

雑草耐性イネの研究開発の現状

農業環境技術研究所 他感物質研究室 藤井 義晴

1. はじめに

雑草耐性イネの研究は、インド型のイネにみられるような葉の開帳性による光の競合や養分の競合などによる物理的な競合と、アレロパシーのような化学的な競合による研究に大別される。現場で雑草耐性・抑制作用の強いイネを作成するためには、両者の組み合わせで最も有効なイネを選抜・育種する必要がある。アレロパシーは、植物自身が作り、根や葉などから放出される天然の化学物質が他の植物、微生物、昆虫等に、生育阻害や促進等の何らかの作用を及ぼす現象である。その阻害作用を、生態的な雑草制御に利用することが期待されている。しかし、イネにおいては、随伴する水田雑草の発芽促進作用に関する研究も行われている。稲作における、アレロパシーを利用した雑草抑制に関しては、稲自身に水田雑草を抑制するアレロパシー活性を付与することと、稲作の裏作に、アレロパシー活性の高い緑肥作物を導入して、稲苗を移植時に入水することによって、雑草を抑制する方法の2つが考えられる。

2. イネ自身のアレロパシーによる雑草制御

従来のイネ育種は、良食味、耐病性、高収量などを目的に行われ、優れた品種が開発されている。しかし耐雑草性を目的とした研究はほとんどなく、実用品種も開発されていない。最近

は有効な水田除草剤が普及しているので、年一回の除草剤の使用で一年生雑草はほぼ完璧に防除可能となった。しかし、水圏等の環境への影響と省力低コスト化の観点から、より安全で安易な雑草抑制技術が求められている。そこで、最近、イネ自身の力で雑草を抑制する試みが開始されている。

1) 育種・研究戦略

作物による雑草抑制に関与する主因子は、アレロパシーによる生育抑制、葉の茂りによる光競合、根部の養水分競合の三つである。アレロパシー（他感作用）は、植物から放出される物質が他の生物に何らかの影響を及ぼす現象であり、この場合、イネの根から放出される物質による雑草の阻害を利用する。光競合と養分競合の寄与が大きい、主に作物の生育速度も葉と根の量と形態で決定されるので、その選抜と改良は比較的容易であり、すでにいくつかの報告がある。一方、アレロパシー因子は未だ研究開発途上にある。そこで、アレロパシー活性の強いイネを検索し、その作用物質を単離・同定し、その物質の作用機構を解明し、これに関与する遺伝子を明らかにして、アレロパシーによる雑草抑制効果の高いイネ系統を作出することを目的とする研究が開始されている。最終的には光競合や根張りなどの競合も含めた実用的なイネ品種の開発を目指している。

2) 日本と世界の研究の開始

日本の農林水産省のグループ、アメリカ合衆国農務省のグループが1980年代からイネのアレロパシーに関する研究を開始しており、国際イネ研究所 (IRRI) も1992年より研究を開始している。最近では東南アジア各国でも関心が高まり、世界的に研究が開始されようとしている。

3) 日本における研究

我が国における研究は、著者らが、プラントボックス法というアレロパシーを特異的に検出する手法によってイネのアレロパシー活性を検索したのが端緒である。プラントボックス法では、寒天培地を用いて生きている植物の根から放出される化学物質による作用を測定する他感作用に特異的な検定手法として開発されたものであり¹⁾、本誌において以前紹介したことがある。農業生物資源研究所・植物探索チーム長の奥野員敏氏と共同研究を行い、世界各地の多様な遺伝情報を持つイネ約二百系統を検定した結果、概して近代の栽培種の活性は低く、野生種、在来品種の中にアレロパシー活性の強いものを検出した²⁾。概して赤稲の系統の活性が強かった(表-1)。検定した200系統は、奥野らが基本コレクションとして選抜した世界のイネの代表コレクションであり、いろいろな遺伝要素を備えたものである、ここから有望なものを辿っていく計画である。その後、農業研究センター水田雑草研究室長の芝山秀次郎博士(現・佐賀大学教授)らと共同研究して、アレロパシーの強かったイネのポット試験における雑草抑制効果を調べた³⁾。その結果は寒天培地を用いた結果と必ずしも一致しなかったが、ネパールNo. 8などポットでも雑草抑制作用を持つものも得られた。また、九州農試の西田端彦研究員らと共同研究して、九州農試保有の約千品種

