KLOPFER TADEUSZ

Zakł. Botaniki Ogólnej Uniw. Warsz.

PODZIAŁ CHLOROPLASTU PODCZAS CYTOKINEZY U *SPIROGYRA*.

(Die Teilung des Chloroplasten während der Zytokinese
bei *Spirogyra*).

W s t ę p.

Pierwsze dokładne badania nad podziałem plastydu zawdzięczamy Strasburgerowi (1880). Opisał on zamykanie się błony poprzecznej i przecinanie chloroplastu przez tę błonę w środku komórki. Schmitz (1882) ustalił dla chloroplastów glonów zielonych dwa typy podziału a mianowicie: przewężenie (Durchschnürung) i przecięcie (Zerschneidung). W pierwszym wypadku chromatofor rozciąga się, staje się w miejscu podziału coraz cieńszy, wreszcie przerywa się; w drugim—chromatofor zostaje przecięty bez zjawisk wymienionych powyżej. Zdaniem Schmitz'a u glonów, zawierających chloroplasty wstęgowate, częściej zachodzi przewężenie niż przecięcie. Z nowszych autorów Conard (1929) twierdzi, że stroma plastydu zostaje biernie przecięta przez zamykający się pierścień błony poprzecznej.

Ostateczne rozstrzygnięcie pytania, w jaki sposób zachodzi przepołowienie chloroplastu, wymaga zdania sobie sprawy z jego konsystencji. To samo pytanie postawione na płaszczyźnie współczesnych przypuszczeń o charakterze kolloidal-

nym cytoplazmy i jej składników, brzmiałoby czy chloroplast znajduje się w stanie żelu, czy solu? Już Kolkwitz (1898) przypisywał normalnemu chloroplastowi właściwości sprężystej taśmy. Lepeschkin (1911) oraz Ponomarew (1914) uważają chloroplast za ciało koloidalne, pół-płynne, którego napięcie na granicy plazma-chloroplast jest zbyt małe, aby ciało to przyjęło kształt kuli. Wystarczy jednak zmienić napięcie powierzchniowe, działając np. alkoholem lub temperaturą, aby chloroplast przyjął kształty zaokrąglone. Schmidt (1916) oraz Weber (1921) przy centryfugacji komórek *Spirogyra* zauważyli zbijanie i zlepianie się odsuniętych na bok chloroplastów, co dowodzi, według nich, niezbyt tęgiej konsystencji plastydów. Według Scarth'a (1924) chloroplast jest elastycznym żelem (brak ruchów w chloroplaście, stałość formy, opór jaki stawia chloroplast przy plazmolizie, doświadczenia mikrodysekcyjne), jednak w pewnych wypadkach, pod wpływem rozmaitych czynników (mechanicznych, temperatury, prądów elektrycznych, środków chemicznych, narkotyków), przechodzi w stan solu, wykazując wtedy zjawisko kontrakcji. Küster (1927) opisał rozgałęzianie się i zlewianie wstęg chloroplastowych, zachodziło to jednak tylko w wypadkach patologicznych. Lloyd (1924), zgodnie z danymi w pracy Webera, twierdzi, że chloroplast, pod wpływem narkotyków w małej koncentracji, wykazuje zwiększoną zdolność do przyjmowania wody. Według Sakamury (1933) czynniki upłynniające cytoplazmę powodują pęcznienie plastydu. Badania Gicklorna wreszcie (1933) nad stanem plastydu dowodzą jego płynności. Przypuszczenia jego oparte są na badaniach kontrakcji i centryfugacji komórek *Spirogyra*. Kontrakcja chloroplastu, według niego, polega na tem, że w czasie jej trwania plazma upływnia się, wskutek czego plastyd, znajdujący się teraz w innem środowisku, kurczy się, przyjmując kształty zaokrąglone, lecz nie wykazuje przytem zmian lepkości. Obserwacje tegoż autora nad centryfugowaniami komórkami *Spirogyra* przeczą—zdaniem jego—elastyczności chloroplastu: odsunięte bowiem do błon poprzecznych plastydy nie ujawniają tendencji do powrotu do stanu normalnego.

