP = 14 bis DP = 37 (BELL und PALMER, 3, PALMER, 4). Damit werden lediglich Durchschnittswerte des isolierten Gesamtfructosans charakterisiert. Es liegen jedoch keine Untersuchungen darüber vor, welche unterschiedlichen Größenklassen von Fructosanmolekülen im Knaulgras enthalten sind. Auch Sortenunterschiede sowie quantitative Veränderungen von Fructosanen unterschiedlicher Kettenlänge im Verlauf des Wachstums wurden nicht untersucht.

Um den Prozeß der Fructosekondensation beschreiben zu können, werden daher in dieser Arbeit Glucose und Fructose sowie die Molekülgrößen der wasserlöslichen Kondensationsprodukte dieser Zucker untersucht.

Material und Methoden

a) Pflanzenmaterial

Knaulgras der Sorten Holstenkamp, v. Kamekes und Baraula wurden im zweiten Aufwuchs am 23. 6. und 23. 7. 1972 aus dem Sortiment des hiesigen Versuchsfeldes geerntet. Dieser Zeitraum entsprach, mit Unterschieden zwischen den Sorten, einer Entwicklung der Pflanzen vom Schoßbeginn bis kurz vor Blühbeginn. Um tagesperiodische Schwankungen des Zuckergehaltes weitgehend auszugleichen, wurde stets zwischen 14 und 15 Uhr geerntet. Getrennt in Blatt- und Stengelanteile wurde die Pflanzensubstanz mit Flüssigstickstoff eingefroren und bis zur Gefriertrocknung bei -20°C aufbewahrt.

b) Quantitative Zuckerbestimmung

Die Kohlenhydratfraktionen der Gräser sind durch die Extrahierbarkeit mit Äthanol bzw. Wasser ihrer Qualität nach grob voneinander zu unterscheiden. Es wurden daher 500 mg pulverisiertes Pflanzenmaterial nacheinander mit jeweils 100 ml 95, 85, 60, 40 und 20% Äthanol und mit Wasser 45 Minuten extrahiert und nach einem früher beschriebenen Verfahren (KÜHBAUCH, 1) Zuckerextrakte hergestellt. Diese Extrakte — bis zur Analyse

*) Für die Mitarbeit bei der Untersuchung des Pflanzenmaterials danke ich Frau B. GLASOW

**) Dr. W. KÜHBAUCH, 8050 Freising-Weißenstephan

***) DP = durchschnittlicher Polymerisationsgrad; engl. "degree of polymerisation"

bei + 4° C gelagert — wurden einmal je nach dem zu erwartenden Zuckergehalt verdünnt und dem von BERNT u. a. (5) beschriebenen Enzymansatz mit Glucoseoxydase zugesetzt. Freie Glucose läßt sich darin direkt bestimmen, freie Fructose nach vorangegangener Isomerierung. Zum anderen wurden 0,2 ml der Extrakte in 3,8 ml 1% Oxalsäure eine Stunde bei 95° C hydrolysiert und nach Hydrolyse mit Wasser auf 8 ml ergänzt. Diese Hydrolysate wurden wie oben enzymatisch untersucht. Reiffructosane der verschiedenen Fraktionen wurden mittels präparativer Dünnschichtchromatographie, wie unter c) beschrieben, isoliert und nach Hydrolyse die Fructose- und Glucoseanteile bestimmt. Saccharose wurde berechnet als Differenz zwischen den gesamten hydrolysierbaren Glucose- und Fructosemengen einer jeden Fraktion und den Fructosanen einschließlich freier Glucose und Fructose. Glucose und Fructose der Differenzmenge mußten im Verhältnis 1 : 1 vorliegen.

c) Bestimmung des Polymerisationsgrades (DP) von Fructosanen

Die Bestimmung des DP der Polyfructosane geht von der Erkenntnis aus, daß zahlreiche Grasarten diese Stoffgruppe auf Saccharose aufbauen (McILLROY, 6). Im Falle des Knaulgrases wurde dieser Sachverhalt von ASPINALL (2) nachgewiesen. Das Verhältnis von Fructose zu Glucose gibt daher in isolierten Fructosanpräparaten den DP an. Die Abtrennung der Reiffructosane von den übrigen Zuckern des Extraktes geschah hier mit präparativer Dünnschichtchromatographie an Cellulose.

