© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Es hat jedoch keinen Zweck, an dieser Stelle näher auf diese Details einzugehen, da im wesentlichen nur festgestellt werden sollte, ob es sich um einen hygroskopischen oder einen Kohäsionsmechanismus handelt. Die wenigen Andeutungen zeigen aber, dass auch bei diesen scheinbar einfachen Apparaten die Erscheinungen noch lange nicht bis auf die Einzelheiten verfolgt sind.

Freiburg (Schweiz), Botanisches Institut.

---

37. F. G. Kohl: Die assimilatorische Funktion des Karotins und das zweite Assimilationsmaximum bei F.

Mit einer Abbildung.

Eingegangen am 11. Mai 1906.

An der *Cladophora*-Zelle fand ENGELMANN[1]) innerhalb der primären Assimilationskurve ein zweites Maximum bei der Linie F. Die Assimilationsenergie ergab sich innerhalb dieser Region annähernd gleich der bei D $^1/_2$ E. Ebenso lassen die 1883 von demselben Autor publizierten Zahlenwerte zunächst für grüne Versuchsobjekte aller Art, sowohl im Prismenspektrum, als auch besonders Normalspektrum, dieses Maximum bei F deutlich erkennen. In der auf S. 7—8 unter I für Sonnenlicht angeführten Reihe figuriert diese Spektralregion F mit 86,1 im Normalspektrum, mit 24,6 (—38) im Prismenspektrum, sodass sich beim Vergleich mit den Leistungen der übrigen Strahlen des sichtbaren Spektrums in derselben Tabelle eine assimilatorische Leistung der F-Strahlen ergibt, die grösser ist als die der Strahlen D $^1/_2$ E (Prismenspektrum). Auch aus der Zahlenreihe auf S. 11—12 ist in der Umgebung von F eine auffallende Hebung der Assimilationskurve zu erkennen. Eine wesentliche Differenz zwischen den ENGELMANN'schen Untersuchungsergebnissen und den 1884 von REINKE[2]) publizierten bestand darin, dass REINKE eben dieses zweite Assimilationsmaximum bei F nicht nachzuweisen in der Lage war. Da dieser Forscher jedoch weder in der speziellen Qualität der von ihm benutzten Apparate, noch in Eigentümlichkeiten

---

1) TH. W. ENGELMANN, Über Sauerstoffausscheidung von Pflanzenzellen im Mikrospektrum. Bot. Zeitg, 40. Jahrg., Nr. 26, 1882.

2) J. REINKE, Untersuchungen über die Einwirkung des Lichtes auf die Sauerstoffausscheidung der Pflanzen. Bot. Zeitg., 42. Jahrg., Nr. 1—4, 1884.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

der angewandten Versuchsobjekte einen hinreichenden Grund für die abweichenden Ergebnisse seiner Untersuchungen glaubte erblicken zu können, hielt er es nicht für ausgeschlossen, dass dieses Maximum bei F in den ENGELMANN'schen Beobachtungen hervorgerufen sei durch eine spezifische Wirkung der F-Strahlen auf die Bewegungsenergie der benutzten Bakterien, ähnlich etwa der, welche blaues Licht mässiger Konzentration auf die Bewegung mancher Zoosporen ausübe. Es liegt auf der Hand, dass die Stichhaltigkeit dieses Einwurfes experimenteller Prüfung unterzogen werden kann und muss, will man endlich zur Klarheit über diese Angelegenheit, die weiteres Interesse beanspruchen darf, als man zunächst vermutet, gelangen. Ich werde unten eine Reihe diesbezüglicher Versuche ausführlich mitteilen. Vorher möchte ich jedoch noch darauf hinweisen, dass die Abweichungen zwischen den Angaben der genannten beiden Forscher doch viel bedeutender und tiefer einschneidend sind, als es auf den ersten Blick erscheint. Während nämlich ENGELMANN (1883, S. 11—12) den Absorptionsbändern des Chlorophyllspektrums entsprechende Assimilationsmaxima konstatierte, äusserte sich REINKE (S. 51): „Dagegen entsprechen den sekundären Absorptionsmaximis der weniger brechbaren Spektralhälfte II und III keine sekundären Maxima der Sauerstoffausscheidung." Nicht nur die Absorptionen in der blauen Hälfte, sondern auch die im übrigen Spektrum, ausser derjenigen zwischen B und C, bleiben demnach bei REINKE für die Assimilation ohne Bedeutung; für den die blauvioletten Strahlen des Sonnenlichts absorbierenden Anteil des Chlorophylls nimmt REINKE die PRINGSHEIM'sche Lichtschutzfunktion in Anspruch, wobei er es vorläufig dahingestellt sein lässt, wie man sich etwa die Wirkung dieses Lichtschutzes vorstellen will. Es wäre ja möglich, dass schädliche Oxydationsvorgänge, wie etwa bei der Assimilation entstehender Aldehyde zu unbrauchbaren Säuren, die durch das blauviolette Licht induziert werden könnten, infolge der Absorption dieser Strahlen im Chlorophyll verhindert würden usw. Eine solche Vorstellung der Wirkungsweise des Chlorophylls im Blau und Violett wäre unnötig und überflüssig, wenn sich den Absorptionen im Chlorophyll entsprechende Hebungen der Assimilationskurve nachweisen liessen. Eine diesbezügliche Prüfung wird sich naturgemäss zunächst am besten auf die besonders starke Absorption bei F beziehen müssen; das punctum saliens ist dabei die Entscheidung der Frage: Sind die als Indikatoren der Sauerstoffentwicklung bei Anwendung der Bakterienmethode benutzten Bakterien in merkbarer Weise reizbar durch die F-Strahlen?

