

Toleranz von Schweizer Sojasorten gegenüber dem Sojabohnenmosaikvirus

Claude-Alain Bétrix, Olivier Schumpp, Arnold Schori, Justine Brodard, Nathalie Dubuis, Jean-Charles De Grootte und Floriane Bussereau

Agroscope, 1260 Nyon, Schweiz

Auskünfte: Claude-Alain Bétrix, E-Mail: claude-alain.betrix@agroscope.admin.ch und Olivier Schumpp,

E-Mail: olivier.schumpp@agroscope.admin.ch

<https://doi.org/10.34776/afs11-188g> Publikationsdatum: 12. November 2020



Abb. 1 | Symptome der Blätter mit Kräuselung, Rotfärbung der Blattnerven und mosaikartigen Flecken bei einer Infektion mit dem Sojabohnenmosaikvirus.

Zusammenfassung

Die Sojabohne wird in der Schweiz seit 1988 angebaut. Im Rahmen des Sortenverbesserungsprogramms züchtet Agroscope frühreife und kälteresistente Sorten, die gut an die besonderen klimatischen Bedingungen in unserem Land angepasst sind. Um für den Anbau einen Mehrwert zu schaffen, legten die Züchter ihren Schwerpunkt immer stärker auf Aspekte der menschlichen Ernährung, namentlich auf den Geschmack und die Eignung für die Verarbeitung. Verschiedene Krankheitserreger können Sojakulturen befallen. Dazu gehört das Sojabohnenmosaikvirus, das bei einigen Sorten schwere Ernteeinbußen verursacht, während andere Sorten gegenüber einer Infektion mit dem Virus toleranter sind. Die Resistenzmechanismen werden allerdings noch wenig verstanden und erfordern eine auf genetische Marker gestützte Selektion, deren Umsetzung

komplex ist und sich schlecht mit den qualitativen und agronomischen Kriterien vereinbaren lässt, die als prioritär beurteilt werden. Die bei Agroscope entwickelten Sorten werden aber unter viralem Druck gezüchtet, d. h. in einer Umgebung, in der das Virus schon seit vielen Jahren in hoher Dichte in Unkräutern und in der Kultur selbst vorhanden ist. Bei dieser Züchtungsstrategie werden Linien mit Symptomen, die das Virus in ihren Samen akkumulieren, ausgeschieden. In dieser Arbeit zeigen wir, dass diese Strategie wirkungsvoll ist: Es entstehen Sorten, die gut an den in der Schweiz beobachteten Virendruck angepasst sind, ohne dass eine auf genetische Marker gestützte Züchtung erforderlich ist.

Key words: soybean mosaic virus, seed transmission, soybean breeding, yield, seed quality.

Einleitung

Der Soja-Anbau ist in Europa auf dem Vormarsch, namentlich in ähnlichen Breitengraden wie die Schweiz (Frankreich, Italien, Donaubecken), aber besonders auch im europäischen Teil der Ukraine. Die Anbaufläche nahm in fünf Jahren um jährlich 10 % auf 975 000 ha im Jahr 2018 zu (Krautgartner *et al.* 2018).

Diese starke Zunahme der Produktionsfläche einerseits und die unzureichende Kontrolle des Gesundheitszustands des Saatguts andererseits lassen eine Ausbreitung von Krankheiten befürchten, die über das Saatgut übertragen werden.

Die Sojabohne kann von mehr als 60 Viren befallen werden, aber nur wenige davon sind eine echte Bedrohung für die Branche (Tolin & Lacy 2004; Widayarsi *et al.* 2020). Dazu gehört das Sojabohnenmosaikvirus (*Soybean Mosaic Virus*, SMV), der Erreger der am weitesten verbreiteten und schwersten viralen Krankheit der Sojabohne. Das erstmals in den USA 1915 beschriebene Virus (Gardner & Kendrick 1921) wurde später auch in China, Japan, Südkorea, Kanada, Brasilien, Australien und vielen weiteren Ländern mit Soja-Anbau festgestellt. Durch den weltweiten Saatguthandel wird die Ausbreitung in allen Anbaugebieten begünstigt, auch in den erst kürzlich erschlossenen (Pedersen *et al.* 2007). Das SMV gehört zur Familie der *Potyviridae* und kann innerhalb der Kultur durch mindestens 32 Blattlausarten von Pflanze zu Pflanze übertragen werden.

Die Blattläuse nehmen das Virus beim Saugen an einer infizierten Pflanze der Parzelle innerhalb einiger Minuten auf. Sie werden sofort infektiös und können das Virus bei der Nahrungsaufnahme auf einer benachbarten Pflanze auf diese übertragen. Durch diese rasche Übertragung ist die Anwendung von Insektiziden weitgehend wirkungslos.

Zu den Krankheitssymptomen gehört ein vermindertes Wachstum und eine eingeschränkte Produktion von Hülsenfrüchten und Körnern. Die dreiteiligen Blätter können mosaikartig verteilte gelbe Bereiche und eine gekräuselte Oberfläche aufweisen (Abb. 1). Der Blattrand ist gewellt und die Blattnerven wachsen nicht mit derselben Geschwindigkeit. Bei bestimmten Kultivaren können auch ältere Blätter Nekrosen und rötliche Nerven aufweisen, die zu einer Gelbfärbung und schliesslich zum Abfallen der Blätter führen. Diese Symptome können allerdings je nach Genotyp der Sojabohne und je nach Virusstamm, Infektionsstadium und Standort unterschiedlich ausgeprägt sein. Die Symptome sind wenig spezifisch und manchmal nur schwach erkennbar. Sie können verschwinden, wenn die Temperaturen über 30 °C steigen (Hill & Whitham 2014).

