

山形県の水田における除草剤処理適期の推定

山形県農業総合研究センター 松田 晃

はじめに

水稲栽培において除草剤を適期に使用することは、除草剤による作物への薬害を回避し、除草効果を高める上で重要である。代かき後や移植後の気温の推移と雑草葉齢の関係は、除草剤の処理時期を推定するために使用されている。特にノビエの葉齢は、その水田での他の雑草の生育段階の指標にもなり、除草剤の散布時期を決定する目安として重要である。このため、それぞれの地点での気象値を用いてノビエの葉齢進展の予測が試みられてきた。予測の手法には日数による予測のほか、単純積算気温（日平均気温の積算値）による予測や有効積算気温（低温条件では出芽・生育は進まないとみなして一定の控除値を差し引く）による予測が挙げられる（土井・村上 1977；村上ら 1990；森田 1992；森田 1996）。これらは、各地域で作成される経験式に基づく予測手法であるから、地域における適合性の確認を行いながら利用することが望ましい。

近年では、春先の気象変動が大きい傾向にある。気温と雑草葉齢の関係を整理し、除草剤の処理適期を明らかにすることは、地域の水田除草の安定化に寄与すると考える。さらに山形県の水稲作においては、移植栽培に限らず直播栽培の面積も近年徐々に拡大している。そこで本稿では、移植栽培と直播栽培（湛水直播栽培）を対象に、山形県における除草剤の適切な処理時期の目安について検討した。

1. 材料と方法

(1) 気温と葉齢の関係の解析

栽培試験データは、山形県農業総合研究センターで実施した水稲除草剤適 2 試験（2003～

2013 年、日植調委託試験）のデータを用いた。試験は山形市みのりが丘、鶴岡市藤島の 2 カ所で行われた。

移植栽培試験は 2 試験地とも「はえぬき」を供試した普通期稚苗移植栽培で実施された。山形市の試験圃場は雑草発生量が多く、ノビエとイヌホタルイ (*Scirpus juncooides*) の発生密度が特に高い傾向にあった。鶴岡市の試験圃場ではノビエの発生密度は低いがコナギ (*Monochoria vaginalis*) の発生が多い傾向にあった。2 試験地ともノビエの草種はタイヌビエ (*Echinochloa oryzicola*, Vasing.) のみであった。

一方、湛水直播栽培試験は、2 試験地とも「はえぬき」が供試されたが、山形市ではカルパーコーティングによる湛水直播（コーティング比は等倍量、播種深 1cm 程度の土中条播、播種後落水出芽）での試験で、鶴岡市では密封式鉄コーティング（今川 2009；農研機構 2013）による湛水直播（コーティング比は 0.5 倍量、表面条播、播種後落水出芽）での試験であった。山形市の試験圃場では雑草発生量は増加傾向にあり、近年ではノビエとイヌホタルイが優占草種となり、ノビエにはタイヌビエとイヌビエ (*E. crus-galli* (L.) Beauv. var. *crus-galli*) が混在していた。鶴岡市の試験圃場は移植の場合と同様にノビエの発生密度は低く、コナギの発生が多かった。

各試験において、除草剤未処理状態での雑草葉齢進展を記録した。ノビエ葉齢は最大葉齢、イネ葉齢は平均葉齢とした。代かき後積算気温と葉齢の関係式は、移植栽培ではノビエ、イヌホタルイ、コナギについて、直播栽培ではノビエ、イヌホタルイについて作成した。さらに、直播栽培ではイネの播種後積算気温と葉齢の関係式も作成した。イネ葉齢は不完全葉を除く葉齢で記述した。

(2) 葉齢進展の地域分布の推定

県内の葉齢進展の推定分布図を作成するための気温データは東北農業研究センターによる1kmメッシュデータを用いた(菅野 1997)。各メッシュについて1996～2010年までの日平均気温を平均し、さらに9日間の3回移動平均によって平滑化して平年値として用いた。

