

発生生態の解明と実用的識別法に基づくイネ科水田雑草の制御戦略に関する研究

森田 弘彦

(2003年8月8日 受理)

要 旨

森田弘彦(2003)発生生態の解明と実用的識別法に基づくイネ科水田雑草の制御戦略に関する研究。九州沖縄農研報告 44:1-53。

イネやムギ類の作付けされる水田において、作物と同じ科に属するイネ科雑草は、使用する除草剤に高度の選択性を要求されることや、穂や小穂を欠く状態では容易に同定できないことで、防除上に大きな問題となっている。選択性除草剤の効果の適用の要件となる、野生ヒエの葉齢を指標とした好適処理時期の推定法とイネ科雑草種の正確な同定手法の確立を基に、水田におけるイネ科雑草の制御戦略を策定した。野生ヒエの発生および定着を予測するための加重型有効温度手法を開発し、同手法に基づいて、関東地方の耕起・不耕起乾田直播栽培におけるヒメイヌビエの発生生態の差異を明らかにし、入水前除草剤処理時期の推定指標を作成した。九州地方に発生したコヒメビエにつき、低温での種子の死亡条件を基にした定着不可能地点を推定し、温暖化がコヒメビエの葉齢進展速度に及ぼす影響をタイヌビエとの対比で予測した。水田に発生するイネ科多年生雑草の葉の特徴による同定法を作成し、千葉県八千代市での発生状況を解析した。暖地の水田裏作において近年増加傾向にあるイネ科雑草カズノコグサ幼植物のスズメノテッポウとの識別法を作成し、ジニトロアニン系除草剤に対する反応の差異に中胚軸伸長特性の違いが関与していることを明らかにした。これらの知見に基づいて水田におけるイネ科雑草の制御戦略を策定した。

キーワード：イネ科雑草、温暖化、加重型有効積算気温、葉齢進展、コヒメビエ、カズノコグサ、識別法、野生ヒエ。

目 次

I. 緒 言	2	III. 水田に発生するイネ科多年生雑草の葉の特徴による同定法と千葉県八千代市での発生状況の調査	26
II. 野生ヒエの発生および定着を予測するための加重型有効温度手法の開発と応用		IV. 暖地の水田裏作におけるイネ科雑草の識別法の開発と除草剤反応の差異に及ぼす中胚軸伸長特性の役割	
1. 1時間気温値の加重型有効積算気温を用いた野生ヒエとイヌホタルイの葉齢進展の計量化	4	1. カズノコグサとスズメノテッポウの幼植物の簡易識別法と除草剤に対する反応性の差異	32
2. 関東地方の耕起・不耕起乾田直播栽培におけるヒメイヌビエの発生生態の差異と入水前除草剤処理時期の推定指標の作成	12	2. カズノコグサとスズメノテッポウにおける中胚軸の伸長特性とジニトロアニン系除草剤に対する反応性の差異	36
3. 九州地方に発生したコヒメビエの小穂と穂の形態および低温での種子の死亡条件を基にした定着不可能地点の推定	18	3. 小 括	39
4. 温暖化がコヒメビエの葉齢進展速度に及ぼす影響の予測	22	V. 総合考察	40
5. 小 括	26	VI. 総合摘要	41
		引用文献	45
		Summary	49

1. 緒 言

1940年代後半に2,4-PAが実用化されて以来、日本の農耕地では除草剤による雑草防除が基幹技術となった。水田作では1970年代以降、稚苗機械移植技術が開発されたが、それまでの手植え成苗に比べて若い苗を用いることにより、移植から稲体が茎葉で田面を覆って雑草を抑制するようになるまでの期間を示す要防除期間は長くなった。齢の若い稲に薬害を及ぼすことなく、延長された要防除期間に発生する雑草に適用可能な新しい除草剤の開発と応用が稚苗機械移植技術の確立に大きく寄与し、水田作における移植作業と除草作業での省力化が著しく進んだ。すなわち、稲作での最も過酷な労働であった田植えと除草が手作業から完全に解放され、1949年に10aあたり50.6時間を要していた水田の「除草防除」労働時間は、1960年の26.7時間を経て2000年には2.7時間へ、全労働時間に占める割合でも同期間に15.3%から8.1%へと低下した（農林水産省農産振興課：2001）。除草剤の開発は、作物と環境に対する安全性と雑草の枯殺効果を高める方向で不断に進められ、水田作用除草剤では特に作物と雑草間の選択性の向上が求められてきた。

日本の水田においては、夏期の稲作ではノビエと総称される野生ヒエ、冬期の麦作ではスズメノテッポウやスズメノカタビラなどのイネ科雑草が主要な防除対象となっている。水田の雑草の種類は、畦畔や水路を含めて43科191種とされてきた（笠原：1968）が、1950年代以降の帰化雑草を加えて現在では210種前後と見られる。このうち、水田内で防除の対象となるものは約70種である。稲作での雑草の種類と発生面積の近年の動向には下記のような特徴が見られ（森田：1996b）、これらに適切に対応することが制御戦略策定の基本となる。

1. 主要雑草の動向

農業改良普及センター単位での集計を基にした主要雑草の発生面積比率（作付け面積に対する比率）の1987～88年から1997～98年の約10年間の推移を東北、関東および九州地方についてみると、2時期を通して、代表的な一年生雑草の野生ヒエは東北で95%、関東と九州で約65%、コナギは東北と関東で約15～20%の発生面積である。一方、コナギは

九州で1997～98年では増加して約45%の水田に発生している。一年生雑草では、発生密度はともかく発生面積は近年も大きく減少していない。一方、多年生雑草では、主に種子で繁殖するイヌホタルイが、1997～98年には東北で約65%、九州で約37%の水田に発生して最も高い比率となっている。東北から九州までミズガヤツリ、ウリカワ、セリ、マツバイが減少して、クログワイとオモダカが増加している。東北ではシズイ、九州ではキシウスズメノヒエが地域的に増加傾向にある。

2. 難防除雑草の動向

一年生と多年生、イネ科・カヤツリグサ科と広葉の各雑草を同時に制御できる一発処理除草剤をはじめ、高い効果を示す除草剤が広く使われる条件下においても残存して問題となる雑草を一般に「難防除雑草」と呼んでいる。1997年および1999年に、東海と関東の数県の水稲雑草防除に関する研究会などで難防除雑草として挙げられた雑草種を5～10年前の状態と比べると（森田：1999c）、①多年生雑草のセリやミズガヤツリが削除され、②キシウスズメノヒエに加えて複数のイネ科多年生雑草が加えられ、③広葉一年生雑草で大型になるもの（アメリカセンダングサなど）や匍匐するもの（イボクサ）が加えられ、④イヌビエが加えられ、⑤年次による発生変動の大きいことから藻類・表層剥離（らん藻などの光合成作用により発生した酸素の気泡で田面の表層が水面に浮上する現象）が削除された、などの違いが認められる。これらの変化は、一発処理剤の主要成分であるスルホニルウレア系除草剤が広く使用されたことが主な要因と考えられるが、今後詳細な検討が必要である。

3. 除草剤抵抗性雑草生物型の動向

一発処理除草剤の主要成分であるスルホニルウレア系除草剤の通常の使用量では制御されない水田雑草の生物型は、これまでにミズアオイ、アメリカアゼナ、アゼトウガラシ、キカシグサ、ミゾハコベなど広葉雑草主体に見いだされて来たが、近年カヤツリグサ科雑草のイヌホタルイでも確認された（伊藤：1998）。これらの抵抗性雑草生物型は当初、東北、北海道地方を中心に問題にされたが、近年では関東地方以西でもその発生面積が拡大する傾向にある。

現場では、①異常な残草について現象を正確に把握する、②適正な使用条件下で除草剤の効果を確認する、③制御可能な除草剤および拡散防止の耕種的手法を含む対応策を明示する、といった手順で冷静に対応する必要がある。

4. 帰化雑草の動向

日本の水田は、夏期には熱帯並の高温のもとで湛水条件下でイネが作付けされ、秋から春にかけては低温で、特に太平洋側においては乾燥条件に置かれる人為的な生態系である。水田の雑草は、約2500年前の稲作の導入に伴う史前帰化植物とされている（笠原：1982）。笠原（1951）は、戦後すぐに「近世以来渡来した帰化雑草の内畑地雑草が約80種ある。然るに水田雑草としての帰化雑草は僅かに1部の清水の入る田に於いてヨーロッパ原産のオランダガラシと南九州に見られる熱帯原産ホテヒアフィの2種のみである。畑地雑草のそれと著しく異なるのは注目せられる。」と述べ、その後、弥生時代などの水田遺構の雑草種子を詳細に調べてこの点を実証した（笠原：1982）。さらに、約20年後には「ここ数年のうちに水田雑草に新種類が目立つようになった。それはアメリカアゼナ・ウキアゼナ・ヒレタゴボウ・キシウズメノヒエなど北米、中・南米その他の熱帯性の水田雑草の発生である。」と述べている（笠原：1968）。日本の水田に帰化植物が侵入してから約40年が経過したことになるが、近年、暖地や温暖地を中心にイネ科植物を含む帰化植物の種類数はさらに増加し（森田：1990）、水田に発生する種も現在では45種と見積もられている（榎本：1992b）。

上記のように、イネ科雑草は日本の水田雑草のなかでも主要な地位を占めている。水田のイネ科雑草の防除を目的とした従来の研究は、最も発生面積の大きいノビエと総称される野生ヒエを主な対象として行われてきた。タイヌビエ種子の水田環境下における休眠状態の動態とそれに対する土壌水分などの環境条件の影響（宮原：1972）や、タイヌビエからイヌビエまで発芽時の酸素要求度や冠水下での発芽能力の種間差異の生理学的解析（山末：1992）をはじめとして多くの知見が蓄積されてきた。一方、水田の裏作では、関東地方における麦作雑草の生態的研究（荒井：1961）の後、日本での全般的な麦作の後退を反映して、麦作雑草を対象にした研究は必ず

しも活発には行われてこなかった。水田の雑草では、1970年代以降、除草剤による一年生雑草の制御が容易になる一方で、当時の除草剤では十分に制御できなかった多年生雑草の優占化が問題となった。イネ科に属する多年生雑草については、1970年代に寒地でエゾノサヤヌカグサ、暖地でキシウズメノヒエとその変種のチクゴズメノヒエが問題となり、各々の生態と防除に関する研究（村上：1983、大隈：1989）が行われたが、その後の種の変動については調べられなかった。すなわち、水田におけるイネ科雑草については、野生ヒエ、侵入しつつある帰化種、多年生の種群および裏作での新たな問題種などの多面的な検討が必要な状態にあると言える。

イネ科作物であるイネに安全で、イネ科雑草を有効に制御できる選択性を持つ水稲用除草剤は「ヒエ剤」と称され、2000年時点で約25種類が農薬登録されている（森田：2001）。除草剤の選択性がイネ科作物とイネ科雑草の間だけに働いて、雑草の生育ステージや種間で除草剤の効果が変動しなければ実用上の問題は生じないが、実際の農業生産の現場では除草効果の変動により特定のイネ科雑草種が枯殺されない現象がしばしば起きている。代表的な一年生イネ科水田雑草タイヌビエに対する除草剤の効果が処理時の葉齢に伴って低下することは、ベンチオカーブ（一前・植木：1978）、プレチラクロール（MURAKAMI:1990）、ピリプチカルブ（佃他：1993）およびメフェナセット（加持他：1993）などの「ヒエ剤」で報告されており、ベンチオカーブについて「イネのED₅₀/タイヌビエのED₅₀」で示される除草剤感受性の種間差が最大となる2葉期が、イネとタイヌビエの選択性の確保できる処理時期として示された（一前・植木：1978）。こうしたことから、農薬登録された使用基準において水稲用除草剤の使用時期の晩限は通常野生ヒエの葉齢で示されている。すなわち、水田作で選択性除草剤を効果的に使用する雑草制御技術においては制御対象となる雑草の生育ステージを正確に把握することが不可欠である。近年、生育の進んだ野生ヒエにも効果を示す除草剤が実用化されており（森田：2001）、処理時期の指標としての野生ヒエの葉齢推定法が重要になっている。

日本には帰化種を含めて108属347種のイネ科植物が自生し（大井：1983）、そのうち47属76種が雑草として扱われている（沼田・吉沢：1978）。一般に、

有性生殖器官である穂を欠く状態ではイネ科植物を正確に同定することは困難であり、水田作での除草剤の通常の使用時期に迅速な識別の求められるイネ科雑草の生育初期には、必要な情報が不足するために同定が一層困難となる。このため、イネ科雑草の幼植物の識別に関する形態的情報が提示されてきた (Hall:1985)。穂のない状態でのイネ科雑草の識別が困難であるのは、こうした情報が有効に活用されていないことに起因している。水田作での発生場面や類似種を特定したうえで有効な検索方法を開発する必要がある。さらに、第二次世界大戦後の帰化植物の増加や水田作の栽培管理技術の変化を要因として、従来とは異なる新たなイネ科雑草が防除上の問題となっている。

以上のことから本研究は、水田裏作を含む水田作におけるイネ科雑草を対象に、除草剤の散布時期など、防除に直接関係する場面での発生生態の解明と実用的な識別法に基づく防除技術の開発を目的に下記の構成で実施した。

- I. 野生ヒエの発生および定着を予測するための加重型有効温度手法の開発と応用
- II. 水田に発生するイネ科多年生雑草の葉の特徴による同定法と千葉県八千代市での発生状況の調査
- III. 暖地の水田裏作におけるイネ科雑草の識別法の開発と除草剤反応の差異に及ぼす中胚軸伸長特性の役割

本研究は、農林水産省北海道農業試験場、農業研究センターおよび九州農業試験場（現、独立行政法人農業技術研究機構 北海道農業研究センター、中央農業総合研究センターおよび九州沖縄農業研究センター）で実施したものであり、遂行に当たっては元北海道農業試験場作物第一部稲第2研究室長村上利男博士、元九州農業試験場水田利用部長宮原益次博士、元農業研究センター耕地利用部水田雑草研究室長芝山秀次郎博士（現、佐賀大学海浜台地生物環境研究センター教授）をはじめとする多くの方の直接の御指導を賜った。また、現東北農業研究センター雑草制御研究室長渡辺寛明氏、現中央農業総合研究センター関東東海総合研究第1チーム中山壮一氏、同水田雑草研究室川名義明氏、現九州沖縄農業研究センター雑草制御研究室小荒井 晃博士および現大韓民国順天大学李 度鎮博士には実験の遂行にあ

たって多くの支援を賜った。

大本花明山植物園の村田 源氏にはコヒメビエおよびヒメイヌビエを同定して頂き、宮崎県総合農業試験場作物部の菊川憲明氏には同県佐土原町産コヒメビエを提供して頂いた。また、九州農業試験場（当時）の岸田恭允氏には九州地域のアメダス・データの利用のご教示を頂き、九州各県の農業関係試験研究機関には気象データを提供頂いた。さらに、農業研究センター（現 中央農業総合研究センター）水田雑草研究室からはタイ国産コヒメビエを提供頂いた。

本論文のとりまとめに際しては北海道大学大学院農学研究科応用生命科学専攻植物育種学分野佐野芳雄教授、生物資源生産学専攻作物学分野岩間和人教授、作物生理学分野幸田泰則教授および花卉・緑地計画学分野近藤哲也助教授にご指導を賜った。

ここに記して上記の各位に厚くお礼を申し上げる。本稿は北海道大学に提出した学位論文である。

II. 野生ヒエの発生および定着を予測するための加重型有効温度手法の開発と応用

1. 1時間気温値の加重型有効積算気温を用いた野生ヒエとイヌホタルイの葉齢進展の計量化

水田の雑草制御において、雑草の葉齢は除草剤の適正な処理時期の重要な指標とされる。イネの栽培管理に伴って推移する雑草の葉齢を把握し、除草剤の制御可能な範囲内で処理することが除草剤の有効利用の基本である。このため、タイヌビエを主とする野生ヒエの葉齢進展について、積算気温値を指標として葉齢を推定する手法が開発されてきた。中でも、特定の生育段階の間での積算値の、作期、年次、場所間などでの一定性を高めるために、多様な日平均気温値のもとでの葉齢進展について、変動が最小となる一定値を日平均気温値から控除した積算値が、有効積算気温として広く使われてきた (森田:1996)。また、日変化する温度条件を2℃刻みの階層温度の出現時間 (単位:日) で表し、第2葉の伸長速度から実験的に求めた各階層温度の葉齢進展に対する寄与度との積和による有効積算温度 ($\Sigma \theta$) が提唱された (村上他:1987)。これらの手法は共に有効積算気温 (または水温) と称されるが、有効温度の内容を全く異にするため、前者を単純有効積算気温、後者を加重型有効積算気 (水) 温として区別するのが妥

当である（森田：1996）。

単純有効積算温度を用いた方法では、1日を経過しないとその日の有効温度が定まらない、1日以下の時間に対応する有効温度が算出できない、などの現場では使用しにくい問題点がある。このため、1日以下の単位で、かつリアル・タイムで算出可能な加重型有効積算気温をタイヌビエ、イヌビエ、ヒメタイヌビエおよびイヌホタルイについて策定した。

1) 材料および方法

(1) 供試雑草の産地

1989年秋に採取した福岡県筑後市産タイヌビエ (*Echinochloa oryzicola* Vasing.), イヌビエ (*E. crus-galli* P.Beauv. var. *crus-galli*), ヒメタイヌビエ (*E. crus-galli* P.Beauv. var. *formosensis* Ohwi) および同県大木町産イヌホタルイ (*Scirpus juncooides* Roxb. var. *ohwianus* T.Koyama) の種子 (穎果またはそう果) を供試した。タイヌビエ、イヌビエおよびヒメタイヌビエについては、さく葉標本により元京都大学理学部の村田 源氏の同定を得た。

(2) 第2葉の伸長量の測定

容量 250ml のポリエチレン容器にオートクレープで殺種子処理後の乾燥した水田土壌 (沖積植壤土) 50g に水 30ml を加えて練り、湿潤土壌中で 10°C に冷蔵した上記種子各 25 粒を土面に播種し、育成を短期間とするために 30°C の陽光恒温器内で発芽させた。発芽後に約 3cm の湛水として、第2葉の抽出始めまで育成した。その後、約 20,000Lux、14 時間日長で、12°C から 36°C まで 3°C 間隔の温度に設定した陽光恒温器に移し、生育の揃った 4 ~ 26 個体を対象に第2葉身の 24 時間の伸長量を測定した。さらに、同一温度条件下で完全に伸長した後の第2葉の全長を測定した。

(3) 異なる発生時期における雑草の葉齢進展の測定

九州農業試験場水田利用部 (現九州沖縄農業研究センター 水田作研究部、福岡県筑後市) において、1990 年の 3 月下旬に、畑水分状態の水田土壌 (沖積植壤土) を約 12cm の深さに充填した 1/5000a ワグネルポットの土面に有孔ポリエチレン・シートを敷き、その上に 2mm 目で篩ったオートクレープ処理土壌 (沖積植壤土) を 3cm の厚さに加えた。ポット当たり約 100 粒の雑草種子を種類ごとに 3cm の土層に混入して、雨のかからないように板で覆って戸外に放置した。4 月 25 日 (A)、5 月 11 日 (B)、5 月 31

日 (C)、6 月 18 日 (D)、6 月 30 日 (E)、7 月 21 日 (F) および 8 月 8 日 (G) の 7 回にわたってポットあたり窒素、リン酸、加里各成分量で 0.5g を施肥した後に水を加え、移植ごとを用いて代かきし、約 3cm の湛水状態で管理した。イヌホタルイ以外の種では、戸外での放置期間中に発芽した個体があったため、湿潤土壌中で冷蔵した種子を代かき時に若干量追加した。各代かき日から 10 日間の日平均気温の平均値は、A : 17.0°C, B : 20.1°C, C : 20.1°C, D : 27.2°C, E : 25.8°C, F : 30.1°C および G : 29.7°C であった。毎日午前 9 時に鞘葉の確認できる状態を出芽とし、タイヌビエ、イヌビエ、ヒメタイヌビエでは 1, 1.5, 2 葉の時期を、イヌホタルイでは 1, 2 葉の時期を毎日午前 9 時に個体毎に追跡調査した。

(4) 水田に自然発生するヒメタイヌビエの葉齢進展の測定

1991 年に同場のヒメタイヌビエの発生する試験圃場 (沖積植壤土) において 4 作期で水稻 (品種：レイホウ) を移植栽培 (栽植密度: 22.2 株/m², 稚苗) した。すなわち、4 月 22 日 (A)、5 月 13 日 (B)、6 月 4 日 (C) および 6 月 18 日 (D) の 4 時期に代かきし、それぞれ 2 日後に移植した。各代かき日から 10 日間の日平均気温の平均値は、A : 16.4°C, B : 19.0°C, C : 24.0°C および D : 23.7°C であった。これらの区では除草剤を施用せずに管理し、最も早く発生したヒメタイヌビエ 1 個体について毎日午前 9 時に葉齢を追跡調査した。

(5) 積算値の算出

日数および平均気温などの積算は、ある葉齢を観測したその日から一定葉齢を観測した日の前日までの期間を対象とした (土井・村上：1977)。例えば、5 月 1 日に 1 葉期、5 月 5 日に 2 葉期であった場合には、1 葉期から 2 葉期に要した日数と平均気温の積算値を 5 月 1 日から 4 日を対象に算出した。本研究での有効積算気温ではその日の午前 9 時から次の一定葉齢を観測した日の午前 8 時までを対象とした。気温値としては九州農業試験場水田利用部での測定値を使用した。

2) 結果

(1) 1 時間単位の葉齢進展有効気温の算出

陽光恒温器内で行った実験では、一定の温度における 24 時間の第2葉身の伸長量は温度の上昇に伴って増加したが、低温、高温域では小さかった (Fig.

1)。12℃では約1週間後でも第2葉身が完全に抽出せず、その葉身全長を測定できなかった。また、イヌホタルイでは15℃以上の温度域で第2葉身の全長は変動しなかったが、タイヌビエ、イヌビエおよびヒメタイヌビエでは15℃から21℃および36℃で第2葉身が他の温度域に比べてやや短かった (Fig. 2)。葉齢進展の速度をその温度での第2葉身の全長に対する24時間伸長量とすると、15℃から21℃および36℃では相対的に他の温度域より速度が大きく評価されることになる。このため、15℃以上での第2葉身の全長の平均値に対する24時間伸長量の比率をその温度での葉齢進展速度、すなわち各温度の葉齢進展への有効度とした。各温度での実測値をそのまま活かすために、3点を最もなめらかな曲線で結んでその間の値を推定する Spline 曲線補間法 (菅野他：1993) により、タイヌビエ、イヌビエ、ヒメタイヌビエおよびイヌホタルイについて、3℃間隔の実測値から12℃から36℃までの0.1℃刻みの温度値に対する有効度を算出し、その1/24を1時間当たりの葉齢進展有効気温 (ε) とした (Table1-1 ~ 4)。εの値は、12.0℃では第2葉身が完全に抽出しなかったことを考慮して11.9℃以下では0とし、また、36.1℃以上では36.0℃と同値とした。

$$\text{葉齢進展の有効度} = \frac{\text{第2葉身の24時間伸長量}}{15\sim 36\text{℃での第2葉身長平均値}}$$

$$\text{1時間の葉齢進展有効気温}(\varepsilon) = \frac{\text{Spline曲線補間[葉齢進展の有効度]}(0.1\text{℃})}{24}$$

有効積算気温 (Σ ε) は毎時の気温値を種ごとの ε に置き替えて、必要な期間積算して求めた。

(2) 異なる発生時期における雑草の葉齢進展と有効積算気温との関係

1/5000a のワグネルポットで7時期にわたって発生させたタイヌビエ、イヌビエ、ヒメタイヌビエについて、出芽から1.5葉期および1.5から2.0葉期およびイヌホタルイの出芽から1.0葉期および1.0から2.0葉期を有効積算気温 (Σ ε) で算出し、その変動係数を、日数 (Σ day)、日平均気温積算値 (Σ T) および単純有効積算気温 (Σ (T-10)) と、7発生時期に測定した全個体の平均値および代かき時期ごとに測定した個体の平均値の場合について比較した (Table 2-1 ~ 4)。全個体を対象にした場合には Σ ε の変動係数は他の積算値のそれに比べて低下しなかったものの、代かき時期ごとの平均値では Σ day

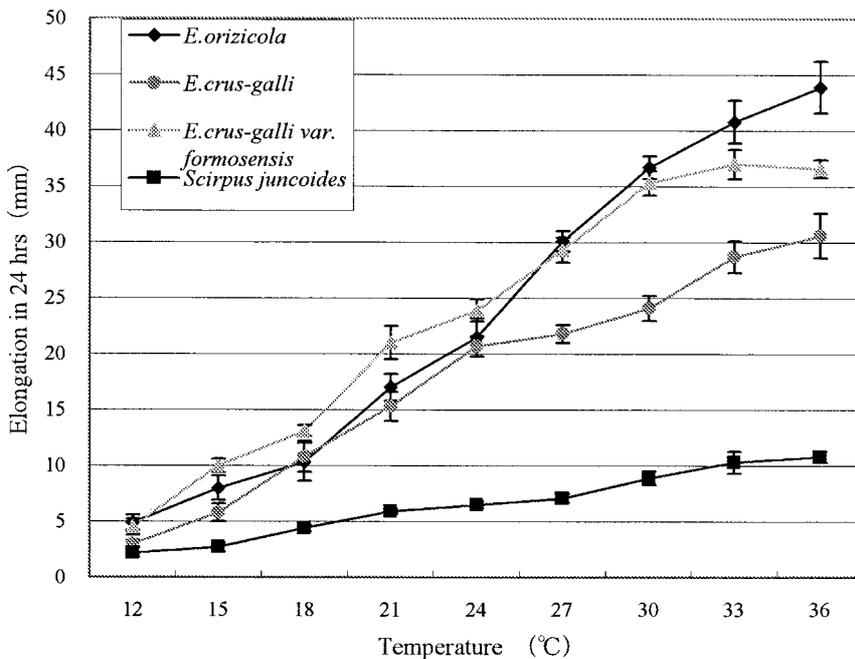


Fig. 1. Elongation of second leaf blade in 24 hours in *Echinochloa* species and *Scirpus juncooides* var. *ohwianus* under different temperature conditions
 Note: Bar indicates Standard Error.

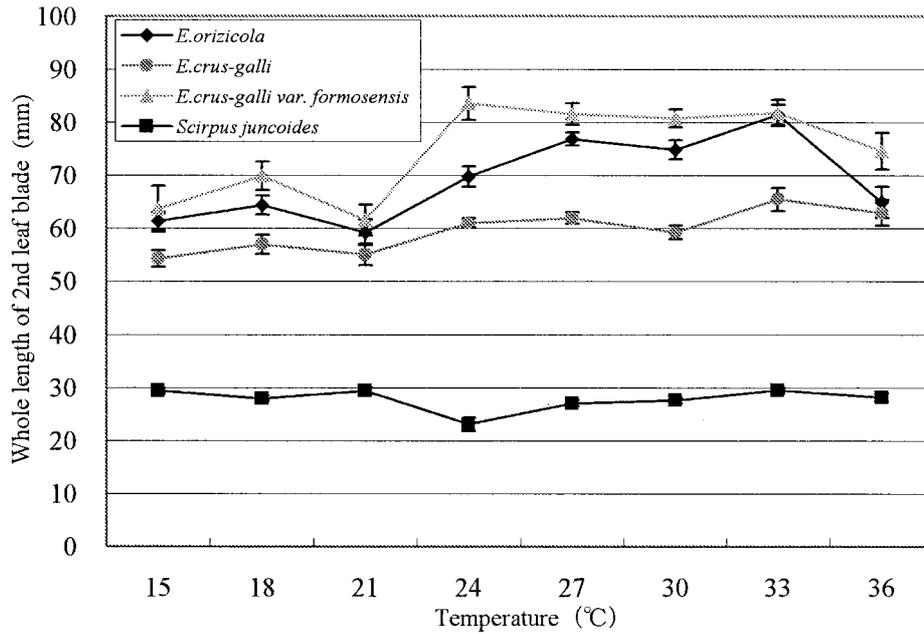


Fig. 2. Whole length of fully developed second leaf blade in *Echinochloa* species and *Scirpus juncooides* var. *ohwianus* under different temperature conditions

Note: Bar indicates Standard Error.

