Ertragsverlust durch Hitzestress

Stress in der Pollenbildungsphase führt zu Sterilität

Zunehmende Wetterextreme verursachen erhebliche Ertragsverluste bei Mais. Besonders anfällig ist hierbei die Reproduktionsphase von der Blütenbildung bis zur Befruchtung. Ein Forschungsprojekt hat sich mit den Ursachen beschäftigt und herausgefunden, dass bereits moderater Hitzestress in bestimmten Pollenentwicklungsphasen zu vollständiger Sterilität und fehlendem Kornansatz führt.

Thomas Dresselhaus, Regensburg

Erhöhte Temperaturen und Trockenstress sind unmittelbar mit der globalen Klimaerwärmung korreliert und haben Umweltveränderungen bewirkt, die u. a. zu Sterilität und somit zu erheblichen Ertragseinbußen bei Nutzpflanzen führen (Abb. 1). So wurde z. B. für kommerzielle Weizensorten gezeigt, dass kurze Hochtemperaturepisoden für nur 1 bis 2 Tage bei 35 °Celsius oder 3 bis 5 Tage bei > 30 °Celsius zu Ertragsverlusten von bis zu 50 Prozent führen können. Stress in der Reproduktionsphase (Blütenorgan- und Gametenbildung) scheint hierbei besonders kritisch. Während vorübergehende Hitze- und Trockenstressperioden in vegetativen Wachstums- und Entwicklungsphasen häufig kompensiert werden können, ist dies in der Reproduktionsphase nicht der Fall. Da die Reaktionen von Pflanzen auf Hitze- und Trockenstress sehr komplex und vielfältig sind, und durch jährlich unterschiedliche Umweltbedingungen im Feld schwer zu untersuchen sind, eignen sich Experimente im Gewächshaus, um die Ursachen von Sterilität und fehlendem Kornansatz herauszufinden.

Abb. 1: Maisfeld bei Regensburg im Hitzesommer 2015. *Foto: Autor*

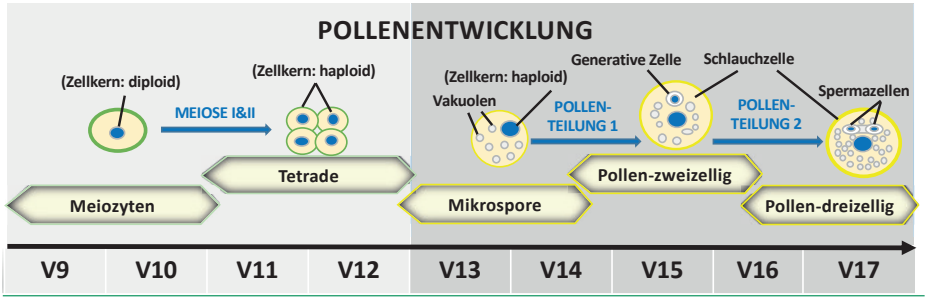
Erfahrungen aus Gewächshausexperimenten

In vollklimatisierten Gewächshäusern bei optimaler Bodenfeuchte und Nährstoffversorgung können wir bei einer Tagestemperatur von 28 °Celsius und einer Nachttemperatur von 21 °Celsius drei Mais-Generationen pro Jahr anziehen. Hierbei war uns aufgefallen, dass der Ausfall oder Fehlfunktionen der Klimatisierung im Sommer teilweise zu einer 100-prozentigen Sterilität bei unterschiedlichen Mais-Inzuchtlinien führt und Kolben keine oder nur wenige Körner ansetzen. Ursachen sind Pollensterilität verbunden mit hohen Temperaturen (bis 35 °Celsius) und niedriger Luftfeuchtigkeit (teilweise unter 20 Prozent). Unter den gleichen Bedingungen waren australische Weizensorten normal fertil. Über drei Jahre haben wir daher im Rahmen des bayerischen Projektverbunds BayKlimaFit (Strategien zur Anpassung von Kulturpflanzen an den Klimawandel) über die Ursachen von Sterilität und fehlendem Kornansatz bei Mais und Weizen geforscht Experimente im klimatisierten Gewächshaus und eigens gebauten Klimakammern haben hierbei den Vorteil, Stressbedingungen einzeln und unabhängig oder in Kombination simulieren zu können. Im Folgenden beziehe ich mich auf Forschungsergebnisse, bei denen wir die Effekte von kurzen Hochtemperaturepisoden für 2 Tage bei 35 °Celsius (tagsüber) und 25 °Celsius in der Nacht bei 60 Prozent Luftfeuchtigkeit und ansonsten optimalen Wachstumsbedingungen untersucht haben.