2. 移植栽培における葉齢進展

(1) 関係式の作成

ノビエ葉齢の目安は便宜上の理由から移植後日数で示されることがあるが、雑草の生育は代かき後から始まる。葉齢進展の推定には、単純積算気温の他に有効積算気温が使われる場合もあり、その控除値には文献によって異なる値が用いられているが、一般的には日平均気温から10℃を控除した値が葉齢推定に使われることが多い(森田 1996)。以下に示す有効積算気温では10℃を控

除値とする値を用いた。図-1は代かき後積算気温(単純積算気温または有効積算気温)と葉齢の関係をノビエ、イヌホタルイ、コナギの3草種について示す。いずれの草種でも、積算気温と葉齢には正の相関関係が認められた。寄与率(r^2)はノビエ、イヌホタルイ、コナギの順に、単純積算気温に対して0.88, 0.87, 0.82, 有効積算気温に対して0.81, 0.76, 0.78で、単純積算気温の方が相関が高かった。これらの関係から、単純積算気温による葉齢の指標はノビエ2葉期230℃、2.5葉期280℃、3葉期330℃であった(表-1)。また、有効積算気温による指標はノビエ2葉期80℃、2.5葉期100℃、3葉期120℃であった。同様にして、イヌホタルイとコナギについても目安を示した。

移植栽培において、代かき後有効積算気温(控除値10℃)とノビエ葉齢の関係を諸文献と比較した。村上ら(1977)による推定式は、前年の発生量が多い圃場ほど雑草出芽時期の変異が大き

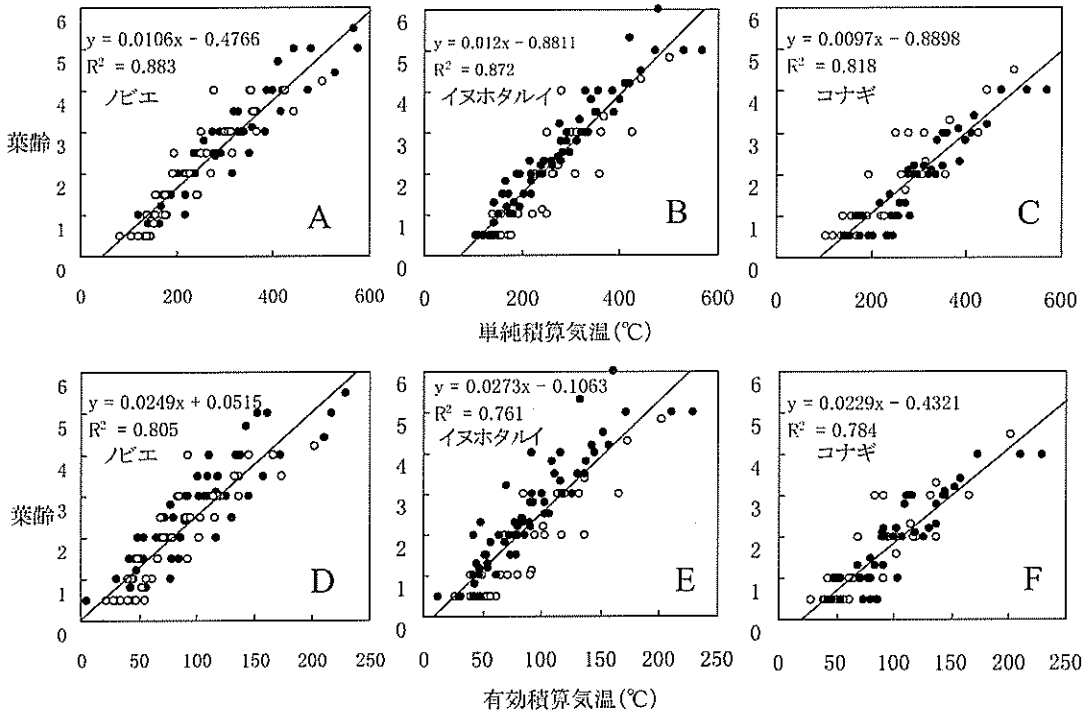


図-1 移植栽培における代かき後積算気温と雑草葉齢の関係
 上段 (A, B, C) : 単純積算気温, 下段 (D, E, F) : 有効積算気温 (控除値10℃)。
 左 (A, D) : ノビエ, 中 (B, E) : イヌホタルイ, 右 (C, F) : コナギ。
 ●山形市みのりが丘, ○鶴岡市藤島。