の約 25 ~ 65% に低下した。 $\Sigma \varepsilon$ の代かき時期ごとの平均値の変動係数は ΣT と $\Sigma (T-10)$ のそれより低下したものの、同程度の場合もあった。

(3) 自然発生ヒメタイヌビエの葉齢進展と有効積算気温との関係

圃場条件で自然発生したヒメタイヌビエの葉齢進展を代かき日から起算した $\Sigma \varepsilon$ で表すと、変動係数は他の積算値の場合より低下し、その程度は 1.5 から 2.0 葉期より代かき日から 1.5 葉期で大きかった (Table 3)。1.5 から 2.0 葉期の平均値につき、ワグネルポットでの代かき時期ごとの平均値 (Table 2-3) と圃場での自然発生した個体 (Table 3) で t 検定をしたところ、 $\Sigma \varepsilon$ では 0.107、 ΣT では 0.854、 $\Sigma (T-10)$ では 1.727 であった。いずれの積算値でも 1% 水準で有意差は認められなかったが、 $\Sigma \varepsilon$ が年次および発生条件にかかわらず一定性を有することが示唆された。

3) 考 察

イネをはじめとする作物では生育調節や収量予測を目的に気温値などの気象要素を用いた発育・生育段階の予測手法が開発されている。雑草制御では、作物との競合要因の解析や繁殖体の形成量の予測などで雑草の発育予測が試みられているが、一方では除草剤の適正処理時期の指標としての雑草の葉齢の予測手法の確立が実用場面から強く要請されてきた。

水田用除草剤の多くでは、その使用の晩限が野生ヒエの葉齢で示されており、野生ヒエの葉齢は従来から移植後または代かき後日数で表わされてきた。しかし、北海道において、代かき後の日平均気温から 10°C を控除した積算値、またはこれに前年のタイヌビエの発生量の指数を加えることによってタイヌビエの葉齢進展を表わす手法が提示された (土井・村上: 1977)。日平均気温の積算値を野生ヒエの葉齢進展指標とする場合 (山崎他: 1987) もあるが、日平均気温から一定値を控除した積算値 ($\Sigma (T-\alpha)$) は算出が容易であることから、野生ヒエやイヌホタルイを対象にして、移植用の特定の除草剤 (加持他: 1998, 森田他: 1991, 村上他: 1990) や直播栽培用除草剤 (北野: 1998, 森田他: 1991, 酒井・佐藤: 1998) の適正処理時期の指標として活用されている。しかし、 $\Sigma (T-\alpha)$ の有効積算気温では、雑草が日平均気温にさらされるわけではないことや、控除すべき気温値が経験的に定められることのために、雑草の生長反応との対応が明らかではない。このため、水温を用いて 2°C きざみの階層温度の出現時間と実測した葉齢進展速度を基にそれぞれの階層温度に定めた有効温度当量との積和により、タイヌビエ、ヘラオモダカおよびイヌホタルイの葉齢を推定する有効積算水温手法 (村上他: 1987) が開発された。この手法は、 $\Sigma (T-\alpha)$ の持つ問題点を解決した加重

Table 1 Continued.

3) *Echinochloa crus-galli* var. *formosensis*

°C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
12	0.0025	0.0026	0.0028	0.0029	0.0030	0.0031	0.0033	0.0033	0.0035	0.0035
13	0.0037	0.0038	0.0039	0.0040	0.0041	0.0042	0.0043	0.0043	0.0044	0.0045
14	0.0046	0.0047	0.0048	0.0049	0.0050	0.0050	0.0051	0.0052	0.0053	0.0053
15	0.0054	0.0055	0.0055	0.0056	0.0057	0.0057	0.0058	0.0058	0.0059	0.0059
16	0.0060	0.0060	0.0060	0.0061	0.0061	0.0062	0.0062	0.0063	0.0063	0.0063
17	0.0064	0.0064	0.0065	0.0065	0.0066	0.0067	0.0068	0.0068	0.0069	0.0070
18	0.0071	0.0072	0.0073	0.0074	0.0075	0.0077	0.0078	0.0079	0.0081	0.0082
19	0.0084	0.0085	0.0087	0.0088	0.0090	0.0092	0.0093	0.0095	0.0096	0.0098
20	0.0100	0.0101	0.0103	0.0104	0.0105	0.0107	0.0108	0.0109	0.0110	0.0111
21	0.0113	0.0113	0.0114	0.0113	0.0116	0.0116	0.0117	0.0118	0.0118	0.0119
22	0.0120	0.0120	0.0120	0.0121	0.0121	0.0122	0.0122	0.0123	0.0123	0.0123
23	0.0124	0.0124	0.0125	0.0125	0.0125	0.0126	0.0127	0.0127	0.0128	0.0128
24	0.0129	0.0130	0.0131	0.0132	0.0133	0.0133	0.0134	0.0135	0.0136	0.0137
25	0.0138	0.0139	0.0140	0.0141	0.0142	0.0143	0.0144	0.0145	0.0146	0.0147
26	0.0148	0.0153	0.0150	0.0151	0.0153	0.0153	0.0154	0.0155	0.0156	0.0157
27	0.0158	0.0159	0.0160	0.0161	0.0163	0.0163	0.0165	0.0165	0.0167	0.0168
28	0.0169	0.0170	0.0171	0.0172	0.0173	0.0174	0.0175	0.0176	0.0178	0.0178
29	0.0179	0.0180	0.0181	0.0182	0.0183	0.0184	0.0185	0.0185	0.0186	0.0187
30	0.0188	0.0188	0.0189	0.0189	0.0190	0.0190	0.0190	0.0191	0.0191	0.0192
31	0.0192	0.0193	0.0193	0.0193	0.0193	0.0193	0.0194	0.0194	0.0194	0.0194
32	0.0195	0.0195	0.0195	0.0195	0.0195	0.0195	0.0195	0.0195	0.0195	0.0196
33	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196
34	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196
35	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196	0.0196
36	0.0258									

4) *Scirpus juncooides* var. *ohwianus*

°C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
12	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032
13	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0034	0.0034	0.0034	0.0035
14	0.0035	0.0035	0.0036	0.0036	0.0037	0.0037	0.0038	0.0038	0.0038	0.0039
15	0.0040	0.0040	0.0041	0.0041	0.0042	0.0043	0.0043	0.0044	0.0045	0.0046
16	0.0047	0.0048	0.0048	0.0049	0.0050	0.0051	0.0052	0.0053	0.0054	0.0055
17	0.0056	0.0057	0.0058	0.0058	0.0059	0.0060	0.0061	0.0062	0.0063	0.0064
18	0.0065	0.0065	0.0066	0.0067	0.0068	0.0069	0.0070	0.0070	0.0071	0.0072
19	0.0073	0.0074	0.0075	0.0076	0.0077	0.0078	0.0078	0.0079	0.0080	0.0080
20	0.0081	0.0082	0.0083	0.0083	0.0084	0.0085	0.0085	0.0086	0.0087	0.0087
21	0.0088	0.0088	0.0089	0.0089	0.0090	0.0090	0.0090	0.0090	0.0091	0.0091
22	0.0092	0.0092	0.0092	0.0092	0.0093	0.0093	0.0093	0.0093	0.0093	0.0093
23	0.0093	0.0093	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0095	0.0095	0.0095	0.0095
24	0.0095	0.0095	0.0096	0.0096	0.0097	0.0097	0.0097	0.0097	0.0098	0.0098
25	0.0098	0.0098	0.0098	0.0098	0.0099	0.0099	0.0099	0.0100	0.0100	0.0100
26	0.0100	0.0101	0.0101	0.0102	0.0102	0.0103	0.0103	0.0103	0.0104	0.0104
27	0.0105	0.0105	0.0106	0.0107	0.0108	0.0108	0.0109	0.0110	0.0111	0.0112
28	0.0113	0.0114	0.0115	0.0115	0.0117	0.0118	0.0119	0.0120	0.0120	0.0121
29	0.0123	0.0123	0.0125	0.0125	0.0126	0.0127	0.0128	0.0129	0.0130	0.0131
30	0.0132	0.0133	0.0133	0.0134	0.0135	0.0135	0.0136	0.0137	0.0138	0.0139
31	0.0140	0.0140	0.0141	0.0142	0.0143	0.0143	0.0144	0.0145	0.0145	0.0146
32	0.0147	0.0147	0.0148	0.0148	0.0149	0.0150	0.0150	0.0151	0.0152	0.0152
33	0.0153	0.0153	0.0153	0.0154	0.0154	0.0155	0.0155	0.0155	0.0155	0.0155
34	0.0156	0.0156	0.0156	0.0157	0.0157	0.0157	0.0157	0.0157	0.0158	0.0158
35	0.0158	0.0158	0.0158	0.0158	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0160
36	0.0159									

Note: a) Efficiency for leaf emergence = $\frac{\text{Length of 2nd leaf blade that emerged in 24hrs}}{\text{Whole length of fully developed 2nd leaf blade}}$
(shown in Fig.1 nad 2)

b) $\epsilon = \frac{\text{Spline Interpolation "Efficiency for leaf emergence" for } 0.1^{\circ}\text{C}}{24 \text{ (hrs)}}$

Table 2 Accumulated efficient air temperature with fluctuations among individuals and puddling times in seedlings that emerged in pots under diurnal variation of air temperature at Chikugo Fukuoka in 1990 for *Echinochloa* species and *Scirpus juncooides* var. *ohwianus*1) *Echinochloa oryzicola*

Date of puddling	No. of plants	Emergence - 1.5 leaf-stage							
		$\Sigma \varepsilon$		Σ day		ΣT		$\Sigma(T-10)$	
		Mean \pm S.E.	C.V.(%)	Mean \pm S.E.	C.V.(%)	Mean \pm S.E.	C.V.(%)	Mean \pm S.E.	C.V.(%)
A Apr. 25	8	0.924 \pm 0.054	17	6.3 \pm 0.3	13	105.3 \pm 5.1	14	42.8 \pm 2.4	16
B May 11	7	1.136 \pm 0.042	10	6.0 \pm 0.2	9	116.6 \pm 4.1	9	56.6 \pm 2.1	10
C May 31	5	1.272 \pm 0.132	23	5.4 \pm 0.5	19	112.1 \pm 10.4	21	58.1 \pm 5.8	22
D June 18	3	1.302 \pm 0.022	3	3.0 \pm 0	0	83.6 \pm 0.5	1	53.6 \pm 0.5	2
E June 30	3	1.410 \pm 0.199	24	4.3 \pm 0.3	11	115.9 \pm 8.4	13	72.6 \pm 5.8	14
F July 21	4	1.701 \pm 0.102	12	3.6 \pm 0.2	12	107.1 \pm 6.7	13	71.1 \pm 4.6	13
G Aug. 08	2	1.333		3.5		102.8		67.8	
Total	32	1.241 \pm 0.058	27	5.1 \pm 0.2	27	108.5 \pm 3.1	16	57.5 \pm 2.4	24
Among Dates	7	1.297 \pm 0.0837	17	4.6 \pm 0.5	26	106.2 \pm 3.9	10	60.4 \pm 3.8	16

1.5 - 2.0 leaf-stage									
$\Sigma \varepsilon$		Σ day		ΣT		$\Sigma(T-10)$			
Mean \pm S.E.	C.V.(%)	Mean \pm S.E.	C.V.(%)	Mean \pm S.E.	C.V.(%)	Mean \pm S.E.	C.V.(%)	Mean \pm S.E.	C.V.(%)
0.395 \pm 0.029	21	2.1 \pm 0.2	28	36.6 \pm 3.7	29	17.9 \pm 1.6	26		
0.395 \pm 0.037	25	2.4 \pm 0.2	27	39.9 \pm 4.1	27	19.2 \pm 2.0	28		
0.354 \pm 0.034	23	1.4 \pm 0.2	35	30.1 \pm 4.4	32	15.9 \pm 2.3	32		
0.427 \pm 0.010	4	1.0 \pm 0	0	27.9 \pm 0.3	2	17.9 \pm 0.3	3		
0.394 \pm 0.022	10	1.0 \pm 0	0	28.1 \pm 0.1	1	18.4 \pm 0.3	3		
0.489 \pm 0.005	2	1.0 \pm 0	0	30.1 \pm 0.2	1	20.1 \pm 0.2	1		
0.471		1.0		29.4		19.4			
0.407 \pm 0.015	20	1.6 \pm 0.1	42	33.5 \pm 1.7	28	18.3 \pm 0.7	23		
0.417 \pm 0.017	11	1.4 \pm 0.2	34	31.7 \pm 1.6	14	18.4 \pm 0.5	7		

2) *Echinochloa crus-galli* var. *crus-galli*

Date of puddling	No. of plants	Emergence - 1.5 leaf-stage							
		$\Sigma \varepsilon$		Σ day		ΣT		$\Sigma(T-10)$	
		Mean \pm S.E.	C.V.(%)	Mean \pm S.E.	C.V.(%)	Mean \pm S.E.	C.V.(%)	Mean \pm S.E.	C.V.(%)
A Apr. 25	5	0.931 \pm 0.032	7	6.4 \pm 0.2	8	105.3 \pm 3.6	7	42.6 \pm 2.0	11
B May 11	9	1.182 \pm 0.073	19	5.9 \pm 0.3	17	114.2 \pm 6.6	17	53.4 \pm 3.3	18
C May 31	5	1.065 \pm 0.117	25	4.6 \pm 0.5	22	94.2 \pm 9.5	23	48.2 \pm 5.0	23
D June 18	4	1.403 \pm 0.079	11	3.0 \pm 0.4	24	104.3 \pm 6.0	12	66.8 \pm 3.9	12
E June 30	3	1.295 \pm 0.188	25	3.7 \pm 0.5	26	95.5 \pm 14.1	26	58.9 \pm 8.7	26
F July 21	3	1.336 \pm 0.109	14	3.3 \pm 0.3	14	99.2 \pm 8.4	15	65.8 \pm 5.7	15
G Aug. 08	3	1.565 \pm 0.007	1	4.0 \pm 0	0	117.6 \pm 0.2	0	77.6 \pm 0.2	1
Total	32	1.213 \pm 0.049	23	4.8 \pm 0.3	31	105.6 \pm 3.3	18	57.1 \pm 2.5	24
Among Dates	7	1.254 \pm 0.075	16	4.4 \pm 0.5	27	104.3 \pm 1.5	8	59.3 \pm 4.2	19

1.5 - 2.0 leaf-stage									
$\Sigma \varepsilon$		Σ day		ΣT		$\Sigma(T-10)$			
Mean \pm S.E.	C.V.(%)	Mean \pm S.E.	C.V.(%)	Mean \pm S.E.	C.V.(%)	Mean \pm S.E.	C.V.(%)	Mean \pm S.E.	C.V.(%)
0.449 \pm 0.053	26	2.6 \pm 0.4	31	47.1 \pm 6.2	30	19.3 \pm 2.1	24		
0.457 \pm 0.043	28	2.2 \pm 0.3	35	43.2 \pm 4.8	33	21.0 \pm 2.1	31		
0.401 \pm 0.057	32	1.6 \pm 0.2	31	34.9 \pm 4.9	31	16.1 \pm 2.3	32		
0.551 \pm 0.091	33	1.5 \pm 0.3	33	41.5 \pm 6.8	33	26.5 \pm 4.3	32		
0.372 \pm 0.001	0	1.0 \pm 0	0	27.8 \pm 0.4	2	17.8 \pm 0.4	4		
0.411 \pm 0.005	2	1.0 \pm 0	0	30.1 \pm 0.2	1	20.1 \pm 0.2	2		
0.384 \pm 0.021	9	1.0 \pm 0	0	29.4 \pm 0.1	0	19.4 \pm 0.1	0		
0.440 \pm 0.023	29	1.8 \pm 0.1	47	38.3 \pm 2.3	35	20.1 \pm 1.1	30		
0.432 \pm 0.021	13	1.6 \pm 0.2	38	36.3 \pm 2.7	19	19.4 \pm 1.1	15		

Table 2 Continued.

3) *Echinochloa crus-galli* var. *formosensis*

Date of puddling	No. of plants	Emergence - 1.5 leaf-stage							
		$\Sigma \epsilon$		Σ day		ΣT		$\Sigma(T-10)$	
		Mean±S.E.	C.V.(%)	Mean±S.E.	C.V.(%)	Mean±S.E.	C.V.(%)	Mean±S.E.	C.V.(%)
A Apr. 25	7	1.064±0.053	13	6.1±0.2	10	105.0±4.1	10	42.1±2.7	17
B May 11	8	1.194±0.038	9	5.8±0.2	8	112.0±3.0	7	54.5±1.5	8
C May 31	5	1.206±0.108	20	4.8±0.4	20	100.1±9.2	21	49.8±4.1	19
D June 18	4	1.180±0.011	2	3.0±0	0	83.9±0.3	1	53.9±0.3	1
E June 30	4	1.181±0.064	11	3.3±0.2	13	85.3±5.2	12	52.8±3.1	12
F July 21	4	1.248±0.003	0	3.0±0	0	89.3±0.3	1	59.3±0.3	1
G Aug. 08	3	1.326±0.112	15	3.3±0.3	14	98.0±8.2	14	64.7±5.4	15
Total	35	1.184±0.027	13	4.6±0.2	31	98.8±2.6	15	52.5±1.5	17
Among Dates	7	1.200±0.028	6	4.2±0.5	30	96.2±3.7	10	53.9±2.6	12

1.5 - 2.0 leaf-stage									
$\Sigma \epsilon$		Σ day		ΣT		$\Sigma(T-10)$			
Mean±S.E.	C.V.(%)	Mean±S.E.	C.V.(%)	Mean±S.E.	C.V.(%)	Mean±S.E.	C.V.(%)	Mean±S.E.	C.V.(%)
0.606±0.065	29	2.7±0.4	38	53.0±6.4	32	25.5±2.7	28		
0.465±0.047	29	2.3±0.2	29	43.2±4.6	30	20.7±2.3	31		
0.581±0.089	34	2.2±0.3	34	47.9±7.2	33	28.2±4.0	31		
0.580±0.101	35	1.3±0.2	34	41.4±7.0	34	26.4±4.5	34		
0.489±0.082	34	1.3±0.2	34	34.7±5.9	34	22.2±3.8	34		
0.419±0.007	3	1.0±0	0	30.2±0.2	1	20.2±0.2	2		
0.547±0.111	35	1.3±0.3	35	39.2±8.0	35	25.9±5.3	35		
0.528±0.030	33	1.9±0.3	49	42.8±2.6	36	23.9±1.3	33		
0.527±0.024	12	1.7±0.2	36	41.3±2.7	17	24.1±1.1	12		

4) *Scirpus juncooides* var. *ohwianus*

Date of puddling	No. of plants	Emergence - 1.0 leaf-stage							
		$\Sigma \epsilon$		Σ day		ΣT		$\Sigma(T-10)$	
		Mean±S.E.	C.V.(%)	Mean±S.E.	C.V.(%)	Mean±S.E.	C.V.(%)	Mean±S.E.	C.V.(%)
A Apr. 25	5	0.521±0.024	10	4.2±0.2	10	68.3±2.7	9	26.3±1.0	9
B May 11	5	0.521±0.030	13	3.2±0.2	13	61.7±3.5	13	34.8±3.5	23
C May 31	4	0.436±0.048	22	2.5±0.3	20	50.3±5.1	20	25.3±2.6	21
D June 18	3	0.539±0.010	3	2.0±0	0	55.5±0.3	1	35.5±0.3	1
E June 30	6	0.613±0.051	20	2.3±0.2	20	62.6±5.1	20	39.2±3.2	20
F July 21	2	0.441		1.5		44.6		29.4	
G Aug. 08	2	0.724		2.5		73.5		48.5	
Total	27	0.543±0.024	23	2.7±0.2	33	60.3±2.4	21	33.5±1.8	28
Among Dates	7	0.542±0.035	17	2.6±0.3	31	59.5±3.5	16	34.1±2.8	22

1.0 - 2.0 leaf-stage									
$\Sigma \epsilon$		Σ day		ΣT		$\Sigma(T-10)$			
Mean±S.E.	C.V.(%)	Mean±S.E.	C.V.(%)	Mean±S.E.	C.V.(%)	Mean±S.E.	C.V.(%)	Mean±S.E.	C.V.(%)
0.721±0.043	13	4.2±0.3	18	80.7±5.4	15	38.7±2.3	13		
0.700±0.027	9	4.4±0.2	11	84.8±3.9	10	39.0±3.0	17		
0.998±0.043	9	4.8±0.2	9	105.3±4.5	8	57.8±2.3	8		
0.732±0.068	16	2.7±0.3	18	74.6±7.4	17	47.9±4.7	17		
0.841±0.086	25	3.0±0.3	27	84.8±8.7	25	53.8±5.6	25		
0.887		3.0		90.1		60.1			
0.587		2.0		60.1		40.1			
0.788±0.032	21	3.6±0.2	29	84.5±3.3	20	47.7±2.2	24		
0.780±0.048	16	3.4±0.4	28	82.9±4.9	16	48.2±3.2	18		

Note: $\Sigma \epsilon$: accumulated efficient air temperature, Σ day: days needed for leaf emergence, ΣT : accumulation of daily mean air temperature for Σ day, $\Sigma(T-10)$: accumulation of daily mean air temperature minus 10°C for Σ day.

Table 3 Accumulated efficient air temperature and other accumulated temperatures for leaf emergence of *Echinochloa crus-galli* var. *formosensis* in paddy fields at Chikugo Fukuoka in 1991

Date of puddling	Puddling-1.5 leaf stage			
	$\Sigma \epsilon^*$	Σday^*	ΣT^*	$\Sigma (T-10)^*$
A Apr. 22	1.561	13	203.8	73.8
B May 13	1.742	10	189.9	89.9
C June 04	1.802	6	140.1	80.1
D June 18	1.743	6	136.2	76.2
Mean±S.E.	1.712±0.045	8.8±1.5	167.5±14.9	80.0±3.1
C.V.(%)	5	34	18	8
	1.5-2.0 leaf stage			
	0.557	3	50.5	20.5
	0.616	1	24.4	14.4
	0.315	1	23.9	13.9
	0.648	2	47.8	27.8
	0.534±0.065	1.8±0.4	36.7±6.3	19.2±2.8
	24	47	34	29

Note: *: see Table 2.

型有効積算温度であるが、水温値の日変化を気温値のそれに準じて推定する手順が煩雑であることや水田での水温の測定値の入手が容易でない、などの理由で現場では適用が困難であった。

本研究では1時間気温値を用いて実用的な加重型有効積算気温手法の開発を試みた。1時間気温値の積算値はすでにイヌビエの葉齢進展の指標に用いられた(中山他:1966)が、 $\Sigma (T-\alpha)$ の有効積算気温と同様の問題点を有しているため、ここではタイヌビエ、イヌビエ、ヒメタイヌビエおよびイヌホタルイについて1時間気温値に対応した葉齢進展への有効気温(ϵ)を実験に基づいて定めた。一定の葉齢進展の間を ϵ で積算した加重型有効積算気温($\Sigma \epsilon$)は $\Sigma (T-\alpha)$ の有効積算気温などよりも高い一定性を示し、実用的な指標となりうることを示したが、発生時期間の変動係数の低下でみるとその程度は小さかった。このことは、葉齢の測定が1日1回であったことや葉齢値を肉眼で判読したことなどに起因していると考えられることから、時間単位での簡易な葉齢測定法が確立されれば、 $\Sigma \epsilon$ による推定精度はさらに向上すると考えられる。

本研究では、ワグネルポットで出芽した個体の葉齢を追跡調査したため、タイヌビエ、イヌビエおよびイヌホタルイについては代かき日から出芽日までの ϵ 等の積算値を検討しなかった。一般に、代かき日から出芽日までを示す各積算値は、それ以後の発育段階を示す積算値より大きく変動する。しかし、

自然発生とワグネルポットでのヒメタイヌビエでの $\Sigma \epsilon$ 積算値との比較から、代かき日から出芽日までを $\Sigma \epsilon$ で約0.500と算定できた。他の種についても同様の測定値を積み上げることで算出可能である。

1時間気温値はアメダス情報として容易に入手できることから、本手法は多様な気温条件下での野生ヒエとイヌホタルイの葉齢進展の予測や変動の解析に有効と考えられる。

2. 関東地方の耕起・不耕起乾田直播栽培におけるヒメイヌビエの発生生態の差異と入水前除草剤処理時期の推定指標の作成

水稻の乾田直播栽培では入水までの乾田期間の効率的雑草制御が不可欠である。近年、葉齢の進んだ雑草に有効な除草剤が実用化されつつあり、効率的な作業体系確立の上ではその散布適期の予測が必要になっている。このため、利根川下流域で実施されている乾田直播栽培で同一圃場条件下で耕起の有無による雑草発生相の違いを、ヒメイヌビエ(*Echinochloa crus-galli* P.Beauv. var. *pratricula* Ohwi)に着目して調べ、それに基づいて乾田期間の入水前の茎葉処理除草剤の適期処理の指標を作成した。

1) 材料および方法

茨城県稲敷郡新利根町太田新田営農組合の、12年間転換畑とした78aの圃場(泥炭性埴土)で、1994年と95年に40aを不耕起区、38aを耕起区として乾田直播栽培を行った。水稻品種「キヌヒカリ」を用い、Table 4に示す雑草防除体系とした。

Table 4 Weed control practices for direct sowing rice cultivation under dry condition at Shintone, Ibaraki

Year	Cultivation style	Tillage	Application time of herbicides (contents, formulation, rate per ha by formulation product and application date)			
			Before plowing	Pre-emergence	Post emergence	After irrigated
1994	Improved	No-tillage	Glyphosate(41% liquid, 5 l, 29 March)		Cyhalofop-buthyl+Bentazon(3+20% ME liquid, 10 l, 30 May)	
		Tilled				
	Conventional	No-tillage	Glyphosate(41% liquid, 5 l, 27 Apr.)	Thiobencarb+Prometryn(50+5% emulsifiable concentrate, 8 l, 10 May)	Thiobencarb(50% emulsifiable concentrate)+DCPA(35% emulsifiable concentrate) (10 l+8 l, 30 May)	Pyrazolate+Butachlor(6+2.5% granule, 30kg, 10 June)
		Tilled	-			
1995	Improved	No-tillage	Glyphosate(41% liquid, 5 l, 10 Apr.)		Cyhalofop-buthyl+Bentazon(3+20% ME liquid, 10 l, 18 May)	
		Tilled				
	Conventional	No-tillage	Glyphosate(41% liquid, 5 l, 10 Apr.)	Thiobencarb+Prometryn(50+5% emulsifiable concentrate, 8 l, 19 Apr.)	Thiobencarb(50% emulsifiable concentrate)+DCPA(35% emulsifiable concentrate) (10 l+8 l, 30 May)	Bensulfuron-methyl+Dimepiperate(0.25+10% granule, 30kg, 01 June)
		Tilled	-			

(1) 乾田期間の雑草の種組成

1994年5月9日に水稻を播種した不耕起と耕起乾田直播田に、播種翌日に土壌処理剤ベンチオカーブ (S-4-chlorobenzyl diethylthiocarbamate : 50%)・プロメトリン (2,4-bis (isopropylamino)-6-methylthio-1,3,5-triazine : 5%) 乳剤を製品量で 800ml/10a 処理した。乾田期間後期の茎葉処理除草剤処理直前にあたる播種 20 日後に、50cm 角のコドラートを用いて、雑草の個体数を不耕起区と耕起区各 3 カ所で調べた。また、雑草の生育程度の最大値を調べた。

(2) ヒメイヌビエの発生相

1995年4月18日に水稻を播種した不耕起と耕起乾田直播田において、播種直後除草剤を処理しない部分で播種 26 日後にヒメイヌビエを不耕起区と耕起区から任意に各 76, 36 個体を地下部を含めて採取した。各個体の中胚軸長+葉鞘白色部長を発生深度として計測し、また、葉齢を調べた。

(3) 有効積算気温による入水前の除草剤散布時期の予測

1995年4月18日に水稻を播種した不耕起と耕起乾田直播田に 1m 角のコドラートを各 1 カ所設定し、その中に発生するヒメイヌビエの葉齢の最大値を経時的に調べた。また、播種日以降の太田新田における気温の 1 時間値を ε に読み替えて有効積算気温(Σ ε) で求めた。ここでは、0.1°C 刻みの気温値のイヌビエの葉齢進展への有効度 (森田 : 1999) をヒメイヌビエに準用した。

気温の平年値として、太田新田に最も近いアメダス地点「竜ヶ崎」の 1990-94 年の気温値の 1 時間値の平均値を用い、それが +3 ~ -3°C 変動した条件を想定して Σ ε を算出した。また、「竜ヶ崎」の 1990-94 年の 4 月と 5 月の毎日の 1 時間値より算出した日平均気温と日較差と 1 日当たり有効積算気温 (Σ ε) を比較した。

2) 結果

(1) 乾田期間の雑草の種組成

不耕起区ではスズメノテッポウ、スカシタゴボウ、ナズナ、ノミノフスマなどを主体とする冬雑草が繁茂したが、播種直前の茎葉処理除草剤の処理で十分に防除された。入水前の茎葉処理除草剤の処理時期にあたる播種 20 日後では、ヒメイヌビエ、メヒシバ、ハルタデ、エノキグサなどの畑雑草を主体とする雑草が、不耕起区で 18 種、耕起区で 12 種発生した。不耕起区では耕起区に比べて雑草の種類が多いことに加えて、ヒメイヌビエ、ハルタデ、イヌガラシなどで発生数が多く、また、生育程度も進む傾向が認められた (Table 5)。また、ここで使用した播種直後土壌処理剤の残効は比較的短かったことから、入水前に茎葉処理除草剤による防除が必要であった。

(2) ヒメイヌビエの発生相

播種 26 日後において、入水前の主要雑草であるヒメイヌビエは、耕起区では約 70mm の深さからも出芽したのに対し、不耕起区では約 20mm 以内に限られていた。一方、葉齢では最大で不耕起区で 6 以上、耕

起区で4程度であった (Fig. 3)。すなわち、不耕起区ヒメイヌビエは耕起区でのそれより浅い土中から発生し、葉齢が早く進む傾向にあった。

Table 5 Weed infestation in direct sown paddy field under dry condition just before foliar treatment of herbicide before irrigation

