

### 第3章 芳香族カルボン酸による水稲生育と窒素吸収の阻害

第2章では、麦わら施用による水稲の窒素吸収量の低下は窒素吸収過程に原因があり酸性物質が関与しているものと推定した。揮発性脂肪酸の水稲に対する阻害作用は既に調べられている(滝嶋ら 1960)。これに対して、芳香族カルボン酸は本研究で水田から初めて検出されたものであり、その水稲に対する阻害作用はこれまで未知であった。第3章では、芳香族カルボン酸の水稲に対する作用性について、根の伸長阻害と窒素吸収阻害の2つの観点から検討する。

3-1では芳香族カルボン酸による水稲の種子根伸長阻害活性の検定を行った。土壤溶液から検出された芳香族カルボン酸に加え、類似の構造の物質や構造活性相関から興味深い物質を加えて検定を行った。また、種子根を用いた検定により阻害活性の認められた芳香族カルボン酸の代表的な物質について、水耕法により水稲の生育に及ぼす影響を調査した。対象の物質は安息香酸、2-フェニルプロピオン酸、3-フェニルプロピオン酸、4-フェニル酪酸、1-ナフタリン酸とし、乾物重、窒素吸収量、総根長、最長根長、草丈について解析した。さらに、水稲の芳香族カルボン酸に対する感受性は品種によって異なることが想定されるため、2-フェニルプロピオン酸を用いていくつかの代表的な品種間の感受性の差異を検討した。

第2章で芳香族カルボン酸類が麦わら施用土壌から特徴的に検出され、その集積の特徴は水稲の窒素吸収阻害とも一致する傾向が見られたことから、芳香族カルボン酸が水稲の窒素吸収活性を阻害する可能性が推定された。Glass(1973)によると、安息香酸やフェノール性酸はリン酸やカリウムの吸収を阻害する。しかし、フェノール基のない芳香族カルボン酸(安息香酸を除く)や窒素吸収阻害についての報告は無い。そこで、3-2では水耕栽培によりトレーサー<sup>15</sup>Nを用いて芳香族カルボン酸による水稲の窒素吸収阻害活性を解析した。

#### 3-1 各種芳香族カルボン酸の水稲根伸長阻害活性

##### 3-1-1 材料と方法

##### (1) 阻害物質の活性評価

種子根試験法：滝嶋ら（1960）の種子根試験法に若干の修正を加えて検定方法とした。土壤溶液から検出された成分について、単独で約  $1\mu\text{M}$  から  $10\text{mM}$ 、 $\text{pH}6$  の希釈系列を井戸水を用いて適宜調製した。肥料成分は加えなかった。第 3-1 図に検定に用いた装置を示した。ネットを上面に図のようにはったチューブ（ポリ塩化ビニル製、高さ  $12\text{cm}$ 、径  $5\text{cm}$ ）を  $500\text{ml}$  のトールピーカーに設置し、被検液を  $500\text{ml}$  加えた。ネットには予め水稲種子 20 個を根がネットの下に出るように並べた。この種子は 2-2-1(1)の検定と同様に選別したものをを用いた。水稲種子を被検液に浸してからポリ袋で全体を覆い、被検液の蒸発を防いだ。これを  $30^\circ\text{C}$  のチャンバーに入れ、暗所で二日間静置した。この根長を計り伸長率を 2-1 式に従い計算した。なお、対照は  $\text{pH}6$  に調製した井戸水とした。検定開始時の水稲根の長さは  $7\text{mm}$  とした。

### （2）水耕栽培された水稲の芳香族カルボン酸による生育抑制

栽培方法：水稲種子を水に浸漬後、育苗箱に 3 個体ずつ播種した。14 日後に水稲苗の土壤を除去し、井戸水で 3 日間馴化し、水耕液に移して 5 日間生育させた。これを規定の濃度の 3-フェニルプロピオン酸など芳香族カルボン酸を含む春日井氏の水耕液（植物栄養実験法委員会 1990）に移し、12 日間育てた。3 反復とし、 $\text{pH}$  は希塩酸と希水酸化ナトリウム水溶液を用いて 1 日に 2 回ずつ調製した。また、水耕液は 3 日毎に交換した。芳香族カルボン酸処理開始から 12 日後に回収し、地上部については直ちに通風乾燥し、乾物重を測定後分析に供した。窒素吸収量は NC アナライザー（住友化学）を用いて分析した。根は直ちにホルマリンで固定し、最長根長を測定した後、切断してルートスキャナーで総根長を測定した。

