

Übersichtsarbeiten

Sorghumhirse (*Sorghum bicolor* L. Moench): Nutzung, Genetik, Züchtung

F. J. Zeller

Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench): utilization, genetics, breeding

1. Einführung

Unter den Hirsearten ist die großkörnige Sorghumhirse (*Sorghum bicolor* L. MÖNCH) wirtschaftlich die bedeutendste. Mit einer Produktion von mehr als 68 Mio. t jährlich und einer Fläche von etwa 45.8 Mio. ha (RAI et al., 1999) liegt sie im Weltgetreideanbau auf dem fünften Rang nach Mais, Reis, Weizen und Gerste. Wichtigste sorghum-produzierende Länder sind die USA mit etwa 15.1 Mio. t, gefolgt von Indien mit etwa 11 Mio. t, Nigeria mit 8.4 Mio. t, Mexiko mit 6.2 Mio. t und China mit 5.8 Mio. t (FAO,

1999; Tabelle 1). Größte Sorghum-Produzenten in der Europäischen Union sind Frankreich mit 309.000 t, Italien mit fast 168.000 t und Spanien mit etwa 74.000 t (FAO, 1999).

Die Sorghumhirse ist eine C₄-Pflanze und wird dank ihrer hohen Dürretoleranz in den Tropen und Subtropen bei Niederschlagsmengen zwischen 300 bis 600 mm pro m² und in Ländern mit mildem Klima hauptsächlich zur Körnernutzung angebaut (RAI et al., 1999). In Regionen, in denen ein bestimmtes Temperaturoptimum, vor allem während der Blütezeit, nicht erreicht wird, ist der Korner-

Summary

With a production of about 68 million tons per year sorghum is the fifth most important cereal crop worldwide. It originated in the north-eastern quadrant of Africa, where high genetic variability in wild and cultivated species is found. In this area, sorghum was first domesticated by selection from wild species between 8.000 and 10.000 years ago. By means of altering the genetic control of flowering and short-stature and by improving the tolerance to biotic and abiotic stress factors sorghum was adapted to a wide range of environmental conditions. Almost the entire sorghum area in developed and in some developing countries is occupied by hybrid varieties where yields have greatly increased in the time since hybrids were introduced. Further progress toward higher grain yield, adaptation to mechanized harvesting, tolerance to drought stress, resistance to the *Striga* parasite, diseases and insects as well as improvements in quality can be expected in the future by utilizing the broad genetic variability present in the crop.

Key words: *Sorghum* species, origin, domestication, cytogenetics, genetic variability, resistance, hybrid cultivars.

Zusammenfassung

Die Sorghumhirse ist mit einer Produktion von mehr als 68 Mio. Tonnen weltweit die fünft-wichtigste Getreideart. Die Pflanze hat im Nordosten Afrikas im Gebiet des Tschadsees ihren Ursprung. Dort findet man in wilden und kultivierten Formen noch heute eine umfangreiche, genetische Variabilität. In dieser Gegend wurde Sorghumhirse vor 8.000 bis 10.000 Jahren erstmals domestiziert. Durch Nutzung von Mutanten für veränderten Blühzeitpunkt und Wuchshöhe sowie durch Verbesserung der Toleranz gegenüber biotischen und abiotischen Stressfaktoren konnte Sorghum an neue Umweltbedingungen angepasst werden. In fast allen Industrieländern und einigen Entwicklungsländern werden heute Hybridsorten angebaut. Dadurch nahmen die Erträge stark zu. Durch Nutzung der breiten, in der Sorghumhirse vorhandenen genetischen Variabilität, können in Zukunft weitere Verbesserungen in der Ertragsleistung, Resistenz gegenüber *Striga*, Krankheiten und Schädlingen sowie in der Qualität erwartet werden.

Schlagworte: *Sorghum*-Arten, Herkunft, Domestikation, Cytogenetik, genetische Diversität, Resistenz, Hybridsorten.

Tabelle 1: Produktion von Sorghumhirse in Mio. t (FAO, 1999)

Table 1: Production of sorghum in MT (FAO, 1999)

Land	Produktion
USA	15.151
Indien	11.000
Nigeria	8.443
Mexiko	6.297
China	5.857
Sudan	4.000
Argentinien	3.430
Australien	1.664
Äthiopien	1.083
Frankreich	0.309
Italien	0.168
Spanien	0.074
Welt	68.075

trag sehr gering oder es kommt überhaupt zu keinem Samenansatz. In solchen Klimaten versucht man, die Sorghumhirse als nachwachsende Rohstoffpflanze zu nutzen. In Deutschland wurde in den 60er Jahren Sorghum auf seine Ertragsfähigkeit als Futterpflanze geprüft (BOGUSLAWSKI et al., 1965). 20 Jahre später wurden in Österreich und Deutschland Untersuchungen zur Nutzung des in der Pflanze enthaltenen Zuckers als Rohstoff für die Bioalkoholherzeugung aufgenommen (LIEBHARD, 1988; DAMBROTH und EL BASSAM, 1990). Da die Nutzung des Zuckers zur Ethanolherstellung allein in Mitteleuropa zur Zeit wirtschaftlich wenig aussichtsreich erscheint (BOLIK, 1994), konzentrieren sich die Forschungsaktivitäten neuerdings auf die gleichzeitige Verwertung der Bagasse (Pressrückstand) zur Energieerzeugung (STREHLER et al., 1992; BLUDAU, 1994). In dem wichtigsten sorghum-produzierenden US- Staat Kansas versucht man derzeit die Bioalkoholherzeugung aus den Körnern der Sorghumhirse auszuweiten. Zur Zeit wird in den USA aus ungefähr 1.27 Mio. t Sorghumkörnern Bioethanol hergestellt. Das sind etwa 10 % aller US-Getreidearten, die für die Bioalkoholherzeugung verwendet werden (K.D. Kofoid, Hays, Kansas, briefl. Mitteilung).

Im folgenden werden Nutzungsmöglichkeiten der Sorghumhirse, ihre Abstammung, Domestikation und Systematik beschrieben. Darüber hinaus wird auf Fortschritte in der klassischen und molekularen Genetik als Voraussetzungen für züchterische Verbesserungen eingegangen. Schließlich werden wichtige Merkmale wie Wuchshöhe, Blühzeitpunkt, Krankheitsresistenz, Inhaltsstoffe und Heterosis erörtert, die dazu beigetragen haben, dass die Erträge in den letzten Jahren in der Körner- wie auch in der Futternutzung deutlich angestiegen sind.

2. Wirtschaftliche Bedeutung

Ein Großteil der Körnerproduktion, hauptsächlich in Ländern Afrikas und Asiens, dient der menschlichen Ernährung. Sorghumhirse wird vermahlen und entweder zu gesäuertem Brot (*injera* in Äthiopien, *kisra* im Sudan, *masa* in Nigeria, *dosai* in Indien) oder zu ungesäuertem Brot (*roti* in Indien, *quitta* in Äthiopien, *waina* in Nigeria und *tortilla* in Mittelamerika) weiterverarbeitet (DOGGETT, 1988; MURTY and KUMAR, 1995). Zur Herstellung von Breien wird das Mehl in heißes oder kochendes Wasser eingetührt. Nach 3 bis 10 min Kochzeit ist die gewünschte Konsistenz erreicht (HOSENEY et al., 1987). Dünner Brei (fermentiert oder unfermentiert) ist in Nigeria als *ogi*, in Ostafrika als *edi* oder *ugi*, in Ruanda als *igikoma* (APPA RAO et al., 1998), in Botswana als *motozo wa ting* (DOGGETT, 1988) und in Indien als *ambali* bekannt. Dicker Brei aus Sorghummehl wird in Westafrika als *to* oder *tuwo* (ABOUBACAR et al., 1999), in Ostafrika als *ugali*, in Somalia als *mafo*, in Malawi und Sambia als *nsima*, im Sudan als *guma* oder gemischt aus Malz und unvermälzten Körnern als *hus-suwa* (EL NOUR et al., 1999), in Äthiopien als *genfo*, in Simbabwe als *sadza*, in Ruanda als *ubugali* (APPA RAO et al., 1998), in Botswana als *bogobe* und in Indien als *sankati* zubereitet (DOGGETT, 1988). Breie werden meistens mit einer Tunke aus Leguminosen, Gemüse, Fisch oder Fleisch gegessen. Die als *couscous* in Westafrika und der Sahel Zone (MURTY and KUMAR, 1995) und als *wowotou* in China bekannten Speisen sind über Dampf gegarte Gerichte. Gekochte Sorghumhirse wird in Indien als *soru* geschätzt. Sorten mit dickem Perikarp und hartem Endosperm lassen sich leichter schälen und eignen sich daher besser für die Herstellung gekochter Gerichte. Sorten mit weicherem Endosperm werden dagegen für die Zubereitung der äthiopischen und jemenitischen *injera* oder der amerikanischen *tortilla* verwendet (MURTY and KUMAR, 1995). Für Sorghumbrote und -breie werden weiß-körnige Sorten bevorzugt.

Ein Teil der Sorghumhirse-Produktion in Afrika, Südostasien und Südamerika geht in die Herstellung alkoholischer und Erfrischungs-Getränke (MURTY and KUMAR, 1995). Bei der Herstellung solcher Getränke werden meist farbige Körner bevorzugt. Die hohen Kosten für importiertes Gerstenmalz zwangen die großen Brauereien mehrerer Länder Afrikas, Malz und Bier aus im eigenen Land erzeugtem Mais oder aus Sorghumhirse herzustellen. Heute wird Sorghumhirse in Ghana (*piito*), in Nigeria (*burukutu*), Burkina Faso und Mali (*dolo*), Sudan (*merissa*), Südafrika

(Bantu Bier *chibuku*) und anderen Ländern industriell als Malz oder Rohfrucht für die Bierherstellung verwendet (MURTY and KUMAR, 1995; OWUAMA, 1999). In China wird etwa ein Drittel der Sorghumproduktion zu alkoholischen Getränken verarbeitet. Ein bekannter chinesischer Sorghumschnaps ist *maotai*. Im Sudan werden aus Sorghumhirse die nicht-alkoholischen Getränke *hulu mur*, *abrey* und *huswa*, in Nigeria *obiolor* und in Südafrika *mahe-wu* hergestellt (MURTY and KUMAR, 1995).