Species	No-tillage		Tilled	
	No. of plant/m ²	Max. in stage*	No. of plant/m ²	Max. in stage*
<i>Echinochloa crus-galli</i> var. <i>praticola</i>	8.7	5.0L	5.3	4.2L
<i>Digitaria ciliaris</i>	8.7	4.0L	13.3	3.5L
<i>Cyperus iria</i>	4.0	3.0L	0.7	2.0L
<i>Eclipta alba</i>	11.3	3cm	15.3	2P
<i>Centipeda minima</i>	6.0	3cm		
<i>Senecio vulgaris</i>	0.7	2L		
<i>Lindernia procumben.</i>	1.3	2P		
<i>Trifolium repens</i>	0.7	5cm		
<i>Acalypha australis</i>	8.0	1P	19.3	1P
<i>Rorippa indica</i>	10.0	4L	0.7	5L
<i>Rorippa islandica</i>	1.3	5cm		
<i>Portulaca oleracea</i>	2.7	3P	10.0	2P
<i>Chenopodium album</i>	1.3	3.5L	1.3	Cotyledon
<i>Stellaria media</i>	71.3	5cm		
<i>Stellaria alsine</i> var. <i>undulata</i>	2.7	2P		
<i>Amaranthus</i> sp.	6.0	2.5L	1.3	1L
<i>Persicaria vulgaris</i>	18.0	5.5L	3.3	5.5L
<i>Persicaria longiseta</i>	1.3		6.0	2.5L
<i>Persicaria hydropiper</i>			1.3	3.5L

Note: *: L: leaf stage for seedling with alternate leave, P: leaf stage for seedling with opposite leave, cm: plant height

(3) 有効積算気温による入水前の除草剤散布時期の予測

播種 n 日後におけるヒメイヌビエの最大葉齢 (Y) と播種日から (n - 1) 日の有効積算気温 ($\sum \epsilon : X$) と関係は直線回帰式で表された (Fig. 4)。そこで、この回帰式によって、播種 (耕起) 日からヒメイヌビエの 1 ~ 5 葉期到達までに必要な $\sum \epsilon$ を下記のように算出した。

	1 葉期	2 葉期	3 葉期	4 葉期	5 葉期
不耕起	0.446	1.119	1.791	2.463	3.135
耕起	1.177	1.973	2.769	3.566	4.362

太田新田に最も近いアメダス地点である「竜ヶ崎」の気温値から $\sum \epsilon$ により、4 月 15 日から 5 日間隔に設定した播種日から起算した $\sum \epsilon$ を、平年 (5 年間の平均値) とその 1 時間気温値を +3 ~ -3°C の範囲で変動させた条件下で求め、上記の $\sum \epsilon$ で葉齢に換算して Fig. 5 に示した。

乾田直播栽培で播種直後に処理された土壌処理除草剤の残効性は、土壌水分、降雨、温度などの影響を受けて変動する (伊藤:1993)。このため、播種直後土壌処理剤について無処理と、残効を短 (5 日程度)、中 (10 日程度)、長 (15 日程度) と想定した条件下で、残効性の消失した時点からヒメイヌビエの発芽が始まるとの仮定で、ヒメイヌビエに対してベンチ

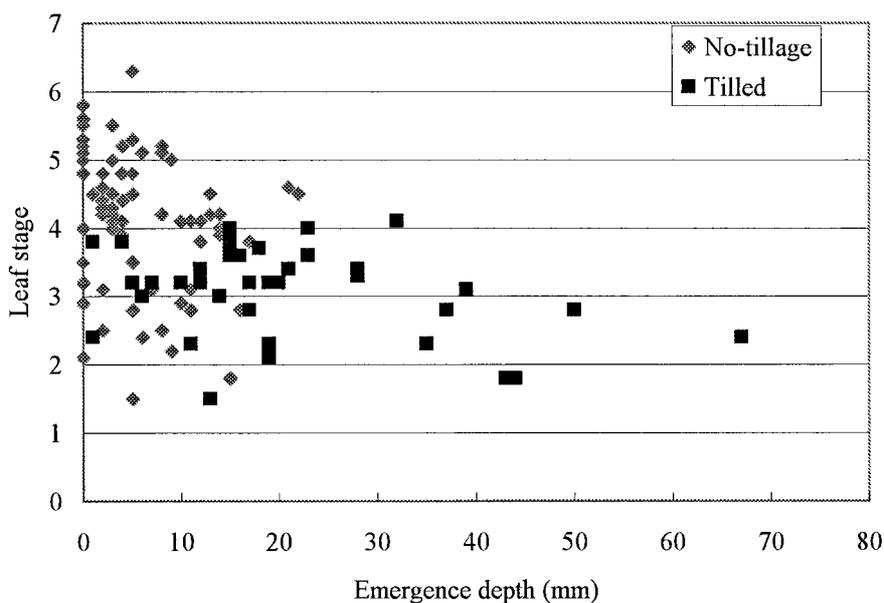


Fig. 3. Relationship between emergence depth and leaf stage in *Echinochloa crus-galli* var. *praticola* in direct sown paddy field under dry condition at 26 days after sowing

Note: Emergence depth is calculated by (white part of seedling + mesocotyl).

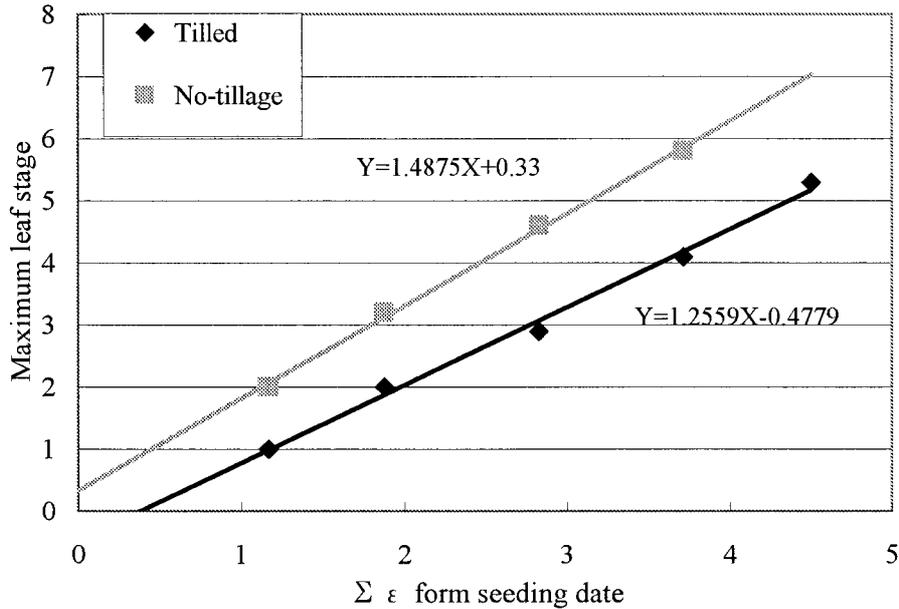


Fig. 4. Relationship between accumulated efficient air temperature ($\Sigma \epsilon$) and maximum leaf stage of *Echinochloa crus-galli* var. *praticola* in direct sown paddy fields under dry condition for no-tillage and tilled styles at Shintone, Ibaraki in 1995

オカーブ+DCPA乳剤での2~3葉期, シハロホップブチル+ベンタゾン液剤での4~5葉期の処理適期として, 太田新田でのこれら除草剤の処理適期の推定指標をTable 6のように策定した。

また, 気温の1時間値を生長の有効度読み替えた $\Sigma \epsilon$ の積算には手間を要するため, 1日を単位とした $\Sigma \epsilon$ を簡易に近似する方法を検討した。アメダス地点「竜ヶ崎」の春季の多様な気温条件で求めた1日当たりの $\Sigma \epsilon$ (Y) に対して, 日平均気温 (X_1 : $^{\circ}\text{C}$) と日較差 (X_2 : $^{\circ}\text{C}$) を説明変数とすると, $Y=0.00211X_1+0.00014X_2-0.2154$ ($R^2=0.932$) の回帰式が得られた (Fig. 6)。同式により, 1時間気温値が得られない場合でも日最高・最低気温値を用いて $\Sigma \epsilon$ の簡易な算出が可能となった。

3) 考察

乾田直播栽培では入水前の畑雑草を主体とした雑草と, 入水後の水田雑草を別々に制御する必要がある (森田:1995, 1997, 富久:1993)。播種直前または播種時に耕起, すなわち機械的な雑草制御のための作業を行わない不耕起乾田直播では, 耕起乾田直播に比べてイネ科雑草であるタイヌビエの発生数が増加する (千坂・草薙:1978) ため, イネ科雑草である野生ヒエは同栽培法での主要な雑草である。

水田の雑草防除においては, 雑草の埋土種子集団

の密度を低下させることが重要である (佐合:2001)。雑草の土中での発生深度は, 圃場においてどの深さまでの埋土種子集団を防除の対象とすべきかの指標となる。ヒメイヌビエは, 湛水または飽水の0.5~2cmの土中では発芽率が低く, 圃場容水量の60%では6cmの土中から良好に出芽し (片岡・金:1978), また, 畑条件では10cmの土中からの出芽が確認されている (高林・中山:1979)。本研究において, 耕起乾田直播栽培でのヒメイヌビエの発生深度はこれらの報告の範囲内にあることを確認し, さらに, 不耕起条件では耕起条件に比べて発生深度が極めて浅くなることを見出した。不耕起栽培では, 地表の浅い層に分布する繁殖体の密度を年々低下させ, 深い層にある繁殖体を出芽させないことが雑草防除上の利点となるが, 本結果はこの可能性を具体的に示したものと見える。なお, 乾田直播などでの土壌硬度と雑草の出芽能力との関係の重要性が指摘されているが, 十分に検討されていない (古谷:1977) ため, 今後の検討を要する。

乾田直播栽培では播種後の畑状態の期間での生育の進んだ雑草, 特に野生ヒエに効果のある除草剤の実用化が望まれていた。近年, 5葉期の野生ヒエにも効果を示すシハロホップブチル剤の適用技術が確立され, 水稲乾田直播に農薬登録されたことで, 同栽

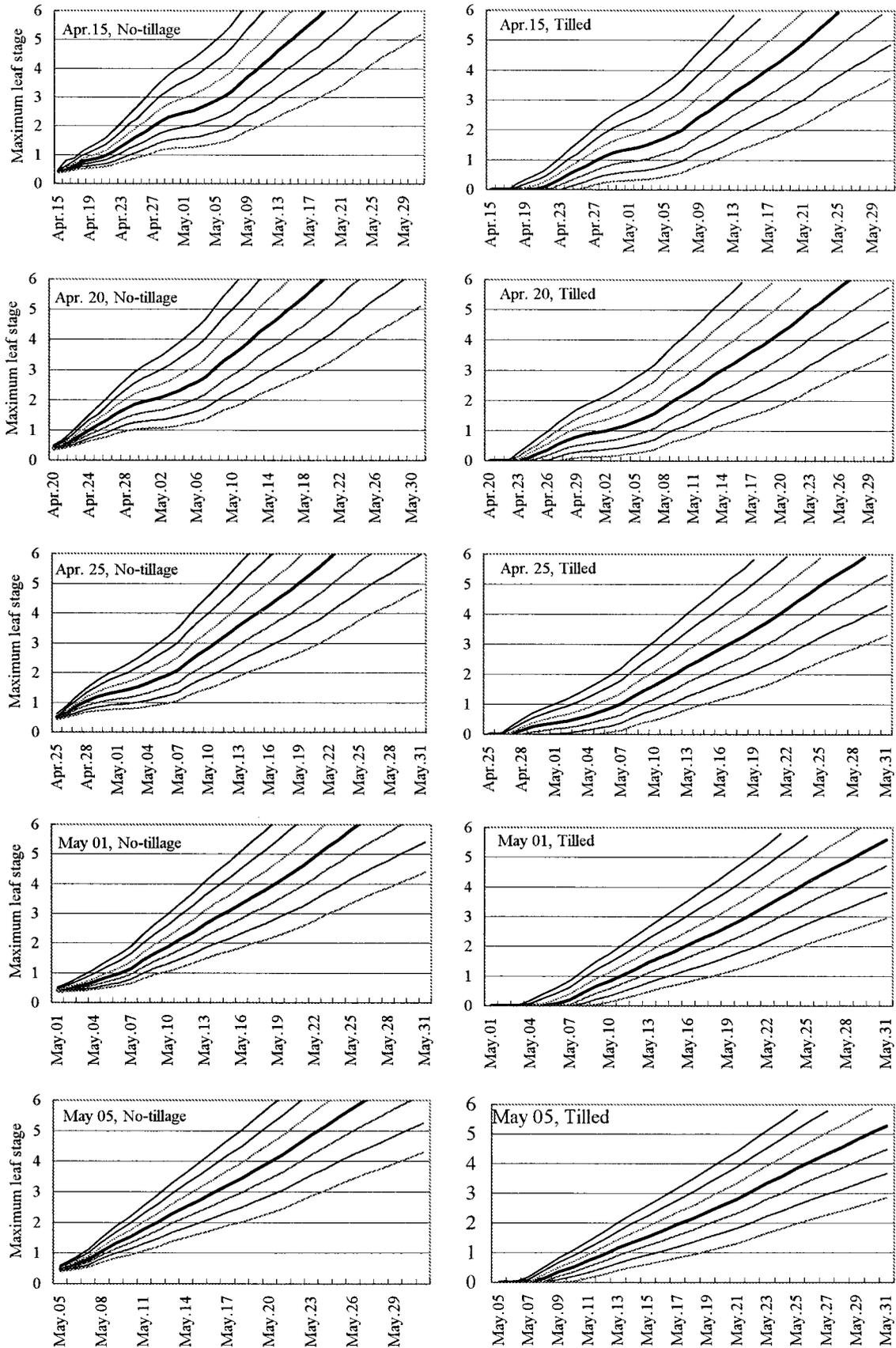


Fig. 5. Changes in estimated leaf stages in *Echinochloa crus-galli* var. *praticola* with accumulated efficient air temperature ($\Sigma \epsilon$) in average year (—), increase and decrease of 1 to 3 °C, for five different sowing times in no-tillage and tilled direct sowing rice cultivation at Ohta-shinden, Shintone, Ibaraki
 Note: Average year: 1990-1994 at Ryugasaki, Ibaraki.

Table 6 Proper application time of thiobencarb+DCPA for 2-3 leaf stage and cyhalofop butyl+bentazon for 4-5 leaf stage estimated with accumulated efficient air temperature ($\Sigma \varepsilon$) in *Echinochloa crus-galli* var. *praticola* in direct sowing rice cultivation under dry condition at Shintone, Ibaraki, in case of sowing date on 15th April

Thiobencarb+DCPA for no-tillage				
Temperature	Application of pre-emergence herbicides			
	No application	Residual effect expected		
		ca. 5 days	ca. 10 days	ca. 15 days
Average year	Apr.27-May05	May01-May08	May07-May12	May11-May15
-3°C	May10-May18	May12-May19	May14-May21	May17-May23
-2°C	May07-May13	May09-May14	May11-May17	May14-May20
-1°C	May01-May09	May06-May11	May09-May13	May12-May17
+1°C	Apr.25-May02	Apr.28-May05	May04-May09	May09-May13
+2°C	Apr.24-Apr.28	Apr.27-May02	May02-May07	May08-May11
+3°C	Apr.23-Apr.26	Apr.26-Apr.30	May01-May05	May08-May10
Cyhalofop butyl+bentazon for no-tillage				
Average year	May10-May15	May13-May17	May15-May19	May19-May23
-3°C	May24-May30	May25-May31	May27-June α	May29-June α
-2°C	May19-May24	May20-May25	May22-May27	May25-May29
-1°C	May14-May19	May16-May21	May19-May23	May22-May25
+1°C	May07-May11	May10-May16	May13-May16	May17-May20
+2°C	May04-May28	May07-May10	May10-May14	May15-May19
+3°C	Apr.30-May05	May05-May08	May09-May12	May13-May16
Thiobencarb+DCPA for tilled				
Temperature	Application of pre-emergence herbicides			
	No application	Residual effect expected		
		ca. 5 days	ca. 10 days	ca. 15 days
Average year	May05-May12	May09-May14	May13-May17	May16-May21
-3°C	May20-May26	May21-May28	May23-May29	May25-June01
-2°C	May15-May21	May16-May23	May19-May24	May22-May27
-1°C	May11-May16	May13-May18	May15-May21	May19-May23
+1°C	May01-May09	May07-May11	May10-May14	May14-May19
+2°C	Apr.28-May06	May04-May09	May08-May12	May13-May16
+3°C	Apr.26-May03	May01-May07	May07-May10	May11-May15
Cyhalofop butyl+bentazon for tilled				
Average year	May17-May22	May13-May23	May22-May26	May25-May29
-3°C	June α -June α	June α -June α	June α -June α	June α -June α
-2°C	May26-June01	May28-June α	May30-June α	June α -June α
-1°C	May22-May26	May23-May28	May25-May30	May28-June α
+1°C	May13-May18	May16-May20	May19-May22	May22-May26
+2°C	May10-May14	May13-May16	May16-May19	May20-May23
+3°C	May07-May11	May10-May13	May13-May17	May18-May21

Note: June α indicates that the estimated time is in June.

培法での乾田期間に野生ヒエの生育が進んだ場合でもその制御が可能となった (森田：1995a, 1997)。

除草剤の適正な使用には雑草の種類、発消長を把握して適期に処理することが必要である。不耕起乾田直播の乾田期間のイヌビエの葉齢進度を、(日平均気温-10°C)を有効積算温度として解析した結果では、同温度約 100.7°C で葉齢にして「1」進展するが、自然発生の条件下では積算値の変動がみられ、この原因としてイネの播種時点で土中で発芽しかけた個体の存在が指摘されている (宮本・草薙：1995)。本

研究では太田新田の乾田直播における雑草の発生相に基づいて、主要雑草であるヒメイヌビエについて地域の気温値による葉齢進展の計量化を行い、除草剤適期処理の指標を作成した。加重型有効積算気温を用いた場合に、出芽後の葉齢進展を正確に示すことができたものの、播種から出芽までの期間ではやや精度が低下する傾向が認められた。本手法を出芽の確認後から適用することによって精度の向上が期待できるが、播種時から使用可能な精度の高い温度指標については今後更に検討を要する。

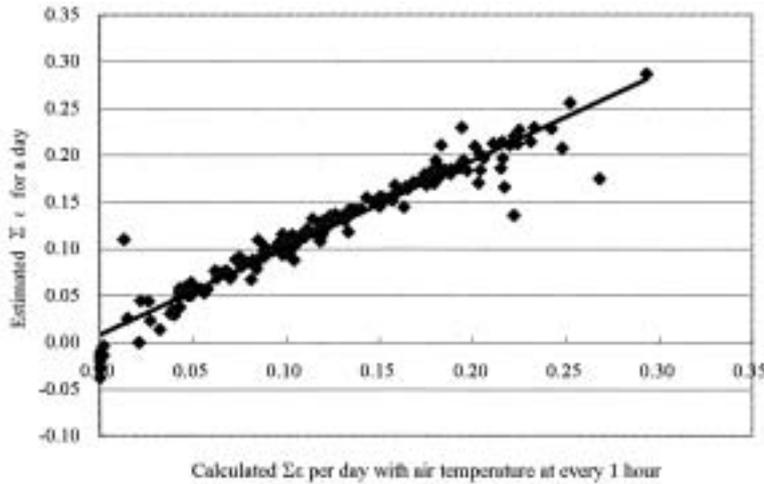


Fig. 6. Estimation of approximate value of $\sum \varepsilon$ for a day (Y) with daily mean (X_1) and daily range (X_2) of air temperature

Note: $Y=0.00211X_1+0.00014X_2-0.2154$ $R^2=0.932$

3. 九州地方に発生したコヒメビエの小穂と穂の形態および低温での種子の死亡条件を基にした定着不可能地点の推定

コヒメビエ (ワセビエ: *Echinochloa colonum* Link.) は熱帯・亜熱帯において雑草として重要視されているヒエ属植物 (Holm *et al.*:1977, Moody:1988) で、日本では奄美群島、沖縄および小笠原などに生育する (榎本:1992, 杉本:1973) もの、日本の野生ヒエには含まれていない (大井:1992, 長田:1989, 藪野:1981)。

九州地方の水田では近年、新たに侵入した帰化雑草が問題になっており (森田他:1991, 森田・中山:1992a,b), コヒメビエも九州地方の水田に侵入する可能性の高い草種のひとつとみなされてきた。コヒメビエの発生は熊本県の休耕田で1991年に、また、宮崎県総合農業試験場の構内で1993年に確認された。コヒメビエの発生や生育は玉名市で確認されるまで九州本島では知られていない。玉名市と佐土原町で分布が確認されたコヒメビエは何らかの要因で国外から持ち込まれたものと考えられる。コヒメビエの発生していた場所には作物が栽培されていなかったため、雑草害の程度は不明であるが、海外ではコヒメビエは水稻の強害雑草として広く知られており (Holm *et al.*:1977, Moody:1988), 日本の耕地での今後の動向に注意を払う必要がある。このため、コヒメビエの有効な識別点、凍結処理による種子の死亡条件および同条件に基づき、九州地方でのコヒメビエの定着不可能な地点を過去5年間の気

温値と温暖化を想定した気温値から推定した (森田:1999a)。

1) 材料および方法

(1) 小穂および穂の形態

次に述べる4系統のコヒメビエと対照のためのヒメイヌビエ1系統について小穂および穂の形態を計測した。①1991年と92年の8月に熊本県玉名市小島の休耕田で採集したコヒメビエ (以下、玉名市産と略称)。②玉名市産のコヒメビエを九州農試水田利用部 (現九州沖縄農業研究センター 水田作研究部, 福岡県筑後市和泉) の温室で20℃以下にならないように管理して育成し、1992年11月に採取したもの (以下、玉名市筑後温室産と略称)。

③1993年8月に宮崎県佐土原町下那珂の同県総合農業試験場構内で採集したコヒメビエ (以下、佐土原町産と略称)。④茨城県つくば市の農業研究センター (現中央農業総合研究センター) 水田雑草研究室で保存しているタイ国産コヒメビエを、1988年に同センター谷和原水田で栽培、採種したもの (以下、タイ国産と略称)。⑤九州農試の水田周辺に生育するヒメイヌビエ (*Echinochloa crus-galli* P. Beauv. var. *praticola* Ohwi) から、1988年に採取した小穂と1991年に採取した穂。

(2) 種子の生存率に及ぼす凍結処理の影響

1992年11月に九州農業試験場の温室で採種した玉名市産コヒメビエの種子を風乾し、室内に貯蔵した。1993年6月1日に、オートクレーブで加熱処理した乾燥土壌1gと風乾した種子30mgを混ぜたものを8.5×12cmのポリエチレン袋に入れ、これに量を変えて脱イオン水を加えることにより0, 10, 30, 50%の5段階の含水比の区を作り、袋を密封した後、5℃で9日間保存し、その後に凍結処理を行なった。凍結処理は、-5℃で1日当たり3時間と6時間の処理および1日間と3日間の連続処理日数の組合せとし、処理時間以外は5℃に冷蔵した。処理終了後8日目に種子を土から洗い出し、約10mlの脱イオン水を加えた直径9cmのシャーレに置床し、25℃14時間照明の陽光恒温器内で15日間の発芽率を調べた。

1993年3月15日に、脱イオン水0.5mlを加えて上記と同様に準備した種子を5℃で3日間保存した後、0, -2, -5℃の3段階の温度と1, 3, 6時間の3

段階の処理時間および 1, 2, 3, 4 日間の連続処理日数として、0°C での一部の組合せを除く全組合せの条件で処理した。処理を終了した材料は 5°C で 23 日間冷蔵した。5 月 19 日に種子を土から洗い出して、約 10ml の脱イオン水を加えた直径 9cm のシャーレに移し、1992 年の凍結処理と同様に陽光恒温器内で 20 日間の発芽率を調べた。なお、発芽しなかった種子を縦断して TTC (2,3,5-triphenyl tetrazolium chloride) 1% 溶液に浸漬し、25°C で 3 時間置いた後に胚の染色の有無を調べた。発芽実験はいずれも 3 反復とした。なお、30mg の風乾種子の数は 18 ~ 25 の範囲であった。

(3) 九州地方における冬期間の低温出現頻度

沖縄県を除く九州 7 県の気象月報「地域気象観測気温月表」に記載されている地点および、九州農試水田利用部と各県農業関係試験研究機関のある 11 地点につき、1988 年から 1992 年までの 5 年間について 11 月から翌年の 3 月までの、0°C 以下の日最低気温の出現日数を 1°C 刻みで調べた。調査地点数は、福岡県：15、佐賀県：6、長崎県：15、熊本県：19、大分県：14、宮崎県：19 および伊仙と沖永良部を除く鹿児島県：26 で、総地点数は 114 である。なお、気温の欠測値があった場合でもその補正は行なわなかった。

コヒメビエの学名は BOR の見解 (BOR:1960) に従った。

2) 結 果

(1) 小穂と穂の形態

コヒメビエの小穂の長さは、玉名市産では 2.6mm、佐土原町産では 2.5mm で、玉名市筑後温室産では 2.5mm とやや短かったものの、いずれも 2.4mm のタイ国産よりやや大きかった (Table 7)。

ヒエ属植物の分類において重視される形質である第 1 包穎の長さは、佐土原町産では 1.5 mm で小穂長の 62%、玉名市産では 1.5mm で 58 % を占め、ともに 56% のタイ国産の小穂の特徴とほぼ等しかった (Fig. 7)。また、玉名市産では小穂長に占める第 1 包穎長の比率は、現地と冬期間の温室という採種条件の違いによっても変化しなかった。室内で風乾した完熟小穂の 50 粒重は、玉名市産で 73mg、玉名市筑後温室産で 71mg であり、第 1 包穎長の比率と同様、採種条件の違いで変化しなかったが、これらはタイ国産の 51mg や筑后市産ヒメイヌビエの 63mg より重かった (Table 7)。

玉名市産の穂は、長さ約 103mm で、約 12 本の枝梗を持ち、最下の枝梗の長さは約 21mm でヒメイヌビエのそれより短かった (Table 8)。また、佐土原町産では穂長と枝梗数は玉名市産より小さかったものの、最下の枝梗長は約 19mm で玉名市産とほぼ等しかった。すなわち、コヒメビエの穂の幅はヒメイヌビエより狭かった。

特徴を調べた 70 穂について、穂の細長さの指標として穂長に対する最下の枝梗長の比と穂長との関係を見ると、比は玉名市産と佐土原町産では 3.2 より大

Table 7 Size and weight of mature spikelets in *Echinochloa colonum* from Tamana and Thailand, and *E.crus-galli* var. *praticola* from Chikugo

Species, location and date of collection	Length of spikelets(A) (mm) ^{a)}	Length of first glume(B) (mm) ^{a)}	Ratio (B/A)	50-grain weight with glumes (mg) ^{b)}
<i>E. colonum</i>				
Aug. 1991, Tamana	2.6 (0.14)	1.5 (0.13)	0.58 (0.05)	73.0 (2.1)
Nov. 1992, Tamana repropagated in greenhouse at Chikugo	2.5 (0.20)	1.4 (0.17)	0.58 (0.06)	71.0 (1.6)
Aug. 1993, Sadowara	2.5 (0.18)	1.5 (0.15)	0.62 (0.07)	-
Oct. 1988, Thailand repropagated in paddy field at Yawara	2.4 (0.16)	1.4 (0.24)	0.56 (0.09)	51.4 (3.1)
<i>E. crus-galli</i> var. <i>praticola</i>				
Aug. 1988, Chikugo	2.6 (0.26)	1.0 (0.13)	0.38 (0.03)	62.5 (2.7)

Note: a) Average and SD in parenthesis are based on 100 spikelets.

b) Average and SD in parenthesis are based on five replications.



