

Phyton (Austria)	Vol. 18	Fasc. 3-4	127-135	18. 5. 1978
------------------	---------	-----------	---------	-------------

Stabilisierung von Sulfhydrylverbindungen in Pflanzenextrakten durch Ascorbinsäure

Von

Dieter GRILL *), Hermann ESTERBAUER **) und Ruth WELT *)

Aus den Instituten für Anatomie und Physiologie der Pflanzen sowie für
Biochemie der Universität Graz

Mit 1 Abbildung

Eingelangt am 28. Januar 1977

Zusammenfassung

Es wurden die Faktoren untersucht, die die Stabilität von SH-Verbindungen (Glutathion, Cystein) in Fichtennadelextrakten beeinflussen. Die in den Extrakten vorhandenen Phenoloxidasen oxydieren die ebenfalls anwesenden Polyphenole zu Chinonen, die durch Ascorbinsäure aber sofort wieder zu den entsprechenden Phenolen reduziert werden. Erst wenn durch diesen Prozeß die Ascorbinsäure vollkommen verbraucht ist, häufen sich die Chinone an. Die Chinone reagieren nun in einer irreversiblen, nicht-enzymatischen Reaktion mit den SH-Verbindungen und es setzt eine schnelle Abnahme der SH-Konzentration ein. Ascorbinsäure übt daher eine Schutzwirkung auf SH-Verbindungen aus und Glutathion und Cystein bleiben in Pflanzenextrakten umso länger stabil, je größer der Ascorbinsäuregehalt der Lösung ist. Allgemein sollten Pflanzenextrakte, in denen SH-Verbindungen bestimmt werden, mit 0,15% wässriger Ascorbinsäure hergestellt werden.

Summary

The factors influencing the stability of SH-compounds in spruce needles (*Picea abies*) extracts were investigated. Phenoloxidasases present in the extract oxidize polyphenols to quinones which in turn are immediately reduced to the parent phenols by ascorbic acid. Only when ascorbic acid

*) Dr. Dieter GRILL, Ruth WELT, Institut für Anatomie und Physiologie der Pflanzen, Schubertstraße 51, A-8010 Graz.

**) Dr. Hermann ESTERBAUER, Institut für Biochemie, Halbärthgasse 5, A-8010 Graz.

is completely consumed by this process quinones may accumulate and react in an irreversible, non enzymatic reaction with the SH-compounds leading to a rapid fall in the SH-concentration. The higher the ascorbic acid content of the extract the more stable are the SH-compounds. Accordingly ascorbic acid exerts a protecting action on SH-compounds and it is recommended to use a 0,15% aqueous solution of ascorbic acid for preparing plant extracts in which SH-compounds should be analyzed.

1. Einleitung

Verbindungen mit Sulfhydrylgruppen (SH-Gruppen), wie Glutathion, Cystein und SH-Proteine, spielen bei sehr vielen biochemischen und physiologischen Prozessen eine wesentliche Rolle und sind daher essentiell für alle tierischen und pflanzlichen Zellen (FLOHE *et al.* 1974, ESTERBAUER 1975, KROHNE-EHRICH & UNTUCHT-GRAU 1976). Während bei tierischem Material die quantitative Bestimmung der SH-Gruppen im allgemeinen problemlos ist, können bei pflanzlichem Material erhebliche Schwierigkeiten auftreten, weil die SH-Verbindung in den Homogenaten zum Teil schnell verändert werden.

Bei der Untersuchung von Fichtennadeln wurde die Erfahrung gemacht, daß Glutathion und Cystein in den Nadelhomogenaten zwar wesentlich weniger stabil ist als in einer Pufferlösung gleichen pH-Wertes, daß jedoch ihre Konzentration innerhalb von 30 Minuten in der Regel nicht meßbar abnimmt, sodaß eine quantitative Bestimmung bei den meisten Nadelproben möglich war (GRILL & ESTERBAUER 1973a). In manchen Nadelhomogenaten und in den Homogenaten vieler anderer immergrüner Pflanzen war Glutathion so instabil, daß eine Glutathionanalyse nicht möglich war. In dieser Arbeit wird gezeigt, daß für die Stabilität von SH-Verbindungen in Pflanzenextrakten der Ascorbinsäuregehalt der Lösung entscheidend ist.

