

## 第2章 水耕および土耕法におけるプレチラクロールのイネ生育抑制作用に対するダイムロンおよびフェンクロリムの軽減効果

### 2-1 はじめに

プレチラクロールは、移植イネ(*Oryza sativa* L.)とタイヌビエ(*Echinochloa oryzicola* Vasing.)間で、高い選択性を示す除草剤である(Murakami & Ebner 1983; Murakami 1990)。通常の土壌条件下では、移動性が比較的小さく、土壌表層 1 cm 以内に吸着されていわゆる「処理層」を形成する。通常の水田では、イネは 2 ~ 3 cm の深さに移植されるので、イネの除草剤吸収部位である茎葉基部および根部が処理層と接触しないために生育抑制はほとんど起こらない(Murakami 1990; Kobayashi *et al.* 1999a)。しかし、プレチラクロールは漏水の大きい条件(Murakami 1990)や上層の固相密度が小さい土壌(山口と福島 1997a、1997b; Kobayashi *et al.* 1999a)では移動性が大きくなり、吸収部位との接触によりイネの生育を抑制することがある。一方で、プレチラクロールの生育抑制作用は、水耕法の場合にダイムロン(Ogasawara *et al.* 1991; Deng *et al.* 2001)およびフェンクロリム(Christ 1985; Deng *et al.* 1995; Deng & Hatzios 2002)との混合処理により、減少することが報告されている。

水耕法において、プレチラクロールはイネ体内でグルタチオン-S-トランスフェラーゼ(GST)の働きによってグルタチオン抱合体を形成し解毒化される(Shim *et al.* 1990a; Han & Hatzios 1991; 鄧ら 1995; 1996, Deng *et al.* 1997; Deng & Hatzios 2002)。薬害軽減剤フェンクロリムはプレチラクロール-グルタチオン抱合体の生成を促進し、プレチラクロールによるイネの生育抑制を軽減する(Shim *et al.* 1990a; Han & Hatzios 1991; 鄧ら 1995, 1996; Deng *et al.* 1997; Deng & Hatzios 2002)。しかし、ダイムロンによる軽減効果では、GST が主要な役割を果たさず、他の可能性が報告された(Deng *et al.* 2001)。

一方で、圃場およびポット試験において、ダイムロンやフェンクロリムなどの薬害軽減剤は、プレチラクロールに限らず、各種除草剤による移植イネの生育抑制に対して軽減効果を発現することが知られている(Quadranti *et al.* 1983; Rufener *et al.* 1983; Burhan *et al.* 1985; 神崎ら 1993; Kim *et al.* 1993; 佃ら 2000)。また、種子処理の例であるが、実際の水田でフェンクロリムはプレチラクロールと混合処理した場合に、イネに対してプレチラクロールの生育抑制を軽減する効果が明らかにされている(Quadranti *et al.* 1983; Rufener *et al.* 1983; Burhan *et al.* 1985)。土壌中における除草剤の生育抑制作用は、土壌中の全存在量でなく、土壌水中濃度に依存し(Kobayashi 1996, 1999; 小林 2002)、土壌水中の除草剤の濃度は、主として吸着・脱着、分解等によって支配されることが明らかにされている(Kobayashi *et al.* 1994; Kobayashi *et al.* 1996; Kobayashi 1996, 1999; 小林 2002)。土壌中におけるイネに対するプレチラクロールの生育抑制作用も、主として土壌水中濃度に依存し、また処理層中の土壌水中に存在するプレチラクロールとイネの吸収部位(茎葉基部および根部)との接触により発現することが明らかにされた(Kobayashi *et al.* 1999a)。さらに、水田では田面水に薬剤を施用するため、薬剤の挙動は土壌吸着だけでなく水の移動によっても支配され、ダイムロンに関しては土壌中では吸着が高く移動性が小さいという報告(山田 1985; 吉田と中野 2000)が知られている。しかし、プレチラクロールによるイネの生育抑制軽減効果と関連した報告はなく、また、フェンクロリムに関しては土壌中の挙動の報告は全くない。

以上の観点を踏まえて、本章では、一般に移植イネとして用いられている 2 葉期イネにおけるプレチラクロールの生育抑制作用に対するダイムロンおよびフェンクロリムの軽減効果について述べる。本章 2-2 ではそれらの軽減効果の基礎的な作用性を確認するために、吸着などの要因を含まない水耕法の場合について検討した。本章 2-3 で、減水のない条件で混和処理における軽減効果に

ついて、土性の異なる 2 種類の土壌を用いて土壌間差異を、さらに、ダイムロンとフェンクロリムの薬剤間差異についても検討した。また、以上の結果を踏まえた上で、本章 2-4 では、実際の水田を想定した減水条件下での湛水処理における軽減効果について、移植深度の差異との関係を検討した。

## 2-2 水耕法におけるプレチラクロールのイネ生育抑制作用に対するダイムロンおよびフェンクロリムの軽減効果

### 1) 材料および方法

供試植物として、明期 25°C-14h および暗期 20°C-10h(Kobayashi *et al.* 1999a)、光強度約 506  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$  のグロースチャンバー内で、水耕液中で生育させた 2 葉期のイネ(*Oryza sativa* L. : 品種、日本晴)を用いた。プレチラクロール(純度 96.4%)、ダイムロン(同 99.3%)およびフェンクロリム(同 98.6%)の原体を、供試薬剤として用いた。

100 ml の瓶に 0.5% アセトンと 0.1% Tween20 を含んだ所定濃度のプレチラクロール、ダイムロンまたはフェンクロリムとプレチラクロールの各剤がそれぞれ入った修正春日井水耕液(Table 2-1)中にイネを移植し、茎葉基部と根部を処理液に浸漬した。処理後、上記の条件に設定したグロースチャンバー内で、茎葉基部および根部を継続して薬液に浸漬させて、6 日間生育させた。

Murakami(1990)は、プレチラクロールの生育抑制作用を調べるために茎葉部を測定部位に用いたが、本研究では予備実験で根部に対するプレチラクロールの活性が茎葉部に比べて高いことを確認したので、生育抑制作用の指標としてイネの根部新鮮重を測定した。ダイムロンおよびフェンクロリムの軽減効果に関しても、根部を指標として用いた。

