

## POLIPLOIDALNE BURAKI CUKROWE

A. FILUTOWICZ

Zakład Cytologii i Genetyki IHAR — Bydgoszcz

Spośród hodowanych roślin poliploidalnych wybraliśmy do omówienia na obecnej Sesji hodowlę poliploidalną buraków cukrowych ze względu na ważność tego zagadnienia oraz na metodykę hodowli odrębną w porównaniu z metodyką stosowaną u innych roślin poliploidalnych. Stosowana w hodowli buraków metodyka znalazła zastosowanie w hodowli wielu roślin obcopylnych, w hodowli warzyw, a także w hodowli drzew owocowych i leśnych. Charakterystycznym rysem tej metodyki jest to, że końcowym rezultatem jest wyhodowanie triploidalnych nasion czy siewek. Aby dojść do tego końcowego efektu trzeba mieć naturalnie do dyspozycji rasy diploidalne i tetraploidalne, które krzyżowane ze sobą dają oryginalne nasiona triploidalne, jak ma to miejsce u buraków cukrowych i niektórych innych roślin, lub triploidalne siewki, jak to ma miejsce w hodowli drzew owocowych i leśnych, które mogą być następnie rozmnażane wegetatywnie przez klonowanie (topole) lub szczepienie (jabłonie).

Ten typ hodowli drzew, a szczególnie jabłoni, zapoczątkował w Szwecji Nilsson Ehle, który na podstawie faktu, że większość odmian uprawnych jabłoni jest triploidami wyciągnął wniosek, że stan triploidalny jest prawdopodobnie szczególnie korzystny dla wytworzenia wysokowartościowych właściwości drzew owocowych.

Nilsson Ehle zbierał nasiona odmian triploidalnych swobodnie rosnących wyszukując w siewkach otrzymanych z nasion czyste tetraploidy. Jak wiemy z poprzedniego referatu w potomstwie triploidów zdarza się pewien procent tetraploidalnych osobników powstałych przez zlanie się gamet o pełnych diploidalnych genomach. Na kilka tysięcy siewek Nilsson Ehle otrzymywał kilkadziesiąt naturalnych tetraploidów. Równocześnie kolchicynując odmiany diploidalne drzew tworzył on sztuczne autotetraploidy.

Tetraploidalne odmiany jabłoni wyodrębnione z naturalnych populacji oraz otrzymane sztucznie wykazują wysoką samopłodność oraz odznaczają się dużym owocem. Pod względem smaku oraz odporności na mróz wykazują dużą zmienność. Krzyżując odmiany tetraploidalne z diploidalnymi na wielką skalę produkuje się triploidy, z których wybierać się będzie kandydatów na przyszłe odmiany.

Podobną technikę hodowli zastosowano z powodzeniem u drzew leśnych. U *Alnus glutinosa* otrzymane w podobny sposób triploidy wykazują przeciętnie 50% wyższy wzrost w porównaniu z kontrolnymi siewkami diploidalnymi.

W hodowli buraków cukrowych w pierwszym okresie sądzono, że odpowiednie do hodowli będą formy tetraploidalne. Jednak dość wcześnie spostrzeżono, że znacznie wyższe efekty można osiągnąć wytwarzając odmiany triploidalne.

W tym celu prowadzono równolegle hodowlę odmiany diploidalnej i tetraploidalnej, które skrzyżowane ze sobą tworzą nasiona oryginalne. Wprawdzie czyste tetraploidy dorównują w niektórych wypadkach diploidom, a nawet je przewyższają, jednak efekt jest tak mały, że nie opłacałoby trudu włożonego w hodowlę buraków tetraploidalnych.

Rodzaj *Beta* posiada podstawową liczbę chromosomów  $n = 9$ . Większość gatunków tego rodzaju jest diploidalna. Jeden tylko gatunek jest tetraploidalny (*Beta corolliflora*) i jeden gatunek hexaploidalny (*Beta trigyna*).