表-1 赤米・香り米のプラントボックス法
(PB法)による検定

品 種 ・ 系 統 名	活 性	根 重	反 復
赤米・有色米			
★C-2 山 坂	16.7	332	7
C-4 篠 ノ 井	43.0	257	4
★C-7 長 紅 米	19.3	326	4
C-12 阿 波 赤 米	25.2	265	5
C-13 総社神社米	34.3	291	5
C-14 対馬神社米	34.5	329	4
C-17 ブータン赤米	30.1	239	5
★C-18 フィリピン赤米	12.4	201	3
C-19 屋 代 赤 米	20.3	268	4
C-23 緑 米 s	38.9	268	5
★RK-36 唐 干	10.6	236	2
★RK-37 アハンカラシアイ	8.3	523	3
★RK-52 宝満神社米	9.7	220	3
★RK-59 フィリピン赤米	2.4	441	4
香 り 米			
C-29 Surjamkhi	22.5	296	6
C-33 Sabarmati	45.9	318	4
C-36 北 京 香 稻	24.3	331	4
C-45 ネバリモチ	25.5	231	5
C-58 ヘンドヨリ	20.0	229	3
C-60 はぎのかおり	62.9	203	3
C-74 キカタオリ	57.4	306	2
C-63 ジャコウイネ	28.1	274	4
C-64 匂 い 米 (祝賀)	52.8	306	4
C-67 カ ラ ス	74.9	159	2
C-68 ベン ガ ラ	35.4	230	5
C-71 サリークイーン	51.8	256	5
C-72 ヒ エ リ	23.8	315	3
普 通 稲			
C-61 ササニシキ	45.7	235	3
C-115 日 本 晴	42.7	250	3

★は80%以上の阻害があるもの。

赤米の平均値 (n=15); 21.8 ± 12.2

香り米の平均値 (n=13); 40.4 ± 18.2

のイネの活性を検定した⁴⁾。その結果、プラントボックス法では、供試する植物体の根重にも留意する必要があることがわかった。しかし、根重を揃えて比較することにより、やはり野生種の活性が強い傾向が得られ、いくつかの有望系統が得られた(表-2)。その後も、藤井らは検索を継続し、赤米に強い活性があるが、香り米の活性は低いこと⁵⁾、バングラデシュ(表

表-2 供試イネ根重別のアレロパシー活性 (PB法による)