イネ根部新鮮重は、生育試験の最終日に測定された根部新鮮重の値から処理

時の値を引き、さらに移植本数(3本)で割ることにより算出した。実験は3連で行った。

## 2) 結果および考察

水耕法における結果を Fig. 2-1 に示す。プレチラクロールを 0.3~3.0 nmol/ml の範囲で処理した場合のイネ根部に対するプレチラクロールの単独処理による生育抑制は、処理濃度に依存して増加し、1.0、3.0 nmol/ml ではそれぞれ対照区の約 46、55 %であった(Figs. 2-1(b)~(d))。一方、ダイムロンまたはフェンクロリムを 1.0~3.0 nmol/ml の範囲で単独処理した場合は、イネに対する生育抑制は、プレチラクロール単独処理に比べ非常に小さかった(Fig. 2-1(a))。プレチラクロールの生育阻害は沈(1990)、鄧(1995)ならびに長尾(1997)の報告と比較して、大きかったが、これらの研究では 24 時間あるいは 3 日間の浸漬後、薬剤を含まない水耕液で生育させる方法(鄧 1995; 長尾 1997)をとっているのに対して、本研究では次節で述べる土耕法での生育試験との比較という観点から、6 日間処理液に継続浸漬したために、抑制が大きく現われたものと思われる。

プレチラクロールの生育抑制作用は、ダイムロンまたはフェンクロリムと共に処理すると軽減されることが示され、Deng *et al.* (1995、2001)の先行研究を確認した。ダイムロンおよびフェンクロリムのプレチラクロールによるイネの生育抑制作用に対する軽減効果は、これらの薬剤の処理濃度が高まるにつれてより顕著になった(Figs. 2-1(b)~(d))。例えば、プレチラクロールの 1.0 nmol/ml 処理において、プレチラクロール単独処理の場合に生育抑制が 46 %であったものが、ダイムロンあるいはフェンクロリムの添加によりそれが 25 %に回復したように、プレチラクロール単独処理による抑制が軽減剤の添加により、25 %の抑制になった場合の値(以後  $I_{25}$  と表わす)を示す軽減剤の濃度、すなわちフェンクロリムの場合、 $I_{25}$  は 1.6 nmol/ml であったのに対し、ダイムロンの場合は 2.4

nmol/ml であり、フェンクロリムで、ダイムロンに比べてやや大きな軽減効果が見られた。ここで示した  $I_{25}$  は、以下のようにして算出した。初めに、ダイムロンまたはフェンクロリムの処理濃度を  $x$  軸に、対照区に対するイネの生育比を  $y$  軸にとり、両者の関係を一次式で近似した(水耕法において、ダイムロンの場合： $y = 8.08x + 55.95$ ; フェンクロリムの場合： $y = 11.00x + 57.00$ )。イネの生育比が対照区の 75 %の生育(25 %生育抑制)を示す各軽減剤の濃度( $x$ )は、求めた近似式に  $y = 75$  を代入することにより決定した。この算出法による  $I_{25}$  の決定は、後述する土耕法でも同様の算出法で行った。なお、後述するように、竜ヶ崎土壌では、対照区と比較した生育抑制を 20%まで回復する軽減剤の濃度を、各データから直接求めることができるが、取手土壌では求めることができず、両者の比較を可能にするために  $I_{25}$  を指標とした。水耕法におけるプレチラクロールによるイネの生育抑制に対するフェンクロリムの顕著な軽減効果は GST 活性の増大によるプレチラクロールとグルタチオン抱合が促進されることによって発現すると報告されている(Shim *et al.* 1990a; Han & Hatzios 1991; Deng *et al.* 1995; 鄧ら 1995、1996; Deng *et al.* 1997; Deng & Hatzios 2002)が、ダイムロンの場合、GST 活性による代謝反応が主要因ではなく、むしろ、プレチラクロールの吸収抑制や酸化による代謝といった要因が考えられている(Deng *et al.* 2001)。SU 剤におけるダイムロンの軽減効果に関しては、CYP 活性(Shirakura *et al.* 1996; Yun *et al.* 1999)や除草剤本体の吸収抑制(Omokawa *et al.* 1996)が関わっていることが示唆されており、プレチラクロールのイネ吸収後の作用発現にもこうした要因が関係していることが想定される。従って、ダイムロンおよびフェンクロリムのイネへの吸収およびその後の植物体内での移行性ないしはプレチラクロールの代謝に対する作用の相違が、両軽減剤間の軽減効果の差異の主な要因として考えられる。

### 2-3 土壌混和処理したプレチラクロールのイネ生育抑制作用に対するダイムロンおよびフェンクロリムの軽減効果

#### 1) 材料および方法

供試植物および供試薬剤は、本章 2-2 に準じた。供試土壌は、茨城県竜ヶ崎市の水田より採取した砂壤土(褐色低地土)および、茨城県取手市の水田より採取したシルト質埴土(灰色低地土)を室温で風乾したものをを用い(これらの土壌を以後各々「竜ヶ崎土壌」および「取手土壌」とする)、それらの理化学的性質を Table 2-2 に示す。

本章 2-2 と同様に所定濃度に調節した薬液 500 ml(アセトン 1.0 %ならびに Tween20 0.1%含む)と竜ヶ崎または取手土壌 200 g をビーカー内に入れてよく混和した。混和土壌は数時間静置して上澄みを除去した。土壌は底に穴のついたポリエチレンポット(直径 3.1 cm、高さ 9.2 cm、容量 75 ml)に風乾土約 60 g 相当を分けて入れ、1 時間静置後上澄みを除去し、さらに 1 日静置することにより重力水を除去し、最大容水量に調整した(Kobayashi *et al.* 1996)。この土壌を以後「処理土壌」と呼ぶ。

本章 2-2 と同様の条件で生育させた 2 葉期のイネは、茎葉基部および根部が処理土壌と接触するように 1 cm の深さで 3 本を移植し、6 日間グロースチャンバー内で、本章 2-2 と同様の条件で生育させた。生育試験期間中は給水を行わず、イネを移植したポットに透明のポリエチレン袋をかぶせることにより土壌からの水分の蒸発を防いだ。

処理 6 日後にイネの根部新鮮重を測定、算出方法は本章 2-2 に準じた。実験は各処理区、各土壌とも 3 連で行った。

#### 2) 結果および考察

竜ヶ崎および取手土壌におけるプレチラクロールのイネ生育抑制作用に対するダイムロンとフェンクロリムの軽減効果を Fig. 2-2 および Fig. 2-3 に示す。イネ根部におけるプレチラクロールの生育抑制は、処理濃度の増加とともに大きくなった。同一処理濃度のプレチラクロールによる生育抑制は、水耕法と比較すると竜ヶ崎(Figs. 2-2(b)~(d))ならびに取手土壌(Figs. 2-3(b)~(d))のいずれにおいても低下した。処理濃度が 2.5、5.0、10.0 nmol/ml の場合、竜ヶ崎土壌ではそれぞれ対照区の約 36、42、50 %、取手土壌ではそれぞれ対照区の約 30、38、45 %の生育抑制であり、取手土壌に比べて竜ヶ崎土壌における抑制がやや大きかった。なお、ダイムロンまたはフェンクロリムを単独で処理した場合(Figs. 2-2(a)および 2-3(a))には、生育抑制がほとんど発現しなかった。

