

複数農薬の累積的生態リスク評価ツール「NIAES-CERAP」の開発

Development of the tool for assessing cumulative ecological risk of multiple pesticides: NIAES-CERAP

○永井孝志*

Takashi NAGAI

Abstract. I previously developed the method for quantitatively assessing ecological risk of pesticides using species sensitivity distribution. However, this method can only assess ecological risk of individual pesticide. In the natural aquatic environments, tens of pesticides are detected simultaneously, and therefore cumulative ecological risk is essential considering mixture toxicity of multiple pesticides. In the present study, I newly developed the tool for assessing mixture effect of multiple pesticides: NIAES-CERAP (Institute for Agro-Environmental Sciences, NARO-Cumulative Ecological Risk Assessment of Pesticides). This tool is based on Microsoft-Excel and can show cumulative risk by only entering the environmental concentrations of pesticides.

Key Words: Mixture toxicity, species sensitivity distribution, monitoring

1. はじめに

現在わが国では、農薬取締法に基づく「水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準」（以降、水産登録保留基準）の制度により、農薬の水産動植物に対するリスク評価に基づいた個別農薬の基準値の設定が順次進められている。一方で、実際の水環境では多種類の農薬が低濃度で存在している。例えば、茨城県桜川の農薬モニタリング調査によると、田植え後の水稲用農薬の使用ピーク時に最大で 30 種類以上の農薬の有効成分が同時に検出されている (Iwafune et al. 2010)。一つ一つの農薬が安全と評価されていても、このような複数農薬のミクスチャー環境下ではどうなるか、という懸念はぬぐえていない。そこで本研究では、既存の複合影響モデルを活用し、農薬の複合影響を考慮した生態リスク評価を簡便に行うことができるツールを開発した。

2. 化学物質の複合影響の評価方法

複合影響を予測するモデルとして主なものに Concentration Addition モデル (CA モデル) と、Independent Action モデル (IA モデル) がある (de Zwart and Posthuma 2005)。CA モデルは毒性で重み付けした濃度をそれぞれ加算していく方法であり、ダイオキシン類の TEQ や水道水の水質管理目標設定項目で採用されている総農薬方式を計算する方法と同様の概念である。このモデルは作用機作が同様の物質間で用いられる。IA モデルは、毒性の発現が完全に独立に起こるという仮定の下で、影響を受けなかった割合を乗算していく方法であり (相乗効果とは異なる)、作用機作が異なる物質間で用いられる。両者ともに、それぞれの物質の濃度反応関係から累積影響率を計算することが可能である。これらのモデルについては、これまでに多くの実験的な検証が行われている (Belden et al. 2007)。

CA, IA モデルは元々単独種に対する毒性の予測手法であるが、生態リスク評価は単独種への毒

* 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境変動研究センター
(Institute for Agro-Environmental Sciences, NARO)

性をベースに行うものではなく、あくまで生態系・生物群集をターゲットとするものである。そこで有用な概念が種の感受性分布 (Species Sensitivity Distribution, SSD) である (Posthuma et al. 2005)。経験則により、多数の生物種の感受性は対数正規分布に適合することが知られており、累積確率分布として表現できる。つまり、一定以上の種数 (例えば OECD のガイダンスでは 5 種以上) の毒性データが揃っていれば、環境中濃度と影響を受ける種の割合の関係を推定して表現できることになる。これが種の感受性分布の基本的な考え方である。すなわち、種レベルの影響から生物群集レベルの影響を予測 (外挿) するモデルと捉えることもできる。SSD 法は生態系への影響を濃度との関数として表すことができるので、定量的なリスク評価方法として活用できる。農薬の濃度がわかると影響を受ける種の割合が計算でき、この指標は生物多様性 (種の多様性) にどれだけ影響があるか、という定量的な「生物多様性影響度指標」として位置づけることができる。