Formy poliploidalne u buraków cukrowych po raz pierwszy były opisane przez Chareczko-Sawicką. Z dwóch mutantów aneuploidalnych o różnej liczbie chromosomów po skrzyżowaniu między sobą i z normalnymi burakami diploidalnymi otrzymano mnóstwo typów o różnej liczbie chromosomów. Przeważająca liczba poliploidów były to typy aneuploidalne, a więc z dodatkowymi chromosomami.

Formy triploidalne, tetraploidalne i pentaploidalne, choć różniły się pewnymi cechami morfologicznymi (gigantyczność, ciemne zabarwienie liści), to jednak bardzo nie odbiegały pokrojem od normalnych buraków diploidalnych.

Natomiast wszystkie formy o niekompletnych genomach, aneuploidy, wykazywały dużą różnorodność typów tak pod względem budowy korzenia, jak i typu ulistnienia. Większość tych buraków wyróżniła się słabym karłowatym rozwojem i słabą płodnością.

Z chwilą opracowania metody kolchicynowania otrzymano w różnych pracowniach naukowych i zakładach hodowlanych szereg ras poliploidalnych buraków cukrowych i pastewnych. Najobszerniejsze dotąd badania spośród wielu autorów przeprowadzili: Schlösser, Rasmusson, Levan, Matsumura, Mochizuki i Frandsen. Dotychczasowe wyniki wskazują, że buraki tetraploidalne, oprócz szeregu dodatnich cech, mają także cechy ujemne z punktu widzenia hodowlanego.

Do cech dodatnich buraków tetraploidalnych należy na ogół wyższy plon, niekiedy przy wyższej zawartości cukru, do wad — skłonność powracania form tetraploidalnych do form diploidalnych. Obszerną na ten temat pracę wykonał H. Feltz, chcąc wyjaśnić od strony cytologicznej mechanizm samoregulacji liczby chromosomów. (Herabregulierung, „Breakdown“ — von Rosen). Na ogół stwierdzono, że przyczyną powrotu do normalnej liczby chromosomów jest nieregularność tworzenia biwalentów w podziale mejotycznym. Z reguły rasy tetraploidalne — poza pewnym procentem biwalentów chromosomów — tworzą uniwalenty, triwalenty i kwadriwalenty. Ciekawe jest spostrzeżenie, że w dalszych generacjach formy tetraploidalne tworzą coraz większy procent biwalentów. Wyciąga się z tego wniosek, że w drodze systematycznej selekcji uda się w dalszych pokoleniach otrzymać formy o prawidłowym przebiegu podziału redukcyjnego. Należy zaznaczyć, że nieregularność w konjugacji chromosomów jest również jedną z głównych przyczyn słabszej płodności form tetraploidalnych w porównaniu z diploidalnymi. Powstałe ze skrzyżowania triploidalne buraki cukrowe nie mogą być dalej rozmnażane ze względu na ich bezpłodność. Różnice ras 2 x w porównaniu z 3 x i 4 x ilustruje poniższe zestawienie (cytowane za H. Feltzem).

	2 x	3 x	4 x
Plon kórzni	100	141,7	116,3
Plon cukru	100	144,8	122,3

Dla wykorzystania cennych właściwości triploidalnych buraków, należało opracować specjalną technikę produkcji odmian triploidalnych. Zagadnienie to w stosunku do roślin korzeniowych było łatwe do rozwiązania, ze względu na sposób produkcji nasion handlowych. U roślin korzeniowych odmiana jest, jak wiemy, co roku produkowana z elity i kończy się nasieniem handlowym. Najprostsza więc metoda produkcji odmian triploidalnych buraków cukrowych polega na mieszaniu nasion diploidalnych i tetraploidalnych w elicie plantatorskiej. Na plantacjach nasiennych następuje przekrzyżowanie obu komponentów. Teoretycznie w takiej odmianie powinno być 50% triploidalnych nasion i po 25% diploidalnych i tetraploidalnych. Dzięki zjawisku wybiórczości pyłkowej odmiany tetraploidalnej — w stosunku do pyłku diploidalnego — w praktyce osiągniemy znacznie wyższy procent nasion triploidalnych; do elity dajemy znacznie mniej nasion diploidalnych niż tetraploidalnych.