Die Celluloseplatten wurden nach dem bei VOMHOF u. a. (7) beschriebenen Verfahren hergestellt. Darauf wurden je nach der zu erwartenden Menge Fructosan, die größenordnungsmäßig bekannt war (KÜHBAUCH, 1), 40 bis 120 Mikroliter des unverdünnten Extraktes in 10 Punkten nebeneinander aufgetragen. Als Leitsubstanz dienten auf 3 bis 4 cm breiten Randstreifen zu beiden Seiten der DC-Platte 40 Mikrogramm Saccharose und ca. 4 Mikroliter des aufzutrennenden Knaulgrasextraktes. Saccharose wurde deshalb als Leitsubstanz gewählt, weil davon die Fructosane eindeutig Abstand haben mußten. Der Knaulgrasextrakt sollte als Leitsubstanz darüber Auskunft geben, wie weit die Laufstrecke der vorgeschobenen Fructosanfronten reichte. Nach dreimaligem Lauf in Ameisensäure, Butanol, Methyläthylketon und Wasser im Verhältnis von 15 : 40 : 30 : 15 (VOMHOF u. a., 7) wurden die Leitsubstanzen auf den Randstreifen der Platten mit Anisidin (SMITH u. a., 8) unter UV-Licht entwickelt. Aus dem abgedeckten mittleren Teil der DC-Platte konnte nun mit Hilfe der Orientierung an den Leitsubstanzen die Cellulose mit den dort haftenden Fructosanen der Probenextrakte quantitativ ausgeschabt werden. Das gesammelte Cellulosepulver wurde anschließend zweimal in ca. 8 ml Wasser bei 60° C 15 Minuten extrahiert und der Celluloserückstand jeweils abzentrifugiert. Die überstehende wäßrige Lösung mit den darin gelösten Fructosanen wurde bis zur Trockne eingengt und für die Hydrolyse (1 Std. 90° C) mittels 0,8 ml 1% Oxalsäure in 0,8 ml Wasser aufgenommen. Glucose und Fructose im Hydrolysat wurden wieder enzymatisch bestimmt, wobei je nach Fructosanmenge mit 0,2 bis 0,6 ml Hydrolysat im Enzymansatz variiert wurde. Mit der Wahl unterschiedlicher Auftragsmengen auf DC von 40, 80 oder 120 Mikroliter und der Menge des Hydrolysates im Enzymansatz von 0,2, 0,4 oder 0,6 ml hatten wir die Möglichkeit, auch noch geringe Fructosanmengen und die darin anteilmäßig wenig enthaltene Glucose nachzuweisen bzw. bei zu hohen Fructosanmengen den Enzymansatz nicht zu überlasten. Zur Bestimmung des Blindwertes wurden vergleichbare Mengen Cellulose aus leer gelaufenen Platten ausgeschabt und ebenfalls enzymatisch untersucht.

Ergebnisse

Aus der Qualität der in den Einzelfractionen extrahierten Zucker ergibt sich folgendes Bild (Tabelle 1): Glucose und Fructose werden ohne Sortenunterschiede in beiden untersuchten Wachstumsstadien aus Blatt und Stengel vorwiegend mit 85% Äthanol extrahiert. Bei größerem Glucose- und Fructosegehalt der Pflanzen, wie das im Stengelmateriale, insbesondere zum zweiten Erntezeitpunkt, der Fall ist, erscheinen auch in der Fraktion 95 größere Mengen dieser Zucker.