実験 1 は 3-フェニルプロピオン酸 ( $10\sim 1000\mu\text{M}$ ) について、実験 2 は  $100\mu\text{M}$  の安息香酸、2-フェニルプロピオン酸、4-フェニル酪酸、1-ナフタリン酸について検定を行った。芳香族カルボン酸無添加を対照とした。

### （3）水稲品種と芳香族カルボン酸による種子根伸長阻害活性

水稲品種による伸長阻害活性の検定は 3-1-1(1)阻害活性の評価と同様に行った。品種は実験 3 ではレイホウ、ハバタキ、ヒノヒカリ、IR8、ユメヒカリ、竹非 10、実験 4 ではレイホウ、ヒヨクモチ、MR65、西海 184、夢十色を用いた。なお、各品種毎に 2-フェニルプロピオン酸 ( $10\mu\text{M}$ ) と芳香族カルボン酸無添加処理（対照）を設け

た。

### 3-1-2 結果および考察

#### (1) 阻害物質の活性評価

第 3-2 図に芳香族カルボン酸の水稲根伸長阻害活性を示した。また、第 3-3 図に主な芳香族カルボン酸の構造を示した。このうち、第 3-2 a 図は検定を行った芳香族カルボン酸の中で阻害活性が強い酸のグループを示した。この中では 1-ナフタリン酸 > 2-フェニルプロピオン酸 > フェニル酢酸 > 3-フェニルプロピオン酸と続いた。これらはいずれもフェノール基を持たないという特徴があった。また、2-フェニルプロピオン酸とフェニル酢酸では、阻害を示す最低濃度は 2-フェニルプロピオン酸の方が小さかったが、40 ~ 100  $\mu\text{M}$  の間で逆転し、濃度が高くなるとフェニル酢酸の活性が上回った。なお、フェニル酢酸は第 2 章の 2 つの土壤溶液試料からは検出されなかったが、後述する試料中から検出されている (第 4 章)。また、1-ナフタリン酸は 0.5  $\mu\text{M}$  で伸長率は 30% と低く、検定した中で最強の阻害活性を示した。1-ナフタリン酸は合成オーキシシンである 1-ナフタリン酢酸の側鎖の炭素が一個小さいものであり、オーキシシン様の根の伸長阻害は想定された。1-ナフタリン酸は構造上興味ある物質であるため、検定に加えたが、土壤からは検出していない。

第 3-2b 図は土壤中から検出された芳香族カルボン酸とその異性体のうち、活性が弱いものを示した。4-フェニル酪酸と 3-フェニル酪酸では分枝のない 4-フェニル酪酸の阻害活性が強く、フェニルプロピオン酸とは逆の結果となった。また、3-フェニルプロピオン酸の直鎖部分が二重結合した  $\epsilon$ -桂皮酸は 3-フェニルプロピオン酸よりも、4-フェニル酪酸と阻害作用が近似していた。3-フェニル酪酸が土壤中からは検出されたのはまれであった。

第 3-2c 図は植物残渣の抽出や土壤腐植過程で比較的高頻度で認められる酸類であり、フェノール性水酸基を持つものを検定した。これらはいずれも 1  $\mu\text{M}$  程度の低濃度では活性がなく、100  $\mu\text{M}$  以上で初めて阻害を示した。有機物の腐植化過程や堆肥化過程においては、フェノール性酸がしばしば検出される (Shindo and Kuwatsuka 1975)。しかし、水稲根の伸長に対してみる限り阻害活性は強くなかった。

以上のように、種々の芳香族カルボン酸について水稲種子根の伸長に及ぼす阻害活性

を検定した。しかし、これは幼植物を用いた検定であり、生育ステージの進んだ植物体において阻害作用が検討される必要があると考えた。

## (2) 水耕栽培された水稻の芳香族カルボン酸による生育抑制

3-フェニルプロピオン酸の濃度と水稻生育の関係は第 3-1a 表に示した。地上部の生育は 100  $\mu\text{M}$  で抑制が現れ、特に、乾物重や窒素含量の低下が顕著であった。一方、根は 50 $\mu\text{M}$  で総根長と最長根長の両方が低下し、特に、最長根長の低下が大きかった。3-1-1 (1) で見たように、種子根試験法において 40, 100  $\mu\text{M}$  における根の伸長率はそれぞれ 69, 42%であり (第 3-2 図)、ほぼ同様の結果が得られた。

