Über die Chromosomenzahl von *Secale cereale*, L.

von

Kazuo Gotoh

Mit 13 Text-Figuren

EINLEITUNG

Die Erforschung der Chromosomen, insbesondere deren Zahl, Form, Grösse usw. fördert fortwährend cytologisch wichtige und interessante Tatsachen zu Tage. Seit der Aufstellung des „Grundsatzes der Zahlenkonstanz der Chromosomen“ von BOVERI (1888) sind zahlreiche Arbeiten erschienen, in denen die Chromosomenzahl erörtert und über ihre Konstanz gestritten worden ist.

NAKAO (1911) zählte als erster 8 Chromosomen in der heterotypischen Kernplatte der Pollenmutterzellen von *Secale cereale*. Im Jahre 1918 hat SAKAMURA im Gegensatz zu NAKAOS Zählung 7 bzw. 14 als die richtige Chromosomenzahl gefunden und dieselbe Zahl hat auch KIHARA (1919) nachher bestätigt. Ganz zufällig aber hat KIHARA im Sommer des Jahres 1920 im Versuchsfeld der hiesigen Universität ein 8-chromosomiges Individuum von *Secale cereale* gefunden. In den von ihm sehr schön hergestellten Präparaten aus den Pollenmutterzellen dieser Pflanze waren aufs deutlichste 8 Chromosomen auf der Kernplatte wahrnehmbar.

Die vorliegende Arbeit verdankt nun ihre Entstehung der freundlichen Anregung des Herrn Dr. KIHARA, der mich für das eingehende Studium dieser interessanten Frage zu gewinnen wusste. Als Hauptaufgabe betrachtete ich in erster Linie die einwandfreie Feststellung der Tatsache, ob es noch andere Individuen mit 8 Chromosomen gibt und zweitens, was für eine genetische Beziehung zwischen den 7- und 8-chromosomigen Individuen dabei bestehen muss. Weil ich aus der Untersuchung über das Verhalten der chromatischen Elemente in den Stadien vor der Diakinese keine besonderen Resultate gewinnen liessen, ist hier hauptsächlich der Zahl, Form und Grösse der Chromosomen in den Kernplatten der somatischen und Pollenmutterzellen

sowie in der Diakinese besondere Aufmerksamkeit gewidmet worden.

Die Untersuchungen wurden unter der Leitung des Herrn Prof. Dr. T. SAKAMURA im Botanischen Laboratorium der Hokkaido Kaiserlichen Universität ausgeführt. Es sei mir hier gestattet, Herrn Prof. Dr. T. SAKAMURA und Herrn Dr. H. KIHARA, welche mir die Anregung zu dieser Arbeit gegeben haben, an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank auszudrücken. Ebensoviel Dank schulde ich aber auch Herrn Prof. Dr. K. MIYABE, der meinen Untersuchungen grosses Interesse entgegengebracht hat.

METHODE UND MATERIALIEN

Zur Bestimmung der somatischen Chromosomenzahl dienten vornehmlich die Wurzelspitzen von Keimlingen, die im Gewächshause auf gewässertem Quarzsand aufgezogen worden waren. Überdies bediente ich mich zu diesem Zwecke auch chloralisierter Keimwurzelspitzen, in denen die Chromosomen, die sonst lang und ein- oder mehrmal umgebogen sind, verdickt und verkürzt erscheinen. Dadurch war es mir ermöglicht, die besonderen Verhältnisse der einzelnen Chromosomen unbehindert zu beobachten. Alle Wurzelspitzen wurden mit FLEMMINGSCHER Chromosmiumessigsäurelösung in Bonner-Konzentration fixiert.

Bei der Fixierung der Ährchen befolgte ich das von KIHARA (1919) bei der Fixierung der Pollenmutterzellen der Gramineen vorgeschlagene Verfahren, wonach sofort nach 1 oder 3 Minuten langer Behandlung mit einer chloroformhaltigen CARNOYSCHEN Lösung das zu behandelnde Material in FLEMMINGSCHER Chromosmiumessigsäurelösung in Bonner-Konzentration gelegt wird. Diese Methode scheint der üblichen gegenüber gewisse Vorteile zu bieten. Die Materialien wurden meistens im landwirtschaftlichen Versuchsfeld der hiesigen Universität gesammelt. Auch einige andere Pflanzen, deren somatische Chromosomenzahlen im Keimlingsalter bestimmt worden waren, und die dann in Töpfen im Gewächshause aufgezogen wurden, lieferten Fixierungsmaterial.

In der vorliegenden Untersuchung wurden unter 49 Individuen nur zwei 8-chromosomige gefunden. Diese 8-chromosomigen Pflanzen zeigen aber weder im Entwicklungszustande noch in ihren morphologischen Eigenschaften irgendwelche Abweichungen von den 7-chromosomigen.