In den Industrieländern, insbesondere den USA, Australien und Südeuropa, dient die Sorghumhirse hauptsächlich zur Herstellung von Futtermitteln für die Tierernährung. Dabei spielen die Körner die größte Rolle. Für die Nutzung als ganze Pflanze wird vor allem Sudangras (*Sorghum sudanense*), Sudangras-Hybriden oder Bastarde der Sorghumhirse mit Sudangras verwendet (BRAMEL-COX et al., 1995; DUNCAN, 1996). Zuckerhirsetypen dienen zur Weidenutzung oder zur Herstellung von Heu und Silage. Gute Futterqualitäten werden durch einen hohen Blattanteil, hohe Zuckergehalte im Stengel, niedrige Gehalte an Lignin, dem Polyphenol Tannin sowie dem cyanogenen Glycosid Dhuririn erreicht.

Ein kleiner Teil der Sorghumhirseproduktion geht über die Gewinnung von Presssaft in die Herstellung von Sirup und Süßungsmitteln (ROONEY, 1996).

3. Abstammung, Domestikation und Systematik

Sorghum bicolor gehört wie Reis (*Oryza sativa*) und Mais (*Zea mays*) zur Familie der *Poaceae*. Es wird angenommen, dass sich im Laufe der Evolution Reis und Mais vor ca. 50 Millionen Jahren auseinander entwickelt haben (BENNETZEN and FREELING, 1993). Dagegen scheinen sich Sorghum und Mais erst vor ca. 20 Millionen Jahren von einem gemeinsamen Vorfahren getrennt zu haben (DOEBLEY et al., 1990). Cytogenetische und molekulargenetische Untersuchungen deuten darauf hin, daß der Vorfahre von Mais und Sorghumhirse polyploid gewesen sein könnte (WHITKUS et al., 1992; GOMEZ et al., 1998). Aufgrund der Verteilung duplizierter Genloci in den Kopplungsgruppen einer RFLP-Karte wird dieser Vorstellung neuerdings jedoch widersprochen (PENG et al., 1999).

Die Sorghumhirse geht mit großer Wahrscheinlichkeit auf die Wildart *S. bicolor* ssp. *arundinaceum* zurück (ALDRICH and DOEBLEY, 1992) und dürfte in dem nordöstlichen Quadranten Afrikas in der Gegend um den Tschadsee zum ersten Mal domestiziert worden sein (DOGGETT, 1988;

HARLAN, 1995). Die ältesten archäologischen Beweise für einen Sorghumanbau in Afrika, die auf Ausgrabungen im südlichen Ägypten, 100 km westlich von Abu Simbel, zurückgehen, werden in die Zeit um 6000 vor Christus datiert (WENDORF et al., 1992).

Sorghum bicolor besteht aus einjährigen, domestizierten Formen, wilden, einjährigen und mehrjährigen Formen sowie verschiedenen Bastarden aus beiden Formen. Aufgrund morphologischer Unterschiede der Blütenstände wird die Art in fünf ‚Haupttrassen‘ und zehn ‚intermediäre‘ Rassen unterteilt (Tabelle 2). Die Haupttrassen sind Bicolor, Guinea, Caudatum, Kafir und Durra (HARLAN and DE WET, 1972). Bicolor besitzt Rispenformen, die von offener bis kompakter Struktur reichen. Die Samen sind klein und länglich, weiß oder leicht gefärbt und von den Spelzen fast völlig eingeschlossen. Sie schmecken bitter und sind meist ungenießbar. Zur Rasse Bicolor, deren Kornerträge sehr niedrig sind, gehören die Zuckerhirse, auch Sorgo genannt, die Besenhirse (broomcorn), das Sudangras (*S. sudanense*) und das Johnsongras (*S. halepense*).

Tabelle 2: Klassifizierung der wichtigsten kultivierten Sorghumformen (nach HARLAN und DE WET, 1972)

Table 2: Classification of the most important cultivated sorghum races (after HARLAN and DE WET, 1972)

Haupt-Rassen	intermediäre Rassen
Bicolor	Guinea-Bicolor
Guinea	Caudatum-Bicolor
Caudatum	Kafir-Bicolor
Kafir	Durra-Bicolor
Durra	Guinea-Caudatum
	Guinea-Kafir
	Guinea-Durra
	Kafir-Caudatum
	Durra-Caudatum
	Kafir-Durra

Die Zuckerhirse besitzt einen süßen Saft und wird als Silage, Futtergras, Heu oder zur Ethanolherstellung verwendet (SCHAFFERT, 1995). Der Presssaft wird unter anderem zu Sirup, Zucker, Süßungsmitteln oder Hirsemolasse verarbeitet. Ein einziges rezessives Gen ist für die Vererbung des hohen Zuckergehalts verantwortlich (BANGARWA et al., 1987). Der Zucker ist vor allem in Form von Saccharose, Glukose und Fruktose eingelagert. Gute Sorten können 6-7 t/ha fermentierbaren Zucker liefern (REUST, 1992). Sudangras wird dank seiner guten Bestockung vor allem in Argentinien, Australien, Südafrika, dem Mittleren Osten und den USA auch als Weide- und Futtergras genutzt

(DOGGETT, 1988). Darüber hinaus werden Bastarde zwischen *S. bicolor* und *S. sudanense* in der Futternutzung eingesetzt (CAUSLEY, 1990).

Johnsongras (im Deutschen auch als Aleppogras bezeichnet) hat sein ursprüngliches Verbreitungsgebiet im Mittelmeerraum (MONAGHAN, 1979). Es wird gelegentlich als Futtergras genutzt. Inzwischen ist es aber vielerorts verwildert und gehört zu den weltweit lästigsten Ungräsern, vor allem im Mais-, Baumwoll-, Sojabohnen- und Zuckerrohrhanbau (HOLM, 1969; WARWICK and BLACK, 1983). *S. halepense* besitzt einen tetraploiden Chromosomensatz von $2n = 40$. Charakteristisch sind seine gut entwickelten, bis 1 m tief in den Boden eindringenden Rhizome, seine Frosttoleranz, Perennierfähigkeit und sein Samenausfall, kurz nach der Reife. Die Samen sind mehr als 10 Jahre keimfähig. Johnsongras ist eine Kreuzung aus *S. bicolor* und der rhizom-bildenden Wildart *S. propinquum* (PATERSON et al., 1995). Drei QTL (Quantitative Trait Loci) scheinen für die Rhizombildung bei Johnsongras verantwortlich zu sein (PATERSON et al., 1995). Andere Autoren fanden nur ein einziges, dominantes Gen für die Rhizombildung (YIM and BAYER, 1997). Samenausfall, ein Merkmal, das zusätzlich für die starke Verbreitung dieser Sorghumart beiträgt, wird ebenfalls von einem einzigen Gen vererbt (PATERSON et al., 1995). Johnsongras kam Anfang des 19. Jahrhunderts nach Nordamerika und wurde wegen seiner Futterqualität sehr geschätzt. Im Proteingehalt entspricht es der Luzerne und im Futterwert dem Sudangras. Darüber hinaus wirkt sein ausgeprägtes Wurzelwerk der Bodenerosion entgegen (BENNETT, 1973). Untersuchungen sind im Gange, in den Nachkommen von Kreuzungen zwischen $4x$ - *S. bicolor* und $4x$ - *S. halepense* Rekombinanten zu selektieren, die hohen Samen- und Biomassertrag der Sorghumhirse sowie das Wurzelwerk und die Überwinterungsfähigkeit von Johnsongras in Kombination besitzen (PIPER and KULAKOW, 1994). Kreuzungsbastarde zwischen *S. bicolor* x *S. halepense* werden in Argentinien unter dem Namen *Sorghum alnum* (Columbusgras) als Weidegras genutzt. *S. alnum* wurde auch in Australien als Weidegras angebaut, in jüngster Zeit aber durch ein Bastardgras der Kreuzung *S. halepense* x *S. bicolor* x *S. arundinaceum* ersetzt.

Die Rispen der Guinea- Sorghumrasse ähneln stark dem Bicolor-Typ. Genetisch sind die beiden Rassen jedoch weit voneinander entfernt (MENKIR et al., 1997). Die Rasse Guinea kommt vor allem in Westafrika (Guinea) vor, wo Niederschläge zwischen 900 und 1200 mm fallen, und in den regenreichen Gebieten Ostafrikas (DE WET, 1992). Bicolor ist in der Savanne Westafrikas verbreitet, in dem die Kongo-

Niger-Sprache vorherrscht (HARLAN, 1995). In Nigeria, dem Tschad und dem Sudan dominiert die intermediäre Guinea-Caudatum-Rasse, während die Guinea-Kafir-Rasse mehr in Ostafrika und in Indien vorkommt (HARLAN and DE WET, 1972).

Die Rasse Caudatum (Tabelle 2) ist im Sudan, dem Tschad, Nordnigeria und Uganda vorherrschend und stimmt in ihrer Verbreitung mit der Chari-Nil-Sprachen-Gruppe überein (STEMLER et al., 1975). Agronomisch ist sie eine der wichtigsten Sorghumrassen überhaupt. Zu ihr gehören die Typen Hegari und Feterita, die beide aus dem Sudan stammen. Hegari ist stark belaubt, bestockt sich kräftig und hat kalkartig gefärbte Samen. Zu Beginn der Hybridzüchtung spielten Hegari-Herkünfte eine große Rolle in den USA. Feterita hat schlanke Stengel, eine dichte, aufrecht stehende Rispe und ist in der Abstammung vieler offen-abblühender, kommerzieller Sorten und Hybriden vertreten (POEHLMAN and SLEPER, 1995).

Die Rasse Kafir ist in den Gebieten der Bantu-Völker Zentral- und Südafrikas südlich des Äquators vorherrschend (HARLAN and DE WET, 1972). Ihr Name stammt aus dem Arabischen, wo ‚kafir‘ Ungläubiger oder Heide bedeutet. Die aufrecht stehende, zylindrisch, dichte Rispe wird von einem kräftigen Halm getragen. Die Farbe der Samen ist weiß, pink oder rot. Die in der Hybridzüchtung heute eingesetzten Restorerogene gehen auf die Rasse Kafir zurück.

