

生鮮野菜類の栽培過程における残留農薬の解毒促進に関する研究

II. 有機塩素系農薬の土壤微生物による分解ならびに作物体への吸収・移行について

樽谷 勝, 梅田 裕, 諸岡信一, 田川 清, 芳沢宅実, 水川邦夫

DEGRADATION OF RESIDUAL PESTICIDES IN SOILS
DURING VEGETABLE PRODUCTIONII. Degradation of Organochlorine Pesticides by Soil Microorganisms
and Translocation of Pesticides into VegetablesMasaru KURETANI, Yutaka UMEDA, Nobuichi MOROOKA, Kiyoshi TAGAWA,
Takumi YOSHIZAWA and Kunio MIZUKAWA

The successive investigation has been done to elucidate the effects of mineral complex application in soil on the physical properties of soil, on the growth and quality of vegetables and on the growth or viability of soil microorganisms, in relation to the absorption and accumulation of organochlorine pesticides into vegetables. Furthermore, the investigation was extended to survey on the microorganisms which were able to degrade the organic pesticide of BHC. The results were as follows:

- (1) As described in the preceding paper, the supply of mineral complexes resulted in increases in the porosity and in the humus content of soil, especially, remarkable results were noted by supply of Algit.
- (2) When the mineral complexes supplied in the fields cultivated water melons and melons, well growth of the stems and leaves was observed and the yield and the quality of fruits were improved.
- (3) The population of microorganisms in the soil supplied with the minerals in relatively high amount was higher than that in the non-fertilized soil. The microorganisms having abilities of removal of α - and γ -BHC from the liquid culture medium were frequently isolated but those of β -BHC were rare. Detailed experiments employing the high potent strains showed that the bacterial strain might degrade α - and γ -BHC to less chlorinated compounds through dehydrochlorination, whereas the fungal strain adsorbed the BHC isomers on its mycelial mat and hardly degraded them.
- (4) The supply of the mineral complexes in soil did somewhat inhibit absorption of BHC isomers into radish roots but stimulated transfer of the absorbed isomers to other parts of radish.

前報に引続いて、複合ミネラル施用が、土壤の理化学性、栽培野菜類の発育と品質、および土壤微生物の活性に及ぼす影響について、検討を加えるとともに、有機塩素系農薬の野菜類への吸収・蓄積との関連を追究した。さらにBHCの分解能を持つ微生物の検索へと研究を展開させた。結果はつぎのようである。

(1) 前報と同様に、複合ミネラルを施用することより、土壤の孔隙量と腐植含量の増加がみられた。このことは、とくにアルギットの施用により顕著であった。

(2) スイカ, メロン栽培の畑に複合ミネラルを施用すると, 茎葉の健全な発育ならびに, 果実の収量と品質の向上がみられた。

(3) 比較的多量の複合ミネラルを施用した土壌の微生物数は, 無施用土壌のそれよりも多かった。液体培養により α -と γ -BHC の分解能をもつ微生物はかなり頻繁に見出される, しかし β -BHC を分解するものは希であった。選定菌株による実験では, 細菌の場合 α -および γ -BHC を脱塩化水素反応によって分解するものと考えられたが, かびでは BHC を菌体に吸着するが, 殆んど分解しないことが判った。

(4) 複合ミネラルを施用すると供試作物(ダイコン)への BHC 異性体の吸収が幾分阻害されるが, これら異性体の根から他の部分への移行は逆に促進された。

結 言

前報⁽¹⁾に引続いて, 複合ミネラルの施用が土壌の理化学性, 作物の発育・収量・品質, 土壌微生物相等に及ぼす影響について, 詳細な検討を加えるとともに, とくに微生物による農薬分解, 土壌中残留農薬の栽培作物への吸収・移行について, 筆者らの研究分担において必要な個別実験を行なった。

本報における研究結果については, 前報と併せて一部は食品衛生学会昭和50年度春季研究発表において, また, その概要は園芸学会昭和50年度秋季大会研究発表において報告した。

材料および方法

I. 供試農薬および供試複合ミネラル

前報と同じものを供試した。

II. 分担による実験の材料および方法

各々研究分担における研究項目別の実験材料および方法は, つぎのとおりである。

(1) 土壌の理化学性に及ぼす複合ミネラル施用の影響

花こう岩風化土壌に供試複合ミネラルを多量施用した試験と, 沖積土の実際栽培圃場における供試複合ミネラルの累年施用試験について, それらの土壌の理化学性を調査した。

1) 調査土壌

a. 複合ミネラルの多量施用試験

1973年7月17日に, 香川県大川郡長尾町昭和に所在する本学部附属農場の, 山林地より採取した花こう岩風化の未耕土を, 1.0×1.0×0.4m のコンクリートポットに充填し, その1ポット当たり消石灰 200g, 化成肥料 (15:15:15) 60g および堆きゅう肥 2kg を施したものに, アルギット 50g, 100g を加用した2区, ネオヒロン2号を 30g, 60g を加用した2区および無施用標準の合計5区, 各区2連制の試験区を設けた。上記の各試験区に8月20日に大根(みの早生)を播種し, それを栽培した土壌を10月20日(試験区土壌の調製後約3カ月)に採取して, その理化学性の調査を行なった。

b. 複合ミネラルの累年施用試験

同前, 本学部附属農場の水田で, 1970年以來, 10a 当たりアルギット 25kg, 50kg およびネオヒロン2号 10kg, 20kg を3年連用添加によって, スイカを栽培した圃場の土壌について, その理化学性を調査した。

