

Phyton (Austria)	Vol. 24	Fasc. 2	283—293	30. 9. 1984
------------------	---------	---------	---------	-------------

Carotinoide in Fichtennadeln I. Qualitative Untersuchungen

Von

Hartwig W. PFEIFHOFER *) und Dieter GRILL

Mit 2 Abbildungen

Eingelangt am 6. Juli 1983

Key words: *Picea abies*, spruce, carotenes, xanthophylls

Summary

PFEIFHOFER W. & GRILL D. 1984. Carotenoids in spruce needles I. Qualitative investigations. — *Phyton (Austria)* 24 (2): 283—293, with 2 figures. — German with English Summary.

As a preliminary work the carotenoid composition of needles of Norway spruce (*Picea abies* [L.] KARSTEN) was investigated. The pigments were isolated from acetone needle-extracts by means of thin layer chromatography. Identification was carried out by spectrophotometry and chemical reactions. All samples contained α -carotene, β -carotene, violaxanthin, lutein and neoxanthin. Sometimes antheraxanthin and zeaxanthin also were part of the carotenoid pattern. Luteoxanthin and luteoxanthin neo U, which appeared only in few chromatograms, seem to be artificial products. Needles infected by the frust fungus *Chrysomyxa abietis* (WALLR.) UNGER contain γ -carotene, which is synthesized by the fungus itself.

Spectral data both of natural carotenoids occurring in spruce needles and of artificial carotenoids obtained by chemical reactions are given in tables.

Zusammenfassung

PFEIFHOFER W. & GRILL D. 1984. Carotinoide in Fichtennadeln I. Qualitative Untersuchungen. — *Phyton (Austria)* 24 (2): 283—293, mit 2 Abbildungen. — Deutsch mit englischer Zusammenfassung.

*) Dr. Hartwig W. PFEIFHOFER und Prof. Dr. Dieter GRILL, Institut für Pflanzenphysiologie der Karl-Franzens-Universität Graz, Schubertstraße 51, A-8010 Graz, Austria.

Als Vorarbeit zu quantitativen Untersuchungen wurde das Carotinoidmuster von Fichtennadeln (*Picea abies* [L.] KARSTEN) qualitativ untersucht. Mittels Dünnschichtchromatographie wurden die Pigmente aus Acetonextrakten der Nadeln isoliert und anhand spektraler Eigenschaften sowie chemischer Reaktionen identifiziert.

Alle Proben enthielten α -Carotin, β -Carotin, Violaxanthin, Lutein und Neoxanthin, einige auch Antheraxanthin und Zeaxanthin. Luteoxanthin und Luteoxanthin Neo U, welche nur in wenigen Chromatogrammen aufschienen, wurden offensichtlich in vitro gebildet. Fichtennadeln, die vom Rostpilz *Chrysomyxa abietis* (WALLR.) UNGER infiziert sind enthalten γ -Carotin; dieses wird jedoch nicht von Chloroplasten der Fichtennadeln, sondern vom Rostpilz selbst synthetisiert.

Zahlenwerte von Absorptionsmaxima der in Fichtennadeln natürlich vorkommenden Carotinoide als auch ihrer Reaktionsprodukte werden in Tabellen zusammengefaßt.

1. Einleitung

Von den Plastidenpigmenten wurden die Carotinoide in Fichtennadeln noch nicht so ausführlich untersucht wie z. B. die Chlorophylle. Bei quantitativen Untersuchungen werden die gelben Pigmente überdies oft nur in ihrer Gesamtheit erfaßt; über die qualitative Zusammensetzung der Carotinoide in Koniferen liegen widersprüchliche Literaturangaben vor. Diese Arbeit setzt sich zum Ziel, Fragen zur Methodik zu klären und das Carotinoidmuster von Fichtennadeln qualitativ zu untersuchen, um so die Grundlagen für quantitative Untersuchungen zu erarbeiten.

