



| | |
|------------------|--|
| Title | Ueber die Wirkung der Essigsäure, des Ammoniaks und ihrer Salze auf das Protoplasma des Wurzelhaares |
| Author(s) | SAKAMURA, Tetsu |
| Citation | Journal of the Faculty of Science, Hokkaido Imperial University. Ser. 5, Botany, 4(2), 65-98 |
| Issue Date | 1935 |
| Doc URL | http://hdl.handle.net/2115/26249 |
| Type | bulletin (article) |
| File Information | 4(2)_P65-98.pdf |



[Instructions for use](#)

Ueber die Wirkung der Essigsäure, des Ammoniaks und ihrer Salze auf das Protoplasma des Wurzelhaares

Von

TETSU SAKAMURA und HISAKAZU KANAMORI

(Mit Tafel III und 17 Textfiguren)

Der erste Teil der Ergebnisse der physiologischen Untersuchungen über das Wurzelhaar, die jetzt in hiesigem Laboratorium im Gang sind, soll hier unter dem oben genannten Titel mitgeteilt werden.

SAKAMURA (1934) hat in seiner früheren Arbeit festgestellt, dass die Wirkung der Essigsäure oder ihres Salzes auf *Spirogyra* merklich von der C_H abhängig ist und diese Säure in Gestalt von Molekül leicht in die Zelle eindringt und dort die schädliche Wirkung ausübt.

In Bezug auf die Wirkung der Essigsäure auf das Wurzelhaar wurden schon früher von STRUGGER (1926, 1928) bei *Hordeum* Untersuchungen ausgeführt, mit besonderer Berücksichtigung der Beziehung zwischen der C_H und der Zustandsänderung des Protoplasmas. Aus einer Reihe von Versuchen kam er zum Schluss, dass die verschiedenen Zustandsänderungen des Protoplasmas in den Acetat- bzw. Phosphatgemischen hauptsächlich unmittelbar von der C_H abhängig sind, obwohl er die interferierende Wirkung der Anionen nicht ganz vernachlässigen wollte. Ob der Schluss von STRUGGER in methodischer Hinsicht ohne Kritik als korrekt angenommen werden kann, hat man noch zu fragen, weil eine andere Möglichkeit der Erklärung der Versuchsergebnisse übrig bleibt, dass die Wirkung des Acetatgemisches⁽¹⁾ auf das Wurzelhaar hauptsächlich der Essigsäure in Gestalt von Molekül zuzuschreiben sei, aber

(1) Auf die Frage nach der Brauchbarkeit der Phosphatgemische für diesen Zweck möchten wir nicht näher eingehen.

nicht der C_H . In dieser Beziehung scheint es sehr notwendig, die Zulässigkeit der Verwendung der Acetatgemische bei den Versuchen über die H^+ -Wirkung auf das Wurzelhaar nochmals kritisierend zu studieren⁽¹⁾.

In den letzten Zeiten sind die Bedeutung des Ammoniumsalzes als der wichtigsten N-Quelle für die Pflanzenernährung und seine Absorption durch die Wurzel mehrfach untersucht worden, und die dabei durch die C_H gespielte Rolle wurde konstatiert. Dieses wertvolle Nährsalz wirkt aber oft schädlich auf die Pflanze infolge seiner übermässigen Resorption, die manchmal in alkalischer Reaktion stattfindet⁽²⁾. Das Wurzelhaar, welches als das erste Glied der Resorptionsorgane funktioniert, lässt sich durch solche schädliche Wirkung beeinflussen, und die auffällige Strukturveränderung ihres Protoplasten kommt dabei zum Vorschein. Während die Ammoniakvergiftung bei verschiedenen pflanzlichen Materialien vom physiologischen Gesichtspunkt aus untersucht worden ist, wissen wir noch wenig über die dabei stattfindende Schädigung der Wurzelhaare. Da es höchst wahrscheinlich ist anzunehmen, dass Ammoniak in die Zelle eher in Gestalt vom undissoziierten Molekül⁽³⁾ permeiert, wurde das Hauptgewicht vorliegender Untersuchung in dieser Richtung auf den Unterschied der Ammoniakwirkung zwischen der Molekül- und Ionenform gelegt.

Essigsäure und Ammoniak gehören beide ebenso schwachen Elektrolyten und scheinen gemeinschaftliche Eigenschaft in ihrer Wirkungsweise zu haben. Dass solche Säure und Base gegenübergestellt werden und ihre Wirkung auf die Wurzelhaare vergleichend untersucht wird, dürfte von nicht geringer Bedeutung sein.

Material und Methode

Die Samen von *Brassica chinensis* wurden 15 Minuten lang mit 0.1%iger $HgCl_2$ -Lösung sterilisiert, 24 Stunden lang im fließenden Wasser ausgewaschen, dann auf feuchtem Filtrierpapier in Petri-Schalen ausgesät, und diese wurden in den Thermostaten von 20°C gestellt. 5–10 mm lange Keimwurzel, die nach 20-stündigem Ver-

(1) Das Ergebnis des Versuchs VII von SAKAMURA (1922) bei *Spirogyra*, die auch unter Verwendung von dem Acetatgemisch ausgeführt worden sind, muss ebenso unter die gleiche Ueberlegung untergebracht werden.

(2) MEVIUS (1928).

(3) Dass die schwache Säure und Base in der molekularen Form leicht in die Zelle permeieren, wird besonders von OSTERHOUT behauptet.

weilen der Samen im Thermostat erhalten werden konnte, wurde in ein Loch eines 4 qmm grossen paraffinierten Papierstücks eingesetzt, auf Leitungswasser in einem Becherglas schwimmen gelassen und wieder 20 Stunden lang in dem Thermostat von 20°C gestellt. Die wachsenden Wurzelhaare kamen zum Gebrauch.

Alle gebrauchten Chemikalien waren MERCKsche oder KAHLBAUMSche Präparate. Die Umdestillation gewöhnliches destillierten Wassers wurde in einem ausschliesslich aus alkalifreiem Glas bestehenden Apparat ausgeführt. Die C_H der Lösung wurde mit Hilfe der Indikatoren von CLARK und LUBS bestimmt.

Entwicklung des Wurzelhaares

Wie vor kurzem von CORMACK (1935) beobachtet wurde, gibt es zweierlei Wurzelepidermiszellen, lange und kurze, und die Wurzelhaare entwickeln sich aus den letzteren senkrecht zur Wurzelachse. Die Haarbildung ist nicht nur auf die ausgewachsenen Epidermiszellen beschränkt, sondern sie geschieht auch in der Streckungszone, wenn die Wurzel in eine fliessende m/50 $CaCl_2$ -Lösung gelegt wird. Dies wurde mikroskopisch bestätigt gefunden.

HABERLANDT (1887) hat früher darauf hingewiesen, dass die Entwicklung der Wurzelhaare von der Lage des Zellkernes abhängig ist. Das von ihm Gesagte ist im grossen und ganzen auch für unseren Fall giltig. Das Protoplasma sammelt sich um den Kern herum, und ein Fortsatz entsteht von demselben Teil aus nach aussen, und die Wurzelhaare werden infolge seines Wachstums gebildet. Wenn die Wurzelhaare bestimmte Länge erreichen, wandert der Kern in die Haare ein⁽¹⁾.

Die Haarentwicklung in der Lösung ist abhängig von den gelösten Stoffen, und die Gegenwart von Ca eine notwendige Bedingung⁽²⁾.

Versuch 1

Die Entwicklung des Wurzelhaares wurde in den folgenden Flüssigkeiten untersucht:

(1) In Bezug auf die Lage des Zellkernes bei der Haarentwicklung wird eine ausführliche Angabe bald später gemacht werden.

(2) Die günstige Wirkung von Ca bei der Entwicklung der Wurzelhaare wurde auch von HANSTEEN-CRANNER (1914), KISSER (1925) und FARR (1925, 1927, 1928) angegeben.

1. Leitungswasser.
2. Destilliertes Wasser (Die Destillation geschach in einem Metalldestillationsapparat).
3. Umdestilliertes Wasser.
4. m/100 Rohrzuckerlösung.
5. SHIVESche Nährlösung mit folgender Zusammensetzung:

| | |
|----------------------------|------------|
| KH_2PO_4 | 0.0144 mol |
| $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ | 0.0052 mol |
| MgSO_4 | 0.02 mol |

6. 1/10 SHIVESche Nährlösung
7. Ca-freie SHIVESche Nährlösung mit folgender Zusammensetzung:

| | |
|--------------------------|------------|
| KH_2PO_4 | 0.0144 mol |
| NaNO_3 | 0.0104 mol |
| MgSO_4 | 0.02 mol |

Die Keimlinge wurden auf dieselbe Weise, wie schon erwähnt, in dem Thermostat von 20°C kultiviert.

Tabelle 1

| Medium | pH | Wurzelhaare |
|--------------------------------|-----|-------------|
| Leitungswasser | 7.1 | + |
| Destilliertes Wasser | 4.9 | — |
| Umdestilliertes Wasser | 5.1 | + |
| m/100 Rohrzuckerlösung | 5.2 | + |
| SHIVESche Lösung ¹⁾ | 4.6 | — |
| 1/10 SHIVESche Lösung | 4.8 | + |
| SHIVESche Lös. (Ca-frei) | 4.6 | — |
| 1/10 SHIVESche Lös. (Ca-frei) | 4.8 | — |

Versuch 2

Auch der Einfluss der Chloriden mit verschiedenen Kationen auf die Entwicklung der Wurzelhaare wurde vergleichend untersucht.

(1) Die Konzentration der vollständigen SHIVESchen Lösung ist zu gross für die Haarentwicklung, die allerdings auch von der Temperatur abhängig ist.

Tabelle 2

| Chlorid | Konzent. (mol) | pH | Wurzelhaar | Konzent. (mol) | pH | Wurzelhaar | Konzent. (mol) | pH | Wurzelhaar |
|--------------------|----------------|-----|------------|----------------|-----|------------|----------------|-----|------------|
| NH ₄ Cl | 1/50 | 5.0 | — | 1/100 | 5.1 | — | 1/200 | 5.1 | + |
| NaCl | 1/50 | 5.3 | — | 1/100 | 5.2 | + | 1/200 | 5.2 | + |
| KCl | 1/50 | 5.3 | — | 1/100 | 5.2 | ± | 1/200 | 5.2 | + |
| MgCl ₂ | 1/50 | 9.1 | — | 1/100 | 8.7 | — | 1/200 | 8.3 | — |
| CaCl ₂ | 1/50 | 5.4 | + | 1/100 | 5.3 | + | 1/200 | 5.3 | + |

Aus den obigen Versuchen ist es ersichtlich, dass Ca für die Haarentwicklung wichtig und unentbehrlich ist, wenn andere Salze bzw. Kationen koexistieren, indem sie nur in der Ca-haltigen Lösung geschieht. Die Alkalisalze wirken ungünstig auf die Haarentwicklung

in verhältnismässig hoher Konzentration, aber sie sind indifferent dafür bei der Verwendung kleiner Mengen. Dass die Wurzelhaare auch in dem Leitungswasser hervorkommen können, ist ebenso auf das darin gelöste Ca zurückzuführen. Umdestilliertes Wasser und die damit hergestellte Rohrzuckerlösung sind günstige Medien für die Haarentwicklung, während gewöhnliches destilliertes Wasser oft dies versagt. Diese Tatsache scheint dafür zu sprechen, dass Ca als unentbehrliches Element für den Antagonismus gegen andere ungünstig wirkenden eine wichtige Rolle spielt, und dass die möglicherweise vorhandene oligodynamischen Substanzen im destillierten Wasser auf die Haarentwicklung hemmend wirken.