Wäre experimentell mit Sicherheit nachzuweisen, dass eine Einwirkung der F-Strahlen in bezeichnetem Sinne nicht vorhanden ist, so würde die Sauerstoffausscheidung bei F aufs Neue zu kontrollieren

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

sein. Erwiese sich letztere als unanfechtbar, dann wäre, da diese Absorption allein auf Kosten des Karotins gesetzt werden muss, dieser Farbstoff der Chromatophoren als ein an der Assimilationstätigkeit der Chloroplasten partizipierender legitimiert. Dann würden logischerweise auch etiolierte Blätter, deren Gelbfärbung und Lichtabsorption, wie ich in meinem Karotinbuche[1]) nachgewiesen habe, in erster Linie auf ihrem Karotingehalt basiert, zu assimilieren imstande sein, wobei es vorläufig ganz irrelevant sein kann, welche Höhe diese Beteiligung an der Assimilation im einzelnen Falle erreicht.

Unter Anwendung der ENGELMANN'schen Succedanmethode habe ich zuerst die beiden Fragen zu beantworten versucht: 1. Werden sauerstoffhungerige ruhende Bakterien im sauerstofffreien Raume durch F-Strahlen zu Bewegungen veranlasst und 2. wird eine schon vorhandene Bewegung der Bakterien bei gleichbleibender Sauerstoffzufuhr durch irgendwelche Lichtarten, insbesondere durch F-Strahlen gesteigert? Ich bediente mich bei den Versuchen der von mir zumeist bei Assimilationsuntersuchungen angewandten Bakterien, erstens eines Fleischfäulnis-Bakteriums (*Bacterium termo*) und zweitens eines *Spirillum*, das man fast regelmässig bei der Fäulnis von Maissamen erhält.

Versuch (am 9. Februar 1904).

Eine Luftblase wurde in der Bakterienflüssigkeit unter das mit Vaseline nach aussen abgeschlossene Deckglas gebracht und das Ganze so lange sich selbst überlassen, bis die Bakterien infolge des vollständigen Verbrauches des in der Luftblase enthaltenen Sauerstoffes zur Ruhe gekommen waren. Nunmehr wurde das Präparat mit den Strahlen verschiedener Spektralregionen mit Hilfe des ZEISS-schen Mikrospektralapparates beleuchtet.

1. B—C Bakterien bleiben bewegungslos,
2. C—D " " "
3. D—E " " "
4. E$^1/_2$F " " "
5. F " " "

Versuch (am 10. Februar 1904).

Die in der Umgebung der Luftblase in Bewegung befindlichen Bakterien wurden rasch nacheinander wie im vorigen Versuch mit den Strahlen der Spektralregionen 1—5 beleuchtet. Eine Steigerung der Bewegung konnte ich in keinem Falle beobachten. Die einzelnen Versuche wurden selbstredend öfters wiederholt.

