ETH zürich

ETH Library

Physiological and agronomic traits of cytoplasmic male sterility in maize (Zea mays, L.) and its molecular discrimination

Doctoral Thesis

Author(s):
Käser-Schneider, Olivier

Publication date:
2002

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-004407392

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. 14777

PHYSIOLOGICAL AND AGRONOMIC TRAITS OF CYTOPLASMIC MALE STERILITY IN MAIZE (*ZEA MAYS*, L.) AND ITS MOLECULAR DISCRIMINATION

A dissertation submitted to the

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH
for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by

Olivier Käser-Schneider
Dipl. Ing. Agr. ETH Zurich
born December 17, 1971
citizen of Beringen (SH)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Peter Stamp, examiner
Dr. Karl-Heinz Camp, co-examiner
Dr. Jürg E. Schmid, co-examiner

2002

SUMMARY

Cytoplasmic male sterility (cms) has been identified and characterized in many crop species; cms plants are characterized by their inability to produce viable pollen while having little or no effect on female fertility. The unique pattern of inheritance (cms is transmitted only through the female parent) has enabled the cms trait to be of great utility to plant breeders and the commercial seed industry, eliminating the need for mechanical or hand emasculation in the production of hybrid seed. In maize there are three major types of male-sterile cytoplasm: designated cms-T (Texas), cms-S (USDA), and cms-C (Charrua). The different cytoplasms are defined according to specific nuclear genes (restorer genes or *Rf* genes) that are capable of countermanding the cms trait and restoring pollen fertility. Cms in maize grain production systems has been found to increase the grain yield potential in some genetic backgrounds, and positive effects on grain yield have also been observed when cms and non-isogenic pollination are combined in the so-called Plus-Hybrid system.

Maize grain yield declines when the silks of a plant are senescing before pollination. Some of the yield increase of cytoplasmic male-sterile maize plants may be due to the slower senescence of the silk. Therefore, field experiments were conducted in Switzerland in 1998 and in Thailand in 2000 and 2001 to investigate the importance of the date of pollination on the success of pollination for male-fertile and male-sterile maize. In Switzerland a cytoplasmic male-sterile hybrid was used and in Thailand the plants were detasseled. All the plants were manually pollinated with fresh pollen. The optimal pollination date was independent of the male fertility status. Although grain yields and yield components differed in all experiments, it was shown that male sterility had neither a negative nor a positive impact on the silk elongation period or the rate of silk senescence of all the tested maize hybrids.

Because the cms-T cytoplasm, which is the most stable and the best known type, was the cms type of choice for hybrid seed production only until the 1970s and the other two main types have not been studied in-depth in relation to grain yield, little knowledge exists on the effect of these cms types on the grain yield of modern hybrids. Therefore, field trials were carried out in the southern part of Switzerland in 1999 and 2000 to investigate the general impact of cms on grain yield as well as the specific effects of different cms types. To obtain hybrids, which are suitable for tests in this climate, the two Corn Belt inbred lines B37 and Mo17 with the different cms types were crossed with modern European early flint lines from

DSP (Delley Seeds and Plants). In general, cms had a positive effect on the yield of all the tested hybrids in both years. In the high-yielding year 1999 all the tested hybrids with cms-C cytoplasm had higher yields than hybrids with cms-S cytoplasm. In 2000, when the yields were low due to unfavorable weather conditions, all the cms cytoplasm similarly increased yield stability.

Tester lines, containing nuclear restorer genes, have been traditionally used to determine and classify the cms types of maize. However, this procedure is very time-consuming and labor-intensive. Due to the development of molecular methods in recent years, our understanding of the molecular basis of cms has increased dramatically. The male-sterile cytoplasms of maize can be differentiated on the basis of the molecular features of mitochondria. Unique characteristics relating to genome structure and gene expression of mitochondrial genes have been identified to distinguish the major maize cytoplasms. A further goal of this work was to develop a single-seed PCR assay for the determination of cytoplasm types in a single reaction and to apply it to a wide range of inbred lines with normal and sterile cytoplasm (T, C, and S) of previously identified subtypes of these major sterile cytoplasm types. PCR-based mitochondrial DNA markers were developed based on the chimeric DNA sequences in different male-sterile cytoplasms of maize, which enables the fast and reliable identification of all three major cms types in maize breeding programs, independent of the individual subtypes.

In conclusion, cms may be an interesting tool increasing the yield of already commercialized hybrids in maize breeding programs besides an increased purity and a decreased production cost of hybrid seeds. Molecular methods could help to enhance the utilization of the advantages of the system.

ZUSAMMENFASSUNG

Cytoplasmatische männliche Sterilität (cms) wurde in verschiedenen Pflanzenarten identifiziert und charakterisiert; cms Pflanzen produzieren keinen lebenden Pollen, wobei diese Eigenschaft die Fruchtbarkeit der weiblichen Blütenorgane nicht oder nur gering beeinflusst. Die Tatsache, dass cms nur durch die Mutter vererbt wird, machte aus cms ein geeignetes Werkzeug für die Pflanzenzüchter und Saatgutindustrie, da die mühsame mechanische oder manuelle Sterilisation der männlichen Blüte zur Produktion von Hybridsaatgut nicht mehr nötig ist. Bei Mais sind hauptsächlich drei Typen von männlich sterilem Cytoplasma bekannt: cms-T (Texas), cms-S (USDA) und cms-C (Charrua). Diese verschiedenen Cytoplasmen sind unterscheidbar aufgrund besonderer Gene des Kerngenoms (Restorer-Gene oder *Rf*-Gene), welche fähig sind, die cms Eigenschaft aufzuheben und Pollenfertilität wieder herzustellen. Es konnte gezeigt werden, dass cms im Zusammenspiel mit gewissen Genotypen in Körnermaisproduktionssystemen den Kornertrag anheben kann. Ein zusätzlicher Ertragsanstieg ist möglich, wenn cms und eine nicht-isogenen Bestäubung, im sogenannten Plus-Hybrid System, kombiniert werden.

