

Zeitschrift: Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft = Bulletin de la Société Botanique Suisse
Herausgeber: Schweizerische Botanische Gesellschaft
Band: 57 (1947)

Artikel: Der Einfluss der Temperatur auf die enzymatische Leistungsfähigkeit zweier pflanzenpathogener Pilze
Autor: Gäumann, Ernst / Nef, Ulrich
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-40560>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 06.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Der Einfluß der Temperatur auf die enzymatische Leistungsfähigkeit zweier pflanzenpathogener Pilze.

Von Ernst Gäumann und Ulrich Nef.

(Aus dem Institut für spezielle Botanik der Eidg. Technischen Hochschule in Zürich.)

Eingegangen am 5. September 1947.

Die menschenpathogenen Mikroorganismen sind nach dem Haften der Infektion den Temperatureinflüssen der Umwelt entzogen und wirken im Körperinnern bei *konstanter* Temperatur wie in einem Brutschrank.

Anders die pflanzenpathogenen Mikroorganismen; bei diesen hängt, weil die Pflanzen wechselwarm sind, die Temperatur, unter der sie ihre parasitischen Fähigkeiten im *Innern* des Wirtes entfalten, von der jeweiligen Luft-, bzw. Bodentemperatur und von der eingestrahlten Sonnenwärme ab. Dabei werden mindestens drei Variable unabhängig voneinander durch den Temperaturfaktor gesteuert:

1. die *Wachstumsgeschwindigkeit* des Erregers, das ist bei parasitischen Pilzen das Körpergewicht, die produzierte *Myzelmenge*;
2. die *Enzymmenge*, die der Erreger je Einheit Myzelgewicht bildet; die Pilze bilden wahrscheinlich bei niedern Temperaturen mehr Enzyme, bezogen auf ihr Körpergewicht, als bei wachstumsoptimalen; und
3. die *Enzymwirkung*, deren Optimum unter Umständen bei Temperaturen liegt, bei welchen der betreffende Erreger überhaupt nicht, oder nicht mehr optimal, zu gedeihen vermag.

Man kann sich den Zusammenhang zwischen diesen drei Größen schematisch etwa in der Art der Abbildung 1 vorstellen.

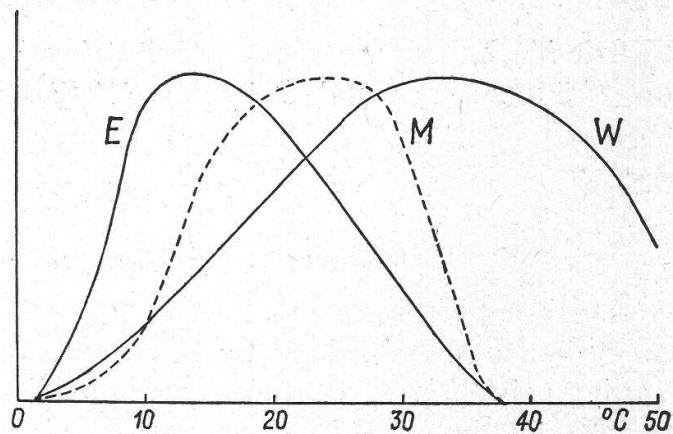
Wenn wir nun bedenken, daß die Enzymwirkung überdies von der Enzymkonzentration, ferner von der Wasserstoffionenkonzentration und von der Salzkonzentration der Nährlösung abhängt und daß sich die verschiedenen Funktionswerte nicht arithmetisch summieren, sondern zum Teil im Sinne von Potenzfunktionen, z. B. $1,5^n$, zueinander stehen, und daß bei jedem der mehr als zwei Dutzend hier in Frage kommenden Enzyme alle diese Kurven anders verlaufen, dann werden die Schwierigkeiten einigermaßen deutlich, die der Abklärung auch nur *einer* Teilfrage, des Einflusses der Umwelttemperatur auf den *Enzymsektor* des *Erregers*, entgegenstehen.

Dazu kommt, daß der Erreger nicht beziehungslos im geometrischen Raum, sondern unter dauernder Wechselwirkung mit dem *Wirt* arbeitet. Auch dieser wird im Pflanzenreich in seinen Lebensfunktionen durch die jeweilige Umwelttemperatur gesteuert, und zwar wohl meist anders als der Erreger. Es läßt sich deshalb bloß näherungsweise abschätzen, welcher Anteil des bei einer bestimmten Umwelttemperatur erzielten parasitischen Erfolges auf die thermisch bedingte Leistungsfähigkeit des *Erregers* entfällt und welcher Anteil auf die thermische Verschiebung der Reaktions- und Erkrankungsbereitschaft des *Wirtes*.

Trotz aller dieser Schwierigkeiten möchten wir in der vorliegenden Arbeit versuchen, einen zahlenmäßigen Anhaltspunkt über den Einfluß der Temperatur auf die enzymatische Wirksamkeit des *Erregers* zu

Abbildung 1.

Der mutmaßliche Einfluß der Umwelttemperatur auf das Wachstum, die Enzymbildung und die Enzymwirkung eines parasitischen Pilzes. Kurve M: Myzel-trockengewicht des Pilzes bei den verschiedenen Wachstumstemperaturen. Kurve E: Enzym-menge, die je Einheit Myzel-trockengewicht bei den verschiedenen Wachstumstemperaturen gebildet wird. Kurve W: Wirkungsgrad des Enzymes bei den verschiedenen Außentemperaturen. (Aus G ä u m a n n, 1946.)



gewinnen. Wir betonen *Anhaltspunkt*; es kann sich also bloß um die Festsetzung der Dimension, nicht der genauen absoluten Größe handeln, in welcher der Enzymsektor des Erregers durch die Umwelttemperatur verschoben wird.

Als Modellbeispiel wählen wir die pflanzenpathologisch wichtige Gruppe der Pektasen und Pektinasen; denn die Reaktionen verlaufen hier verhältnismäßig rasch und energisch und lassen sich deshalb laboratoriumsmäßig innert nützlicher Frist studieren; sodann standen uns in den Herren Kollegen H. P a l l m a n n und H. D e u e l vom Agrikulturchemischen Institut der ETH zwei Pektinspezialisten zur Seite, die uns unermüdlich mit Rat und Material aushalfen und dadurch entscheidend zum Gelingen unserer Untersuchungen beitrugen. Ihnen möchten wir hier nochmals unsern Dank sagen.

