Regeneration der Scheitelzelle bei Farnwurzeln

Regeneracja komórki wierzchołkowej w korzeniu paproci

F. KADEJ

Bei Versuchsreihen über die Regenerationsfähigkeit von Farnwurzelspitzen ist bislang noch kein einziger Fall der Wiederherstellung einer neuen Scheitelzelle bekannt geworden (C l o w e s 1959).

Unabhängig davon, ob die Wurzelspitze in weiterer Entfernung von der Grenze der Wurzelhaube dekapitiert oder nur die Haube selbst entfernt wurde, zum Aufbau eines neuen Meristems mit einer neuen Scheitelzelle kam es nicht. Früher oder später bildeten sich alle noch zurückgebliebenen Teile des Meristems in Dauergewebe um (P r a n t l 1874, S i m o n 1904, N e m e c 1915).

Die Feststellung, dass die Farnwurzeln nach Beschädigung ihres Bildungszentrums, sich verglichen mit den Wurzeln anderer Pflanzengruppen, abweichend verhalten, erregt Aufmerksamkeit, zumal ein solches Verhalten ernst zu nehmende Folgen für die Interpretation der Meristeme ergeben kann.

In vorliegender Arbeit soll über einige Ergebnisse kurz berichtet werden, die sich aus einer ersten Versuchsreihe ergeben haben. Diese wurde grösstenteils an Wurzeln von *Davalia solida* durchgeführt.

Besondere Beachtung verdienen die Ergebnisse folgender drei Versuche.

1. Die Wurzelspitze wurde durch einen Querschnitt dekapitiert, der ungefähr durch die Mitte der Scheitelzelle führte.

2. Der Querschnitt ging durch die Wurzelhaube unterhalb der Scheitelzelle, ohne diese selbst zu verwunden.

3. Die Scheitelzelle allein wurde durch Einstich mit einer dünnen Nadel beschädigt.

Die so behandelten Wurzeln liess man sodann auf ihrem gewöhnlichen Standort im Glashaus in unterschiedlichen Zeitabschnitten bis zu drei Wochen sich weiter entwickeln.

Die grundlegenden Beobachtungen erfolgten an Mikrotomschnitten.

Es ergaben sich folgende Ergebnisse:

Die Wurzeln, deren Scheitelzelle durch die Operation nicht beschädigt worden war, wuchsen weiterhin in normaler Weise.

Alle Wurzeln, deren Scheitelzelle auf irgendeine Art beschädigt worden war, stellten ihr Wachstum vollständig ein (vergl. auch N e m e c 1905). Was aus den Meristemen solcher Wurzeln wurde, hing von der Art der Beschädigung ab.

Wenn der Querschnitt verhältnismässig weit über der Scheitelzelle geführt worden war, gingen die meristematischen Teile des Regenerats in Dauergewebe über.

Verwundete der Quer-oder Schiefschnitt nur einen Teil des Meristems einschliesslich der Zellgruppe im Bildungszentrum, so liessen sich im Meristem des Regenerats zwei Zonen unterscheiden. In den Teilen, die der Wundfläche unmittelbar anlagen, machte sich eine rege Teilung bemerkbar (Wundreaktion), danach erfolgte Parenchymatisation, und schliesslich gingen diese Stellen in Kallus über. Die entfernter gelegenen meristematischen Teile des Regenerats behielten die ganze Zeit über ihren meristematischen Charakter. Jedoch konnte in diesen Teilen und zwar im Zentralzylinder oder in der Primärrinde, nichts festgestellt werden, was auf ein Wachstum des Meristems hinweisen würde, und keinesfalls auf ein Transversalmeristem, wie N e m e c berichtete.

Gestalt und Grösse, sowie der allgemeine Charakter der aufeinander folgenden Segmente waren im Hinblick auf ihre Lage grundsätzlich gleichartig mit den entsprechenden Segmenten der Kontrollwurzel.

In jedem Versuch liess sich das völlige Fehlen des Längenwachstums beobachten sogar dort, wo es zu vielen Zellteilungen kommt, wie Phot. 2 zeigt. Auf dieser kann man nur einige der Zellteilungen als Ergebnisse der Wundreaktion interpretieren. Die neue Ordnung der Zellen, die während der Kultur sich bildete, erinnert in auffallender Weise an die Situation, die in frühesten Zeitabschnitten der Regeneration bei den Angiospermen beobachtet werden konnte (K a d e j 1956). In welchem Zusammenhang diese Zellanordnung mit der Regeneration eines neuen Bildungszentrums bei Farnen steht, konnte bis jetzt noch nicht festgestellt werden. Es ist anzunehmen, dass sie eine bestimmte Stufe des Regenerationsprozesses darstellt, der zuletzt mit der Neubildung einer Scheitelzelle endigen würde. In dieser Versuchsreihe kam es nicht zur Ausbildung einer neuen Initialzelle im Verlauf von 6 Tagen.

