

植調

第56巻
第6号

JAPR Journal

夏播きニンジンの露地有機栽培における太陽熱処理法の雑草抑制効果 松村 和洋

マルチオミクス解析による農業生態系のデジタル化 市橋 泰範・二瓶 直登

古くて新しい雑穀キノアの可能性 磯部 勝孝

農薬の安全性と科学の不定性(その2) 内田 又左衛門



公益財団法人日本植物調節剤研究協会

JAPAN ASSOCIATION FOR ADVANCEMENT OF PHYTO-REGULATORS (JAPR)

しつこい畑地雑草を きれいに抑えます!



作用性の異なる3種の除草剤の混合剤です。

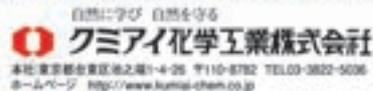
大豆、小麦・大麦、とうもろこし、ばれいしょ、にんじんの雑草防除に

クリアターン®

乳剤 細粒剤F



●使用前にはラベルをよく読んでください。 ●ラベルの記載以外には使用しないでください。 ●本剤は小児の手の届く所には置かないでください。 ●防除日時を記録しましょう。



©クミアイ化学工業(株)の登録商標

カウントダウン®

一発、カウントダウン。

雑草の無い水田へ

© カウントダウンはバイエルグループの登録商標
 © クミアイ化学工業(株)の登録商標

新登場



- 1 3成分で高い除草効果
- 2 ノビエへの優れた除草効果
- 3 難防除多年生雑草への高い除草効果
- 4 多年生イネ科雑草に対する高い除草効果
- 5 SU抵抗性雑草に対する高い除草効果
- 6 田植同時散布可能(1キロ粒剤・フロアブル)

- 7 無人航空機での処理可能(1キロ粒剤・フロアブル)
- 8 水口施用可能(移植水稲・フロアブル)
- 9 拡散性に優れたジャンボ剤
- 10 直播水稲への適用性
- 11 新規需要米(WCS、飼料米等)に対する高い安全性

●使用前にはラベルをよく読んで下さい。 ●ラベルの記載以外には使用しないで下さい。 ●本剤は小児の手の届く所には置かないで下さい。

バイエル クロップサイエンス株式会社

東京都千代田区丸の内1-6-5 〒100-8262 <https://cropscience.bayer.jp/>

お客様相談室 ☎0120-575-078 9:00~12:00, 13:00~17:00
土・日・祝日を除く



「雑草イネ」対策道半ばにて思うこと

公益財団法人日本植物調節剤研究協会 理事
 関東支部長
 酒井 長雄

私は令和4年3月、長野県職員を定年で退き、4月より（公財）日本植物調節剤研究協会（以下、植調）関東支部にお世話になっている。長野県では平成10年代初めから「雑草イネ」問題を抱え、植調はじめ関係機関の支援を賜りながら全国に先駆けて対策活動を展開してきたが、その機微、転機を振り返りたい。

平成年代の始め長野県では無人ヘリ直播など低コスト稲作を事業化した。事業開始時には皆無であった湛水直播は平成20年には460haまで拡大した。平成13年と記憶するが、農業試験場で直播栽培研究の担当をしていた私は、とある現地試験の調査をしていたとき、2、3株の籾の色が濃く、触ると容易に脱粒するイネに気が付いた。‘トウコン’（脱粒性赤米の当県独自呼称、その後「雑草イネ」に統一）であった。翌年、その圃場では雑草イネの群落が遠目からでもわかるほどとなり、3年後には経営ほ場全体に拡散した。‘トウコン’は昭和40年代まで乾田直播が盛んな県の北部に存在したが、田植え機の普及とともに消滅したと認識されていた。再発の起源は詳らかでないが、ともに直播ということが関係したのかもしれない。ほどなくして県全体に雑草イネがまん延し、直播栽培の推進が困難となった。

雑草イネの再発当時、歴史や起源以外、防除対策に関して国内外の情報がほとんどなかった。長野県農試では除草剤の利用法や転作での防除など、いくつかの対策技術を試行または模索中であったが、県単研究での拡充は厳しかった。そのため、いずれ全国的に同じ問題を抱えることになることも考え、初発県の責務として、長野県から情報開示と研究協力の要請を試みた。平成19年夏、植調関東支部現地検討会（長野県会場）のシンポジウムに「雑草イネ」を取り上げていただき、当時、専門技術員の職にあった私は支部会員皆様に対しSOSを発信した。

当時、県内の関係者の間では「雑草イネ」の存在を開示することに逡巡があった。このままでは事態の收拾が望めない、技術的に国レベルの専門的な支援が必要であること。積極的に対策を講じている姿勢を示すことが有用という考え方を、発生地域の生産者団体等に納得してもらったことが、対策を進めるうえでの転機となった。

この開示と並行して、平成19年冬には長野県雑草イネ対

策チームを結成、以降、県チーム（農研機構中央農研（当時名称）、植調、信州大学、県内関係機関を網羅）と地域チーム（普及組織、JA、農業者）で組織的な雑草イネ対策に取り組むことになった。

私は、専門技術員から農業試験場勤務に戻り、雑草イネ対策チーム（県チーム）を母体にした研究コンソーシアムの設立を画策した。この頃、雑草イネは、長野県だけの問題ではなく、他の地域での発生が次第に明らかになっていた。研究連携協定も結び、外部資金研究に応募を続けたところ、中核機関を農研機構として平成28～30年には農食研究推進事業（中途から後継事業）、令和元～5年には戦略的プロジェクト研究推進事業に採択され、現在、研究の中核は農研機構植物防疫研究部門に置かれ、植調、大学、他県などの参画も得ながら新たな防除技術開発研究に取り組まれている。

とりわけ、植調では雑草イネに有効な除草剤について平成21年から長野県との予備試験を経て、平成23年に適II-A4試験に採用、成果について植調ホームページ「技術情報」で紹介している。ほかの機関場所でも試験が実施されるようになった現在、39の有効剤が掲載されている。この試験を長野農試で（私1名が）担当していた平成20年代中盤は、年間2、3剤のペースでの公表であったが、現在では大きな情報発信力となっており、関東支部では有効剤が技術確認圃で実証され生産現場に普及している。

このように雑草イネ対策は何とか道筋がついたものの、課題解決には時間がかかっているのも事実である。生産現場と情報共有が進むと新たな発生地域の検出も往々にある。現在、長野県対策チームでは、効率的な発生圃場の把握方法や生産者が取り組みやすい対策技術の普及啓発に心血を注いでいる。農研機構中枢の研究コンソーシアムからは画期的な対策技術も開発され、近いうちに新たな対策マニュアルも示されよう。雑草イネを駆逐し、直播に安心して取り組めるよう、技術開発と普及活動のさらなる連携に期待したい。

終わりにあたり、私が経験した雑草イネ対策は‘窮すれば通ず’を地で行く場当たりのものであったが、結果的には、目的を一にしたチーム連携、共同研究の初歩だったと思うのである。

夏播きニンジンの露地有機栽培における太陽熱処理法の雑草抑制効果

鳥取県農業試験場
水田高度利用研究室
松村 和洋

はじめに

作物栽培では、雑草対策が重要な課題である。雑草は水や、栄養素を作物と競合する上、作物と比較して生育が速く、太陽光を遮り作物の生育を妨げる。時には収穫作業の妨げとなり、病害虫の住処となる等の問題点がある。そのため除草作業は必須だが、除草剤が使えない有機農業において除草作業は重労働となっている。

この雑草に対する対策として化学的、耕種的、生物的、物理的な手法がある。その手法のなかで加熱による方法として、熱水消毒法や蒸気消毒法、太陽熱処理法（あるいは太陽熱土壌消毒法）が挙げられる。この方法は、各種化学薬剤と違って生産者や近隣住民への薬剤暴露リスクはない。しかし、熱水消毒法と蒸気消毒法は専用の機械を必要とするため、コストが高く導入しにくい。また、加熱の熱源によっては二酸化炭素（温暖化ガス）の排出がある。一方、太陽熱処理法はマルチャーなど専用機械での施工に加え、鍬だけでも施工ができるため導入し易い。

この太陽熱処理法 (Katan *et al.* 1976) は、夏期には場表面あるいは畝表面を透明ポリエチレンフィルムで被覆し、地温を一定期間 40°C 以上にすることで土壌中の様々な病原菌や害虫、雑草種子等を死滅させる技術であり、作物の播種、定植前に行われる。日本では主に病害虫防除のために用いられており、イチゴ萎黄病（小玉・

福井 1982）、ナス青枯病（山口ら 1987）、チンゲンサイ根こぶ病（久野ら 1995）などの病害やマメハモグリバエの蛹（田中ら 1996）など多くの防除効果が報告されている。雑草に対する抑制効果試験は病害虫防除に比べると少ないが、奈良県農業試験場（信岡・細田 1992）や、千葉県農業試験場（桑田ら 2000）などで行われており、高い雑草抑制効果が報告されている。ここでは、水田転換畑における太陽熱処理後の雑草抑制効果と、実際の作業時間から削減できた除草作業時間、そして有機栽培ニンジンの生育・収量に与える影響について述べる。

1. 太陽熱処理法

太陽熱処理の手順は、以下の通りとなる。

- ①施肥・耕耘を行う。
- ②畝立てを行う。
- ③灌水チューブなどで十分灌水を行う。ただし、まとまった降雨後に被覆するなら不要。
- ④透明ポリマルチで畝を隙間ができないように被覆する。
- ⑤約1か月後被覆を除去する。

土壌への灌水量は、土壌の最大容水量で60%以上（湿った土をぎゅっと握りしめて、ゆっくりひらいた時に、土の塊にひびが入る程度）が目標（農研機構 2015；家村 1987）とされており、本試験でもこのとおり実施した。注意点として、太陽熱処理後に耕耘、畝立てを行うと、雑草種子や病害

虫等の死滅が不十分な下層部の土壌が混和され、太陽熱処理の効果が低くなる。

2. 太陽熱処理時の地温の推移（深さ1cm, 5cm）

試験は鳥取県鳥取市用瀬町鷹狩で実施した（図-1）。現地試験は海拔58mにあり、2020年、2021年ともに中粒質普通灰色低地土の水田転換畑であった。太陽熱処理の被覆期間は2020年が7月21日から8月20日の30日間であり、2021年が7月27日から8月31日の35日間であった。なお、この期間の鳥取市の気温は2020年7月の気温が平均24.6°C、日最高33.6°C、日最低18.2°C、8月が平均29.3°C、日最高38.1°C、日最低22.7°Cであり、2021年7月が平均26.9°C、日最高36.2°C、日最低21.3°C、8月が平均26.8°C、日最高39.2°C、日最低20.5°Cであった（気象庁鳥取市気温データ）。

現地太陽熱処理作業は降雨後の水田転換畑で、トラクターを用いて畝立てと透明ポリマルチ被覆が同時に行われた。土壌温度は、データロガー（T & D社製おんどとり）を用いて、太陽



図-1 太陽熱処理時のほ場

表-1 各区, 測定深における地温域別積算遭遇時間 (2020 年, 2021 年)

年度	区名	測定深	地温域別積算遭遇時間(h)				合計
			45℃以上 50℃未満	50℃以上 55℃未満	55℃以上 60℃未満	60℃以上	
2020年	太陽熱処理	1cm	50.8	37.5	31.5	15.8	135.7
		5cm	55.3	36.8	14.8	0	107.0
	無処理	1cm	5.2	0	0	0	5.2
		5cm	0	0	0	0	0
2021年	太陽熱処理	1cm	75.5	47.3	36.8	44.5	204.1
		5cm	38.5	28.0	11.3	0	77.8
	無処理	1cm	9.5	0	0	0	9.5
		5cm	0	0	0	0	0

注) 2020年, 太陽熱処理区, 無処理区の測定期間は7月21日から8月20日。

2021年, 太陽熱処理区の測定期間は7月27日~8月14日。無処理区の測定期間は7月27日~8月31日。

熱処理区と, 無処理区の深さ 1cm と深さ 5cm の地温を測定した。その結果は, 表 -1 の通りであった。片山ら (2003) の研究報告より, 雑草抑制効果は土壌温度が 45℃では 168 時間, 50℃では 48 時間, 55℃では 6 時間で認められ, 土壌温度が高くなるほど抑制に必要な時間が短くなっている。

2020 年の太陽熱処理区の地温域別積算遭遇時間は, 深さ 1cm で 45℃以上の積算遭遇時間が 135.7 時間であり, 深さ 5cm で 45℃以上の積算遭遇時間は 107 時間であった。また, それぞれの深さにおける 45℃から 60℃以上の積算遭遇時間を考えると, 露地栽培における水田転換畑での夏期太陽熱処理

1 か月間は, 土壌深さ 5cm までの雑草抑制効果が期待できる結果であった。2021 年の測定期間は, 観測装置への水の浸入により 7月27日から8月14日としているが, 2020 年と 45℃以上の積算遭遇時間が同程度であり雑草抑制効果があると考えられる結果であった。

3. 雑草の発生本数

2020 年と 2021 年の約 1 か月間太陽熱処理を行った結果, ニンジン栽培

表-2 各区におけるニンジン栽培期間中の雑草発生量 (2020 年)

区名等 草種名	太陽熱処理				生産者体系		無処理	
	本数(本/㎡)	乾物重(g/㎡)	本数(本/㎡)	乾物重(g/㎡)	本数(本/㎡)	乾物重(g/㎡)	本数(本/㎡)	乾物重(g/㎡)
ハキダメギク	5 (1.9)	214.3 (132.9)	110	19.0	270	161.3		
オランダミナグサ	45 (19.6)	2.8 (143.6)	590	1.8	230	2.0		
コハコベ	140 (66.7)	0.2 (16.7)	1285	2.7	210	1.2		
ナズナ	0 (0)	0 (0)	350	2.2	155	0.0		
オオイヌフグリ	35 (30.4)	0.2 (3.1)	350	3.5	115	4.9		
スズメノカタビラ	10 (14.3)	0.4 (100.0)	70	0.0	70	0.4		
ハナイバナ	0 (0)	0 (0)	85	1.8	45	1.8		
イヌガラシ	0 (0)	0 (0)	25	0.0	40	6.0		
イヌビユ	0 (0)	0 (0)	95	22.7	35	87.4		
スベリヒユ	0 (0)	0 (0)	535	189.2	30	11.7		
スギナ	0 (0)	0 (0)	35	14.1	25	30.3		
オヒシバ	5 (20.0)	20.4 (257.6)	65	3.0	25	7.9		
スカシタゴボウ	55 (275.0)	1.5 (50.0)	490	0.0	20	2.9		
タカサブロウ	10 (66.7)	12.0 (158.9)	10	0.2	15	7.6		
ノボロギク	85 (566.7)	0.6 (-)	105	0.0	15	0.0		
タネツケバナ	5 (33.3)	0.0 (-)	35	0.0	15	0.0		
オオアレチノギク	70 (466.7)	2.3 (-)	10	0.0	15	0.0		
メシバ	0 (0)	0 (0)	75	9.4	10	1.2		
カラスノエンドウ	0 (0)	0 (0)	5	0.0	10	0.2		
ミノフスマ	5 (-)	0.0 (-)	230	0.0	0	0		
ツメクサ	5 (-)	0.0 (-)	0	0	0	0		
その他	0 (-)	0 (-)	170	2.3	0	0		
合計	475 (35.2)	254.4 (77.9)	4725	271.6	1350	326.5		
		[10.1]		[93.7]				

注1) 生産者体系区は, 除草直前の9月10日及び10月27日, 収穫前の12月7日の積算値。その他の区は, 12月7日の値。

各調査日に40cm×25cmの枠内の雑草を採取し, 本数, 乾物重を計測した。

2) その他の草種は, コオニタビラコ, カタバミ, ホトケノザ, エノキグサ, カヤツリグサ類, アメリカアゼナ。

3) 表中の0.0は重さが小数点第3位以下のため, 計量器で計量できなかったことを示す。

4) 太陽熱区()内の値は, 無処理区対比(%), []内の値は生産者体系区対比(%). また, (-)は比較できないことを示す。

表-3 各区におけるニンジン栽培期間中の雑草発生量 (2021年)

区名等 草種名	太陽熱処理				無処理	
	本数 (本/m ²)		乾物重 (g/m ²)		本数 (本/m ²)	乾物重 (g/m ²)
オオアレチノギク	17.3	(5.9)	0	(0)	292.7	0.42
オオイヌノフグリ	3.0	(2.0)	0	(0)	152.3	0.18
オランダミミナグサ	3.3	(2.5)	0	(0)	133.0	0.12
カラスノエンドウ	332.3	(123.4)	3.41	(187.4)	269.3	1.82
カヤツリグサ	0	(0)	0	(0)	104.3	0.11
シロザ	2.0	(1.6)	0	(0)	122.7	0.16
ヒメムカシヨモギ	5.7	(0.7)	0.03	(1.4)	832.7	2.14
メヒシバ	15.0	(25.0)	0.05	(50)	60.0	0.10
ヤブツルアズキ	22.3	(151.7)	0.04	(33.3)	14.7	0.12
その他	1.3	(0.1)	0.07	(4)	884.6	1.75
合計	414.0	(14.4)	3.6	(52)	2866.3	6.92

注1) 雑草発生量は、8月31日から12月15日までの積算値。各調査日に1m×1mの枠内の雑草を採取し、本数、乾物重を計測した。

2) 調査ほ場における優占種の上位9種を記載。その他は、上記以外の雑草。

3) 太陽熱処理区の()内の値は、無処理区対比(%)。

期間中における調査枠内の雑草発生量は表-2、表-3の通りとなった。2020年は太陽熱処理区(栽培期間中の除草なし)、生産者体系区(太陽熱処理なし、もみ殻散布、栽培期間中の除草2回)、無処理区(太陽熱処理なし、栽培期間中の除草なし)の8月20日から収穫までの雑草発生量を収穫時に調査した(ただし、生産者体系区は途中の調査分も積算)。その結果、太陽熱処理区の雑草発生本数は無処理区対比35.2%、生産者体系区対比10.1%であった。また、乾物重は、無処理区対

比77.9%、生産者体系区対比93.7%であった。太陽熱処理区の雑草発生量は、他処理区より少なかった。このように、太陽熱処理により多くの雑草種で発生本数が減少していたが、一部発生本数が増加していた草種もあった。

発生が増加したノボロギクと、オオアレチノギクは、透明ポリマルチ除去後に、ほ場外から種子が風によって運ばれたため増加したと思われた。スカシタゴボウの発生は、無処理区ではハキダメギク等の他雑草が一面に繁茂して抑えられていた。太陽熱処理区では

他雑草の発生が減少したため、相対的に増加したものと思われた。生産者体系区の雑草発生量は、無処理区と比べて発生本数が多かったが、除草作業による土壌攪拌により雑草発生量が増加したのが原因と考えられた。2021年は太陽熱処理区と無処理区の雑草発生量を7~10日を目安に調査を行った。その結果は、太陽熱処理区の雑草発生本数は無処理区対比14.4%、乾物重は52.0%と前年同様に少なかった。多くの雑草は無処理区と比較して発生が少なくなるか、発生がなかったが、カラスノエンドウとヤブツルアズキは発生が多く太陽熱処理の効果が認められなかった。ほ場から抜き取ったカラスノエンドウおよびヤブツルアズキの種子はいずれも硬く大きかったことから、土壌のやや深いところから生えてくる硬実種子には太陽熱処理は効果が低

表-4 現地における収穫までの作業日程 (2020年)

作業名	太陽熱処理	生産者体系	無処理
施肥	6/29		
耕うん	6/29, 7/9, 7/17		
	7/21	8/17	8/20
畝立て	7/21	8/20	8/20
マルチ被覆	7/21	-	-
マルチ除去	8/20	-	-
ニンジン播種	8/20		
もみ殻散布	-	8/20	-
灌水	8/20~9/2		
除草(手取り)	9/7	9/7~10/28	-
収穫	11/30~12/21(内4日)		

注1) 施肥は、液肥「スーパー大国」

(成分量: N;0.36%, P₂O₅;0.10%, K₂O;0.10%)

2) 播種: 畝幅90cm, 5条, ごんべえ手押しタイプにより実施。

3) 太陽熱処理区9/7は調査枠外を除草。

表-5 現地ほ場における除草関係の作業時間 (2020年)

区名 作業内容	作業時間 (h/10a)	
	太陽熱処理	生産者体系
耕うん	1.3	1.3
畝立て	-	2.8
畝立て + マルチ被覆	3.3	-
マルチ除去	0.8	-
もみ殻散布	-	2.2
除草(手取り)	0.8	361.9
合計	6.3	368.2

注1) 作業内容及び時間は、試験担当農家聞き取りによる。

2) 畝立てとマルチ被覆はトラクターで同時に実施。

3) 除草は、手取りにより実施。太陽熱処理は、9月7日に目立った大きい草を除草。生産者体系は、9月7日から10月28日に2回、ほぼすべての草を抜き取る方法で除草。ただし、雑草発生量調査枠内を除く。

表-6 各区におけるニンジンの生育状況 (2020年)

区名	苗立率 (%)	葉長 (cm)	葉枚数 (枚)	葉重 (g/本)	根長 (cm)	根径 (mm)
太陽熱処理	58.0	58.0	8.0	50.8	16.8	52.06
生産者体系	75.5	43.1	8.4	32.0	15.7	46.26
無処理	58.0	40.2	5.6	13.6	10.5	34.00

注1) 苗立率: 9月10日(播種21日後)に調査。1条14.3粒/mとして算出。
2) 生育調査: 12月7日に0.9m×5条, 2反復のニンジンを探取し20株調査。

表-7 各区におけるニンジンの生育状況 (2021年)

