



Doctoral Thesis

## Osmotische Anpassung und Wachstum von Weizen unter Trockenheitsstress

**Author(s):**

Jenka, Boris

**Publication Date:**

1985

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000342606> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 7728

OSMOTISCHE ANPASSUNG UND WACHSTUM  
VON WEIZEN  
UNTER TROCKENHEITSTRESS

ABHANDLUNG  
zur Erlangung des Titels eines  
Doktors der Naturwissenschaften  
der  
EIGENÜSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von  
BORIS JENKA  
dipl. Natw. ETH  
geboren am 22. Juni 1954  
von Winterthur (ZH)

Angenommen auf Antrag von  
Prof. Dr. J.J. Oertli, Referent  
PD Dr. A. Gigan, Korreferent

Zürich 1985

## 5. ZUSAMMENFASSUNG

Zwei Weizensorten *Triticum aestivum* L. cv. Condor und cv. Avocet wurden in Klimakammern (24/18 °C, 14 h Photoperiode bei  $400 \mu\text{E m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ , 60% relative Luftfeuchtigkeit) Austrocknungsperioden ausgesetzt. Zwei Stressentwicklungen - schwacher und starker Stress - wurden in Töpfen von 1,5 und 3 Litern Volumen erzeugt. Bei langsamer Stressentwicklung wurden langfristige Reaktionen der Pflanzen an immer physiologisch gleichaltrigen, unter Stress gewachsenen Geweben untersucht.

Zwei Messapparaturen wurden gebaut: eine Anlage zur kontinuierlichen Erfassung des Blattlängenwachstums und eine Psychrometeranlage zur Messung von Wasserpotentialkomponenten an 50 Proben gleichzeitig.

Nur geringfügige Unterschiede ergaben sich in der Reaktion beider Sorten auf Trockenheitsstress. Folgende Ergebnisse gelten für beide Sorten.

1. Die Stressentwicklung ist verschieden in adulten und wachsenden Blättern und Wurzeln.

Schwacher Stress (Gesamtwasserpotential etwa -20 bar): Der Turgor bleibt in adulten und wachsenden Blättern und Wurzeln voll aufrechterhalten.

Starker Stress (Gesamtwasserpotential -35 bis -45 bar): In wachsenden Geweben wird der Turgor voll (Blätter) oder teilweise (Wurzeln) aufrechterhalten. In adulten Blättern und Wurzeln sinkt er rasch unter Null ab. Grosse hydraulische Widerstände bestehen zwischen wachsenden und adulten Blättern, wo die Gesamtwasserpotentiale bis um 15 bar tiefer liegen als in wachsenden Blättern.

2. Bei Trockenheitsstress werden in Wurzeln wesentlich tiefere Gesamtwasserpotentiale als in Blättern gemessen (Gradient bis 15 bar). Ein geringer Transpirationsfluss von 2-3  $\text{cm}^3$  pro Pflanze und Tag ist trotzdem gewährleistet. Interpretation: Die Gradienten im Xylem beruhen auf der osmotischen Potentialkomponente, die als treibende Kraft für den Volumenfluss unwirksam ist. Die Gradienten der einzig wirksamen Druckkomponente entsprechen dem Transpirationsfluss.

3. Die osmotische Anpassung adulter Blätter - gemessen bei vollem Turgor - beträgt maximal 8-12 bar. Der Wassergehalt der Blätter bei Wassersättigung nimmt während dieser Anpassung gegenüber bewässerten Kontrollpflanzen um 15-30% ab. Die osmotische Anpassung in adulten Blättern erklärt sich vorwiegend aus der irreversiblen Reduktion des Zellvolumens durch verminderte Zellstreckung.

4. Die osmotische Anpassung wachsender Blätter ist nicht quantifizierbar, weil das Zellvolumen den verfügbaren Osmotika angepasst wird, und der Turgor auf diese Weise aufrechterhalten wird. Sowohl der Osmotikagehalt als auch das osmotische Volumen sind variabel.

5. Die osmotische Anpassung kann nur auf Kosten des Wachstums den Turgor aufrechterhalten. Ihre Bedeutung liegt in der Befähigung der Pflanze zum reproduktiven Überleben und nicht in der kurzfristigen Beibehaltung des maximalen Wachstums.

6. Trotz voller Turgoraufrechterhaltung in wachsenden Blättern nimmt das Blattlängenwachstum auf etwa 50% der bewässerten Kontrollpflanzen beim schwachen Stress (Gesamtwasserpotential des adulten Blattes etwa -20 bar) und auf 1-8% beim starken Stress (etwa -45 bar) ab.

7. Glukose, Fruktose, Saccharose (Summe = Zucker), Kalium, Kalzium, Magnesium und Natrium wurden in Heißwasserextrakten aus adulten und wachsenden Blättern analysiert. Natrium, Kalzium und Magnesium sind osmotisch unbedeutend. Folgende Angaben gelten für schwachen und starken Stress.