Die Rasse Durra (arabische Bezeichnung für Sorghum) stammt aus Ost- und Zentralafrika und trägt auf einem gänsehals-ähnlichen Stengel einen dichten Fruchtstand. Durra kommt vor allem in Äthiopien vor und ist der dominierende Sorghumtyp auch in der Türkei, im Jemen, in Syrien, Iran, Irak, Indien und Pakistan. Nach Indien gelangte die Sorghumhirse wahrscheinlich im ersten Jahrtausend v. Chr. (VISHNU-MITRE, 1968). Die großen Samen der Rasse Durra sind gelblich-weiß, die meisten Herkünfte dürre-tolerant. Durra wird in den USA Milo genannt. Die ersten aus Afrika in die USA eingeführten Milo-Formen waren 2.00 m bis 2.50 m hoch. Durch Selektion mutierter Linien wurde die Wuchshöhe immer kürzer (Tabelle 3) und liegt jetzt in den ‚Double Dwarf Yellow‘-Formen bei 50 cm und darunter. Unter Milo-Formen wurden auch mehrere natürliche Mutationen für Frühreife gefunden. Diese halbverzwergten, frühen Typen waren ein wichtiges Ausgangsmaterial für die heutigen kurz-halmigen und früh-blühenden Hybridsorten. Eine Mutation in der mitochondrialen DNA einer Miloform ist eine der wichtigsten Quellen cytoplasmatischer Pollensterilität, die heute

Tabelle 3: Wuchshöhe verschiedener Sorghum- Genotypen (nach QUINBY, 1973, 1975; verändert)
 Table 3: Height of different sorghum genotypes (after QUINBY, 1973, 1975; modified)

Bezeichnung	Genotyp	Höhe bis Fahnenblatt in cm
Kein Verzweigungs-Gen keine Sorte zugelassen	$Dw_1 Dw_2 Dw_3 Dw_4$	250–350
Ein Verzweigungs-Gen Standard Broomcorn	$Dw_1 Dw_2 dw_3 Dw_4$	207
Tall White Sooner Milo	$Dw_1 Dw_2 Dw_3 dw_4$	127
Zwei Verzweigungs-Gene Japanese Dwarf Broomcorn	$dw_1 Dw_2 dw_3 Dw_4$	125
Dwarf Yellow Milo	$dw_1 Dw_2 Dw_3 dw_4$	106
Blackhull Kafir	$Dw_1 Dw_2 dw_3 dw_4$	100
Hegari	$Dw_1 dw_2 Dw_3 dw_4$	100
Drei Verzweigungs-Gene Double Dwarf Yellow Milo	$dw_1 dw_2 Dw_3 dw_4$	60
SM60	$dw_1 dw_2 dw_3 Dw_4$	57
Combine Kafir-60	$dw_1 Dw_2 dw_3 dw_4$	43
Vier Verzweigungs-Gene SA 403 keine Sorte zugelassen	$dw_1 dw_2 dw_3 dw_4$	10–15

fast überall für die Herstellung von Hybridsaatgut verwendet wird.

Haupttrassen der Sorghumhirse sind in ihren Verbreitungsgebieten in Afrika durch intermediäre Rassen verbunden. In Westafrika ist die Guinea-Rasse von Senegal bis zum westlichen Tschad vorherrschend. Weiter östlich wird sie von Guinea-Caudatum und dann von der Rasse Caudatum abgelöst. Die Zwischenform Guinea-Kafir tritt vor allem in Ostafrika auf, wo auch Guinea und Kafir angebaut werden. Durra-Caudata ist die Haupttrasse im nördlichen Nigeria. In einem breiten Gürtel folgen die Rasse Durra nach Norden und die Rasse Caudatum nach Süden und Osten.

4. Cytologie, Genetik und genetische Diversität

Die Sorghumhirse hat wie Mais einen diploiden Chromosomensatz von $2n = 20$.

Ihr DNA-Gehalt ist mit einem 1C-Wert von 0,8 pg (ARUMAGANATH and EARLE, 1991) jedoch etwa dreimal geringer als der von *Zea mays*. Im Laufe von mehr als 10 Jahren gelang es SCHERTZ (1966, 1974), alle zehn möglichen, primär-trisomen Linien zu entwickeln. Die Trisomen ($2n = 21$) lassen sich aufgrund der Farbe und Struktur ihrer Blütenstände, der Spelzenlänge, der Stengelform und der Anzahl der Seitenstengel morphologisch unterscheiden. Sechs der zehn Trisomen sind mehr oder weniger fertil und würden sich für Untersuchungen zur Genlokalisierung eignen. Bis heute konnte mit Hilfe trisomer Linien jedoch erst ein einziges Gen lokalisiert werden (ZWICK et al., 1998).

DOGGETT (1988) veröffentlichte Ende der 80er Jahre eine umfangreiche Übersicht über die bekannten Gene und Allele für die Dauer der Reifezeit, Wuchshöhe, Färbung des Keimlings, des Stengels und der Blätter, für Eigenschaften der Rispe und der Blüten, Pollen- und Eizellen-Sterilität sowie Merkmale des Mehlkörpers. Darüber hinaus berichtete er detailliert über die Kenntnisse der Gene für Resistenz gegen Krankheiten und Schädlinge und stellte schließlich die einzelnen Gensymbole und bekannten Kopplungsgruppen zusammen.

Fortschritte in der Erstellung von Chromosomenkarten wurden in jüngster Zeit mit molekularen Markern erzielt. Im Vergleich mit DNA-Sonden von Gerste, Hafer, Mais und Reis und unter Verwendung einer Population rekombinanter Inzuchtlinien wurde bei Sorghumhirse eine RFLP-Karte erstellt, die aus zehn Kopplungsgruppen und mehr als 300 Markern besteht (PENG et al., 1999). Unter Berücksichtigung früher veröffentlichter RFLP-Karten wurden die Kopplungsgruppen fortlaufend mit den Buchstaben A bis J bezeichnet und mit den Chromosomen von Mais in Beziehung gesetzt. Die Autoren konnten darüber hinaus zeigen, daß große Chromosomenstücke der Sorghumhirse zumindest partiell homöolog zu entsprechenden Chromosomensegmenten von *Zea mays* sind. BOVIN et al. (1999) publizierten wenig später erstmals bei Sorghumhirse eine AFLP-Kopplungskarte mit insgesamt 137 Loci.

Zur Verbesserung der Toleranz gegenüber biotischen und abiotischen Stressfaktoren ist die genetische Diversität einer Spezies von großer Bedeutung. Immer wenn wenige, in ihrem Erbgut sehr ähnliche, selbstbefruchtende Sorten oder

Hybridsorten mit dem gleichen Cytoplasma für Pollensterilität auf einer großen Fläche angebaut werden, besteht das Risiko von Ertragseinbußen durch epidemieartiges Auftreten von Krankheitserregern oder aufgrund extremer Klimabedingungen. In einer Untersuchung mit 190 Sorghumherkünften verschiedener Sorten und regional verteilter Rassen wurde unter Verwendung molekularer Marker gefunden, daß die Rassen Bicolor und Guinea eine erheblich höhere genetische Variabilität aufweisen als die Rasse Kafir (MENKIR et al., 1997). Herkünfte, die aus Südafrika stammten, hatten eine sehr viel niedrigere Diversität als solche aus Zentral-, Ost- und Westafrika (ALDRICH et al., 1992) sowie aus dem Nahen und Fernen Osten. Auch Sorten, die in China angebaut werden, besitzen eine überraschend hohe genetische Variabilität (YANG et al., 1996).

Genetische Diversität kann jedoch durch gezielte Ein- und Rückkreuzung bestimmter Resistenzgene stark eingeschränkt werden. In Australien gehört die Gallmücke (*Contarinia sorghicola*) zu den gefährlichsten Schädlingen im Sorghumanbau. Die orangerot gefärbte Mücke legt ihre Eier während des Blühvorgangs in die weiblichen Blüten ab. Die Larve frisst sich in die Fruchtknoten hinein und zerstört die Samen und Samenanlagen. Durch die Verwendung einheitlicher, gallmücken-resistenter Linien war dieses Genmaterial innerhalb weniger Jahre in mehr als 80 % der in Australien angebauten Hybridsorten verbreitet (JORDAN et al., 1998). Gleichzeitig ging die genetische Diversität in der Sorghumhirse deutlich zurück. Es ist nicht bekannt, ob dieses Phänomen durch das Ausbleiben von Crossingover in der Chromosomenregion der Resistenzgene während der Rückkreuzung (linkage drag) oder das Auftreten genetischer Drift erklärt werden kann.

Viele in den Ursprungsgebieten der Sorghumhirse noch wildwachsende Pflanzen und Landrassen sind wichtige genetische Ressourcen für die Züchtung. Expeditionen in Afrika (APPA RAO et al., 1992, 1998; NKHOMA and MWILA, 1993; AYANA and BEKELE, 1998; KOLBERG, 1999) und anderen Ländern zum Sammeln dieser Ressourcen sind daher auch heute noch unverzichtbar. Mit großer Intensität beschäftigt sich das International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT) in Patancheru, Andhra Pradesh, Indien (PRASADA RAO et al., 1989) mit der Sorghumhirse. Über 35.000 Sorghumherkünfte lagern in der Genbank dieses Instituts (RAI et al., 1999) und können von Forschungseinrichtungen und praktischen Züchtern auf der ganzen Welt genutzt werden. Die Aktivitäten zur Erhaltung und Charakterisierung der genetischen Variabilität sowohl in den natürlichen Lebensräumen der Sorghumhir-

se als auch in lokalen und internationalen Genbanken müssen intensiv fortgesetzt werden, damit auch in Zukunft bei der Lösung neuer züchterischer Aufgaben genetisches Basismaterial zur Verfügung steht.

5. Wuchshöhe und Reifezeit

In den meisten Anbauländern der Tropen und Subtropen wird Sorghumhirse noch mit der Hand geerntet. In den Industrieländern der gemäßigten Klimazonen erschien es wirtschaftlich, nach der Einführung des Mähdeschers bei Weizen und Mais auch Sorghumhirse maschinell zu ernten. Für eine Mähdescherernte war die Sorghumhirse hinsichtlich ihrer Wuchslänge von 2.50 m bis 3.50 m anfangs jedoch viel zu hoch. Lager war die Folge. Vier Gene für Wuchshöhe (*dw* = dwarf) sind bei Sorghum bekannt. Die erste, durch spontane Mutation entstandene, verzweigte Pflanze wurde in der Sorte ‚Standard Milo‘ gefunden. Diese Sorte besaß ein Verzweigungsgen neben drei Genen für normalen Wuchs ($Dw_1Dw_2Dw_3dw_4$) und hatte eine Stengellänge von etwa 127 cm (Tabelle 3). Nach Vermehrung wurde aus der Mutante die Sorte ‚Dwarf Milo‘ entwickelt (POEHLMAN and SLEPER, 1995). In dieser Sorte fand man wenig später nach erneuter, spontaner Mutation ein zweites, rezessives Verzweigungsgen: $dw_1Dw_2Dw_3dw_4$, das zur Sorte ‚Double Dwarf Milo‘ führte. Diese beiden Mutationen und eine weitere Mutation im dw_3 -Genort einer Kafir-Linie (Tabelle 3) waren die Grundlage für die Entwicklung von Sorghumhirsensorten, die sich für den Mähdrusch eigneten. Das Gen dw_2 gehört sehr wahrscheinlich der Kopplungsgruppe I an, während Gen dw_3 der Gruppe A zugeordnet werden konnte (LIN et al., 1995; Nomenklatur nach PENG et al., 1999). Die meisten Sorten für die Körnernutzung besitzen heute drei rezessive Verzweigungsgene. Ausgehend von diesen, in den USA angebauten Sorten wurden auch in Indien, Afrika, Europa sowie in Mittel- und Südamerika halb-verzweigte Sorghumsorten entwickelt. Rezessivität in allen vier Verzweigungsgenen führt zu Wuchslängen von 10 bis 15 cm (Tabelle 3). Solche Linien eignen sich jedoch nicht für die kommerzielle Nutzung.

