



Gentechnik und ihre Anwendungen im Pflanzenbau

Beat KELLER, Institut für Pflanzenbiologie, Universität Zürich, Zollikerstrasse 107, CH-8008 Zürich.
E-mail: bkeller@botinst.unizh.ch

Gentechnik ist in der heutigen Landwirtschaft eine Realität. In Nord- und Südamerika werden transgene Sorten auf einer landwirtschaftlichen Fläche angebaut, die dreimal der Gesamtfläche der Schweiz entspricht. Neben den bereits zugelassenen Sorten wird bei mehr als 60 verschiedenen Kulturpflanzen daran gearbeitet, gentechnisch veränderte Pflanzen zu züchten. Die möglichen Folgen dieser dynamischen Entwicklung für Landwirtschaft, Umwelt und Pflanzenzüchtung sind in der Schweiz noch zu wenig analysiert.

Die Gentechnik wird im landwirtschaftlichen Bereich vor allem in der Pflanzenzüchtung eingesetzt. Gentechnisch verändertes Saatgut eröffnet neue Perspektiven für den Pflanzenbau. Weitgehend unbeachtet von der Öffentlichkeit wurde seit mehr als zehn Jahren an verschiedenen neuen, transgenen Sorten gearbeitet. Zuerst mussten die entscheidenden Gene (z.B. die Insektenresistenz in Mais durch das Toxingen aus *Bacillus thuringiensis*) mit gentechnischen Methoden in einfach transformierbare Pflanzenlinien eingebracht werden. Anschliessend wurde aus diesen ersten transgenen Modellpflanzen das neue Gen mit klassischen Züchtungsmethoden in agronomisch gute, moderne Sorten eingekreuzt. Die Langfristigkeit der Züchtungsarbeiten hat es mit sich gebracht, dass erst in den letzten zwei Jahren gentechnisch veränderte (GVO) Pflanzensorten auf den Markt gekommen sind und sowohl Behörden wie Konsumentinnen und Konsumenten zum Teil überrascht haben.

In der Schweiz besteht gegenwärtig *de facto* - wenn auch nicht von Gesetzes wegen - ein Verbot des Anbaus transgener Sorten. Durch Importe wurde die Schweiz in den letzten Monaten trotzdem zunehmend mit Produkten aus transgenen Sorten (Soja, Mais) im Lebensmittel- und Futtermittelbereich konfrontiert. Diese Entwicklung hat zwei Gründe: Einerseits machen es die international stark verflochtenen und komplexen Handelsströme von einigen wichtigen Agrarprodukten unrealistisch, transgene Lebensmittel von einem Land fernzuhalten. Andererseits wird gerade in den USA, dem wichtigsten Agrarexporteur der Welt, im

Anbau transgener Sorten ein wettbewerbsmässiger Vorteil gesehen. In den USA wird deshalb auf die schweizerische Debatte über den Anbau transgener Sorten (in der Genschutzinitiative wird z.B. ein Verbot dieses Anbaus gefordert) weitgehend mit Unverständnis reagiert. Die Etablierung von getrennten Verkaufskanälen für «klassische» und GVO-Produkte wird als teuer und unnötig beurteilt.

Was steht heute auf dem Feld?

Transgene Sorten werden heute vor allem in Nordamerika angebaut. Solche Sorten sind aber auch in Südamerika (Soja) und China (Tomate) im Anbau. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Anbauflächen von transgenen Sorten in den letzten zwei Jahren. Die Aufschlüsselung nach Kulturpflanzen zeigt, dass es heute vor allem Mais (mit der Resistenz gegen den Maiszünsler), Soja (Herbizidresistenz gegen Roundup), Baumwolle (wie beim Mais mit Insektenresistenz) und Raps (verschiedene neue Eigenschaften) sind, die bereits grossflächig angebaut werden. Im

Maisanbau in den USA hat der Anteil transgener Sorten 10 % erreicht. Bei verschiedenen anderen Kulturpflanzen sind transgene Sorten auf kleineren Flächen im Anbau. Dazu gehören Tomate, Kartoffel und Kürbis. Die geschätzte Anbaufläche transgener Pflanzen hat sich von 1996 auf 1997 versechsfacht, auf eine Gesamtfläche, die dreimal der gesamten Fläche der Schweiz entspricht. Für 1998 wird eine ähnliche Ausweitung der Anbaufläche erwartet. Neben diesen kommerziell sehr erfolgreichen Sorten ist eine ganze Zahl weiterer Sorten in den USA und Europa zugelassen (s. Tab. 2). Nicht alle diese Sorten werden aber grossflächig angebaut, da eine transgene Sorte nicht in jedem Fall den anderen erhältlichen Sorten in agronomisch relevanten Merkmalen überlegen ist (Keller 1997).

