

**Institut für Nutzpflanzenwissenschaft und Ressourcenschutz
Professur für Pflanzenzüchtung
Prof. Dr. J. Léon**

**QTL ANALYSIS OF DROUGHT TOLERANCE IN SPRING
WHEAT (*Triticum aestivum* L.)**

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Grades

Doktor der Agrarwissenschaften

(Dr. agr.)

der

Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät

der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

vorgelegt am 02.11.06

von

Seifeldin Elrayah Ibrahim Mohamed

aus dem Sudan

Erster Berichterstatter: Prof. Dr. Jens Léon
Zweiter Berichterstatter: PD. Dr. Folkard Asch
Tag der mündlichen Prüfung: 21.12.2006

Schriftenreihe des Institutes für
Nutzpflanzenwissenschaft und Ressourcenschutz

Band 9/2007

Seifeldin Elrayah Ibrahim Mohamed

**QTL Analysis of Drought Tolerance
in Spring Wheat (*Triticum aestivum* L.)**

Gedruckt mit Unterstützung des Deutschen Akademischen Austauschdienstes

D 98 (Diss. Universität zu Bonn)

Shaker Verlag
Aachen 2007

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Zugl.: Bonn, Univ., Diss., 2006

Copyright Shaker Verlag 2007

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-5887-0

ISSN 1619-9456

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen

Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9

Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

Abstract (in Deutsch)

Die Entwicklung von Weizensorten führte zu einer Verringerung der genetischen Varianz in den Kultursorten. Ziel der Arbeit war es die genetische Varianz von Dürre-Toleranz-Merkmalen aufzuzeigen. Um günstige exotische QTL-Allele in zwei AB-Populationen D84 und T84 zu identifizieren, die von Kreuzungen zwischen den deutschen Kultursommerweizen ‚Devon und Triso‘ und dem synthetischen hexaploiden Weizen mit der Akkzession Syn084 abstammen, wurde die Advanced-Backcross-QTL (AB-QTL) Analyse angewendet. In drei unabhängigen Untersuchungen wurden im Gewächshaus Daten von jeweils 177 (D84) und 223 (T84) Rückkreuzungslinien mit ‚normaler Bewässerung-‘ und ‚Trockenstress-Behandlung‘, in zwei aufeinanderfolgenden Jahren, Experiment 1 und 2 (2004 und 2005) und in nur einem Jahr Experiment 3 (2005) ausgewertet. Dabei wurden 11 agronomische, 7 morphologische Merkmale und die Kohlenstoff-Isotope untersucht. Parallel wurden die D84 und T84 Populationen mit 117 bzw. 102 SSR Marker genotypisiert, um genetische Unterschiede zwischen den Linien zu bestimmen. Die QTL-Analyse der einzelnen Marker (Single Locus) wurde mittels eines gemischten Modells verrechnet, wobei Marker und Bewässerung als fixe Effekte, AB-Linien geschachtelt in Markergenotyp und die Jahre als zufällige Effekte betrachtet wurden. In der QTL-Analyse wurden jeweils 81 und 68 QTL für 18 Merkmale sowohl in normalen Bewässerungs- und Trockenstressbehandlungen in den Populationen D84 bzw. T84 gefunden. Basierend auf dem Züchtungsziel des zu untersuchenden Merkmales und dem Verhalten der exotischen Allele unter normaler Bewässerung und Trockenstress, wurden die gefundenen QTL in dieser Studie in 4 QTL-Typen eingruppiert: (i) QTL Typ I, wobei das exotische Allel das Behandlungsziel unter normaler Bewässerung und Trockenstress verbesserte; (ii) QTL Typ II, wobei das exotische Allel das Behandlungsziel nur unter Trockenstress verbesserte; (iii) QTL Typ III, wobei das exotische Allel das Behandlungsziel nur normaler Bewässerung verbesserte und in QTL Typ (iv), wobei das exotische Allel das Behandlungsziel verschlechterte unter normaler Bewässerung und Trockenstressbehandlungen. Ausgehend von dieser Klassifizierung gehören 30, 13, 7 und 31 QTLs zu QTL Typ I, II, III, bzw. IV, die in D84 gefunden wurden, während 21, 4, 10 und 33 QTLs zu QTL Typ I, II, III bzw. IV, die in T84 bestimmt wurden. Die exotischen Allele bei den 30 QTL, die zu dem QTL Typ I gehören und wünschenswerte Effekte unter beiden Behandlungen erzielten, reichen in D84 unter normaler Bewässerung von 0,33% bis 27,2 % und unter Trockenstress von 1,0% bis 33,4%, während in T84 die exotischen Allele bei 21 QTLs, die zu QTL Typ I gehören und ebenfalls wünschenswerte Effekte bei den Behandlungen erzielten, unter normaler Bewässerung von 1,1% bis 18,8% bzw. bei Trockenstress von 0,9% bis 30,1% reichen. Obwohl Wildweizen phänotypisch dem Eliteweizen unterlegen ist, sind die Ergebnisse dieser Studie vielversprechend.