Die Primärinfektion beim Saugen des Vektors löst kaum Symptome aus und bleibt meist unbemerkt, auch weil die Infektion verzögert auftritt. Die Strategie, kranke Pflanzen aus der Kultur zu entfernen, ist deshalb ungeeignet. Zu den wirkungsvollen Bekämpfungsmitteln gehört die Verwendung von gesundem Saatgut und von toleranten oder resistenten Sorten. Bestimmte Sorten sind vollkommen resistent gegenüber dem Virus, bei anderen Sorten werden Ertragsausfälle von 10–30 % beobachtet (Ross 1977). In seltenen Fällen wurden Ernteverluste von bis zu 80 % beschrieben (Goodman & Oard 1980). Ausserdem kann es durch gleichzeitige Infektionen mit anderen Viren zu synergistischen Effekten und zur Verschlimmerung der Symptome kommen. Solche Effekte wurden namentlich bei Co-Infektionen mit dem *Cowpea Mosaic Virus*, dem *Bean Pod Mottle Virus* und dem *Alfalfa Mosaic Virus* festgestellt (Anjos *et al.* 1992; Malapi-Nelson *et al.* 2009).

Auch die Übertragbarkeit des SMV via Samen hängt stark von der Sorte ab. Bestimmte Sorten übertragen das Virus kaum oder gar nicht über das Saatgut, während die Übertragungsquote bei anderen Sorten bis zu 64 % erreichen kann (Bowers & Goodman 1991; Domier *et al.* 2007; Porto & Hagedorn 1975).

Es wurden rund dreissig verschiedene SMV-Stämme auf der Grundlage der aufgetretenen Symptome bei einer breiten Palette von Sorten beschrieben, die von sehr anfälligen bis zu den resistentesten Sorten reichten. Ausserdem wurden im Sojabohnen-Genom rund fünfzehn Loci von Resistenzgenen identifiziert, die allein oder in Kombination mit anderen Resistenzgenen wirken. Bisher liess sich jedoch keines dieser Gene klonieren und die molekularbiologischen Grundlagen von SMV-Resistenzen sind noch weitgehend unbekannt (Widayarsi *et al.* 2020). Es wird oft eine Pyramidisierung verschiedener Resistenzgene (*Rsv1*, *Rsv3*, *Rsv4*, *Rsv5*) vorgeschlagen, aber wegen der Komplexität dieses Unterfangens war die Einbindung verschiedener Resistenzen bei der Entwicklung der meisten modernen, im Handel erhältlichen Sorten kein explizites Ziel (Hill & Whitham 2014). Das Schweizer Züchtungsprogramm für Soja macht hier keine Ausnahme und verzichtet auf die gezielte Integration von Resistenzgenen. Bevor die Resistenzmechanismen und die Epidemiologie der Krankheit besser verstanden werden, stehen gegenwärtig agronomische und qualitative Merkmale im Fokus der Züchtung.

Im Hinblick auf ein besseres Verständnis müssen das Verhalten der Schweizer Sorten und die Prävalenz des SMV in der Schweiz genauer beschrieben werden. In dieser

Arbeit haben wir die Prävalenz des Virus und seine Auswirkungen bei verschiedenen in Changins gezüchteten Sorten in den Jahren 2015 und 2016 untersucht.

Material und Methoden

Genetisches Material

Drei Züchtungen aus dem Züchtungsprogramm von Agroscope wurden im Rahmen der verschiedenen Versuche verwendet. Sie hatten 2015 den grössten Anteil am Schweizer Markt. Vier verschiedene Vermehrungsposten der Sorte Tourmaline (P3–P6) wurden von der *Société coopérative des sélectionneurs* (ASS) zur Verfügung gestellt, ebenso wie zwei Posten der Sorten Gallec (P1) und Opaline (P2).

Analysen zum Virenbefall (Pflanzen und Samen)

Ein Gramm Blätter wurde in einem ELISA-Beutel (Biorad AG, Reinach, 420100) mit 5 ml PBS-Extraktionspufferlösung (pH 7,4, Tween20 2,5 ppm, PVP 2 %) zerkleinert und durch DAS-ELISA gemäss den Herstellerangaben analysiert (Biorad AG, Reinach, 162677).

Die Körner wurden zu Mehl gemahlen und dieses während zwei Stunden in 2,5–100 ml Extraktionspufferlösung moderat bewegt und anschliessend durch DAS-ELISA gemäss den Herstellerangaben analysiert (Biorad AG, Reinach, 162677). Die Analysen der Körner erfolgten im Rahmen der Versuche zur Übertragung des Virus von der Pflanze auf das Korn bei individuellen Körnern. Die Analyse zum Virenbefall der Saatgutposten wurde bei 20 Untergruppen zu jeweils 100 Körnern, d. h. bei insgesamt 2000 Körnern pro Posten, durchgeführt. Die statistische Analyse der Ergebnisse erfolgte mit der Anwendung SeedCalc, die von der *International Seed Testing Association* (ISTA) entwickelt wurde und mit der sich die prozentuale Infektionsquote der Posten berechnen lässt.

