

(Aus dem Schwedischen Saatzuchtverein Svalöf.)

Mutationsforschung und Züchtung.

Von **Åke Gustafsson.**

Im Schwedischen Saatzuchtverein in Svalöf wurde die Tätigkeit in den letzten Jahren erheblich erweitert, und die letzten Erfolge der theoretischen Vererbungsforschung sind in den Dienst der Pflanzenzüchtung gestellt worden. Von den neuen wissenschaftlichen Zweigen der Genetik wurde die Mutationsforschung früher als vom praktischen Gesichtspunkt wenig ergiebig erachtet. Während der letzten Jahre hat diese Forschungsrichtung indessen so überraschende Ergebnisse gezeigt, daß die Pflanzenzüchtung sie früher oder später ganz in ihren Dienst stellen muß. Der Direktor der A. G. Saltsjökvärn, Stockholm, HJ. CARLBORN, hat zu vorbereitenden Untersuchungen über vitale Mutationen nicht unbedeutende Mittel für einige Jahre zur Verfügung gestellt. Diese Mittel haben es ermöglicht, in großem Umfang mit Pflanzen, die von unmittelbarer praktischer Bedeutung für Schweden sind, zu arbeiten sowie auch mit solchen, die erst in der Zukunft durch fortgesetzte Züchtungsarbeit wertvoll werden können. So werden Arbeiten durchgeführt mit Weizen, Gerste, Hafer, Sojabohnen, Bohnen, Lein, Süßlupine, Wiesenrispengras, Kohlrüben und anderen Kulturpflanzen. Die Untersuchungen mit Gerste sind grundlegend gewesen, und hier sind bereits positive Ergebnisse vorhanden.

Unter Mutation wird bekanntlich eine Veränderung in der Masse der Erbanlagen verstanden, die nicht mit Kreuzungserscheinungen im Zusammenhang steht. Einzelne Erbanlagen oder einzelne Chromosomen werden plötzlich ohne äußere Ursache verändert. Diese plötzliche und unregelmäßige Entstehungsweise schien lange unerklärlich zu sein. 1927 wies der amerikanische Forscher MULLER nach, daß man mit Hilfe von Röntgenbestrahlung diese Mutationsfrequenz wesentlich erhöhen kann. Auf Grund dieses fundamentalen Forschungsergebnisses ist die Mutationsforschung in eine neue Arbeitsperiode eingetreten, der *physikalische* Hintergrund der Röntgenwirkung sowie die *biologischen* Phänomene der Genmutation wurden klargelegt. Im Zusammenhang hiermit können TIMOFÉEFF-

RESSOWSKY, STADLER, ZIMMER und STUBBE genannt werden. Bisher sind jedoch Resultate von unmittelbarer praktischer Bedeutung außerhalb Schwedens nicht veröffentlicht worden.

Das bei der Gerste angewandte Verfahren, das sich am praktischsten gezeigt hat, ist folgendes: Ruhende Samen mit einem Wassergehalt von 10—15 % (oder evtl. höher) werden mit Röntgenstrahlen so intensiv bombardiert, daß nur ein geringer Teil des bestrahlten Samenmaterials keimt und sich zu ährentragenden Pflanzen entwickelt. Infolge der starken Bestrahlung sind die erwachsenen Pflanzen häufig hochgradig steril (Tabelle 1). Diese Sterilität beruht darauf, daß die Chromosomen der ruhenden Samen zersprengt, Chromosomenstücke wegfallen oder an andere Chromosomen angelagert werden. Unter den Nachkommen dieser Pflanzen tritt eine Reihe von Mutationen auf, von denen die meisten Chlorophyllmutationen sind, d. h. die Keimpflanzen sind weiß, ganz ohne Chlorophyll- und Carotinfarbstoffe, gelb, ohne Chlorophyllstoffe, oder hellgrün mit vermindertem Gehalt an Chlorophyll. Auch andere Typen kommen vor. Außer Chlorophyllmutationen werden auch sterile Mutationen gebildet, die entweder auf letal wirkenden Erbanlagen in recessiver Form, auf den Wegfall von Chromosomenstücken oder auf Chromosomenumlagerungen zurückzuführen sind, die den Verlauf der Meiosis stören. Derartige Sterilitätsmutationen sind nicht näher untersucht worden, sondern es wurden nur solche Mutationen berücksichtigt, die schon bei ihrem Auftreten fertil waren.

Außer Chlorophyllmutationen werden auch ganz vitale Mutationen gebildet, und diese sind natürlich diejenigen, die für den *Züchter* von Interesse sind. Viele von diesen stellen in einzelnen Eigenschaften wie Standfestigkeit, Korngröße, Frühzeitigkeit u. a. praktische Fortschritte im Vergleich mit der Ursprungslinie dar.

Das Ausgangsmaterial für die Versuche, die bis 1939 angestellt worden sind, war Goldgerste, da diese Linie eine der wertvollsten Sorten ist und überdies als Elter für die hochgezüchteten dänischen Sorten Maja, Kenia und Opal gedient hat.

Tabelle 1. Röntgendosis, Keimung und X_1 -Fertilität von Majagerste (175 kV, 4 mA, Filter: 0,05 mm Cu + 1 mm Pappe, 2040 r/min).