表-1 移植栽培において各葉齢に対応する積算気温の目安
代かき後積算気温。図1の回帰式による。有効積算気温の控除値は10℃。

葉齢	単純積算気温(℃)			有効積算気温(℃)		
	ノビエ	イヌホタルイ	コナギ	ノビエ	イヌホタルイ	コナギ
2.0	234	240	298	78	80	106
2.5	231	282	349	98	99	128
3.0	328	323	401	118	117	150

く、ノビエの最大葉齢の進展が早いとしている。このモデルではノビエ発生量が「微」から「極多」の間で関係式は段階的に移動する。今回作成した関係式はこれらの中間に位置した(図-2A)。一方、山崎ら(1987)は北海道から佐賀県までの全国7か所の試験地で、7か年の除草剤試験データから代かき後有効積算気温(控除値10℃)によるノビエ葉齢進展の回帰式を作成して比較し、有効積算気温とノビエ葉齢の関係の地域と年次による変動を明らかにした。各試験地の回帰直線は有効積算気温100℃でノビエ1.5~2葉に到達しているが、今回作成した関係式はこれらよりも進展が早い傾向にあった。この理由としてはノビエが多発する条件でのデータを多く使用していることが考えられた(図-2B)。また、村上ら(1990)は兵庫県内における作期試験データから、控除値

6℃でもっとも汎用性の高いノビエ葉齢の推定が可能と提案している。ここでは比較のため同報告中の控除値10℃での推定式と比較すると(寄与率はほとんど変わらない)、村上ら(1990)の式は、山崎ら(1987)の複数試験地の変異の範囲内であった。なお、これらの他に、加重有効積算気温(1時間気温値を葉齢進度への寄与度に読み替えた有効積算気温)による方法も提唱されている(森田ら1992)。

以上、移植水稻については推定式がこれまでも多く作成されていて、気温と葉齢進展の関係には地点や年次、埋土種子量による変動が認められている。今回山形県内のデータから作成した関係式は、雑草発生量の多いデータを多く含むことから、他地域との比較において、気温に対してやや早めの葉齢進展と位置づけられるものの、大きく

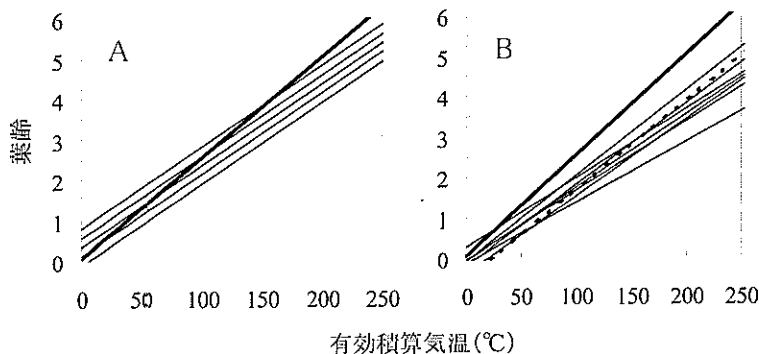


図-2 作成した関係式の諸文献との比較(移植栽培)

(A) 土井・村上(1977)との比較。代かき後有効積算気温(控除値10℃)に対してプロット。今回作成した回帰直線と、土井・村上による発生度別(5段階)の直線群。黒色太線:山形(今回作成) $y = 0.0249x + 0.0515$, 灰色細線:土井・村上(1977) $y = 0.0201x - 0.3354 + 0.2254p$ ($p = 1, 2, 3, 4, 5$). p は前年の発生量, 微1~極多5。

