

BEITRÄGE ZUR ÖKOLOGISCHEN CHEMIE—XXII¹ METABOLISMUS UND RÜCKSTANDSVERHALTEN VON LINDAN- ¹⁴C IN HÖHEREN PFLANZEN

H. ITOKAWA, A. SCHALLAH, I. WEISGERBER, W. KLEIN und F. KORTE

Org. Chem. Institut der Universität Bonn und Institut für ökologische Chemie, Schloss Birlinghoven

(Received in the UK 3 September 1969; Accepted for publication 3 October 1969)

Zusammenfassung—Lindan-¹⁴C wurde an Weisskohl, Möhren, Spinat und Weizenkeimlingen appliziert (Blatt- und Boden- bzw. Nährmediumapplikation). Nach verschiedenen Zeiten wurden die Rückstände und Umwandlungsraten in den Pflanzenorganen sowie im Boden bestimmt (vgl. Tabellen 1–10). Dünn-schichtchromatographisch konnten 5 Metaboliten von Lindan in allen untersuchten Pflanzen nachgewiesen werden (vgl. Tabellen 11 und 12).

Abstract—Lindan-¹⁴C was applied to white cabbage, carrots, spinach and wheat-seedlings (foliar, to soil respectively culture medium). After various times residues and conversion rates were determined in the plant organs as well as in the soil (Tables 1–10). In all plants investigated the presence of 5 lindane-metabolites was proved by TLC (Table 11 and 12).

ZAHLREICHE Daten liegen über das Rückstandsverhalten von Lindan nach der Anwendung unter praktischen Bedingungen vor.² Die Rückstände an Lindan in der menschlichen Gesamtnahrung (total diet) werden in einigen Ländern überwacht.³ Der Metabolismus von Lindan in Warmblütern und Insekten ist weitgehend aufgeklärt, und einige Daten liegen über die Umwandlung durch Mikroorganismen vor.⁴

Die Aufnahme von Lindan-¹⁴C in Pflanzen ist untersucht worden von Bradbury und Whitaker,⁵ wobei keine Hinweise auf wasserlösliche Abbauprodukte erhalten wurden. Bogdarina⁶ schloss nach Versuchen mit Weizenkeimlingen aus unvollständigem (50%) Nachweis des eingesetzten BHC, dass eine Umwandlung stattgefunden hatte. San Antonio⁷ untersuchte für mit Lindan behandelte Böden den Metabolismus in Möhren, Tomaten, Kartoffeln und anderen Pflanzen. Lediglich in Möhren konnte er papierchromatographisch einen Metaboliten des Lindans nachweisen. Auf Grund des chromatographischen Verhaltens und der Bildung eines identischen Derivates wurde angenommen, dass es sich bei dem Metaboliten um Pentachlorcyclohexen oder eine ähnliche Substanz handeln kann.

Wir versuchten zunächst zu bestimmen, wieviele Metaboliten aus Lindan in höheren Pflanzen entstehen und in welchen Pflanzenorganen sie in hohem Anteil vorkommen, um bei späteren Grossversuchen eine Isolierung dieser Metaboliten zu ermöglichen.

1. APPLIKATIONSFORM

Die Applikation von Lindan-¹⁴C erfolgte auf drei verschiedene Arten, nämlich auf die Blattoberfläche bei Weisskohl und Spinat, in die Erde bei Spinat und Möhren sowie in die Nährlösung bei Weizen. Um unter möglichst verschiedenen Bedingungen die Metabolisierung erfassen zu können, variierten wir die Lindan-¹⁴C-Konzentration, die Versuchsdauer nach der Applikation sowie die Applikationsweise. Das

Aufarbeitungsschema war jedoch für alle Versuche streng das gleiche mit getrennter Analyse von Blättern, Stengeln, Wurzeln und Erde. Durch Eintauchen der Pflanzenorgane in Methanol vor Homogenisation und Extraktion wurde die Radioaktivität auf und in den betreffenden Organen getrennt.

2. ERGEBNISSE

Aufnahme und Ausscheidung von Lindan-¹⁴C durch Weisskohl

Von 1 mg feinst verteilem Lindan-¹⁴C pro Pflanze wurden nach vier Wochen nur noch 0·2% auf der Blattoberfläche, 7·1% in der Pflanze, 0·90% in der Erde, insgesamt 8·32% der Radioaktivität wiedergefunden, während nach sechs Wochen nur noch 0·1% auf der Blattoberfläche, 4·3% in der Pflanze, 0·2% in der Erde, insgesamt 4·71% der Radioaktivität wiedergefunden wurde (vgl. Tabellen 1 und 2).