CA、IA の複合影響モデルは、SSD にも同様に適用することができる。それぞれの物質の SSD を濃度反応関係曲線と見なし、CA モデルや IA モデルを適用することで、複数物質によって影響を受ける種の割合 (multi substance potentially affected fraction, msPAF) を計算することができる。これを複数物質による累積リスクとみなす。複合影響予測モデルを SSD に適用することの妥当性については、5 種の藻類を用いて 5 種類の除草剤を混合させた毒性試験を行い、モデルの予測結果と比較することで実験的に検証されている (Nagai 2017)。

3. 複数農薬の累積的生態リスク評価ツール NIAES-CERAP

これまでに、種の感受性分布の概念を用いて農薬の生態リスクを定量的に評価する手法を開発し、簡便な評価ツールを公開してきた (農業環境技術研究所 2016)。しかしこれは個別農薬のリスク評価にしか対応していなかった。そこで、既存の複合影響予測モデルを組み合わせて、多数の農薬の複合影響を計算できるように新たなリスク評価ツールを開発したものが「複数農薬の累積的生態リスク評価ツール: NIAES-CERAP (Institute for Agro-Environmental Sciences, NARO — Cumulative Ecological Risk Assessment of

Pesticides)」である

(https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/pub2016_or_later/laboratory/niaes/manual/079666.html からダウンロード可能)。本ツールは Microsoft Excel をベースとしており (図 1)、手持ちの環境中濃度を G 列のセルにそれぞれ入力すると、累積リスク指標の msPAF が B2 のセルに表示され、その判定が表示される。主な水稲用農薬 68 種の SSD のパラメータ (Nagai 2016) がすでに入力されているため、必要な情報は濃度のみである。今後、解析可能な農薬数は増やす予定である。濃度のデータが無い、もしくは評価対象としない農薬の濃度は空欄のままにすると、その農薬の寄与は無視される。殺虫剤・殺菌剤・除草剤は別々の計算シートとなっている。これは、感受性の違いから SSD の対象となる生物種がそれぞれ異なるためである。すなわち、殺虫剤は節足動物、殺菌剤は全水生生物、除草剤は一次生産者に対して影響を受ける割合を計算している。

4. NIAES-CERAP の活用

SSD と複合影響モデルの統合により、複数の農薬使用からなる防除体系毎の定量的なリスクの比較が可能となる。これにより、「農薬の使用量を減らす」、「より低毒性の農薬に切り替える」、「農薬の流出防止対策をとる」などの管理対策を行った場合のリスク低減効果を事前に定量的に評価して、効率的な管理対策を選択できるようになる。また、河川水などの環境中農薬濃度のモニタリングは各地で行われているが、個別の農薬濃度の基準値との比較のみでなく、農薬全体としてのリスクの大きさを定量的に把握できるようになる。ただし上記の手法は、過去と現在、地点同士、防除体系間のリスク比較など、相対的な比較には有用であるものの、例えば「msPAF が 10%であった」という計算がなされた場合に実際の野外での生態系に何が起こるのか? といった生態学的な意味付けについては現時点では不十分である。ここで計算した累積リスクの妥当性の検証のため、野外生物調査を行い計算結果と比較を行っていくことが今後の重要な課題となる。

参考文献

Belden JB, Gilliom RJ, Lydy MJ (2007) How well can we predict the toxicity of pesticide mixtures to aquatic life? *Integr Environ Assess Manag* 3,

de Zwart, Posthuma L (2005) Complex mixture toxicity for single species and multiple species: proposed methodologies. Environ Toxicol Chem, 24, 2665-2676

Iwafune T, Inao K, Horio T, Iwasaki N, Yokoyama A, Nagai T (2010) Behaviour of paddy pesticides and major metabolites in the Sakura River, Ibaraki, Japan. J Pestic Sci, 35, 114-123

