

解 説

タイの農薬事情 (2) —バンコク近郊農業地帯における環境中の残留農薬—

赤 松 美 紀 *

京都大学大学院農学研究科

(平成 20 年 2 月 22 日受理)

Keywords: pesticide residue in soils, abamectin, Bangkok, Thailand.

は じ め に

1980 年代後半からタイ国・バンコク周辺地帯は日本などの投資が集中して、急激な土地利用変化を起こしてきた。特にこの周辺地域への都市集中の速さは世界史的に見ても特筆されるべきものがあった¹⁾。昔からバンコクの西側は、果樹・野菜の生産が集中していたところであり、広大な湿地帯の中に掘削された運河を利用して、舟運により市内へと生産野菜が運ばれていた。人口集中に合わせて、農業生産の増大が余儀なくされ、その結果として化学肥料や農薬が多投された²⁾。この地域は上流からの流下水が滞留する地域で、多投された農薬がこの広大な湿地帯に滞留水と一緒に留っており、水質悪化の一因となっている可能性がある。一方、近年の環境保全型農業に対する関心の深さから、物質収支に基づいた環境要素の循環を考慮する研究は、国内外を問わず、さまざまな方面で試行されつつある。しかし、東南アジア地域の環境中の農薬の動態に関しては、問題視されつつあるもののいまだ不明な部分が多い。

本研究は、(独)日本学術振興会の科学研究費によるプロジェクト研究であり、野菜・果樹が高密度に栽培されているこのバンコク近郊農業地帯において懸念される残留農薬による環境劣化に焦点をあて、農薬の循環という立場から農薬の使用実態についての現地調査および頻繁に使用されている農薬の残留分析・分解に関する化学的調査を行った。その結果、いくつかの興味深い知見が得られたので紹介したい。

1. タイに輸入される農薬

タイの農薬事情については、内閣府食品安全委員会事務

局の都築伸幸氏が、2006 年の農薬学会誌解説に詳細に記されているので²⁾、その解説も参照していただきたい。筆者は、2003 年以来、数回日本-タイ共同出資の農薬会社 TJC Chemical Co. Ltd. (TJC) を訪問し、タイにおける農薬状況についての情報を得た。タイ国内ではほとんど農薬原体を製造していないため、農薬原体のほぼ全量を海外からの輸入に頼っている。その結果、輸入農薬原体量がタイ国内における消費量にほぼ比例する。都築氏の解説²⁾によれば、タイの輸入農薬原体額は 1990 年代前半は 30 億パーツ程度で推移していたが、1990 年代半ばから増加の一途をたどり、2004 年にはほぼ 4 倍の 113 億パーツ以上となっている。TJC の Pongsak Zaprong 氏は、2006 年に神戸で開催された 11th IUPAC International Congress of Pesticide Chemistry のランチョンセミナーにおいて、タイにおける農業および農薬事情について講演されている。その資料³⁾に基づいて、2003-2005 年のタイにおける輸入額上位 10 種類の農薬原体名を、輸入額、哺乳類に対する毒性値とともに表 1 に示す。日本では、毒物劇物取締法において、2006 年の改定以来、LD₅₀ (50% 致死薬量): 50 mg/体重 kg 以下のものを毒物、50 mg/kg を越え 300 mg/kg 以下のものを劇物、300 mg/kg を越えるものを普通物と定めている。除草剤 glyphosate, paraquat が 2003-2005 年の間、常に 1, 2 位を占めているのがわかる。殺虫剤では、2003 年に endosulfan が 4 位であった。Endosulfan は一時期あまり使用されていなかったが、近年のタイ水稻栽培地域におけるジャンボタニシ大発生のため、その駆除用に使用されるようになった農薬である。従って、この農薬の使用は水稻栽培地域に限定されていた。しかし、endosulfan は 2004 年 10 月にタイにおいて使用禁止となった。また、最近、中国産の冷凍ギョウザに含まれていて問題となった有機リン剤の methamidophos は、表 1 に現れていないが、2003 年までタイでもよく使用されており、殺虫剤としては、2002 年に輸入額 6 位であった。この農薬