Fig. 7. Spikelets of *Echinochloa colonum* from Tamana, Kumamoto (above), Sadowara, Miyazaki (middle) and Thailand repropagated at Yawara, Ibaraki (down)

きく、筑後市産ヒメイヌビエではほとんど3.2より小さかった (Fig. 8)。したがって、穂長に対する最下枝梗長の比は九州地方に侵入したコヒメビエを在来のヒメイヌビエと区分する外観上の指標にできる。

Table 8 Panicle length, number and length of rachis-branches in *Echinochloa colonum* from Tamana and Sadowara, and *E. crus-galli* var. *praticola* from Chikugo

Species and location	Panicle length (mm)	Number of rachis-branches	Length of lower most branch (mm)
<i>E. colonum</i>			
Tamana	102.5 (14.2)	11.7 (2.9)	20.9 (6.0)
Sadowara	76.6 (11.7)	9.0 (1.9)	18.6 (3.0)
<i>E. crus-galli</i> var. <i>praticola</i>			
Chikugo	88.0 (15.9)	9.5 (3.3)	30.2 (6.9)

Note: Average and SD in parenthesis are based on 70 panicle

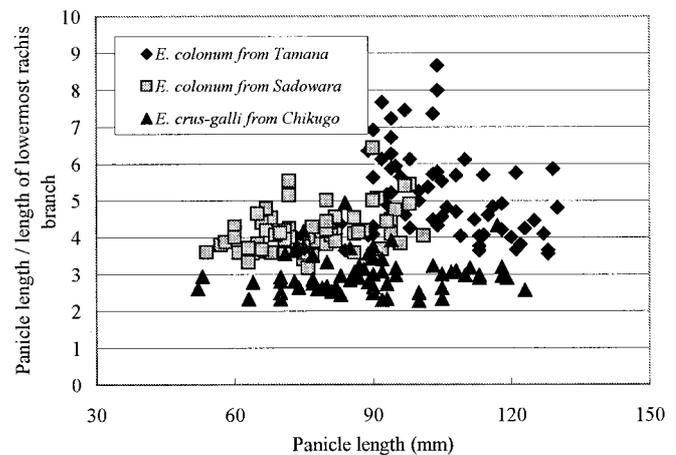


Fig. 8. Variation in panicle length and ratio of panicle length/length of lowermost rachis-branch in *Echinochloa colonum* and *E. crus-galli* var. *praticola*

(2) 種子の生存率に及ぼす凍結処理の影響

異なる土壌水分下でコヒメビエの種子を -5°C で凍結処理したところ、10%以下の含水比ではどの処理でも発芽率は約80%以下に低下せず、30%、50%の含水比では1日の凍結処理時間と処理日数の増加につれて発芽率は低下し、含水比50%の1日6時間処理では種子はほとんど発芽しなかった (Table 9)。

1日の処理時間および連続日数を組合わせた3段階の温度の凍結処理の場合、 0°C の全てと -2°C の1日1時間処理では種子の発芽率は大きく低下しなかったが、 -2°C の1日3時間処理と -5°C の1日1時間処理では4日間連続すると発芽率が48%~62%に低下し、反復間の変動も増大した (Table 10)。 -2°C の1日6時間処理を3、4日間連続すると、発芽率は約60%から約8%に大きく低下し、 -5°C の1日3時間処理と6時間処理では発芽はほぼ完全に阻害された。発芽しなかったいくつかの処理区の種子を縦断して

Table 9 Germination percentage of seeds of *Echinochloa colonum* from Tamana frozen at -5°C under different soil moisture ratios

Treatment at -5°C		Soil moisture rate (%)			
Hours/day	Days	50	30	10	0
3	1	54.5 (47.2)	62.4 (44.3)	90.7 (8.1)	98.4 (2.8)
	3	56.9 (49.3)	12.6 (10.0)	85.7 (12.4)	91.7 (10.4)
6	1	3.4 (3.0)	9.7 (8.9)	87.1 (7.3)	91.3 (10.8)
	3	1.5 (2.6)	13.2 (5.9)	79.2 (7.6)	87.0 (4.4)
Untreated control		98.3 (2.9)	92.0 (7.6)	98.4 (2.8)	96.7 (2.8)

Note: Percentage and SD in parenthesis are based on three replications, at 15 days after exposure to 25°C .

Table 10 Germination percentage of seeds of *Echinochloa colonum* from Tamana after exposure to various freezing treatments in soil with 50 percent of moisture ratio

Hours/day	Days	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)		
		0	-2	-5
1	1	-	76.0 (8.2)	76.3 (4.6)
	2	76.6 (6.2)	79.0 (10.8)	82.3 (13.3)
	3	71.5 (17.1)	70.3 (11.7)	77.7 (6.8)
	4	76.7 (8.4)	95.0 (8.7)	62.3 (26.3)
3	1	-	74.3 (12.6)	1.7 (2.9)
	2	87.6 (4.2)	69.7 (7.5)	0 (0)
	3	69.0 (2.0)	62.3 (14.2)	0 (0)
	4	78.3 (18.8)	48.3 (45.5)	1.8 (3.1)
6	1	-	60.0 (18.1)	0 (0)
	2	76.3 (10.6)	57.0 (49.4)	0 (0)
	3	82.0 (4.6)	8.7 (15.0)	0 (0)
	4	89.3 (5.7)	8.3 (10.4)	0 (0)
Untreated control		94.7 (9.2)		

Note: Percentage and SD in parenthesis are based on three replications at 20 days after exposure to 25°C .

TTCで染色した結果、凍結処理をしていない健全な種子に比べて胚の着色の薄いことを観察した。

すなわち、玉名市産コヒメビエの種子は含水比50%の土壌中において、 -5°C で1日6時間の凍結でほぼ死滅し、さらに3~4日間継続すると完全に死滅するものと認められた。

(3) 冬期間の低温出現頻度からみたコヒメビエの定着不可能地点の推定

玉名市産コヒメビエ種子が -5°C の温度条件で死滅したことから、冬期間に -5°C 以下の気温が出現するとコヒメビエは越冬できないと推定される。同条件の1回のみ出現では、数年間の現象を考えると、コヒメビエ種子が死滅に至らないことも懸念される。そこで、ある地点において冬期の11月から翌年の3月までに最低気温が -5°C 以下となる日数を求め、

1988年から1992年までの5年間の総日数が4日以上となる場合に、その地点ではコヒメビエは定着できないと仮定した。気温を調べた114地点のうち、コヒメビエの定着が不可能と推定された地点は、対馬北部、九州山地や筑紫山地、島原半島の山地など32地点であり、コヒメビエが実際に発生している玉名市および佐土原町を含めた平野部のほとんどの地点ではコヒメビエは定着できると推定された (Fig. 9-(a))。さらに、毎日の最低気温が 1°C 上昇したと想定して同様に推定すると、定着不可能と推定した32地点のうち7地点ではコヒメビエは定着可能となると推定された (Fig. 9-(b))。

3) 考察

玉名市産および佐土原町産コヒメビエの小穂の形態は、小穂長が2~3mmで、第1包穎長が小穂長のほぼ1/2を占めるとするコヒメビエの特徴 (BOR:1960, Hsu:1975, 杉本:1973, 藪野:1981) に一致した。また、コヒメビエの穎果重は、タイ国での1粒重の測定値の1.05mg (Noda *et al.*:1984) や岡山大学所蔵の種子標本で測定された内穎と外穎を含む穎果の1,000粒重の584mg (榎本:1992a) よりやや重かった。第1包穎の特徴と種子重は、コヒメビエの動向を把握する上での指標とすることができよう。

コヒメビエの同定には小穂の形態のほかに、穂軸が直立する点も使われる (藪野:1981)。玉名市産および佐土原町産でも、コヒメビエの穂は成熟期でも傾斜しなかった。さらに、玉名市産および佐土原町産では最下の枝梗長と穂長の比は、3.2以上となるので、穂の外観からの識別に使える。マレーシアのコヒメビエでは穂長64mm、最大枝梗長14.8mmの測定値があり (Ho and Itoh:1991)、この比も4.3となっている。穂の外観と小穂の長さは日本の雑草ヒエの中ではヒメイヌビエがコヒメビエと最も類似する (藪野:1981) が、最下の枝梗長と穂長の比は小穂の形態より精度で劣るものの、穂の傾斜の有無と併せて野外での識別の有効な指標となる。

熱帯・亜熱帯性の雑草が日本の温帯域の耕地に侵入・定着するためには、降霜期以前の開花・結実と、冬期間の低温条件下での繁殖体の生存が必要である。玉名市産、佐土原町産コヒメビエとも8月には開花・結実しており、両地点では数年間コヒメビエは連続

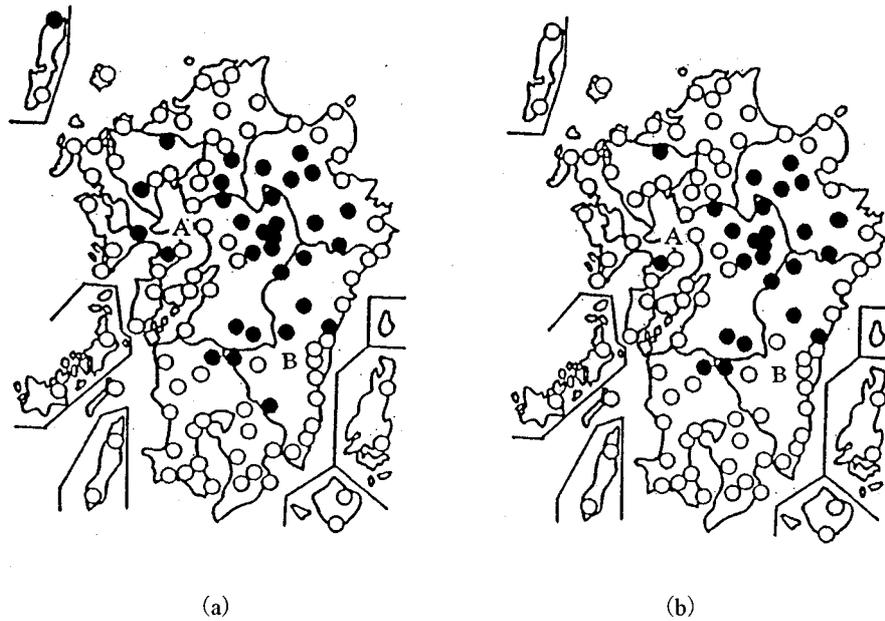


Fig. 9. Location where *Echinochloa colonum* from Tamana would be unable to become established, based on the impossibility for seeds to overwinter in Kyushu

Note: 1) The location was considered to be unsuitable for establishment due to the impossibility for seeds to overwinter when the total number of days with a daily minimum air temperature below -5°C throughout the period from November to March during five years from 1988 to 1992 exceeded four, based on the results shown in Table 10.

2) ● : non-establishment, ○ : survival, A: Tamana, Kumamoto, B: Sadowara, Miyazaki.

3) (a) : calculated based on daily minimum air temperature during 1988 to 1992, and (b) : calculated based on temperature increase of 1°C .

して発生している。気象データからもこの地点におけるコヒメビエの越冬可能性は十分に高く (Fig. 9-a,b), 種子は冬の期間にも生存していると考えられる。

乾燥は一般に種子の低温に対する抵抗性を増加させる (中山: 1966)。コヒメビエでも -5°C の凍結処理での種子の死滅は 30%以上の含水比で増加した。冬期間に比較的降雨の多い九州地方では、地表部にあるコヒメビエの種子は 50%程度の土壌含水比の状態にあると考えられる。50%の土壌含水比で、 -5°C で 1日6時間の凍結処理を行なうと種子はほぼ死滅したことから (Table 9, 10), これを玉名市産コヒメビエ種子の死滅条件と仮定した。裸地状態にある地表の温度は、夜間には気温より低下する (長野他: 1986) ので、この推定は妥当であると考えられる。 -5°C 以下の日最低気温の5年間の総出現日数を種子の越冬条件として、九州の各地点での玉名市産コヒメビエの定着不可能性を推定した結果、山地および北部九州の対馬の32地点でのみコヒメビエは定着不可能であると考えられた。この結果は、種子が「定着不可能」以外の場所に持ち込まれると、コヒメビエがさらに分布を拡大する可能性を示している。

4. 温暖化がコヒメビエの葉齢進展速度に及ぼす影響の予測

1950年代に26億人であった世界人口は21世紀の中頃には100億人に達すると予測されており、それに伴う温暖化とその農業生態系への影響が懸念されている。日本付近では100年後に地上年平均気温が東北以南で $3\sim 4^{\circ}\text{C}$ 、東北以北で $4\sim 5^{\circ}\text{C}$ 上昇すると予測されている (清野: 1999)。気温の上昇が水田の雑草に及ぼす影響としては、熱帯・亜熱帯産雑草種の分布の拡大、国内の既存の種の分布域の変化、および発生生態の変化による除草適期の変動などが考えられる。わが国農耕地への侵入と定着が懸念される熱帯・亜熱帯の強害雑草としては、九州地域に侵入したコヒメビエもその一つである (森田: 1993)。想定される温暖化での新帰化植物の生育の変動予測は効果的な防除法を策定する上で有効である。そこで、加重型有効積算気温手法 (森田: 1999b) によりコヒメビエの葉齢進展速度への温暖化の影響をタイムピエとの対比で推定した (森田: 1999a)。

1) 材料および方法

(1) コヒメビエの葉齢進展に対する有効気温

農業研究センター（現中央農業総合研究センター）水田雑草研究室所蔵で、1990年に九州農業試験場（現九州沖縄農業研究センター水田作研究部、福岡県筑後市）で採種したタイ産コヒメビエ（c-1）穎果25粒を、250mlの容器にオートクレーブで殺種子処理した水田土壌50gに水30mlを加えた播種床に播種した。30℃の陽光恒温器で発芽させ、約3cmの湛水で第2葉の抽出初期まで育成した後、14時間日長で12℃から36℃まで3℃刻みの陽光恒温器で第2葉の24時間後の伸長量を各温度につき6～20個体、また15℃から36℃で125個体の、完全に展開後の全長を測定した。

また、産地を異にするコヒメビエ（タイ産（c-1）、熊本県玉名市産（c-2）、パラグアイ産（c-3）、マレーシア産（c-4）およびエジプト産（c-5））の第2葉の30℃と18℃での伸長を上記と同じ方法で測定した。

(2) コヒメビエの葉齢進展に必要な有効積算気温

1/5,000aのワグナーポットに水田土壌を充填し、上部3cmにオートクレーブで殺種子処理した水田土壌（沖積埴壤土）を加えて培土とした。1991年9月19日、10月1日、24日に休眠覚醒したコヒメビエ（c-1）とタイヌビエ種子を播種し、戸外の湛水状態で葉齢進展を調べた。タイヌビエの葉齢進展の有効度（ ϵ ）は森田（1999b）の数値を使用した。

(3) 温暖化による葉齢進展の促進程度

九州農業試験場（福岡県筑後市）での1988～92

年の5年間の4月から6月の気象値から気温の1時間値の平均値を算出して平年値とした。この1時間値の平年値に1, 2, 3, 4℃を加算して温暖化による気温上昇を想定した。

2) 結果

(1) コヒメビエの葉齢進展に対する有効気温

コヒメビエ（c-1）の第2葉の24時間の伸長量はFig. 10に示すようであった。15℃から36℃の125個体での第2葉身長は42.9 ± 4.6（標準偏差）mmであった（Fig. 11）ことから、（24時間の伸長量/第2葉の全長）で葉齢進展速度を求め、野生ヒエとイヌホタルイでの場合（森田：1999b）と同様に、温度と葉齢進展の関係をSpline曲線補間法により0.1℃刻みで求め、その1/24をコヒメビエの1時間当たりの葉齢進展有効気温とした（ ϵ ：Table 11）。30℃と18℃での第2葉の24時間の伸長量と全長は産地を異にするコヒメビエ間で大きく異なったが、（24時間の伸長量/第2葉の全長）で葉齢進展速度を求めると、同値は30℃でのパラグアイ産でやや小さい他、産地間に有意な差は認められなかった（Table 12）。コヒメビエの葉身の長さは多様な種内変異を示すものの、出葉の温度反応では変異幅が極めて小さいものと考えられた。

(2) コヒメビエの葉齢進展に必要な有効積算気温

3播種期で出芽日を異にするコヒメビエとタイヌビエの葉齢進展について、出芽から各葉期の午前8時までを ϵ の積算値（ $\sum \epsilon$ ）で表した。 $\sum \epsilon$ 測定個体間の変動係数は、日数で表した場合の90～60%程度

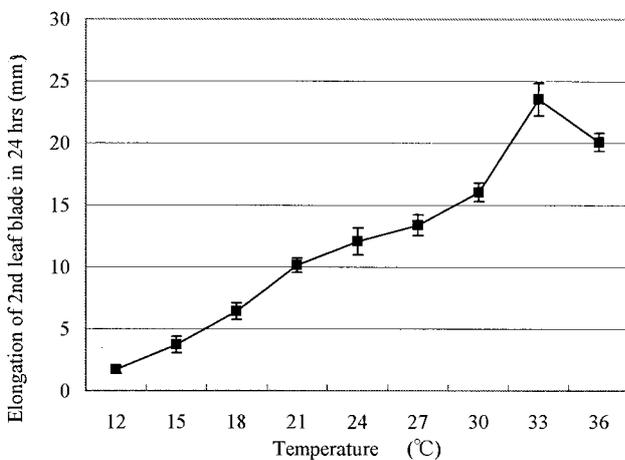


Fig. 10. Elongation of second leaf blade in *Echinochloa colonum* in 24 hours under different air temperature
Note: Bar indicates Standard Error.

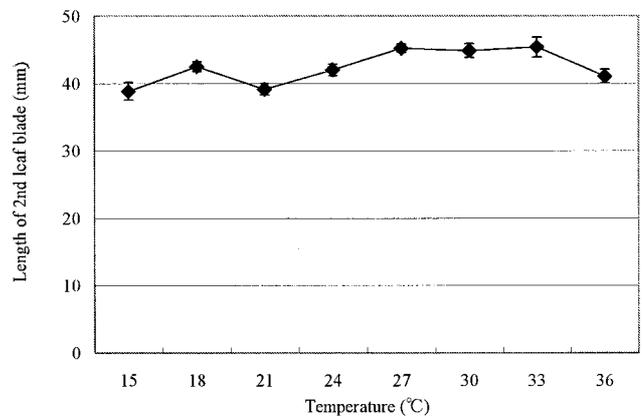


Fig. 11. Whole length of fully developed second leaf blade in *Echinochloa colonum* under different air temperature conditions
Note: Bar indicates Standard Error.

Table 11 Transformation of air temperature for every 0.1°C between 12.0°C and 36.0°C into efficient unit of air temperature for leaf emergence (ϵ) in *Echinochloa colonum*

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	0.0017	0.0017	0.0018	0.0019	0.0019	0.0020	0.0020	0.0021	0.0022	0.0023
13	0.0023	0.0024	0.0025	0.0025	0.0026	0.0027	0.0028	0.0028	0.0029	0.0030
14	0.0030	0.0031	0.0032	0.0032	0.0033	0.0030	0.0035	0.0035	0.0036	0.0037
15	0.0038	0.0038	0.0039	0.0040	0.0040	0.0041	0.0042	0.0043	0.0043	0.0044
16	0.0045	0.0046	0.0047	0.0048	0.0048	0.0049	0.0050	0.0050	0.0051	0.0053
17	0.0053	0.0054	0.0055	0.0056	0.0057	0.0058	0.0058	0.0060	0.0060	0.0062
18	0.0063	0.0064	0.0065	0.0066	0.0067	0.0068	0.0070	0.0071	0.0072	0.0074
19	0.0075	0.0076	0.0078	0.0079	0.0080	0.0082	0.0083	0.0085	0.0086	0.0087
20	0.0089	0.0090	0.0091	0.0092	0.0094	0.0095	0.0096	0.0097	0.0098	0.0099
21	0.0100	0.0101	0.0102	0.0103	0.0103	0.0104	0.0105	0.0105	0.0106	0.0103
22	0.0107	0.0108	0.0108	0.0109	0.0109	0.0110	0.0110	0.0111	0.0111	0.0112
23	0.0112	0.0113	0.0113	0.0113	0.0114	0.0114	0.0115	0.0115	0.0116	0.0116
24	0.0117	0.0117	0.0118	0.0118	0.0118	0.0119	0.0119	0.0120	0.0120	0.0120
25	0.0121	0.0121	0.0121	0.0122	0.0122	0.0123	0.0123	0.0123	0.0123	0.0124
26	0.0124	0.0125	0.0125	0.0125	0.0126	0.0126	0.0127	0.0128	0.0128	0.0128
27	0.0129	0.0130	0.0130	0.0131	0.0132	0.0132	0.0133	0.0133	0.0134	0.0134
28	0.0135	0.0135	0.0136	0.0137	0.0138	0.0138	0.0139	0.0140	0.0140	0.0141
29	0.0142	0.0143	0.0144	0.0145	0.0146	0.0148	0.0149	0.0150	0.0151	0.0153
30	0.0154	0.0156	0.0158	0.0160	0.0162	0.0164	0.0166	0.0171	0.0171	0.0174
31	0.0177	0.0179	0.0182	0.0185	0.0188	0.0190	0.0193	0.0196	0.0199	0.0201
32	0.0204	0.0206	0.0209	0.0210	0.0213	0.0214	0.0216	0.0218	0.0219	0.0220
33	0.0221	0.0221	0.0222	0.0222	0.0222	0.0222	0.0221	0.0221	0.0220	0.0220
34	0.0219	0.0218	0.0217	0.0216	0.0215	0.0214	0.0213	0.0211	0.0210	0.0209
35	0.0208	0.0207	0.0206	0.0204	0.0203	0.0202	0.0200	0.0198	0.0198	0.0197
36	0.0196									

Note: a) Efficiency for leaf emergence = $\frac{\text{Length of 2nd leaf blade that emerged in 24hrs}}{\text{Whole length of fully developed 2nd leaf blade}}$
(shown in Fig.10 and 11).

$$b) \epsilon = \frac{\text{Spline Interpolation "Efficiency for leaf emergence" for 0.1°C}}{24 \text{ (hrs)}}$$

Table 12 Elongation in 24 hrs and whole length of fully developed second leaf blade in *Echinochloa colonum* from different locations under temperature conditions at 30°C and 18°C

Location	Number of plants measured	Length in 24 hrs (mm)	Whole length (mm)	Increase in leaf age in 24 hrs
Thailand	17	11.3±3.7	35.8±8.2	0.31±0.04a
Tamana	29	19.1±3.7	59.6±8.2	0.32±0.05a
Malaysia	16	9.6±4.3	31.1±10.0	0.31±0.13a
Paraguay	30	11.2±4.0	44.1±8.2	0.25±0.07b
Egypt	8	17.9±6.2	54.9±12.2	0.32±0.06a
18°C				
Thailand	13	3.4±1.6	28.0±4.5	0.12±0.05a
Tamana	31	7.2±2.4	58.3±10.2	0.12±0.03a
Malaysia	20	3.5±1.5	28.7±7.2	0.12±0.05a
Paraguay	33	5.8±1.4	45.3±9.6	0.13±0.04a
Egypt	9	7.6±1.9	58.9±7.0	0.12±0.02a

Note: Figures show Mean ± SD and same letter indicates insignificant by Duncan's multiple test at 0.05.

に低下した (Table 13)。そこで、出芽～1葉期 (A), 1～1.5葉期 (B), 1.5～2葉期 (C) の加重型有効積算気温 ($\Sigma \epsilon$) を次のように定めた。

コヒメビエ : 0.753 (A) 0.800 (B) 0.500 (C)

タイヌビエ : 0.931 (A) 0.606 (B) 0.430 (C)

(3) 温暖化による葉齢進展の促進程度

北部九州での早期栽培の移植期に相当する4月20日、普通期栽培に相当する6月20日およびその中間の5月20日の午前8時に発芽したと想定した条件で、温暖化によるコヒメビエの葉齢進展速度の変動をタイヌビエとの対比で $\Sigma \epsilon$ によって推定した (Fig. 12)。

4月20日の発芽を想定した場合、4°Cの気温上昇による葉齢進展の促進はタイヌビエよりコヒメビエで大きく、2葉期への到達は平年値に比べてコヒメビ

エで144時間、タイヌビエで128時間早まると推定された。また、1°Cの上昇による各葉期までの期間の短縮の程度は両種とも平年値と+1°Cとの間で最大となった。普通期栽培に相当する6月20日の出芽を想定した場合には、4°Cの気温上昇の影響は4月20日出芽の場合とは逆にコヒメビエよりタイヌビエで大きかった。すなわち、2葉期に至るまでの期間の平年値からの短縮はコヒメビエで32時間、タイヌビエで

44時間で、気温上昇の影響は早期栽培に比べて著しく小さいと推定された。また、1°Cの気温上昇での各葉期までの期間の短縮の程度は、タイヌビエでは4月20日出芽の場合と同様に、平年値と+1°Cの間で最大となったが、コヒメビエでは判然としなかった。5月20日の出芽を想定した場合には、葉齢進展の促進程度は4月20日、6月20日出芽の場合の中間であった。

3) 考 察

日本の水田雑草で一番問題になるのはノビエと総称される野生ヒエで、ノビエはタイヌビエ (*Echinochloa oryzicola* Vasing.), イヌビエ (*E. crus-galli* Beauv. var. *crus-galli*), ヒメタイヌビエ (*E. crus-galli* Beauv. var. *formosensis* Ohwi) およびヒメイヌビエ (*E. crus-galli* Beauv. var. *praticola* Ohwi) の2種2変種の4群からなっている。稲作期間に湛水される水田という環境に対する適応性はこの4群間で異なり、湛水土中での発芽能力はタイヌビエとヒメタイヌビエで大きく、ヒメイヌビエでは小さい。このうち、ヒメタイヌビエは現在関東地方以西にしか見られないが、他の3群は全国的に広く発生する(森田：1996b)。さらに温暖な南に位置する東南アジアの水田では野生ヒエの種類についてみると、例えば、半島マレーシアを中心とした東南アジアでは、日本の野生ヒエと同様な一年生のコヒメビエと多年生の2種 (*E. stagnina* P.Beauv., *E. picta* Michael) が加わる(伊藤：1996)。このコヒメビエはインド原産とされ、世界の熱帯から亜熱帯にかけて水田や畑に発生して害の大きい雑草として問題になっているが (HOLM *et al.* : 1977, MOODY : 1988), 日本では奄美群島、沖縄および小笠原などを除いて生育しないので、これまでは雑草として注目されなかった(大井：1992, 藪野：1981)。温暖化は日本の水田に侵入する新しい種類の野生ヒエを定着させ、水田での除草剤に使用法に影響を及ぼすものと考えられる。

水田で除草剤による防除の指標となる葉齢進展速度について、コヒメビエとタイヌビエへの温暖化の影響は、生育に無効な12

Table 13 Accumulated efficient air temperature ($\sum \epsilon$) for leaf development in *Echinochloa colonum* and *E.oryzicola* among different sowing times

Species and leaf stage	No. of plants	$\sum \epsilon$		Days	
		Mean	C.V.(%)	Mean	C.V.(%)
<i>E. colonum</i>					
Emergence-1.0 leaf stage	10	0.753	31	5.5	51
1.0-1.5 leaf stage	9	0.800	24	4.2	31
1.5-2.0 leaf stage	5	0.500	21	2.4	23
<i>E. oryzicola</i>					
Emergence-1.0 leaf stage	27	0.931	20	4.2	33
1.0-1.5 leaf stage	27	0.606	35	3.3	62
1.5-2.0 leaf stage	10	0.430	27	2.4	40

Note: ϵ for *E.oryzicola* is shown in Table 1.

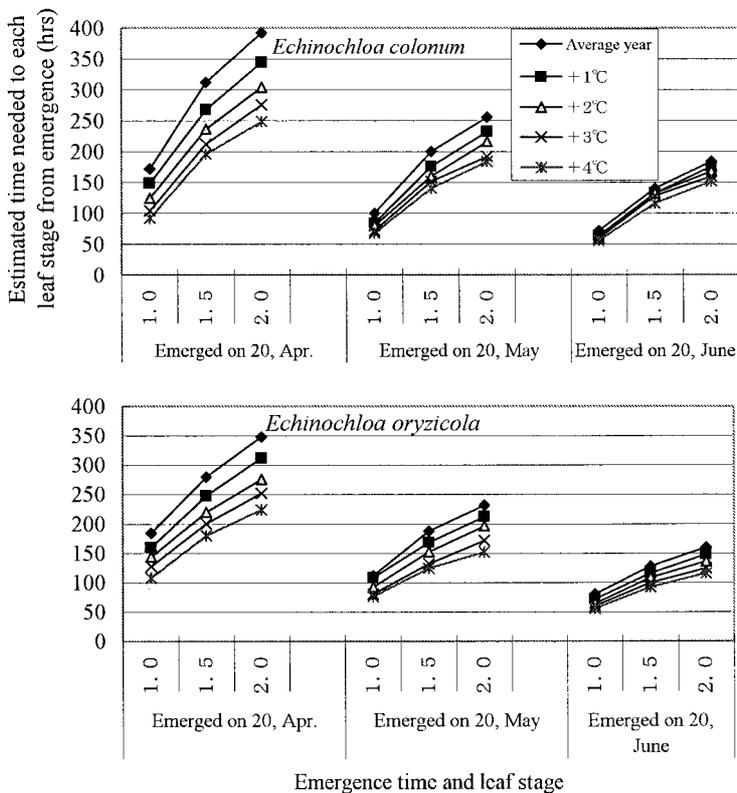


Fig. 12. Estimated changes in leaf development rate with accumulated efficient air temperature ($\sum \epsilon$) under supposed warming in *Echinochloa colonum* and *E.oryzicola* for three different emergence times

Note: Average year was given by temperature during 1988 to 1992 at Chikugo, Fukuoka.