2. Material und Methodik

Alle Nadelproben stammen von Fichten (*Picea abies* [L.] KARSTEN) aus der Umgebung von Graz, wobei der Großteil in einer ungefähr 20jährigen Aufforstung eines Südhanges gesammelt wurde.

2.1 Isolierung der Pigmente

Die Extraktion der Pigmente und ihre dünnschichtchromatographische Isolierung erfolgte weitgehend nach HAGER & MEYER-BERTENRATH (1966). Die Methode braucht daher an dieser Stelle nicht beschrieben zu werden, ausgenommen einige Modifikationen, die sich als besonders vorteilhaft erwiesen.

Nadelmaterial bis zu 2 g wurde in einer Porzellanschale unter Zugabe von Quarzsand und CaCO_3 fein zermahlen und mit vorgekühltem Aceton bei $+4^\circ\text{C}$ extrahiert. Nadelmengen zwischen 2 und 10 g wurden mit dem Ultra-Turrax-Homogenisator (TP 18/10, JANKE & KUNKEL) fein zerrieben. Ein Edelstahlbecher, der die Nadelprobe, etwas CaCO_3 und Aceton enthielt, tauchte beim Zerreiben in ein Kühlbad (Äthanol—Glycerin 1 : 1, -20°C).

Die Pigmente nach HISCOX & ISRAELSTAM 1979 zu extrahieren, indem klein zerschnittene Fichtennadeln in Dimethylsulfoxid gelegt werden, erwies sich hinsichtlich der Pigmentausbeute gegenüber Acetonextrahierungen als unterlegen und wurde daher nicht angewendet.

Weil in absterbendem Blattgewebe Xanthophylle mit Fettsäuren Ester bilden (GOODWIN 1980), war es erforderlich, die Pigmentextrakte vergilbender Fichtennadeln zu verseifen. Dazu wurden die Pigmente in 10%ige methanolische KOH-Lauge übergeführt und unter einer N₂-Atmosphäre 24 Std. bei 20° C stehen gelassen. Im Scheidetrichter wurden hierauf die Pigmente in Diäthyläther p. a. (Merck) übergeführt. Die über Na₂SO₄ getrocknete Ätherphase wurde anschließend mit Hilfe eines Rotavapors eingedampft, die Pigmente in Aceton gelöst und auf die Dünnschichten übertragen.

Die Dünnschicht für die Carotin- und Xanthophylltrennungen setzte sich wie bei HAGER & MEYER-BERTENRATH 1966 zusammen. Da jedoch zur Optimierung der Trennleistung die Suspension der Sorbenzien mit dem Ultra-Turrax-Homogenisator verrührt wurde, mußte wegen der erhöhten Adsorptionskraft der Schicht der Acetonanteil im Laufmittel für Xanthophylltrennungen verdoppelt werden (vgl. STRANSKY 1978). Keiner Änderung bedurften hingegen die Laufmittelmische für Carotintrennungen und die weiteren Präparationsschritte.

Als Vorsichtsmaßnahme gegen Photooxidation der Pigmente genügt die Verarbeitung der Nadelproben im diffusen Licht des Labors. Auf jeden Fall empfiehlt es sich aber, die Chromatographiekammern mit lichtundurchlässiger Folie zu umwickeln.

2.2 Identifizierung der Pigmente

R_f-Werte der Pigmentbanden sind bei selbstbeschichteten DC-Platten nur schlecht reproduzierbar (DAVIES 1976), weshalb darauf verzichtet wurde, R_f-Werte zu errechnen. Allerdings gelang es häufig, die einzelnen Pigmentbanden bereits auf Grund ihrer relativen Lage im Chromatogramm anzusprechen, zumal auch HAGER & MEYER-BERTENRATH 1966, 1967 sowie HAGER & STRANSKY 1970 a ausführlich darüber berichten (vgl. Abb. 1 + 2). Dennoch wurde die Identität der Farbstoffbanden immer an Hand ihrer spektralen Eigenschaften und durch chemische Reaktionen verifiziert.