Wichtigste Forschungsrichtungen

Bei einer wachsenden Weltbevölkerung einerseits und schrumpfenden Landreserven andererseits ist die Ertragssicherung eines der vordringlichen Probleme der Landwirtschaft weltweit. Die Ertragssicherung ist ein Problem, das mit technischen Lösungen angegangen werden kann, zum Beispiel mit Anbaustrategien, dem Integrated Pest Management oder der Resistenzzüchtung usw. Es ist deshalb ein vordringliches Ziel der Gentechnik, in der Pflanzenzüchtung Verluste auf dem Feld, verursacht durch Unkräuter, Schädlinge und Krankheiten sowie Verluste nach der

Tab. 1. Anbauflächen von gentechnisch veränderten Kulturpflanzen weltweit. Die Gesamtanbaufläche 1997 betrug 129'000 km² (Quelle: European Food Information Council)

Kulturpflanze	Anbaufläche 1996 (in ha)	Anbaufläche 1997 (in ha)
Mais	500'000	4'400'000
Soja	400'000	5'200'000
Raps	200'000	1'600'000
Baumwolle	800'000	1'200'000
Tomate und Kartoffel	40'000	500'000

Tab. 2. In den USA zugelassene Nutzpflanzen. Nach United States Department of Agriculture, 1997

Pflanzenart	Veränderte Eigenschaften	Firma	Zulassung
Tomate	Reifungsprozess	Calgene	1994
Tomate	Reifungsprozess	DNA Plant	1995
Tomate	Kohlenhydrate	Zeneca	1995
Tomate	Reifungsprozess	Monsanto	1995
Cherry-Tomate	Reifungsprozess	Agritope	1996
Soja	Herbizidtoleranz	Monsanto	1994
Soja	Herbizidtoleranz	AgrEVO/Höchst	1996
Kürbis	Virusresistenz	Upjohn	1994
Baumwolle	Herbizidtoleranz	Calgene	1994
Baumwolle	Insektenresistenz	Monsanto	1995
Baumwolle	Herbizidtoleranz	Monsanto	1995
Baumwolle	Herbizidtoleranz	DuPont	1996
Raps	Ölzusammensetzung	Calgene	1995
Raps	Herbizidtoleranz	Monsanto	1995
Raps	Herbizidtoleranz	AgrEVO	1995
Raps	Männlich steril	Plant Genetic System	1996
Kartoffel	Insektenresistenz	Monsanto	1995
Mais	Insektenresistenz	Ciba-Geigy	1995
Mais	Herbizidtoleranz	Agrevo	1995
Mais	Insektenresistenz	Monsanto	1995
Mais	Herbizidtoleranz	DeKalb	1995
Mais	Insektenresistenz	Northrup King	1995
Mais	Männlich steril	Plant Genetic System	1996
Papaya	Virusresistenz	Cornell Uni/Uni Hawaii	1996

Ernte während der Lagerung, zu senken. Resistente Sorten werden auch zu einer Reduktion des Pestizideinsatzes in der Landwirtschaft führen. Ein weiteres vorrangiges Ziel der Pflanzenzüchtung, das jetzt mit Gentechnik verfolgt wird, ist die verbesserte Anpassung von Pflanzen an die Umwelt. Die Widerstandsfähigkeit gegen Hitze, Trockenheit, Versalzung oder Staunässe ist ein wichtiger Faktor zur Ertragssicherung auch in Grenzanbaubieten. Eine verlängerte Wachstumsperiode von Pflanzen verlangt in vielen Gebieten eine erhöhte Resistenz gegen Kälte und Frost.

