

Die insektizide Wirkung von Pyrethrum- und Derrisgiften und ihre Abhängigkeit vom Insektenkörper.

Von Heinz Klinger.

(Aus der Mittelprüfstelle der Biologischen Reichsanstalt.)

(Mit 2 Tafeln und 2 Textfiguren.)

1. Literaturübersicht.
 2. Untersuchungsmethoden.
 3. Giftstoffe.
 4. Versuchstiere.
- I. Die insektizide Wirkung der Pyrethrum- und Derrisgifte.
- A. Allgemeiner Vergiftungsverlauf bei Behandlung von Insekten.
- a) Allgemeines.
 - b) Wirkung der Pyrethrumgifte.
 - c) Wirkung der Derrisgifte.
 - d) Vergleich der Pyrethrum- mit der Derrisgiftwirkung an verschiedenen Insekten.
 - e) Giftempfindlichkeitsschwankungen
 1. durch äußere Einflüsse (Temperatur)
 2. durch individuelle Verschiedenheiten.
 - f) Beeinflussung der Giftwirkung durch Veränderung des Mittels.
- B. Vergiftungsverlauf bei Behandlung einzelner Körperteile.
- a) Behandlung der Mundteile und Fühler.
 - b) Behandlung einzelner Körpersegmente.
 - c) Behandlung von Extremitäten.
 - d) Behandlung durch Injektion.
- C. Nachweis der Giftwirkung im Tierkörper.
- a) Untersuchung des Nervensystems.
 - b) Untersuchung der Muskulatur.
 - c) Untersuchung der Körpersäfte.
- D. Art der Giftwirkung der Pyrethrum- und der Derriswurzelgifte.
- II. Abhängigkeit der Giftwirkung vom Insektenkörper.
- a) Die Cuticula.
 1. Struktur und Bau des Chitinskeletts mit Berücksichtigung der Hautsinnesorgane.
 2. Die Permeabilität der Cuticula.
 3. Die Epicuticula.
 - b) Das Hautnervensystem.
 - c) Die artspezifische Resistenz.
- III. Nachwirkung der Vergiftung auf Puppe und Imago.
- IV. Zusammenfassung.
- Literaturverzeichnis.

Pyrethrum- und Derrisgifte haben in den letzten Jahren für die Schädlingsbekämpfung eine große Bedeutung gewonnen. Untersuchungen über die Wirkungsweise der Gifte und ihre Brauchbarkeit in der Praxis sind in großer Zahl vorhanden. Die Ergebnisse lassen aber kein einheitliches und abschließendes Urteil zu. Weitere eingehende Untersuchungen

mit den reinen Wirkstoffen an größerem Tiermaterial haben sich daher als notwendig herausgestellt, um in praktischer und theoretischer Hinsicht vorhandene Lücken zu schließen.

1. Literaturübersicht.

Pyrethrum.

Die bisherigen Kenntnisse und Erfahrungen über Pyrethrumpflanzen, deren Giftstoffe und ihre Gewinnung hat Gnädinger (1933) in einer umfangreichen Arbeit zusammengetragen und darin auch die gesamte einschlägige Literatur angeführt. Weiterhin hat Sprengel (1934) die Ergebnisse der Pyrethrumforschung zusammengefaßt, so daß Einzelheiten aus diesen Arbeiten zu ersehen sind. Die Forschung nach dem wirksamen Giftstoff der Pyrethrumpflanzen (*Chrysanthemum* [*Pyrethrum*] *roscum* Web. & Mohr, *Chrysanthemum* [*Pyrethrum*] *cinerariaefolium* Trev.) bereits um die Mitte des vorigen Jahrhunderts, jedoch gelang es erst den Untersuchungen von Sato (1905), Fujitani (1909) und Yamamoto (1919) auf analytischem Wege einen giftigen Stoff aus den Blüten zu isolieren, den Fujitani als einen Ester erkannte. Eine genaue Kenntnis der chemischen Zusammensetzung des Giftstoffes verdanken wir der Arbeit von Staudinger und Ruzicka (1924), die zwei nahe verwandte Ester fanden, die sie Pyrethrin I und Pyrethrin II nannten. Von ihren Ergebnissen sei hier nur so viel mitgeteilt, daß die Pyrethrine I und II ölige, in Wasser unlösliche, dagegen in Chloroform, Aether, Alkohol, Aceton und einigen anderen organischen Lösungsmitteln lösliche Ester des Ketonalkohols Pyrethrolon sind, deren Säureanteil beim Pyrethrin I die Chrysanthemummonokarbonsäure, beim Pyrethrin II die Chrysanthemumdikarbonsäure bildet.

Einzelheiten des chemischen Verfahrens und die weiteren analytischen Untersuchungen sind aus den Arbeiten von Staudinger und Ruzicka, Staudinger und Harder (1927), Tattersfield und Hobson (1929), Gnädinger und Corl (1929), Wilcoxon und Hartzell (1933) zu ersehen.

Der Pyrethringehalt der Blüten schwankt zwischen 0,4 und 0,6 %, kann aber auch gelegentlich nach Martin und Tattersfield (1931) 2% übersteigen. Bei den einzelnen Arten schwankt der Giftgehalt insofern, als er von Klima, Boden und Düngung, weiterhin vom Reifestadium, von der Behandlung und von Versand und Lagerung der Blüten abhängig ist.

Zur Prüfung der insektiziden Wirkung der Pyrethrine sind eine große Zahl von Arbeiten — besonders in Amerika — durchgeführt worden. Nach diesen Arbeiten sind die Pyrethrine für die meisten Insekten starke Gifte, die bereits in sehr geringer Konzentration wirken. Buch-

mann (1934) zeigte, daß Pyrethrine zu den giftigsten Stoffen zu rechnen sind, die wir überhaupt kennen. Eine Insektenpulver-Suspension vergiftete Wasserasseln noch in einer Verdünnung von 1 : 1 000 000. Das reine Pyrethrin würde sich hier nach Buchmann in einem Mengenverhältnis von 1 : 5 000 000 000 im Wasser befinden, während die Teilchengröße der in kolloidaler Form gelösten Pyrethrine in Wasser zwischen 0,01 und 0,001 μ liegt.

Das Giftigkeitsverhältnis von Pyrethrin I zu Pyrethrin II haben Tattersfield, Hobson, Gimmingham (1929) an Blattläusen geprüft und fanden Pyrethrin I zehnmal giftiger als Pyrethrin II. Nach Gnadinger und Corl (1929) wurde ein Verhältnis von 10:8 an Fliegen ermittelt.

Eine Zusammenstellung über den heutigen Stand der Pyrethrumforschung und die bisherigen Bekämpfungserfahrungen gibt Sprengel (1934), daher sollen bei meinen Untersuchungen nur diejenigen Arbeiten berücksichtigt werden, die meine Fragestellungen berühren.

Aus neueren Arbeiten geht häufig die verschieden starke Giftempfindlichkeit einzelner Insektenarten hervor. So fanden Krüger (1931) und Kemper (1933) die Stabheuschrecke (*Carausius morosus*) als völlig widerstandsfähig gegen Pyrethrumstäubemittel. Auch Spinnen zeigten eine starke Giftfestigkeit, auftretende Vergiftungssymptome verschwanden sehr bald wieder (Kemper 1933). Gegen verschiedene Arten von Blattläusen fand Richardson (1932) Unterschiede in der wirksamsten Konzentration. Die Tatsache ungleicher Giftempfindlichkeit konnten auch Gößwald (1934) und Trappmann und Nitsche (1935) an Raupen einiger Schmetterlingsarten bestätigen. Untersuchungen über die Ursache dieser so häufig festgestellten Unterschiede sind so gut wie gar nicht vorhanden. Es ist daher sowohl für Fragen der Bekämpfung eines schädlichen Insekts im Freiland wie auch für alle toxikologischen Untersuchungen von großer Wichtigkeit, Klarheit über diese Verhältnisse zu gewinnen.

