

水田土壌における土壌還元が雑草の生育に及ぼす影響

(独) 農業・食品産業技術総合研究機構 北海道農業研究センター
根圏域研究チーム 野副卓人

はじめに

近年、有機栽培技術の確立が求められており、除草剤を使用しない抑草技術についても、農業者や民間の技術者によって各地で取り組まれている。米ぬかなど、新鮮有機物の水田土壌への施用によって雑草の出芽が制御されることを利用した抑草技術もそのひとつで、既に農家レベルにおいて実証されている(福島・内川 2002、上野・鈴木 2005)。しかし、この技術の裏付けとなる抑草のメカニズムについては十分解明されていないため、必ずしもこの効果が安定しておらず、草種によっても効果が異なるとされている(室井 2005)。米ぬかを施用すると、土壌の酸化還元電位(Eh)や溶存酸素濃度が低下することから、これらが抑草効果と関連していると考えられている(中山・北野 2001)。

一方、新鮮有機物の土壌への施用が、水稻の初期生育を抑制することは経験的に知られていたことである。コンバインの普及で、稲わらがそのまま施用されることが多くなり、また、この生育抑制が特に低温などのストレス条件下で水稻の生育をいっそう不安定化することから、かつて土壌肥料や栽培分野において、稲わら施用による土壌還元の進行と水稻の生育抑制に関する研究がさかんに行われた(大山 1985)。これらの試験結果から、例えば、有機物はなるべく堆肥化して使用すること、稲わらを施用する

場合は秋のうちに鋤き込んで、翌年の稲作前に分解させておくことなど、異常還元が進まないような土壌管理法が奨励された。さらに、直播栽培技術の開発が現在でも進行中であるが、土壌還元の進行は、重要な水稻の出芽・苗立ちの抑制要因のひとつとなっているといわれている(萩原 1993)。

水田土壌中に多量の稲わらなどの新鮮有機物を施用すると、水稻の生育が抑制される現象について、施用された有機物が嫌氣的条件下で分解され、その結果生成される有機酸、二価鉄、硫化水素などが水稻の生育を抑制する要因のひとつとなっていることが知られている。特に土壌養液中の二価鉄は、例えば、水稻の湛水直播栽培での出芽・苗立ち(萩原 1993)や、粘土質土壌での初期生育の抑制(瀧島 1963)などの原因となっている。通常、土壌中では鉄は不溶性の酸化鉄(三価)として存在するが、湛水されて還元になると水溶性の二価鉄となり土壌溶液中に溶出する。この鉄の還元は、言い換えると、三価の鉄が電子を一個受け取って二価の鉄に変化することであるが、有機物は分解の過程で、この電子を供給することから、土壌中への有機物施用が、結果として二価鉄濃度を上昇させることになる(Inubushi et al. 1984)。そこで、筆者は、稲わらの添加がイネとイネ科雑草の出芽・初期生育に及ぼす影響、及びこの生育抑制と二

価鉄の関係を明らかにした。

稲わら添加が、イネ、タイヌビエ、イヌビエの初期生育に及ぼす影響

土壌還元の進行は、水田の雑草に阻害的な影響を及ぼしていると推察されるが、このような研究はほとんど行われてこなかった。しかし、近年、米ぬか除草などの技術が開発されるようになり、土壌還元と、雑草の生育についての関係が、特に雑草分野の関係者によって注目されるようになってきた。筆者は、この点について明らかにするため、まず、稲わらの添加が、イネとノビエの生育に及ぼす影響について調査した。水田から採取した風乾土100gに稲わら粉末0.3、0.6、0.9%を添加し、湛水してイネ（ほしのゆめ）、タイヌビエ、イヌビエの苗を移植して温室内で栽培した。なお、実際の圃場では、土壌の仮比重を1.0、作土を10cmとすると、10aの土壌の重さは100tとなり、稲わら100kgが0.1%に相当する。従って、この実験では、水田圃場10aの作土10cmに300、600、900kgの稲わらを施用することを想定している。三週間の栽培の結果、イネ、タイヌビエ、イヌビエのいずれもが、稲わら添加によって生育を抑制し、その程度はイヌビエ>タイヌビエ>イネとなった（表-1）。すなわち、イネはヒエよりも有機物による生育抑制に対する耐性が強く、水田でのみ生育するタイヌビエの方が、畑でも確認できるイヌビエよりも強い耐性を示した。このことは、この抑制が草種に対して選択的に働くことを示唆している一方、0.9%添加しても、いったん苗立ちしてしまうと、ノビエを死滅させることは難しいという限界も示している。実際、栽培期間が長くなるに従って、イネ、タイヌビエ、イヌビエとも、この生育抑制が回復する傾向があった（データ非表示）。初