---

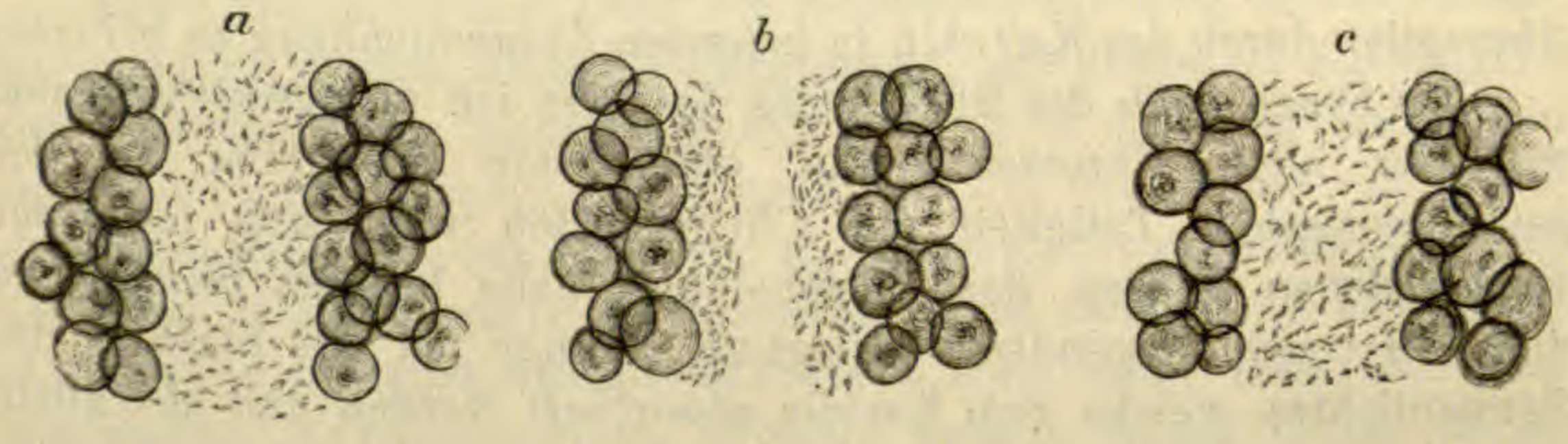
1) F. G. KOHL, Untersuchungen über das Karotin und seine physiologische Bedeutung in er Pflanze. Leipzig 1902, S. 75 ff.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Hieraus geht demnach mit Evidenz hervor, dass die F-Strahlen des Sonnenspektrums an sich weder eine Bewegung sauerstoffhungeriger Bakterien induzieren, noch eine bei Sauerstoffgegenwart bereits vorhandene Bewegung derselben zu steigern vermögen.

Nunmehr schritt ich (am 11. Februar 1904) dazu, die Sauerstoffausscheidung grüner Zellen im Lichte der F-Strahlen zu kontrollieren, was ich hier nur deswegen anführe, weil ich dabei auf besonders deutliche Weise den assimilatorischen Effekt der verschiedenen Strahlen sichtbar machte. Ich brachte nämlich unter das Deckglas zwei Partien von Algenzellen bezw. zwei Algenfäden (*Vaucheria* usw.) so nebeneinander, wie es beifolgende Skizze vergegenwärtigen soll.

In den Figuren *a*—*c* sind nur die sich bewegenden Bakterien eingezeichnet, die in Ruhe verharrenden dagegen sind weggelassen. Während in *a* alle zwischen den Algengruppen befindlichen Bakterien sich bewegten, blieb in *b* eine breite Mittelstrasse derselben in Ruhe, während in *c* die Sache wie in *a* lag. Ich unterlasse es



hier, weiter auszuführen, wie man aus dem gegenseitigen Maximalabstande der Algengruppen, bei dem eben noch alles Bakterienmaterial zwischen den Sauerstoffentwicklungsherden sich in Bewegung befindet, einen Rückschluss auf die relative Wirksamkeit der die Bewegung hervorrufenden Lichtart machen kann. Indem man die Maximalabstände der Algengruppen resp. Fäden als Ordinaten auf der Wellenlängenskala als Abscissenachse errichtet, kann man ohne weiteres eine Assimilationskurve konstruieren. Ich kann diese Methode besonders deshalb empfehlen, weil sich verhältnismässig leicht die Entfernung der Algen bestimmen lässt, welche nötig ist, um eine zwischen den letzteren sich hindurchziehende Zone unbewegter Bakterien zum Verschwinden zu bringen. Es handelt sich, wie man sieht, nur um eine Modifikation der ENGELMANN'schen Methode.

