

Diss. ETH No 9790

**NITROGEN EFFICIENCY OF SPRING WHEAT
GENOTYPES (*Triticum aestivum* L.)**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZÜRICH
for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by

MARIANNE BÄNZIGER
dipl. Ing. Agr. ETH Zürich (Switzerland)
born September 1, 1964
citizen of Reute (AR)

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. P. Stamp, examiner
Prof. Dr. J. Nösberger, co-examiner

Zürich, 1992

2 SUMMARY

In breeding programs of wheat, considerable emphasis is being placed on improving N content in the grains without increasing the N input. A major problem in such programs is to combine high grain yield with high grain protein concentration (GPC). Numerous studies indicate a negative correlation between these traits. The underlying basis for this relationship has not been clearly enunciated. The aim of the present study was to evaluate the relative importance of physiological and environmental constraints for the improvement of grain N content in wheat. The focus of the investigation was on post-floral N accumulation.

N accumulation and N remobilization of eleven spring wheat genotypes were investigated in field experiments in 1989 and 1990 under two early (until tillering) and two late (at heading) N regimes. Mineral N content in the soil was analyzed. Genotypic variability in grain N content was determined to a greater extent by N accumulation than by N remobilization. Genotypic differences in grain N content were significant only with low early N supply. With high early N supply, genotypic variation in N accumulation decreased between anthesis and maturity, resulting in non-significant differences in N accumulation and grain N content at maturity. Determination of mineral N content in the soil to a depth of 100 cm showed that, by flowering and without N application at heading, the soil was depleted of mineral N to values between 22 and 33 kg N ha⁻¹. Post-floral N accumulation under each N regime was shown to be dependent on actual mineralization or N resources in deeper soil layers.

More detailed investigations of mineral N in the soil (0-100 cm depth) were conducted for two genotypes in three field experiments in 1990 and 1991 with the same N regimes.

Independent of the early N regime, residual mineral N at anthesis were consistently below 30 kg N ha⁻¹. Varietal differences in mineral N of the various soil layers were hardly traceable and practically disappeared by maturity. Dynamics of mineral N during the prefloral period in 1991 suggested a very efficient exploration of the soil by the roots with the onset of stem elongation. At the latest by flowering, N supply was supposed to restrict N uptake from the investigated soil layers. Apparent N mineralization revealed that the examined plant-soil system

had been deprived of considerable amounts of nitrogen by processes like microbial immobilization, leaching or volatilization *before* the plants could take it up.

To evaluate physiological constraints of the post-floral N accumulation of wheat, four genotypes were examined in 1990 and 1991 under nine N regimes consisting of three early (40; 90; 140 kg N ha⁻¹ until EC 23) and three late (0; 50; 100 kg N ha⁻¹ at EC 55) N levels.

Comparison of N and NO₃⁻ content in the plant at anthesis indicated that the accumulation rate of late N applications was determined by the NO₃⁻ assimilation rate. During grain-filling, late, infertile tiller production was the only factor which influenced the genotype-specific utilization of late N application although genotypes differed in above-ground senescence and biomass. Final amounts of total and post-heading N accumulation were determined less by the N accumulation capacity of the crop than by the availability of soil N. N harvest index was not reduced by late N application.

In the same experiment, the energetic competition between N accumulation and formation of grain yield was investigated.

N application at heading reduced the content of water soluble carbohydrates (WSC) at anthesis. During grain-filling, differences in the stem WSC content between late N levels became smaller and disappeared 320 day-degrees after anthesis even though N metabolism was accelerated by late N after anthesis as well. Measurement of photosynthesis in 1991 and the comparison of N assimilation with the decline of WSC content in both years indicated that CO₂ fixation of the canopy was increased by late N. Late N application resulted generally in higher grain yields.

Conclusions were drawn by examining genotypic variability of grain yield and grain N content of the eleven genotypes in the experiments of 1989 and 1990.

Characteristics of N metabolism generally accounted for little of the genotypic variability in grain yield. Genotypic variability in grain yield, measured by coefficients of variation (CV), exceeded genotypic variability in grain N content under each N regime and in both years. The higher the ratio of $CV_{\text{grain yield}}/CV_{\text{grain N content}}$ was, the stronger the correlation between grain yield and GPC. Examination of potential N resources for a higher grain N content indicated that the expression of genotypic variability in grain N content was restricted by the availability of nitrogen. It was concluded that the negative correlation between grain yield and GPC is the phenotypic result of a higher variability in grain yield parameters as compared to the variability in N efficiency parameters.

ZUSAMMENFASSUNG

In der Weizenzüchtung wird besonderer Wert auf die Verbesserung der Korn-N-Menge (Kornproteinmenge) bei gleichbleibender N-Düngung gelegt. In entsprechenden Zuchtprogrammen stellt sich das Problem, ertragsstarke Weizensorten mit hohen Kornproteingehalten zu erzielen. Zahlreiche Studien weisen auf eine negative Korrelation zwischen diesen zwei Merkmalen hin. Die Grundlagen dieser Beziehung wurden bisher nicht eindeutig aufgezeigt. Das Ziel dieser Arbeit war es, die relative Bedeutung von physiologischen und umweltbedingten Limitierungen für eine Erhöhung der Korn-N-Menge von Weizen genotypen aufzuzeigen. Der Schwerpunkt der Untersuchungen wurde auf die Nachblüte-N-Akkumulierung gelegt.

In Feldversuchen während den Jahren 1989 und 1990 wurden N-Akkumulierung und N-Remobilisierung von elf Sommerweizen-Genotypen bei zwei frühen (bis Bestockung) und zwei späten (bei Aehrenschieben) N-Stufen untersucht. Zusätzlich wurde der mineralische N-Gehalt (N_{min}) im Boden überwacht.

