

Studies on Seasonal Changes in the Emergence of Annual Broadleaved Weeds and the Ability of Rice Cultivars to Suppress Them in Paddy Fields

Akira Koarai*

Summary

Herbicides effective against broadleaved weeds have been most widely used to control weeds in paddy rice (*Oryza sativa* L.) production in Japan since the 1960s. Annual broadleaved weeds remain a serious problem, however, due to the seed longevity in the soil, the variation of seasonal changes in the emergence and the occurrence of herbicide-resistant biotypes. The objectives of this study were to investigate seasonal changes in weed emergence in paddy fields, to identify herbicide-resistant biotypes of *Monochoria vaginalis* (Burm. f.) Kunth, and to clarify the growth characteristics of paddy rice transplanted in early and normal seasons for suppressing *M. vaginalis*.

1. Seasonal changes in the number and depth of emergence of annual broadleaved weed were investigated in paddy soil. Such weeds infest Japanese paddy fields even after application of herbicides. Emergence patterns and depth were determined for seedlings of *M. vaginalis*, *Lindernia* spp., *Elatine triandra* Schk. var. *pedicellata* Krylov, *Rotala indica* (Willd.) Koehne var. *uliginosa* (Miq.) Koehne, *Ammannia multiflora* Roxb., and *Cyperus difformis* L. in paddy soils puddled and leveled in mid-April, May, June, and July 1990.

The number of seedlings increased as puddling was delayed from April to June for *M. vaginalis*, *L. procumbens*, *E. triandra* and *R. indica* var. *uliginosa*, and to July for *A. multiflora* and *C. difformis*. Almost all species emerged within 2 weeks after puddling. The emergence depth of seedlings, determined by the length of their underground parts, generally corresponded to soil layers within 5.0 mm of the surface. These seedlings seldom emerged from soil layers 5.0 to 7.0 mm deep. *C. difformis* emerged from deeper than other species. The number of seedlings emerging from the upper 3.0 mm of soil increased with delay in puddling time. The number of seedlings emerging from soil layers over 3.0 mm deep and the maximum emergence depth were constant when puddling time was delayed.

2. The emergence of the above weed species was investigated in paddy soils under different moisture conditions before puddling in mid-April, May, June, and July 1991 and 1992.

The number of emerging seedlings other than for *M. vaginalis* and *R. indica* var. *uliginosa* increased in dry soils from April to puddling when puddling was delayed from April to July. The number of weeds remained almost constant in highly moist soils from April to puddling when puddling was delayed from April to July. The number was lower in highly moist soils during the 10-day period before puddling than in the previous case. The number of *M. vaginalis* weeds was almost constant in paddy soils under different moisture conditions from April to puddling. The number of *R. indica* var. *uliginosa* decreased in paddy soils under different moisture conditions from April to puddling. Weed emergence patterns and depth were similar in paddy soils under different moisture conditions from April to puddling.

3. A germination promoter for *M. vaginalis* was extracted from 100 g of unhulled rice or 20 g of rice hulls with 1,000 ml distilled water at 5°C during 48 hours. Thereafter, water was filtered and diluted 2-fold with distilled water and used for 0.5% agar culture media in plant boxes, in which *M. vaginalis* seeds were sown at 1 mm. Distilled water was used for 0.5% agar culture media in boxes as untreated controls.

M. vaginalis seeds germinated well at incubation between 20 and 25°C in agar media of the water extract of unhulled rice. Seminal roots were a maximum length at 30°C incubation in agar media. Seed germination of *M. vaginalis* was great in agar media of the water extract of unhulled rice diluted 2 or 4 times (by volume) and in agar media of the water extract of rice hull diluted 2 times.

Seed germination and seminal root and cotyledon length of *M. vaginalis* were determined after seeds were cultured in agar media consisting of the water extract of unhulled rice of 43 rice cultivars, including japonica and indica types at 30°C (light) - 25°C (dark) during 7 days. The germination rate of *M. vaginalis* seeds in agar media of untreated controls was 13.3%, while that in agar media of the water extract of unhulled rice of all cultivars ranged from 78.3% to 96.7%. Seminal roots of *M. vaginalis* seedlings were longer in agar media of the water extract of unhulled rice of all cultivars except for 3, compared to media of untreated controls. Cotyledons of *M. vaginalis* seedlings grew longer in agar media of the water extract of unhulled rice cultivars than in media of untreated controls.