100  $\mu\text{M}$  の各種芳香族カルボン酸溶液中における水稻根の生育を第 3-1b 表に示した。2-フェニルプロピオン酸と 1-ナフタリン酸が強い阻害活性を示し、地上部乾物重、窒素含有量が大きく低下した。さらに、この 2 物質では茎葉部乾物重の低下割合に比べて窒素含有量の低下割合が著しく、窒素吸収過程が阻害されたことが推定された。また、根において最長根長、総根長ともに低下しており、特に総根長の低下が顕著であった。安息香酸では草丈、茎葉部乾物重および窒素含有量、総根長が差が無いかまたは増加し、最長根長は低下した。4-フェニル酪酸ではいずれの項目にも緩やかな阻害がみられた。安息香酸と 4-フェニル酪酸では実験 1 の 3-フェニルプロピオン酸と同じく最長根長の低下が総根長の低下より大であった。

写真 3-1 に検定終了時の水稻を示した。2-フェニルプロピオン酸や 1-ナフタリン酸では、2-1-1 (1) 種子根検定において 0.5  $\mu\text{M}$  の濃度でも阻害作用が認められており、本水耕実験の濃度 (100  $\mu\text{M}$ ) では活性が非常に強いため、古い根はネクロシスをおこしていた。新根の発生は見られたがその伸長は小さい。

芳香族カルボン酸の水稻根に対する作用の機構について検討した。実験 1,2 ともに最長根長の低下が総根長の低下より大であったことから、根に対する作用が緩やかな濃度域では、既に発生している根の伸長に対しては阻害的に働き、新根発生に対しては阻害しないか、むしろ不定根の発生を促進するのではないかと考えられる。また、安息香酸や低濃度(50 $\mu\text{M}$  以下) の 3-フェニルプロピオン酸が一部の項目に対しては促進的に働いた。これらは外因性オーキシンの根に対する作用性(増田 1977)と一致するものである。さらに、芳香族カルボン酸の一部 (フェニル酢酸など) はオーキシン様物質として

報告されている(Aberg 1963). 以上の点から, 水田土壌から検出された芳香族カルボン酸類も水稲に対してオーキシンの作用を示しているものと推定した.

検出された芳香族カルボン酸の水稲根の伸長阻害活性には物質間で非常に大きな差異がある. また, 第 3-2 図には種々の芳香族カルボン酸について行った種子根伸長試験の結果が示してあるが, フェノール性水酸基を持つものは, 持たないものと比較して活性が低下する傾向があった. これは水稲根におけるオーキシンレセプターへの親和性や作用性(Aberg 1963)に関して, 芳香族カルボン酸の構造が強く影響するためと考えられる.

1-ナフタリン酸を除き, 水耕実験に供した物質は土壌溶液中から検出されたものである. 本実験では各酸ともに圃場で検出された濃度より高い濃度に設定しており, さらに土壌中では水耕に比べて緩衝作用が働くことも想定されるので, 現実の土壌においてこのような強い症状は生じないと考えられる. しかしながら, 実際にこれらの物質が土壌中に一定の濃度以上に集積すればオーキシン様作用を示し, 根を通じて水稲の生理を攪乱する可能性はある.

### (3) 水稲品種と芳香族カルボン酸による種子根伸長阻害活性

2-フェニルプロピオン酸 (10  $\mu$ M) における水稲種子根の伸長率を第 3-2 表に示した. 種子根伸長率は対照に対して 0.24 から 0.62 の間にあった. しかし, IR8, ハバタキ, 竹非 10, 夢十色がレイホウに比べて伸長阻害が大きかった. これらはインディカの超多収系統の品種であり, 多肥を必要とし窒素吸収活性を含めた根の活性阻害に対して比較的鋭敏に反応したと考えられる. 一方, ヒノヒカリとユメヒカリはいずれもコシヒカリの遺伝子を持つ良食味系統で, 飯米の粘りが強い低アミロースの品種であるが, これらはレイホウより伸長率が大きかった. ヒヨクモチも伸長率はレイホウよりやや良好だったが, 本品種は糯性であり, アミロースを含まない品種である. 影響の小さい西海 184 は小粒の他用途米で, 比較的高アミロースのジャポニカである. 伸長率への影響が最も小さいのは MR65 であった. MR65 は対照区でも他品種に比べて伸長性が小さく, 根の展開により積算温度を要求するのかもしれない. なお, レイホウは九州で開発された多収性のジャポニカであり, 飯米の粘りは少ない. 以上を総合すると, インディカや多収性の品種群は伸長阻害が大きく, ジャポニカの品種では伸長阻害が小さい傾向が見