Ferner gilt unser Dank den eidgenössischen Behörden, die durch einen Beitrag aus den Arbeitsbeschaffungskrediten die Durchführung der Untersuchung ermöglichten.

1. Material und Methoden.

Die Bestimmung der Enzymaktivität erfolgte im Temperaturbereich 0—33° C in Temperaturintervallen von je 3 Grad. Pro Temperatur wurden 5 Kolben angesetzt. Als Nährlösung diente modifizierte Czapek-Dox-Lösung (10 g Glukose statt 10 g Saccharose pro Liter), der mit Rücksicht auf den adaptiven Charakter der Pektasebildung (G ä u m a n n und B ö h n i, 1947) 1% Pektin zugegeben wurde. Jeder Kolben wurde mit 200 cm³ dieser Nährlösung beschickt und mit 1 cm³ einer Sporensuspension beimpft, die pro cm³ ca. 430 000 Sporen enthielt. Hernach wurden die Kolben 18 Tage bei der betreffenden Temperatur gehalten; pro Tag wurde zweimal die Temperatur abgelesen. Die in den Tabellen enthaltenen Temperaturen ergaben sich als Mittelwerte dieser Ablesungen. Nach Ablauf dieser Frist wurde bei jedem Kolben die Nährlösung vom Myzel abfiltriert und zur Unterbindung des weiteren Wachstums mit 2 cm³ Toluol pro Kolben versetzt.

Die Technik der Enzymaktivitätsbestimmung entspricht derjenigen von G ä u m a n n und B ö h n i (1947).

2. Ergebnisse.

a) Versuche mit *Botrytis cinerea* Pers.

Die Temperaturansprüche von *Botrytis cinerea* für das *Myzelwachstum* bewegen sich in dem für Pilze normalen Rahmen; zwischen 9 und 27° liegt ein breites Optimum mit einem undeutlichen Gipfel über 15 bis 18°. Die *Enzymbildung* von *Botrytis cinerea* spricht dagegen auf die Umwelttemperatur in eigener Weise an:

1. deckt sich der *Temperaturbereich*, innerhalb dessen *Botrytis cinerea* unter unsern Ernährungsbedingungen Pektase und Pektinase bildet, nicht mit dem Temperaturbereich für das *Myzelwachstum*, sondern er ist *enger* als dieser; und
2. verläuft die Produktion dieser beiden Enzyme innerhalb des Bereiches, in welchem sie gebildet werden, *nicht proportional zum Myzelwachstum*, sondern sie folgt einer *eigenen Temperaturgesetzlichkeit*.

Pektase wird von *Botrytis cinerea* unter unsern Ernährungsbedingungen nur bei den Wachstumstemperaturen zwischen 3 und 30° gebildet; bei der Wachstumstemperatur von 1° und bei den Wachstumstemperaturen oberhalb 30° erzeugt *Botrytis cinerea* unter unsern Ernährungsbedingungen keine Pektase; das *Myzelwachstum* wird somit in diesen Temperaturbereichen ausschließlich durch die Glukose als Kohlehydratquelle bestritten.

Tabelle 1.
Die Temperaturabhängigkeit der Pektase- und Pektinase-Bildung bei
Botrytis cinerea Pers.

° C	Myzeltrocken- gewicht in mg	Abgespaltenes Methoxyl in mg	je g Myzel- trockengewicht abgespaltene mg Methoxyl (Pektase- Aktivität)	Pektinase- Aktivität %	Pektinase- Aktivität je g Myzel- trockengewicht
1,1	14± 2	0	0	0	0
3,5	99± 5	0,078±0,008	0,79	10,52±1,26	66
6,3	263±26	1,820±0,059	6,92	20,20±2,75	77
9,1	547±32	2,478±0,061	4,53	72,10±7,24	132
12,3	687± 6	2,446±0,043	3,56	95,32±3,69	139
15,2	741±15	2,193±0,051	2,96	93,15±4,12	126
17,9	742±11	2,078±0,081	2,80	81,03±4,97	109
21,3	555±14	1,637±0,063	2,95	59,05±4,20	106
24,5	530±18	1,477±0,041	2,73	63,24±3,86	119
27,1	551±33	0,187±0,031	0,34	25,04±1,78	45
29,6	14± 5	0	0	0,50±0,03	29
33,1	4± 3	0	0	0	0

Dasselbe gilt für die *Pektinase*. Der Temperaturbereich, innerhalb dessen sie von *Botrytis cinerea* unter unsern Ernährungsbedingungen gebildet wird, ist wiederum enger als der Temperaturbereich für das Myzelwachstum, so daß die Nährflüssigkeit bei den Wachstumstemperaturen von 1° und von 33° pektinasefrei bleibt.

Die Pektinketten werden deshalb im Bereich der extremen Wachstumstemperaturen weder demethoxyliert noch in Bruchstücke gespalten.

Was sodann das *Ausmaß* der Pektase- und der Pektinase-Bildung bei den verschiedenen Wachstumstemperaturen betrifft, so bestätigen Tabelle 1 und Abbildung 2 die eingangs geäußerte Vermutung, daß *Botrytis cinerea ceteris paribus bei niedern Wachstumstemperaturen unter Umständen mehr Enzym bildet als bei höhern*. Diese Feststellung gilt sowohl absolut (Abbildung 2 oben) als relativ, das ist bezogen auf das Myzeltrockengewicht (Abbildung 2 unten).

Absolut genommen, d. h. bestimmt als Enzymmenge je Kulturkolben, erreicht der *Pektase-Gehalt* der Nährlösungen bei den Wachstumstemperaturen von 9—18° einen Höhepunkt, mit einem deutlichen Gipfel über 9 und 12° (Abbildung 2 oben). *Bezogen auf die Myzelmenge*, welche diese Enzymmenge bilden mußte (Abbildung 2 unten), besteht dagegen ein ausgeprägter Gipfel bei der Wachstumstemperatur von 6°; hier wird *je Einheit Myzelgewicht* mehr als doppelt soviel Pektase gebildet als bei den (für das Myzelwachstum günstigeren) Wachstumstemperaturen von 15—24°.