Neben Genen für Halbverzweigung haben Gene für unterschiedliche Reifezeit sehr stark zur Verbreitung der Sorghumhirse in der gemäßigten Klimazone beigetragen. Vier Gene für Reifezeit (*Ma* = maturity) sind bei Sorghum bekannt, die alle den Zeitpunkt der Blühinduktion beeinflussen. Späte Blüte ist dominant gegenüber frühem Blühzeitpunkt, eine Eigenschaft, die durch rezessive Gene kon-

trolliert wird. Die meisten Sorghumsorten der Tropen besitzen dominante Gene für den Blüh- bzw. Reifezeitpunkt. Die Reifegene beeinflussen auch die Wachstumszeit. Einzelne rezessive Mutationen in den Genloci Ma_1 , Ma_2 , Ma_3 und Ma_4 führten dazu, daß die ursprünglich tropische Sorghumhirse an die Langtagverhältnisse und niedrigeren Temperaturen der gemäßigten Klimazone angepasst werden konnte (QUINBY, 1975). Bei einem 10-Stunden-Tag liegt der Blühzeitpunkt der in Tabelle 4 aufgeführten ersten acht Sorghumlinien je nach genetischer Konstitution der vier Reifegene zwischen 90 und 56 Tagen (QUINBY, 1967). Den größten Einfluß auf den Blühzeitpunkt hat Gen ma_1 , das von der Tageslänge reguliert wird. Dieses Gen gehört wahrscheinlich der Kopplungsgruppe I an (LIN et al., 1995; Nomenklatur nach PENG et al., 1999). Die kürzeste Zeit bis zur Blüte benötigen die Sorten 44M und 38M mit den Reifegenen $Ma_1 ma_2 ma_3^R Ma_4$ bzw. $ma_1 ma_2 ma_3^R Ma_4$ (Tabelle 4). Bei dem rezessiven Gen ma_3^R handelt es sich um ein Allel, das in der Sorte Ryer Milo durch Neumutation entstanden ist. Es führt zu wesentlich früherer Reife als Sorten mit dem ma_3 -Allel. Hegari ist eine in der gemäßigten Klimazone sehr spät reifende Sorte. Bei dieser Sorte liegt das vierte Reifegen, ma_4 rezessiv vor. Sämtliche Genloci für Reifezeit besitzen mehrere Allele (QUINBY, 1967).

Kürzlich wurde über den Einfluß bestimmter Gene für Tageslängen-Empfindlichkeit berichtet (ROONEY and AYDIN, 1999). Bei diesen Genotypen tritt die Blühinduktion erst bei einer Tageslänge von mehr als 12 Stunden ein. Zwei komplementäre, dominant epistatisch vererbte Gene spielen dabei eine Rolle. Für die beiden Gene wurden die Symbole ma_5 und ma_6 vorgeschlagen.

Tabelle 4: Blühzeitpunkt verschiedener Sorghum-Genotypen der gemäßigten Klimazone (nach QUINBY, 1967, 1973)

Table 4: Maturity of different sorghum genotypes at temperate climate (after QUINBY, 1967, 1973)

Sorte	Bezeichnung	Genotyp	Tage bis zur Blüte
100-day Milo	100M	$Ma_1 Ma_2 Ma_3 Ma_4$	90
90-day Milo	90M	$Ma_1 Ma_2 ma_3 Ma_4$	82
80-day Milo	80M	$Ma_1 ma_2 Ma_3 Ma_4$	68
60-day Milo	60M	$Ma_1 ma_2 ma_3 Ma_4$	64
Sooner Milo	SM100	$ma_1 Ma_2 Ma_3 Ma_4$	56
Sooner Milo	SM90	$ma_1 Ma_2 ma_3 Ma_4$	56
Sooner Milo	SM80	$ma_1 ma_2 Ma_3 Ma_4$	60
Sooner Milo	SM60	$ma_1 ma_2 ma_3 Ma_4$	58
44-day Milo	44M	$Ma_1 ma_2 ma_3^R Ma_4$	48
38-day Milo	38M	$ma_1 ma_2 ma_3^R Ma_4$	44
Hegari	H	$Ma_1 Ma_2 Ma_3 ma_4$	34

6. Resistenz gegenüber biotischen Stressfaktoren

Die Sorghumhirse wird von einer Vielzahl von Krankheitserregern befallen. Die Rangfolge ihrer Bedeutung für die Gefährdung der Ertragssicherheit wechselt mit den klimatisch bestimmten Wachstumsbedingungen. An erster Stelle sind Erreger des Kornschimmels (grain mold) zu nennen, der durch mehrere Pilze verursacht wird. Es handelt sich um Arten von *Fusarium*, *Cladosporium*, *Curvularia*, *Phoma* und *Colletotrichum*. Bisher gibt es kaum Resistenz gegenüber diesen Pilzen (AUDILAKSHMI et al., 1999; RAI et al., 1999).

Eine andere Gruppe von Pilzen ist für Wurzel- und Stengelfäulen verantwortlich. *Fusarium moniliforme* verursacht die Fusarium-Stengelfäule (fusarium stalk rot). Diese Krankheit ist weit verbreitet. Sie schädigt das Wurzelsystem, schwächt die Stengel und führt zu vermindertem Kornansatz. Der Erreger überlebt auf Pflanzenresten und dringt in die Pflanzen mittels natürlicher Verletzungen ein. Man versucht, die Keimlingsresistenz durch Samenkeimung bei niedrigen Temperaturen und gleichzeitiger Inokulation durch den Pilz zu verbessern. Ein anderer Wurzel- und Stengelfäuleerreger (charcoal rot) ist der Pilz *Macrophomina phaseolina*, der große Schäden insbesondere dann anrichtet, wenn wenig Bodenfeuchtigkeit, aber hohe Temperaturen vorherrschen. In Afrika, Amerika, Asien und Australien können die Ertragsverluste durch diesen Pilz erheblich sein (PANDE, 1986). Resistenz gegen den Erreger wurde in Zuckerhirse-, Futterhirse- und Körnerhirse-Herkünften gefunden (POEHLMAN and SLEPER, 1995; PECINA-QUINTERO et al., 1999).

Die als Sorghum-Anthraknose bezeichnete, ebenfalls durch einen Stengel- und Blattfäuleerreger verursachte Krankheit, tritt vor allem in Feuchtgebieten auf (THOMAS et al., 1996) und wird durch den Pilz *Colletotrichum graminicola* verursacht. Schwere Infektionen, begleitet mit Blattfall, können zu Ertragseinbußen von mehr als 50 % führen. In jüngster Zeit konnten einige Resistenzgene identifiziert werden (PANDE et al., 1994). Für ein rezessiv vererbtes Gen wurden bereits eng gekoppelte, molekulare Marker nachgewiesen (BOORA et al., 1998). Ein anderer Pilz, *Exserohilum turcicum*, der die Keimlingspflanzen insbesondere von Fattersorghum stark befallen kann, löst auf den Blättern eine Fleckenkrankheit aus. Diese Krankheit ist in feuchten Klimaten weit verbreitet, geht aber bei anhaltend trockenem Wetter wieder zurück. Ein dominant vererbtes Resistenzgen ist bekannt, für das kürzlich ein molekularer Marker gefunden wurde (BOORA et al., 1999). Auch der Falsche Mehltau, der durch die Erreger *Sclerophthora macrospora*

(crazy top) und *Peronosclerospora sorghi* (downy mildew) verursacht wird, ist in fast allen Sorghum-Anbaugebieten verbreitet und tritt insbesondere unter kühlen und feuchten Bedingungen auf (JEGER et al., 1998). Nach Infektion durch *P. sorghi* entstehen auf den ersten Blättern chlorotische Flecken und später parallel laufende, grüne und weiße Streifen. Das Rispenschieben wird durch die Krankheit oft verhindert. REDDY et al. (1992) fanden in der mehltau-resistenten Linie IS 18757 (QL-3), die von WILLIAMS et al. (1982) erstmals beschrieben wurde, zwei dominante Gene $Pl_a Pl_b Pl_c Pl_d$, die für die Resistenz verantwortlich sind.

Sorghum-Kopfbrand (head smut) wird durch den Pilz *Sporisorium reilianum* verursacht. Er ist weltweit verbreitet, kommt aber vor allem in wärmeren Gebieten vor. Die Sporen des Erregers werden mit dem Saatgut übertragen oder überdauern im Boden. Mehrere Linien aus den Tropen sind bekannt, die Resistenz gegenüber diesem Pilz aufweisen. Ein Resistenzgen konnte mit Hilfe von RFLP- und RAPD-Markern kartiert werden (OH et al., 1994).

Mitte der 90er Jahre wurde erstmals in Brasilien, wenig später auch in Mexiko, Australien und in den USA über starken Befall durch Mutterkorn (ergot) berichtet, eine Pilzkrankheit, die durch *Claviceps africana* verursacht wird (MEINKE and RYLEY, 1997; BANDYOPADHYAY et al., 1998; ODVOODY et al., 1998). Ascosporen dieses Pilzes infizieren die Narben der Blütenstände, wachsen durch die Griffel zum Eiapparat, in dem später ein Sclerotium (Mutterkorn) entsteht. Es werden allerdings nur unbefruchtete Pflanzen von den Pilzsporen befallen. Daher sind cytoplasmatisch männlich-sterile Linien, die bei der Herstellung von Hybridsaatgut verwendet werden, und Pflanzen, die bei kühlen Temperaturen aufwachsen und daher partiell steril sein können, gegenüber *C. africana* besonders anfällig. Neben Sorghumhirse wird auch Johnsongras (*Sorghum halepense*) von dem Pilz stark befallen, vor allem wenn es bei niedrigen Temperaturen zu Sterilität kommt (ODVOODY et al., 1998).