これらの軽減剤をプレチラクロールと混合処理すると、いずれの場合にも、プレチラクロールの生育抑制作用に対するダイムロンとフェンクロリムの軽減効果が現われ、ダイムロンまたはフェンクロリムの処理濃度とともに顕著になった。土壌間では、取手土壌(Figs. 2-3(b)~(d))に比べて竜ヶ崎土壌(Figs. 2-2(b)~(d))で軽減効果が大きかった。プレチラクロール 5 nmol/ml 処理において、プレチラクロールによる生育抑制を 42 % (竜ヶ崎)、38 % (取手) から、25 % ( $I_{25}$ ) まで回復する値を示すダイムロンおよびフェンクロリムの処理濃度(nmol/ml)を比較すると、土壌間では、ダイムロンでは竜ヶ崎土壌が 12、取手土壌が 13 となり、フェンクロリムはそれぞれ 31 および 52 となり、本章 2-2 の水耕法における軽減効果と比較すると、 $I_{25}$  は竜ヶ崎ではダイムロンで約 5 倍、フェンクロリムで約 19 倍、取手ではそれぞれ約 6 倍、約 32 倍大きくなった。さらに、薬剤間で比較した場合、フェンクロリムに比べてダイムロンの軽減効果が大きいことが認められ、両軽減剤間の軽減効果の大きさは水耕法と逆の結果となった。

以上の結果から、混和処理におけるプレチラクロールの生育抑制に対するダイムロンとフェンクロリムの軽減効果は、土壌間では取手土壌より竜ヶ崎土壌

で、薬剤間ではフェンクロリムよりダイムロンで軽減効果が大きいことが示された。これらの軽減効果の土壌間ないし薬剤間差異は、それぞれ両供試土壌の理化学的差異(Table 2-2)および両軽減剤の土壌中での異なる挙動(吸着ないしは分解の差)がそれぞれ関係していると推定される。土性の相違による殺草活性の変動は、竜ヶ崎土壌と谷和原土壌(軽埴土、黒ボク土)を用いたテニルクロール(Kobayashi *et al.* 1994; Onoe *et al.* 1995)およびメフェナセット(Kobayashi *et al.* 1996; Nakamura *et al.* 1996)等による研究でも確認されており、こうした土壌間差異は主として土壌吸着性の相違に起因することが明らかにされている(Kobayashi *et al.* 1994; Kobayashi *et al.* 1996)。一連の先行研究と土壌が異なるものの、本研究におけるダイムロンとフェンクロリムによる軽減効果の土壌間差も土性の相違と関係していることが考えられ、第3章以下で詳細に検討することにした。一方、実際の水田と比較すると、水田では薬剤は土壌吸着に加えて減水に伴う下方移動によって支配される。本章 2-3 では、減水要因を考慮していないので、減水条件を考慮したイネのプレチラクロール生育抑制作用に対するダイムロンとフェンクロリムの軽減効果について本章 2-4 で調べた。

#### 2-4 湛水処理したプレチラクロールのイネ生育抑制作用に対するダイムロンおよびフェンクロリムの軽減効果

##### 1) 材料および方法

供試植物、薬剤および土壌は本章 2-3 に準ずる。高さ 10 cm、直径 10.7 cm のポリ塩化ビニル製の横割式円筒型ポット(約 1/10000a、Fig. 2-4)に風乾した竜ヶ崎または取手土壌を入れ、全体を代かきして湛水状態に保ち水深を 1 cm に設定した。湛水 1 日後に 2 葉期のイネを茎葉基部が 0.5 または 2 cm の深さになるように 1 ポットあたり 3 本ずつ移植し、水耕法および土壌混和処理と同様の



条件で、グロースチャンパー内で生育させた。移植 1 日後にプレチラクロール 519 g-a.i./ha に相当するように調製されたプレチラクロール単独溶液 150 ml(10 nmol/ml ; アセトン 1.0%および Tween20 0.1%を含む)またはダイムロンが 447、1788 g-a.i./ha およびフェンクロリムが 375、1500 g-a.i./ha に相当するに調製されたプレチラクロールとダイムロンまたはフェンクロリムの混合溶液 150 ml(各々 10、40 nmol/ml ; アセトン 1.0 %および Tween20 0.1%を含む)を処理した。なお、プレチラクロールおよびダイムロンの慣行量は 300~600 g-a.i./ha であると言われている(Kobayashi *et al.* 1999; 佃ら 2000)ので、本研究でも、それにほぼ準じて処理した。薬剤処理後 6 日目にイネ根部の新鮮重を測定し、本章 2-3 に準じて算出した。また代かき後から新鮮重測定までの間、毎日 150 ml ずつ土壌表面を攪乱しないように水を加えて自然落水させ(減水 1.5 cm/日)、土壌中への浸透を行った。実験は各処理区、各土壌とも 3 連で行った。

## 2) 結果および考察

湛水処理による竜ヶ崎および取手土壌におけるプレチラクロールのイネ生育抑制作用に対するダイムロンとフェンクロリムの軽減効果を Fig. 2-5 および Fig. 2-6 に示す。

0.5 cm 移植時(Fig. 2-5)では、イネ根部におけるプレチラクロールの生育抑制作用は、処理濃度の増加とともに顕著になった(10 nmol/ml 処理の場合、竜ヶ崎土壌で対照区に対して約 42 %、取手土壌で約 37 %の生育抑制を示した)一方で、2 cm 移植時(Fig. 2-6)ではほとんど生育抑制を示さなかった。供試土壌が異なるが、この結果は Kobayashi *et al.* (1999a)の先行研究と同様に、減水条件下でのプレチラクロールによるイネの生育抑制が見られることを確認した。なお、ダイムロンおよびフェンクロリムを上記の処理量で単独で処理した時、0.5 cm および 2 cm のいずれの場合で、ほとんど抑制が見られなかった。

