
土壤生態系における合成薬剤の挙動とそれが土壤微生物相に及ぼす影響

Pesticides in soil and their effects on soil organisms

- 代表研究者 東京大学農学部助教授 和田 秀 徳
Assoc. Prof., Dept. of Agricultural Chem., Univ. of Tokyo
Hidenori WADA
- 協同研究者 東京大学農学部教授 高 井 康 雄
Prof., Dept. of Agricultural Chem., Univ. of Tokyo Yasuo TAKAI
- 東京大学農学部教授 高 橋 信 孝
Prof., Dept. of Agricultural Chem., Univ. of Tokyo Nobutaka TAKAHASHI
- 北九州大学医学部教授 北 沢 右 三
Prof., Faculty of Med., Kitakyushu Univ. YUZO KITAZAWA
- 筑波大学応用生物化学系教授 吉 田 富 男
Prof., Dept. of Appl. Biochem., Tsukuba Univ. Tomio YOSIDA

Pesticides-treated plots and their neighboring non-treated plots of arable fields were selected as the sites of investigation of the actual effects of pesticides on soil ecosystem. Long term heavy application of insecticides and fungicides decreased the number of millipede, Acari and fungi and increased the number of earth worm and bacteria. It did not, however, alter the number of Encytrasidae, nematoda and Bdellsidae. On the contrary, short term application of BHC reduced only the number of Acari. These results show that the pesticides actually affect the soil ecosystem in the field and that the effect depends on the amount, kind and duration of application of the pesticides.

Six long term experimental plots were set up in the campus of Faculty of Agriculture, The University of Tokyo, and the effects of pesticides on the soil ecosystem were studied in detail. The numbers of Collembola and Acari were decreased and the numbers of Encytrasidae, nematoda and Bdellsidae were increased by application of BHC. A fungicide (TPN) strongly inhibited the growth of spore forming bacteria as well as fungi. The fungicide, however, stimulated drastically the growth of the other kinds of bacteria, especially TPN-tolerant gram negative bacteria. Recalcitrant nature of aldrin was confirmed in this experiment. BHC and TPN were more easily decomposed than aldrin. But if BHC and TPN were applied at the same time, their decomposition was retarded and the detrimental effects of these pesticides on soil organisms became more evident. Application of organic manure weakened the detrimental effects of the pesticides. In addition, decomposition rates of BHC and TPN were found to increase gradually by repeated application of the respective pesticide. The order of decomposition rate of the 4 isomers of BHC coincided with the order of their chemical stability. BHC was concentrated at both large organic debris and silt-size fraction for a few months after its application. With the advance of decomposition of the organic debris the concentrated BHC was disappeared from the large organic debris. Accordingly, the large organic debris can be regarded as the micro-site for accumulation and decomposition of BHC. On the contrary, the concentration of BHC at the silt-size fraction increased a little with time, indicating partial transfer of the BHC from the organic debris to the silt-size fraction when the large organic debris was decomposed.

研究目的

第2次大戦後、殺虫剤、殺菌剤、除草剤など多種類の合成薬剤が大量に使用され、農業生産の向上と確保に重要な役割を果たすようになった。しかしこのような合成薬剤の投与は、土壌、水、大気さらには食品、飲料水までもが農薬で汚染される状況を作り出した。この事態を根本的に解決するためには、自然環境の中で合成薬剤がどのように移動したり、変化したりしているのか、またそれに伴って生物相がどのような影響を受けるのかについて詳細な情報を集積することが不可欠である。

本研究は、人間の生存と深いかわり合いを持っている農耕地を対象として、そこに投与された合成薬剤の行動と、それに伴う全生物相の変動とを相互に関連させながら追跡し、農薬が土壌生態系にもたらす攪乱作用の全貌を明らかにしようとするを目的として実施されたものである。

研究経過と成果

I 野外での実態調査

日本全国各地に散在している農業試験場との密接な連繫の下に、まず圃場における農薬の施用状況を調査した。数度の予備的現地調査の後、長野県下の農家圃場および福島県農業試験場圃場が本研究の対象として採用できると判断された。長野県下の農家圃場において、10年以上にわたり有機塩素系殺虫剤と殺菌剤を多量に連用してきた蔬菜畑は、それに隣接している農薬非散布の桑畑に比べ、大型分解動物のヤスデが全く認められないこと、およびダニ類と糸状菌の数が著しく少ないことが注目されたが、線虫とヒルガタワムシの数には両圃場の間に明確な差が認められず、大型ヒメミミズと細菌の数は蔬菜畑の方が桑畑よりも多い傾向が見いだされた。また、福島県農業試験場において、2年前にBHCを投与した畑地はBHC無投与の隣接畑地に比べて、ダニ類の数が少なくなっていたが、その他の中型動物および土壌微生物の数には大差が無いことが明らかになった。なお、長野県の蔬菜畑には γ -BHC 2 ppm、デルドリン 0.2 ppmが、福島県農業試験場BHC施用圃場には γ -BHC 0.4 ppmが残留して

