

mais

www.maiskomitee.de

Die Fachzeitschrift für Spezialisten



Maisanbau in Zeiten
des Klimawandels

Körnermais-Ertragsverlust durch Hitzestress

Hitzestress in der Bestäubungsphase führt zu Sterilität

Durch den Klimawandel werden Erträge bei Mais deutlich zurückgehen und jährlich stärker variieren. Besonders anfällig für Hitzestress ist die Maispflanze in der Phase der Pollenbildung und Befruchtung. Ein Forschungsprojekt an der Universität Regensburg hat gezeigt, wie durch Hitzestress erzeugte Sauerstoffradikale in der Bestäubungsphase entfernt werden können und Fertilität teilweise wieder hergestellt werden kann.

Wen Gong und Thomas Dresselhaus, Regensburg

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes und des Deutschen Maiskomitees hat die Anbaufläche für Mais in den vergangenen 70 Jahren in Deutschland enorm zugenommen. Auch die Erträge pro Fläche konnten durch Züchtungen und den Anbau von Hybridmais über 50 Jahre kontinuierlich gesteigert werden. In den letzten 20 Jahren wurde jedoch beispielsweise beim Körnermais keine Zunahme des Flächenertrags mehr erzielt und in den vergangenen Jahren sind die Erträge so-

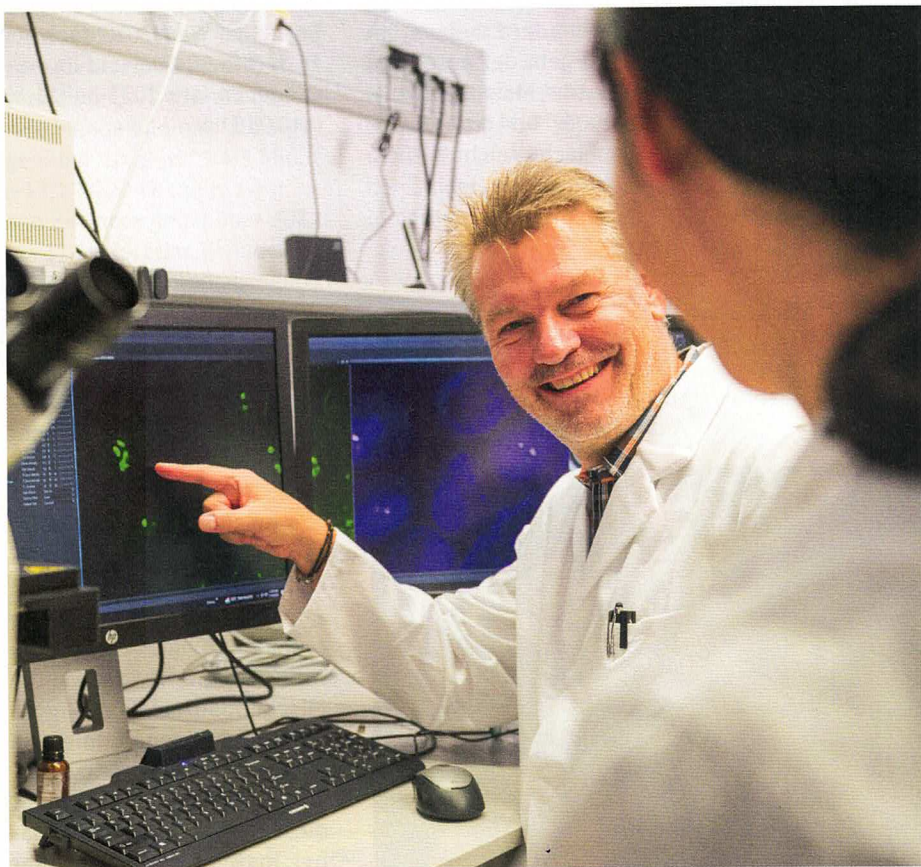
gar leicht rückläufig. Nach Prognosen verschiedener Studien wird sich dieser Effekt weltweit bis zum Ende des Jahrhunderts noch wesentlich verstärken. Insbesondere die Kornerträge werden von Jahr zu Jahr stärker variieren.