0.5 cm 移植の場合、プレチラクロールによる生育抑制は、ダイムロンおよびフェンクロリムと混合で処理することにより軽減されたが、取手土壌(Figs. 2-5(b)および(d))に比べて竜ヶ崎土壌(Figs. 2-5(a)および(c))で軽減効果が大きかった。プレチラクロールを 10.0 nmol/ml 処理した時における軽減効果を、処理濃度あたりの $I_{25}$ (前述のように生育抑制を 42 % (竜ヶ崎) および 37 % (取手) から 25 % まで回復した値)を軽減剤間で比較した場合、ダイムロンでは、竜ヶ崎土壌が 18 nmol/ml、取手土壌が 25 nmol/ml となり、フェンクロリムは各々 38 および 74 nmol/ml となり、いずれも水耕法と比較して両薬剤とも軽減効果は小さくなった。また、これらの値は混和処理の場合と類似していた。同一処理濃度で、薬剤間で比較した場合も、本章 2-3 の混和法と同様に、ダイムロンの軽減効果がフェンクロリムよりも大きかった。一方、移植深度が 2 cm の場合には、ダイムロンおよびフェンクロリムをプレチラクロールと混合処理しても、生育の回復はほとんど見られなかった(Figs. 2-6(b)および(d))。

以上より、減水条件において湛水処理したプレチラクロールによるイネ生育抑制作用に対するダイムロンとフェンクロリムの軽減効果は移植深度の差によって異なり、これはいわゆる「処理層」において薬剤の吸収部位である茎葉基部および根部との接触が重要であることを示していると考えられる。湛水処理におけるダイムロンおよびフェンクロリムの軽減効果の発現もイネの移植深度の差によって影響を受けることから、軽減効果の発現においても、吸収部位とダイムロンおよびフェンクロリムの接触が重要な要因となっているものと想定される。第 3 章では、土壌中におけるプレチラクロールの生育抑制作用に対するダイムロンとフェンクロリムの軽減効果の発現機構を明らかにするために、本実験で供試した 3 薬剤の土壌中における挙動ならびに存在形態について検討することとした。

## 2-5 要約

プレチラクロールのイネ生育抑制作用に対するダイムロンとフェンクロリムの軽減効果について、水耕法ならびに土耕法を用いて調べた。最初に、ダイムロンならびにフェンクロリムのイネに対する軽減効果の基本的な作用性を確認するために、土壌等の吸着要因を含まない水耕法の場合に関して検討した。次に、減水条件のない混和処理での軽減効果について、土性の異なる竜ヶ崎土壌と取手土壌を供試して、それらの土壌間差異について検討すると共に、ダイムロンとフェンクロリム間の差異についても検討した。さらに実際の水田を想定して、減水条件下での湛水処理での軽減効果については、土壌間・薬剤間の比較に加えて、軽減効果におよぼす移植深度の相違による影響についても検討した。これらの結果のまとめを以下に示す。

- 1.水耕法では、プレチラクロールのイネ根部に対する生育抑制作用は、濃度の増加と共に顕著になったが、ダイムロンおよびフェンクロリムを単独で処理した場合には、生育抑制作用はほとんど発現しなかった。
- 2.水耕法では、ダイムロンあるいはフェンクロリムをプレチラクロールと混合してイネに処理した場合には、それらの濃度増加と共に軽減効果が顕著になった。また、フェンクロリムがダイムロンに比べて軽減効果がやや大きかった。両剤の軽減効果の差は、植物体内におけるプレチラクロールの挙動の差異によるものと思われる。
- 3.土壌混和処理の場合にも、水耕法同様にプレチラクロールによる生育抑制作用に対するダイムロンとフェンクロリムによる軽減効果が発現した。プレチラクロールによる生育抑制は、竜ヶ崎土壌の方が取手土壌よりやや大きかったが、フェンクロリムとダイムロンの軽減効果もまた、取手土壌よりも竜ヶ崎土壌で大きかった。一方、水耕法とは逆にフェンクロリムの軽減効果はダイムロンよりも小さかった。これらの軽減効果の土壌間あるいは

は薬剤間差異は、両供試土壌の土性および薬剤間の土壌中での挙動の差異が主な要因であると考えられる。

4. 湛水処理におけるダイムロンおよびフェンクロリムの軽減効果は、0.5 cm 移植時では顕著に発現したのに対し、2 cm ではほとんど発現しなかった。これらの軽減効果にはイネの薬剤吸収部位(茎葉基部および根部)と土壌中の薬剤処理層との接触が関与して発現することが示唆された。

Table 2-1. Composition of the nutrient solution

Elements	Chemicals	Conc. (ppm)	Conc. (mg/l)
N	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	20	( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) 73.4
	$\text{NaNO}_3$	20	( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) 27.4
P	$\text{Na}_2\text{HPO} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	40	( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) 201.7
K	KCl	40	( $\text{K}_2\text{O}$ ) 64.2
Mg	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	10	(MgO) 61.1
Ca	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	40	(CaO) 105.0
Fe	EDTA-Fe	5	( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 26.41
Mn	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.5	(Mn) 1.809
B	$\text{H}_3\text{BO}_3$	0.05	(B) 0.286
Mo	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.05	(Mo) 0.092
Cu	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.02	(Cu) 0.0786
Zn	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.05	(Zn) 0.2187

Chemicals were dissolved in distilled water, and pH was adjusted to 5.5 ~ 6.0 with 1N HCl.