Dalszym osiągnięciem w technice produkcji triploidalnych nasion buraków cukrowych było otrzymywanie diploidalnych rodów zapylaczy o żywotnym pyłku, lecz niezdolnych do wydawania nasion.

Produkcja odmian triploidalnych buraków pozwala na utrzymanie stałości cech odmianowych i wysokiego poziomu plonowania ze względu na możliwość dobrania stałych komponentów do zapylania i wybierania najodpowiedniejszych rodów tetraploidalnych dających po skrzyżowaniu maksimum heterozji.

Metoda ta pozwala na otrzymanie podobnego efektu, jaki otrzymujemy w hodowli heterozyjnej u kukurydzy, co pozwala na otrzymanie mieszańców w bardzo dużym procencie. To co u kukurydzy zostało uzyskane dzięki rozdzielności kwiatów i w związku z tym możliwości stosowania kastracji na wielkich obszarach, to u buraków może być zastosowane dzięki właściwości odmian diploidalnych i tetraploidalnych. Dotychczasowa hodowla kombinowana u buraków cukrowych, wykorzystująca efekt krzyżowania w elicie plantatorskiej odpowiednio dobranych rodów, skazana była na wykorzystanie tego efektu tylko w 50%. Nowa metoda pod tym względem ma wyraźną przewagę. Zaletę przytoczonej metody upatrujemy nie w tym, że otrzymuje się triploidalne buraki, lecz że przy tej metodzie jest możliwe otrzymanie tak wysokiego procentu skrzyżowania, a więc możliwość pełnego wykorzystania efektu heterozji dobranych rodów.

Przy krzyżowaniu form buraków tetraploidalnych z diploidalnymi posługujemy się wskaźnikiem barwności kiełków. Normalne odmiany buraków cukrowych składają się z mieszaniny dwóch typów pod względem barwy hipokotylu, z których jeden, bezbarwny, o wzorze genetycznym  $gg\ rr$ , a drugi o różowym

Tabela 1

DIPLOIDALNE BURAKI CUKROWE		
$2n = 18$		
	RÓŻOWE	BIAŁE
RODZICE	$ggRR$	$ggrr$
GAMETY	$gR$	$gr$
$F_1$	$ggRr$	RÓŻOWE
GAMETY	$gR$	$gr$
$F_2$	$1\ ggRR$ $2\ ggRr$ $1\ ggrr$	RÓŻOWE  BIAŁE
STOSUNEK ROZSZCZEPIEŃ		
1 : 3 FENOTYPOWO		
1 : 2 : 1 GENOTYPOWO		

hipokotyli kielka posiada wzór genetyczny  $gg Rr$  i  $gg RR$ . W populacji najczęściej na ogół jest typów heterozygotycznych. Schemat zachowania się obu tych typów przedstawia tabela 1.

W drodze selekcji udało się otrzymać odmiany o bezbarwnym kielku o wzorze  $gg rr$  i odmiany wyłącznie o różowym kielku o wzorze  $gg RR$ . Skrzyżowane odmiany różne pod względem barwy kielka dają mieszańce o różowym kielku, które po skrzyżowaniu między sobą dają w F-2 charakterystyczny mendlowski stosunek rozszczepeń 1:3 fenotypowo i 1:2:1-genotypowo. Podobnie jak u form diploidalnych otrzymano u tetraploidów rody genetycznie czyste pod względem barwy lub bezbarwności kielka. Wzory genetyczne takich odmian tetraploidalnych oraz stosunki rozszczepeń przy skrzyżowaniu tych dwóch typów przedstawia tabela 1.

W praktyce wygodniej jest hodować odmiany tetraploidalne o bezbarwnym hipokotyli, a odmiany diploidalne o barwnym hipokotyli, ponieważ w tym wypadku triploidy są łatwe do odróżnienia.