表-1 地上部乾物重

	わら/ 土(%)	地上部	
		乾物重 (mg) ± SD*)	相対比
イネ	0	110 ± 9	100
	0.3	126 ± 9	115
	0.6	113 ± 10	103
	0.9	93 ± 6	85
タイヌビエ	0	132 ± 13	100
	0.3	123 ± 18	93
	0.6	75 ± 10	57
	0.9	72 ± 11	55
イヌビエ	0	96 ± 5	100
	0.3	79 ± 9	82
	0.6	57 ± 6	59
	0.9	24 ± 6	26

*)：標準偏差(n=4)

期生育の抑制の原因は、例えば有機酸など有機物由来の生育抑制物質、土壌由来の二価鉄や硫化水素の他、生育に際して土壌微生物と植物との間での窒素競合に起因する窒素飢餓など、無数の要因によると言われている。

稲わら添加による、イネ、タイヌビエ、イヌビエの出芽への影響と土壌還元

上の実験は、新鮮有機物の施用が水田雑草の生育を抑制することを示唆する結果である。実際の圃場では、新鮮有機物の施用を抑草技術として用いる場合、発芽や出芽を抑制することが可能か否かが重要な要素となると考えられる。この点について明らかにし、さらに、抑制のメカニズムに関しての知見を得るため、以下の実験を実験室において行った。水田から採取した風乾土100gに稲わら粉末0.3、0.6、0.9%を添加・混合・湛水し、イネ（ほしのゆめ）、タイヌビエ、または、イヌビエを深さ2cmで播種した。イヌビエについては、他の処理として、0.5cmの深さにも播種した。これとは別に、同様の容器

に、同様の土壌と稲わらの混合物を入れ、土壌表面から約 3.5 cm 下の位置にポーラスカップを差し込んで土壌溶液を経時的に採取し、この中の二価鉄を定量した。また同時に、土壌中に ORP 電極を差し込んで、Eh を経時的に測定した。ただし、イネ、雑草は播種しなかった。これらは全て湛水して 30℃ で培養した。その結果、土壌への稲わら添加量が増加するに従って、イネ、タイヌビエ、イヌビエの出芽抑制が強まった (図-1、図-2、図-3)。イネは培養期間が長くなるに従って出芽率は回復したが (図-1)、タイヌビエは変化しなかった (図-2)。イヌビエは播種深 2 cm ではすべての処理区で出芽せず (結果非表示)、0.5 cm でわずかに出芽した (図-3)。このことから、稲わら添加によってイネ、タイヌビエ、イヌビエの出芽が抑制され、その程度は、イヌビエ>タイヌビエ>イネであることを示している。前の実験では、稲わら添加土壌に苗を移植して、その後の生育が、イヌビエ>タイヌビエ>イネの順で生育が抑制されることを示したが、この実験とあわせて、出芽期から、その後の初期生育の時期を通して、生育抑制の影響が、イヌビエ>タイヌビエ>イネで一貫していることを示している。また、本実験の条件下では、稲わらの添加がイネの出芽を遅らせたのに対し、タイヌビエやイヌビエについては、出芽そのものを抑制することが示された。

土壌の Eh は、稲わらを添加することにより低下したが、その添加量による違いはほとんど認められなかった (図-4)。従って、稲わら施用量が増加するに伴ってイネや雑草の生育抑制が著しくなる現象は、Eh の低下そのものが影響しているのではなく、Eh の低下によって変化する他の要因 (例えば二価鉄など) によると推察される。土壌溶液中の二価鉄量は、稲わら添加量