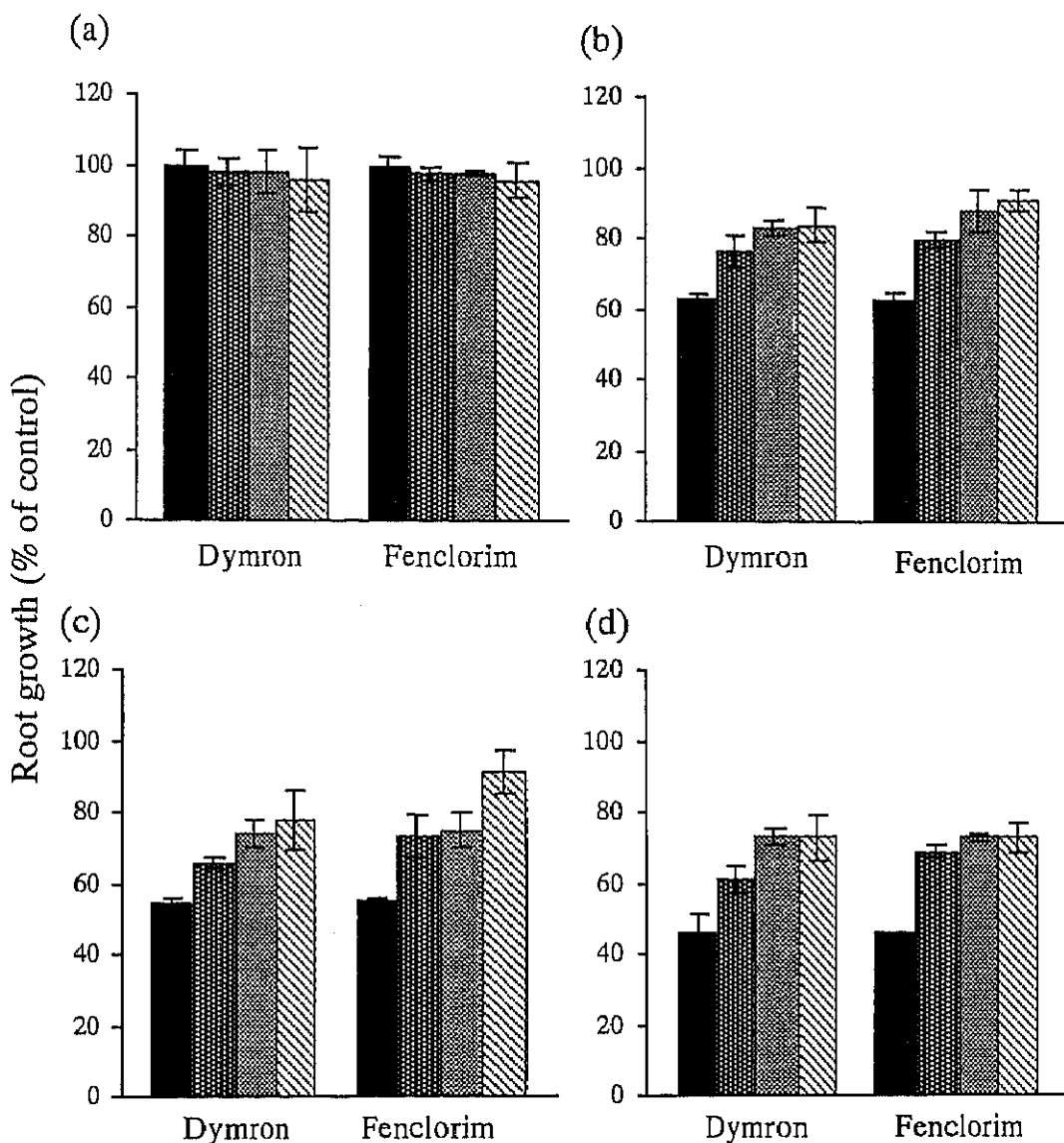


Fig. 2-1. Growth of rice in water culture applied with pretilachlor in combination with dymron or fenclorim. Values of root growth in fresh weight in the control were  $28.8 \pm 1.1$  mg in the case of dymron application and  $32.8 \pm 0.9$  mg in the case of fenclorim application. Vertical lines indicate standard error of the means.

Applied concentration of pretilachlor (nmol/ml)

(a) 0.0 (b) 0.3 (c) 1.0 (d) 3.0

Applied concentration of dymron or fenclorim (nmol/ml)

■ 0.0 ■ 1.0 ■ 2.0 ▨ 3.0

Table 2-2. Physical and chemical characteristics of Ryugasaki and Toride soils.

Soil	Soil texture	Soil group	Organic carbon (%)	CEC (cmol(+)/kg)	pH		Soil component(%)			Maximum water capacity (% of dry soil)
					(H <sub>2</sub> O)	(KCl)	Sand	Silt	Clay	
Ryugasaki	Sandy loam	Brown lowland soil	0.88	9.1	5.9	5.1	75.7	17.2	7.1	46.7
Toride	Silty clay	Gray lowland soil	2.00	21.9	6.3	5.6	20.8	45.1	34.1	60.1