Geringer Kornansatz nach Hitzestress während des Pollenschlauchwachstums. *Foto: Tom Freudenberg*

Abb. 2: Pollenentwicklung aus Meiozyten durch zwei Meiose- und zwei Pollenteilungen zum reifen dreizelligen Pollenkorn

Die jeweiligen vegetativen Blattanzahl-(V-)Stadien sind angegeben



(Schema: Dr. Kevin Begcy/Autor)

Europäische Sorten zeigen eine Überreaktion

Beim Vergleich von europäischen und australischen Weizensorten haben wir festgestellt, dass Letztere ihre Schließzellen auf den Blättern niemals vollständig schließen und so auch bei erhöhten Temperaturen Gasaustausch stattfindet und die Blattoberfläche gekühlt wird. Stresshormone werden zudem in den vier untersuchten australischen Sorten in geringeren Mengen produziert und die Fotosynthese zwar herunterreguliert, aber nicht vollständig abgeschaltet. Hitzestress-Faktoren werden auch ohne Stress bereits in signifikanten Mengen produziert. Bemerkenswert ist, dass sowohl trockenstressangepasste als auch trockenstress-empfindliche australische Sorten bzgl. Hitzestress sehr tolerant sind. Ganz anders verhalten sich die europäischen Sorten (vier Sorten aus Deutschland, Frankreich und Tschechien wurden genauer untersucht). Keine der getesteten europäischen Sorten ist hitzestress-tolerant und alle Sorten zeigten eine „Überreaktion": bereits nach wenigen Stunden Hitzestress werden große Mengen Stresshormone produziert, die Schließzellen vollständig geschlossen, sodass keine Transpirationskühlung mehr stattfinden kann, und die Fotosynthese wird zunehmend abgeschaltet. Gene für Hitzestress-Faktoren werden entweder abgeschaltet oder enorm hochreguliert. In der Summe findet eine Art „Überreaktion" statt. Als Folgereaktion kommt es zu einer Überhitzung der Pflanzen, unter der auch die Bildung der Reproduktionsorgane und die Befruchtung in Mitleidenschaft gezogen werden.

Meiose-/Tetradenstadien besonders empfindlich

Während sich vegetative Organe nach kurzen Hochtemperaturepisoden anschließend bei optimalen Bedingungen wieder schnell erholen, kann moderater Hitze-Stress für nur zwei Tage in bestimmten Entwicklungsphasen zu vollständiger Sterilität führen. Dies haben wir bei Mais näher untersucht und festgestellt, dass sich Hitze-Stress im Meiose- sowie im Tetradenstadium der Pollenentwicklung besonders dramatisch auswirkt. Zur Bestimmung und Isolierung der Pollenentwicklungsstadien haben wir die sogenannte Leaf-Collar-Methode etabliert, bei der die Pollenentwicklungsstadien mit der Anzahl der Blätter mit Blattkragen oder Blatthäutchen (Ligula) korreliert werden und die Variation in der Pflanzenentwicklung so vernachlässigt werden kann. Bei der Mais-Inzuchtlinie B73 befinden sich die Pflanzen hierbei im Blattstadium V9 bis V12 (Abb. 2); abhängig von der Jahreszeit befinden sich die Pflanzen 25 bis 35 Tage nach Aussaat im V9-Stadium und 35 bis 45 Tage nach Aussaat im V12-Stadium. Eingebettet in mehrere Hüllblätter findet die Pollenentwicklung in den Antheren statt. Zunächst erfolgen die beiden meiotischen Reduktionsteilungen aus sogenannten Meiocyten, bei denen der diploide Chromosomensatz auf vier haploide Tochterzellen (Tetrade) verteilt wird. Die Tetrade entlässt vier Mikrosporen, die sich anschließend durch zwei Pollenteilungen zum reifen Pollenkorn (Abb. 3) weiterentwickeln und jeweils zwei kleine Spermazellen für die Befruchtung und die große Schlauchzelle enthalten. Letztere bildet den Pollenschlauch, der aus der Pore auswächst und die beiden Spermazellen durch die Nabenfäden zu den Samenanlagen transportiert, wo die für Blütenpflanzen charakteristische doppelte Befruchtung stattfindet.