区名	葉長 (cm)	葉枚数 (枚)
太陽熱処理	47.1	7.5
無処理	41.5	6.9

注1) 生育調査: 10月25日(収穫51日前)に1.0m×5条, 3反復のニンジン30株調査。

いと考えられた。カラスノエンドウの様に太陽熱処理が効きにくい雑草もあるが、露地栽培における太陽熱処理の雑草抑制効果は高かった。

4. 栽培期間中の除草作業時間

栽培期間中、生産者の現地作業状況と各作業にかかった時間は表-4, 表-5の通りとなった。トラクターで畝立てとマルチ張りを同時に行っているため、マルチ除去時間を加えても太陽熱処理に必要な時間は4.1時間であった。その後の除草作業時間は太陽熱処理区が10aあたり0.8時間に対し、生産者体系区は361.9時間と太陽熱処理区の約452倍もかかっていた。太陽熱処理後の除草にかかる時間は非常に短くなっていた。

5. 生育や収穫に与える影響

2020年収穫時と、2021年の収穫51日前に生育調査を行い、結果は表-6, 表-7であった。2020年の結果から、太陽熱処理区と無処理区で、苗立率の差は認められなかった。生産者体系区の苗立率は他の処理区より高かったが、播種後に異なる条件がもみ殻散布のみであり、その影響と考えられた。葉長、葉数、葉重、根長、根径は太陽熱処理区が無処理区と比べて優っていた。また、葉枚数を除いて、太陽熱処理区は生産者体系区に優っていた。2021年の葉長と葉枚数も同様に太陽熱処理区が無処理区に優っていた。以上より、太陽熱処理は生育に好影響を与えていた。

2020年と2021年の収量・品質は、表-8, 表-9に示す通りであった。総

収量(本数, 重量), 上物収量(本数, 重量, 一本重)は2年間とも、太陽熱処理区が無処理区に優っていた。2020年の上物収量は、太陽熱処理区と無処理区の本数, 重量, 一本重に大きな差が認められた。これは、雑草が少なく、生育が妨げられない太陽熱処理区と違い、除草されず雑草が多い無処理区ではニンジンが光や、栄養、水などの生育に必要な要素を雑草と競合したためと考えられた。実際に除草を行っていた生産者体系区は総収量, 上物収量ともに無処理区に優っていた。また、2021年の無処理区は雑草調査を7~10日間隔で行い雑草を全て取り除いていたことも原因し、総収量, 上物収量ともに前年無処理区より優っていた。太陽熱処理区は両年とも、無処理区と比べて規格別割合でLサイズ以上が多かった。太陽熱処理区を生産者体系区と比べると本数はやや少な

表-8 各区におけるニンジンの収量, 品質 (2020年)

区名	総収量		上物収量			上物本率 (%)	発生本数割合								
	本数 (本/a)	重量 (kg/a)	本数 (本/a)	重量 (kg/a)	一本重 (g/本)		3L (%)	2L (%)	L (%)	M (%)	S以下 (%)	岐根 (%)	裂根 (%)	短根 (%)	規格外 (%)
太陽熱処理	4514	810.7	2778	571.7	212.0	61.8	7.7	13.8	20.0	7.7	12.3	13.8	3.1	7.7	13.8
生産者体系	5347	600.4	3056	485.6	157.5	57.9	1.3	13.0	6.5	9.1	27.3	6.5	1.3	15.6	19.5
無処理	3889	164.6	556	73.0	136.0	14.2	0	0	3.6	3.6	7.1	3.6	0	57.1	25.0

注1) 12月7日に0.9m×5条, 2反復のニンジンを探取し調査。

表-9 各区におけるニンジンの収量, 品質 (2021年)

区名	総収量		上物収量			上物本率 (%)	発生本数割合								
	本数 (本/a)	重量 (kg/a)	本数 (本/a)	重量 (kg/a)	一本重 (g/本)		3L (%)	2L (%)	L (%)	M (%)	S以下 (%)	岐根 (%)	裂根 (%)	食害 (%)	規格外 (%)
太陽熱処理	4841	559.4	3038	424.6	139.0	62.3	0.4	3.6	12.1	12.8	33.9	6.4	1.2	8.3	22.2
無処理	4018	446.3	2509	328.3	133.5	61.5	0.5	2.9	7.8	14.1	36.4	6.0	1.1	12.1	18.9

注1) 収穫調査は12月15日に1m×5条, 3反復のニンジンを探集し調査。平均値は四捨五入。

2) 表中の「上物収量」は、2S規格(70~100g)以上の合計収量。「発生本数割合」は、総収穫本数に占める3L(300g~), 2L(230~300g), L(170~230g), M(130~170g), S以下(70~130g)及び各下物の本数割合(%)。ただし、岐根、裂根、食害は別に数えるためダブルカウントを含む。

表-10 太陽熱処理前後と収穫後の土壌無機態窒素量

年度	区名	無機態窒素量		
		処理前 (mg/100g)	処理後 (mg/100g)	収穫後 (mg/100g)
2020年	太陽熱処理	2.30	8.40	-
	生産者体系		3.70	-
2021年	太陽熱処理	7.04	18.53	0.76
	無処理		1.58	0.79

注1) 2020年, 処理前は7月17日, 処理後は8月20日に土壌を採取し分析。

2) 生産者体系=無処理

3) 2021年, 処理前は7月27日, 処理後は8月30日(無処理), 31日(太陽熱区), 収穫後は12月15日に土壌を採取し分析。

いが, 重量では多く, 規格別割合も無処理区と比べた場合と同様にLサイズ以上が多かった。

太陽熱処理区の雑草との競合以外に考えられる収量増加の理由として, 土壌中の無機態窒素量の増加が考えられた。2020年は処理区によって除草回数が違ったため, 2021年は処理区の雑草を調査毎に全て除草し, 雑草の影響を最小にした。その上で, 太陽熱処理前後と収穫時に土壌無機態窒素量の調査を行った(収穫時調査は2021年のみ)。結果は表-10であり, 太陽熱処理の前後で比べると, 太陽熱処理区の土壌無機態窒素量は2.6~3.6倍に増加していた。これにより, ニンジンの生育および肥大が良好となり, 収量の増加につながったと考えられた。

まとめ

9月に播種を行う夏ニンジンの露地栽培において, 7月下旬から8月末まで太陽熱処理を行うことで, 雑草発生量を抑制できた。その結果, 栽培期間中の除草作業時間が450分の1程度に短縮できた。太陽熱処理による地温上昇は, 土壌微生物の死滅と土壌有機物の分解促進によると思われる無機態窒素量を増加させ, ニンジンの収量増に寄与すると考えられた。以上より,

露地における太陽熱処理は雑草抑制に効果的であるだけでなく, 収量の増加にも有益な技術といえた。また, 上記の効果以外に土壌殺菌・殺虫効果も期待できるほか, 無機態窒素量が増加することから価格高騰が問題となっている肥料の削減も見込める。

問題点として, 太陽熱処理により土壌中有機物の分解が促進され, 地力の低下が懸念される。その対策として, 堆肥等の施用による地力を維持する体系構築が必要である。メリットの多いこの技術を栽培体系に取り入れることで除草にかかる労力を減らすだけでなく, 生産者の栽培の助けになれば幸いである。

参考文献など

- 江種伸ら 2008. 太陽熱を利用した農地消毒時の土中温度の変化特性. 土木学会論文集 B64(4),267-279.
- 福井俊男ら 1981. 太陽熱とハウス密閉処理による土壌消毒法について IV. 露地型被覆処理による土壌伝染性病害虫に対する適用拡大. 奈良農試研報 12,109-119.
- 久野託靖ら 1995. 施設栽培チンゲンサイ根こぶ病の太陽熱利用による防除について. 関西病虫研報 37,58.
- 堀兼明 2010. 露地ほ場への雑草すき込み・太陽熱処理による雑草発芽抑制と土壌物理性改善. 農業と園芸 85(1),60-69.
- 家村浩海 1987. 太陽熱利用による露地野菜の土壌病害防除技術. 農林水産技術会議事務局実用化技術レポート 146,165-186.
- 井原, 啓貴ら 2018. 太陽熱土壌消毒の高地温条件下における土壌中の有機態窒素無

機化およびその予測. 日本土壌肥科学雑誌 89(2),136-146.

- Katan, J. et al. 1976. Solar Heating by Polyethylene Mulching for the Control of Diseases Caused by Soil-Borne Pathogens. *Phytopathology* 66, 683-688.
- 片山勝ら 2000. 秋冬ニンジン作付前の太陽熱処理による雑草抑制の解明. 農研センター 15, 44-45.
- 片山勝ら 2003. 透明ポリエチレンフィルムの土壌表面被覆による太陽熱処理の雑草防除効果. 中央農研研報 3, 81-87.
- 小玉幸司・福井俊男 1982. ハウス密閉処理による太陽熱土壌消毒法について V. イチゴ萎黄病防除に対する適用. 日植病報 48, 570-577.
- 桑田主税ら 2000. 太陽熱を利用した畑雑草の防除. 千葉農試研報 41,35-44.
- 信岡尚・細田陽子 1992. 露地太陽熱による雑草抑制. 奈良農試研報 23,50-51.
- 農研機構 2015. 陽熱プラス実践マニュアル.
- 越智直ら 2015. 太陽熱土壌消毒による *Haematonectria ipomoeae* の密度低減効果. 関東東山病害虫研究会報 62, 9-12.
- 白木己蔵 2007. 宮崎方式の太陽熱処理の効果と普及. 植物防疫 61(2),14-17.
- 下高敏彰ら 2016. 土壌の太陽熱消毒法の効果を示す陽熱負荷指数のモデル化. 生物と気象 16, 86-93.
- 鈴木良治ら 1983. 太陽熱利用による露地野菜の土壌病害防除. 関西病虫研究会報 29, 49.
- 竹川昌宏ら 2003. 雑草種子の熱による死滅と熱水土壌消毒の抑草効果. 雑草研究 48, 20-21.
- 田中寛ら 1996. 太陽熱利用によるマメハモグリバエの蛹の防除. 関西病虫研報 38, 33-34.
- 田中慶ら 2021. メッシュ農業気象データを利用した太陽熱土壌消毒期間の有効積算地温予測法とスマートフォンアプリの開発. 農業情報研究 30(3), 155-166.
- 山口純一郎ら 1987. 施設栽培のナス青枯病に対する太陽熱利用の防除効果. 九病虫研究会報 33, 45-47.

マルチオミクス解析による 農業生態系のデジタル化

理化学研究所
バイオリソース研究センター
市橋 泰範
福島大学食農学類
二瓶 直登

はじめに

1840年にリービッヒが「植物は無機物で栄養を吸収する」という「無機栄養説」を提唱してから、ノーベル化学賞を受賞したハーバー・ボッシュの化学的窒素固定の確立を経て、窒素化学肥料が開発された。1960年から2000年にかけて世界の農地面積はほぼ一定であったにもかかわらず、世界人口は倍増した。その間に窒素化学肥料の使用量は8倍になっていることから、窒素化学肥料の開発は、人口増加や食料増産に大きく寄与したとされる。一方で、農地への過剰な施肥により、農業由来窒素が引き起こす環境汚染や土壌の劣化など、大量生産・大量消費・大量廃棄型社会の弊害が表出している。

このような背景のもと、2021年に農林水産省からみどりの食料システム戦略として2050年までに化学肥料使用量の30%低減、化学農薬使用量（リスク換算）の50%低減、耕地面積に占める有機農業の取組面積の割合を25%拡大、農林水産業のCO₂ゼロエミッション化などの目標が掲げられ、2022年に環境と調和のとれた食料システムの確立のための環境負荷低減事業活動の促進等に関する法律「みどりの食料システム法」が成立した。この目標を達成するには、多様な土壌や気候条件の日本において単一の品種や栽培法に頼ることは難しく、多様な栽培環境に適用した農業のオーダーメイド

化が必須である。また近年の激しい気候変動には年単位の時間がかかる育種技術のみでは対応しきれないため、栽培管理により迅速かつ柔軟に対応できる農業をいかに実現するかが肝要であると考えられる。

しかしながら、農業を取り巻く環境は極めて複雑である(Toju *et al.* 2018)。例えば土壌微生物は、植物残渣や堆肥等を分解し植物が利用可能な形態に変化させるなど作物の生産には欠かせない役割を担うが、作物生育を阻害する病原菌もあり、微生物叢のバランスが重要である。このように農業生態系は植物-微生物-土壌の各階層が複雑に関係し合うシステムとして形成され、これまでの個別の研究分野のみでは農業生態系の実態を部分的にしか解明できなかった。そこで本稿では、最先端技術であるマルチオミクス解析を農業生態系に適用することで、植物科学、微生物学、土壌学などの研究分野を横断する網羅的なデータを取得して、分野を超えた新しい知見を見出した研究事例を紹介する(Ichihashi *et al.* 2020)。加えて、このような農業生態系をデジタル化した先にある新しい農業について論じる。

マルチオミクス解析とは

農業現場における植物-微生物-土壌の各階層の構成要素を網羅的に解析する技術の一つにオミクス解析がある。オミクス解析には、微生物叢を対象としたマイクロバイーム解析、発

現遺伝子を対象としたトランスクリプトーム解析、代謝物を対象としたメタボローム解析などがあり、解析対象に応じて異なる分析技術や計測機器が用いられている。例えば、マイクロバイーム解析やトランスクリプトーム解析では、ここ10年ほどで急速に普及した次世代シーケンサーが一般的に利用されており、シーケンシング技術の進歩に伴い短時間で大量の塩基配列を解読することができる。このため、マイクロバイーム解析では微生物叢の種類や存在量を、トランスクリプトーム解析では発現している遺伝子群の情報をビッグデータとして取得することができ、包括的に評価することが可能になった。一方、メタボローム解析では、質量分析(MS)装置や核磁気共鳴(NMR)装置などが利用されており、生体内に含まれる低分子化合物を定性的および定量的に評価することができる。しかし、試料中に含まれる全ての代謝物を単一の分析装置のみで網羅的に検出することは今のところ不可能であるため、複数の計測機器を相補的に組み合わせて網羅性を担保する必要がある。また、検出可能な代謝物の種類やそのダイナミックレンジは計測機器ごとに大きく異なっており、一例として、GC-MSは有機酸や芳香族化合物などの揮発性有機物、LC-MSは脂質代謝物や二次代謝物、NMRは比較的存在量の多い一次代謝物の評価に適している。

農業現場では、微生物や発現遺伝子、代謝物などの各構成要素が複雑に

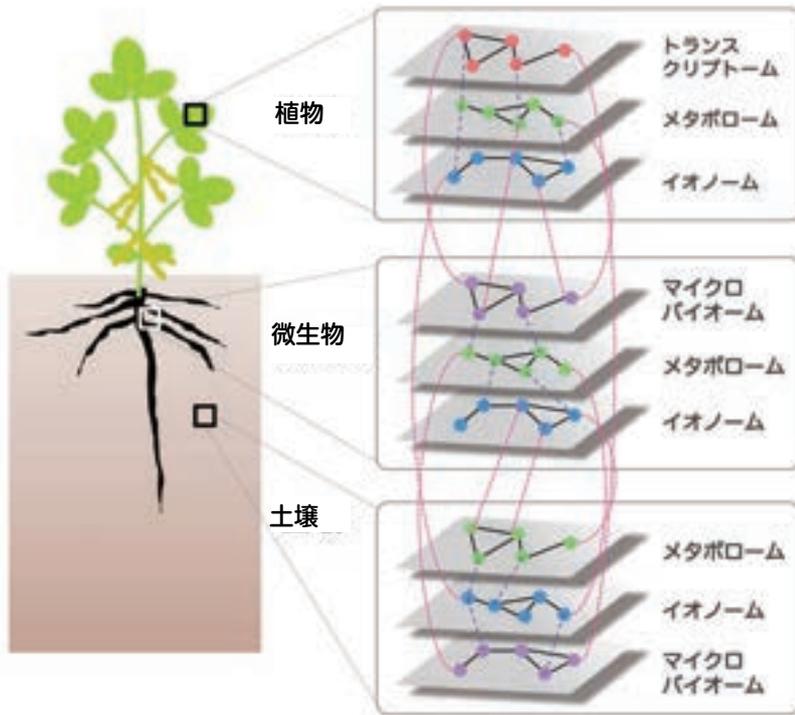


図-1 農業生態系のマルチオミクス解析

農業現場では、植物、微生物、土壌における代謝物や元素等の各要素が複雑に絡み合い、極めて複雑な農業生態系を形成している。マイクロバイオーム解析やメタボローム解析などの個別のオミクス技術を統合したマルチオミクス解析は農業生態系の全容を解き明かす解析技術である。(市橋ら 2020 より改変)

絡み合い、極めて複雑な農業生態系を形成している。この複雑な生態系の全容を解き明かすためには、複数のオミクス解析によって得られた情報や各構成要素同士の相互関係などを統合的に解析する必要がある。このような解析アプローチは「マルチオミクス解析」と呼称されており、当初医学分野で導入が進んだが、農業生態系内で生じている現象を包括的に調べることに適用が可能である(図-1, 市橋ら 2020)。このマルチオミクス解析では植物-微生物-土壌の各階層のデータを有機的に紐づけることが極めて重要である。そのため、同じ試験区、個体、組織からサンプリングすること、異なる分析機器での解析でも共通な前処理の工程まで同一サンプルとして扱うことがデータの質を決定する。またビッグデータ解析技術の発展により、個別のオミクス解析によって得られた膨大なデータについて統合インフォマティ

クス解析が可能となった。複数のオミクスデータを統合する際のフォーマットの統一やマニュアルでデータ結合することで生じるエラー等はビッグデータ解析における大きな問題の一つであり、特にマルチオミクス解析特有の問題として、個別のオミクスデータが連続変数、離散変数、カテゴリ変数の違いがあり、それぞれに最適な正規化やフィルタリングについて工夫が必要である。またマルチオミクスデータから科学的知見を見出すため、関連ネットワーク解析が利用されている。ネットワークとは、ノードの集合とエッジの集合で構成されるグラフのことであり、マルチオミクスデータによる関連ネットワークでは、ノードが測定項目となり、エッジが測定項目間の相関関係を示す。またネットワーク上でノードが密につながった集合をモジュールとして検出することができ、他のノードと多くエッジを形成しているノード

をハブノードとして検出することができる。このような関連ネットワーク解析により、農業生態系の全容を可視化することができ、ネットワーク構造の理解や特徴的なエッジの探索から農業生態系における植物-微生物-土壌の関係性を抽出できる。しかし、ここで得られる知見はあくまで相関関係であり、因果関係ではない。統計的因果推論の各手法を適用することで、マルチオミクスの統合データ行列からの因果関係の検出が有効であり、その検証については現在取り組んでいる。

有機農法・太陽熱処理について

ここでは我々が行ったマルチオミクス解析を用いた土壌の太陽熱処理についての研究を紹介する (Ichihashi *et al.* 2020)。太陽熱処理とは、耕起した畑をビニールマルチで数日間覆うことで、土壌中の病害虫や雑草種子を死滅させ、農薬を使わずに土壌環境を維持できる手法として知られている。また太陽熱処理を実施した圃場では、滅菌や雑草防除とともに、作物の生育促進効果が認められる。このような生育促進効果は土質や栽培品目によらず確認されており (Chen *et al.* 1980 など)、有機農法の優れた技術の一つとされる。しかしながら、太陽熱処理による生育促進効果の要因については諸説あり、低分子~高分子の土壌成分や微量元素の変化、希少病原菌の除去、作物生育調整因子の分泌や有益な微生物

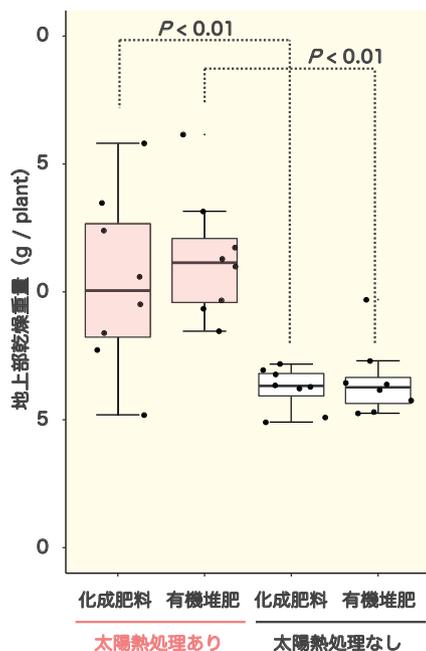


図-2 太陽熱処理による植物生育促進効果
 コマツナ収量の指標となる地上部乾燥重量を示す。その結果、太陽熱処理はコマツナの地上部乾燥重量を有意に向上させた。有意差検定を Tukey's post hoc test にて実施した。(Ichihashi *et al.* 2020 より改変)

物の活性化など様々な要因が想定されているが、主要な因子については未解明であった。

私たちは、千葉県八街市の篤農家（経験に基づく優れた生産技術を持つ農家）の協力を得て試験を行った。ここでは太陽熱処理が実施されており、収量・品質ともに非常に優秀な作物が毎年生産されている。そこで、同じ圃場内において異なる農法、すなわち化学肥料もしくは堆肥を施肥して太陽熱処理有無の4種類の試験区を設置し、それぞれの試験区においてコマツナを栽培した。その結果、太陽熱処理（本試験では5週間実施し、日積算土壌温度は1,000°C以上）は、土壌設置の電位センサーから土壌物理環境を大きく変化させることが分かり、化学肥料、堆肥によらず、コマツナの収量をおよそ1.7倍に増加させた（図-2）。一方で、コマツナの他の形質（植物地上部の全代謝物、葉の形、光合成活性、糖度、酸度、葉の色素、病害、食味）に