2) 理化学性の調査法

供試土壌の理化学性の調査は, 前報 III-(1) の場合に準じて行なった。

(2) 作物の発育, 収量, 品質に及ぼす複合ミネラル施用の影響

実際栽培の圃場における, 供試複合ミネラル施用の影響について調査した。

1) スイカ作に対する施用試験

本学部附属農場の蔬菜圃場において, 1972年4月17日に, 10a 当たりアルギット 50kg, ネオヒロン2号 20kg を添加施用した両区と, 普通肥料標準区を設けて, スイカ(富久光)の実生苗を植付けた。その後慣行法による肥培管理の下で栽培し, それについて茎葉の発育および健康状態, 果実の収量, 果実の形質および果肉の糖度を調査した。

2) 温室作メロンに対する施用試験

本学部附属農場のガラス温室（南北棟・両屋根式、面積 144m²）において、1974年8月から12月の間、アールス・フェボリット秋系3号を供して、基本普通肥料として床面積 100m² 当たり、ナタネ粕 40kg、魚粕 12kg、過石 8kg、硫加 6kg を施用した有機質に富む埴質土を用いて、供試複合ミネラルの施用効果を検討した。すなわち、上記の栽培床土に対して、栽培床（巾 60cm の金網ベット）1m² 当たり、アルギット 100g、ネオヒロン2号 50g を元肥に添加施用した両区と、普通肥料標準区を設けて、9月11日に別に育成したメロン苗を、株間 32cm の単列に植付けた。その後常法による肥培管理を行ない、12月18～20日の間に、草体の発育状態、収穫果の形質、果汁の糖度等の調査を行なった。

(3) 土壌の微生物相に及ぼす複合ミネラル施用の影響ならびに微生物による農薬分解

1) キュウリの連作育苗土壌中の微生物数の消長

1972年9月初めに、本学部附属農場の山林地より採取した花こう岩風化土壌を原土として、消石灰、化成肥料および供試複合ミネラルを添加して、育苗用の速成床土を調製した。

供試複合ミネラルの添加量は、原土 1kg に対してアルギット 6g、20g 施用と、ネオヒロン2号 3g、10g 施用とした。別にアルギン酸ソーダ 3g 施用区と無施用対照区を設け、合計 6 試験区とした。これらの調製育苗土を径 15cm の黒色ビニールポットに填充し、各区 5 鉢ずつとし、開放されたガラス室内に並べて、キュウリの種子を 3 粒ずつ播き付け、育苗実験を行なった（図-1参照）。

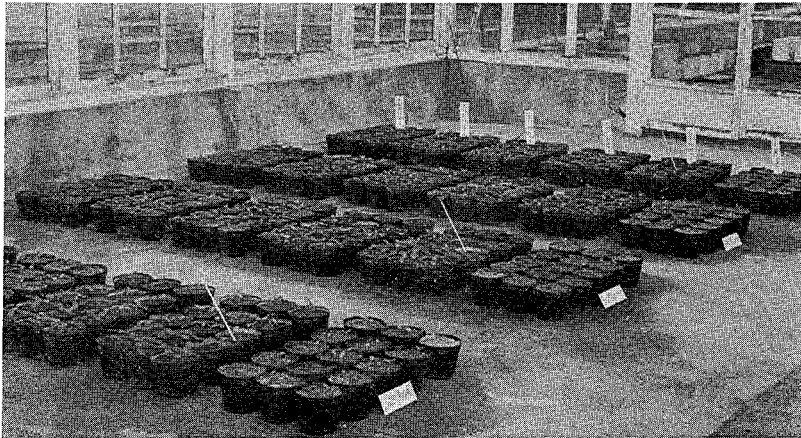


図-1 キュウリの連作育苗土壌における微生物数の消長実験
（試験区、育苗法；1972年10月）

キュウリ種子の播種・育苗は、1972年10月17日（1期作）、1973年6月5日（2期作）、同年9月18日（3期作）とし、いずれも同一試験区、同一ポットで反復してキュウリの連作育苗を行なった。

土壌微生物数の測定は、上記2期作後と3期作後の2回とした。微生物数の測定に供する土壌の採取は、各ポットから平均に適量ずつを採り、よく攪拌混合した。微生物培養の試料調製、培養条件ならびに計数法は、前報 III-(3) の場合に準じて行なった。

2) 微生物による BHC の分解

a. BHC 分解菌の検索

前報の実験に用いた BHC 散布土壌、耕地土壌ならびに河川、溜池等の水を試料として、平板培養法により微生物を純粋分離した。平板分離培地としては Waksman のアルブミン寒天培地を用いた。また、分離菌の斜面培養には、かび・酵母菌では 0.2% ペプトン添加 Czapek 培地を用い、細菌・放線菌では普通寒天培地を用いた。

b. 分離菌の BHC 分解能試験

前項により分離した菌の BHC 分解能試験は、BHC 25ppm を含む液体培地に斜面分離菌を白金耳接種し、28°C で 5～7 日間振とう培養して、残存する BHC 量を測定することによった。使用した液体培地は、かび・酵母菌の場合には 0.2% ペプトン添加 Czapek 培地を用い、細菌・放線菌では Waksman アルブミン培地とした。

BHC の分析は、電子捕獲検出器をもつガスクロマトグラフ法（前報 III-(4)-2）で行なった。培地中の BHC の分析には、菌体をろ別した透明液に10倍量の n-ヘキサンを加え、よく振とうして BHC をヘキサン相に移し、適当に n-ヘキサンで希釈した後、その 2 μ l をガスクロマトグラフに附した。また、菌体中の BHC 量は、菌体を n-ヘキサンで洗滌し、乳鉢中でガラス粉末とともに磨砕し、n-ヘキサン抽出・希釈の手順で、培養液の場合と同様にガスクロマトグラフ分析に附した。