℃未満の温度域が有効な12℃以上となる機会の多い、比較的低温条件下で作付けされる早期栽培で、普通期栽培での場合よりはるかに大きくなることが予測された。すなわち、2葉期までの野生ヒエに有効な除草剤を使用する場合、4℃の温暖化によりその処理晩限が、コヒメビエでは早期栽培での6日から普通期栽培での1.3日、タイヌビエでは同様に5.3日から1.8日早まることになる。推定された葉齢進展速度の促進は除草剤の使用条件からみると大きな変動であり、コヒメビエとタイヌビエでは作期によってその程度が異なることは、将来両種が共存した場合などに問題となる可能性がある。なお、温暖化に伴って、イネの作期やイネの生長速度など雑草の発生態態に強く影響を及ぼす要因も変動するので、具体的にはこれら要素の変動と本結果を併せた検討が必要である。また、ここでは気温の影響のみを取り上げたが、今後はCO₂濃度などの要因をも考慮して、雑草の発生態態に対する温暖化の影響をより広い範囲にわたって検討する必要がある。

コヒメビエに対する温暖化の影響は、比較的低温条件下でタイヌビエより大きく、高温な条件下ではタイヌビエより小さかった。このことは、コヒメビエが熱帯・亜熱帯の高温条件にタイヌビエよりよく適応した種であることを示唆しているが、詳細についてはさらに検討を要する。

5. 小括

水田の主要雑草である野生ヒエのタイヌビエ (*Echinochloa oryzicola* Vasing.), イヌビエ (*E. crus-galli* P.Beauv. var. *crus-galli*), ヒメタイヌビエ (*E. crus-galli* P.Beauv. var. *formosensis* Ohwi) およびカヤツリグサ科雑草のイヌホタルイ (*Scirpus juncooides* Roxb. var. *ohwianus* T.Koyama) について葉齢進展の指標となる加重型有効積算温度を、1時間ごとの気温値を第2葉の進展速度を基に算出した有効度に読み替えて積算する手法として開発し、その積算値の一定性を確認した。また、茨城県新利根町太田新田営農組合の圃場で1994年から97年にかけて実施された水稲乾田直播栽培において、乾田期間の主要なイネ科雑草であるヒメイヌビエ (*E. crus-galli* P.Beauv. var. *praticola* Ohwi) の発生態態の耕起、不耕起条件での違いを明らかにした。また、加重型有効積算気温を用いたヒメイヌビエの葉齢推定に基づいて、入水前の畑期間に施用する除草剤ベンチオカーブ+

DCPA 乳剤 (40 + 20%) およびシハロホップブチル + ベンタゾン液剤 (3 + 20%) の処理適期を策定した。

地球環境の温暖化により熱帯・亜熱帯の強害雑草のわが国農耕地への侵入と定着が懸念されるなかで、熱帯・亜熱帯を中心に分布するコヒメビエ (*Echinochloa colonum* Link.) が九州地方の熊本県と宮崎県で見いだされた。そこで、九州に発生したコヒメビエの穂の長さ/最下枝梗長が類似のヒメイヌビエとの実用的な識別点となることを明らかにした。また、コヒメビエ種子の死滅をもたらす凍結処理の温度条件が-5℃であることを確認し、114地点での冬期間における-5℃の日最低気温の出現頻度から九州各地での越冬・定着の可能性を検討した。

想定される温暖化での新帰化植物の生育の変動予測は効果的な制御戦略の策定に有効であることから、加重型有効積算気温手法によりコヒメビエの葉齢進展速度への温暖化の影響をタイヌビエとの対比で推定した。

III. 水田に発生するイネ科多年生雑草の葉の特徴による同定法と千葉県八千代市での発生状況の調査

近年、水田で匍匐性のイネ科多年生雑草が全国的に増加傾向にある (小山・倉倉:1989, 森田:1995b)。これらは植物分類学上の正しい名称でなく、通常「ヤベヅル (ヨベヅル)」の地方名で呼ばれている。水田では、同じイネ科に属する作物のイネと一年生雑草のタイヌビエなど雑草ヒエとの間に選択性を有する除草剤が使用されるが、これらが同じ科に属することから広葉雑草とイネ科雑草のようなはっきりとした生理的選択性を十分に確保できない剤も多い。加えて、多年生雑草は種子から発生する実生に比べて栄養繁殖体から大きな幼植物を発生させるので、この面からも防除の困難な一群である。

イネ科多年生雑草としてはこれまで、関東地方北部以西に発生する、変種のチクゴスズメノヒエを含むキシウスズメノヒエ (大隈:1989) と北海道や東北地方に発生するエゾノサヤヌカグサ (村上:1983) が1970年代からよく知られていた。しかし、近年問題となってきたイネ科多年生雑草は、分類上の十分な検討なしにキシウスズメノヒエやエゾノサヤヌカグサにあてられて混乱することがしばしばある。これは同定が幼植物の時期や穂のない時期に

行われるため、正確に同定されていないことに起因している。そこで、有効な制御法策定のための第一段階として、その範囲を限定して簡易で正確な識別方法を作り、それぞれの地域で問題となる「ヤベツル」の正体を正しく把握することが必要となった。

また、これら複数の種からなるイネ科多年生雑草が特定の除草剤に対して同様の反応を示すならば、防除の実際場面では識別する必要はないといえる。近年、野生ヒエとイネの間に高い選択性を示す除草剤シハロホップブチルがキシウスズメノヒエに効果を示すことが知られた(須藤・岩井:1996)が、同剤はイネ科雑草の種間での効果を異にする(Ito *et al.*:1997)。このため、数種のイネ科多年生雑草についてシハロホップブチル剤に対する反応を調べた。

1) 材料および方法

(1) 水田のイネ科多年生雑草種の把握

1994年から1997年にかけて、関東・東海地方を中心にして水田に発生して問題となっているイネ科多年生雑草に関する情報を収集し、必要に応じて現地で生植物を採集して現地での識別結果の当否を調べた。

(2) 葉身と葉鞘の形態による検索表の作成

1997年に農業研究センター(現中央農業総合研究センター、茨城県つくば市観音台)において、それぞれの種につき1地点以上から採取した10種1変種のイネ科多年生雑草を、50cm角のコンクリートポットなどの水田状態で育成し、生育期の葉の形態的特徴を観察した。さく葉標本での観察を含めた材料は、キシウスズメノヒエで茨城県新利根町、千葉県千葉市、千葉県八千代市、チクゴスズメノヒエで福岡県筑後市、アシカキで千葉県八千代市、茨城県水海道市、静岡県掛川市、エゾノサヤヌカグサで北海道恵庭市、長野県須坂市、イタリア Pieve Albignola Az. Agr. Pelizza Giancarlo、ハンガリー Szarvas、サヤヌカグサで茨城県つくば市、千葉県八千代市、長野県飯山市、ハイコヌカグサとウキガヤで北海道恵庭市、千葉県八千代市、ムツオレグサで静岡県磐田市、茨城県つくば市、ドジョウツナギで長野県飯山市、北海道恵庭市、ギョウギシバで茨城県つくば市、静岡県掛川市、チゴザサで福井県鯖江市、埼玉県吉見町産のものをそれぞれ使用した。

(3) 千葉県八千代市における発生状態の調査

1995年から1997年の7月に八千代市米本の直播栽培田を含む水田で生育しているイネ科多年生雑草の種類を調べた。また、1996年10月23日には同地区において長辺が40~100mの水田45筆を対象として、各筆の対角線上を歩行しながら、アシカキ、サヤヌカグサおよびハイコヌカグサの発生程度を、a:発生なし、b:畦畔沿いに発生、c:水田内部に発生、d:ほぼ全面に発生、に区分して記録した。

(4) シハロホップブチル剤に対する数種イネ科多年生雑草の反応

1997年の6月から7月にかけてつくば市観音台で、1/5,000a ワグネルポットに谷和原水田土壌(埴壤土)を詰め、14化成肥料1gを施用して代かきし、約3cmの湛水条件下でアシカキ(茨城県谷和原村産)、キシウスズメノヒエ(茨城県新利根町産)およびハイコヌカグサ(北海道恵庭市産)の2節を持つ稈切片5本を挿した。再生稈の2,3葉期,3,4葉期および5,6葉期にシハロホップブチル(Butyl-(R)-2-[4-(Cyano-2-fluorophenoxy)phenoxy]-propionate))除草剤を処理した。処理は3反復とし、処理後は約3cmの湛水とし、移動上屋内で降雨を避けて管理し、4~6週間後の残草量が無処理区と比較した。

供試剤と10aあたり処理量は、(a)シハロホップブチル(1.8%)1キロ粒剤(DEH:100g)、(b)シハロホップブチル(30%)乳剤(DEHEW:10ml)、(c)シハロホップブチル(3%)・ベンタゾン(3-isopropyl-1*H*-2,1,3-benzothiadiazine-4(3*H*)-one-2,2-dioxide,20%)液剤(DEH・BAS:100ml)とした。

2) 結果および考察

(1) 水田のイネ科多年生雑草種の把握

水田に発生して防除上の問題となっているイネ科多年生雑草について、現地を確認した結果、ほとんどがキシウスズメノヒエ、一部がエゾノサヤヌカグサと認識されており、その認識はごく一部を除いて不正確であった(Table 14)。また、1筆の水田や狭い範囲に複数のイネ科多年生雑草種が発生している場合も多かった。すなわち、現地で認識している種と実際の種との間にはかなりの混乱のあることが認められた。

これらの混乱は、①イネ科多年生雑草としてキシウスズメノヒエとエゾノサヤヌカグサ以外の種についての情報がほとんど現場に伝わっていない、

Table 14 Examples of recognition of perennial Gramineous weeds in paddy fields of central Japan

	Location and field	Season	Considered as	Correct identification
A Pref.	fields of farmers cooperative	July 1994	<i>Paspalum distichum</i>	<i>Leersia japonica</i>
C Pref.	Agricultural Experiment Station	July 1995	<i>Paspalum distichum</i>	<i>Paspalum distichum</i> <i>Agrostis stolonifera</i>
S Pref.	fields for herbicide evaluation	July 1996	<i>Paspalum distichum</i>	<i>Leersia japonica</i> <i>Agrostis stolonifera</i>
N Pref.	Agricultural Experiment Station	Aug 1996	<i>Paspalum distichum</i>	<i>Leersia oryzoides</i>
N Pref.	farmers fields	Aug 1997	<i>Leersia oryzoides</i>	<i>Leersia sayanuka</i>
C Pref.	fields of farmers cooperative	July 1995	<i>Paspalum distichum</i>	<i>Leersia japonica</i> <i>Leersia sayanuka</i> <i>Agrostis stolonifera</i> <i>Glyceria depauperata</i> <i>Paspalum distichum</i>

②穂のない状態でのイネ科植物の同定が一般的に困難であること、に起因していると考えられた(森田:1995)。

現地での確認と全国での情報を総合した結果、水田に発生して「ヤベヅル」と呼ばれているイネ科多年生雑草としては、キシウスズメノヒエ (*Paspalum distichum* L., チクゴスズメノヒエ *P. distichum* L. var. *indutum* Shinners) とエゾノサヤヌカグサ (*Leersia oryzoides* Sw.) の他に、アシカキ (*Leersia japonica* Makino), サヤヌカグサ (*Leersia sayanuka* Ohwi), ハイコヌカグサ (*Agrostis stolonifera* L.), ウキガヤ (*Glyceria depauperata* Ohwi), ムツオレグサ (*Glyceria acutiflora* Torr.) が含まれていた(森田他:1998)。また、ギョウギシバ (*Cynodon dactylon* Pers.), チゴザサ (*Isachne globosa* O.Kuntze), ドジョウツナギ (*Glyceria ischryoneura* Steud.) も、通常は畦畔や水路に発生するものの、時には水田内に侵入する。

一方、マコモ (*Zizania latifolia* Turcz.) やヨシ (*Phragmites communis* Trin.) も時に水田内に侵入するが、はっきりした形態的特徴を有するので、穂のない状態でも上記の種と混同されることはない。なお、イネ科一年生雑草の中にも匍匐性の稈を持つものがあり、アゼガヤ (*Leptochloa chinensis* Nees), ヌカキビ (*Panicum bisulcatum* Thumb.), メヒシバ (*Digitaria ciliaris* Kel.) なども現地においては「ヤベヅル」に含められることがある。しかし、これら匍匐性のイネ科一年生雑草は、地中に横走する根茎などを欠く、などの特徴で水田に発生するイネ科多年生雑草と識別される。

キシウスズメノヒエとチクゴスズメノヒエは帰

化植物として知られているが、ハイコヌカグサもヨーロッパ原産 (HUBBARD: 1954) の帰化植物である。

(2) 葉身と葉鞘の形態による検索表

対象とした10種1変種の生育期の葉身と葉鞘の特徴を調べた結果、毛の有無やその位置、小舌の長さにおいて異なっていた (Fig. 13)。イネ科植物には、新葉が巻いた状態で抽出する特徴と中折れの状態に抽出する特徴がみられるので、この特徴を第1番目の検索形質として採用し、毛の有無などの形質を用いて検索表を作成した (Table 15)。本検索表で採用した葉耳部の着色などの形質の特徴は、乾燥標本などでは消失する場合もあるので、検索には生の材料を用いることが望ましい。毛の有無を含めた葉身と葉鞘の形態はイネ科植物の分類に重視されている (長田:1993) が、雑草制御の現場でこれらの形質を活用するためには検索の対象を「水田内で生育するイネ科多年生雑草」という範囲内に限定することが有効であると考えられる。雑草制御の目的で種の同定を必要とする時期に、種の特徴を最もよくあわす穂をつけていないことの多い水田のイネ科多年生雑草の実態の把握に際しては、本検索表が有効である。

本検索表の作成に際しては、野生植物に広く認められる種内変異 (館岡:1983) を考慮して、チクゴスズメノヒエを除いて複数の産地の材料を用いたが、水田のイネ科多年生雑草の葉身と葉鞘の形態での種内変異については今後さらに検討を要する。葉身と葉鞘の形態の種内変異による同定の誤りを避けるためにも、穂を得られる場合には、その形質に基づいて (北村他:1987, 大井:1983, 長田:1993) 正確に種を同定する必要がある。

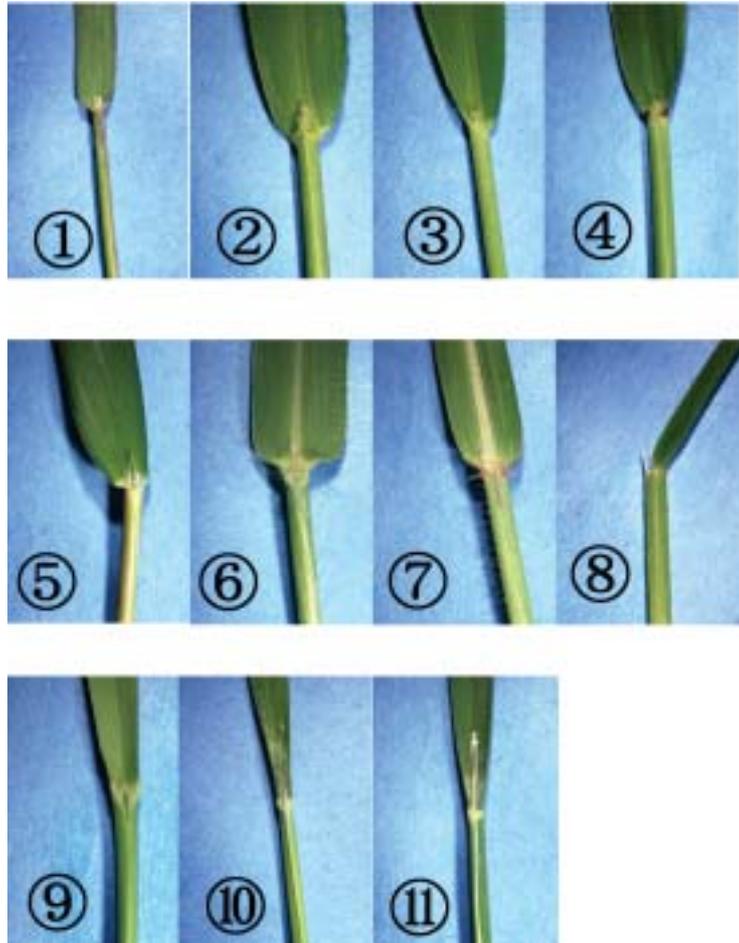


Fig. 13. Morphology of lower part of blade and upper part of sheath of leaf in perennial Gramineous weeds growing in paddy fields

Note: ① *Agrostis stolonifera* L. :Hai-konukagusa, ② *Leersia japonica* Makino :Ashikaki, ③ *Leersia oryzoides* Sw. :Ezonosayanukagusa, ④ *Leersia sayanuka* Ohwi:Sayanukagusa, ⑤ *Isachne globosa* O.Kuntze :Chigozasa, ⑥ *Paspalum distichum* L. :Kishu-suzumenohie, ⑦ *P. distichum* L. var. *indutum* Shinnars :Chikugo-suzumenohie, ⑧ *Cynodon dactylon* L. :Gyougishiba, ⑨ *Glyceria ischyronoura* Steud: Dojo-tsunagi, ⑩ *Glyceria depauperta* Ohwi :Ukigaya, ⑪ *Glyceria acutiflora* Torr. :Mutsuoregusa

本検索表を元に、現場でカラー写真と対比しながら使用できる A4 版下敷きタイプの「草調べシート」を作成して全国に配布した (Fig. 14)。

(3) 千葉県八千代市における発生状態

千葉県八千代市米本の新川と国道 16 号線の間にある水田区画には、イネ科多年生雑草としてアシカキ、サヤヌカグサ、ハイコヌカグサ、ウキガヤおよびキシウズメノヒエが確認された (Table 14)。これらの種を確認した 7 月にはキシウズメノヒエ以外の種は穂を着けていなかったため、上記検索表により同定した。現地ではこれらは一括して「ヤベヅル(ヨベヅル)」の名で呼ばれ、すべてキシウズメノヒエと判定されていた。

10 月下旬のイネの刈跡ではサヤヌカグサは穂をつけていたが、アシカキとハイコヌカグサは穂をつけ

ていなかった。この時期の 3 種は、検索表に示した形質に加えて Table 16 に示した特徴で区別できた。45 筆の水田のうち、アシカキは 51%、サヤヌカグサは 24%、ハイコヌカグサは 18% の水田で認められた (Table 17)。直播田のみに限ると、アシカキの出現は 80%、サヤヌカグサの出現は 33% となり、ハイコヌカグサの出現は 7% であった。発生程度では、アシカキでは乾田直播田、移植田および湛水直播田で、「水田内部に発生 (c)」と「ほぼ全面に発生 (d)」の水田が多く、サヤヌカグサでは移植田で「ほぼ全面に発生 (d)」の水田が多かった。サヤヌカグサの発生の多い水田は直播水田に近接する場所が多かったため、これら雑草の繁茂量が直播栽培と関連している可能性が考えられた。

葉身と葉鞘の形態的特徴に基づく発生調査は比較

Table 15 Keys for determination of perennial Gramineous weeds based on morphology of leaf blade and sheath, growing in paddy fields of Japan

a: leaf blade emerges in rolled

aa: leaf sheath glabrous and smooth, glabrous plant,
 ligule membranous, obvious ----- *Agrostis stolonifera* L.

ab: leaf sheath remarkably scabrous

aba: ligule obvious ----- *Leersia japonica* Makino

abb: ligule not obvious

abba: base of leaf blade pale green ----- *Leersia oryzoides* Sw.

abbb: base of leaf blade reddish brown ----- *Leersia sayanika* Ohwi

ab: leaf sheath pilose

aca: ligule membranous, obvious ----- *Isachne globosa* O.Kuntze

acb: ligule truncate, inconspicuous

acba: hair on sheath dispersed ----- *Paspalum distichum* L.

acbb: hair on sheath dense ----- *Paspalum distichum* L. var. *indutum* Shinnery

b: leaf blade emerges in folded

ba: leaf sheath closed, leaf blade slightly leather-like ----- *Glyceria ischyronera* Steud.

bb: leaf sheath closed except for upper part, leaf blade papery, slightly grevish green, ligule membranous

bba: leaf blade around 3mm width, longer than ligule ----- *Glyceria depauperta* Ohwi

bbb: leaf blade around 5mm width, shorter than ligule ----- *Glyceria acutiflora* Torr.

bc: leaf sheath open, white hair dispersed at blade base and sheath collar ----- *Cynodon dactylon* Pers.



Fig. 14. Weed sheet developed for practical use of keys for identification of perennial Gramineous weeds in paddy fields shown in Table 15

Table 16 Keys to distinguish perennial Gramineous weeds growing in paddy fields of Yachiyo, Chiba Prefecture, at late October after harvested

Part of plant	Species		
	<i>L. japonica</i>	<i>L. sayanuka</i>	<i>A. stolonifera</i>
Panicle	absent	present	absent
Leaf color	dark green - purplish green	pale green	pale green
Creeping culm	suspending	suspending	elongating

Table 17 Degree of infestation of *Leersia japonica*, *L. sayanuka* and *Agrostis stolonifera* in different style of cultivation in paddy fields after harvested in Yachiyo, Chiba Prefecture in 1996

Rice cultivation style	No. of field examined	Species and degree of infestation*											
		<i>L. japonica</i>				<i>L. sayanuka</i>				<i>A. stolonifera</i>			
		a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
Direct sowing, dry	6	1	1	1	3	4	1	0	1	6	0	0	0
Direct sowing, submerged	9	2	5	0	2	6	1	2	0	8	1	0	0
Transplanting	30	19	5	3	3	24	0	0	6	23	6	1	0
Total	45	infested:23				infested:11				infested:8			

Note *: a: not observed, b: few along levee, c: present inside of field, d: abundant.

Note *: a: not observed, b: few along levee, c: present inside of field, d: abundant.

的容易でその精度も高かった。本手法は、実態が正確に把握されていない水田に発生するイネ科多年生雑草の簡易判定法として有用である。

(4) シハロホップブチル剤に対する数種イネ科多年生雑草の反応

除草効果を処理後の残存個体の地上部乾物重の対無処理区比で表した場合、シハロホップブチル剤は、切断された稈から再生して2, 3~5, 6葉期に達したキシウスズメノヒエとハイコヌカグサの生育を強く抑制し、その程度は1キロ粒剤より乳剤(EW)で大きかったが、同剤はアシカキには効果を示さなかった(Fig. 15)。シハロホップブチルとベンタゾンの混合剤はアシカキの生育を強く抑制した。シハロホップブチル剤はキシウスズメノヒエに効果を示す(須藤・岩井:1996)が、アシカキとハイコヌカグサに対する作用は検討されていない(Ito *et al.*:1997)。特定の除草剤に対するイネ科多年生雑草の反応には明らかな種間差が認められたことから、除草剤での防除にあたって正確な種の識別が重要であるこ

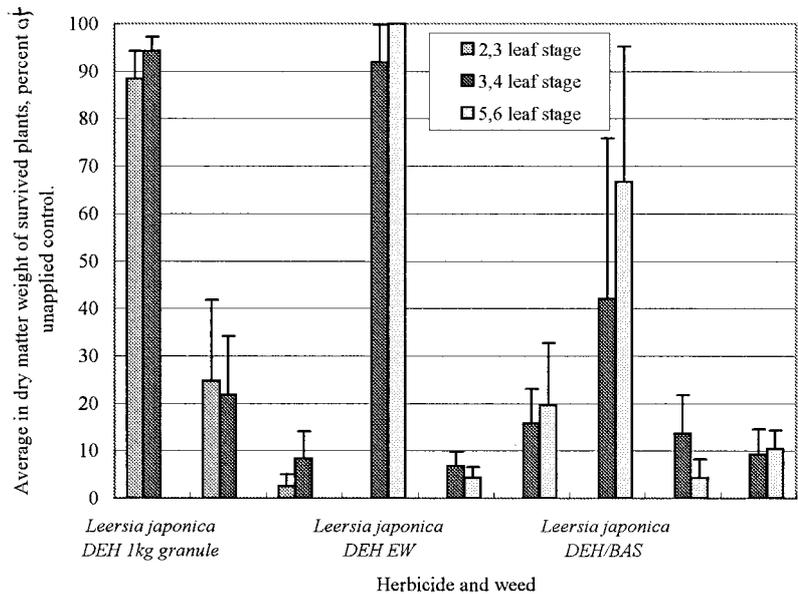


Fig. 15. Response to cyhalofop-butyl at different re-growth stages in *Leersia japonica*, *Paspalum distichum* and *Agrostis stolonifera*

Note: 1) Bar indicates Standard Error.

2) Herbicides applied are as follows.

DEH 1kg granule: Cyhalofop-butyl 1.8% granule, 10kg/ha (formulation product)

DEH EW: Cyhalofop-butyl 30% EW emulsifiable concentrate, 1 l/ha

DEH/BAS: Cyhalofop-butyl 3% + Bentazon 20% ME soluble liquid, 10 l/ha

とが示された。また、キシウスズメノヒエ、アシカキおよびハイコヌカグサ以外の種についても主要な除草剤に対する反応の差異を検討する必要がある。

種類とその発生・生育の仕方からなる雑草の発生相は様々な要因によって変化する。病虫害の場合には通常1作期の中でもその様態が変化するが、雑草の場合には数年という単位で変化する。雑草の発生相の変化には、除草剤の種類や使い方の他に作期、水管理、畦畔や刈跡の管理など栽培管理の中身が関与しているが、その変化と個々の要因との関連はまだ明らかになっていない。しかし、こうした変化の兆しの早い時期での把握が可能となってきたので、それを基に有効な対策を準備することが重要になってきている。水田でのイネ科多年生雑草の増加傾向もこうした問題の一つであり、第一段階として実態を把握するための手法を確立した段階と言えよう。今後は、これら草種の水田環境における生態的特性の解明とそれに基づく有効な制御手法を開発する必要がある。

Ⅳ. 暖地の水田裏作におけるイネ科雑草の識別法の開発と除草剤反応の差異に及ぼす中胚軸伸長特性の役割

1. カズノコグサとスズメノテッポウの幼植物の簡易識別法と除草剤に対する反応性の差異

我が国暖地の九州地域では、水田裏作の麦類の作付けが多いことから、麦類を対象とした新除草剤の適用性を判定するための試験が、宮崎、沖縄県を除く各県の農業関係試験研究機関で実施されている。近年、九州北部の福岡、佐賀県などの水田裏作麦圃ではカズノコグサ (*Beckmannia syzigachne* Fernald) の発生が急激に増加し、効果的な防除法の確立が望まれるようになった。しかし、カズノコグサは幼植物の形態が、同じイネ科のスズメノテッポウ (*Alopecurus aequalis* Sobol. var. *amurensis* Ohwi) に極めて類似していることから、両種が同時に発生する条件下では、供試除草剤の効果に対する正確な評価を妨げている可能性がある。これまでに水田裏作雑草としてのカズノコグサの生態に関する報告 (荒井: 1961, 佐藤他: 1989) はあるものの、除草剤の効果判定の基礎となる、簡易で正確な幼植物の識別についての検討はなされていない。

麦類を対象とした新除草剤の適用性試験での雑草

調査は、九州地域では通常3月上旬から下旬にかけて行われる。そこで、この時期におけるカズノコグサとスズメノテッポウの簡便な識別方法と、数種除草剤に対する反応の差異について検討した。

1) 材料および方法

(1) 水田裏作麦と雑草の栽培概要

九州農業試験場の水田土壌 (沖積埴壤土) を詰めた、50cm角、深さ30cmのコンクリートポットの上部5cmのみに砕土した土壌を加え、その部分に窒素、リン酸、加里各3.2gを施肥し、さらに、6月に採集して室内に風乾貯蔵し、混和前50日間、深さ80cmの土中に置いたカズノコグサ、スズメノテッポウ、ヤエムグラ (*Galium sprium* L. var. *echinospermon* Hayek), ミチヤナギ (*Polygonum aviculare* L.) およびノミノフスマ (*Stellaria alsine* Grimm. var. *undulata* Ohwi) の種子を適当量混ぜた。コムギ (品種: シロガネコムギ), オオムギ (品種: ダイセンゴールド, 御島稈) を、17.5cmの畦間、3cmの株間で1点2粒播きの千鳥点播として、1988年11月17日、1989年11月24日に播種した。

(2) 播種直後に処理した除草剤の効果

供試した播種後土壌処理除草剤は1988年にはベンチオカーブ (S-4-chlorobenzyl diethylthiocarbamate) 50%とプロメトリン (2,4-bis (isopropylamino)-6-methoxy-1,3,5-triazine) 5%の混合乳剤、ベンチオカーブ8%とプロメトリン0.8%の混合粒剤およびトリフルラリン (2,6-dinitro-N,N-dipropyl-4-trifluoromethylaniline) 44.5%乳剤を製品量でa当たり各80ml, 500g, 30mlの処理薬量として播種翌日に処理した。また、1989年はベンチオカーブ8%とプロメトリン0.8%の混合粒剤およびトリフルラリン2.5%粒剤を製品量でa当たり各500g, 450gの処理薬量として播種2日後に処理した。

薬剤処理後各122, 114日目にあたる処理翌年の1989年、90年の3月20日に、ポット中央部の0.09m²を対象に、全雑草を根を付けたまま採集し、草種ごとに個体数と風乾重を測定した。実験は2反復とした。なお、以下の記述では播種時の年次を用いた。

2) 結果

(1) カズノコグサとスズメノテッポウ幼植物の識別項目

3月20日のカズノコグサとスズメノテッポウは、両年とも2葉期から6葉期程度の生育段階にあり、

暖冬年の1988年の場合には幼穂を形成した個体も見られたが、その場合でも出穂には至らなかった。この生育段階での両種の個体を識別するための形態的特徴は、Table 18に示したようにまとめられた。すなわち、個体の株の基部、中杯軸の先端に小穂や穎果が残っている場合には、大きさと形のほぼ等しい扁平な包穎の形態と穎果に芒を欠くことにより容易に識別できた。さらに、カズノコグサでは、葉舌先端の尖りの程度が小さい、葉身には指で触れるとかさかかを感じる毛があり、根は白く、幼穂を形成した個体では幼穂に明瞭な枝がある、などの点でスズメノテッポウとの識別が可能であった。このうち、株基部の残存小穂や穎果は、採取時に失われることが多く、また、葉舌の形態や葉身の感触による識別には習熟が必要で、簡易で有効な識別項目ではなかった。

両種とも3月下旬の2～6葉期の生育段階の個体を通して、根の色の特徴は一定であり (Fig. 16-a,b)、また、乾燥した後でも変化せず、ここで取り上げた識別項目の中では最も安定しており、簡易で有効な指標であった。カズノコグサとスズメノテッポウの幼植物の根を検鏡した結果、スズメノテッポウの根では根毛の密度が高いことが、乾燥した場合の色彩の違いの要因であることが知られた (Fig. 17-a,b)。

(2) 播種直後に処理した除草剤の効果

両年における無処理区の主要な草種構成はTable 19に示したとおりで、1988年には雑草の発生量が少なく、1989年には多かったが、除草剤の効果を検討するうえで支障はなかった。また、両種の根の色の

違いは、除草剤の作用で地上部の形態が異常になった場合でも安定していることが観察された。

カズノコグサとスズメノテッポウについて除草効果を無除草区に対する残存個体数比率として求め、Fig. 18に示した。両年の各処理を通して、カズノコグサはスズメノテッポウより残存個体数比率が高く、その差は5～40%であった。すなわち、本実験で用いた除草剤に対しては、両種の反応は異なっていることが認められた。草種ごとの風乾重は1989年のみの値であるが、残存個体数比率とはほぼ同様の傾向であった。

カズノコグサとスズメノテッポウを区別せずに残存個体数比率を求めると、1988年でベンチオカーブとプロメトリンの混合乳剤、ベンチオカーブとプロメトリンの混合粒剤、トリフルラリン乳剤に対してそれぞれ20.7、36.0、3.7%であり、1989年にはベンチオカーブとプロメトリンの混合粒剤、トリフルラリン粒剤に対して18.6、15.5%であった。すなわち、両種を区別しない場合には、残存個体数比率を各草種ごとに算出した場合に比べてカズノコグサに対する効果を過大に評価し、逆にスズメノテッポウに対しては過小に評価する結果となった。1989年のトリフルラリン粒剤ではその差は小さかったが、同年のベンチオカーブとプロメトリンの混合粒剤では両草種に対する過小・過大評価にはきわめて大きな開きがあった。

3) 考察

暖地の水田裏作麦圃のイネ科雑草としては、ここで検討した以外にスズメノカタビラ (*Poa annua* L.)