Verteilung und Umwandlung von Lindan-¹⁴C. Vier Wochen nach der Applikation wurde der grösste Anteil der vorhandenen Radioaktivität, nämlich 79·4%, in lebenden Blättern sowie 2% in Stengeln und 3·4% in den Wurzeln nachgewiesen (vgl. Tabelle 1). Eine ähnliche Verteilung der Radioaktivität wurde bei dem sechs Wochen dauernden Versuch gefunden (vgl. Tabelle 2).

Die wiedergefundene Radioaktivität bestand zu 67·8% (4 Wochen) bzw. 56·3% (6 Wochen) aus Metaboliten. Der Anteil an Metaboliten in den einzelnen Pflanzenorganen und der Erde ist aus den Tabellen 1 und 2 zu entnehmen.

Aufnahme und Ausscheidung von Lindan-¹⁴C bei Spinat

Nach zwei Wochen Erd-Applikation von 2 mg feinst verteilem Lindan-¹⁴C/5 kg Erde wurden 1·7% der Radioaktivität in und auf der Pflanze nachgewiesen. In der Erde wurden noch 60·2% der applizierten Aktivität gefunden. Eine eventuelle Ausscheidung in die Erde konnte unter diesen Bedingungen nicht untersucht werden. Insgesamt betrug der Gesamtrückstand an Radioaktivität 62·0% (vgl. Tabelle 3). Das Rückstandsmuster ändert sich nicht wesentlich, wenn man 1 mg feinst verteiles Lindan-¹⁴C/1·6 kg Erde acht Wochen einwirken lässt (vgl. Tabelle 4).

Nach Blattapplikation von 2 mg Lindan-¹⁴C/Kasten und zwei Wochen Versuchsdauer (vgl. Tabelle 5) wurden 0·83% der applizierten Aktivität an der Blattoberfläche und 8·71% in den Pflanzen nachgewiesen, 0·10% der applizierten Aktivität war auf der Wurzeloberfläche und 1·2% in der Erde vorhanden. Die Ausscheidungsprodukte wurden nicht mehr charakterisiert. Trotz kürzerer Versuchsdauer (2 Wochen) war der Gesamtrückstand (10·84%) nicht wesentlich höher als bei den Versuchen mit Weisskohl (4 Wochen), so dass zumindest unter den benutzten experimentellen Bedingungen die Erniedrigung der Rückstände von Spinat schneller als von Weisskohl erfolgte.

Verteilung und Umwandlung des Lindan-¹⁴C. Die Radioaktivität nimmt von den Blättern zur Wurzel ab. In drei Versuchen mit Spinat (vgl. Tabellen 3, 4 und 5) ist der grösste Anteil der Aktivität (abgesehen von der Erde) in den lebenden Blättern. In den Pflanzenorganen befinden sich neben unverändertem Lindan-¹⁴C jydrophile Umwandlungsprodukte, deren prozentualer Anteil in den Pflanzenorganen bei den drei Versuchen unterschiedlich war. Die nach der Erdapplikation dort verbliebene Radioaktivität bestand aus Lindan, womit unter den gegebenen Versuchsbedingungen eine Beteiligung von Bodenmikroorganismen an der nachgewiesenen Umwandlung zu vernachlässigen ist.

TABELLE 1. WEISSKOHL. BLATTAPPLIKATION 1 MG/PFLANZE, VERSUCHSDAUER 4 WOCHEN

Organne	% Bez. auf applizierte Aktivität	% Bez. auf wiedergefund. Aktivität	Konzentrat. (ppm)*	Metabolis- mustrate %**	%**		Metabolit Metabolit Metabolit Metabolit	Metabolit Metabolit Metabolit Metabolit	Metabolit Metabolit Metabolit Metabolit	Metabolit Metabolit Metabolit Metabolit
					1	2	3	4	5	
Blätter aussen	0·2	2·5	0·023	30·0						
Blätter innen	6·6	79·4	0·767	69·9	21·9	24·0	18·0	60	30·1	
Stengel aussen	0·1	1·0	0·024	35·0						
Stengel innen	0·2	2·0	0·064	70·0	27·0	20·0	18·0	50	30·0	
Wurzel aussen	0·02	0·7	0·008	15·0						
Wurzel innen	0·3	3·4	0·103	58·4	33·2	12·2	8·0	50	41·6	
Erde	0·9	11·0	0·009							
Gesamt	8·32	100·0	0·510	67·8						
				(ohne Erde)						

* ppm, bezogen auf MG von Lindan.

