

Diss. ETH Nr. 11286

**Physiological and genetic studies on
early vigour of
Triticum aestivum L. and *Triticum spelta* L.**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZÜRICH

for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by

Christian Beglinger

Dipl. Ing. Agr. ETH Zürich (Switzerland)
born May 19, 1964
citizen of Mollis (GL)

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. P. Stamp, examiner
Prof. Dr. M. Wolfe, co-examiner
Dr. J.E. Schmid, co-examiner

Zürich, 1995

1. SUMMARY

In rainy and cold regions of central and northern Europe, *Triticum spelta* L. has been the traditional cereal crop for centuries. In the hilly regions of alemanic Switzerland, spelt is still grown for bread, but its agronomic quality has remained rather low. The aim of ongoing breeding programmes is to reduce lodging while maintaining good product quality and adaptation to marginal regions. Little is known about the physiological basis of adaptation to harsh conditions. This study focussed on early vigour, which differs for wheat (*T. aestivum* L.) and spelt (*T. spelta* L.), and on the main morphological differences between the two species, these being the spelt factor (*Q/q*) and the *Tenacious glume* (*Tg*) gene.

Two sets of cultivars of wheat (Arina, Bernina, Forno) and spelt (Altgold, Oberkulmer, Rouquin) were described morphologically and submitted to laboratory tests to determine the coleoptile growth rate under normoxia and hypoxia. The cultivars were characterised using RFLP. A cross of Arina x Oberkulmer was used to construct genetic maps and to map possible quantitative trait loci (QTL) for the coleoptile growth rate and the length of the ear internodes. Colouration of the pericarp and the culm by anthocyanin proved to be typical of spelt cultivars, but no linkage to the examined morphological and physiological traits was found.

The length of the ear internodes was identified as being a main morphological effect of *Q/q* on the ear which is the principal organ used to differentiate wheat and spelt.

The coleoptile growth rate of wheat cultivars was 77% of that of spelt cultivars on wet filterpaper in the dark at 22°C. Reciprocal F₁ crosses of wheat and spelt revealed a limited maternal effect on the coleoptile growth rate. The growth rate of the emerged primary leaf of wheat and spelt was not significantly different.

A laboratory test imitating germination and early growth in wet soils was developed by using a gas flow mixture of 1% O₂/99% N₂ in a closed system at 22°C in the dark. Spelt cultivars showed a markedly higher tolerance to the reduced oxygen supply (hypoxia) by developing 17% of their usual biomass as compared to normoxia, while wheat cultivars developed 10% of their usual biomass. Thus, modern wheat and old spelt cultivars were clearly different as far as hypoxia tolerance was concerned.

The RFLP screening of all the genomes of the two sets of cultivars showed that

24% of the loci were monomorphic within the cultivar sets but polymorphic between the sets.

Genetic maps of chromosomes 1BS, 2A, 2B, 2D, 3A, 3B, 3D, 4A, 5A, 6AS, 6BS, and 6D were constructed from the segregation data of 132 F₂ Arina x Oberkulmer plants.

Based on those RFLP maps, a QTL affecting the length of ear internodes was mapped on chromosome 5A and linked to the spelt factor *Q/q*. The modification of effects on the action of *Q/q* will be discussed.

A major QTL for the coleoptile growth rate was mapped on 2D. Linkage to *Tenacious glume* is postulated. At marginal locations, plants with fast growing coleoptiles of evolving populations were favoured independent of their linkage to *Tenacious glume*. The coleoptile growth rate correlated with the shape of the caryopses (elongation) and was used to some extent as a marker for the former trait in wheat and spelt crosses.

Hypoxia tolerance was inherited quantitatively in the F₂ population. A QTL distinct from the underlying fast coleoptile growth on 2D was mapped on chromosome 3AS. Hypoxia tolerance is not linked to known spelt characters and is also found in old wheat cultivars.

The results will be discussed in terms of agronomic importance and general stress resistance.

ZUSAMMENFASSUNG

In den regenreichen und kalten Regionen Mittel- und Nordeuropas war Dinkel (*T. spelta* L.) während Jahrhunderten die dominierende Brotfrucht. Zur Erhaltung dieser Kulturart müssen in den laufenden Zuchtprogrammen - unter Beibehaltung der typischen Produktequalität und der Robustheit - Fortschritte erzielt werden.