有意な違いは検出されなかったことから、太陽熱処理は慣行農法と同等の品質を維持した上で、コマツナの収量を増加させることが分かった。また、翌年も太陽熱処理による成長促進効果が確認された。

太陽熱処理における土壌代謝物、元素、細菌叢の変化

そこで太陽熱処理によって農業生態系を構成する植物-微生物-土壌がどのように変化するかを捉えるために、作付け前および収穫時の土壌についてNMR法による代謝物質のプロファイリングを行った。検出された代謝物データを用いて主成分分析を行った結果、試験区間で明確な違いが検出されたことから、物理的に離れた場所に設置した試験区であっても、4種類の異なる処理による土壌特性をそれぞれ反映していることが分かった（図-3a）。しかし、アンモニア態および硝酸態窒素である無機態窒素の濃度は、太陽熱処理の有無で有意な違いは検出されなかったため、有機態窒素から無機態窒素の分解が平衡状態を維持しながら植物の窒素吸収率が増加した、もしくは無機態窒素が作物の主要な窒素源とするリービッヒの無機栄養説では説明できない現象であると考えられた。また土壌C/N比において試験区間で差が検出されなかったため、太陽熱処理が有機態窒素の分解過程の全体に影響しているということも考えづらく、これまでの植物栄養学の知見からは理解し

づらい現象が生じていた。

続いて、次世代シーケンサーを用いて土壌および根圏における細菌叢を解析したところ、太陽熱処理は土壌全体の細菌でなく、作物の根圏に生息する細菌の種類に大きく影響を与えていることが分かった（図-3b）。そこでは門レベルでの大きな影響が確認され、デイノコックス・テルムス門やフィルミクテス門が太陽熱処理をした根圏で多くなること、特に植物の成長促進に関与する根圏細菌としてパエニバシラス属とシュードモナス属が太陽熱処理により多くなることが分かった。実際、これらの細菌種は太陽熱処理後の土壌で栽培した作物の根から単離された事例もある（Tjamos *et al.* 2004）。これら細菌について機能的な側面の解析が待たれるが、以上の結果から、自然の物質循環である有機物と根圏細菌叢の相互作用が、太陽熱処理による成長促進効果に関与していることが示唆された。

マルチオミクス解析により太陽熱処理における主要因子として有機態窒素を同定

そこで、太陽熱処理に呼応する植物-微生物-土壌の複雑なネットワークについて、その「ありのままの姿」をデジタル化するために、全てのデータを統合した相関ネットワーク解析を行った。具体的には作物収量に加え、糖度、酸度、硝酸濃度、SPAD値、タンパク質含量、イオン組成、および

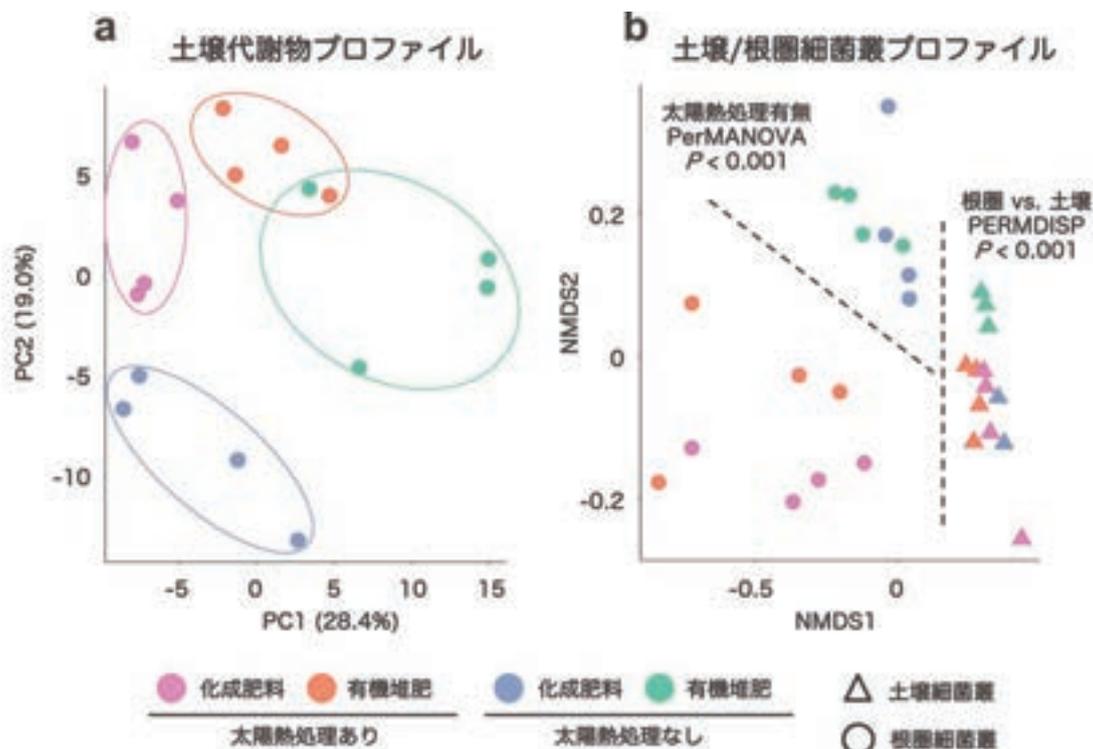


図-3 太陽熱処理における土壌代謝物、元素、細菌叢の変化

(a) 土壌中の代謝物と元素プロファイルを主成分分析により解析。試験区間で異なる違いが検出された（各試験区サンプル群を丸で囲んで示す）。(b) 土壌及び根圏細菌叢プロファイルにβ多様性のBray-Curtis非類似度の距離行列を使ってNMDSで描写。有意差検定をPerMANOVAおよびPERMDISPにて実施した。（Ichihashi *et al.* 2020より改変）

一次代謝物、土壌においてはpH、C/N、イオン組成の他、主要な代謝物のメタボローム解析、非根圏および根圏土壌に存在する全細菌のマイクロバイオーム解析から合計395測定項目を対象とした。その結果、農業生態系は作物が示す特定の形質、すなわち収量や品質等と特定の微生物種や土壌成分で構成されたモジュールが複数組み合わさったネットワークを形成していることを世界で初めて明らかにした（図-4）。このような構造は、他の生物学的な現象でよく観察されるネットワークと類似の構造であり、また農業生態系における植物-微生物-土壌の異なる階層が、幾十にも複雑に相互作用していることを反映している。さらに明らかにしたネットワークの情報から、作物の収量を含むモジュールにアミノ酸などの有機態窒素や根圏細菌が含まれており、特に土壌中の有機態窒素がハブノードとして検出された。このこ

とから、太陽熱処理により植物根圏に特徴的な細菌叢が形成され、土壌中に蓄積する有機態窒素が作物の生育促進に関与していることが判明した。

次に、ネットワーク解析から導出された有機態窒素を対象にコマツナの無菌培養系により添加実験を行った結果、アミノ酸のアラニンと栄養素のコリンが、栄養源や生理活性物質として収量を増加させることが明らかになった（図-5）。またコリンによりコマツナの根のバイオマスが増加することが確認され、先行研究においてアラニンの前処理により植物のアラニン吸収が活性化されることも知られているため（Nihei *et al.* 2008）、これらの有機態窒素が植物に対して窒素源の獲得能力を向上させているかもしれない。特にアラニンは栄養源と生理活性物質の両方として振る舞うため、実際にどのように植物に吸収され代謝されているかを、炭素と窒素の両方を安定同位体で

標識したアラニンを使うことで調べた。その結果、コマツナが直接アラニンを吸収していることが分かり、さらに吸収されたアラニンが、コハク酸、グルタミン、プロリンと代謝されることを明らかにした。このことは、植物がアミノ酸を栄養源として直接吸収することで、体内で無機態窒素からアミノ酸を合成する代謝エネルギーを節約できることを示唆する。

さらに、アラニンを土壌に添加して試験を行った結果、無機態窒素と同等の収量増加が確認され、栽培期間中に土壌のアラニン濃度が低下するとともに、無機態窒素濃度が上昇することも分かった。このことは、アラニンは土壌の中で植物に直接吸収されるとともに、無機態窒素へ分解されることを示している。以上より、太陽熱処理により蓄積された有機態窒素は、直接および間接的に栄養源として植物に利用されながら、生理活性物質としても機能

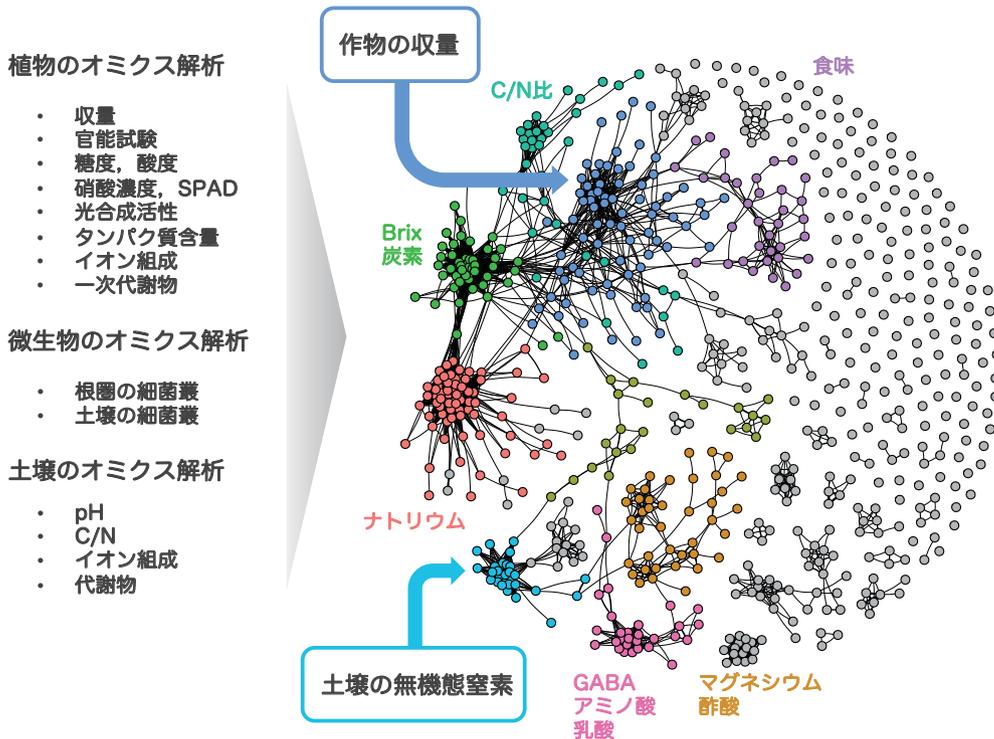


図-4 マルチオミクス解析により明らかになった農業生態系ネットワーク

取得した全データを統合したデータ行列を用いて相関ネットワーク解析を行うことにより、農業生態系をデジタル化することに成功した。その結果、農業生態系は作物の形質と特定の細菌種や土壌成分で構成されたモジュールが複数組み合わせられて織りなされるネットワークを形成していることが分かった。特に、作物の収量を含むモジュールは土壌中の無機態窒素を含むモジュールとは異なることが分かった。(Ichihashi *et al.* 2020 より改変)

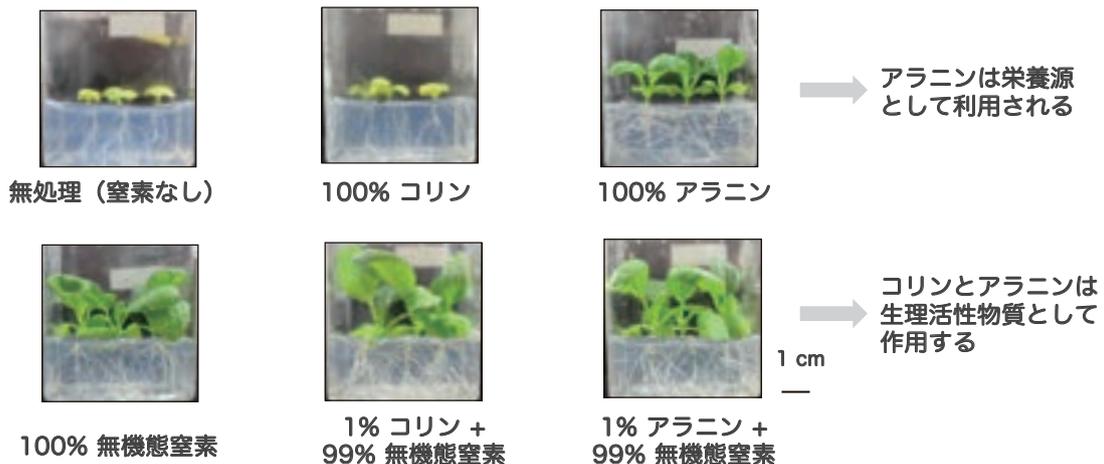


図-5 有機態窒素の植物生育に及ぼす影響

ネットワーク解析から見出した有機態窒素の植物への影響について、コマツナの無菌栽培の実験系により解析した。その結果、アラニンが栄養源として、コリンとアラニンが生理活性物質として作物の生育に作用することが分かった。(Ichihashi *et al.* 2020 より改変)

するという複雑な作用機序を示すことが明らかになった。本研究から、有限な鉱物資源を原料とした化学肥料に頼らず、有機態窒素を活用することで持続可能な作物生産が可能であることが示唆された。

このような学問分野を横断したマルチオミクスデータを統合して、農業生

態系ネットワークが示すモジュール構造に基づいて作物の生育に関与する土壌因子を同定することにより、学術的なバイアスが少なくデータドリブンで現象の本質にたどり着くことができた。特に今回明らかにしたアラニンやコリンはペアワイズの比較解析では検出できず、またメタボロームデータ

のみの判別分析からでも作物収量との関係性を見出すことができなかったため、マルチオミクスデータを用いた相関ネットワーク解析は植物-微生物-土壌の関係性を抽出する上で非常に有効な手法であることがわかる。

農業生態系をエンジニアリングする

上記の研究から、農業現場にマルチオミクス解析を用いることで複雑な農業生態系を研究対象として十分扱えることがわかったため、私たちは試験規模および分析対象を拡大した研究プロジェクトを全国圃場で複数の作物種へと展開している。これまでの測定項目に加え、作物の二次代謝物、脂質代謝物、硫黄代謝物および全遺伝子発現、土壌の二次代謝物および揮発性成分、土壌物理性として土壌硬度、C/N、透水性、保水性、粒径分析等、10,000以上の測定項目のマルチオミクスデータを取得しており、農業生態系の植物-微生物-土壌の複雑なネットワークについて、その「ありのままの姿」のデジタル化を進めている。マルチオミクス解析による農業生態系のデジタル化は、篤農家の匠の技として伝承されていた有用な作物生産技術等を科学的に形式知化する新しい手法であり、今後の農学分野における解析アプローチの主流となるであろう。加えて本研究の結果は、従来の研究ではその複雑さゆえに十分に解析されていなかった農業生態系を理解することで、適地適作を工業的センスで推進する「農業環境エンジニアリング」への道が切り拓か

れるものと期待される。

また農業生態系のデジタル化を利用することで、サイバー空間で農業を完全シミュレーションするシステムを開発できると私たちは考えている。具体的には、収穫時期までの気象予測とその土地の土壌データを入力して、作物の収量や品質さらに環境負荷の程度を自由に選択すれば、その実現に最適な栽培管理法を出力させることができる作付けの意思決定を支援するシステムを想定している。このシステムを開発するために気象-土壌環境-作物生育の統合物理構成モデルを構築し、取得するマルチオミクスデータを機械学習等の帰納的な手法により組み込むことを予定している。これにより、従来の収量や生育といった基本パラメータ以外に、作物の機能性成分や保存性・耐病性等といった多角的な評価が可能となり、また土壌中の物理化学性に加えて、土壌生物性の評価を加えることでより高解像度なモデルへと拡張できる。乗り越えるべき技術的なハードルはまだ多くあるが、このシステムが完成すれば、それぞれの土地で安定した収量・品質の作物をオーダーメイド生産することができ、高収益化とともにカーボンニュートラルを実現する完全資源循環の栽培といった、今後人類が直面する数多くの課題に対応した農業が実現する未来が訪れるだろう。

謝辞

本稿で紹介した研究の一部は、内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム (S I P) 「スマートバイオ産業・農業基盤技術」(管理法人: 生研支援センター) および内閣府ムーンショット型農林水産研究開発事業(管理法人: 生研支援センター) によって実施されました。

参考文献

- Chen, Y. *et al.* 1980. Effect of solar heating of soils by transparent polyethylene mulching on their chemical properties. *Soil Sci.* 130, 271-277.
- Ichihashi, Y. *et al.* 2020. Multi-omics analysis on an agroecosystem reveals the significant role of organic nitrogen to increase agricultural crop yield. *PNAS* 117, 14552-14560.
- 市橋泰範ら 2020. マルチオミクス解析で拓く次世代農業. *アグリバイオ* 8月号, 18-22.
- Nihei, N. *et al.* 2008. Imaging analysis of direct alanine uptake by rice seedlings. *Radioisotopes* 57, 361-366.
- Tjamos, E.C. *et al.* 2004. Selection and screening of endorhizosphere bacteria from solarized soils as biocontrol agents against *Verticillium dahlia* of solanaceous hosts. *Eur. J. Plant Pathol.* 110, 35-44.
- Toju, H. *et al.* 2018. Core microbiomes for sustainable agroecosystems. *Nat. Plants* 4, 247-257.

古くて新しい雑穀 キノアの可能性

はじめに

2023年は国連が定めた国際雑穀年（International Year of Millets 2023）である。雑穀は人類が最初に栽培化した植物のひとつで、アフリカやアジアでは約7000年前から食材として利用されていた。雑穀は他の主要穀物に比べて痩せた土壌や劣悪な環境下でも生育できるものが多いが、多くの国では生産量が減少しており雑穀の持つ潜在的な可能性が十分に発揮されている状況にあるとは言えない。このようなことから、国際雑穀年は各国での雑穀の生産量を増やし、食料資源としての雑穀の位置づけを高めることを主たる目的として第75回国連総会で承認された。ひとくちに雑穀と言っても、アワやヒエ、ソバのようによく知られているものから、特定の地域だけで栽培されている伝統的な雑穀もある。今回紹介するキノア（「キヌア」と表記される場合もある）も、もともとは南米大陸で長年栽培されていた雑穀であるが、スーパーフードブーム等の影響で近年急激に知られるようになってきた雑穀である。実際、我が国においても近年各地でキノアを導入して栽培化する動きがみられる。キノアが今日のように注目をされるようになったきっかけは子実に含まれる成分特性とこの作物を摂取した時に得られる様々な効果によるところが大きい。また、キノアは耐塩性が強いなど他の作物にはない優れた生態的特性を有す

る。そこで、ここではキノアの栄養価及び利用の仕方、植物としての特性や栽培法などこれまで得られた知見を紹介することでキノアの持つ可能性を考えてみたい。

1. 植物としてのキノアと生産状況

キノア（*Chenopodium quinoa* Willd.）はアンデス高地のチチカカ湖周辺が起源地と考えられているヒユ科（以前はアカザ科に分類されていた）に属する双子葉の一年生作物（擬穀類）である（Risi and Galwey 1984；藤倉ら2009）。染色体は36本で、複2倍体（異質4倍体）である（Bhargava *et al.* 2005）。栽培の起源は古くアンデス地方では7000年前から栽培されていたと考えられている（Bazile and Negrete 2009）。その後、長い歴史の中で南米各地に広がり、それぞれの地域環境に適応した様々なエコタイプが発達した。例えば、チリの海岸部にはSea-levelタイプ（海岸型）が、ペルーの比較的標高が低い地域にはValleyタイプ（渓谷型）が分布しており（Risi and Galwey 1984）、現在では世界各地には3000種類以上もの系統があると考えられている。キノアの草丈は成熟期において80cm～150cm程度で、主茎や分枝の先端部に穂が形成されそこに多くの子実をつける（図-1）。子実は直径1mm～2mm程度、厚さ0.5mm程度の扁平な円盤型をしていて、色は白色、黄色、紫色、黒色と様々

日本大学生物資源科学部
磯部 勝孝



図-1 圃場で育成されたキノアとその子実（右下）

なものがあり、子実の表面に苦味成分であるサポニンを附着させている。

キノアは、ごく最近までは南米のアンデス地方を中心に現地の人々が食材等で利用するだけであった。しかし、1970年代にアメリカ科学アカデミーが将来の食糧確保と熱帯地域の農民の生活向上策として様々な作物の研究開発を推奨し、そのひとつにキノアが取り上げられたことや、1990年代になってアメリカ航空宇宙局（NASA）が提唱するControl Ecological Life Support System(CELSS)の新しい作物の候補に挙げたことで世界的に注目を集めるようになった（Schlick and Bubenheim 1993）。FAOSTATによると2020年における世界でのキノアの作付面積は18万9千haで、このうちボリビアが11万6千ha、ペルーが6万8千haである。そしてこの2カ国にエクアドルを加えた3カ国が主産国である。我が国へのキノアの輸入量は財務省の統計によると2012年は162tであったが、2021年は485tである。このようなことから近年我が国でのキノアの需要は増加傾向にあると推察される。

表-1 キノアと白米、コムギの成分比較

成分	キノア	白米	コムギ
炭水化物 (g)	61.0	77.1	72.2
タンパク質 (g)	14.6	6.1	10.6
脂質 (g)	5.6	0.9	3.1
灰分 (g)	3.4	0.4	1.6
K (mg)	927	88	470
Ca (mg)	149	5	26
Mg (mg)	250	23	80
P (mg)	384	94	350
Fe (mg)	13.2	0.8	3.2
Zn (mg)	4.4	1.4	2.6