** % bezogen auf gesamte Radioaktivität des betreffenden Extraks.

TABELLE 2. WEISSKOHL. BLATTAPPLIKATION 1 MG/PFLANZE, VERSUCHSDAUER 6 WOCHEN

Organne	% Bez. auf applizierte Aktivität	% Bez. auf wiedergefund. Aktivität	Konzentrat. in ppm*	Metabolis- mustrate %**	%**		Metabolit Metabolit Metabolit Metabolit	Metabolit Metabolit Metabolit Metabolit	Metabolit Metabolit Metabolit Metabolit	Metabolit Metabolit Metabolit Metabolit
					1	2	3	4	5	
Blätter aussen	0·1	2·1	0·012	35·0						
Blätter innen	4·0	83·0	0·492	68·8	12·2	28·6	20·0	80	31·2	
Stengel aussen	0·1	1·5	0·023	34·8						
Stengel innen	0·1	2·1	0·032	69·5	26·8	20·2	17·5	50	30·5	
Wurzel aussen	0·01	0·3	0·005	18·0						
Wurzel innen	0·2	6·0	0·120	58·5	77·2	46·0	33	20	41·5	
Erde	0·2	5·0	0·004							
Gesamt	4·71	100·0	0·337	66·7						
				(ohne Erde)						

* ppm bezogen auf MG Von Lindan.

** % bezogen auf gesamte Radioaktivität des betreffenden Extraks

TABELLE 3. SPINAT. ERDAPPLIKATION 2 MG/5 KG ERDE, VERSUCHSDAUER 2 WOCHEN

Organ	% Bez. auf applizierte Aktivität	% Bez. auf wiedergefund. Aktivität	Konzentration in ppm**	Metabolis- muster		%**		%**		%**	
				%**	1 + 2	Metaboliten	3	Metabolit	4	Metabolit	5
Blätter aussen	1.0	1.68	0.064	21.7				14.0		2.0	
Blätter innen	0.5	0.77	0.030	57.8	23.7		18.1				42.2
Wurzel aussen	0.1	0.16	0.014	24.3							
Wurzel innen	0.1	0.15	0.013	48.6	11.0		19.0				51.4
Erde	60.2	97.24	0.24								
Gesamt	61.9	100.0	0.07	33.4							
			(ohne Erde)								

* ppm bezogen auf MG Von Lindan.

** % bezogen auf gesamte Radioaktivität des betreffenden Extraks.

TABELLE 4. SPINAT. ERDAPPLIKATION 1 MG/1.6 KG ERDE, VERSUCHSDAUER 8 WOCHEN

Organ	% Bez. auf applizierte Aktivität	% Bez. auf wiedergefund. Aktivität	Konzentration in ppm*	Metabolis- muster		%**		%**		%**	
				%**	1 + 2	Metaboliten	3	Metabolit	4	Metabolit	5
Blätter aussen	0.14	0.23	0.19	20.3				13.5		12.1	
Blätter innen	0.67	1.12	0.91	45.6	13.5		18.0			2.0	54.4
Wurzel aussen	0.02	0.03	0.31	27.4							
Wurzel innen	0.15	0.25	2.17	37.2	12.1		12.6				62.8
Erde	58.33	98.37	0.36								
Gesamt	59.31	100.00	1.23	40.5							
			(ohne Erde)								

* ppm bezogen auf MG Von Lindan.

** % bezogen auf gesamte Radioaktivität des betreffenden Extraks.

TABELLE 5. SPINAT. BLATTAPPLIKATION 2 MG/KASTEN, VERSUCHSDAUER 2 WOCHEN

Organ	% Bez. auf applizierte Aktivität	% Bez. auf wiedergefund. Aktivität	Konzentration in ppm ^{**}	Metabolis- musrat [*] %	%**		Metabolit Metabolit	Metabolit Metabolit	Metabolit Metabolit
					Metaboliten 1 + 2	Metaboliten 3			
Blätter aussen	0·83	7·70	0·57	20·0					
Blätter innen	8·63	79·58	6·13	45·0	39·1	2·9	2·0	1·0	55·0
Wurzel aussen	0·10	0·96	0·36	35·0					
Wurzel innen	0·08	0·75	0·28	50·0	44·0	3·0	2·0	1·0	50·0
Erde	1·20	11·01	0·01						
Gesamt	10·84	100·00	5·68	42·7					
			(ohne Erde)						

^{*} ppm bezogen auf MG von Lindan.^{**} % bezogen auf gesamte Radioaktivität des betreffenden Extraks.