Tab. 1
Glucose, Fructose und Saccharose in Blättern und Stengeln von Knautgrassorten
am 23. 6. und 23. 7. 1971

Äthanol %	Glucose (‰ i.TS)				Fructose (‰ i.TS)				Saccharose (‰ i.TS)			
	Blatt		Stengel		Blatt		Stengel		Blatt		Stengel	
	23. 6.	23. 7.	23. 6.	23. 7.	23. 6.	23. 7.	23. 6.	23. 7.	23. 6.	23. 7.	23. 6.	23. 7.
Holstenkamp												
95	0,08	0,07	0,75	0,81	0,23	0,12	1,20	0,90	0,86	0,19	0,26	0,06
85	0,17	0,60	1,10	1,74	0,58	0,66	2,16	1,84	2,79	2,95	1,80	1,18
60	+	0,07	0,09	0,16	+	0,08	0,13	0,17	0,43	0,84	0,28	0,54
40	+	+	+	+	+	+	+	+	0,09	+	0,09	0,19
20	+	+	+	+	+	+	+	+	0,09	+	+	+
0	+	+	+	+	+	+	+	+	0,13	+	+	+
Summe	0,25	0,74	1,94	2,71	0,81	0,86	3,49	2,91	4,39	3,98	2,43	1,97
v. Kamekes												
95	+	+	0,11	0,60	0,07	+	0,23	0,71	0,64	+	0,19	0,08
85	0,05	0,58	0,41	2,63	0,25	0,65	1,07	2,98	2,98	2,75	1,89	0,37
60	+	0,08	+	0,27	+	0,10	0,10	0,26	0,28	0,61	0,49	0,45
40	+	+	+	+	+	+	+	0,06	+	+	+	+
20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Summe	0,05	0,66	0,52	3,50	0,32	0,75	1,40	4,01	3,90	3,36	2,57	0,90
Baraula												
95	+	+	0,17	0,50	0,11	+	0,36	0,60	0,73	0,06	+	0,06
85	0,07	0,46	0,26	2,76	0,31	0,64	0,65	3,30	2,18	1,03	1,65	0,31
60	+	0,07	+	0,45	+	0,13	0,12	0,43	0,24	0,32	0,49	+
40	+	+	+	0,07	+	+	+	0,09	+	0,06	+	+
20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
0	+	+	+	0,10	+	+	+	+	+	+	+	+
Summe	0,07	0,53	0,43	3,88	0,42	0,77	1,13	4,42	3,15	1,47	2,14	0,37

+ = Spuren bis 0,05‰ i. TS

Fraktion 60 weist mit Ausnahme des Stengelmaterials vom 23. 7. nur wenig mehr als 0,05‰ an Glucose und Fructose auf. Ähnliches gilt für Saccharose. In der Fraktion 85 befindet sich der größte Teil dieses Zuckers. Bei hohen Gesamtsaccharosemengen sind auch in den Fraktionen 95 und 60, wohl aus Gründen des Gleichgewichts zwischen dem Extraktionsmittel und dem Zucker, noch bis zu 0,8‰ extrahierbar. Die Fraktionen 40, 20 und 0 enthalten nur noch Spuren von Glucose, Fructose und Saccharose. Statt dessen befinden sich in diesen Fraktionen fast ausschließlich Fructosane, welche auch schon in der Fraktion 60 den überwiegenden Anteil der darin insgesamt enthaltenen Zuckermenge stellen (Tabelle 2).

Die Summe der gesamten Glucose- und Fructosemengen steigt mit fortschreitendem Wachstum in Blättern und Stengeln aller Sorten an. Während jedoch bei der Sorte Holstenkamp diese Zucker innerhalb der untersuchten Wachstumsperiode nur noch etwa um 0,5‰ ansteigen, erhöht sich der Glucose- und Fructosewert im selben Zeitraum in den Sorten v. Kamekes und Baraula um das Drei- bis Fünffache. Saccharose zeigt die umgekehrte Entwicklung. So findet in Holstenkamp eine geringfügige, in v. Kamekes und Baraula eine, insbesondere im Sten-

gel, sehr ausgeprägte Abnahme statt. Es fällt auf, daß in vergleichbaren Wachstumsstadien Saccharose ohne Unterschiede zwischen den Sorten mehr im Blatt als im Stengel zu finden ist.