Adulte Blätter: Unter Trockenheitsstress steigen die Zuckergehalte von etwa 100 auf etwa 200-400  $\mu\text{Mol/g}$  Trockenmasse an. Die Kaliumgehalte nehmen von etwa 1300 auf etwa 900  $\mu\text{Mol/g}$  ab.

Wachsende Blätter: Den Zuckerzunahmen von etwa 100-200 auf etwa 600-1000  $\mu\text{Mol/g}$  stehen Kaliumabnahmen von etwa 1300-1600 auf etwa 200-700  $\mu\text{Mol/g}$  im Verlauf von Stressperioden gegenüber. Ungenügende Kaliumversorgung der Wachstumszone ist offensichtlich.

Auf den aktuellen Wassergehalt bezogen, ergeben sich im Stressverlauf steigende Kaliumkonzentrationen in adulten Blättern, jedoch weitgehend konstante oder leicht abnehmende Kaliumkonzentrationen in wachsenden Blättern.

8. Die Reduktion des Blattlängenwachstums unter Trockenheitsstress ist mit der starken Abnahme des Kaliumgehaltes in den Wachstumszonen korreliert. Nach Wiederbewässerung erholt sich das Blattlängenwachstum erst mit dem Anstieg des Kaliumgehaltes im wachsenden Blatt und nicht schon mit der Erholung des Gesamtwasserpotentials und des Turgors, die 1-2 Tage früher erfolgen. Die reduzierte Kaliumverfügbarkeit in der Wachstumszone und somit der ungenügende Kaliumtransport werden als mögliche unmittelbare Ursachen der Wachstumsreduktion unter Trockenheitsstress identifiziert.

9. Die Reduktion der Nettoassimilationsrate (physiologische Komponente) und die Reduktion des Blattflächenverhältnisses (morphologische Komponente) sind im ähnlichen Ausmass an der Reduktion der relativen Wachstumsrate der Gesamttrockenmasse unter Trockenheitsstress beteiligt.

10. Folgende Ursachen ergeben sich für die Reduktion des Blattflächenverhältnisses unter Trockenheitsstress: Die relative Wachstumsrate der Blattfläche ist stressempfindlicher als die relative Wachstumsrate der Gesamttrockenmasse. Die Trockenmasse wird relativ mehr in photosynthetisch inaktive Teile investiert, die auch sehr wenig Wasser durch die Transpiration abgeben (Blattscheiden, Sprossachse, Wurzeln). Die Blattspreiten werden unter Trockenheitsstress skleromorpher.

11. Die relative Wachstumsrate der Wurzel-trockenmasse ist anfangs der Stressperioden weniger stressempfindlich als die relative Wachstumsrate der Spross-trockenmasse. Das Wurzelwachstum wird durch leichten Stress gefördert. Ein erhöhtes Wurzel/Spross-Verhältnis ergibt sich als Folge von Trockenheitsstress.

12. Trotz starker Beeinträchtigung des vegetativen Wachstums durch Trockenheitsstress (Reduktion der Gesamttrockenmasse bis um 75% gegenüber bewässerten Kontrollen) ergeben sich nach Wiederbewässerung bei einer um 3-5 Tage verspäteten Reife nur geringfügige Einbussen im Korn- und Trockenmassenertrag. Diese Entwicklungsplastizität beruht auf - verglichen mit ständig bewässerten Kontrollpflanzen - einer grösseren Nettoassimilationsrate und einer grösseren relativen Wachstumsrate der Blattfläche sowie einer raschen Erholung des Blattflächenverhältnisses nach Wiederbewässerung.

13. Das expansive Blattwachstum unter Trockenheitstress wird als Selektionskriterium für trockenheitsangepasste Sorten in Frage gestellt. Hingegen wird die Entwicklungsplastizität nach Stressaufhebung als Selektionskriterium hoher Priorität vorgeschlagen.

13. Die Trockenheitsanpassung der Pflanzen ergibt sich aus der Interaktion vieler Anpassungsmechanismen, deren relative Wichtigkeit sich nach dem Timing und der Länge der Stressperioden richtet. Die Trockenheitsanpassung resultiert aus der Optimierung des Energieflusses durch die Pflanze. Seine Grössenordnung ist durch die Wasserverfügbarkeit vorbestimmt. Nur langsame Ertragserhöhungen sind darum in Trockengebieten als Resultat des Optimierungsprozesses zu erwarten.

SUMMARYOSMOTIC ADJUSTMENT AND GROWTH OF WHEAT UNDER DROUGHT STRESS

Two wheat cultivars Triticum aestivum L. cv. Condor and cv. Avocet were subjected to gradual drought in growth chambers (24/18 °C day/night temperature, 14 hours photoperiod at  $400 \mu\text{E m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ , 60% relative humidity). Two rates of drought stress were applied by using pots of 1,5 litre (severe stress) and 3 litre (mild stress) in volume. The long term response of plants was studied. Tissues of the same physiological age (grown under stress) were always investigated.