Aus den fixierten Objekten wurden bei der Wurzelspitze meistens 10 μ dicke und bei den Pollenmutterzellen 12 μ dicke Paraffinschnitte hergestellt.

Die Färbung geschah mit HEIDENHAINS Eisenalaunhämatoxylin.

KERNTeilUNG DER POLLENMUTTERZELLEN

In den Stadien vor der Diakinese lässt sich die Chromatinsubstanz nicht so intensiv färben, weshalb die Unterscheidung der segmentierten Chromosomen mit bedeutenden Schwierigkeiten verknüpft ist, die es verunmöglichen, in diesen Stadien einen Unterschied zwischen den 7- und 8-chromosomigen Kernen zu bemerken.

NAKAO (1911, S. 179) sagt diesbezüglich: "In rye the diakinetiC figure is very curious. Each double chromosome often connects with others forming irregular groups or rings." Ferner: "In rye many small nucleoli, besides one large one are present, and attached mostly to chromosomes." In meinem Fall jedoch wird kein kleiner Nukleolus gefunden und die Chromosomen kommen in den Figuren so klar zum Vorschein (Fig. 1), dass ihre Zahl ohne Schwierigkeiten bestimmt werden kann.

Das 7-chromosomige Individuum.

Bei diesem Individuum werden 7 ungefähr gleichlange Gemini in der Diakinese gefunden. In diesem Stadium besteht manchmal wie beim 8-chromosomigen Individuum ein sehr schwer tingierbarer Nukleolus, welcher aber nur sehr schwer beobachtet werden kann. In der hetero- und homöotypischen Kernteilung werden die Chromosomen entsprechend den normalen Teilungsmodi in die Tochterzellen verteilt.

Das 8-chromosomige Individuum.

In der Diakinese der meisten 8-chromosomigen Individuen werden 8 Gemini beobachtet, unter denen einer aus zwei nicht sehr fest vereinigten Chromosomen besteht. Oft öffnet dieser besondere Geminus die beiden Schenkel an einem Ende, sodass er die nebenstehende Form $\wedge$ annimmt. Es kann aber auch der Fall eintreten, dass die beiden Chromosomen sich völlig trennen, und aussehen als ob sie zwei einfache unabhängige Chromosomen wären (Fig. 1). Solche Figuren wurden in der meiotischen Kernteilung der Bastarde zwischen verschiedenchromosomigen Rassen oder Arten nicht selten gefunden.

Fig. 1

Fig. 2

Fig. 4

Fig. 3

a.

b.

Fig 1. Diakinese, die spezifischen Chromosomen sind ganz getrennt. (8-chromosomiger Roggen).

Fig 2. Kernplatte in der Polansicht (8-chromosomiger Roggen).

Fig 3. Die Gemini nach Form und Grösse angeordnet (8-chromosomiger Roggen).

a. Aus der Zelle mit zwei isolierten Chromosomen.

b. Aus der Zelle, die keine isolierten Chromosomen besitzt.

Fig 4. Kernplatte in der Polansicht mit zwei isolierten Chromosomen auf verschiedenen Ebenen (8-chromosomiger Roggen).

Aber bei reinen Arten wurde, soweit ich die Literatur kenne, diese Figur bisher nur von KUWADA (1919) bei einigen Individuen von *Zea Mays* gefunden.

In der Metaphase der heterotypischen Chromosomen kann man leicht die reduzierte Chromosomenzahl 8 sowohl in der Pol- als in der Seitenansicht der Kernplatte konstatieren. Aus der Figur 2 ist ersichtlich, dass die Gemini nicht gleich gross sind. Wenigstens ein

Geminus ist merklich kleiner. In der Seitenansicht der heterotypischen Chromosomen kann man bemerken, dass nur ein kleiner Geminus durch "end to end" Vereinigung von zwei stäbchenförmigen Chromosomen entstanden ist (Fig. 3b). Die anderen 7 Gemini sind ring- oder }-förmig. Oft wurden in der Seitenansicht der Kernplatte zwei isolierte Chromosomen von einfacher Natur beobachtet (Fig. 5).

Fig. 5

Fig. 6

Fig. 8

Fig. 7

Fig 5. Metaphase in der Seitenansicht mit zwei isolierten Chromosomen (8-chromomiger Roggen).

Fig 6. Anaphase von Typus I in der Seitenansicht.

Fig 7. Die homöotypische Kernplatte der durch die erste Teilung nach Typus II entstandenen Tochterzellen.

Fig 8. Homöotypische Anaphase, deutlich zwei isolierte univalente Chromosomen zeigend.