* 〒 606-8502 京都市左京区北白迫分町

E-mail: akamatsu@kais.kyoto-u.ac.jp

© Pesticide Science Society of Japan

表 1. 2003~2005 年のタイにおける輸入額上位 10 種類の農薬とその毒性値

No.	2003			2004			2005		
	農薬名 ^{a)}	原体 輸入額 ^{b)}	毒性: LD ₅₀ ^{c)} (rat, mg/kg)	農薬名 ^{a)}	原体 輸入額 ^{b)}	毒性: LD ₅₀ ^{c)} (rat, mg/kg)	農薬名 ^{a)}	原体 輸入額 ^{b)}	毒性: LD ₅₀ ^{c)} (rat, mg/kg)
1	glyphosate (H)	43.9	5,600	glyphosate (H)	53.5	5,600	glyphosate (H)	42.4	5,600
2	paraquat (H)	33.4	150	paraquat (H)	26.2	150	paraquat (H)	22.6	150
3	ametryn (H)	12.0	1,110	abamectin (I)	10.3	10	2,4-D (H)	11.0	375
4	endosulfan (I)	8.6	80~100	chlorpyrifos (I)	10.0	135~163	propiconazole+ difenoconazole ^{d)} (F)	9.1	1,517 1,453
5	atrazine (H)	7.5	1,869~3,080	2,4-D (H)	9.7	375	abamectin (I)	7.4	10
6	propiconazole+ difenoconazole ^{d)} (F)	7.2	1,517 1,453	ametryn (H)	8.7	1,110	cypermethrin (I)	7.4	303~4,123
7	methomyl (I)	6.8	17~24	cypermethrin (I)	7.7	303~4,123	atrazine (H)	6.9	1,869~3,080
8	fipronil (I)	6.5	100	propiconazole+ difenoconazole ^{d)} (F)	7.5	1,517 1,453	ametryn (H)	6.7	1,110
9	2,4-D (H)	6.2	375	bromacil (H)	6.2	5,200	bromacil (H)	6.5	5,200
10	chlorpyrifos (I)	6.2	135~163	methomyl (I)	5.8	17~24	diuron (H)	6.2	3,400

^{a)} H: 除草剤, I: 殺虫剤, F: 殺菌剤. ^{b)} 単位: million US\$. ^{c)} 毒性: 最新農薬データブック, 上杉康彦, 上路雅子, 腰岡政二編, ソフトサイエンス社, 1997. ^{d)} 混合剤として使用される.

は毒物であり (ラットに対し LD₅₀=13~23 mg/kg)⁴⁾, 2003 年 3 月にタイにおいて使用禁止となった. 日本では未登録なので使用履歴はない. ただし, methamidophos は, 日本でも使用されている殺虫剤 acephate の分解物でもある. (表 1)

このような状況下で, 2004 年には輸入額の多い殺虫剤原体が変化し, abamectin が輸入額 1 位 (全体では 3 位) となった. Abamectin も日本では未登録の農薬で, 哺乳類に対し毒性を示す. (ラットに対し LD₅₀=10 mg/kg)⁵⁾ しかし, abamectin に対する感受性は種間で大きく異なり, 齧歯類の感受性は他の種に比べて高いため, ラットに対する LD₅₀ 値に基づいてヒトに対するリスク評価を行うことは不適切であるとの報告がある⁶⁾. 2005 年においても, abamectin は cypermethrin とともに殺虫剤では輸入額 1 位である. 我々はバンコク近郊地域の農場および農薬販売店における聞き取り調査からも abamectin がよく使用されているとの情報を得て, abamectin の環境動態について検討するとともに, 熱帯地方でしばしば使用される農薬の環境中残留を調査することにした.