Metoda badań.

Pracę nad podziałem chloroplastu u *Spirogyra* rozpocząłem na wiosnę roku 1930 i prowadziłem przez dwa lata

z przerwą latem i zimą a to ze względu na niesprzyjające warunki laboratoryjne: zbyt wysoką temperaturę oraz szkodliwy wpływ gazu świetlnego (Wóycicki, 1907). Badania przeprowadzałem tylko na gatunkach jednowstęgowych o małej ilości skrętów, ponieważ tylko takie gatunki mogą dać jasne obrazy poszczególnych stadiów podziału plastydu. Do obserwacji używałem materiału przywożonego co kilka dni z okolic Warszawy i przetrzymywanego w płaskich naczyniach, stawianych przy otwartych oknach.

Ze względu na długi czas trwania obserwacji (około 1—2 godz.), jako też chcąc uniknąć nacisku szkiełka przykrywkowego, stosowałem krople wiszące.

Nitka glonu była przeglądana szczegółowo w celu znalezienia komórki, której jądro byłoby w pierwszych stadiach karjokinezy; gdy stan komórki był odpowiedni, zaczynałem właściwe obserwacje nad podziałem plastydu. Przebiegu karjokinezy nie obserwowałem, gdyż chloroplast wtedy zajmuje położenie zupełnie normalne. Podział jądra był dla mnie tylko oznaką zbliżającej się cytokinezy, podczas której następuje podział plastydu¹⁾.

Najczęściej obserwowałem podziały w gołz. 7—9 w., rzadziej 5—7; w godz. rannych można podziały zaobserwować bardzo rzadko.

Przy obserwacjach witalnych nad *Spirogyra* temperatura wyższa niż 20° wpływa ujemnie na przebieg podziału, powodując degenerację²⁾.

Obserwacje nad podziałem plastydu.

Bezpośrednio przed metafazą jądra zaczyna się w komórce żywy ruch plazmy, który można obserwować, nastawiając mikroskop na górną powierzchnię komórki. Widoczne są

¹⁾ Komórka, która ma się podzielić, jest zwykle dłuższa. W pewnych wypadkach wzrost komórek odbywa się normalnie, natomiast podziały nie zachodzą, wskutek czego komórki nadmiernie się wydłużają. Niezawsze więc znaczna długość komórki stanowi zapowiedź jej podziału.

²⁾ Wildeman, który specjalnie zajmował się zależnością przebiegu podziału od temperatury, ustalił granice dla *Spirogyra* od 4° do 23°; przy czym najszybciej przebiegające podziały obserwował przy 12°. Conard stwierdził, że w temperaturach powyżej 20° podziały zachodzą wolniej niż w temperaturach niższych.

wtedy dobrze ziarnistości (zbadane i sklasyfikowane przez Sakamurę), zawarte w cytoplazmie i unoszone przez prądy i ruchy wirowe. Prądy te biegną ku środkowi komórki i ostatecznie powodują nagromadzenie się cytoplazmy wokół jądra. Ponieważ cytoplazma tworzy warstwę przyścienną komórki, przeto na skutek nagromadzenia jej w strefie równikowej, powstaje pierścień plazmatyczny, obejmujący jądro, znajdujące się wtedy w metafazie. Pierścień nie dotyka powierzchni jądra i pomiędzy nim a jądrem pozostaje część wakuoli (ryc. 122). Pierścień ten ma charakter ziarnisty, a nowe porcje plazmy, nadpływające ciągle, powodują jego grubienie. Rola tego pierścienia plazmatycznego jest analogiczna do roli fragmoplastu roślin wyższych.

Z chwilą wytworzenia się pierścienia chloroplast, który dotąd leżał normalnie, zostaje przez ten pierścień lekko odsunięty od błony zewnętrznej ku środkowi komórki.

