

Feldstudien zur Vererbung der Trockenheitstoleranz von Hybridroggen in Mitteleuropa

Field studies on the inheritance of drought tolerance of hybrid rye in Central Europe

Stefan Haffke^{1*}, Marlen Hübner¹, Peer Wilde², Brigitta Schmiedchen²,
Barbara Kusterer³, Bernd Hackauf⁴ und Thomas Miedaner^{1*}

Abstract

Drought stress will play a major role in the 21st century in Europe's agriculture. Rye will be affected more than other crops, because rye is typically grown in marginal regions with sandy soils of low water-holding capacity and less rainfall. Therefore, drought tolerant rye cultivars are urgently needed. The main objective of our study was to evaluate the drought stress tolerance of rye hybrids using large-scaled field experiments. We evaluated three populations. Pop A und Pop B tested with 220 F_{3:4} lines each belong to the 'Petkus' gene pool, Pop C tested with 240 F_{3:4} lines belongs to the 'Carstens' gene pool. All lines were testcrossed and evaluated at three locations: Wohlde and Petkus in Germany and Walewice, Poland. Pop A und B were tested in 2010 and 2011, Pop C in 2011 and 2012. All genotypes were evaluated in irrigated and non-irrigated variants in a split-block-design. Natural drought stress occurred mainly in the second quarter of all three years. The most sensitive trait was grain yield. Grain yield differences ranged from 2 to 41% with an average of 19%. Differences between irrigated and non-irrigated variants were significant in 15 out of 18 environment-population combinations. Significant genotype×irrigation interaction variance occurred in nine combinations, but had only a minor effect on genotype ranking. Higher error variances caused lower heritabilities in the non-irrigated variant. In conclusion, indirect selection for drought-tolerant genotypes under irrigated conditions would increase selection gain and also lead to higher yielding cultivars under drought stress.

Keywords

Hybrid breeding, indirect selection, population parameter, *Secale cereale*, water stress

Einleitung

Der Klimawandel wird in diesem Jahrhundert in Mitteleuropa einen zunehmenden Einfluss auf den Ackerbau

haben. Aktuelle Prognosen rechnen mit einer Zunahme der Niederschläge in Wintermonaten, während die Niederschlagsmenge im Frühjahr und Sommer in manchen Regionen stark abnehmen wird (DWD 2011). Roggen wird vorrangig auf nährstoffarmen und leichten Standorten angebaut, weil er hier gegenüber anderen Getreidearten erhebliche Wettbewerbsvorteile besitzt (ECOPORT DATABASE 2002). Deshalb wird er trotz seiner Stresstoleranz von dieser Entwicklung besonders stark betroffen sein, da diese Standorte auf Grund der geringeren Sorptionskraft ihrer Böden noch stärker durch Trockenstress beeinträchtigt sind. Trotzdem gibt es bisher nur eine Studie (HÜBNER et al. 2013), die sich mit der spezifischen Trockentoleranz von Roggen beschäftigt.

Material und Methoden

Pflanzenmaterial

Das Pflanzenmaterial umfasste insgesamt drei Populationen aus aktuellen Zuchtprogrammen der beiden Formkreise des Roggens. Der Saaterterpool Petkus wurde an Hand von zwei Populationen (A; B) untersucht. Aus zwei biparentalen Kreuzungen (A: A×B und B: A×C) wurden jeweils 220 F_{3:4} Linien entwickelt und anschließend mit einem unverwandten Tester aus dem Petkuser Formenkreis gekreuzt. Auf Seiten des Pollenelternpools wurden 240 Nachkommen einer Kreuzung (R×S) zu F_{3:4} Linien weitergeführt und ebenfalls mit einem Tester aus dem Petkuser Formenkreis gekreuzt.

Feldversuch

Die Versuche wurden über drei Jahre an drei Standorten durchgeführt: In Wohlde, Niedersachsen, Petkus, Brandenburg und in Walewice, Polen. Die Populationen A und B wurden in den Jahren 2010 und 2011 und die Population C in den Jahren 2011 und 2012 geprüft. Die Parzellen waren rund 5 m² groß, der Versuch wurde mit einer hohen Düngungs- und Pflanzenschutzintensität durchgeführt. Für das Versuchsdesign wurde eine Streifenanlage in zwei

¹ Landessaatuchtanstalt, Universität Hohenheim, D-70593 STUTTGART

² KWS LOCHOW GMBH, D-29303 BERGEN

³ Hybro GmbH & Co. KG, D-17291 SCHENKENBERG

⁴ Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen, D-18190 SANITZ

* Ansprechpartner: Thomas MIEDANER, thomas.miedaner@uni-hohenheim.de



Tabelle 1: Kornerträge (dt·ha⁻¹) über die bewässerte (B) und unbewässerte (UB) Variante sowie die Ertragsdifferenzen (ΔB, %) an den einzelnen Standorten für zwei Populationen des Saatelter- und eine Population des Pollenelterformenkreises