Versuche unter kontrollierten Bedingungen

Ein Versuch mit Topfpflanzen in einer klimatisierten Umgebung wurde in drei Wiederholungen (E1, E3, E4) mit den Sorten Gallec, Opaline und Tourmaline (Chargen P1, 2 und 6) gemäss folgendem Verfahren durchgeführt: 200 Pflanzen wurden in Töpfen von 0,5 L kultiviert. Die Anbaubedingungen wurden über die gesamte Vegetationsperiode bei einer Temperatur von 22 °C tagsüber und von 18 °C während der Nachtphase und bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 80 % gehalten. Durch ein Tag-Nacht-Schema mit kurzen Tagen (12 h Nacht und 12 h Tag) wurde die manchmal im Kulturraum beobachtete hohe Etiolierungsrate begrenzt.

Die Infektion der Pflanzen erfolgte im Stadium V1 (Fehr & Caviness 1977) bei den ersten beiden einteiligen Blättern (1. Knoten) von 100 Keimlingen. Für jede Sorte wurden 100 nicht-inokulierte zusätzliche Keimlinge als Versuchskontrolle verwendet. Das Auftreten von Symptomen wurde gemäss einer Bewertungsskala von 1–3 (1 = nicht vorhanden, 2 = unklar, 3 = vorhanden) sieben Tage nach der Inokulation und danach während einem Monat jede Woche bewertet. Die Blätter wurden einen Monat nach der Inokulation für die Bestimmung der Befallsquoten durch ELISA entnommen.

Bei der Reife wurde bei den infizierten Pflanzen und bei den Kontrollpflanzen die Anzahl Samen pro Pflanze gezählt. Pro Sorte wurden anschliessend 100 Körner einzeln untersucht, um die Übertragungsquote von der infizierten Pflanze auf die Körner zu schätzen. Hundert weitere Körner wurden kultiviert, um die Keimfähigkeit zu untersuchen und danach die Übertragungsquote vom Korn zur Pflanze zu bestimmen.

Feldversuche

2015 wurde ein erster Feldversuch mit den drei Agroscope-Sorten durchgeführt. Die Sorte Tourmaline war durch vier Saatgutposten vertreten, die verschiedene Infektionsquoten aufwiesen. An vier verschiedenen, für das Schweizer Mittelland repräsentativen Standorten (Changins, Goumoëns, Giez und Delley) wurde eine Versuchsanordnung mit randomisierten Blöcken zu 10 m² auf drei Linien mit drei Wiederholungen umgesetzt. Innerhalb dieser Blöcke wurden Untereinheiten zu 33 Pflanzen auf der zentralen Linie der Parzelle eingerichtet. Bei jeder dieser 33 Pflanzen wurden bei Blättern des Stadiums R4 und bei der Gesamtheit ihrer Körner durch ELISA die Infektionsquote bestimmt. Im Verlauf des Wachstums wurde visuell bewertet, wie stark die betreffende Pflanze infiziert war (1–9, 1 = gesund und 9 = 100 % betroffen). Für jeden Versuchsblock wurde der Ertrag, die Frühreife, der Proteingehalt, der Ölgehalt sowie das Tausendkorngewicht festgestellt.

2016 wurde an zwei Standorten (Changins und Giez) ein neuer Versuch nach derselben Versuchsanordnung mit den drei Sorten durchgeführt.

Keimfähigkeit

Die Analyse der Keimfähigkeit erfolgte über die Aussaat im Treibhaus auf leichtem Substrat in drei Wiederholungen zu 100 Körnern aus den Feldversuchen und ohne Wiederholungen für die Körner der Versuche unter kontrollierten Bedingungen. Das Zählen der gut entwickelten Keimlinge erfolgte nach dem Auflaufen im Stadium VC.

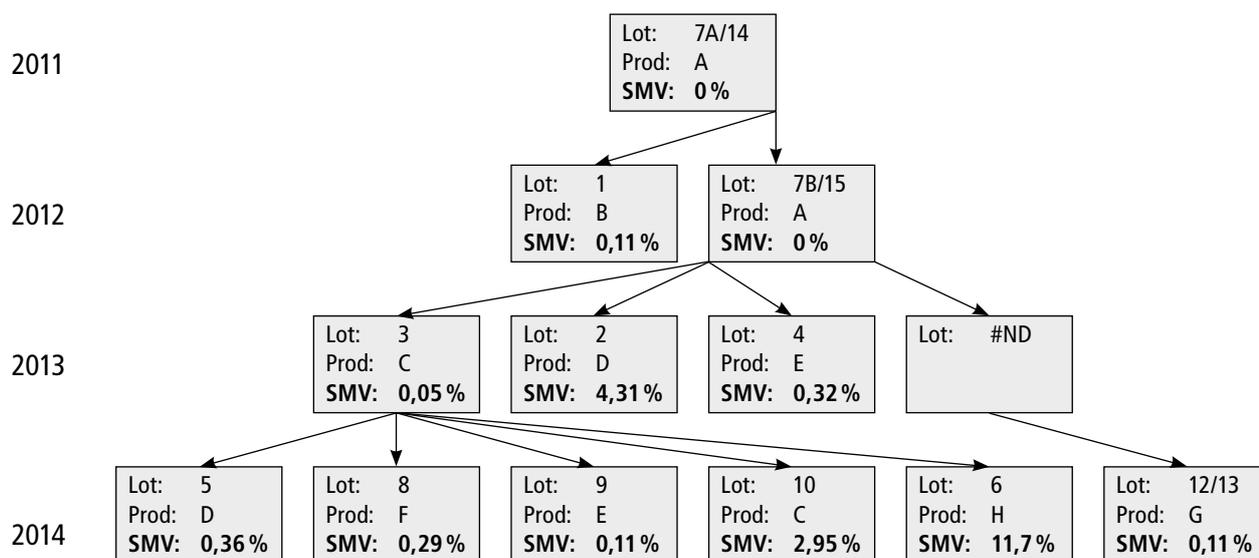


Abb. 2 | Abstammungsschema verschiedener Samen der Sorte Tourmaline, die zwischen 2011 und 2014 produziert und auf SMV-Befall getestet wurden.