Ryc. 122.

Wytworzenie się pierścienia plazmatycznego (P) powoduje zmianę w układzie chloroplastu; chloroplast odsuwa się nieco od błony podłużnej.

Przed telofazą zaczyna się wyróżnicowywać na terenie pierścienia specjalna środkowa strefa, której substancja jest jaśniejsza i bardziej szklista.

Kiedy jądro przechodzi w telofazę, na terenie rzeczonyj strefy zaczyna się tworzyć błona komór-

kowa, zakładająca się początkowo jako cienkie błyszczące pasemko.

Ultramikroskopowe obserwacje zakładającej się błony nie wniosły nic nowego, ponieważ błony poprzeczne w tych warunkach nie świecą tak, jak błony zewnętrzne. Różnica rzeczona uwarunkowana jest, jak wiadomo z badań van Wisselingh'a, ich odmiennym charakterem chemicznym.

Zaraz po zjawieniu się białego pasemka, będącego przekrojem optycznym tworzącej się błony, następuje wyróżnicowanie się dwóch jąder pochodnych, połączonych wtedy wrzecionem kształtu beczułkowatego, które stale się rozrasta (jakby pęcznieje), aż osiąga maksimum szerokości i styka się z pierścieniem plazmatycznym (ryc. 123).

Chloroplast dosuwa się obecnie do powierzchni wrzeciona. Skoro jądra pochodne zaczną oddalać się od siebie, wrze-

Ryc. 123.

Wrzeciono w momencie swej największej rozpiętości, kiedy styka się ono z pierścieniem plazmatycznym. Chloroplast ułożony na powierzchni wrzeciona.

ciono wydłuża się, staje się cylindrycznem, zmniejszając jednocześnie swój przekrój (ryc. 124, 125). W miarę zwężania się wrzeciona wzrasta pierścień plazmatyczny, tworzący błonę,

Ryc. 124.

Wydłużanie się wrzeciona; staje się ono cylindryczne, a przekrój jego jest coraz mniejszy. Chloroplast zajmuje powoli położenie centralne.

Ryc. 125.

zajmując położenie coraz bliższe środka komórki.

Chloroplast, spoczywający między pierścieniem a powierzchnią wrzeciona, układa się na tej powierzchni i wraz z kurczącą się powierzchnią wrzeciona przesuwa się ku wnętrzu komórki. Wbrew poglądom Conard'a plastyd nigdy nie wkracza na teren wrzeciona, lecz układa się na jego powierzchni, będąc do tej powierzchni dociskany przez zamykający się pierścień błonotwórczy. Z fotografii Conard'a można zresztą wywnioskować, że chloroplast prześwieca tylko przez wrzeciono, co daje złudzenie, że tkwi w substancji tego utworu.

Plastyd, będąc od błony podłużnej odsuwanym ku środkowi komórki, zmienia swoje ułożenie tak, że część spirali w miejscu podziału prostuje się. Prostowaniu się spirali towarzyszy wytworzenie się w miejscu podziału pewnego rozsunięcia, między środkowymi obiegami chloroplastu, które czasami podsuwają się pod sąsiednie obiegi spirali. (AB ryc. 123). Zjawisko to moglibyśmy uważać za skutek wyprostowania się wstęgi plastydu w miejscu podziału, a co zatem idzie zajęcia przez ten jego odcinek większej przestrzeni w kierunku podłużnej osi komórki. Przy normalnym przebiegu karjo- i cytokinezy nie można było znaleźć faktów, któreby wskazywały na jakikolwiek widoczny wpływ wrzeciona (jak chce Conard) na zmianę położenia plastydu, widzimy bowiem, że przesuwanie jego do środka komórki odbywa się w ścisłej łączności z tworzeniem się błony. O tem jednak, że wrzeciono, w pewnej niewielkiej zresztą mierze, może współdziałać w procesach zmiany układu chloroplastu, wnosić możemy z obserwacji pewnych podziałów patologicznych t. j. takich, kiedy po karjokinezie cytokineza nie następuje. Wtedy chloroplast, być może pod wpływem wrzeciona (a może ruchów plazmy), ujawnia pewne rozsunięcie skrętów w miejscu podziału; przesuwanie się jednak plastydu do środka komórki w żadnym wypadku nie zachodzi.