Unter den Rostpilzen hat in manchen kühlen und feuchten Anbaugebieten *Puccinia purpurea* eine gewisse Bedeutung. In den USA tritt die durch diesen Pilz verursachte Krankheit jedoch nur selten auf. Dagegen sind das Sorghum-Mosaik-Potyvirus, das sich durch gelb-grüne, kurze Strichel auf den Blättern äußert, die später nekrotisch werden, das Sorghum-Stunt-Mosaik-Virus, das chlorotisch-gestrichelte Blätter und gestauchte Pflanzen hervorruft sowie das Maisverzweigungsmosaik-Virus (maize dwarf mosaic), das sich in chlorotischen Punkten und Ringen auf den Blättern manifestiert und durch verschiedene Aphiden

übertragen wird, potentielle Gefahren in vielen Sorghum-Anbaugebieten. Hinsichtlich Schädlingen sind die Gallmücke, die Halmfliege, Aphiden, Wanzen, Zikaden sowie der Stengelbohrer zu nennen, die der Sorghumhirse beträchtliche Schäden zufügen können (SHARMA and NWANZE, 1997).

Zwei Unkrautarten, *Striga hermonthica* und *S. asiatica*, die in Afrika und Südostasien stark verbreitet sind, gehören zu den gefährlichsten Parasiten der Sorghumhirse und anderer anderer Getreide- und Leguminosenarten (BUTLER, 1995). In Afrika ist ein Areal von ungefähr 8 Mio. ha, etwa 40 % der gesamten Sorghumanbaufläche, unmittelbar von *Striga* bedroht. Die Pflanzen werden bis zu 50 cm hoch und entwickeln violette Blüten. Hat sich *Striga* in einem Bestand einmal etabliert, ist es fast unmöglich, den Parasiten wieder zu entfernen. Eine einzige Pflanze produziert mehr als 100.000, sandkorngroße Samen, die bis zu 20 Jahre keimfähig bleiben können. Sehr wahrscheinlich sind Substanzen, die von den Wurzeln der Wirtspflanzen ausgeschieden werden, notwendig, um die Keimung der Unkrautsamen im Boden in Gang zu bringen. HAUCK et al. (1992) identifizierten das wasserlösliche Stimulans *Sorgo-lacton* aus Sorghumwurzeln. Neben dieser Substanz dürfte Sorghum jedoch auch noch andere, ähnliche Stimulanzien enthalten. Nach der Keimung wächst *Striga* in Richtung Wirtspflanzenwurzel und heftet sich mit einem Appressorium an diese an. Daraufhin entwickelt sich ein Haustorium in die Wurzel, durch das Wasser, Minerale und organische Substanzen der Wirtspflanze zum Parasiten wandern können (PRESS et al., 1991). HESS et al. (1992) und andere Autoren glauben, daß die Unfähigkeit mancher Sorghum-Genotypen, bestimmte Mengen dieser Stimulanzien auszuscheiden, zu einer verminderten Keimfähigkeit von *Striga*-Samen führt. ARNAUD et al. (1999) nehmen dagegen an, daß die Unterdrückung des *Striga*-Wachstums durch eine zumindest teilweise Verhinderung der Entwicklung junger Haustorien und durch verminderten Transport von Nährsubstanzen zu den Haustorien für die Resistenz bestimmter Wirtspflanzengenotypen gegenüber *Striga* verantwortlich ist. *Striga*-Resistenz ist erblich (RAMAIAH et al., 1990; VOLLER et al., 1996). Kürzlich gelang es, einzelne QTL (Quantitative Trait Loci) für *Striga*-Resistenz in F_3 -Populationen der Kreuzung einer *striga*-resistenten mit einer *striga*-anfälligen Sorghumlinie zu entdecken und die Genloci bestimmten Kopplungsgruppen zuzuordnen (HAUSSMANN, 1999; briefliche Mitteilung). Dank dieser Resistenz konnten in mehreren Ländern Afrikas *striga*-resistente Sorghum-Sorten bereits angebaut werden, die in der Lage sind, das

lästige Unkraut zurückzudrängen (CARSKY et al., 1996). Neuerdings versucht man auch, mit Hilfe von Kulturen eines für *Striga* virulenten Stammes des Pilzes *Fusarium oxysporum*, Sorghum-Samen vor der Aussaat zu behandeln und damit vor dem Parasiten zu schützen (MARLEY et al., 1999).

7. Inhaltsstoffe und Futterwert

Sorghumkörner haben ein Tausendkorngewicht von ungefähr 20 bis 30 g. Die Samenfarbe variiert zwischen kalkig-weiß, rötlich, gelb bis dunkelbraun. Stärke ist wie in anderen Getreidearten das wichtigste Kohlenhydrat in den Samen. Der Stärkegehalt liegt bei etwa 70.8 % (55.6–75.2 %; SERNA-SALDIVAR and ROONEY, 1995). Die Stärkekörner haben eine polygonale bis kugelförmige Gestalt mit einem Durchmesser von 4 bis 24 mm. Normale Sorten besitzen einen Amylosegehalt von 21 bis 34 % und einen Amylopektingehalt zwischen 65 und 80 %. In sogenannten Wachssorten liegt der Amylopektingehalt bei fast 100 % (MCINTYRE, 1998). Über Sorten mit einem Amylosegehalt von etwa 62 % berichten LIN and PI (1964). Reife Sorten enthalten niedermolekulare Zucker zwischen 0.9 und 6 %. In Zuckerhirsen kann der Gehalt auf über 25 % ansteigen (KARPER and QUINBY, 1963). Die Gehalte an reduzierenden Zuckern (Glukose, Fruktose) liegen zwischen 0.2 und 0.9 %, die der nicht-reduzierenden Zucker zwischen 0.3 und 2.1 %. Bis zu 5.6 % Pentosane und bis zu 5.2 % Cellulose können im Korn, hauptsächlich im Perikarp, enthalten sein.

Der Proteingehalt ($N \times 6.25$) liegt bei Sorghumhirse zwischen 8 und 16 % (KLOPFENSTEIN and HOSENEY, 1995). Die Aminosäurezusammensetzung ist ähnlich wie die von Mais. Alanin, Asparaginsäure, Glutaminsäure, Leucin und Prolin sind verhältnismäßig reichlich vertreten (Tabelle 5), während der Lysingehalt (1.8 bis 2.2 g/100 g Protein) extrem niedrig ist. SINGH and AXTELL (1973) entdeckten unter 10.000 Sorghumherkünften der Weltsorghumkollektion in zwei aus Äthiopien stammenden Linien jeweils ein rezessiv vererbtes, mutiertes Gen, das den Lysingehalt auf 3.3 bzw. 3.1 g/100 g Protein bei Gesamtproteingehalten von 15.7 bzw. 17.2 % erhöht. In den beiden Mutanten war auch der Gehalt an Arginin, Asparaginsäure, Glycin und Tryptophan deutlich erhöht, während die Gehalte an Alanin, Glutaminsäure, Leucin und Prolin leicht zurückgingen. Die beiden äthiopischen Linien sind jedoch tageslängenempfindlich, haben einen hohen Wuchs, reifen spät ab, besitzen eine zahnartige, runzelige Samenoberfläche und eine gerin-

gere Ertragsleistung. Trotz dieser Nachteile wurden die beiden Linien wegen ihrer guten Mehlqualität und Schmackhaftigkeit bis in die neuere Zeit in Äthiopien angebaut (AXTELL et al., 1979). D. MOHAN von der Purdue University, Indiana, USA, induzierte mittels chemischer Mutagenese in der Sorghumhirse eine weitere hoch-lysinhaltige Linie, welche ein opaque-Endosperm, normal ausgebildete Samen, niedrigen Wuchs und Tageslängen-Unempfindlichkeit besitzt (AXTELL et al., 1979). Im Vergleich zur Ausgangslinie ist der Lysingehalt um 60 % erhöht. Obwohl auch in dieser Mutante das Samengewicht pro Rispe reduziert ist, glaubt man, durch entsprechende Rückkreuzungen und Einlagerung des Hoch-Lysin-Gens in andere Genotypen den Ertrag, insbesondere über die Erhöhung der Anzahl der Samen pro Rispe, in Zukunft verbessern zu können.

Tabelle 5: Aminosäurezusammensetzung (g/100 g Protein) der Sorghumhirse (geändert nach HOSENEY et al., 1987)

Table 5: Amino acid composition (g/100 g protein) of sorghum (modified after HOSENEY et al., 1987)

Aminosäure	Gehalt (g/100 g Protein)
Alanin	9.1–9.9
Arginin	3.2–3.6
1/2 Cystein	0.7–1.7
Glutaminsäure	22.2–24.9
Glycin	3.1–3.4
Histidin	1.7–2.2
Isoleucin	3.8–4.2
Leucin	13.1–14.5
Lysin	1.8–2.2
Methionin	1.0–1.2
Phenylalanin	4.9–5.4
Prolin	7.2–9.0
Serin	4.3–4.7
Threonin	3.1–3.6
Tyrosin	2.1–4.6
Valin	4.5–5.4

In vitro- und *in vivo*-Untersuchungen mit Haus- und Labortieren haben gezeigt, daß die Proteine der Sorghumhirse im allgemeinen weniger gut verdaut werden als die anderer Getreidearten (HOSENEY et al., 1987). Sorghumhirse enthält eine Reihe von Inhaltsstoffen, insbesondere antinutritive Substanzen, für die nachteilige Einflüsse auf Leistung und Gesundheit gefunden wurden. Hierzu zählen vor allem kondensierte Tannine (Proanthocyanidine), welche die Aminosäurenverdaulichkeit durch die Bildung von Komplexverbindungen mit Futterproteinen im Verdauungstrakt verringern (STREETER et al., 1993; LIZARDO et al., 1995; NGUZ et al., 1998). Tanninarme Herkünfte sind Körnermais im Futterwert jedoch annähernd ebenbürtig.

Die Anwesenheit der Samenschale wird von zwei dominanten Genen (B_1B_2) kontrolliert. Sie fehlt ganz, wenn die beiden Gene im rezessiven Zustand vorliegen (ROONEY, 1996). Genotypen mit pigmentierter Samenschale und dem dominanten, sogenannten ‚spreader‘-Gen (S) besitzen die höchsten Tannin-Gehalte, bieten auf der anderen Seite aber den größten Schutz gegenüber Vogelfraß (HAHN and ROONEY, 1986). Kondensierte Tannine sind für die Pigmentierung des inneren Integuments verantwortlich. Genotypen, die resistent gegen Vogelfraß sind, besitzen in der Regel ein dickes pigmentiertes, inneres Integument. Das Perikarp dieser Sorten ist meist braun gefärbt (HOSENEY et al., 1987).