Auch in der Polansicht kann man 7 bivalente Chromosomen mit zwei isolierten univalenten Chromosomen auf den verschiedenen optischen Ebenen konstatieren (Fig 4). In der Anaphase der normalen Teilung erreichen alle univalenten Chromosomen die beiden Pole. Sobald die von den 7 bivalenten abstammenden und nun getrennten univalenten Chromosomen den Pol erreichen, führen die in der Kernplatte zurückgelassenen zwei stäbchenförmigen Chromosomen die Längsspaltung aus (Fig 6), worauf die Tochterchromosomen nach den Polen eilen, um in die aus den vorherangelangten Chromosomen bestehende Gruppe einzutreten. Weiter habe ich noch bemerkt, dass das eine von zwei spezifischen Chromosomen mit den anderen normalen 7 Chromosomen zusammen nach einem Pol geht, worauf das andere sich, wie oben erwähnt, längsweise spaltet. Der Bequemlichkeit halber möchte ich von diesen zwei abnormen Teilungen die erstere als Typus I, und die letztere als Typus II bezeichnen. In der Anaphase besitzt jedes der 7 wandernden univalenten Chromosomen meistens zwei paarige Schenkel, während eines einfach V-förmig ist. Eine solche Verdoppelung bedeutet nichts anderes als die Vorbereitung zur nächsten Längsspaltung.

Die schwach tingierbaren Kerne in der Interkinese gehen nun allmählich in die Prophase der zweiten Teilung über. Schon im späteren Stadium der Interkinese kann man die Chromosomenzahl und den Unterschied in der Gestalt der einzelnen Chromosomen, d.h. die 7 vierschenkeligen Chromosomen und ein zweiseitenkeliges beobachten. In der homöotypischen Kernplatte der normalen Teilung werden 8 Chromosomen gesehen, unter denen das eine besonders klein ist. In der zweiten Teilung der Tochterzellen, die durch die erste Teilung von Typus I entstanden sind, sondern sich jene zwei kleinen längsgespaltenen Chromosomen nicht von der Kernplatte ab. Solange sie mit den anderen Chromosomen zusammen auf der Kernplatte angeordnet sind, kann man sie in der Seitenansicht nicht leicht bemerken. Wenn wir aber die Polansicht der Kernplatte beobachten, so können wir zwei schon gespaltene Chromosomen deutlich unterscheiden. Dass in der heterotypischen Kernteilung das eine der spezifischen Chromosomen nach dem einem Pol geht, und das andere sich längsweise spaltet, entspricht der schon unter Typus II beschriebenen Tatsache. Die Kernplatte der durch die abnorme erste Kernteilung entstandenen homöotypischen Zellen kann man in Fig. 7 deutlich erkennen. Natur-

lich befinden sich 8 schon gespaltene gewöhnliche univalente Chromosomen und ein nicht gespaltenes spezifisches univalentes in der einen Zelle, und ferner 7 univalente jener Art und ein univalentes dieser Art in der anderen Zelle. Wie in der ersten Teilung verspäten sich die zwei spezifischen Chromosomen beim Übergang zu den Polen und bleiben zwischen den zwei Gruppen von je 7 normalen Chromosomen zurück (Fig 8). Sie zeigen weder Längsspaltung, wie in der ersten Teilung, noch ordnen sie sich paarweise nebeneinander an. Diese zwei Chromosomen wandern nach Belieben nach irgend einem Pol, d.h. jedes wird nach einem verschiedenen Pol (Fig. 8) oder beide nach ein und demselben Pol gezogen. Sie zeigen Stäbchenform oder V-Form mit grossem Winkel, aber sie sind glatt und ungefähr gleich dick.

Oft begegnet man auch der zweiten Teilung der Tochterzellen, wo ausser den gewöhnlichen nur ein spezifisches Chromosom bemerkt wird, dessen Vorgänger früher in der ersten Teilung längsgespalten wurde. Ausserdem können wir noch den Fall der Möglichkeit postulieren, dass ein spezifisches Chromosom ganz zufällig mit sieben normalen Chromosomen zusammen zum Pole wandert.

Solche Unregelmässigkeiten in der hetero- und homöotypischen Kernteilung wurden bei Bastarden zwischen verschiedenchromosomigen Rassen oder Arten nicht selten gefunden. ROSENBERG (1909), KIHARA (1919), BLACKBURN und HARRISON (1921), YASUI (1921), TÄCKHOLM (1922) u.a. haben derartige Tatsachen bei den verschiedenen Bastarden gefunden. Meistens vereinigen sich in diesen Fällen je zwei Chromosomen von der Vater- und Mutterseite paarweise, während die überschüssigen Chromosomen unabhängig isoliert bleiben. Ausnahmen sind natürlich nicht ausgeschlossen, wie beim Weizenroggenbastard (NAKAO, 1911) und bei den Bastarden der *Crepis*-Arten (COLLINS und MANN, 1923).