Dosis	Die Fertilität der X_1 -Pflanzen											Durchschnittliche Fertilität %	Σ reife X_1 -Pflanzen	Unmittelbare Keimung %	Reife X_1 -Pflanzen in % der gesäten Samen
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100				
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%				
Kontr.	—	—	—	—	—	—	—	2,2	—	97,8	97,11	90	92,5	75,0	
2500r	—	—	—	—	0,2	0,5	3,4	9,3	23,5	63,0	80,45	557	90,2	64,4	
5000r	—	—	—	—	0,7	6,1	11,2	20,9	31,0	30,0	77,64	277	71,9	32,0	
10000r	—	—	—	0,7	3,5	7,0	21,1	29,6	23,9	14,1	75,35	142	44,4	15,9	
15000r	—	—	—	3,3	1,1	8,8	20,9	33,0	23,1	9,9	73,79	91	28,8	13,3	
20000r	—	—	—	0,7	2,9	6,4	26,4	30,0	25,0	8,6	74,14	140	19,1	9,8	
25000r	—	0,8	0,8	4,2	9,2	18,5	23,5	17,6	21,0	4,2	66,51	119	18,4	8,2	

Bevor die Ertragszahlen diskutiert werden, sei auf das Aussehen der Mutationen eingegangen. Es gibt zwei Haupttypen von vitalen Mutationen: 1. *morphologische Mutationen*, bei denen nebst Veränderungen in physiologischen Eigenschaften auch distinkte äußere Merkmale neu



Abb. 1. Drei Röntgenmutationen von Goldgerste. Von links nach rechts: Goldgerste, Erectoides 1, späte Mutation und Erectoides 3.

entstehen oder schon vorhandene verändert werden, und 2. *physiologische Mutationen*, die bei Anbau neben der Ursprungslinie allerdings deutlich, aber nur in Eigenschaften unterschieden werden können, die die Halmlänge, Standfestigkeit, Reifungszeit, Bestockungsvermögen usw. betreffen.

Sichere Grenzen zwischen den zwei Gruppen bestehen jedoch kaum, da bei allen Mutationen

Veränderungen in vieler Hinsicht auftreten. Einen Übergang zwischen ihnen bilden übrigens wintergerstenähnliche Mutationen, die eher als physiologische denn als morphologische aufzufassen sind, obwohl sie beim Anbau als Sommergerste neben der Mutterlinie durch ihr Unvermögen zum Schossen abweichen, was bei ihnen erst am Ende der Vegetationsperiode eintritt.

Während der letzten drei Jahre sind bei der Gerste so viele Mutationen aufgetreten, daß eine detaillierte Beschreibung zu umfangreich ausfallen würde. Es seien hier nur die wichtigsten Typen erwähnt, und namentlich jene, die praktisches Interesse besitzen.

Der häufigste Mutationstypus erinnert in vieler Hinsicht an die sog. erectum-Gerste, beispielsweise Primus und Svanhals, die in Schweden kaum Bedeutung haben, aber in den mittleren Teilen Schwedens in ziemlich großer Ausdehnung angebaut werden. Diese Mutationen werden charakterisiert durch dichte und kurze Ähren, verhältnismäßig kurzen Halm und ausgesprochene Standfestigkeit. Eine der erectum-ähnlichen Mutationen ist so extrem, daß sie den eigentlichen erectum-Gersten zugerechnet werden kann. Zum Unterschied von den meisten anderen Mutationen haben ihre Samen nämlich die sogenannte erectum-Basis. Sie ist indessen leicht von Primus wie von Svanhals zu unterscheiden. Beispielsweise durch spätere Reife und aufrechte Ähren (Unterschied von Svanhals) oder durch langhaarige Basalborsten der Körner (Unterschied von Primus). Außerdem weicht sie von den skandinavischen erectum-Typen dadurch ab, daß sie in bezug auf die Samenbasis über Goldgerste dominiert. Sie ist demnach partiell eine *dominante* Mutation. Der Ährentypus ist dagegen in F_1 annähernd intermediär. Elf der zwölf erectum-ähnlichen Mutationen befinden sich nun in Kultur. Nicht weniger als fünf sind in ver-

gleichenden Versuchen geprüft worden, und zwei waren der Mutterlinie gleichwertig oder überlegen. Abb. 1 und 2 zeigen den Ährenstypus und die Kornform einiger erectum-ähnlicher Mutationen. Die extreme Mutation steht in Abb. 1 ganz rechts sowie in Abb. 2 als Nummer 2 in der unteren Reihe.

Eine besonders interessante, morphologische Mutation hat die äußeren Hüllspelzen ähnlich den inneren ausgebildet, und jene sind mit langen Borsten versehen. Außerdem sind die Seitenblüten spitzig und begrannt. Dieser Mutationstypus ist zweimal, in ganz verschiedenen Samenserien, entstanden. Ob diese beiden Fälle auf Veränderungen der gleichen Erbanlage beruhen, ist noch nicht festgestellt. Sicher ist die eine Mutation in Kreuzungen mit Goldgerste recessiv. 1940 wurden zwei, 1941 mit Sicherheit wenigstens eine Sechszellenmutation erhalten. Ihr Verhalten bei weiterem Anbau, ihr Ertrag und andere praktische Eigenschaften sind noch nicht festgestellt, aber sie verdienen besonderes Interesse, da sechszeilige Gersten oft früher sind als zweizeilige. Hierbei ist die Feststellung von besonderer Bedeutung, ob diese Frühreife mit der Sechszelligkeit selbst zusammenhängt oder durch besondere Frühreifegene bedingt wird, die aus historischen Gründen oder rein zufällig in die nordskandinavischen sechszeiligen Gersten gelangt sind. Zwei wintergerstenähnliche Mutationen, die 1939 entstanden, werden nunmehr untersucht. Wahrscheinlich haben sie wegen ihrer ge-

ringen Frosthärte keine praktische Bedeutung. Die extremere der beiden Mutationen erreicht, wenn sie als Sommergerste gebaut wird, kaum