Tabela 3

**TETRAPLOIDALNE BURAKI CUKROWE**  
 $2n=36$

**STOSUNKI ROZSZCZEPIEŃ BARWY KIELKÓW**

**RODZICE** { BURAKI TETRAPL. O BIAŁYCH KIELK.  $ggggrrrr$   
BURAKI TETRAPL. O RÓŻOWYCH K.  $ggggRRRR$

**F<sub>1</sub>**  $ggggRRrr$   
 $gR \times gr$   
 $gr \times gR$

$1ggRR \quad 4ggRr \quad 1ggrr$

**F<sub>2</sub>**  $6^2=36$  KOMBINACJI  
1- $ggggRRRR$   
8- $ggggRRRr$   
18- $ggggRRrr$   
8- $ggggRrrr$   
1- $ggggrrrr$  BIAŁE

W KTÓRYCH } RÓŻOWE

**STOS. ROZSZCZ.** 1:35 - FENOTYPOWO  
1:34:1 - GENOTYPOWO

Hodowca musi wiedzieć, że tetraploidy krzyżując się z bezbarwnymi rodami wykażą bardzo wysoki odsetek różowych kielków, ponieważ wystarczy, aby w genotypie był jeden czynnik wywołujący barwność (tabela 3). Zamiast prostego stosunku 1:3 spotykanego u diploidów zachodzi stosunek rozszczepeń 1:35.

Tabela 2

**BURAKI CUKROWE**

**KRZYŻOWANIE TETRAPLOIDU Z DIPLOIDEM**  
 $2n=36 \quad 2n=18$

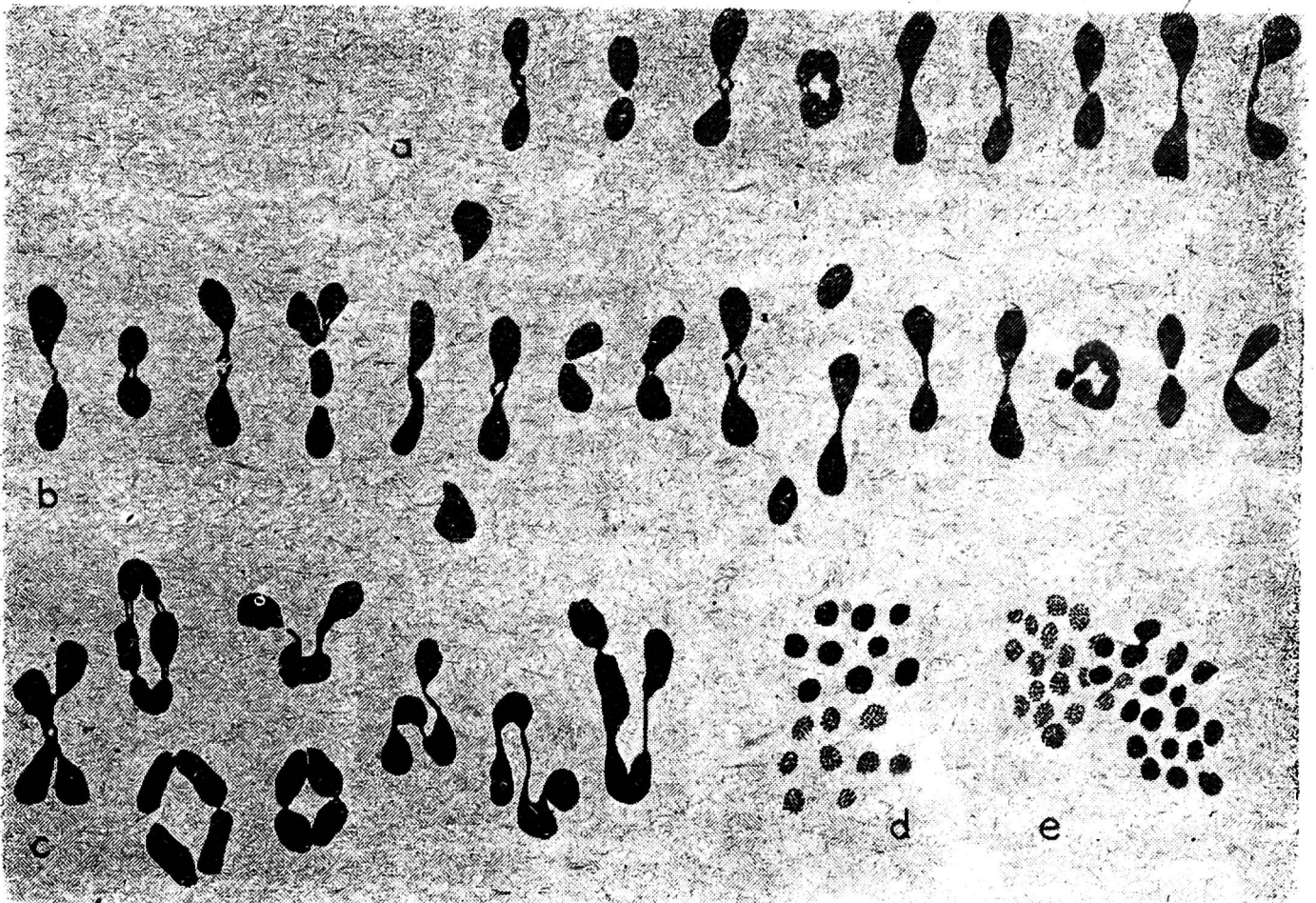
**RODZICE:**TETRAPLOID  $ggggrrrr$  DIPLOID  $ggRR$ **GAMETY**  $ggrr$   $gR$ **F<sub>1</sub> TRIPLOID**  $gggrrR$  BLADORÓŻOWY