単位：100g 当たり
小西 (2003) から引用

2. キノア子実に含まれている成分特性と摂取時の効果

キノアの子実の炭水化物含有率は約60%と他の穀類に比べそれほど高くないが、タンパク質含有率は10%~17%とコムギより高い (小西 2003)。そして、アミノ酸の中でも必須アミノ酸をバランスよく含み、特にリジンの含有率は他の穀類に比べ極めて高い。その結果、アミノ酸スコアが他の穀類に比べて高いことがキノアの特徴のひとつである。さらにカリウム、カルシウム、リン、マグネシウム、鉄、亜鉛などのミネラルも他の穀類に比べて非常に多く、食物繊維も4.8%程度含まれ、この値は白米や小麦粉より数倍高い値である (高尾 1999)。そして、キノアの子実には数種のポリフェノール類が含まれていて、総フェノール量は他の多くの穀類よりは多いことから抗酸化能の高い食材であることが示唆されている (石井 2010)。一方、水溶性ビタミンは他の穀類と同様にあまり多く含まれていないが、発芽すると総ビタミンC量がアルファルファーや緑豆と同程度まで増加することが確認されている (小西 2003)。このよ

うにキノアの子実成分は他の穀類とは大きく異なるが (表-1)、これらの成分はキノアの子実に均一に分布しているのではなく、部位によって各成分の含有率は大きく異なる (平野・小西 2003)。キノアの子実は中央に胚乳があり、それを取り巻くように胚がある。胚乳には炭水化物が多く含まれていて、胚にはタンパク質、脂質、ビタミン、カリウム、リン、マグネシウムなどが多く含まれている。ミネラルのうちカルシウムは胚芽にはほとんど含まれてなく、その多くは外皮等に含まれている (平野・小西 2003)。かつて、同じ品種で大きい子実と小さい子実でミネラル含量の違いを測定したことがあるが、概ね小さい子実の方がミネラル含量は高かった。これは小さい子実の方が子実に占める胚乳の割合が小さくなるからと考える。このようなことから小さい子実の方がキノア摂取時の効果は高くなるとも考えられる。

以上の様にキノアの子実は他の穀類とは異なる成分組成を示すのが特徴で、その結果これを摂取した時には様々な効果が期待できる。例えば、様々なミネラルが豊富なことから骨粗しょう症の予防が期待でき、豊富な食物繊維は便通を整えて便秘の解消に役立つ

ほか、コレステロールや糖の吸収を抑えることから血糖値や血液中のコレステロール濃度を低下させて生活習慣病の予防にも効果があると考えられる (小西 2002)。実際、健全なマウスと糖尿病のマウスを使ってキノアと白米を摂取させたところ、健全なマウスではキノアを摂取させても血糖値の低下は認められないが、糖尿病のマウスではキノアの摂取によって血糖値の低下が認められた (塩ら 2006)。さらに、キノアの外皮を含む食餌でマウスを飼育した場合に血中コレステロール値が低下したことから、キノアの外皮にコレステロールを低下させる作用があることが明らかにされている (平野・小西 2003)。このようにキノアを摂取すると様々な効果が期待でき、今後の研究次第ではさらに新たな機能が発見される可能性もあると考える。

3. キノアの利用法

キノアを摂取すると様々な効果が期待できるが、実際キノアをどのようにして食すればよいのかよくわからないという声を聴くことが多い。名前は知っているがまだまだ多くの日本人にとってキノアは食材としての知名度が高いとは言えないのが現状である。キノアの普及をさらに推し進めるにはキノアをどのように食するのか、様々な利用方法、調理方法を考案することが重要と考える。

キノアの子実を利用する場合は、子実を粒のまま利用する場合と粉にし



0 g 8g 16g 24g 32g 48g
NaCl の施用量 (ポット当たり)

図-2 NaCl 施用下でのキノアの生育状況
1/5000a を使用

て利用する場合の2つの利用法が考えられる。粒のまま子実を利用する場合、我が国ではご飯を炊く際や雑炊を作る際に少量混ぜて一緒に炊くのが最も簡単な利用方法である。これ以外に水に浸して柔らかくした子実をサラダの上にのせたり、野菜と混ぜたりして利用する方法もある。さらに子実をパフ状にして（膨化させて）、トッピングとしてサラダやアイスクリーム等の上にかけて利用する方法もある（高尾1999）。キノア栽培が盛んなポリビアやペルーではキノアの子実をスープに入れて食するのが最も一般的な利用方法である。一方、子実を粉にしてから利用する場合は小麦粉の代わりに利用する方法が一般的である。つまり粉でパンやマカロニ、クッキーを作るのが最も簡単な利用方法であるが、その場合キノアの粉の割合を高くすると製品が硬くなったり、膨らみが不足したりして食味が低下することがあるので注意が必要である（大迫2006）。

キノアは子実だけでなく茎や葉も利用できる。例えば、若い葉や茎を茹でておひたしにしたり、野菜のように炒めたりして食べることもできる（大迫2013）。最近、様々な穀物や野菜のスプラウトをスーパーなどで見かけることがあるが、キノアもスプラウトとして食することも可能である。また、キノアを食材として利用するのは人だけ

でなく、家畜やペットの餌としても利用している。このように、キノアの利用方法はまだまだ途上中と言え、今後も新たな利用法が開発されることでキノアの持つ機能をより多く得ることができるようになると思われる。

4. 耐塩性とセシウム吸収能

今後も世界レベルで人口が増加していくことが予想される中、食糧の増産は我々人類に課された課題でもある。これからの食糧増産では単位面積当たりの単収を高めていくことが重要であるが、耕地面積を広めていくことも必要と考える。世界各地には塩類集積地があり、このようなところでは作物の栽培は現状難しい。しかし、植物の中には耐塩性の強いものや、塩生植物のようにある程度の塩類が土壌にあったほうが生育がよくなる植物も存在する。キノアもそのような植物のひとつであり（Koyro *et al.* 2008）、他の植物の栽培が困難である高い濃度で塩類が集積した土壌でも生育可能である（図-2）。さらにキノアには高いセシウム吸収能もある（Broadley *et al.* 1999）。チョルノーベリ（チェルノブイリ）や福島での原発事故では環境中に大量の放射性セシウムが放出された。福島では土壌に蓄積された放射性セシウムを除去するために大量の表土

除去が行われたが（宮原2014）、これには大変な労力と費用がかかっている。植物を使って土壌から重金属等を除去するファイトレメディエーションも一時検討されたが、セシウムの半減期と植物によるセシウムの吸収率を考えるとこの時点ではセシウムのファイトレメディエーションは現実的ではなかった（佐藤2014）。しかし、その後セシウムの吸収に関するタンパク質が明らかにされるなど（Ashraf *et al.* 2021）、植物のセシウム吸収に関する研究は福島原発事故が起こった当時より遙かに進んでいる。今後の不慮の事故に備えるためにもセシウムのファイトレメディエーション技術を確立することは大変重要であると考えられる。キノアは種々の植物の中でもセシウム吸収能が高い植物のひとつであり（Broadley *et al.* 1999）、さらに草丈が1 m程度になり比較的高いバイオマス生産量を示す。このようなことから、キノアはセシウムのファイトレメディエーションに利用するには有益な植物であり、今後の研究次第では放射性セシウムのファイトレメディエーションに活用できる植物のひとつと考える。そこで、ここではキノアの耐塩性とセシウム吸収能に関する研究事例を紹介する。

キノアの耐塩性は従来耐塩性が高いと言われていたナタネ、ダイコン及びコマツナに比べても高い（磯部ら2014）。一般的に海水の塩濃度は500mM程度であるが、キノアの中には800 m M以上の塩化ナトリウム溶

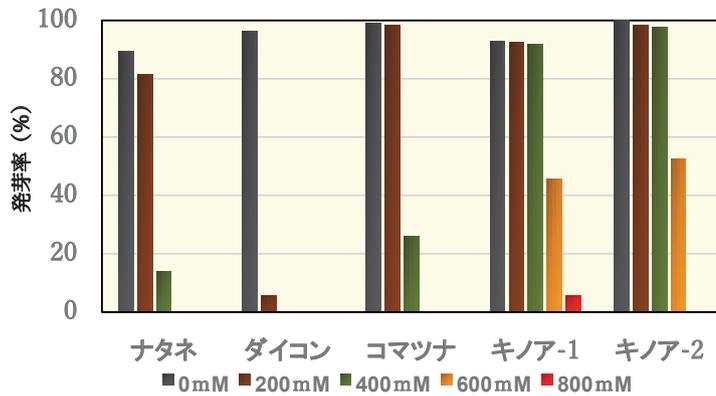


図-3 様々な濃度のNaCl溶液での種々の作物の種子発芽率
キノア-1、キノア-2の品種はそれぞれ、Amarilla de MaranganiとCICA-127を示す

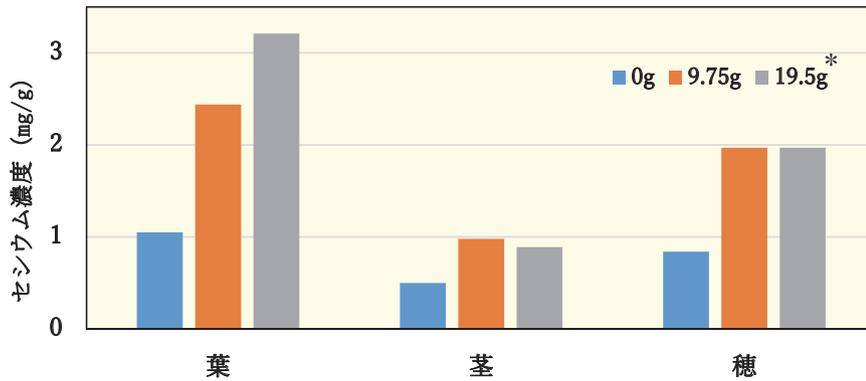


図-5 NaCl施用下でのキノア各器官のセシウム濃度
*：1/5000aポット当たりのNaCl施用量を示す

液でも発芽する系統もある (図-3)。さらに, Morales *et al.* (2011) の研究によると 600mM の塩化ナトリウム溶液を灌水しても生育できる。このように高い耐塩性を持つキノアは細胞から Na イオンを排除して K イオンを保持することで浸透圧を調整していると考えられている (Cai and Gao 2020)。さらに, キノアが高い耐塩性を有するのは植物体の表面に存在するブラッダー細胞 (Epidermal Bladder Cell) の存在も大きい (Orsini *et al.* 2011; Shabala *et al.* 2012)。キノアのブラッダー細胞は通常の細胞の約 1,000 倍以上の大きさで (図-4)、体内で不要な物質や過剰に吸収された塩類をこの細胞に移送することで体内生理を保っていると考えられている。2020 年にはブラッダー細胞の形成遺伝子が明らかになったことから

(Imamura *et al.* 2020), 将来ブラッダー細胞の大きさと数を増加させることが可能になれば, キノアの耐塩性をさらに高めることも不可能ではないと考える。キノアは耐塩性が高い植物のひとつであるが, 同時に土壌からセシウムを吸収する能力も高い。しかも, その吸収能は土壌に塩化ナトリウムが高い濃度で存在するとさらに高まる。実際, キノアを育成する際に塩化ナトリウムを施用するとセシウムの吸収量は最大で 9 倍以上になった (Isobe *et al.* 2019)。さらに Wada *et al.* (2020) の研究ではキノアは土壌から吸収したセシウムの多くを葉に蓄積し (図-5), 子実肥大期以降も葉から穂へのセシウムの移行は少ないことも明らかにされている。セシウムは過剰に吸収されると生育が阻害されるので, 細胞内では液胞等に取り込むか無毒化する

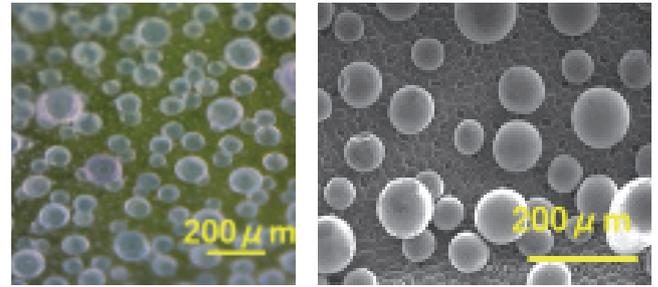


図-4 キノアの葉のブラッダー細胞
左：光学顕微鏡, 右：電子顕微鏡

か, または細胞外に排出する必要がある。既に述べたようにキノアの葉にはブラッダー細胞が多くあり, 葉身細胞よりブラッダー細胞の方がセシウム含量は高いことが明らかになっている。つまり, キノアは過剰に吸収したセシウムを葉のブラッダー細胞に移行させることで葉身の機能を維持していると考えられている。さらにこの現象は塩化ナトリウムを施用した時に促進され, 塩化ナトリウム施用によってキノアはブラッダー細胞そのものも大きくなりブラッダー細胞内に蓄積できるセシウムの量を多くする仕組みがあることも明らかになった。このようにキノアは他の植物の生育が難しい塩類集積地においても栽培することも可能で, さらに他の植物の数倍もセシウムを吸収することができる大変ユニークな植物でもあり, 今後の食糧生産や環境修復において大変有益な機能を有する作物と言える。

5. キノア栽培のポイント

これまで述べてきたようなことから, 我が国においてもキノアの栽培化を推し進めることは大変意義があると考えられる。しかしキノアの起源地と環境条件の大きく異なる我が国では現地ではあまり生じない問題点も発生すると推察される。そこで次にキノアを我が国で栽培する際のポイントについて述べる。



図-6 キノアの立枯れ (左) と倒伏 (右) の様子

キノアは一般的には冷涼な気候を好むと考えられているが、我が国では北海道から九州・沖縄まで栽培が可能である。関東でキノアを栽培する場合、播種は3月下旬から9月初旬頃まで可能であるが、南米の低緯度地帯で発達した Valley タイプのキノアは子実肥大に対する日長感応が極めて敏感で (Isobe *et al.* 2018), このタイプのキノアは開花期以降が長日条件になると子実肥大が順調に行われず極端な場合は収穫皆無になる。従って、Valley タイプのキノアは播種可能な時期が限定され、関東の場合8月以降に播種しないと多くの子実を得ることができない。キノアが生育できる土壌の pH は 4.5 から 8.0 で、比較的広い範囲の土壌 pH に対応できる (Bhargava and Srivastava 2013)。しかし、土壌の過湿に対しては弱く、降水量が多い我が国では特に出芽直後に土壌が過湿になると立枯れ (図-6) が発生する (磯部ら 2019)。また、その後の生育も地下水位が高いと生育が悪くなり、キノアの耐湿性はダイズやアマランサスよりも弱い (磯部ら 2005)。このようなことから、粘土質土壌など土壌水分が高くなりやすい所では、高畝や土壌改良材の施用などによって土壌水分を低下させる工夫が必要になる。キノアは茎の先端に大きな穂を形成するが、子実肥大期以降になると穂の新鮮重はかなり重くなり、生育後期に強風や激しい降雨があると倒伏が発生しやすい (図-6)。草丈の増加や

茎径の低下はキノアの倒伏発生を招くことから、過剰な窒素施肥と密植を避けることも重要である (Wang *et al.* 2021)。キノアは痩せた土地でも栽培可能であると考えられているが、実際キノアを栽培すると窒素、リン酸、カリを十分に施用しないと生育が不良になりやすい。例えば、窒素の場合、1ha 当たり成分量で 100kg 程度施用する必要がある (氏家ら 2002)。種子は極めて小さいので、播種深度や覆土には注意を払う必要がある。出芽不良にならないためには播種深度を 1cm ~ 2cm とし、播種深度が 5cm 以上になると出芽率は著しく低下する (磯部ら 2015)。キノアには様々な虫害が生じ、生育初期ではヨトウムシやネキリムシによって茎の先端が被害され、生育中期では様々な虫の幼虫が葉や若い茎を食害する。さらに、生殖生長期になるとアブラムシやカメムシによる子実の吸汁害が生じる。このような中、我が国ではキノアに対してはアトマイヤーフロアブルが唯一登録された農薬である。いずれにしても我が国でのキノア栽培の歴史はまだ浅いので、今後も我が国の環境下でキノアの栽培試験を繰り返して様々な角度から問題点を解決していく必要があると考える。

おわりに

今回紹介したようにキノアは他の植物にはない様々な特徴があり、高い可

能性を秘めていると考える。今から約 10 年の 2013 年に国連は将来的な社会情勢の中でキノアが食料供給や貧困削減において大きな役割を果たすと考え、この年を国際キノア年と定めている。その後、2017 年にはキノアの全ゲノム塩基配列が解読され (Jarvis *et al.* 2017), 世界的にみてもキノアの持つ機能性や特徴が重要視されていることを意味する。ただし将来的にキノアがイネやコムギのように世界的な主要穀物になるとは考えにくいだが、今後も世界各地で栽培されキノアの持つ機能が食料生産や環境修復で生かされ、さらに食生活をより豊かにして健康の維持と栄養改善に貢献することに期待したい。そのためにもキノアに関する様々な研究が今以上に盛んになり、この植物が持つ新たな可能性が見出されることを願う。

引用文献

- Ashraf, M.A. *et al.* 2021. ATP binding cassette proteins ABCG37 and ABCG33 function as potassium-independent cesium uptake carriers in Arabidopsis roots. *Molecular Plant* 14, 664-678.
- Bazile, D. and J. Negrete 2009. Quinoa y biodiversidad: Cuáles son los desafíos regionales? *Revista Geografica de Valparaiso* 42, 1-141.
- Bhargava, A. *et al.* 2005. Karyotypic studies on some cultivated and wild species of *Chenopodium* (Chenopodiaceae). *Genetic Resources and Crop Evolution* 53, 1309-1320.
- Bhargava, A. and S. Srivastava 2013. *Crop Production and Management. Quinoa Botany, Production and Uses*, 90-102.

- Broadley, M.R. *et al.* 1999. A method to assess taxonomic variation in shoot cesium concentration among flowering plants. *Environ. Pollut.* 106, 341-349.
- Cai, Z.-Q. and Q. Gao 2020. Comparative physiological and biochemical mechanisms of salt tolerance in five contrasting highland quinoa cultivars. *BMC Plant Biology* 20, 70.
- 塩拓磨ら 2006. キノアの栽培と機能性. 第60回日本栄養食糧学会講演要旨集, 229.
- 藤倉雄司ら 2009. キヌアは栽培植物か?—アンデス産雑穀の栽培化に関する一試論—. 国立民族学博物館調査報告 84, 225-244.
- 平野茂・小西洋太郎 2003. キノア種子の分画とその栄養成分. *日本栄養・食糧学会誌* 56, 283-289.
- 小西洋太郎 2002. 擬穀物アマランス, キノアの栄養特性とアレルギー代替食品への応用. *日本栄養・食糧学会誌* 55, 299-302.
- 小西洋太郎 2003. キノア種子の食品栄養学的特性. *雑穀研究* 18, 11-15.
- Koyro, H.W. *et al.* 2008. Salt Tolerance of *Chenopodium quinoa* Willd., Grains of the Andes: Influence of Salinity on Biomass Production, Yield, Composition of Reserves in the Seeds, Water and Solute Relations. *Mangroves and Halophytes: Restoration and Utilisation* 43, 133-145.
- Imamura, T. *et al.* 2020. A novel WD40-repeat protein involved in formation of epidermal bladder cells in the halophyte quinoa. *Communications Biology* 3, 513.
- 石井利幸 2010. 山梨県におけるキノア生産に向けた取り組み. *特産種苗* 8, 17-20.
- 磯部勝孝ら 2005. 高地下水位がアマランス, キノアの生育に及ぼす影響. *日作紀* 74, 298-303.
- 磯部勝孝ら 2014. キノアの発芽と初期生育における耐塩性の品種間差と作物間差. *日作紀* 83, 9-14.
- 磯部勝孝ら 2015. 土壌水分, 地温および播種深度がキノアの出芽に及ぼす影響. *日作紀* 84, 17-21.
- Isobe, K. *et al.* 2018. Effects of day length on pollen tube elongation, embryo formation, and seed development after flowering in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Seed Science Research* 28, 272-276.
- Isobe, K. *et al.* 2019. Effects of NaCl on Growth and Cesium Absorption in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Water Air Soil Pollut.* 230, 66.
- 磯部勝孝ら 2019. キノアの立枯れの発生原因と抑制法に関する研究. *日作紀* 88, 117-124.
- Jarvis, D.E. *et al.* 2017. The genome of *Chenopodium quinoa*. *Nature*, 542, 307-312.
- 宮原佳彦 2014. 農地除染用トラクタによる表土削り取り作業技術. *土肥誌* 85(2), 125-128.
- Morales, A.J. *et al.* 2011. Physiological responses of *Chenopodium quinoa* to salt stress. *Int.J.Plant Physiol.Biochem.* 3, 219-232.
- 大迫早苗 2006. キヌア添加によるスポンジケーキの食味特性. *相模女子大学紀要*. B, 自然系 70, 15-22.
- 大迫早苗 2013. 食料安全保障に果たすキノアの役割—栄養面からのアプローチ—. *国際農林業協力* 36, 6-11.
- Orsini, F. *et al.* 2011. Beyond the ionic and osmotic response to salinity in *Chenopodium quinoa*: functional elements of successful halophytism. *Functional Plant Biology* 38, 818-831.
- Risi, J. and N.W. Galwey, 1984. The *Chenopodium* Grains of the Andes: Inca Crops for Modern Agriculture. *Advanced in Applied Biology* 10, 145-216.
- 佐藤睦人 2014. ファイトレメディエーションによる放射性セシウム除去効果の検証. *土肥誌* 85(2), 136-137.
- Schlick, G. and D.L. Bubenheim, 1993. Quinoa: an emerging „new crop“ with potential for CELSS. NASA technical Paper 3422, 1-6.
- Shabala, L. *et al.* 2012. Oxidative stress protection and stomatal patterning as components of salinity tolerance mechanism in quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Physiologia Plantarum* 146, 26-38.
- 高尾哲也 1999. キノアの成分と生理活性物質 (特集 アマランスとキノア). *食の科学* 253, 52-58.
- 氏家和広ら 2002. キノア (*Chenopodium quinoa* Willd.) の栽培に関する研究 第1報 子実収量の品種間差. *日作紀* 72 (別1), 138-139.
- Wada, K. *et al.* 2020. Effects of NaCl application on cesium accumulation in the aboveground parts of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Water Air Soil Pollut.* 231, 552.
- Wang, N. *et al.* 2021. Evaluating quinoa stem lodging susceptibility by a mathematical model and the finite element method under different agronomic practices. *Field Crops Research* 271, 108241.