Table 18 Keys to distinguish the seedlings of *Beckmannia syzigachne* and *Alopecurus aequalis* var. *amurensis* in the two-to six-leaf stage at the end of March

Check point for distinction	Species	
	<i>Beckmannia syzigachne</i>	<i>Alopecurus aequalis</i> var. <i>amurensis</i>
Spikelet and husks remained at the end of mesocotyl	 glumes swollen, floret without awn	 glumes sharply flat and harly, floret with awn at the base
Tip of ligule	 minutely pointed	 sharply pointed
Quality of leaf blade	minutely rough on the surface	minutely rough on the margins
Young panicle in the sheath	with obvious rachis-branch	without visible rachis-branch
Color of roots (2-6 leaf stage)	white	reddish brown when dried

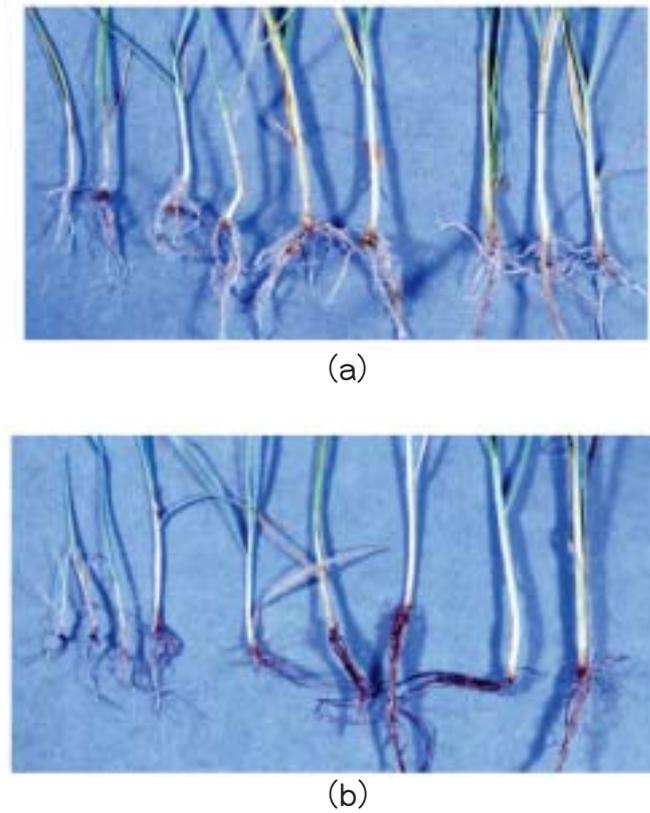


Fig. 16. Difference in color of roots between *Beckmannia syzigachne* (a) and *Alopecurus aequalis* var. *amurensis* (b) in two to six leaf stages of seedlings at the end of March

が発生するが、新葉が中肋を中心に折り畳んだ状態で伸長することで容易に識別できる。

カズノコグサの幼植物について、笠原（笠原：1968）は、「スズメノテッポウに比べて黄色がかった。」と解説し、また、佐藤ら（佐藤他：1989）も、「3月中旬には両種は葉色と葉身の幅により容易に判別できる。」としている。しかし、暖地での麦類対象除草剤の除草効果判定の時期にあたる3月中・下旬に、麦類や他の草種との競合や除草剤の影響のもとにある両種を葉色で識別することは困難であり、効果の判定には各調査日に個体ごとに標識をつけ、出穂後に類別する方法が採られている（佐藤他：1989）。

ここでは、3月中・下旬に両種の識別に利用できる5つの形質について検討し、根の色の違いが最も安定した識別項目であることを示した。水田雑草の幼植物では、コナギ、タマガヤツリ、ヒロハイヌノヒゲなどで根の色や模様の特徴に基づいて識別することが広く行われているが、カズノコグサとスズメノテッポウについてもこの方法が有効であることが明らかになった。日本植物調節剤研究協会では、麦類対象除草剤適用性判定試験の実施にあたって、雑草調査は根をつけたままでよい、

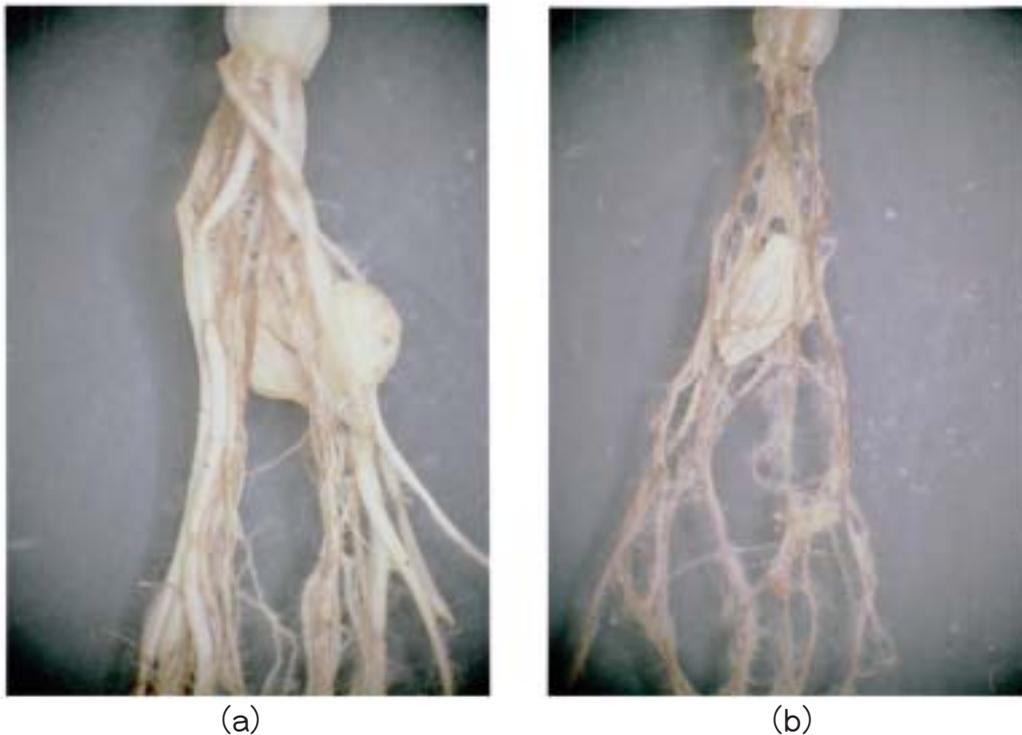


Fig. 17. Roots of seedling in *Beckmannia syzigachne* (a) and *Alopecurus aequalis* var. *amurensis* (b) with spikelet at the end of March

Table 19 Number of plants and dry matter weight of weeds per m² in untreated plot (control) at 123 (1988) and 116 (1989) days after sowing of wheat and barley

Year	Species												
	<i>Beckmannia syzigachne</i> Fernald		<i>Alopecurus aequalis</i> Sobol. var. <i>amurensis</i> Ohwi		<i>Poa annua</i> L.		<i>Galium sprium</i> L. var. <i>echinospermon</i> Hayek		<i>Polygonum aviculare</i> L.		<i>Stellaria alsine</i> Grimm. var. <i>undulata</i> Ohwi		
No. ^{a)}	Wt. ^{b)}	No.	Wt.	No.	Wt.	No.	Wt.	No.	Wt.	No.	Wt.		
1988	572		478 (55.6) ^{c)}		178	2.7		14	0.7	256	7.3	117	0.6
1989	1656	18.6	3384	45.8	11	0	1361	36.7	1028	8.4	206	0.5	

Note: a) Number of plants per m².
 b) Air-dried weight (g) per m².
 c) Total of *B.syzigachne* and *A.aequalis* var.*amurensis*.
 d) Figure shows average of two replications.

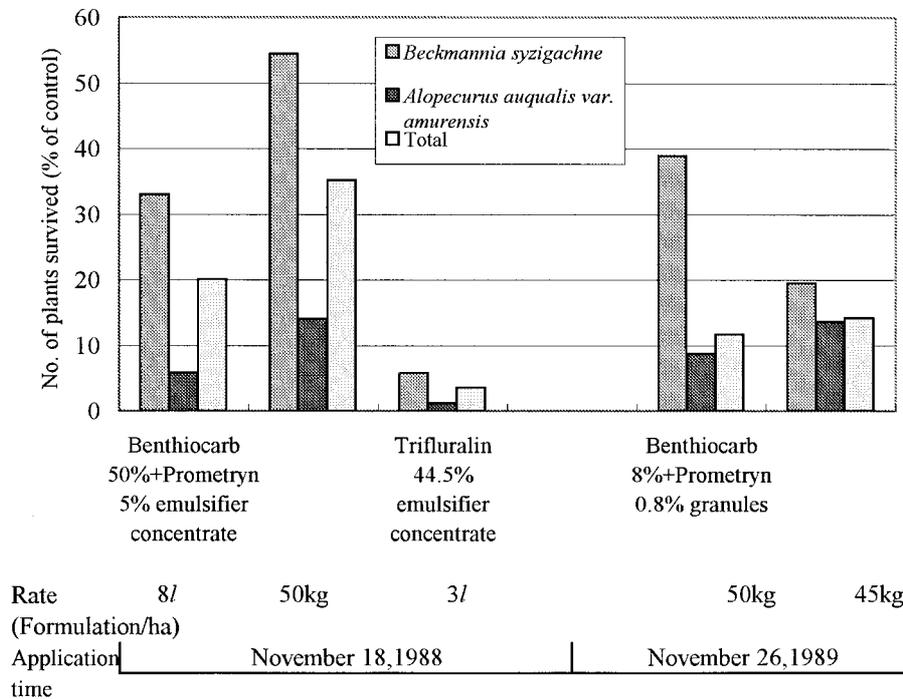


Fig. 18. Effect of pre-emergence treatment of soil-applied herbicides to *Beckmannia syzigachne* and *Alopecurus aequalis* var. *amurensis* at the 114 - 122 day after treatment

Note: Number of plants in control plots was referred in Table 19.

としている（日本植物調節剤研究協会：1990）ので、根の色に着目した識別法は新たな作業を必要とせず、出穂まで待たなければならない従来の方法に比べると、はるかに確実に簡易な方法である。

湛水条件で生育した出穂期のカズノコグサの根の色が白色であることを観察しているが、今後更に、生育段階や土壌水分、土性などの条件による両種の根の色の変動について検討するとともに、地上部のみを対象にした簡易な識別法をも確立する必要がある。

除草剤を主体とした雑草防除においては、異なる草種であっても剤に対する反応に差がなければ、厳密に識別できなくても実際の防除上直ちに支障をきたすことは少ない。カズノコグサとスズメノテッポウについては、本実験に用いた除草剤に対して異なる反応を示し、両草種を厳密に識別しない場合には除草効果の正確な評価ができないことが明らかになった。しかし、このことは両草種の発生深度や発生パターンの違いとともに、発生量や環境条件の変動および除草剤の使用方法などの要因によっても影

響を受けると考えられるため、詳細については今後さらに検討が必要である。

暖地における水田裏作麦圃でのカズノコグサの防除については実用化技術が提出されている(佐藤・今林:1989)が、必ずしも十分な効果をあげていない。同草種の効果的防除法確立のためには、麦類対象の除草剤適用性試験において、カズノコグサをスズメノテッポウと厳密に識別して、除草効果の正確な判定を行うことが重要である。

2. カズノコグサとスズメノテッポウにおける中胚軸の伸長特性とジニトロアニリン系除草剤に対する反応性の差異

カズノコグサ (*Beckmannia syzigachne* Fernald) は、近年九州の水田裏作麦圃で優占するイネ科雑草としてスズメノテッポウ (*Alopecurus aequalis* Sobol. var. *amurensis* Ohwi) に加えて問題になってきた。カズノコグサの優占化は特定の除草剤の連用によるとする指摘もあり、増加要因の解明と効果的な制御法確立のためには形態、生態や主要な除草剤に対する反応をスズメノテッポウと対比させて明らかにする必要がある。しかし、カズノコグサの幼植物の形態は葉のサイズなどでスズメノテッポウに酷似するため、除草剤の効果判定などでは幼植物の段階でスズメノテッポウと識別することが困難であった。このため、根の色に着目した簡易な識別法により、数種の播種直後土壌処理除草剤に対する反応の差異を確認し、除草剤の効果判定試験などでは両種を正確に区別して評価する必要があることを報告した(森田他:1990)。

カズノコグサとスズメノテッポウにおける除草剤に対する反応の種間差の機構を解明することは九州地域の水田裏作麦圃でのイネ科雑草の効率的防除にとって重要である。このため、両種の幼植物の中胚軸の伸長特性の違いからジニトロアニリン系の播種直後土壌処理除草剤に対する反応の差異を検討した。

1) 材料および方法

カズノコグサとスズメノテッポウの種子は、九州農業試験場水田利用部(現九州沖縄農業研究センター水田作研究部、福岡県筑後市)およびその周辺の水田裏作麦圃や休閑田で各年の5月に採取し、室内で風乾または、夏・秋期間の水中、あるいは湛水土壌中貯蔵によって休眠覚醒した後に供試した。

(1) 暗所における中胚軸の伸長特性

1993年9月に5°Cの水中に貯蔵したカズノコグサとスズメノテッポウの種子を、同年10月30日に直径9cm、深さ7cmのシャーレ内の湿潤ろ紙上に50粒播種した。シャーレ全体をアルミ фольドで包んで暗黒状態とし、20°Cの恒温器内に1カ月間置いた後に幼芽と中胚軸の長さを測定し、その合計値を苗条の長さとした。カズノコグサは116個体、スズメノテッポウは124個体を測定した。

(2) 土中での中胚軸の伸長特性と成長点深度の分布

50cm角、深さ30cmのコンクリート・ポットの上5cmにオートクレーブで殺種子処理した九州農試水田土壌(埴土)を詰め、寒冷紗で包んで地下約80cmの土中に100日間埋蔵して休眠を覚醒したカズノコグサとスズメノテッポウの種子を1990年12月10日に5cmの土層に播種した。播種44日後にカズノコグサ143個体、スズメノテッポウ204個体の幼植物を土中の部分を含めて回収し、中胚軸長および葉鞘の緑色が薄くなる部分から中胚軸の上端までを成長点深度として測定した。また、成長点深度に中胚軸長を加えて発生深度を求めた。

(3) 成長点深度とジニトロアニリン系土壌処理除草剤の効果との関係

オートクレーブで殺種子処理した九州農試水田土壌(埴土)を、8.5cm角で深さ5cmのポリエチレン容器に詰め、1993年1月22日にカズノコグサとスズメノテッポウ種子を播種した。種子は室内に風乾貯蔵したものを扱い、容器当たり各々76±3, 94±3粒を播種した。播種深度は土壌表面から5, 10, 20, 30mmの4段階とした。容器には底部から給水し、天井部をビニールで被覆した網室内で管理した。

播種5日目にあたる1月27日に、ジニトロアニリン系土壌処理除草剤のトリフルラン粒剤(2,6-dinitro-*N,N*-dipropyl-4-trifluoromethylaniline 2.5%)とペンディメタリン細粒剤(*N*-(1-ethylpropyl)-2,6-dinitro-3,4-xylylidine 2%)をそれぞれa当たり450, 600gの製品量で処理した。処理は3反復とし、除草剤処理後54日目にあたる3月22日に残存本数を調べた。また、播種後44日目にあたる3月7日に、各播種深度ごとに2容器の50個体、合計100個体について中胚軸長を測定した。

2) 結 果

(1) 暗所における中胚軸の伸長特性

暗所で伸長した苗条の長さの平均値はカズノコグサで45mm, スズメノテッポウで69mm, また, 中胚軸長の平均値はそれぞれ8mmと32mmであった (Table 20)。すなわち, 両種の苗条の長さの差は幼芽長ではなく中胚軸長での差に相当した。

(2) 土中での中胚軸の伸長特性と成長点深度の分布

幼植物の発生深度と中胚軸長の分布を Fig. 19 に示した。カズノコグサとスズメノテッポウの中胚軸は, 発生深度が15mm程度までは深度につれて同程度に伸長したが, それ以上の深度ではスズメノテッポウの中胚軸は深度につれてさらに伸長したのに対し, カズノコグサの中胚軸は10mm程度ではほぼ一定

であった。すなわち, 深い位置にあるカズノコグサ種子の中胚軸はスズメノテッポウに比べて伸長しにくいことが認められた。

土壌表面からの成長点深度は, カズノコグサでは11~15mmを最大として25mmまでの深さに分布したが, スズメノテッポウでは約50%が5mmまでの浅い位置に分布した (Fig. 20)。

(3) 成長点深度とジントロアニン系土壌処理除草剤の効果との関係

風乾種子を使用したためにやや日数を要したが, 両種とも播種後約15日でも出芽し, 播種深度間での差は1日程度であった。カズノコグサの中胚軸長はスズメノテッポウの45% (5mm) から68% (20mm) で, どの深度でも短かく (Table 21), 両種とも Fig. 19 の範囲であった。

除草効果を実験区に対する残存個体数比率で比較した。なお, 同値が100%を超える場合には100%とした。トリフルラリン, ペンディメタリンとも30mmの播種深度では両種に対して効果を示さず, 20mm以下では播種深度の増大につれて効果を減じた (Table 21)。トリフルラリン処理の場合, 播種深度5mmから20mmの範囲ではカズノコグサの残存個体数比率はスズメノテッポウより大きい, ペンディメタリン処理ではこの範囲での種間差は小さかった。

ここで, (播種深度-中胚軸長)を成長点深度とし, 播種深度に代えて成長点深度 (Xmm) と残存個体数

Table 20 Length of shoot and mesocotyl under dark incubation at 20°C in *Beckmannia syzigachne* and *Alopecurus aequalis* var. *amurensis*

	No. of seedlings examined	Length (Mean±SD, mm)	
		shoot ^{a)}	mesocotyl
<i>B. syzigachne</i>	118	45±12	8±5
<i>A. aequalis</i> var. <i>amurensis</i>	124	69±12	32±5
t-value ^{b)}		15.15**	37.13**

Note: a) Total length of plumule and mesocotyl.
 b) Result of t-test between mean values of two species.
 c) **shows significant at 1% level.

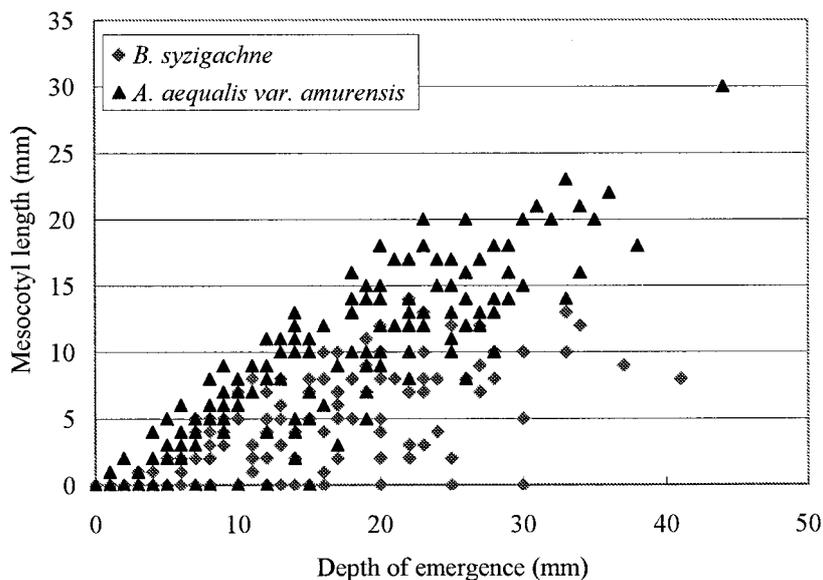


Fig. 19. Distribution of depth of emergence and mesocotyl length in seedlings of *Beckmannia syzigachne* and *Alopecurus aequalis* var. *amurensis* sown within a 5 cm depth in the surface soil

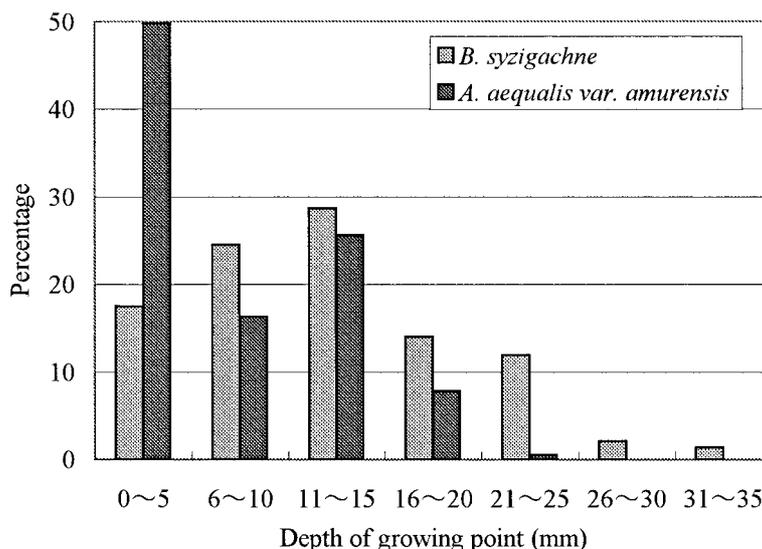


Fig. 20. Histogram of depth of growing point in seedlings of *Beckmannia syzigachne* and *Alopecurus aequalis* var. *amurensis* sown within a 5 cm depth in the surface soil

Table 21 Changes with seeding depth in the mesocotyl length and number of plants which survived under pre-emergence treatment of dinitroaniline herbicides applied to *Beckmannia syzigachne* and *Alopecurus aequalis* var. *amurensis*

	Seeding depth (mm)			
	5	10	20	30
Mesocotyl length (mm) ^{a)}				
<i>B. syzigachne</i>	0.9±1.2	3.9±1.9	9.6±2.5	11.4±3.8
<i>A. aequalis</i> var. <i>amurensis</i>	2.0±1.5	5.9±1.5	14.1±2.4	18.7±2.3
Number of plants which survived per pot (8.5x8.5x5cm)				
Control ^{b)}				
<i>B. syzigachne</i>	63±9	63±2	68±2	64±10
<i>A. aequalis</i> var. <i>amurensis</i>	95±2	94±6	87±2	77±10
Triflurarin (1.125kg a.i./ha) ^{c)}				
<i>B. syzigachne</i>	41±25	57±16	89±12	100±0
<i>A. aequalis</i> var. <i>amurensis</i>	13±2	25±18	48±7	100±0
Pendimethalin (1.2kg a.i./ha) ^{c)}				
<i>B. syzigachne</i>	62±17	72±11	94±11	100±0
<i>A. aequalis</i> var. <i>amurensis</i>	62±9	56±16	90±9	100±0

Note: a) Mean ± SD based on 100 seedlings.

b) Mean ± SD based on four replications.

c) Mean ± SD based on three replications (percentage to control).

比率 (Y %) との関係を求めると、両者は $Y=a(1/X) + b$ の双曲線回帰式で近似できた。

トリフルラリン処理の場合の回帰式

カズノコグサ

$$Y=116.2-315.9(1/X) \quad r=-0.862^{**} \quad \dots\dots (1)$$

スズメノテッポウ

$$Y=119.9-350.2(1/X) \quad r=-0.923^{**} \quad \dots\dots (2)$$

ペンディメタリン処理の場合の回帰式

カズノコグサ

$$Y=110.8-204.3(1/X) \quad r=-0.840^{**} \quad \dots\dots (3)$$

スズメノテッポウ

$$Y=114.6-179.3(1/X) \quad r=-0.803^{**} \quad \dots\dots (4)$$

(** : 1%水準で有意)

回帰式の係数の有意差検定の結果、回帰係数 a では

トリフルラリン処理の場合 $t=0.289$ 、ペンディメタリン処理の場合 $t=0.520$ 、また、回帰定数 b ではトリフルラリン処理の場合 $t=0.161$ 、ペンディメタリン処理の場合 $t=0.743$ であった。残存個体数比率 (Y%) を播種深度 (Xmm) の一次回帰式で表した場合のカズノコグサとスズメノテッポウの回帰係数 a の t 値に比べて、成長点深度を説明変数とした場合には t 値が大幅に低下し (Table 22)、回帰式の独立性判定に相当とされる 20%水準で (応用統計ハンドブック編集委員会：1978) 有意差を示さなくなった。すなわち、統計的には回帰式 (1)-(2) および (3)-(4) は一致し、異なる播種深度でのトリフルラリンとペンディメタリン処理における、カズノコグサとスズメノテッポウの残存個体数比率の違いは成長点深度の差異によると認められた。

3) 考 察

九州地域の水田裏作麦圃においては、最も普遍的に発生する一年生イネ科雑草のスズメノテッポウを対象に含めた播種直後土壌処理除草剤が広く使用されている (古川：1986) にもかかわらず、同じイネ科雑草に属するカズノコグサの発生が増加傾向にある (森田他：1990, MORITA：1993, 佐藤他：1989)。

播種直後土壌処理したトリフルラリンの、カズノコグサに対する効果はスズメノテッポウより低かったとする報告がある (森田他：1990, 佐藤他：1989) ことから、カズノコグサとスズメノテッポウの間でのこれら除草剤の選択性の機構を解明することはカズノコグサの増加要因の解明と効果的防除法確立に重要である。

荒井 (荒井：1961) は、4cm 以上の発生深度ではカズノコグサがスズメノテッポウより多く発生するものの幼芽の暗所伸長量では両種がほぼ同じである

ことを示した。本研究では、苗条の暗所伸長量を幼芽と中胚軸に分けて調べた結果、カズノコグサは中胚軸の伸長特性でスズメノテッポウと異なるため、同じ発生深度でも幼芽の成長点位置が深くなることを認めた。作物と雑草または雑草の種類間での除草剤の選択性は多様な要因によって起こる。土中における成長点の位置の違いは土壌処理除草剤の選択性の重要な要因とされており (KNAKE and WAX: 1968, 植木・松中：1972)、発生深度や成長点深度の増加に伴う除草剤の効果の低下がスズメノテッポウ (佐藤他：1985) やイヌホタルイ (渡辺・芝山：1991) で報告されている。土中で発芽した個体が中胚軸を伸長させて幼芽の成長点を除草剤の処理層の存在する土壌表層近くに分布させた条件では、本研究で供試したトリフルラリンのように土壌中の移動性が小さく、幼芽・幼根から吸収される除草剤 (BAAEENTINE and WARREN: 1971, KNAKE and WAX: 1968, SWANSON: 1972) の効果は高まり、逆に中胚軸の伸長が小さく、成長点深度が深い場合には効果は減少する。本研究では、カズノコグサとスズメノテッポウ種間での効果の差が両種の成長点深度の差異によることを具体的に明らかにした。このことは、除草剤の使用されている九州地域の水田裏作麦圃でのカズノコグサの優占化の重要な要因と考えられる。

土壌水分や土壌硬度などの条件によるカズノコグサとスズメノテッポウの中胚軸の伸長の変動、混合剤をはじめとする他の除草剤の効果の変動および生理的な薬剤感受性の関与などについてはさらに検討を要する。

3. 小括

近年、九州北部の福岡県や佐賀県などの水田裏作麦ではカズノコグサ (*Beckmannia syzigachne* Fernald)

Table 22 Test on regression coefficients for number of plants survived after treatment of dinitroaniline herbicides (Y%) and seeding depth or depth of growing point (Xmm) between *Beckmannia syzigachne* and *Alopecurus aequalis* var. *amurensis*

Herbicide	Species	X:Seeding depth(mm)		X:Depth of growing point(mm)	
	Test	aX	b	a(1/X)	b
Trifluralin	<i>B. syzigachne</i>	2.42	31.19	-315.90	116.20
	<i>A. aequalis</i>	3.39	-8.55	-350.20	119.90
	t-value	1.669		0.289	
Pendimethalin	<i>B. syzigachne</i>	3.52	24.83	-204.30	110.80
	<i>A. aequalis</i>	1.80	47.87	-179.30	114.60
	t-value	2.039		0.520	

Note: $t(df=20)$: 2.854 (0.01), 2.086 (0.05), 1.725 (0.10), 1.325 (0.20) .