2. Material und Methode

2.1. Allgemeines

Die Herstellung der Extrakte und die SH-Bestimmungen (GSH + CySH) mit DTNB ¹⁾ erfolgte nach früher beschriebenen Methoden (GRILL & ESTERBAUER 1973a). Die Ascorbinsäurebestimmung erfolgte im wesentlichen nach AEBI 1965. Eine eingehende Beschreibung der in Tabelle 1 angegebenen Versuche findet sich bei BECK 1975.

2.2. Bestimmung der Stabilität von 2-Nitro-5-thiobenzoessäure

In einer 1 cm Küvette wurde der Reihe nach gegeben: 1 ml 0,2M Phosphatpuffer pH 7,0, 1 ml $1,25 \times 10^{-4}$ M 2-Nitro-5-thiobenzoessäure in

¹⁾ Abkürzungen: CySH = Cystein, GSH = Glutathion, DTNB = 5,5'-Dithiobis-nitrobenzoessäure, AS = Ascorbinsäure.

H₂O (hergestellt nach ESTERBAUER, GRILL & ZOTTER 1977) und 0,5 ml Fichtennadelextrakt. Der Abfall der Absorption bei 412 nm wurde kontinuierlich aufgezeichnet. Die Größe von Δ_E/Minute wurde als Maß für die Fähigkeit der Extrakte SH-Verbindungen umzusetzen verwendet. Bei den in Tabelle 1 angegebenen Versuchen wurde von den einzelnen Fraktionen Aliquoten verwendet, die 0,5 ml Extrakt entsprachen. Das Testvolumen war in allen Fällen 2,5 ml.

3. Ergebnisse

3.1. Abnahme der SH-Konzentration in Fichtennadelextrakten

In frisch hergestellten Extrakten (pH ca. 4,0) waren endogene oder zugesetzte SH-Verbindungen (CySH, GSH) relativ stabil und zeigten innerhalb einer Stunde keine meßbare Konzentrationsabnahme (GRILL & ESTERBAUER 1973 a). Wurde der pH Wert der Extrakte jedoch auf pH 7,0 erhöht, so nahm der SH-Gehalt, variierend mit der Nadelprobe, meistens innerhalb von 10 bis 80 Minuten auf Null ab. Wie in Abb. 1 an einem Beispiel gezeigt wird, ging der nach etwa 60 Minuten einsetzenden sehr raschen Abnahme eine Art lag-Phase voraus, in der der SH-Gehalt nur langsam abnahm. Allgemein war bei hohem Ascorbinsäuregehalt die lag-Phase lang, sodaß in manchen Fällen der schnelle Abfall überhaupt ausblieb.

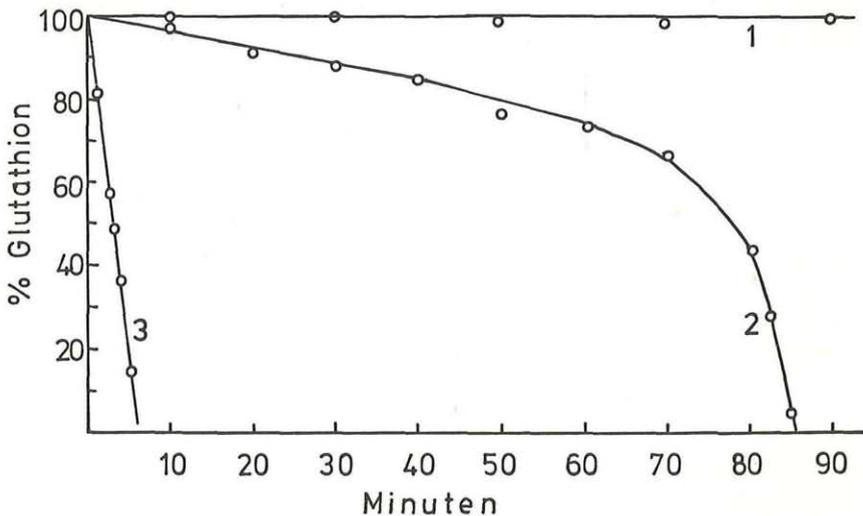


Abb. 1. Stabilität von Glutathion in einem Fichtennadelextrakt.