農薬の安全性と科学の不定性 (その2)

農薬用マスク・保護具研究会
内田 又左衛門

3. 科学の不定性とその対応

農薬の人への影響は実験動物を用いて評価するので、人への外挿すなわち種差の問題は、科学の限界の一つである。実際、科学的に明確にされた種差の例や比較代謝研究によるメカニズム解析の研究成果はたくさんある。毒性試験は OECD テストガイドラインによる方法での GLP (優良試験所基準) 準拠試験が採用され、農薬の人への影響が評価されている。ときおり、不確実性、多義性、無知に該当するような「科学の不定性」の問題指摘が起こり、もちろん定期的な見直しや追加もなされている。そして、これらの不定性の領域をカバーするために、不確実係数 (原則 100, 種差 10× 個体差 10) が用いられているわけで、実際的で可能な安全側のリスク管理がなされ、長年の実績もあり、目下、特段の問題がある訳ではない。

人へのリスク評価のためのハザード指標として許容一日摂取量 (ADI) や急性参照用量 (ARfD) があり、今後は農薬使用者暴露評価のための AOEL と AAOEL も設定される。リスク管理では、許容できる範囲内になるように管理されている。

他の試験としては、生活環境動植物への影響がある。これも、OECD テストガイドラインに基づいて実施された試験結果等を用いてリスク評価されている。生活環境動植物の指標種を対象としての評価であり、すべての環境中の動植物種に対しての試験は不可能である。したがって、ときおり OECD テストガイドラインに記載のない種を用いたり、違った試験方法でのデータが発表されたりする「科学の不定性」の問題が起こったりする。

科学的に「リスク」を把握できているのは一部だと指摘されている (図-5)。他に「不確実性」、「多義性」、「無知」の範囲があるというわけである

(中島 2017; 吉澤ら 2013; Stirling 2010)。「不確実性」には、個体差、動的開放系, エコシステム, 複雑系等が典型例になる。作物残留でのパラツキ等も統計学やサンプリング方法等で対応されているが、個体ごととなると散布ムラや個体差等による不確実性を伴う。「多義性」には、種差, 異なるメカニズムや毒性, 影響等が該当する。「無知」に該当する例は必然的に過去の例になるが、フロンの化学物質として半世紀も利用された後にオゾン層破壊物質として禁止になり、肉骨粉の給餌は BSE の発症とヒトへの感染に、DDT は衛生害虫防除での貢献でノーベル賞の対象になった後にレイチェル・カーソン女史等の指摘した残留性や生物濃縮の典型例になっている。今ではいずれもリスク管理の対象となり、許容できないモノは利用できないようになっている。

これらの不定性への対応としては図-6のように、科学的判断をベース



図-5 不定性マトリックス (中島貴子 2017, 吉澤剛・中島貴子・本堂毅 2013, Stirling, A. 2010)

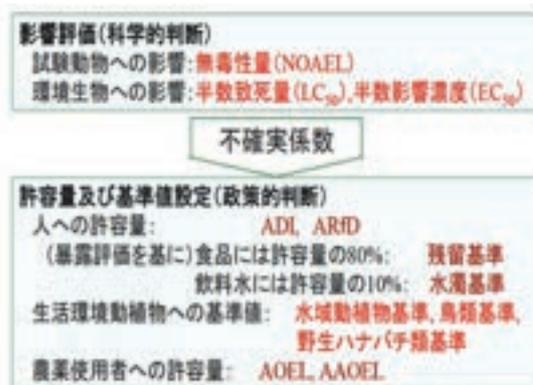


図-6 農薬の影響評価試験での科学的判断と政策的判断

に、不確実係数を用いて許容量や基準値の設定等の政策的判断がなされている。この政策的判断や考え方においては、人への影響では各国で共通しているが、環境影響等では異なることもある。また、残留基準が、国ごとで差があると週刊誌や書籍（奥野 2020）等で騒がれていたが、気候や栽培作物が異なり（したがって病害虫・雑草、それらの防除に用いる農薬の種類や使用方法が異なる）、さらに食べる物や食文化も違う（食品ごとの摂取量が違う）ので、実は「当たり前のこと」なのである。

たゆまない科学の進歩と科学者の努力の結果として、リスク判断できる範囲は広がってきている。例としては、家畜代謝・残留試験の追加、水産動植物の試験種の見直し（殺虫活性のある農薬原体でユスリカを必須に）等がある。直近では、ミツバチ影響試験の精緻化、生活環境動植物として従来の水域（水産動植物）に加えて水草や陸域の動植物（鳥類や野生ハナバチ）の追加がある。ここでは、我国の農薬学会や科学者の研究成果もおおいに貢献している。今の瞬間でも変わっている可能性がある。様々な研究から、新たなハザードやリスク、また異論や修正などの知見が得られていることも考えられる。最近でも、農薬の新たな知見や悪影響が指摘される例が散見され、ある意味での農薬の安全性に係る科学的根拠に不定性が生じている。これらを、むやみにマスコミ報道されると、一般市民の不安が生まれることになる。こ

れに対して、業界や科学者から、見解や反論が上がってくる時もある。彼らの立場や手法・内容によっては、不安を取り除くことができるが、ときには効果がないばかりか、かえって混乱の波を大きくするような事態になることもある。では、どのように対応すれば良いのであろうか。

重要なことは、新たなハザードやリスクの指摘があっても、従来のリスクが増大するわけではないことである。しかし、ファクトである以上、即、否定できるものでもない。ファクトは謙虚に受け止めて、指摘の意味を良く理解し、科学の場での議論あるいは科学的な対応への努力が、科学者として必要になると考える。農薬を専門とする人には、積極的に参画、解決に向けた努力を頂きたいところで、また農薬レギュラトリー・サイエンスの役割の一つではないかと考えている。

マスコミは単純に論文を引用し、科学者にインタビューし、それらを報道するだけであるが、結果として、当事者は多層化、複雑化した状況になる。反論や不用意なやりとりは、別の広報リスクとなり、かえって一般市民の関心を引き、不安を一層拡大させることになりかねない。実は、マスコミ報道になると、もう手遅れで、たとえ誤った情報であっても、その拡大は止められないので、できれば事前の対応が望まれる。マスコミには、しっかりとファクトチェックをして貰うようお願いし、日頃より必要な情報交換をすることが望まれる。

いずれにせよ、あるタイミングで、科学的判断、そして収集した知見・情報に基づく総合的判断、すなわち政策的判断がなされることが必要になる。大事なことは、科学的な判断と政策的な判断を混同せず、区別して考えることである。政策的な判断に係る指摘や異論は、科学では答えられないことが多いので、我国あるいは欧米等のそれらを参照して説明することが望ましい。次に説明する「再評価制度」は、政策的判断としての役割を果たすものとして期待している。

2018年の農薬取締法の改正で、安全性に関する報告義務と再評価制度が始まっている。報告制度では、農薬の製造者又は輸入者は、毎年10月10日までに、農薬の種類ごとに、製造又は輸入数量、譲渡数量等に加えて、新たに農作物等、人畜又は生活環境動植物への害の発生に関する情報、影響に関する研究報告、外国における登録の変更、取消し又は失効等に関する情報、安全性に関する情報を、農林水産大臣に報告しなければならないことになった。

再評価制度では、全ての農薬について、定期的に、最新の科学的知見に基づき安全性等の再評価を行う仕組みが導入された。改正法施行後に新規登録された農薬については、概ね15年ごとに、既登録農薬については、2021年度から優先度に応じて、順次再評価が実施される。最新の試験ガイドラインや科学レベルが採用されるので、再評価の結果、ハザード指標が見直され

表-1 再評価剤（官報掲載されたもの、2022年8月24日現在 農林水産省 HP:
<https://www.maff.go.jp/i/nouyaku/saihyoka/taisyounouyaku.html>）

年度	資料提出期限	有効成分名
2021年度	2021年12月28日	イミタクロプリト、クロチアニジン、チアマトキサム、チオベンカルブ(ベンチオカーブ)、チフルザミド、ブタクロール
	2022年3月31日	アセタミプリト、イソチアニル、グリホサートアンモニウム塩、同イソプロピルアミン塩、同カリウム塩、同ナトリウム塩、1,3-ジクロロプロペン(D-D)、ジノテフラン
2022年度	2022年6月30日	エスプロカルブ、フェンメディファム、フサライト
	2022年9月30日	フェリムゾン、プロスルホカルブ、ベントキサゾン
	2022年12月28日	キノクアミン(ACN)、フィプロニル、プレチラクロール、プロパモカルブ塩酸塩
	2023年3月31日	エチプロール、チアジニル、モリネート
2023年度	2023年6月30日	イソプロチオラン、カルボスルファン、プロピネブ、ベンゾビスシクロン、ベンフラカルブ
	2023年9月29日	アラクロール、MCPBエチル(MCPB)、トルクロホスメチル、メトラクロール、S-メトラクロール
	2023年12月28日	ブロモブチト、ホセチル、メタミロン、メチタチオン(DMTP)
	2024年3月29日	クロルピクリン、シアナジン、シハロホップチル、フェントラザミド、プロマシル
2024年度	2024年6月28日	アンバム、インタノファン、ジチアノン、シラフルオフェン、テトラコナゾール、トリシクラゾール、ピロキロン、ベンフルラリン(ベスロジン)
	2024年9月30日	カフェンストール、2,4-Dイソプロピル塩(2,4-PAイソプロピルアミン塩)、2,4-Dエチル(2,4-PAエチル)、2,4-Dジメチルアミン(2,4-PAジメチルアミン)、2,4-Dナトリウム一水化物(2,4-PAナトリウム一水化物)、テブフェンピラト、フルチアセットメチル、ヘキサコナゾール、メフェナセット
	2024年12月27日	オキサミル、チオファネートメチル、トブラメゾン、プロパルギット(BPPS)、ベノミル、ペンシクロン、メソトリオン
	2025年3月31日	シアントラニリプロール、タミノジット、ピラクロニル、ピリミジフェン、ブプロフェジン、プロベナゾール

たり、登録内容が変更、一部の適用作物や使用方法が取り消されたり、使用上の注意等も変わる可能性がある。従来の3年ごとの再登録時にも、必要な見直しや試験の追加等は実施されていたが、今回の原則15年ごとの再評価では全ての農薬が最新の科学で評価されることが重要なポイントである。時間と費用、さらには大変な手間暇をかけた「再評価」、その意義を理解することが重要である。

登録時に厳格な評価を受けており、こと安全性に関して「登録農薬は問題ない」との説明を聞く機会が多いが、厳密に言えば、評価の時点ではそうだというので、年月の経過と共に新たな知見あるいは反論なども出てきたりして、修正が必要であったり、不定性が蓄積しているかもしれない。また、登録用のデータ要求や試験ガイドラインが見直されたり追加されていることもある。再評価のタイミングで、これら

の全ての課題を解決できることになる。再評価を受ける農薬有効成分は、既に76剤(表-1)が官報告示され、資料を指定された期日までに提出することになっている。

おわりに、信頼と安心に向けて

国や都道府県等では、食の不安をアンケート調査している。国の食品安全モニターに対する調査結果をみれば(表-2)、ここ10年以上、有害微生物による食中毒が食の不安のトップとなっており、また「いわゆる健康食品」の高いリスクも理解が進み、近年では2～4位になっている。かつては食の不安の上位の常連であった「農薬」(2014年度以降は残留農薬として調査)の順位は、2010年度以降徐々に低下し、2015年度から表に載らなくなっていたが、2020年度に突然6位に復帰した。この年度には農薬(9→

6位)だけでなくかび毒(4→2位)、汚染物質(6→4位)、溶出化学物質(8→7位)等も順位があがっていた。表-2中の括弧内数値は「とても不安」と「ある程度不安」とする人の合計(%)であるが、2020年度には中でも「とても不安」の比率の増加が顕著で、2018年から2020年度への「とても不安」の変化を見ると、有害微生物(30.7→29.5→40.9%)、かび毒(15.5→11.7→28.9%)、汚染物質(13.8→12.7→29.4%)、溶出化学物質(13.2→11.9→17.1%)そして残留農薬(10.1→11.7→21.0%)となっていた。

農薬(あるいは残留農薬)への不安の長期的な変化を見ると(図-7)、上側に示した「まったく不安なし」が徐々に増えているが、2020年度でも10%程度でしかない。他方で、下側の「とても不安」は2004年度の44.7%から2段階で下降し、2015～17年度

表-2 食へのハザードごとの不安（食品安全モニター調査結果，食品安全委員会各HP：
https://www.fsc.go.jp/monitor/monitor_report.html より引用，数値％は「とても不安」と「ある程度不安」を合計したもの）

年度	1位	2位	3位	4位	5位	6位	7位
2021	有害微生物(食中毒)(80.5%)	かび毒(64.3%)	家畜用抗生物質による薬剤耐性菌(63.9%)	いわゆる健康食品(62.9%)	汚染物質(Cd,メチル水銀,ヒ素等)(61.4%)	アレルギー含有食品(60.5%)	放射性物質(54.9%)
2020	有害微生物(食中毒)(83.2%)	かび毒(72.5%)	いわゆる健康食品(60.5%)	汚染物質(Cd,メチル水銀,ヒ素等)(59.4%)	家畜用抗生物質による薬剤耐性菌(57.4%)	残留農薬(56.3%)	溶出化学物質(55.5%)
2018	有害微生物(食中毒)(86.7%)	家畜用抗生物質による薬剤耐性菌(66.9%)	いわゆる健康食品(64.9%)	かび毒(64.6%)	アレルギー食品(61.8%)	汚染物質(Cd,メチル水銀,ヒ素等)(60.9%)	放射性物質(54.0%)
2016	有害微生物(食中毒)(82.8%)	いわゆる健康食品(61.7%)	かび毒(61.5%)	家畜用抗生物質(59.1%)	放射性物質(56.5%)	アレルギー食品(55.7%)	汚染物質(Cd,メチル水銀,ヒ素等)(51.9%)
2014	有害微生物(食中毒)(78.5%)	放射性物質(64.1%)	いわゆる健康食品(64.1%)	残留農薬(58.8%)	家畜用抗生物質(55.4%)	汚染物質(Cd,メチル水銀,ヒ素等)(53.6%)	食品添加物(50.4%)
2012	有害微生物(食中毒)(79%)	放射性物質(74.2%)	汚染物質(Cd,メチル水銀,ヒ素等)(64.5%)	農薬(63.4%)	家畜用抗生物質(57.3%)	溶出化学物質(55.6%)	いわゆる健康食品(56.5%)
2010	有害微生物(食中毒)(76.4%)	農薬(68.1%)	家畜用抗生物質(62.8%)	汚染物質(Cd,メチル水銀,ヒ素等)(61.6%)	食品添加物(59.9%)	溶出化学物質(59.9%)	いわゆる健康食品(56.4%)
2008	有害微生物(食中毒)(75.3%)	汚染物質(Cd,メチル水銀,ヒ素等)(74.8%)	農薬(70.6%)	家畜用抗生物質(64.4%)	溶出化学物質(63.2%)	BSE(牛海綿状脳症)(62.5%)	体細胞クローン(59.2%)
2006	汚染物質(Cd,メチル水銀,ヒ素等)(88.4%)	農薬(82.8%)	有害微生物(食中毒)(80.6%)	家畜用抗生物質(77.3%)	BSE(牛海綿状脳症)(75%)	食品添加物(72.7%)	遺伝子組み換え(69.4%)

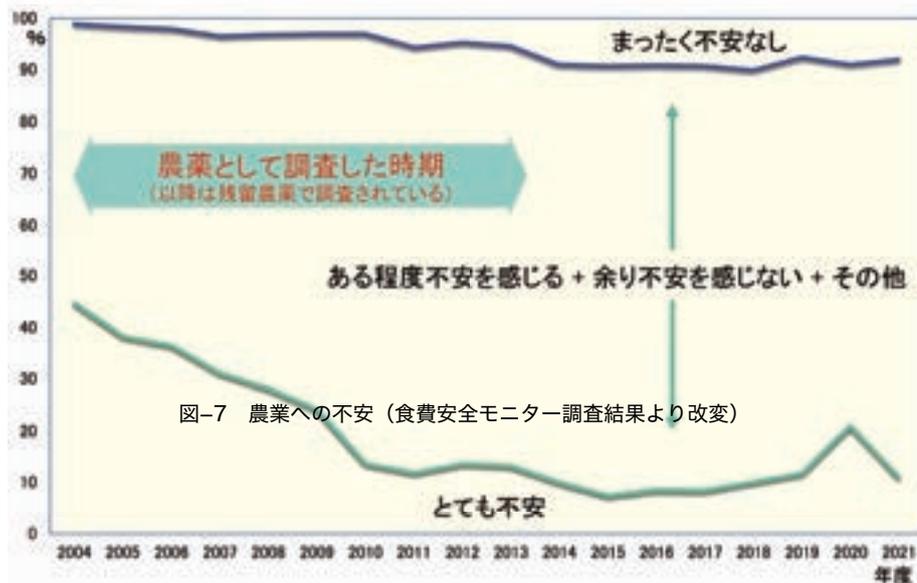


図-7 農業への不安（食費安全モニター調査結果より改変）

には8%程度になっていた。その後、微増の傾向にあったのが、2020年度に急に倍加している。2010年度への急降下の理由として、福島原発事故に

よる放射能への恐怖や懸念のために関心がそれたとの指摘もある（中谷内2015）が、この年度のアンケートはその前で、それまで実施されていた

中国冷凍餃子事件への集中的なリスクコミュニケーション等の結果ではないかと思われた。また、2013年度からの緩やかな下降は、アンケート対象を「農薬」から「残留農薬」に変えたことも理由となっているかもしれない。その後は、「とても不安」は根強く7～11%で推移していた。ところが、前述のように2020年度に急増し21%になったのであるが、「まったく不安なし」はほとんど変化なく、中央に示した「余り不安を感じない+ある程度不安を感じる+その他」がその分（10%）減少していた。何故だったのか？

正確なことは判らないが、同じように2020年度に「とても不安」が急増



図-8 「食の安全を科学で検証する」
(唐木英明 2021)

していた有害微生物、かび毒、汚染物質等と共通する原因があったように思われる。コロナウイルス禍の中で、食品安全モニターの方々の食への不安に対するリスク感覚が研ぎ澄まされたのであろうか。

最近発表された2021年度のアンケート調査結果では、残留農薬を「とても不安」とする人は再び元のレベルの11.1%に低下しており(図-7)、前年度の倍増は一過性で、「とても不安」の10%前後の推移はとても根強いものだと再確認でき、また有害微生物、かび毒そして汚染物質も、それぞれ29.9%、14.7%そして17.3%へと以前のレベル近くに下がっていた。

2020年には、週刊誌に「食」と「病」特集で3か月(3/19号から6/18号までの連載)に及ぶ連載があり、「農薬の安全性」や「科学の不定性」の話題が取り上げられ、これらの記事をまとめた新書も刊行された(奥野2020)。また、この週刊誌記事に対して、新聞「農村ニュース」紙上に2020年5月から10月まで19回に渡って寄稿された記事「食の安全を科学で検証する」が掲載され、まとめた冊子も翌年に発行されている(唐木2021, 図-8)。これは科学的な説明と

表-3 科学技術を評価する際に重視する点
科学技術のリスク認知に及ぼす情報環境の影響(小杉素子・土屋智子, 2000より)

国・企業等の信頼性	0.714	0.363	0.431
経済的貢献可能性	0.340	0.584	0.803
技術的コントロール可能性	0.469	0.876	0.890
社会的管理規制能力	0.531	0.272	0.448
社会的必要性	0.887	1.993	2.136
生じうる事故の規模	0.276	0.162	0.119
責任の所在	0.545	0.162	0.169
事故の発生確率	0.434	0.123	0.189
科学技術の完成度	0.473	0.454	0.269
結果の予測可能性	1.253	0.558	0.355

共に、海外などでの政策的判断も交え不定性や疑問点等を解説するもので、第三者的立場からの検証と見解であった。結果としては週刊誌記事等の懸念するような影響は見られなかったのではと考えている。

一般市民と専門家の科学技術を評価する際に重視する点を調査した研究がある(表-3)。これによると、専門家(研究対象はバイオや原子力関連であった)は、科学技術の社会的必要性をとっても重視するが、生じ得る事故の規模、責任の所在、事故発生確率の比重が極端に低く、他方で、一般市民は結果の予測可能性を最重視し、社会的必要性、そして国や企業への信頼性の順となっていた。両者間に大きなギャップがあり、社会的な合意、専門家への信頼のためには、一般市民の意見等も踏まえた双方向コミュニケーション等が必要だと結論である。