4. Susceptibility of *M. vaginalis* to bensulfuron-methyl was investigated in strains collected from 15 paddy fields in Akita, Ibaraki, and Gifu Prefectures in eastern Japan, where the species grows profusely. Susceptibility was assayed based on the effect of the application of bensulfuron-methyl on the seminal root length in agar media. *M. vaginalis* seedlings raised from seeds collected from a paddy field in Kyowa, Akita Prefecture, and from 3 paddy fields in Miho, Ibaraki Prefecture, were found to be resistant to bensulfuron-methyl, where combination products of sulfonylurea herbicides had been applied for more than 3 consecutive years. However, the resistant biotype of *M. vaginalis* was controlled by mefenacet and pretilachlor in the agar culture medium test. The biotype of *M. vaginalis* resistant to bensulfuron-methyl displayed cross-resistance to other sulfonylurea herbicides in pot experiments. A combination of sulfonylurea herbicides including mefenacet, pretilachlor or benthicarb, and pyrazolate controlled the sulfonylurea-resistant biotype of *M. vaginalis* effectively when herbicides were applied at the one-leaf stage in pot experiments.

5. Field experiments involving 8 cultivars were conducted in 1998 and 16 cultivars in 1999 to study the ability of rice to suppress *M. vaginalis* through light competition. Dry weights of *M. vaginalis* shoots in early season culture exceeded those in normal season culture of all rice cultivars. The relative photosynthetic photon flux density (R-PPFD), calculated as the ratio of the photosynthetic photon flux density (PPFD) below the rice canopy to that measured above the rice canopy, varied with the cultivar. A strong linear correlation was observed between the mean R-PPFD 29-35 days after transplanting (DAT) ($r^2=0.80$; $p<0.01$ in 1998; $r^2=0.63$, $p<0.001$; and $r^2=0.93$, $p<0.001$ in 1999), or 36-42 DAT ($r^2=0.66$, $p<0.05$ in 1998; $r^2=0.72$, $p<0.001$; and $r^2=0.97$, $p<0.001$ in 1999), and the dry weight of *M. vaginalis* shoots at roughly 60 DAT. Data from the 3 experiments was pooled into 1 regression line because intercepts and regression coefficients did not differ significantly. r^2 of combined regression was highest when R-PPFD was expressed as the mean of measurements during 14 days (from 29 to 42 DAT; $r^2=0.81$, $p<0.001$). The shortest period for measuring mean R-PPFD to obtain a meaningful relationship with *M. vaginalis* shoot dry weight was 7 days (from 29 to 35 DAT; $r^2=0.78$, $p<0.001$). For that same period, relationships between *M. vaginalis* shoot dry weight at 60 DAT and the rice tiller number or leaf area index (LAI) at ground level were weak. We found a negative relationship between *M. vaginalis* shoot dry weights at 60 DAT

耐病虫性に優れた「IR 26」, 「IR 36」なども育成され、広く普及されてきた。しかし、これらの改良品種は、受光態勢がよく短程で、イネ群落内のR-PPFDは高い数値で推移するため雑草抑制力は小さい。しかし、近年、東南アジア、アフリカ、南アメリカでは、イネによる雑草抑制効果を活用した除草剤低投入型雑草制御技術の開発が試みられている^{(9)・(12)・(14)・(20)・(33)}。そこで検討されている品種は、*O. glaberrima*の遺伝子を導入した強稈で草丈の大きい品種、在来種の遺伝子を導入した分けつの多い品種、ハイブリッド品種による草丈が大きく、分けつが多い品種などである。

日本では、1950年に除草剤が実用化されて以後、雑草の防除はほぼ除草剤に依存していたため、イネの育種目標に雑草抑制力が挙げられることはなかった。しかし、今後は、日本においても育種目標として、耐病虫性など同様に雑草抑制力についても取り組む必要があると考える。本研究で得られた結果から、移植約1カ月後の群落内のR-PPFDを30%以下にする品種は、コナギに対する抑制力が強い品種であった。R-PPFDが30%のイネ群落は、その時点