菌体量は、かびの場合には菌体をろ紙で濾過し、その生菌体重量を測定することによった。細菌では生菌体重量の測定と、600m μ の波長における吸光度の測定によった。

BHC 異性体標品は前報 III-(4)-1) のものと同じであり、 γ -ペンタクロシクロヘキセン (γ -PCCH) は京都大学中島稔教授から供与されたものである。 α -ペンタクロシクロヘキセン (α -PCCH) は、中島⁽²⁾の方法に基づいて調製したものを供した。すなわち、10g の α -BHC を 1.5l のアセトンに溶解し、N/50 NaOH 液 2.5l を加え、40°C において20分間攪拌して反応させた。N/10 HCl で反応液を中和した後、水蒸気蒸留を行ない、50ml 割分に留出液を分取し、ガスクロマトグラフ分析で、 α -PCCH と考えられる区分を集め、アセトンを蒸留させた油状物を n-ヘキサン 50ml に溶かし、再度水蒸気蒸留して純化した。このもののガスクロマトグラフ上の保持時間は108秒で、 α -BHC の 144秒に対して、沸点が高いことが推察された。元素分析、質量分析等の確認試験が残されているが、一応本研究中では α -PCCH として扱った。

(4) 複合ミネラル施用が、土壌中の残留農薬の作物体への吸収・移行に及ぼす影響

1) 試験区の設定

土壌中の有機質、腐植、その他の要因の影響をできる限り避けるために、本学部附属農場の山林地より採取した花こう岩風化の未耕土を用い、1.0 \times 1.0 \times 0.4m のコンクリートポットを使って表-1に示す6試験区を設定した（前記(1)-1)-a と共同で設定）。

これに対して1973年8月20日に、大根（みの早生）を播種し、2カ月後（10月20日）に収穫した。試験区設定における所定量の供試農薬および供試複合ミネラルの施用方法、栽培作物の肥培管理の要領などは、前報の実験の場合と同様にした。

表-1 試験区の設定

No.	試験区分	農薬施用量 (g/m ²)	複合ミネラル施用量 (g/m ²)
1	標準対照区	0	0
2	BHC・アルドリン区	5	0
3	BHC・アルドリン+アルギット区	5	50
4	BHC・アルドリン+アルギット区	5	100
5	BHC・アルドリン+ネオヒロン区	5	30
6	BHC・アルドリン+ネオヒロン区	5	60

注：1) 供試土壌は山林地の花こう岩風化の埴壤土

2) BHC 粉剤, アルドリン粉剤各 5g を混合施用

2) 農薬の栽培作物（ダイコン）への吸収・移行

供試料として収穫した大根の、地下部（根部）は 300g を、地上部（葉部）は 300g に水 150ml を加えて、それぞれミキサーにかけて均一化し、その 100g（地上部は 150g）を抽出用試料とし、図-2 に示す方法に従って処理した。

試薬および分析条件は、前報 III-(4)-1) の場合と同様であり、栽培土壌中の残留農薬については、作物の収穫時に土壌を採取し、前報 III-(4)-1), 2) に準じて、試料の調製および分析を行なった。

実験結果

(1) 土壌の理化学性に及ぼす複合ミネラル施用の影響

供試複合ミネラルの多量施用試験ならびに累年施用試験の土壌について、それぞれ理化学性を調査した結果は、

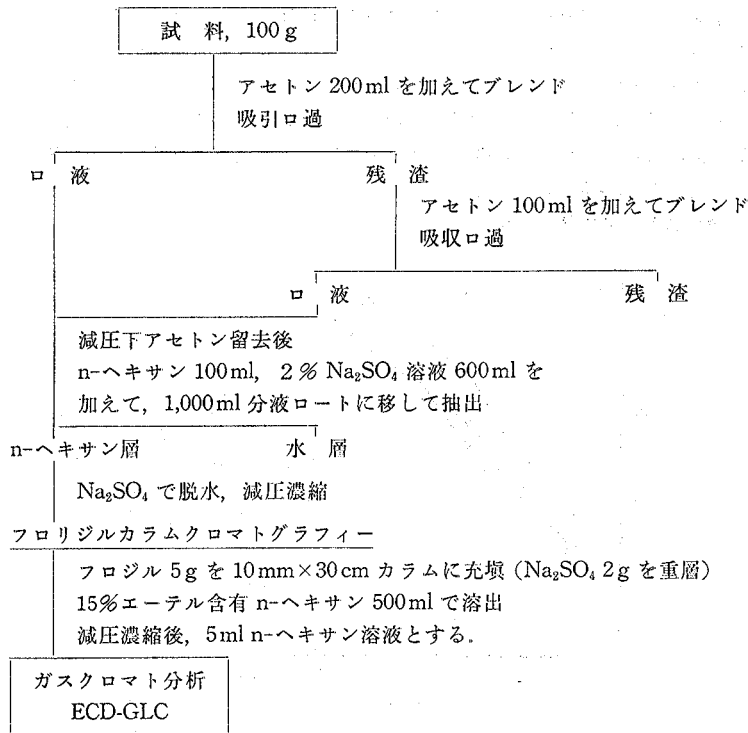


図-2 作物中の残留農薬の分析法

表-2および表-3のとおりである。

表-2 多量施用試験における土壌の理化学性 (花こう岩風化土)