Derris.

Eine fast vollständige Zusammenstellung der Derris-Literatur von 1747—1931 hat R. C. Roark (2) (1932) gegeben.

Über das Vorkommen, Anbau, Ernte, Handel und Verarbeitung der Derrispflanzen (*Derris elliptica* Benth. und *Lonchocarpus nicou*) veröffentlichten u. a. Roark (1) (1932) und Adriano (1934).

Untersuchungen über die chemische Natur der wirksamen Stoffe der Derriswurzel liegen in großer Zahl vor. Aus der *Derris chinensis* erhielt im Jahre 1902 der japanische Chemiker Nagai den Stoff in kristalliner Form und nannte ihn „Rotenon“. Eine Reihe von Forschern, deren Arbeiten Houben (1932) angeführt hat, setzte die chemischen Untersuchungen

fort. Von deutscher Seite haben Windaus und Butenandt (1928) das Rotenon und seinen Abbau chemisch erforscht. Die Konstitutionsformel haben Butenandt und Mc Cartney (1932) und La Forge und Haller (1932) unabhängig voneinander aufgestellt. Die Derriswurzel enthält noch einige andere nicht kristallisierbare Bestandteile, von denen noch drei chemisch definierbare Substanzen gewonnen wurden: Deguelin, Tephrosin, Toxicarol.

Rotenon ist ein Cumaronabkömmling, es ist eine kristalline Substanz mit dem Schmelzpunkt 163°. In Wasser ist es fast unlöslich, in Aceton und Chloroform leicht löslich, etwas schwächer wird es von Alkohol und Aether gelöst. Der Rotenongehalt der Derriswurzel schwankt zwischen 0,5 und 5,5%. Die südamerikanische „Cube“-Wurzel (*Lonchocarpus nicou*) enthält bis 11% Rotenon (Roark 1932).

Die insektentötende Wirkung der Derrisgifte ist in der Fachliteratur noch häufiger behandelt worden, als die von Pyrethrum.

Davidson (2) (1930) hat die Giftigkeit der vier isolierten Substanzen aus der Derriswurzel: Rotenon, Deguelin, Tephrosin und Toxicarol an Blattläusen festgestellt und fand ein Giftigkeitsverhältnis dieser Stoffe von 400 : 40 : 10 : 1.

Mit einer Rotenonkonzentration von 0,0005% als Suspension konnte derselbe Autor eine 100%ige Abtötung von *Aphis rumicis* erzielen. Die Meinungen über den eigentlich wirksamsten Stoff gehen sehr auseinander; während Davidson (2) (1930) Rotenon für den wirksamsten Bestandteil der Wurzel hält, teilt Roark (1931) mit, daß auch rotenonfreie Wurzeln eine große insektentötende Kraft besitzen. Auch Götze (1933) fand den rotenonfreien Extrakt sogar wirksamer als die reine Rotenonlösung und den Gesamtextrakt. Clark (1930), und Georgi und Teik (1932) sind ebenfalls der Meinung, daß Rotenon nicht der Indikator der insektiziden Wirkung sein kann.

Nach Turner (1932) ist Rotenon ein sehr wirksames Fraßgift gegen Insekten. In einer Verdünnung von 1 : 1000 (Aceton-Wassersuspension) tötete es 80% von Kartoffelkäferlarven innerhalb von zwei Tagen, wogegen Bleiarsenat in einer Verdünnung von 1 : 556 die gleiche Wirkung an einem Tage zeigte. In größeren Verdünnungen wirkt das Rotenon viel langsamer. Mc Indoo, Sievers, Abbott (1919) stellen ebenfalls eine Magengiftwirkung an Kröten fest. Auch Campbell (1916) verfütterte Rotenon an Seidenraupen und fand es dreißigmal giftiger als Bleiarsenat.

In der Tiermedizin wird Rotenon mit sehr gutem Erfolg gegen Dasseliegenlarven angewandt (Zunker 1934).

Oft sind Versuche über Mischungen von Pyrethrin- und rotenonhaltigen Mitteln angestellt worden, um die Augenblickswirkung der Pyre-

thrine mit der langsam einsetzenden, aber anhaltenden Wirkung des Rotenons zu verbinden (Gnadinger und Corl 1932).

Die vorliegenden Mitteilungen lassen erkennen, daß man bis heute weder über die physiologisch wirksamsten Giftstoffe (besonders der noch nicht darstellbaren in den Restharzen der Wurzel befindlichen) genau unterrichtet ist, noch über deren Giftwirkung auf Insekten im einzelnen Klarheit gewonnen hat.

Zum Vergleich der insektiziden Wirkung von Pyrethrinen und Rotenon führte Darley (1931) Versuche aus, die ergaben, daß Rotenon sich gegen die Blattlaus *Rhopalosiphum pseudobrassicae* wirksamer zeigte als Pyrethrum, daß aber gegen *Epilachna corrupta* und *Diabrotica duodecimpunctata* Pyrethrum das Rotenon übertraf. Ginsburg und Schmitt (1932) haben in ihren Versuchen eine größere Giftigkeit von Rotenon in sehr starker Verdünnung gegen Blattläuse ermittelt. Pyrethrumextrakt in derselben Verdünnung zeigte sich dagegen wirksamer als Rotenon gegen Honigbienen. Aus der Veröffentlichung von Trappmann und Nitsche (1935) geht hervor, daß Pyrethrine für die von ihnen untersuchten Schmetterlingsraupen und Käferlarven in allen Fällen giftiger waren als Rotenon.

Eine Erklärung der sich oft sehr widersprechenden Angaben über die insektizide Wirkung von Pyrethrinen und Derrisgiften kann außer dem sehr ungleichen Tiermaterial vielleicht noch in der oft erkannten und auch untersuchten Unbeständigkeit der Giftstoffe von Pyrethrupflanzen und Derriswurzeln gefunden werden: Tattersfield (1932), Gnadinger (1931), Richardson (1931), Davidson and Jones (1931).

Daher ist es auch sehr leicht möglich, daß bei Untersuchungen mit diesen Giftstoffen uneinheitliche Auffassungen und Ergebnisse entstehen können. Diese Fehlerquellen, die chemische Unbeständigkeit und der immer ungleiche Gehalt der Pflanzen an den wirksamen Stoffen, erschweren ihre praktische Anwendung und die Beurteilung der physiologischen Wirkung.

Die in der Literatur vorliegenden Widersprüche und Unklarheiten über die insektizide Wirkung der Pyrethrum- und der Derrisgifte gaben die Anregung, Untersuchungen darüber anzustellen und bereits von anderer Seite durchgeführte Untersuchungen weiterzuführen, um die Wirkung der beiden Berührungsgifte an verschiedenen Insektenarten zu ermitteln. Im Vordergrund stand dabei, die Art der toxikologischen Wirkung und ihre Abhängigkeit vom anatomischen Bau des Insektenkörpers, vom Entwicklungs- und Altersstadium der Versuchstiere und von physiologischen Faktoren festzustellen.

2. Untersuchungsmethoden.

Folgende Untersuchungsmethoden wurden von mir angewandt:

Für die Chitinkutikula wurde als Fixiermittel 1 Tl. Formalinlösung (40 %) mit 4 Teilen Leitungswasser verdünnt, benutzt. Nach 24-stündiger Fixierung wurde durch die Alkoholreihe über Methylbenzoat-Celloidin und Benzol in Paraffin (58°) übergeführt. Die Schnittdicke betrug 5—7,5 μ . Als Färbemittel erwies sich Haemalaun-Eosin und Methylblau-Eosin als sehr brauchbar.

Die Ganglienschnitte (5 μ) färbte ich mit Haemalaun oder Toluidinblau. Zum Nachweis der peripheren Nerven benutzte ich die Silbermethode nach O. Schulze (Romeis § 1476).