Resultate

Prävalenz des Virus in den Saatgutposten

Fünfzehn Posten von 2011–2014 produzierten Samenkörnern der Sorte Tourmaline (Agroscope) wurden gemäss dem Schema in Abbildung 2 durch acht Saatgutvermehrern an mehreren Standorten der Genferseeregion geerntet. Nach vier Jahren Vermehrung ausgehend von einer ursprünglich gesunden Elterncharge wurden erhebliche Abweichungen der Infektionsquote festgestellt. Die Infektionsquote erreichte ein Maximum von 11,7% in einer der Tochterchargen (Posten 6). Die SMV-Prävalenz ist ausserdem in diesen Tochterchargen sehr unregelmässig. So reichten die Infektionsquoten von fünf Samenchargen, die aus demselben, ursprünglichen, mit einer Quote von 0,05% infizierten Posten produziert wurden, in der Saison 2014 von 0,11–11,7%.

Übertragungsquote zwischen Pflanze und Körnern

Hundert Pflanzen der Sorten Tourmaline, Gallec und Opaline wurden unter kontrollierten Bedingungen angebaut und mechanisch mit einem SMV-Stamm infiziert, der 2014 in einer Parzelle der Region La Côte identifiziert wurde. Die Quote der mechanischen Übertragung des Virus, die vier Wochen nach der Inokulation geprüft wurde, lag im Allgemeinen über 90%. Bei einer Tourmaline-Charge von Versuch E1 und bei einer Opaline-Charge des Versuchs E4 wurde allerdings eine Infektionsquote von 60% bzw. 80% festgestellt. Die Messung der Übertragungsquote des Virus von der

mechanisch infizierten Pflanze auf die Körner ergab einen maximalen Wert von 9% bei der Sorte Tourmaline (Abb. 3). Dieser Wert ist vergleichbar mit der bei der Sorte Gallec festgestellten Übertragungsquote. Die Sorte Opaline erreichte in einem der Versuche eine deutlich höhere maximale Übertragungsquote von 20%. Trotz der identischen Anbaubedingungen zeigten die drei Wiederholungen dieser Versuche, die jeweils mehr als 300 Pflanzen umfassten, Schwankungen der Übertragungsquoten um einen Faktor 10.

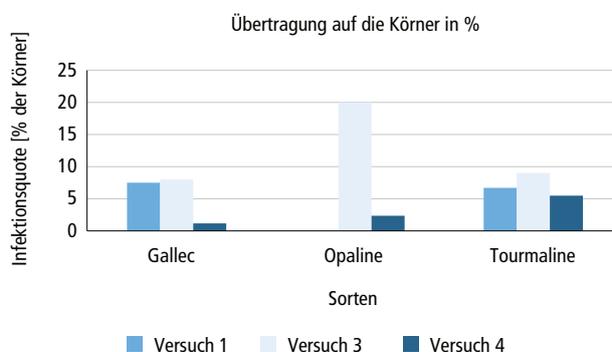


Abb. 3 | Übertragungsquote des SMV von der Pflanze auf das Saatgut unter kontrollierten Bedingungen in drei Versuchen, die 2015 und 2016 durchgeführt wurden. Das Saatgut wurde von mechanisch infizierten Pflanzen geerntet. Die Grafik zeigt den prozentualen Anteil von mit dem SMV infiziertem Saatgut nach der Ernte.

Mehrere Chargen aus unseren Versuchen, die vor und nach einer sechsmonatigen Lagerung unter für die Saatgutlagerung geeigneten Bedingungen getestet wurden, zeigen, dass die Viruslast der Saatgutposten über die Zeit stabil war (Daten nicht vorgelegt).

Prävalenz des Virus in Multi-Site-Versuchen

Die Prävalenz des Virus in den Blättern wurde im Rahmen agronomischer Versuche in Changins (CH-1260), Giez (CH-1429), Delley (CH-1567) und Goumoëns (CH-1376) in den Jahren 2015 und 2016 untersucht (Abb. 4). Der Vergleich der detaillierten visuellen Erfassung der Blattsymptome in den Feldversuchen mit den durchgeführten ELISA-Analysen ergab bei den drei Sorten Gallec, Opaline und Tourmaline keine Korrelation zwischen der Entwicklung von Symptomen und der Infektion mit dem Virus. Selbst unter kontrollierten Bedingungen wiesen 10 % der Pflanzen mit Symptomen keine nachweisbare Viruslast auf, und bis zu 67 % der Pflanzen ohne Symptome waren infiziert. In dieser Arbeit basiert die Bewertung der Infektionsquote daher ausschliesslich auf immunologischen Analysen mittels ELISA.