Aber bei reinen Arten wurde diese unregelmässige Figur bis jetzt nur von ROSENBERG (1918) bei *Crepis*-Arten gefunden. Wie beim Roggen, trennen sich in diesem Falle die Homologen des spezifischen Chromosoms und werden dann unregelmässig in die Tochterkerne verteilt. Diese Unregelmässigkeit tritt bei den *Crepis*-Arten in etwa 30% der Fälle auf, während beim Roggen die Prozentzahl nur etwa 10 ausmacht.

In ein und demselben Pollensack treten oft nebeneinander zahlreiche Pollenmutterzellen von verschiedenen Stadien auf, die die oben erwähnte abnorme Teilung aufweisen. Aus diesem Grunde kann man

vermuten, dass die Entstehung solcher abnormer Teilungen ziemlich lange Zeit erfordert.

DIE CHROMOSOMENZAHL IN DEN SOMATISCHEN ZELLEN

NAKAO und KIHARA haben 8 Gemini in der Kernplatte der Pollenmutterzellen einiger Individuen gefunden, die Chromosomenzahl in den somatischen Zellen derselben Individuen haben sie jedoch nicht

Fig. 9

Fig. 10

Fig. 11

Fig. 12

Fig. 9. Kernplatte der somatischen Zelle in der Polansicht (8-chromosomiger Roggen).

Fig. 10. Kernplatte der somatischen Zelle in der polansicht (7-chromosomiger Roggen).

Fig. 11. Die chloralysierten Chromosomen aus einer nach 3-stündigem Verweilen in Quarzsand fixierten Wurzelspitze, nach Form und Grösse angeordnet (8-chromosomiger Roggen).

Fig. 12. Die chloralysierten Chromosomen aus einer nach 3-stündigem Verweilen in Quarzsand fixierten Wurzelspitze, nach Form und Grösse angeordnet (8-chromosomiger Roggen).

gezählt. Beim 8-chromosomigen Roggen konnte ich die Chromosomenzahl 16 in der Kernplatte der Wurzelspitzenzellen sicher bestimmen (Fig. 9). Die somatischen Chromosomen sind lang und so stark umgebogen, dass genaue Messungen nicht leicht gelingen. Doch kann man unter den 16 Chromosomen vier verhältnismässig kurze unterscheiden. Die anderen 12 besitzen ungefähr die gleiche Länge.

Aus den experimentellen cytologischen Untersuchungen von SAKAMURA (1920) geht hervor, dass in den chloralisierten pflanzlichen Zellen die gewöhnlich schwer sichtbare Einschnürung der Chromosomen deutlich auftritt und dass dadurch einzelne Chromosomen ziemlich genau unterschieden werden können. Um den Prozess zu erklären, wodurch die nicht x-ploide Vermehrung der Chromosomen beim Roggen resultiert, habe ich auch die Chloralisierung der Wurzelspitzen nach der SAKAMURASCHEN Vorschrift (1920) ausgeführt.

Chloralhydratlösung 0.5%
 Einstündige Chloralisierung
 Einstündiges Auswaschen
 2–3 stündiges Verweilen in Quarzsand
 Fixierung mit FLEMMINGSCHER Lösung

Die 0.1 und 0.25%ige Chloralhydratlösungen ergaben aber nicht das gewünschte Resultat. In den nach 3 stündigem Verweilen in Quarzsand fixierten Materialien treffen wir die meisten der geeigneten Figuren an. Die Chromosomen sind verkürzt und verdickt, und die sonst latente Einschnürung tritt deutlich auf.

Von 16 Chromosomen zeigen je 12 die mittlere Einschnürung, die anderen 4 sind dagegen verhältnismässig kurz und ohne dieses Merkmal, dabei sind zwei stäbchenförmig und zwei tintenflaschenförmig (Fig. 11).

Die somatische Chromosomenzahl vom 7-chromosomigen Roggen beträgt natürlich 14 (Fig. 10), und alle chloralisierten Chromosomen weisen fast in der Mitte die Einschnürung auf (Fig. 12). Zwei Chromosomen mit End-Einschnürung sind auch hier oft bemerkbar. Ein kleiner Teil der endeingeschnürten Chromosomen ist so klein, dass sie sich leicht der Beobachtung entziehen.

LÄNGE DER CHROMOSOMEN

Als eine der Hilfsmethoden zur Aufklärung der Ursache von Vermehrung der Chromosomenzahl beim Roggen habe ich die Messung

der Chromosomenlänge bei verschiedenen Individuen zu Hilfe gezogen.