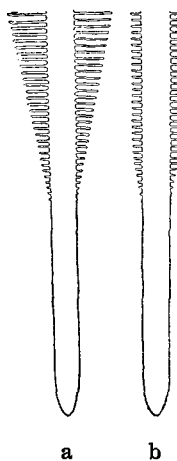


Fig. 1.

- a. In SHIVEScher Lösung.
b. In Rohrzuckerlösung.

Die Spitzen der Wurzelhaare, die im Leitungswasser oder in der Ca-haltigen Salzlösung, so z.B. in 1/10 SHIVEScher Nährlösung sehr üppig wachsen, bilden zusammen einen Kegelmantel (Fig. 1a). Der Unterschied der Haarlänge zwischen dem alten und jungen Teil ist je nach dem gelösten Stoffe in der Lösung verschieden. In einer

Rohrzuckerlösung wachsen die Wurzelhaare kurz, und die oben erwähnte Kegelform ist auf den neu gewachsenen Teil beschränkt. An dem alten, nämlich oberen Teil, bilden die Haarspitzen zusammen einen Cylindermantel (Fig. 1b).

Die Wurzelhaare entwickeln sich auch in stark feuchter Luft und deren Länge beträgt 5 mm; länger als diejenige der in der Lösung entwickelten.

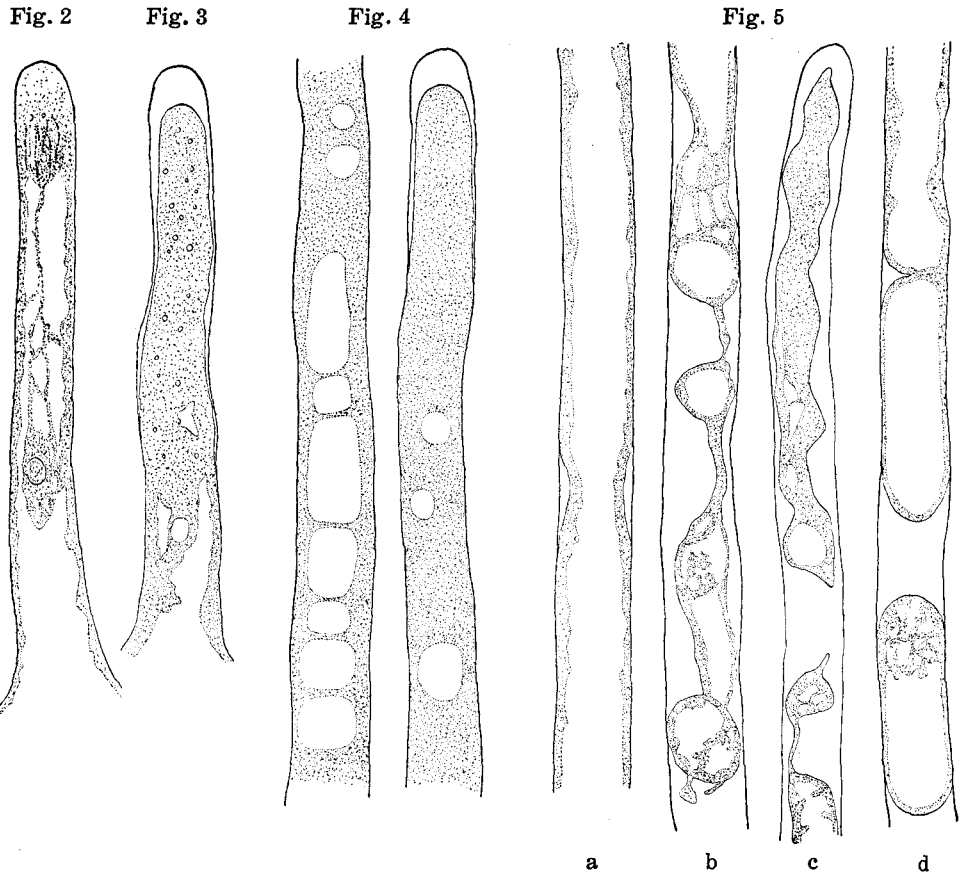


Fig. 2. Im Leitungswasser.

Fig. 3. In 0.3 molarer Rohrzuckerlösung; nach 15 Minuten.

Fig. 4. Im Gemisch (0.3 mol. Rohrzucker+0.01 mol. KCl); nach 15 Minuten.

Fig. 5. a u. b. Im Gemisch (0.3 mol. Rohrzucker+0.02 mol. CaCl_2).

c u. d. Im Gemisch (0.3 mol. Rohrzucker+0.1 mol. CaCl_2).

Protoplasma des Wurzelhaares

Der normale Zustand des Protoplasmas wurde bei den 20-stündigen Materialien, welche im Leitungswasser sich erzeugten, genau untersucht. An der Spitze sammelt sich das Protoplasma in grosser Menge und an dem basalen Teil kommt es gewöhnlich spärlich vor, obwohl in dem jungen Wurzelhaare der Kern noch dort bleibt und das Protoplasma einigermaßen ihn umschliessend auftritt (Fig. 2). Die Vakuolen an der Spitze und an der Basis kommunizieren miteinander und darin laufen zahlreiche Plasmaanastomosen durch.

Plasmolyse an dem Wurzelhaare

Die ausführliche Angabe über die osmotischen Erscheinungen des Wurzelhaares wird später gemacht werden; hier seien nur die Ergebnisse des Plasmolyseversuchs einfach erwähnt. Die Keimwurzeln, die im Leitungswasser gewachsen waren, wurden mit einer Schere abgeschnitten, und je drei davon wurden in Plasmolytikum⁽¹⁾ gelegt. Nach 15 Minuten geschah die mikroskopische Beobachtung.

Die Plasmolyse in einer hypertonischen Rohrzuckerlösung beginnt an der Haarspitze und schreitet in gewisser Weite nach der Basis vor (Fig. 3)⁽²⁾. Dies scheint darauf zu deuten, dass besonders an der Spitze, wo das Wurzelhaar ein üppiges Wachstum ausübt, die Verflüssigung der Plasmaoberfläche und die Herabsetzung der Plasmaviskosität mässig stark stattfinden, im Vergleich zu anderen Partien. Wenn aber KCl oder CaCl₂ in gewisser Konzentration dem Zucker zugesetzt wird, so bemerkt man ganz andere Plasmolysezustände. Beim Zusatz von KCl löst sich der Plasmabelag nur an der Spitze los, und an dem Mittelteil quillt das Cytoplasma so stark, dass seine Trennung von der Zellmembran sich nicht mehr ermöglichen lässt. Das Vakuol zerfällt oft in einige Teile, und die Tonoplastplasmolyse kommt zum Vorschein. Diese Plasmolyse möchten wir als „K-Typus“ bezeichnen (Fig. 4, Photo 1, 2). In Gegensatz dazu quillt das Cytoplasma nicht beim Zusatz von CaCl₂. Die Plasmolyse geht leicht nur an der Spitze vor sich, während an der mittleren

(1) Die plasmolytische Grenzkonzentration betrug etwa 0.24 mol (Rohrzucker).

(2) PFEIFFER (1933) hat bei *Sinapis alba* ein ganz umgekehrtes Verhältnis beobachtet; dort befindet sich nämlich der negative Plasmolyseort an der Spitze.

Partie und an der Basis das Loslösen des Plasmabelags sehr schwierig ist (Fig. 5a). Wenn aber die Plasmolyse einmal auch an diesen Teilen geschieht, so tritt sie in der Form der Krampfplasmolyse auf, verschmelzen bei weiterem Fortschritte der Plasmolyse die gegen-

Fig. 6

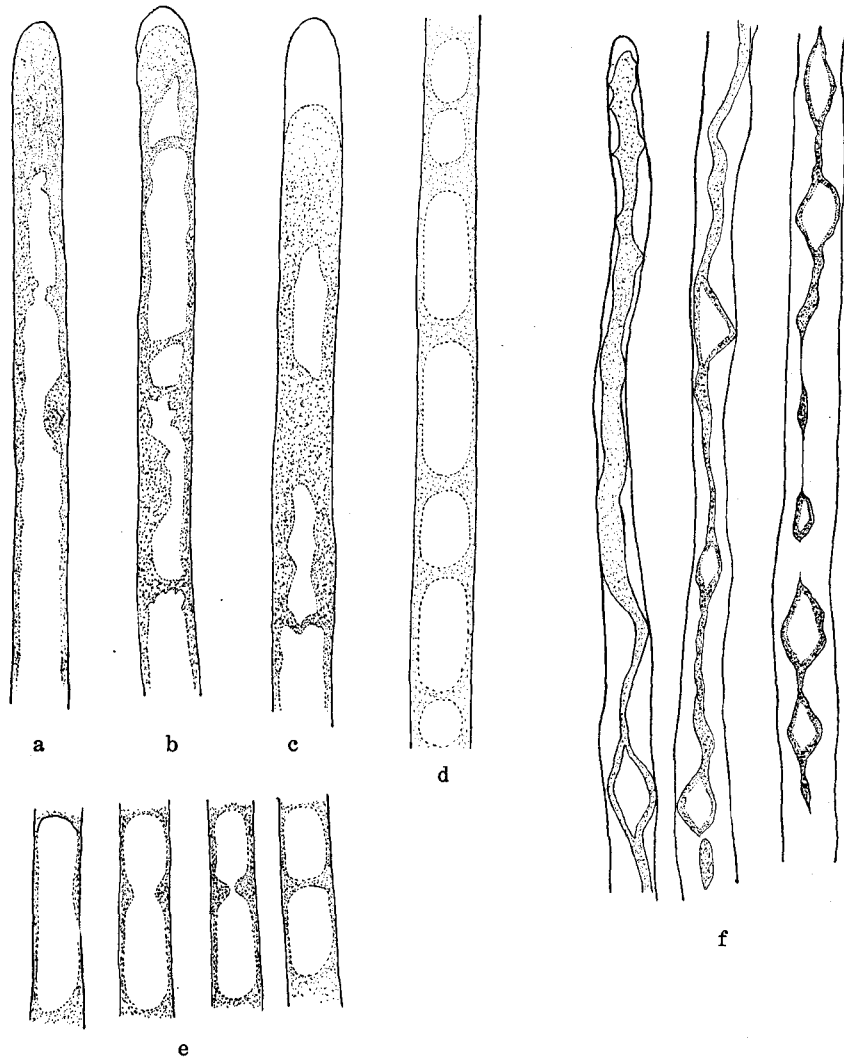


Fig. 6. In Rohrzuckerlösung.

a, 0.3 mol. b, 0.4 mol. c, 0.5 mol.
 d, 1.0 mol. e, 1.0 mol. f, 1.5 mol.