Die während der Vegetationsperiode 2015 im Stadium R4 gemessene Prävalenz des Virus ist in Changins sehr hoch und an den anderen Standorten niedrig. Um einen Faktor 30 auseinanderliegende Werte wurden bei der Sorte Tourmaline mit einer Prävalenz von mehr als 76 % in Changins und weniger als 2 % in Delley bei Kulturen festgestellt, die mit demselben Saatgutposten angebaut wurden. Die Sorte Opaline wies eine Infektionsquote von über 37 % in Changins und von 0 % in Delley auf. Bei einer Wiederholung dieses Versuchs im Jahr 2016 an zwei Standorten mit allen drei Sorten war die Prävalenz des Virus am Standort Changins im Vergleich zum Vorjahr bei allen drei Sorten insgesamt 10 Mal tiefer (Abb. 4). Die Infektionsquoten blieben jedoch in Changins bei den Sorten Gallec und Opaline drei bis sechs Mal höher als in Giez.

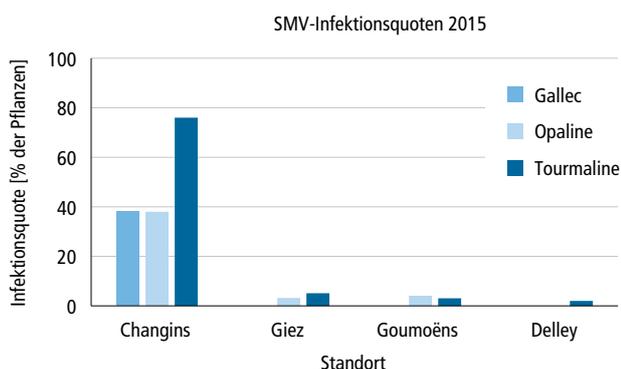


Abb. 4 | Prävalenz des Virus in den agronomischen Versuchen 2015 und 2016.

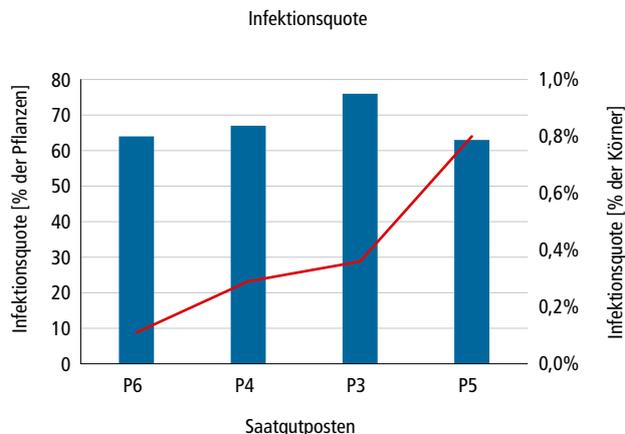


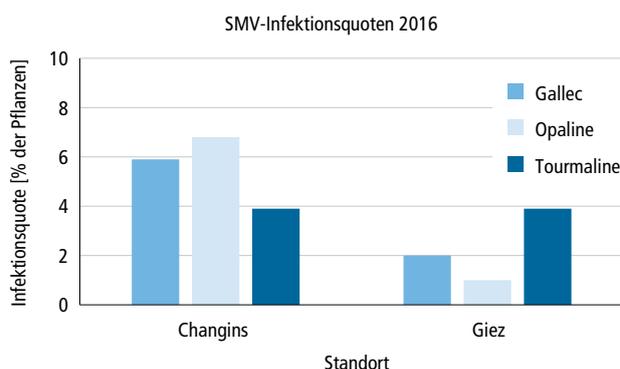
Abb. 5 | Prävalenz des SMV bei Pflanzen, die aus vier Saatgutposten der Sorte Tourmaline mit Infektionsquoten von 0,11–0,80 % kultiviert wurden.

Häufigkeit des Virus in der Kultur und im Saatgut

In einem weiteren agronomischen Versuch, der 2015 am Standort Changins durchgeführt wurde, wurden vier 2014 geerntete Posten der Sorte Tourmaline verglichen, die Kontaminationsquoten von 0,11–0,80 % aufwiesen. Die im Stadium R5 gemessene Infektionsquote der Pflanzen war besonders hoch und lag bei allen vier Posten bei über 60 % (Abb. 5). Es konnte keine Korrelation mit der Infektionsquote des verwendeten Saatguts festgestellt werden.

Virenbelastung des Standorts Changins

In Changins wird der Flug der Blattläuse und die Bestimmung vorhandener Arten seit 1983 aufgezeichnet. Von den identifizierten Arten sind *Acyrtosiphon pisum* und *Myzus persicae* zwei wichtige Vektoren für die Übertragung des SMV. Im Jahr 2015 als die Infektionsquote der Sojakulturen in einigen unserer Versuche 76 % erreichte, war die Intensität des Flugs dieser beiden Arten über die erste Jahreshälfte drei Mal höher als im Durchschnitt der letzten 30 Jahre (Tab. 1).



Tab. 1 | Anzahl gefangene Blattläuse der Arten *Acyrtosiphon pisum* und *Myzus persicae* am Standort Changins im Vergleich zum Durchschnitt der vergangenen 30 Jahre

Jahr	<i>A. pisum</i>	<i>M. persicae</i>
2014	113%	155%
2015	312%	355%
2016	123%	60%

In diesem Jahr waren 20 % der innerhalb und ausserhalb der Sojaparzelle gesammelten Pflanzen des Weissen Gänsefusses (*Chenopodium album* L.) in Changins infiziert (N = 10). Eine 2018 durchgeführte Untersuchung ergab eine Infektionsquote beim Weissen Gänsefuss von 17 % (N = 42).