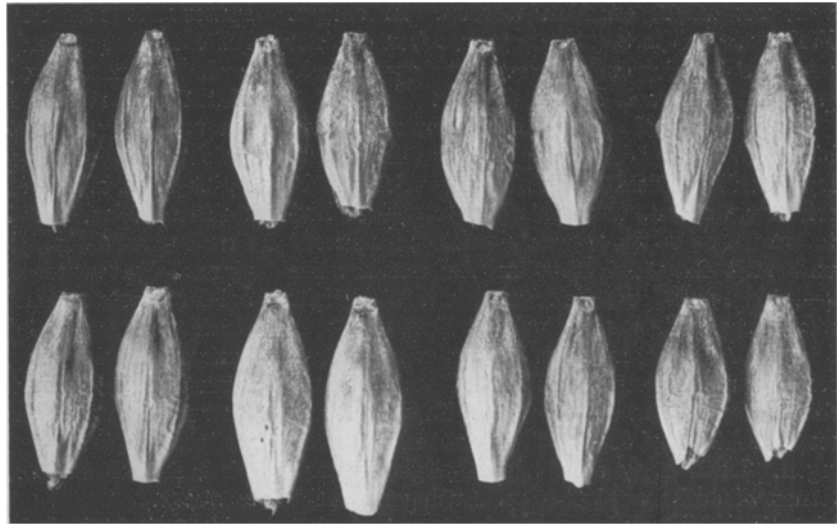


Abb. 2. Körner von sieben erectoides-Mutationen.
Obere Reihe von links nach rechts: Goldgerste, Erectoides 4, Erectoides 2, Erectoides 7; untere Reihe: Erectoides 1, Erectoides 3 (= die extreme erectum-Mutation), Erectoides 5 und Erectoides 6.

die Reife. Sie schoßt erst Ende Juli und ist bei der Ernte mehr oder weniger steril. Der zweite



Abb. 3. Eine wintergerstenähnliche Mutation aus Goldgerste, am 9. Juli 1941 photographiert. Im Hintergrund Goldgerste.

Typus schoßt etwas früher, ist ganz fertil und weicht durch sein eigentümliches „schilfähnliches“ Aussehen von allen skandinavischen Gerstensorten ab.

In höchstem Grade interessant sind Typen, bei denen die Größe und Farbe der Körner verändert werden, ohne daß neue morphologische Eigenschaften auftreten. Solche Mutationen sind wiederholt erhalten worden. In einigen Fällen waren die Samen ausgesprochen dunkler als bei der Goldgerste, in anderen dagegen hellgelb oder schwach bräunlich gelb.

Diese Korngröße- und Kornfarbenmutationen bilden eine spezielle Gruppe unter den physiologischen Mutationen. Sie sind in großer Anzahl erhalten worden. Die erste physiologische Mutation wurde schon 1937 beobachtet; sie schoß und reift in vergleichenden Anbauversuchen 4--5 Tage später als die Mutterlinie. Sie weicht auch durch höheren Halm und längere, etwas dünnere Ähre ab, hat aber im übrigen das Aussehen der Goldgerste, und ihre Standfestigkeit dürfte auch etwa dieselbe sein. Ihre Fertilität und Vitalität sind der der Goldgerste nicht unterlegen. Nach 1937 sind Standfestigkeitsmutationen wiederholt aufgetreten. Auch ganz fertile Mutationen mit niedrigerer Halmlänge (d. h. mit etwa gleicher Halmlänge wie die der dänischen Sorten Kenia und Opal) sind erhalten worden. Mit geringerer Halmlänge ist oft höhere Standfestigkeit verbunden. Einige solche Mutationen haben an den Ertragsversuchen von 1941 teilgenommen, und besonders eine von ihnen ist vielversprechend. Zwei Standfestigkeitsmutationen sind in den kleineren Ertragsversuchen von 1940 geprüft worden; sie waren indessen wertlos. Eine derselben ist jedoch interessant, da sie gleichzeitig nackte oder halbnackte Körner hat; die inneren Hüllspelzen lösen sich nämlich sehr leicht oder umschließen den Samen überhaupt nicht.

Mutationen mit veränderter Reifezeit sind nicht selten. Am häufigsten tritt eine Ver-

längerung der Entwicklungsperiode ein. Dies gilt z. B. für die früher erwähnte extreme erectum-ähnliche Mutation, Erectoides 3, die in vergleichenden Versuchen etwa eine Woche später schoßt als Goldgerste und 10 Tage später reift. Früher reifende Mutationen sind indessen auch gefunden worden. Einige erectoides-Mutationen reiften 1940 und 1941 einen oder ein paar Tage früher als Goldgerste, und das gleiche gilt für ein paar rein physiologische Mutationen, u. a. für eine Mutation mit kurzem, steifem Halm, eine Kornfarbenmutation und eine hochwüchsige, grobkörnige Mutation. Eine planmäßige Auslese für stärkere Frühreife wurde bei der Gerste noch nicht durchgeführt, während Nachkommen der Sojabohne in dieser Richtung kontrolliert worden sind. Bei der Sojabohne können Frühreifemutationen fundamentale Bedeutung erlangen. Von großer Bedeutung für die weitere Arbeit ist, daß ein für allemal festgestellt wird, daß *ab und zu vitale Frühreifemutationen entstehen*.