2. Abamectin について

Abamectin は土壌細菌 *Streptomyces avermitilis* の生産する環状ラクトンで, 8 種類の異性体 avermectin A_{1a}, A_{1b}, A_{2a}, A_{2b} および B_{1a}, B_{1b}, B_{2a}, B_{2b} の混合物である⁵⁾. 主成分は

2 種類の異性体 B_{1a} (80% 以上) と B_{1b} (20% 以下) である⁷⁾. それらの構造を図 1 に示す. 抑制性神経伝達物質である γ -aminobutyric acid (GABA) の放出を刺激する作用があり, タイ以外でも米国, 欧州などさまざまな国で殺虫剤, 殺ダニ剤として登録されている. さまざまな昆虫やダニに対して効果を示し, 近年, タイでは, endosulfan の代替農薬として, ジャンボタニシ駆除にも使用されつつある⁸⁾. 環境中での分解は速く, 土表面では光分解が起こり, その半減期は 8 時間~1 日, 暗所, 好氣的条件下で土中半減期 2 週間~2 ヶ月, 水中で 12 時間と報告されている⁷⁾. 作物中の残留基準値は, CODEX 基準で, 例えば 0.05 ppm (レタス),

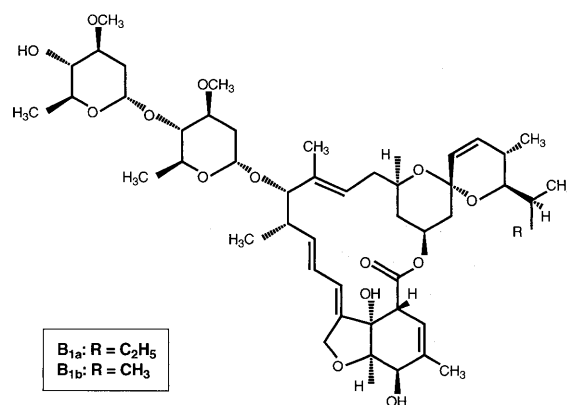


図 1. Avermectin B_{1a} および B_{1b} の構造

表 2. 分析した農薬 (一般名)

(殺虫剤)	Dieldrin
BHC (α , β , γ , δ の総和)	Parathion
DDT (DDD, DDE を含む)	Parathion-methyl
Acephate	Fenitrothion
Aldrin	Fenvalerate
Endosulfan	Fenpropathrin
Quinalphos	Permethrin
Chlorpyrifos	Malathion
Chlorpyrifos-methyl	Methamidophos
Dichlorvos	Monocrotophos
Dicofol	(殺菌剤)
Cyhalothrin	Azoxystrobin
Cyfluthrin	Chlorothalonil
Cypermethrin	Captan (tetraphthalimide)
Dimethoate	

0.01 ppm (ジャガイモなど) である⁹⁾。日本では、登録がないため、ほとんどの野菜に対して、一律基準値 0.01 ppm となっている¹⁰⁾。また、JMPR (FAO/WHO 合同残留農薬専門家会議) で設定された 1 日許容摂取量 ADI (mg/体重 kg/日, ヒトが一生、毎日摂取しても問題がないとされる農薬量) は、0.002 となっている¹¹⁾。

3. 土壌試料の採取・分析

TJC において、バンコクの西側地域で農薬を多用する野菜および果物類の栽培が多いという情報を得たため、バンコク西側の農業地帯を調査地域とした。まず、2003 年に、その地域を流れるタッチン川およびメクロン川流域で水の滞留していそうな場所において水を採取し、水中の残留農薬を検出することを試みた。しかし、当時、タイ国内で残留農薬分析を行っている研究所についての情報を持っていなかったため、水を日本に持ち帰り、農薬分析を行うことにした。タイにおける使用農薬実態調査結果および輸入野菜においてしばしば検出される農薬に関する情報に基づき、水中における 27 種類の農薬 (表 2) の一斉分析を、(財) 雑賀技術研究所に依頼したが、いずれのサンプルでも残留農薬が検出限界以上のレベルでは検出されなかった。近年の農薬は水中ですみやかに分解するため、水中の農薬残留をモニターするのは困難であると考えられた。そこで、それ以降は土壌中の農薬調査を行うこととした。2003 年および 2005 年にタッチン川流域近くの土壌およびナコンパトム県のアスパラガス畑などの土壌を採取し、農林水産省の許可を得て日本に持ち帰り、水の場合と同様、(財) 雑賀技術研究所に土壌中の 27 種類の農薬分析を依頼した。また、