(B) 山崎ら(1987), 村上ら(1990)との比較。代かき後有効積算気温(控除値10℃)に対してプロット。今回作成した回帰直線と、山崎ら(1987)による植調7試験地・7か年のデータに基づく回帰直線群, 村上ら(1990)による回帰直線。太線:山形(今回作成) $y = 0.0249x + 0.0515$, 太い点線:村上ら $y = 0.022x - 0.51$, 細線(7本):山崎ら, 区別せず表示, 北海道岩見沢 $y = 0.017x + 0.291$, 宮城 $y = 0.018x - 0.058$, 新潟 $y = 0.021x - 0.059$, 茨城 $y = 0.017x - 0.017$, 滋賀 $y = 0.02x - 0.175$, 広島 $y = 0.019x - 0.362$, 佐賀 $y = 0.015x - 0.125$ 。

逸脱したものではなかった。

(2) 地理的分布

代かき後単純積算気温と葉齢の関係より、ノビエ2葉期に到達するのに必要な積算気温を230℃、ノビエ2.5葉期を280℃としてそれぞれの代かき後日数を県内の水田を含むメッシュについて計算した。図-3は、5月15日を代かき日として計算したノビエ2葉期と2.5葉期の到達日(代かき後日数)の分布を示す。葉齢到達日の差は、2葉期と2.5葉期のいずれについても平坦部から中山間部の大部分までで2～3日程度の差であった。中山間部では水温や日射の点からこれよりも葉齢進展がずれる場合が平坦部よりも多いと思われる。また、ここでは気象データの入手が容易な気温(日平均気温)との関係を示したが、より直接的には地温や水温、日射、圃場の水深等も関与する。また、前年の発生量(埋土種子量)が多いほど雑草の葉齢進展の変異幅は広く、雑草の初発生が早い傾向がある。これらの多様な要因が雑草生育に関与することから、気温による目安と合せて実際の圃場における雑草の発生を注意して観察し、除草剤を遅れずに使用することが重要である。

3. 湛水直播栽培における葉齢進展

水稻生産に一層の省力化と低コスト化が求められており、直播栽培への期待は今後さらに高まると予想されるが、除草対策は、直播栽培の推進上の問題点として筆頭に挙げられることが多い。直

播栽培ではイネと雑草の両者の葉齢進展に注意して除草剤散布を行う必要がある。

タイヌビエとイヌゴエは、除草剤を使用する場面ではノビエとして一括して扱われる場合があるが、両者の発生生態は異なる。特に湛水直播栽培では、播種後の落水管理が普及していることから、好氣的条件で出芽が良好な特性を持つイヌビエがタイヌビエよりも速やかに発生し、問題となる場合がある。気象条件をもとに精度の高い葉齢の推定を行うには、タイヌビエが優占する圃場とイヌビエが優占する圃場の場合分けして推定式を作成することが理想的である。しかし実用上は、タイヌビエとイヌビエが混在する圃場で、気温から葉齢を、どの程度の精度で推定することが可能かを明らかにしておくことも有用である。本稿では湛水直播栽培についてはタイヌビエとイヌビエを一括して扱った場合の除草剤処理時期について考察した。

(1) 関係式の作成

湛水直播栽培におけるイネや雑草の発生は、気温だけでなく地温や水温、水管理の影響等を受け、移植後に湛水が保たれる移植栽培に比べると複雑である。発生するノゴエの種類もタイヌビエのみならず、イヌビエが発生する場合も多い。

山形県の直播栽培の除草剤試験は、山形市ではカルパーコーティング剤による湛水土中播種、鶴岡市藤島では密封式鉄コーティングによる表面播種(いずれも播種後落水)で行われている。これ