企業等が何故信頼されないのか? いろんな研究者の指摘が参考になる。これらをよく理解して初めて、相互信頼を醸成できるのではないかと思う。信頼のためには、コンプライアンス確保が基本だと言われる。コンプライアンスとは法令遵守と誤解している人が多いが、正しくは法令だけでなく、社会規範や組織・業界・社内ルール等の遵守も含み、これをトップが宣言して取り組むことである。そのポイントは二つで、一つ目は「他者への共感と権威の監視」である。このいずれかが欠け

ると、コンプライアンス確保が難しい組織になると弁護士の指摘もある。

もう一つは科学技術者の倫理と考える。これは専門家や科学技術者の信頼の基盤であろう。研究開発では、科学技術者が、農薬の安全性、リスク等を科学的に判断する。それらが登録申請データとして提出され、政策的判断されて登録されているのが農薬である。このときには当然、科学者や技術者は、危害防止、公衆や環境への配慮、そして公衆の福利を最優先している。また、農薬業界や化学業界は、製造・輸送・使用・廃棄の各段階へのレスポンシブル・ケア(責任ある配慮、Product Stewardshipとしての業界活動等)の取組みも推進している。このような事実を一般市民に知ってもらうと信頼は高まると思う。

企業は営利団体で、ときには利益相反があり、信頼のためには第三者によるリスクコミュニケーションが重要である(木下2015)。さらに、企業と社会は情報非対称である。すなわち、情報には公開と非公開があり、企業による選別も一般市民の関心事(都合の悪い情報は隠してないか、あるいは、積極的に開示しない例はあるのか、等)になるようである。

農薬のリスクコミュニケーションにおいて指摘されることは、一般市民は農薬のベネフィットを実感できないため、その必要性を感じられず、だから使用しない方が良いと安易に考える

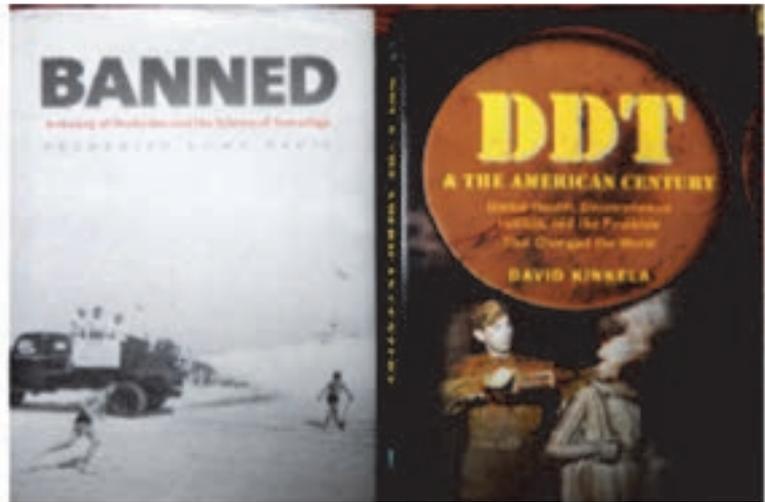


図-9 「BANNED」(Davis, F. R. 2014)と「DDT」(Kinkela, D. 2011)の表紙
(DDTを散布している写真が掲載)

傾向があることである。また、安全の科学的根拠は難しく一般市民は理解できない。知識が欠如しているから理解できないのであれば、それを提供しようとする「欠如モデル (deficit model)」が長く採用されているが、早くから限界があることが指摘されており、ことごとく失敗に終わっているのではともいわれる。その中でときおり、マスコミが煽動するので、農業への不安は依然解消しないのかもしれない。だから、マスコミへの情報提供や理解への努力がとても大事だということになり、それゆえ、食品安全委員会や農業工業会等はマスコミ向けセミナーも開催している。

その後に改良された「効果的なリスクコミュニケーション」(Arvai and RiversIII 2014), その継続で信頼の醸成が期待されている(内田 2015)。効果的なリスクコミュニケーションのためには、対象者と狙い(内容)を明確にすることが必要である。すなわち、欠如モデルのような単純な teaching ではなく、特に社会的なリスクに対しては、相手の価値観や感情を大切にしたい傾聴から始まる双方向そして話し合えるコミュニケーションにすべきとのことである(Arvai and RiversIII 2014; 吉川 2022)。一般市民の場合、食の不安やオーガニック志向等は、情報不足や非対称だけでなく、文化や主義主張(原理)に根差したもの、ときには流行の反映等もあるかもしれない(リスクの考え方は時代、文化、社会で異なることもある)。科学的なリス

クコミュニケーションで、これらの文化論的な認識のギャップを埋めることはできないが、情報提供や疑問に答えて共考することは意義がある。信頼構築と心理的距離の短縮は重要である。できるだけ具体的に、身近な事柄として、近未来あるいは現在事象で語ることが薦められる。農業のリスクは不確実性や曖昧性(多義性)、そして無知の範囲を含むものもあるので、真摯な態度と他者への共感そして権威の監視といったコンプライアンス確保への姿勢も信頼構築に重要であろう。

これまで、DDTなどの塩素系殺虫剤や、毒性の強い有機リン剤等を使用禁止にしてきた。米国には、そういった禁止された農業を解説した成書がある(図-9)。その表紙には、DDTを人に直接噴射している写真がある。当時では、これが常識であったのだ。

我国では、27 剤が販売・使用禁止農業として農林水産省のHPに掲載されている。多くはPOPs(残留性有機汚染)物質で、他に急性毒性が強いもの、催奇性、発がん性あるいはダイオキシン含有のもの等である。また、FAMIC(独立行政法人農林水産消費安全技術センター)ホームページには、登録失効農業のリストがあり、有効成分で500を超え、製剤だと20,000以

上になっている。最近の失効製剤のほとんどには、その理由(販売量の低下、経済的な事情等)も記載されている。

今、農業に不安を覚えている方々のほとんどは過去の事実やイメージを引きずっているのではないと思われる。だとすれば、過去を抜きにして農業の今を理解するのは難しいことになり、今後の農業に関するリスクコミュニケーションでは、そこから相手の立場にたって疑問に答え、共考するようにしていけば共通理解や信頼関係が生まれてくるのかもしれない。

「科学の不定性」に対する一つの回答、「科学的判断」に基づく「政策的判断」を得る機会としての再評価に期待している。しかし、どんなに良い制度でも、その運用次第であり、しっかり注視することが必要であろう。また同時に、計画と現実の乖離が見られた欧米の先行例もあるので、膨大な作業を伴う再評価の中で、出てくるであろう課題に対して臨機応変の対応が重要になるのかもしれない。

最後に皆様へのお願いは、とかく誤解され不安がられている農業である。農業の正しい理解の輪を、身近な方々から順次広めていただければと思っています。

(以上、シニア・リスクコンサルタ

ントとして所属団体等で活動，そこの学びや経験を踏まえて今春の日本農業学会大会（岡山）「レギュラトリーサイエンス講演」（内田 2022），その内容にその後の情報を追記した。）

参考文献等

Arvai, J. and L. Rivers III 2014, “Effective Risk Communication”(Routledge)
Davis, F.R. 2014. BANNED-A History of Pesticides and The Science of Toxicology. Yale University Press
唐木英明 2021. 「食の安全を科学で検証す

る」. 国際農業社.
Kinkela, D. 2011. DDT & The American Century. The University of North Carolina Press
木下富雄 2015. 「リスク・コミュニケーションの思想と技術」. ナカニシヤ出版.
小杉素子・土屋智子 2000. 「科学技術のリスク認知に及ぼす情報環境の影響」(財)電力中央研究所報告 Y00009(2000)
中島貴子 2017. 科学の不定性に気づき、向き合うとは. 「科学の不定性と社会」(本堂毅ら編). 第7章 pp.107-121. 信山社
中谷内一也 2015. 「信頼学の教室」. 講談社現代新書
奥野修司 2020. 「本当は危ない国産食品」.

新潮新書 886
Stirling, A. 2010. Nature 468: pp.1029-31.
内田又左衛門 2015. 「農業に関するリスクコミュニケーション」, 月刊フードケミカル. 2015年12月号 pp.28-34.
内田又左衛門 2022. 日本農業学会第47回大会(岡山)講演要旨集 p.22.
吉川肇子 2022. 「リスクを考える」. ちくま新書 1661
吉澤剛ら 2013. 科学技術の不定性と社会的意思決定. 「科学者に委ねてはいけないこと」(尾内隆之・調麻佐志編). pp.93-100. 岩波書店

田畑の草種

待宵草 (マツヨイグサ)

(公財)日本植物調節剤研究協会
兵庫試験地 須藤 健一

竹久夢二は上げ潮にのって次々と小画集を刊行していた。そんな夢二が元気であった明治の終わり頃の8月、夢二は犬吠埼の宮下旅館に避暑旅行に来ていた。そこで、たまたま夏休みで、旅館の隣家に遊びに来ていた秋田出身の少女「賢」と出会った。賢は夢二より八つ年下であったが文学少女で、姉もお茶の水女子師範出であるなど、才媛姉妹の妹であった。夢二にとって日が暮れるまで海岸を散歩しながら賢と語り合うのは心の惹かれる時であった。賢にとっても淡い初恋であった。

夏が過ぎ、夢二は東京へ戻り、賢も犬吠埼を離れた。賢が夢二と会っていたことを知った父親は賢の結婚を急がせた。夢二は翌年もまた賢に逢えるだろうと訪れた犬吠埼で、賢が嫁いだことを知り、自らの失恋を悟った。日暮れまで待ってもいつまで待ってももう来ることのない賢を想い、夕刻になってやっと咲き始め、朝には萎んでしまう「宵待草」のように心もとなく、想うまいと思つて涙があふれる、今夜は十七夜月だというのにその月も出そうもない、そんな思いが夢二の口をついて出たの

が「宵待草」の三行詩であった。

「待てど暮らせど来ぬ人を 宵待草のやるせなさ 今宵は月も出ぬさうな」

この詩に多忠亮が曲をつけ、大正ロマンの代表曲となった。

「宵待草」という種はなく、竹久夢二の「宵待草」はマツヨイグサ属の一種と考えられ、マツヨイグサかオオマツヨイグサと考えられる。

マツヨイグサはアカバナ科マツヨイグサ属の二年草。本州以南の河原や砂浜、鉄道路線沿いや路肩など、荒地や人為的に攪乱されたような環境を好んで生える。茎は直立し背丈は30cmから1m。葉は線状披針形で、花は上部の葉腋につく。花弁は広倒卵形で先端が凹んだハート形。夕方に大きさ3cm～5cmの黄色い花を咲かせ翌朝には黄赤色に変わって萎む。原産地は南米で幕末に観賞用として渡来したが、少し遅れて導入されたオオマツヨイグサやメマツヨイグサに取って代わられつつある。

ムダ平野の水稲直播と 雑草の出芽消長

公益財団法人日本植物調節剤研究協会
技術顧問

渡邊 寛明

はじめに

1992年8月から正式に長期派遣となった私の最初の仕事はムダ平野の雑草調査だった。ムダ灌漑地区は大きく4つ(第1～4灌漑地区)に分けられ、それぞれの灌漑地区の中で用排水路に沿った区番が割り当てられている。MADAの熱研チームが直播技術の改善を目的に試験を行っている水田がアロースターの北東に位置する第2灌漑地区の区番ACRBD4にあり、そこには我々がシルバーハウスと呼んでいた調査と資材保管のためのトタン屋根の小屋が建てられていた。私もそこで雑草防除試験に取り組むよう勧められたが、ムダ平野全体の雑草問題を把握しなかったため、まずはそのための調査に取り掛かった。今回は当地での直播栽培と雑草防除について概説し、雑草の発生状況をどのように調べようとしたのかについて書こうと思う。

マレーシアの直播栽培と雑草防除

用排水路が整備された灌漑地区での直播栽培は、代かき後の湿潤土壌表面に水稲の催芽籾を播種する湿土直播栽培である。播種後は水稲の出芽を促すために落水(潤土)状態を保ち、苗立ち後に湛水する。水稲播種後の雑草発生は多く(図-1)、一年生のイネ科雑草であるイヌビエ(*Echinochloa crus-galli* (L.) P.Beauv.)やアゼガヤ(*Leptochloa chinensis* L.)の発生が特に多い。これを防除できないと水稲が雑草との競合に負けてしまう。反対に、これをうまく防除できれば水稲実生の出芽と生長が早いため、2週間もすると田面を覆って雑草を抑えるようになる。熱帯アジアで直播栽培が普及していることに関して、帰国後に多くの水稲栽培の関係者から質問を受けた。熱帯では雑草の繁茂が旺盛なので、日本よりも雑草防除は難しいと思われるのにどうして直播がうまくいくのか、といった疑問である。播種後1～2か月あるいはそれ以上もの長期間にわたって水稲が田面を覆わない日本とは違い、高い播種密度(乾籾60kg/ha以上)と速やかな初期生育により田面が素早く覆われる。そのため、播種後の要防除期間はとても短い。その点では、熱帯アジアでの雑草防除は日本よりもずっと楽である。もちろん初期防除は必須で、直

播栽培では特にイネ科雑草の防除が重要であるとMADAは農民に指導していた。具体的には、安定した湛水管理が可能な水田ではプレチラクロール乳剤(商品名:Sofit)やモリネート粒剤(商品名:Ordram)といった水稲に対する安全性が高い初期除草剤の使用が推奨され、湛水管理が難しく水の状態が不均一な水田ではベンチオカーブ・プロメトリン乳剤(商品名:Satunil)が使われていたようだ。モリネートはアゼガヤに対して効果が不十分だったことや魚毒性があることからその後あまり使用されなくなったが、ペンシルフロメチルとその混合剤(商品名:Londax, Sindax)、ピラゾスルフロンメチル(商品名:Sirius)等のALS阻害剤が水稲出芽後に散布する除草剤として普及し始めていた。

生育期の雑草防除には長年2,4-Dが使われてきたが、直播栽培では初期防除で枯殺できなかったノビエの生育期防除には、当時普及し始めたACCase阻害剤であるフェノキサプロップ-P-エチル(商品名:Whip-s)の使用が指導されていた。しかしながら、まだこの剤の使用に農民たちが慣れていなかったのかもしれないが、現場では水田内で大きく育ったイヌビエ群落に他のイネ科剤(セトキシジム)が散布され、周辺の水稲とともに黄色く枯れてゆく雑草の光景を見かけたこともある。これにはさすがにMADAのHo Nai Kinさんも驚いていた。水稲に対する悪影響よりもイヌビエ防除を優先させたものであろうが、当時はMADAの普及指導が末端まで行き届いていなかったのかもしれない。当時、シハロホップブチルやビスピリバックNa塩はMARDIで試験中であり、



図-1 入水前に多発する水田雑草(イネ科雑草の多くはアゼガヤ)



図-2 イヌビエが繁茂した水田



図-3 アゼガヤが繁茂した水田



図-4 カヤツリグサ科多年生雑草のオオサンカクイ

ムダ平野でこれが広く使われるのはもう少し後になる。

調査研究のスタート

チームリーダーの諸岡さんから調査用の事業用車トヨタ・コロナを使わせてもらい、調査補助として雇ったマレー系の若い Nazarudin 君の運転で毎日ムダ平野を走りまわった。本誌 30 巻にも書いたが、最初の印象は雑草の多さだった。ある水田では一面イヌビエが生い茂っているかと思えば (図-2)、他の水田ではアゼガヤで覆われており (図-3)、また別の水田ではヒデリコ (*Fimbristylis miliacea* (L.) Vahl.) がびっしり生えている。1 筆の水田に問題となる雑草は 1 種だけという水田もあれば、いろんな雑草が競うように繁茂している水田もある。シーズンが変わればその様相も大きく変わり、前作では多年生カヤツリグサ科のオオサンカクイ (*Actinoscirpus grossus* (L.f.) Goetgh. et D.A.Simpson) が繁茂していた水田 (図-4) が次作ではオオサンカクイは全くみられずイヌビエが繁茂していたりする。どこから手をつけてよいのか、どこに重きを置いてよいのか分からないというのが、ムダ平野で調査を始めて最初の一年間の実感であった。最初のころは Ho さんの案内で彼が注目している特異的な雑草繁茂の状況を見て回ることが多かった。Ho さんは前任の伊藤さんのカウンターパートだったが、私には若い Md.

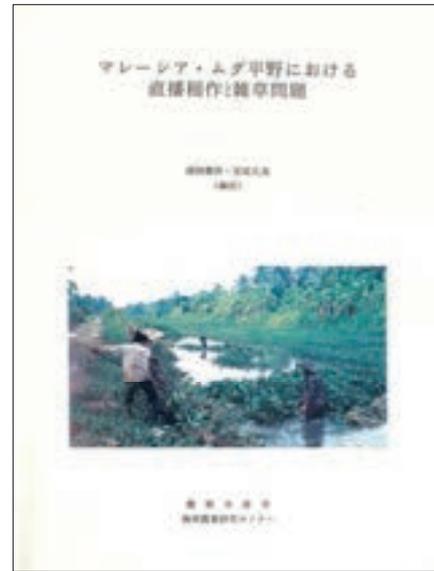


図-5 熱研資料 No.91

Zuki Ismail さんが良いだろうと推薦され、その後は彼と議論することが増えた。それでも、Ho さんから得られる情報はとても豊富で、この地における稲作と雑草防除の変遷を理解するうえで大変に役立った。私と Nazarudin 君の二人で田んぼを見て回っているだけだったら、この雑草繁茂の状況を頭のなかで整理することは難しかっただろう。また、諸岡チームリーダーと安延久美さんによりまとめられた「マレーシア・ムダ平野における直播稲作と雑草問題」(図-5)という調査報告書の翻訳の原稿を見せていただいたことも、当地の状況を知る上で大いに役だった。

雑草の出芽消長

特に雑草の発生が多いとされた地区に絞って、雑草の動態を知るための定点調査を行うことにした。第 3 灌漑地区 2 か所と第 4 灌漑地区 3 か所の計 5 か所に調査水田を定め、1992 年の第二作に水稻播種後に調査枠を設置し、雑草の草種別発生数を毎週調査した (図-6)。最初はどんな草が出てくるのか分からず、MADA のスタッフやアシスタントも実



図-6 ムダ平野の定点調査水田に設けた調査枠の一例



図-7 MADAのスタッフやアシスタントのNazarudin君(右端)と一緒に調査を始める

生での種同定は初めてだったので、時間をかけての予備調査となった(図-7)。それでも1年間(2シーズン)の試行的調査により、2年目以降はアシスタントのNazarudin君一人でも実生での草種識別ができるようになった。1993年第二作からは本調査とし、1995年第一作までの4シーズンの雑草調査を行った。その結果を図-8に示したが、水稻の出芽は播種後5~15日で、ほとんどの水田では2週以内で出芽を終えた。ヒデリコとアゼガヤも10~20日と比較的早く出芽したが、作期や水田により播種後40日近くかかる場合もあった。湛水により出芽が促されるコナギは、出芽のスタートがヒデリコやアゼガヤよりも少し遅れ、播種後40日以上出芽が継続する場合もあった。潤土直播栽培での雑草の初期防除は水稻出芽前後の初期剤散布である。水田の灌漑水

の状況により水稻と雑草の出芽消長に若干の違いがあるものの、水稻が数日中に出芽する水田では雑草防除が容易であることがうかがえる。

次に、第3灌漑地区の11枚の水田を選定し、1993年第二作から1995年第一作までの4作期、除草剤散布前の雑草出芽数と水稻出穂後に残存した雑草個体数を草種ごとに調べた。それぞれの作期で、雑草が何本出てきて最終的に何本残るのかを知るための調査である。除草剤散布前の調査は水稻播種後20日頃までに行ったので、その後出芽する雑草はカウントされない。したがって、厳密にはこの調査本数は当該作期の総出芽数を正確に示しているわけではないが、総出芽数の傾向を示すデータとした(表-1)。イヌビエやアゼガヤといったイネ科雑草は水田により出芽数に大きな違いがあり、どう