Botrytis cinerea Pers.

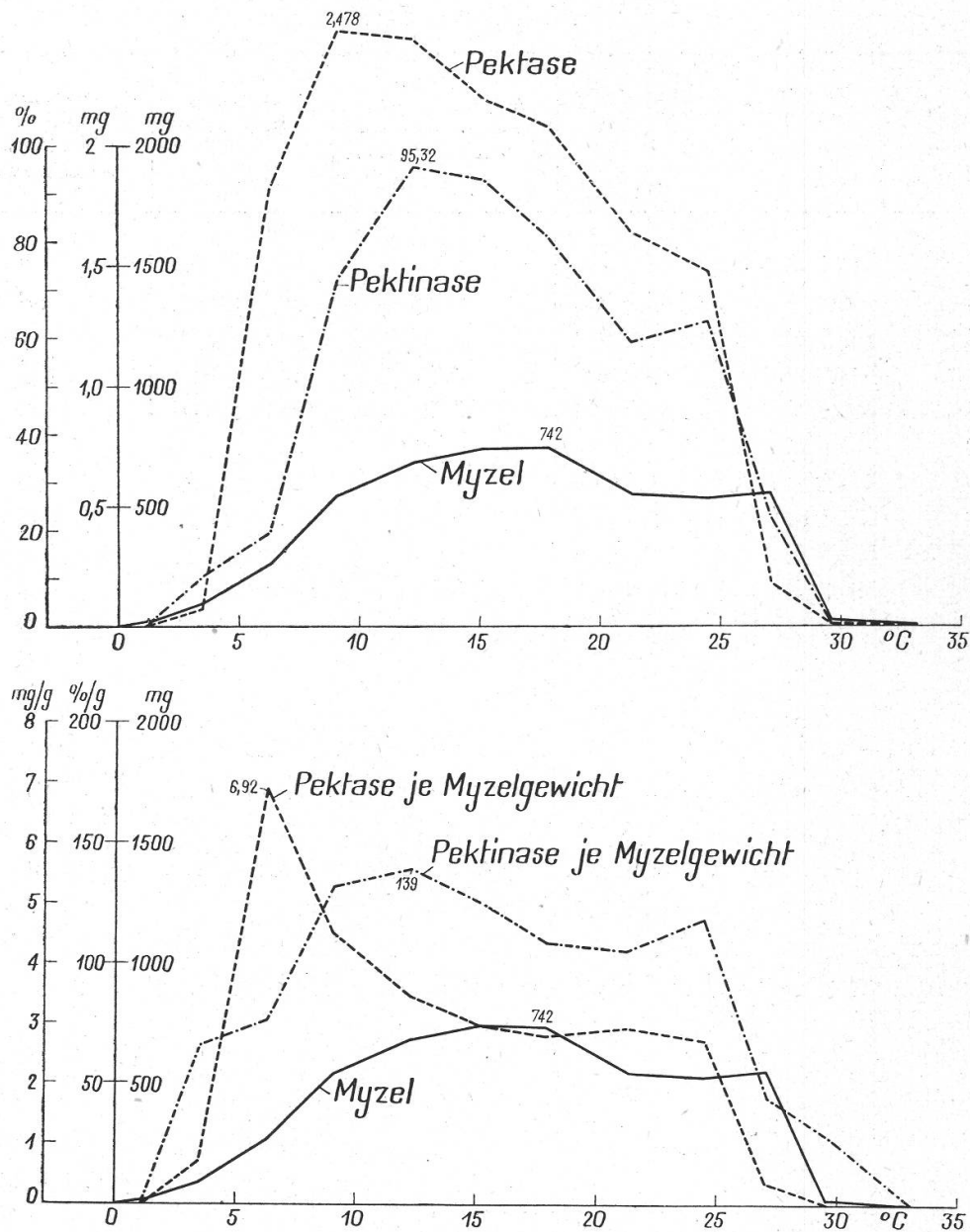


Abbildung 2.

Der Einfluß der Wachstumstemperatur auf das *Myzelwachstum* und auf die *Pektase*- und die *Pektinase*-Bildung von *Botrytis cinerea* Pers. *Oben*: Absolute Werte des Pektase- und des Pektinase-Gehaltes der Nährlösungen. *Unten*: Ausmaß der Pektase- und der Pektinase-Bildung, bezogen auf das Myzeltrockengewicht.

Leider ist diese Temperaturbeziehung bei der *Pektinase*-Bildung von *Botrytis cinerea* weniger deutlich zu erkennen. Absolut genommen, besteht zwar ein ausgeprägtes Optimum für die Pektinase-Bildung mit Aktivitäten von 93 und 95% bei den Wachstumstemperaturen von 9 und

12° (Abbildung 2 oben). Bezogen auf die Myzelmenge, welche diese Enzymmenge bilden mußte (Abbildung 2 unten), verläuft jedoch die Pektinase-Kurve bei *Botrytis cinerea* ziemlich getreu der Kurve für das Myzelwachstum. Es besteht zwar über 9 und 12° eine schwache Erhöhung der relativen Pektinase-Menge; doch möchten wir ihr keine allzu große Bedeutung beimessen, weil z. B. bei der Wachstumstemperatur von 9° der mittlere Fehler sowohl für das Myzeltrockengewicht als für die Pektinase-Aktivität sehr hoch ist.

Unser Eindruck geht somit dahin, daß bei *Botrytis cinerea* die Pektase-Bildung bei den für das vegetative Wachstum *suboptimalen* Temperaturen in überhöhtem Maße erfolgt, während die Pektinase-Bildung innerhalb des Temperaturrahmens, in welchem Pektinase überhaupt in meßbarer Weise gebildet wird, unter unsern Ernährungsbedingungen eher proportional mit dem vegetativen Wachstum verläuft.

b) Versuche mit *Aspergillus niger* v. Tiegh.