Das Meristem bei Farnen ist jedoch fähig eine neue Scheitelzelle zu bilden, die sich in nichts von der ursprünglichen unterscheidet.

Diese Neubildung ergab sich bei jenem Versuch, bei dem die Wurzelspitze mit dünner Nadel vorsichtig verwundet worden war. Wahrscheinlich war nur die Scheitelzelle getroffen worden. Die Abb. 1 und Phot. 3 und 4 zeigen zentrale Längsschnitte von Wurzeln, die auf diese Art behandelt und neun Tage lang weiter aufgezogen wurden, bei ihnen traten zwei Initialzellen in Erscheinung.

Abb. 1. Medianer Längsschnitt durch eine Wurzelspitze von *Davalia solida*, der die Scheitelzelle durch einen vorsichtigen Einstich mit einer Nadel verwundet worden war, nach 9 Tagen Kultur. Beachte die neu regenerierten Scheitelzellen. Die links liegende Scheitelzelle hat bis jetzt nur eine neue Zelle-Segment abgesondert. Dagegen sonderte die rechte wenigstens drei neue nachfolgende Zellen ab. Besondere Beachtung in der Neubildung neuer Segmente verdient die ungewöhnliche Regelmäßigkeit. Die ursprüngliche Grenze der Wurzelhaube hebt eine dickere Linie hervor. Ebenfalls wurden die Grenzen der älteren Segmente durch dickere Linien hervorgehoben

Aus der genauen Analyse der Zellanordnung ergibt sich, dass die neu gebildeten Scheitelzellen sich zweifellos aus den Abkömmlingen der ursprünglichen Scheitelzelle entwickelt haben. Die senkrechten Zellkomplexe, die sich zwischen ihnen befinden, stammen wahrscheinlich aus dem Gebiet des Zentralzylinders.

Wie es zu dieser Absonderung kam und welchen Verlauf dieser Prozess nahm, der zur Entstehung der neuen Scheitelzellen führte, kann mittels dieser Versuche noch nicht entschieden werden. Aus der Zellanordnung der nächsten Umgebung dieser neuen Scheitelzellen geht hervor, dass die Art ihrer Aktivität schon von Anfang an unerwartet regulär und identisch mit der der normalen Scheitelzelle sein müsste. Zwischen der Organisation der übrigen Teile des Meristems, die fast unverändert blieben, und dem Ergebnis der Bildung der neuen Scheitelzellen ist eine sichtbare Trennungslinie erkennbar. Dieser Befund beweist, dass bis zur Zeit der vollständigen Absonderung des neuen Bildungszentrums Zellteilungen oder ein Wachstum provisorischer Art hier nicht stattgefunden hat. Eine derartige Situation war bisher während der Regeneration der Wurzelspitzen bei Angiospermen noch nicht beobachtet worden.

Nur die jüngsten Segmente eines Wurzelkörpers übernehmen verhältnismässig leicht die Funktionen einer Scheitelzelle. Wenn diese gleichzeitig mit der Scheitelzelle beschädigt wurden, kam es nicht zur Bildung einer neuen Scheitelzelle.

Beachtenswert ist die gleichzeitige Entwicklung von zwei Scheitelzellen an der Spitze des Regenerats. Diese Feststellung verlangt um so mehr Beachtung, als bei ähnlichen Versuchen mit Angiospermen ein gleichzeitig sich vollziehendes Entstehen von zwei Bildungszentren bis jetzt noch nicht beobachtet wurde.

Bei Farnen verläuft die Entstehung eines neuen Bildungszentrum sehr langsam. Die vollständige Absonderung einer in Gestalt und Grösse gleichartigen Scheitelzelle erfolgt erst ungefähr nach 7 bis 8 Tagen. Diese Tatsache wird durch die überaus geringe Anzahl von neuen Segmenten bestätigt, die von den zwei Bildungszellen abgesondert werden. (Phot. 3, 4).

ZUSAMMENFASSUNG

1. Die Wurzelspitzen von *Davalia solida* sind zur Regeneration eines neuen Bildungszentrum fähig. Die neu entstandenen Scheitelzellen unterscheiden sich in nichts von den ursprünglichen. Es kann mehr als ein Bildungszentrum gleichzeitig abgesondert werden.