Wzory genetyczne takich odmian tetraploidalnych oraz stosunki rozszczepeń przy skrzyżowaniu tych dwóch typów przedstawia tabela 1.

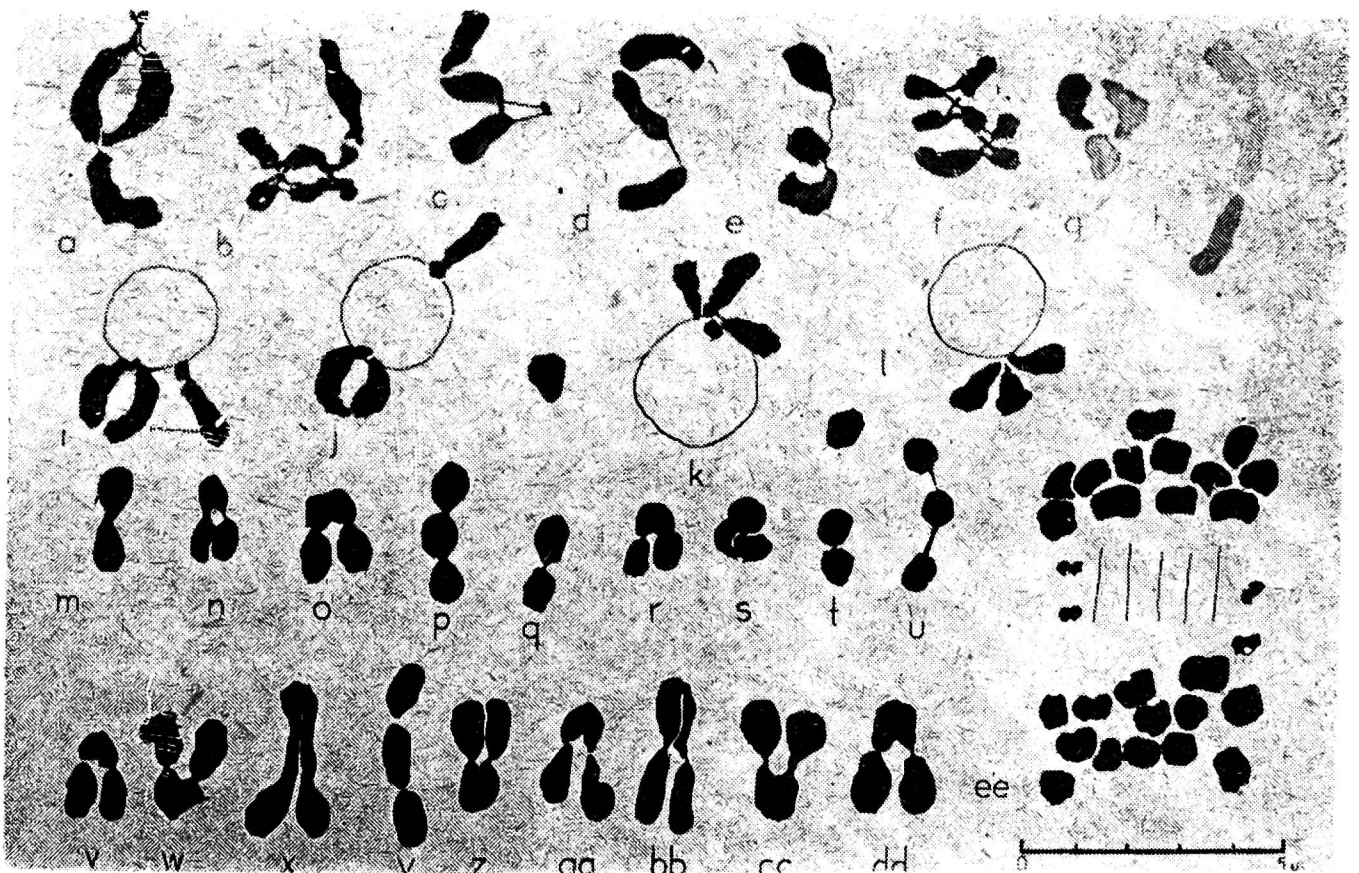
Jest to bardzo ważny wskaźnik, który pozwala nam na kontrolę czystości hodowli na każdym etapie rozmnożenia — pojawienie się kielków barwnych w tetraploidach jest sygnałem dokonanej krzyżówki, a więc i sygnałem pojawienia się triploidów — tak samo jak pojawienie się bezbarwnych kielków w populacji diploidów świadczy o skrzyżowaniu.

Posługując się wskaźnikiem barwności bardzo łatwo rozróżniamy triploidy — hipokotyl u nich będzie bladoróżowy (tabela 2). Pozwala to na łatwą kontrolę procentu skrzyżowań, a nawet usuwanie przy przerywce roślin o bezbarwnych kielkach, które jak wiemy będą tetraploidami, a więc słabszymi od triploidów.

Dla hodowcy buraków cukrowych dokładna znajomość stosunków rozszczepeń barwy hipokotyli nie jest jakąś mendlowską spekulacją, lecz warunkiem powodzenia tego typu hodowli.



Rys. 1. Mejoza u diploidalnych i tetraploidalnych buraków cukrowych: a — wczesna metafaza diploidu, b — to samo u tetraploidu, c — przykłady kwadriwalentów, d — wczesna anafaza I diploidu, e — to samo u tetraploidu wg Rasmussona i Levana