試験区	項目	真比重	仮比重	孔隙量 %	pH		C %	腐植 %
					H ₂ O	KCl		
標準対照区		2.51	1.22	51.4	5.15	4.00	0.75	1.29
アルギット施用区	50 g	2.49	1.18	52.6	5.35	4.15	0.92	1.58
	100 g	2.48	1.13	54.4	5.35	4.10	1.07	1.84
ネオヒロン施用区	30 g	2.50	1.19	52.4	5.30	4.15	0.70	1.20
	60 g	2.50	1.17	53.2	5.10	3.95	0.82	1.42

表-3 累年施用試験における土壌の理化学性 (沖積土)

試験区	項目	真比重	仮比重	孔隙量 %	pH		酸度 Y _i	灼熱 損失 %	C %	腐植 %
					H ₂ O	KCl				
標準対照区		2.61	0.97	62.84	4.82	4.10	2.10	7.36	1.70	2.94
アルギット施用区	10 kg	2.58	0.92	63.81	5.10	4.25	1.80	7.61	2.09	3.60
	20 kg	2.58	0.92	63.81	5.17	4.36	1.50	7.61	2.10	3.62
ネオヒロン施用区	25 kg	2.59	0.95	63.32	4.87	4.17	2.25	7.53	2.00	3.45
	50 kg	2.59	0.95	63.32	4.77	4.09	2.10	7.52	1.99	3.43

物理性について孔隙量を見ると、多量施用および累年施用の両試験ともに、供試複合ミネラル施用土壌では孔隙量の増大がみられ、なかでもアルギット施用区ではネオヒロン施用区よりもその傾向がはっきりしている。また、化学性について pH および酸度 (Y_1) についてみると、両試験ともアルギット施用区は標準対照区に比べて pH 値は高く、累年施用試験でのアルギット施用区の酸度は、他区の土壌に比べて著しく小さい値を示していることがみられた。有機炭素 (C) および腐植含量においても、供試複合ミネラル施用区では標準対照区に比べて増加の傾向を示し、とくにアルギット施用区ではその傾向が明らかである。

つぎに、多量施用試験土壌の緩衝曲線は、図-3に示すとおりである。

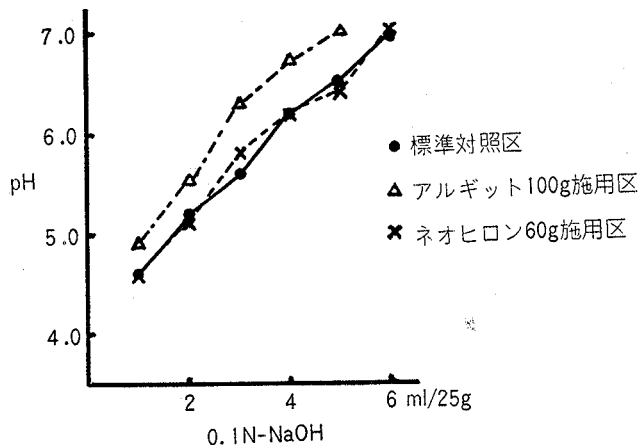


図-3 多量施用試験土壌の緩衝曲線

すなわち、本実験結果をみると、供試複合ミネラル、とくにアルギットの多量施用では緩衝能が弱くなる傾向がみられた。

(2) 作物の発育、収量、品質に及ぼす複合ミネラル施用の影響

1) スイカに対する施用試験

圃場作スイカについて、茎葉の健康および発育状態、果実の収量・形質、果肉の糖度を調査した結果は、表-4、5に示すとおりである。

すなわち、複合ミネラル施用の両区では、普通肥料標準区に比べて、茎葉の健康状態がすぐれ、茎葉の発育量および茎の太さが大であった。また、収穫果数およびその果重が多くて収量の増加がみられた。果実の形質においては、果皮が薄く、果肉の糖度が高く、果実の品質がすぐれた。

2) 温室作メロンに対する施用試験

供試複合ミネラルを加用して栽培したメロンについて、草体の発育状態の調査結果を表-6に、果実の形質および糖度について調査した結果を表-7に示した。

供試複合ミネラル添加の各区は、普通肥料標準区に比べて茎葉の発育量および葉重が大きく、細根重も大であった。また、果実の重畳および果肉の厚さも大きく、とくに果汁の糖度が高かった。

表-4 茎葉の健康、発育状態 (1973年)

	罹病株の発生率 (6月15日調査)	1株当たり茎葉重 (8月3日調査)	茎の太さ (8月3日, 地際の直径)
	%	kg	m/m
普通肥料標準区	45.0	2.80	12.8
アルギット50kg施用区	11.7	3.35	14.2
ネオヒロン20kg施用区	18.3	3.60	14.1

表-5 果実の収量, 形質および糖度 (1973年8月4日調査)

	収穫果数 (30株当たり)	収穫果重 (30株当たり)	1果平均重	果皮の厚さ	果肉の糖度 (屈折計示度)
	果	kg	kg	mm	%
普通肥料標準区	81.0	357.1	4.34	17.0	10.7 (8.9~12.0)
アルギット50kg施用区	102.1	428.9	4.10	16.7	10.9 (9.6~11.8)
ネオヒロン20kg施用区	96.4	426.0	4.42	15.7	10.9 (9.6~11.8)

表-6 メロン草体の発育状態 (1974年12月20日解体調査, 1株当たり)