Alle Phot. stellen mediane Längsschnitte durch die Wurzelspitzen von *Davalia solida* dar. Die Länge aller Wurzeln betrug ungefähr 1,5 cm bei der Fixierung. Phot. 1. Die Wurzelspitze einer Kontrollwurzel; Phot. 2. Eine schief verwundete Wurzelspitze nach 6 Tagen Kultur. Der Pfeil zeigt Spuren der zerstörten Scheitelzelle. Die veränderte Zellanordnung erinnert in auffallender Weise die frühesten Entwicklungsstadien des Regenerats bei Angiospermen; Phot. 3. Eine Wurzelspitze, der die Scheitelzelle durch einen vorsichtigen Einstich mit einer Nadel verwundet worden war, nach 9 Tagen Kultur. Es entwickelten sich zwei Scheitelzellen; Phot. 4. Die selben zwei Scheitelzellen stark vergrößert

2. Nur die jüngsten Segmente eines Wurzelkörpers übernehmen verhältnismässig leicht die Funktionen einer Scheitelzelle.

3. Die Entstehung eines neuen Bildungszentrum verläuft sehr langsam.

4. Die Art der Neubildung von neuen Scheitelzellen ist an Hand dieser Versuche noch nicht festgestellt worden. Jedoch sprechen viele ernst zu nehmende Beobachtungen dafür, dass diese Art der Neubildung sich von der bei Samenpflanzen unterscheidet.

5. Die völlige Wachstumshemmung des Regenerats nach Verwundung oder Entfernung der Scheitelzelle verlangt um so mehr Beachtung, als Regenerate der Wurzeln von Angiospermen, die in ähnlichen Verhältnissen operiert wurden, nach der Operation sogar eine behebliche Beschleunigung des Wachstums aufweisen.

Dem Herrn Profesor Dr Henryk Teleżyński spreche ich verbindlichsten Dank für die wertvollen Ratschläge bei dieser Arbeit aus.

STRESZCZENIE

W badaniach nad regeneracją merystemów korzeni paprotników do-tychczas nie zanotowano ani jednego przypadku odtworzenia nowej komórki wierzchołkowej.

Niezależnie od tego czy wierzchołki korzeni dekapitowano w dalszej odległości od granicy czepka, czy usuwano tylko sam czepek, do odtworzenia nowego merystemu z nową komórką szczytową nie dochodziło. Wcześniej czy później wszystkie pozostałe części merystemu stopniowo przekształcały się w tkanki stałe (Prantl 1874, Simon 1904, Nemeček 1915).

Odmienne zachowanie się korzeni paprotników po uszkodzeniu ich centrów twórczych, w porównaniu z korzeniami innych grup roślinnych, jest niezmiernie intrygujące. Tym bardziej, że z takiego zachowania wypływają poważne konsekwencje dotyczące interpretacji merystemów.

W niniejszej pracy podałem wyniki uzyskane na podstawie wstępnych eksperymentów, przeprowadzonych głównie na korzeniach *Davalia solida*.

Rezultaty badań nad regeneracją wierzchołków korzeni tego gatunku można ująć następująco:

1. Wierzchołki korzeni *Davalia solida* są zdolne do odtworzenia nowego centrum twórczego. Podczas regeneracji może wykształcić się więcej niż jedno centrum twórcze.

2. Nowe zastępcze komórki wierzchołkowe wykształciły się w obszarach leżących w najbliższym sąsiedztwie dawnej komórki szczytowej.

3. Proces odtwarzania się nowego centrum twórczego przebiega bardzo powoli.

4. Sposób odtwarzania się zastępczej komórki szczytowej, w obecnym etapie pracy, nie został jednoznacznie rozstrzygnięty. Jednakże istnieją po-

ważne podstawy, iż różni się on od sposobu regeneracji nowego centrum twórczego u roślin wyższych.

5. Całkowite zahamowanie wzrostu regeneratu po uszkodzeniu lub usunięciu komórki szczytowej jest niezmiernie interesujące tym bardziej, że regeneraty korzeni okrytonasiennych w podobnych warunkach operacji wykazują nawet znaczne przyspieszenie wzrostu w pierwszym okresie pooperacyjnym.

Zakład Anatomii i Cytologii Roślin
Uniwersytetu Wrocławskiego

(Wpłynęło dn. 26.2.1960 r.)

LITERATURVERZEICHNIS

- Clowes F. A. L., 1959, Apical meristems of roots, Biol. Rev. 34: 501—529
Kadej F., 1956, Przebieg regeneracji wierzchołka korzenia *Hordeum vulgare*, Acta Soc. Bot. Pol. 25: 681—712.
Nemec B., 1905, Über Regenerationserscheinungen an angeschnittenen Wurzelspitzen, Ber. d. Deutsch. Bot. Gesel. 23: 113—120.
Prantl K., 1874, Untersuchungen über die Regeneration des Vegetationspunktes an Angiospermenwurzeln, Arbeit. d. Bot. Inst. in Wurzburg. 1: 546—562.
Simon S., 1904, Untersuchungen über die Regeneration der Wurzelspitze, Jahrb. f. Wiss. Bot. 40: 103—143.