Rys. 2. Mejoza u triploidu: a — diakineza triwalentów m — u i v — dd. Układ w metafazie I. ee anafaza, według A. Levana

Mówiąc o hodowli poliploidalnej buraków cukrowych i produkcji triploidów do przedyskutowania pozostałoby jeszcze jedno zagadnienie. Krzyżując odmiany tetraploidalne z diploidalnymi, triploidy, o które w tym wypadku nam chodzi, powstają przede wszystkim na egzemplarzach tetraploidalnych. Haploidalny pyłek pochodzący z roślin diploidalnych nie dopuszcza do zapłodnienia pyłkiem diploidalnym (z roślin tetraploidalnych) mimo, że jest on w większości, ponieważ pyłek haploidalny szybciej kiełkuje niż pyłek diploidalny. Na egzemplarzach diploidalnych powstaje także pewien procent triploidów nie sięgając wyżej niż 10%. Wyniki takie otrzymaliśmy w naszych doświadczeniach. Zgadza się one z wynikami Rassmusona, Levana, Schlössera i innych autorów. W naszej literaturze w „Acta Soc. Botanicorum Poloniae“ ukazała się praca M. Piotrowicz, która wykazała, że i u buraków cukrowych można natrafić na typy, u których podobnie jak ma to miejsce u wielu gatunków na diploidach, nie powstają triploidy. Czy wyniki otrzymane przez tę autorkę są przypadkowe, czy też spowodowane małą liczebnością, trudno mi na to dać odpowiedź.