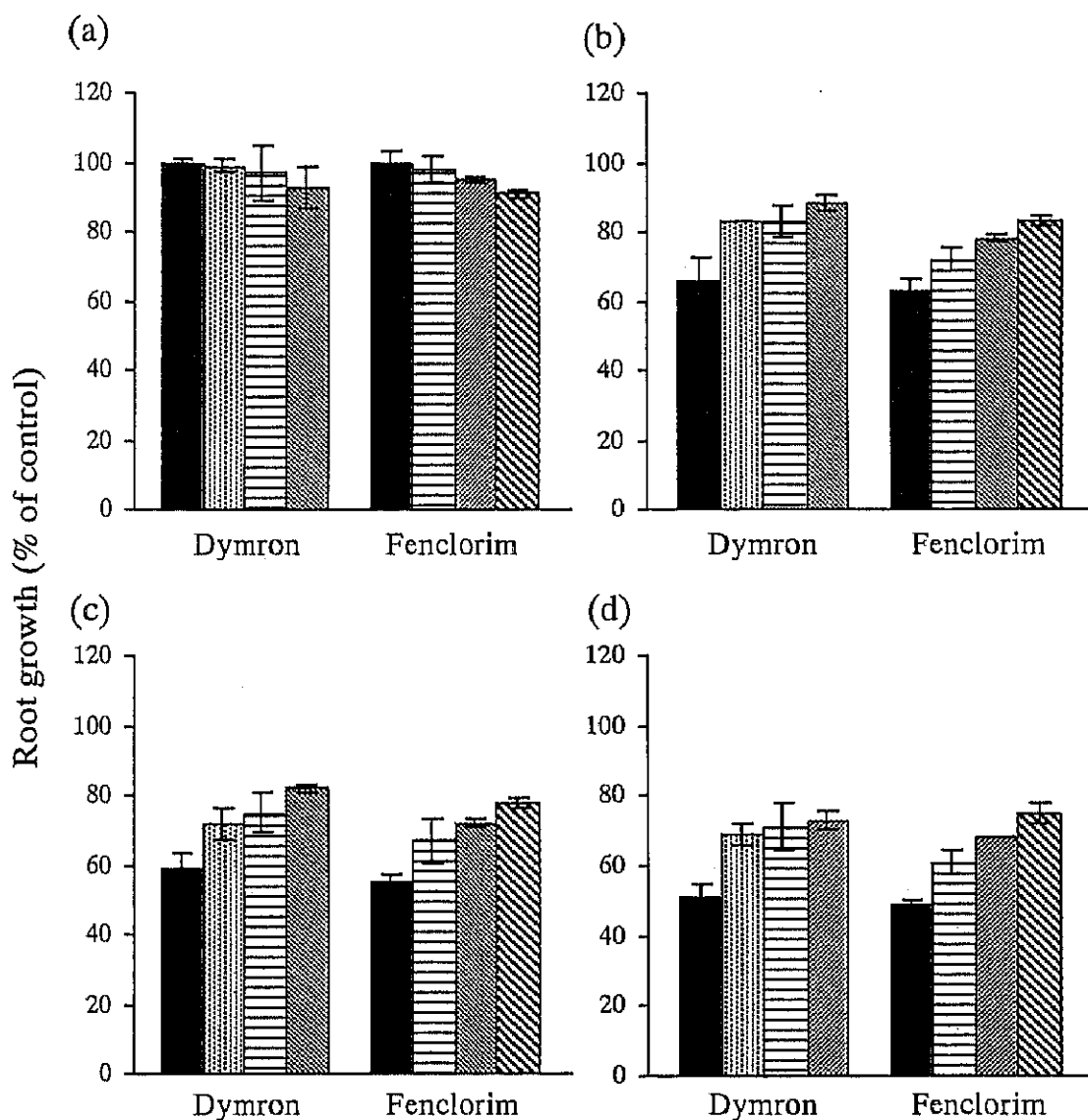


Fig. 2-2. Growth of rice in Ryugasaki soil applied with pretilachlor in combination with dymron or fenclorim. Values of root growth in fresh weight in the control were  $33.5 \pm 0.3$  mg in the case of dymron application and  $32.4 \pm 1.1$  mg in the case of fenclorim application. Vertical lines indicate standard error of the means.

Applied concentration of pretilachlor (nmol/ml)

(a) 0.0 (b) 2.5 (c) 5.0 (d) 10.0

Applied concentration of dymron or fenclorim (nmol/ml)

■ 0.0 ▨ 5.0 ▤ 10.0 ▥ 20.0 ▦ 40.0



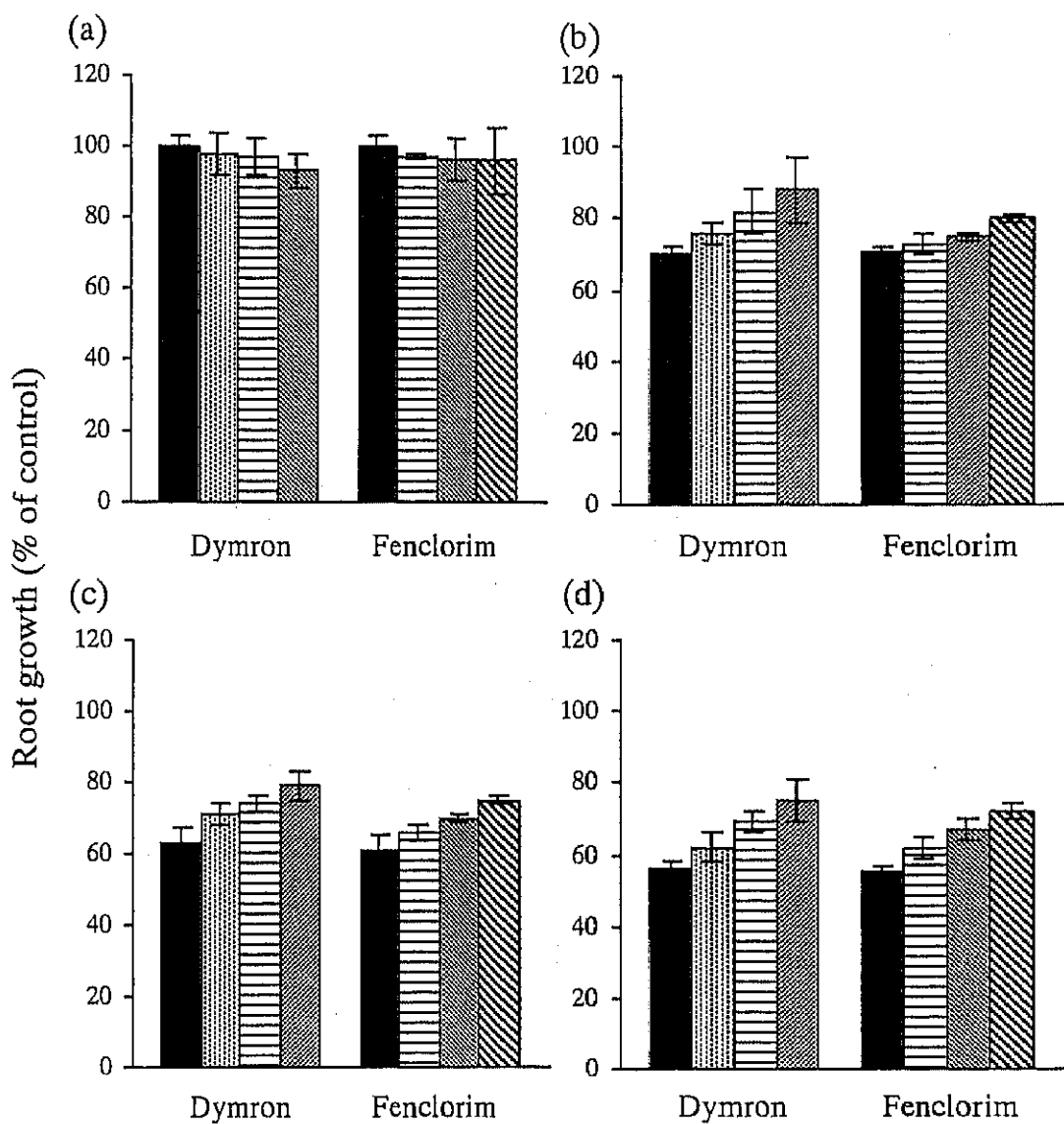


Fig. 2-3. Growth of rice in Toride soil applied with pretilachlor in combination with dymron or fenclorim. Values of root growth in fresh weight in the control were  $33.5 \pm 0.9$  mg in the case of dymron application and  $31.0 \pm 1.1$  mg in the case of fenclorim application. Vertical lines indicate standard error of the means.