国立研究開発法人農業環境技術研究所 化学物質環境動態影響評価リサーチプロジェクト (2016) 【技術マニュアル】農薬の生態リスク評価のための種の感受性分布解析 Ver. 1.0

Nagai T (2016) Ecological effect assessment of 68 pesticides used in Japanese paddy field using species sensitivity distribution. J Pestic Sci, 41, 63-14

Nagai T (2017) Predicting herbicide mixture effects on multiple algal species using mixture toxicity models. Environ Toxicol Chem, 36, 2624-2630

Posthuma L, Suter GW, Traas TP (2002) Species Sensitivity Distributions in Ecotoxicology (Environmental and Ecological Risk Assessment), Lewis Publishers, CRC Press.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		影響を受ける種の割合 (%)	判定	計算結果が出力			環境中濃度を入力			
2	除草剤	10.1	リスク中							
3										
4	分類	農薬名	作用機作	対数平均	対数標準偏差	対数標準偏差の作用機作平均	濃度 (µg/L)	TU	SumTU	PAF_MoA
5	除草剤	ベンスルフロンメチル	B	5.27	3.84	3.430	0.034	0.000	0.001	0.024
6		イマゾスルフロン	B	6.70	3.16		0.181	0.000		
7		ピラゾスルフロンエチル	B	4.44	3.48		0.040	0.000		
8		シクロスルフアムロン	B	5.91	4.36		0.010	0.000		
9		プロピリスルフロン	B	7.29	2.79		0.056	0.000		
10		ピリミスルファン	B	6.07	2.95		0.075	0.000		
11		ピリミノバックメチル	B	10.96	0.25		0.052	0.000		
12		シメトリン	C1	3.53	0.85	0.797	0.312	0.009	0.010	0.000
13		ベンタゾリン	C3	9.66	0.75		13.091	0.001		
14		キノクラミン	D	3.79	0.76	0.762	0.513	0.012	0.012	0.000
15		オキサジアゾン	E	4.20	2.85	3.135	0.245	0.004	0.006	0.053
16		ベントキサゾン	E	2.69	3.28		0.021	0.001		
17		オキサジアルギル	E	3.29	3.24		0.005	0.000		
18		ピラクロニル	E	4.88	3.32		0.081	0.001		
19		カルフェントラゾンエチル	E	4.52	2.98		0.037	0.000		
20		ピラフルート	F2	4.78	2.68	1.847	0.000	0.000	0.000	0.000
21		ベンゾフェナップ	F2	5.15	1.45		0.008	0.000		
22		テフリルトリオン	F2	10.40	1.45		0.182	0.000		
23		ピラゾキシフェン	F2	7.30	1.81		0.160	0.000		
24		プレチラクロール	K3	6.35	3.30	2.992	1.121	0.002	0.003	0.027
25		メフェナセット	K3	7.47	1.95		1.211	0.001		
26		カフェンストロール	K3	6.68	2.88		0.043	0.000		
27		ブタクロール	K3	6.25	3.17		0.160	0.000		
28		フェントラザミド	K3	7.25	3.27		0.046	0.000		
29		インダノファン	K3	6.23	3.37		0.059	0.000		
30		ベンチオカーブ	N	6.64	2.25	1.478	0.580	0.001	0.001	0.000
31		エスプロカルブ	N	7.49	1.34		0.226	0.000		
32		モリネート	N	8.42	1.31		1.101	0.000		
33		ベンフレセート	N	10.28	1.01		0.395	0.000		
34		クロメプロップ	O	5.42	1.31	1.310	0.001	0.000	0.000	0.000
35		プロモブチド	Z	9.72	0.72	0.717	2.704	0.000	0.000	0.000
36		タイムロン	Z	8.45	0.94	0.940	0.874	0.000	0.000	0.000
37		クミルロン	Z	8.72	1.16	1.157	1.614	0.000	0.000	0.000

図 1. NIAES-CERAP を用いた除草剤 33 剤の累積リスクの計算例