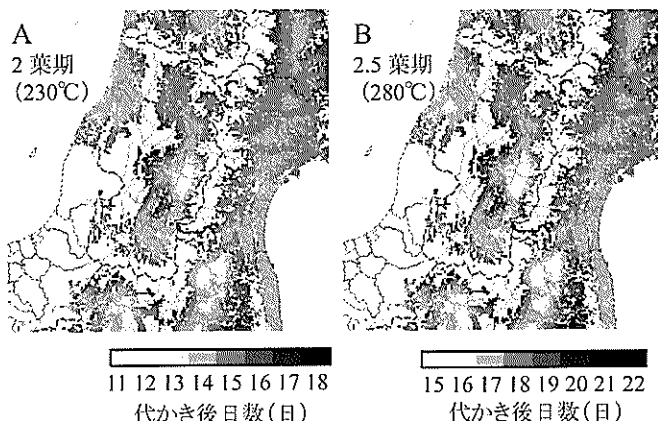


図-3 ノビエが各葉齢に到達する目安となる代かき後日数の分布

5月15日を起点として計算。気温データは1996～2010年の平年値を使用。(A) 2葉期、(B) 2.5葉期。

らの試験データを用い、イネでは播種後、ノビエでは代かき後の積算気温（単純積算気温または控除値10℃の有効積算気温）を用いて葉齢との関係を調べた。

図-4は代かき後積算気温（単純積算気温または有効積算気温）と葉齢の関係をイネ、ノビエ、イヌホタルイの3草種について示している。移植の場合と同様に、いずれの草種でも、積算気温と葉齢には正の相関関係が認められた。寄与率（ r^2 ）はイネ、ノビエ、イヌホタルイの順に単純

積算気温に対して0.93, 0.79, 0.76, 有効積算気温に対して0.92, 0.81, 0.75で、どちらに対して回帰しても寄与率はほとんど同じであった。また、この関係から、単純積算気温によるノビエ葉齢の指標は2葉期240℃, 2.5葉期300℃, 3葉期350℃であった（表-2）。また、有効積算気温による指標は2葉期70℃, 2.5葉期90℃, 3葉期110℃と見積もられた。イネ1葉期の目安は単純積算気温で210℃, 有効積算気温で60℃と見積もられた。同様にして、イヌホタルイについて