Den größten Anteil löslicher Kohlenhydrate stellen die Fructosane. Sie reichern sich während des einmonatigen Wachstums sowohl im Blatt als auch im Stengel an. Eindeutig bevorzugtes Speicherorgan ist jedoch der Stengel. Hier kommt es im Verlauf eines Monats, je nach Sorte, zur Verdoppelung bis Vervielfachung der ursprünglich vorhandenen Fructosanmenge. In der Blattmasse findet man am 23. 7. kaum mehr als die doppelte Menge des ohnehin gegenüber den Stengelfructosanen geringen Ausgangswertes vom 23. 6.

Sortenunterschiede im Kohlenhydratstoffwechsel von Knaulgras werden an den Fructosepolymeren besonders deutlich.

Von den späten Sorten zeigt Baraula eine deutlicher ausgeprägte Zunahme der Fructosane als Holstenkamp. Die geradezu sprunghafte Anreicherung dieser Zucker im Stengel der Sorte Baraula wurde in einer früheren Untersuchung schon

Tab. 2
Veränderung des Fructosangehaltes und des Polymerisationsgrades (DP)*
von Fructosanen in Blättern und Stengeln von Knaulgrassorten vom 23. 6. bis 23. 7. 1971

% Äthanol	Fructosan % i.TS				Polymerisationsgrad			
	Blatt		Stengel		Blatt		Stengel	
	23. 6.	23. 7.	23. 6.	23. 7.	23. 6.	23. 7.	23. 6.	23. 7.
Holstenkamp								
95	0,13	+	+	0,38	13,3	—	—	12,6
85	+	0,12	0,11	0,13	—	10,4	2,4	6,2
60	1,27	1,65	1,19	1,40	14,2	14,7	13,3	15,1
40	0,60	1,48	0,88	1,57	17,6	26,8	23,2	24,1
20	0,31	1,08	1,15	1,98	19,9	28,4	27,8	26,1
0	0,26	0,83	1,00	3,75	22,5	31,8	26,2	31,5
Summe	2,57	5,16	4,33	9,21				
v. Kamekes								
95	+	0,23	+	+	—	4,9	—	—
85	+	0,14	+	0,34	—	3,0	—	1,9
60	0,76	0,95	1,20	1,31	14,2	11,0	12,4	8,5
40	0,40	0,85	0,82	1,65	20,2	20,9	21,5	17,9
20	0,43	0,68	0,83	3,16	22,3	21,7	21,4	20,5
0	0,19	0,58	0,87	4,18	24,6	25,2	25,1	24,5
Summe	1,78	3,33	3,72	10,64				
Baraula								
95	+	0,11	+	0,11	—	4,0	—	7,5
85	+	+	0,42	+	—	—	1,4	—
60	0,26	1,28	0,42	1,84	5,8	15,3	6,0	18,0
40	0,22	0,14	0,40	1,00	5,0	20,3	6,6	18,6
20	0,09	0,18	0,38	2,13	7,2	30,3	13,6	27,3
0	+	0,11	0,28	3,00	—	11,8	7,0	31,3
Summe	0,57	1,82	1,90	8,08				

* DP = durchschnittlicher Polymerisationsgrad; engl.: degree of polymerisation.
+ = Spuren bis 0,1% i. TS

beobachtet (KÜHBAUCH, 1). Außerdem übertrifft der Fructosangehalt des Stengels hier den des Blatts um mehr als das Vierfache; Holstenkamp erreicht nur etwa den doppelten Wert im Stengel. Auch die Sorte v. Kamekes ist Holstenkamp in der Hinsicht noch überlegen. Der Fructosangehalt des Stengels nimmt in v. Kamekes im Verlauf des Wachstums von ca. 3 auf über 10% zu und erreicht damit von allen Sorten den absolut höchsten Wert; er entspricht der dreifachen Menge des Blattfructosans.