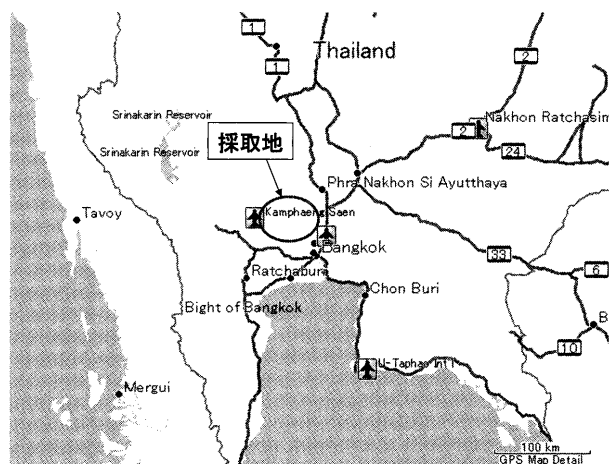


図 2. タイの地図 (一部). 丸印が土壌の採取地. MapSource (Garmin 社, Version 6.11.5) の地図を改変.

2007 年 9 月および 2008 年 1 月にバンコク近郊農業地帯 (バンコク-カンペンセンの間の地域) において、再度、土壌の採取を行った。2007 年には主に日本向けの輸出アスパラガスを栽培している畑、2008 年には国内向けのケール、キャベツ、ダイコン、サツマイモなどの野菜畑から土壌を採取し、残留農薬分析を行った。採取地を図 2 の地図に示す。

4. 試料中の残留農薬分析結果

2003 年および 2005 年の土壌サンプル中に検出された農薬は (Trace を除く)、殺虫剤の cypermethrin, chlorpyrifos, fenvalerate, endosulfan, dicofol, 殺菌剤の chlorothalonil, azoxystrobin, (いずれも 0.01~0.5 ppm) であった。Cypermethrin, fenvalerate はピレスロイド, chlorpyrifos は有機リン剤である。ただし、この時には、分析手法が異なるため、abamectin の分析は行っていなかった。

興味深いことに、2005 年に endosulfan を使用していないアスパラガス畑で、畑土壌中に endosulfan が検出された。先にも述べたように、endosulfan は 2004 年に禁止されるまで、水稻栽培地域のジャンボタニシ駆除に多用されていた。Endosulfan が残留していた水田の水が灌漑水中に混入し、アスパラガス畑に散布されたのではないかと考えられたので、灌漑水の元であるカナルの水および溜池水中の endosulfan 濃度を測定してみた。カナル水には残留農薬は検出されなかったが、溜池水から検出限界値 0.02 ppm 以下のごく微量の endosulfan が認められたことから、上記の推測を裏付ける結果となった。

2006 年にタイ国内の食品と農産物に対する研究センター、Laboratory Center for Food and Agricultural Products Co., Ltd. (LCFA) に関する情報を得ることができたので、2007 年および 2008 年に採取した土壌中の農薬分析は、採取直後に

表 3. 検出された農薬の物性および毒性値

農薬名	log P (oct/water) ^{a)}	半減期 (days) ^{b)}	毒性: LD ₅₀ (rat, mg/kg) ^{c)}	魚毒性: LC ₅₀ (ppm/96hr) ^{c)}	ADI (mg/体重 kg/日)
Cypermethrin	6.05	60	303~4123	0.00069 (ニジマス)	0.05
Fenvalerate	6.65	75~80	451	0.0036 (ニジマス)	0.018
Chlorpyrifos	4.82	33~56	135~163	0.003 (ニジマス)	0.01
Endosulfan	3.83	30~70	80~100	0.002 (golden orft)	0.006
Dicofol	4.28	60~100	578~595	0.36 (ナマズ)	0.025
Chlorothalonil	2.90	0.3~28	>10,000	0.25 (ニジマス)	0.018
Azoxystrobin	3.08 (calc) ^{d)}	14	>5,000	—	0.18
Prothiofos	4.92	30~60	1,730~1,800	0.5~1.0 (ニジマス, 48h)	0.0015
Imidacloprid	0.59	0.25	450	211 (ニジマス, 24h)	0.057