Zależnie od położenia komórki względem obserwatora, obraz plastydu może być rozmaity. Odcinek podziałowy przedstawia się nam w jednym wypadku jako łuk lekko wygięty (ryc. 126), w drugim zaś jako wstęga idąca naukos komórki (ryc. 127). Oczywiście występuje również cały szereg ułożeń pośrednich.

Położenie drugie (ryc. 127) jest o wiele wygodniejsze dla obserwacji, ponieważ wtedy chloroplast jest przecinany

Ryc. 126.

Ryc. 127.

Schematy odtworzone z pasków papieru, przedstawiające rozmaity układ chloroplastu podczas cytokinezy.

płasko. Już na początku obserwacji można przewidzieć jaki będzie układ chloroplastu podczas cytokinezy. Jeśli bowiem błona zacznie się tworzyć w płaszczyźnie AB (ryc. 128), to układ plastydu podczas cytokinezy będzie odpowiadał położeniu pierwszemu (ryc. 126); jeśli w płaszczyźnie CD, to układ chloroplastu będzie odpowiadał położeniu drugiemu (ryc. 127).

Zmiana położenia chloroplastu powoduje przegięcie się jego w miejscu podziału.

Ryc. 128.

Schemat, ilustrujący miejsca tworzenia się błony poprzecznej (AB lub CD) w stosunku do jednego odcinka chloroplastu.

Zrozumienie tego przegięcia plastydu ułatwia nam model z paska papieru, który skręcony tak, aby tworzył półkole, następnie przy rozciąganiu (nie zmieniając położenia palców) przekręca się w środku. Podczas podziału, a zwłaszcza po podziale, otrzymamy wskutek tego charakterystyczny obraz końców chloroplastu: jednego płaskiego a drugiego zaostrego (ryc. 129).

Zamykający się pierścień otacza wkońcu chloroplast; wyrostki boczne plastydu zwijają się, brzegi chloroplastu wyrównują się, część zaś chloroplastu, przechodząca przez pierścień, zmienia się w cienki mostek, który szybko staje się coraz cieńszy i bledszy (ryc. 130).

Ciśnienie, wywierane przez plazmę zamykającego się pierścienia, przyczyniać się niewątpliwie musi do przewężania plastydu. Pod wpływem tego

Ryc. 129.

Charakterystyczny obraz końców plastydu; koniec chloroplastu po prawej stronie błony poprzecznej płaski i szeroki, po lewej stronie zaostriły.

ciśnienia część chloroplastu, przechodząca przez pierścień, staje się walcowata. Ponieważ w dalszym ciągu ten walcowaty odcinek staje się coraz bledszy, należy przypuszczać, że substancja chloroplastu odpływa z miejsca podziału w obie strony tak długo, aż chloroplast stanie się cienkim pasemkiem, które wkońcu przerywa się.

Ryc. 130.

Odcinek podziałowy chloroplastu jako cienki mostek.