Mit Hilfe des eben geschilderten Verfahrens gelang es mir, aufs Neue zu sehen, dass vollkommen in Ruhe befindliche Bakterien in der Umgebung der mit F-Strahlen beleuchteten grünen Algen in deutliche Bewegung gerieten. Ein gleichmässiges Resultat erhielt

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

ich, wenn ich anstelle der Algen Blätter resp. Blattstücke von *Elodea*, *Lemna* usw. oder von etiolierten Keimpflanzen von *Pisum sativum*, von Dunkelpflanzen von *Scorzonera hispanica*, *Brassica oleracea* usw. anwandte. Ich will nicht unerwähnt lassen, dass, sowie man mit Blattstücken und nicht intakten Pflanzenorganen arbeitet, der Verdacht gerechtfertigt ist, die beobachteten Bewegungen der Bakterien könnten chemotaktische sein und durch Stoffe veranlasst werden, welche aus den angeschnittenen Zellen in die Flüssigkeit austreten. In der Tat kann man nicht selten solche nicht hierhergehörige Bakterienbewegungen beobachten; sie lassen sich aber von den durch Sauerstoff hervorgerufenen dadurch leicht unterscheiden, dass sie noch bei einer solchen minimalen Belichtung fortdauern, bei der die Sauerstoffbewegung längst erloschen ist. Zudem ist es leicht, vollkommen unverletzte Zellen der Beobachtung zu unterwerfen.

Hiernach liegt kein Grund vor, an der zuerst von ENGELMANN, später von mir nachgewiesenen „Zweigipfeligkeit“ der Assimilationskurve grüner Pflanzenorgane zu zweifeln und die zweite maximale Erhebung der Kurve im Blau bei F mit der daselbst stattfindenden Absorption durch das Karotin in kausalen Zusammenhang zu bringen.

Die Frage nach der Beteiligung des, wie ich nachgewiesen habe, wohl in allen Chromatophoren enthaltenen Karotins an der assimilatorischen Tätigkeit der Chloroplasten wird sich noch auf verschiedenen Wegen der Entscheidung nahe bringen lassen. So z. B. auf Grund folgender Überlegung. Fange ich alle Strahlen des Sonnenlichtes, welche vom Karotin absorbiert werden und also allein für seine Assimilationsarbeit verantwortlich gemacht werden können, vor dem Auffall auf ein grünes Blatt oder eine Algenzelle durch eine geeignete Karotinlösung ab, so wird sich die Assimilationskurve ändern müssen, wenn das Karotin an der Assimilation beteiligt ist. Behält die Kurve aber trotz Anwendung des Karotinfilters ihren bestimmten Verlauf bei, so wäre man berechtigt, dieses Chloroplastenpigment als assimilatorisch nicht tätig zu bezeichnen.

Zu gleichem Zwecke bot sich noch ein anderer Weg, den ich wie hier in Kürze mitgeteilt werden soll, mit Erfolg betreten habe. Ich betrachte mit TIMIRIASEFF und anderen die Chromatophorenpigmente als Sensibilisatoren, die sich von denen der photographischen Platte nur dadurch unterscheiden, dass sie nicht wie diese nur eine im Chlorsilber bereits vorhandene Fähigkeit steigern, sondern einen ohne sie nicht zustandekommenden Prozess direkt veranlassen. Während in der mit Chlorophyll sensibilisierten Plattenschicht die roten langwelligen Strahlen in kurzwellige umgewandelt werden müssen, dürften die Strahlen verschiedener Wellenlänge im Stroma, dem Organ der Kohlensäurereduktion, letztere ohne Transformation hervorzurufen imstande sein. Trotz dieser und anderer