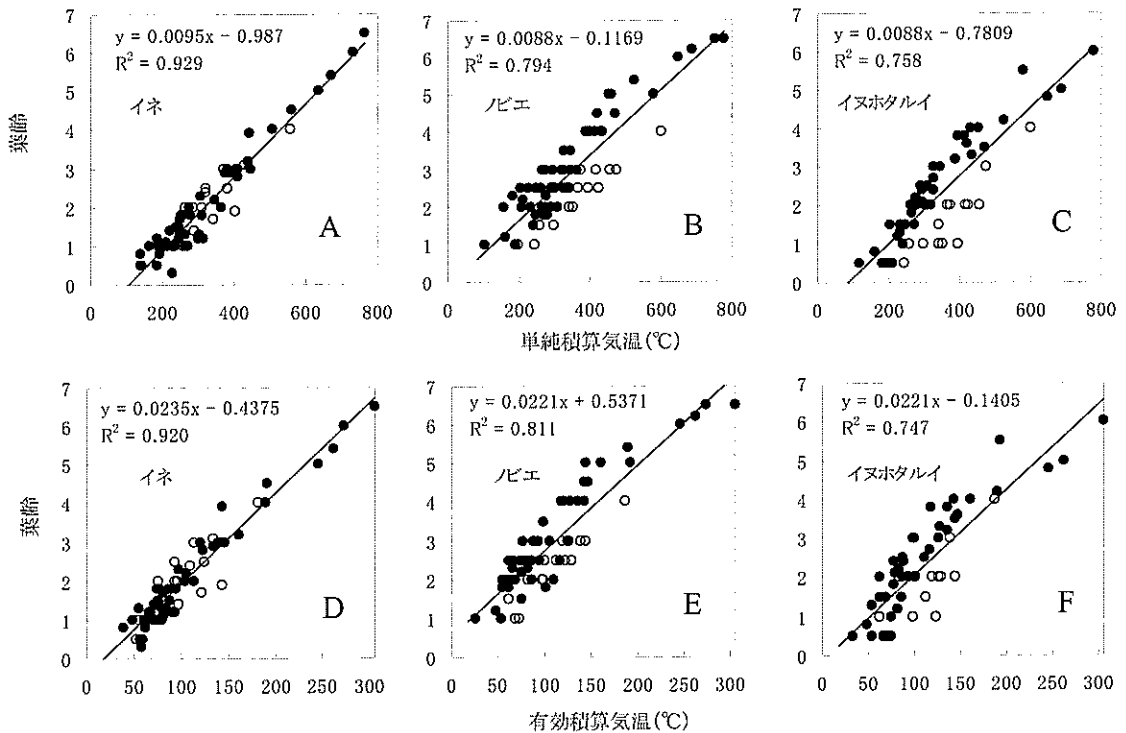


図-4 湛水直播栽培における代かき後積算気温と雑草葉齢、播種後積算気温とイネ葉齢の関係
 上段 (A, B, C) : 単純積算気温, 下段 (D, E, F) : 有効積算気温 (控除値10℃)。
 左 (A, D) : イネ, 中 (B, E) : ノビエ, 右 (C, F) : イヌホタルイ。●山形市みのりが丘, ○鶴岡市藤島。

表-2 湛水直播栽培において各葉齢に対応する積算気温
 イネは播種後積算気温, ノビエとイヌホタルイは代かき後積算気温。
 図4の回帰式による。有効積算気温の控除値は10℃。

葉齢	単純積算気温(°C)			有効積算気温(°C)		
	イネ	ノビエ	イヌホタルイ	イネ	ノビエ	イヌホタルイ
1	209	-	-	61	-	-
2	-	241	316	-	66	97
2.5	-	297	373	-	89	120
3	-	354	430	-	111	142

も目安を記載した。ノピエでは移植の場合に近い回帰式が得られたが、イヌホタルイは移植に比べて進展の遅い回帰式であった。

今回作成した関係式を、尾形ら(2001)の推定式(単純積算気温に対する推定)、森田ら(2011)のノピエの種類別の推定式と比較したところ、いずれとも大きく乖離しない結果であった(図-5)。

(2)播種様式と除草体系について

図-6は、表-2に示した目安と気温データから計算された湛水直播栽培での除草剤使用可能時期の模式図(2試験地の計算結果の平均)を示す。図-6上側には、催芽粉を播種する場合について、播種時期を5月初頭から中旬までの4通り、代かきから播種までの日数を3日として平年の気象から計算された除草剤の使用時期幅を算出し、イネ1葉期~ノピエ2.5葉期、イネ1葉期~ノピエ3葉期を使用時期とする一発剤の使用時期幅を図

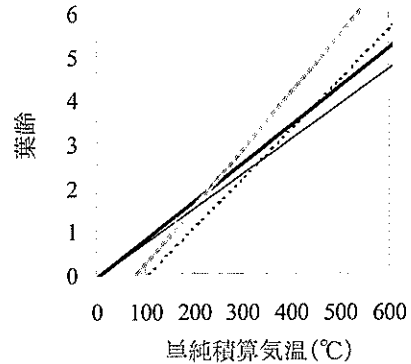


図-5 作成した関係式の諸文献との比較(湛水直播)尾形ら(2001)、森田・平川(2011)との比較。代かき後単純積算気温に対してプロット。今回作成した回帰直線と、尾形ら(2001)による回帰直線、森田・平川(2011)によるタイヌピエ、イヌピエの回帰直線。黒色太線：山形(今回作成) $y = 0.0083x - 0.1169$ 、灰色太線：尾形ら： $y = 0.0129x - 1.059$ 。黒色細線：森田・平川タイヌピエ $y = 0.0113x - 1.2144$ 、黒色点線：同イヌピエ $y = 0.080x - 0.1251$ 。