ではまだ過繁茂の状態ではなく、その後に受光態勢がよくなる生育パターンを示す品種の開発が望まれる。今後、雑草抑制力の優れたイネ品種を開発し得るならば、それらは現在日本国内で普及している品種に比べて雑草の要防除期間が短くなり、除草剤の使用量(処理量)を低減することは十分に可能であろう。雑草の種子生産を抑制するためには、イネの雑草抑制効果と除草剤による化学的制御を組み合わせた雑草制御技術が今後ともに必要と思われるが、こうした技術は、除草剤に過度に依存しない、総合的雑草制御技術のひとつとして大いに期待できると考える。また、水田の荒廃化を防ぎ、水田の環境保全機能を維持できる転作作物として近年注目されている粗飼料用イネ栽培では、食用イネ以上の省力・低コスト化が必要であり、イネ茎葉部を家畜が摂取することから、農薬の使用は極力避けなければならない。そのためには、雑草についても除草剤によらない制御技術の確立が望まれている。本研究で得られた知見は、粗飼料用イネ栽培における環境保全型の雑草制御技術の確立にも貢献するものと考えられる⁽⁵¹⁾。

VI 摘 要

日本の水稲作における雑草防除は、現在、除草剤による化学的手段が主流となっている。しかし一年生広葉雑草は、長い種子の寿命、水稲の栽培管理法あるいは年次的な気象条件の相違等による雑草発生の大きな変動、除草剤抵抗性生物型の出現などによって、除草剤による制御効果変動するため、連年の除草剤使用でも十分な制御が困難な現状にある。また、イネの形態的特性による雑草抑制効果を活用した制御技術は、除草剤に過度に依存しない環境保全型の農業生産に貢献することが期待されている。そこで本研究は、一年生広葉雑草を中心として、雑草発生の変動要因と除草剤抵抗性生物型の発生実態とともに、イネの形態的特性による雑草抑制効果を明らかにすることを目的として行った。

の発生本数は増加した。ヒメミソハギおよびタマガヤツリは、6月以降も発生本数は増加したが、コナギ、アゼナ類、ミゾハコベおよびキカシグサは、7月になって発生本数が減少した。いずれの草種も、出芽深度が土壌表層の5.0mmまでに限られていたが、例外的には7.0mmまでの深度からも発生した。タマガヤツリの出芽深度は他の草種よりも深く、5.0~7.0mmの土層からも多く発生した。発生本数が多かった6月および7月代かき区では、3.0mmまでの土壌表層からの発生本数が多かったが、3.0mmより深い層からの発生本数については、代かき時期による差異は認められなかった。また、最大出芽深度も、代かき時期によって大きく変化しなかった。

1. 水田における数種の一年生広葉雑草およびタマガヤツリについて、代かき時期別に発生本数、発生消長および出芽深度を調査した。4月から6月までの期間では、代かき時期が遅くなるほど雑草

2. 前項の一年生広葉雑草およびタマガヤツリを対象雑草として、代かき時期および代かき前の土壌水分状態の違いが各雑草の発生本数、発生消長および出芽深度に及ぼす影響を調査した。4月上旬

から代かきまで乾燥状態にした区(乾燥区)では、代かき時期が4月から7月へと遅くなるにしたがって、コナギおよびキカシグサを除く調査雑草の発生本数は増加した。4月上旬から代かきまで湿润状態にした区(湿润A区)では、これら雑草の発生本数は代かき時期にかかわらず一定であった。4月上旬から代かき10日前まで乾燥状態に保ち、その後代かきまで湿润状態にした区(湿润B区)では、これら雑草の発生本数は乾燥区より少なかった。コナギの発生本数は、代かき時期や代かき前の土壤水分状態の違いによる影響を受けず、一定であり、キカシグサの発生本数は、湿润A、B区では、上記雑草と同様の傾向を示したが、乾燥区では代かき時期が遅くなるにしたがって減少する傾向を示した。水田土壤から発生した草種、発生消長および出芽深度については、代かき前の土壤水分状態の違いによる影響は認められなかった。