Aufnahme und Ausscheidung von Lindan-¹⁴C bei Möhren

Die Aufnahme von Lindan-¹⁴C in Möhren nach Erdapplikation ist von der Versuchsdauer abhängig. So war nach 2 mg Lindan-¹⁴C/5·6 kg Erde Applikation und acht Wochen Versuchsdauer 6·40% der applizierten Aktivität in den Pflanzen nachzuweisen. In der Erde wurden noch 51·1% gefunden (vgl. Tabelle 6). Bei diesem Versuch lässt sich nach der Applikation insgesamt 58·0% der Aktivität wiederfinden, während bei der Applikation von 1 mg Lindan-¹⁴C/1·4 kg Erde und zehn Wochen Versuchsdauer der prozentuale Anteil anders aussieht (vgl. Tabelle 7).

Verteilung und Umwandlung. Die nachgewiesene Radioaktivität nahm von der Erde zu den Wurzeln und Blättern ab. So wurden z.B. beim ersten Versuch 0·7% der wiedergefundenen Aktivität in lebenden Blättern, 10·6% in Wurzeln (vgl. Tabelle 6) nachgewiesen, während beim zweiten Versuch 1·3% der wiedergefundenen Aktivität in lebenden Blättern und 8·7% in der Wurzel (vgl. Tabelle 7) gefunden wurden.

In den Pflanzenorganen befanden sich neben unverändertem Lindan Metaboliten, deren prozentualer Anteil von den Wurzeln zu den Blättern abnahm. Die in der Erde verbliebene Radioaktivität bestand mindestens zu 99% aus Lindan.

Aufnahme und Ausscheidung von Lindan durch Weizen

In Versuchen mit Weizen wurden drei Applikationsarten angewandt:

(a) Es wurde in die Nährösung appliziert und die Saat in der Nährösung keimen gelassen.

(b) Erst nach fünfägiger Keimung erfolgte die Zugabe von Lindan-¹⁴C zur Nährösung.

(c) Ein Homogenat von jungen Weizempflanzen wurde appliziert, um festzustellen, ob die Umwandlung ausschliesslich durch die lebende Pflanze erfolgt.

Zu (a) Von 0·625 mg appliziertem Lindan waren nach drei Tagen noch 30·8% nachweisbar, etwa die Hälfte in den Keimlingen (vgl. Tabelle 8). Nach 29 Tagen betrug der Gesamtrückstand an Radioaktivität noch 8·7%, 7·6% in den Keimlingen und 1·1% in der Nährösung (vgl. Tabelle 9).

Zu (b) Von 0·625 mg appliziertem Lindan-¹⁴C waren nach 24 Tagen noch 8·9% nachweisbar, davon waren 7·4% in den Keimlingen (vgl. Tabelle 10).

Zu (c) Dem Homogenat wurden 0·313 mg Lindan-¹⁴C appliziert, Nach 24 Tagen lagen 9% der Radioaktivität im Ätherextrakt als Metaboliten vor.

Identifizierung und Nachweis der Umwandlungsprodukte

Die entstandenen Produkte wurden erst mit Hilfe der Dünnschichtchromatographie qualitativ nachgewiesen. Es hat sich gezeigt, dass es sich um fünf einheitliche Produkte handelt, die verschiedene R_f -Werte besitzen (vgl. Tabelle 11).

Anschliessend wurde die Echtheit der erhaltenen Produkte untersucht, indem wir die einzelnen Zonen von der Dünnschichtplatte isolierten. Da die entstandenen Produkte wieder radioaktiv sind, konnten wir die einzelnen Zonen mit Szintillationslösung behandeln und auf die Radioaktivität untersuchen. Die folgende Tabelle zeigt die Verhältnisse der Produkte (Tabelle 12).