Two measurement devices were built: an instrument for continuous recording of leaf elongation and a psychrometer unit for water potential measurements at 50 samples simultaneously.

The differences in all stress responses measured between the two cultivars were very small. The following results refer to the response of the two cultivars.

1. The stress development is different in adult and growing leaves and roots.

Mild stress (total water potential about -20 bar): Turgor is fully maintained in adult and growing tissues.

Severe stress (total water potential about -40 bar): In growing tissues turgor is fully (leaves) or partly (roots) maintained. In adult leaves and roots, however, turgor declines below zero very rapidly. High hydraulic resistances occur between growing and adult leaves, where the total water potential is up to 15 bar lower than in growing leaves.

2. Under drought stress the total water potential in roots is markedly lower than in leaves (gradients up to 15 bar). Nevertheless a small transpiration flow of about 2-3 cm<sup>3</sup> per plant and day occurs. Interpretation: The gradients in the xylem are based on the osmotic potential component which is ineffective as driving force for the volume flow. The gradients of the only effective pressure component, however, correspond to the transpiration flow.

3. Osmotic adjustment in adult leaves - measured at full turgor - amounts to 8-12 bar maximum. The leaf water content at full turgidity declines during this adjustment by 15-30% as compared with well watered controls. Osmotic adjustment in adult leaves is mainly explained by the irreversible reduction in cell volume due to reduced cell expansion.

4. Osmotic adjustment in growing leaves cannot be quantified because, in order to maintain turgor, the cell volume adjusts to the available solutes. Solute content as well as osmotic volume are variables in growing tissues.

5. Osmotic adjustment can maintain turgor only at the cost of reduced growth. The significance of osmotic adjustment is not to maintain maximum growth but to support reproductive survival under drought at reduced growth rates.

6. Despite full turgor maintenance in growing leaves the leaf elongation declines to 50% of watered controls in mild stress (total water potential of adult leaves -20 bar) and to 1-8% at severe stress (-45 bar).

7. Glucose, fructose, sucrose (sum = sugars), potassium, calcium, magnesium and sodium were analyzed in hot water extracts of adult and growing leaves. Sodium, calcium and magnesium are negligible from the osmotic point of view. Following results are typical for mild and severe stress periods.

Adult leaves: Under drought stress the sugar contents increase from about 100 to about 200-400  $\mu\text{Mol/g}$  dry matter. The potassium contents decline from about 1300 to about 900  $\mu\text{Mol/g}$ .

Growing leaves: During stress periods the sugar contents increase from about 100-200 to about 600-1000  $\mu\text{Mol/g}$  dry matter. The potassium contents decline from 1300-1600 to about 200-700  $\mu\text{Mol/g}$ . A limited potassium supply to the growing zone is obvious.

On the basis of the ambient water content potassium concentrations increase in adult leaves but remain constant or slightly decrease in growing leaves during stress.

8. The reduction of leaf elongation under drought and the decline in potassium contents of the growing leaves occur in parallel. Upon rewatering leaf elongation recovers only together with the recovery of the potassium contents in growing leaves and not already with the recovery of total water potential and turgor potential which occurs 1-2 days earlier. The reduced potassium availability in growing zones resulting from ineffective potassium transport is possibly the direct cause of reduced leaf elongation under drought.

9. The reduction in net assimilation rate (physiological component) and the reduction in leaf area ratio (morphological component) contribute by a similar magnitude to the reduction in the relative growth rate of total dry matter under drought stress.

10. Several factors are responsible for the reduction of leaf area ratio under drought: The relative growth rate of the leaf area is more sensitive to drought than is the relative growth rate of the total dry matter. Relatively more dry matter is being invested into plant parts which are photosynthetically inactive and lose little water by transpiration (leaf sheaths, stem, roots). Leaf blades become more sclerophyllous under stress.

11. In the beginning of stress periods the relative growth rate of root dry matter is more sensitive to drought than is the relative growth rate of shoot dry matter. Root growth is promoted by very mild stress as compared with well watered controls. The root/shoot ratio increases under stress.

12. Drought stress during the vegetative growth causes reductions of up to 75% in the total dry matter as compared to well watered controls at the end of the stress period. However, upon rewatering, only slight reductions in grain and dry matter yields occur. Maturity is achieved 3-5 days later. This enormous plasticity in development is based on a higher net assimilation rate, on a higher relative growth rate of the leaf area and on a rapid recovery of the leaf area ratio upon rewatering as compared to unstressed controls.

13. The leaf expansion under drought is believed to be a wrong criterion for the selection of drought adapted cultivars. The developmental plasticity upon stress relief, however, is shown to be a more appropriate criterion.

14. The drought adaptation in plants is realized by the interaction of many adaptation mechanisms whose relative importance depends on the length and the timing of drought stress periods. The drought adaptation results from the optimization of the energy flow through the plant. The water availability determines the magnitude of this energy flow and therefore only a low increase in yield under drought can be expected as a result of this optimization process.