	茎長	茎重	葉重			果肉の乾物重 (100cm ² 当たり)	茎の太さ (第1節間の径)	細根重
			葉身	葉柄	1枚平均重			
	cm	g	g	g	g	mg	m/m	g
普通肥料標準区	135.1	138.0	19.4	5.8	25.2	568.6	12.6	20.5
アルギット添加施用区	138.2	145.8	20.5	5.9	26.4	582.3	12.5	22.2
ネオヒロン添加施用区	142.0	159.0	22.6	6.6	29.2	577.3	13.0	25.6

表-7 メロン果実の大きさ, 果肉厚および糖度 (1974年12月18日採取調査)

	果重	果径	果肉の厚さ	果汁の糖度 (屈折計示度)
	g	cm	mm	%
普通肥料標準区	889.1	12.0	31.5	14.0
アルギット添加施用区	890.0	11.9	33.5	14.6
ネオヒロン添加施用区	899.0	12.1	32.5	14.2

(3) 土壤微生物相に及ぼす複合ミネラル施用の影響および微生物による農薬分解

1) キュウリの連作育苗土壤中の微生物数の消長

花こう岩風化土壌で調製した床土で, キュウリの2期作, 3期作の連作育苗を行なった土壌について細菌, かびおよび酵母菌の消長(生菌数)を測定した結果は, 表-8のとおりである。

表-8 キュウリの連作育苗土壤中の微生物数 (土壌1g中生菌数)

	2期作育苗土壌 (1973年8月21日)		3期作育苗土壌 (1973年11月30日)		
	細菌	かび	細菌	かび	酵母等
無施用対照区	×10 ⁶ 18.0	×10 ⁴ 39.0	×10 ⁶ 12.0	×10 ⁴ 38.0	×10 ⁴ 2.5
アルギット6g添加区	25.5	110.5	21.5	39.0	25.0
“ 20g “	34.0	142.5	32.5	82.0	35.0
ネオヒロン3g “	19.5	32.5	25.0	63.0	32.0
“ 10g “	28.5	11.0	27.5	24.0	14.0
アルギン酸ソーダ3g “	17.0	17.5	12.8	67.0	82.5

すなわち, 土壤中の細菌数について見ると, 供試複合ミネラルの添加土壤では, 無施用対照区に比べて僅かではあるが増加の傾向がみられる。しかし, アルギン酸ソーダ 3g 添加の土壤では, その差がみられない。

かびおよび酵母類も概して増加の傾向にあるが, 複合ミネラルの添加量によって差がある。この場合とくに, 3期作土壤におけるアルギット 20g 添加区およびアルギン酸ソーダ 3g 添加区の土壤において, 酵母類の増加がみられた。

2) 微生物による BHC の分解

a. BHC 分解菌の検索

土壤および河川水等から386菌株のかび, 酵母菌, 細菌を分離し, それぞれの BHC 分解能を測定した結果は, 表-9 に示すとおりである。

表-9 BHC 分解微生物の分離株数

	被検菌株数	菌 株 数			
		分 解 率 20%以下	分 解 率 21~40%	分 解 率 41~60%	分 解 率 61%以上
α - BHC	386	287	40	33	26
β - BHC	386	353	23	8	2
γ - BHC	386	270	65	38	13

α -BHC および γ -BHC を分解する菌株はかなり多くみられたが, β -BHC を分解するものは少なく, 60% 以上の分解率を示したものは僅かに2菌株であった。

60%以上の高い分解率を示した菌株について, さらに二次スクリーニングを行ない, 有力菌株としてかびの No. 64 菌株と, 細菌の No. 126 菌株を選び, つぎの実験に供した。

b. 有力菌株による BHC の分解

有力菌株として選定したかびの No. 64 菌株と, 細菌の No. 126 菌株は, いずれも液体培養によって α -BHC と γ -BHC を減少させるが, β -BHC の減少は少なかった。したがって両菌株による以後の実験は, α -BHC と γ -BHC の分解に関するもののみについて行なった。

すなわち, 図-4はかび No. 64 菌株の培養過程における BHC の減少を示すものであり, 図-5は細菌 No. 126 菌株の培養過程における BHC の減少を示すものである。

かびでは対数増殖期に並行して BHC の減少が見られ, 48時間後には α -BHC および γ -BHC とともに90%以上の減少率を示した。一方, 細菌では菌体量に比例した BHC の減少経過がみられ, 48時間後には最小の濃度に達するが, 培養100時間後から僅かに BHC 濃度の増加する傾向がみられた。

培養中の BHC の減少が分解によるものか, 菌体内への取り込み濃縮によるものか, または吸着によるものであるかを検討するために, つぎの実験を行なった。

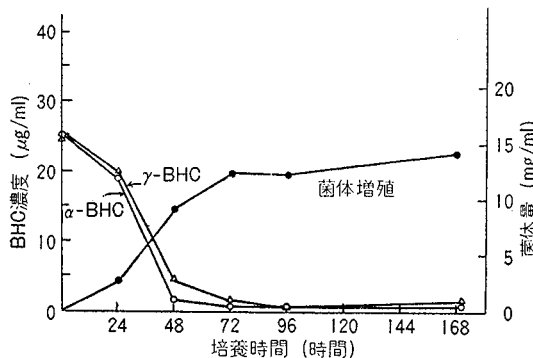


図-4 かび No. 64 菌株の液体培養過程における BHC の減少

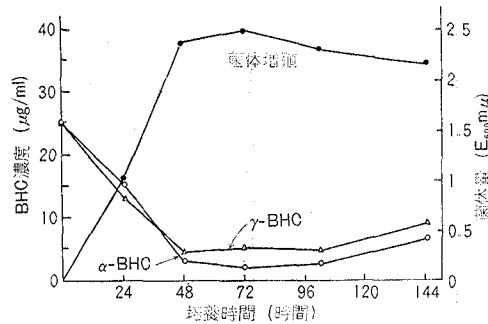


図-5 細菌 No. 126 菌株の液体培養過程における BHC の減少

BHC を含まない培地で菌を培養し、菌体を BHC の添加培地に移し、24 時間培養後、菌体と培地の両方について BHC 濃度を測定した。その結果は表-10のとおりである。