Aspergillus niger bildet für unsere Problemstellung ein reizvolles Objekt, weil er bei Temperaturen von -2 bis $+49^{\circ}$, also über eine Temperaturspanne von rund 51° zu gedeihen vermag (G ä u m a n n, 1946, S. 285); er ist somit in bezug auf sein vegetatives Wachstum extrem eurytherm. *Versuchsfrage*: Sind seine enzymatischen Fähigkeiten über die weite Spanne seiner Wachstumstemperaturen hin gleichmäßig ausgebildet?

Tabelle 2 und Abbildung 3 zeigen, daß dies nicht der Fall ist. Pektase wird unter unsern Ernährungsbedingungen nur bei den Wachstumstemperaturen zwischen 12 und 27° produziert; unterhalb 10° und oberhalb 27° benützt der Pilz als Kohlehydratquelle nur die Glukose. Pektinase wird in einem um 3° breiteren Bereich, nämlich bei den Wachstumstemperaturen von $12-30^{\circ}$ gebildet. In der großen Temperaturspanne von 27, bzw. 30° bis rund 50° , in welcher *Aspergillus niger* noch zu gedeihen vermag, ernährt er sich also im Rahmen unserer Versuchsanordnung ausschließlich von der Glukose und läßt das Pektin unberührt. Der thermische Bereich der Pektase- und der Pektinase-Bildung ist somit bei *Aspergillus niger*, wie bei *Botrytis cinerea*, erheblich enger als der *thermische Bereich für das vegetative Wachstum*.

Innerhalb des Temperaturbereiches, in welchem die Pektase und die Pektinase von *Aspergillus niger* überhaupt gebildet werden, folgt das Ausmaß ihrer Produktion wiederum nicht dem Myzelwachstum, sondern es besteht wieder eine deutliche Übersteigerung der Enzymproduktion bei *niedern* Wachstumstemperaturen, insbesondere bei der Temperatur von 12° . Nur ist es bei *Aspergillus niger*, im Gegensatz zu *Botrytis cinerea*, die Pektinase, die im Ausmaß ihrer Bildung besonders

Tabelle 2.

Die Temperaturabhängigkeit der Pektase- und der Pektinase-Bildung bei *Aspergillus niger* v. Tiegh.

° C	Myzeltrocken- gewicht in mg	Abgespaltenes Methoxyl in mg	je g Myzel- trockengewicht abgespaltene mg Methoxyl (Pektase- Aktivität)	Pektinase- Aktivität %	Pektinase- Aktivität je g Myzel- trockengewicht
6,3	Spuren	0	0	0	0
9,1	12±1,4	0	0	0	0
12,3	32±3,1	0,071±0,009	2,22	84,65±3,55	2645
15,2	1477±19	1,309±0,062	0,88	95,13±4,25	64
17,9	1655±22	1,557±0,078	0,94	72,51±8,32	44
21,3	1706± 9	1,551±0,063	0,87	73,36±7,95	43
24,5	1708±37	1,410±0,095	0,83	60,35±3,45	38
27,1	1714± 8	0,074±0,008	0,043	18,65±1,90	11
29,6	1785± 5	0	0	9,34±0,91	5
33,1	1656±19	0	0	0	0

empfindlich auf die niedern Wachstumstemperaturen anspricht; wird doch bei der Wachstumstemperatur von 12° rund 50mal mehr Pektinase je Einheit Myzelgewicht gebildet als bei den Wachstumstemperaturen von 18—24°; bei der Pektase ist die Enzymproduktion je Einheit Myzelgewicht bei der Wachstumstemperatur von 12° immerhin ungefähr dreimal so groß wie bei den Wachstumstemperaturen von 18—24°.

Die thermischen Ansprüche für das *vegetative Wachstum* (die Myzelproduktion) und die thermischen Ansprüche für die *Enzymbildung* (die Pektase- und die Pektinase-Produktion) klaffen somit bei *Aspergillus niger* noch weiter auseinander als bei *Botrytis cinerea*.

Doch gilt diese Aussage zunächst nur im Rahmen unserer Versuchsanordnung, bei welcher dem Pilze neben Pektin auch noch Glukose als Kohlenstoffquelle geboten wurde und bei welcher die Ernte schon nach 18 Tagen erfolgte, also mutmaßlicherweise *bevor* der Glukosevorrat gänzlich aufgebraucht war. Es bleiben deshalb zwei weitere Fragen zu beantworten :

1. beginnt *Aspergillus niger* bei den Wachstumstemperaturen oberhalb 30° Pektase und Pektinase zu bilden, *nachdem* die Glukosevorräte erschöpft sind ? Und
2. wie gestalten sich die thermischen Kurven der Pektase- und der Pektinase-Bildung von *Aspergillus niger* bei Kultur auf einer *reinen* Pektin-Lösung, also ohne Zugabe von Glukose als leicht assimilierbarer Kohlehydratquelle ? Tastversuche zeigten nämlich, daß *Aspergillus niger* in nur pektinhaltigen Czapek-Dox-Lösun-

gen bei Temperaturen oberhalb 30° einigermaßen zu gedeihen vermag; also muß der Pilz bei diesen hohen Wachstumstemperaturen, falls ihm die leichtverdauliche Glukose nicht zur Verfügung

Aspergillus niger v. Tiegh.

