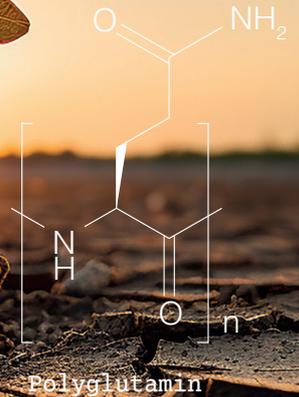


wenn es pflanzen heiß ist

— Karin Hollricher



Wie kann man Nutzpflanzen an die höheren Temperaturen anpassen, die der Klimawandel mit sich bringt?

Die Urahnen vieler in Europa angebauter Kulturpflanzen waren in heißen Gegenden zu Hause. Gerste und Weizen kommen aus Afrika, Mais, Tomate und Kartoffel aus Mittel- und Südamerika. Sie müssen mit den dortigen Temperaturen also gut zurechtgekommen sein. Was macht die Pflanzen so widerstandsfähig? Wie nehmen sie Hitze überhaupt wahr? Und was bedeutet „zu heiß“ in unterschiedlichen Klimazonen? „Solche Fragen beantworten zu können, ist in Zeiten eines raschen Klimawandels vor allem für die Landwirtschaft von besonderer Bedeutung“, sagt Philip Wigge vom Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ) in Großbeeren.

Steigende Temperaturen können bei Pflanzen zwei unterschiedliche Antworten auslösen: eine Stressantwort oder eine Änderung der Entwicklung der Pflanze, etwa Keimung oder Blütenbildung. Manchmal passiert auch beides. Wigge: „Wenn ein Kopfsalat schießt, weil es zu heiß ist, sehen wir darin eine Kombination aus Stressantwort und Änderung der Entwicklung.“

Bei Hitzestress aktivieren Pflanzen Transkriptionsfaktoren, die die schnelle und starke Synthese von Heatshock-Proteinen auslösen. Diese Proteine sind Chaperone, die anderen Proteinen dabei behilflich sind, sich auch bei höheren Temperaturen korrekt zu falten, sodass ihre Funktion nicht beeinträchtigt ist. Das Auftreten von Heatshock-Proteinen ist für den Forscher ein sicheres Zeichen dafür, dass es der Pflanze zu heiß ist und sie ein Schutzprogramm startet. Ab welcher Temperatur diese Antwort einsetzt, hängt davon ab, wo die betreffende Pflanze beheimatet ist. **Pflanzen in Spanien erleiden Hitzestress frühestens ab 30 Grad Celsius, solche in der Arktis schon bei 5 Grad. „Die Schwellenwerte für die Stressantwort passten sich im Laufe der Evolution also an das Klima an.** Das ermutigt und motiviert uns zu untersuchen, wie dieser Schwellenwert festgelegt wird. Wenn wir das wissen, können wir ihn auch bei Kulturpflanzen anpassen“, ist Wigge überzeugt.

Was also kontrolliert diesen Schwellenwert? Wigge und sein Team entdeckten, dass ein Protein namens Early Flowering 3 (*ELF3*) an der Anpassung

von Pflanzen an unterschiedliche Temperaturen beteiligt ist [1]. Dieses Molekül könnte man auch als Thermosensor bezeichnen, denn er ist ein temperaturabhängiger Transkriptions-Repressor. Je höher die Temperatur steigt, desto eher löst er sich von den Genen, deren Aktivität er bisher unterdrückte. Warum reagiert *ELF3* so auf Temperatur?