Neben diesen ökologisch relevanten Zielsetzungen gibt es intensive Forschungsarbeiten im Bereich der Pflanzenqualität. In der Raps- und Sonnenblumenzüchtung wird zum Beispiel daran gearbeitet, Sorten mit einem höheren Gehalt an haltbaren und nahrhaften Ölen zu produzieren. Linolsäure statt Linolensäure und weniger ungesättigte Fettsäuren sind dabei typische Zuchtziele. Bei Kartoffeln wird die Zusammensetzung der Stärke gezielt verändert, damit diese als industrieller Rohstoff einfacher und vielseitiger genutzt werden kann. Daneben gibt es eine Reihe von Anwendungen zur Verbesserung der Fruchtqualität, beispielsweise der verlangsamte Reifungsprozess. Keines dieser Zuchtziele ist neu. Seit Jahrzehnten wird in der klassischen Pflanzenzüchtung an solchen Merkmalen gearbeitet. Gen-

technik bietet jetzt neue Ansätze und Möglichkeiten, um diese Zuchtziele zu erreichen.

Heutige Schweizer Forschung

Die landwirtschaftliche Produktion in der Schweiz leidet am meisten unter Pilzkrankheiten als biotischer Stressfaktor. Bei Kartoffel, Weizen, Apfel und der Rebe sind diese Krankheiten besonders problematisch und zum Teil sehr schwierig und mit viel Aufwand zu bekämpfen. Angesichts des Interesses der Landwirtschaft an pilzresistenten Sorten (Abb. 1) und den neuen Möglichkeiten der Gentechnik beschlossen der Schweizerische Nationalfonds zur Förderung der Wissenschaft und das Bundesamt für Landwirtschaft im Jahr 1993, die Forschung für Pilzresistenz spezifisch zu fördern. Die Arbeiten konzentrieren sich auf die oben genannten vier Kulturen und werden in Forschungsnetzwerken zwischen den verschiedenen Hochschulen und drei Eidgenössischen Forschungsanstalten durchgeführt. Sowohl die Wahl des Zuchtziels Pilzresistenz wie auch die Wahl der bearbeiteten Kulturen machen die Arbeiten schwierig und zeitaufwendig. Trotzdem sind vielversprechende Zwischenergebnisse erreicht worden, und die öffentliche Forschung kann in diesem von der Privatindustrie vernachlässigten Bereich inno-

vative und relevante Beiträge leisten. Langfristig sollen diese Arbeiten zu resistenteren Sorten führen (Keller 1996). Es lässt sich im Moment nur darüber spekulieren, wie die Reaktion der Landwirtschaft zum Beispiel auf eine *Phytophthora*-resistente Kartoffelsorte sein würde. Es ist aber anzunehmen, dass beim Angebot einer solchen Sorte die Mehrheit der Landwirtinnen und Landwirte diese mit Begeisterung anbauen würde. Auch im Biolandbau dürfte damit die Diskussion über den Einsatz von GVO-Sorten wieder lanciert werden.

Internationale Zusammenarbeit

Die schweizerische Forschung im Bereich der Pflanzenbiotechnologie legt besonders wert auf die Zusammenarbeit mit Institutionen der internationalen Agrarforschung (CGIAR-Institute der Weltbank mit dem Auftrag, die Landwirtschaft in Entwicklungsländern zu fördern) oder direkt mit Entwicklungsländern. Es gibt intensive Kontakte zu Forschungsinstitutionen in diesen Ländern. Unter anderem werden Projekte mit Reis, Maniok, Mais und Weizen durchgeführt. Das Zentrum für Internationale Landwirtschaft (ZIL) und die DEZA (Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit) sind wichtige Sponsoren dieser Arbeiten. Noch in diesem Jahr soll von privaten und öffentlichen Institutionen eine Stiftung gegründet werden, deren Ziel der Technologietransfer und die Zusammenarbeit im Bereich der landwirtschaftlichen Biotechnologie in Entwicklungsländern ist. Diese besonderen Anstrengungen, um die Zusammenarbeit zu fördern, sind aus zwei Gründen sehr zu begrüssen: einerseits ist das Interesse der Entwicklungsländer an Biotechnologie sehr gross, andererseits kann die Schweizer Forschung einen Beitrag zur Stärkung der Forschungskompetenzen in diesen Ländern leisten.