Bei zahlreichen Pflanzen scheinen die Doppelchromosomen oder die Gemini auf der Kernplatte der heterotypischen Teilung zu diesem Zwecke geeigneter zu sein als die somatischen Chromosomen oder die Chromosomen in anderen Stadien der meiotischen Teilung. Beim Roggen sind die Gemini massiv oder rautenförmig, während die somatischen Chromosomen unregelmässig umgebogen sind. Das erschwert die Messung der somatischen Chromosomen bedeutend und infolgedessen sind die Messungsfehler noch zahlreicher und grösser als bei den Chromosomen der heterotypischen Teilung. Die Chromosomen in der Metaphase der homöotypischen Teilung sind zu diesem Zwecke viel geeigneter. In diesem Stadium lagern sich alle Chromosomen, deren Gestalt nun schmal und lang ist, regelmässig auf einer Ebene der Kernplatte an. Nur einige stehen schräg zur Kernplatte.

Ich habe die Chromosomen mit Hilfe des ABBESCHEN Zeichenapparates abgebildet und mit einem speziell verfertigten Messzirkel von 1 mm Abstand zwischen den beiden Schenkelspitzen indirekt gemessen. Die durch die Schwierigkeiten des Messungsverfahrens entstehenden Fehler mögen vielleicht nicht klein sein und sich zudem noch mit der Vermehrung der Chromosomenzahl vergrössern, dennoch ist diese Methode brauchbar genug für den Vergleich der relativen Länge. Die Resultate sind in den Tabellen I und II dargestellt.

Tabelle I.

(7—Chromosomiger Roggen)

Nr. des Präparates.	Durchschnittliche Länge jeder Chromosomen von 10 Kernplatten (mm).							Gesamte Länge
	a	b	c	d	e	f	g	
1	7.1	7.3	7.6	7.9	8.1	8.5	9.0	55.5
2	7.2	7.5	7.7	8.1	8.3	8.8	9.4	57.0
3	6.8	7.4	7.9	8.3	8.5	9.1	9.8	57.8
4	7.3	7.7	8.1	8.4	8.7	9.0	9.7	58.9
5	7.2	7.9	8.3	8.8	9.1	9.7	10.3	61.3
Durchschnittswert.	7.12	7.56	7.92	8.30	8.54	9.02	9.64	58.1

Tabelle II.

(8—Chromosomiger Roggen)

Nr. des Präparates.	Durchschnittliche Länge jeder Chromosomen von 10 Kernplatten (mm).								Gesamte Länge
	a	b	c	d	e	f	g'	g''	
1	6.9	7.3	7.5	8.1	8.6	9.1	4.4	6.2	58.1
2	7.2	7.4	7.9	8.1	8.6	9.2	4.2	6.3	58.9
3	7.1	7.7	8.1	8.5	9.0	9.7	4.4	6.5	61.0
4	6.8	7.3	7.7	8.1	8.7	9.0	4.5	6.3	58.4
5	7.3	7.6	8.2	8.5	8.8	9.4	4.5	6.3	60.6
Durchschnittswert.	7.06	7.46	7.88	8.26	8.74	9.28	4.40	6.32	59.4

In den Tabellen I und II ist die Differenz zwischen den durchschnittlichen Werten der gesamten Länge der einzelnen Chromosomengarnituren nur 2.2 %. Wenn wir den optischen Fehler in Betracht ziehen, so sind diese beiden Werte fast gleich, d.h. die Chromosomen zeigen keine Vermehrung der Chromatinmenge.

DISKUSSION

Was die Entstehung der nicht x-ploiden Beziehung unter den naheverwandten Arten betrifft, so hat SAKAMURA (1920) die folgenden zwei Möglichkeiten angegeben.

I. Bei der unregelmässigen meiotischen Teilung treten die beiden Homologen der Gemini in ein und dieselbe Geschlechtszelle ein.

II. Die Querteilung der Chromosomen geschieht besonders an der Stelle der Einschnürung.

Als Beispiel zu Typus I soll hier ein von ISHIKAWA (1916, S. 423 Fig. 5a und b) angegebener Fall bei *Adonis dahurica* kurz angeführt werden. Er sagt: "At the anaphase of the heterotypic division of a pollen mother cell 13 chromosomes were found grouping together in one pole, while in another, 11 chromosomes were easily to be counted, which tells the migration of a certain chromosome with the

homologous one to the same pole." Trifft nun eine so entstandene Geschlechtszelle mit einer ebensolchen oder normalen zusammen, so entsteht ein Individuum mit abweichender Chromosomenzahl.