3. コナギの除草剤抵抗性を検定する方法として、新たなコナギの培養法の開発を試みた。イネ粃100gあるいは粃殻20gを1000mlの蒸留水に5℃暗条件下で約48時間浸漬して得られたろ液に等量の蒸留水を加え、この希釈液を用いて、0.5%の寒天培地を作成した。次いで寒天培地表面から約1mmの深さにコナギ種子を置床し、培養した。コナギ種子の発芽率は、20~25℃で最も高く93.3%となり、種子根長は30℃で最も長くなった。コナギの種子発芽および幼植物の成長に対する促進効果は、粃だけでなく粃殻の水抽出液でもみられ、粃殻の水抽出液を用いた寒天培地でもコナギの培養が可能であった。

次に本培養法を適用して、日本型およびインド型イネの計43品種の粃の水抽出液を用いた寒天培地を作成し、コナギの置床7日後の成長を比較調査した。イネ粃の水抽出液無添加の寒天培地ではコナギの発芽率は13.3%であったが、イネ粃の水抽出液を添加した寒天培地ではコナギの発芽率は78.3%~96.7%であった。コナギの種子根と子葉の伸長は、一部のイネ品種を除き粃の水抽出液を添加した寒天培地では促進された。これらの促進効果は、イネ品種間で差異が認められた。これらの結果から、本培養法はコナギを用いた生物検定

法として有効であった。

4. 近年、除草剤抵抗性生物型の水田雑草が各地で出現し、問題化している。そこで前項のコナギの培養法を用いて、スルホニルウレア系除草剤であるベンスルフロンメチルに対する抵抗性の検定を行い、秋田県、茨城県および岐阜県の15カ所のコナギが大量に残存している現地水田における発生実態を調査した。

その結果、秋田県協和町の水田および茨城県美浦村土浦および茨城県美浦村根火の水田から採取したコナギは、ベンスルフロンメチルに対して高い抵抗性を示した。ベンスルフロンメチル抵抗性生物型コナギが生育していた水田では、ベンスルフロンメチルを含むスルホニルウレア系除草剤が3年以上連用されていた。ベンスルフロンメチル抵抗性生物型のコナギは、メフェナセットおよびプレチラクロールに対しては感受性であり、種子根長は抑制された。ポット試験の結果、協和町産および美浦村土浦産の抵抗性生物型コナギは、ベンスルフロンメチル以外のスルホニルウレア系除草剤に対しても抵抗性を示したが、メフェナセット、プレチラクロールあるいはベンチオカーブを含むスルホニルウレア系混合除草剤およびピラゾレートのコナギ1葉期処理により、完全に防除された。

5. イネのコナギに対する生育抑制力を評価する指標となるイネの形態的特性あるいはイネ群落の特徴を明らかにするために、1998年および1999年に8あるいは16品種を用いて作期を変えた圃場試験を行った。イネ移植約60日後におけるイネ群落内のコナギの乾物重は、イネ品種により大きく異なり、また早植栽培より普通期栽培でより大きく抑制された。イネ移植約60日後のコナギの乾物重は、移植29日から35日後あるいは移植36日から42日後の間の群落内地上20cmの相対光合成光量子束密度(群落外の光合成光量子束密度を100としたときの値)の平均値との間に有意な正の相関関係があった。得られた回帰式は早植あるいは普通期栽培の3回の試験間で有意差がなく、ひとつの回帰式に併合することができ、3試験ともに移植29日から42日後の間の14日間の平均値とすることで、決定係数が最も高い回帰式が得られ、さらに移植

29日から35日後の間の7日間まで短縮してもひとつの回帰式に併合でき、かつ決定係数は十分に高かった。同時期に測定したイネの茎数とコナギの乾物重との間に有意な相関関係は認められなかったが、イネの草丈、地上20cm以上の部位のLAIおよび乾物重とコナギの乾物重との間には有意な相関関係が認められた。しかし、得られた回帰式の決定係数は、相対光合成光量子束密度との間のものより小さかった。これらのことから、移植約1カ月後にイネ群落内の相対光合成光量子束密度を約7日間測定することは、イネのコナギに対す