Erträge im Feldanbau und unter kontrollierten Bedingungen

Die Anzahl Körner pro Pflanze der Sorten Gallec und Tourmaline lag bei den Versuchen unter kontrollierten Bedingungen um 22 % bzw. 26 % tiefer und in zwei nachfolgenden Versuchen um 15,5 % bzw. 25,4 % tiefer. Bei den Versuchen im Feld wurde jedoch keine Verminderung des Ertrags (gemessen als kg/ha) auf der Stufe der Parzelle bei den Kulturen festgestellt, die aus vier Saatgutposten mit einer anfänglichen Infektionsquote von 0,11–0,80 % stammten (Abb. 6). Vor der Ernte wiesen die Pflanzen aus den vier Posten hohe Infektionsquoten von 54,5–76,5 % auf.

Keimfähigkeit

Es wurde der keimfähige Anteil der an den Standorten Changins und Giez produzierten Körner der Sorte Tourmaline bestimmt. Die Analysen zeigten, dass die Keimung durch den Produktionsort beeinflusst wird. Der

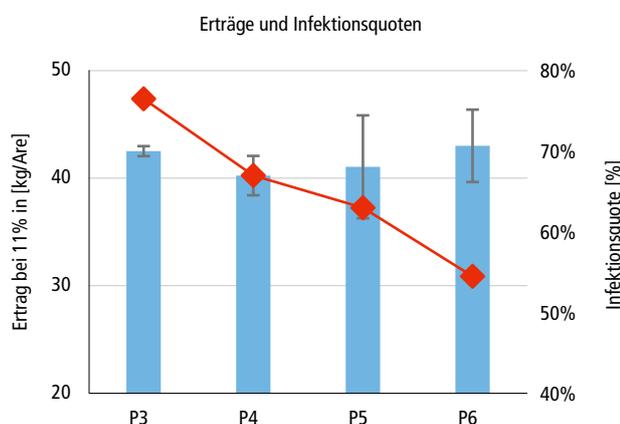


Abb. 6 | Prävalenz des SMV (Kurve) und Erträge (Balken) für vier Posten der Sorte Tourmaline am Standort Changins.

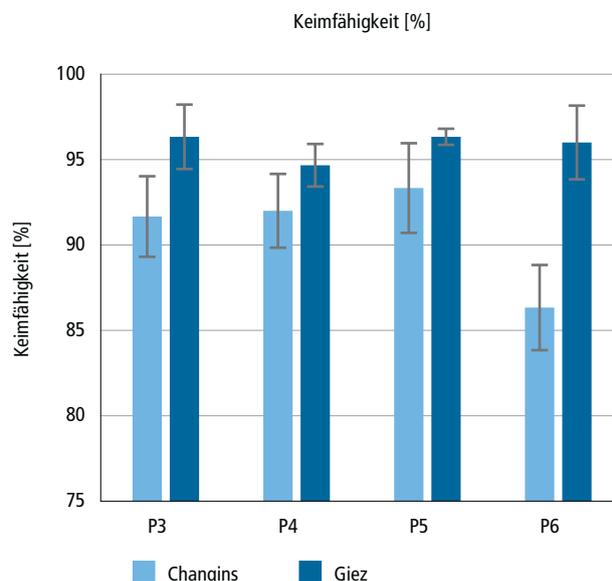


Abb. 7 | Keimfähigkeit von vier Saatgutposten der Sorte Tourmaline. Messung des Anteils keimender Samen, die 2015 an den Standorten Changins und Giez gesammelt wurden.

Anteil keimender Samen lag beim in Giez produzierten Saatgut um durchschnittlich 5 % höher als beim Saatgut aus Changins (Abb. 7).

Die Keimfähigkeit scheint jedoch nicht direkt oder allein von der Infektionsquote der Kultur abhängig zu sein, da der Anteil keimfähiger Samen von Pflanzen, die am Standort Changins zu 63 % (P5) bzw. 76 % (P3) infiziert waren, nahezu identisch war (Abb. 7).

Diskussion

Prävalenz des Virus in den Kulturen und im Saatgut

Die mechanische Inokulation von Pflanzen mit einem SMV-Extrakt simuliert eine frühe Infektion und fördert eine hohe Quote der Übertragung des Virus von der Mutterpflanze auf die Samen (Ross 1969). Unter diesen Bedingungen wurde eine maximale Übertragungsquote von 9 % bei Saatgut der Sorte Tourmaline erreicht, das von mechanisch infizierten Pflanzen stammt, die in einem Kulturraum kultiviert wurden. Eine ähnliche Übertragungsquote (11,7 %) ergab sich auch unter natürlichen Bedingungen bei einem Saatgutposten, der von einem Produzenten in der Genferseeregion drei Jahre nach dem Inverkehrbringen der Sorte produziert wurde. Die Infektionsquote der Saatgutposten der Sorte Tourmaline, die 2014 ausgehen von demselben Posten auf geographisch nahe gelegenen Parzellen mit ähnlichen Boden- und Klimabedingungen produziert wurden, war jedoch sehr variabel mit Unterschieden im Bereich von

zwei Grössenordnungen (Abb. 2). Diese Schwankungen lassen vermuten, dass die Infektionsquote des Saatguts von sehr lokalen Faktoren in der unmittelbaren Umgebung der Parzelle abhängt.