8. Hybridzüchtung

Die Hybridsorghum-Züchtung begann Anfang der 50er Jahre, nachdem im Jahre 1943 zum ersten Mal eine cytoplasmatisch-pollensterile Pflanze in einem Sorghumfeld der Milosorte Day in Tennessee, USA, gefunden worden war (STEPHENS et al., 1952). Die pollensterile Mutante hatte jedoch Samenansatz, wenn sie mit Pollen anderer Sorten bestäubt wurde. F_1 -Pflanzen dieser Kreuzungen waren in der nächsten Generation wieder pollensteril. In Kreuzungen mit der Sorte Texas Blackhull Kafir stellte sich wenig später heraus, daß die Fertilität der cms-Pflanzen mit Kafir-Formen restauriert werden konnte (STEPHENS and HOLLAND, 1954). Damit waren die Grundlagen für eine Hybridzüchtung geschaffen. Abgesehen von einigen Dreiweghybriden sind die meisten der heute kommerziell angebauten Sorghumhybriden Einfachhybriden, die auf die amerikanischen cms- bzw. Fertilität restaurierenden Formen zurückgehen. Zur Herstellung homogener Inzuchtlinien werden cytoplasmatisch-pollensterile Milolinien (A-Linien) zusammen mit B-Linien, die normales Cytoplasma besitzen, angebaut und vermehrt. Für die Hybridsaatgutproduktion werden in den USA zwölf Reihen cytoplasmatisch-pollensterile A-Linien in Streifen neben vier Reihen R-Linien (Kafirtyp) angebaut, die das dominante Fertilitätsrestorergergen M_s besitzen (POEHLMAN and SLEPER, 1995). Die geernteten F_1 -Samen dieser Kreuzungen bilden das spätere Hybridsaatgut, das pollenfertil ist.

Die ersten Hybridsorten kamen in den USA bereits Mitte der 50er Jahre auf den Markt. Innerhalb von 15 Jahren nahmen die Erträge um beinahe das Dreifache zu (QUINBY, 1975; BENNETT et al., 1990). Ein Drittel der Ertragszunahmen hat in der Heterosiswirkung der neuen Hybridsor-

ten seine Ursache, die beiden anderen Drittel werden auf die verbesserten Beregnungs- und Düngungsmaßnahmen zurückgeführt (QUINBY, 1975). Heute werden in den USA zu 90 % und in Australien zu 80 % Hybridsorten angebaut. Auch in Indien, dem zweit-wichtigsten Erzeugerland für Sorghumhirse wurde in den 60er Jahren mit der Herstellung von Hybridsorten begonnen. Im Jahre 1992 waren vom All India Coordinated Sorghum Improvement Project neben 16 konventionellen Sorten schon 14 Hybridsorten zugelassen (MURTY and RAO, 1997). In Indien verdoppelten sich die Kornerträge von 1970 bis 1996, insbesondere dank der Einführung von Hybridsorten (AUDILAKSHMI et al., 1999), die inzwischen ungefähr 55 % im gesamten Sortenspektrum einnehmen. Einige produktive, indische Hybridsorten werden auch in Bangladesh, den Philippinen, in Pakistan und einigen afrikanischen Ländern sehr erfolgreich angebaut. In Ostafrika sind insbesondere unter Dürrestressverhältnissen Hybridsorten gegenüber selbstbefruchtenden Lokalsorten hinsichtlich Kornzahl pro Rispe, Tausendkorngewicht und Ernteindex deutlich überlegen (HAUSSMANN et al., 1998).

Alle bisher in den USA hergestellten Hybridsorten gehen auf das A_1 -Plasma der 3-Dwarf White Sooner Milo-Sorte zurück. Dadurch ist das Cytoplasma der Sorghumhirse gegenüber Stressfaktoren sehr verwundbar. In den letzten Jahren wurden aber mindestens sechs weitere Cytoplasmen gefunden, die zu Pollensterilität führen (XU et al., 1995; PEDERSEN et al., 1998) und in der Hybridzüchtung eingesetzt werden können.

9. Biotechnologie

Im Vergleich zu anderen Getreidearten ist Sorghumhirse für zellbiologische und gentechnische Untersuchungen eine sehr widerspenstige Kulturart (KRESOVICH et al., 1987). Insbesondere ist die Herstellung haploider Pflanzen über Antheren- oder Mikrosporenkultur ein schwieriges Unterfangen (LIANG et al., 1997). Komplette Pflanzen können jedoch inzwischen aus kultivierten Embryonen, unreifen Infloreszenzen und Mesophyllprotoplasten regeneriert werden (GENDY et al., 1996; SAIRAM et al., 1999). Nur wenigen Arbeitsgruppen gelang bisher allerdings die Entwicklung transgener Pflanzen. Mit Hilfe der Partikelkanone (Beschuss unreifen embryonalen Gewebes mit DNA-beladenen Gold- oder Wolfram-Mikroprojektilen) konnten einige transgene Sorghumpflanzen regeneriert werden, die Toleranz gegenüber den Herbiziden Basta und

Bialaphos besitzen (CASAS et al., 1993, 1997; CASTILLO and CASAS, 1999). Wegen der Gefahr der Übertragung der Herbizidtoleranz auf verwandte Kulturarten und auf Johnsongras (*S. halepense*) wurden diese Pflanzen jedoch bisher nicht im Freiland getestet. Kürzlich gelang ZHU et al. (1998) ebenfalls mit Hilfe der Partikelkanone die Übertragung eines vom Reis stammenden Gens für Chitinase zusammen mit dem *Bar*-Gen für Herbizidtoleranz in das Sorghumgenom. Das Chitinase-Gen in den transgenen Sorghum-Pflanzen wird monogen-dominant vererbt. Es bleibt abzuwarten, gegenüber welchen pathogenen Pilzen dieses Gen Resistenz zeigt (KRISHNAVENI et al., 1999).

10. Ausblick

Die Sorghumhirse ist eine wichtige Getreideart, die weltweit als Nahrungsmittel für den Menschen oder als Futtermittel für landwirtschaftliche Haustiere genutzt wird. Ungefähr 42 % der Sorghumernte findet in der menschlichen Ernährung Verwendung, etwa 48 % dient als Futtermittel. In einigen Ländern Afrikas ist Sorghumhirse Hauptnahrungsmittel. In Burkina Faso und im Sudan liegt der pro Kopf-Verbrauch bei 90 bis 100 kg im Jahr. Fortschritte in der Züchtung früh-reifender und halb-verzweigter Sorten haben dazu geführt, daß insbesondere in den Industrieländern die Ernte mechanisiert werden konnte. Die Einführung von Hybridsorten hat dazu beigetragen, dass die Ernteerträge in den USA, Indien und Südeuropa deutlich erhöht werden konnten. Die Nutzung neuer Methoden der Molekulargenetik hat die Erstellung von Kopplungskarten ermöglicht. Eine Zuordnung der molekularen, biochemischen und morphologischen Marker zu ihren entsprechenden Chromosomen ist dadurch in greifbare Nähe gerückt. Die in wild wachsenden und kommerziellen Sorten gefundene, hohe genetische Diversität bildet ein breites Fundament für die Lösung von Problemen zur weiteren Verbesserung der Ertragsleistung und Qualität der Sorghumhirse in der Zukunft.

Literatur

- ABOUBACAR, A., A. W. KIRLEIS and M. OUMAROU (1999): Important sensory attributes affecting consumer acceptance of sorghum porridge in West Africa as related to quality tests. *J. Cereal Sci.* 30, 217–225.
- ALDRICH, P. R. and J. DOEBLEY (1992): Restriction fragment variation in the nuclear and chloroplast genomes of cultivated and wild *Sorghum bicolor*. *Theor. Appl. Genet.* 85, 293–302.
- ALDRICH, P. R., J. DOEBLEY, K. F. SCHERTZ and A. STEC (1992): Patterns of allozyme variation in cultivated and wild *Sorghum bicolor*. *Theor. Appl. Genet.* 85, 451–460.
- APPA RAO, S., E. S. MONYO, L. R. HOUSE, M. H. MENGESHA and E. NEGUMBO (1992): Collecting germplasm in Namibia. *Plant Genet. Resour. Newsl.* 90, 42–45.
- APPA RAO, S., M. H. MENGESHA, V. GOPAL REDDY and K. E. PRASADA RAO (1998): Collecting and evaluation of sorghum germplasm from Rwanda. *Plant Genet. Resour. Newsl.* 114, 26–28.
- ARNAUD, M.-C., C. VERONESI and P. THALAUARN (1999): Physiology and histology of resistance to *Striga hermonthica* in *Sorghum bicolor* var. Framida. *Aus. J. Plant Physiol.* 26, 63–70.
- ARUMAGANATH, K. and E. D. EARLE (1991): Nuclear DNA content of some important plant species. *Pl. Mol. Biol. Reporter* 9, 208–218.
- AUDILAKSHMI, S., J. W. STENHOUSE, T. P. REDDY and M. V. R. PRASAD (1999): Grain mould resistance and associated characters of sorghum genotypes. *Euphytica* 107, 91–103.
- AXTELL, J. D., S. W. VAN SCOYOC, P. J. CHRISTENSEN and G. EJETA (1979): Current status of protein quality improvement in grain sorghum. In: *Seed Protein Improvement in Cereals and Grain Legumes*. IAEA, Wien, 357–365.
- AYANA, A. and E. BEKELE (1998): Geographic patterns of morphological variation in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) germplasm from Ethiopia and Eritrea: qualitative characters. *Hereditas* 129, 195–205.
- BANDYOPADHYAY, R., D. E. FREDERICKSON, N. W. MCLAREN, G. N. ODVODY and M. J. RYLEY (1998): Ergot: A new disease threat to sorghum in the Americas and Australia. *Plant Dis.* 82, 356–367.
- BANGARWA, K. S., R. P. S. GREWAL and G. P. LODHI (1987): A single recessive gene for stem sweetness in sorghum. *Euphytica* 36, 225–226.
- BENNETT, H. W. (1973): Johnsongrass, carpetgrass and other grasses for the humid south. In: HEATH, M. E., D. S. METCALVE and R. F. BARNES (Eds.): *Forages*. Iowa State University Press, Ames, Iowa, 286–293.
- BENNETT, W. F., B. B. TUCKER and A. B. MAUNDER (1990): *Modern grain sorghum production*. Iowa State University Press, Ames, IA, USA, pp. 169.
- BENNETZEN, J. L. and M. FREELING (1993): Grasses as a