る生育抑制力の評価に有効であることが明らかになった。

6. 以上、本研究では、水田における一年生広葉雑草の発生生態のほか、近年問題となっているコナギの除草剤抵抗性生物型出現の実態を明らかにするとともに、イネの形態的特性によるそれら雑草の抑制効果についての基礎知見を得ることができた。これらの成果は、今後の環境保全型の水田雑草制御技術の発展に大きく寄与するものである。

引用文献

1. Bouwmeester, H.J. and C.M.Karssen (1989) Environmental factors influencing the expression of dormancy patterns in weed seeds. *Ann. Bot.*, 63(1), 113-120
2. Breen, J.L., J.E.Hill and T.Kusanagi (1999) Tiller density determines competitive outcome between water-seeded rice (*Oryza sativa* L.) and *Monochoria vaginalis* var. *vaginalis*. *J. Weed Sci. Tech.*, 44(3), 180-188
3. Buhler, D.D. and T.Mester (1991) Effect of tillage systems on the emergence depth of giant foxtail (*Setaria faberi*) and green foxtail (*Setaria viridis*). *Weed Sci.*, 39, 200-203
4. Chen, P.H. and W.H.J.Kuo (1999) Seasonal changes in the germination of buried seeds of *Monochoria vaginalis*. *Weed Res.*, 39(2), 107-115
5. 千坂英雄 (1966) 水稻と雑草の競争. 雑草研究, 5, 16-22
6. 千坂英雄・古谷勝司・片岡孝義 (1977) 水田雑草種子の休眠の季節的推移. 雑草研究, 22(別), 97-99
7. 千坂英雄・伊藤一幸・児嶋清・古谷勝司・片岡孝義・宮原益次 (1985) 数種水田雑草の埋土種子の寿命. 雑草研究, 30(別), 133-134
8. 千坂英雄・片岡孝義 (1977) 水田一年生雑草種子の休眠・発芽・出芽の特性. 雑草研究, 22(別), 94-96
9. Dingkuhn, M., M.P.Jones, D.E.Johnson, B.Fofana and A.Sow (1995) Towards new high-yielding, weed-competitive rice plant types drawing from *Oryza sativa* and *O. glaberrima* genopools. *WARDA Ann.Rep.*1995, 27-35
10. Fischer, A.J., M.Chatel, H.V.Ramirez, J.Lozano and E.Guimaraes (1995) Components of early competition between upland rice (*Oryza sativa*) and *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich) Stapf. *Int. J. Pest Man.*, 41, 100-103
11. Fischer, A.J., H.V.Ramirez, K.D.Gibson and B.D.S.Pinheiro (2001) Competitiveness of semidwarf upland rice cultivars against palisadegrass (*Brachiaria brizantha*) and signalgrass (*B. decumbens*). *Agron. J.*, 93, 967-973
12. Fischer, A.J., H.V.Ramirez and J.Lozano (1997) Suppression of junglerice [*Echinochloa colona* (L.) Link] by irrigated rice cultivars in Latin America. *Agron. J.*, 89, 516-521
13. Foes, M.J., L.Liu, P.J.Tranel, L.M.Wax and E.W.Stoller (1998) A biotype of common waterhemp (*Amaranthus rudis*) resistant to triazine and ALS herbicides. *Weed Sci.*, 46, 514-520
14. Fofana, B. and R.Rauber (2000) Weed suppression ability of upland rice under low-input conditions in West Africa. *Weed Res.*, 40(3), 271-280
15. 藤井義晴 (1994) アレロパシー検定法の確立とムクナに含まれる作用物質L-DOPAの機能. 農環

and rice LAI measured 20 cm above the ground, plant heights, and rice shoot dry weight, but these coefficients of determination were smaller than those calculated by R-PPFD for the same period. Thus, the ability of rice to suppress *M. vaginalis* is evaluated most accurately by measuring mean R-PPFD below the rice canopy for 7 days (from 29 to 35 DAT) than by measuring rice LAI, plant height, or shoot dry weight.

6 . Our results should help improve paddy weed management for sustainable agriculture in Japan.