Applied concentration of pretilachlor (nmol/ml)

(a) 0.0 (b) 2.5 (c) 5.0 (d) 10.0

Applied concentration of dymron or fenclorim (nmol/ml)

■ 0.0 ▨ 5.0 ▤ 10.0 ▧ 20.0 ▩ 40.0

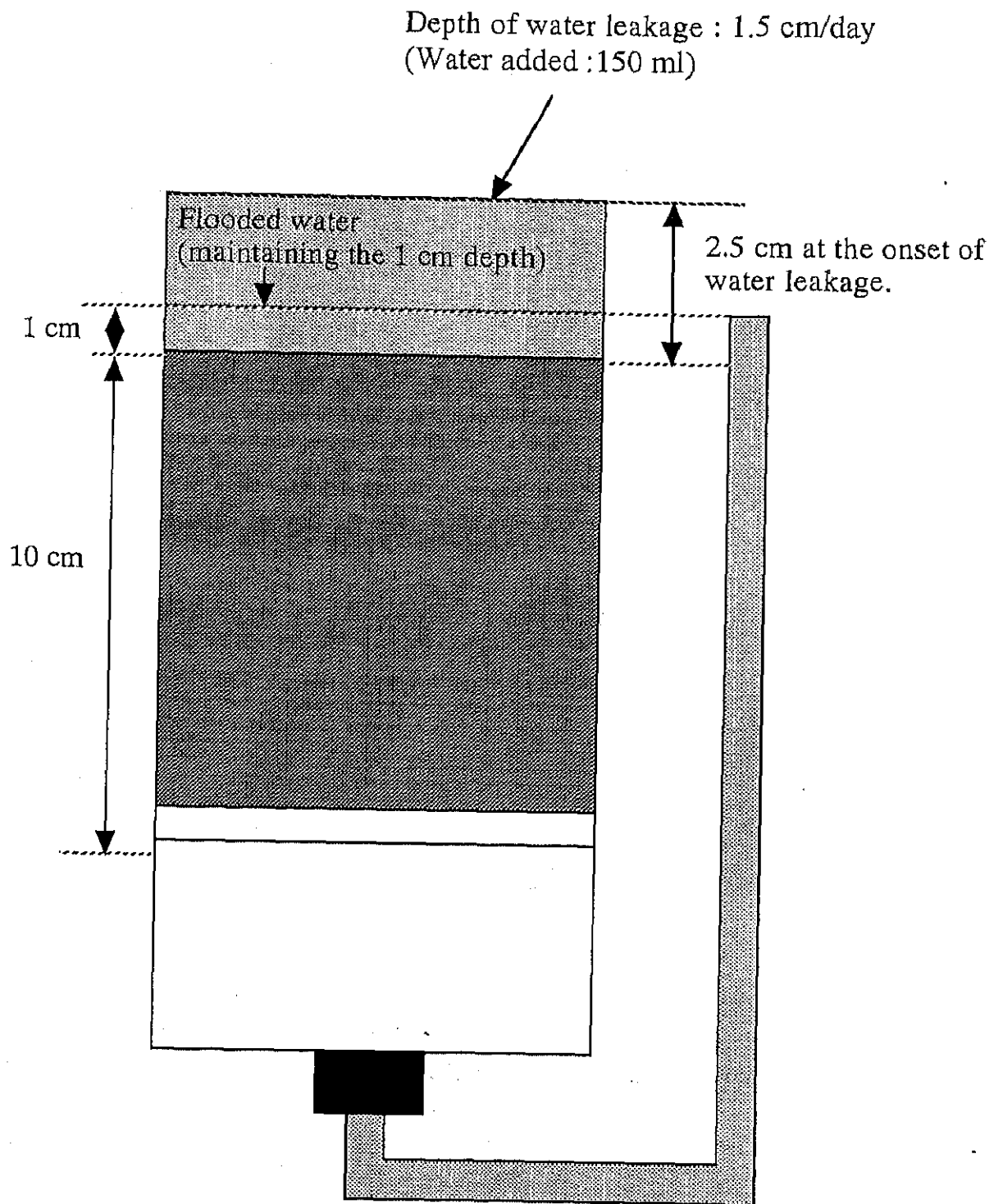


Fig. 2-4. Scheme for the method of soil-surface application of pretilachlor, dymron and fenclorim under water leakage condition.