Um evtl. vorhandenes Fett auf der Cuticula nicht durch Alkohol oder Benzol zu extrahieren, fertigte ich Gefrierschnitte von 5 μ bis 20 μ Dicke an, färbte diese mit einer 40 %igen Sudan III-Lösung und bettete sie in Glycerin-Gelatine ein.

Die mikrographischen Aufnahmen wurden sämtlich mit einer 900fachen Vergrößerung hergestellt, die zur Veröffentlichung auf $\frac{1}{2}$ verkleinert wurden.

Die Bestimmungen der pH-Werte wurden nach der Methode Trené mit einer Chinhydronelektrode vorgenommen.

Die Messung der elektrischen Leitfähigkeit des Bauchmarkstranges vergifteter und unvergifteter Versuchstiere führte ich mit einem Saitengalvanometer aus. Ich benutzte hierzu eine Methode wie sie Voelkel (1921) zu Ruhestrommessungen an Froschnerven verwendet hat.

Zur Messung der Leitfähigkeit der Körperflüssigkeit benutzte ich den von Langenbuch (1934) konstruierten und beschriebenen Apparat. Die Methode eignet sich zur Ermittlung der Leitfähigkeit kleinster Tropfen.

Die Bewegungen der Raupen nach der Gifteinwirkung (Erregungszustände) wurden auf eine rotierende Trommel eines Kymographions übertragen. Die Raupe befand sich zwischen einer Klemmvorrichtung und setzte durch ihre Zuckungen einen Schreibhebel in Bewegung, der auf dem Rußpapier der Trommel den Vergiftungsverlauf kurvenmäßig aufzeichnete.

3. Giftstoffe und die Art ihrer Anwendung.

Pyrethrum- und Derrispräparate werden in Deutschland fabrikmäßig hergestellt und in den Handel gebracht. Soweit diese Präparate amtlich anerkannt sind, haben sich die Hersteller der Biologischen Reichsanstalt gegenüber verpflichtet, diese Präparate stets in gleichbleibender Zusammensetzung herzustellen. Trotzdem habe ich von der Verwendung dieser Fertigpräparate Abstand genommen, denn die meisten dieser Mittel ent-

halten außer den wirksamen Pflanzengiften Zusatzstoffe, die die Giftwirkung erhöhen und daher eine Beurteilung der ausschließlichen Wirkung von Pyrethrinen und Derrisgiften unmöglich machen. Ich habe daher nur reine Substanzen verwandt. Ich benutzte einen Pyrethrumextrakt, der als Lösungsmittel Petroleum mit 15 % Pyrethrinen enthielt. Als Derrisgift stand mir kristallines Rotenon zur Verfügung. Leider war es nicht möglich, Pyrethrin I und Pyrethrin II sowie die außer dem Rotenon in der Derriswurzel noch befindlichen Giftstoffe (Tephrosin, Deguelin, Toxicarol) einzeln in reiner Form und in genügender Menge zu beschaffen. Zum Vergleich mit Rotenon wurde daher die gemahlene Derriswurzel (alle Giftstoffe enthaltend) mit herangezogen.

Um die Wirksamkeit der Gifte als Stäubemittel und als Spritzmittel zu prüfen, mußte ich mir den Pyrethrum-Extrakt und das Rotenon in gleicher Konzentration als Flüssigkeit und als Staubform zubereiten. Ich ging in beiden Fällen von einem 15 %igen Extrakt aus, den ich mit Talkum (Stäubemittel) bzw. Türkischrotöl (Spritzmittel) auf 0,15 % Giftgehalt streckte.

Diese 0,15 %igen Pyrethrin- bzw. Rotenon enthaltenden Talkum- und Türkischrotölpräparate waren meine Standardlösungen, von denen ich vor jedem Versuch die weiteren Verdünnungen herstellte (vgl. Trappmann und Nitsche 1935).

Um in allen Versuchsreihen ganz bestimmte Giftmengen zur Anwendung bringen zu können, wurde für die Spritzflüssigkeit eine Dosierungswaage benutzt, wie sie Trappmann und Nitsche (1934) beschrieben haben, für die Stäubemittel wurde die von Lang und Welte (1930) beschriebene „Dosierungsglocke“ benutzt. Den besseren von Görnitz (1933) konstruierten Dosierungsapparat, der sich sowohl für Spritzungen als auch für Verstäubungen eignet, hatte ich leider nicht zur Verfügung.

Eine schwierige Frage war die Anwendung der richtigen Konzentration. Da ich Werte benötigte, die ich an den verschiedenen Insektenarten für meine Fragestellungen vergleichen konnte, mußte ich eine „Dosis toxica“ für Pyrethrine und Rotenon finden, bei der die Empfindlichkeitsunterschiede der einzelnen Arten deutlich sichtbar wurden. Schon die ersten orientierenden Versuche ergaben, daß sich keine Giftkonzentration finden ließ, die dieser Forderung in ausreichendem Maße gerecht wurde. Dazu lagen die Extreme der sehr empfindlichen und überaus widerstandsfähigen Arten zu weit auseinander und außerdem zeigten Pyrethrine und Rotenon eine weit verschiedene toxische Wirkung. Da es mir aber auf die gleichbleibende Giftkonzentration ankam, mußte ich mich für eine Mitteldosierung entscheiden, die wenigstens bei Pyrethrinen einigermaßen abgestufte Unterschiede einzelner Arten kenntlich machte.

Die brauchbarsten Vergleichswerte ergab die auch von Trappmann und Nitsche (1935) benutzte Konzentration von 0,00015 g Pyrethrin- bzw. Rotenongehalt in 100 mg Stäubemittel (auf 415 cm² des Glockenbodens). Entsprechend der Größe der Spritzwaage (500 cm²) mußte die flüssige Dosis 0,00018 g Pyrethrine- bzw. Rotenon aufweisen. In bestimmten Fällen mußte ich Giftkonzentrationen verdoppeln oder verdreifachen; Zusatzstoffe wie Seifen o. ä. habe ich nicht benutzt. Die Standardmittel wurden in gut schließenden Gefäßen und im Dunkeln aufbewahrt, nach 4—5 Monaten war noch kein Giftigkeitsverlust feststellbar.

Die Versuche wurden, mit Ausnahme derjenigen, die bei besonderen Temperaturstufen angestellt wurden, bei Zimmertemperatur, die zwischen 19 und 25° lag mit je 10 Tieren ausgeführt.

4. Auswahl der Versuchstiere.

Von größter Bedeutung für meine Untersuchungen war die richtige Auswahl der Versuchstiere. Es kam mir vor allem darauf an, Insektenarten auszuwählen, die teils höchste Empfindlichkeit, teils größte Widerstandsfähigkeit und teils auch dazwischen liegende Mittelwerte aufwiesen. Dabei mußte ich zweckmäßig Arten wählen, die zu den in den Versuchen benötigten Entwicklungsstadien in genügend großer Menge beschafft oder herangezogen werden konnten. Weiterhin mußten die Versuchstiere hinsichtlich ihrer morphologisch-anatomischen Organisation und nach Möglichkeit auch hinsichtlich ihrer ökologischen Abhängigkeit untereinander vergleichbar sein. Diesen Anforderungen wurden am besten die als Großschädlinge bekannten Raupen einiger Schmetterlingsarten gerecht, von denen eine sehr verschiedene Giftempfindlichkeit aus Bekämpfungserfahrungen bei Massenvermehrungen bekannt war und die eine Untersuchung erforderte.