Mögliche Probleme des grossflächigen Anbaus

Neben den erwähnten Vorteilen kann der grossflächige Anbau von Sorten mit neuen Eigenschaften - seien diese transgen oder nicht - auch nachteilige Veränderungen bringen. Als Beispiele werden hier zwei mögliche Probleme diskutiert:

■ Die Effizienz und Spezifität der durch das Bt-Toxingen vermittelten Insektenresistenz könnte dazu führen, dass Bt-Gene

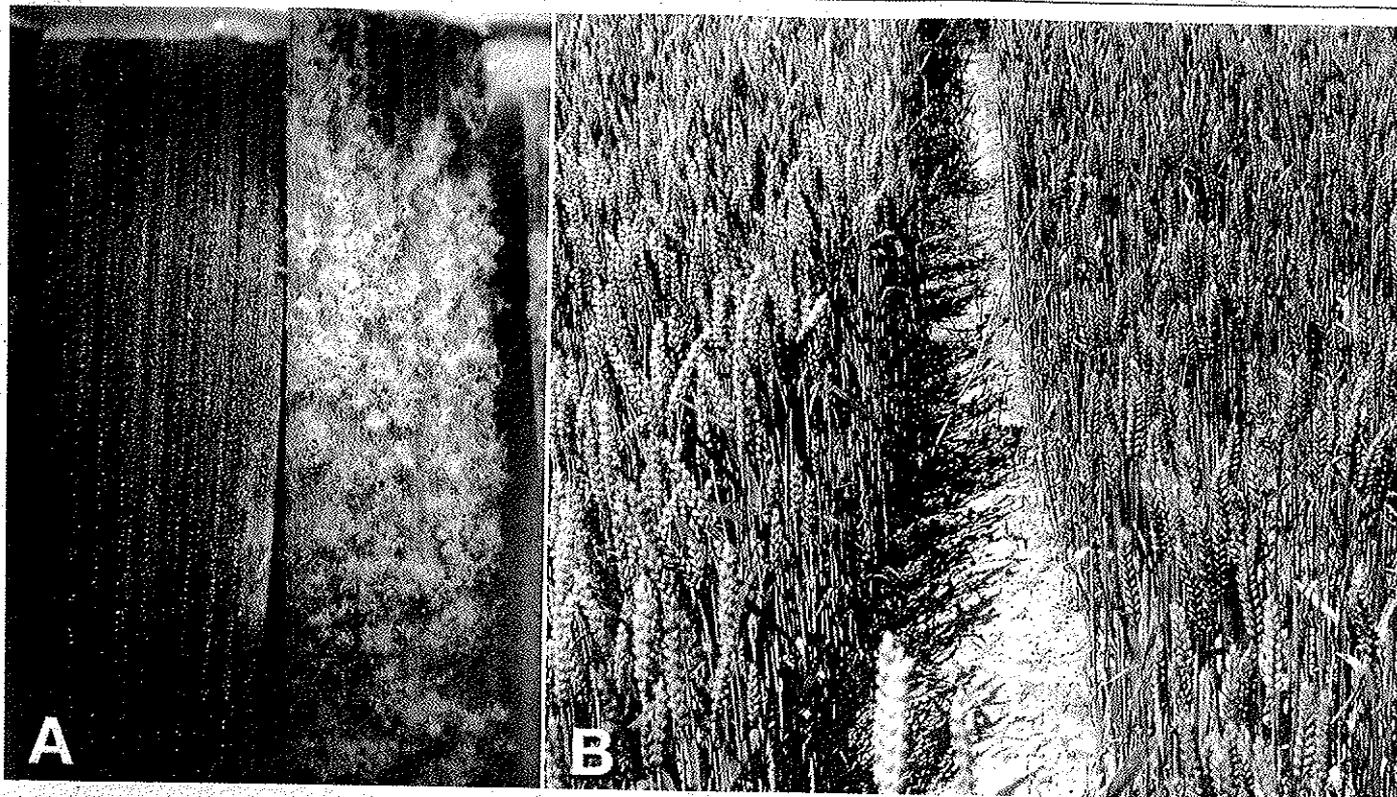


Abb. 1. Die gentechnischen Arbeiten im Schwerpunktprogramm Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds konzentrieren sich auf die Pilzresistenz der vier Kulturen Kartoffeln, Weizen, Apfel und Rebe. Beim Weizen steht die Verbesserung der Resistenz gegen Braunrost, *Mehltau* (A) und *Septoria nodorum* (B) im Vordergrund. Rechts ist jeweils eine anfällige Linie, links eine relativ resistente Linie abgebildet. In den Weizenprojekten werden sowohl transgene Pflanzen wie auch eine verbesserte Gendiagnostik für Resistenzgene zuhanden der klassischen Pflanzenzüchtung entwickelt (Keller *et al.* 1995).

mit der Zeit in viele Sorten verschiedenster Kulturpflanzen eingebaut werden. Damit würde generell ein sehr hoher Selektionsdruck auf die Schadinsekten ausgeübt, und die Wahrscheinlichkeit einer Resistenzbildung der Schädlinge wäre gross. Damit könnte das Bt-Gen als wertvolle genetische Ressource innert kurzer Zeit seine Wirkung verlieren. Der Anbau von kleinen, aber ökologisch relevanten Flächen mit nicht Bt-Sorten könnte diesen Selektionsdruck senken und die Resistenzbildung verzögern oder ganz verhindern.