überstehenden Plasmabelage teilweise miteinander (Fig. 5b, Photo 3), und zuletzt zerfällt der Plasmakörper in viele unabhängige Partien in der Form der Konvexplasmolyse (Fig. 5c, d). Die plasmolytischen Erscheinungen, die beim CaCl_2 -Zusatz auftreten, seien hier als „Ca-Typus“⁽¹⁾ dem K-Typus gegenübergestellt. Der hauptsächliche Unterschied zwischen dem K- und Ca-Typus liegt daher darin, dass bei jenem das Cytoplasma leicht quillt und bei diesem es eher verdichtet ist, was im allgemeinen auch an anderen pflanzlichen Zellen festgestellt worden ist.

Wie oben erwähnt, findet bei den Wurzelhaaren, die im Wasser oder in der Nährlösung entwickelt sind, die Seitenplasmolyse ausser der Spitzenplasmolyse statt. Aber an den Lufthaaren, die in gesättigter Atmosphäre hervorgekommen sind, ist die Plasmolyse in einer hypertonen Rohrzuckerlösung nur auf die Spitze beschränkt, und oft ist die Tonoplastplasmolyse, in zahlreiche kleine Partien der Vakuolen geteilt, im ganzen Raum verbreitet (Fig. 6a–e); ein Zustand, der dem K-Typus nahe liegt. In einer konzentrierten Rohrzuckerlösung geschehen nicht nur die Spitzenplasmolyse, sondern auch die Seitenplasmolyse; der Ca-Typus macht sich dabei geltend (Fig. 6f). Ähnliches Verhältnis ist auch von CHOLODNY und SANKEWITSCH (1933) beobachtet worden.

Wirkung der Essigsäure auf das Wurzelhaar

STRUGGER (1926) hat die Zustandsänderung des Protoplasmas des Wurzelhaares von *Hordeum* im pH-Bereich 6.8–5.6 unter Verwendung der Acetatgemische untersucht und deren Wirkung hauptsächlich der C_H zugeschrieben. Es unterliegt wohl keinem Zweifel, dass bei der Untersuchung über die Säurewirkung ihre Moleküle und Anionen ausser H-Ionen in Betracht gezogen werden müssen. Besonders bei den schwachen Säuren ist dies der Fall, und diejenigen in Gestalt von Molekül permeieren sehr leicht in die Zelle⁽²⁾ und üben oft auffallende Schädigung bei kurzer Wirkungsdauer aus. Diese Verhältnisse wurden von SAKAMURA (1934) auch bei *Spirogyra* mit Essigsäure und Acetatgemischen bestätigt. Wir haben Versuche folgender Art angestellt, um ein Urteil darüber zu gewinnen, ob und

(1) Der Ca-Typus tritt auch in einer ziemlich stark hypertonen Rohrzuckerlösung auf.

(2) OSTERHOUT (zahlreiche Arbeiten).

inwieweit das oben Erwähnte auch für das Wurzelhaar von *Brassica* gelten kann⁽¹⁾.

Die Keimwurzeln wurden mit einer Schere 2 cm lang abgeschnitten, und je vier davon wurden in 20 ccm Versuchslösung gelegt. Zwei Keimwurzeln wurden nach 10 Minuten und andere zwei nach 30 Minuten unter Mikroskop untersucht. Zur Herstellung der Präparate wurden jene Objekt- und Deckgläser gebraucht, die sich praktisch als alkaliefrei erwiesen haben. In den Tabellen und Erklärungen der folgenden Versuche möchten wir der Einfachheit halber die verschiedenen Abnormitäten des Plasmazustandes mit nachstehenden Zeichen veranschaulichen:

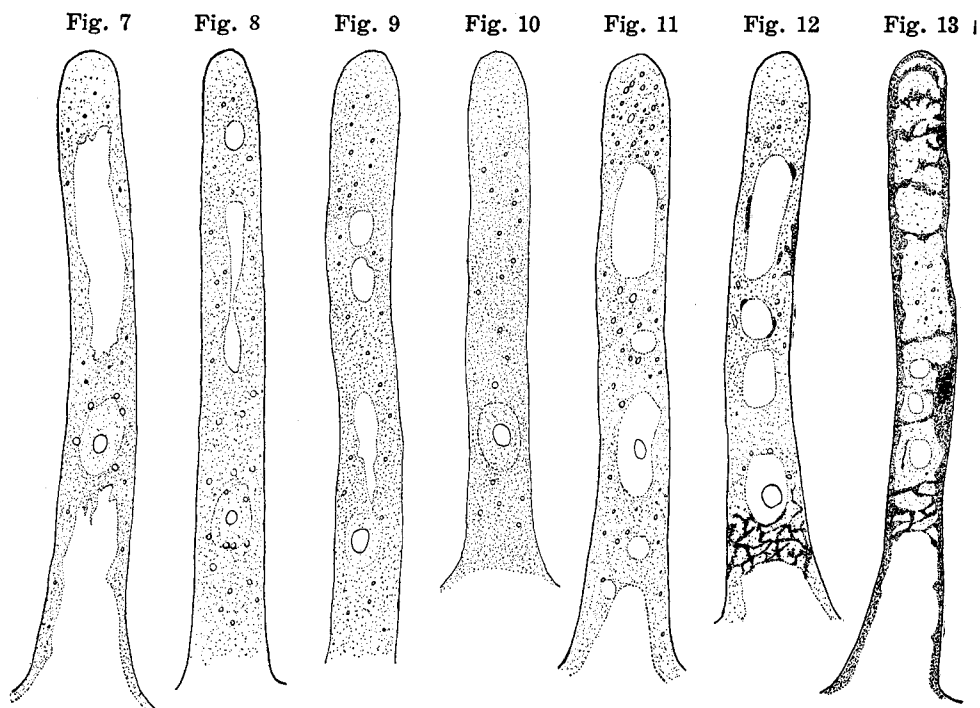


Fig. 7-10. Im Acetatgemisch, (7) pH 6.6 (8) pH 6.4 (9) pH 6.2 (10) pH 6.2.
 Fig. 11. Versuch 5, Lösung 5, pH 4.9.
 Fig. 12, 13. Versuch 5, Lösung 6, pH 4.9.

(1) Untersuchungen über die Wirkung der C_H auf die Wurzelhaare wurden auch von ADDOMS (1923) bei *Hordeum* ausgeführt. Da aber in dieser Arbeit die pH-Werte der verwendeten Lösungen weniger als 3.94 betragen, so können die dort gewonnenen Resultate nicht direkt mit den unserigen verglichen werden, wo die Versuche mit den Lösungen von grösseren pH-Werten als 4.7 ausgeführt wurden.

- Q₁.... Schwache Plasmaquellung. Der Kern ist oft von dem Cytoplasma umgeben (Fig. 7, Photo 5).
- Q₂.... Ziemlich starke Plasmaquellung. Das Cytoplasma ist auf dem Weg nach weiterer Quellung und umschliesst noch einige Vakuolenteile, die durch die Teilung aus dem primären Vakuol entstanden sind. Die strukturelle Veränderung des Protoplasmas ist noch reversibel (Fig. 8, 9, Photo 6).
- Q₃.... Sehr starke Plasmaquellung. Das Cytoplasma erfüllt fast den ganzen Zellraum (Fig. 10, Photo 7).
- Q₄.... Scheinbar sehr ähnlich dem Zustande von Q₂. Das Cytoplasma ist aber schon in den irreversiblen Zustand eingetreten, dem bald die Koagulation folgt (Fig. 11). Die kleinen Vakuolen entstehen sekundär im gequollenen Cytoplasma, deshalb sind sie von ganz anderer Natur als diejenigen in Q₂.
- QK ... Plasmakoagulation nach der Quellung, die Q₃ und Q₄ folgt (Fig. 12, Photo 8).
- K Direkte Plasmakoagulation (Fig. 13, Photo 9).
- Pt.... Plasmoptyse.

Versuch 3

Zur Verwendung wurden Acetatgemische nach folgender Anordnung hergestellt:

Tabelle 3

| Nr. des Gemisches | Na-Acetat (m/10) | Essigsäure (m/100) | Essigsäure (m/20) | H ₂ O | pH |
|-------------------|------------------|--------------------|-------------------|------------------|-----|
| 1 | 2 | | | 18 | 6.7 |
| 2 | 2 | 0.05 | | 17.95 | 6.6 |
| 3 | 2 | 0.1 | | 17.9 | 6.5 |
| 4 | 2 | 0.15 | | 17.85 | 6.4 |
| 5 | 2 | 0.2 | | 17.8 | 6.3 |
| 6 | 2 | 0.3 | | 17.7 | 6.2 |
| 7 | 2 | 0.4 | | 17.6 | 6.1 |
| 8 | 2 | 0.5 | | 17.5 | 6.0 |
| 9 | 2 | 0.7 | | 17.3 | 5.9 |
| 10 | 2 | 0.9 | | 17.1 | 5.8 |
| 11 | 2 | 1.2 | | 16.8 | 5.7 |
| 12 | 2 | 1.5 | | 16.5 | 5.6 |
| 13 | 2 | 1.8 | | 16.2 | 5.5 |
| 14 | 2 | | 0.46 | 17.54 | 5.4 |
| 15 | 2 | | 0.6 | 17.4 | 5.3 |
| 16 | 2 | | 0.76 | 17.24 | 5.2 |
| 17 | 2 | | 0.92 | 17.08 | 5.1 |
| 18 | 2 | | 1.12 | 16.88 | 5.0 |
| 19 | 2 | | 1.36 | 16.04 | 4.9 |
| 20 | 2 | | 1.68 | 16.32 | 4.8 |
| 21 | 2 | | 2.4 | 15.6 | 4.7 |

Die Resultate des Versuchs über die Wirkung der Acetatgemische auf die Wurzelhaare sind in Tabelle 4 und in folgender übersichtlichen Beschreibung zu ersehen.