^{a)} Measured log P (octanol/water) based on MacLogP 4.0, ByoBite. ^{b)} 土壌中半減期 (The Pesticide Manual, thirteenth edition, BCPC, UK, 2003). ^{c)} 毒性, 魚毒性: 最新農薬データブック, 上杉康彦, 上路雅子, 腰岡政二編, ソフトサイエンス社, 1997. ^{d)} Calculated log P (octanol/water)

LCFA において行った。以前の雑賀研究所における一斉分析の結果を参考にし、さらに現地における使用農薬実態調査結果に基づき、分析した農薬は、abamectin の他に、imidacloprid、有機リン剤、ピレスロイド類である。2007 年に採取したアスパラガス畑、タロイモ畑、カボチャ畑では、農薬散布直前のアスパラガス畑において 0.03 ppm の permethrin が、別の収穫前のアスパラガス畑において 0.01 ppm の imidacloprid が検出された以外は、いずれの農薬も検出されなかった。また、2008 年に採取した国内向け野菜を栽培している畑のうち、サツマイモ畑から、0.2 ppm 程度の abamectin、20~40 ppm の cypermethrin および chlorpyrifos が検出された。ただし、この畑では、聞き取り調査により、4 日前に abamectin と cypermethrin、chlorpyrifos の混合農薬を散布したということが判明している。それ以外に、ケールを栽培している畑から、0.01~0.02 ppm の prothiofos、cypermethrin、imidacloprid が検出された。他地域より高濃度で、10 日前に abamectin を散布したキャベツ畑の土には abamectin および他の農薬は検出されなかった。

5. Abamectin のタイの土壌中での分解

土壌を採取した場所は異なるものの、農薬散布 4 日後では土壌中に abamectin を含む農薬が検出され、10 日後には検出されなかったことから、現地条件において、abamectin の分解速度がどの程度であるかを確認するために、容器内試験により、abamectin の分解実験を行った。実験は、「農薬の登録申請に係る試験成績について」(平成 12 年 11 月 24 日付け 12 農産第 8147 号農林水産省農産園芸局長通知) の、土壌への残留性に関する試験-容器内試験方法に基づき、タイで採取された土壌の内、土性の異なる 2 種類の土壌、すなわち砂含量の多い土壌と粘土含量の多い土壌を用

いて 25°C および 35°C で実施した。その結果、いずれの土壌においても、25°C における abamectin の半減期は 5 日程度、35°C における半減期は 3~4 日で、高温の方がやや分解は速かった。また、abamectin は、約 10 日ではほぼ 10% 以下に分解された。

6. Abamectin 以外の農薬について

Abamectin 以外で、土壌試料から検出された cypermethrin、fenvalerate、chlorpyrifos、endosulfan、dicofol、chlorothalonil、azoxystrobin、prothiofos、imidacloprid の物性および毒性を表 3 に示す。Imidacloprid 以外は疎水性がかなり高い。特に、cypermethrin、fenvalerate などのピレスロイド類の疎水性は非常に高く、土壌に吸着されやすい性質を持っている。また、土壌の種類、環境条件にもよるが、imidacloprid がもっとも分解されやすく、fenvalerate、dicofol は分解されにくい。また、ピレスロイド類、chlorpyrifos、endosulfan は魚毒性が比較的高い。Chlorpyrifos、imidacloprid には、日本で公共用水域などにおける水質評価指針値が存在し、それぞれ 0.03 mg/l 以下、0.2 mg/l 以下である¹²⁾。

日本での作物に対する残留基準値は、例えば cypermethrin で 0.05 ppm (ソラマメ、イモ類)、0.2 ppm (コムギ)¹³⁾、fenvalerate で 0.05 ppm (イモ類)、0.5 ppm (エンドウ、ソラマメ)、2.0 ppm (コムギ)¹⁴⁾、chlorpyrifos で、0.01 ppm (ホウレンソウなど)、0.1 ppm (コメ)¹⁵⁾、endosulfan で、0.5 ppm (マメ、イモ類)、0.2 ppm (コムギ)である¹⁶⁾。各農薬の日本における ADI (mg/体重 kg/日) は表 3 に示したとおりである¹⁷⁾。