られた。MR65 では例外的に別の特性が関与していると考えられた。

本研究では、栽培試験と種子根伸長試験を通して作付け面積の大きかったレイホウを標準品種として用いた。レイホウはほぼ中庸の感受性を持つと判断できるが、国内で主に作付けされ、近年九州北部でも急速に作付けが広がった良食味(コシヒカリ近縁)品種に比べると感受性がやや高いと推定された。

### 3-2 水耕栽培された水稲における芳香族カルボン酸による窒素吸収阻害活性の検定

#### 3-2-1 材料と方法

水稲苗：水稲（レイホウ）の種子は 3 個体/株として苗箱に播種し温室で育苗した。発芽後温室から出して 26 日間育てた。この苗の土壌を水流で除去し水耕液に移す前に 48 時間井戸水で馴化した。水耕液は春日井氏の組成(吉羽 1990)を基準の 1/2 濃度で用いた。発泡スチロール板に直径 1.5cm の穴をあけ、これに水稲苗の根を通してポリエステル綿で支持し、コンテナの水耕液に浮かせて栽培した。水耕液の pH は 0.1M の塩酸と水酸化ナトリウム水溶液を用いて 5.5 に調節した。

トレーサー<sup>15</sup>N 吸収実験：芳香族カルボン酸処理区は 2-フェニルプロピオン酸 1 μM (2P1), 10 μM (2P10), 3-フェニルプロピオン酸 100 μM (3P100), 1000 μM (3P1000), 安息香酸 100 μM (BA100), 1000 μM (BA1000)とした。なお、無添加を対照区とした。

よく揃った水稲の苗を選び、一株毎に標準の 1/2 濃度の春日井氏水耕液または芳香族カルボン酸を含む春日井氏の水耕液 350ml を用いてトールピーカーで栽培した。一区 5 反復とし、水稲を支持した発泡スチロールをピーカーの縁に載せ、水耕液には根だけが接するようにした。ピーカーの側面はアルミホイルで遮光した。水稲苗の <sup>15</sup>N 処理は 40 時間とし、15, 24 時間後に pH を 5.5 に調整した。<sup>15</sup>N 処理後に水稲体の根と地上部を切り離し流水および蒸留水で洗浄した。この試料を 70℃で乾燥・粉碎しケルダール分解した。窒素含量は蒸留・滴定により求めた。<sup>15</sup>N 存在比 (atom%) は発光分析法 (Yamamuro 1981) により分析した。

処理期間中に吸収された窒素( $N_u$ )と処理開始時に存在した窒素( $N_n$ )は次の 2 式で計算される。

$$N_{tr} = N_{tot} \times (N_r / 100) \times (100 / 9.93) \quad (3-1 \text{ 式})$$

$$N_n = N_{tot} - N_{tr} \quad (3-2 \text{ 式})$$

ここで、 $N_r$ はその $^{15}\text{N}$  atom% excess(= $^{15}\text{N}$  atom% - 0.37),  $N_{tot}$ は水稻の全窒素吸収量である。また、9.93は使用した $^{15}\text{N}$ トレーサーの $^{15}\text{N}$  atom%10から自然存在比0.366を差し引いたものである。

### 3-2-2 結果および考察

3-1-1 (2)の水耕実験により、芳香族カルボン酸の処理により乾物重を初めとする水稻の諸生育が抑制された。本実験では根量への影響を排除した窒素吸収阻害活性を検定するのが目的であるから、生育に差が現れる前の短時間で検定を行うのが望ましい。BA1000, 3P1000等の乾物重は対照より小さい傾向があった(データ省略)が、いずれの処理区も対照との有意差は検出されなかった。このことから処理時間は充分短かったと考えられる。また、安息香酸と3-フェニルプロピオン酸の高濃度処理(1000  $\mu\text{M}$ )では水稻体の葉は萎凋していた。水稻の吸水または水の移動が妨げられたものと考えられる。