Table 1: Grain yield (dt·ha⁻¹) for irrigated (B) and non-irrigated (UB) variant, difference in grain yield (ΔB, %) for two populations of the seed parent- and one population of the pollen parent gene pool at each location

		Saatelter			Pollenelter					
		Pop A (A×B)			Pop B (A×C)			Pop C (R×S)		
		B	UB	ΔB (%)	B	UB	ΔB (%)	B	UB	ΔB (%)
2010	Wohlde	81.5	59.1	27.5** ^a	75.2	54.6	27.4** ^a	-	-	-
	Petkus	52.0	49.7	4.4*	51.1	49.3	3.5	-	-	-
	Walewice	53.8	52.8	1.9	50.8	49.8	2.0	-	-	-
	Mittel	62.4	53.9	13.6	59.0	51.2	13.2	-	-	-
2011	Wohlde	99.1	73.0	26.3**	97.8	58.2	40.5** ^a	101.2	79.1	21.8**
	Petkus	87.9	61.9	29.6** ^a	92.0	60.7	34.0** ^a	81.3	59.2	27.2**
	Walewice	92.5	82.9	10.4** ^a	83.6	71.8	14.1** ^a	85.1	72.4	15.0** ^a
	Mittel	93.2	72.6	22.1	91.3	63.6	30.3	89.2	70.2	21.3
2012	Wohlde	-	-	-	-	-	-	98.9	86.5	12.5**
	Petkus	-	-	-	-	-	-	82.8	70.9	14.4*
	Walewice	-	-	-	-	-	-	97.5	84.5	13.3** ^a
	Mittel	-	-	-	-	-	-	93.1	80.6	13.4

*,** signifikante Ertragsunterschiede zwischen bewässertes und unbewässertes Variante ($P < 0.05$ bzw. $P < 0.01$)

^a signifikante Genotyp×Bewässerungsinteraktion bei $P \leq 0.1$

Wiederholungen gewählt. Die Genotypen der bewässerten und unbewässerten Variante lagen dabei unmittelbar gegenüber, um Bodenunterschiede zu minimieren und die Genotyp×Bewässerungs-Interaktion exakter zu ermitteln. Die bewässerte Variante wurde mittels einer Tröpfchenbewässerung bewässert, die je nach Ort und Wetter individuell geregelt wurde.

Statistische Auswertung

Die gesamte Analyse wurde in drei Schritten mit Plabstat (UTZ 2010) durchgeführt:

- (1) Einzelverrechnung: für jede Variante, jeden Ort und jede Population wurde eine Gitteranalyse gerechnet;
- (2) Serienverrechnung, getrennt für die Variante „Bewässert“ bzw. „Unbewässert“ und für die Populationen A, B und C mit Hilfe der adjustierten Gittermittelwerte (BLUEs);
- (3) Faktorielle Serienanalyse über die Varianten „Bewässert“ und „Unbewässert“ hinweg zur Bestimmung des Haupteffekts der Bewässerung und der Genotyp×Bewässerungs-Interaktion. Hierbei wurden nur die Jahr×Orts-Kombinationen mit einer signifikanten Genotyp×Bewässerungs-Interaktion für die Analyse herangezogen.

Ergebnisse

Das sensitivste Merkmal war der Kornertrag. Andere Merkmale, wie Wuchshöhe, Ährenschieben und Tausendkorngewicht, wiesen zwar Unterschiede zwischen bewässertes und unbewässertes Variante auf, diese waren aber geringer ausgeprägt als beim Kornertrag. Es ergaben sich Ertragsunterschiede von 1,9 bis 40,5% (Tabelle 1).

Eine signifikante Differenz der Erträge ergab sich in 15 von 18 Fällen, während immerhin in neun Fällen eine signifikante Genotyp×Bewässerungs-Interaktion nachgewiesen wurde. Bei Betrachtung über die Umwelten hinweg waren die genotypischen Varianzen bei allen drei Populationen signifikant (Tabelle 2). Die Interaktionsvarianzen mit dem Faktor Bewässerung waren in allen Fällen signifikant. Sie

Tabelle 2: Varianzkomponenten der faktoriellen Analyse über die bewässerte bzw. unbewässerte Variante (B:UB) und Heritabilitäten für die bewässerte (B) bzw. unbewässerte (UB) Variante für den Kornertrag

Table 2: Variance components for factorial analysis over irrigated/non irrigated variant (B:UB) and heritability for grain yield under irrigated (B) and non-irrigated (UB) variant