Nicht nur die Menge polymerer Zucker, sondern auch der DP dieser Kettenmoleküle gibt Aufschluß über die Neigung der Pflanze, Reservekohlenhydrate zu bilden. Die höchsten Polymerisationsgrade der Fructosanmoleküle in den hier untersuchten Sorten erreichen ohne Einbeziehung des Glucoserestes den Wert von etwa 32. Das entspricht einem Molekulargewicht von über 5000. Dieser Grad der Fructosekondensation wird jedoch nur von einem Teil des Gesamtfructosans der Sorten Holstenkamp im Stengel und der Sorte Baraula im Blatt und Stengel erreicht. Die Sorte v. Kamekes überschreitet einen DP von etwa 25 nicht. Bemerkenswert ist, daß der DP weder im Blatt noch im Stengel dieser Sorte während der einmonatigen Wachstumsdauer weiter zunimmt. Der am 23. 6. erzielte maximale DP wird bis zum 23. 7. nicht überschritten. Trotzdem ist Fructosan während dieser Zeit beträchtlich angereichert worden.

Nahezu unverändert bleibt auch der DP im Stengel der Sorte Holstenkamp, während im Blatt die Kondensation von Fructosanen von 22,5 bis 28,4 fortschreitet.

Besonders deutlich, und zwar in beiden Pflanzenteilen, ist in der Sorte Baraula eine Abhängigkeit des Polymerisationsprozesses vom Wachstumsstadium ausgeprägt. Diese Sorte lagert nicht nur vergleichsweise spät Fructosane ein, sie dokumentiert ihre verzögerte Neigung zur Reservestoffbildung auch mit einem am 23. 6. noch sehr niedrigen DP, der sich aber nach einem Monat verdreifacht hat und mit > 31 den DP der Sorte v. Kamekes noch übertrifft, die zwar schon am 23. 6. bei einem DP von 25 angelangt war, diesen aber beibehält.

Diskussion

Die quantitative Untersuchung der verschiedenen Zuckerarten in den Knaulgrassorten Holstenkamp, v. Kamekes und Baraula bestätigt Ergebnisse einer früheren Arbeit (KÜHBAUCH, 1). Fraktion 85 enthält die überwiegende Menge der Mono- und Disaccharide der Pflanzensubstanz. Ab Fraktion 60 erscheinen überwiegend bis ausschließlich Fructosane. Dieser Sachverhalt wird zur groben Trennung verschiedener Zucker in Gräsern ausgenutzt (SMITH, 8; GROTELUESCHEN und SMITH, 10). Die Annahme, daß in Fraktionen mit hohem Alkoholanteil, wenn überhaupt, ausschließlich Fructosane mit geringem Polymerisationsgrad extrahiert werden (SMITH und GROTELUESCHEN, 9), läßt sich mit unseren Ergebnissen nicht bestätigen. Mit 95% Äthanol werden zwar meist vergleichsweise geringe Mengen höherpolymerer Fructosane extrahiert, ihr DP weist sie jedoch bisweilen als Polysaccharide aus. Mit der Lösungsmittelkonzentration allein kann also noch keine bestimmte Größenordnung der Kettenmoleküle angegeben werden, zumal das Fructosan der Alkohol-Wasser-Fractionen auch wohl ein Gemisch aus verschiedenen Kettenlängen darstellt. Das beweisen unterschiedliche Laufstrecken von Zuckern auf DC in den Fraktionen 95 und 60, die sich als Fructosepolymere erwiesen. In grober Annäherung bestätigen jedoch diese Ergebnisse die Feststellung von GROTELUESCHEN u. a. (10), wonach mit fallenden Alkoholkonzentrationen fortschreitend höherpolymere Zucker extrahierbar sind. Artefaktbildung wird

diese Gesetzmäßigkeit vermutlich bei 2 Proben der Sorte Baraula verhindert haben.