イネ根重 0.10 ~ 0.15 g		イネ根重 0.15 ~ 0.20 g		イネ根重 0.20 ~ 0.25 g	
品 種 名	R %	品 種 名	R %	品 種 名	R %
HSUNG TIENG1	18	ARC10520	16	NEPAL NO. 8	7
AUS173	20	ARC7128	17	ARC11109	12
ARC7286	22	GASMAL351	19	AUS360	13
DV85	24	愛国2号	20	BASMATI	13
ARC10520	27	AUS173	22	KALIMEKRI391	14
IR43	27	NEPAL NO. 8	22	ARC7128	17
BAKA LOCAL	29	SOGOL	23	ARC7323	17
NEPAL NO. 8	29	ヒノヒカリ	23	ARC7334	17
63-105	30	ARC2716	24	AUS173	18
HANUMANJATA(48)	31	HANUMANJATA(48)	27	ARC10520	19
愛国2号	31	KALIMEKRI391	27	SOGOL	20
ARC7043	32	HSUNG TIENG	27	HANUMANJATA(48)	21
SOGOL	33	あそみのり	29	ヒノヒカリ	21
ヤマユタカ	34	朝 日	29	ARC2716	22
ARC7128	35	ARC7043	30	63-105	22
AUS360	36	KALIMEKRI391	30	IR43	22
HANUMANJATA(46)	37	AUS360	30	トドロキワセ	22
ARS11109	37	コシヒカリ	30	HSUNG TIENG	23
KALIMEKRI391	37	台中在来1号	30	日 本 晴	23
ARC2716	38	不明(日本在来1276)	31	BOKA LOCAL	24
不明(日本在来1276)	38	KATACHIKON	32	不明(日本在来1276)	24
コシヒカリ	39	SAITA	33	SLENDORAN	26
BASMATI	39	ARC7323	33	SAMANIS	26
ARC7334	41	IR43	33	愛国2号	26
GASMAL351	41	SLENDORAN	35	KATACHIKON	27
台中在来1号	41	唐 干	36	十 石	28
十 石	42	トドロキワセ	38	紅 血 糯	29
日 本 晴	42	DV85	39	あそみのり	33
DENG MAC TEK	42	BASMATI	39	LEULIKELASH	34
SAMANIS	44	HANUMANJATA(46)	40	SAITA	37
キヨニシキ	45	ARC7286	41	ARC7286	37
ヒノヒカリ	46	ヤマユタカ	42	唐 干	38
朝 日	49	日 本 晴	45	ニシホマレ	44
あそみのり	52	DENG MAC TEK	50		
SLENDORAN	53	BOKA LOCAL	52		
ニシホマレ	53	LEUL IKELASH	52		
トドロキワセ	54	紅 血 糯	63		
むさしこがね	58				

注) R%: レタス幼根伸長率

ー3) やマレーシアの在来品種に強い活性を持つものが有ることを見出した^{5, 6)}。

農林水産省では、21世紀に向けた稲作の総合研究として、「次世代型稲作」という大型の研究プロジェクトを開始している。イネのアレロ

パシーに関する研究もこの中で行っており、奥野ら、遺伝・育種の研究者と協力して、アレロパシーによる雑草抑制能の高いイネを作成することを目標としている。

4) アメリカ合衆国における研究

表-3 バングラデシュ Aman 稲の P B 法による検定

品 種 ・ 系 統 名	活 性	根 重	反 復
B-1 Bilbadai (W)	45.6	153	3
B-3 Urichadra (L)	67.5	320	3
B-5 Kalamona (L)	64.9	148	3
B-7 Rayada (L)	30.4	321	8
B-9 Poarubidda (L)	24.9	256	3
★B-14 Pajam (LHYV)	18.0	330	3
★B-16 Paizak (L)	13.4	393	3
B-27 Buddiraz (L)	42.2	261	4
★B-31 Baddijamal (L)	15.7	452	3
B-35 Ahsan (HYV)	46.2	235	5
★B-36 Gusi (HYV)	14.3	290	2
B-38 Bashful (HYV)	78.1	165	2
B-42 Mukata (IRRI)	23.8	281	4

W: 雑草稲, L: 在来種, LHYV: 改良在来種,
HYV: 高収量品種, IRRI: IRRI 作成品種

アメリカ合衆国農務省のイネ研究所（アーカンソー州）の雑草学者、ロイ・スミス jr. は、水田における生物的雑草防除の一環として、イネのアレロパシーに関する研究を発想した⁸⁾。彼は退職されたが、その後を遺伝学者のディルデイ博士が受け継ぎ、1988年から3年がかりで一萬五千種のイネを圃場に植え、自然発生してくるアメリカコナギを抑制する活性を指標に検索した結果、他感作用の強いもの約十種類の有望なイネを得た。彼らが見いだした品種はフィリピンやバングラデシュ等起源の系統で、イネの株元にアメリカコナギが少ない阻止帯を作る。その後ヒエに対して活性のあるものを圃場で検索中であるが、ヒエに抑草活性のあるものはコナギにくらべて少ないとのことである。アメリカにおけるイネのアレロパシー研究の目的は、ミシシッピー川流域などのアメリカの大規模稲作地帯において主流である乾田直播栽培時に最もコストのかかる除草剤の使用を減らすことにあるという。アレロパシーの利用で栽培期間全般に渡って完全に雑草を抑制することは期待で