1: 10 ml frischer Extrakt + 20 ml H₂O + 20 ml $1,8 \times 10^{-4}$ M GSH, pH 4,0.

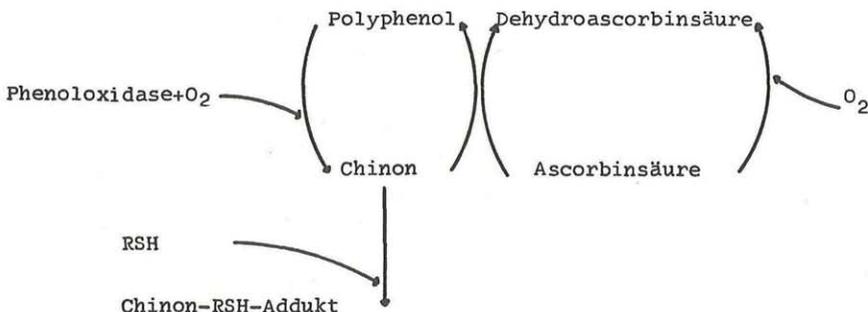
2: 10 ml frischer Extrakt + 20 ml 0,2 M Phosphatpuffer pH 7,0 + $1,8 \times 10^{-4}$ M GSH, pH 7,0.

3: 10 ml Extrakt (3 Tage bei 4° C offen gestanden) + 20 ml 0,2 M Phosphatpuffer pH 7,0 + $1,8 \times 10^{-4}$ M GSH, pH 7,0.

Diese lag-Phase dauerte bei verschiedenen Extrakten verschieden lang und war allgemein umso kleiner, je älter der Extrakt war. Extrakte, die 1 bis 2 Tage bei pH 7,0 gelagert waren, zeigten bei der Umsetzung von zugesetztem CySH bzw. GSH keine lag-Phase mehr. In Extrakten von ungeschädigten Nadeln waren SH-Verbindungen bei pH 7,0 meistens etwas stabiler (längere lag-Phase) als in Extrakten rauchgeschädigter Nadeln, bei denen in einigen Extremfällen der SH-Gehalt innerhalb von 2–3 Minuten auf Null abnahm. Da für die quantitative SH-Bestimmung mit dem ELLMAN-Reagens DTNB (ELLMAN 1959) der Extrakt auf pH 7,0 eingestellt werden muß, war bei instabilen Extrakten eine sehr schnelle Ausführung der Bestimmung notwendig. Eine weitere Schwierigkeit ergab sich bei solchen Extrakten auch dadurch, daß die bei der Bestimmung sich bildende gelbe SH-Verbindung (2-Nitro-5-thiobenzoessäure = DTNB-Anion) ebenfalls schnell abnimmt, sodaß eine Messung der Gelbfärbung nur angenähert möglich war.

3.2. Ursachen der Instabilität von SH-Verbindungen in Fichtennadel-extrakten

Das Interesse galt vor allem den nach der lag-Phase ablaufenden Vorgängen, die zu einem schnellen Abfall der SH-Konzentration führen. Es wurden für diese Untersuchungen daher Extrakte verwendet, die 1 bis 2 Tage bei pH 7,0 gelagert waren und keine lag-Phase mehr zeigten. Versuche ergaben, daß Extrakte, in denen CySH bzw. GSH instabil war, auch zugesetzte 2-Nitro-5-thiobenzoessäure schnell umsetzten. Für die Experimente zur Ermittlung der für die Instabilität von SH-Verbindungen verantwortlichen Faktoren wurde daher nicht GSH bzw. CySH, sondern 2-Nitro-5-thiobenzoessäure als Testsubstanz gewählt, weil sich deren Abnahme einfach und kontinuierlich durch Messen des Absorptionsabfalls bei 412 nm verfolgen läßt. Tabelle 1 bringt die wichtigsten Experimente die mit dem Extrakt bzw. Fraktion des Extrakts durchgeführt wurden. Die Ergebnisse dieser und weiterer nicht angeführter Versuche (BECK 1975) lassen den Schluß zu, daß die SH-Abnahme durch die im folgenden Schema dargestellte Reaktionsfolge beschrieben werden kann.