Die genotypische Variabilität der Korn-N-Menge war allgemein stärker durch die N-Akkumulierung als die N-Remobilisierung bestimmt. Genotypische Unterschiede in der Korn-N-Menge wurden nur bei tiefem frühen N-Angebot festgestellt. Bei hohem N-Angebot im Jugendstadium verringerte sich die genotypische Variabilität zwischen Blüte und Reife, so dass bei Reife keine Unterschiede in N-Akkumulierung und Korn-N-Menge mehr festgestellt werden konnten. Der N_{min} -Gehalt im Boden (0-100 cm Tiefe) bei Blüte zeigte, dass der Boden in den N-Regimen ohne Spätgabe bis auf Werte zwischen 22 und 33 kg N ha⁻¹ entleert war. Die Nachblüte-N-Aufnahme war in jedem N-Regime auf N-Mineralisierung oder auf Stickstoff in tieferen Bodenschichten angewiesen.

Bei zwei Genotypen wurden bei denselben N-Regimen in drei Feldversuchen 1990 und 1991 genauere Untersuchungen des N_{min} -Gehalts im Boden (0-100 cm Tiefe) durchgeführt.

Unabhängig vom frühen N-Regime waren bei Blüte in jedem Versuch weniger als 30 kg ha⁻¹ Rest-N-Menge im Boden vorhanden. Genotypische Unterschiede waren in den verschiedenen Bodenschichten bei Blüte kaum nachweisbar; bei Reife waren sie praktisch verschwunden. Der Verlauf des N_{min} -Gehaltes während der

Vorblüteperiode 1991 wies auf eine sehr effiziente Erschließung des Bodens durch die Wurzeln nach Beginn Schossen hin. Spätestens bei Blüte konnte angenommen werden, dass die N-Aufnahme aus den untersuchten Bodenschichten durch das N-Angebot limitiert war. Die Berechnung der apparenten N-Mineralisierung zeigte, dass beträchtliche N-Mengen durch Prozesse wie mikrobielle Fixierung, Auswaschung oder über die Gasphase dem untersuchten Boden-Pflanzen-System entzogen worden waren, bevor die Pflanzen diesen Stickstoff aufnehmen konnten.

Um physiologische Einschränkungen in der Nachblüte-N-Akkumulierung von Weizen feststellen zu können, wurden 1990 und 1991 vier Genotypen unter Kombinationen von frühen (40, 90, 140 kg N ha⁻¹ bis EC 23) und späten (0, 50, 100 kg N ha⁻¹ bei EC 55) N-Stufen untersucht.

Der Vergleich der N- und NO₃⁻-Gehalte in den Pflanzen bei Blüte wies darauf hin, dass die Akkumulierungsrate von spät appliziertem Stickstoff durch die NO₃⁻-Assimilationsrate bestimmt war. Während der Kornfüllungsphase war die Bildung von Nachschossern der einzige Faktor, der die Genotyp-spezifische Ausnutzung der Spätdüngung beeinflusste, obwohl die Genotypen sich in ihrer oberirdischen Abreife und Biomasse unterschieden. Die endgültigen Mengen an totaler und Nachblüte-N-Akkumulierung waren weniger durch die N-Akkumulierungskapazität der Pflanzen als durch die Verfügbarkeit von Stickstoff im Boden bestimmt. Der N Harvest-Index wurde durch die Spätdüngung nicht reduziert.

Im gleichen Experiment wurde die energetische Konkurrenz zwischen N-Akkumulierung und Ertragsbildung untersucht.

N-Düngung bei Ährenschieben reduzierte den Gehalt an wasserlöslichen Kohlehydraten (WSC) bei Blüte. Während der Kornfüllungsphase verringerten sich die Unterschiede im Halm-WSC-Gehalt zwischen den Spät-N-Stufen und waren 320 Tagesgrade nach Blüte nicht mehr nachweisbar, obwohl der N-Umsatz der Pflanzen mit Spätdüngung auch nach der Blüte noch forciert war. Photosynthesemessungen (1991) und der Vergleich der N-Assimilation mit der Reduktion der WSC-Reserven (in beiden Jahren) wiesen darauf hin, dass die CO₂-Fixierungsleistung der Pflanzen durch die Spätdüngung erhöht war. Mit Spät-N-Düngung wurden generell höhere Kornerträge erzielt.

Mit der Untersuchung der genotypischen Variabilität von Kornertrag und Korn-N-Menge der elf Genotypen in den Versuchen von 1989 und 1990 wurden die Schlussfolgerungen gezogen.

Merkmale des N-Metabolismus erklärten allgemein wenig der genotypischen Variabilität des Kornertrages. Die genotypische Variabilität im Kornertrag, die mittels Variationskoeffizienten (CV) bestimmt wurde, überstieg in allen N-Regimen und in beiden Jahren die genotypische Variabilität der Korn-N-Menge. Je höher das Verhältnis von $CV_{\text{Kornertrag}}/CV_{\text{Korn-N-Menge}}$ war, desto enger war die Korrelation zwischen Kornertrag und Kornproteingehalt. Die Untersuchung der potentiellen N-Ressourcen für eine Erhöhung der Korn-N-Menge zeigte, dass die genotypische Variabilität in der Korn-N-Menge durch die Verfügbarkeit von Stickstoff eingeschränkt wurde. Es wurde gefolgert, dass die negative Korrelation zwischen Kornertrag und Kornproteingehalt das phänotypische Resultat einer höheren Variabilität von Kornertragsparametern gegenüber der Variabilität von N-Effizienzparametern ist.