Parameter	Pop A	Pop B	Pop C
Varianzen B:UB:			
σ^2_G	3.82**	4.38**	5.26**
$\sigma^2_{G \times U}$	4.28**	4.32**	4.59**
$\sigma^2_{G \times B}$	0.88*	0.98*	2.31**
$\sigma^2_{G \times B \times U}$	0.92 ⁺	1.72**	1.65*
σ^2_e	15.18	13.89	8.71
Heritabilität B	0.62	0.70	0.49
Heritabilität UB	0.38	0.50	0.43

⁺, **, ** Signifikant bei $P < 0.1$, 0.05 und 0.01; σ^2_G , genotypische Varianz; $\sigma^2_{G \times U}$, Genotyp×Umwelt-Interaktion; $\sigma^2_{G \times B}$, Genotyp×Bewässerungs-Interaktion; $\sigma^2_{G \times B \times U}$, Genotyp×Umwelt×Bewässerungs-Interaktion; σ^2_e , Fehler

machten bei Population A und B etwa die Hälfte der genotypischen Varianz aus, bei Population C hatten sie fast die gleiche Größe. Der davon für den Züchter nutzbare Anteil, die Genotyp×Bewässerungs-Interaktionsvarianz, war bei Population A und B gering, bei Population C machte er die Hälfte der genotypischen Varianz aus. Mittlere bis hohe Heritabilitäten ergaben sich in der bewässerten Variante. Bei den Populationen A und B lagen die Heritabilitäten der unbewässerten Variante deutlich unter denen der bewässerten Variante, bei Population C zeigten beide Varianten nur eine mäßige Heritabilität.

Die Erträge der bewässerten und unbewässerten Variante in Population A und B zeigten mittlere phänotypische und hohe genotypische Korrelationen (Abbildung 1). Für Population C zeigte sich eine signifikante ($P < 0.01$) phänotypische Korrelation von $r = 0.56$. Die genotypische Korrelation lag mit $r = 0.8$ in derselben Größenordnung wie bei Population A und B.

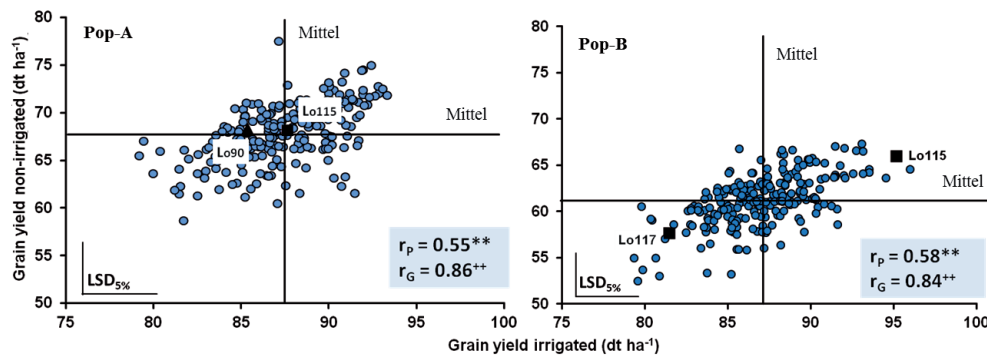


Abbildung 1: Kornträge ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) der bewässerten und unbewässerten Variante für die Populationen A und B sowie der beiden Elternlinien in den Umwelten mit signifikanter Genotyp×Bewässerungs-Interaktion (r_p , phänotypische Korrelation; r_G , genotypische Korrelation; $\text{LSD}_{5\%}$, Grenzdifferenz bei $P<0.05$)

Figure 1: Grain yield ($\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) of the irrigated versus non-irrigated variant for population A and B and their parents across environments with significant genotype×irrigation interaction variance

Schlussfolgerungen

An fast allen Standorten mit mittleren bis leichten Böden trat durch den geringen Niederschlag im zweiten Quartal der Jahre 2010 bis 2012 natürlicher Trockenstress auf. Deshalb führte die Tröpfchenbewässerung in der bewässerten Variante zu durchschnittlich 19% erhöhten Kornträgen. Der Versuchsaufbau war eine geeignete Alternative gegenüber *rain-out shelters*, da in 5 m^2 Parzellen über tausend Prüfglieder unter natürlichen, ortsspezifischen Bedingungen getestet werden konnte. Weiterhin wurde durch eine hohe Bestandesdichte, hohe N Düngung und die eingeschränkte Randomisation versucht, Bodenunterschiede zu minimieren. Allerdings konnten nur dann Bewässerungs-Effekte erzielt werden, wenn die Witterungsbedingungen entsprechend trocken waren. Signifikante Unterschiede zwischen den beiden Varianten „bewässert“ und „unbewässert“ konnten dabei in den meisten Fällen nachgewiesen werden, lediglich die Population B in Petkus (2010) und der Versuch in Walewice (2010), der durch ein Hochwasser beeinträchtigt wurde, stellten eine Ausnahme dar. Trotz der ackerbaulichen Maßnahmen lagen die Heritabilitäten der unbewässerten Variante der Populationen A und B deutlich unter denen der bewässerten Variante. Ebenso weisen die hohen genetischen Korrelationen in allen drei Populationen auf geringe genotypische Unterschiede für Trockenstresstoleranz hin (HÜBNER et al. 2013).