■ Wenn sich die Gentechnik bei Raps weiterhin so rasch und erfolgreich entwickelt, könnten agronomische Probleme entstehen: die mögliche Herstellung von verschiedenen, wirtschaftlich interessanten Ölen aus Raps würde wahrscheinlich die Rapsanbaufläche vergrössern und Fruchtfolgeprobleme würden zweifellos zunehmen (Schmid *et al.* 1996).

Solche voraussehbaren Probleme lassen sich mit geeigneten Massnahmen minimalisieren. Es ist nicht auszuschliessen, dass neben diesen Problemen noch neue, bis heute nicht bekannte Schwierigkeiten auftauchen könnten. Dies ist bei der Gentechnik nicht anders als bei anderen jungen

Technologien. Um solche Probleme frühzeitig erkennen zu können, muss eine generelle Beobachtung der landwirtschaftlich genutzten, transgenen Pflanzen primär im landwirtschaftlichen Ökosystem, aber auch ausserhalb der genutzten Flächen, erfolgen. Durch dieses Monitoring sollen mögliche ökologische Folgen von GVO-Pflanzen festgestellt werden. Gegenwärtig arbeiten verschiedene Institutionen in der Schweiz daran, die Kriterien für ein solches Monitoring zu etablieren. Eine neue staatliche Eingriffsmöglichkeit in die landwirtschaftliche Anbaupraxis könnte mithelfen, Fehlentwicklungen beim Anbau transgener Sorten zu vermeiden. Zudem könnte das positive ökologische Potential der Gentechnik im Pflanzenbau viel besser und gezielter genutzt werden. Voraussetzung dafür ist, dass der Bund Anbauvorschriften und andere Auflagen machen kann; zum Beispiel die oben beschriebenen ökologischen Nischen mit nicht transgenen Pflanzen. Ein Ausbau der dafür nötigen gesetzlichen Instrumente ist im Rahmen der Genlex-Motion anzustreben. Dies würde zu einer Minimierung von ökologisch ungünstigen Entwicklungen führen. Optimale Anbaustrategien, beispielsweise bei herbizidresistenten

Pflanzen, könnten so durchgesetzt werden. Um die besten Anbaustrategien für die schweizerische Landwirtschaft zu finden, ist eine intensive Feldforschung mit transgenen Pflanzen nötig. Diese ist bis heute aus politischen Gründen unterblieben.

Pflanzenzüchtung der Zukunft

Die rasche Integration von gentechnisch verändertem Zuchtmaterial in die Zuchtprogramme der internationalen Saatgutfirmen zeigt, dass im Normalfall die Trennung von konventionellen und GVO-Zuchtprogrammen bald nicht mehr möglich sein wird. Es ist absehbar, dass viele Anwendungen der Gentechnik in einigen Jahren mit anderen Züchtungsmethoden gleichgestellt sein werden. Zukünftig wird damit nur noch die neue Eigenschaft einer Sorte (also z.B. Insektenresistenz oder Herbizidresistenz) auf ihre Folgen für Mensch und Umwelt beurteilt werden, jedoch nicht die Methode, mit der sie erreicht wurde (sexuelle Kreuzung, Gewebekultur oder Gentechnik). Eine solche Beurteilung aufgrund der Eigenschaft und nicht der Methode wird heute schon in

Nordamerika angewendet. In Zukunft werden transgene und «konventionelle» Pflanzen gleichberechtigt im Zuchtgarten stehen. Allenfalls wird vor der Zulassung einer Sorte noch analysiert, ob und welche «Transgene» vorhanden sind.