Abb. 3: Reifes Pollenkorn von Mais mit Pore für den Pollenschlauch. *Foto: Autor*

Hitzestress beeinflusst den Energie- und Lipid-Stoffwechsel

Im Vergleich zu den Meiose-/Tetradenstadien ist die weitere Pollenentwicklung deutlich weniger hitzestress-empfindlich. Bemerkenswert ist ein sogenannter „Memory-Effekt": auch wenn Pollen sich nach zwei Tagen Hitzestress im Meiose-/Tetradenstadium noch zwei Wochen unter optimalen Bedingungen zu reifen Pollenkörnern weiterentwickeln können, ist die Pollenkeimungsrate deutlich reduziert und nur wenige Pollenschläuche wachsen in die Nabenfäden ein. Eine Befruchtung findet nur noch selten statt und die Kolben setzen wenige oder keine Körner an. Physiologische Untersuchungen haben u. a. gezeigt, dass Pollenkörner nach Hitzestress weniger Stärke enthalten, der Anteil löslicher Zucker zu hoch ist und die Lipidzusammensetzung verändert ist, sodass auch die Bildung der Pollenschläuche gestört ist. Über 300 der etwa 40.000 Mais-Gene sind auch nach einer Erholungsphase noch fehlreguliert, was die Komplexität der Stressreaktionen bei Pflanzen andeutet.

Fazit

Bereits kurze Hochtemperaturepisoden für wenige Tage während der frühen Pollenentwicklungsstadien können bei ansonsten optimalen Wachstumsbedingungen zu Sterilität und fehlendem oder reduziertem Kornansatz bei Mais führen. Besonders kritisch ist hierbei eine etwa 10 Tage andauernde Phase circa 30 bis 40 Tage nach Aussaat zwischen Stadium V9 und V12. Inwieweit Mais-Pflanzen in dieser kritischen Reproduktionsphase z. B. durch Besprühen mit Wasser nach Bedarf gekühlt werden können, um Pollensterilität zu verhindern, ist noch völlig unklar. In

Kreuzungen von Mais im Forschungsgewächshaus in Regensburg. *Foto: Tom Freudenberg*

weiteren vorläufigen Experimenten haben wir zudem festgestellt, dass auch die Phase des Pollenschlauchwachstums in Nabenfäden sehr hitzestress-anfällig ist. Inwieweit dies kompensiert wird, weil Pollenkörner, die im Feld insbesondere früh morgens bei noch kühleren Temperaturen freigesetzt werden, schnell keimen und wachsen, und wie lange Nabenfäden Hitzestress tolerieren können, ist ebenfalls kaum untersucht. Um die Hitze-Toleranz bei Mais und anderen Nutzgräsern gezielt verbessern zu können, ist daher noch erheblicher Forschungsbedarf notwendig. Die Züchtung hitzestress-toleranter Weizensorten in Australien aus ursprünglich empfindlichen europäischen Sorten zeigt aber, dass dies grundsätzlich sicher möglich ist. Stress-Forschung im Zusammenhang mit der Reproduktionsphase befindet sich zzt. noch in den Kinderschuhen und das Potenzial z. B. beim Vergleich empfindlicher und toleranter Sorten wurde bisher kaum ausgenutzt. Es ist daher zu hoffen, dass dieses spannende Forschungsgebiet zunehmend von Grundlagenforschern aufgegriffen wird, die gemeinsam mit Züchtern und Anwendern nach Lösungen suchen, hitze-tolerantere Maissorten zu entwickeln. <<

Gefördert durch:
Bayerisches Staatsministerium für Umwelt- und Verbraucherschutz im Rahmen des Projektverbundes BayKlimaFit – Strategien zur Anpassung von Kulturpflanzen an den Klimawandel. (http://www.bayklimafit.de)

Prof. Dr. Thomas Dresselhaus
Lehrstuhl für Zellbiologie und Pflanzenbiochemie
Universität Regensburg
93053 Regensburg
Telefon: 0941 9433016
thomas.dresselhaus@ur.de