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Abweichungen vermag ich nicht einzusehen, weshalb man die Chlorophyllpigmente nicht als Sensibilisatoren auffassen sollte, ihre Rolle ist wie bei jedem Sensibilisator eine indirekte, sie absorbieren Licht und übertragen dessen Energie ebenso auf das Stroma wie dieselbe in der lichtempfindlichen Platte vom sensibilisierenden Farbstoff absorbiert und auf die Silbersalze übertragen werden. Wie ich nun eine Jodsilberplatte durch verschiedene Farbstoffe für verschiedene Spektralregionen empfindlich machen kann, so bringen die verschiedenen Chloroplastenpigmente verschiedenes Licht zur Ausnutzung, das Chlorophyll hauptsächlich das rote, Karotin und Xanthophyll das blauviolette. Es ist daher nur eine logische Konsequenz, wenn wir etiolierte Blätter für fähig halten zu assimilieren, vorausgesetzt, dass das vom Karotin absorbierte Licht ausreicht, um die nötige Energie zu liefern. Wie wir gesehen haben, lässt sich mit Hilfe der Bakterienmethode nicht nur erkennen, dass etiolierte Blätter Sauerstoff entwickeln, sondern die auffallende Erhebung der Assimilationskurve bei *F* spricht sogar dafür, dass es sich dabei um einen nicht unbeträchtlichen assimilatorischen Effekt handelt.

Bei Untersuchungen über die Chlorophyllbildung in der Pflanze, mit anderen Worten über das „Ergrünen“, mit denen ich seit längerer Zeit beschäftigt bin, hatte ich Gelegenheit, mich davon zu überzeugen, dass Chlorophyllbildung, wie bekannt, an die Gegenwart von Sauerstoff gebunden ist. Im Vakuum, in Wasserstoff usw. unterbleibt das Ergrünen, auch in reiner Kohlensäure. Und dennoch ist Ergrünen etiolierter Blätter ohne Sauerstoff möglich. Dass in reiner Kohlensäure Ergrünen nicht erfolgte, konnte seinen Grund in der zu hohen Partiärpressung dieses Gases haben, sind doch die Pflanzen einem äusserst geringen Kohlensäuregehalte in der Umgebung ausgesetzt und an einen solchen gewöhnt. Ich liess deshalb in das vollständig bis zu der für die betreffende Temperatur ermittelten Tension des Wasserdampfes evakuierte Gefäss, in welchem die etiolierten Blätter in Nährlösung standen, kleine Mengen von reiner Kohlensäure eintreten, schloss luftdicht ab und belichtete mehrere Tage hindurch. Ich will das Protokoll über ein paar meiner Versuche hier anführen:

Versuch a) (am 15. Februar 1906).

Scorzonera hispanica. Etiolierte Blätter in KNOP'scher Nährlösung + Spur Traubenzucker,

Temperatur 15,7° C.
Druck 14,5 *mm*.

Am 27. waren die Kontrollblätter normal ergrünt, die Vakuumblätter unverändert gelb.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Versuch b) (am 1. März 1906).

Scorzonera hispanica. Etiolierte Blätter wie oben.

Temperatur 15° C.
Druck 13,5 *mm*.

Dazu sauerstofffreie Kohlensäure unter allen Vorsichtsmassregeln gelassen, bis der Druck 55 *mm* betrug; schon am nächsten Tag trat deutliches Ergrünen ein; viel grösser darf, soweit ich jetzt übersehen kann, der Partialdruck der Kohlensäure nicht sein, denn als ich ihn bis 61 *mm* steigerte, unterblieb das Ergrünen wieder. Dass es aber bei niedrigerem Druck möglich ist, wurde ausser allen Zweifel gestellt. Etiolierte Blätter können also unter bestimmten Verhältnissen assimilieren und dabei den zur Chlorophyllbildung nötigen Sauerstoff selbst erzeugen. Die mit Hilfe der Bakterienmethode gewonnenen Resultate erhalten durch vorliegende Versuche eine willkommene Bestätigung. In der Natur wird die Pflanze, wie ich in einer besonderen Abhandlung über das „Ergrünen" mitteilen werde, von dem mit Hilfe der Karotinassimilation produzierten Sauerstoffe zur Chlorophyllbildung selten Gebrauch zu machen haben, weil ihr meist genügend Luftsauerstoff zur Verfügung steht. Wenn sie aber, wie aus obigem Versuche hervorgeht, vor der Chlorophyllbildung bloss mittels Karotins Kohlensäure zu zerlegen und Sauerstoff abzuspalten vermag, so liegt kein Grund dafür vor, ihm diese Fähigkeit auch später nach der Chlorophyllbildung abzusprechen. Nun könnte man freilich annehmen, dass im etiolierten Blatt ein anderer Farbstoff die Assimilation verrichte; allein ich habe schon früher die Ansicht vertreten, dass die etiolierten Blätter ihre Farbe in der Hauptsache dem Karotin verdanken. Ich habe diesen Gegenstand nochmals bearbeitet und komme wieder zu dem Resultate, dass neben viel Karotin nur relativ geringe Mengen von Xanthophyll im etiolierten Blatte enthalten sind, sonst nichts an Farbstoff. Reine Lösungen des Farbstoffs etiolierter Blätter, die niemals einen Lichtstrahl empfangen haben, weisen bei spektroskopischer und chemischer Untersuchung keinen anderen Farbstoff auf. Das Absorptionsspektrum ist das Karotinspektrum mit seinen drei Streifen im Blauviolett, über das sich ein leichtes Xanthophyllabsorptionsspektrum legt. Ich habe diese Prüfung im grossen Massstab, d. h. mit reichem Material unternommen (Auszüge aus den Blättern von etwa 120 etiolierten *Pisum*-Pflanzen, aus 65 grossen etiolierten Blättern von *Scorzonera hispanica* usw.), immer mit demselben Erfolg; da ich mich der besten Spektralapparate bei meinen Untersuchungen bedienen konnte (ZEISS, SCHMIDT und HAENSCH) und die Beobachtungen oft wiederholte, kann von einem Irrtume kaum die Rede sein. Es ist mir daher

