

Wissenschaft *erleben*

- Pappelsex: Zwei Geschlechter, ein Gen
- »...Daten, Daten, Daten«
- Mikroplastik: weniger schädlich für Fische als befürchtet
- Was für die Bauern übrig bleibt
- Der Klimawandel wirkt bis in die Tiefsee
- »...zusammen an der Sache interessiert«
- Hilfe aus der Vogelperspektive

2022 / 1



Pappelsex: Zwei Geschlechter, ein Gen

Die Evolution der Geschlechtschromosomen in Tieren und Pflanzen fasziniert Biologen seit mehr als 100 Jahren

Ob eine Pflanze oder ein Tier weiblich oder männlich ist, steht meistens in den Chromosomen geschrieben. Allerdings sind bei Pflanzen weibliche und männliche Exemplare außerhalb der Blüte häufig nicht zu unterscheiden. Am Thünen-Institut für Forstgenetik wurden nun bei Pappeln die molekularen Grundlagen für die Trennung der Geschlechter aufgeklärt.

Bei getrenntgeschlechtlichen, sogenannten diözischen (zweihäusigen) Pflanzen unterscheiden sich Weibchen und Männchen äußerlich meist nicht oder nur minimal. Dies trifft auch für Pappeln zu, eine wirtschaftlich und ökologisch wichtige Baumgruppe mit mehreren Arten. Das Geschlecht kann erst nach vielen Jahren mit Erreichen der Geschlechtsreife und dann auch nur während der Blütezeit bestimmt werden. Das stellt sowohl die Pflanzenzüchtung bzw. -produktion als auch den Naturschutz vor eine besondere Herausforderung. Im städtischen Garten- und Landschaftsbau beispielsweise ist eine Zuordnung hilfreich, um mit dem Anbau von weiblichen Pappeln Pollen-Allergien zu vermeiden. Für die aus naturschutzfachlicher Sicht wichtige Gen-Erhaltung gefährdeter Arten, wie der Europäischen Schwarzpappel, ist ein ausgewogenes Verhältnis von weiblichen und männlichen Individuen entscheidend.

Fortschritte in der Genetik erlauben es mittlerweile, mit molekularen Markern das Geschlecht bereits kurz nach der Keimung und bei nichtblühenden Individuen bestimmen zu können. Dazu ist allerdings ein genaues Verständnis der zugrundeliegenden Genetik notwendig.

Wie bei vielen Pflanzen und Tieren wird auch bei der Pappel das Geschlecht von Geschlechtschromosomen bestimmt. Die Zitterpappel zum Beispiel verfügt, wie auch der Mensch, über ein sogenanntes

XY-System: Weibliche Individuen besitzen zwei gleiche Geschlechtschromosomen (XX), männliche Individuen zwei ungleiche (XY). Während das männliche Y-Chromosom im Tierreich oft zu beeindruckenden Unterschieden zwischen Weibchen und Männchen führt, etwa zur Mähne des Löwen oder zu den Hörnern des Steinbocks, unterscheiden sich männliche und weibliche Zitterpappeln optisch nicht voneinander. Die Silberpappel hingegen weist ein ZW-System auf, wie es auch bei Vögeln vorkommt: Hier haben die Weibchen zwei ungleiche Geschlechtschromosomen (ZW) und die Männchen zwei gleiche (ZZ). Auch bei der Silberpappel gibt es keine offensichtlichen Unterschiede zwischen den Geschlechtern.

Neue Entwicklungen bei der DNA-Sequenzierung erlauben es heute, ganze Chromosomen, ja sogar das komplette Erbgut (Genom) aus einer riesigen Menge einzelner Sequenzen zusammen zu puzzeln. Und genau das hat das Forschungsteam des Thünen-Instituts für Forstgenetik am Beispiel der Zitter- und der Silberpappel gemacht. Mit äußerst überraschendem Ergebnis: Obgleich es bei den verschiedenen Pappelarten eine ungewöhnlich große Variabilität mit unterschiedlichen XY- und ZW-Systemen gibt, wird das Geschlecht – also die Frage, ob eine Pappel männlich oder weiblich blüht – nur durch die Aktivität eines einzelnen Gens bestimmt.

Das Y-Chromosom der Zitterpappel und das W-Chromosom der Silberpappel

Rückblende: Mit der Veröffentlichung des Pappelgenoms im Jahr 2006, als drittes Pflanzengenom überhaupt, schien die Entschlüsselung des geschlechtsbestimmenden Mechanismus eine Leichtigkeit. Ein simpler Vergleich zwischen weiblichen und männlichen Individuen sollte die geschlechtsspezifischen Unterschiede aufzeigen. Diese Rechnung wurde aber ohne die genetische Gleichheit

Abb. 1: Durch Ausschalten von *ARR17* in weiblichen Zitterpappeln mittels der Genschere CRISPR-Cas9 lassen sich weibliche Blüten (links) in männliche (rechts) umwandeln.