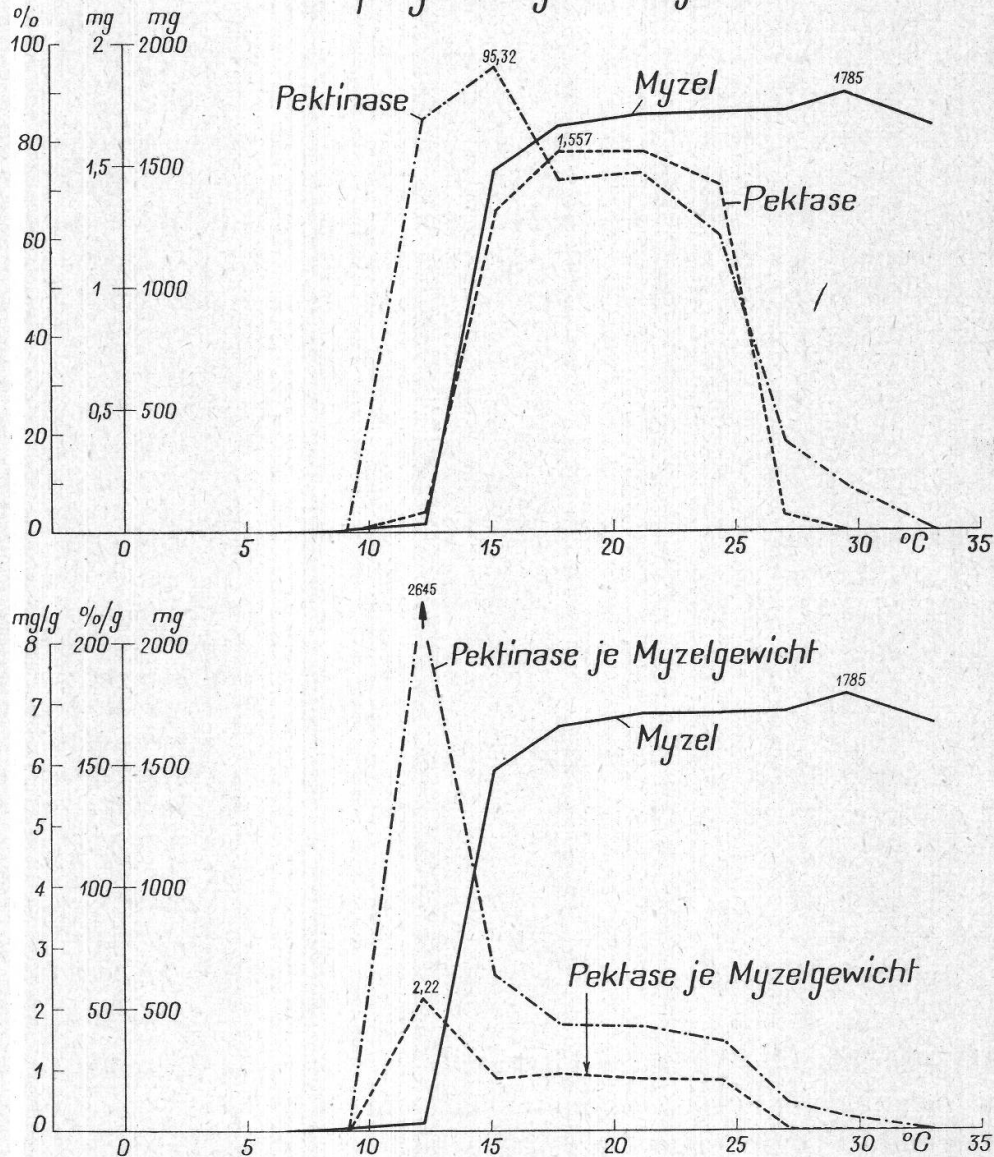


Abbildung 3.

Der Einfluß der Wachstumstemperatur auf das *Myzelwachstum* und auf die *Pektase*- und die *Pektinase*-Bildung von *Aspergillus niger* v. Tiegh. *Oben*: Absolute Werte des Pektase- und des Pektinase-Gehaltes der Nährlösungen. *Unten*: Ausmaß der Pektase- und der Pektinase-Bildung, bezogen auf das Myzeltrockengewicht.

steht, unmittelbar zur Bildung von Pektase und von Pektinase schreiten.

Diese beiden hiermit in Aussicht gestellten Versuchsreihen 1 und 2 kreisen um dasselbe Problem, das unseres Wissens bis jetzt noch nicht

in die Diskussion geworfen wurde, nämlich um die Frage der *thermisch gesteuerten adaptiven Enzyme*. Wir werden über sie in unserer nächsten Mitteilung berichten.

3. Allgemeine Betrachtungen.

Die *Temperaturkurve für die Aktivität* eines bestimmten Enzymes ist leider selbst dann, wenn das pH, die Ionenaktivität, die Enzymkonzentration usw. konstant sind, ihrerseits noch nicht gegeben, sondern die jeweilige Lage ihres Gipfels hängt weitgehend von der Dauer der *Einwirkung* der betreffenden Temperatur auf das betreffende Enzym ab; das Temperaturoptimum für ein bestimmtes Enzym liegt nämlich allgemein um so höher, bei je *kürzerer Einwirkungsdauer* die betreffenden Aktivitäten ermittelt wurden.

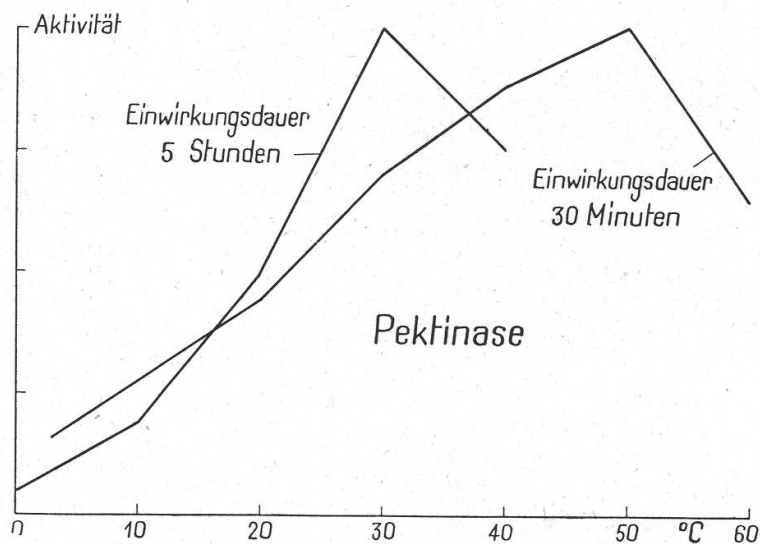


Abbildung 4.