Vom 23. 6. bis 23. 7. beobachtet man in allen drei untersuchten Knaulgrassorten eine Erhöhung der Glucose- und Fructosegehalte. Das kann z. T. auf eine gesteigerte Photosyntheserate zurückgehen, oder — was infolge des langwierigen Extraktionsprozesses gar nicht auszuschließen ist — es können Artefakte sein. Die gleichzeitige Verringerung der Saccharosegehalte spricht jedoch mehr dafür, daß dieser Zucker bis zum 23. 7. in der wachsenden Pflanze einem Abbau unterliegt, als dessen Folge große Mengen Glucose und Fructose entstehen. Da die Vermehrung der freien Glucose und Fructose auch mit dem z. T. rapiden Anstieg der Fructosane einhergeht, kann in der Vermehrung der Monosaccharide eine Vorstufe des Polymerisationsprozesses gesehen werden, für den im wesentlichen nur Fructose bzw. Glucose nach vorhergehender Isomerierung in Frage kommen. Übereinstimmend damit nimmt die Saccharose im Stengel, dem bevorzugten Ort der Reservestoffeinlagerung, deutlicher ab als im Blatt, um so mehr, je höher die Fructosaneinlagerung ist. Der gegenüber dem Stengel relativ hohe Saccharoseanteil in den Blättern aller Knaulgrassorten könnte mit dem Zuckertransport zu den Reserveorganen oder mit der bevorstehenden Blütenbildung zusammenhängen. Wenngleich eine unverrückbare Aussage zu dem Zusammenhang Saccharoseabbau-Fructosaneinbildung nur nach Prüfung der Aktivität von Saccharase und Transfructosidase bzw. mit markierten Verbindungen möglich ist, so spricht doch die Vermehrung der Monosaccharide und die gleichzeitige Verringerung der Saccharose für diese Interpretation.

Aus Arbeiten von SCHLUBACH u. a. (11, 12), GROTELUESCHEN u. a. (10) und SUZUKI (13) ist bekannt, daß in verschiedenen Grasarten, ebenso in den verschiedenen Pflanzenorganen, unterschiedliche maximale DP erzielt werden. In einer früheren Arbeit (KÜHBAUCH, 1) waren schon beträchtliche Unterschiede im Reservekohlenhydratgehalt zwischen Knaulgrassorten während des Wachstums beobachtet worden. Unsere Untersuchungen zeigen auch Sortenunterschiede im Hinblick auf den maximal erreichbaren DP und den Fortschritt der Polykondensation während des Wachstums der Pflanzen. Es war schon bekannt, daß die Anreicherung der Fructosane im Knaulgras sprunghaft erfolgen kann und daß beträchtliche Sortenunterschiede in der Menge eingelagerter Fructosane existieren (1). Neu ist jedoch, daß offenbar einige Knaulgrassorten auch schon zu Beginn der Reservestoffeinlagerung Fructosane mit der maximal erreichbaren Kettenlänge aufbauen und diese beibehalten, während andere Sorten der gleichen Reifestufe den maximalen DP erst gegen Ende der Einlagerungsphase erreichen.

Die bei Gräsern beobachteten Zunahmen des DP unterliegen also anderen Gesetzen als denen der fortschreitenden Reife. Jedenfalls stimmt der Wachstumsrhythmus der Sorten Holstenknap und Baraula besser überein als der Verlauf der Fructosananreicherung und der Fortschritt der Polymerisation. Mit den Schwankungen des DP unter dem Einfluß von Sorte, Entwicklungsstadium und Pflanzenteil läßt sich u. U. auch die weite Spanne der in der Literatur angegebenen DP von 14 bis 37 (3, 4) im Falle des Knaulgrases erklären.

Arbeiten von SCHLUBACH u. a. (11) und eigene Vorversuche weisen darauf hin, daß höherpolymere Fructoseverbindungen bakteriellen und enzymatischen Abbauprozessen weniger unterliegen, als das bei monomeren und dimeren Zuckern der Fall ist. Wahrscheinlich liegt ein ursächlicher Zusammenhang zum Polymerisationsgrad dieser Moleküle vor. Es ergibt sich daraus eine für die Futtermittelkonservierung recht bedeutsame Frage: Fructosanmoleküle welcher Kettenlänge wer-

den während eines Konservierungsprozesses — Trocknung oder Silierung — vorwiegend abgebaut, bzw. ab welchem Molekulargewicht erweisen sie sich als relativ stabil?