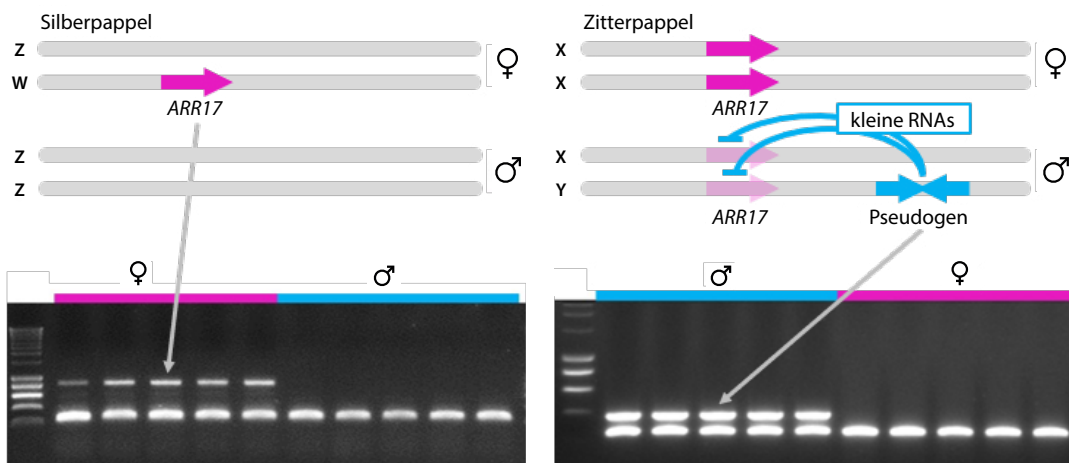


Abb. 2: Das *ARR17*-Gen bestimmt das Geschlecht in Pappeln. Bei weiblichen Silberpappeln (ZW) liegt *ARR17* auf dem W-Chromosom; bei männlichen Zitterpappeln (XY) wird *ARR17* von kleinen RNA-Molekülen, die von einem Pseudogen gebildet werden, ausgeschaltet. Die weiblich- bzw. männlich-spezifischen Sequenzen können als molekularer Sex-Marker verwendet werden. Damit kann das Geschlecht bereits in Keimlingen wie auch in nicht-blühenden Bäumen bestimmt werden.

der Geschlechter gemacht. Anders als beispielsweise beim Menschen sind die Unterschiede zwischen den Geschlechtschromosomen der Pappel so minimal, dass bei anfänglichen Untersuchungen keine genetischen Unterschiede zwischen weiblichen und männlichen Pappeln festgestellt werden konnten.

Erst durch eine technologische Entwicklung, welche die Sequenzierung sehr langer DNA-Moleküle ermöglichte, konnten das Y-Chromosom der Europäischen Zitterpappel (*Populus tremula*) und das W-Chromosom der Silberpappel (*Populus alba*) im Detail charakterisiert werden. In beiden Fällen wurden Sequenzen des Gens mit dem Namen *ARR17* aufgedeckt. In Silberpappeln liegt das *ARR17* Gen auf dem W-Chromosom, das heißt nur weibliche Individuen (ZW) besitzen das Gen. Es handelt sich bei *ARR17* also um einen feminisierenden Faktor, was auch experimentell bestätigt werden konnte (Abb. 1). In Zitterpappeln dagegen unterscheidet sich das *ARR17* Gen nicht zwischen Weibchen und Männchen. Allerdings bilden partielle *ARR17* Duplikate ein sogenanntes Pseudogen auf dem Y-Chromosom, das nicht zur Bildung eines Proteins führt, sondern zu kleinen RNAs, die *ARR17* in männlichen Zitterpappeln (XY) ausschalten (Abb. 2).

Die Konservierung des molekularen Mechanismus zwischen Arten mit XY- und ZW-Systemen ist dabei besonders bemerkenswert. Die unterschiedliche Regulation eines einzelnen geschlechtsbestimmenden Gens ermöglicht einen Wechsel zwischen XY- und ZW-Systemen unter Beibehaltung der nachgeordneten Signalwege. Die biologischen Gründe für solche Wechsel werden noch erforscht. Eine mögliche Erklärung könnte der Erhalt von genetischer Infor-

mation sein. Basierend auf dem stark degenerierten Y-Chromosom des Menschen wurde der Verlust von genetischer Information im Laufe der Jahrtausende als unausweichlich erachtet. Änderungen des Systems wirken allerdings wie ein Jungbrunnen für die Geschlechtschromosomen. Möglicherweise entziehen sich die Geschlechtschromosomen der Pappeln so dem genetischen Zerfall und erhalten die genetische Vielfalt in beiden Geschlechtern.

Praktische Anwendung

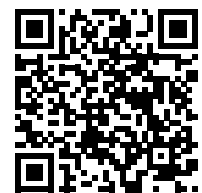
Das detaillierte Verständnis über die genetischen Grundlagen der Geschlechtsbestimmung kann für die Entwicklung molekularer Marker verwendet werden. Mithilfe der W-chromosomalen und Y-chromosomalen Sequenzen können weibliche bzw. männliche Individuen identifiziert werden (Abb. 2).

Mit dem Wissen um die Bedeutung des Gens *ARR17* konnte die Suche nach den molekularen Mechanismen auf weitere Pappelarten ausgeweitet werden. Das Y-Chromosom der Balsampappel beispielsweise, einer Art aus Nordamerika, unterscheidet sich vom Y-Chromosom der Zitterpappel. Bemerkenswerterweise aber ist *ARR17* auch bei dieser Pappelart nur in weiblichen Bäumen aktiv, während es in männlichen Bäumen durch kleine RNAs stillgelegt wird.

Die Geschlechtschromosomen der Pappeln geben einen guten Einblick in die genetischen Grundlagen der beeindruckenden natürlichen Vielfalt. Ein detailliertes Verständnis der natürlichen Genvarianten eröffnet ein enormes Potenzial für die Nutzung und Erhaltung unserer natürlichen Ressourcen. MFg, MW ●

KONTAKT: niels.mueller@thuenen.de

Originalpublikationen:



A single gene underlies the dynamic evolution of poplar sex determination. *Nat Plants* 6:630-637



The genetic basis of sex determination in *Populus* provides molecular markers across the genus and indicates convergent evolution. *Silvae Genetica* 70(1):145-155.