Die Absorptionsspektren der Pigmente im sichtbaren Licht wurden mit einem Spektralphotometer (Beckmann, Modell 25) mit gekoppeltem Schreibgerät aufgezeichnet. Waren die Wellenlängen maximaler Lichtabsorption bestimmt und der Prozent-III/II-Wert nach LIAAEN-JENSEN 1962 (vgl. KE & al. 1970) errechnet, wurde beides mit Literaturangaben verglichen (vgl. Tab. 1, 2, 3).

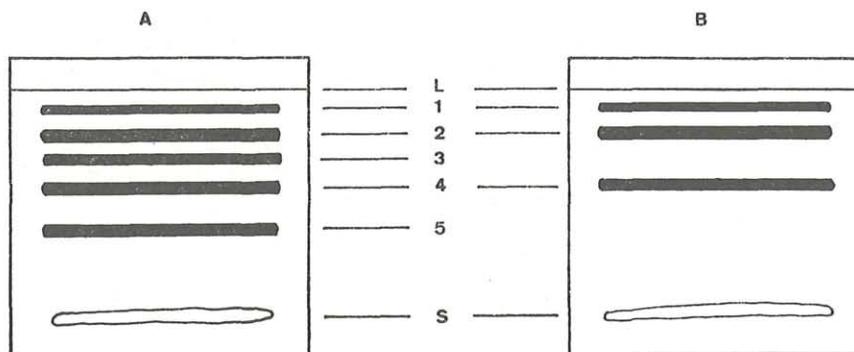


Abb. 1. Lage der Carotine auf der Dünnschichtplatte

A: nach HAGER & MEYER-BERTENRATH 1967

B: eigene Auftrennung

L = Laufmittelfront

1 = α -Carotin, 2 = β -Carotin, 3 = ζ -Carotin, 4 = γ -Carotin, 5 = Lycopin,
S = Startlinie

(Laufmittel Benzin : Benzol : Aceton 40 : 10 : 1)

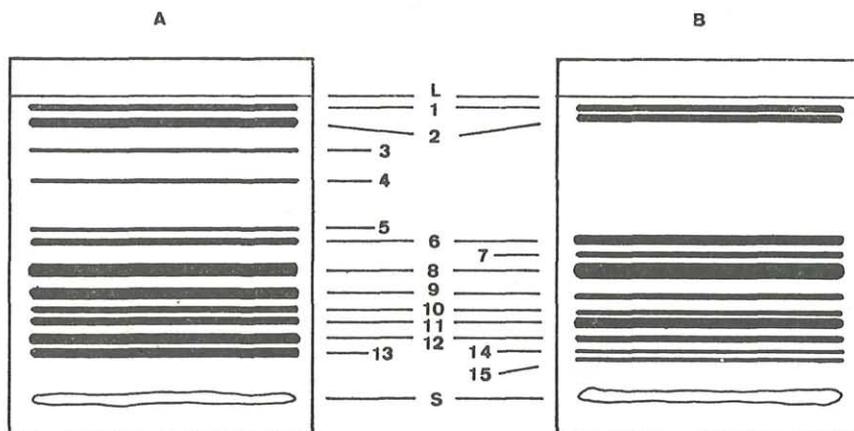


Abb. 2. Lage der Carotinoide auf der Dünnschichtplatte

A: nach HAGER & MEYER-BERTENRATH 1967

B: eigene Auftrennung

L = Laufmittelfront

1 = α -Carotin, 2 = β -Carotin, 3 = α -Carotin-5,6-epoxid, 4 = α -Cryptoxanthin, 5 = Lutein-5,6-epoxid, 6 = Violaxanthin, 7 = γ -Carotin, 8 = Lutein, 9 = Antheraxanthin, 10 = Neoxanthin Neo A, 11 = Neoxanthin, 12 = Zeaxanthin, 13 = Rhodoxanthin, 14 = Luteoxanthin, 15 = Luteoxanthin Neo U,
S = Startlinie