Die Metaboliten eins und zwei konnten wir trennen, indem wir die betreffende Zone mit Methanol eluierten und wieder mit einem anderen System chromatographierten (E/MeOH). Es zeigte sich, dass es sich in der Tat um zwei Substanzen handelte. Diese Rechromatographierung hat auch ihre Bedeutung, weil viele biologische Verunreinigungen den Substanzen anhaften.

TABELLE 6. MÖHREN. ERDAPPLIKATION 2 MG/5.6 KG ERDE, VERSUCHSDAUER 8 WOCHEN

Organ	applizierte Aktivität	% Bez. auf wiedergefundene Aktivität	% Konzentration in ppm**	Metaboliten musrat	%*** 1 + 2	Metabolit 3	%*** Metabolit 4	Metabolit 5	%*** Lindan
Blätter aussen	0.1	0.05	0.109	20.0	20.0	8.0	7.0	3.0	62.0
Blätter innen	0.4	0.7	0.149	38.0	30.0	30.0	28.0	10.0	51.5
Wurzel aussen	0.4	0.6	0.037	48.5	48.5	48.5	48.5	48.5	
Wurzel innen	6.0	10.6	0.674						
Erde	51.1	88.0	0.188						
Gesamt	58.0	99.95	0.579	46.9					
			(ohne Erde)						

* ppm bezogen auf MG Von Lindan.

** % bezogen auf gesamte Radioaktivität des betreffenden Extrakts.

TABELLE 7. MÖHREN. ERDAPPLIKATION 1 MG/1.4 KG ERDE, VERSUCHSDAUER 10 WOCHEN

Organ	applizierte Aktivität	% Bez. auf wiedergefundene Aktivität	% Konzentration in ppm**	Metaboliten musrat	%*** 1 + 2	Metabolit 3	%*** Metabolit 4	Metabolit 5	%*** Lindan
Blätter aussen	0.1	0.1	0.085	19.5	18.5	5.0	5.0	1.5	70.0
Blätter innen	0.6	1.3	0.862	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	
Wurzel aussen	0.9	1.8	0.787	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	
Wurzel innen	4.5	8.7	3.886						
Erde	44.8	88.1	0.312						
Gesamt	50.9	100.0	3.204	43.3					
			(ohne Erde)						

* ppm bezogen auf MG Von Lindan.

** % bezogen auf gesamte Radioaktivität des betreffenden Extrakts.

TABELLE 8. WEIZEN. NÄHRLÖSUNGSSAPPLIKATION 0.625 MG LINDAN/3 G WEIZEN, VERSUCHSDAUER 3 TAGE

		% Bez. auf applizierte Aktivität	% Bez. auf wiedergefundene Aktivität	%* Metabolis- musrate	%* Lindan
Nährösung	Keimlinge	14.9	48.2	7.0	93.0
	wässerige Phase	15.6	50.8	99.0	
	ätherische Phase	0.3	1.0		
Gesamt		30.8	100.0	19.54	19.46

* % bezogen auf gesamte Radioaktivität des betreffenden Extrakts.

TABELLE 9. WEIZEN. NÄHRLÖSUNGSSAPPLIKATION 0.625 MG LINDAN AUF 3 G WEIZEN, VERSUCHSDAUER 29
TAGE

		% Bez. auf applizierte Aktivität	% Bez. auf wiedergefundene Aktivität	%* Metabolis- musrate	%* Lindan
Nährösung	Keimlinge	7.6	86.8	65.4	34.6
	wässerige Phase	0.5	5.7	75.5	24.5
	ätherische Phase	0.6	7.5	13.4	86.6
Gesamt		8.7	100.0	62.1	37.9

* % bezogen auf gesamte Radioaktivität des betreffenden Extrakts.

TABELLE 10 WEIZEN. NÄHRLÖSUNGSSAPPLIKATION 0.625 MG LINDAN AUF 3 G WEIZEN,
VERSUCHSDAUER 24 TAGE

		% Bez. auf applizierte Aktivität	% Bez. auf wiedergefundene Aktivität	%* Metabolis- musrate	%* Lindan
Nährösung	Keimlinge	7.4	82.9	22.0	78.0
	wässerige Phase	0.8	9.7	75.2	24.8
	ätherische Phase	0.7	7.4	28.5	71.5
Gesamt		8.9	100.0	27.6	72.4

* % bezogen auf gesamte Radioaktivität des betreffenden Extrakts

TABELLE 11. R_f -WERTE DER ERHALTENEN PRODUKTE MIT DEN LAUFMITTELSYSTEMEN BENZOL/ESSIGESTER (7/3) UND ESSIGESTER/METHANOL (3/1).