Durch Abwarten des Kondensationszugs in der einen oder anderen Sorte müßte sich daraus ein beträchtlicher wirtschaftlicher Vorteil ergeben. Daß und zu welchem Zeitpunkt ein solcher Sprung stattfindet, konnte für das Jahr 1971 an einigen Sorten bereits gezeigt werden.

Es müßte geprüft werden, ob die Fructosanbildung als unveränderliches Sortencharakteristikum über mehrere Jahre erhalten bleibt, in welchem Umfang morphologische Veränderungen der verschiedenen Grassorten eine Rolle spielen und welche Wirkoptima für die Polykondensationsenzyme gelten. Mit Hilfe eines Schnelltestes ließe sich dann u. U. anhand der Fructosanbildung der optimale Erntezeitpunkt verschiedener Grasarten und Sorten feststellen.

Die Veränderungen der Fructosane während der Trocknung und Silierung werden zunächst Gegenstand weiterer Untersuchungen am hiesigen Institut sein.

Zusammenfassung

In Blättern und Stengeln einiger Knäulgrassorten wurde zwischen Schoßbeginn und kurz vor der Blüte die Veränderung der Glucose-, Fructose-, Saccharose- und Fructosangehalte sowie des Polymerisationsgrades der Fructosanmoleküle untersucht.

1. Mit fortschreitendem Wachstum nehmen Glucose und Fructose in Blättern und Stengeln aller Sorten zu; Saccharose nimmt ab. Zwischen den Sorten ergeben sich dabei mengenmäßige Unterschiede. Ein enger Zusammenhang zum Fructosanaufbau ist erkennbar.
2. Fructosan nimmt während des Beobachtungszeitraums in Blättern und Stengeln zu. Es stellt in allen Sorten zur Zeit des Rispschiebens den Hauptanteil löslicher Kohlenhydrate. Bevorzugtes Einlagerungsorgan ist der Stengel. Im Verlauf eines Monats erfolgt dort je nach Sorte eine Fructosananreicherung bis zum Vierfachen des Ausgangswertes.
3. Sortenunterschiede im Kohlenhydratstoffwechsel des Knäulgrases werden am Fructosan besonders deutlich, und zwar in Umfang und Geschwindigkeit der Fructosansynthese ebenso wie in Polymerisationsgeschwindigkeit und Polymerisationsgrad. Der maximale Polymerisationsgrad schwankt innerhalb der Sorten zwischen 25 und 32, was einem Molekulargewicht bis etwa 5000 entspricht. Im Stengel werden vor allem langkettige Fructosane eingelagert, im Blatt überwiegen die kürzeren Kettenmoleküle. Die Polykondensation von Fructose erfolgt bei vergleichbaren Reifegruppen der Knäulgräser mit beträchtlichen zeitlichen Verschiebungen.

Summary

KÜHBAUCH, W.: *Veränderung der Gehalte an Glucose, Fructose, Saccharose und Fructosan sowie des Polymerisationsgrades von Fructosanmolekülen in Blättern und Stengeln einiger Knäulgrassorten während des Wachstums (Change in contents of glucose, fructose, sucrose, fructosan and degree of polymerisation of fructosan molecules in leaf blades and stems of some varieties of cocksfoot while growth).*

Landwirtsch. Forsch. **26**, 1973

In leaf blades and stems of some varieties of cocksfoot it has been investigated change of contents of glucose, fructose, sucrose, fructosan and degree of polymerisation of fructosan in the period between shooting and inflorescence stage.

1. During growth glucose, fructose accumulate in leaf blades and stems of all varieties, sucrose decreases. Within varieties there are quantitative differences. Close connection is remarkable with synthesis of fructosan.

2. Fructosan accumulates at all stages of growth in leaf blades and stems. In all varieties fructosan is the main carbohydrate at the last of investigated stages of growth. Stem is the preferred storage organ. In the period of one month happens an accumulation of fructosan up to the fourfold amount in comparison with first growth stage investigated.