		5月										6月												
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6
密カ 封ル 式パ ー 鉄コ ー テ イ ン グ	代かき 4/30 播種 5/3				■	■	■																	
					■	■	■																	
					■	■	■																	
					■	■	■																	
慣行 式鉄 コ ー テ イ ン グ	代かき 4/30 播種 5/3				■	■	■																	
					■	■	■																	
					■	■	■																	
					■	■	■																	

図-6 湛水直播栽培における作期別の除草剤処理時期の推定

気温は1996~2010年の平年値による。イネは1葉を超える初日、雑草は各葉齢に到達する前日。バーは処理時期、■：イネ1葉期~ノピエ2.5葉期を処理時期とする剤、■：イネ1葉期~ノピエ3葉期を処理時期とする剤。慣行式鉄コーティングでは、場内試験事例をもとにイネの出芽が催芽粉を播種する場合よりも単純積算気温で40℃相当遅れる場合を想定して計算。

示した。

山形市の試験圃場ではノビエの密度が高いため、個別の年次のデータによると、ノビエ 2.5 葉期とイネ 1 葉期の到達日が同日になる年もあった（データ示さず）。近年の東北・北陸地域の湛水直播栽培での適 2 試験においては、このような場合が多く見られる。落水出芽と入水後一発処理剤による体系ではノビエ 3 葉期までの適用時期のある剤の方が使用時期を広くとることができ安定した効果が期待できる。また、最近ではノビエ 2.5 葉期をノビエ葉齢の上限とする剤でも、使用時期がイネ 1 葉期よりも早い剤が市販されており、これらを活用することで一発処理剤の使用時期を広げることができる。

山形県における水稲直播の近年の動向をみると、慣行式鉄コーティングが普及面積を増やしているが、これはカルパーや密封式鉄コーティングと除草体系が異なり、播種同時除草剤を使用する人が多い。密封式鉄コーティングは、苗立ちの遅い寒冷地における出芽促進のために、種子コーティング直後に密封し、播種前数日間密封したまま室温で催芽する技術である（今川 2009；東北農研 2013）。密封式鉄コーティングは土中に播種するカルパーの場合よりも出芽が速やかな傾向があり、山形県においては初期剤を使わない除草体系が可能な技術として、比較的寒冷な地域を中心に普及している。これに対して慣行式鉄コーティングは西日本から普及を拡大した鉄コーティング直播で、専用点播機の普及により近年南東北で面積を増やしている。こちらは種子の長期保存を可能とするために催芽を十分に行わないので、出芽までにカルパーの場合よりも長い日数を要する。図-7 は種子コーティングの違いによる苗立ち時期の違いの例を示している。2012 年に山形市の試験圃場で行った結果である。供試品種「はえぬぎ」と「ふくひびき」の品種間差は認められず、1 葉期への到達は密封式鉄コーティング（表面播種）が最も早く、次いでカルパーコーティング（土中播種）と無コーティング（土中播種）であり、慣行式鉄コーティング（表面播種）が最も

遅かった。

図-6 上側の目安は密封式鉄コーティングとカルパーコーティング直播における目安であるが、図-6 下側には、慣行式鉄コーティングの場合について、場内試験事例をもとにイネの出芽が催芽粉を播種する場合よりも単純積算気温で 40℃遅れる場合を想定した計算結果を示した。催芽粉を播種する場合よりも苗立ちが遅れる慣行式鉄コーティングでは、イネ 1 葉期以降の一発処理剤の使用適期は非常に狭くなる（図-6 下）。そのため、播種直後の初期剤散布や入水直後の初期剤の使用が前提とされており、最近では播種同時や直後に除草剤を散布するケースが多くなっている。初期剤の使用により入水後の一発処理剤の使用時期を広くすることが可能である。それぞれの播種様式に合わせて適切に除草剤を選択することが重要である。

まとめ

ノビエはその繁殖力や雑草害の程度から、最も重要な水田雑草とあって過言でないであろう。ノビエの発消長については既に多くの報告がなされている。しかしながら、水田除草の状況は使用除草剤や除草体系の変化（一発処理の増加や少成分剤の普及等）、直播栽培の播種様式の多様化