の発生が急激に増加し、効果的な防除法の確立が望まれるようになった。しかし、カズノコグサの幼植物の形態は同じイネ科のスズメノテッポウ (*Alopecurus aequalis* Sobol. var. *amurensis* Ohwi) のそれに極めて類似しており、両種が同時に発生する条件下でそれらを区別しない場合には、供試除草剤の効果に対する正確な評価を妨げている可能性がある。このため、麦類対象除草剤の雑草調査時期にあたる3月頃におけるカズノコグサとスズメノテッポウの簡便な識別方法を明らかにした。この識別法を適用して、麦類用の数種の播種直後処理除草剤に対する反応がカズノコグサとスズメノテッポウの間で異なることを見出した。

屋外の土壌中と実験室内の暗所で調べた結果、スズメノテッポウの中胚軸は種子の土中深度に伴って伸長するのに対し、カズノコグサのそれは伸長せず、同じ土中深度から発生した両種の幼植物は成長点の深度を異にすることを見出した。この現象に基づいて、ジニトロアニリン系播種直後土壌処理除草剤であるトリフルラリン粒剤 (2.5%) とペンディメタリン細粒剤 (2%) の処理に対する反応の、カズノコグサとスズメノテッポウとの差異が中胚軸の伸長特性によることを明らかにした。

V. 総合考察

本論文では、各章において研究結果の考察を述べてきたので、重複を避けて以下の点について総合的に考察を加える。

1. 野生ヒエの発生および定着を予測するための加重型有効積算温度手法の開発と応用

イネをはじめとする作物では出穂期、収穫期などを推定する発育モデルが多数作られている。本研究では、除草剤の適正使用の観点から野生ヒエの葉齢を1時間気温値をもとに推定する加重型有効積算気温手法 (森田:1999b) を開発した。有効積算温度は平均温度や最高・最低温度から発育ゼロ点などの一定値を控除した積算値として広く用いられているが、植物の生育の温度反応に基づいて、日変温条件を計量化する目的で2°C刻みの階層温度ごとの生育への有効度を算定した有効積算温度 ($\Sigma \theta$) が寒地水稲の出穂期の予測を目的に開発された (村上他:1982)。この方法は、寒地での水田雑草タイヌビエ、イヌホタルイおよびヘラオモダカの葉齢進展に適用

され (村上他:1987)、除草剤の処理適期の指標を温度条件から明らかにする上で有効な技術となった。日本では、水稲用除草剤の処理適期の晩限が一般的に野生ヒエの葉齢で表わされ、また近年、葉齢の進んだ野生ヒエに効果を示す除草剤が開発されてきたことから、温度を指標とした野生ヒエの葉齢予測手法の実用化が望まれてきた。このため、各県の実用段階で野生ヒエの葉齢予測手法が作成されたが、そのほとんどが日平均気温などから一定値を控除した積算値による単純有効積算温度である (北野:1998, 宮本・草薙:1995, 村上他:1990, 酒井・佐藤:1998)。村上らによって開発された加重型有効積算温度手法 ($\Sigma \theta$) が活用されてこなかった要因は、2°C刻みの階層温度の出現時間が1日を経過しないと定まらないなど、その算出法が煩雑であることと考えられる。本研究では、加重型有効積算気温手法に1時間気温値をそのまま野生ヒエやイヌホタルイの葉齢進展への有効度 (ε) に読み替えることにより、 $\Sigma \theta$ 法の煩雑さを解消するとともに、1日全体が経過しなくともリアル・タイムで有効度を積算できることを示した。 $\Sigma \varepsilon$ 法は、1日以内の時間単位での野生ヒエの生育解析に応用されており (中山他:2000)、今後も広く活用されることが期待される。

温暖化が水田作の雑草防除に及ぼす影響は、海外からの帰化植物の雑草化の増大と雑草の生育相の変化による除草剤施用適期の変動として現れると考えられる。本研究では、熱帯・亜熱帯の強害イネ科一年生雑草で、九州地域に侵入・定着しつつあるコヒメビエを対象にこの点を検証した。1時間値をもとにした加重型有効積算温度 ($\Sigma \varepsilon$) は、コヒメビエを含む野生ヒエの、気温の変動による葉齢進展の変動予測にも有効な手法と考えられた。

2. 水田に発生するイネ科雑草の簡易で実用的な同定法

植物の同定を目的として多数の図鑑類が出版されて広く活用されている。日本に約350種分布するイネ科植物は、カヤツリグサ科植物とともに一般的には同定の困難な植物群とされるものの、穂や穎果を分類形質としてイネ科植物を同定する資料はすでに広く普及しており (大井:1983, 長田:1993, KOYAMA:1987)、これらを得ることができれば同定はそれほど困難ではない。一方、雑草の制御においては、同定を必要とする時期に種の同定に不可欠な花部などを

得られるとは限らず、逆に花や穂の形成される前であることが多い。こうした条件でのイネ科雑草の同定は、花や穂のある条件と比べて格段に困難となる。このため、雑草図鑑では幼植物や種子の形態的特徴に関する情報が重要視され、幼植物や種子の記述が加えられている（笠原：1968, 沼田・吉沢：1978）。しかし、多くの雑草種の記載の中から該当する種の幼植物などを見いだすには、資料の全ページを参照するに等しい労力を要し、イネ科雑草の簡易な識別法が農業の現場で強く求められてきた。本研究では、海外から侵入した野生ヒエであるコヒメビエについて、在来の類似種ヒメイヌビエとの簡易な識別点を明らかにし、また、イネを作付けた水田の中でのイネ科多年生雑草および麦を作付けた裏作水田でのカズノコグサとスズメノテッポウの実用的な識別法を明らかにした。すなわち、農業生産の具体的な場である水田作の各時期において、実際に識別の困難なイネ科雑草種をグループ化して種の数进行限定し、識別のための形質を特定したうえで検索表に整理することで実用的な識別法を提示した。今後は、さらに多くの種を含むイネ科雑草について実用的な識別手法を開発する必要がある。同時に、現場で必要とされる雑草の生育段階毎の有効な識別に関する情報の集積とシステム化を図ることが重要である。

イネ科多年生雑草は、作物であるイネやムギ類と同じイネ科に属していることから除草剤の選択性を得にくいと同時に、種子から発生する雑草個体に比べてより大きな苗条を栄養繁殖体から生産する点で、除草剤による防除の困難なグループである。除草剤を中心とした手段による適正な防除法を確立する上で、水田作の現場での正確な実態の把握を、簡易で有効な識別法に基づいて進める必要がある。

3. 暖地の水田裏作におけるイネ科雑草の除草剤反応の差異に及ぼす中胚軸伸長特性の役割

水田裏作麦では、ヤエムグラやカラスノエンドウなど収穫物に種子を混入させる広葉雑草が問題とされてきたが、生育に障害を与えるイネ科雑草の問題も重要である。本研究では、近年九州北部の水田裏作麦で増加しているカズノコグサについて、播種後土壌処理除草剤が施用されている条件下での増加要因を、幼植物の形態の酷似するスズメノテッポウとの対比で検討した。その結果、麦類の播種直後土壌処理剤として使用されるジニトロアニリン系除草剤

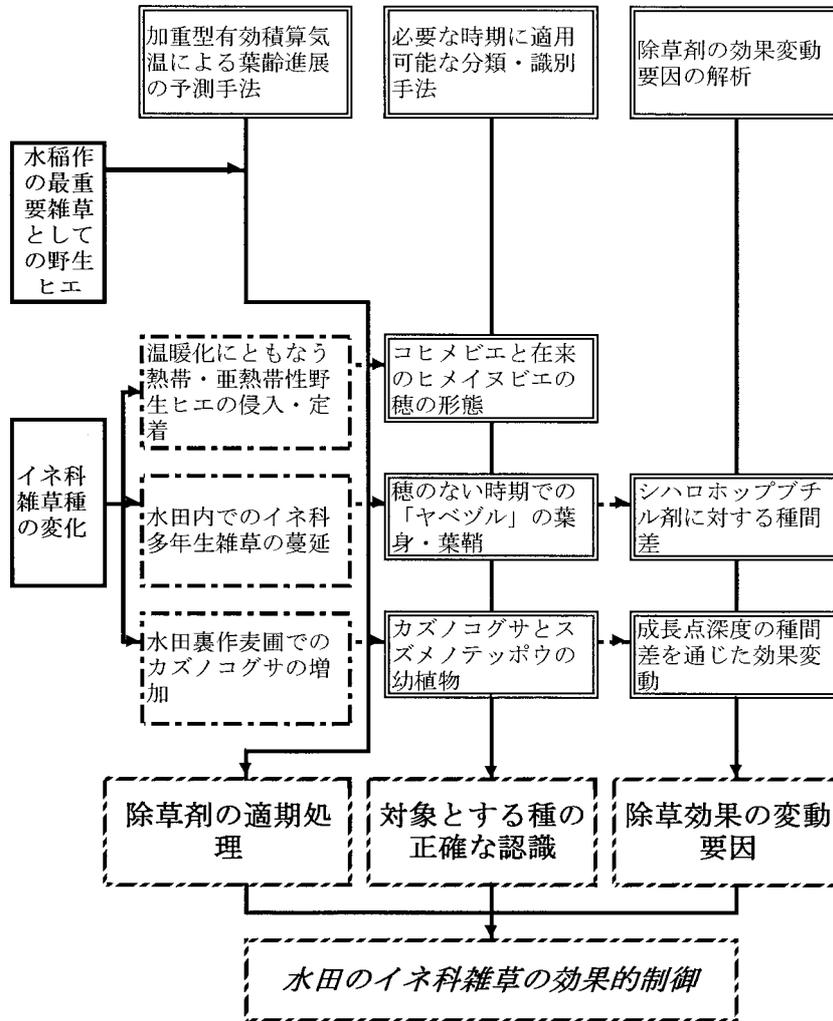
のトリフルラリンとペンディメタリンがカズノコグサとスズメノテッポウ間に選択性を示すが、この選択性は両種の中胚軸の伸長特性の差、すなわち発生生態の違いによることを明らかにした。特定の除草剤に対する反応の雑草種間差は、生理的抵抗性や除草剤抵抗性生物型の出現の面から考えられることが多いが、実際には多様な要因で起きる（植木・松中：1972）。除草剤を適正に使用する条件下でも特定のイネ科雑草が残存、増加する場合には、本研究で示した形態のおよび生態的要因についても十分に考慮する必要がある。

本研究では水田のイネ科雑草について、水稲作の最重要雑草である野生ヒエに対して加重型有効積算気温による葉齢の予測手法を開発して除草剤の適期処理策定方法を提示した。また、温暖化に伴う熱帯・亜熱帯性野生ヒエの侵入と定着、水田内でのイネ科多年生雑草の蔓延および水田裏作でのカズノコグサの増加という水田のイネ科雑草種の変化に対して、必要な時期に適用可能な分類、識別手法を提示した。さらに、イネ科の多年生雑草種間や中胚軸伸長特性の異なる一年生雑草種間における除草効果の変動要因を解析した。選択性除草剤の適正使用を柱とする水田作の雑草制御において、本研究で示した除草剤の適期処理、対象とする種の正確な同定および除草効果の変動要因の解明は、効率的で環境保全的な雑草管理技術の発展に貢献するものである。

VI. 総 合 摘 要

1940年代後半に2,4-PAが実用化されて以来、日本の農耕地では除草剤による雑草防除が基幹技術となった。水田作では1970年代以降、適用可能な新しい除草剤の開発とあいまって稚苗機械移植技術が開発され、省力化が著しく進んだ。すなわち、稲作での最も過酷な労働であった田植えと除草が手作業から完全に解放され、水田10aあたりの「除草防除」労働時間は1960年の26.7時間から2000年には2.7時間へ、全労働時間に占める割合でも同期間に15.3%から8.1%へと低下した。除草剤の開発は、作物と環境に対する安全性を雑草の枯殺効果を高める方向で不断に進められ、水田用除草剤では特に作物と雑草間の選択性の向上が求められてきた。日本の水田作では、夏期の水稲作ではノビエと総称される野生ヒエ、冬期の麦作ではスズメノテッポウやスズ

イネ科水田雑草の発生生態の解析と実用的分類、識別法に基づく制御戦略



メノカタビラなどのイネ科雑草が主要な防除対象となっている。イネ科作物であるイネや麦類に安全で、イネ科雑草を有効に制御できる選択性を持つ水稲用除草剤は2000年現在で約25種類が農薬登録されている。除草剤の選択性がイネ科作物とイネ科雑草の間だけに働いて、雑草の生育ステージや種間で除草剤の効果が変動しなければ実用上の問題は生じないが、これらの要因による除草効果の変動が実際の農業生産の現場ではしばしば起きる。制御対象となる雑草の生育ステージを正確に把握し、種を正しく識別することは、水田作において選択性除草剤を効果的に使用する雑草制御技術においては不可欠である。日本には帰化種を含めて108属347種のイネ科植物

が生じ、そのうち47属76種が雑草として扱われている。一般に、花器である穂を欠く状態ではイネ科植物を正確に同定することは困難であり、水田作での除草剤の通常の使用時期であるイネ科雑草の生育初期には正確な同定が一層困難となる。さらに、第二次世界大戦後の帰化植物の増加や水田作の栽培管理技術の変化を要因として、従来とは異なる新たなイネ科雑草が防除上の問題となっている。

以上のことから、水田裏作を含む水田作におけるイネ科雑草を対象に、除草剤の散布時期などの、防除に直接関係する場面での発生生態の解明と実用的な識別法に基づいて防除戦略を確立することを目的に研究を実施した。

1. 野生ヒエの発生および定着を予測するための加重型有効温度手法の開発と応用

1) 1時間気温値の加重型有効積算気温を用いた野生ヒエとイヌホタルイの葉齢進展の計量化

水田の主要雑草である野生ヒエのタイヌビエ、イヌビエ、ヒメタイヌビエおよびイヌホタルイについて葉齢進展の指標となる加重型有効積算気温を、第2葉の進展速度を基に算出した有効度に読み替えて1時間ごとに積算する手法として開発し、その積算値の一定性を検討した。

(1) 12°C から 36°C まで 3°C 刻みの陽光恒温器内で、福岡県産のタイヌビエ、イヌビエ、ヒメタイヌビエおよびイヌホタルイの第2葉の24時間の伸長量を測定した。15°C から 36°C までの条件下で完全に展開した第2葉身長に対する24時間の伸長量の比をその温度の葉齢進展への有効度とし、Spline 曲線補間法により 0.1°C ごとの値を読み取り、その 1/24 を1時間当たりの有効気温 (ε) とした。

(2) 戸外で、1/5000a のワグネルポットで時期を異にする7回の代かき後に出芽したタイヌビエ、イヌビエ、ヒメタイヌビエおよびイヌホタルイでは、葉齢進展を有効積算気温値 ($\Sigma \varepsilon$) との関係で表すと、同値の代かき時期の変動係数は日数 (Σday) より大幅に小さく、また、日平均気温積算値や日平均気温 (ΣT) から 10°C を控除した積算値 ($\Sigma (T-10)$) よりは幾分か小さかった。

(3) 水田で時期を異にする4回の代かき後に自然発生したヒメタイヌビエでは、代かき日から1.5葉期および1.5から2.0葉期までの $\Sigma \varepsilon$ の変動係数は他の積算値より小さく、 $\Sigma \varepsilon$ の積算値はワグネルポットでの値と同等であった。 $\Sigma \varepsilon$ は、気温の1時間値を葉齢進展の有効度に直接読み替えて積算する簡便な加重型有効積算気温として使用できる。

2) 関東地方の耕起・不耕起乾田直播栽培におけるヒメイヌビエの発生生態の差異と入水前除草剤処理時期の推定指標の作成

茨城県新利根町太田新田営農組合の圃場で1994年から97年にかけて実施した水稲乾田直播栽培を対象に、乾田期間を中心にした雑草の発生生態と加重型有効積算気温を用いたヒメイヌビエの葉齢推定に基づく入水前除草剤の処理適期を策定した。

(1) 入水前の主要雑草ヒメイヌビエは、不耕起区では耕起区より浅い土中から発生し、葉齢の進む傾

向にあった。播種n日後におけるヒメイヌビエの最大葉齢 (Y) と播種日から (n-1) 日の有効積算気温 ($\Sigma \varepsilon : X$) の間は直線回帰式で表され、播種 (耕起) 日からヒメイヌビエの1~5葉期到達までに必要な $\Sigma \varepsilon$ を算出した。太田新田に最も近いアメダス地点「竜ヶ崎」の気温値を用い、4月15日から5日間隔に設定した播種日から起算した $\Sigma \varepsilon$ を、平年 (5年間の平均値) とその1時間気温値を +3 から -3°C の範囲で変動させた条件下で求めた。これに、播種直後土壌処理剤の残効性の長短を加味して、ベンチオカーブ+DCPA 乳剤 (処理適期: ノビエ2~3葉期) とシハロホップブチル+ベンタゾン液剤 (同: 4~5葉期) の除草剤の処理適期を暦日として策定した。1日当たりの $\Sigma \varepsilon$ (Y) の近似値を得るため、日平均気温 ($X_1: ^\circ\text{C}$) と日較差 ($X_2: ^\circ\text{C}$) を説明変数として、 $Y=0.00211X_1+0.00014X_2-0.2154$ ($R^2=0.932$) の回帰式を定めた。

3) 九州地方に発生したコヒメビエの小穂と穂の形態と低温での種子の死亡条件を基にした定着不可能地点の推定

熱帯・亜熱帯を中心に分布するコヒメビエ (*Echinochloa colonum* Link.) が九州地方の熊本県と宮崎県で見いだされた。そこで、九州に発生したコヒメビエの有効な識別点を調べ、九州の耕地への定着の可能性を検討した。

(1) 熊本県玉名市産および宮崎県佐土原町産のコヒメビエについて、第1包穎と小穂の長さの比に加えて、穂 (花序) の最下の枝梗がヒメイヌビエより短く、穂長と最下枝梗長の比が3.2以上となる点でヒメイヌビエから識別できることを認めた。

(2) 熊本県玉名市産コヒメビエの種子は、湿潤土壌中で-5°Cの凍結条件が1日6時間続くとほぼ死滅し、同条件が3~4日間連続すると完全に死滅すると認められた。

(3) 1988年から1992年までの九州地方の114地点の気温値から、11月から翌年3月までの冬の期間に-5°C以下の最低気温の総日数が5年間で4日以上となる場合をコヒメビエの定着の不可能な越冬条件として調べた。九州山地や筑紫山地やその周辺などの32地点では定着不可能と推定された。最低気温が1°C上昇したと仮定すると、32地点のうち7地点では定着可能になると推定された。

4) 温暖化がコヒメビエの葉齢進展速度に及ぼす影響の予測

地球環境の温暖化により熱帯・亜熱帯の強害雑草のわが国農耕地への侵入と定着が懸念されるが、九州地域に侵入したコヒメビエ (*Echinochloa colonum* Link.) もその一つである。想定される温暖化での新帰化植物の生育の変動予測は効果的な防除法策定に有効であることから、加重型有効積算気温手法によりコヒメビエの葉齢進展速度への温暖化の影響をタイヌビエとの対比で推定した。

(1) 30°C の陽光恒温器で発芽させたタイ産コヒメビエにつき、12°C から 36°C まで 3°C 刻みの陽光恒温器で第 2 葉の 24 時間後の伸長量と全長を測定し、その値から 0.1°C 刻みの 1 時間当たりの葉齢進展有効気温 (ϵ) を算定した。また、産地を異にする 5 系統のコヒメビエで第 2 葉の 30°C と 18°C での伸長を測定し、産地間に葉齢進展速度の有意な差がないことを認めた。

(2) コヒメビエとタイヌビエの戸外での葉齢進度測定値から一定葉齢に必要な有効積算気温値を定め、これに基づいて福岡県筑後市での 5 年間の気温値が 1°C から 4°C 上昇した場合の葉齢進展の促進程度を 3 発生時期について推定した。コヒメビエの 2 葉期への到達は 6 月 20 日出芽の場合は平年より 32 時間早い、4 月 20 日出芽では 144 時間時間早まると推定された。

2. 水田に発生するイネ科多年生雑草の葉の特徴による同定法と千葉県八千代市での発生状況の調査

水田に発生して防除上で問題となるイネ科多年生雑草として、関東地方北部以西ではキシウズメノヒエ、北海道と東北地方ではエゾノサヤヌカグサがよく知られている。近年、地方名で「ヤベヅル」と呼ばれる匍匐性のイネ科多年生雑草が各地の水田で問題とされ、十分な検討なしにキシウズメノヒエやエゾノサヤヌカグサにあてられる場合が多い。幼植物や穂のない時期での正確な同定が困難なことに起因しているため、イネ科多年生雑草の簡易な同定法を策定し、その手法を用いて千葉県八千代市米本地区の水田においてイネ科多年生雑草の発生状況を調べた。

(1) 葉身と葉鞘の形態による検索表

1994 年から 1997 年にかけて水田に発生しているイネ科多年生雑草の情報を収集し、これらが 10 種 1

変種からなることを確認した。1997 年に農業研究センター (当時：茨城県つくば市) においてそれぞれの種を 50cm 角のコンクリートポットなどで水田状態で育成し、生育期の葉の形態的特徴を観察した。水田のイネ科多年生雑草 10 種 1 変種の葉身と葉鞘の特徴は、毛の有無やその位置と小舌の長さにおいて異なっていた。新葉の抽出形態を第 1 番目の検索形質として検索表を作成した。この検索表に基づいて「草調ベシート」を作成して広く配布した。

(2) 千葉県八千代市における発生状態

5 種のイネ科多年生雑草が発生する千葉県八千代市米本の 45 筆の水田において 10 月下旬のイネの刈跡で上記検索表により同定と発生程度を調べた。アシカキは 51%、サヤヌカグサは 24%、ハイコヌカグサは 18% の水田で認められ、アシカキやサヤヌカグサの繁茂が直播田で多い傾向にあった。

(3) シハロホップブチル剤に対する反応性の種間差

水田外または刈跡に生育するイネ科多年生雑草に対しては非選択性の茎葉処理剤が有効であることは既に知られているが、イネの立毛中に使用できる有効な剤がなかった。イネに高い安全性を示すノビエ用除草剤シハロホップブチル剤 (商品名：クリンチャー) がキシウズメノヒエに効果を示すことが確認されつつあるが、同剤の選択性はイネ科の種によって異なるため、同剤に対する反応の差異を調べた。ベンタゾンとの混合剤を含むシハロホップブチル剤は、切断された稈から再生して 2, 3~6, 7 葉期に達したキシウズメノヒエの生育を強く抑制し、その程度は 1 キロ粒剤より乳剤 (EW) で大きい。同剤はアシカキとサヤヌカグサには効果を示さないが、ハイコヌカグサを十分に抑制した。

3. 暖地の水田裏作におけるイネ科雑草の識別法の開発と除草剤反応の差異に及ぼす中胚軸伸長特性の役割

1) カズノコグサとスズメノテッポウの幼植物の簡易識別法と除草剤に対する反応性の差異

近年、九州北部の福岡、佐賀県などの水田裏作圃ではカズノコグサ (*Beckmannia syzigachne* Fernald) の発生が急激に増加し、効果的な防除法の確立が望まれるようになった。しかし、カズノコグサは幼植物の形態が、同じイネ科のスズメノテッポウ (*Alopecurus aequalis* Sobol. var. *amurensis* Ohwi)

に極めて類似しており、両種が同時に発生する条件下でそれらを区別しない場合には、供試除草剤の効果に対する正確な評価を妨げている可能性がある。このため、麦類対象除草剤の雑草調査時期にあたる3月頃におけるカズノコグサとスズメノテッポウの簡便な識別方法と、数種除草剤に対する反応の差異を調べた。

(1) カズノコグサとスズメノテッポウ幼植物の識別点

3月20日頃のカズノコグサとスズメノテッポウは、2葉期から6葉期程度の生育段階にあり、小穂や穎果が残っている場合には、大きさと形のほぼ等しい扁平な包穎の形態と穎果に芒を欠くことによりカズノコグサを容易に識別できた。さらに、カズノコグサでは、葉舌先端の尖りの程度が小さい、葉身には指で触れるとかすかに感じる毛があり、根は白く、幼穂を形成した個体では幼穂に明瞭な枝がある、などの点でスズメノテッポウとの識別が可能であった。特に、根の色の特徴は乾燥した後も変化せず、ここで取り上げた識別項目の中では最も安定しており、簡易で有効な指標であった。

(2) 播種直後土壌処理除草剤に対する反応

カズノコグサとスズメノテッポウの種子を混合した水田土壌に、ベンチオカーブとプロメトリンの混合乳剤、同混合粒剤、トリフルラリン乳剤などの除草剤を処理して残存個体数比率を調べた結果、両種を区別しない場合には、残存個体数比率を各草種ごとに算出した場合に比べてカズノコグサに対する効果を過大に評価し、逆にスズメノテッポウに対しては過小に評価する結果となった。カズノコグサの効果的防除法確立のためには、麦類対象の除草剤試験において、スズメノテッポウと厳密に識別して、除草効果の正確な判定を行うことが重要である。

2) カズノコグサとスズメノテッポウにおける中胚軸の伸長特性とジニトロアニリン系除草剤に対する反応性の差異

近年九州地域の水田裏作麦圃で増加しているカズノコグサについて、ジニトロアニリン系土壌処理除草剤に対する反応のスズメノテッポウとの差異を、中胚軸の伸長特性から解析した。

(1) 暗所で伸長した中胚軸長の平均値はカズノコグサで8mm、スズメノテッポウで32mmであり、この差は両種の苗条の全長の差に相当した。幼植物の

発生深度と中胚軸長の分布から、発生深度15mm程度以上ではスズメノテッポウの中胚軸は深度につれて伸長したのに対し、カズノコグサの中胚軸は10mm程度ではほぼ一定であり、深い位置にあるカズノコグサの中胚軸はスズメノテッポウに比べて伸長しにくい。カズノコグサの成長点深度は、11～15mmを最大に25mmまでの深さに分布し、スズメノテッポウでは約50%が5mmまでの浅い位置に分布した。

(2) ジニトロアニリン系のトリフルラリン粒剤(2.5%)のa当たり450gおよびペンディメタリン細粒剤(2%)のa当たり600g処理により、5～30mmの範囲で播種深度の増大につれて残存個体数比率が高くなり、同じ播種深度ではカズノコグサの残存個体数比率がスズメノテッポウより高かった。播種深度に代えて成長点深度を説明変数に用いて残存個体数比率との関係を双曲線回帰式で表わすと、この種間差は消去された。これら除草剤に対する、播種深度での反応の種間差は中胚軸の伸長特性に起因する成長点深度の違いによると考えられた。

本研究では水田のイネ科雑草について、水稻作の最重要雑草である野生ヒエに対して加重型有効積算気温による葉齢の予測手法を開発して除草剤の適期処理策定方法を提示した。また、温暖化に伴う熱帯・亜熱帯性野生ヒエの侵入と定着、水田内でのイネ科多年生雑草の蔓延および水田裏作でのカズノコグサの増加という水田のイネ科雑草種の変化に対して、必要な時期に適用可能な分類、識別手法を提示した。さらに、イネ科多年生雑草種間や中胚軸伸長特性の差異による除草効果の変動要因を解析した。選択性除草剤の適正使用を柱とする水田作の雑草制御において、本研究で示した除草剤の適期処理、対象とする種の正確な認識および除草効果の変動要因の解明は、水田のイネ科雑草の効率的制御の推進に貢献するものと考えられる。

引用文献

- 1) 荒井正雄 (1961) 水田裏作雑草の生態学的研究. 関東東山農試研報 19:1-182.
- 2) BARRENTINE, W.L. and G.F.WARREN (1971) Shoot Zone Activity of Trifluralin and Nitratin. *Weed Sci.* 19:37-41.
- 3) BOR, N.L. (1960) The grasses of Burma, Ceylon, India and Pakistan. Pergamon Press, Oxford, pp.307-309.