Przebieg podziału redukcyjnego u diploidów, triploidów i tetraploidów przedstawiają rysunki 1 i 2.

#### LITERATURA

1. A b b e g E. A. 1942, Evaluation of polyploid strains derived from curly-top-resistant and leaf spot-resistant sugar beet varieties. Proc. Amer. Soc. Sugar Beet. Techn., s. 309—320.
2. A b b e g g F. A., S t e w a r d D. und C o o n s G. H.: Further Studies on Sugar Beet Autotetraploids. Proceedings of fourth general meeting americ. sugar beet technologists, 1946, s. 223—229.
3. A r t s c h w a g e r E.: Development of Flowers and Seed in the Sugar Beet. Journ. Agr. Research. 34, 1927, s. 1—15.
4. B l a k e s l e e A. F. and A v e r y A. G.: Methodes of inducing doubling of chromosomes in plants. J. Heredity 28, 1937, s. 392—411.
5. B l e i e r H.: Über Chromosomen und Züchtungsfragen der Zuckerrübe. Zuckerrübenbau 18, 1936, s. 73—82.
6. D u d o k v a n H e e l J. P.: Onderzoekingen over de Ontwikkeling von de Anthere, van den Zaadknop en van het Zaad bij *Beta vulgaris* L. Dissert and Techn. Hochschule Delft, 1925.
7. E r d m a n n K.: Verfahren zur Erzielung von vollwertigen Samenträgern der Beta-Rüben im 1. Vegetationsjahr mit Hilfe der Kältenbehandlung. Züchter 20, 1950, s. 291—296.
8. E r n o u l d L.: 1946, L'autopolyploidie experimentale chez la betterave. Publication de l'institut Belge pour l'amélioration de la betterave. Tirlemont 14, s. 205—269.
9. F e l t z H.: Untersuchungen an diploiden und polyploiden Zucker rüben. Zeitschrift für Pflanzenzüchtung 32, 1953, s. 275—300.
10. F r a n d s e n K. J.: Colchicininduzierte Polyploidie bei *Beta vulgaris* L. Züchter 11, 1939, s. 17—19.
11. K l o e n D.: Enige opmerkingen over de zaadteelt von bieten. Maandblad von de Landbouwworlichtingsdienst 9, 1952, s. 183—192.
12. K l o e n D. and S p e c k m a n n G. I.: The creation of tetraploid beets Euphytica 2, 1953, s. 187—196.