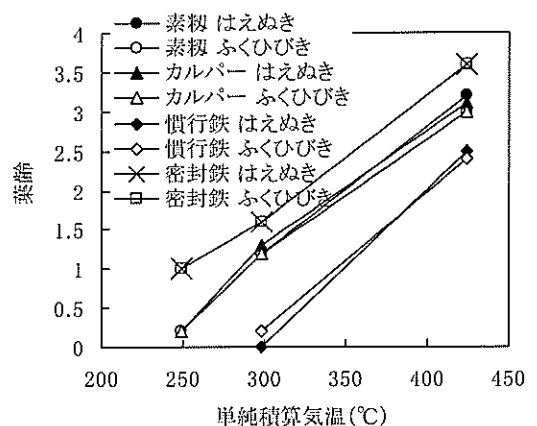


図-7 湛水直播栽培における播種様式による苗立ちの違い

2012 年、山形市みのりが丘での場内試験事例。5 月 2 日播種、条播、落水出芽。水管理は一括とした。

等により、変化している。移植栽培では、大規模化や複合経営で代かきから移植までの期間が長くなる場合が増えてきている。直播栽培の場合には異なる播種様式に合わせた除草剤使用の目安を示していくことが必要である。

本稿では単純な関係式で葉齢進展の目安を提示し、既報の事例と比較した。より精度の高い推定を行うには、有効積算温度の控除値の選択、ノビエの種類や発生量にあわせた式の選択など、他の研究事例や他の地域の葉齢のデータと比較をしながら改良することが必要である。

謝辞

本稿は（公財）日本植物調節剤研究協会の委託試験で得られたデータを基に執筆しました。農業気象メッシュデータの利用法は、中央農業総合研究センター情報利用研究領域の神田主任研究員にご指導頂きました。記して感謝いたします。

引用文献

土井康夫・村上利夫 1977. 北海道におけるタイヌビエの発生生態に関する地域性.北海道農試

県報 119, 1-8.
 今川彰教 2009. 密封式鉄コーティングによる水稻湛水直播. 農業及び園芸 84, 888-894.
 森田弘彦 1992. ノビエ類とイヌホタルイの葉齢進展の温度指標. 雑草研究 (別I) 37, 88-89.
 森田弘彦 1996. 日本の稲作と雑草ヒエ. ヒエの博物学, ダウ・ケミカル日本, 東京pp.45-66.
 森田弘彦・平川謙一 2011. 秋田県由利本荘管内の湛水直播圃場における雑草ヒエの葉齢進展. 雑草研究 (別), 56, 75.
 村上士明・馬庭義則・阪上和久 1990. タイヌビエの葉齢進展の推定法とプレチラクロールの散布適期の表示方法. 雑草研究 35, 253-260.
 尾形茂・高橋政夫・長谷川義孝・臼井智彦 2001. 水稻湛水直播におけるノビエとイヌホタルイの葉齢モデル. 東北農業試験研究成果情報.
 菅野洋光 1997. ヤマセ吹走時におけるメッシュ日平均気温の推定. 農業気象 53, 11-19.
 東北農業研究センター 2013. 「萌えみのり」の鉄コーティング直播栽培マニュアル.
 山崎和巳・塚本伸也・柴谷得郎 1987. ノビエの葉齢進度について. 雑草研究 (別) 26, 89-90.

シダ植物

村田威夫・谷城勝弘／著
 A5判 136頁
 定価：1,905円＋税

「シダ」という植物は、わかりにくく難しいと思われがちですが、「くらし」と「かたち」を通して植物としての特徴をよく理解することによって、身近なものになってきます。本書はシダの形態、生態からシダの調べ方、身近なシダ90種の図鑑部を含む最適の入門書です。

全国農村教育協会

〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6
 TEL03-3839-9160 FAX03-3839-9172

ホームページ <http://www.zennokyo.co.jp>
 Eメール: han@zennokyo.co.jp