Von Lepidopteren habe ich untersucht:

- Kiefernspinner (*Dendrolimus pini* L.),
- Nonne (*Lymantria monacha* L.),
- Weidenspinner (*Stilpnotia salicis* L.),
- Schwammspinner (*Lymantria dispar* L.),
- Seidenraupe (*Bombyx mori* L.),
- Tagpfauenauge (*Vanessa io* L.),
- Erdeule (*Agrotis segetum* Schiff.),
- Kohleule (*Mamestra brassicae* L.),
- Abendpfauenauge (*Smerinthus ocellata* L.),
- Ringelspinner (*Malacosoma neustria* L.),
- Goldafter (*Euproctis chryorrhoea* L.),
- Apfelwickler (*Carpocapsa pomonella* L.),
- Apfelgespinstmotte (*Hyponomeuta malinellus* Zell.),

Die in Zucht gehaltenen Tiere wurden bei hoher Luftfeuchtigkeit gehalten, immer reichlich mit Futter versehen und zeigten mit wenigen Ausnahmen einen guten Gesundheitszustand.

Für physiologische Einzeltierversuche dienten mir weiterhin:
 von Orthopteren: die japanische Gewächshausheuschrecke (*Tachycines asynamorus* Adel),
 die Stabheuschrecke (*Carausius morosus* Brunner);
 von Hymenopteren: Bienen (*Apis mellifica* L.) und Wespen (*Vespa vulgaris* L.);
 von Dipteren: Stubenfliegen (*Musca domestica* L.);
 von Coleopterenlarven: Nashornkäfer (*Oryctes nasicornis* L.), Mai-
 käfer (*Melolontha melolontha* L.);
 von Opilioniden: der gemeine Weberknecht (*Phalangium opilio* L.).

I. Die insektizide Wirkung der Pyrethrum- und Derrisgifte.

A. Allgemeiner Vergiftungsverlauf bei Behandlung von Insekten.

a) Allgemeines über Giftwirkung.

Die Wirkungsintensität eines Giftes ist von einer Reihe von Bedingungen abhängig und eine ganze Anzahl von Faktoren ist häufig nötig, um seine giftige Eigenschaft in Erscheinung treten zu lassen. Für die Stärke der Giftwirkung sind Giftstoff, die Art seiner Anwendung und das Tiermaterial von wesentlicher Bedeutung. Für den Giftstoff selbst ist seine chemisch-physikalische Reaktionsfähigkeit, seine Löslichkeit in Wasser, Körperflüssigkeiten oder fettartigen Substanzen (Lipoiden) wichtig. Für den Vergiftungsverlauf sind entscheidend die Konzentration des Giftes an den betreffenden Erfolgsorganen und die Dauer der Einwirkung. Hinsichtlich der Versuchstiere sind individuelle Eigenschaften wie Alter, Entwicklungsstadium, Rasse, Geschlecht, Ernährungszustand und die physiologische Disposition zu berücksichtigen. Wichtig ist die Auffindung des Giftangriffspunktes, oft läßt er sich eindeutig aus den Symptomen ermitteln, in anderen Fällen, wo sich spezifische Vergiftungserscheinungen nicht zeigen, ist das Erfolgsorgan nicht ohne weiteres festzustellen. Wenn ein chemischer Nachweis des Giftes oder ein histologischer Nachweis seiner Schädwirkung im Organ nicht möglich ist, gelingt es vielleicht, den Giftstoff direkt auf isoliertes Zellenmaterial einwirken zu lassen, oder man versucht empirisch durch systematisches Wechseln der Applikationsstellen das Angriffsorgan festzustellen. Dabei ist zu beachten, daß die Wirkung eines Giftes häufig eine ganze Reihe von Veränderungen im Organismus sekundär auslösen kann, so daß eine topographische Begrenzung der Giftwirkung in diesen Fällen unmöglich ist.

b) Wirkung der Pyrethrumgifte.

Die äußeren Zeichen des Vergiftungsverlaufes bei Pyrethrineinwirkung sind so charakteristisch, daß man aus ihnen wichtige Schlüsse über das Wesen der Vergiftung zu ziehen berechtigt ist. Symptomatisch erscheinen die Vergiftungsbilder bei Bestäubung und Bespritzung gleich, nur zeitlich setzt bei Behandlung mit den Stäubemitteln die erste Reaktion des Insektes etwas später ein.

Unter dem normalen Vergiftungsverlauf ist die Zeit vom Beginn der ersten Symptome bis zum Eintreten des Todes zu verstehen. Angaben über den äußeren Vergiftungsverlauf sind in der Literatur vielfach vorhanden: Saling (1928), Kemper (1933) u. a. Buchmann (1929) hat den Vergiftungsverlauf an Stubenfliegenlarven untersucht und stellte fest, daß die Vergiftung ähnlich dem Verlauf einer Nervenvergiftung in folgenden Etappen sich vollzieht:

1. Ruhestadium nach der Berührung mit Pyrethrumpulver (Inkubations- oder Latenzzeit),
2. Exzitationsstadium 1 (Erregung),
3. Exzitationsstadium 2 (Krämpfe),
4. Lähmung,
5. Einschrumpfung und Tod.

Der Grundtypus der Vergiftungserscheinungen durch Pyrethrine ist an allen von mir untersuchten Insektenarten der gleiche. Die einzelnen Phasen der Vergiftung kehren bei allen Arten wieder, nur ist ihre zeitliche Aufeinanderfolge häufig mehr oder weniger verschieden. Die an den *Schmetterlingsraupen beobachteten Hauptmerkmale sind folgende*: Die empfindlichen Arten wie Seidenraupen und Vanessaraupen zeigen die ersten Vergiftungserscheinungen nach 1—2 Min., während bei den widerstandsfähigeren Kiefernspinner-, Schwammspinner-, Nonnen-, Weidenspinnerraupen diese im allgemeinen erst nach 4—6 Min. eintreten. Nachdem die Tiere mit dem auf ihrer Körperoberfläche gleichmäßig verteilten Gift in Schalen umgesetzt waren, verharrten sie im Ruhestadium fast unbeweglich („Latenzzeit“), dabei zeigten die meisten Arten ihre charakterische Schreckstellung. Nachdem die oben angegebene Minutenzahl verstrichen war, erfolgte eine allgemeine Unruhe, die sich durch schnelles Umherkriechen, durch Seitwärtsschlagen des Kopfes, starke Bewegung der Mandibeln und gelegentliche Speichelabsonderung äußerte. Dieses Erregungsstadium („Exzitationsstadium 1“) dauert etwa 1—2 Min. Danach beginnt das Krämpfestadium („Exzitationsstadium 2“) mit Windungen des ganzen Körpers und meist sehr starker Flüssigkeitsabgabe durch den Mund. Die Muskulatur kontrahiert sich in der Längsrichtung. Das schraubenförmige Wälzen des Körpers währt sehr verschieden lange, es kann 3—4 Stunden anhalten, wobei der Enddarm oft nach außen gestülpt wird.

Allmählich lassen die Krämpfe nach, das Tier ist infolge seines Flüssigkeitsverlustes stark geschrumpft. Zuckungen in den einzelnen Segmenten und unkoordinierte Bewegungen der Bauchflüsse und Brustbeine bleiben oft noch tagelang wahrnehmbar. Die Raupen zeigen im Lähmungsstadium auf starke mechanische Reize kaum noch Reaktionen. Dieser Zustand kann 3—5 Tage oder noch länger anhalten, er verkürzt sich bei größeren Giftgaben. Häufig konnte ich beobachten, daß, obwohl ich äußerlich das Tier für tot hielt, da auch auf starke äußere Reize keinerlei Bewegungen mehr sichtbar waren, bei ventraler Öffnung sich das Rückengefäß noch langsam kontrahierte. Der physiologische Tod war also noch nicht eingetreten. In einem Falle pulsierte das Rückengefäß noch nach 20 Tagen. Demnach ist die Feststellung des tatsächlichen Todes äußerlich kaum möglich und wird sehr subjektiv in dem Augenblick angenommen, in dem keine Bewegungen mehr zu erkennen sind.