18°C
Tabelle 4

| Nr. | pH | nach 10 Minuten | nach 30 Minuten |
|-----|-----|--|--|
| 1 | 6.7 | normal, Q ₁ | normal, Q ₁ , Q ₂ |
| 2 | 6.6 | normal, Q ₁ | Q ₁ , normal |
| 3 | 6.5 | Q ₁ , normal | Q ₁ |
| 4 | 6.4 | Q ₁ , Q ₂ | Q ₂ |
| 5 | 6.3 | Q ₁ , Q ₂ | Q ₂ , Q ₃ |
| 6 | 6.2 | Q ₂ , Q ₃ | Q ₃ , Q ₂ |
| 7 | 6.1 | Q ₃ , Q ₂ | Q ₃ , Q ₂ |
| 8 | 6.0 | Q ₃ , Q ₂ | Q ₃ , Q ₂ |
| 9 | 5.9 | Q ₃ , Q ₂ | Q ₃ , Q ₂ |
| 10 | 5.8 | Q ₃ , Q ₂ | Q ₃ , Q ₂ |
| 11 | 5.7 | Q ₃ | Q ₃ |
| 12 | 5.6 | Q ₃ | Q ₃ , QK |
| 13 | 5.5 | Q ₃ | Q ₃ , QK |
| 14 | 5.4 | Q ₃ | Q ₃ , QK, Q ₄ |
| 15 | 5.3 | Q ₃ | Q ₃ , QK, Q ₄ |
| 16 | 5.2 | Q ₃ , Q ₄ , QK | Q ₃ , Q ₄ , QK |
| 17 | 5.1 | Q ₄ , Q ₃ , QK, Pt | Q ₄ , Q ₃ , Pt, QK |
| 18 | 5.0 | Q ₄ , Q ₃ , QK, Pt | QK, Q ₃ , Pt |
| 19 | 4.9 | Q ₄ , QK, Pt | QK, Q ₄ , Pt |
| 20 | 4.8 | QK, Q ₄ , Pt, K | K, QK, Pt, Q ₃ |
| 21 | 4.7 | Pt, K | Pt, K |

pH 6.7–6.6

Normal, oder das Cytoplasma sammelt sich auffällig viel um den Kern herum an (Fig. 7, Photo 5). Dieser Zustand dürfte dem „primären Vakuolenstadium“ von STRUGGER identisch sein.

pH 6.5–6.3

Die Plasmaansammlung um den Kern schreitet weiter fort, und seine Quellung erstreckt sich bis zur Spitze und Basis (Fig. 8).

pH 6.2–5.8

Das Cytoplasma quillt stark, doch einige kleine Vakuolen bleiben hier und da übrig (Fig. 9). Dieser Zustand dürfte als „sekundäres Vakuolenstadium“ von STRUGGER aufgefasst werden. In höheren Aciditäten erfüllt das gequollene Cytoplasma den ganzen Zellraum, und die Plasmaströmung

geht sehr langsam vor sich oder hört vollständig auf (Fig. 10). Die Plasmateilchen vermehren und vergrössern sich, und die ganze Plasmamasse leuchtet sehr stark bei der Dunkelfeldbeleuchtung. Diese letztere Plasmastruktur entspricht wahrscheinlich dem „Uebergangsstadium“ von STRUGGER.

pH 5.7–5.4

Die Plasmaströmung hört vollständig auf, und die Zahl und die Grösse der Plasmateilchen sind viel auffälliger als im obigen Falle (Photo 7). Oft wird die Plasmakoagulation nach der Quellung bemerkt.

pH 5.3–5.0

Kleine Vakuolen treten wieder im gequollenen Cytoplasma zwischen dem Kern und der Spitze auf.

pH 4.9–4.7

Die Plasmaquellung, -Koagulation und die Plasmoptyse finden statt. Der pH-Wert 4.7 deutet die letale Aciditätsgrenze an.

Eine merkwürdige Tatsache, welche von STRUGGER (1926) an dem Wurzelhaare von *Hordeum* beobachtet wurde, ist das zweimalige Auftreten der von ihm als „sekundäres Vakuolenstadium“ definierten prämortalen Erscheinung, nämlich in pH 6.25–6.15 und 5.80–5.60. Auch in dem vorliegenden Versuche konnten wir zweimal einander ähnliche Plasmastrukturen in pH 6.45–5.8 und 5.4–4.8 finden. Aber den eingehenden Untersuchungen zufolge haben wir erkannt, dass diese strukturelle Aehnlichkeit des Haarplasmas in stärkeren und schwächeren Aciditäten von nur ganz scheinbarer Natur ist, was schon bei der Erklärung der Zeichen Q_2 und Q_4 auseinandergesetzt worden ist.

Die folgende Tatsache ist auch nicht wenig interessant: Die oben geschilderte schädliche Zustandsänderung des Protoplasmas verläuft ganz reversibel im pH-Bereich 6.7–6.0, indem die normale oder fast normale Plasmastruktur nach einstündigem Verweilen in umdestilliertem Wasser (pH 5.3) bei denjenigen Materialien wieder erlangt wird, die 10–30 Minuten in diese Acetatgemische gelegt worden waren. Diese Tatsache scheint einen Beweis dafür darzubieten, dass die Giftwirkung der Acetatgemische nicht hauptsächlich der C_H zuzuschreiben ist.

Aus dem obigen Versuche geht hervor, dass wenigstens an den Wurzelhaaren von *Brassica* keine zweigipfelige Kurve im Sinne von STRUGGER gewonnen werden kann, wenn die Acetatgemische vom pH-Bereiche 6.7–4.7 zur Verwendung kommen. Die schädliche Wirkung von Acetatgemischen ist eher dem undissoziierten Moleküle der Essigsäure zuzuschreiben, und je höher die C_H bzw. Molekülkonzentration ist, desto stärker geschieht die Schädigung.

Versuch 4

Zum Vergleich der Wirkungen der starken und der schwachen Säure wurde Versuch mit Salzsäure und Essigsäure angestellt (Tabelle 5 u. 6).

Tabelle 5

19°C

| HCl (mol) | pH | nach 10 Minuten | nach 30 Minuten |
|----------------------|-----|---------------------------------|---------------------------------|
| 1×10^{-3} | 3.0 | K | K |
| 1.3×10^{-4} | 3.6 | Q ₁ , K | Q ₁ , K |
| 8×10^{-5} | 3.8 | Q ₁ , Q ₂ | Q ₁ , Q ₂ |
| 5×10^{-5} | 4.0 | normal, Q ₁ | normal, Q ₁ |
| 3×10^{-5} | 4.2 | normal | normal, Q ₁ |

Tabelle 6

19°C

| CH ₃ COOH (mol) | pH | nach 10 Minuten | nach 30 Minuten |
|----------------------------|-----|--|--|
| 1×10^{-2} | 3.0 | K | K |
| 1×10^{-3} | 3.6 | QK, Pt, Q ₃ | QK, Q ₃ , Pt, Q ₂ |
| 4×10^{-4} | 3.8 | Q ₃ , Q ₂ | Q ₃ , Q ₂ , QK |
| 2×10^{-4} | 4.0 | Q ₃ , Q ₂ , Q ₁ | Q ₃ , Q ₂ , Q ₁ |
| 5×10^{-5} | 4.2 | normal, Q ₁ | normal, Q ₁ |

Man kann einen deutlichen Unterschied der Säurewirkung auf die Wurzelhaare zwischen Salzsäure und Essigsäure ersehen. Salzsäure ruft keine merkliche Quellung des Cytoplasmas hervor. Kleine Menge vom Cytoplasma häuft sich in der Nähe des Kernes an, und grosser Teil des Zellraums zwischen dem Kern und der Spitze wird von dem Vakuol eingenommen. Durch die Vermehrung der C_H koaguliert das Cytoplasma, ohne merkliche Quellung zu erfahren (Photo 9), während bei Essigsäure das Cytoplasma ziemlich stark quillt. An dem gleichen pH-Wert wirkt die Essigsäurelösung auf die Wurzelhaare giftiger als die HCl-Lösung; jene ist schädlich schon an pH 4.0, wo diese noch unschädlich bleibt.

Versuch 5

Aus den Ergebnissen der bisherigen Versuche ist es nicht unmöglich anzunehmen, dass die schädliche Wirkung der Essigsäure bzw. von Acetat hauptsächlich dem Säuremolekül zuzuschreiben sei, zumal wenn die C_H nicht extrem hoch ist. Nun möchten wir genauer feststellen, ob dies tatsächlich der Fall ist. Zu diesem Zwecke wurden verschiedene Acetatgemische mit folgenden Zusammensetzungen hergestellt, welche den exakten und zwar beständigen pH-Wert zeigen und wo die Molekülmenge der Essigsäure willkürlich reguliert werden kann (Tabelle 7).

Tabelle 7

| Nr. des Gemisches | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Na-Acetat (m/10) | 0.945 | 1.89 | 0.89 | 1.78 | 0.71 | 1.42 |
| Essigsäure (m/20) | 0.11 | 0.22 | 0.22 | 0.44 | 0.58 | 1.16 |
| NaCl (m/10) | 0.945 | | 1.00 | 0.11 | 1.18 | 0.47 |
| H ₂ O | 18.00 | 17.89 | 17.89 | 17.67 | 17.53 | 16.95 |
| pH | 5.7 | 5.7 | 5.4 | 5.4 | 4.9 | 4.9 |

In diesen Acetatgemischen vermehrt sich die Menge des Säuremoleküls mitsamt der C_H und ist die gesamte Menge von Na in jedem Gemisch gleich. Dank ihrer Pufferwirkung wird der pH-Wert des Gemisches durch die Verdünnung auf die Hälfte nicht merklich verändert, was uns erlaubte, die Wirkung der Lösungen zu vergleichen, die den gleichen pH-Wert zeigen, aber verschiedenen Mengen von Essigsäuremolekülen besitzen. Um das Mengenverhältnis der Essigsäuremoleküle klar begreiflich zu machen, wurden die Dissoziationsreste nach der Formel:

$$\gamma = \frac{[H^+]}{K + [H^+]}, \text{ wo } K = 1.86 \times 10^{-5},$$

berechnet (Tabelle 8) und ihre Kurve in Fig. 14 illustriert.

Auch aus diesem Versuche (Tabelle 8) ersieht man, dass die Wirkung des Acetatgemisches hauptsächlich auf die Essigsäuremoleküle zurückzuführen ist, während die Wirkung der C_H im pH-Bereiche 5.7–4.9 in solchen Lösungen von untergeordneter

Tabelle 8

17°C

| Nr. | pH | γ | Mengenverhältnis d. Säuremoleküle | nach 10 Minuten | nach 30 Minuten |
|-----|-----|-----------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------|
| 1 | 5.7 | 4.85×10^{-4} | 1/8 | Q ₁ , Q ₂ , normal | Q ₁ , Q ₂ |
| 2 | 5.7 | 9.7×10^{-4} | 1/4 | Q ₂ , Q ₃ | Q ₂ , Q ₃ |
| 3 | 5.4 | 8.8×10^{-4} | 1/4 | Q ₂ , Q ₃ | Q ₂ , Q ₃ |
| 4 | 5.4 | 17.6×10^{-4} | 1/2 | Q ₃ , Q ₄ | Q ₃ , Q ₄ |
| 5 | 4.9 | 20×10^{-4} | 1/2 | Q ₃ , Q ₄ | Q ₃ , Q ₄ |
| 6 | 4.9 | 40×10^{-4} | 1 | Q ₃ , Q ₄ , QK | Q ₃ , QK, K |

Bedeutung ist⁽¹⁾. Wir möchten uns aber davon enthalten, entscheidend zu antworten, ob das oben Erwähnte auch für andere Materialien, so z.B. für die Wurzelhaare von *Hordeum*, giltig sein

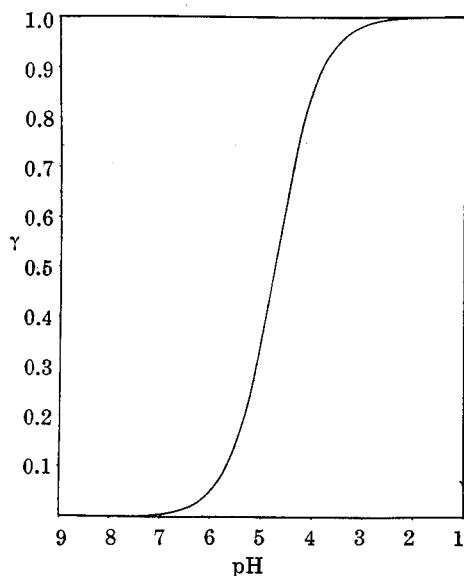


Fig. 14. Kurve des Dissoziationsrestes der Essigsäure.

ist“, so darf man solche Acetatgemische für biologische Zwecke nicht ohne weiteres verwenden⁽²⁾.