(Laufmittel Aceton : Benzin : Chloroform 8 : 4 : 3)

Tabelle 1
Absorptionsmaxima und III/II-Werte der im Text erwähnten Carotine
(gelöst in Chloroform)

Pigment	Absorptionsmaxima (nm)			III/II (%)	Autor(en) ¹⁾
α -Carotin	—	454	485		8)
	434	456	485		5)
	433	456	484		3)
	432	456	484	56	eigene Messung
β -Carotin	—	464	489		5)
	(438)	462	487		11)
	435	461	485		3)
	—	463	489		eigene Messung
γ -Carotin	443	470	502		1)
	450	473	502		5)
	(449)	472	504		7)
	449	473	504	34	eigene Messung

¹⁾ Autoren zu Tabelle 1–3: 1) = BACCARINI, BERTOSSI & BAGNI 1965; 2) = COSTES & MONTIES 1977; 3) = DAVIES 1976; 4) = FOPPEN 1971; 5) = HAGER & MEYER-BERTENTATH 1967; 6) = HAGER & STRANSKY 1970 a; 7) = HAGER & STRANSKY 1970 b; 8) = KARRER & JUCKER 1948; 9) = KARRER & RUTSCHMANN 1944; 10) = SIEFERMANN-HARMS, *et al.* 1981; 11) = STRANSKY & HAGER 1970.

Von den chemischen Reaktionen spielte der Nachweis von 5,6-Epoxidgruppen die größte Rolle. Nach Zugabe eines Tropfens HCl in die Spektralphotometercuvette, die bereits eine äthanolische Lösung des zu überprüfenden Carotinoids enthält, reagieren 5,6-Epoxi-Carotinoide zu isomeren 5,8-Epoxiden. Pro umgesetzter Epoxidgruppe verschieben sich die Maxima der Lichtabsorption um 17 bis 22 nm zu kürzeren Wellenlängen.

Reaktionen zum Nachweis von Carbonyl- und allylständigen Hydroxylgruppen wurden nach DAVIES, 1976 durchgeführt. Da sie bei unseren Untersuchungen nur eine untergeordnete Rolle spielen, wird hier nicht näher darauf eingegangen.

Zur Identifizierung von γ -Carotin, das in rostpilzbefallenen Fichtennadeln auftritt, wurden folgende Methoden herangezogen: Vergleichschromatographie mit einer authentischen γ -Carotinprobe, Absorptionsspektren des Pigmentes in mehreren Lösungsmitteln, chemi-

Tabelle 2
Absorptionsmaxima und III/II-Werte der im Text erwähnten Xanthophylle
(gelöst in Äthanol)

Pigment	Absorptionsmaxima			III/II (%)	Autor(en) ¹⁾
	(nm)				
Violaxanthin	417	441	471		5)
	417	440	469	93	11)
	416	440	470		10)
	416	440	470	93	eigene Messung
Lutein	422	446	475		5)
	422	445	474	62	6)
	420	445	475		4)
	422	445	473	61	eigene Messung
Antheraxanthin	—	446	474		5)
	422	444	472	54	11)
	421	443	473		4)
	419	443	472	46 *	eigene Messung
Neoxanthin Neo A	416	439	468		5)
	416	439	468	89	11)
	416 bzw. 412	439	468		eigene Messung
	412	434	462		eigene Messung
Neoxanthin	415	438	467		5)
	414	437	464		11)
	415	438	467		3)
	413	437	466	82	eigene Messung
Zeaxanthin	(425)	451	479		5)
	(428)	450	478	26	11)
	425	451	482		4)
	425	450	477	24	eigene Messung

¹⁾ Autoren zu Tabelle 1–3: 1) = BACCARINI, BERTOSSI & BAGNI 1965; 2) = COSTES & MONTIES 1977; 3) = DAVIES 1976; 4) = FOPPEN 1971; 5) = HAGER & MEYER-BERTENTATH 1967; 6) = HAGER & STRANSKY 1970 a; 7) = HAGER & STRANSKY 1970 b; 8) = KARRER & JUCKER 1948; 9) = KARRER & RUTSCHMANN 1944; 10) = SIEFERMANN-HARMS *et al.* 1981; 11) = ŠTRANSKY & HAGER 1970.