Es soll hier noch die Möglichkeit der Wiedererholung von der Pyrethrineinwirkung erwähnt werden. Eine größere oder geringere Zahl von Tieren zeigte anfangs die typischen Vergiftungserscheinungen bis zu den Anfängen des Krämpfestadiums. Diese ließen dann aber schnell nach und die Tiere verharrten in Ruhe 24 Stunden oder länger ohne Fraß. Danach begannen sie etwas Futter anzunehmen und nach 2—3 Tagen hatten sie sich vollständig erholt, ließen eine sehr begierige Freßlust erkennen und erreichten sehr schnell ihr anfängliches Körpergewicht wieder. In den Häutungszeiten blieben sie indessen gegenüber unbehandelten Kontrolltieren sehr merklich (um etwa 8 Tage) zurück. Eine Wiederholung aus dem Lähmungsstadium konnte ich in keinem Falle beobachten.

Von diesem allgemeinen Vergiftungsverlauf gibt es nun bei einzelnen Arten Abweichungen, die sich nicht nur in verschieden langen Zeitintervallen zwischen den einzelnen Vergiftungsphasen äußern, sondern auch in einzelnen Reaktionen und im Gesamtverhalten des Tieres zum Ausdruck kommen und von der spezifischen Giftempfindlichkeit wesentlich abhängen. Hier ist zunächst das Verhalten der Nonne und des Weidenspinners charakteristisch, die außer ihrer besonderen Widerstandsfähigkeit gegen Pyrethrine und den zeitlich später einsetzenden Symptomen viel weniger starke Äußerungen im Erregungs- und Kräftestadium zeigen. Aus dem sehr ähnlichen Kurvenverlauf, der die Reaktionen beider Tiere wiedergibt, geht diese Tatsache deutlich hervor (Fig. 1 B und C). Das Krämpfestadium verläuft im allgemeinen in sehr viel langsameren Bewegungen und ohne ruckartig starke Ausschläge, wie es z. B. in Abb. 1 E beim Kiefernspinner sichtbar ist. Bei den Nonnenraupen ist ein von Zeit zu Zeit schnelles aber schwaches ruckartiges Zucken durch den Körper wahrzunehmen. Die Raupen sind lange Zeit, häufig noch nach 24 Stunden in der Lage, auf Berührungsreize hin langsame, aber geordnete Kriech-

bewegungen auszuführen. Der Schrumpfungsvorgang geht viel langsamer vor sich und 60% der Raupen sind im Durchschnitt in der Lage, die angegebene Giftdosis zu überstehen. Den Symptomen der Nonne sehr ähnlich verläuft die Reaktion der Erdeulenraupe (Fig. 1 A).

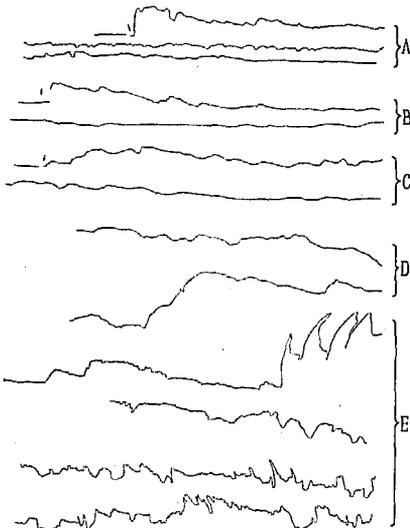


Fig. 1. Vergiftungsverlauf nach Pyrethrineinwirkung. Die Bewegungen der Raupen graphisch dargestellt.

- | | |
|-------------------|--------------------|
| A: Erdeulenraupe | } widerstandsfähig |
| B: Nonnenraupe | |
| C: Weidenspinner | |
| D: Schwammspinner | } mittlere |
| E: Kiefernspinner | |

Das Gleiche wie für die Erdeulenraupe trifft für die Kohleulenraupe zu, nur ist ihre Abtötungsziffer noch niedriger.

Die Schwammspinnerraupen im 4. Stadium stehen bezüglich ihrer Giftempfindlichkeit ungefähr zwischen Kiefernspinner- und Nonnenraupen. Wie der Kurvenverlauf in Fig. 1 D zeigt, sind die Zuckungen im Krämpfstadium sehr häufig, der physiologische Tod tritt aber sehr spät ein.

Das Vergiftungsbild des Kiefernspinners zeigt Fig. 1 E. Die außerordentlich heftigen Windungen und das schraubenartige Rollen des Körpers werden durch die starken und häufigen Ausschläge in der Kurve deutlich gemacht (Krämpfstadium). Die Raupe schnell dabei aus gekrümmter Lage, wie eine Sprungfeder, den Körper hin und her und zeigt

dann im Lähmungsstadium nach 24 Stunden kaum eine Bewegung.

Stabheuschrecken, Käferlarven (Maikäfer und Nashornkäfer) und die Larven der Kleinschmetterlinge zeigten eine solche Giftfestigkeit selbst gegen die dreifach höheren Konzentrationen, daß abgesehen von einem geringen Zucken und kurzen Windungen eine tödliche Vergiftung nicht erfolgte. Es handelte sich allerdings bei den Käfer- und Kleinschmetterlingslarven um vorwiegend letzte Stadien, die bei allen Arten sehr widerstandsfähig sind. Ein 15% iger Pyrethrumextrakt konnte jedoch die Käferlarven auch nicht abtöten, dessen Einwirkung aber die Kleinschmetterlingslarven erlagen.

c) Wirkung der Derrisgifte.

Einen gänzlich anderen Vergiftungsverlauf an Tieren bietet das Bild der Rotenon- bzw. Derriswurzelwirkung. Es sei vorweg betont, daß eine

Giftwirkung mit Todeserfolg bei der den Pyrethrinen entsprechenden Konzentrationen durch Derrisgifte nur bei den ganz empfindlichen Raupenarten festzustellen war. Die widerstandsfähigeren Arten zeigten überhaupt keine erkennbaren Schädigungen. Trappmann und Nitsche (1935) geben eine Gegenüberstellung von Abtötungszahlen aus einer großen Reihe von Tierversuchen der Pyrethrin- und Rotenonwirkung. Auch aus diesen Versuchen geht hervor, daß, abgesehen von Seidenraupen, nur noch bei ganz wenigen Arten eine toxische Wirkung des Rotenons nachzuweisen war.

Zu meinen Versuchen verwandte ich, um eine Parallele zur Pyrethrinwirkung zu haben, ebenfalls Raupen 4. Stadiums. Auch hier zeigte sich die hohe Empfindlichkeit der Seidenraupen und Vanessaraupen, während die Sterblichkeit von Kiefernspinner- und Goldafterraupen bei dem Spritzmittel nur 10—15% betrug. Die übrigen Arten waren gegen Rotenoneinwirkung fast völlig unempfindlich. Das äußere Vergiftungsbild sei hier von der empfindlichen Seidenraupe geschildert, das sowohl für Rotenon als auch, abgesehen von zeitlichen Unterschieden, für die gemahlene Derriswurzel Geltung hat. 2—3 Stunden nach der Vergiftung kann man kein anormales Verhalten feststellen, die Tiere verharren meist in Schreckstellung, und nehmen kein Futter zu sich. Auf Berührungsreize kriechen die Raupen umher und sondern gelegentlich einige Flüssigkeitstropfen durch den Mund ab. Nach etwa 48 Stunden liegen die Tiere meist auf der Seite und man beobachtet dabei ganz langsame Krümmungen des Körpers. Die Vergiftung hat am 6.—8. Tage ihren Höhepunkt erreicht und ist durch eine völlige Erschlaffung der Muskulatur und des ganzen Körpers gekennzeichnet. Vom 4. Tage ab setzt meist eine Verfärbung der Tiere ein, der Körper hat ein mattes, glasartiges Aussehen und ist vollkommen weich geworden, darauf setzt eine starke Schrumpfung ein und die Raupen sterben ab. Bei der Öffnung eines Tieres am 6. Tage bemerkte ich, daß sich das Rückengefäß noch langsam kontrahierte und daß die Hämolymphe ein dunkleres Aussehen hatte.