Innerhalb des *ELF3*-Gens (*ELF3*) sitzt eine Domäne aus sich wiederholenden Polyglutamin-Sequenzen (Repeats). Sie ähneln den Polyglutamin-Regionen in Proteinen, die bei Menschen neurodegenerative Erkrankungen auslösen. „Die Temperaturempfindlichkeit einer Pflanze hängt von der Länge dieser Polyglutamin-Region in *ELF3* ab“, erläutert Wigge. „Pflanzen aus heißeren klimatischen Bedingungen haben keine oder sehr kurze Polyglutamin-Repeats, und das Protein wird erst bei deutlich höheren Temperaturen inaktiv als dasjenige von Pflanzen aus gemäßigten und kühlen klimatischen Bedingungen. Deren *ELF3*-Gene beinhalten sehr lange Repeats.“ Die Wandlung vom aktiven zum inaktiven Zustand von *ELF3* ist reversibel, weil das Protein durch die Temperatur-

steigerung nicht zerstört wird, sondern lediglich eine Konformationsänderung durchläuft, die zu einer Phasentrennung führt: Während aktives ELF3 über den ganzen Zellkern verteilt ist, bilden die Moleküle bei höherer Temperatur inaktive Kondensate [2]. Indem der Transkriptions-Repressor temperaturabhängig aus der Genregulation entfernt wird, können die zuvor durch ihn blockierten Gene aktiv werden, die die Zelle braucht, um eine Hitzewelle zu überstehen. „Möglicherweise zeigt uns ELF3 einen Weg, die Antwort von Proteinen auf höhere Temperaturen gezielt abzuwandeln.“

Einen anderen Weg zu hitzebeständigeren Pflanzen weist das sogenannte Thermopriming: Eine leichte Temperaturerhöhung führt bei manchen Pflanzen dazu, dass sie eine nachfolgende Hitzewelle besser überstehen. Die molekulare Basis dieses Temperaturgedächtnisses sind epigenetische Veränderungen am

Chromatin. Sie befähigen die Pflanzen, bei der nächsten Hitzewelle schnell solche Gene zu aktivieren, die sie zur Ausbildung ihrer Schutzmechanismen benötigen. Damit beschäftigt sich ein Team um Sotirios Fragkostefanakis von der Universität Frankfurt. Es stellte beispielsweise fest, dass wilde Tomaten erheblich thermotoleranter sind als Zuchtformen. Dies geht mit Veränderungen im Gen für den Transkriptionsfaktor HsfA2 einher, von dem man weiß, dass er essenziell für das Thermogedächtnis ist [3]. „Wenn wir die genetischen und epigenetischen Mechanismen verstehen, die die Anpassung an höhere Temperaturen steuern, können wir sie nutzen, um Kulturpflanzen robuster zu machen“, sagt Fragkostefanakis.

Ein Thermogedächtnis lässt sich überraschenderweise auch durch endophytische Bodenbakterien auflösen. Heribert Hirt und sein Team bei DARWIN21, einem Institut an der King

Abdullah University in Thuwal (Saudi-Arabien), stellten fest, dass die Behandlung mit *Enterobacter* sp. SA187 sowohl im Labor wie auch auf dem Acker bei der im Labor beliebten Ackerschmalwand (*Arabidopsis thaliana*) und Weizen eine Thermotoleranz bewirkt [4]. Da dieses Bodenbakterium das natürliche Bodenmikrobiom nicht beeinflusst, könnte es, so die Forschenden, ein leistungsfähiges Mittel zur nachhaltigen Verbesserung der Thermotoleranz von Kulturpflanzen sein.

Auf jeden Fall wäre es ein schnell verfügbares Mittel – was angesichts der zunehmend wärmeren Vegetationsperioden dringend nötig ist. Welcher Ansatz letztendlich zum Erfolg führen wird, lässt sich allerdings noch nicht absehen. Wahrscheinlich werden wir in Zukunft unterschiedliche Mechanismen einsetzen müssen, um die Temperatur-Resilienz von Pflanzen zu verbessern – je nach Situation optimal angepasst. —

... Thermopriming
initiiert **epigenetische**
Veränderungen ...

Bereitet man *Arabidopsis*-Keimlinge mit moderat hohen Temperaturen vor, kommen sie mit nachfolgendem Hitzestress (hier +44 °C) besser zurecht (links) als ohne dieses Priming (rechts).



[2] J.-H. Jung et al., 2020, Nature 585, 256-260
[3] Y. Hu et al., 2019, New Phytol. 225, 1297-1310
[4] K. Shekhawat et al., 2021, EMBO reports e51049