Die Rolle der unmittelbaren Umgebung der Parzelle wird durch die Feldversuche in den Jahren 2015 und 2016 bestätigt. In diesen Versuchen wurden Unterschiede in den Infektionsquoten um einen Faktor von 10–25 zwischen Pflanzen aus demselben Saatgutposten gemessen, die an verschiedenen Standorten angebaut wurden (Abb. 4).

Ausserdem widerspiegelt sich die Infektionsquote der Samen genau in der Infektionsquote der daraus gewonnenen Pflanzen, wenn diese unter kontrollierten Bedingungen und somit unter Ausschluss von Blattläusen und Reservoirpflanzen angebaut werden, welche die Ausbreitung des Virus in der Kultur begünstigen können. Dies zeigt auch, dass die Übertragungsquote von infiziertem Saatgut auf die Pflanze nahezu 100 % beträgt (Daten nicht dargestellt). Diese Beobachtung bestätigt, wie wichtig es ist, in der Praxis auf gesundes Saatgut zu achten.

Als Ursache für die Schwankungen der Infektionsquote je nach Standort der Kultur und je nach Produktionsjahr kommen mehrere Faktoren in Frage. Einen erheblichen Einfluss auf die Inzidenz der Krankheit in der Parzelle haben die Blattlausart, welche die Krankheit während der Vegetationsperiode überträgt, und deren Individuenzahl sowie der Zeitpunkt und die Dauer des Flugs. Auch das Entwicklungsstadium der Kultur zum Zeitpunkt der Infektion hat einen Einfluss (Ruesink & Irwin 1986).

In unseren Versuchen stellten wir auch fest, dass Unkraut wie der Weisse Gänsefuss, der als Reservoirpflanze für das SMV gilt, vorhanden war, und wir wiesen Blattlausarten nach, die als wichtige Vektoren des SMV auftreten, wie *Myzus persicae* oder *Acyrtosiphon pisum*. Unsere Arbeit zeigt, dass die anfängliche Infektionsquote beim Saatgut der drei getesteten Sorten – die Qualität des Saatgutpostens – einen geringfügigen Einfluss auf die Prävalenz des SMV in Kulturen hat, die Umweltfaktoren ausgesetzt sind, die eine Infektion begünstigen.

Einfluss des SMV auf agronomische Parameter

Die Feldversuche zur Bewertung der agronomischen Leistung der Sojabohnensorten Tourmaline, Gallec und Opaline, die in Changins unter natürlichem Druck durch Viren gezüchtet wurden, zeigten keine statistisch signifikante Wirkung des SMV auf die bewerteten Parameter. In diesem Artikel werden nur die Ergebnisse zur Keimfähigkeit und zum Ertrag vorgestellt. Die Unterschiede der Keimfähigkeit, die in Changins etwas geringer ist,

liegen bei den beobachteten Standorten aber in der Grössenordnung der üblichen saisonalen Schwankungen. Auflaufen, Wuchskraft, Anzahl Stängel und grüne Pflanzen bei der Ernte, Frühzeitigkeit und Parzellen-ertrag wurden ebenfalls gemessen und wiesen unabhängig vom Posten oder von der Sorte unter dem in der Kultur herrschenden Virusdruck keine signifikanten Unterschiede auf.

Die ausbleibende Wirkung eines hohen Virusdrucks auf die agronomischen Parameter in den Feldversuchen steht in starkem Kontrast zu den hohen Ertragseinbußen, die bei älteren Sorten beobachtet worden waren (Ross 1977; Goodman & Oard 1980). Die drei in dieser Arbeit untersuchten Sorten sind jedoch nicht resistent gegen das Virus. Einerseits kann die Infektionsquote von Pflanzen, selbst unter natürlichen Bedingungen, hoch sein, andererseits wurde im Kulturraum trotz schwacher Symptome eine Abnahme der Anzahl Körner pro Pflanze beobachtet.

Es werden oft beachtliche Unterschiede zwischen Versuchen unter kontrollierten und Versuchen unter natürlichen Bedingungen festgestellt (Englund & Cooper 2003). Sie lassen sich mit einer schlechteren Lichtqualität, der Pflanzengrösse und einer geringeren Dichte der Aussaat erklären, welche die Fähigkeit der Pflanzen einschränken, mit der Infektion optimal zurechtzukommen.

Schlussfolgerungen

- Unsere Ergebnisse zeigen, dass in Soja-Anbaugebieten in der Schweiz die Infektionsquoten im Feld nicht von der Infektionsquote des Saatguts abhängen, wenn die Kontamination der Saatgutposten wie in diesen Versuchen relativ niedrig ist. Umweltfaktoren, darunter Reservoir-Pflanzen und die Häufigkeit von Vektoren, spielen eine wichtige Rolle. Die gesundheitliche Qualität des Saatguts sollte dennoch nicht vernachlässigt werden, da Pflanzen von infizierten Samen sowohl Kontaminationsquellen als auch Reservoirpflanzen sind.
- Es ist wichtig, Sorten zu verwenden, die an den Virendruck in der betreffenden Region angepasst sind. Die Sorten Tourmaline, Gallec und Opaline zeigen im Feld eine geringe Empfindlichkeit, wodurch sie dem in der Region beobachteten hohen Druck durch das SMV ohne Beeinträchtigung der gewünschten agronomischen Eigenschaften widerstehen können.
- Die Züchtung der Schweizer Sojabohnensorten erfolgt in Changins, an einem Standort, an dem SMV seit mehreren Jahren in den Kulturen und im Unkraut um und in den Parzellen in hoher Dichte vorhanden ist. Dieser