Der Kornertrag bei Mais nimmt ab, wenn die Seiden einer Pflanze vor der Bestäubung zu altern beginnen. Eine mögliche Ursache des Ertragsanstiegs durch cms könnte durchaus sein, dass die Seide von cms Pflanzen langsamer altern. Um dies abzuklären, wurden 1998 in der Schweiz sowie 2000 und 2001 in Thailand Feldversuche durchgeführt, die den Einfluss verschiedener Bestäubungszeitpunkte auf den Bestäubungserfolg bei männlich sterilem und fertilem Mais untersuchten. In der Schweiz wurde ein cms Hybrid verwendet, in Thailand wurden die Pflanzen entfahnt. Alle Pflanzen wurden von Hand bestäubt, und zwar mit frischem Pollen. Der optimale Bestäubungszeitpunkt war unabhängig davon, ob die Pflanzen männlich steril oder fertil waren. Obwohl der Kornertrag und dessen Ertragskomponenten in allen Experimenten verschieden waren, konnte gezeigt werden, dass männliche Sterilität weder einen positiven noch einen negativen Einfluss auf die Wachstumsdauer noch auf die Alterungsgeschwindigkeit der Seide ausübt.

Weil das cms-T Cytoplasma, welches das stabilste und wohl bekannteste ist, als einziges Cytoplasma nur bis 1970 in der Hybridsaatgutproduktion verwendet wurde, und die beiden anderen Cytoplasmen in Bezug auf ihren Einfluss auf den Kornertrag nur sehr schlecht untersucht sind, existieren wenig Kenntnisse über die Effekte dieser verschiedenen Cytoplasmen auf den Kornertrag von gegenwärtigen Maishybriden. Aus diesem Grund

wurden 1999 und 2000 in der Südschweiz Feldversuche angelegt, um einerseits den Einfluss von cms im Allgemeinen und andererseits auch spezifische Effekte der verschiedenen Cytoplasmen auf den Kornertrag zu untersuchen. Die Maishybriden, angepasst an diese Klimazone, waren Kreuzungen aus den Corn Belt Linien B37 und Mo17 mit verschiedenen sterilen Cytoplasmen und verschiedenen modernen Europäischen frühen Flint-Linien, welche von der DSP (Delley Samen und Pflanzen) zur Verfügung gestellt wurden. Im Allgemeinen hatte cms in beiden Jahren einen positiven Effekt auf den Kornertrag von allen getesteten Hybriden. Im Hochertragsjahr 1999 zeigten alle getesteten Hybriden mit cms-C Cytoplasma den höheren Ertrag als Hybriden mit cms-S Cytoplasma. Im Jahr 2000, als die Erträge wegen schlechten Wetterverhältnissen allgemein sehr niedrig waren, konnte alle cms Cytoplasmen in ähnlicher Weise das Ertragsniveau stabilisieren.

Ursprünglich wurden gewisse Maislinien mit entsprechenden Restorer-Genen im Kerngenom, welche als Testlinien bezeichnet werden, dazu verwendet, das cms Cytoplasma zu bestimmen und zu klassifizieren. Das Problem dieser Methode ist, dass sie sehr zeitaufwendig und arbeitsintensiv ist. Durch die rasanten Fortschritte in der Entwicklung molekularer Methoden stiegen die Kenntnisse über cms drastisch an. Die männlich sterilen Cytoplasmen bei Mais können aufgrund molekularer Eigenschaften der Mitochondrien unterschieden werden. Bestimmte Merkmale in Bezug auf Genomstruktur und Genexpression wurden bereits identifiziert, um die drei Hauptcytoplasmen zu unterscheiden. Ein weiteres Ziel dieser Arbeit war es, eine Methode zu entwickeln, mit der man in einem Schritt, ausgehend von einem einzelnen Maiskorn, mit Hilfe einer PCR Analyse, den Typ des Cytoplasmas bestimmen kann. Diese Methode sollte dann für etliche Inzuchtlinien mit normalen und männlich sterilen (T, C und S) Cytoplasmen verwendet werden, welche vorher schon den einzelnen Hauptcytoplasmen zugeteilt wurden. Es konnten für PCR geeignete mitochondriale DNA-Marker entwickelt werden, und zwar entsprechen den chimären DNA Sequenzen der verschiedenen cms Cytoplasmen. Diese erlauben eine schnelle und zuverlässige Bestimmung aller drei Hauptcytoplasmen in Maiszüchtungsprogrammen, unabhängig von einzelnen Unterarten von Cytoplasmen.

Abschliessend kann festgehalten werden, dass cms in der Maiszüchtung nicht nur die Produktionskosten von Saatgut senken kann, sondern auch sehr interessant sein kann aufgrund seiner Eigenschaft, den Kornertrag für Maissorten, welche bereits im Handel sind, zu erhöhen. Molekulare Methoden können dabei helfen, den Nutzen dieses Systemvorteils noch zu steigern.