おわりに

広範囲にわたって土壌試料を採取し、残留農薬分析を行

うことはできなかったが、バンコク近郊の野菜栽培地域における環境中の残留農薬について、ある程度の情報を得ることができた。日本で2007年にポジティブリスト制度が施行されて以来、日本への輸出向け野菜に対する農薬使用は各国とも非常に規制が厳しくなっている。ナコンパトム県においてアスパラガスを栽培している農家は日本の食品会社との契約農家であり、農薬使用が適切に管理されているからであろうが、2007年に採取したアスパラガス畑などの土壤中に、ほとんど残留農薬が検出されなかった。また、2008年採取の国内向けの野菜畑では、農薬散布後4日の土壤中に abamectin, cypermethrin および chlorpyrifos が見出された。一箇所の畑土をサンプリングしたため、必ずしもこの残留濃度が畑全体の濃度であるとは言い切れない。しかも、別の畑ではあるが、散布10日後の土壌では残留農薬が検出されなかったことから、現時点で大きな問題ではないと思われるが、今後の経過観察が必要である。

統計値がないので実態を正確に把握することはできないが、タイでは、中国およびインドからかなりの量の安価なジェネリック農薬が輸入されている。ジェネリック農薬の質は徐々に改善されてきているというものの、タイではジェネリック農薬の登録に対して毒性を報告する必要がないため、中には低品質で不純物を多く含むジェネリック農薬も存在する。Abamectin においても不純物を含むジェネリック品の存在が報告された⁸⁾。今回の我々の研究で abamectin そのものは高毒性であっても土壌中での分解が速いため、環境中に残留せず、適切に使用されていれば問題はないとの結論を得たが、ジェネリック品に含まれる不純物の安全性についての研究が望まれる。

参 考 文 献

1) <http://www.env.go.jp/earth/coop/oemjc/thai/e/thaie1.pdf>

- 2) 都築伸幸：農薬誌 **31**, 359–365 (2006).
- 3) Pongsak Zaprong: *Presentation file at the Luncheon Seminar, 11th IUPAC International Congress of Pesticide Chemistry, Kobe, Japan, 2006.*
- 4) <http://www.fsc.go.jp/emerg/4.pdf>
- 5) 最新農薬データブック, 上杉康彦, 上路雅子, 腰岡政二編, ソフトサイエンス社, pp. 1, 1997.
- 6) http://www.syngenta.com.au/Content/Product/Documents/MSDSs/VERTIMEC%20MITICIDE%20_%20INSECTICIDE%20MSDS.pdf
- 7) <http://pmep.cce.cornell.edu/profiles/extoxnet/24d-captan/abamectin-ext.html#1>
- 8) V. Pitiyont, S. Supasilp and B. Pitiyont: *Abstr. 11th IUPAC International Congress of Pesticide Chemistry, Kobe, Japan*, p. 186, 2006.
- 9) http://www.codexalimentarius.net/mrls/pestdes/jsp/pest_q-e.jsp?language=EN&version=ext&hasbulk=0
- 10) http://m5.ws001.squarestart.ne.jp/zaidan/agrdtl.php?a_inq=3900
- 11) C.D.S. Tomlin (ed): “The Pesticide Manual”, BCPC Publications, Hampshire, 2003.
- 12) http://www.env.go.jp/water/dojo/noyaku/law_data/f406kansuido0086.pdf
- 13) http://m5.ws001.squarestart.ne.jp/zaidan/agrdtl.php?a_inq=31700
- 14) http://m5.ws001.squarestart.ne.jp/zaidan/agrdtl.php?a_inq=59000
- 15) http://m5.ws001.squarestart.ne.jp/zaidan/agrdtl.php?a_inq=21800
- 16) http://m5.ws001.squarestart.ne.jp/zaidan/agrdtl.php?a_inq=12400
- 17) http://www.nihs.go.jp/hse/food-info/pest_res/index.html

略 歴

赤松美紀

最終学歴：京都大学大学院農学研究科農芸化学専攻 中退

研究テーマ：医農薬の構造活性相関、近年は特に薬物動態（吸収、代謝、排泄）に関する構造活性相関研究に興味を持っている。