Von rein biologisch-chemischen Eigenschaften die verändert worden sind, haben einige ein gewisses Interesse. Wie Tabelle 2 zeigt, ist das Tausendkorngewicht bei drei von zehn untersuchten Mutationen höher als bei der Ursprungslinie, in zwei Fällen ist es recht beträchtlich erhöht, um 15 bzw. 5%. Dieses hohe Tausendkorngewicht kommt auch in den Zahlen der Siebsortierung zum Ausdruck; das weiteste Sieb (2,8 mm) enthielt nämlich nicht weniger als 90,2% der Körner bei Erectoides 3 gegenüber 86,1% bei der Goldgerste. Niedriges Tausendkorngewicht und schlechte Siebsortierung haben wenigstens drei der zehn Mutationen, und eine derselben (die Standfestigkeitsmutation 1) ist so ausgesprochen schlecht, daß auf dem größten Sieb nicht mehr als 29,3% aller Körner zurück-

Tabelle 2. Physiologisch-chemische Eigenschaften von zehn Mutationen von Gerste.

Sorte	1000-Korngewicht (in Gramm)		Hekto- liter- gewicht 1941	Proteingehalt		Stärkegehalt		Siebsortierung (1940)			
	1940	1941		1940	1941	1940	1941	Sieb I	Sieb II	Sieb III	IV
								(2,8 mm)	(2,5 mm)	(2,2 mm)	—
Erectoides 1	50,0	43,6	70,5	13,8	15,1	56,8	55,6	78,7	18,5	2,3	0,6
Erectoides 3	58,2	55,6	71,2	11,5	14,1	60,4	57,5	90,2	8,1	1,2	0,4
Späte Mutation	53,4	47,2	71,0	12,3	13,2	59,5	58,0	86,4	12,4	0,9	0,3
Blattfarbenmutation	45,4	40,0	68,5	14,7	15,4	56,7	55,0	54,9	39,8	4,1	1,2
Majagerste	55,2	47,0	70,0	12,0	13,2	59,0	57,7	86,6	10,8	1,8	0,9
Goldgerste	50,9	45,6	71,0	13,8	15,1	57,8	56,1	86,1	11,8	1,8	0,4
Primus II	—	54,2	70,5	—	15,8	—	55,8	—	—	—	—
Erectoides 2	49,5	—	—	14,6	—	55,4	—	83,2	14,3	2,1	0,5
Erectoides 5	46,5	—	—	15,0	—	55,0	—	71,8	23,9	2,9	1,4
Erectoides 4	46,9	—	—	15,2	—	54,6	—	69,2	26,3	3,2	1,4
Standfestigkeitsmutation 2	49,1	—	—	14,3	—	56,8	—	77,0	18,0	4,0	1,0
Mutation mit veränderten Hüllspelzen	51,3	—	—	15,7	—	56,5	—	87,3	11,6	1,0	0,2
Standfestigkeitsmutation 1	45,2	—	—	16,0	—	56,4	—	29,3	58,9	10,1	1,7

blieben. Eine der Mutationen mit niedrigem Tausendkorngewicht (eine Blattfarbenmutation) ist indessen insofern interessant, als das niedrige Tausendkorngewicht in gewissem Maße durch eine höhere Bestockung oder eine größere Anzahl Samen je Ähre ausgeglichen wird, so daß die Gesamtmenge an Samen größer ist als bei der Goldgerste (1940).

Der Protein- und Stärkegehalt variiert stark. Eine ausgesprochen negative Korrelation zwischen Ertrag und Proteingehalt besteht, wenigstens in den Versuchen des Jahres 1940. Sowohl 1940 als 1941 hatte die Blattfarbenmutation höheren Proteingehalt als Goldgerste, Erectoides 3 und die späte Mutation höheren Stärkegehalt.

Von großem Interesse sind die Zahlen für die Keimreife (Tabelle 3). Diese Eigenschaft ist für die Brauereien bedeutungsvoll. Goldgerste selbst hat nach der Reife eine kurze Periode mit verminderter Keimfähigkeit. Binnen zwei Monaten

Tabelle 3. Die Keimreife von zehn Röntgenmutationen.

Sorte	Keimung % am 9. Okt. 1940	Keimung % am 9. Nov. 1940	Unter- schied %	D/m
Morphologische Mutationen				
Mutation mit ver- änderten Hüll- spelzen . . .	95,88	97,88	$2,00 \pm 0,86$	2,33
Erectoides 1 . . .	93,50	97,64	$4,14 \pm 1,02$	4,05
Goldgerste . . .	93,88	98,38	$4,50 \pm 0,96$	4,69
Erectoides 2 . . .	91,75	97,75	$6,00 \pm 1,10$	5,45
Erectoides 5 . . .	88,88	96,63	$7,75 \pm 1,28$	6,05
Erectoides 4 . . .	87,25	97,40	$10,15 \pm 1,31$	7,75
Erectoides 3 . . .	73,50	92,38	$18,88 \pm 1,82$	10,37
Physiologische Mutationen				
Standfestigkeits- mutation 1 . . .	95,38	96,38	$1,00 \pm 0,99$	1,01
Blattfarbenmuta- tion	94,00	95,38	$1,38 \pm 1,12$	1,23
Späte Mutation . . .	92,88	97,50	$4,62 \pm 1,06$	4,35
Goldgerste	93,88	98,38	$4,50 \pm 0,96$	4,69
Standfestigkeits- mutation 2	87,75	97,25	$9,50 \pm 1,29$	7,36
Majagerste	90,33	98,67	$8,34 \pm 0,91$	9,16