きないが、雑草の初期生育を抑制することが出来れば、後は深水管理で雑草を抑制できるという。ごく最近、彼らのグループは植物体内に強い生育阻害物質を含むイネの系統を発見したとの情報を得た。対照とする通常のイネとともに圃場に植えて、ある程度の大きさになったとき、除草剤ですべてを枯らして跡地に発生する雑草を調べたところ、全く雑草の発生しない現象を見つけたという。その物質は、ちょうど在外研究で当地で研究した生資研の奥野博士によって、植物体抽出液を用いた発芽試験でも確認されている。今後、我々もこの系統のイネについても検討して、イネのアレロパシーの本体を明らかにしたい。

5) 国際稲研究所における研究

国際稲研究所（IRRI）の雑草研究グループのリーダーであったムーディー博士は、古くからイネ自身の競合による雑草抑制に関する研究を行っていた。陸稲10数種を栽培したときに発生してくる雑草の少ない系統について報告している。彼は、国際学会で発表した我々のグループのイネのアレロパシーに関する研究²⁻²⁾に注目して、アレロパシー研究を開始した。その後ムーディー博士は定年退職されたが、その後は、マリア・オロフスドッター博士を中心に研究規模を拡大して実施している。圃場試験、発芽・生育試験を行った結果、我々が報告した系統の中で、紅血糯などの品種は圃場での雑草抑制効果も高いことを確認している。1996年11月にはイネのアレロパシーに関する国際シンポジウムを開催した。彼女らのグループはその後もイネのアレロパシーに関する研究費を得て、研究を継続している。

6) 東南アジア諸国におけるイネのアレロパシーに関する研究

世界的にイネのアレロパシーに関する関心が高まっているが、特に東南アジアにおいて、最近、国家的な研究プロジェクトが開始されている。アレイシアでは、国立イネ研究所のアズミ・マン博士を中心に、研究が開始された。著者は昨年、国際農業研究センターの短期専門家としてマレーシアに出張し、アレロパシーの検定手法をお教えして、マレーシア在来稲の他感作用の検定を開始した⁶⁾。その結果、在来品種に活性の強いものが見出された。

韓国においては、慶北大学のキム・キルン教授をリーダーとする研究グループがイネのアレロパシーの研究を開始している。キム教授は1992年につくばで開催された水生植物とイネの雑草防除に関するシンポジウムに著者とともに招待され、イネのアレロパシーに関する講演を行った⁷⁾。昨年からは本格的にイネの検索を開始しており、ストレス存在下ではその活性が高まるとの仮説を考えているようである（私信）。

3. イネのアレロパシーに関する別の研究

イネ自身のアレロパシーの研究と平行して、水田において水田雑草をアレロパシーの応用により抑制する試みが開始されている。イネ自身のアレロパシーの解明と育種には長い年月がかかるかと推定されるが、イネ周辺のアレロパシーの利用はより早い段階で実用化される可能性があるため、以下にその事例を紹介する。

1) イネの根から放出される水田雑草の発芽・生育を促進する物質

除草剤や雑草の研究の間では、水田雑草を検定用に栽培しようとするとき、発芽しにくいのが通例であるのに、イネの根が共存すると、発芽揃いや発芽率が良くなることに気がついていたという。宇都宮大学の竹内教授らのグルー

プはこの現象に興味をもち、イネの根から放出される雑草の発芽・生育促進物質の研究に取り組み、興味ある結果を雑草学会に報告している。すなわち、水田雑草の発芽促進物質は、イネの根から放出され、共存する雑草の発芽を促進することを確認し、その単離・精製を進めている。アレロパシーは通常、阻害現象と受け取られがちであるが、促進も含めた概念であり、このような例は、寄生植物であるストリガという植物が、宿主であるトウモロコシなどのイネ科植物の根から放出されるストリゴールという発芽促進物質によって、10のマイナス15乗というきわめて低濃度で促進される現象と似ている。イネの根から放出される水田雑草の発芽や生育促進物質が明らかになれば、これを利用して、不適当な季節に雑草を発芽させて退治するような生態的雑草防除法が可能となるかもしれない。