(1) Es ist nicht unberechtigt anzunehmen, dass in den Acetatgemischen von höheren Aciditäten auch H⁺ an der schädlichen Wirkung teilnimmt.

(2) Die Brauchbarkeit der Acetatgemische für die Enzymstudien kann mit grosser Möglichkeit anerkannt werden.

kann. Aber die Zulässigkeit der Verwendung der Acetatgemische zu jenem Versuche, der zwecks Untersuchung über die Wirkung der C_H auf das Protoplasma angestellt wird, scheint uns im allgemeinen sehr bedenklich. Wenn MICHAELIS (1914) in der ersten Auflage seines berühmten Buchs (S. 184) sagte: „Sollte es auch Reaktionen geben, die durch die undissoziierten Moleküle beeinflusst werden, so ist dies gewiss erst in hohen Konzentrationen der Fall, während in dieser Reihe der höchste Gehalt an undissoziierter Essigsäure nur etwa 1/3 n

Antagonismus von Ca gegen die Wirkung der Essigsäure

In seiner vorhergehenden Arbeit hat einer von uns⁽²⁾ bei *Spirogyra* konstatiert, dass Ca gegen HCl bzw. H⁺ antagonistisch wirkt, aber solche Wirkung gegen Essigsäure in Gestalt von Molekül nicht nur nicht zustande kommt, sondern Ca oft die schädliche Wirkung der Säure verstärkt. Um zu sehen, ob ein derartiges Verhältnis auch für Wurzelhaar von *Brassica* sich geltend macht, haben wir Versuche angestellt. Folgende Acetatgemische mit und ohne CaCl₂ wurden hergestellt, wovon die letzteren als Kontrolle dienten (Tabelle 9).

Versuch 6

Tabelle 9

17.5°C

| | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|------|
| Na-Acetat (m/10) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Essigsäure (m/100) | 0.15 | 0.5 | | | | 0.15 | 0.5 | | | |
| Essigsäure (m/20) | | | 0.46 | 1.12 | 2.4 | | | 0.46 | 1.12 | 2.4 |
| CaCl ₂ (m/10) | | | | | | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| H ₂ O | 17.85 | 17.5 | 17.54 | 16.88 | 15.6 | 17.45 | 17.1 | 17.14 | 16.48 | 15.2 |
| pH | 6.4 | 6.0 | 5.4 | 5.0 | 4.7 | 6.4 | 6.0 | 5.4 | 5.0 | 4.7 |

Tabelle 10

17.5°C

| pH | | 6.4 | 6.0 | 5.4 | 5.0 | 4.7 |
|-----------------------|---------|---------------------------------|--|----------------|--------------------------------------|-------|
| nach 10 Minuten | ohne Ca | Q ₁ , Q ₂ | Q ₂ , Q ₃ , Q ₁ | Q ₃ | Q ₄ , Q ₃ , Pt | Pt, K |
| | mit Ca | normal, Q ₁ | Q ₂ , Q ₁ , Q ₃ | Q ₃ | Q ₄ , Q ₃ , Pt | K, Pt |
| nach 30 Minuten | ohne Ca | Q ₂ , Q ₁ | Q ₃ , Q ₂ | Q ₃ | QK, Q ₃ , Pt | Pt, K |
| | mit Ca | normal, Q ₁ | Q ₂ , Q ₃ | Q ₃ | QK, Q ₃ , Pt | K, Pt |

Das Sachverhältnis war ganz gleich dem Ergebnis des Versuchs mit *Spirogyra* in der früheren Arbeit (1934); Ca kann der Giftigkeit der Essigsäuremoleküle in hoher C_H (pH 6.0–4.7) antagonistisch nicht entgegenwirken, obwohl die antagonistische Wirkung von Ca

(2) SAKAMURA (1934).

in schwächerer Acidität ($\text{pH} > 6.0$) mehr oder weniger stark sich aufweist. Dies scheint dafür zu sprechen, dass einerseits Ca in Gestalt von Ion der giftigen Wirkung des Na-Ions entgegenwirkt, andererseits bei solcher niedrigen C_H die Wirkung des Essigsäuremoleküls nicht mehr so stark auftritt, wie in höherer C_H .

Versuch 7

Ausser den Acetatgemischen wurden auch Essigsäure- und Salzsäurelösungen von verschiedenen Konzentrationen, mit und ohne Ca, zum Versuche des Antagonismus gebraucht (Tabelle 11 u. 12).

18°C
Tabelle 11

| Lösung | pH | nach 10 Minuten | nach 30 Minuten |
|---|-----|------------------------------|-----------------|
| Essigsäure (2×10^{-4} mol) | 4.0 | Q_1, Q_2, Q_3 | Q_1, Q_3, Q_2 |
| Essigsäure (2×10^{-4} mol) CaCl ₂ (2×10^{-3} mol) | 4.0 | Q_1, Q_2 | Q_1, Q_2, QK |
| Essigsäure (2×10^{-4} mol) CaCl ₂ (5×10^{-3} mol) | 4.1 | $Q_1, Q_2, \text{schwach K}$ | Q_1, Q_2, K |

18°C
Tabelle 12

| Lösung | pH | nach 10 Minuten | nach 30 Minuten |
|--|-----|----------------------|----------------------|
| HCl (2×10^{-4} mol) | 3.4 | Q_1, K | Q_1, K |
| HCl (2×10^{-4} mol) CaCl ₂ (2×10^{-3} mol) | 3.4 | Q_1, normal | Q_1, normal |
| HCl (2×10^{-3} mol) CaCl ₂ (5×10^{-3} mol) | 3.5 | Q_1, normal | Q_1 |

Wie aus Tabellen 11 und 12 ersichtlich ist, wird wieder kein Antagonismus von Ca gegen Essigsäure hier bemerkt⁽¹⁾, aber gegen HCl tritt er deutlich auf. Diese Wirkung von CaCl₂ gegen HCl ist

(1) Zusatz von CaCl₂ verstärkt bisweilen die Schädigung der Essigsäure, wie bei *Spirogyra*. Ob diese Erscheinung auch hier durch eine Annahme ungleichen Eindringens des Essigsäuremoleküls und des Ionenpaars Ca⁺⁺ und OH⁻ erklärt werden kann, bleibt noch dahingestellt.

also als der Ionenantagonismus aufzufassen, und diese Ergebnisse stimmen mit denjenigen des Versuchs bei *Spirogyra* überein.

Wirkung von Ammoniak und Ammoniumsalzen auf das Wurzelhaar, und Antagonismus von Ca gegen sie

Dass die biologische Wirkung des Ammoniaks und des Ammoniumsalzes oft von der C_H abhängig ist und deren Schädlichkeit mitsamt der Vermehrung des Ammoniakmoleküls, welche durch das Absinken der C_H hervorgerufen wird, sich verstärkt, ist bisher von mehreren Forschern angegeben worden.

MEVIUS (1928) und MEVIUS und ENGEL (1930) haben festgestellt, dass die Ammoniumsalze auf das Gedeihen der höheren Pflanzen mit der Vermehrung der C_{OH} , nämlich in einigen Fällen schon in der schwachen Alkalinität, schädlich wirken, während sie in der schwachen Acidität nicht nur unschädlich sind, sondern auch als N-Quelle gute Dienste leisten. In diesem Fall soll die Ammoniakvergiftung, der Ansicht dieser Autoren gemäss, auf der vermehrten NH_3 -Tension beruhen, die zugleich mit dem Absinken der C_H sich erhöht. OVERTON (1897) hat schon früher beobachtet, dass der Niederschlag des Gerbstoffs innerhalb der *Spirogyra*-Zelle in dem Ammoniak erzeugt wird, und RIBBERT (1931) hat diese Reaktion als den Indikator der Permeabilität für Ammoniak verwendet. Dieser hat bestätigt gefunden, dass die Zeitdauer, die bis zum Beginn der Niederschlagung erforderlich ist, durch die Vermehrung der Ammoniakkonzentration oder durch den Zusatz von $CaCO_3$, d.h. infolge der Herabsetzung der C_H stark verkürzt wird. Durch die Mischung von $(NH_4)_2SO_4$ mit H_3PO_4 oder mit $NaOH$ in bestimmten Verhältnissen hat er Ammoniak- bzw. NH_4^+ -haltige Lösungen von verschiedener C_H hergestellt und eine Reihe von Versuchen angestellt. Es wurde festgestellt, dass Ammoniumsalz im pH-Bereich 4.5–5.5 nicht merklich in die Zelle permeierte, aber im Bereich 6.8–8.5 der Gerbstoffniederschlag durch das schnelle Eindringen des Ammoniaks leicht erzeugt und die Zelle stark geschädigt wurde.

Ammoniak dissoziiert ausschliesslich in Ionen, wenn der pH-Wert des Mediums kleiner als 7.0 beträgt; aber andererseits tritt er schon in schwacher Alkalinität in Gestalt von Molekülen auf, deren Menge mit der kleinen Verschiebung des pH-Wertes stark variiert. Da das Ammoniakmolekül viel leichter als sein Ion in die Zelle

permeieren kann, so ist es nicht unberechtigt, die schädliche Wirkung der Ammoniumverbindung auf die Zelle im alkalischen Gebiet dem Ammoniakmolekül zuzuschreiben.

Ammoniakgemische von $\text{NH}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}$ von verschiedener Konzentration wurden so hergestellt, dass in jeder Serie die gesamte Konzentration des Ammoniaks gleich war, aber die C_H voneinander abwichen (Tabelle 13). Die Versuchsanordnung war gleich derjenigen der vorhergehenden Versuche, nur mit Ausnahme, dass die Wurzeln nicht abgeschnitten, sondern in das paraffiniertes Papier gesteckt wurden und in der oberen Lösungsschicht geblieben waren. Die letztgenannte Vorsichtsmassregel war notwendig, weil die neuen Entwicklung der abnorm gestalteten Wurzelhaare auch in Betracht gezogen wurde⁽¹⁾.