Die Extrakte enthalten Polyphenole (ESTERBAUER, GRILL & BECK 1975) und die phenoxidierenden Enzyme Laccase (ESTERBAUER, SCHWARZL & HAYN 1977) und Peroxydase (ESTERBAUER, GRILL & ZOTTER 1977). Durch diese Enzyme werden die Polyphenole mit O_2 zu Chinonen oxidiert, die in einer irreversiblen, nicht-enzymatischen Reaktion sofort mit den vorhandenen SH-Verbindungen zu Addukten reagieren (MASON &

Tabelle 1

Einfluß verschiedener Bedingungen sowie der Fraktionierung auf die Geschwindigkeit der Umsetzung von 2-Nitro-5-thiobenzoessäure durch Fichtennadel-Extrakt (relative Geschwindigkeit, Ausgangsextrakt = 100)

Bedingung.	relative Geschwindigkeit
Extrakt.	
unter Luft	100
unter N_2	0
+ Ascorbinsäure	30
15 Minuten auf $100^\circ C$ erhitzt	30
dialysierbarer Anteil des Extraktes	30
nicht dialysierbarer Anteil	30
dialysierbarer + nicht dialysierbarer Anteil	85
Trennung mit Sephadex G 25:	
niedermolekulare Fraktion	10
hochmolekulare Fraktion	10
Trennung mit ges. $(NH_4)_2SO_4$:	
Präcipitat	90
Überstand	10
$(NH_4)_2SO_4$ -Präcipitat, Sephadex G 25:	
niedermolekulare Fraktion	0
hochmolekulare Fraktion A	0
Fraktion A + Brenzkatechin	100

PETERSON 1965, ESTERBAUER, SCHWARZL & HAYN 1977). Damit sind die in der Tabelle 1 angeführten Befunde im Einklang, wonach für die Umsetzung von SH-Verbindungen eine hochmolekulare Komponente (Phenoxidase), eine niedermolekulare Komponente (Polyphenole) und O_2 notwendig sind. Ein weiterer wesentlicher Faktor ist die Ascorbinsäure. Solange in den Extrakten Ascorbinsäure vorhanden ist, reduziert sie auf Grund ihres Redoxpotentials von $E = -166$ mV (pH 4,0) die gebildeten Chinone (E bei pH 4,0 ca. $+300$ bis $+600$ mV) sofort wieder in einer nicht enzymatischen Reaktion zu den entsprechenden Phenolen, sodaß keine

SH-Abnahme eintritt. Erst wenn die Ascorbinsäure vollkommen oxidiert ist, häufen sich Chinone an und es setzt die beobachtete schnelle SH-Abnahme ein. Damit erklärt sich auch, warum dem schnellen SH-Abfall meistens eine lag-Phase vorausgeht (Abb. 1). Während dieser lag-Phase wird die vorhandene Ascorbinsäure oxidiert und die Dauer dieser Periode ist damit in Beziehung zum Ascorbinsäuregehalt des Extraktes. Fichtennadeln aus Immissionsgebieten haben allgemein einen verringerten Ascorbinsäuregehalt (GRILL 1968, MATERNA 1972), sodaß SH-Verbindungen in solchen Extrakten weniger stabil sind als in Extrakten gesunder Nadeln, die einen Ascorbinsäuregehalt von ca. 0,5–2,0 mg pro 1 g Frischgewicht haben (FRANKE 1968). Die Ursachen für langsame Abnahme der SH-Konzentration während der lag-Phase, also in Anwesenheit von Ascorbinsäure wurde nicht näher untersucht. Der Befund, daß diese Abnahme unter N_2 ausbleibt, deutet darauf hin, daß es sich um eine Oxidation der SH-Verbindungen zu Disulfiden handelt.