Über die physiologischen Ursachen der Anpassungsfähigkeit des Dinkels an solche Grenzlagen ist wenig bekannt. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die frühe Jugendentwicklung von Weizen und Dinkel und auf die hauptsächlich morphologischen Unterschiede zwischen den Arten, dem Spelz-Faktor (*Q/q*) und dem Gen für Spelzenschluss, *Tenacious glume* (*Tg*).

Eine Auswahl von je drei Weizen- (Arina, Bernina, Forno) und Dinkelsorten (Altgold, Oberkulmer, Rouquin) wurde morphologisch beschrieben.

Die Färbung des Perikarps und des Halmes durch Anthocyane wurde als dinkeltypisch erkannt, aber es konnte keine Verbindung zu den untersuchten morphologischen und physiologischen Eigenschaften hergestellt werden.

Die Länge der Ähreninternodien wurde als Mass zur Beschreibung der Wirkung von *Q/q* auf die Ähre, dem Organ mit den auffälligsten Unterschieden zwischen Weizen und Dinkel, herangezogen.

In Laborversuchen (22°C, Dunkelheit, Unterlage: nasses Filterpapier) war die Wachstumsrate der Koleoptilen der Weizensorten, unabhängig von der Temperatur, 77% von derjenigen der Dinkelsorten. Reziproke F_1 -Kreuzungen von Weizen und Dinkel zeigten einen beschränkten maternalen Effekt für die Koleoptilenwachstumsrate. Die Wachstumsrate des Primärblattes war für Weizen und Dinkel vergleichbar.

Ein Labortest sollte die Keimung und das frühe Wachstum in durchnässten Böden imitieren. Dazu wurde ein Mischgasstrom von 1% $O_2/99\%$ N_2 durch ein geschlossenes System bei 22°C und Dunkelheit geblasen. Dinkelkeimlinge erreichten bei eingeschränkter Sauerstoffversorgung (Hypoxia) 17% der in der Umgebungsluft produzierten Biomasse, während Weizensorten 10% bildeten. Moderne Weizensorten und alte Dinkelsorten formten demnach zwei unterscheidbare Gruppen bezüglich ihrer Hypoxia-Toleranz.

Um die Weizen und Dinkel unterscheidenden Eigenschaften zu kartieren, wurden RFLPs, verteilt über das ganze Genom, gesucht. 24% der geprüften Sonden zeigten arttypische Polymorphismen, d.h. waren monomorph innerhalb der Art, aber

polymorph zwischen Weizen und Dinkel. Basierend auf 132 F₂ Arina x Oberkulmer Pflanzen wurden genetische Karten der Chromosomen 1BS, 2A, 2B, 2D, 3A, 3B, 3D, 4A, 5A, 6AS, 6BS und 6D konstruiert.

Ein QTL, der die Internodienlänge der Ähre beeinflusst, wurde auf 5A kartiert und in Zusammenhang mit *Q/q* gebracht. Modifizierende Einflüsse auf die Wirkung von *Q/q* wurden diskutiert. Auf 2D wurde ein bedeutender QTL der Wachstumsrate der Koleoptile kartiert; Koppelung zum Gen *Tenacious glume* wird postuliert.

In einer Grenzlage des Ackerbaues steigerte sich in Evolutionsstämmen der Anteil schnell wachsender Koleoptilen unabhängig vom Spelzenschluss *Tg*. Die Form der Karyopse (die Streckung im speziellen) wird als morphologischer Marker für die Koleoptilenwachstumsrate und den Spelzenschluss in Weizen x Dinkel-Kreuzungen vorgeschlagen.

Hypoxia-Toleranz wurde in einer F₂ Weizen x Dinkel-Population quantitativ vererbt und ein QTL, unterscheidbar von der überlagerten Koleoptilenwachstumsrate, wurde auf Chromosom 3A kartiert. Hypoxia-Toleranz konnte nicht mit bekannten Dinkel-eigenschaften in Verbindung gebracht werden und wurde auch in alten Weizensorten gefunden.

Die Resultate werden bezüglich ihrer agronomischen Bedeutung vor dem Hintergrund allgemeiner Stressresistenz diskutiert.