表-10 置換培養による BHC の分解、取り込み吸着量

被 検 菌 体	使用菌体量	供試 BHC 異性体	菌体から回収される量		分解量 (率)
			吸 着	取り込み	
No. 64	1120 mg	α - BHC	780 µg	75 µg	55 µg (5.5%)
"	1050 "	γ - BHC	820 "	88 "	24 " (2.4%)
No. 126	480 "	α - BHC	180 "	45 "	555 " (55.5%)
"	560 "	γ - BHC	220 "	70 "	340 " (34.0%)

被検菌を α- または γ-BHC 25µg/ml を含む培地 20ml に置換し 30°C, 24 時間振盪培養した。

すなわち、かびでは培地から失われた BHC 量の大部分が菌体にあり、しかも n-ヘキサンで菌体を洗うことにより溶出してくる、いわゆる吸着量が多いのに反し、真に分解されたとみられる量は非常に少ないことが判った。一方、細菌ではかなりの量が分解されていることが認められた。また、α-BHC 培地での置換培養細菌菌体の BHC 分析において、α-BHC よりも保持時間の短いピークがクロマトグラム上に現われることよりして、α-BHC をアルカリ分解して調製した α-PCCH (未確認) と、比較ガスクロマトグラフ分析を行なった。その結果は図-6のごとくであり、両者の相対保持時間、ピーク位置は、ともによく一致しており、α-BHC の脱塩化水素反応産物である α-PCCH であると考えられた。

つぎに、かび菌体への BHC の吸着現象のいちじるしいことからして、細菌菌体への吸着との比較検討を行なった。その結果は図-7のとおりである。

α-BHC および γ-BHC とともに、かび菌体への顕著な吸着が認められ、とくに、γ-BHC の吸着は短時間にしかも高率であった。細菌菌体への吸着は、かびに比べて低く、両者の吸着力に明らかな差が認められた。

(4) 複合ミネラル施用が、土壌中の残留 BHC の作物体への吸収・移行に及ぼす影響

供試作物大根 (みの早生) の収穫時における土壌中の BHC 残留量に対する作物中の濃度比 (吸収率, %) は、図-8に示すとおりである。

標準対照区 (農薬 1g のみ添加) では、BHC 各異性体の地下部への吸収率は α 体 44%, γ 体 20%, β および δ 体 17% である。また、地上部へは α 体 22%, γ 体 14%, δ 体 3%, および β 体 2% であり、β および δ 体に比べて、水溶性の α, γ 体の高い吸収性が示された。

地下部に対する地上部の濃度比 (移行率) は、α, γ 体ともに 50~70%, β, δ 体 10~20% であり、吸収率と同様に前者の移行性が高いことがみられた。

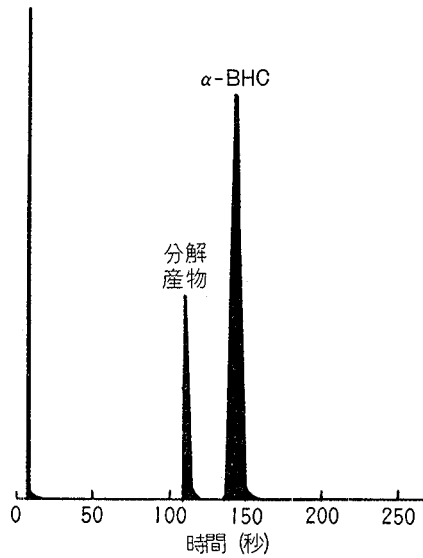


図-6 細菌 No. 126 による α -BHC 分解産物のガスクロマトグラム
 α -BHC との相対 分解産物 0.75 } OV-17カラム 0.68 } QF-カラム
 保持時間 α -PCCH 0.75 } 0.68 }

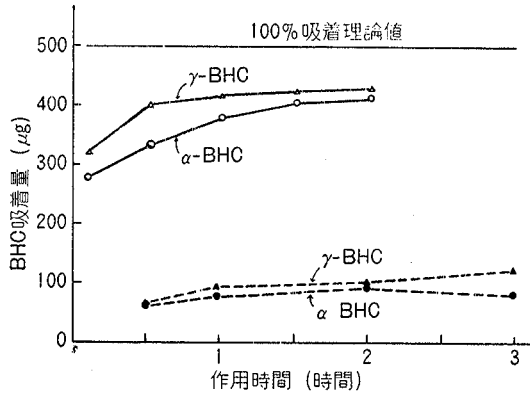


図-7 かび No. 64 菌株 (実線) と細菌 No. 126 菌株 (破線) の菌体への BHC の吸着

かび菌体 1g または細菌菌体 0.5g を $25\mu\text{g/ml}$ の α -または γ -BHC を含む 0.05M リン酸緩衝液 (pH 6.4) 20ml に懸濁し, 30°C で所定の時間振盪後, 菌体に吸着された BHC を n-ヘキサンで洗滌し, ガスクロマトグラフで測定した