konstante Druck durch Viren während des Selektionsprozesses ermöglicht die frühzeitige Eliminierung anfälliger Linien, die das Virus in ihrem Saatgut akkumulieren und deren agronomische Qualitäten durch das SMV beeinträchtigt werden. Gegenüber dem Virus unempfindliche Genotypen – die toleranten Genotypen – werden von Generation zu Generation beibehalten.

- Da die Beobachtung der Blattsymptome nicht ausreichend zuverlässig ist, lassen sich durch diese Art der Selektion allerdings keine resistenten Linien erhalten. Wie die drei in Changins gezüchteten und in dieser Studie vorgestellten Sorten zeigen, können Linien hohe Raten von SMV-Infektionen aufweisen und dennoch asymptomatisch bleiben.
- Diese Methode der Selektion unter viralem Druck ermöglicht es jedoch, sich auf agronomische Parameter zu konzentrieren, die für den lokalen Markt von Interesse sind, wie Frühzeitigkeit oder die Qualität der Körner (Geschmack, Eignung für die Verarbeitung), ohne die Resistenzen bei der Züchtung gezielt zu berücksichtigen. Die Methode kommt ausserdem ohne die im Falle der SMV-Resistenzen besonders komplexe markergestützte genetische Selektion aus. ■

Literatur

- Anjos J. R., Jarlfors U. & Ghabrial S. A., 1992. Soybean mosaic potyvirus enhances the titer of two comoviruses in dually infected soybean plants *Phytopathology* **82**, 1022–7.
- Bowers G. R. & Goodman R. M., 1991. Strain specificity of soybean mosaic virus seed transmission in soybean. *Crop Science* **31**, 1171–4.
- Domier L. L., Steinlage T. A., Hobbs H. A., Wang Y., Herrera-Rodriguez G., Haudenschild J. S., Mccoppin N. K. & Hartman G. L., 2007. Similarities in Seed and Aphid Transmission Among Soybean mosaic virus isolates. *Plant Disease* **91**, 546–50.
- Englund G. & Cooper S., 2003. Scale effects and extrapolation in ecological experiments. *Advances in Ecological Research* **33**, 161–213.
- Fehr W. R. & Caviness C. E., 1977. Stages of soybean development. In: *Special Report*. Ames, IA: Iowa State University. (Station ISUaaHEE, ed. 87.)
- Gardner M. W. & Kendrick J. B., 1921. Soybean Mosaic. *Journal of agricultural research*, 111–4.
- Goodman R. M. & Oard J. H., 1980. Seed transmission and yield losses in tropical soybeans infected by soybean mosaic virus. *Plant Dis* **64**, 913–4.
- Hill J. H. & Whitham S. A., 2014. Control of Virus Diseases in Soybeans **90**, 355–90.
- Krautgartner R., Lefebvre L., Rehder L. E., Boshnakova M., Dobrescu M., Flach B., Wilson J., Faniadis D., Guerrero M., Lappin J. & Allen L., 2018. Oilseeds and Products Annual. In: Network Gal, ed. *EU-28 Oilseeds Report*. Vienna: United States Department of Agriculture. (Service FA, ed.)
- Malapi-Nelson M., Wen R. H., Ownley B. H. & Hajimorad M. R., 2009. Co-infection of Soybean with Soybean mosaic virus and Alfalfa mosaic virus Results in Disease Synergism and Alteration in Accumulation Level of Both Viruses. *Plant Dis* **93**, 1259–64.
- Pedersen P., Grau C., Cullen E., Koval N. & Hill J. H., 2007. Potential for Integrated Management of Soybean Virus Disease. *Plant Dis* **91**, 1255–9.
- Porto M. D. M. & Hagedorn D. J., 1975. Seed transmission of a Brazilian isolate of soybean mosaic virus. *Phytopathology* **65**, 713–6.
- Ross J. P., 1969. Effect of time and sequence of inoculation of Soybeans with Soybean mosaic and Bean pod mottle viruses on yields and seed characters. *Phytopathology* **59**, 1404–8.
- Ross J. P., 1977. Effect of Aphid-Transmitted Soybean Mosaic Virus on Yields of Closely Related Resistant and Susceptible Soybean Lines1. *Crop Science* **17**, 869–72.
- Ruesink W. G. & Irwin M. E., 1986. Soybean Mosaic Virus Epidemiology: A Model and Some Implications. In: Mclean GD, Garrett RG, Ruesink WG, eds. *Plant Viral Epidemics: Monitoring, Modelling and Predicting Outbreaks*. Sydney: Academic Press, 295 - 313.
- Tolin S. & Lacy G. H., 2004. Viral, bacterial, and phytoplasmal diseases of soybean. *Soybeans: Improv. Prod. Uses*, 765–819.
- Widiasari K., Alazem M. & Kim K-H, 2020. Soybean Resistance to Soybean Mosaic Virus. *Plants (Basel, Switzerland)* **9**, 219.