wird sie bis zu 94% keimreif (1940) und nach drei Monaten ist sie vollkommen keimreif. Die Mutationen unterscheiden sich in dieser Eigenschaft recht stark. Unter den morphologischen Mutationen verhalten sich vier mehr oder weniger wie Goldgerste, während zwei erectoides-Mutationen deutlich abweichen, was namentlich für Erectoides 3 gilt. Unter den physiologischen Mutationen nimmt die Keimreife bei zwei so stark zu, daß zwischen den Zahlen nach zwei und nach drei Monaten kein Unterschied mehr

besteht. Die Abweichung von der Goldgerste ist deutlich. Bei einer Standfestigkeitsmutation wurde die Keimreife stark vermindert.

Obgleich die bisherigen chemisch-physiologischen Untersuchungen keineswegs sehr eingehend sind, zeigen sie doch, daß Mutationen die Eigenschaften der Goldgerste sowohl in der Plus- wie in der Minusrichtung verändern können. Ertragreiche Sorten, die eine von gewissem Gesichtspunkt unvorteilhafte physiologische Eigenschaft haben, können vielleicht in Zukunft verbessert werden, indem sie röntgenbestrahlt und in darauffolgenden Generationen einer strengen Auslese unterworfen werden.

Diese Untersuchungen, die in vollem Umfang erst während drei Jahren durchgeführt wurden, zeigen, daß die reine Linie in vielen Richtungen aufgeteilt werden kann, wodurch eine neue Linienmannigfaltigkeit hergestellt wird, aufgebaut auf die Erbmasse einer und derselben wertvollen Linie und also nicht — im Gegensatz zu den alten Landsorten — auf einem Konglomerat von wertvollen und wertlosen ursprünglichen Typen. Im Jahre 1940 wurden außer Goldgerste die ertragreichsten Malz- und Futtergerstensorten des Handels bestrahlt, um sie auf diesem Wege aufzuteilen.

Es drängt sich unmittelbar die Frage auf: Wenn eine Linie oder eine Sorte in praktisch allen Richtungen verändert werden kann, sind dann die neuentstandenen Typen der Mutter-sorten unterlegen, gleichwertig oder in vereinzelt Fällen überlegen? Diese Frage ist in der Tat der Kernpunkt der Mutationsforschung. Denn wenn die neuentstandenen Mutationen der Stammsorte stets unterlegen sind, mag es sich nun um wilde oder um kultivierte Pflanzen handeln, so bleiben sie in der Natur ohne Bedeutung und dies in noch höherem Grade auf dem Acker. Eine eingehende Erörterung dieses Problems kann hier nicht vorgenommen werden und ist auch nicht notwendig, da die Ertragsversuche, die in Svalöf in den Jahren 1940 und 1941 durchgeführt worden sind, eine bejahende Antwort gegeben haben dürften: *Mutationen können unmittelbar das Ertragsvermögen der Mutterlinie erhöhen.*

Das 1940 zur Verfügung gestandene Samenmaterial war nicht groß, weshalb die Versuche nicht in großem Umfang gemacht werden konnten. Zehn Mutationen von verschiedenem Aussehen (siehe Tabelle 4) wurden in vier Serien gesät und folgendermaßen gedüngt: 1. mit 200 kg Kalksalpeter je ha, 2. mit 300 kg Kalksalpeter je ha, 3. mit 400 kg Kalksalpeter je ha sowie 4. noch einmal mit 200 kg je ha (Wieder-

Tabelle 4. Vergleichende Ertragsprüfung mit Gerstenmutationen 1940.

Sorte	Parzellenertrag				Ertrags- summe Gramm	Diffe- renz %
	I	II	III	IV		
Erectoides 3 . . .	1060	1120	1220	1080	4480	+ 11,7
Majagerste . . .	1135	1070	1130	1095	4430	+ 10,5
Späte Mutation . . .	1050	1150	990	1150	4340	+ 8,2
Erectoides 1 . . .	1100	930	1090	940	4060	+ 1,3
Goldgerste . . .	900	1070	1040	1000	4010	—
Blattfarbenmut. . .	840	1020	870	930	3660	— 8,7
Erectoides 2 . . .	1040	750	920	810	3520	— 12,2
Erectoides 5 . . .	870	840	850	770	3330	— 17,0
Erectoides 4 . . .	800	950	700	780	3230	— 19,5
Standfestigkeits- mutation 2 . . .	650	840	730	820	3040	— 24,2
Mutation mit ver- änderten Hüll- spelzen . . .	830	700	700	750	2980	— 25,7
Standfestigkeits- mutation 1 . . .	810	760	640	710	2920	— 27,2

600 Körner je Parzelle. 2 Körner in jedem Loch. Parzellengröße 75 × 300 cm.

Düngung: I = 200 kg Kalksalpeter je ha. II = 300 kg je ha. III = 400 kg je ha. IV = 200 kg je ha.

holung von Serie 1). Als Nummer 6 und 7 standen in jeder Serie Maja- und Goldgerste, Goldgerste, weil die Mutationen aus dieser entstanden sind, Maja, um ein Bild vom Höchstertrag zu erhalten. Vor der Serie 1 sowie nach Serie 4 wurde gleichfalls Maja gesät, so daß in Wirklichkeit 6 Serien Maja ausgesät wurden. Von jeder Mutation und vom Standard wurden 600 Körner je Parzelle gesät und zwei Körner in jedes Loch gegeben, um einen dichten Bestand zu erzielen.