おり、対照とした圃場にはいずれの地区でも農薬が全く検出されなかった。これらの圃場調査の結果は、農薬を多量に長期間施用するほど土壌生物相が大きく攪乱されること、および農薬が土壌生物の種類ごとに異なる影響を及ぼしていることを示していると考えられた。

II モデル圃場での調査・研究

上述した調査で見いだされた現象を確認し、その機構を解析することを目的として、東京大学農学部構内に、殺虫剤（アルドリンおよびBHC）、殺菌剤（TPN: Tetrachloroisophthalonitrile）および堆肥のそれぞれを単独あるいは混合投与した試験区を設け、農薬の土壌動物相および微生物相への影響、投与農薬の残留量と残留形態を長期間にわたって追跡することを試みた。

(1) 土壌生物相への影響

殺虫剤の投与は小型節足動物トビムシ、ダニ類の数を減少させ、小型湿性動物ヒメミミズ、線虫、ヒルガタワムシの数をある程度増加させた。殺菌剤は小型節足動物および小型湿性動物の両者の数をある程度減少させた。殺虫剤と殺菌剤の混合投与が土壌動物相に与える影響は、それぞれの農薬の単独投与が土壌動物相に与える影響が相乗された形をとって現れた。この混合投与の影響は堆肥の施用によって緩和された。

殺虫剤は土壌微生物の数を大きく変動させなかった。一方、殺菌剤は孢子形成細菌と糸状菌の数を著しく減少させ、その他の細菌、とくに、殺菌剤耐性グラム陰性細菌の数を著しく増加させた。堆肥の投与は殺菌剤投与による糸状菌数の低下を緩和し、全細菌数の増加を促進させた。これらのモデル圃場の調査結果は野外での実態調査の結果に良く対応していると考えられる。

(2) 農薬の分解過程

アルドリンを10 ppm 1度だけ投与した区では、2年後にもアルドリンとして3.6 ppm、デルドリン（アルドリンの酸化物）として7.2 ppmが土壌中に残留しており、アルドリンが畑地で長期間残留することが明瞭に確かめられた。

γ -BHCを毎年10 ppmずつ投与した区では、 γ -BHCの分解消失速度は、初年度には低くかつ

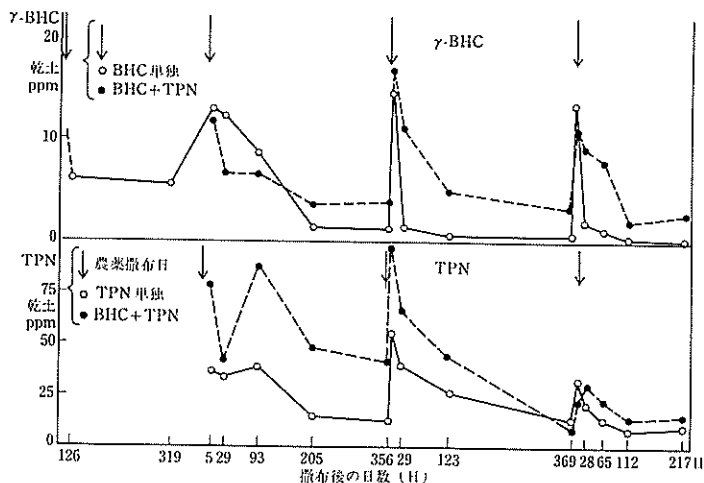


図 1. 試験圃場土壌中における投与農薬の経時的残留量

たが、年ごとに高くなり、3回目以降は極めて高い値を示した。TPN を毎年 40 ppm づつ投与した区でも、TPN の分解消失速度が年ごとに次第に高まったが、その程度は BHC に及ばなかった。さらに BHC と TPN を混合投与すると、どちらの農薬の分解消失速度も著しく低下した。しかしこの場合も、投与を繰り返すと、次第に分解速度が高まった（図 1）。これらの結果は、土壌中での農薬の分解過程を的確に評価するためには、従来の方法（各農薬を単独に一度だけ土壌に投与し、短期間分解過程を追跡する）が極めて不十分であることを示している。なお BHC の 4 種の異性体の分解速度は、それぞれの化合物の化学的安定性にはほぼ対応していた。