Es konnte gezeigt werden, dass die Ausweitung und Verbesserung der genetischen Basis von Kultursommerweizen in trockenen Regionen weiter entwickelt werden kann. Dies kann durch Identifizierung und Introgression von möglichen brauchbaren exotischen QTL Allelen mit günstigen Effekten bei Korntrag und auf Trockenheit bezogene Merkmale erreicht werden.

Abstract (in English)

Advanced backcross QTL (AB-QTL) analysis was applied to identify favorable exotic QTL alleles improving eleven agronomic traits, seven morphological seedling-root traits and carbon isotope discrimination under well-watered and drought-stress treatments in two AB population D84 and T84 derived from crosses between the two German spring wheat cultivars 'Devon and Triso' and the synthetic hexaploid wheat accession Syn084. In three independent experiments a total of 177 (D84) and 223 (T84) AB lines were evaluated under well-watered and drought-stress treatments in the greenhouse for two successive seasons to Experiment 1 and 2 (2004 and 2005) and for only one season to Experiment 3 (2005). Phenotypic data were collected on 19 measured traits throughout the three experiments. In parallel, the D84 and T84 populations were genotyped with 117 and 102 SSR markers, respectively, to detect genetic differences between the lines. A QTL analysis was applied using single point marker analysis (ANOVA) by means of three and four-factorial mixed model considering markers and water irrigation treatments as fixed effects and AB line nested in the marker genotype and years as random effects. The QTL analysis yielded a total of 81 and 68 QTLs for 18 traits in response to well-watered and drought-stress treatments in D84 and T84, respectively (Tables 7 and 10). Based on the breeding goal of the investigated trait and the performance of exotic QTL alleles under well-watered and drought-stress treatments, the detected QTLs in this study were grouped into (i) QTL type I at which the exotic allele improves the trait of interest under both well-watered and drought-stress treatments; (ii) QTL type II at which the exotic allele improves the trait of interest only under drought-stress treatment; (iii) QTL type III at which the exotic allele improves the trait of interest only under well-watered treatment; and (iv) QTL type IV at which the exotic allele deteriorates the trait of interest under both well-watered and drought-stress treatments. According to this QTL classification, 30, 13, seven and 31 QTLs belonging to QTL type I, II, III and IV, respectively, were detected in D84, whereas 21, four, ten and 33 QTLs belonging to QTL type I, II, III and IV, respectively, were detected in T84. In D84, the exotic alleles at the 30 QTLs belonging to QTL type I exhibited desirable effects under both treatments, ranging from 0.33% to 27.2% under well-watered and from 1.0% to 33.4% under drought-stress treatments, respectively, whereas in T84 the exotic alleles at 21 QTLs belonging to QTL type I had desirable effects under both treatments, ranging from 1.1% to 18.8% under well-watered and from 0.9% to 30.1% under drought-stress treatments, respectively. Although wild wheat germplasm is phenotypically inferior to elite wheat germplasm, it is noteworthy that the results in this study, demonstrated that broadening and improving the genetic base of cultivated spring wheat in drought-prone environments can be pursued through identification and introgression of potentially useful exotic QTL alleles with favorable effects on grain yield and drought-related traits.