* Unsicherer Wert, weil nur wenige Meßdaten zur Verfügung stehen.

Tabelle 3

Absorptionsmaxima und % III/II-Werte der im Text erwähnten Reaktionsprodukte natürlicher Xanthophylle (gelöst in Äthanol)

Pigment	Absorptionsmaxima (nm)			III/II (%)	Autor(en) ¹⁾
Luteoxanthin	396	420	446		7)
	397	421	448		eigene Messung
Luteoxanthin Neo U	396	419	446		7)
	397	421	448		eigene Messung
Auroxanthin	381	402	427		3)
	378	400	425		2)
	380	401	426	93	10)
	379	400	425	92	eigene Messung
Mutatoxanthin	—	427	457		9)
	—	426	453		5)
	402	424	447		eigene Messung
Neochrom	397	420	447		7)
	401	422	451		3)
	397	422	449	84	eigene Messung

¹⁾ Autoren zu Tabelle 1-3: 1) = BACCARINI, BERTOSSI & BAGNI 1965; 2) = COSTES & MONTIES 1977; 3) = DAVIES 1976; 4) = FOPPEN 1971; 5) = HAGER & MEYER-BERTENTATH 1967; 6) = HAGER & STRANSKY 1970 a; 7) = HAGER & STRANSKY 1970 b; 8) = KARRER & JUCKER 1948; 9) = KARRER & RUTSCHMANN 1944; 10) = SIEFERMANN-HARMS *et al.* 1981; 11) = STRANSKY & HAGER 1970.

sche Nachweisreaktionen und IR-Spektrum. Weitere Einzelheiten, die an dieser Stelle nicht erwähnt werden können, beschreibt PFEIFHOFER 1982.

Die Benennung der Carotinoide folgt den internationalen Nomenklaturregeln und wurde STRAUBS Liste natürlicher Carotinoide (STRAUB 1976) entnommen.

3. Ergebnisse und Besprechung

α -Carotin (β , ϵ -Carotin), β -Carotin (β , β -Carotin), Violaxanthin (5, 6, 5', 6'-Diepoxy-5, 6, 5', 6'-tetrahydro- β , β -carotin-3, 3'-diol), Lutein (β , ϵ -Carotin-3, 3'-diol) und Neoxanthin (5', 6'-Epoxy-6, 7-didehydro-5, 6, 5', 6'-tetrahydro- β , β -carotin-3, 5, 3'-triol) konnten in allen Nadelproben der Fichte bereits durch ihre Lage im Chromatogramm und die Ab-