2) アレロパシー活性の高い緑肥作物・刈り敷き・モミガラを利用した雑草抑制

イネ自身のアレロパシー以外にも、作物のアレロパシーを利用した雑草制御が考えられる。アレロパシーは、植物が根や葉から放出する物質による作用以外にも、落ち葉や植物体残さの分解物質などが作用する場合も含まれる。緑肥、刈り敷き、モミガラの田への導入により雑草を抑制する場合に、アレロパシーが寄与している例がある。

3) 緑肥作物の利用

ひとつは、レンゲのような「緑肥作物」を秋に播種して、春先の雑草発生を抑制しようとする戦略である。レンゲや、クローバなどの緑肥作物を繁茂させておき、稲の移植前に入水して枯らすことにより、これらの緑肥作物が腐敗し、どろどろの黒い汁が発生する。このアク汁には雑草の発生をほぼ完全に抑制する力があること

が経験的に知られている。たとえば、自然農法で知られる福岡正信氏は、著書「わら一本の革命」の中で、レンゲによる雑草抑制効果について記載している。この雑草抑制作用の原因は、水が黒く濁ることにより、雑草の発芽生育を抑制することが言われているが、腐敗・発酵の結果生成する有機酸類や分解物が雑草抑制作用を持つことも考えられる。

4) 刈り敷き

もうひとつは、「刈り敷き」による雑草抑制である。刈り敷きは、野草や雑草を刈り取り田に敷くという古い農業技術であり、化学肥料の普及する以前は重要な施肥技術であった。播磨風土記にも刈り敷きの事例が出ている。刈り敷きは、主に窒素やリンなどの肥料成分を補給する意義を持っているが、田に敷きつめることで、雑草の発生を抑制する効果も期待出来る。鳥取大学の津野幸人教授が、在来農法から開発し提唱されている「温水堆肥」も、刈り敷きの発展した手法と考えることができる。温水堆肥は、刈り敷きと同様に堤防やあぜの草を刈り取って、田の一角に作成した苗代に積む。この苗代を経由して田に水を導入することによって、草の肥料成分を利用しようとする方法である。この苗代をビニールで覆うことによって、田に導入する水温が高まるため、とくに山間地の棚田などで水温が低いときに有効な技術となる。津野氏、あるいは谷口氏は、「現代農業」等の雑誌において、この農法を実際に行った結果を紹介している。この際に、積み上げた刈り敷きの中を流れて流れる水が黒く濁ると、この通路やこの影響がおよぶ範囲には雑草が全く生えないことを報告している。著者は、岡山大学の嶺田氏、沖陽子博士らと共同研究を行って、このようなレンゲや緑肥作物に含まれるアレロパシー成分の

研究を行っている。その結果、レンゲやクローバ類、ベッチなどを腐敗させた液は、一時期、強い植物生育阻害作用が認められ、その後阻害作用がなくなった。秋に緑肥作物を播種しておき、田植えの前1か月に入水することによって雑草の初期生育を阻害し、その後はこの阻害作用がなくなることは、実用的な雑草抑制技術になると考えられる。この方法は、不耕起栽培と組み合わせて除草剤と機械耕作の節約に役立てることができるかもしれない。

5) モミガラのマルチ

島根県の篤農家谷口如典さんは、田にモミガラを撒いて雑草発生を抑制する農法を実施していることで知られる（現代農業1991年11月号）。モミガラの中の雑草抑制成分として、東北大学のグループによって、モミラクトンという発芽・生育阻害物質が同定されている。モミガラを田に撒いたときに雑草を抑制する原因としては、光の遮蔽によるものが大きいと考えられるが、このような発芽阻害物質が作用したり、雑草抑制効果を高めている可能性が考えられる。著者は、サンドイッチ法という、葉から溶脱する物質による作用を簡便に検定する手法を開発し、数多くの樹木落葉を検定してきた。その中で、イネワラやモミガラの活性を測定したところ、比較的強い阻害活性が認められた。このようなアレロパシーの寄与も考えられる。