3.3. Stabilisierung von SH-Verbindungen in Pflanzenextrakten durch Zusatz von Ascorbinsäure

Der Befund, daß Ascorbinsäure die Anhäufung chinoider Verbindungen und damit den Verlust von SH-Verbindungen verhindert, legt es nahe, bei der Herstellung von Pflanzenextrakten für die SH-Bestimmung dem Aufschlußmedium Ascorbinsäure als Schutzsubstanz zuzusetzen. Vorversuche ergaben, daß Fichtennadeln am günstigsten mit destilliertem Wasser, enthaltend 1,5 mg Ascorbinsäure pro 1 ml aufgeschlossen werden. Bei dieser AS-Konzentration kommt es innerhalb von 22 Stunden zu keiner Reduktion von oxidiertem Glutathion und innerhalb von 15 Minuten zu keiner meßbaren Reduktion von DTNB. Tabelle 2 zeigt an einem Beispiel von abgasbelasteten Fichtennadeln (2,38 mg Ascorbinsäure pro 1 g Frischgewicht) die Wirksamkeit des Ascorbinsäurezusatzes. Bei dem ohne Ascorbinsäurezusatz hergestellten Extrakt (AS-Gehalt 0,095 mg/ml) war schon nach 3 Stunden der SH-Gehalt um 50% gesunken und der Extrakt verfärbte sich durch die gebildeten Phenoloxidationsprodukte zusehends braun. In dem mit Ascorbinsäurezusatz hergestellten Extrakt (AS-Gehalt 1,59 mg/ml) dagegen war auch nach 20 Stunden der SH-Gehalt noch unverändert und der Extrakt zeigte keine Braunfärbung. Wie Tabelle 3 zeigt, wirkt zugesetzte Ascorbinsäure nicht nur bei Fichtennadeln, sondern auch bei Extrakten anderer Pflanzen stabilisierend auf die SH-Verbindungen. Es ist daher allgemein zu empfehlen, Pflanzenextrakte, in denen SH-Verbindungen bestimmt werden sollen, mit 0,15%iger wässriger Ascorbinsäurelösung herzustellen und infolge schlechter Filtrierbarkeit mancher Pflanzenextrakte das Filtrieren durch Zentrifugieren zu ersetzen (WELT 1977). Vor allem für längere Lagerung von Probenmaterial empfiehlt sich Homogenisieren mit Ascorbinsäurezusatz und Aufbewahrung in dicht

verschließbaren Gefäßen, die durch Durchblasen von Stickstoff O₂ frei gemacht wurden.

4. Besprechung

Die Methode zur Bestimmung von wasserlöslichen SH-Verbindungen nach GRILL & ESTERBAUER 1973a ergibt im allgemeinen gut reproduzierbare Ergebnisse (GRILL & ESTERBAUER 1973b). Bei länger dauerndem

Tabelle 2

Stabilität des SH-Gehaltes in einem mit und ohne Ascorbinsäurezusatz hergestellten Extrakt von schwach abgasbelasteten Fichtennadeln. (0,75 g Nadeln mit 25 ml H₂O bzw. 25 ml 0,15% wäßriger AS-Lösung homogenisiert und filtriert)

Stunden nach Herstellung des Extraktes	ohne Ascorbinsäurezusatz			mit Ascorbinsäurezusatz		
	pH	SH	AS	pH	SH	AS
		µMole/ l Extr.	mg/ l Extr.		µMole/ l Extr.	mg/ l Extr.
0	4,1	19,1	71	3,3	19,0	1572
0,5	4,1	14,4	67	3,3	18,5	1569
1	4,1	13,5	64	3,3	17,9	1570
3	4,1	10,3	46	3,3	18,4	1569
17	4,1	8,0	31	3,3	18,5	1571
20	4,1	6,2	25	3,3	17,8	1571