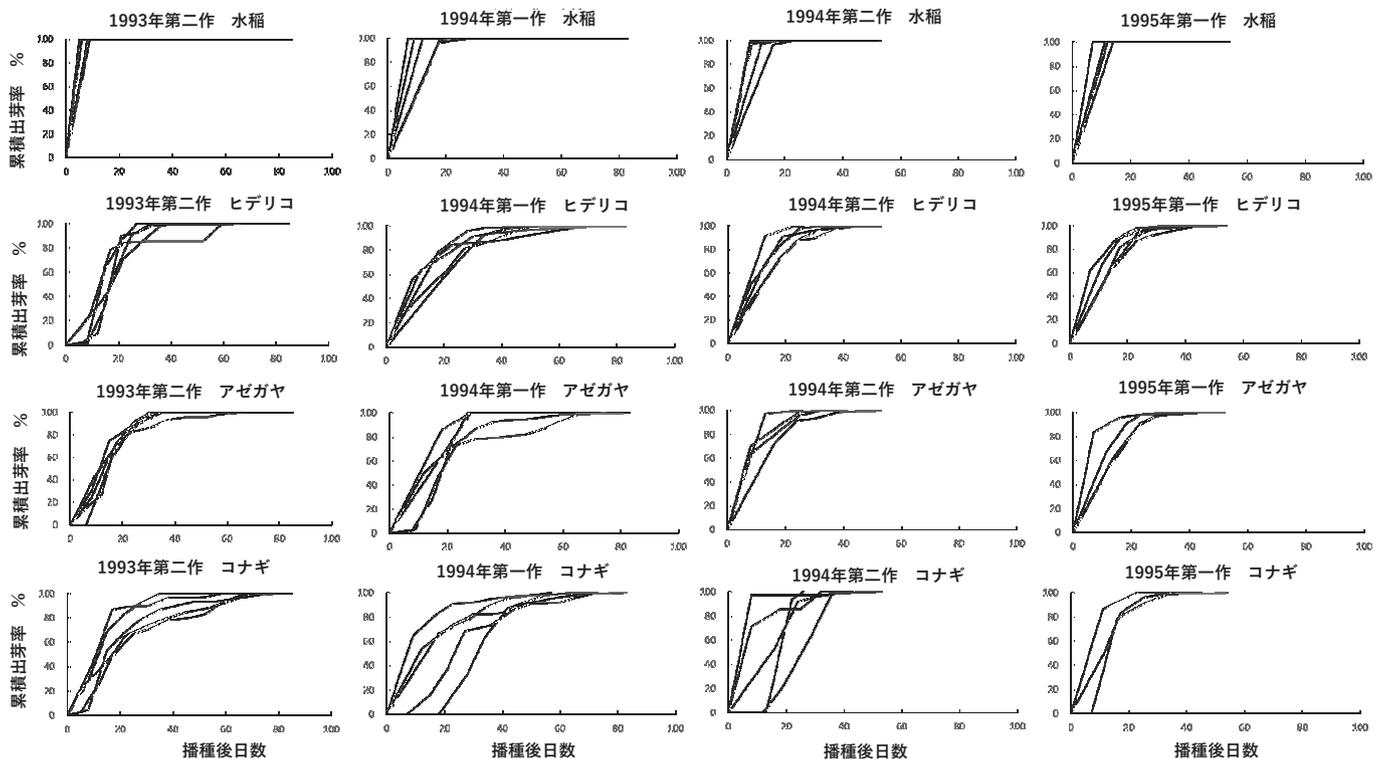


図-8 ムダ平野の直播水田における水稻および一年生雑草(ヒデリコ、アゼガヤ、コナギ)の出芽(Watanabe *et al.* 1996より)
 注) 雑草が多発する5枚の水田を対象に、水稻播種後の出芽数の推移を調査した。
 いずれの水田でも、1993年第二作(雨季作)から1995年第一作(乾季作)まで潤土直播栽培を継続実施。

表-1 ムダ平野の直播水田*で種子から出芽する水田雑草の発生数**と残存数*** (いずれも本数/m²)

雑草種	水田	1993年		1994年		1995年		雑草種	水田	1993年		1994年		1995年		
		第二作 (雨季作)	第一作 (乾季作)	第二作 (雨季作)	第一作 (乾季作)	第二作 (雨季作)	第一作 (乾季作)			第二作 (雨季作)	第一作 (乾季作)	第二作 (雨季作)	第一作 (乾季作)	第二作 (雨季作)	第一作 (乾季作)	
イヌビエ、ヒメタイヌビエ コヒメビエ	A	2 (0)		24 (1)		0 (0)		その他カヤツリグサ科雑草	A	146 (9)		290 (59)		347 (12)		290 (8)
	B	8 (1)		0 (0)		0 (2)			B	78 (22)		245 (39)		923 (6)		226 (6)
	C	80 (0)		31 (0)		0 (1)			C	38 (6)		238 (5)		601 (8)		418 (11)
	D	12 (1)		0 (0)		0 (1)			D	150 (12)		246 (7)		144 (5)		360 (4)
	E	0 (2)		11 (2)		0 (4)			E	50 (6)		290 (5)		163 (2)		14 (1)
	F	23 (1)		19 (0)		0 (2)			F	18 (16)		95 (4)		119 (2)		28 (2)
	G	47 (0)		31 (1)		0 (0)			G	146 (2)		334 (4)		458 (3)		324 (3)
	H	44 (1)		0 (1)		0 (0)			H	59 (21)		469 (25)		68 (4)		94 (2)
	I	142 (8)		15 (1)		0 (0)			I	2 (0)		84 (3)		75 (4)		88 (2)
	J	14 (0)		0 (0)		0 (0)			J	10 (2)		78 (6)		61 (4)		184 (5)
	K	33 (2)		0 (0)		0 (2)			K	27 (2)		39 (2)		23 (1)		46 (5)
アゼガヤ	A	0 (0)		8 (0)		8 (0)		コナギほか****	A	55 (7)		93 (0)		62 (0)		134 (0)
	B	15 (1)		21 (0)		23 (0)			B	46 (8)		599 (0)		442 (8)		126 (4)
	C	443 (27)		276 (6)		445 (9)			C	2 (9)		0 (1)		50 (8)		46 (4)
	D	7 (0)		18 (0)		6 (0)			D	187 (16)		338 (6)		118 (4)		54 (3)
	E	3 (2)		60 (1)		95 (3)			E	44 (28)		105 (1)		6 (0)		6 (0)
	F	2 (0)		103 (0)		29 (1)			F	41 (5)		8 (4)		21 (1)		34 (2)
	G	0 (0)		82 (0)		73 (0)			G	0 (0)		2 (0)		20 (0)		5 (0)
	H	2 (0)		0 (0)		14 (2)			H	17 (11)		38 (1)		27 (11)		40 (10)
	I	34 (0)		50 (0)		14 (0)			I	14 (9)		17 (0)		6 (0)		45 (0)
	J	5 (0)		6 (0)		7 (0)			J	3 (2)		0 (4)		6 (0)		0 (2)
	K	0 (0)		9 (0)		14 (0)			K	12 (11)		0 (1)		9 (5)		6 (5)
ヒデリコ	A	139 (27)		309 (4)		320 (4)		タゴボウモドキ	A	40 (3)		440 (0)		222 (0)		240 (0)
	B	1,387 (69)		2,384 (12)		702 (0)			B	46 (17)		82 (5)		725 (0)		813 (0)
	C	754 (47)		1,266 (13)		1,076 (4)			C	6 (21)		254 (10)		437 (0)		423 (1)
	D	3,074 (29)		1,733 (6)		308 (1)			D	51 (0)		81 (4)		62 (1)		59 (2)
	E	662 (30)		1,364 (25)		1,620 (10)			E	972 (17)		288 (0)		214 (0)		60 (1)
	F	1,556 (73)		1,381 (14)		129 (2)			F	70 (20)		136 (12)		135 (0)		136 (0)
	G	1,702 (11)		2,023 (13)		422 (15)			G	622 (0)		262 (0)		301 (1)		202 (2)
	H	570 (29)		990 (25)		262 (6)			H	362 (10)		169 (5)		102 (2)		138 (3)
	I	441 (8)		512 (5)		1,500 (0)			I	26 (4)		286 (2)		56 (0)		102 (1)
	J	250 (7)		284 (4)		634 (4)			J	2 (2)		95 (1)		105 (3)		122 (3)
	K	260 (12)		147 (1)		76 (1)			K	79 (3)		83 (0)		204 (5)		319 (4)

注) * ムダ平野の第3灌漑地区で1993年第二作から1995年第一作まで潤土直播栽培を行っていた11枚 (A~K) の水田で調査した。

** 発生数 (表中実数) は雑草防除が行われる水稲播種後20日頃までに調査した。

*** 残存数 (表中括弧内) は水稲出穂後に調査した。

**** 「その他カヤツリグサ科雑草」には、コゴメガヤツリ、タマガヤツリ、イヌホタルイ、*Scirpus articulatus*、*Fimbristylis dichotoma*などが含まれる。

***** 「コナギほか」には、コナギの実生と識別できなかったナンゴクオモダカが僅かに含まれる。

(Watanabe et al. 1996 より)

いうわけかイヌビエは1994年以降ほとんど出芽しなかった。一方で、ヒデリコやコナギなどカヤツリグサ科雑草や広葉雑草の出芽数はどの水田でも多く、作期による出芽数の違いはあまり明瞭ではなかった。各作期における雑草の残存個体数は表中の括弧内の数字で示されているが、発生数が極めて多かったヒデリコ等のカヤツリグサ科雑草や広葉雑草で少し目立った程度で、イヌビエやアゼガヤはほとんど残存しなかった。調査対象であった11枚の水田は、いずれも雑草防除がうまくできていた水田だったと言える。1994年第二作以降はイヌビエがほとんど出芽しなかったのは、雑草防除の時の成功により本種の種子生産を防止したためと考えられる。一方で、

アゼガヤに関しては、残存個体数がほとんどなかったにもかかわらず、毎年多数の発生が見られた。同じ一年生イネ科雑草であるがそれらの量的推移は大きく異なっていた。

残草と種子生産

イネ科雑草の種子生産量を調べることを目的に、1992年第二作にイネ科雑草多発水田を選定して、草種ごとの残存個体数と残存個体に着生していた小穂の数を調査した。調査した水田の数は、イヌビエ多発水田が7枚、ヒメタイヌビエ多発水田が7枚、アゼガヤ多発水田が12枚である。水稲が210~350本/m²の密度で生育しているなか、タイヌビエ多

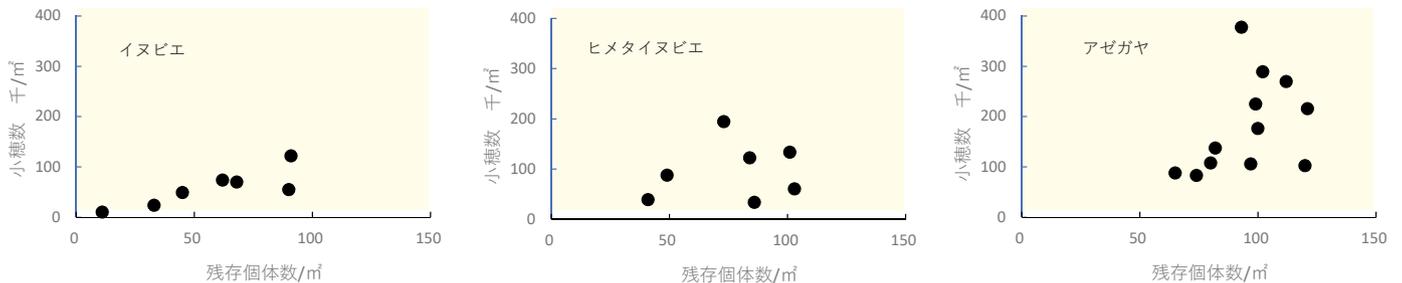


図-9 ムダ平野の直播水田における一年生イネ科雑草 (イヌビエ、ヒメタイヌビエ、アゼガヤ) の残存個体数と種子生産量 (Watanabe et al. 1996 より)

注) 1992年第二作 (雨季作) に、水稲出穂期以降にイネ科雑草が多数残存している水田で残存個体数と個体あたり小穂数を調査し、単位面積あたりの小穂数を試算した。調査水田は、イヌビエ7枚、ヒメタイヌビエ7枚、アゼガヤ12枚。

1小穂当たりの稔実種子数は、イヌビエとヒメタイヌビエは1粒/小穂、アゼガヤは2~4粒/小穂であった。

発水田の本種の残存個体数は11～91本/m²、ヒメタイヌビエ多発水田での残存本数は41～103本/m²、アゼガヤ多発水田での残存本数は65～121本/m²であった。これらの残存個体を採取して着生小穂数を調査したところ、イヌビエの小穂数は871～1,337/個体(1～12万/m²)、ヒメタイヌビエは393～2,660/個体(3～19万/m²)、アゼガヤは850～4,058/個体(8～38万/m²)であった(図-9)。イヌビエとヒメタイヌビエは1小穂が2穎花から成りそのうち稔実種子となるのは1穎花だけなのに対し、アゼガヤでは1小穂が5～7穎花が着いており、そのうち2～4穎花が稔実して種子となる。以上よりこれらイネ科雑草の単位面

積当たりの種子生産量を試算すると、イヌビエやヒメタイヌビエはm²当たり10～20万粒、アゼガヤではm²当たり数十万粒といった膨大な数となる。毎年きれいに防除された水田でも毎年アゼガヤが多発するのは、蓄積された多量の埋土種子からの発生によるものと思われる。

参考文献

- 諸岡慶昇・安延久美 1993. マレーシア・ムダ平野における直播稲作と雑草問題. 熱研資料 No.91, pp.159.
 Watanabe *et al.* 1996. Ecology of major weeds and their control in direct seeding rice culture of Malaysia. JRCAS/MARDI/MADA 共同研究報告書. p1-202.

統計データから

2022 世界の人口 国別ランキング

国連人口基金 (UNFPA) は 7 月 11 日の世界人口デーに合わせて、2022 年版の世界人口白書 (State of World Population) を発表した。UNFPA は WHO と同じく国連の 1 機関で、主に人口分野を担っている。これによると、2022 年の世界の総人口は 79 億 5,400 万人で、前年から約 7,900 万人増加している。

人口が最も多い国は中国で約 14 億 4,850 万人、前年から約 430 万人の増加。次いで、インド、アメリカがトップ 3 で、上位の 10 ヶ国は前年と同様で、大きな変動はない。人口が 1 億人を超えている国は 14 カ国で、何れベトナムも 1 億人を超えると予想される。

日本の人口は約 1 億 2,560 万人で世界 11 位、前年より約 50 万人減少している。ランキング上位の人口変動率は概ねプラスだが、日本はマイナスとなっており、人口減少傾向にある。

世界人口は 100 年間で約 4 倍に急増し、2022 年 11 月中旬

には 80 億人に達し、2086 年に 104 億人でピークを迎えると予測する。

中国は早ければ 2023 年には人口が減少し、インドは乳幼児死亡率が顕著に下がっており、2023 年には中国を抜き、世界最多となると予測されている。

今後もっとも人口が増加するとみられるのは、このインドをはじめ、ナイジェリア、パキスタン、コンゴ民主共和国、エチオピア、タンザニア連合共和国、インドネシア、エジプト、アメリカである。とくにサハラ以南のアフリカの人口は 2050 年までに倍増すると考えられている。世界的な食料の安定確保は大きな課題である。

また、新型コロナウイルスの感染拡大の影響で、世界の平均寿命は 2019 年の 72.8 歳から昨年は 71.0 歳に下がったことも明らかにしている。

(K. O)

世界の人口 国別ランキング (UNFPA 世界人口白書 2022 年版)

順位	国名	総人口 (×百万人)	年平均人口 変動率(%)	順位	国名	総人口 (×百万人)	年平均人口 変動率(%)	順位	国名	総人口 (×百万人)	年平均人口 変動率(%)
1	中国	1,448.5	0.3	11	日本	125.6	-0.4	21	イギリス	68.5	0.4
2	インド	1,406.6	0.9	12	エチオピア	120.8	2.4	22	フランス	65.6	0.2
3	アメリカ	334.8	0.6	13	フィリピン	112.5	1.3	23	タンザニア	63.3	2.9
4	インドネシア	279.1	1.0	14	エジプト	106.2	1.8	24	南アフリカ	60.8	1.1
5	パキスタン	229.5	1.8	15	ベトナム	99.0	0.8	25	イタリア	60.3	-0.2
6	ナイジェリア	216.7	2.5	16	コンゴ共和国	95.2	3.0	26	ケニア	56.2	2.2
7	ブラジル	215.4	0.6	17	イラン	86.0	1.1	27	ミャンマー	55.2	0.8
8	バングラディッシュ	167.9	0.9	18	トルコ	85.6	0.6	28	コロンビア	51.5	0.4
9	ロシア	145.8	-0.1	19	ドイツ	83.9	-0.1	29	韓国	51.3	0.0
10	メキシコ	131.6	1.0	20	タイ	70.1	0.2	30	ウガンダ	48.4	2.7

注) 年平均人口変動率(%)は2020年～2025年

2021 年度秋冬作野菜花き関係 除草剤・生育調節剤試験判定結果

(公財) 日本植物調節剤研究協会 技術部

2021 年度秋冬作野菜花き関係除草剤・生育調節剤試験成績検討会は、2022 年 7 月 12 日(火)に Zoom を用いた Web 会議において開催された。

この検討会には、試験場関係者 19 名、委託関係者 29 名ほか、計 57 名の参集を得て、除草剤 3 薬剤 (3 点)、生育

調節剤 2 薬剤 (9 点) について、試験成績の報告と検討が行われた。

その判定結果および使用基準については、次の判定表に示す通りである。

2021 年度秋冬作野菜花き関係除草剤・生育調節剤試験 判定

A. 野菜関係 除草剤

薬剤名 有効成分および含有率(%) [委託者]	作物名	ねらい	判定	判定内容
1. UPH-004 液 グルホシネート:18.5% [ユービーエルジャパン]	イチゴ	生育期の一年生雑草を対象としたイチゴ生育期の茎葉処理(畦間)による適用性の検討	継	継) ・効果・薬害の確認

B. 2021 年度 春夏作分 野菜関係 除草剤

薬剤名 有効成分および含有率(%) [委託者]	作物名	ねらい	判定	判定内容
1. Hoe-866 液 グルホシネート:18.5% [BASF ジャパン]	ミツバ	生育期の一年生雑草を対象とした、ミツバの生育期の茎葉処理(畦間)による適用性の検討(適用性初年目)	継 (前回通り)	継) ・効果・薬害の確認
2. S-482 顆粒水和 フルミオキサジン:50% [住友化学]	アスパラガス	発生前の一年生広葉雑草を対象としたアスパラガス収穫打ち切り後での土壌処理(全面)による適用性の検討(北海道:適用性2年目)	継 (前回通り)	継) ・効果・薬害の確認

C. 2020 年度 秋冬作分 野菜関係 除草剤

薬剤名 有効成分および含有率(%) [委託者]	作物名	ねらい	判定	判定内容
1. Hoe-866 液 グルホシネート:18.5% [BASF ジャパン]	サヤエンドウ	耕起または播種前	継	継) ・効果・薬害の確認
2. JEA-2001 液 グルホシネート:18.5% [Joy Consulting]	タマネギ	耕起または定植前	実・継	実) [秋冬作:一年生広葉雑草] ・タマネギ生育期、雑草生育期 ・300~500mL<100~150L>/10a ・茎葉処理(畦間) 注) ・雑草の草丈15cm以下で散布する ・作物に飛散しないように散布する 継) ・効果・薬害の確認(耕起または定植前および一年生イネ科雑草対象畦間処理) ・効果・薬害の年次変動の確認(一年生広葉雑草対象畦間処理)

D. 野菜関係 生育調節剤

薬剤名 有効成分および含有率(%) [委託者]	作物名	ねらい	判定	判定内容
1. AF-4 くん蒸 1-メチルシクロプロペン:0.014% [アグロフレッシュ・ジャパン]	ブロッコリー	収穫物の劣化抑制効果の検討	継	継) ・効果・葉害の確認

E. 2021 年度 春夏作分 野菜関係 生育調節剤

薬剤名 有効成分および含有率(%) [委託者]	作物名	ねらい	判定	判定内容
1. S-327D 液 ウニコナゾールP:0.025% [住友化学]	ブロッコリー	播種後出芽前の灌水処理による育苗期の伸長抑制	継	継) ・効果・葉害の確認
	ブロッコリー	定植前の茎葉散布による育苗期の伸長抑制		

2021年の年の暮れに、TV番組「開運！何でも鑑定団」で「老舗のお宝」という企画があり、ある老舗の旧家の方が江戸時代の画本を出品されて、これが数千万円の評価額となった。1788(天明8)年刊の「画本虫えらみ」という虫譜で、高名な浮世絵師喜多川歌麿の処女作だそうで、何枚かの図版がTV画面に映された。虫譜ではあるが、虫は植物に止まった状態で描かれているので、その植物も写実的であった。この高額では古書店での入手もかなわないので、国立国会図書館のデジタルコレクションを覗いたところ、ありがたいことに収録されていた。江戸時代後期の狂歌師・戯作者・国学者などとして知られる宿屋飯盛(石川雅望)が見開きページに虫に関わる狂歌を2首ずつ置いて、喜多川歌麿が野外での虫と植物の状態を彩色で描いた。6枚目には「松虫 蛭」で、イヌビエ(またはヒメイヌビエ)と穂状の花序を持つ双子葉植物(不詳:ホザキシモツケ? またはタデの類?)である(図-1)。松虫と蛭への狂歌は、Webの記事の助けも借りると次の様に読める。

松虫	土師搔安
蚊屋つりて人まつ虫はなくばかりなにおもしろ貴禰ところじゃない	
蛭	酒樂齋瀧磨
佐保川の水も汲みます身ハ蛭中よし乃ち乃くさ連えんとて	

2枚目の「馬追虫 むかで」にはカヤツリグサとトリカブト(図-2)、10枚目の「蛭 とかけ」にはツクサが鮮やかに描かれており、これら他の画面と違ってイヌビエの画面



図-1 「松虫 蛭」の狂歌に添えられたイヌビエまたはヒメイヌビエと見られる雑草ヒエの図(喜多川歌麿(筆)・宿屋飯盛(撰)「画本虫えらみ」、1788:国立国会図書館デジタルコレクションによる)

のみがモノクロコピーのようで、初めは「国会図書館の所蔵品ではこの部分が欠けていて、白黒コピーで補ったか?」と邪推した。しかしよく考えると、ここはホテルが活動する宵闇の場面であることを理解した。筆者はかつて「雑草ヒエには、食用・薬用・鑑賞用など人間の益になる要素が甚だ少ないため、これらに関する話題に乏しい。」と書いたことがある(農業春秋91, 2014)。歌麿が観賞用にイヌビエを描いていたことは筆者にとって「目からウロコ」で、ここに前言を撤回したい。

「農業春秋」の記事では江戸時代から明治時代初期までのいくつかの農書などでの雑草ヒエの記述を抜粋して紹介したが、雑草ヒエの図はこれらの農書にはない。「農業全書(宮崎安貞, 1679 再板 1815)や「和漢三才圖繪(寺島良安 1712)」での「稗」の図は作物のヒエのようで、幕末の「萬葉集品物圖繪(鹿持雅澄 幕末?)」では「打ちし田に稗は数多にありといへど択えし我ぞ夜ひとり宿る(巻11:2476)」と、雑草ヒエと考えられる和歌に添えたヒエの図は作物らしいが雑草か否かは判然としない(図-3)。