アルギット施用区では, α 体の吸収率が幾分低い傾向を示したが, とりわけアルギットの施用効果があるとは判定し難い。しかし, 地下部から地上部への α -BHC の移行率は若干高かった。

一方, ネオヒロン 30g/m^2 および 60g/m^2 施用区では, 地下部への吸収率は減少し, α 体 $10\sim 12\%$, β, γ 体 $10\sim 11\%$, δ 体 $12\sim 20\%$ であり, α, β, γ 体の吸収が抑制された。また, アルギット施用の場合と同様に, α, γ -BHC の地下部から地上部への移行率が増大し, 60g/m^2 施用区では α 体 100% , γ 体 160% であった。

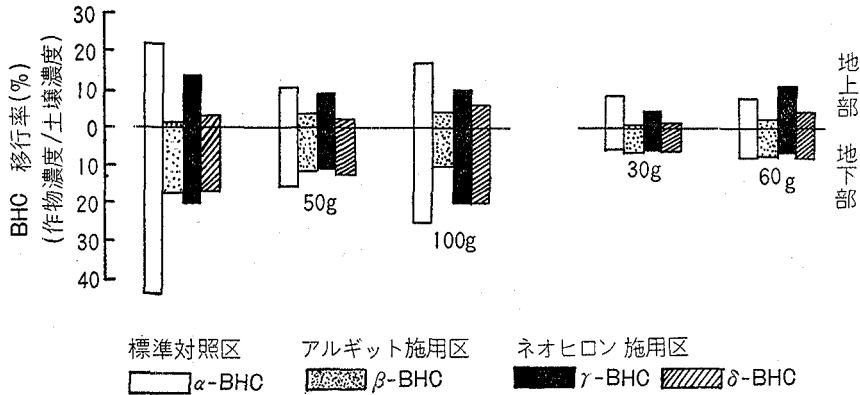


図-8 ダイコンの地下部, 地上部への BHC 異性体の吸収, 移行におよぼす複合ミネラル施用の影響

考 察

(1) 土壤の理化学性に及ぼす複合ミネラル施用の影響

前報に続き未耕地地こう岩風化土壤に供試複合ミネラルを多量施用したもので、および沖積土壤に複合ミネラルを累年施用した場合における土壤の理化学性について調査した結果は表-2,3に見られるごとくである。その理化学性については多量施用試験、累年施用試験ともに、複合ミネラルの施用によって真比重、仮比重が小さくなり、孔隙量の増加がみられた。とくにアルギットの多量施用区において、それが明らかであることは前報⁽¹⁾と同様である。

化学性のうち pH 値および酸度については、両試験とも標準対照区に比べて、ネオヒロン施用区においてやや酸性傾向を示したが、アルギット施用の各区では pH 値は高くなり、酸性矯正の傾向がみられた。これはアルギットのアルカリ度によるものと考えられる。

有機炭素 (C) および腐植含量については、多量施用試験におけるネオヒロン 30g 施用区以外は、複合ミネラル施用によって増加していることは前報⁽¹⁾の場合と同様で、とくにアルギット施用区においてそれが明らかである。

つぎに多量施用試験における標準対照区と、アルギット 100g 施用区およびネオヒロン 60g 施用区土壤の、緩衝力を調査した結果は図-3に見られるごとく、標準対照区とネオヒロン 60g 施用区では、ほとんど差異は認められなかったが、アルギット 100g 施用区の緩衝力の弱いことは、この実験の供試土壤が未耕地のもので、有機物が少ないものであるのに対して、アルカリ度の高いアルギットが施用された結果であると考えられる。

(2) 作物の発育, 収量, 品質に及ぼす複合ミネラル施用の影響

本報の実験においては、実際の圃場栽培のスイカ、メロンを対象とした供試複合ミネラル施用の影響を調査したものであるが、本来果実の形質、食味を要求する作物において、本実験の結果が示すように、果実収量の増加とともに、果皮および果肉の厚さ、果汁中の糖度などの形状、品質、食味の向上がみられたことは、この種の野菜栽培に益するものがある。

前報⁽¹⁾および本報の実験結果にみられるように、栽培野菜類の健康状態および地上部・地下部の発育を良くし、収量、品質を向上させたが、供試複合ミネラル施用の影響は、単にその成分要素の肥料的効果のみならず、土壤の理化学性の改善効果、さらには後述の土壤微生物の増殖・活性に及ぼす効果などの、総合的な土壤生態系の保全効果が、栽培作物の発育作用に好影響をもたらしたものといえよう。

(3) 土壤微生物相に及ぼす複合ミネラル施用の影響

本報の実験では前報⁽¹⁾で指摘したように、比較的多量の供試複合ミネラルを施用した床土で、キュウリの連作育苗を行なった土壤中の微生物相の変化を見た結果、表-8に見られるように複合ミネラルの比較的多量施用によって、細菌、かび類では無施用区に比べて増加することが判った。

他方、供試複合ミネラルであるアルギットには、相当多量のアルギン酸が含まれており、アルギン酸ソーダを施用してアルギン酸の効果を見たとところ、アルギン酸ソーダ施用区では酵母菌数の増加はみられたが、物質分解あ

るいは合成に有力と考えられている細菌, またはかび類の増加は見られなかった。また, 総微生物数の増加も殆んどなかった。このことは複合ミネラルの微生物増殖に対する効果は, 無機塩類によるものであることが指摘される。つまり, 複合ミネラルの施用は土壌の理化学性を改善するとともに, その無機成分が微生物の増殖に適した条件付与に, 好影響をもたらすものと考えられる。