Tabelle 3

SH-Gehalt in verschiedenen Pflanzenextrakten, die mit und ohne Ascorbinsäurezusatz hergestellt wurden. (1 g Material mit 25 ml H₂O bzw. 25 ml 0,15% wäßriger AS-Lösung homogenisiert und zentrifugiert)

Material	ohne Ascorbinsäurezusatz			mit Ascorbinsäurezusatz		
	pH	SH	AS	pH	SH	AS
		µMole/ l Extr.	mg/ l Extr.		µMole/ l Extr.	mg/ l Extr.
<i>Picea omorica</i>	3,9	34,3	70	3,3	34,7	1570
<i>Chamaecyparis pisifera</i>	5,5	17,1	46	3,3	30,9	1546
<i>Cephalotaxus drupacea</i>	5,2	19,6	43	3,3	38,4	1543
<i>Taxus brevifolia</i>	5,5	15,4	35	3,3	35,8	1535
<i>Cryptomeria japonica</i>	4,7	7,8	31	3,3	16,1	1531
<i>Prunus laurocerasus</i>	4,8	14,9	36	3,3	28,2	1536

Extrahieren, Filtrieren bzw. Zentrifugieren, wie es bei der Herstellung mancher Pflanzenextrakte notwendig war, ergaben sich manchmal Schwierigkeiten, die durch die Instabilität der SH-Verbindungen und des gelb gefärbten DTNB-Anions, welches bei der Reaktion des Ellmensreagens mit Sulfhydrylgruppen entsteht, bedingt war. Wie aus den angeführten Untersuchungen hervorgeht, ist dafür ein Oxidationssystem verantwortlich: Pflanzenextrakte enthalten zahlreiche phenolische Substanzen (HEGNAUER 1962), die bei Anwesenheit von O_2 durch die Phenoloxidasen zu Chinonen oxidiert werden. Diese können mit SH-Verbindungen Addukte bilden, wodurch die bestimmte SH-Menge zu gering ausfällt (ESTERBAUER, SCHWARZL & HAYN 1977). Zu vermeiden wäre diese Reaktion, wenn man unter N_2 Atmosphäre arbeiten könnte, was aber bei den Aufarbeitungsschritten Homogenisieren, Filtrieren oder Zentrifugieren entweder nur schwer oder ganz unmöglich ist. Eine weitere Möglichkeit, die störenden oxidativen Reaktionen im Zuge der SH-Bestimmung zu vermeiden, ist die Verwendung von Ascorbinsäure als Schutzsubstanz, die auf Grund ihrer reduzierenden Wirkung eine Oxidation von Phenolen verhindert.

Die O_2 Konzentration der Extrakte bzw. Probelösungen beträgt rund 2×10^{-4} Mol O_2 /l. Das bedeutet, daß eine Ascorbinsäurekonzentration von 4×10^{-4} Mol/l den vorhandenen Sauerstoff zur Gänze verbrauchen kann. Die Ascorbinsäurekonzentration der Extrakte lag zwischen $1-7 \cdot 10^{-4}$ Mol/l. Ist daher die Ascorbinsäurekonzentration größer als 4×10^{-4} , verarmt die Lösung an O_2 und es bleibt Ascorbinsäure in der Lösung, die Substanzen vor einer schnellen Oxidation schützen kann. Die verbliebene Ascorbinsäure wird nun nur mehr mit jener Geschwindigkeit oxidiert, mit der O_2 nachdiffundiert. Dieser Vorgang verläuft schnell, wenn man schüttelt, und langsam in geschlossenen Gefäßen (WELT 1977). Ist weniger als 4×10^{-4} Mol/l Ascorbinsäure vorhanden (wie es meist bei rauchgeschädigten Nadeln der Fall war), so bleibt auch nach ihrer Oxidation noch O_2 in der Lösung, der zur Oxidation von Phenolen und damit indirekt zur Umsetzung von SH führt. Eine Zugabe von 0,15% Ascorbinsäure (80×10^{-4} Mol) zur Extraktionslösung ist ausreichend, eine Oxidation von Phenolen auch während längerer Präparations- und Meßdauer zu verhindern, wodurch die Anwendbarkeit der SH-Bestimmung mit dem DTNB-Reagens im Pflanzenmaterial wesentlich gesteigert ist.