Tabelle 13

| [NH ₃] | pH | 7.6 | 7.8 | 8.0 | 8.2 | 8.4 | 8.6 | 8.8 | 9.0 | 9.2 |
|--------------------|---------------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| m/100 | NH ₄ OH (m/20) | 0.1 | 0.14 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.62 | 0.92 | 1.32 | 1.8 |
| | NH ₄ Cl (m/20) | 3.9 | 3.86 | 3.8 | 3.7 | 3.6 | 3.38 | 3.08 | 2.68 | 2.2 |
| | H ₂ O | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| m/200 | NH ₄ OH (m/20) | 0.06 | 0.1 | 0.12 | 0.17 | 0.26 | 0.36 | 0.52 | 0.72 | 0.98 |
| | NH ₄ Cl (m/20) | 1.94 | 1.9 | 1.88 | 1.83 | 1.74 | 1.64 | 1.48 | 1.28 | 1.02 |
| | H ₂ O | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| m/400 | NH ₄ OH (m/20) | 0.045 | 0.055 | 0.07 | 0.1 | 0.14 | 0.2 | 0.29 | 0.4 | 0.53 |
| | NH ₄ Cl (m/20) | 0.955 | 0.945 | 0.93 | 0.9 | 0.86 | 0.8 | 0.71 | 0.6 | 0.47 |
| | H ₂ O | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |

(1) Ammoniak bzw. Ammoniumsalz wirkt nicht nur auf den Cytoplasma-zustand des Wurzelhaares, sondern ruft auch die Entwicklung der unregelmässig geformierten Haare hervor. CORMACK (1935) hat vor kurzem solche Erscheinung in der verdünnten Ammoniumoxalatlösung gefunden und diese Abnormität auf die Entziehung von notwendigem Ca durch die Oxalsäure zurückgeführt. Die Versuche, die in hiesigem Laboratorium jetzt im Gang sind, lehren uns, dass bei dieser abnormen Haarentwicklung Ammoniak bzw. Ammonium-Ion die Hauptrolle spielt und die Rolle von Ca im anderen Sinne aufzufassen ist. Ausführliche Angabe darüber ist von einem von uns (K.) in Bälde beabsichtigt.

Die Zellzustände bei der Ammoniakwirkung lassen sich mit den nachstehenden Zeichen veranschaulichen, und dazu kommen noch diejenigen, die bei der Essigsäurewirkung erklärt wurden:

- A Die Spitzenvergrößerung des Wurzelhaares (Photo 10).
- B Das Wurzelhaar ist an der Spitze halb oder vollständig quer eingeschnürt. Weiteres Wachstum geschieht normal, aber das Haar wird ein wenig feiner (Fig. 15).
- C Das Wachstum des Wurzelhaares ist eingestellt und seine Spitze ist platt gestaltet. Oft findet neues Wachstum unterhalb der Spitze statt (Fig. 16).
- P° ... Die Spitze ist arm an Plasma, der dünne Plasmabelag ist gebildet (Photo 11).
- V Das Wurzelhaar ist gekrümmt und verzweigt (Fig. 17).

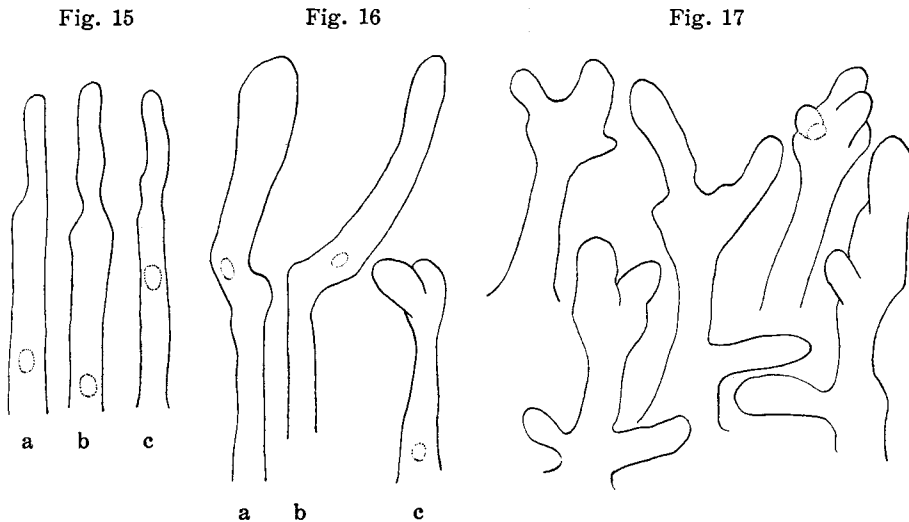


Fig. 15. Im Ammoniakpuffer (NH_3 m/200), pH 7.6.

Fig. 16. Im Ammoniakpuffer (NH_3 m/100), pH 7.6.

Fig. 17. Im Gemisch (m/100 NH_4Cl +m/50 CaCl_2), pH 5.1.

Versuch 8

Tabelle 14

19°C, Lösung 3 ccm, 3. Pflanzen

| $\begin{matrix} \text{[NH}_3\text{]} \\ \text{pH} \end{matrix}$ | m/400 | m/200 | m/100 |
|---|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 7.6 | (L) normal (A) normal | (L) normal, B, C, V (A) normal | (L) C, B, normal (A) normal, C, A |
| 8.0 | (L) normal, B, C, (A) normal | (L) K, Q, kein Wachst. (A) normal | (L) K (A) keine Entw. |
| 8.4 | (L) K, Q, kein Wachst. (A) normal | (L) K (A) keine Entw. | (L) K (A) keine Entw. |
| 8.8 u. 9.2 | (L) K (A) keine Entw. | (L) K (A) keine Entw. | (L) K (A) keine Entw. |

(L) Die Wurzelhaare, die sich im Leitungswasser entwickelten.

(A) Die Wurzelhaare, die sich im Ammoniakgemisch entwickelten.

 $[\text{NH}_3] = \text{m}/400$

pH 7.6

Die Wurzelhaare sind fast normal und wachsen weiterhin. Sie entwickeln sich von neuem.

pH 8.0

Die Wurzelhaare sind an der Spitze schwach geschädigt und mehr oder weniger stark abnorm gestaltet.

pH 8.4

Das Wachstum der Haare ist eingestellt, und das Plasma ist meistens koaguliert. Die neu gebildeten Haare sind ganz normal.

pH 8.8-9.6

Das Plasma ist vollständig koaguliert. Keine neue Wurzelhaarentwicklung.

 $[\text{NH}_3] = \text{m}/200$

pH 7.6

Die Wurzelhaare sind schwach abnorm gestaltet. Das Wachstum geschieht schlechter als bei pH 8.0(m/400). Das Plasma ist bisweilen koaguliert und verzweigt. Neu gebildete Haare sind normal.

pH 8.0

Das Wachstum der Wurzelhaare ist eingestellt, das Cytoplasma ist koaguliert. An dem neu wachsenden Teil der Wurzel werden die Wurzelhaare aufs neue gebildet.

pH 8.4–9.6

Das Cytoplasma ist koaguliert. Keine neue Entwicklung der Wurzelhaare.

$[\text{NH}_3] = m/100$

pH 7.6

Das Wachstum der Wurzelhaare ist eingestellt, oder sie sind abnorm gestaltet, wenn das Wachstum fortgesetzt wird. Neu gebildete Wurzelhaare sind meistens normal.

pH 8.0–9.6

Das Cytoplasma ist vollständig koaguliert. Keine neue Haarentwicklung.

Aus diesem Versuch geht hervor, dass der Parallelismus zwischen der Ammoniakvergiftung und der C_{OH} nur von scheinbarer Natur ist und die erstere nicht nur der Wirkung der letzteren

zuzuschreiben ist. Die Vermehrung C_{OH} begleitet keine auffällige Schädigung, wenn die gesamte Menge des Ammoniaks klein ist. Dies deutet darauf hin, dass die Ammoniakvergiftung mit seinem Dissoziationszustand, der durch die C_{H} bedingt wird, in inniger Beziehung steht. Wie schon erwähnt, ist es höchst wahrscheinlich anzunehmen, dass bei der Ammoniakwirkung auf die Zelle die starke Eindringungskraft seines Moleküls eine grosse Rolle spielt. Dass dies auch für die Wurzelhaare gilt, kann man klar ersehen, wenn das Mengenverhältnis der Ammoniakmoleküle nach der Formel

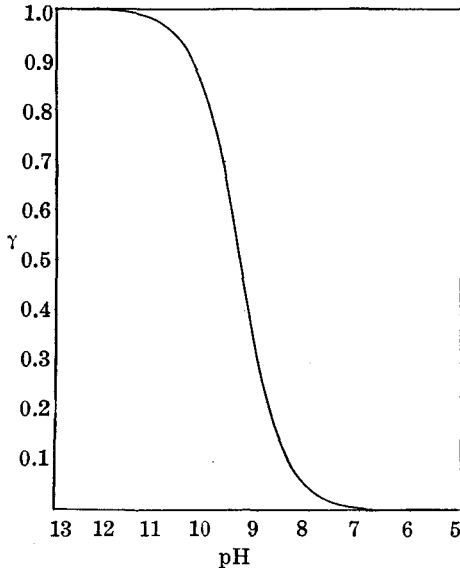


Fig. 18. Kurve des Dissoziationsrestes des Ammoniaks.

des Dissoziationsrestes berechnet⁽¹⁾ und graphisch illustriert wird (Tabelle 15, Fig. 18).

Tabelle 15

| NH ₃ | | m/100 | m/200 | m/400 |
|-----------------|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 7.6 | γ | 1.65 × 10 ⁻⁴ | 0.83 × 10 ⁻⁴ | 0.41 × 10 ⁻⁴ |
| | Mengenverhältnis d. NH ₃ -Moleküle | 4 | 2 | 1 |
| 8.0 | γ | 4.06 × 10 ⁻⁴ | 2.03 × 10 ⁻⁴ | 1.02 × 10 ⁻⁴ |
| | Mengenverhältnis d. NH ₃ -Moleküle | 10 | 5 | 2.4 |
| 8.4 | γ | 9.61 × 10 ⁻⁴ | 4.81 × 10 ⁻⁴ | 2.4 × 10 ⁻⁴ |
| | Mengenverhältnis d. NH ₃ -Moleküle | 23 | 11 | 5.8 |
| 8.8 | γ | 21.1 × 10 ⁻⁴ | 10.5 × 10 ⁻⁴ | 5.27 × 10 ⁻⁴ |
| | Mengenverhältnis d. NH ₃ -Moleküle | 51 | 25 | 12 |
| 9.2 | γ | 40.2 × 10 ⁻⁴ | 20.1 × 10 ⁻⁴ | 10 × 10 ⁻⁴ |
| | Mengenverhältnis d. NH ₃ -Moleküle | 97 | 48 | 24 |

Wenn die berechneten Werte in die Tabelle 14 eingetragene werden, so bemerkt man, dass bei gleicher Menge des Ammoniakmoleküls die Vergiftung gleich ausfällt, trotz ungleicher pH-Wertes. Die Wirkung der C_H ist also hier indirekt und trägt zur Beherrschung der Dissoziation bei. Die heute von mehreren Forschern akzeptierte Annahme, dass Ammoniak im alkalischen Medium in Gestalt von Molekül leicht in die Zelle permeiert und oft schädliche Wirkung ausübt, wurde auch an dem Wurzelhaare bestätigt.