Bei *Vanessa* und Kiefernspinnerraupen verlaufen die Symptome ganz ähnlich.

Eine doppelte und dreifach stärkere Dosierung hatte bei den empfindlichen Arten eine geringe Erhöhung der Absterbeziffer zur Folge. Auffällig ist, daß nur die gegen Pyrethrine empfindlichen Arten auch eine Rotenonempfindlichkeit zeigen, obwohl die Wirkung des Rotenons den Symptomen nach eine andere sein muß als die der Pyrethrine.

Da, wie ich schon erwähnte, in der Literatur darauf hingewiesen wird, daß nicht Rotenon allein der wirksame Bestandteil der Derriswurzel ist, habe ich zum Vergleich einige Stäuberversuche mit der gemahlene Derriswurzel, die in demselben Verhältnis wie das Rotenon mit Talkum gestreckt wurde, ausgeführt. Hierbei stellte sich einwand-

frei heraus, daß der Wurzel mit allen ihren Bestandteilen eine erheblich höhere toxische Wirkung als dem reinen Rotenon zukommt. Ich weise hier auf die im folgenden Abschnitt angegebenen Zahlen in der Tabelle hin, im Vergleich mit der Rotenonwirkung ergab sich hier ein Unterschied bezgl. des zeitlichen Ablaufs der Vergiftung. Die Derriswurzelwirkung setzte viel früher und deutlicher ein, der Höhepunkt der Vergiftung lag schon zwischen dem 2.—5. Tag. Im Gesamtverhalten der Tiere war allerdings kein wesentlicher Unterschied erkennbar. Fischer und Nitsche (1935) haben die Wirkung verschiedener Derris-Extrakte die wieder an Talkum gebunden wurden mit der Wirkung der rohen gemahlenden Derriswurzel, die im gleichen Verhältnis gestreckt wurde, verglichen und kommen zu der Feststellung, daß die Wirkung der Wurzel mit anfänglichen hohen Abtötungszahlen, die Extraktwirkung dagegen viel langsamer einsetzt und sich allmählich bis zum 8. Tage steigert. Es ist dies dieselbe Erscheinung, wie sie in meinen Vergleichen zwischen der Rotenon- und der Derriswurzelwirkung zu finden ist.

Fischer und Nitsche führen diese Tatsache auf verschiedene physikalische Verhältnisse der Wirkstoffe am Talkum und in der gemahlenden Wurzel zurück.

d. Vergleich der Pyrethrum- mit der Derrisgiftwirkung an verschiedenen Insekten.

Für die Wertung der Brauchbarkeit dieser Giftstoffe zur Schädlingsbekämpfung ist es nicht minder wichtig, welche Abtötungszahlen bei einer bestimmten Anzahl von Versuchstieren und bei gleicher Konzentration und gleicher Anwendungsweise durch Pyrethrine und durch Rotenon bzw. Derriswurzelgifte erhalten werden können.

Die Versuchstiere waren von gleichem Entwicklungsstadium und gleichem Ernährungszustand. Zu jedem Versuch wurden 20 Tiere verwendet, bei Unsicherheit der Ergebnisse wurde der Versuch einige Male wiederholt. Nach 8 Tagen habe ich bei diesen Untersuchungen die täglichen Kontrollen abgebrochen, da nach dieser Zeit im allgemeinen kein weiteres Absterben zu verzeichnen war. Die Ergebnisse der mit Pyrethrinlösungen und Pyrethrinstäubemitteln durchgeführten Versuche sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Die 4. Larvenstadien wurden mit den auf Seite 64 angegebenen Konzentrationen, die letzten Larvenstadien mit doppeltem Giftgehalt der Spritz- und Stäubemittel behandelt. An den einzelnen Kontrolltagen sind die bei Verwendung von Spritzmitteln (Sp) und von Stäubemitteln (St) erhaltenen Abtötungsziffern eingetragen.

Die in den Versuchen erhaltenen Zahlen können keine absolute Gültigkeit haben, da bei individueller Verschiedenheit der Versuchstiere die zu jedem Versuch benutzte Anzahl von 20 Tieren zu klein ist, um

einzelne extreme Ergebnisse auszuschließen. Eine einheitliche Verwendung einer größeren Tierzahl war jedoch nicht möglich, da von einigen Arten dies der Tierbestand nicht gestattete. Trotzdem geben die Zahlen einen guten Überblick über die verschiedene Empfindlichkeit der einzelnen Raupenarten. In der Tabelle sind diese je nach den Abtötungsziffern in Gruppen zusammengestellt. Allgemein fällt auf, daß mit dem als Spritzmittel angewandten Pyrethrumextrakt höhere Abtötungsziffern erhalten wurden, als mit dem Pyrethrumstäubemittel, eine Tatsache die dadurch zu erklären ist, daß die Flüssigkeiten einen innigeren Kontakt mit dem Insektenkörper und damit eine größere Angriffsfläche finden als Stäubemittel.

In der ersten Gruppe finden sich als sehr empfindliche Tiere Seidenraupen, Tagpfauenaugenraupen und Abendpfauenaugenraupen. Weniger empfindlich ist die zweite Gruppe mit Goldafter-, Kiefernspinner- und Schwammspinnerraupen. Dieser Gruppe wäre noch die Kiefernbuschhornblattwespenlarve (*Lophyrus pini* L.) anzureihen. Verhältnismäßig widerstandsfähig sind die in der dritten Gruppe zusammengeschlossenen Nonnen-, Weidenspinner- und Erdeulenraupen. Am widerstandsfähigsten zeigten sich die Raupen der Kohleulen, der Apfelgespinstmotten und die Larven des Apfelwicklers. Bei allen Raupen, insbesondere bei denen der Gruppe 2 und 3, besteht ein sehr großer Empfindlichkeitsunterschied zwischen dem 4. und dem wesentlich widerstandsfähigeren letzten Entwicklungsstadium.

Die Seidenraupe, die als leicht in Zucht zu haltendes Tier gerne als Versuchs- und Vergleichstier zu biologischen Versuchen Verwendung findet, zeigt sich gegen Pyrethrine allzu empfindlich, so daß sie sich als „Testtier“ für Vergiftungsversuche bei Pyrethrinen ebensowenig eignet wie sie zur Prüfung von Calciumarsenatpräparaten in Frage kommt (Trappmann und Nitsche 1933).

Die von Kiefernspinner- und Goldafterraupen (Gruppe 2) erhaltenen Zahlen wurden im Frühjahr nach der Überwinterung der Raupen ermittelt; die Mortalität der gleichen, aber vor der Überwinterung befindlichen Tiere erreicht in den gleichen Giftversuchen nur etwa 60%.