Die Gründe hierfür liegen am Klimawandel und der damit verbundenen Zunahme von Extremwetterphasen, die u. a. zu Hitze-, Kälte- und Trockenstressperioden führen. In eigenen Studien konnte u. a. gezeigt

werden, dass hierbei Kälte- und Trockenstress über längere Zeiträume in der vegetativen Wachstumsphase von Mais zu enormen Schädigungen der Pflanzen führen und das Wachstum negativ beeinflussen, während Hitzestress das Wachstum sogar beschleunigen kann. Stressphasen für wenige Tage werden häufig insgesamt aber gut toleriert und die Pflanzen erholen sich. Im Gegensatz dazu ist die Reproduktions- oder Fortpflanzungsphase nicht nur sehr anfällig für Hitzestress, sondern bereits kurze Hochtemperaturepisoden über die Dauer von ein bis zwei Tagen bei 35 °C können zu enormen Ertragsverlusten bei Mais führen (Abb. 1).

Maispflanzen sind sehr intelligent und haben zahlreiche Mechanismen entwickelt, um Umweltstress messen und darauf reagieren zu können. Auch in der Entwicklung der Reproduktionsorgane werden beispielsweise Pollen asynchron über mehrere Tage erzeugt (zuerst in der Spitze der Fahne) und die Pollenfreisetzung erfolgt nicht in der warmen Mittagszeit, sondern in den kühleren Morgen- oder Abendstunden. Pflanzen können jedoch das Wetter nicht vorhersagen, sondern nur aktuelle Bedingungen sehr genau messen.

Die Pollenentwicklungsphase gilt als sehr anfällig für Hitzestress, was auch durch eigene Studien bestätigt werden konnte. Dies führt zu der Bildung von defekten Pollenkörnern, die nicht mehr auskeimen können und nur noch kurze Pollenschläuche erzeugen bzw. die Spermazellen nicht mehr transportieren. Unklar waren jedoch die Auswirkungen von kurzen Hochtemperaturepisoden in der Bestäubungsphase. Die Motivation, diesen As-



Prof. Dresselhaus und Mitarbeitende erforschen an der Universität Regensburg die Ursachen von Pollensterilität bei Mais.

Fotos: A.Vogel (Tom Freudenberg/pict-images)

pekt genauer zu untersuchen, ist aus Gesprächen heraus entstanden, die mit bayrischen Landwirten geführt wurden.

Hitze stress während der Pollenentwicklung

Für eine erfolgreiche Befruchtung werden bei allen Blütenpflanzen i. d. R. dreizellige Pollenkörner gebildet, die neben den beiden Spermazellen noch eine Pollenschlauchzelle enthalten. Bei der Bestäubung keimt der Pollen bei Mais auf den Papillenhaaren der Narbenfäden und die Pollenschlauchzelle dringt in das Narbengewebe ein und transportiert die Spermazellen zur Ei- und Zentralzelle, die sich anschließend nach doppelter Befruchtung zum Embryo und Endosperm (Mehlkörper) entwickeln.

Um Effekte von Umweltstress auf die Pollenentwicklung und Bestäubungsphase bei Mais untersuchen zu können, wurde Mais unter kontrollierten Bedingungen im klimatisierten Gewächshaus bei 16 Stunden Licht und 26 °C bzw. 8 Stunden Dunkelheit und 21 °C sowie einer konstanten Luftfeuchtigkeit von 60–65 % kultiviert. Ein automatisiertes temperaturabhängiges Bewässerungssystem versorgt die Pflanzen, entsprechend des jeweiligen Verbrauchs, nach einem vorprogrammierten Zeitplan mit Wasser. Auch die Düngung erfolgt pflanzenoptimiert. Insgesamt dauert die Entwicklungsphase von der Pollen- bis zur Bestäubungsphase, abhängig vom Genotyp, bis zu zwei Wochen. Um die Auswirkung von kurzen Hochtemperaturepisoden auf die Pollenentwicklung zu untersuchen, werden Maispflanzen, die Pollen in verschiedenen Entwicklungsstadien tragen, für 48 Stunden einem vorübergehenden moderaten Hitze stress ausgesetzt (35 °C in der Licht- und 25 °C in der Dunkelperiode). Eine parallele Gruppe von Maispflanzen wird unter identischen Bedingungen ohne Hitze stress in einer entsprechenden Kammer gehalten.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass eine erhöhte Temperatur die Pollenentwicklung insgesamt beschleunigt. Die Phase der Pollenmeiose ist hierbei am empfindlichsten und es kommt häufig zur Beeinträchtigung der weiteren Pollenentwicklung. Vorübergehender Hitze stress in späteren Phasen führt u. a. zu einem verringerten Stärkegehalt der Pollenkörner sowie einer verringerten enzymatischen Aktivität und Lipidzusammensetzung, was schließlich zu einer verminderten Pollenkeimung führt und Sterilität zur Folge hat.