prawie już przewężonego chloroplastu dążą w przeciwne strony (na ryc. 131 koniec A dąży do góry, koniec B w dół), wskutek czego odcinek podziałowy tworzy linię łamaną (zaznaczoną kreskami). Dla wytłumaczenia tego zjawiska musimy uciec się do przypuszczenia o istnieniu pewnych ruchów plastydu, warunkowanych jego specyficznymi właściwościami. Zdrowy chloroplast ma mianowicie tendencję układania się spiralnego, a wyprowadzony ze stanu skręcenia, ujawnia dążność, aby do tego stanu powrócić. Czynnikiem, który wprowadza chloroplast ze stanu równowagi, jest zamykający się pierścień, tworzący błonę. Z chwilą gdy chloroplast zajmie położenie środkowe komórki, siła nacisku tego pierścienia przestaje działać w jednym kierunku, a zaczyna działać na plastyd ze wszystkich stron. Chloroplast, naciskany równomiernie ze wszystkich stron, ujawnia dążność do powrotu stanu normalnego i dlatego jego części, położone po obu stronach pierścienia, zaczynają tak wyginać się, aby zająć położenie jaknajbliższe błonie zewnętrznej. Wskutek tych ruchów, wytwarzają się na odcinku podziałowym siły rozciągające. Z drugiej strony ruchy te warunkują przybranie przez odcinek podziałowy, w późniejszych stadiach podziału, kształtu linii łamanej. Siły rozciągające,

Ryc. 131.

Chloroplast w miejscu podziału tworzy linię łamaną (linia kreskowana). Obraz taki jest wytworzony wskutek ruchów końców chloroplastów potomnych prawego w dół, a lewego do góry (strzałki).

wespół z naciskiem pierścienia, przyczyniają się do przewężenia plastydu.

Wyżej opisane ruchy są dobrze widoczne przy podziałach patologicznych, kiedy błona podziałowa długi czas po podziale nie zamyka się całkowicie, a chloroplast pozostaje nieprzecięty. Otóż po pewnym czasie części plastydu, przyległe do odcinka podziałowego, ujawniały dążność do zajęcia położenia peryferycznego, wskutek czego plastyd w tem miejscu przyjmował kształt esowaty (ryc. 134).

Rozerwanie mostka, łączącego końce chloroplastów, jak mogłem wielokrotnie to stwierdzić, następuje dość szybko. Zjawisko to jest zgodne z obserwacjami Conard'a. Sądzę, że przerywanie się plastydu, może być spowodowane właśnie tą tendencją normalnego chloroplastu do zajęcia położenia peryferycznego w komórce. Obserwacje Conard'a potwierdzają ten pogląd, ponieważ według niego, powrót obiegów chloroplastu do położenia normalnego odbywa się jeszcze przed całkowitem zaniknięciem się błony poprzecznej.

W jednym pojedynczym wypadku patologicznym zaobserwowałem, że błona została zahamowana w swoim rozwoju, na stadium pierścienia o dosyć szerokim otworze (ryc. 133), chloroplast zaś, odsunięty od błony zewnętrznej, przerwał się sam i oba jego końce powróciły do położenia peryferycznego. W danym przeto wypadku, przyczyną przerywania się plastydu były prawdopodobnie siły rozciągające.

Podkreślić też muszę, że przez czas dłuższy po podziale chloroplastu, zachowują się ostre wyrostki leżące z boku, w stosunku do osi chloroplastów (ryc. 132); stanowią one pozostałość mostu, łączącego po przednio dwa chloroplasty potomne.

Końce plastydu po podziale wracają do położenia peryferycznego, oddalając się szybko od błony poprzecznej. Zjawiskiem powrotu chloroplastu do położenia normalnego zajmował się Schmidt. Centryfugował on chloroplasty i zaobserwował, że z plazmy, otaczającej chloroplasty centryfugowane,

Ryc. 132.

Chloroplast po podziale; ostre wyrostki powstałe z przerywania się mostka, łączącego chloroplasty potomne, leżą w stosunku do osi chloroplastów z boku. XX Nowowytworzone końce plastydów.

wyrastały niteczki plazmatyczne, dążące do plazmy przyściennej. Schmidt nie obserwował kurczenia się owych nitek, lecz przypuszczał, że one to mogą ustawiać chloroplast tak, aby zajął położenie normalne. Wbrew twierdzeniom Schmidt'a, Gicklhorn uważa, że chloroplast jest organem zupełnie biernym i tylko ruchy plazmy biorą czynny udział przy jego powrocie do położenia peryferycznego. Elastyczne właściwości, przypisywane przez Scarth'a chloroplastowi normalnemu, w prosty sposób tłumaczyłyby powrót chloroplastu do położenia peryferycznego.