Aus dem Versuch geht unmittelbar hervor, daß die meisten Mutationen wertlos sind. Sie umfassen sowohl morphologische wie physiologische Typen. Trotzdem sie als fertil und vital zu bezeichnen sind, ergaben einige unter ihnen einen um 25—30% niedrigeren Ertrag als Goldgerste. Obgleich sie auch in Zukunft für theoretische Studien aufbewahrt werden sollen, sind sie wahrscheinlich ohne jede praktische Bedeutung.

Von größerem Interesse sind die drei Mutationen „im Gipfel“. Eine derselben — Erectoides 1 genannt — hat ungefähr den gleichen Ertrag, Tausendkorngewicht und Proteingehalt wie Goldgerste, besitzt aber eine bessere Standfestigkeit und weicht überdies morphologisch stark von der Goldgerste ab. Die beiden anderen Mutationen haben eine um etwa 3—10 Tage längere Vegetationsperiode, und wahrscheinlich steht der höhere Ertrag in direktem Zusammenhang hiermit. Der Ertrag dieser zwei Mutationen dürfte von dem der Goldgerste sicher verschieden sein. In sämtlichen vier Serien lag Erectoides 3 über Goldgerste, und in bezug auf

die späte Mutation war dies in drei Serien der Fall. Interessant ist, das Erectoides 3 mit der Majagerste in bezug auf Ertrag gleichwertig zu sein scheint.

Der hohe Ertrag von Erectoides 3 und der späten Mutation im Vergleich mit der Goldgerste dürfte zum großen Teil mit dem hohen Tausendkorngewicht zusammenhängen. Während dieses für Goldgerste 50,9 betrug, war es für Erectoides 3 58,2 und für die späte Mutation 53,4 (d. h. 14 bzw. 5% höher). Das Tausendkorngewicht war für die beste Mutation höher als für Maja, die jedoch in dieser Hinsicht die Goldgerste übertraf.

Die Ertragsversuche des Jahres 1941 sind weit verlässlicher als die von 1940. Auf Grund des reichlichen Samenmaterials konnten nämlich ganz normale mit Maschine gesäte Versuche angestellt werden. Es wurden die vier besten Mutationen vom Jahre 1940 (Erectoides 1 und 3, die späte sowie die Blattfarbenmutation) geprüft. Als Standard diente Goldgerste (die Mutterlinie), Majagerste sowie Primus II, letztgenannte, da Erectoides (1 und) 3 erectum-Charaktere aufweisen. Die Versuchspartellen hatten eine Größe von 7 × 1,36 m. Als Stickstoffdüngung wurde gegeben 200 kg (I und IV), 300 kg (II) bzw. 400 kg (III) Kalksalpeter je ha. Der Reihenabstand war 12,5 cm. Die Saattiefe betrug 194 kg je ha, berechnet als Durchschnitt für die 7 Typen, von denen im Zusammenhang mit den verschiedenen Tausendkorngewichten natürlich verschiedene Mengen geerntet wurden.

Tabelle 5 zeigt, daß Maja wie gewöhnlich Goldgerste weit an Ertrag übertrifft (+ 11%), sowie daß Primus II mit Goldgerste gleichwertig ist. Von den vier Mutationen ist die Blattfarbenmutation der Ursprungslinie klar

Tabelle 5. Vergleichende Ertragsprüfung mit Gerstenmutationen 1941.

Feld-Nr.	Sorte	Parzellenertrag				Ertrags- summe kg	Diffe- renz %
		I	II	III	IV		
1	Erectoides 1	2,31	2,16	2,62	2,46	9,55	—
2	Erectoides 3	2,32	2,77	2,60	2,18	9,87	—
3	Späte Mutat.	2,51	3,06	2,93	2,33	10,83	+ 10,0
4	Blattfarben- mutation	2,00	2,56	2,36	1,87	8,79	— 10,8
5	Majagerste	2,55	3,02	3,00	2,38	10,95	+ 11,1
6	Goldgerste	2,29	2,80	2,61	2,15	9,85	—
7	Primus II	2,32	2,59	2,59	2,05	9,55	—

Maschinensaat (Saatweite 12,5 cm; durchschnittlich 194 kg Saatgut je ha). Parzellengröße 7 × 1,36 m.

Düngung: I = 200 kg Kalksalpeter je ha. II = 300 kg je ha. III = 400 kg je ha. IV = 200 kg je ha.

unterlegen (—11%). Dies war auch 1940 der Fall. Die drei übrigen Mutationen waren indessen Goldgerste wenigstens gleichwertig. Erectoides 1 liegt gleichfalls wie 1940 ungefähr so hoch wie Goldgerste; in drei Serien ist sie überlegen, in einer aber klar unterlegen. Wie die Tabelle zeigt, ist indessen der Ertrag in der Serie II abnorm niedrig und verhält sich anders als bei den übrigen Sorten. Erectoides 3 ist in den Versuchen von 1941 nicht so überlegen, wie sie es 1940 war, liegt aber doch voll im Niveau mit Goldgerste, ja sogar ein wenig über dieser. Diese Mutation hat schwer unter der starken Vorsommertrockenheit 1941 gelitten, sie zögerte lange mit dem Schossen und bildete einen gewissen Prozentsatz steriler Blüten, obgleich sie in normalen Fällen voll fertil ist. Zusammen mit den übrigen durch Mutation veränderten morphologischen und physiologischen Eigenschaften entstand wahrscheinlich eine abweichende ökologische Einstellung. Sie erfordert offenbar eine höhere Vorsommerfeuchtigkeit als die Mutterlinie, die wegen ihrer Trockenresistenz bekannt ist. Gleichwie 1940 liegt die physiologisch späte Mutation im Ertrag beträchtlich höher als Goldgerste (+10%) und fast so hoch wie Maja.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Versuche von 1941 deutlich die früheren Erfahrungen bestätigen, indem drei der zehn genau geprüften Mutationen der Mutterlinie, Goldgerste, gleichwertig oder sogar überlegen sind.