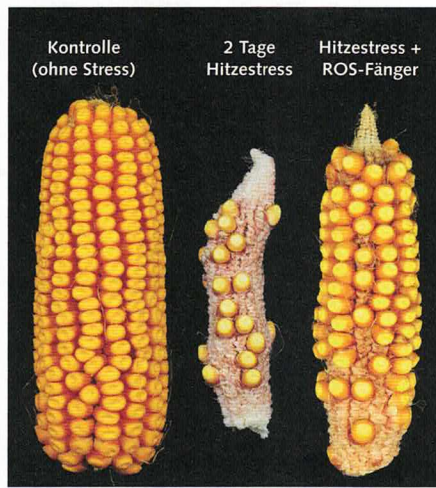


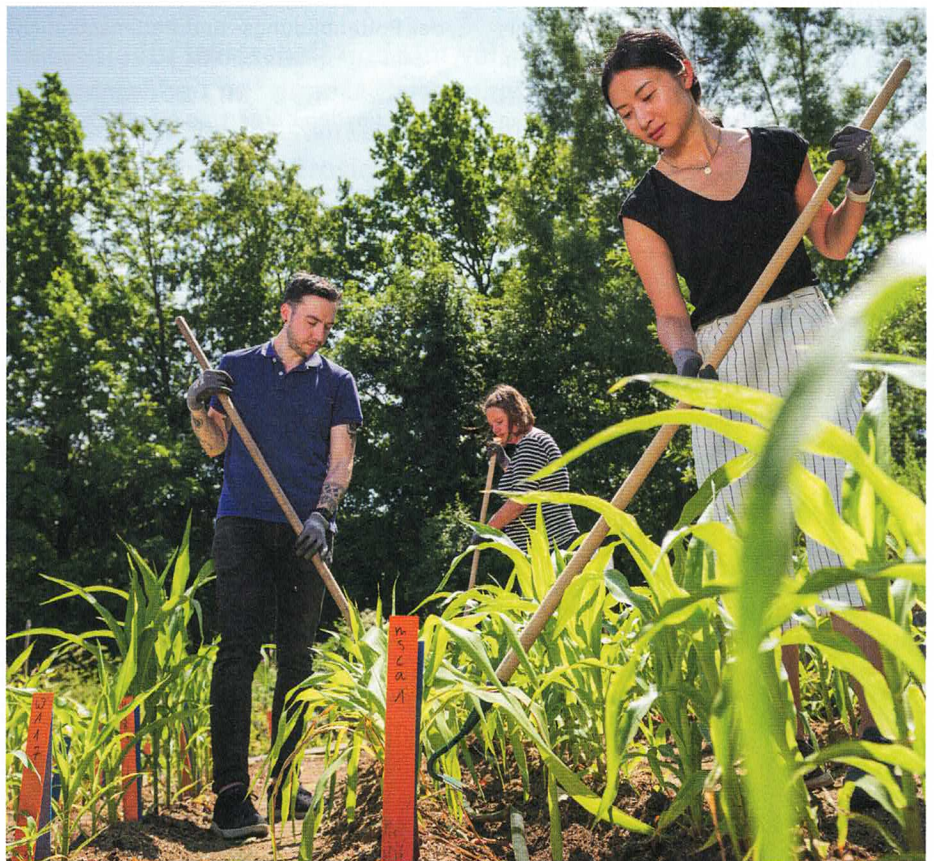
Abb. 1: Hitze stress während der Bestäubungsphase führt zu Sterilität.

Foto: W. Gong

Hitze stress in der Spermabildungsphase beeinflusst dessen Funktion und den Transport in Pollenschläuche, was ebenfalls zu Sterilität führt.