4. 将来展望

今後、アレロパシー活性の強いイネを発見し、作用物質を同定し、関与する遺伝子を明らかにし、光や根張りなどの物理的競合による雑草抑制力の強いイネに組み込む研究が考えられる。しかし、イネ自身の力で雑草を抑制できる実用的なイネ品種の開発までには、かなりの時間が

かかると思われる。農水省で平成7年度から開始された「画期的新品種の創出等による次世代稲作」プロジェクトに、著者らのイネのアレロパシーに関するテーマも参画している。十年計画の息の長いプロジェクトなので、米国農務省やIRRIとも国際協力研究を行って、終了時までには、雑草耐性のあるイネを作出して二十一世紀の稲作に役立てたい。

イネ自身のアレロパシーを利用して、除草剤を減らす試みは、極めて魅力的であるが、まだしばらくは時間がかかると見られる。また、たとえこのような強いアレロパシー活性を持つイネが育種されたとき、逆に連作障害のような副作用を引き起こしかねないという危惧もある。このようなイネの利用に関しては十分な圃場試験を行う必要がある。

一方、緑肥作物やモミガラを活用した水田における雑草制御は、すでに太古から行われてきた方法であり、今すぐに実行できる実用性の高い方法である。このような農法におけるアレロパシーの関与はまだ完全には明らかにされていないが、イネ自身のアレロパシーによる雑草制御法と併用して、安全で持続的な雑草管理法として役立てることが期待される。

引用文献

- 1) 藤井義晴・渋谷知子: アレロパシーに特異的な活性評価法の確立—プラントボックスを用いた寒天中での混植試験による候補物質の探索—, 雑草研究 37 (別) 156-157 (1992).
- 2-1) 藤井義晴・渋谷知子・奥野員敏: イネのアレロパシー—プラントボックス法によるアレロパシーを持つ可能性のあるイネの探索—, 雑草研究 37 (別) 158-159 (1992).
- 2-2) Fujii, Y., : The Allelopathic Effect of some Rice Varieties, in "Integrated Management of Paddy and Aquatic Weeds in Asia", FFTC Book Series No. 45, pp. 160-165 (1994).
- 3) 福島裕助・芝山秀次郎・奥野員敏・藤井義晴: 水稻品種のアレロパシーによる雑草防除の試み, 雑草研究 39 (別) 98-99 (1994).
- 4) 西田端彦・小川紹文・田中福代・藤井義晴: アレロパシー活性の高いイネの検索—プラントボックス法に供するイネの根重の検討と品種間差の検定結果, 雑草研究 40 (別) 206-207 (1995).
- 5) 藤井義晴・猪谷富雄・平井健一郎・一井比古・内田晴夫: 雑草制圧素材選抜のためのイネの他感作用の検索—赤米, 香り米, バングラデシュのアマン系統, 短根突然変異系統の検索—, 雑草研究 41 (別) 70-71 (1996).
- 6) 藤井義晴・アズミ マン・フエング ミャオチェン・渡邊寛明: マレーシアにおけるアレロパシー植物の検索, 雑草研究 42 (別) 124-125 (1997).
- 7) Kil-Ung Kim: Integrated Management of Paddy and Aquatic Weeds in Korea, with an Emphasis on Allelopathy, in "Integrated Management of Paddy and Aquatic Weeds in Asia", FFTC Book Series No. 45, pp. 144-159 (1994).
- 8) Roy J. Smith Jr.: Biological Controls as Components of Integrated Weed Management for Rice in the United States., in "Integrated Management of Paddy and Aquatic Weeds in Asia", FFTC Book Series No. 45, pp. 175-183 (1994).