	R_f B/E 7/3	R_f E/MeoH 3/1
Metabolit 1	0·0	0·0
Metabolit 2	0·0	0·68
Metabolit 3	0·2	—
Metabolit 4	0·4	—
Metabolit 5	0·6	—
Lindan	0·9	—

TABELLE 12. ZUSAMMENSEZUNG DER AUF MÖHREN, KOHL UND SPINAT WIEDER-GEFUNDENEN RADIOAKTIVITÄT NACH APPLIKATION VON LINDAN- ^{14}C (IN %).

Pflanze	Metaboliten 1 + 2 %*	Lindan %*	Metaboliten 3 - 5 %*
Kohl (Tab. 1)			
Blätter	21·9	30·1	48·0
Stengel	27·0	30·0	43·0
Wurzel	33·2	41·6	25·2
Kohl (Tab. 2)			
Blätter	12·2	31·2	56·6
Stengel	26·8	30·5	42·7
Wurzel	7·2	41·5	11·3
Spinat (Tab. 3)			
Blätter	23·7	42·2	34·1
Wurzel	12·1	62·8	25·1
Spinat (Tab. 4)			
Blätter	13·5	54·4	32·1
Wurzel	12·1	62·8	25·1
Spinat (Tab. 5)			
Blätter	39·1	55·0	5·9
Wurzel	44·0	50·0	6·0
Möhren (Tab. 6)			
Blätter	20·0	62·0	18·0
Wurzel	28·0	51·5	20·5
Möhren (Tab. 7)			
Blätter	18·5	70·0	11·5
Wurzel	30·0	52·0	18·0

* % bezogen auf gesamte Radioaktivität des betreffenden Extrakts.

EXPERIMENTELLER TEIL

I. Kultivierung von Kohlpflanzen. Junge Kohlpflanzen, die noch keine Köpfe gebildet haben, werden in Versuchsschalen ca. $16 \times 16 \times 8$ cm kultiviert. Auf die Blätter von 6 Pflanzen werden je 0·4 ml einer Lösung von 0·39 mg Lindan- ^{14}C (spezifische Aktivität 129 $\mu\text{C}/\text{mg}$) + 24·49 Lindan als Träger in 10 ml Aceton in kleinen Tröpfchen mit einer 100 μl -Hamilton-Spritze aufgetragen. Zwei Pflanzen werden 4 Wochen lang, 4 Pflanzen sechs Wochen lang im Freien unter einem PVC-Zelt kultiviert.

Um zu vermeiden, dass ein Teil der Radioaktivität von den Blättern abgewaschen wird, wird die Bewässerung nur über die Erde vorgenommen.

II. Kultivierung von Spinat. Junge Pflanzen werden in Kästen $40 \times 16 \times 13$ cm kultiviert. Vier Wochen nach dem Auflaufen der Saat werden 0·8 ml/5 kg Erde einer Lösung von 0·39 mg Lindan- ^{14}C (spezifische Aktivität 129 $\mu\text{C}/\text{mg}$) + 24·49 mg Lindan als Träger in 10 ml Aceton in kleinen Tröpfchen mit einer 100 μl -Hamilton-Spritze in die Erde nahe der Wurzeln ca. 0·5 cm tief appliziert. In Versuchsschalen $20 \times 20 \times 9$ cm wird drei Wochen nach Auflaufen der Saat 0·4 ml/ca. 1·6 kg Erde vom gleichen Lindan in die Erde appliziert; zum anderen Mal werden unter gleichen Bedingungen 0·4 ml Lösung des Lindans pro Kasten auf die Blätter appliziert.

III. Kultivierung von Möhren. Ca. 4 Wochen nach Auflaufen der Saat wird in ca. 5·6 kg Erde in Kästen $40 \times 16 \times 13$ cm 0·8 ml einer Lösung von 0·39 mg Lindan- ^{14}C (spezifische Aktivität 129 $\mu\text{C}/\text{mg}$) + 24·49 mg Lindan als Träger in 10 ml Aceton appliziert.

In Versuchsschalen $20 \times 20 \times 9$ cm werden 0·4 ml/1·4 kg Erde vom gleichen Lindan appliziert.