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

unerklärlich, wie MONTEVERDE[1]) zu seinem komplizierten Etiolinspektrum mit Streifen beiderseits von D kommen konnte. Ich komme auf diesen Gegenstand ausführlich an anderem Orte zurück. Etiolin gibt es nicht, und, wie ich schon in meinem Karotinbuche behauptete, verdanken die Chromatophoren der etiolierten Blätter ihre Farbe ausschliesslich dem Karotin und dem Xanthophyll.

Sollte sich bewahrheiten, was TSCHIRCH[2]) neuerdings behauptete, dass nämlich Xanthophyll aus Karotin hervorgehe oder Karotin sich in Xanthophyll (mit blasser Endabsorption in der blauen Spektralhälfte) umwandle, was ich nach eigenen Beobachtungen nicht für unmöglich, ja sogar für wahrscheinlich halten möchte, so würde sich die Sachlage noch wesentlich vereinfachen. Soviel aber ist sicher, dass die gelben Farbstoffe im etiolierten Blatt nichts weniger sind, als etwa Vorstufen oder Muttersubstanz für das Chlorophyll, als welche man doch irrtümlicherweise das hypothetische Etiolin immer und immer wieder hinzustellen versucht hat. Das Chlorophyll entsteht neben den gelben Farbstoffen, die, wie ich ermitteln konnte, während des Ergrünens zunehmen können, während sie doch quantitativ abnehmen müssen, wenn sie gleichsam das Material für Chlorophyll darstellten. Gegen eine solche Vorstellung, der, wie ich glaube, schon meine früheren Untersuchungen den Boden geraubt haben, spricht auch die total verschiedene chemische Konstitution von Chlorophyll und Karotin, über die wir freilich noch längst nicht alles wissen, so viel aber doch, um den soeben bezeichneten genetischen Zusammenhang mehr als unwahrscheinlich erscheinen zu lassen. Die Karotinforschung wird mit Phytosterinforschung, das Chlorophyllproblem mit dem Lecithinproblem auf immer verbunden sein und Protochlorophyll (MONTEVERDE) oder Protophyllin (TIMIRIASEFF), die so sehnlichst gesuchten Vorstufen des Chlorophylls, wird man anderswo zu suchen haben, als im nun endlich zu Grabe getragenen Etiolin und in dem an seine Stelle gerückten Karotin und Xanthophyll. Es liegt kein Bedenken, wohl aber mancher Hinweis dafür vor, die direkte Vorstufe des Chlorophylls für farblos zu halten.

---

1) N. A. MONTEVERDE, Über das Protochlorophyll. Acta Horti Petropolitani, Vol. XIII. No. 11. 1894.

2) A. TSCHIRCH, Vergleichende spektralanalytische Untersuchungen der natürlichen und künstlichen Farbstoffe mit Hilfe des Quarzspektrographen. Ber. der D. Bot. Gesellsch. Bd. XXII. 1904, S. 414.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft

Jahr/Year: 1906

Band/Volume: 24

Autor(en)/Author(s): Kohl Friedrich Georg

Artikel/Article: Die assimilatorische Funktion des Karotins und das zweite Assimilationsmaximum bei F. 222-229