TABLE OF CONTENTS

ABSTRACT (IN DEUTSCH)	I
ABSTRACT (IN ENGLISH)	III
1. INTRODUCTION, LITERATURE REVIEW AND OBJECTIVES	1
1.1 INTRODUCTION	1
1.2 LITERATURE AND REVIEW	3
1.2.1 WHEAT	3
1.2.2 DROUGHT AS A PRODUCTION LIMITING FACTOR	3
1.2.3 PLANT ADAPTABILITY TO DROUGHT STRESS	4
1.2.4 STRATEGIES OF DROUGHT TOLERANCE	4
1.2.4.1 DEHYDRATION TOLERANCE	5
1.2.4.2 DEHYDRATION AVOIDANCE	6
1.2.4.3 DROUGHT ESCAPE	6
1.2.5 DROUGHT-ADAPTIVE TRAITS	7
1.2.6 GENETIC MARKERS	8
1.2.7 HYBRIDIZATION BASED MARKERS	9
1.2.8 PCR-BASED MARKERS	10
1.2.8.1 RANDOM AMPLIFIED POLYMORPHIC DNA (RAPDs)	10
1.2.8.2 AMPLIFIED FRAGMENT LENGTH POLYMORPHISM (AFLPs)	11
1.2.8.3 MICROSATELLITES OR SIMPLE SEQUENCE REPEATS (SSRs)	13
1.2.8.4 SINGLE NUCLEOTIDE POLYMORPHISM (SNP)	14
1.2.9 LINKAGE MAPS	14
1.2.10 QUANTITATIVE TRAIT LOCI ANALYSIS	15
1.2.11 METHODS TO DETECT QTLs	15
1.2.11.1 SINGLE-MARKER ANALYSIS	16
1.2.11.2 SIMPLE INTERVAL MAPPING (SIM)	16
1.2.11.3 COMPOSITE INTERVAL MAPPING (CIM)	16
1.2.12 MAKER-ASSISTED SELECTION FOR DROUGHT TOLERANCE	17
1.2.13 ADVANCED BACKCROSS QTL ANALYSIS	18
1.2.14 OBJECTIVES	19
2. MATERIALS AND METHODS	20
2.1 PLANT MATERIALS	20

2.2	POPULATION DEVELOPMENT	20
2.3	DNA ISOLATION	21
2.4	SSR MARKERS	21
2.5	POLYMERASE CHAIN REACTION (PCR).....	21
2.6	GEL ANALYSIS	22
2.7	SCORING OF SSR MARKERS	22
2.8	DESCRIPTION OF EXPERIMENTS	22
1.8.1	LOCATION, YEARS AND TREATMENTS.....	23
1.8.2	LAYOUT OF EXPERIMENTS.....	23
1.8.3	EXPERIMENT 1	23
1.8.4	EXPERIMENT 2.....	24
1.8.5	EXPERIMENT 3.....	24
2.9	STATISTICAL ANALYSIS.....	25
2.10	DEFINITION OF EXOTIC QTL ALLELES.....	27
3.	RESULTS	28
3.1	PHENOTYPIC TRAIT VARIATION	28
3.2	GENETIC CORRELATIONS AMONG TRAITS	33
3.2.1	GENETIC CORRELATIONS AMONG TRAITS IN D84	33
3.2.2	GENETIC CORRELATIONS AMONG TRAITS IN T84.....	34
3.3	DETECTION OF QTLs	37
3.3.1	QTL ANALYSIS IN POPULATION D84.....	37
3.3.2	QTL ANALYSIS IN POPULATION T84.....	56
4.	DISCUSSION	73
4.1	QTL ANALYSIS: STATISTICAL MODEL	73
4.2	COMPARISON OF QTLs IN THE POPULATION D84.....	74
4.3	COMPARISON OF QTLs IN THE POPULATION T84	80
4.4	CONSERVATION OF QTLs ACROSS POPULATIONS D84 AND T84.....	85
4.5	UTILITY OF AB-QTL STRATEGY TO IMPROVE TOLERANCE OF SPRING WHEAT TO DROUGHT	86
5.	SUMMARY	89
6.	REFERENCES.....	91
7.	LIST OF FIGURES.....	102

8. LIST OF TABLES	102
9. ABBRIAVATIONS	103
10. APPENDIX.....	104
11. ACKNOWLEDGEMENTS	111