ROSENBERG (1918) hat bezüglich der 3-, 4- und 5-Serie der *Crepis*-Arten mitgeteilt, dass diese Abweichung der Chromosomenzahlen durch unregelmässige Verteilung einiger Chromosomen in der Reduktionsteilung zu erklären ist. Auch bei den zahlreichen *Oenothera*-Mutanten mit 15 Chromosomen, wie *lata* und *lata*-ähnlichen Formen (GATES 1908) und *Datura*-Mutanten (BLAKESLEE, BELLING and FARNHAM, 1920) wurde eine solche Möglichkeit zur Erklärung der Entstehung der Mutanten angenommen.

In bezug auf die zweite Möglichkeit sind viele Beispiele von verschiedenen Autoren angegeben worden. STRASBURGER hat bei *Funkia* bemerkt, dass die kleineren Chromosomen durch die Querteilung der grösseren erzeugt werden. TAHARA und ISHIKAWA (1911) haben eine solche Möglichkeit auch bei *Crepis lanceolata* var. *platyphyllum* angenommen.

KUWADA (1915) hat die interessante Tatsache mitgeteilt, dass die Chromosomen einiger Individuen von *Zea Mays*, Zuckermais, durch Querteilung vermehrt wurden. Er verfolgte (1919) diese Erscheinung weiter und führte eine vergleichende Untersuchung der Zahl und Grösse der Gemini und die sorgfältige Messung der Länge der Chromosomen durch.

In meinem Fall scheint der 8-chromosomige Roggen aus dem 7-chromosomigen entstanden zu sein, indem zwei von 14 Chromosomen quergeteilt wurden. Da keine Vermehrung der Chromatinmenge gefunden wird, bedeutet dies, dass, zwischen dem 8- und 7-chromosomigen Roggen keine Differenz in Entwicklungszustande und der äusseren Gestalt zu erwarten ist, besonders wenn man bedenkt, dass wohl die Chromatinmenge, aber nicht die Chromosomenzahl auf die Eigenschaften der Pflanzen Einfluss ausüben kann. Bei *Oenothera*- und *Datura*-Arten rief die Verdoppelung eines gewissen Chromosoms die Entstehung der Mutante hervor.

Auch aus den Tabellen I und II kann man keine Vermehrung der Chromatinmenge herauslesen. Mit Hilfe der Figuren, die verschiedene Stadien der Kernteilung darstellen, kann man sagen, dass die Zunahme der Chromosomenzahl auch beim Roggen durch die Querteilung gewisser Chromosomen verursacht worden ist. Besonders ist

Tabelle III.

Haploide Chromosomenzahl.	Nr. der Präparate	Summe der Gelegenheiten des Vorkommens der verschiedenen Chromosomen in 10 Kernplatten (mm).									
		12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
7	1			4	16	37	13				
	2			8	20	29	13				
	3		3	8	24	22	8	5			
	4		2	7	28	26	7				
	5	1	7	11	26	15	10				
Durchschnittl. Werte.		0.2	2.4	7.6	22.8	25.8	10.2	1.0			
8	1			2	20	24	14	11	5	2	2
	2		1	1	17	32	13	4	5	5	
	3		1	10	20	19	14	6	5	5	
	4			2	17	26	15	8	4	5	
	5			6	22	26	8	8	7	3	
Durchschnittl. Werte.			0.4	4.2	19.2	25.4	12.8	7.4	5.2	4.0	0.4

Tabelle IV.

	Relative Länge der Chromosomen (mm).									
	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
A		0.4	4.2	19.2	25.4	12.8	7.4	5.2	4.0	0.4
B	0.2	2.4	7.6	22.8	25.8	10.2	1.0			
Differenzen.	-0.2	-2.0	-3.4	-3.6	-0.4	+2.6	+6.4	+5.2	+4.0	+0.4

A: Durchschnittliche Werte der Summe der Gelegenheiten des Vorkommens der verschiedenen Chromosomen in den 10 Kernplatten des 8-chromosomigen Roggens.

B: Diejenigen des 7-chromosomigen Roggens.

es von Interesse, dass die vier kleinen Chromosomen in den chloralisierten Wurzelspitzen des 8-chromosomigen Roggens keine Einschnürung in der Mitte aufweisen. Es unterliegt keinem Zweifel, dass zwei Chromosomen des 7-chromosomigen Roggens an den Stellen der Einschnürung quergeteilt worden sind, und dass dadurch der 8-chromosomige entstanden ist.

Im folgenden Abschnitt will ich auf Grund der Messung der Chromosomenlänge die Querteilung der Chromosomen als die Ursache ihrer Zahlenzunahme kurz erörtern.