IV. Aufarbeitung von Kohl, Spinat und Möhren. Nach der Entwicklungszeit des Kohls werden Blätter, Stengel und die von Erde befreiten Wurzeln einzeln gewogen, mit Methanol abgewaschen und in Methanol mit einem Ultra-Turrax homogenisiert, während bei Möhren und Spinat Stengel und Blätter zusammen und die von Erde befreiten Wurzeln allein aufgearbeitet werden. Die Homogenate werden 48 Stunden kontinuierlich mit Methanol extrahiert. Die Radioaktivität von Extraktten und Waschmethanol wird mit dem Szintillationszähler gemessen. Danach werden die Lösungen eingeengt und chromatographiert.

V. Kultivierung und Aufarbeitung von Weizenkeimlingen. Jeweils 3 g Weizenkörner werden in vier Kästen mit Wasser kultiviert. In zwei Kästen werden 250 μl einer Lösung von 0·39 mg Lindan- ^{14}C (spezifische Aktivität 129 $\mu\text{C}/\text{mg}$) + 24·49 mg Lindan als Träger in 10 ml Aceton appliziert. Nach 3 Tagen und nach 29 Tagen werden die Keimlinge in Methanol homogenisiert und die wässrige Phase mit Äther kontinuierlich 48 Stunden extrahiert. Nach dem Einengen werden die Lösungen dünnenschichtchromatographisch untersucht.

Beim dritten Weizen-Versuch werden nach sechs Tagen Keimung 250 μl (0·625 mg) einer Lösung von 0·39 mg Lindan- ^{14}C (spezifische Aktivität 129 $\mu\text{C}/\text{mg}$) + 24·49 mg Lindan als Träger in 10 ml Aceton in die Nährlösung appliziert. Nach 24 Tagen werden die Keimlinge in Methanol homogenisiert und die wässrige Phase mit Äther kontinuierlich 48 Stunden extrahiert. Beim vierten Versuch werden acht Tage nach der Keimung die Keimlinge homogenisiert und zum Homogenat 125 μl (0·313 mg) Lindan- ^{14}C -Lösung appliziert. Nach 24 Tagen wird die wässrige Phase mit dem Homogenat mit Äther 48 Stunden extrahiert. Der Extrakt wird im Szintillationszähler ausgezählt und nach dem Einengen dünnenschichtchromatographisch untersucht.

VI. Radioaktivitätsbestimmung. Zur Ausmessung von Dünnschichtplatten dient der Dünnschicht-Scanner II Lab. Prof. Berthold. Die Platten werden mit MN-Kieselgel G beschichtet. Als Laufmittel werden Benzol/Essigester (7/3) und Essigester/Methanol (3/1) verwendet.

Zur quantitativen Auswertung der Aktivität der einzelnen Extrakte sowie von Dünnschichtplatten wird ein Szintillationszähler von Packard 3380 (Tri-Carb) verwendet. Die Szintillatorlösung setzt sich wie folgt zusammen:

1000 ml Dioxan
100 ml Methanol (p.A.)
8 g Omnifluor (98% PPO 2%-bis-MSB)
100 g Naphthalin

Danksagung—Wir danken Fräulein J. Ruberg, Frau B. Saueressig und Herrn A. Schöneborn für die Mithilfe bei der Durchführung dieser Arbeiten.

LITERATURVERZEICHNIS

¹ XXI. Mitteilung. R. Kaul, W. Klein und F. Korte, *Tetrahedron*, **26**, 99 (1970).

- ² Zusammenfassung in: FAO, PL: CP/15; WHO/Food Add. 67.32, *Evaluation of some Pesticide Residues in Food*, 126 (1967) und FAO/PL: 1967/M/11/1 WHO Food Add./68.30 (1967); *Evaluations of some Pesticide Residues in Food* 169 (1968).
- ³ Duggan et al. *Pesticides Monitoring Journal* 1(2), 2 (1967); 1 (4), 2 (1968).
- ⁴ Zusammenfassung: W. Klein, F. Korte: *Metabolismus von Chlorkohlenwasserstoffen in Wegler Chemie der Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel*, Bdl., Springer Verlag, i.Dr.
- ⁵ F. R. Bradbury, W. O. Whitaker, *J. Food Agr.* 7, 248 (1956).
- ⁶ A. A. Bogdarina, *Fiziologija rastenij*, Akad. Nauk SSSR 4, 254 (1957).
- ⁷ J. P. San Antonio, *J. Agr. Food Chem.* 7, 322 (1959).