sorptionsspektren nachgewiesen werden (Tab. 1 + 2). Die zusätzlich durchgeführten Nachweisreaktionen verliefen bei α - und β -Carotin sowie bei Lutein erwartungsgemäß negativ. Die beiden 5,6-Epoxidgruppen des Violaxanthins isomerisierten in Anwesenheit von HCl zu furanoiden 5,8-Epoxidgruppen. Die Maxima des Reaktionsproduktes Auroxanthin (5,8,5',8'-Diepoxy-5,8,5',8'-tetrahydro- β , β -carotin-3,3'-diol) sind um rund 40 nm zu kürzeren Wellenlängen verschoben (Tabelle 1). Analog reagierte bei HCl-Anwesenheit das 5,6-Epoxid Neoxanthin zum 5,8-Epoxid Neochrom (5'8'-Epoxy-6,7-didehydro-5,6,5',8'-tetrahydro- β , β -carotin-3,5,3'-triol). Neoxanthin trennte sich bei der Chromatographie häufig in zwei Stereoisomere auf. HAGER & MEYER-BERTENRATH 1967, STRANSKY & HAGER 1970 und HAGER & STRANSKY 1970 a machten die gleiche Beobachtung. Sie stellten auch fest, keine der beiden Verbindungen könne als all-trans-Form bezeichnet werden. Das im Chromatogramm höherlaufende Pigment, das von HAGER & MEYER-BERTENRATH 1967 als Neoxanthin Neo A bezeichnet wird, machte in den Extrakten immer nur ein Viertel bis ein Fünftel des tieferlaufenden Isomeren aus. Einige Male trat an die Stelle des Neoxanthin Neo A ein Isomeres, dessen Absorptionsmaxima um rund 5 nm zu kürzeren Wellenlängen verschoben waren (Tab. 2), was ebenfalls bezeichnend für cis-isomere Carotinoide ist (DAVIES 1976, GOODWIN 1980). Während HAGER & MEYER-BERTENRATH 1967 behaupten, daß die Stereoisomere des Neoxanthins bereits in den Pflanzen vorliegen, schwächen STRANSKY & HAGER 1970 diese Aussage ab, weil sie bei jedem Chromatographieschritt eine Isomerisierung beobachteten. Genaue Untersuchungen haben auch ergeben, daß viele der bei Pflanzenanalysen gefundenen cis-Carotinoide auf Grund mangelhafter Sicherheitenvorkehrungen bei der Probenverarbeitung in vitro gebildet wurden (GOODWIN 1980). Deshalb wurden die Neoxanthin-Stereoisomere von uns als eine einheitliche Pigmentbande betrachtet.

Zuweilen konnten geringe Mengen Antheraxanthin (5,6-Epoxy-5,6-dihydro- β , β -carotin-3,3'-diol) und Zeaxanthin (β , β -Carotin-3,3'-diol) in Fichtennadeln nachgewiesen werden. Erwartungsgemäß bildete sich beim HCl-Test aus Antheraxanthin Mutatoxanthin (5,8-Epoxy-5,8-dihydro- β , β -Carotin-3,3'-diol), wogegen Zeaxanthin mangels einer 5,6-Epoxidgruppe unverändert blieb.

Mit β -Carotin, Violaxanthin, Lutein und Neoxanthin wurden tatsächlich jene 4 Carotinoide aus Fichtennadeln isoliert, die laut GOODWIN 1980 in sämtlichen höher organisierten Pflanzen vorkommen sollen. GOODWIN 1980 nennt α -Carotin, Zeaxanthin, Antheraxanthin, Lutein-5,6-epoxid (5,6-Epoxy-5,6-dihydro- β , ϵ -Carotin-3,3'-diol), β -Cryptoxanthin (β , β -Carotin-3-ol) und noch ein paar andere Carotinoide als häufige Begleitpigmente. Von diesen konnten wir α -Carotin in allen Nadelproben nachweisen, gelegentlich aber auch Antheraxanthin und

Zeaxanthin. Genau genommen müßten Zeaxanthin und Antheraxanthin eigentlich zum Carotinoid-Grundmuster gezählt werden, weil sie in den Chloroplasten bei Umweltbedingungen ständig aus Violaxanthin gebildet werden („Xanthophyllzyklus“) (HAGER 1975, SIEFERMANN-HARMS 1977), was auch in Fichtennadeln festgestellt werden konnte (GRILL & PFEIFHOFER 1984).

In Ausnahmefällen erschienen Luteoxanthin (5, 6, 5', 8'-Diepoxy-5, 6, 5', 8'-tetrahydro- β , β -carotin-3, 3'-diol) und Luteoxanthin Neo U in geringer Konzentration im Chromatogramm (Abb. 2). Luteoxanthin entsteht aus Violaxanthin durch Umlagerung einer 5, 6-Epoxidgruppe in die furanoide Form. Luteoxanthin Neo U ist ein cis-Isomer des Luteoxanthins (HAGER & STRANSKY 1970 b). Luteoxanthin reagiert mit HCl zu Auroxanthin. Keines der beiden Carotinoide konnte bisher in Blättern höherer Pflanzen nachgewiesen werden (GOODWIN 1980). In den Pigmentextrakten wurden sie wahrscheinlich in vitro aus Violaxanthin gebildet, denn luteoxanthinhaltige Extrakte enthielten bedeutend weniger Violaxanthin als vergleichbare Extrakte, in denen sich kein Luteoxanthin befand. Zudem verweisen DAVIES 1976, MOSS & WEEDON 1976 und andere Autoren auf die Instabilität vieler Carotinoide, insbesondere der Epoxicarotinoide.