Fig. 13

Wenn die Chromosomen beim Roggen wirklich durch die Querteilung bestimmter Chromosomen vermehrt werden, so müssen in der homöotypischen Teilung der 7-chromosomigen Pflanzen alle Chromosomen lang sein, während die 8-chromosomigen Pflanzen 6 lange und 2 kleinere besitzen. Es muss also die Proportion zwischen dem Verminderungswert der längeren Chromosomen und dem gleichzeitig sich ergebenden Vermehrungswert der kürzeren in den 8-chromosomigen Pflanzen 1:2 betragen. Die obenstehenden Kurven (Fig. 13) und die Tabelle III zeigen deutlich für die 10 Kernplatten die Differenzen in den Gelegenheiten des Vorkommens der verschiedenen Chromosomen zwischen den 8- und 7-chromosomigen Pflanzen. In der Tabelle IV bedeutet das Zeichen minus Verminderung der längeren Chromosomen und das Zeichen plus Vermehrung der kürzeren

im 8-chromosomigen Roggen. Ich habe die folgende Proportion aus der Tabelle IV berechnet:

$$\begin{aligned} & 0.2 + (2.4 - 0.4) + (7.6 - 4.2) + (22.8 - 19.2) + (25.8 - 25.4) \\ & : (12.8 - 10.2) + (7.4 - 1) + 5.2 + 4.0 + 0.4 \\ & = 9.6 : 18.6 \\ & = 1 : 1.94 \end{aligned}$$

Dieses Verhältnis steht dem theoretischen 1 : 2 sehr nahe.

Gestützt auf das Untersuchungsmaterial, das ich bis jetzt beobachtet habe, kann ich allerdings nicht erkennen, welche Chromosomen quergeteilt werden. Aber es scheint mir aus der Messung der Chromosomenlänge (Tabelle I und II) hervorzugehen, dass das längste Chromosom in den 7-chromosomigen Individuen in zwei kürzere Chromosomen, d.h. in das etwas kürzere (g'') und das noch kürzere (g') quergeteilt wird. Die a-f Chromosomen im 7-chromosomigen Roggen weisen fast dieselbe Länge auf wie diejenigen im 8-chromosomigen.

Wenn man den kürzeren Teil des quergeteilten Chromosoms mit k , den längeren mit l und das normale Chromosom mit n und die entsprechenden Gemini mit K, L und N bezeichnet, so kann man

Tabelle V.

Individuum	2x	x	Dyaden (Interkinese)	Tetraden
7-chromosomiger Roggen	14n	7N	7n	7n
8-chromosomiger Roggen	16n	6N + L + K	$6n + l + k$	$6n + l + k$
			$6n + l + k' + k'$	$\begin{cases} 6n + l + k' \\ 6n + l + k' + k' \\ 6n + l \end{cases}$
			$\begin{cases} 6n + l + k + k' \\ 6n + l + k' \end{cases}$	$\begin{cases} 6n + l + k + k' \\ 6n + l + k \\ 6n + l + k' \\ 6n + l \end{cases}$

k' bedeutet die Längshälfte des kürzeren Teils des quergeteilten Chromosoms. Die k' -Chromosomen in der zweiten Teilung führen die Längsspaltung nicht mehr aus.

beim 7- und 8-chromosomigen Roggen die Chromosomengarnitur und deren Verteilung in die Tochterzellen folgenderweise übersichtlich darstellen.

Aus der obigen Tabelle ist es klar ersichtlich, dass von den 8-chromosomigen Pflanzen drei Arten Pollen erzeugt werden, die verschiedene Chromosomenzahlen erhalten. Sie besitzen nämlich die Chromosomen $(6n + l + k + k)$, $(6n + l + k)$ bzw. $(6n + l)$. Obwohl ich die Reifungsteilung der Embryosackmutterzellen nicht untersucht habe, so wäre es möglich, dass auch hier ähnliche Verhältnisse die Chromosomenverteilung beherrschen. Trifft nun eine so entstandene Geschlechtszelle mit einer ebensolchen oder mit einer gewöhnlichen Geschlechtszelle von 7-chromosomigen Individuen zusammen, so erfolgt die Kombination folgendermassen:

Tabelle VI.

$\frac{\text{♀}}{\text{♂}}$	$7n$	$6n + l$	$6n + l + k$	$6n + l + 2k$
$7n$	$14n$	$13n + l$	$13n + l + k$	$13n + l + 2k$
$6n + l$	$13n + l$	$12n + 2l$	$12n + 2l + k$	$12n + 2l + 2k$
$6n + l + k$	$13n + l + k$	$12n + 2l + k$	$12n + 2l + 2k$	$12n + 2l + 3k$
$6n + l + 2k$	$13n + l + 2k$	$12n + 2l + 2k$	$12n + 2l + 3k$	$12n + 2l + 4k$

Dadurch müssen theoretisch Individuen mit abweichender Chromosomenzahl, ja selbst von verschiedener Kombination der Chromosomen entstehen, d.h. 14 ($14n$, $13n + l$, $12n + 2l$); 15 ($12n + 2l + k$, $13n + l + k$); 16 ($12n + 2l + 2k$, $13n + l + 2k$); 17 ($12n + 2l + 3k$) und 18 ($12n + 2l + 4k$). Aber in bezug auf die Lösung des Problems, ob alle diese Kombinationen wirklich stattfinden, und wie die Chromosomen dabei verteilt werden, sind noch weitere Untersuchungen notwendig.