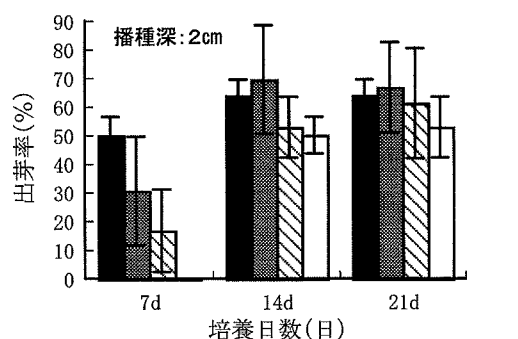


図-1 稲わら添加がイネの出芽に及ぼす影響 (誤差線は標準差; 以下同じ)

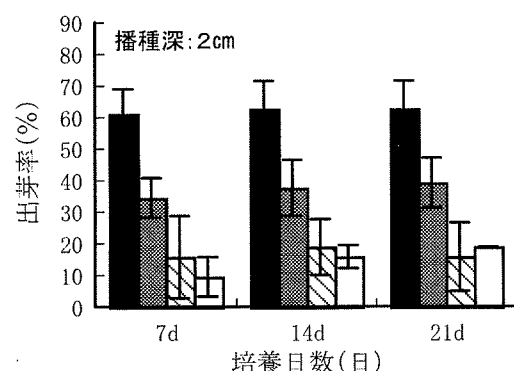


図-2 稲わら添加がタイヌビエの出芽に及ぼす影響 (棒グラフの様子は図-1 と同じ)

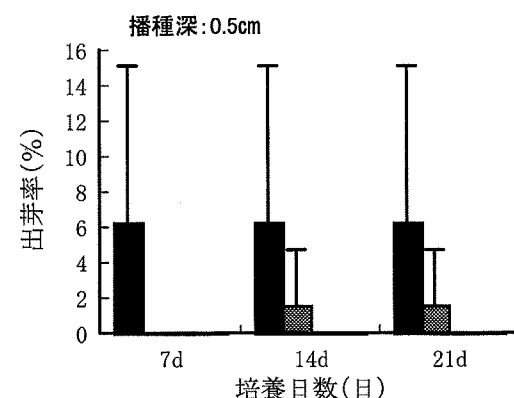


図-3 稲わら添加がイヌビエの出芽に及ぼす影響 (棒グラフの様子は図-1 と同じ)

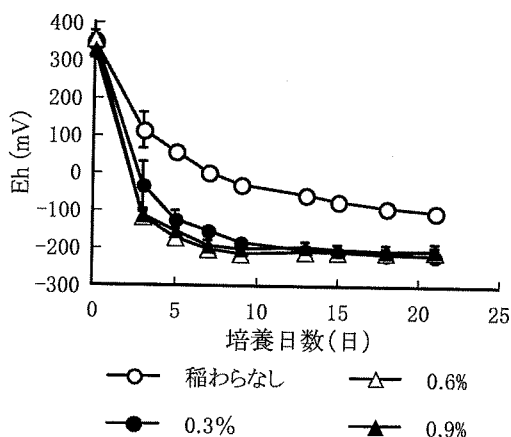
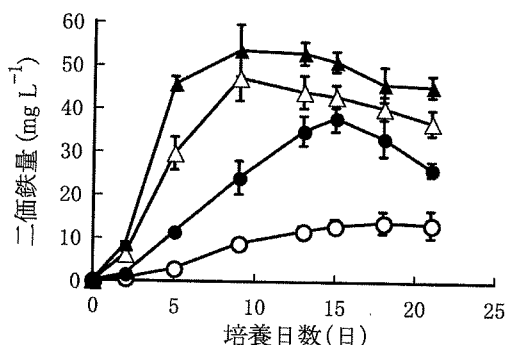


図-4 Ehの変化

の増加に伴って増加し、最大蓄積量は、0.9%稲わら添加区で 50 mg L^{-1} 程度であった (図-5)。過去に北海道で行われた現地調査によると、実際の栽培体系下において、地域、土壌タイプ、稲わら施用量、施用方法 (秋、春鋤き込み) 等などの違いにかかわらず、土壌溶液中の二価鉄量は概ね 100 mg L^{-1} 以下であり、本試験における二価鉄量は、妥当なものであると考えられる (北海道農政部 1965)。本試験では土壌溶液中の有機酸を測定しなかったが、実際の圃場レベルで、例えばフェノール系の有機酸が、雑草の生育に影響するほど蓄積したという報告はこれまで行われていない (Olofsdotter et al. 2002)。また、同じく水稻根の生育に影響を及ぼす硫化水素の生成は、二価鉄の生成よりかなり後であるので、発芽、出芽といった極初期の生育抑制への関与は薄いと推察される。

