



Doctoral Thesis

Seedling growth of maize (*Zea Mays* L.) genotypes under chilling conditions

Author(s):

Verheul, Michel J.

Publication Date:

1992

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000668552> →

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 No 9855

**SEEDLING GROWTH OF MAIZE (*Zea Mays* L.) GENOTYPES
UNDER CHILLING CONDITIONS**

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

presented by

MICHEL J. VERHEUL
Ir. Agricultural University Wageningen
born February 5, 1958
in Ede (The Netherlands)

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

Zurich, 1992

2 SUMMARY

Growth of thermophilic maize plants is hampered by low temperatures in spring. A rational approach to breeding for cold tolerance requires a description of plant features which limit maize growth under cool climatic conditions and an estimation of the genotypical variability of those features. More knowledge of the physiological and biochemical backgrounds of chilling stress is necessary if a suitable method of selection is to be developed. In the present study, a set of six maize inbred lines, three of them used in hybrids from cool temperate regions and three in hybrids from warm tropical regions, were tested for autotrophic seedling growth in different low temperature environments.

Growth performance of maize genotypes under low temperatures was investigated in 5 field experiments (at Eschikon ZH, Switzerland, 550 m a.s.l., with early and usual sowing dates in 1989 and 1990, and at Schlatt ZH, Switzerland, 720 m a.s.l., in 1989), using growth analysis techniques. Genotypic variability was observed for most of the examined growth parameters. Inbred lines from cool temperate regions had significantly higher relative growth rates (RGR) and relative leaf area growth rates (RLGR) of 16 and 21% respectively under all examined field conditions as compared to those from warm tropical regions. Therefore, the first group of genotypes was considered chilling tolerant, the second group chilling sensitive. Differences in RGR and RLGR between genotypes were mainly explained by differences in net assimilation rates (NAR). Tolerant genotypes showed significantly lower leaf area ratios (LAR) caused by a lower specific leaf area (SLA). Higher RLGR of tolerant genotypes were related to higher rates of leaf appearance (RLA) as calculated on a thermal time base.

Early sowing dates, higher elevations and chilling stress periods reduced

RGR, NAR, RLGR and RLA, whereas LAR, SLA and leaf area partitioning (LAP) remained constant or increased slightly. However, no significant interaction between genotype and environment was found.

Under cool conditions in spring, the most tolerant genotype accumulated more soluble carbohydrates and starch in its shoot than the most sensitive one. Lower temperatures caused an increase in soluble carbohydrates in both genotypes.

In order to identify some important mechanisms of cold tolerance, the influence of a sudden cold spell on growth characteristics was measured under controlled conditions. Plants were grown in a growth chamber at temperatures of 24/22°C (day/night) until the third leaf was fully expanded. Thereafter, seedlings were subjected to a stress phase (5 days at 5/3°C) followed by a recovery phase (7 days at 24/22°C).

The first effect of lowering the temperature was an inhibition of leaf elongation which occurred within two hours after the temperature shift. However, no genotypic variability was found for this trait. The inhibition of leaf elongation was accompanied by a reduction of water content in the shoot and a sharp decrease in leaf water potential. Two chilling sensitive genotypes (Penjalinan and CM 109) showed an extreme reaction of both traits, whereas two tolerant genotypes (KW 1074 and Z 7) were hardly affected. The loss of water caused a visible wilting of leaves during stress. Soluble carbohydrates accumulated in the shoot during stress, indicating that leaf growth was more affected by low temperatures than was photosynthesis. Highest carbohydrate contents were found in the tolerant genotypes Z 7 and KW 1074 during stress. This could have played a role in osmotic adaptation, thus preventing further water losses.

After changing the temperature back to 24/22°C, leaf growth recovered faster than dry matter accumulation. Chilling tolerant genotypes recovered better and faster than chilling sensitive ones. On average, chilling tolerant genotypes recovered to an RGR and an RLGR of 55 and 84% respectively

after stress, chilling sensitive genotypes to 20 and 32% respectively as compared to values before the stress. This could be partly explained by a higher accumulation of carbohydrates during stress, a lower percentage of injured leaf area, an increased water uptake, an increased turgor and a better allocation of shoot dry matter to leaf area. A considerable genotypic variability was found for those traits.