明らかに「雑草」とわかるヒエの図は、本草学を身につけた旗本岩崎常正(灌園)が1828(文政11)年に完成させた「本草圖譜」で「卷四十一 穀部」の「稗子 ひえ」の次に描いた「水稗」と「早稗」である。これも国会図書館のデジタルコレクションで画像として取り出すことができ、自生(野生)のヒエに以下の説明がある(図-4, 5)。



図-2 「馬追虫 むかで」に添えられたカヤツリグサとトリカブトの図(図-1と同じ:国立国会図書館デジタルコレクションによる)

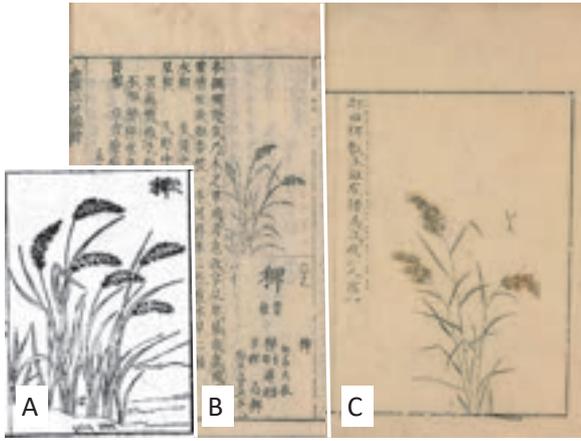


図-3 農書などでの作物のヒエと見られる図
(A:宮崎安貞「再板 農業全書」, 1815, B:寺島良安「和漢三才圖繪」, 1712, C:鹿持雅澄「萬葉集植物圖繪」, 幕末? BC:国立国会図書館デジタルコレクションによる)

水稗 集解時珍 ミツ飛え くさひえ ヒルス阿蘭

稗ハ田野自生する所の物二種あり 水稗ハ水田中に生ひ苗葉稗のひえに似て長大 穂ハ狼尾草に似て粗大 微赤色なり

早稗 集解時珍 いぬひえ のひえ はくさ

平陸道傍に多し 莖葉狗尾草に似て穂ハ水稗に似て小さく短く紫褐色の毛あり 又芒のある物あり紫色の物あり くろいぬひえといふ 又奥州にて、くまひえ尾州にてくろひえといふ 集解の烏禾に充る説あれとも烏禾ハ別物ナリ

「本草圖譜」は1980年に同朋舎出版によって複製され、ここには京都大学の植物分類学の北村四郎先生などによる「総合解説」がつけられた。上記の国会図書館とは異なる底本であるが、北村先生の「水稗」と「早稗」の解説は以下のようなものである(北村四郎・塚本洋太郎・木島正夫「本草圖譜総合解説 第二巻」, 1986)。

水稗 みずびえ くさひえ

タイヌビエ (学名) *Echinochloa crusgalli* (L.) var. *orizicola* (Vasinger) Ohwi (筆者注:原文のママ, 正しくは *oryzicola*)

(分布) 日本・朝鮮・ウスリー・蒙古・中国 葉の縁は著しく肥厚して白条となるのが特徴。この図ではそれがわからない。var. *orizicola* と印度の var. *hispidula* Hack. とを同じとする考えもある。また、この両者を種として *E. phyllopogon* Stapf. とする見解もある。

水稗(『救荒本草』)は「水稗は水田辺に生ず」によるものであるが、『啓蒙』ではこれをクサビエ、ミズビエとした。

早稗 いぬびえ のびえ

イヌビエ イネ科 (学名) *Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv. var. *caudata* (Roshev.) Kitagawa f. *praticola* (Ohwi) Koyama

早稗(『救荒本草』)は「早稗は田野中に生ず」とある。イヌビエは小穂に芒がないか、または短芒がある。図は芒のないものを描いている。

一種 くろいぬひえ くまびえ

ケイヌビエ (学名) *Echinochloa crusgalli* (L.) var. *caudata* (Roshev.) Kitagawa f. *caudata*



図-4 作物ヒエの品種「さるびえ」の次に掲載された自生ヒエ「水稗」の図
(左ページ:岩崎常正「本草圖譜 第41 穀部」, 1828:国立国会図書館デジタルコレクションによる)



図-5 自生ヒエ「早稗」2品の図
(図-4に同じ:国立国会図書館デジタルコレクションによる)

(分布) 日本・朝鮮・中国 『本草綱目』にある烏禾や稗にあたる。灌園は「別物なるべし」とする。

北村先生の雑草ヒエの学名の処理は、雑草学会などで用いられる藪野先生の整理に基づくものとは少し異なるが、「葉の縁の肥厚がこの図ではわからない」としながらも「水稗」をタイヌビエと判定された。これは「水田中に生し」などの記述も重視されたのであろうが、灌園の「水稗」の図(図-4)はタイヌビエよりは有芒のイヌビエの穂に見える。

雑草ヒエの種類を穂の写真で判定するのはなかなかの難事なので、筆者は撮影後に穂を採取して種類を確認することになっている。現代でもこうなので、江戸時代の絵画で雑草ヒエの種類を判定するのはもっと難しいことだが、歌麿の画ではイヌビエ(またはヒメイヌビエ)とわかり、一方灌園の図譜ではタイヌビエとイヌビエの区別が判然としない。対象の複雑さの差もあろうが、対象を伝える上で芸術家(絵師)の感性が学者(本草家)の知識を上回っているのかも知れない。読者諸賢におかれては、障壁画や浮世絵などで古い雑草ヒエの図を見かけたら、ご教示くださるようよろしくお願いいたします。

協会だより

■試験成績検討会

- 2022年度水稻関係除草剤適2試験地域別試験成績検討会 (Web会議)

【北海道地域】

日時：2022年10月26日 (水) 9:30～17:00
27日 (木) 9:30～12:00

【東北地域】

日時：2022年11月1日 (火) 9:30～17:00
2日 (水) 9:30～17:00

【北陸地域】

日時：2022年11月7日 (月) 9:30～17:00
8日 (火) 9:30～17:00

【関東・東海地域】

日時：2022年11月10日 (木) 9:30～17:00
11日 (金) 9:30～17:00

【近畿・中国・四国地域】

日時：2022年11月16日 (水) 9:30～17:00
17日 (木) 9:30～17:00

【九州地域】

日時：2022年11月21日 (月) 9:30～17:00
22日 (火) 9:30～17:00

- 2022年度技術確認圃地域別報告会 (Web会議)

【東北地域】

日時：2022年11月8日 (火) 9:30～17:00

【北陸地域】

日時：2022年11月11日 (金) 9:30～17:00

【近畿・中国・四国地域】

日時：2022年11月15日 (火) 9:30～17:00

【関東・東海地域】

日時：2022年11月17日 (木) 9:30～17:00

【九州地域】

日時：2022年11月18日 (金) 9:30～17:00

本年度の技術確認圃地域別報告会は、一昨年まで同日開催していた水稻関係除草剤適2試験地域別試験成績検討会とは別日での開催となりますので、ご注意ください。

研究会等

- 第50回構造活性相関シンポジウム

主催：日本薬学会構造活性相関部会
日時：2022年11月10日(木)～11日 (金)
会場：オンライン開催
発表形式[予定]：

招待講演・特別講演・一般口頭発表 (Zoom)

ポスター発表

ショートプレゼン (Zoom)

発表及びディスカッション (oVice)

参加登録予約申込み締切：11月4日 (金)

詳しくは下記URLを参照のこと

<http://www.bio.info.hiroshima-cu.ac.jp/qsar2022/index.html>

- 第22回農薬バイオサイエンス研究会

テーマ「生物の生態と生存戦略を化学する」

主催：日本農薬学会、農薬バイオサイエンス研究会

日時：2022年11月22日 (火) 13:30～16:10

会場：対面+オンライン (オンデマンド視聴) でのハイブリッド開催

(対面)：京都大学 北部構内 農学部総合館1階 W106 講義室

(京都市左京区北白川追分町) ※定員50名

参加費：農薬学会会員、非会員ともに無料

ただし、オンデマンド視聴は農薬学会会員限定

申込み締切：2022年11月18日 (金)

詳しくは下記URLを参照のこと

<http://pssj2.jp/committee/bioscience/22.html>

植調第56巻 第6号

■発行 2022年9月20日

■編集・発行 公益財団法人日本植物調節剤研究協会
東京都台東区台東1丁目26番6号
TEL 03-3832-4188 FAX 03-3833-1807

■発行人 大谷 敏郎

■印刷 (有)ネットワン

© Japan Association for Advancement of Phyto-Regulators (JAPR) 2016
掲載記事・論文の無断転載および複写を禁止します。転載を希望される場合は当協会宛にお知らせ願います。

取 扱 株式会社全国農村教育協会
〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6 (植調会館)
TEL 03-3833-1821

株式会社エス・ディー・エス バイオテックの水稲用除草剤有効成分を含有する「新製品」

- イザナギ1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボSD (ベンゾピシクロン)
- カイシMF1キロ粒剤 (ベンゾピシクロン)
- バットウZ1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ (ベンゾピシクロン)
- アシュラ1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ/400FG (ベンゾピシクロン)
- ウィードコア1キロ粒剤 (ベンゾピシクロン)
- ダンクショットフロアブル (ベンゾピシクロン/カフェンストロール)
- 天空1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ/エアー粒剤 (ベンゾピシクロン)
- パピリカ1キロ粒剤/フロアブル (ベンゾピシクロン/テニルクロール)
- ゲパード1キロ粒剤/ジャンボ/エアー粒剤 (ベンゾピシクロン/ダイムロン)
- ホットコンビ200粒剤/フロアブル/ジャンボ (ベンゾピシクロン/テニルクロール)
- レプラス1キロ粒剤/ジャンボ/エアー粒剤 (ダイムロン)
- ジカマック500グラム粒剤 (ベンゾピシクロン)
- ツルギ250粒剤/フロアブル/ジャンボ (ベンゾピシクロン)
- アネシス1キロ粒剤 (ベンゾピシクロン)
- ジャイロ1キロ粒剤/フロアブル (ベンゾピシクロン)
- テッケン/ニトウリュウ1キロ粒剤/ジャンボ (ベンゾピシクロン)
- イネヒーロー1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ (ダイムロン)
- ベンケイ1キロ粒剤/豆つぶ250/ジャンボ (ベンゾピシクロン)
- 銀河1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ (ダイムロン)
- 月光1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ (カフェンストロール/ダイムロン)



ベンゾピシクロンはSU抵抗性雑草やアシカキ、イボクサにも高い除草効果を示します。

「ベンゾピシクロン」含有製品

- | | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| アールタイプ/シュナイデン (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ) | タンボエース (1キロ粒剤/ジャンボ/スカイ500グラム粒剤) |
| イッテツ (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ) | トビキリ (ジャンボ) |
| イネキング (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ) | ナギナタ (1キロ粒剤/豆つぶ250/ジャンボ) |
| オークス (フロアブル) | ハイカット/サンパンチ (1キロ粒剤) |
| キクトモ (1キロ粒剤) | 半蔵 (1キロ粒剤) |
| クサビ (フロアブル) | フォーカスショット (ジャンボ)/プレッサ (フロアブル) |
| サスケ粒剤200 (200グラム粒剤) | ブルゼータ (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ) |
| サスケ-ラジカルジャンボ/レオンジャンボパワー (ジャンボ) | フルイニング (ジャンボ/スカイ500グラム粒剤) |
| 忍 (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ) | プレキープ (1キロ粒剤/フロアブル) |
| シリウスエグザ (1キロ粒剤/ジャンボ/顆粒) | ピラクロエース/カリユード (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ) |
| シロノック (ジャンボ) | モーレッツ (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ) |
| スマート (1キロ粒剤/フロアブル) | ライジンパワー (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ) |
| ダブルスターSB (1キロ粒剤/顆粒) | |



株式会社 **エス・ディー・エス バイオテック**

〒101-0022 東京都千代田区神田練堀町3番地 AKSビル5階
TEL.03-6867-8320 FAX.03-6867-8329 <https://www.sdsbio.co.jp>



根も止める

有効成分「アルテア」は、多年生雑草の地上部を枯らすだけでなく、翌年の発生原因となる塊茎の形成も抑えます。日本の米づくりを根本から進化させる新しい効き目、「アルテア」配合の除草剤シリーズに、どうぞご期待ください。

これからの日本の米づくりに

アルテア[®]

配合除草剤シリーズ

<https://www.nissan-agro.net/altair/>





オモダカ



ホタルイ



コナギ



イボクサ

サイラ®とは 「サイラ/CYRA」は有効成分の一般名：シクロピリモレート (Cyclopyrimorate) 由来の原体ブランド名です。

サイラは、新規の作用機構を有する除草剤有効成分です。オモダカ、コナギ、ホタルイ等を含む広葉雑草やカヤツリグサ科雑草に有効で、雑草の根部・莖葉基部から吸収され、新葉に白化作用を引き起こし枯死させます。新規作用機構を有することから、抵抗性雑草の対策にも有効です。また、同じ白化作用を有する4-HPPD阻害剤(ピラジレート、テフリルトリオン等)と相性が良く、混合することで飛躍的な相乗効果を示します。

除草剤分類

33

除草剤の作用機構分類(HRAC)においても新規コード33 (作用機構:HST阻害)で掲載され、注目されています。

新規有効成分サイラ配合製品ラインナップ

水稲用一発処理除草剤

水稲用中・後期処理除草剤

シエイソウル®

1キロ粒剤・フロアブル・ジャンボ

シヤスマ®

1キロ粒剤・フロアブル・ジャンボ

ワサウエポン®

1キロ粒剤・フロアブル・ジャンボ

ウルティモZ®

1キロ粒剤・フロアブル・ジャンボ

バイスコープ®

1キロ粒剤

ルナグロス®

1キロ粒剤



三井化学アグロ株式会社

東京都中央区日本橋1-19-1日本橋ダイヤビルディング
ホームページ <https://www.mitsui-agro.com/>

各剤の
詳しい情報は
こちら



®を付した商標は
三井化学アグロの
登録商標です。



レイミーが
スマートに解決!



病害虫雑草の プロを手の中に!

写真を撮るだけで
病害虫雑草診断
ができる



有効薬剤
がわかる!



診断履歴を
管理・分析
できる!

通信料を除く

無料!



スマートフォン用アプリ

レイミーの

AI病害虫雑草診断

※画面は開発中のものです。

対応作物が増えました!!



■本アプリケーションで使用されているAI診断学習モデルは(株)NTTデータCCSと日本農業(株)の共同開発です。■本システムは農林水産省の農業界と経済界の連携による生産性向上モデル農業確立実証事業「防除支援システム研究会(H30~R1)」の成果を社会実装したものです。■学習に用いたデータは、農林水産省委託事業「人工知能未来農業創造プロジェクト・AIを活用した病害虫診断技術の開発」および、「官民研究開発投資拡大プログラム(PRISM)」の成果である「病害虫被害画像データベース」を用いた。

開発

アプリの
無料
ダウンロード
はこちら

日本農業ホームページから

日本農業 検索



参加

好評発売中

陸生から水生まで、カメムシの全分野を網羅

カメムシ博士入門

安永智秀 前原諭 石川忠 高井幹夫 著 B5 212ページ 本体2,770円+税

- ◆日本原色カメムシ図鑑(陸生カメムシ類)一全3巻を発行してきた全農教が、読者の「より入門的な図鑑を」との声に応じてお届けするカメムシの基本図鑑。
- ◆数ある昆虫群のなかでカメムシのいちばんの特徴は「圧倒的な多様性」です。
 - 陸生から水生まで、生息環境の多様性
 - 肉食から植物食、菌食まで食性の多様性
 - 微小種から巨大種まで形態の多様性
 - 農業害虫、不快害虫から天敵まで人間との関係の多様性
- ◆本書はカメムシの分類から生態まで、採集から同定まで、カメムシの基本をすべて網羅し、多様性に富んだカメムシを理解するのに不可欠な入門書です。

第1章 カメムシの形とくらし 第2章 カメムシを探す
第3章 いろいろなカメムシ 第4章 カメムシ博士をめざして
〈付〉もっと知りたいカメムシの世界

全農教
観察と発見
シリーズ



全国農村教育協会
<http://www.zennokyo.co.jp>

〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6
TEL.03-3839-9160 FAX.03-3833-1665

豊かな稔りに貢献する 石原の水稲用除草剤



湛水直播の除草場面で大活躍!

非SU系水稲用除草剤

ブレキープ® 1キロ粒剤 フロアブル

- ・は種時の同時処理も可能!
- ・非SU系の2成分除草剤
- ・SU抵抗性雑草に優れた効果!



ノビエ3.5葉期、高葉齢のSU抵抗性雑草にも優れた効き目

ゼンアツ® MX 1キロ粒剤 / ジャンボ®

フルパグ® MX 1キロ粒剤 / ジャンボ®

スゲギ® A 1キロ粒剤

ヒクツパ® A 1キロ粒剤

フルフォー® ジャンボ®

フルニグ® ジャンボ®

タイズ® DF 1キロ粒剤

乾田直播専用 **ハード**® DF

石原バイオサイエンスの
ホームページはこちら▶



●使用前にはラベルをよく読んでください。●ラベルの記載以外には使用しないでください。●本剤は小児の手の届く所には置かないでください。

ISK 石原産業株式会社

販売 **ISK** 石原バイオサイエンス株式会社

ホームページ アドレス
<https://ibj.iskweb.co.jp>



雑草調査のプロに必携の 雑草図鑑

植調雑草大鑑

WEEDS OF JAPAN IN COLORS

浅井元朗 著

企画：公益財団法人 日本植物調節剤研究協会
B5判 360ページ 定価 10,560円(税込)
ISBN978-4-88137-182-4

ひとつの雑草種について種子、芽生え、幼植物、生育中期、成植物から花・果実までのすべてを明らかにした図鑑。研究者から農業関係者まで、雑草調査のプロにお役にたつ図鑑です。

全国農村教育協会

〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6
TEL.03-3839-9160 FAX.03-3833-1665

<http://www.zennokyo.co.jp>

私たちの多彩さが、
この国の農業を豊かにします。

大好評の除草剤ラインナップ

新登場!
ゼータジャガー 1キロ粒剤
シヤンボフロアフル

新登場!
バットウZ 1キロ粒剤
フロアフルシヤンボ

新登場!
ゼータプラス 1キロ粒剤
シヤンボフロアフル
200Fg

マズオ 1キロ粒剤
シヤンボフロアフル

ゼータタイガー 1キロ粒剤
シヤンボフロアフル
300Fg

ズエモン 1キロ粒剤
シヤンボフロアフル

メガゼータ 1キロ粒剤
シヤンボフロアフル
400Fg

オサキニ 1キロ粒剤

忍 1キロ粒剤
シヤンボフロアフル

イッテツ 1キロ粒剤
シヤンボフロアフル

ドニチS 1キロ粒剤

®は登録商標です。

〒103-6020 東京都中央区日本橋2丁目7番1号 お客様相談室 0570-058-669 農業支援サイト 農力 <https://www.i-nouryoku.com>

●使用前にはラベルをよく読んでください。●ラベルの記載以外には使用しないでください。●小児の手の届く所には置かないでください。●空袋・空容器は廃棄等にご注意ください。



大塚のあふみ、まっまっくへ
SCC GROUP

住友化学

農耕地から緑地管理まで
雑草防除に貢献します。

畑作向け除草剤

アタックショット 乳剤 **ムギレンジャー** 乳剤
丸和 **DDックス**®

果樹向け除草剤

シンバー® **リバー**®

芝生向け除草剤

アトラクティブ® **ユニホック7**®
サベルDE ハレイDE

緑地管理用除草剤

ハイバーX 粒剤 **パワーボンバー**

除草剤専用展着剤

サファゴントWK 丸和 **サファゴント30**

MBC 丸和バイオケミカル株式会社

〒101-0041 東京都千代田区神田須田町2-5-2
☎03-5296-2311 <http://www.mbc-g.co.jp/>

第56巻 第6号 目次

- 1 巻頭言 「雑草イネ」対策道半ばにて思うこと
酒井 長雄
- 2 夏播きニンジンの露地有機栽培における太陽熱処理法の雑草抑制効果
松村 和洋
- 7 マルチオミクス解析による農業生態系のデジタル化
市橋 泰範・二瓶 直登
- 13 古くて新しい雑穀キノアの可能性
磯部 勝孝
- 19 農薬の安全性と科学の不定性(その2)
内田 又左衛門
- 25 〔田畑^{くさくさ}の草種〕待宵草(マツヨイグサ)
須藤 健一
- 26 マレーシアでの調査研究の思い出(2) ムダ平野の水稻直播と雑草の出芽消長
渡邊 寛明
- 30 〔統計データから〕2022 世界の人口国別ランキング
- 31 2021年度秋冬作野菜花き関係除草剤・生育調節剤試験判定結果
(公財)日本植物調節剤研究協会 技術部
- 33 〔連載〕雑草のよもやま 第29回 江戸時代, 絵師と本草家の雑草ヒエの図
森田 弘彦
- 35 広場

No.89

表紙写真 『オオマツヨイグサ』



北アメリカ原産の植物を起源として、ヨーロッパで作出されたとされる。国内には明治初年に鑑賞用で移入した。全国の鉄道敷きや、海岸、河原など乾いた土地に野生化して広がったが、一時よりは減少しているらしい。(写真は©浅井元朗, ©全農教)



根生葉。大型のロゼットを形成する。

花。茎上部の葉腋に多数密生する。



種子。表面に小斑紋としわがある。