二価鉄が各雑草の発芽におよぼす影響

これまでの実験で、稲わらの添加により、イヌビエ、タイヌビエの生育が抑制されること、そのときの土壌溶液中の二価鉄が、 100 mg L^{-1} 以下であることが示された。そこで、この濃度の二価鉄が、主な水田雑草の発芽および種子根の

図-5 土壌溶液中の二価鉄濃度の変化
(記号は図-4と同じ)

伸張に及ぼす影響について、次のような方法で実験を行った。①イネおよびヒエは、ろ紙を敷いたシャーレに、ほしのゆめ、タイヌビエ、イヌビエのいずれかの種を入れた後、各濃度の二価鉄溶液 15 mL (ほしのゆめ) または 10 mL (イヌビエ) を加え、ふたをして 30°C で 7 日間培養した。二価鉄濃度は $0, 1, 10, 100 \text{ mg L}^{-1}$ ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ で調整) とした。②ほしのゆめ、Dunghan Shali (低温発芽性が良いとされる外国稲)、タイヌビエの鉄耐性を比較するために、同じ方法で、鉄濃度を変えて実験を行った。鉄濃度は、 $0, 25, 50, 75, 100 \text{ mg L}^{-1}$ 。③カヤツリグサ科、ミズアオイ科雑草については、 50 mL のスクリーキャップ付きポリエチレン製容器に、タマガヤツリ、ミズガヤツリ、イヌホタルイ、ミズアオイ、コナギ (コナギにはイネ種子もいっしょに入れた) 種子のいずれかを入れた後、各濃度の二価鉄溶液を満たし、ふたをして 7 日間 30°C で培養した。二価鉄濃度は $0, 1, 10, 100 \text{ mg L}^{-1}$ とした。実験①では、イヌビエの発芽のみが、 100 mg L^{-1} の濃度で抑制され (図-6)、急激に種子根長が短くなる濃度が、イネとタイヌビエの場合、 10 と 100 mg L^{-1} の間に

あり (図-7)、これらの結果は、イヌビエが二価鉄により、特に強い抑制を受けたことを示している。実験②では、0、25、50、75、100 mg L⁻¹の二価鉄の存在下で、いずれも発芽の影響は受けなかったが (結果非表示)、種子根の伸張が抑制された (図-8)。二価鉄無添加区で、種子根長はタイヌビエ>イネ>D.Shaliであったが、50 mg L⁻¹より高い濃度では、その順位が逆転

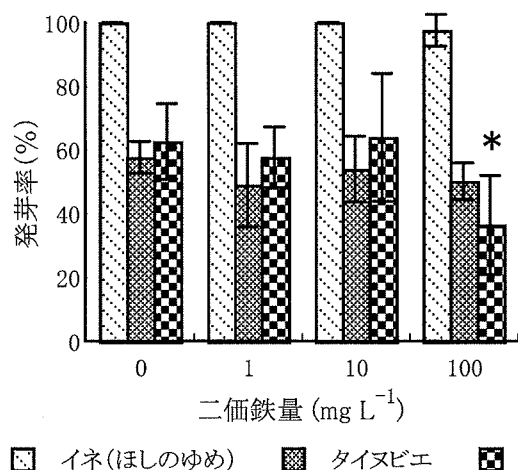


図-6 鉄濃度がイネおよびイネ科雑草の発芽率に及ぼす影響 (実験①)*:他の濃度のイヌビエと比べて、5%水準で有意差あり。(Tukey's HSD)