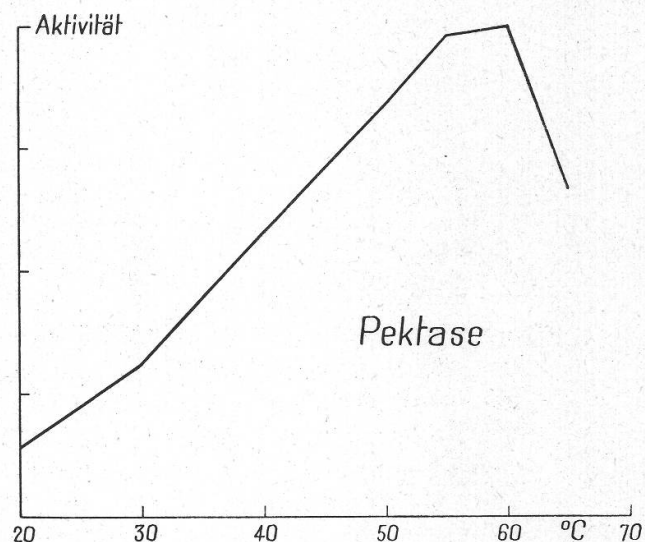
Die Temperaturabhängigkeit der Aktivität der Pektinase bei 30minütiger und bei fünfstündiger Einwirkung der Temperatur auf das Enzympräparat. 30 Minuten nach unveröffentlichten Messungen von J. Matus, Agrikulturchemisches Institut der ETH, mitgeteilt von H. Deuel. 5 Stunden nach Weitnauer, 1946.

Die thermische Wirksamkeitskurve für ein bestimmtes Enzym kommt offenbar dadurch zustande, daß einerseits die Enzymwirkung mit steigender Temperatur ansteigt, während andererseits das Enzymprotein bei höheren Temperaturen in steigendem Maße irreversibel zerstört wird. Diese irreversible Denaturierung macht sich meist bereits bei Temperaturen über 30° bemerkbar, wenn man das Enzym längere Zeit (mehr als 1 Stunde) auf das Substrat einwirken läßt; so haben wir in Abbildung 4 zwei Kurven der Pektinase-Aktivität leicht schematisiert dargestellt, nämlich für dreißigminütige und für fünfstündige Einwirkung der Temperatur auf das Enzympräparat: Bei dreißigminütiger Einwirkung liegt das Temperaturoptimum bei 50°, bei fünfstündiger Einwirkung bei 30°. Ähnliche Verschiebungen des thermischen Aktivitäts-optimums je nach der Dauer der Einwirkung der Temperatur auf das

Enzympräparat bestehen bei der Pektase¹; so zeigt Abbildung 5 für Tomatenpektase bei zehnminütiger Einwirkung ein Aktivitätsoptimum über 55—60°, während MacDonnell, Jansen und Lineweaver (1945) für Orangenpektase bei längerer Einwirkungszeit das Aktivitätsoptimum bei 30° feststellten.

Welche der beiden Kurven sollen wir jeweils für unsere pflanzenpathologische Betrachtung verwenden, diejenigen für die kurze oder diejenigen für die längere Einwirkung der Temperatur auf das Enzympräparat? Wahrscheinlich dürften die Kurven für die *kurze* Einwirkungsdauer dem Sachverhalt im Innern der Wirtspflanzen am nächsten kommen. Im *Kulturkolben* kann zwar ein bestimmtes Enzym tage- und wochenlang unter gleichmäßigen Bedingungen auf sein Substrat einwirken. Im Innern der *Wirtsgewebe* jedoch, wo sich die Pilzhyphe zwischen und in den Mittellamellen vordrängen und in unmittelbarem

Abbildung 5.
Die Temperaturabhängigkeit
der Aktivität der *Pektase*
bei zehnminütiger Einwirkung
der Temperatur auf
das Enzympräparat. (Nach
Speiser, Eddy und
Hills, 1945.)



Kontakt mit ihnen stehen, da wird ein bestimmtes Enzym wohl nur kurze Zeit, nachdem es ausgeschieden wurde, wirksam sein und dann sogleich durch die Abwehrreaktionen der benachbarten Wirtszellen oder sonstwie inaktiviert werden. Man kann sich ja nicht vorstellen, daß diese einmal ausgeschiedenen Enzyme dort nun dauernd, auch nachdem die Hyphenspitze weitergewachsen ist, wirksam bleiben.

¹ Diese mit steigender Temperatur zunehmende Schädigung des Enzymsystemes erschwert auch die Deutung von *Wachstumsversuchen* bei höheren Temperaturen, wie sie z. B. für die Abbildungen 2 und 3 ausgeführt wurden. Angenommen, bei der Wachstumstemperatur von 35° C sei ein bestimmtes Enzym nicht mehr nachzuweisen: Wird es bei dieser Temperatur durch den betr. Erreger nicht mehr gebildet, oder wird es durch die Temperatureinwirkung gleich wieder zerstört?

Unter diesen Voraussetzungen wollen wir die lehrbuchmäßige Rekonstruktion der Abbildung 1 für zwei Fälle versuchen, für *Botrytis cinerea* Pers. und ihre thermisch gesteuerte *Pektase*-Produktion und für *Aspergillus niger* v. Tiegh. und seine thermisch gesteuerte *Pektinase*-Bildung. Beide Pilze wurden ja in unsern Versuchsreihen unter kohlehydrat-normalen Verhältnissen gezogen, nämlich bei gleichzeitiger Gegenwart von Pektin und Glukose, wie dies auch unter parasitischen Bedingungen im Innern der Laubblätter und der Speicherorgane der Fall ist.

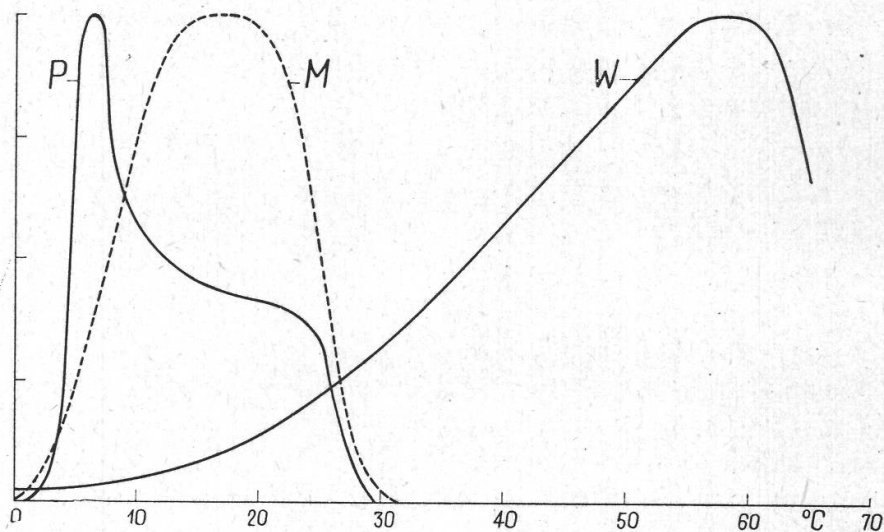


Abbildung 6.