Środkowe obiegi chloroplastu, które po jego podziale zbliżyły się, lub nawet czasem podsunęły pod obiegi następne, długi czas po podziale zachowują swoje położenie. Zjawisko to można, jak sądzę, wytłumaczyć w ten sposób, że części te znajdują się w położeniu zbliżonym do normalnego. Prawdopodobnie dopiero ruchy plazmy lub ruchy wzrostowe plastydu są zdolne usunąć te skupienia obiegów.

Analiza mikroskopowa podziału plastydu mimowoli nasuwa pytanie, jaka jest konsystencja chloroplastu? Z prac przytoczonych we wstępie autorów wynika, że plastyd u *Spirogyra* jest organem, którego lepkość może się zmieniać. Obserwacje, które przeprowadziłem nad dzielącym się plastydem, dowodzą płynności jego odcinka podziałowego. Zmienność zarysów końców dzielącego się plastydu, przesuwanie się na bok mostka łączącego te końce, zaokrąglanie się ich przy podziale—wszystkie te zjawiska mogą zachodzić tylko wtedy, jeśli konsystencja plastydu jest płynna. Obserwując zaś chloroplast wyginający się tak, aby zająć położenie jaknajbliższe błony zewnętrznej, odnosi się raczej wrażenie, że chloroplast posiada właściwości elastyczne. Odcinek podziałowy chloroplastu ze stanu solu, w jakim jest prawdopodobnie podczas cytokinezy, przechodziłby, przy powrocie do położenia peryferycznego, w stan gelu. Badania nad wyginaniem się chloroplastu raczej potwierdzają, według mnie, poglądy Scarth'a niż poglądy Gicklhorna. Autorowi temu możnaby zarzucić, że centryfugowanie — jako metoda badania stanu kolloidalnego plastydu—samo przez się stan ten może zmieniać. Gompel (1925) wykazał, że centryfugowanie powoduje u *Ulva* duże zwiększenie przepuszczalności, co przecież związane jest z odpowiednimi zmianami w kolloidalnym stanie protoplastu. Z faktu, że centryfugowany plastyd nie po-

wraca do normalnego położenia, nie możemy jeszcze wyciągać wniosku, że brak mu w warunkach normalnych cech elastyczności (Gicklhorn). Powracanie do położenia normalnego plastydu, przemieszczonego tworzącą się błoną—a więc w warunkach całkowicie naturalnych — przemawia raczej za istnieniem tej elastyczności. Najprawdopodobniej istnieje możliwość zmian w stanie koloidalnym odcinka podziałowego plastydu, oraz możliwość występowania różnych stanów w różnych miejscach plastydu.

Na zakończenie kilka słów o nienormalnych podziałach, które zachodzą w tych wypadkach, gdy komórka żyła w niesprzyjających warunkach.

1) Jądro dzieli się normalnie, cytokineza nie dochodzi do skutku. O zachowaniu się chloroplastu w takich wypadkach była mowa wyżej; ujawnia on wtedy daleko idące objawy degeneracji¹⁾.

2) Bywają wypadki, w których cytokineza zostaje zapoczątkowana, lecz następnie w pewnym momencie przerwana, a komórka pozostaje podzieloną połowicznie. Chloroplast zostaje wówczas odsunięty od błony zewnętrznej tak, że przechodzi przez otwór niezamkniętego pierścienia i pozostaje trwale w tem położeniu (ryc. 133).

3) Wreszcie cytokineza bywa tak daleko posunięta, że pierścień plazmy obejmuje chloroplast, nie przerywając go jednak. Chloroplast wówczas po pewnym czasie wygina się (ryc. 134).