Das untersuchte Material des Saatelter-Formenkreises zeigte trotz des erheblichen Trockenstresses, der durch einen durchschnittlichen Ertragsunterschied von 19% dokumentiert wird, offensichtlich bereits eine erhöhte Toleranz. Immerhin wurden im Mittel noch $67\text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Pop. A) bzw. $62\text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Pop. B) in der unbewässerten Variante gedroschen. Eine Ursache ist sicherlich die fortwährende Selektion durch die Züchter, die routinemäßig immer auch auf leichten Standorten mit entsprechenden Stressfaktoren prüfen. Bei den gefundenen Korrelationen führt eine Selektion in „normalen“ Umwelten bis zu einem gewissen Maße auch zu verbesserten Erträgen unter Trockenstressbedingungen (CATTIVELLI et al. 2008). Um Roggen den klimatischen Veränderungen weiter anzupassen, ist aufgrund der hohen genetischen Korrelationen eine indirekte Selektion innerhalb des aktuellen Zuchtmaterials vorzuziehen. Zudem kann bei Verzicht auf die Trockenstressvariante der Prüfumfang

verdoppelt werden, was die Selektionsintensität erhöht. Die höheren Heritabilitäten innerhalb der bewässerten Variante erlauben zudem eine höhere Selektionsgenauigkeit. Deshalb lässt eine Selektion unter bewässerten Bedingungen einen höheren Selektionserfolg erwarten als eine Selektion unter Stressbedingungen und sollte rascher zu trocken-toleranten Genotypen führen (HARRER und UTZ 1990).

Danksagung

Die Autoren möchten sich herzlich bei den technischen Teams der KWS LOCHOW GmbH und der KWS LOCHOW POLSKA Sp. z o.o. für die hervorragende Unterstützung bei der Datenerhebung bedanken. Die diesem Bericht zugrundeliegenden Vorhaben wurden mit Mitteln des BM für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Förderkennzeichen 22013004) sowie des BM für Bildung und Forschung (Förderkennzeichen 0315445B) gefördert.

Literatur

- CATTIVELLI L, RIZZA F, BADECK F-W, MAZZUCOTELLI E, MASTRANGELO AM, FRANCA E, MARÈ C, TONDELLI A, STANCA AM, 2008: Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crop Res* 105, 1-14.
- DWD, 2011: Drought conditions in Europe 2011. Issued by WMO RA VI Pilot RCC on Climate Monitoring, Lead Centre DWD. Deutscher Wetterdienst, Offenbach. (Available at: <http://www.dwd.de-Suche>)
- ECOPORT, 2002: *Secale cereale*. Plant, ID1929. EcoPort Foundation, Inc. (Available at: <http://ecoport.org/ep>)
- HARRER S, UTZ HF, 1990: Modellstudie zur Züchtung von Low-Input-Sorten am Beispiel des Mais. 41. Arbeitstagung der Arbeitsgemeinschaft der Saatzuchtleiter im Rahmen der Vereinigung österreichischer Pflanzenzüchter, 20-22 Nov, 9-19. BAL Gumpenstein, Irnding.
- HÜBNER M, WILDE P, SCHMIEDCHEN B, DOPIERALA P, GOWDA M, REIF JC, MIEDANER T, 2013: Hybrid rye performance under natural drought stress in Europe. *Theor Appl Genet*, in press. DOI: 10.1007/s00122-012-1994-4
- UTZ HF, 2010: PLABSTAT. Computerprogramm für statistische Analyse für Pflanzenzüchtungsversuche. Institut für Pflanzenzüchtung, Saatgut-forschung und Populationsgenetik, Universität Hohenheim, Stuttgart.

Anmerkung: Die Online-Version des Tagungsbandes enthält Abbildungen in Farbe und kann über die Homepage der Jahrestagung (<http://www.raumberg-gumpenstein.at/> - Downloads - Fachveranstaltungen/Tagungen - Saatzüchertagung - Saatzüchertagung 2012) oder den korrespondierenden Autor bezogen werden.