(3) 土壌生物活性への影響

土壌生物の活性の総合的指標として土壌呼吸 (CO_2 発生量) を測定したところ、この値は、堆肥投与区 > TPN・BHC・堆肥混合投与区、BHC 投与区 > 対照区 > TPN 投与区 > TPN・BHC 混合投与区の順に低下しており、土壌生物相および農薬分解速度の実験結果に良く対応していた（図 2）。ただし、BHC 単独投与区が対照区よりも土壌呼吸が高い事実だけは土壌微生物相の実験結果と対応していなかった。これは市販の BHC に多量に含まれている希釈剤が土壌呼吸の促進に寄与しているためであって、 γ -BHC そのものは土

壌呼吸を抑制することが明らかになった。また土壌生物活性の別の指標である TTC 還元能も土壌呼吸と類似した結果を与えた。以上に述べてきた研究結果は図 3 のようにとりまとめることができる。

なお、圃場において、投与された農薬が土壌生物相と土壌生物の活性に及ぼす影響の一端が実験

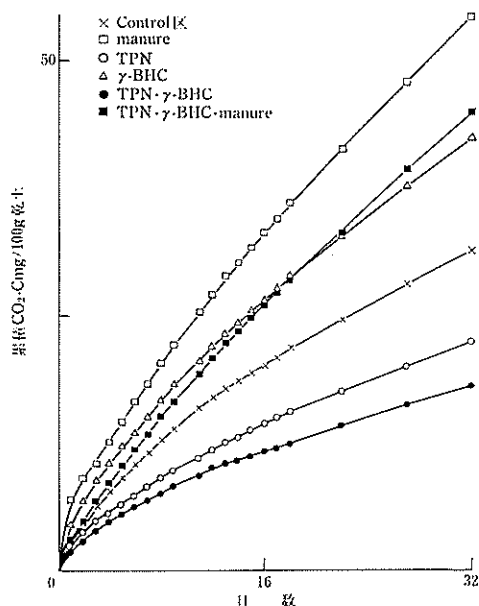
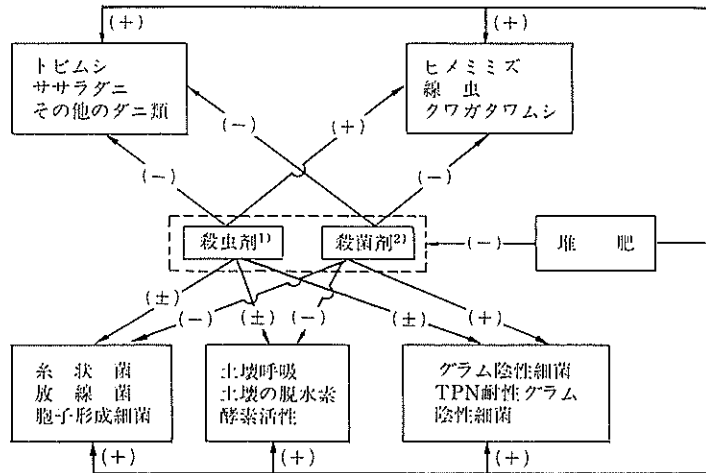


図 2. 試験圃場における土壌呼吸量に及ぼす農薬投与の影響



[注] (+): 促進・増加, (-): 阻害・減少, (±): (+)あるいは(-)・無影響。1) は γ -BHC, 2) は TPN (ダコニール)。

図 3. 殺菌剤・殺虫剤および堆肥と土壤生物群集の相互作用

室内のモデル系によってシミュレートできることが見いだされた。このことは、農薬が土壤生態系を攪乱する状況を実験室内のモデル系を用いて調べる方法の効用と限界を知る基礎的の知見を与えると期待される。

(4) 残留農薬の存在形態

土壤を粒径別に分画し、各粒径画分に含まれている BHC の量を測定した結果、BHC 投与後し

ばらくの間は 2 mm 以上の植物遺体と 0.02~0.002 mm の大きさの画分とに BHC が濃縮され易いこと、時日が経過し、植物遺体が腐朽すると、植物遺体に残留していた BHC の大部分が分解ないしは消失し、その一部が 0.02~0.002 mm と 2 μ 以下の画分に移行することが認められた (図 4, 5)。この結果は土壤中の植物遺体が農薬残留の拠点であるとともに、農薬分解の主要な場