Der Einfluß der Umwelttemperatur auf das Wachstum, die Pektase-Produktion und die Pektase-Aktivität bei *Botrytis cinerea* Pers. Kurve M: Myzelrockengewicht des Pilzes bei den verschiedenen Wachstumstemperaturen. Kurve P: Pektase-Menge, die je Einheit Myzelrockengewicht bei den verschiedenen Wachstumstemperaturen gebildet wird. Kurve W: Wirkungsgrad der Pektase bei den verschiedenen Außentemperaturen, bei kurzer Einwirkungszeit. Abszisse: Wachstums-, bzw. Wirkungstemperaturen.

In beiden Fällen, sowohl bei *Botrytis cinerea* als bei *Aspergillus niger*, ist die Temperaturspanne für das vegetative Wachstum erheblich enger als die Temperaturspanne, innerhalb der die beiden hier in Frage kommenden Enzyme zu wirken vermögen. Bei *Botrytis cinerea* (Abbildung 6) beträgt die Temperaturspanne für das vegetative Wachstum etwa 36°, die Temperaturspanne für die Pektase-Aktivität etwa 70°. Bei dem außergewöhnlich eurythermen *Aspergillus niger* (Abbildung 7) beträgt die Temperaturspanne für das vegetative Wachstum etwa 50°, die Temperaturspanne für die Pektinase-Aktivität dagegen etwa 70 bis 75°. Es ist deshalb beiden Pilzen (und wohl sämtlichen parasitischen Pilzen) von vorneherein versagt, den gesamten Temperaturbereich,

innerhalb dessen die von ihnen gebildeten Enzyme wirksam sind, für ihr eigenes vegetatives Wachstum auszunützen.

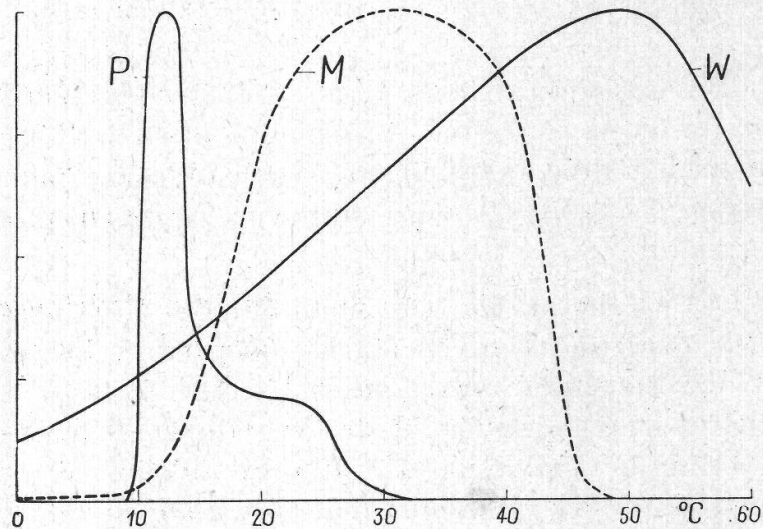
Diese Diskrepanz wird noch durch den Umstand verstärkt, daß die beiden Pilze die zwei hier in Frage kommenden Enzyme nicht im ganzen Temperaturbereich ihres vegetativen Wachstums bilden, sondern wiederum nur innerhalb einer beschränkten (und in ihrer Art charakteristischen) Temperaturspanne. Bei *Botrytis cinerea* (Abb. 6) beträgt, wie soeben erwähnt, die Temperaturspanne für das vegetative Wachstum etwa 36°, die Temperaturspanne für die Pektase-Bildung jedoch nur rund 24°. Bei *Aspergillus niger* (Abb. 7) beträgt die Temperaturspanne

Abbildung 7.
Der Einfluß der Umwelttemperatur auf das Wachstum, die Pektinase-Produktion und die Pektinase-Aktivität von *Aspergillus niger* v. Tiegh.

Kurve M: Myzel-trockengewicht des Pilzes bei den verschiedenen Wachstumstemperaturen.

Kurve P: Pektinase-Menge, die je Einheit Myzeltrockengewicht bei den verschiedenen

Wachstumstemperaturen gebildet wird. Kurve W: Wirkungsgrad der Pektinase bei den verschiedenen Außentemperaturen, bei kurzer Einwirkungszeit. Abszisse: Wachstums-, bzw. Wirkungstemperaturen.



für das vegetative Wachstum rund 50°, die Temperaturspanne für die Pektinase-Produktion dagegen nur 20°, also *nicht einmal die Hälfte* der Temperaturspanne für das vegetative Wachstum. Wir vermögen zurzeit für diese sonderbare Diskongruenz keine Deutung zu geben.

Betrachten wir nunmehr die Temperaturen, innerhalb denen ein vegetatives Wachstum und eine Enzymproduktion möglich ist, so stellt *Botrytis cinerea* (Abb. 6) in ihren Ansprüchen an die Wachstumstemperatur wohl den häufigsten Fall unter den pflanzenpathogenen Pilzen dar: ihr Temperaturoptimum für das *vegetative Wachstum* liegt zwischen 14° und 20°. Das thermische Optimum für die *Pektase-Produktion* liegt dagegen rund 10° tiefer, nämlich bei der Wachstumstemperatur von 6°; bei der Wachstumstemperatur von 30° bildet der Pilz überhaupt keine Pektase mehr und ernährt sich hier offenbar ausschließlich auf Grund der Hexosen.