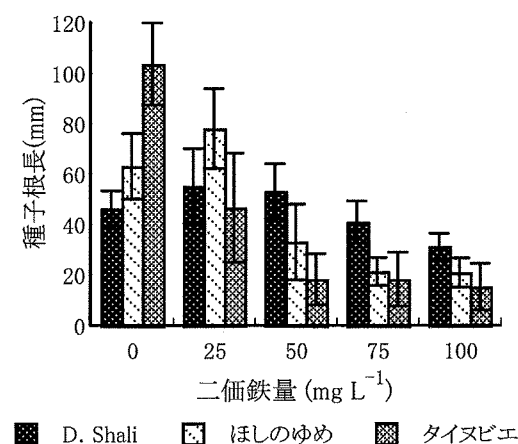


図-8 鉄濃度がイネ・タイヌビエの根の伸張に及ぼす影響 (実験②)

した。すなわち、タイヌビエ>ほしのゆめ>D.Shaliの順で二価鉄による抑制を受けた。これらの結果は、二価鉄は、イヌビエ>タイヌビエ>イネの順に阻害的な影響を及ぼし、イネの品種間に、その影響の大きさに違いがあることを示している。実験③より、カヤツリグサ科のイヌホタルイはすべての区で発芽できたのに対し、ミズガヤツリは100 mg L⁻¹で、タマガヤツリは

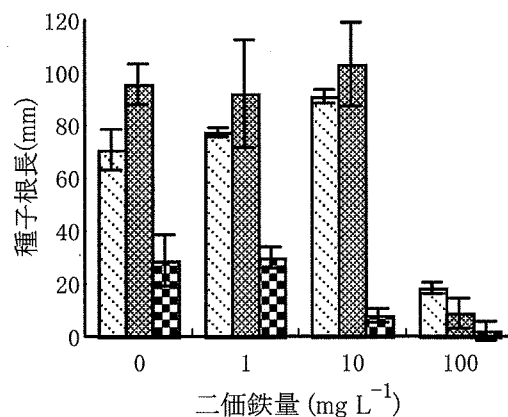


図-7 鉄濃度がイネおよびイネ科雑草の根の伸張に及ぼす影響 (実験①)
棒グラフの様子は図-6と同じ

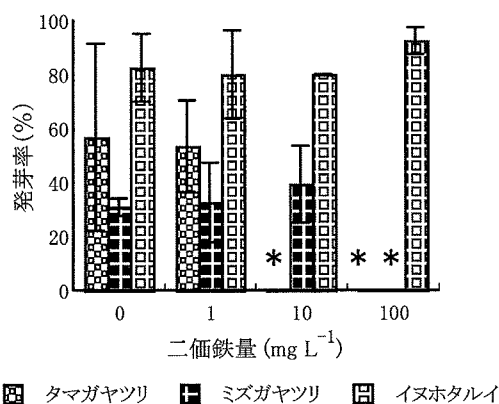


図-9 鉄濃度がカヤツリグサ科の発芽率に及ぼす影響 (実験③); *発芽せず

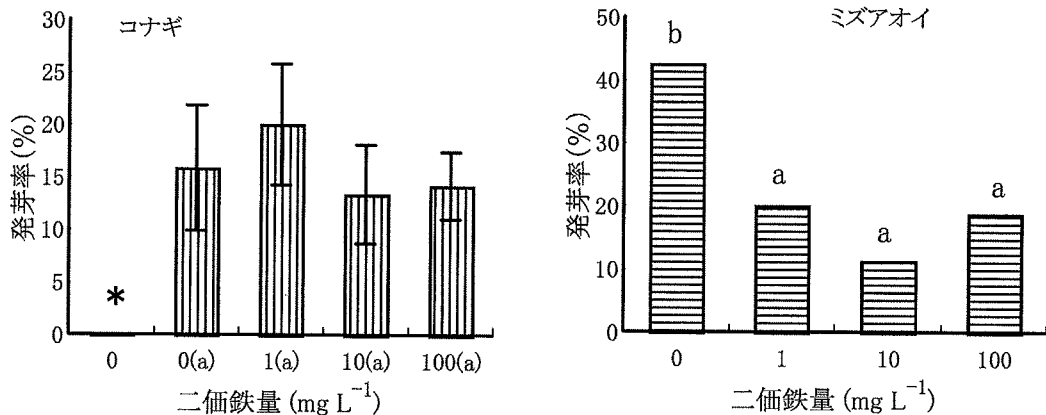


図-10 鉄濃度がミズアオイ科雑草の発芽率に及ぼす影響 (実験③)