Bei der Erklärung der physiologischen Erscheinung ist es nicht unzulässig, einfach von der Wirkung von H⁺ zu sprechen, wenn sie auch von indirekter Natur ist, sofern der unmittelbar wirkende Faktor noch unbekannt bleibt. Wenn aber einmal klar dargestellt wird, dass solche Wirkung tatsächlich von dem Molekül des begleitenden schwachen Elektrolyten, dessen Menge natürlich von dem pH-Wert des Mediums abhängig ist, ausgeübt wird, so dürfen wir

$$1) \quad \gamma = \frac{1}{1 + K \frac{[H^+]}{K_w}}, \quad \text{wo } K = 1.75 \times 10^{-5}, \quad K_w = 0.74 \times 10^{-14}.$$

uns nicht mehr bloss auf die Betrachtung der direkten Beziehung zwischen der C_H und der Erscheinung beschränken.

Ausser dem Ammoniak kommen noch zahlreiche solche Elektrolyten in dem natürlichen Standort oder in der Versuchslösung vor, und sie üben auf das Pflanzenleben einen merkwürdigen Einfluss aus. In den physiologischen Untersuchungen ist die Bedeutung der pH-Bestimmung oft in diesem Zusammenhang zu suchen.

Antagonismus von Ca gegen die Wirkung des Ammoniaks bzw. des Ammoniums Salzes

SAKAMURA (1934) hat bei *Spirogyra* festgestellt, dass in hoher Alkalinität die antagonistische Wirkung von Ca gegen K oder Na sich nicht verwirklicht, und dass im sauren Gebiete dieselbe Wirkung von Ca-Salz gegen Essigsäure in Gestalt von Molekül nicht nur nicht zustande kommt, sondern dass die schädliche Wirkung der letzteren oft eher verstärkt wird. Ca-Ionen wirken also bei *Spirogyra* antagonistisch gegen die Giftigkeit anderen Ionen, aber sehr schwach oder nicht gegen Moleküle; es macht sich nämlich dabei der Ionenantagonismus geltend. Um ein Urteil darüber zu gewinnen, ob ein ähnliches Verhältnis des Antagonismus auch an dem Wurzelhaare ersehen werden kann, haben wir folgende Versuche angestellt, mit Berücksichtigung davon, dass Ammoniak auf der sauren Seite nur in der Ionenform und im alkalischen Gebiete mehr oder weniger in Gestalt von Molekül auftritt.

Versuch 9

Beim Versuche im alkalischen Gebiete dienten die Pufferlösungen, die nach der in Tabelle 13 bezeichneten Vorschrift und zwar mit Zusatz von $CaCl_2$ in verschiedener Menge hergestellt wurden (Tabelle 16). Da durch die Vermehrung von zugesetztem $CaCl_2$ aber das Absinken der C_H erfolgt, was die Vermehrung der Ammoniakmoleküle begleitet, so möchten wir besonders darauf aufmerksam machen, dass nur die Ergebnisse an gleichem pH-Wert miteinander verglichen werden (Tabelle 17, 18 u. 19).

Tabelle 16

| Lösung | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------|--|------|-------|------|------|------|------|
| a | NH ₄ OH (m/20) | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 |
| | NH ₄ Cl ₂ (m/20) | 2.91 | 2.91 | 2.91 | 2.91 | 2.91 | 2.91 |
| | CaCl ₂ (m/10) | | 0.03 | 0.3 | 3 | 6 | 15 |
| | H ₂ O | 27 | 26.97 | 26.7 | 24 | 21 | 12 |
| | pH | 7.6 | 7.6 | 7.6 | 7.7 | 7.7 | 7.8 |
| b | NH ₄ OH (m/20) | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 |
| | NH ₄ Cl (m/20) | 2.82 | 2.82 | 2.82 | 2.82 | 2.8 | 2.82 |
| | CaCl ₂ (m/10) | | 0.03 | 0.3 | 3 | 6 | 15 |
| | H ₂ O | 27 | 26.97 | 26.7 | 24 | 21 | 12 |
| | pH | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 8.1 | 8.2 | 8.3 |
| c | NH ₄ OH (m/20) | 0.39 | 0.39 | 0.39 | 0.39 | 0.39 | 0.39 |
| | NH ₄ Cl (m/20) | 2.61 | 2.61 | 2.61 | 2.61 | 2.61 | 2.61 |
| | CaCl ₂ (m/10) | | 0.03 | 0.3 | 3 | 5 | 15 |
| | H ₂ O | 27 | 26.97 | 26.7 | 24 | 21 | 12 |
| | pH | 8.4 | 8.4 | 8.5 | 8.6 | 8.7 | 8.7 |

Tabelle 17

20°C, Lösung 30 ccm. 6 Pflanzen

| pH | Lösung | nach 2 Stunden | Nach 4 Stunden | nach 8 Stunden |
|-----|--------|----------------|------------------|------------------|
| 7.6 | a-1 | B, normal | C, normal, A | P°, K |
| 7.6 | a-2 | normal, B, C | normal | normal |
| 7.6 | a-3 | normal, C | normal, C, P° | normal, A, P° |
| 7.7 | a-4 | normal | P°, A, normal, C | P°, A, normal |
| 7.7 | a-5 | normal | P°, normal, A | P°, normal, C |
| 7.8 | a-6 | normal, A | P°, A, normal | P°, A, normal, B |

Nach 4 Stunden entwickelten sich neue normale Wurzelhaare

Tabelle 18

20°C, Lösung 30 ccm, 6 Pflanzen.

| pH | Lösung | nach 2 Stunden | nach 6 Stunden |
|-----|--------|-----------------------------|------------------------|
| 8.0 | b-1 | Q ₁ , P° | P°, Q ₁ |
| 8.0 | b-2 | P°, normal, B | P°, Q ₁ |
| 8.0 | b-3 | Q ₂ , P°, normal | P°, Q ₁ |
| 8.1 | b-4 | Q ₂ , P°, normal | P°, Q ₁ |
| 8.2 | b-5 | P°, Q ₂ | P°, QK, Q ₁ |
| 8.3 | b-6 | P°, Q ₂ | P°, Q ₁ |

Nach 6 Stunden entwickelten sich neue normale Wurzelhaare

Tabelle 19

20°C, Lösung 30 ccm, 6 Pflanzen.

| pH | Lösung | nach 2 Stunden | nach 6 Stunden |
|-----|--------|----------------|----------------|
| 8.4 | c-1 | QK | QK |
| 8.4 | c-2 | QK, Pt | K, Pt |
| 8.5 | c-3 | K | K |
| 8.6 | c-4 | K | K |
| 8.7 | c-5 | K | K |
| 8.7 | c-6 | K | K |

Keine neue Entwicklung der Wurzelhaare

Versuch 10

Nachstehender Versuch wurde angestellt, um zu sehen, inwieweit derselbe Antagonismus im sauren Gebiet stattfindet. Die Versuchsmaterialien und die Methode waren gleich denjenigen im Versuch 9. Die Versuchslösungen wurden nach der Vorschrift in Tabelle 20 bereitet.

Tabelle 20

| [NH ₃] | Lösungsnummer | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------------------|---------------------------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| m/20 | NH ₄ Cl (m/10) | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| | CaCl ₂ (m/10) | | 0.03 | 0.15 | 0.3 | 0.6 | 1.5 | 3 | 6 | 15 |
| | H ₂ O | 15 | 14.97 | 14.85 | 14.7 | 14.4 | 13.5 | 12 | 9 | 5.2 |
| | pH | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.2 |
| m/50 | NH ₄ Cl (m/10) | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| | CaCl ₂ (m/10) | | 0.03 | 0.15 | 0.3 | 0.6 | 1.5 | 3 | 6 | 15 |
| | H ₂ O | 24 | 23.97 | 23.85 | 23.7 | 23.4 | 22.5 | 21 | 18 | 9 |
| | pH | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.2 | 5.2 |
| m/100 | NH ₄ Cl (m/10) | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | CaCl ₂ (m/10) | | 0.03 | 0.15 | 0.3 | 0.6 | 1.5 | 3 | 6 | 15 |
| | H ₂ O | 27 | 26.97 | 26.85 | 26.7 | 26.4 | 25.5 | 24 | 21 | 12 |
| | pH | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.2 | 5.2 |
| m/200 | NH ₄ Cl (m/10) | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| | CaCl ₂ (m/10) | | 0.03 | 0.15 | 0.3 | 0.6 | 1.5 | 3 | 6 | 15 |
| | H ₂ O | 28.5 | 28.47 | 28.35 | 28.2 | 27.9 | 27 | 25.5 | 22.5 | 13.5 |
| | pH | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.2 | 5.3 | 5.3 |

Tabelle 21

[NH₃] m/20, 19.5°C

| Lösungsnummer | nach 30 Minuten | nach 1 Stunde | nach 3 Stunden |
|---------------|-----------------|---------------|----------------|
| 1 | Pt, QK | Pt, QK | Pt, K |
| 2 | normal, QK | QK, normal, K | K, Pt, normal |
| 3 | normal, B | normal | normal |
| 4 | normal, B | normal | normal |
| 5 | normal | normal | normal, Pt |
| 6 | normal | normal, P° | normal, P° |
| 7 | normal, P° | normal, P° | normal, P°, K |
| 8 | normal, P° | normal, P°, K | K, P° |
| 9 | normal, P°, K | normal, P°, K | K, P° |

Tabelle 22

[NH₃] m/50, 20°C

| Lösungsnummer | nach 1 Stunde | nach 3 Stunden | nach 5 Stunden |
|---------------|-----------------------------|----------------------|----------------|
| 1 | normal, Q ₁ , Pt | Pt, QK | Pt, K |
| 2 | normal, B | normal | normal, QK |
| 3 | normal, B | normal | normal |
| 4 | normal | normal | normal |
| 5 | normal | normal, QK | normal, QK |
| 6 | normal | normal, QK | K, normal |
| 7 | normal | K, Pseudoplasmo-lyse | K |
| 8 | normal | K | K |
| 9 | normal, P° | K | K |

Tabelle 23

[NH₃] m/100, 19.5°C

| Lösungsnummer | nach 2 Stunden | nach 4 Stunden | nach 8 Stunden |
|---------------|---|---------------------------------|----------------|
| 1 | normal, Q ₁ , Q ₃ | normal, Q ₃ , QK, Pt | QK |
| 2 | normal, B, C | normal | normal |
| 3 | normal | normal | normal, QK |
| 4 | normal | normal | normal, QK |
| 5 | normal | normal | QK, C, V |
| 6 | normal | normal | QK, C, V |
| 7 | normal, A | normal, P°, QK, A | QK, V |
| 8 | normal, A | K, normal | V, K |
| 9 | normal, A | K, normal | K |

Tabelle 24

[NH₃] m/200, 19.5°C

| Lösungsnummer | nach 2 Stunden | nach 4 Stunden | nach 8 Stunden |
|---------------|-----------------------|-------------------|-----------------|
| 1 | normal | normal | normal |
| 2 | normal | normal | normal |
| 3 | normal | normal | normal |
| 4 | normal | normal | normal |
| 5 | normal Q ₁ | normal | normal, A |
| 6 | normal | normal P°, A | normal, A, QK |
| 7 | normal | normal | normal, A, B, V |
| 8 | normal | normal | normal, A, B |
| 9 | normal, A | normal, P°, QK, A | normal, A |

Zusammenfassend können wir unsere Ergebnisse der Versuche 9 und 10 folgendermassen ausdrücken: Antagonismus von Ca gegen Ammoniak oder Ammoniumsalz im alkalischen Gebiete tritt nur an pH 7.6–7.8 auf, aber nicht mehr an pH-Wert 8.0 oder auf noch stärker alkalischer Seite. In der sauren Reaktion (pH 5.1–5.4) wird die schädliche Wirkung von NH_4Cl auf die Wurzelhaare durch den Zusatz von CaCl_2 geschwächt, d.h. der Antagonismus von Ca^{++} gegen NH_4^+ lässt sich bis zum gewissen Grade erkennen.