Unter diesen Umständen verläuft die *thermische Aktivitätskurve der Pektase* für *Botrytis cinerea* außerordentlich ungünstig. Bei der Wachstumstemperatur von 6°, wo die Pektase-Produktion von *Botrytis cinerea* je Einheit Myzelgewicht den Höhepunkt erreicht, besitzt die Pektase nur etwa 3% der Wirksamkeit, die sie an ihrem thermischen Aktivitätsoptimum entfaltet. Bei 30°, wo *Botrytis cinerea* ihre Pektase-Produktion bereits wieder einstellt, erreicht die Pektase erst eine Wirksamkeit von etwa 30%, bezogen auf das thermische Aktivitätsoptimum. Und fast 30° höher, als der Pilz überhaupt zu gedeihen vermag, nämlich bei rund 60°, übt die Pektase ihre optimale demethoxylierende Tätigkeit aus; dieses thermische Aktivitätsoptimum der Pektase ist somit für die parasitische Wirksamkeit von *Botrytis cinerea* völlig belanglos.

Bei *Aspergillus niger* (Abb. 7) liegen die Verhältnisse wesentlich günstiger, weil er extrem thermophil ist; ein thermisches Wachstumsoptimum bei rund 30° und ein Wachstumsmaximum bei rund 50° (wie bei *Aspergillus niger*) wird nur von wenigen pflanzenpathogenen Pilzen erreicht.

Das thermische Optimum für die Pektinase-Produktion liegt auch bei *Aspergillus niger* stark *suboptimal*, bezogen auf das thermische Wachstumsoptimum, nämlich bei 12°, also 18 bis 20° *niedriger* als das thermische Optimum für das vegetative Wachstum. Andererseits liegt das thermische Maximum für die Produktion der Pektinase zwischen 30 und 33°, also gerade beim *Optimum* für das vegetative Wachstum. Wenn somit *Aspergillus niger* in Speicherorganen, die Stärke oder Hexosen enthalten (z. B. in Maiskörnern oder in Maiskeimlingen), bei der für ihn optimalen Wachstumstemperatur von 30° üppig gedeiht, so muß er sich von den Hexosen ernähren und muß die Pektine zunächst unangetastet lassen.

Da bei *Aspergillus niger* sämtliche thermischen Kardinalpunkte nach der thermophilen Seite hin verschoben sind, so vermag der Pilz einen wesentlich günstigeren Bereich der thermischen Aktivitätskurve der Pektinase auszunützen, als dies bei *Botrytis cinerea* und der Pektase der Fall ist. Bei 12°, dem thermischen Produktionsoptimum für die Pektinase, erreicht die thermisch gesteuerte Pektinase-Aktivität bereits einen Wert von rund 30%, bezogen auf das thermische Aktivitätsoptimum, und bei 30 bis 33°, wo die Pektinase-Produktion wieder eingestellt wird, erreicht die thermisch gesteuerte Pektinase-Aktivität einen Wert von rund 70%, wiederum bezogen auf das thermische Aktivitätsoptimum. Und würde der Pilz seine Pektinase-Produktion nicht aus unerklärlichen Gründen bei 33° einstellen, sondern sie bis zum Temperaturmaximum für sein vegetatives Wachstum (rund 50°) ausdehnen, so könnte er hier die optimale Aktivität der von ihm ausgeschiedenen Pektinase erleben.

Zusammenfassung.

1. *Botrytis cinerea* Pers. bildet in einer pektin-glukose-haltigen Nährlösung Pektase nur bei den Wachstumstemperaturen von 3 bis 27° und Pektinase nur zwischen 3 und 30°; unterhalb 3° und oberhalb 27, bzw. 30° benützt der Pilz ausschließlich die Glukose als Kohlehydratquelle; die Temperaturspanne für die Pektase- und für die Pektinase-Bildung ist somit unter den geprüften Ernährungsverhältnissen erheblich enger als die Temperaturspanne für das vegetative Wachstum. Im Bereich der Wachstumstemperaturen, bei welchen die betreffenden Enzyme überhaupt gebildet werden, ist die Pektase-Produktion je Einheit Myzelgewicht bei niedern Wachstumstemperaturen, nämlich bei etwa 6°, zwei- bis dreimal größer als bei den für das Myzelwachstum günstigeren Temperaturen von 15—24°. Die Pektinase-Produktion scheint dagegen bei *Botrytis cinerea* einigermaßen proportional mit dem vegetativen Wachstum zu verlaufen.

2. *Aspergillus niger* v. Tiegh. bildet in einer pektin-glukose-haltigen Nährlösung Pektase nur bei den Wachstumstemperaturen von 10—27° und Pektinase nur zwischen 10 und rund 30°; unterhalb 10° und oberhalb 27, bzw. 30° benützt der Pilz, wie *Botrytis cinerea*, ausschließlich die Glukose als Kohlehydratquelle; da *Aspergillus niger* bei Temperaturen bis rund 50° zu gedeihen vermag, so beträgt die Temperaturspanne, innerhalb welcher er *in Gegenwart von Glukose* Pektase und Pektinase bildet, nur rund einen Drittel der gesamten Temperaturspanne für das vegetative Wachstum. Im Bereich der Wachstumstemperaturen, bei welchen die betreffenden Enzyme überhaupt gebildet werden, ist sowohl die Pektase- als die Pektinase-Produktion je Einheit Myzelgewicht bei *niedern* Wachstumstemperaturen, nämlich bei rund 12°, erheblich größer als bei den für das vegetative Wachstum günstigeren Temperaturen von 18—24°, nämlich für die Pektase-Bildung rund dreimal so hoch und für die Pektinase-Bildung rund 50mal so hoch.

Zitierte Literatur.

- G ä u m a n n, E., 1946. Pflanzliche Infektionslehre. Birkhäuser, Basel, 611 S.
— und B ö h n i, E., 1947. Über adaptive Enzyme bei parasitischen Pilzen I und II. (Helvetica chimica Acta, **30**, 24—38, im Druck.)
M a c D o n n e l l, L. R., J a n s e n, E. F., and L i n e w e a v e r, H., 1945. The properties of orange Pectinesterase. (Archives of Biochem., **6**, 389—401.)
S p e i s e r, R., E d d y, C. R., and H i l l s, C. H., 1945. Kinetics of deesterification of pectin. (Journ. of physical chem., **49**, 563—579.)
W e i t n a u e r, G., 1946. Über die Kinetik der Pektinase. (Helv. chim. Acta, **29**, 1382—1399.)
-