In dieser Situation stellt sich die Frage, ob es längerfristig noch klassische, nicht transgene Sorten geben wird. Diese Frage ist vor allem auch für den biologischen Landbau von Bedeutung, der auf GVO-Sorten verzichten will. Die oben beschriebenen Erwartungen zeigen, dass Nicht-GVO-Sorten nur noch erhältlich sein werden, wenn es Zuchtprogramme mit ausschliesslich nicht transgenem Zuchtmaterial geben wird. Spezifische Anforderungen an Krankheitsresistenzen und Qualität lassen erwarten, dass Nicht-GVO-Sorten für den Anbau in der Schweiz nur aus schweizerischen Zuchtprogrammen oder eventuell aus Züchtungen in den umliegenden Ländern kommen werden. Es wäre also wünschenswert, dass den oft geäusserten Wünschen nach Wahlfreiheit der Konsumentinnen und Konsumenten zwischen GVO- und Nicht-GVO-Produkten in der Landwirtschaft Taten folgen würden, die diese Wahlfreiheit längerfristig ermöglichen. Dazu gehören Entscheide, welche Kulturen in der Schweiz in weiterer Zukunft GVO-frei angebaut werden sollen. Das Beispiel vom 00-Raps hat gezeigt, dass die schweizerische Landwirtschaft bei Kulturen, deren Sortenzüchtung im Ausland erfolgt, letztlich nur noch anbauen kann, was dort als züchterisch wertvoll gilt. Es ist nicht anzunehmen, dass ein rein marktwirtschaftlich ausgerichtetes Zuchtprogramm nur für die Schweiz etabliert werden kann. Eine Unterstützung durch Produzenten- und Konsumentenverbände (z.B. aus dem Biolandbau) wäre für die Etablierung von Nicht-GVO-Zuchtprogrammen essentiell.

Ausblick

Ein ökologisches Langzeitmonitoring, eine Zusammenarbeit mit anderen Ländern (v.a. auch Entwicklungsländern) sowie eine eigene, auf hohem Niveau forschende und anwendende Wissenschaft im öffentlichen und privaten Bereich sind nötig zur sinnvollen Nutzung und schrittweisen Integration der Gentechnik in die landwirtschaftliche Praxis. Abschottungsstrategien, wie sie die Genschutzinitiative vorschlägt, sind kontraproduktiv, schaden dem Forschungsplatz Schweiz und tragen nichts zu einer kontrollierten

Entwicklung der Gentechnik bei. Zur Gewährung der Wahlfreiheit zwischen GVO und Nicht-GVO-Sorten können längerfristig nur eigene, kompetitive Zuchtprogramme beitragen.

DANK

Ich danke Martin Keller (FAL Reckenholz und ETH Zürich) für konstruktive Diskussionen zu dem Thema Gentechnik in der Landwirtschaft und für das kritische Durchlesen dieses Manuskripts.

LITERATUR

■ Keller B. 1996. Gentechnologie und unser tägliches Brot: Traditionelle und gentechnische Nutzung der Biodiversität von Wildgräsern in der Weizenzüchtung. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich (1996) 141/4, 153-160.

■ Keller M. 1997. Gentechnik - eine Option für die Landwirtschaft? Broschüre der Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich.

■ Keller B., Messmer M., Feuillet C., Winzeler H., Winzeler M., und Schachermayr G. 1995. Molekulare Marker in der Weizenzüchtung. *Agrarforschung* 2(1), 17-20.

■ Schmid J.E., Carrel K. und Stamp P. 1996. Bedeutung gentechnisch veränderter krankheits- und schädlingsresistenter Nutzpflanzen für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. In: Schulte E. und Käppeli O. (Hrsg.) Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen. Fachstelle BATS, Basel.

RÉSUMÉ

Utilisation du génie génétique en agriculture

En 1997, plus de 120 000 km² ont été utilisés pour la culture de plantes transgéniques, principalement en Amérique du nord. Ce développement a des conséquences sur le secteur de la sélection végétale: si l'on désire développer des variétés non transgéniques à long terme (i.e. agriculture organique), des programmes de sélection utilisant des variétés qui ne sont pas génétiquement modifiées doivent être mis en place immédiatement. Le rôle du secteur «biotechnologie végétale» en Suisse ainsi que les problèmes liés à la culture à grande échelle de variétés transgéniques sont discutés.

SUMMARY

Gene technology and its application in agriculture

Transgenic plants were grown on an area of more than 120'000 km² in 1997, mainly in North America. This development has consequences for plant breeding: if there is a long-term need for non-transgenic varieties (e.g. for organic agriculture), GMO-free breeding pro-

grams should now be initiated. The role of Swiss plant biotechnology as well as possible problems related to the large scale growth transgenic varieties are discussed.

KEY WORDS: gene technology in agriculture, monitoring, plant breeding, Swiss agriculture