- single genetic system: Genome composition, colinearity and compatibility. *Trends Genet.* 9, 259–260.
- BLUDAU, D. A. (1994): Verfahrenstechnische Voraussetzungen zur Ernte der Zuckerhirse als Energiepflanze. Dissertation, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan.
- BOGUSLAWSKI, E. VON, N. ATANASIU und K. SHAABAN (1965): Nährstoffaufnahme, Nährstoffentzug, Nährstoffbedarf und Ertragsleistung von Sorghum-Hirsen (*Sorghum vulgare* var. *sacch.* und var. *techn.*) unter gemäßigten Klimabedingungen. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 122, 251–266.
- BOVIN, K., M. DEU, J.-F. RAMI, G. TROUCHE and P. HAMON (1999): Towards a saturated sorghum map using RFLP and AFLP markers. *Theor. Appl. Genet.* 98, 320–328.
- BOLIK, C.-J. (1994): Anbau und Nutzung der Zuckerhirse im süddeutschen Raum. Dissertation, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan.
- BOORA, K. S., R. FREDERIKSEN and C. MAGILL (1998): DNA-based markers for a recessive gene conferring anthracnose resistance in sorghum. *Crop Sci.* 38, 1708–1709.
- BOORA, K. S., R. FREDERIKSEN and C. MAGILL (1999): A molecular marker that segregates with sorghum leaf blight resistance in one cross is maternally inherited in another. *Mol. Gen. Genet.* 261, 317–322.
- BRAMEL-COX, P. J., K. A. KUMAR, J. D. HANCOCK and D. J. ANDREWS (1995): Sorghum and millets for forage and feed. In: DENDY, D. A. V. (Ed.): *Sorghum and Millets, Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA, 325–364.
- BUTLER, L. G. (1995): Chemical communication between the parasitic weed *Striga* and its crop host. *ACS Symp. Ser.* 1995, 79, 652–660.
- CARSKY, R. J., R. NDIKAWA, R. KENGA, L. SINGH, M. FOBASSO and M. KAMUANGA (1996): Effect of sorghum variety on *Striga hermonthica* parasitism and reproduction. *Plant Varieties and Seeds* 9, 111–118.
- CASAS, A. M., A. K. KONONOWICZ, U. B. ZEHR, D. T. TOMES, J. D. AXTELL, L. G. BUTLER, R. A. BRESSAN and P. M. HASEGAWA (1993): Transgenic sorghum plants via microprojectile bombardment. *Proc. Natl. Acad. Sci (USA)* 90, 11212–11216.
- CASAS, A. M., A. K. KONONOWICZ, U. B. ZEHR, L. ZHANG, T. G. HAAN, D. T. TOMES, R. A. BRESSAN and P. M. HASEGAWA (1997): Approaches to the genetic transformation of *Sorghum*. In: TSAFTARIS, A. S. (Ed.): *Genetics, biotechnology and breeding of maize and sorghum*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 88–93.
- CASTILLO, A. M. and A. M. CASAS (1999): Transgenic cereals: *Secale cereale* and *Sorghum bicolor* (rye and sorghum). In: VASIL, I. K. (Ed.): *Molecular Improvement of Cereal Crops*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 341–360.
- CAUSLEY, D. C. (1990): Effect of minimum tillage, sowing rate, and sowing time on the yield of a *sorghum*-sudan-grass hybrid in the Manawatu, New Zealand. *New Zealand J. Agric. Res.* 33, 15–20.
- DAMBROTH, M. and N. EL BASSAM (1990): Sweet Sorghum – A new source for the production of sugar. In: J. HINTERHOLZER (Ed.): *Proceedings of the XVth Eucarpia Congress of the Maize and Sorghum Section*. Vienna, 417–423.
- DOEBLEY, J., M. DURBIN, E. M. GOLENBERG, M. T. CLEGG and D. P. MA (1990): Evolutionary analysis of the large subunit of carboxylase (rbcL) nucleotide sequence among the grasses (Gramineae). *Evolution* 44, 1097–1108.
- DOGGETT, H. (1988): *Sorghum*, 2nd edition. Longman Scientific & Technical, Essex, England.
- DUNCAN, R. R. (1996): Breeding and improvement of forage sorghums for the tropics. *Advances in Agronomy* 57, 161–185.
- EL NOUR, M. E. M., S. EL-TIGANI and H. A. DIRAR (1999): A microbiological study of *Hussuwa*: a traditional Sudanese fermented food from germinated *Sorghum bicolor* c.v. *feterita*. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 15, 305–308.
- FAO (1999): FAOSTAT – Statistics database. Internet: <http://apps.fao.org/>
- GENDY, C., M. SENE, B. VAN LE, J. VIDAL and K. TRAN THANH VAN (1996): Somatic embryogenesis and plant regeneration in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Plant Cell Rep.* 15, 900–904.
- GOMEZ, M. I., M. N. ISLAM-FARIDI, M. S. ZWICK, D. G. CZESCHIN JR., G. E. HART, R. A. WING, D. M. STELLY and H. J. PRICE (1998): Tetraploid nature of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *J. Heredity* 89, 188–190.
- HAHN, D. H. and L. W. ROONEY (1986): Effect of genotype on tannins and phenols of sorghum. *Cereal Chem.* 63, 4–8.
- HARLAN, J. R. (1995): *The living fields, our agricultural heritage*. Cambridge University Press.
- HARLAN, J. R. and J. M. J. DE WET (1972): A simplified classification of cultivated sorghum. *Crop Sci.* 12, 172–176.
- HAUCK, C., S. MULLER and H. SCHILDKNECHT (1992): A germination stimulant for parasitic flowering plants from

- Sorghum bicolor*, a genuine host plant. J. Plant Physiol. 139, 474–478.
- HAUSSMANN, B. I. G., A. B. OBILANA, A. BLUM, P. O. AYIE-CHO, W. SCHIPPRACH and H. H. GEIGER (1998): Hybrid performance of sorghum and its relationship to morphological and physiological traits under variable drought stress in Kenya. Plant Breeding 117, 223–239.
- HESS, D. E., G. EJETA and L. G. BUTLER (1992): Selecting sorghum genotypes expressing a quantitative biosynthetic trait that confers resistance to *Striga*. Phytochem. 31, 493–497.
- HOLM, L. G. (1969): Weed problems in developing countries. Weed Sci. 17, 113–118.
- HOSENEY, R. C., D. J. ANDREWS and H. CLARK (1987): Sorghum and pearl millet. In: Nutritional Quality of Cereal Grains: Genetic and Agronomic Improvement. Agronomy Monograph, No. 28, American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, 397–456.
- JEGER, M. J., E. GILJAMSE, C. H. BOCK and H. D. FRINKING (1998): The epidemiology, variability and control of the downy mildews of pearl millet and sorghum, with particular reference to Africa. Plant Pathology 47, 544–569.
- JORDAN, D. R., Y. Z. TAO, I. D. GODWIN, R. G. HENZELL, M. COOPER and C. L. MCINTYRE (1998): Loss of genetic diversity associated with selection for resistance to sorghum midge in Australian sorghum. Euphytica 102, 1–7.
- KARPER, R. E. and J. R. QUINBY (1963): Sugary endosperm in sorghum. J. Hered. 54, 1121–1126.
- KLOPFENSTEIN, C. F. and R. C. HOSENEY (1995): Nutritional properties of sorghum and the millets. In: DENDY, D. A. V. (Ed.): Sorghum and Millets: Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA, 125–168.
- KOLBERG, H. (1999): Morphological variability in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH subsp. *bicolor*] accessions from Namibia. Plant Genet. Resour. Newsl. 117, 51–54.
- KRESOVICH, S., R. E. MCGEE, L. PANELLA, A. A. REILLEY and F. R. MILLER (1987): Application of cell and tissue culture techniques for the genetic improvement of sorghum, *Sorghum bicolor* (L.) MOENCH: progress and potential. Advances in Agronomy 41, 147–170.
- KRISHNAVENI, S., S. MUTHUKRISHNAN, G. H. LIANG, G. WILDE and A. MANICKAM (1999): Induction of chitinases and b-1,3-glucanases in resistant and susceptible cultivars of sorghum in response to insect attack, fungal infection and wounding. Plant Sci. 144, 9–16.
- LIANG, G. H., X. GU, G. YUE, Z. S. SHI and K. D. KOFOID (1997): Haploidy in sorghum. In: JAIN, S. M., S. K. SOPORY and R. E. VEILLEUX (Eds.): *In vitro* Haploid Production in Higher Plants. Vol. 4, Kluwer Acad. Publ., 139–145.
- LIEBHARD, P. (1988): Zuckerhirse (*Sorghum saccharatum*) – ein nachwachsender Rohstoff für die Bioalkoholerzeugung. Die Bodenkultur 39, 15–36.
- LIN, P. S. and C. P. PI (1964): The inheritance of amylose content in grain sorghum. Sorghum Newsl. 7, 5–6.
- LIN, Y.-R., K. F. SCHERTZ and A. H. PATERSON (1995): Comparative analysis of QTLs affecting plant height and maturity across the *Poaceae*, in reference to an interspecific Sorghum population. Genetics 141, 391–411.
- LIZARDO, R., J. PEINIAU and A. AUMAITRE (1995): Effect of sorghum on performance, digestibility and dietary components and activities of pancreatic and intestinal enzymes in the weaned piglet. Animal Feed Sci Technol. 56, 67–82.
- MARLEY, P. S., S. M. AHMED, J. A. Y. SHEBAYAN and S. T. O. LAGOKE (1999): Isolation of *Fusarium oxysporum* with potential for biocontrol of the witchweed (*Striga hermonthica*) in the Nigerian savanna. Biocontrol Sci. Technol. 9, 159–163.
- MCINTYRE, L. (1998). Characterisation of *waxy* alleles in sorghum. Plant & Animal Genome VI Conference, San Diego, P209.
- MEINKE, H. and M. RYLEY (1997): Effects of sorghum ergot on grain sorghum production: a preliminary climatic analysis. Aust. J. Agric. Res. 48, 1241–1247.
- MENKIR, A., P. GOLDSBROUGH and G. EJETA (1997): RAPD based assessment of genetic diversity in cultivated races of sorghum. Crop Sci. 37, 564–569.
- MONAGHAN, N. (1979): The biology of Johnson grass (*Sorghum halepense*). Weed Res. 19, 261–267.
- MURTY, D. S. and K. A. KUMAR (1995): Traditional uses of sorghum and millets. In: D. A. V. DENDY (Ed.) Sorghum and Millets. Chemistry and Technology, American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA, 185–221.
- MURTY, U. R. and N. G. P. RAO (1997): Sorghum. In: BAHL, P. N., P. M. SALIMATH and A. K. MANDAL (Eds.): Genetics, cytogenetics and breeding of crop plants, Vol. 2, Science Publishers, Inc., Enfield, NH, USA, 197–239.
- NGUZ, K., D. VAN GAVER and A. HUYGHEBAERT (1998): *In vitro* inhibition of digestive enzymes by sorghum condensed tannins (*Sorghum bicolor* L. MOENCH). Sciences des Aliments 18, 507–514.
- NKHOMA, C. N. and G. P. MWILA (1993): Sorghum and millet germplasm in Zambia. Plant Genet. Resour. Newsl. 96, 55–58.