W obu powyższych wypadkach częściowo wytworzona błona po pewnym czasie grubieje, dając na przekroju optycznym

dwa wyrostki mniej lub więcej do siebie zbliżone. Komórki takie można bardzo często obserwować pośród komórek po-

Ryc. 133.

Pierścień błony poprzecznej nie zamknięty aż do środka. Błona poprzeczna jest już widocznie zgrubiała.

¹⁾ W takich komórkach, w których chloroplast ma układ nieregularny, należy spodziewać się niewytworzenia błon poprzecznych (Wisselingh).

dzielonych normalnie; rzecz pozatem ciekawa, że mogą się one w dalszym ciągu dzielić.

Ryc. 134.

Pierścień błony poprzecznej niezamknięty całkowicie; chloroplast pozostaje nieprzecięty, ujawniając po pewnym czasie tendencję do zajęcia położenia peryferycznego.

Pracę wykonałem pod kierunkiem p. prof. Z. Wóycickiego, któremu pragnę złożyć najserdeczniejsze podziękowania za światłe kierownictwo. Składałem również serdeczne podziękowania p. doc. dr. Wł. Beckerowi za życzliwe rady i cenne wskazówki.

W n i o s k i.

1) Chloroplast, zdaniem mojem, wbrew twierdzeniom Conard'a, jest przesuwany ku środkowi komórki przez zamykający się pierścień, tworzący błonę poprzeczną.

2) Wskutek nacisku zamykającego się pierścienia błonotwórczego następuje prawdopodobnie odpływ substancji chloroplastu z miejsca podziału i przewężanie się plastydu, mającego w tem miejscu prawdopodobnie charakter solu.

3) Udział wrzeczona w akcie podziału chloroplastu jest, wbrew Conard'owi, wykluczony.

4) Powrót chloroplastu do położenia normalnego utwierdza mnie w przekonaniu, że plastyd posiada wtedy własności elastyczne.

L i t e r a t u r a.

- Conard A. 1929. Sur la division cellulaire chez *Spirogyra*. Comptes Rendus de Séances de la Soc. de Biol. 102, p. 71.
 Gieklhorn J. 1933. Ueber aktive Chloroplasten — Kontraktion bei *Spirogyra* und den Aggregatzustand der Spiralbänder. Protoplasma 17, p. 571.

- Gompel M. 1925. Sur la pénétrabilité des acides dans les cellules d'*Uva lactuca*. Ann. de physiol., 1, p. 166.
- Kolkwitz R. 1898. Die Wachstumsgeschichte der Chlorophyllbänder von *Spirogyra*. Festschrift Schwendeners., p. 271.
- Küster E. 1927. Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Chloroplasten. Protoplasma 2, p. 65.
- Lepeschkin W. 1924. Kolloidchemie der Protoplasma. Berlin.
- Lloyd F. E. 1924. Some effects of narcotics on *Spirogyra*. Mc. Gill University Publications. Ser. II. 25, p. 2.
- Ponomarew A. P. 1914. Zur Kenntnis des Chloroplastenbau. Berichte d. Deutsch. bot. Ges. 32, p. 483.
- Sakamura T. 1933. Beiträge zur Protoplasmaforschung an *Spirogyra*-zellen. Journal of the Facult. Sc. Hokkaido Imp. Univ., Ser. V. 2, p. 287.
- Scarth G. W. 1924. Colloidal changes associated with protoplasmic contraction. Quart. Journal of Exper. Physiology, 14, p. 99.
- Schmidt E. W. 1916. Das Verhalten von *Spirogyra*-zellen nach Einwirkung der Zentrifugalkräfte. Berichte d. Deutsch. bot. Ges. 34.
- Schmitz F. 1882. Die Chromatophoren der Algen. Bonn.
- Strasburger E. 1880. Zellbildung und Zelltheilung. Jena.
- Weber F. 1921. Zentrifugierungs-Versuche mit ätherisierten *Spirogyra*. Biochem. Zeitschr. 126, p. 21.
- De Wildeman E. 1891. Recherches au sujet de l'influence de la température sur la marche, la durée et la fréquence de la cariocinèse dans la règne végétal. Annales de la Soc. Belges de Mikrosp. 15, p. 5.
- Van Wisselingh C. 1900. Ueber mehrkernige *Spirogyra*-zellen. Flora. 87, 378.
- 1924. Die Zellmembran. Handbuch der Pflanzenanatomie 3. Berlin.
- Wóycicki Z. 1907. Über pathologische Wachstumserscheinungen bei *Spirogyra* — und *Mougeotia* — Arten in Laboratoriumskultur. Berichte d. Deutsch. bot. Ges. 25, p. 527.