Es ist von großem Interesse, hier die pleiotrope Wirkung der meisten genau untersuchten Mutationen hervorzuheben. So weicht z. B. Erectoides 3 von der Goldgerste in folgenden Eigenschaften ab: 1. Ährenlänge, 2. Aussehen der Samenbasis, 3. Anzahl Dornen auf den Seitennerven der inneren Hüllspelzen, 4. Blattbreite und Halmdicke, 5. Standfestigkeit, 6. Frühzeitigkeit, 7. Keimreife, 8. Tausendkorngewicht sowie sicherlich in noch manchen anderen Eigenschaften. Die physiologisch späte Mutation ist 1. später als Goldgerste, 2. hat sie wesentlich höheren Wuchs und längere Ähren und 3. höheres Tausendkorngewicht. Erectoides 1 weicht ab durch größere Ährendichte, geringere Anzahl Dornen auf den Seitennerven der Hüllspelzen, größere Standfestigkeit sowie etwas früheres Schossen. Diese Beispiele könnten vervielfältigt werden, und als allgemeine Regel dürfte gelten, daß die morphologischen Mutationen gleichzeitig Veränderungen in mehreren morphologischen und physiologischen Eigenschaften erfahren haben. Die Möglichkeit, daß diese Pleiotropie auf *einer* Genomveränderung beruht (z. B. in einem einzigen Gen) ist

allerdings nicht ausgeschlossen, aber wenn wir die Entstehungsweise der verschiedenen Mutationen sowie die Bedingungen für eine reichliche Produktion von vitalen Mutationen überhaupt studieren, gelangen wir zur Auffassung, daß gleichzeitig mit einzelnen Genveränderungen auch durchgreifende strukturelle Veränderungen auftreten.

Welches sind nun die besten Bedingungen für eine reichliche Erzeugung von vitalen Mutationen? Natürlich muß hier betont werden, daß die erhaltenen Resultate nicht ohne weiteres verallgemeinert werden können, aber einige Daten dürften doch allgemeinen Wert besitzen. Die am eingehendsten studierte Serie ist 1937: 110. Eine Samenpartie von 550 Körnern wurde ungefähr drei Wochen über Schwefelsäure aufbewahrt und darauf so intensiv mit Röntgenstrahlen behandelt, daß sich aus 505 gesäten Körnern nur 30 ährentragende Pflanzen entwickelten. Diese 30 X_1 -Pflanzen zeigten eine durchschnittliche Sterilität von 70,3%. Bei der Analyse der X_3 -Generation wurden etwa zehn Fälle von Chlorophyllmutationen erhalten, drei Fälle von Zwergen, zwei wintergerstenähnliche Typen, eine Blattfarbenmutation, zwei Standfestigkeitsmutationen, zwei Halmlängenmutationen sowie eine Linienmutation, die sehr leicht von Pilzen befallen wurde. Die totale Mutationsfrequenz beträgt, wenn wir von Sterilitätsmutationen absehen, etwa 70%. Eine vollständige Untersuchung auch der Sterilitäts- und physiologisch-chemischen Mutationen würde zweifellos eine Mutationsfrequenz von mehr als 100% ergeben haben, d. h. jede sich entwickelnde X_1 -Pflanze würde unter ihren Nachkommen wenigstens eine Mutation produziert haben. Trotz der hohen Sterilität in X_1 sind nunmehr sämtliche vitalen Mutationen ganz fertil, d. h. der Samenansatz ist fast 100%ig. In Wurzelmitosen keimender Samen zeigte wenigstens 70—80% der Zellen Störungen: Chromosomenfragmente und Zweizentromeren-Translokationen. Das Genom ist also ganz oder teilweise zersplittert worden, und es haben ausgedehnte Chromosomenumlagerungen stattgefunden. Dies geht auch aus der hohen X_1 -Sterilität hervor. In späteren Generationen wird die strukturelle Heterozygotie in eine große Anzahl von Strukturhomozygoten aufgeteilt, von denen natürlich nur die vitalen Kombinationen übrig bleiben. Viele dieser Strukturhomozygoten sind mit morphologischen und physiologischen Veränderungen verbunden, teilweise vielleicht verursacht durch Positionseffekte, Defizienzen und Duplikationen, aber

sicherlich zum großen Teil auch durch wirkliche Genmutationen.