3. Fructosan shows differences within varieties in carbohydrate physiology very distinct, as well in amount and speed of fructosan synthesis as in speed of polymerisation and degree of polymerisation. The maximum degree of polymerisation ranges between 25 and 32, it corresponds with a molecular weight of about 5000. In the stem long-chain fructosans are stored predominantly, short-chain fructosans in leaf blades. Polymerisation of fructosan happens with considerable shifting in cocksfoot varieties of similar maturity stage.

Résumé

KÜHBAUCH, W.: *Veränderungen der Gehalte an Glucose, Fructose, Saccharose und Fructosan sowie des Polymerisationsgrades von Fructosanmolekülen in Blättern und Stengeln einiger Knautgrassorten während des Wachstums (Modification des teneurs en glucose, fructose, saccharose et fructosane comme du degré de polymérisation des fructosanes dans les feuilles et les tiges de quelques variétés de dactyle au cours de la croissance).*

Landwirtsch. Forsch. 26, 1973

On a étudié la modification des teneurs en glucose, fructose, saccharose et fructosanes, et aussi le degré de polymérisation de ces fructosanes, dans les feuilles et les tiges de quelques variétés de dactyle, entre le début de l'épiaison et peu de temps avant la floraison.

1. Au cours de la croissance, le glucose et le fructose s'accroissent dans les feuilles et les tiges de toutes les variétés; le saccharose décroît. Il y a à ce point de vue des différences quantitatives importantes entre variétés. On peut mettre en évidence une relation étroite avec la synthèse de fructosane.

2. Les fructosanes s'accroissent dans les feuilles et les tiges. Ils sont, pour toutes les espèces, au temps de la montaison, le part principale des hydrates de carbone soluble. La tige est l'organe d'accumulation préférentiel. Au cours d'un mois, l'enrichissement en fructosane peut aller, suivant les variétés, jusqu'à 4 fois la valeur initiale.

3. Les différences variétales dans le métabolisme des hydrates de carbone du dactyle, sont particulièrement sensibles pour les fructosanes et ceci aussi bien en ce qui concerne la vitesse de synthèse des fructosanes qu'en ce qui concerne la vitesse de polymérisation et le degré de polymérisation. Le degré de polymérisation maximum oscille suivant l'espèce entre 25 et 32, ce qui correspond à une poids moléculaire d'environ 5000. Dans la tige, ce sont avant tout les fructosanes à longue chaîne qui sont mis en réserve, tandis que dans la feuille, ce sont surtout

les molécules à courte chaîne. Pour des variétés du dactyle de maturité comparable, la polycondensation du fructose se passe avec des ajournements considérables.

Schrifttum

1. KÜHBAUCH, W.: Veränderung von Kohlenhydratfraktionen in Blättern und Stengeln einiger Knaulgrassorten während des Wachstums. Landwirtsch. Forsch. (im Druck)
2. ASPINALL, G. O. u. a.: J. Chem. Soc. 337—342, 1953
3. BELL, D. J. u. A. PALMER: Biochem. J. **45** (XIV), 1949 zit. n. Nr. 2
4. PALMER, A.: Biochem. J. **48**, 389-394, 1951
5. BERNDT, E. u. H. U. BERGMAYER: Methoden der enzymatischen Analyse. Verlag Chemie Weinheim 1962; H. U. BERGMAYER, S. 384—388
6. McILROY, R. J.: Herbage Abstr. **37**, 79—87, 1967
7. VOMHOF, D. W. u. a.: J. Chromatog. **21**, 335—337, 1966
8. SMITH, D.: Crop Sci. **8**, 331—334, 1968
9. SMITH, D. u. R. D. GROTELUESCHEN: Crop Sci. **6**, 263—366, 1966
10. GROTELUESCHEN, R. D. u. .D. SMITH: Crop Sci. **8**, 210—213, 1968
11. SCHLUBACH, H. H. u. L. GASSMANN: Liebigs Ann. Chem. **594**, 33—41, 1955
12. SCHLUBACH, H. H. u. K. HOLZER: Liebigs Ann. Chem. **587**, 111—124, 1954
13. SUZUKI, M.: Canad. J. Bot. **46**, 1201—1206, 1968