ZUSAMMENFASSUNG

1. Es gibt bei Roggenpflanzen bisweilen Individuen mit 8 bzw. 16 Chromosomen neben den gewöhnlichen 7-chromosomigen.
2. Zwei homologe Chromosomen der 8-chromosomigen Pflanzen verhalten sich in der hetero- und homöotypischen Kernteilung der Pollenmutterzellen sehr oft verschieden von den 14 anderen.
3. Gestützt auf die Versuchsergebnisse liegt es nahe anzunehmen, dass die zwei spezifischen Chromosomen der 8-chromosomigen Pflanzen

durch Querteilung von zwei bestimmten Chromosomen des 7-chromosomigen Roggens entstanden sind.

Sapporo, Botanisches Institut der Universität,

im April, 1924.

LITERATUR-VERZEICHNIS

- BLACKBURN, K.B. and HARRISON, J.W.H. (1920) The status of the British Rose Forms as determined by their cytological behavior. *Ann. Bot.* Vol. 35.
- BLAKESLEE, A. F. BELLING, J. and FARNHAM, M.E. (1920) Chromosomal duplication and Mendelian phenomena in *Datura* mutants. *Science*, Vol. 52.
- COLLINS, J.L. and MANN, M.C. (1923) Interspecific Hybrids in *Crepis*. II A preliminary Report on the Results of Hybridizing *Crepis setosa* Hall, with *C. capillaris* (L.) Wallr. and with *C. binnis* L. *Genetics*, Vol. 8.
- GATES, R.R. (1908) A Study of reduction in *Oenothera rubrinervis*. *Pot. Gaz.*, Vol. 46.
- ISHIKAWA, M. (1916) A list of the number of chromosomes. *Bot. Mag.*, Tokyo. Vol. 30.
- KIHARA, H. (1919) Über Cytologische Studien bei einigen Getreidearten. Mitteilung I. Species-Bastarde des Weizens und Weizenroggen-Bastard. *Bot. Mag.*, Tokyo. Vol. 32.
- KUWADA, Y. (1915) Über die Chromosomenzahl von *Zea Mays* L. *Bot. Mag.*, Tokyo. Vol. 29.
- . (1919) Die Chromosomenzahl von *Zea Mays*. Ein Beitrag zur Hypothese der Individualität der Chromosomen und zur Frage über die Herkunft von *Zea Mays* L. *Journ. of Coll. of Sci. Tokyo*. Vol. 39, Art. 10.
- NAKAO, M. (1911) Cytological studies on the nuclear division of the pollen mother-cells of some cereals and their hybrids. *Journ. Coll. of Agr. Sapporo*. Vol. 21.
- ROSENBERG, O. (1909) Cytologische und morphologische Studien an *Drosora longifolia* u. *D. rotundifolia*. *Kungl. Svenska vetensk. akademiens Handlingar*. Bd. 43.
- . (1918) Chromosomenzahl und Chromosomendimensionen in der Gattung *Crepis*. *Arkiv for Bot.* Bd. 15.
- SAKAMURA, T. (1918) Kurze Mitteilungen über die Chromosomenzahlen und die Verwandtschaftsverhältnisse der *Triticum*-Arten. *Bot. Mag.*, Tokyo. Vol. 32.
- . (1920) Experimentelle Studien über die Zell- und Kernteilung mit besonderer Rücksicht auf Form, Grösse und Zahl der Chromosomen. *Journ. of Coll. of Sci. Tokyo*. Vol. 39, Art. 11.
- STRASBURGER, E. (1910) Chromosomenzahl. *Flora*. Bd. 100.
- TAHARA, M. and ISHIKAWA, M. (1911) The Number of Chromosomes of *Crepis lanccolata* var. *platyphyllum*. *Pot. Mag.*, Tokyo. Vol. 25.
- TÄCKHOLM, G. (1922) Zytologische Studien über die Gattung *Rosa*, *Acta Horti Bergiani*. Bd. 7, No. 3.
- YASUI, K. (1921) On the behavior of chromosomes in the meiotic phase of some artificially raised *Papaver* hybrids. *Bot. Mag.*, Tokyo. Vol. 35.