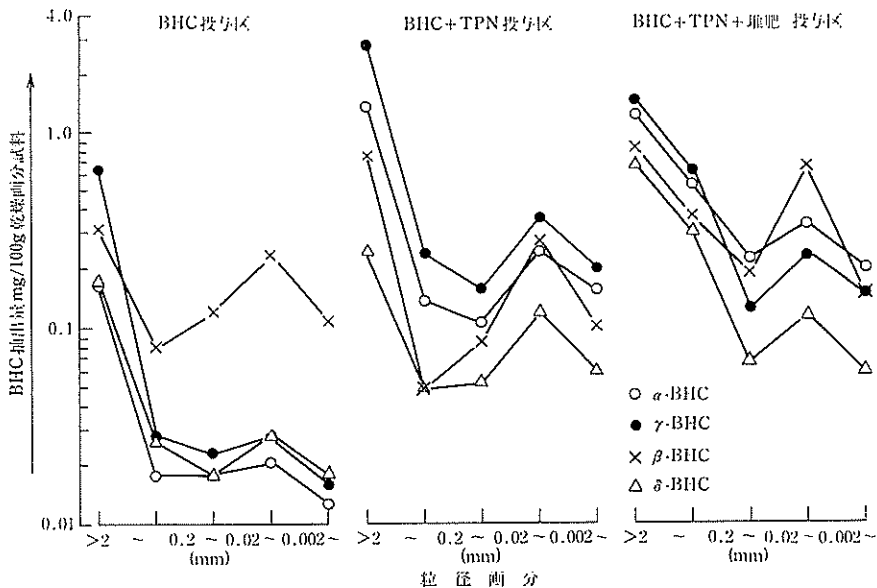


図 4. 各粒径画分の BHC の各異性体の抽出量 —1977. 8. 9. 採取—

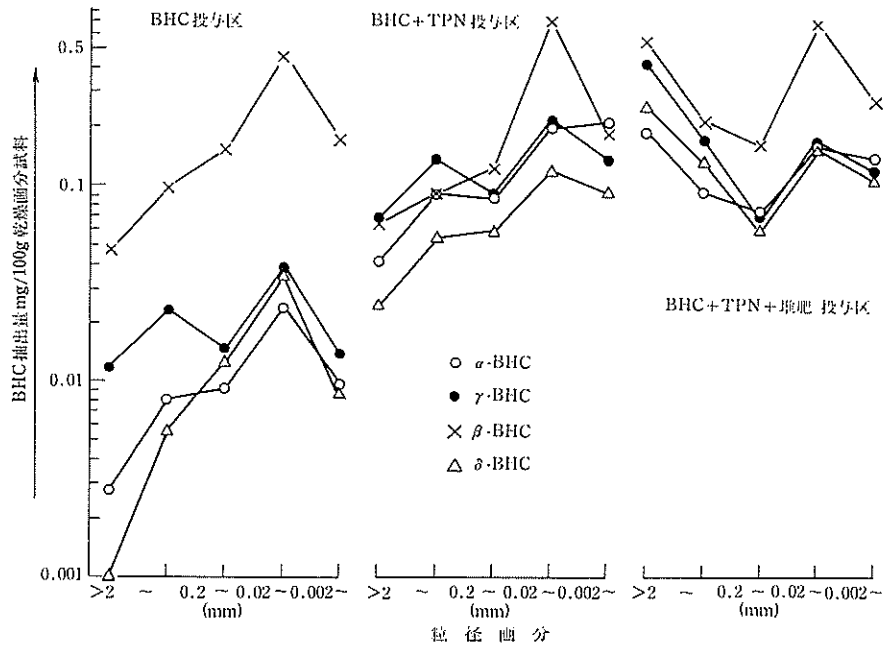


図 5. 各粒径画分の BHC の各異性体の抽出量 —1977. 11. 4. 採取—

であることを示唆している。

土壌から分離した大型土壌動物の数は農薬投与、特に混合投与により減少し、堆肥の投与により増大した。この土壌動物の体中に含まれている農薬は土壌中の農薬残留量（特に 0.02~0.002 mm

画分の農薬残留量）にほぼ比例していた。この事実は土壌動物の生活様式に応じて、その動物の体内に農薬が集積することを意味していると思われる。