*: 発芽せず; (a): イネの籾と共に培養; 異なるアルファベットの間には、5%レベルで有意差あり。(Tukey's HSD)

10 mg L⁻¹以上で発芽できなかった (図-9)。ミズアオイ科では、コナギの発芽は二価鉄の影響を受けなかったが、ミズアオイは1 mg L⁻¹以上で、有意に発芽が抑制される傾向があった (図-10)。これらをまとめると、二価鉄の影響は以下になる。

カヤツリグサ科: イヌホタルイ > ミズガヤツリ
> タマガヤツリ

ミズアオイ科: コナギ > ミズアオイ

コナギは、除草剤を使用しない有機農業において、最も抑草が難しい雑草である。本試験では、蒸留水中では発芽しなかったが、イネの籾をいっしょに培養すると発芽した (図-10)。米ぬかなど、籾の一部がコナギの休眠の覚醒や生育を促進すると報告されているが、本実験の結果は、この知見と合致するものである (Kawaguchi et al. 1997, Takeuchi et al. 2001)。実際の圃場では、このように米ぬかの存在はコナギの生育を促進する効果と、二価鉄濃度を上昇させて阻害する、相反する二つの影響を及ぼしていると推察される。本試験の結果は、コナギは二価鉄による抑制的影

響に対して強い耐性を持っていることを示しており、その抑草の難しさを示唆している。従って、有機農業における防除では、二価鉄だけでは抑草は難しいので、これ以外の他の要因と組み合わせで防除する必要があると考えられる。

以上の結果から、タイヌビエ、イヌホタルイ、コナギなど水田での強害雑草といわれるもののほど二価鉄耐性が強く、これらが水田土壌という特殊な条件下に適応している要因のひとつとなっていると推察される。また、イネが他の雑草より比較的強い鉄耐性を持っていること、イネの品種間に二価鉄耐性の違いが存在することなどを利用して、強い二価鉄耐性の品種や系統を栽培することにより、除草技術に寄与できる可能性を示している。

まとめ

1. イヌビエ、タイヌビエ、イネの出芽後の初期生育は、新鮮有機物添加によって抑制される。この抑制はイヌビエ > タイヌビエ > イネの順であるが、これらを死滅させるほどの効果はない。
2. イネ、タイヌビエ、イヌビエの発芽、種子根

- の伸張、出芽は、新鮮有機物施用によって抑制される。その抑制の程度は、出芽後と同様に、いずれもイヌビエ>タイヌビエ>イネとなる。この抑制の要因のひとつとして土壤溶液中の二価鉄が考えられる。
3. 水田土壤の還元に伴って土壤溶液中に溶出する二価鉄は、有機物が多いほど多く蓄積する傾向があり、ヒエだけではなく、他の水田雑草の生育を抑制する要因の一つとなっている。
 4. イネは、高い二価鉄耐性をもち、この耐性には品種間差がある。タイヌビエ、イヌホタルイ、コナギなど、強害雑草と言われている雑草は、イネに近い強い二価鉄耐性を持っている。
 5. コナギは、二価鉄に強い耐性を有しているだけではなく、周囲の初またはその残渣によって発芽が促進されるので、有機農業における防除では、二価鉄以外の他の要因と組み合わせて防除する必要がある。
- 引用文献**
- 福島祐助・内川修 2002、水稻の減農薬栽培における米ぬか撒布による水田雑草の防除、日本作物学会九州支部会報 68、40-42
- 萩原素之 1993、水稻の湛水土壤中直播における出芽・苗立ちに関する研究 ―種子近傍の土壤の酸化還元との関係に特に注目して―、石川県農業短期大学特別研究報告 20、1-103
- 北海道農政部 1965、水稻作における素わらの影響に関する試験、農業技術普及資料、一般課題 S40 (S39 年度)、230
<http://ns.agri.pref.hokkaido.jp/center/kenkyuseika/gaiyosho/S40gaiyo/finished/1964066.htm>
- Inubushi K, Wada, H. and Takai Y. 1984. Easily decomposable organic matter in paddy soil. IV. Relationship between reduction process and organic matter decomposition. Soil Sci. Plant Nutr. 30, 189-198.
- Kawaguchi S, Yoneyama K, Yokota T, Takeuchi Y, Ogasawara M. and Konnai M. 1997. Effects of aqueous extract of rice plants (*Oryza sativa* L.) on seed germination and radicle elongation of *Monochoria vaginalis* var. *plantaginea*. Plant Growth Regul. 23, 183-189.
- 室井康志 2005、米ぬか施用による雑草制御技術の現状と今後の課題、関東雑草研究会報 16、30-37
- 中山幸則・北野順一 2001、米ぬかの水田雑草に対する除草効果、平成 13 年度研究成果情報 (関東東海北陸農業・関東東海・水田畑作物)
http://www.affrc.go.jp/seika/data_kanto/h13/05/narc0105g34.html
- 大山信夫 1985、地力増強・施肥改善による水稻冷害軽減効果 [2] 昭和 50 年代の東北地方における試験結果から、農園、60、1385-1389
- Olofsdotter M, Reburanan M, Madrid A, Dali W, Navarez D. and Olk D.C. 2002. Why phenolic acids are unlikely primary allelochemicals in rice. J. Chem. Eco. 28, 229-242.
- Takeuchi Y, Kawaguchi S. and Yoneyama, K. 2001. Inhibitory and promotive allilopathy in rice (*Oryza sativa* L.). Weed Biology and