In comparing growth chamber and field experiments, differences in plant performance were observed, probably due to differences in environmental conditions. However, some significant correlations between growth parameters under field conditions and those measured after a stress period under controlled conditions were found. RGR and RLGR were quite reliably correlated under field conditions with the same traits after stress under controlled conditions, and seedling traits such as leaf elongation rate, injured leaf area, water content, osmotic potential, decrease in total non-structural carbohydrates (TNC) and increase in LAR after stress under controlled conditions with RGR and RLGR under field conditions. Such relationships between traits under controlled conditions and autotrophic growth under field conditions could be used for indirect selection. For a better reliability of the demonstrated relationships, a larger group of genotypes has to be tested.

ZUSAMMENFASSUNG

Das Wachstum von als thermophil geltenden Maispflanzen wird durch niedrige Temperaturen im Frühjahr gehemmt. Ein rationaler Ansatz bei der Züchtung auf Kühletoleranz erfordert eine Beschreibung von Pflanzeigenschaften, die das Maiswachstum in kühlen Klimaregionen begrenzen, sowie eine Vorstellung von der genotypischen Variabilität dieser Eigenschaften. Um geeignete Selektionsmaßnahmen zu entwickeln, ist eine bessere Kenntnis der physiologischen und biochemischen Grundlagen des Kühlestress unumgänglich. In der vorliegenden Arbeit wurden sechs Mais-Inzuchtlinien, von denen drei in Züchtungsprogrammen in kühlgemäßigten und drei in warmen tropischen Regionen benutzt werden, in Bezug auf ihr autotrophes Sämlingswachstum bei unterschiedlichen Temperaturverhältnissen untersucht.

Die Wachstumsleistung von Mais-Genotypen bei niedrigen Temperaturverhältnissen wurde in fünf Feldversuchen (Eschikon-Zürich, 550 m ü.d.M., mit frühem und normalem Saattermin 1989 und 1990, und Schlatt-Zürich, 720 m ü.d.M. mit normalem Saattermin 1989) unter Verwendung von Wachstumsanalysetechniken beschrieben.

Genotypische Variabilität konnte für die meisten der untersuchten Wachstumsparameter beobachtet werden. Die Inzuchtlinien aus den kühlgemäßigten Regionen wiesen um 16 bzw. 21% signifikant höhere relative Wachstumsraten (RGR) und relative Blattwachstumsraten (RLGR) auf als jene aus warmen tropischen Regionen. Deshalb wurde die erste Gruppe von Genotypen als kühletolerant, die zweite dagegen als kühlempfindlich bezeichnet. Die Unterschiede in RGR und RLGR zwischen den Genotypen wurde hauptsächlich durch Unterschiede in der Nettoassimilationsrate (NAR) erklärt. Tolerante Genotypen zeigten signifikant niedrigere Blattflächenverhältnisse (LAR), hervorgerufen durch eine geringere spezifische Blattfläche (SLA). Höhere RLGR von toleranten Genotypen konnten auf höhere

Blattbildungsraten (RLA), berechnet auf Grundlage der Temperatursumme, zurückgeführt werden.

Frühe Saattermine, größere Höhenlage und Kühlestress-Perioden reduzierten RGR, NAR, RLGR und RLA, während LAR, SLA und Leaf Area Partitioning (LAP) konstant blieben oder nur leicht anstiegen. Es wurden keine signifikanten Unterschiede in der Reaktion auf unterschiedliche Umweltbedingungen zwischen toleranten und empfindlichen Genotypen gefunden. Bei kühlen Verhältnissen im Frühjahr akkumulierte der toleranteste Genotyp mehr lösliche Kohlenhydrate und Stärke im Sproß als der empfindlichste. Niedrigere Temperaturen bewirkten eine Zunahme der löslichen Kohlenhydrate in beiden Genotypen.