Hitze stress während der Bestäubung

Die Auswirkungen von Hitze stress auf die Narbenfäden von Mais und das Pollenschlauchwachstum werden aktuell in eigenen Arbeiten untersucht. Eine Hitze stress-episode von nur drei Tagen kann in dieser Phase zu völliger Sterilität führen (Abb. 1).



Anlage eines Mais-Versuchs- und Demonstrationsfeldes im botanischen Garten der Universität Regensburg.

Hierbei hat sich u. a. gezeigt, dass die Papillenhaare der Narbenfäden bereits nach wenigen Stunden Hitze stress beginnen abzusterben. Durch die hohe Anzahl der Maispollen reicht jedoch die Menge der „erfolgreichen“ Pollenschläuche aus, um in die Narbenfäden einzudringen und für einige Zentimeter Wachstum zu sorgen. Es kommt zu einem späten Wachstumsarrest (Hemmung des Wachstums) der Pollenschläuche und die Pollen erreichen die Samenanlagen nicht, woraufhin schließlich Befruchtung und Kornansatz ausbleiben. Überraschend war der Befund, dass Pflanzen vor der Bestäubung mindestens einen Tag lang Hitze stress ausgesetzt werden mussten und dieser auch während des Pollenschlauchwachstums vorhanden sein muss, damit die Pflanzen steril sind. Ausschließlich in der Pollenschlauchwachstumsphase oder vor Bestäubung auftretender Hitze stress hat kaum einen Einfluss auf den Kornansatz.

Durch Hitze stress reduzierter Samenansatz kann mit ROS-Fängern gerettet werden

Um die Ursachen für den Wachstumsarrest der Pollenschläuche zu identifizieren, wurde u. a. das Vorhandensein von reaktiven

tiven Sauerstoffspezies (ROS) untersucht. Hierzu zählen Wasserstoffperoxid (H_2O_2), Superoxid ($O_2^{\cdot-}$), Singulett-Sauerstoff (1O_2) und hochreaktive Radikale wie Hydroxyl- ($OH\cdot$) und Hydroperoxyl-Radikale ($HOO\cdot$). Bei geringen Konzentrationen fungieren ROS als Signale und induzieren beispielsweise Stress- und Abwehrreaktionen bei Pathogenbefall. In hohen Konzentrationen sind sie hingegen toxisch.

Während der Bestäubung spielen ROS bei Mais vermutlich eine regulierende Rolle für die Kommunikation zwischen den Pollenschläuchen und den weiblichen Narbengeweben. Durch Hitzestress werden die ROS-Mengen in der ganzen Pflanze inkl. den Narbenfäden erhöht (Abb. 2). Dies hemmt das Wachstum und die Integrität der Pollenschläuche. Die Aufrechterhaltung einer mittleren ROS-Menge ist für eine funktionierende ROS-Signalgebung von entscheidender Bedeutung, da ein mittleres ROS-Niveau die Signalgebung positiv beeinflusst, während ein hohes Niveau zytotoxische Auswirkungen hat. Weitergehende Untersuchungen haben gezeigt, dass Gene, die ROS-Mengen vermindern, bei Hitzestress abgeschaltet werden, was die Erhöhung der ROS-Mengen erklären kann.

Erhöhte ROS-Mengen können mit sog. ROS-Fängern, die ROS-Moleküle beispielsweise in Sauerstoff umwandeln, vermindert werden. Durch dreimaliges tägliches Besprühen der Narbenfäden mit ROS-Fän-



Abb. 2: Durch Sprühen von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS-Fängern) kann die Sterilität teilweise aufgehoben werden.

Foto: A.Vogel
(Tom Freudenberg/pict-images)

gern (Ascorbinsäure oder Superoxiddismutase) in der Hitzestressperiode konnten die durch den Stress verursachten ROS-Werte auf ihre Ursprungswerte reduziert werden. Durch Sprühen während der Hitzestressperiode konnte die Fertilität dadurch teilweise wieder hergestellt werden (Abb. 2 und 3).