In einer zweiten Serie (1937: 124) wurden 508 sechs Jahre aufbewahrte Samen röntgenbestrahlt. Es entstanden 30 X_1 -Pflanzen mit einer durchschnittlichen Sterilität von 68%. Eine X_1 -Pflanze gab eine dominante Mutation (die später reingezüchtete Erectoides 3). In der X_2 -Generation traten auf: 8 Chlorophyllmutationen und außer Erectoides 3 zwei vitale Mutationen, eine mit den inneren Hüllspelzen ähnlichen äußeren Hüllspelzen und eine mit aufrechten Halmen und breiten Ähren. Die letztere ist noch keiner weiteren Untersuchung unterzogen worden. Trotzdem die in Frage stehende Serie nicht besonders eingehend studiert worden ist, finden wir eine Minimummutationsfrequenz von 37%, Sterilitätsmutationen nicht mitgerechnet. Erectoides 3 entstand nach einer X_1 -Pflanze, die 97% Sterilität aufwies; die Mutation mit den inneren Hüllspelzen ähnlichen äußeren Hüllspelzen stammt von einer X_1 -Pflanze mit 41% Sterilität und die breitährige Mutation schließlich von einer X_1 -Pflanze mit 76% Sterilität. Es ist demnach offenbar, daß bei der Röntgenbestrahlung durchgreifende und in großer Ausdehnung letale Mitosestörungen induziert werden. Abhängig von den intensiven Strukturumlagerungen verlief die Meiosis bei den überlebenden Pflanzen unregelmäßig und vereint mit starker Sterilität. Gleichzeitig mit diesen Strukturumlagerungen entstanden indessen auch Genveränderungen, und auf diese sind wahrscheinlich die morphologisch beobachtbaren Mutationen zurückzuführen.

Ganz kürzlich haben FRÖIER, GELIN und GUSTAFSSON 1941 eine ausführliche Untersuchung über die Mitosestörungen bei Polyploiden nach verschiedenen Röntgendosen veröffentlicht. Sie konnten zeigen, daß bei 20000 bis 25000 r so gut wie sämtliche Mitosen der keimenden Samen eine oder mehrere Störungen enthielten. Bei dieser Dosis wird demnach wahrscheinlich jeder Zellkern von den Röntgenstrahlen beeinflusst. Desgleichen legte GELIN vor einem halben Jahr (1941) klar, daß es zwischen zytologischem Störungseffekt, X_1 -Sterilität und der Mutationsfrequenz in der X_2 -Generation einen ausgeprägten Parallelismus gibt. Dies bedeutet natürlich nicht — wie oben betont worden ist — daß die morphologischen Veränderungen auf Strukturumlagerungen beruhen, sondern nur, daß sie gleichzeitig entstehen, und daß ihre Frequenz mit der Intensität der Chromosomenumlagerung steigt.

Dies verdient besonders hervorgehoben zu

werden, da die meisten spontanen Mutationen dem Muttertypus unterlegen zu sein scheinen. Sicherlich beruht dies in vielen Fällen auf einer gestörten Balance zwischen Genmutation und genotypischem Milieu. Dieses zerstörte Zusammenspiel kann indessen durch Strukturumlagerungen und durch die Entstehung von „modifiers“ entgegengeköhrt werden, so daß die Genmutation in ein ganz neues Balancsystem eingepaßt wird. Wir kommen also zu folgendem allgemeinen Schlußsatz:

Induzierte Mutationen bei Getreidearten sind besonders zahlreich, wenn die bestrahlten Samen den Subletalitätszustand erreicht haben, in dem die Zellteilungen bis zu 100% gestört werden und die Samen im Feldversuch nur zu 5—10—20% keimen. Die Chimärenstruktur, die nach einer so intensiven Röntgenbehandlung entsteht, ist das Ergebnis von Selektionsprozessen, wobei Zellen mit durchgreifenden Deletionen und Zweizentromerenbildungen schnell verschwinden. Bei der Meiosis verbleibt indessen noch immer eine große Menge von Genmutationen, Defizienzien, Duplikationen, Translokationen und Inversionen. Die resultierenden Gameten bekommen alle Arten von balancierten und unbalancierten Genotypen, von denen die direkt letalen zu großem Teil schon in der Gametenform verschwinden. Natürlich entstehen zuweilen Genmutationen gleichzeitig mit Defizienzien und Letalen, aber zuweilen fehlt den komplexen Genotypusveränderungen jeder schädliche Effekt, und die intragenische Veränderung wird zu einem Teil eines harmonischen Ganzen. In diesem Falle wird eine progressive, eine wertvolle Mutation gebildet.

Für die zukünftige angewandte Genetik wird es notwendig sein, das Genom in großer Ausdehnung umzugruppieren und Gene neu zu schaffen, um mit Erfolg Hunderte oder Tausende von neuen harmonischen Genotypen aufbauen zu können, die dann zur weiteren Kombinationszüchtung verwendbar sind.

Literatur.

(Nachstehend werden nur die Svalöfer Arbeiten berücksichtigt. Die übrige Literatur ist in TIMOFÉEFF-RESSOVSKY 1937 und STUBBE 1938 nachzusehen.)

FRÖIER, K.: Hereditas (Lund) 27 (1941). — FRÖIER, K., u. Å. GUSTAFSSON: Sv. bot. Tidskr. 35 (1941). — FRÖIER, K., O. GELIN u. Å. GUSTAFSSON: Bot. Not. (Lund) 1941. — GELIN, O.: Hereditas (Lund) 27 (1941). — GUSTAFSSON, Å.: Kungl. Fysiogr. Sällsk. Handl. (Lund) 51, Nr. 11 (1940). — GUSTAFSSON, Å.: Hereditas (Lund) 27 (1941). — NILSSON-EHLE, H.: Nova Acta Leopoldina N. F. 6 (1939). — STUBBE, H.: Handb. d. Vererb.wiss., Berlin 1938. — TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, N. W.: Experimentelle Mutationsforschung in der Vererbungslehre. Dresden und Leipzig 1937.