management 1, 147-156.

上野秀人・鈴木孝康 2005、水稻有機栽培における
焼酎廃液資材と米ぬか抑草効果および養分
供給特性、農作業研究 40、191-198

瀧島康雄 1963、水田特に泥炭質湿田土壤中にお
ける生育阻害物質の行動に関する研究、農技
研報 B13、117-252

新刊

カヤツリグサ科入門図鑑

谷城 勝弘

A5変形判 定価2,940円(税込)

ごく普通に見られる約200種を取り上げ、大きな写真、
ていねいな写真説明でわかりやすく解説します。

- 第1部 カヤツリグサ科の形
- 第2部 カヤツリグサ科200種
- 第3部 カヤツリグサ科の生える環境
- 第4部 標本でみるカヤツリグサ科

全国農村教育協会

〒110-0016 東京都台東区台東1-27-11

TEL03-3839-9160 FAX03-3839-9172

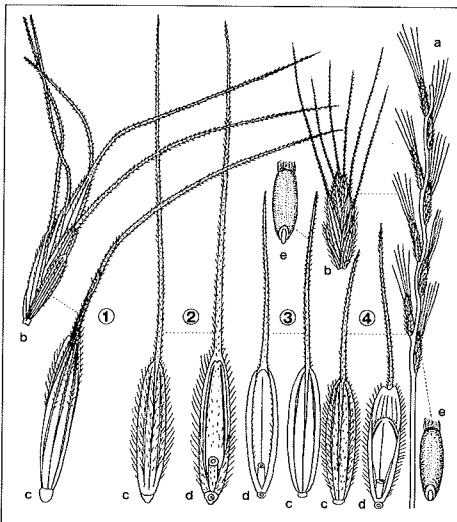
<http://www.zennokyo.co.jp>

桑原義晴日本イネ科植物図譜

新刊

B5版 504頁 定価7,140円(本体6,800円)

識別の難しかったイネ科植物が、識別できるようになった。



①日本のイネ科植物のほとんどを網羅する343種を収録。

全体図と細部の拡大図、さらに、主要種では芽ばえ、
成植物の地下部も描写。

②イネ科植物を識別・同定するキーワードである包葉(包穎・
護穎・内穎など)の拡大図を属ごとに比較した図を108
点掲載。同属内での比較により、識別・同定が容易に
なった。

左図：カモジグサ属の小穂・護穎・内穎の比較

③190余種について、現場で生育している様子をカラー
生態写真によって補った。

④イネ科植物を識別・同定できる本格図鑑で、お求めや
すい手頃な価格を実現。

全国農村教育協会

〒110-0016 東京都台東区台東1-27-11

TEL03-3839-9160 FAX03-3839-9172 <http://www.zennokyo.co.jp>