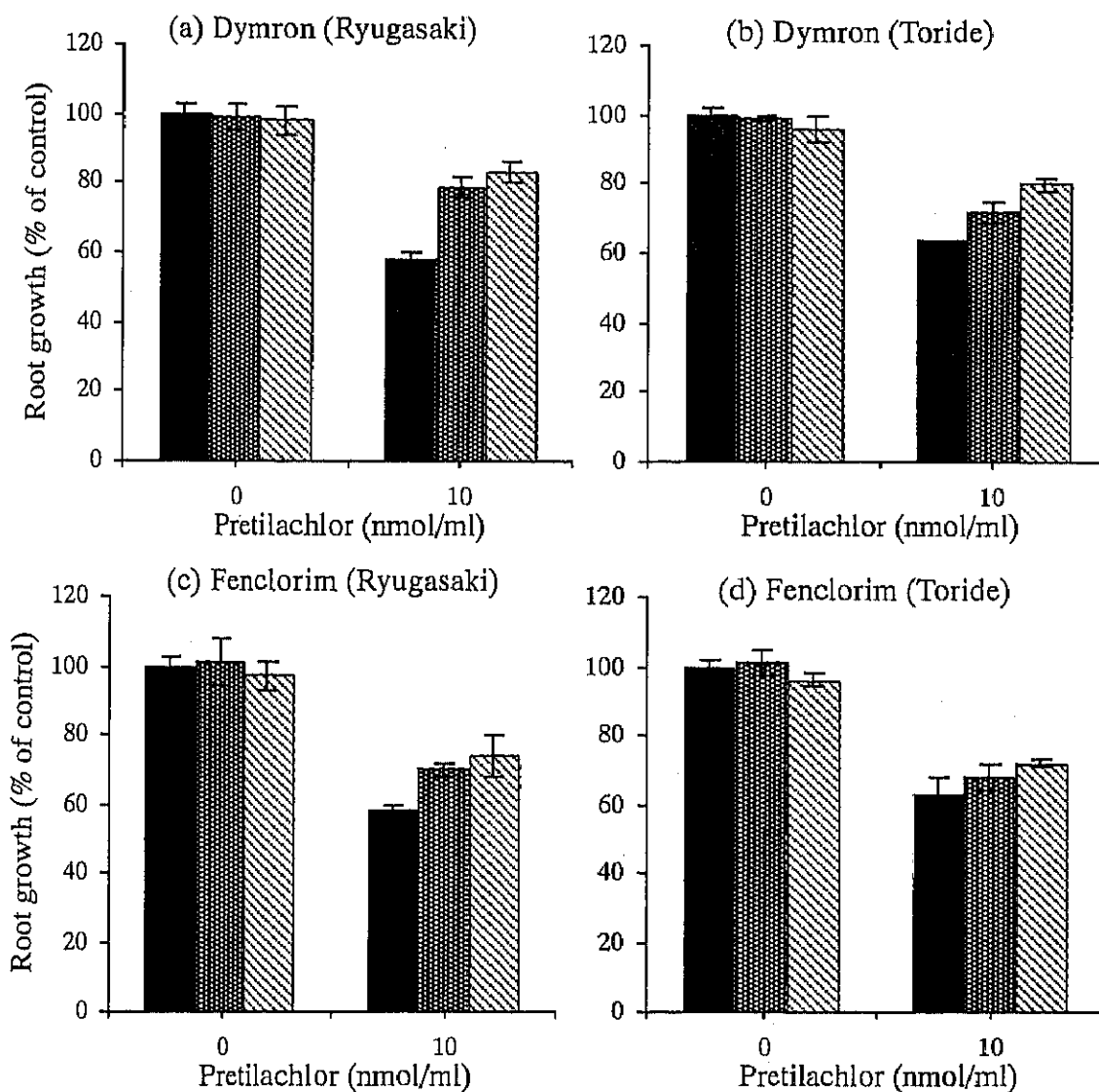


Fig. 2-5. Growth of rice applied pretilachlor in combination with dymron or fenclorim in the depth of 0.5 cm in soil surface application. Vertical lines indicate standard error of the means.

Values of root growth in fresh weight in the control (mg)  
 (a)  $80.1 \pm 2.4$ , (b)  $80.8 \pm 1.4$ , (c)  $78.4 \pm 2.4$ , (d)  $79.5 \pm 2.1$ .  
 Applied concentration of dymron or fenclorim (nmol/ml)  
 (■) 0, (▨) 10, (▧) 40.

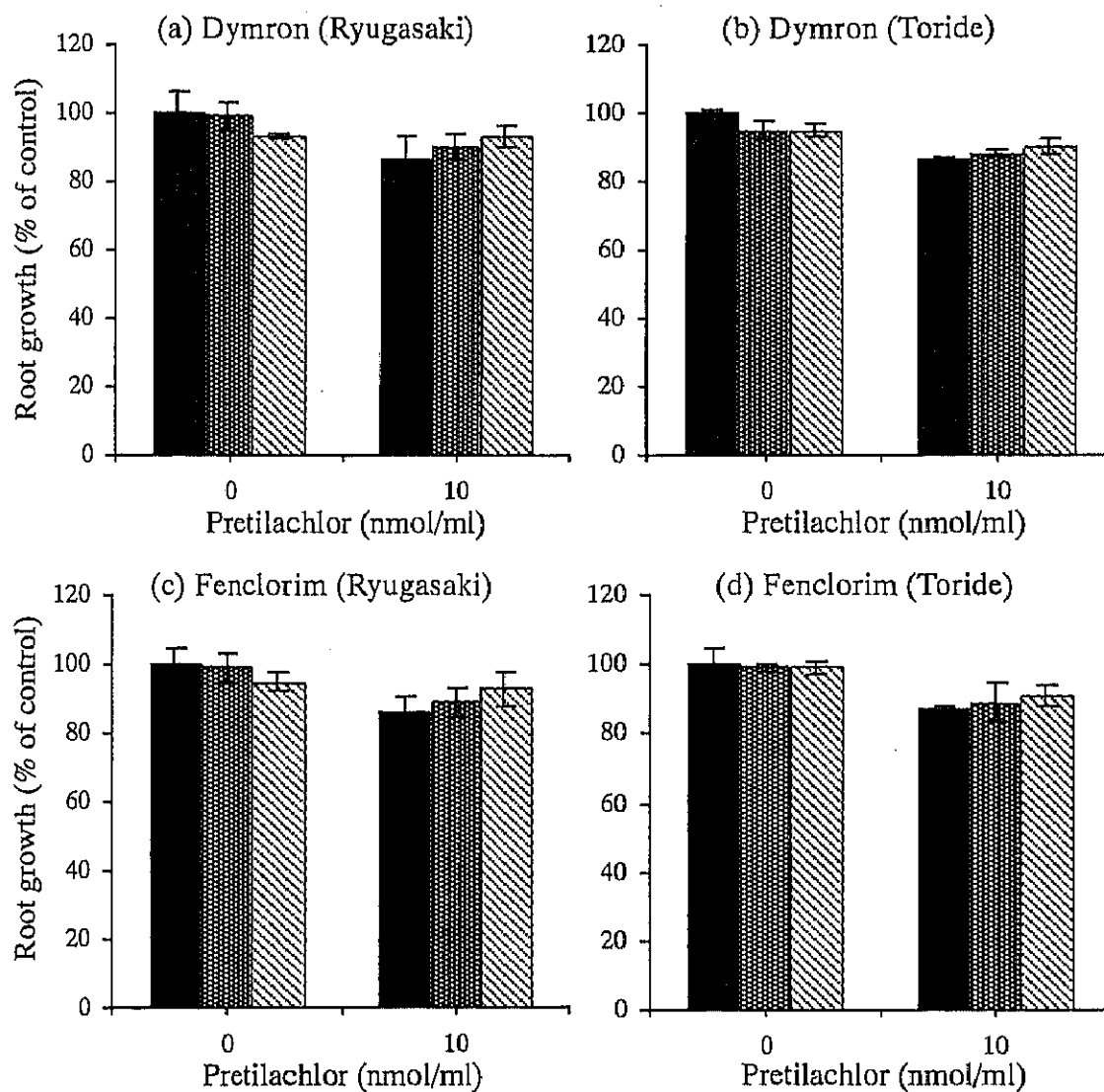


Fig. 2-6. Growth of rice applied pretilachlor in combination with dymron or fenclorim in the depth of 2.0 cm in soil surface application. Vertical lines indicate standard error of the means.

Values of root growth in fresh weight in the control (mg):

(a)  $78.5 \pm 4.7$ , (b)  $78.4 \pm 0.8$ , (c)  $77.5 \pm 4.0$ , (d)  $77.2 \pm 3.5$ .

Applied concentration of dymron or fenclorim (nmol/ml):

■ 0, ▨ 10, ▩ 40.