- 4) 千坂英雄・草薙得一 (1978) 水稻の不耕起乾田直播栽培における雑草の発生活長と防除. 雑草研究 **23** (4) :185-190.
- 5) 土井康生・村上利男 (1977) 北海道におけるタイヌビエの発生活態に関する地域性. 北農試研報 **119**:1-8.
- 6) 榎本 敬 (1992a) 日本産雑草種子に関する研究. 第2報 単子葉植物の種子重量について. 雑草研究 **37** (別I) :130-131.
- 7) 榎本 敬 (1992b) 帰化植物の種類と特性. 日本雑草学会第13回夏期研究会テキスト:52-67.
- 8) 古川 定 (1986) 麦作雑草防除の現状と問題点 暖地-佐賀県を中心として-. 雑草研究 **31**(1):11-15.
- 9) 古谷勝司 (1977) 水田雑草種子の休眠・発芽・出芽. 植調 **11** (9) :8-16.
- 10) HALL, D.W. (1985) Identification of weedy seedling grasses in crops, Proc. 10th APWSS Conf., 55-60.
- 11) Ho, N.K. and K.ITOH (1991) *Echinochloa stagnina* (Retz.) Beauv./ *Echinochloa picta* (Koen.) Michael (Gramineae), Life Cycles of Rice Field Weeds and Their Management in Malaysia. ed. by K. Itoh. TARC, Alor Seter, pp.36-42.
- 12) HOLM, L.G., D.J.PLUCKNETT, J.V.PANCHO and J.P.HERBERGER (1977) The world's worst weeds, Distribution and biology. Univ. Press Hawaii, Honolulu, pp.41-46.
- 13) HSU, C.C.(1975) Taiwan Grasses. Taiwan Provincial Education Association. Taipei, pp.527-528.
- 14) HUBBARD, C.E. (1954) Grasses, Penguin Books Ltd., Suffolk, pp.278-279.
- 15) 一前宣正・植木邦和 1978. ベンチオカーブの殺草特性に関する研究-イネ科植物における種子重量と感受性差異との関係-. 雑草研究 **23** (3) :129-133.
- 16) 伊藤操子 (1993) 雑草学総論. 養賢堂, 東京, pp.211-220.
- 17) ITO, M., H.KAWAHARA and M.ASAI (1998) Selectivity of Cyhalofop-butyl in Poaceae Species. *J.Weed Sci.Tech.***43** (2) :122-128.
- 18) 伊藤一幸 (1996) 東南アジアの稲作と雑草ヒエ. 藪野友三郎監修「ヒエの博物学」, ダウ・ケミカル日本株式会社, 東京, pp.108-120.
- 19) 伊藤一幸 (1998) スルホニルウレア系除草剤の使用状況と抵抗性雑草の発生活動向. 農業技術 **53** (7) :317-321.
- 20) 加持集三・五島敏男・大津悠一 (1998) 暖地水田におけるノビエ (*Echinochloa* spp.) の発生活態とメフェナセットの最適処理時期の関係. 雑草研究 **43** (3) :210-219.
- 21) 笠原安夫 (1951) 本邦雑草の種類及地理的分布に関する研究 第4報 水田雑草の地理的分布と発生活度. 農学研究 **39** (4) :143-154.
- 22) 笠原安夫 (1968) 日本雑草図説. 養賢堂, 東京, pp.404-405.
- 23) 笠原安夫 (1982) 出土種子からみた縄文・弥生期の稲作. 歴史公論 **74** (1) :78-89.
- 24) 片岡孝義・金 昭年 (1978) 数種雑草種子の出芽深度. 雑草研究 **23** (1) :13-19.
- 25) 北村四郎・村田 源・小山鐵夫 (1987) 原色日本植物図鑑 草本編 [III]・単子葉類. 保育社, 大阪, pp.303-390.
- 26) 北野順一 (1998) 不耕起乾田直播栽培における乾田期間の除草剤処理時期の有効気温による推定. 植調 **32** (2) :52-54.
- 27) KNAKE, E.L. and L.M. WAX (1968) The Importance of the Shoot of Giant Foxtail for Uptake of Preemergence Herbicides. *Weed Sci.* **16**:393-395.
- 28) KOYAMA, T. (1987) Grasses of Japan and Its Neighboring Regions -An Identification Manual-. Kodansha Ltd., Tokyo. pp. 1-570.
- 29) 小山 豊・宍倉豊光 (1989) 水田における多年生イネ科匍匐性雑草の出芽特性と防除. 雑草とその防除 **26**:48-50.
- 30) 宮原益次 (1972) 水田雑草タイヌビエ種子の休眠性に関する生理生態学的研究. 農事試験場研報 **16**:1-62.
- 31) 宮本泰正・草薙得一 (1995) 水稻の不耕起乾田直播栽培におけるイヌビエの葉齢進度. 雑草研究 **40** (別) :64-65.
- 32) MOODY, K. (1988) *Echinochloa colona* (L.) Link : The most commonly reported weed of rice in south and south-east Asia. *Weed Research, Japan* **33** (別) :15-16.
- 33) 森田弘彦 (1990) 1980年代の帰化雑草の概観. 農業技術 **45** (8) :342-347.
- 34) MORITA, H. (1993) Differences in morphology and susceptibility to herbicides between seedlings of *Beckmannia syzigachne* and *Alopecurus aequalis* var. *amurensis* in wheat and barley cropping of southern Japan. Proc. I 14th APWSS Conf., 381-384.
- 35) 森田弘彦 (1994) カズノコグサとスズメノテッポウにおける中胚軸の伸長特性とジニトロアニリン系除草剤に対する反応の差異. 雑草研究 **39**(3):165-170.
- 36) 森田弘彦 (1995a) 水稻直播栽培における雑草防除の現状と問題点. 植物防疫 **49** (6) :225-231.
- 37) 森田弘彦 (1995b) 水田に発生するイネ科多年生雑

- 草の種類. 植調 29 (8) :312-319.
- 38) 森田弘彦 (1996a) 九州地方に発生したコヒメビエの小穂と穂の形態と低温での種子の死亡条件から推定した定着不可能地点. 雑草研究 41 (2) :90-97.
- 39) 森田弘彦 (1996b) 水田の雑草防除における課題と展望. 農業春秋 73:2-11.
- 40) 森田弘彦 (1997) 水稲直播栽培における雑草防除の問題点と対策. 水稲直播研究会会誌 5:1-10.
- 41) 森田弘彦 (1999a) 温暖化と外来雑草の定着. 河野昭一・井村治編「環境変動と生物集団」, 海游舎, 東京, pp.109-119.
- 42) 森田弘彦 (1999b) 1時間気温値の加重型有効積算気温を用いた野生ヒエとイヌホタルイの葉齢進展. 雑草研究 44 (3) :218-227.
- 43) 森田弘彦 (1999c) 水田の主要雑草と防除－関東・東海地域. 今月の農業 43 (3) :74-78.
- 44) 森田弘彦 (2001) 日本の稲作と雑草ヒエ. 荻野友三郎監修「ヒエという植物」, 全国農村教育協会, 東京, pp.49-68.
- 45) 森田弘彦・川名義明・中山壮一 (1990) 水田裏作雑草カズノコグサとスズメノテッポウの幼植物の簡易識別法と除草剤に対する反応の差異. 雑草研究 35 (4) :373-376.
- 46) 森田弘彦・長野間宏 (1996) 関東地方の耕起・不耕起乾田直播栽培におけるヒメイヌビエの発生生態の差異と入水前除草剤処理時期の推定指標. 雑草研究 40 (別) :172-173.
- 47) 森田弘彦・中山壮一 (1992a) 暖地水田の新しい帰化雑草アメリカミソハギ *Ammannia auriculata* Willd. の形態と分布. 雑草研究 37 (1) :74-77.
- 48) 森田弘彦・中山壮一 (1992b) 暖地水田でのショクヨウガヤツリ (*Cyperus esculentus* L.) の発生と生育. 雑草研究 37 (4) :267-275.
- 49) 森田弘彦・中山壮一・橋本昭彦 (1991) 熊本県の水田におけるナガボノウルシ (*Sphenoclea zeylanica* Gaertn.) の発生について. 雑草研究 36 (別 I) :66-67.
- 50) 森田弘彦・SAMIR KHADRE・MOHAMED YOUSEF (1991) エジプトの水田雑草の種類と直播田でのノビエの葉齢進展. 雑草研究 36 (別) :64-65.
- 51) 森田弘彦・李 度鎮・小荒井晃 (1998) 水田に発生するイネ科多年生雑草の葉の特徴による同定法と千葉県八千代市での発生状況の調査. 雑草研究 42 (4) :364-367.
- 52) MURAKAMI, S. (1996) Glasshouse study on herbicidal activity of pretilachlor on rice and *Echinochloa oryzicola* Vasing., *Weed Research, Japan* 35 (2) :155-163.
- 53) 村上士明・阪上和久・與語靖洋・中村明功 (1989) イヌホタルイの発生活消長と葉齢進展－タイヌビエとの比較－. 雑草研究 34 (別) :101-102.
- 54) 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 (3) :253-260.
- 55) 村上利男 (1983) エゾノサヤヌカグサの生態と防除法. 植調 17 (8) :17-22.
- 56) 村上利男・土井康生・森田弘彦 (1987) 寒地における水田雑草の出葉の温度反応とその地域性. 雑草研究 32 (2) :112-122.
- 57) 村上利男・森田弘彦・土井康生・今野一男 (1982) 寒地水稲の計画栽培に関する解析的研究. 北海道農試研報 133:61-100.
- 58) 長野敏英・清野 裕・佐瀬勘紀・塩沢 昌・石田朋靖・青木正敏・内島立郎・真木太一・大政謙次・岡田益己・蔵田憲次・皆川秀夫 (1986) 農業気象・環境学. 朝倉書店, 東京, pp.17-62.
- 59) 中山治彦・江口和雄・湯村悦子 (1966) ケイヌビエの発生生態について. 雑草研究 5:72-76.
- 60) 中山壮一・伊藤一幸・Ruslan AG. AZUMI M. (2000) マレーシア・ムダ地区におけるノビエの発生状況と防除慣行. 雑草研究 45 (別) :190-191.
- 61) 中山 包 (1966) 発芽生理学 (第2版). 内田老鶴圃, 東京, pp.15-25.
- 62) 日本植物調節剤研究協会 1990 畑作用除草剤試験実施基準 (改訂版). 同協会, 東京, pp.24.
- 63) NODA, K., M. TEERAWATSAKUL, C. PRAKONGVONGS and L. CHAIWIRTNKUL (1984) Major weeds in Thailand. National Weed Science Research Project, Bangkok, pp.126-128.
- 64) 農林水産省生産局農産振興課 (2001) 稲作関係係資料. 同課, 東京, pp.125-138.
- 65) 沼田 真・吉沢長人 編 (1978) 新版日本原色雑草図鑑. 全国農村教育協会, 東京, pp.277-320.
- 66) 大井次三郎 (1983) 新日本植物誌 顕花編 北川政夫改訂. 至文堂, 東京, pp.92-234.
- 67) 大隈光善 (1989) 湿生雑草チクゴスズメノヒエの生態と防除に関する研究. 福岡農総試特別報告 4:1-85.
- 68) 長田武正 (1993) 増補日本イネ科植物図譜. 平凡社, 東京, pp.1-777.
- 69) 応用統計ハンドブック編集委員会編 (1978) 応用統計ハンドブック. 養賢堂, 東京, pp.105-114.
- 70) 佐合隆一 (2001) 水田雑草の埋土種子に基づく発生診断に関する研究. 雑草研究 46 (2) :104-109.
- 71) 佐藤日出高・直原一男・篠原卓郎・木村一郎 (1985) Pendimethalin (ANK-553) に関する研究 第2報 スズメノテッポウに対する活性変動要因. 雑草研究 30 (別) :25-26.

- 72) 佐藤寿子・今林惣一郎 (1989) 水田裏作雑草カズノコグサの発生の特徴と防除法. 九州農業の新技术 第2号, 九州農業試験場, pp.24-27.
- 73) 佐藤寿子・今林惣一郎・真鍋尚義 (1989) 水田裏作雑草カズノコグサの発生の特徴と防除法. 日作九州支部報 56:117-120.
- 74) 酒井 究・佐藤 勉 (1998) 水稲湛水直播栽培における除草剤使用時期の推定法. 植調 32 (3) :106-109.
- 75) 清野 豁 (1999) 環境変動と農林業生態系. 河野昭一・井村治編「環境変動と生物集団」, 海游舎, 東京, pp.1-16.
- 76) 関根吉次 (1950) イネ科の小舌の諸型. 植物研究雑誌 34 (5) :129-134.
- 77) 須藤健一・岩井正志 (1996) 数種除草剤のキシウズズメノヒエ (*Paspalum distichum* L.) に対する抑制効果. 近畿作育研究 41:21-23.
- 78) 菅野敬祐・吉村和美・高山文雄 (1993) Cによるスプライン関数. 東京電機大学出版局, 東京, pp.1-262.
- 79) SWANSON, G.R. (1972) Dinitroaniline herbicides: biological activity, structure relationship and mode of action. Proc. 2nd IUPAC Congress of Pesticide Chemistry V. Gordon and Breach Sci. Pub., New York, pp.87-112.
- 80) 高林 実・中山兼徳 (1979) 主要畑雑草種子の出芽深度について. 雑草研究 24 (4) :281-285.
- 81) 館岡亜緒 (1983) 植物の分類と種分化. 養賢堂, 東京, pp.66-82.
- 82) 富久保男 (1993) 水稲直播栽培における雑草防除. 農業技術 48 (11) :496-499.
- 83) 佃 和明・村上充幸・森中秀夫・続木建治・一前宣正・近内誠登・竹松哲夫 (1993) 水田除草剤ピリブチカルブの殺草特性, 薬害および土壤中の移動性. 雑草研究 38 (3) :175-181.
- 84) 植木邦和・松中昭一 (1972) 雑草防除大要. 養賢堂, 東京, pp.125-139.
- 85) 渡辺寛明・芝山秀次郎 (1991) イヌホタルイの葉令と出芽深度が数種除草剤効果に及ぼす影響. 雑草研究 36 (別) :32-33.
- 86) 薮野友三郎 (1981) ヒエ属植物の分類と地理的分布. 種生物学研究 5:86-97.
- 87) 山末祐二 (1992) ヒエ属雑草の生理的適応性に関する研究—種子発芽と冠水耐性について—. 雑草研究 37 (2) :83-91.
- 88) 山崎和己・塚本伸也・柴谷得郎 (1987) ノビエの葉数進度について. 雑草研究 32 (別) :89-90.

Control Strategy for Noxious Gramineous Weed Species Based on Studies on Emergence Ecology and Establishment of Practical Identification Methods

Hirohiko MORITA

Summary

Gramineous species (family Gramineae) are noxious weeds that commonly infest paddy fields in Japan. Herbicides used against these weeds require high species selectivity to prevent the removal of desirable paddy fields crops rice (*Oryza sativa* L.), barley (*Hordeum vulgare* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) which belong to the same family. The identification of Gramineous species is problematic, especially during their early growth stages due to an absence of distinguishing morphological characteristics such as panicles and spikelets. However, herbicide treatments are known to be more effective if applied during the early growth stages. Clearly, the accurate identification of target weed species (such as *Echinochloa* spp.) and knowledge of leaf emergence timing are important factors that influence the efficacy of herbicide treatments. In this study, a control strategy for Gramineous weed species that commonly affect paddy fields in Japan is presented. This control strategy is based on studies of emergence ecology and the development of practical methods for accurately identifying noxious Gramineous weed species.

1. A method for predicting leaf emergence and establishment of *Echinochloa* spp. based on air temperature.

1) Leaf emergence in *Echinochloa* spp. and *Scirpus juncooides* var. *ohwianus* was predicted based on the accumulated efficient air temperature by measuring weighted temperature at hourly intervals.

A method for predicting leaf emergence of Gramineous weeds based on the measurement of accumulated efficient air temperature at hourly intervals was developed as an index of leaf emergence in *Echinochloa oryzicola* Vasing., *E. crus-galli* P.Beauv. var. *crus-galli*, *E. crus-galli* P.Beauv. var. *formosensis* Ohwi, and *Scirpus juncooides* Roxb. var. *ohwianus* T.Koyama. Leaf emergence for these species is known to be an important factor affecting the efficacy of herbicide use in paddy fields.

(1) The emergence rates of the second leaves of *E. oryzicola*, *E. crus-galli* var. *crus-galli*, *E. crus-galli* var. *formosensis* and *Scirpus juncooides* var. *ohwianus* were measured in an illuminated incubator over a temperature range from 12 to 36°C at intervals of 3°C. The increase in leaf length at each of the growth temperatures was measured at 24-hour intervals and expressed relative to the initial size of leaves grown over the temperature range from 12 to 36°C. Data obtained for the four species were expressed in air temperature (ε) increments of 0.1°C following the treatment of the data with a Spline Interpolation technique.

(2) Accumulated efficient air temperature ($\Sigma\varepsilon$) was calculated during the period from emergence to the 1.5 leaf stage and from the 1.5 to 2.0 leaf stage for seedlings of the four species that were grown in 3.8 L pots under natural conditions at Kyushu National Agricultural Experiment Station in 1990. The seedlings emerged over a time period corresponding to seven different puddling times. The coefficient of variation (C.V.) of the $\Sigma\varepsilon$ values obtained for the seven puddling times was less than that obtained for days (Σ day) for all four species. The C.V. of the $\Sigma\varepsilon$

values was also less than that obtained for the accumulated daily mean air temperature (ΣT) and the accumulated daily mean air temperature minus 10°C ($\Sigma (T-10)$) with the exception of only few cases.

(3) The C.V. obtained for $\Sigma \varepsilon$ over the period from puddling time to the 1.5 leaf stage and from the 1.5 to 2.0 leaf stage for *E. crus-galli* var. *formosensis* observed in the paddy fields of Kyushu National Agricultural Experiment Station in 1991 was less than that of other accumulated temperatures and the mean value obtained for $\Sigma \varepsilon$ was found to be similar to that obtained in 1990.

(4) Since the $\Sigma \varepsilon$ values remained constant between both puddling times and years, they could be used as parameters for determining accumulated efficient air temperature and also diurnal variations in air temperature for of *E. oryzicola*, *E. crus-galli* var. *crus-galli*, *E. crus-galli* var. *formosensis* and *Scirpus juncooides* var. *ohwianus*.

2) Emergence pattern of *Echinochloa crus-galli* P.Beauv. var. *pratricula* Ohwi and estimation of the appropriate herbicide application times for the Kanto region.

The appropriate time for applying herbicides prior to irrigation was determined based on the estimated leaf stages of *E. crus-galli* var. *pratricula* and using the data obtained for accumulated efficient air temperature in dry sown paddy fields over the period from 1994 to 1997 at Shintone in Ibaraki Prefecture.

(1) *E. crus-galli* var. *pratricula*, a weed species that commonly occurs in these fields, was found to emerge from a shallower soil depth and grew more rapidly in fields that had not been tilled. A simple linear regression was carried out between the maximum leaf stage (Y) at (n) days after sowing and the accumulated efficient air temperature ($\Sigma \varepsilon$: X) at (n-1) days after sowing for tilled and untilled fields. The values of the $\Sigma \varepsilon$ needed to one to five leaf stages from sowing or ploughing date were calculated by the linear regression.

(2) Using the data of air temperature data recorded over the period from 1990 to 1994 at Ryugasaki, near Shintone, $\Sigma \varepsilon$ values were averaged between year in cases where the air temperature fluctuated from +3°C to -3°C with respect to the annual average. Based on the $\Sigma \varepsilon$ values obtained from this analysis, the appropriate application times for the liquid formulation of thiobencarb+DCPA, for which applying at two to three leaf stages of *Echinochloa* spp. was recommended and for the liquid formulation of cyhalofop-butyl+bentazon applicable at four to five leaf stages of *Echinochloa* spp., were determined. A multiple regression between daily mean air temperature (X_1 :°C) and diurnal temperature range (X_2 :°C) gave the result, $Y=0.00211X_1+0.00014X_2-0.2154$ ($R^2=0.932$), which was used to obtain the approximate value for $\Sigma \varepsilon$ per day.

3) Morphological characteristics of the spikelets and panicles of *Echinochloa colonum* (L.) Link..

Jungle rice, *Echinochloa colonum* (L.) Link. occurred in the fallow paddy fields and levees in the Kumamoto and Miyazaki Prefectures of Kyushu, Japan. To develop methods for accurately identifying jungle rice, several morphological characteristics were analyzed compared with *E. crus-galli* (L.) Beauv. var. *pratricula* Ohwi. To account for the absence of jungle rice populations during the winter months in the Kyushu area, based on the results of freezing experiments, daily minimum air temperature variation was surveyed at 114 locations in the Kyushu area.

(1) Spikelet lengths of jungle rice accessions collected from Tamana, Kumamoto Prefecture and Sadowara, Miyazaki Prefecture ranged from 2.5 mm to 2.6 mm. These spikelets were longer than those from plants acquired from Thailand and raised in Tsukuba, Ibaraki Prefecture and had similar lengths to those of *E. crus-galli* var. *pratricula* collected from Chikugo, in Fukuoka Prefecture. Jungle rice samples collected from Tamana and Sadowara were characterized a 58% to 62% covering of the spikelet with the first glume. The ratio of panicle length to the lowest rachis-branch exceeded 3.2 for jungle rice collected from Tamana and Sadowara, and less than 3.2 for *E. crus-galli* var. *pratricula* collected from Chikugo.

(2) The percentage of germinating seedlings decreased to 1.5% to 3.4% for seeds frozen at a soil moisture rate of 50%, but was not significantly affected at moisture rate of 0% and 10%, following a -5°C freezing treatment for

six hours per day for one to three days. Treatment of the seeds at -5°C for three to six hours per day for one to four day period was found to completely inhibit jungle rice seed germination.

(3) The total number of days during which the minimum air temperature fell below -5°C was determined at 114 locations during the period from November to March over the years from 1988 to 1992. These locations were considered to be unsuitable for the establishment of jungle rice due to the suppression of seed germination. Based on the results from the freezing experiments, the germination of jungle rice was found to be inhibited when the total number of days below -5°C exceeded four per year, according to the historical temperature data. These results suggested 32 locations in or around the Kyushu and Chikushi mountains where jungle rice could not survive. At the other 82 locations, this species could potentially survive. When the daily minimum air temperature increased by 1°C during the winter season, the number of locations where jungle rice could potentially survive was found to increase from 82 to 89.

4) Investigation of the effect of temperature on the rate of leaf emergence in jungle rice (*Echinochloa colonum* Link.) .

Jungle rice, *Echinochloa colonum* Link. is one of a noxious tropical and sub-tropical weed that could become more widely distributed due to environmental warming. Predicting the growth pattern of introduced weed species under the influence of increasing environmental temperature provides useful information for the prediction of effective control methods. The effect of temperature on leaf emergence was studied using the method of accumulated efficient air temperature by measuring the weighted temperature at hourly intervals ($\sum \varepsilon$) as described above.

(1) Efficient units for leaf emergence of *E. colonum* in air temperature increments (ε) of 0.1°C were obtained by the same method as for *E. oryzicola*. No significant differences in the emergence rates of the second leaves of the five jungle rice accessions were detected at 30°C and 18°C .

(2) The $\sum \varepsilon$ values obtained for the different leaf stages were determined for *E. colonum* and *E. oryzicola*. Using the air temperature data collected over a five-year period at Chikugo, in Fukuoka Prefecture, accelerated leaf emergence was predicted to result from an annual average increase in air temperature between 1°C and 4°C . A temperature increase in this range was predicted to cause second leaf emergence to occur 32 hours earlier if seedlings emerged on the 20 June and 114 hours earlier if they emerged on 20 April.

2. Key for identifying Gramineous perennial weed species based on leaf morphology and frequency of infestation in paddy fields at Yachiyo, in Chiba Prefecture.

In recent years, infestations of perennial Gramineous weeds have become a serious problem in the paddy fields of Japan. In general, the identification of Gramineous species during the early growth stages is problematic due to the absence of distinguishing morphological characteristics such as panicles and spiclets. In order to establish effective methods for the control of these noxious weeds, convenient keys for identification, distribution and susceptibility to herbicide are required.

(1) Samples of perennial Gramineous weeds collected from paddy fields of Japan, were identified as *Leersia japonica* Makino, *Leersia sayanuka* Ohwi, *Agrostis stolonifera* L., *Glyceria depauperta* Ohwi, *Glyceria ischyronoura* Steud., *Glyceria acutiflora* Torr., *Cynodon dactylon* Pers., *Isachne globosa* O.Kuntze, *Paspalum distichum* L., including *P. distichum* L. var. *indutum* Shinnars and *Leersia oryzoides* Sw. *P. distichum* and *L. oryzoides* have been known as noxious weeds since the 19070s. Keys for the correct identification based on morphological characteristics of the leaf blade and leaf sheath were produced for 11 species of perennial Gramineous weeds. An information sheet containing the keys and including colored photographs of each species was produced for distribution to farmers and agricultural technicians.

(2) In the paddy fields of Yachiyo, Chiba Prefecture, infestations of *Leersia japonica*, *L. sayanuka* and *Agrostis*

stolonifera were observed after harvesting. The percentage of paddy fields that were severely infested by *L. japonica* was greater for those fields that were dry-sown. Infestation of *L. sayanuka* and *A. stolonifera* was not common when compared with *L. japonica*, in paddy fields that were sown directly.

(3) The herbicide cyhalofop-butyl was found to have a 60 to 90% success rate in reducing the number of plants. This compound also caused a 96% reduction in dry weight (compared to control plants) for *Paspalum distihcum* when applied at the 3.1 to 4.9 leaf stage and 4.8 to 6.6 leaf stage of re-grown shoots under submerged conditions. *A. stolonifera* was found to be susceptible to cyhalofop-butyl at both stages of re-growth. However, this herbicide was found to be ineffective against *L. japonica*.

3. Development of identification methods and assessment of the role of mesocotyl elongation on differences in susceptibility to herbicides.

1) A key was produced to distinguish differences in the response of *Beckmannia syzigachne* (Steud.) Fernald and *Alopecurus aequalis* Sobol. var. *amurensis* (Komar.) Ohwi seedlings to different herbicides.

Infestations of American sloughgrass, *Beckmannia syzigachne* (Steud.) Fernald have become a serious problem in the winter cropping of barley and wheat in Fukuoka and Saga Prefectures. The morphology of American sloughgrass seedling closely resembles the morphology of short-awned foxtail, *Alopecurus aequalis* Sobol. var. *amurensis* Ohwi. The ability to distinguish between these two species is an important consideration for predicting the efficacy of herbicide application. Therefore, a key to distinguish American sloughgrass from short-awned foxtail and morphological characteristics affecting differences in herbicidal efficacy between the two species were investigated.

(1) By the end of March, American sloughgrass and short-awned foxtail were in the two to six leaf stages. At this stage of development, the seedlings could be distinguished by the morphology of the spikelet or caryopsis at the base of the plants. The roots of American sloughgrass were found to be white, and the roots of the short-awned foxtail were reddish brown when desiccated. Root color was found to be a useful characteristics for distinguishing between the American sloughgrass and short-awned foxtail seedlings.

(2) The number of surviving plants of both species was determined following the pre-emergence application of thiobencarb+prometryn emulsifiable concentrate and granules, and trifluralin emulsifiable concentrate. Both of these herbicides were given at the doses recommended by the manufacturers. In cases where both species were found growing together, the efficacy of the herbicide treatment was overestimated for American sloughgrass, and underestimated for short-awned foxtail. Clearly, correct identification of the two species is requested in order to accurately predict the result of herbicide application.

2) Differences in mesocotyl elongation and susceptibility to dinitroaniline herbicide between *Beckmannia syzigachne* (Steud.) Fernald and *Alopecurus aequalis* Sobol. var. *amurensis* (Komar.) Ohwi. Factors affecting the differences in susceptibility to dinitroaniline herbicides between American sloughgrass (*B. syzigachne*) and short-awned foxtail (*Alopecurus aequalis* var. *amurensis*) were investigated in relation to mesocotyl elongation.

(1) The mesocotyl of American sloughgrass was found to be shorter (8 mm) than that of short-awned foxtail (32 mm) in etiolated seedlings grown under dark conditions at 20°C. Differences in morphological characteristics between the two species were also evident in shoot length which includes the plumule and mesocotyl.

(2) American sloughgrass seeds germinated when planted at depths greater than 15 mm. It was found that the mesocotyle of American sloughgrass could not elongate by more than around 10 mm. In contrast, the mesocotyl of the short-awned foxtail was able to elongate allowing for the germination of seeds planted at much greater depth. The growing point of the American sloughgrass seedlings were observed at depths up to 25 mm with a maximum

depth distribution from 11 to 15 mm. However, in 50% of the cases, the growing point of the short-awned foxtail was distributed to a depth of 5 mm.

(3) The efficacy of two dinitroaniline herbicides in the control of American sloughgrass and short-awned foxtail sown at different depths was investigated following the pre-emergence application using the following herbicide treatment regimes: trifluralin, 2.5% granules at a rate of 1.125 kg *a.i.* per ha, and pendimethalin, 2% micro-granules at a rate of 1.2 kg *a.i.* per ha. The number of surviving plants increased with seeding depth for both species. When American sloughgrass was treated with trifluralin, the number of surviving plants was larger than that of the short-awned foxtail for the same seeding depth. By manipulating the depth at which the growing point was located (instead of the seed depth), a significant relationship was found between the percentage of plants which survived relative to the control ($Y\%$), and the depth of the growing point (X mm) as follows: $Y=b+a(1/X)$

For trifluralin

$$\text{American sloughgrass} \quad Y=116.2-315.9(1/X) \quad r=0.862^{**} \quad (1)$$

$$\text{Short-awned foxtail} \quad Y=119.9-350.2(1/X) \quad r=0.923^{**} \quad (2)$$

For pendimethalin

$$\text{American sloughgrass} \quad Y=110.8-204.3(1/X) \quad r=0.840^{**} \quad (3)$$

$$\text{Short-awned foxtail} \quad Y=114.6-179.3(1/X) \quad r=0.803^{**} \quad (4)$$

r: Coefficient of correlation with at 1% significance level (**).

No significant differences were detected between the regression coefficients a and b for the (1)- (2) and (3)- (4) treatments as indicated by a t-test. These results show that the differences in the number of plants that survived at various seeding depths were caused by the differences in the depth of the growing point between these two grasses.

A control strategy for noxious Gramineous weeds that infest paddy fields in Japan was investigated. This study has presented new methods for predicting the appropriate timing for herbicide application, which was found to vary depending on the noxious species. New keys that can be used to accurately identify the target species will undoubtedly contribute to improved methods for Gramineous weeds in paddy fields in Japan.

Keywords: accumulated efficient air temperature, *Beckmannia syzigachne*, *Echinochloa colonum*, *Echinochloa* spp., Gramineous weeds, key for species identification, leaf emergence, warming.