Auf Grund unserer Untersuchungen scheint das Carotinoidmuster von Fichtennadeln erstmals vollständig erfaßt worden zu sein. Denn wie bereits angedeutet, können auch ausführlichere Arbeiten über die Carotinoidgarnitur von Fichtennadeln nicht ganz zufriedenstellen. So erwähnt KOCH 1976 Violaxanthin und Neoxanthin im Zusammenhang mit Fichtennadeln überhaupt nicht. GOODWIN 1980 vermerkt aber, daß Mutanten, denen eines der 4 Hauptcarotinoide fehlt, bei ungünstigen Umweltbedingungen nicht überleben können. KOCH 1976 will andererseits aus Fichtennadeln immer gleich viel Zeaxanthin wie Lutein isoliert haben, was uns jedoch ebenfalls als unwahrscheinlich erscheint (vgl. GRILL & PFEIFHOFER 1984). IDA 1981 untersuchte das Pigmentmuster von 32 Gymnospermen — darunter auch jenes der Fichte —, fand aber offensichtlich weder Zeaxanthin noch Antheraxanthin in den Probehäumen.

Schließlich sei noch auf eine Besonderheit hingewiesen: Fichtennadeln, die von dem Rostpilz *Chrysomyxa abietis* (WALL.) UNGER infiziert sind, enthalten γ -Carotin. Wie GRILL, PFEIFHOFER & ESTERBAUER 1984 jedoch darlegen, wird dieses Pigment nicht von den Chloroplasten der Fichtennadeln, sondern vom Rostpilz selbst synthetisiert.

4. Schrifttum

BACCARINI A., BERTOSSI F. & BAGNI N. 1965. Carotenoid pigments in the stem of *Cuscuta australis*. — *Phytochemistry* 4: 349—351.