(4) 微生物による BHC の分解

微生物による農業分解に関して, BHC 分解菌の検索と, 有力菌による BHC の分解能について実験を行なったが, 土壌細菌の中には, BHC を分解するものがかなり存在することが明らかである。とくに, α -BHC および γ -BHC 分解細菌が多かったことは, 本研究において芳沢・水川が行なった実験で, 土壌中のこれらの BHC 異性体の減衰状態と関連して興味深いものがある。従来, BHC の微生物分解については, 殺虫にもっとも有効なリンデン, すなわち γ -BHC に関する報告が大部分である⁽⁸⁻⁹⁾。わが国のように α -BHC を 55~70%, β -BHC を 5~14%, γ -BHC を 12~16% からなる BHC 製剤を使用した場合には, これら異性体個々の分解について追究する必要がある。 γ -BHC の分解については水田中で *Clostridium* 属細菌より嫌氣的に脱塩化水素され, 1,3,5-トリクロールベンゼン等⁽⁹⁾に, または 3,4,5,6-テトラクロールシクロヘキセン⁽¹²⁾に分解されることが知られている。われわれの実験では *Pseudomonas* 属, (未同定, 培養所見, 電子顕微鏡観察により, ほぼ誤まりないものと思う。別途報告の予定。) によるもので, 菌体内で α -BHC の脱塩化水素反応の進むことが考えられ, α -PCCH を主要な生産物として推定した。同一菌による γ -BHC の分解においては, α -PCCH に相当する γ -PCCH の生成を確認することはできず, したがって γ -BHC の分解には γ -PCCH になる段階が律速されているものと考えられた。

糸状菌においては, 液体培地からの BHC 消失は, 主として菌体への吸着であり, 真の分解は少ないものと考えられた。LESHNIOWSKY ら⁽¹⁰⁾は, エール湖に流出したアルドリンがフロック形成細菌によって吸着されることを見ており, われわれの観察した現象も同様に, 添加 BHC は微粒子として糸状菌の菌体に吸着されるものと考えられる。したがって, BHC の溶解度が除去率を左右することは明らかである。

液体培養による微生物分解を検討したのであるが, 野菜栽培土壌へ直接にこの結果を, そのまま適用することができないのは勿論であり, 栽培土壌中での分解は微々たるものと推定される。

(5) 複合ミネラルの施用が, 土壌中の残留 BHC の作物体への吸収・移行に及ぼす影響

土壌中に残留する BHC の作物体 (ダイコン) への吸収が, β および δ 体に比べて α および γ 体のほうが速やかであるのは, 後者の高い水溶性に起因するものである。本実験において供試複合ミネラル, とくにネオヒロンの施用によって, 土壌中 BHC の作物体への吸収抑制の現象が認められた。このような現象について, ある種のミネラル要素が農業の作物体への吸収・移行を抑制, または促進するとの報告⁽¹¹⁾もある。しかし, その機構については定かではない。

一方, ダイコンの地下部から地上部への移行, すなわち作物体内における農業の移行・分布は, 供試複合ミネラルの施用によって明らかに促進された。これは土壌に施用されたミネラルが栽培作物の生理的作用に対して, 何らかの影響を及ぼし, それが間接的に反映された結果として, 水溶性の比較的高い α -BHC および γ -BHC の移行率が增大したものと思われる。

謝 辞

本研究の実験に際し, 貴重な試料を贈られた京都大学中島稔教授に対して, 厚くお礼を申し上げます。また, 供試作物の栽培管理・調査に協力下さった本学部附属農場技官伊藤博允氏, 寒川朝治氏, 出口秀夫氏ならびに農業の微生物分解に関する実験に助力をいただいた河野克代嬢, 吉富智子嬢, 高岡博氏らに深甚の謝意を表します。

引用文献

- (1) 博谷 勝, 梅田 裕, 諸岡信一, 田川 清, 芳沢宅実, 水川邦夫: 香川大農学報, 28, 169-179 (1977).
- (2) NAKAJIMA, M.: *Memoirs of the College of Agriculture Kyoto University*, No. 65, 17 (1952).
- (3) LICHTENSTEIN, E. P., SCHULZ, K. R., SKRENTINY, R. F. and TSUKANO, Y.: *Arch. Environ. Health*, 12, 199 (1966).

- (4) MACRAE, I. C., RAGHU, K. and CASTRO, T. F.: *J. Agr. Food Chem.*, **15**, 911 (1967).
- (5) SPECTOR, W. G. and RYAN, G. B.: *Nature*, **221**, 859 (1969).
- (6) SEIHUNATHAN, N., BAUTISIA, E. M. and YOSHIDA, T.: *Canad. J. Microbiol.*, **15**, 1349 (1969).
- (7) TSUKANO, Y. and KOBAYASHI, A.: *Agr. Biol. Chem.*, **36**, 166 (1972).
- (8) SEIHUNATHAN, N. and YOSHIDA, T.: *Plant and Soil*, **38**, 663 (1973).
- (9) ENGST, R., MACHOLZ, R. M. und KUJAWA, M.: *Nahrung*, **18**, 737 (1974).
- (10) LESHNIOWSKY, W. O., DUGAN, P. R., PFISTER, R. M., FREA, J. I. and RANGLES, C. I.: *Science*, **169**, 993 (1970).
- (11) TALEKAR, N. S. and LICHTENSTEIN, E. P.: *J. Agr. Food Chem.*, **19**, 846 (1971).

(1976年9月30日 受理)