Dieselben Versuche wurden mit Rotenon und der gemahlene Derriswurzel durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Auffallend an den erhaltenen Abtötungszahlen ist die große Widerstandsfähigkeit der Gruppe 3 und 4 gegen Rotenon und Derriswurzel, während sich Gruppe 1 mit der Seidenraupe an der Spitze hier wieder am empfindlichsten zeigt. Die Verwendung der gemahlene und im gleichen Verhältnis wie Rotenon mit Talkum gestreckte Derriswurzel gab eine wesentlich höhere Abtötung. Demnach kommt den außer Rotenon in der Derriswurzel enthaltenen Giftstoffen eine beachtenswerte Bedeutung zu (im Gegensatz zur Annahme von Fischer und Nitsche 1935).

je 20 Tiere	4. Häutungsstadien:												letzte Häutungsstadien:											
	Abtötung nach:												Abtötung nach:											
	24 Std.			48 Std.			4 Tag.			8 Tag.			6 Tag.			8 Tag.			tot in %					
	Sp.	St.	tot in %	Sp.	St.	tot in %	Sp.	St.	tot in %	Sp.	St.	tot in %	Sp.	St.	tot in %	Sp.	St.	tot in %	Sp.	St.	tot in %			
<i>Bombyx mori</i>	20	20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100			
<i>Vanessa io</i>	16	15	18	17	20	19	20	19	20	19	20	19	20	19	20	19	20	19	20	19	20			
<i>Smerinthus ocellata</i>	12	9	13	11	18	13	20	16	20	16	20	16	20	16	20	16	20	16	20	16	20			
<i>Euproctis chrysoorrhoea</i> ¹⁾	10	6	11	7	15	10	19	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20			
<i>Deudrolinus pini</i> ²⁾	14	10	16	13	17	16	20	17	20	18	20	18	20	18	20	18	20	18	20	18	20			
<i>Lymantria dispar</i>	0	0	6	2	10	4	11	9	12	10	60	50	0	0	1	0	3	0	15	0	0			
<i>Lophyrus pini</i>	3	0	7	1	9	2	11	2	12	2	60	10	0	0	2	1	8	1	40	5	0			
<i>Lymantria monacha</i>	1	1	2	1	4	2	5	2	7	3	35	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Stilpnotia salicis</i>	1	0	3	0	3	1	4	1	4	1	20	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Agrotis segetum</i>	1	0	1	0	2	1	4	1	4	1	20	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Mamestra brassicae</i>	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Hyponomeuta malinalis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Carpocapsa pomonella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			

¹⁾ Sp : Spritzmittel, St : Stäubemittel.
²⁾ nach der Überwinterung.

Tabelle 1: Pyrethrinwirkung.

je 20 Tiere 4. Stad.	Rotenon												Derriswurzel gestreckt									
	Abtötung nach:												Abtötung nach Tagen:									
	24 Std. Sp.) (St.)	48 Std. Sp.) (St.)	4 Tag. Sp.) (St.)	6 Tag. Sp.) (St.)	8 Tag. Sp.) (St.)	10 Tag. Sp.) (St.)	12 Tag. Sp.) (St.)	14 Tag. Sp.) (St.)	16 Tag. Sp.) (St.)	18 Tag. Sp.) (St.)	19 Tag. Sp.) (St.)	20 Tag. Sp.) (St.)	1. Tag	2.	4.	6.	8.	tot in %				
<i>Bombyx mori</i>	1	0	5	6	6	6	15	10	18	20	19	100	95	1	10	17	20	—	100	I. Gruppe		
<i>Vanessa io</i>	0	0	0	1	1	1	1	5	2	9	3	45	15	3	11	12	14	14	70			
<i>Smerinthus ocellata</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	5	0	2	5	6	6	6	60			
<i>Euproctis chrysorrhoea</i> ²⁾	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	10	0	0	2	5	5	5	25	II. Gruppe		
<i>Dendrolimus pini</i> ²⁾	0	0	0	0	1	0	2	0	3	1	15	5	0	0	5	7	8	8	40			
<i>Lymantria dispar</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	10			
<i>Lophyrus pini</i>	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	5	0	5	10	14	15	15	75			
<i>Lymantria monacha</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Stilpnotia salicis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Agrotis segetum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Mamestra brassicae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Hyponomeuta malinellus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Carpocapsa pomonella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			

1) Sp: Spritzmittel, St.: Stäubemittel.

2) Nach der Überwinterung.

Tabelle 2: Derrisgiftwirkung.

Die Empfindlichkeit gegen Pyrethrine vom Eiräupchen bis zum letzten Häutungsstadium habe ich an Kiefernspinner- und Weidenspinner-*raupen* geprüft. Beide Tiere überwintern als Raupen¹⁾, die Weidenspinner-*raupen* meist im zweiten Stadium, die Kiefernspinnerraupen in der Regel im dritten bis vierten Stadium. Zu jedem Versuch benutzte ich von den einzelnen Stadien wieder je 20 Tiere und zählte die Toten (= völlig gelähmten) täglich aus. Die in graphischer Darstellung wiedergegebenen Kurven (Textfig. 2) vermitteln einen Überblick über die Empfindlichkeit der einzelnen Stadien. Aus den Kurven ist die wesentlich höhere Widerstandsfähigkeit der Weidenspinnerraupen gegenüber den Kiefernspinnerraupen ersichtlich. Schon das 2. Stadium des Weidenspinners zeigt sich widerstandsfähiger als das 4. Stadium des Kiefernspinners. Vielleicht hängt dieses damit zusammen, daß die Weidenspinnerräupchen an Blättern versponnen oder im Ei überwintern und über der Erde daher einen besseren Kälteschutz sowie eine höhere Widerstandsfähigkeit gegen jegliche Außenwirkung besitzen als die Kiefernspinnerraupen, die unter der Moosdecke im Waldboden an geschützten Stellen den Winter verbringen.

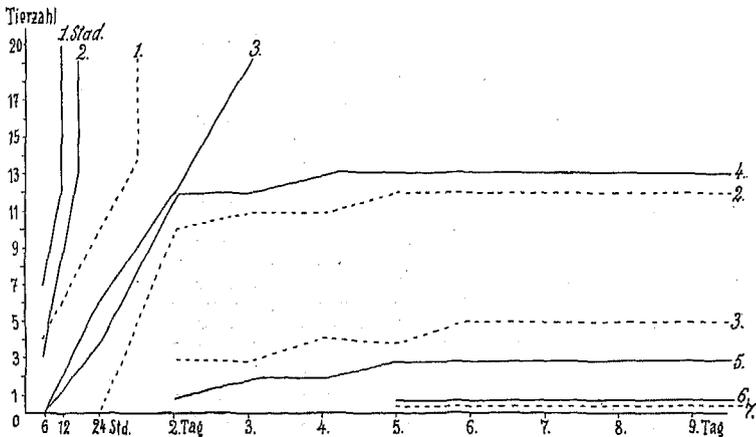


Fig. 2. ————— Kiefernspinner, Weidenspinner.

e) Giftempfindlichkeitsschwankungen.

Bei den im Laboratorium durchgeführten biologischen Versuchen, sowie bei praktischen Bekämpfungsmaßnahmen im Freiland werden oft Schwankungen in der Empfindlichkeit der Versuchstiere beobachtet. Diese Schwankungen können einmal durch ungünstige Witterungsverhältnisse, insbesondere zu hohe oder zu tiefe Temperatur, sodann durch Veränderung (chemische Zersetzung) der angewandten Giftstoffe oder endlich noch durch

¹⁾ Weidenspinner überwintert auch als Ei.

eine individuelle Variabilität der Schädlinge bzw. ihrer Empfindlichkeit bedingt sein.

e) 1. Äußere Einflüsse (Temperatur).

Bei der Feststellung der Giftempfindlichkeitsschwankungen mußte besonders die Temperaturabhängigkeit des Vergiftungsverlaufs berücksichtigt werden. Aus einer großen Zahl von Versuchen, die im Winter und Sommer bei Laboratoriumsbedingungen ausgeführt wurden, ergab sich, daß in der Temperaturspanne zwischen 19 und 25 ° C keine nennenswerten Unterschiede auftraten. Innerhalb dieser Grenzen liegt für die meisten Raupenarten das Temperaturoptimum, also ihre günstigsten Entwicklungsbedingungen.