13. K l o e n D. and S p e c k m a n n G. I.: The creation of tetraploid beets. *Euphytica* 3, 1954, s. 35—42.
14. L e v a n A.: The effect of chromosomal variation in sugar beet. *Hereditas* 28, 1942, s. 345—399.
15. L e v a n A.: Jähförande undersökning över utvecklingen av diploid och tetraploid Sockerbeta och foderbeta. (A comparative study of the seasonal development of diploid and tetraploid sugar beet and mangel). With an English Summary. *Sveriges Utsädesför. Tidskr.* 53, 1943, 215—238.
16. M a r t e n s P., L. D e c o u x et L. E r n o u l d: 1944, Obtention par la colchicine de betteraves sucrières triploïdes et tetraploïdes: Note préliminaire. *Publications de l'institut Belge pour l'amélioration de la betterave* 12, s. 251—256.
17. M a t s u m u r a und Y a m a s c h i t a: Genetische und cytologische Untersuchungen bei Beta-Arten. I. Induz. Polyploidie bei Beta-Rüben durch Behandlung mit Colchicin. Japanisch mit deutscher Zusammenfassung. s. 31—41. Erscheinungsjahr unbekannt.
18. M a t s u m u r a, M o c h i z u k i A. und S u s u k a O.: Genetische und cytologische Untersuchungen bei Beta-Arten III. Über den Zuckergehalt bei den Varietätsbastarden und polyploiden Pflanzen. *Rep. Kihara Inst. Biol. Res. (Seiken Ziho)* nr 4, 1950, s. 1 — 11 (Mit deutscher Zusammenfassung 10—11).
19. M a t h y s e n J. O.: Cytologische und anatomische Untersuchungen an *Beta vulgaris* nebst einigen Bemerkungen über die Enzyme dieser Pflanzen. *Z. d. Vereins d. Deutschen Zuckerindustrie* 62, 1911, s. 137—151.
20. M o c h i z u k i A. und M a t s u m u r a S.: Genetics and cytological studies on the genus *Beta* IV. Triploid sugar beet and its yield. *Rep. Kihara Inst. Biol. Res. (Seiken Ziho)* nr 4, 1950, s. 12—16 (With English Summary 15—16).
21. P e t o F. H. und B o y e s J. W.: Comparison of diploid and triploid sugar beets. *Canad J. Res. Sect. C. Bot. Sc.* 18, 1940, 273 (Zitiert nach Ernould 1946).
22. P e t o F. H. and H i l l K. W.: 1942, Colchicine treatment of sugar beets and the yielding capacity of the resulting poliploids. *Proc. Amer. Soc. Sugar Beet Tech.* s. 281—295.
23. P i o t r o w i c z M.: Praca wstępna nad produkcją triploidalnych buraków cukrowych (*Beta vulgaris* L. var. *Saccharifera*). Preliminary experiments in producing triploid sugar beets. *Acta Soc. Bot. Pol.* XXIV. 1, 1955, s. 125—144.
24. R a s m u s s o n J.: 1948, Poliploids in sugar beets—their production and practical usefulness.
25. R a s m u s s o n J.: Autotetraploid sugar beets. Vitality changes in subsequent generation. *Hereditas* 39, 1953, s. 257—269.
26. R a s m u s s o n J. and L e v a n A.: Tetraploid sugar beets from colchicin treatments. *Hereditas* 25, 1939, s. 97—102.
27. R o s e n G.: Problems and Methods in the Produktion of Tetraploids within the genus *Beta*. *Socker Handlingen* 5, 1949, s. 199—217.
28. S a v i t ' s k y H.: Polyploid Sugar Beets — Cytological Study and Methods of Production. *Proc. Amer. Soc. Sugar Beet Techn.* 1952, s. 470—476.
29. S c h l ö s s e r L. A.: Untersuchungen an autoploiden Zuckerrüben. I. *Zeitschrift der Wirtschaftsgruppe Zuckerindustrie* 90, 1940, s. 88—106.
30. S c h l ö s s e r L. A.: Kleinwanzlebener „Poly“, eine neu zugelassene Zuckerrübensorte der Rabbethge und Giesecke Saatzucht G. m. b. H. Einbeck, *Zucker* 18, 1937, s. 382—384.

31. S t e w a r d D. and G a s k i l l J. O.: Results of fields tests with triploid Sugar Beets in 1951. Proc. Amer. Soc. Sugar Beet Tech. 1952, s. 452—453.
32. V o s s J.: Experimentelle Auslösung des Schossens und Prüfung der Schossneigung der Rübensorten (*Beta vulgaris* L.) Angewandte Botanik 18, 1936, s. 370—407.
33. V o s s J.: Zur Schosslösung und Prüfung der Schossneigung von Rübensorten (*Beta vulgaris* L und *Brassica napus* L var. *napobrassica* L. Reichenb.) Züchter 12, 1940, s. 33—44, 73—77.