- ODVOY, G., R. BANDYOPADHYAY, R. A. FREDERIKSEN, T. ISAKEIT, D. FREDERICKSON, H. KAUFMAN, J. DAHLBERG, R. VELASQUEZ and H. TORRES (1998): Sorghum ergot goes global in less than three years. APSnet feature, 1–10. <http://www.scisoc.org/feature/ergot/top.html>
- OH, J., R. A. FREDERIKSEN and C. W. MAGILL (1994): Identification of molecular markers linked to head smut resistance gene (*Sbs*) in sorghum by RFLP and RAPD analyses. *Phytopathology* 84, 830–833.
- OWUAMA, C. I. (1999): Brewing beer with sorghum. *J. Institute Brewing* 105, 23–34.
- PANDE, S. (1986): Charcoal rot. In: FREDERIKSEN, R. A. (Ed.): *Compendium of Sorghum Diseases*. American Phytopathological Society, St. Paul, MN, 29–30.
- PANDE, S., R. P. THAKUR, R. I. KARUNAKAR, R. BANDYOPADHYAY and B. V. S. REDDY (1994): Development of screening methods and identification of stable resistance to anthracnose in sorghum. *Field Crops Res.* 38, 157–166.
- PATERSON, A. H., K. F. SCHERTZ, Y.-R. LIN, S.-C. LIU and Y.-L. CHANG (1995): The weediness of wild plants: molecular analysis of genes influencing dispersal and persistence of johnsongrass, *Sorghum halepense* (L.) Pers. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 92, 6127–6131.
- PECINA-QUINTERO, V., H. WILLIAMS-ALANIS and G. J. VANDEMARK (1999): Diallel analysis of resistance to *Macrophomina phaseolina* in Sorghum. *Cereal Res. Comm.* 27, 99–106.
- PEDERSEN, J. F., H. F. KAEPLER, D. J. ANDREWS and R. D. LEE (1998): *Sorghum*. In: BANGA, S. S. and S. K. BANGA (Eds.): *Hybrid cultivar development*. Narosa Publishing House, New Delhi, India, 344–356.
- PENG, Y., K. F. SCHERTZ, S. CARTINHO and G. E. HART (1999): Comparative genome mapping of *Sorghum bicolor* (L.) MOENCH using an RFLP map constructed in a population of recombinant inbred lines. *Plant Breeding* 118, 225–235.
- PIPER, J. K. and P. A. KULAKOW (1994): Seed yield and biomass allocation in *Sorghum bicolor* and F₁ and backcross generations of *S. bicolor* x *S. halepense* hybrids. *Can. J. Bot.* 72, 468–474.
- POEHLMAN, J. M. and D. A. SLEPER (1995): *Breeding Field Crops. 18. Breeding Sorghum*, Iowa State University Press, Ames, USA, 345–367.
- PRASADA RAO, K. E., M. H. MENGESHA and V. G. REDDY (1989): International use of a sorghum germplasm collection. In: BROWN, A. H. D., O. H. FRANKEL, D. R. MARS-HALL and J. T. WILLIAMS (Eds.): *The Use of Plant Genetic Resources*. Cambridge University Press, 49–67.
- PRESS, M. C., S. SMITH and G. R. STEWART (1991): Carbon acquisition and assimilation in parasitic plants. *Functional Ecology* 5, 278–283.
- QUINBY, J. R. (1967):): The maturity genes of sorghum. *Advan. Agron.* 19, 267–305.
- QUINBY, J. R. (1973): The genetic control of flowering and growth in sorghum. *Advan. Agron.* 25, 125–162.
- QUINBY, J. R. (1975): The genetics of sorghum improvement. *J. Heredity* 66, 56–62.
- RAI, K. N., D. S. MURTY, D. J. ANDREWS and P. J. BRAMEL-COX (1999): Genetic enhancement of pearl millet and sorghum for the semi-arid tropics of Asia and Africa. *Genome* 42, 617–628.
- RAMAIAH, K. V., V. L. CHIDLEY and L. R. HOUSE (1990): Inheritance of *Striga* seed-germination stimulant in sorghum. *Euphytica* 45, 33–38.
- REDDY, B. V. S., L. K. MUGHOGHO, Y. D. NARAYANA, K. D. NIKODEMUS and J. W. STENHOUSE (1992): Inheritance pattern of downy mildew resistance in advanced generations of sorghum. *Ann. appl. Biol.* 121, 249–255.
- REUST, W. (1992): Nachwachsende Rohstoffe und Alternativkulturen: Ertragspotential von Topinambur, Zuckerrhizome und einer Wolfsmilch. *Landwirtschaft Schweiz* 5, 509–516.
- ROONEY, W. L. (1996): Sorghum and millets. In: R. J. HENRY and P. S. KETTLEWELL (Eds.): *Cereal Grain Quality*, Chapman & Hall, London, 153–177.
- ROONEY, W. L. and S. AYDIN (1999): Genetic control of a photoperiod-sensitive response in *Sorghum bicolor* (L.) MOENCH. *Crop Sci.* 39, 397–400.
- SAIRAM, R. V., N. SEETHARAMA, P. S. DEVI, A. VERMA, U. R. MURTHY and I. POTRYKUS (1999): Culture and regeneration of mesophyll-derived protoplasts of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH). *Plant Cell Reports* 18, 972–977.
- SCHAFFERT, R. E. (1995). Sweet sorghum substrate for industrial alcohol. In: DENDY, D. A. V. (Ed.): *Sorghum and Millets. Chemistry and Technology*, American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA, 365–374.
- SCHERTZ, K. F. (1966): Morphological and cytological characteristics of five trisomics of *Sorghum vulgare* Pers. *Crop Sci.* 6, 519–523.
- SCHERTZ, K. F. (1974): Morphological and cytological characteristics of five additional trisomics of *Sorghum bicolor* (L.) MOENCH. *Crop Sci.* 14, 106–109.
- SERNA-SALDIVAR, S. and L. W. ROONEY (1995): Structure and chemistry of sorghum and millets. In: DENDY, D. A.

- V. (Ed.): Sorghum and Millets: Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA, 69–124.
- SHARMA, H. C. and K. F. NWANZE (1997): Mechanisms of resistance to insects in sorghum and their usefulness in crop improvement. ICRISAT Information Bulletin No. 45, 56 pp.
- SINGH, R. and J. D. AXTELL (1973): High-lysine mutant gene (*hl*) that improves protein quality and biological value of grain sorghum. *Crop Sci.* 13, 535–539.
- STEMLER, A. B. L., J. R. HARLAN and J. M. J. DE WET (1975): Caudatum sorghums and speakers of Chari-Nile languages in Africa. *J. Afric. History* 16, 161–183.
- STEPHENS, J. C. and R. F. HOLLAND (1954): Cytoplasmic male sterility for hybrid sorghum seed production. *Agronomy Journal* 46, 20–24.
- STEPHENS, J. C., G. H. KUYKENDALL and D. W. GEORGE (1952): Experimental production of hybrid sorghum seed with a three-way cross. *Agron. J.* 44, 369–373.
- STREETER, M. N., G. M. HILL, D. G. WAGNER, F. N. OWENS and C. A. HIBBERD (1993): Effect of bird-resistant and non-bird-resistant sorghum grain on amino acid digestion by beef heifers. *J. Anim. Sci.* 71, 1648–1656.
- STREHLER, A., D. BLUDAU und P. TUROWSKI (1992): Erarbeitung geeigneter Verfahren zur Ernte, Lagerung und Bagasseverwertung von Zuckerhirse. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München (Hrsg.).
- THOMAS, M. D., I. SISSOKO and M. SACKO (1996): Development of leaf anthracnose and its effect on yield and grain weight of sorghum in West Africa. *Plant Dis.* 80, 151–153.
- VISHNU-MITRE (1968): Prehistoric records of agriculture in India. *Transactions of Bose Research Institute* 31, 87–106.
- VOGLER, R. K., G. EJETA and L. G. BUTLER (1996): Inheritance of low production of *Striga* germination stimulant in sorghum. *Crop Sci.* 36, 1185–1191.
- WARWICK, S. I. and L. D. BLACK (1983): The biology of Canadian weeds. 61. *Sorghum halepense* (L.) Pers. *Can. J. Plant Sci.* 63, 997–1014.
- WENDORF, F., A. E. CLOSE, R. SCHILD, K. WASYLIKOWA, R. A. HOUSLEY, J. R. HARLAN and H. KROLIK (1992): Saharan exploitation of plants 8,000 years BP. *Nature* 359, 721–724.
- WET, J. M. J. DE (1992): The three phases of cereal domestication. In: CHAPMAN, G. P. (Ed.): *Grass Evolution and Domestication*. Cambridge University Press, 176–198.
- WILLIAMS, R. J., S. R. S. DANGE, L. K. MUGHOGHO and K. N. RAO (1982): Identification of QL-3 sorghum, a source of resistance to *Peronosclerospora sorghi*. *Plant Dis.* 66, 807–809.
- WHITKUS, R., J. DOEBLEY and M. LEE (1992): Comparative genome mapping of sorghum and maize. *Genetics* 132, 1119–1130.
- XU, G. W., Y. X. CUI, K. F. SCHERTZ and G. E. HART (1995): Isolation of mitochondrial DNA segments that distinguish male sterility inducing cytoplasm in *Sorghum bicolor* (L.) MOENCH. *Theor. Appl. Genet.* 90, 1180–1187.
- YANG, W., A. C. DE OLIVEIRA, I. GODWIN, K. SCHERTZ and J. L. BENNETZEN (1996): Comparison of DNA marker technologies in characterizing plant genome diversity in Chinese sorghum. *Crop Sci.* 36, 1669–1676.
- YIM, K.-O. and D. E. BAYER (1997): Rhizome expression in a selected cross in the *Sorghum* genus. *Euphytica* 94, 253–256.
- ZHU, H., S. MUTHUKRISHNAN, S. KRISHNAVENI, G. WILDE, J.-M. JEOUNG and G. H. LIANG (1998): Biolistic transformation of sorghum using a rice chitinase gene. *J. Genet. Breed.* 52, 243–252.
- ZWICK, M. S., M. N. ISLAM-FARIDI, D. G. CZESCHIN JR., R. A. WING, G. E. HART, D. M. STELLY and H. J. PRICE (1998): Physical mapping of the *liguleless* linkage group in *Sorghum bicolor* using rice RFLP-selected sorghum BACs. *Genetics* 148, 1983–1992.

Anschrift des Verfassers

Prof. Dr. Friedrich J. Zeller, Technische Universität München, Lehrstuhl für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, D-85350 Freising-Weihenstephan;
e-mail: friedrich.zeller@weihenstephan.de

Eingelangt am 20. September 1999

Angenommen am 28. Dezember 1999