7. Schrifttum

- AEBI H. 1965. Einführung in die praktische Biochemie. — Frankfurt M.
 BECK G. 1975. Untersuchungen über Phenole und Kohlehydrate in gesunden und SO_2 -geschädigten Fichtennadeln. — Diss Graz.
 ELLMAN G. L. 1959. Tissue sulphydryl groups. — Arch. Biochem. Biophys. 82: 70—77.

- ESTERBAUER H. 1976. Biochemischer Wirkungsmechanismus von Abgasen. — Umschau 76: 349—350.
- GRILL D. & BECK G. 1975. Untersuchungen über Phenole in Nadeln von *Picea abies*. — Phytol. 17: 87—99.
- SCHWARZL E. & HAYN M. 1977. A rapid assay for catecholoxidase and laccase using 2-Nitro-5-thiobenzoic acid. — Anal. Biochem. (Im Druck).
- GRILL D. & ZOTTER M. 1977. Peroxidase in Fichtennadeln. — Biochem. Physiol. Pflanzen (Im Druck).
- FLOHE L., BENÖHR H. Ch., SIEHS H., WALLER H. D. & WENDEL A. 1974. Glutathione. — Stuttgart.
- FRANKE W. 1968. Der jahreszeitlich unterschiedliche Vitamin-C-Gehalt in Coniferennadeln als Folge von Ascorbinsäuresynthese und -abbau. — Z. Pflanzenphysiol. 60: 30—37.
- GRILL D. 1968. Zellphysiologische Studien an SO₂-begasteten Nadeln von *Picea abies* (L.) KARSTEN. — Diss. Graz.
- & ESTERBAUER H. 1973 a. Quantitative Bestimmung wasserlöslicher Sulfhydrylverbindungen in gesunden und SO₂-geschädigten Nadeln von *Picea abies*. — Phytol. 15: 87—101.
- — 1973 b. Cystein und Glutathion in gesunden und SO₂-geschädigten Fichtennadeln. — Europ. J. Forest Pathol. 3: 65—71.
- HEGNAUER R. 1962. Chemotaxonomie der Pflanzen. — Basel—Stuttgart.
- KROHNE-EHRICH G. & UNTUCHT-GRAU R. 1976. Glutathion. — Biol. in unserer Zeit 6: 175—182.
- MASON M. S. & PETERSON E. W. 1965. Reaction between enzyme-generated quinones and amino acids. — Biochim. Biophys. Acta 111: 134—146.
- MATERNA J. 1972. Einfluß niedriger Schwefeldioxidkonzentrationen auf die Fichte. — Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt. Wien 97: 219—232.
- WELT R. 1977. Ascorbinsäure, Ascorbinsäureoxidase und -reductase in Fichten- und Lärchennadeln. — Diss. Graz.

Die Arbeit wurde subventioniert durch den Fonds zur Förderung wissenschaftlicher Forschung, Wien (Projekt Nr. 1961). Ein Teil der Ergebnisse stammt aus einem Projekt, dessen Bearbeitung durch eine Spende aus dem Jubiläumsfonds der Österreichischen Nationalbank (Projekt Nr. 866) ermöglicht wurde.

Die Autoren erlauben sich für die durch die beiden Fonds gewährte Förderung verbindlichst zu danken.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1978

Band/Volume: [18_3_4](#)

Autor(en)/Author(s): Grill Dieter, Esterbauer Hermann, Welt Ruth

Artikel/Article: [Stabilisierung von Sulfhydrylverbindungen in Pflanzenextrakten durch Ascorbinsäure . 127-135](#)