Fazit

Durch den Klimawandel sind die Kornerträge zunehmend bedroht und werden von Jahr zu Jahr stärker schwanken, da in der Pollenbildungs- und Pollenschlauchwachstumsphase bereits kurze Hochtemperaturepisoden von zwei Tagen ausreichen, um den Kornertrag erheblich zu ver-

ringern. Es ist daher von zentraler Bedeutung, die Ursachen der Sterilität zu verstehen, um zum einen wissenschaftlich tolerantere Sorten zu züchten und zum anderen Konzepte zu entwickeln, Pflanzen dabei zu unterstützen, Hitzestressepisoden besser zu überstehen.

Durch sog. „Priming“ können Pflanzen durch Sprühapplikationen mit Drohnen auf anstehende Stressepisoden vorbereitet und beispielsweise toxische ROS-Mengen während der Hitzestressperiode mit ROS-Fängern reduziert und der Samenanatz gerettet werden. In zukünftigen Arbeiten sollen Sprühapplikationen auch im Feld getestet werden und Maispflanzen genetisch verbessert werden, um diese fit zu machen, in Hitzestressphasen erhöhte ROS-Mengen selbst abbauen zu können oder gar nicht erst entstehen zu lassen.

Die Aufklärung über die Folgen der Klimaerwärmung und den damit verbundenen Problemen für die moderne Pflanzenzüchtung und Landwirtschaft erscheint uns wichtig. Gleichermäßen bedeutsam ist es aber auch, auf neue Möglichkeiten und Chancen aufmerksam zu machen, dieser Entwicklung entgegenzuwirken. Wir regen daher an, beispielsweise in botanischen Gärten, verstärkt auch über unsere agrarischen Nutzpflanzen und deren Anbau unter veränderten Umweltbedingungen aufzuklären. <<

Gefördert durch:

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt- und Verbraucherschutz im Rahmen des Projektverbundes „BayKlimaFit2 – Starke Pflanzen im Klimawandel“

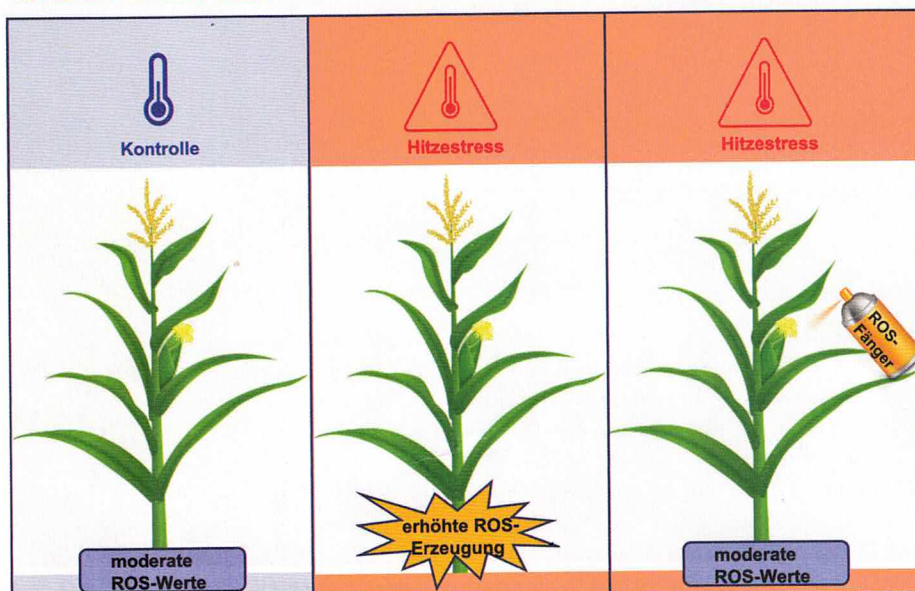
Dr. Wen Gong

Institut für Pflanzenwissenschaften
Lehrstuhl für Zellbiologie und Pflanzenbiochemie
Universität Regensburg
93053 Regensburg
wen.gong@ur.de

Prof. Dr. Thomas Dresselhaus

Institut für Pflanzenwissenschaften
Lehrstuhl für Zellbiologie und Pflanzenbiochemie
Universität Regensburg
93053 Regensburg
Telefon: 0941 9433016
thomas.dresselhaus@ur.de

Abb. 3: Unter Hitzestress erhöht sich die Produktion reaktiver Sauerstoffspezies (ROS), die jedoch mit ROS-Fängern wieder auf ihren Ursprungswert reduziert werden kann



Schema: Autorin