- COSTES C. & MONTIES B. 1977. Spectroscopic effects of reactions between electrophilic reagents and epoxycarotenoids violaxanthin and neoxanthin. — *Physiol. Vég.* 15: 667—678.
- DAVIES B. H. 1976. Carotenoids. — In: GOODWIN T. W. (Ed.), *Chemistry and biochemistry of plant pigments 2*: 38—165. — Acad. Press, London — New York — San Francisco.
- FOPPEN F. H. 1971. Tables for the identification of carotenoid pigments. — *Chromatogr. Rev.* 14: 133—298.
- GOODWIN T. W. 1980. *The biochemistry of the carotenoids. Vol. I: Plants.* — Chapman and Hall, London — New York.
- GRILL D. & PFEIFHOFER W. 1984. Carotinoide in Fichtennadeln II. Quantitative Untersuchungen. — *Phyton (Austria)* (im Druck).
- , — & ESTERBAUER H. 1984. Carotenoids in *Chrysomyxa abietis* infected spruce needles. — *Cur. J. FDR. Pathol.* (im Druck).
- HAGER A. 1975. Die reversiblen, lichtabhängigen Xanthophyllumwandlungen im Chloroplasten. — *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* 88: 27—44.
- & MEYER-BERTENRATH T. 1966. Die Isolierung und quantitative Bestimmung der Carotinoide und Chlorophylle von Blättern, Algen und isolierten Chloroplasten mit Hilfe dünn-schichtchromatographischer Methoden. — *Planta* 69: 198—217.
- & — 1967. Die Identifizierung der an Dünnschichten getrennten Carotinoide grüner Blätter und Algen. — *Planta* 76: 149—168.
- & STRANSKY H. 1970 a. Das Carotinoidmuster und die Verbreitung des lichtinduzierten Xanthophyllcyclus in verschiedenen Algenklassen III. Grünalagen. — *Arch. Mikrobiol.* 72: 68—83.
- & — 1970 b. Das Carotinoidmuster und die Verbreitung des lichtinduzierten Xanthophyllcyclus in verschiedenen Algenklassen V. Einzelne Vertreter der *Cryptophyceae*, *Euglenophyceae*, *Bacillariophyceae*, *Chrysophyceae* und *Phaeophyceae*. — *Arch. Mikrobiol.* 73: 77—89.
- HISCOX J. D. & ISRAELSTAM G. F. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. — *Can. J. Bot.* 57: 1332—1334.
- IDA K. 1981. Eco-physiological studies on the response of taxodiaceous conifers to shading, with special reference to the behavior of leaf pigments 1. Distribution of carotenoids in green and autumnal reddish brown leaves of gymnosperms. — *Bot. Mag. Tokyo* 94 (1033): 41—54.
- KARRER P. & JUCKER E. (Eds.) 1948. *Carotinoide.* — Birkhäuser, Basel.
- & RUTSCHMANN J. 1944. Über Violaxanthin, Auroxanthin und andere Pigmente der Blüten von *Viola tricolor*. — *Helv. Chim. Acta* 27: 1684—1690.
- KE B., MSGARD F., KJØSEN H. & LIAAEN-JENSEN S. 1970. Electronic spectra of carotenoids at 77° K. — *Biochim. Biophys. Acta* 210: 139—152.
- KOCH W. 1976. Blattfarbstoffe von Fichte (*Picea abies* [L.] KARST.) in Abhängigkeit von Jahresgang, Blattalter und -typ. — *Photosynthetica* 10: 280—290.
- LIAAEN-JENSEN S. 1962. The constitution of some bacterial carotenoids and their bearing on biosynthetic problems. — *Kgl. Norske Videnskab. Selskabs. Skrifter* 8.

- MOSS G. P. & WEEDON B. C. L. 1976. Chemistry of the carotenoids. — In: GOODWIN T. W. (Ed.), Chemistry and biochemistry of plant pigments 1: 149—224. — Academic Press, London—New York—San Francisco.
- PFEIFHOFFER W. 1982. Carotinoide und Chlorophylle in Fichten- und Lärchen-nadeln. — Diss. Graz.
- SIEFERMANN-HARMS D. 1977. The xanthophyll-cycle in higher plants. — In: TEVINI M. & LICHTENTHALER H. K. (Eds.), Lipids and lipid polymeres in higher plants, p. 218—230. — Springer, Berlin—Heidelberg—New York.
- , HETZBERG S., BORCH G. & LIAAEN-JENSEN S. 1981. Lactucaxanthin, an ϵ,ϵ -carotene-3,3'-diol from *Lactuca sativa*. — Phytochemistry 20: 85—88.
- STRANSKY H. 1978. Die quantitative Bestimmung von Chloroplastenpigmenten im picomol-Bereich mit Hilfe einer isochratischen HPLC-Methode. — Z. Naturforsch. 33 c: 836—840.
- STRANSKY H. & HAGER A. 1970. Das Carotinoidmuster und die Verbreitung des lichtinduzierten Xanthophyllcyclus in verschiedenen Algenklassen II. *Xanthophyceae*. — Arch. Mikrobiol. 71: 164—190.
- STRAUB O. (Ed.) 1976. Key to carotenoids: Lists of natural carotenoids. — Birkhäuser, Basel—Stuttgart.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Phyton, Annales Rei Botanicae, Horn](#)

Jahr/Year: 1984

Band/Volume: [24_2](#)

Autor(en)/Author(s): Pfeifhofer Hartwig Wilfried, Grill Dieter

Artikel/Article: [Carotinoide in Fichtennadeln I., Quantitative Untersuchungen. 283-293](#)