Um einige wichtige Mechanismen der Kühltoleranz identifizieren zu können, wurde der Einfluß einer plötzlich einsetzenden Kälteperiode auf die Wachstumsvorgänge unter kontrollierten Bedingungen beobachtet. Dazu wurden die Pflanzen in einer Klimakammer bei einer Tages-/Nachttemperatur von 24/22°C bis zur vollständigen Entfaltung des dritten Blattes angezogen. Danach wurden die Jungpflanzen einer Streßphase ausgesetzt (5 Tage bei 5/3°C), der eine Erholungsphase (7 Tage bei 24/22°C) folgte. Das erste, was nach einer Temperatursenkung beobachtet werden konnte, war eine Hemmung des Blattlängenwachstums, die bereits innerhalb von zwei Stunden nach der Temperaturänderung eintrat. Eine genotypische Variabilität konnte jedoch hierbei nicht festgestellt werden. Die Hemmung des Blattwachstums ging einher mit einem Wasserverlust im Sproß und einem starken Abfall des Wasserpotentials in den Blättern. Zwei kühlempfindliche Genotypen (Penjalinan und CM 109) zeigten eine starke Reaktion hinsichtlich dieser beiden Erscheinungen, während zwei tolerante Genotypen (KW 1074 und Z 7) kaum beeinträchtigt wurden. Der Wasserverlust bewirkte ein sichtbares Welken der Blätter während der Streßphase. Im Sproß wurden lösliche Kohlenhydrate während der Streßphase akkumuliert, ein Zeichen dafür, daß das Blattwachstum durch niedrige Temperaturen stärker beeinträchtigt wurde als die Photosynthese. Der größte Menge von Kohlenhydraten wurde in den beiden bereits erwähnten

toleranten Genotypen akkumuliert. Dies könnte eine Rolle bei der osmotischen Adaptation gespielt und somit weitergehende Wasserverluste vermindert haben.

Nach Erhöhung der Temperatur auf 24/22°C stieg das Blattflächenwachstum schneller an als die Trockenmasseakkumulation. Die kühlertoleranten Genotypen erholten sich besser und schneller als die kühlempfindlichen. Im Durchschnitt erreichten erstere nach der Streßphase 55 bzw. 84% der ursprünglichen RGR bzw. RLGR, während letztere nur Werte von 20 bzw. 32% aufwiesen. Dies konnte teilweise durch eine höhere Kohlenhydratakkumulation während der Streßphase, einen geringeren Anteil verletzter Blattfläche, gesteigerte Wasseraufnahme, zunehmenden Turgor und eine bessere Verteilung von Assimilaten zur Blattbildung erklärt werden. Eine beträchtliche genotypische Variabilität konnte für diese Merkmalen festgestellt werden.

Im Vergleich von Klimakammer- und Feldversuchen, konnten Unterschiede im Erscheinungsbild der Pflanzen beobachtet werden, die wahrscheinlich auf unterschiedlichen Umweltbedingungen beruhen. Trotzdem wurden einige signifikante Korrelationen zwischen Wachstumsparametern festgestellt. Recht zuverlässige Korrelationen bestanden zwischen RGR sowie RLGR unter Feldbedingungen und nach der Streßphase unter kontrollierte Bedingungen; desweiteren zwischen Merkmalen der Jungpflanze wie Blattverlängerungsrate (LER), beschädigter Blattfläche, Wassergehalt, osmotischem Potential, Abnahme von Nicht-Struktur-Kohlenhydraten (TNC) und Zunahme von LAR unter kontrollierten Bedingungen und RGR sowie RLGR unter Feldbedingungen. Diese Beziehung zwischen Merkmalen unter kontrollierten Bedingungen und autotrophes Wachstum unter Feldbedingungen könnten für eine indirekte Selektion herangezogen werden. Um eine höhere Zuverlässigkeit der aufgezeigten Beziehungen zu erlangen muß allerdings eine größere Anzahl von Genotypen untersucht werden.