Nun möchten wir nochmals die Menge der Ammoniakmoleküle im Puffergemisch ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}$) in Fig. 18 graphisch ansehen. An pH 7.6 tritt Ammoniak meistens in der Ionenform NH_4^+ auf und nur sehr wenig von ihm bleibt im undissoziierten Zustande. In solcher Lösung wird die Schädigung noch eher durch NH_4^+ oder das Ionenpaar⁽¹⁾ NH_4^+ und OH' verursacht, wie im sauren Gebiete, wenn Ammoniakmoleküle auch in kleinster Menge als giftiges Moment vorkommen können. Da der Antagonismus von Ca^{++} gegen NH_4^+ oder gegen das Ionenpaar NH_4^+ und OH' im sauren Gebiete auffällig eintritt, ist die genannte Wirkung von Ca im schwach alkalischen Gebiete noch als Ionenantagonismus zu deuten, wovon unabhängig die unvermeidliche Vergiftung der Ammoniakmoleküle in Betracht kommt.

Es ist eine beachtenswerte Tatsache, dass der Antagonismus von Ca gegen das Ammoniumsalz im sauren Gebiete nicht immer zur Ca-Menge parallel geht. Bei Zusatz von CaCl_2 in etwas höherer Konzentration weist sich die antagonistische Wirkung dieses Salzes auffälliger auf als bei seiner Verwendung in mässiger Konzentration, und zuletzt in noch vermehrter Menge verstärkt sie im Gegenteil die Schädigung durch NH_4Cl .

Ausser dem Wachstum der schon gebildeten Wurzelhaare findet die Entwicklung der neuen Haare in den alkalischen Ammoniakgemischen statt, soweit deren Konzentration nicht zu hoch ist. Die Gegenwart von Ca wirkt darauf günstig, aber nicht immer notwendig. In der verdünnten NH_4Cl -Lösung lassen sich neue Wurzelhaare ganz normal gebildet erkennen, während der Zusatz von CaCl_2 dazu verschieden abnorme Umgestaltungen der neu geschaffenen oder der noch wachsenden Wurzelhaare verursacht, je nach dem Mengenverhältnis zwischen Ca^{++} und NH_4^+ .

(1) Es wird angenommen, dass dieses Ionenpaar durch die Membranhydrolyse erzeugt wird (SAKAMURA, 1934).

Was solche wichtigen Mengenverhältnisse zwischen Ca^{++} und anderen Ionen beim Versuche des Antagonismus an dem Wurzelhaare betrifft, so wird ausführliche Mitteilung darüber später veröffentlicht werden.

Zusammenfassung

1. Die Wurzelhaare von *Brassica chinensis* entwickeln sich normal im umdestillierten Wasser, in der damit hergestellten Rohr-zuckerlösung und in der Lösung von Salzgemisch. In dem letztgenannten Falle ist Ca unentbehrlich für die Haarentwicklung, wenn die Konzentration der Lösung verhältnismässig hoch ist.

2. Das Loslösen des Plasmabelags von der Zellmembran bei der Plasmolyse durch die Rohr-zuckerlösung schreitet von der Spitze ab nach der Basis fort. Durch den Zusatz von KCl und CaCl_2 zum Rohr-zucker-Plasmolytikum wird die Plasmaquellung (K-Typus) bzw. Plasmaverdichtung (Ca-Typus) hervorgerufen.

3. Die Zustandsänderung des Plasmas des Wurzelhaares wurde in den Acetatpufferlösungen von verschiedenen pH-Werten untersucht, aber keine zweigipfelige Kurve betreffs der Plasmastruktur im Sinne von STRUGGER konnte bestätigt gefunden werden. Die Wirkung des Acetatgemisches auf das Wurzelhaar ist hauptsächlich dem undissoziierten Essigsäuremolekül zuzuschreiben, während die Wirkung der C_H im pH-Bereiche 5.7–4.9 in solcher Lösung von untergeordneter Bedeutung ist.

4. Die antagonistische Wirkung von Ca gegen Essigsäure bzw. Acetatgemisch kommt schwach nur an pH 6.4, aber gar nicht in anderen pH-Bereichen 6.0–4.7 zustande. Deutlicher Antagonismus von Ca gegen HCl wurde bewiesen. Diese Tatsache spricht dafür, dass Ca gegen H^+ antagonistisch wirken kann, aber nicht gegen das Essigsäuremolekül.

5. Die giftige Wirkung des Ammoniakmoleküls auf das Wurzelhaar im alkalischen Gebiete wurde unter der Verwendung der Gemische ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}$) konstatiert. Die Schädlichkeit von NH_4Cl im sauren Gebiete ist der Wirkung von NH_4^+ oder dem Ionenpaar NH_4^+ und OH^- zuzuschreiben.

6. Im sauren oder sehr schwach alkalischen Gebiete (pH 7.6) bemerkt man die antagonistische Wirkung von Ca^{++} gegen NH_4^+ . Im pH-Gebiete 8.0 tritt sie aber nicht mehr auf; d.h. der Antagonismus

von Ca gegen undissoziiertes Ammoniakmolekül kommt kaum zustande.

7. In der NH_4Cl -Lösung verstärkt aber die Vermehrung der Menge von zugesetztem Ca die schädliche Wirkung von NH_4^+ und ruft noch die neue Entwicklung der abnorm geformten Wurzelhaare hervor.

Literaturverzeichnis

- ADDOMS, R. M. (1923): The effect of the hydrogen ion on the protoplasm of the root hairs of wheat. *Amer. Journ. Bot.*, **10**.
- CHOLODNY, N. und SANKEWITSCH, E. (1933): Plasmolyseform und Ionenwirkung. *Protoplasma*, **20**.
- CORMACK, R. G. H. (1935): Investigations on the development of root hairs. *New Phytologist*, **34**.
- FARR, C. H. (1925): Root-hair elongation in KNOP's solution and in tap water. *Amer. Journ. Bot.*, **12**.
- FARR, C. H. (1927): Studies on the growth of the root hairs in solutions. I-III. *Amer. Journ. Bot.* **14**.
- FARR, C. H. (1928): Studies on the growth of the root hairs in solutions. IV-VI. *Amer. Journ. Bot.*, **15**.
- HABERLANDT, G. (1887): Ueber die Beziehungen zwischen Funktion und Lage des Zellkernes bei den Pflanzen. Jena.
- HANSTEEN-CRANNER, B. (1914): Ueber das Verhalten der Kulturpflanzen zu den Bodensalzen III. *Jahrb. f. wiss. Bot.*, **53**.
- KISSER, J. (1925): Ueber das Verhalten von Wurzeln in feuchter Luft. *Jahrb. f. wiss. Bot.*, **64**.
- MEVIUS, W. (1928): Die Wirkung der Ammoniumsalze in ihrer Abhängigkeit von der Wasserstoffionenkonzentration I. *Planta*, **6**.
- MEVIUS, W. und ENGEL, H. (1929): Die Wirkung der Ammoniumsalze in ihrer Abhängigkeit von der Wasserstoffionenkonzentration II. *Planta*, **9**.
- MICHAELIS, L. (1914): Die Wasserstoffionenkonzentration. Berlin.
- VERTON, E. (1897): Ueber die osmotischen Eigenschaften der Zelle in ihrer Bedeutung für die Toxikologie und Pharmakologie. *Ztschr. physik. Chem.*, **22**.
- PFEIFFER, H. (1933): Bemerkungen zur Kernverlagerung wachsender Wurzelhaarzellen. *Protoplasma*, **17**.
- RIBBERT, A. (1931): Beiträge zur Frage nach der Wirkung der Ammoniumsalze in Abhängigkeit von der Wasserstoffionenkonzentration. *Planta*, **12**.
- SAKAMURA, T. (1922): Ueber die Selbstvergiftung der Spirogyren im destillierten Wasser. *Bot. Mag. (Tokyo)*, **36**.
- SAKAMURA, T. (1934): Zur Analyse der Salzwirkung auf die pflanzlichen Protoplasten. *Journ. Fac. Science, Hokkaido Imp. Univ., Series V*, **3**.

- STRUGGER, S. (1926): Untersuchungen über den Einfluss der Wasserstoffionen auf das Protoplasma der Wurzelhaare von *Hordeum vulgare* L. I. Sitzungsberichte d. Akad. d. Wiss. in Wien, math.-naturwiss. Kl., Abt. I, **135**.
- STRUGGER, S. (1928): Untersuchungen über den Einfluss der Wasserstoffionen auf das Protoplasma der Wurzelhaare von *Hordeum vulgare* L. II. Sitzungsberichte d. Akad. d. Wiss. in Wien, math.-naturwiss. Kl., Abt. I, **137**.
-

Figurenerklärung der Tafel III

- Photo 1-2. Im Gemisch (0.3 mol. Rohrzucker + 0.01 mol. KCl); nach 10 Minuten.
Photo 3. Im Gemisch (0.3 mol. Rohrzucker + 0.05 mol. CaCl_2); nach 10 Minuten.
Photo 4. In 0.5 mol. Rohrzuckerlösung, nach 10 Minuten.
Photo 5. Im Acetatgemisch, pH 6.6, Q_1 .
Photo 6. Versuch 5, Lösung 5, pH 4.9, Q_4 .
Photo 7. Im Acetatgemisch, pH 5.5, Q_3 .
Photo 8. Versuch 5, Lösung 6, pH 4.9, QK.
Photo 9. In HCl (10^{-4} mol), pH 3.7, K.
Photo 10. Versuch 10, Lösung 8, $[\text{NH}_4\text{Cl}] = m/100$, A.
Photo 11. Versuch 10, Lösung 7, $[\text{NH}_4\text{Cl}] = m/20$, P°.
-



Sakamura u. Kanamori: Wurzelhaar.