Zusammenfassung.

Vor der Kernmetaphase führen die Plasmabewegungen zur Ausbildung eines Plasmaringes am Orte der Zellteilung, welcher den in Teilung begriffenen Kern allseits umfaßt. In der Telophase beginnt sich auf dem Terrain des Plasmaringes eine Membran zu bilden. Infolge der Entstehung des membranbildenden Ringes wird der Chloroplast ein wenig von der Längswand der Zelle abgerückt. Das weitere Vorrücken des Chloroplasten gegen das Zentrum der Zelle wird durch den Druck des sich schliessenden membranbildenden Ringes auf den Plastid hervorgerufen. Im Gegensatze zu den Beobachtungen von Conard, dringt der Chloroplast bei seinem Vorrücken nach dem Zentrum der Zelle nicht auf das

Spindelterrain ein, sondern lagert sich auf der Oberfläche der Spindel.

Infolge Vorrückens des Chloroplasten gegen das Zentrum der Zelle weichen die Mittelabschnitte des Schraubenbandes am Teilungsorte auseinander, während der Teilungsabschnitt des Chloroplasten eine Biegung erfährt. Im Gegensatze zu Conard vermute ich, dass das Auseinanderweichen der Schraubenbandabschnitte nicht durch die Längsstreckung der Spindel, sondern durch die Geradestreckung des medianen Plastidenabschnittes hervorgerufen wird. Infolgeder Einwirkung des sich schliessenden Plasmaringes nimmt schliesslich der Chloroplast eine zentrale Lage in der Zelle ein; der erwähnte Ring umgibt den Chloroplasten von allen Seiten und übt auf den Teilungsabschnitt einen gewissen Druck aus. Unter der Einwirkung des Druckes fliesst die Substantz des Plastiden, die während der Zytokinese eine deutlich flüssige Konsistenz aufweist, beiderseits ab und infolgedessen wird der Teilungsabschnitt allmählich dünner und blasser, bis er zuletzt zu einem dünnen Faden reduziert wird, der ziemlich plötzlich eine Durchschnürung erfährt.

Zur endgültigen Spaltung des Plastiden führt vielleicht die Tendenz des in der Öffnung des membranbildenden Ringes lokalisierten Chloroplasten zur Einnahme einer der Längswand am meisten benachbarten Lage, wodurch Biegung des Plastiden hervorgerufen wird und Zerrkräfte am Teilungsorte aktiviert werden.

Meiner Ansicht nach wird dieser Prozess weit besser verständlich, wenn wir zur Aufklärung desselben die Anschauungen von Scarth über die elastische Natur des ungeteilt bleibenden Plastiden heranziehen, als wenn wir uns auf die Gicklhorn'sche Theorie von der flüssigen Konsistenz des Chloroplasten stützen. Möglicherweise treten im Teilungsabschnitt des Chloroplasten nach dem Abschluss der Zytokinese (während welcher er flüssig ist) Eigenschaften eines elastischen Gels zutage. Der von Gicklhorn angewandten Zentrifugierungsmethode lässt sich vorwerfen, dass die blosse Zentrifugierung selbst den Kolloidzustand des Protoplasten und somit auch den des Plastiden zu ändern vermag (vgl. Gompel).

Institut f. allg. Bot. d. Univ. Warschau.