Die Versuche bei höheren und niedrigeren Temperaturen wurden bei hoher Luftfeuchtigkeit im Thermostaten bzw. im Kältezimmer vorgenommen. Schon Gößwald (1934) hat an sehr umfangreichem Tiermaterial die Abhängigkeit der Giftwirkung von Temperatur und Feuchtigkeit geprüft. Aus seinen Versuchen ergab sich für jede Art und auch für die einzelnen Altersstadien gegen das Gift (ein Pyrethrumpräparat) ein spezifisches Temperaturwiderstandsoptimum, das immer dem vitalen Entwicklungsoptimum entsprach. Bei Nonnenraupen stieg in grundsätzlich gleicher Weise die Mortalität im Giftversuch über 24 ° C auf 100 % und die Absterbezeit verkürzte sich. Von 16 ° C abwärts stieg die Mortalität der Raupen ebenfalls auf 100 %, dabei konnte Gößwald eine Verzögerung des Todes feststellen.

Versuche, die ich in drei Temperaturstufen anstellte, stimmen mit diesen Befunden überein:

1. Zwischen 19—25 ° C verlief die Vergiftung bei letaler Dosis normal, ohne erkennbare Veränderungen der Symptome oder der Vergiftungsphasen.
2. Zwischen 30—30,8 ° C erholten sich die Tiere von der gleichen Giftmenge bereits nach 4 Stunden, ohne das Erregungsstadium zu überschreiten. Nach 24 Stunden zeigten die Tiere normales Verhalten bei starkem Fraß. Nach 3 Tagen begann bei vergifteten und unvergifteten Kontrolltieren (Seidenraupen) die Sterblichkeit und hatte am 6. Tage 80 % überschritten. Kiefernspinnerraupen konnten unter gleichen Bedingungen dagegen fast ohne Sterblichkeit zur Verpuppung kommen. Erfolgte eine Vergiftung mit stärkeren Konzentrationen, so daß eine Erholung nicht mehr erfolgen konnte, so ging das Absterben der Tiere sehr schnell vor sich, entsprechend der Schnelligkeit der Wiedererholung bei subletalen Giftmengen.
3. Zwischen 14—15 ° C verlangsamte sich der Vergiftungsverlauf sehr beträchtlich. Auf das Erregungsstadium folgte ein sehr langes Lähmungsstadium, das nicht mehr überstanden wurde und am 6. Tage

mit 100%iger Mortalität endete. Eine Schädigung unbehandelter Kontrolltiere war, abgesehen von einem durch die tiefen Temperaturen bedingten geringen Nahrungsbedürfnis, in dem Zeitversuch nicht festzustellen.

Wichtig ist bei diesen Versuchen noch die niedrigere Absterbeziffer bei hoher Luftfeuchtigkeit als bei Tieren, die bei niedrigerer Luftfeuchtigkeit beobachtet wurden.

In der Praxis sind diese Ergebnisse zu berücksichtigen, denn der Bekämpfungserfolg wird bei kühlem Wetter besser sein. Der spätere Todeserfolg bei niedriger Temperatur hängt sicher nur mit der Verlangsamung der Stoffwechselforgänge zusammen. Da die Tiere nach der Vergiftung kein Futter mehr zu sich nehmen, wird der Vergiftungserfolg nicht beeinträchtigt, sondern wird um so besser sein, „je weiter sich die Temperatur vom Widerstandsoptimum nach unten entfernt“ (Gößwald 1934).

e) 2. Individuelle Verschiedenheiten.

Die in gewissen Grenzen schwankenden, durch äußere Einflüsse nicht bedingten Abtötungsziffern haben ein besonderes Interesse. Nirgends können individuelle Verschiedenheiten einer in Zucht gehaltenen Insektenart, deren Tiere gleichen Lebensbedingungen ausgesetzt waren, deutlicher werden als in der Feststellung, daß von gleichen Altersstadien z. B. 90% der Vergiftung erliegen, die übrigen 10% sie jedoch überstehen und die normale Entwicklung beenden können. Diese immer wieder festgestellte Erscheinung, die man gut als eine „individuelle Variabilität“ der Art erklären kann, hat die gleiche Ursache wie die häufigen Ungleichheiten im Phaenotypus einer Art. Schon Darwin hat die individuelle Variabilität sowohl durch Außenbedingungen als auch durch die Natur des Organismus (innere Bedingungen) bedingt angesehen, und diese Auffassung wird auch heute noch vertreten, obschon die meisten Forscher als Hauptursache äußere Faktoren verantwortlich machen. Als Ursache für die verschiedene Giftempfindlichkeit ist anzunehmen, daß die Zucht von einem in sich verschiedenen Tiermaterial stammt, das vorher ungleichen Entwicklungsbedingungen, z. B. verschiedenen Ernährungsverhältnissen ausgesetzt war. Kopeč (1924) fand, daß Schwammspinnerrauen, die aus Eiern von Hungertieren stammten, eine sehr viel größere Sterblichkeit aufwiesen als normale Tiere. Solche Einflüsse äußern sich als Modifikationen („fluktierende Variation“) in sogen. Mittel-, Plus- und Minusvarianten. Diese Varianten können auch physiologisch verschieden potenziert sein, so daß damit zusammenhängend eine geringere oder größere Widerstandsfähigkeit einzelner Tiere gegen Vergiftungen entstehen kann. Die „Mittelvariante“ oder zahlenmäßig der Mittelwert umfaßt als ein Durchschnittswert die größte Individuenzahl und schließt

die charakteristischen Merkmale einer Individuengruppe ein, also auch die durchschnittliche Giftempfindlichkeit. Die Plus- und Minusvarianten müssen als mehr oder weniger starke Abweichungen vom Mittelwert, bei der Feststellung der durchschnittlichen Abtötungszahl durch ein Gift als „Streuung“ (Johannsen 1914) aufgefaßt werden. Um aus meiner aufgestellten Vergiftungstabelle ein Beispiel zu nennen, sind in den 40% Überlebenden von *Lophyrus pini* Plusvarianten enthalten, während die 5% toten Erdräupen als Minusvarianten anzusehen wären.

In Giftversuchen an älteren Stadien war die Variabilität bei allen Arten bedeutend geringer, so daß selbst bei hohen Giftkonzentrationen Plus- und Minusvarianten viel seltener in Erscheinung traten. Auf diese Tatsache hat schon v. Baer (1828) hingewiesen, indem er sagt, daß im erwachsenen Zustand die Verschiedenheiten ausgeglichen werden und jede Abweichung zur Norm zurückgeführt wird.

f) Veränderung der Giftstoffe.

Die bei Vergiftungsversuchen mit Pyrethrinen und Derrisgiften oft beobachteten ungleichen und sich widersprechenden Ergebnisse sind in der Literaturübersicht erwähnt worden. Diese ungleichen Erfolge haben ihre Ursache zum großen Teil in einem Giftigkeitsverlust der Giftstoffe, der gerade bei Estern durch Verseifung in alkalischen Lösungsmitteln sehr leicht auftreten kann.

Die von mir verwendeten Pyrethrinemulsionen verloren in geschlossenen Glasflaschen nach etwa 3 Tagen im Licht nahezu 80% ihrer Wirksamkeit, daher mußten vor jedem Versuch die Spritzflüssigkeiten frisch angesetzt werden. Bei den Stäubemitteln (Talkum als Trägerstoff) war eine verminderte Wirksamkeit nach längerem Stehen am Licht nicht festzustellen.

(Fortsetzung im nächsten Heft.)

„Aus der entomologischen Welt“.

Dr. Karl E. Schedl, welcher die letzten Jahre hindurch am Institut für angewandte Zoologie der Bayerischen Forstlichen Versuchsanstalt in München gewesen ist, ist jetzt Assistent am Zoologischen Institut der Forstlichen Hochschule in Hann. Münden.

Prof. Dr. K. Friederichs, einer der beiden Leiter des Entomologischen Seminars des Zoologischen Instituts der Universität Rostock, ist von der Kaiserl. Leopold. Karol. Akademie der Naturforscher zum Mitglied ernannt worden.

Dr. R. Langenbuch ist vom 1. I. 1936 ab mit der technischen Oberleitung des Kartoffelkäfer-Abwehrdienstes mit dem Sitz in Heidelberg beauftragt worden.