第3-4図に $^{15}\text{N}$ 処理期間中の窒素吸収活性を示した。ここでは、窒素吸収活性は処理開始時に含まれた窒素量に対する処理期間中に吸収した窒素の比率で表した。これは、3-1で明らかにしたように、芳香族カルボン酸がこの実験の設定濃度で根の伸長を阻害するためである。窒素吸収活性を表示する場合は乾物に対する処理期間中の窒素吸収量を比較するのが一般的であるが、根の伸長が阻害されると乾物を基準とした数値は曖昧なものとなる。しかし、水稻のサイズを評価の基準に入れることは個体差を考察するために必要である。トレーサー $^{15}\text{N}$ を施用した水耕実験では処理開始前に水稻が持っていた窒素量が計算できる(3-2式)。そこで、芳香族カルボン酸による根の伸長阻害作用の影響を受ける前の窒素量により、水稻体のサイズによる差を消去する方法がもっとも適切と考えた。この計算値によって評価すると、芳香族カルボン酸処理区の全ては窒素吸収活性を阻害された。特に、2-フェニルプロピオン酸の阻害活性は強く、1  $\mu\text{M}$ で阻害活性を示した。また、安息香酸では100  $\mu\text{M}$ の時、有意( $p=0.001$ )な阻害が示された。さらに、1000  $\mu\text{M}$ の安息香酸と3-フェニルプロピオン酸処理では全個体ともに萎凋したが、窒素吸収活性も対照の30%以下と顕著に低かった。

第 3-5 図に吸収したトレーサー<sup>15</sup>N の地上部への分配割合を示した。これは吸収した窒素の根から茎葉への転流活性を示している。高濃度 (1000 μM) の安息香酸と 3-フェニルプロピオン酸で窒素の転流が阻害された。この結果は 2-1-1 (2),(3)において麦わら施用土壌で育てた水稲は吸収された窒素の地上への転流が低下していたこととも一致する。なお、2-フェニルプロピオン酸は設定した濃度が安息香酸などの 1/100 であった。この濃度では窒素吸収は阻害するものの転流は阻害しなかった。

このように、土壌中から検出した芳香族カルボン酸は水稲の窒素吸収や転流を阻害した。窒素吸収阻害活性の強さは、検定した 3 物質の中では 2-フェニルプロピオン酸の活性が最も強く、この結果は根の伸長阻害活性 3-1 の結果と同様であった。また、転流については安息香酸と 3-フェニルプロピオン酸の 1000 μM という高濃度で認められた。これらの物質が生育、養水分吸収、蒸散など水稲の生理に多面的な影響を及ぼすことが示された。さらに、2-1 の水稲栽培試験において、窒素の吸収や転流の低下が認められている。現実には麦わらを施用した土壌で栽培した水稲では芳香族カルボン酸により窒素吸収阻害が生じていると考えられる。転流については圃場における土壌溶液から検出される濃度と芳香族カルボン酸による阻害濃度の間に差があるため、転流阻害現象への芳香族カルボン酸の関与は明確とはならなかった。

窒素吸収や転流阻害の機構は、水稲体が萎凋した処理区のみで明らかな窒素の転流抑制が認められたことから吸水、蒸散流の上昇や窒素の移動などの阻害が関連している可能性が考えられる。あるいは、根において芳香族カルボン酸との接触がエネルギー代謝など水稲の生理全体に関する代謝過程の攪乱を引き起こしているかもしれない。Marambe and Ando (1993)は、家畜糞堆肥の水抽出物やこれに含まれる長鎖脂肪酸 (パルミチン酸、ステアリン酸等) がソルガムの発芽を阻害する機構を解析する過程で、これらとの接触は種子中の ATP 含量を低下させることを見出している。芳香族カルボン酸においてもエネルギー代謝と結び付いた阻害が生じているかもしれない。芳香族カルボン酸の水稲生理に対する作用性やその機構は興味をもたれる。これらを明らかにするには生理実験が必要であろう。

### 3-3 まとめ



水稲根伸長阻害活性のある土壌溶液の酸性画分から検出された芳香族カルボン酸類の水稲根伸長阻害活性を検定した。土壌から検出された成分の阻害順位は 2-フェニルプロピオン酸>フェニル酢酸>3-フェニルプロピオン酸>4-フェニル酪酸>3-フェニル酪酸>安息香酸であった。1-ナフタリン酸は阻害活性は最強であったが、土壌からは検出されなかった。

これらの代表的芳香族カルボン酸を添加して水耕栽培を行った。阻害活性の強度は種子根検定で認められた活性と近似であり、作用性の強度の順序も一致した。また、阻害活性は地上部よりも根に鋭敏に現れ、低濃度域では根の伸長が抑制されても発根が促進されたと見られる処理区もあった。このような現象から芳香族カルボン酸による水稲根の伸長阻害の作用機作はオーキシン様と推定した。

芳香族カルボン酸による根の伸長阻害活性の水稲品種間差異を検討した。インディカ系統の超多収品種の根伸長阻害率が大きく、ジャポニカの良食味品種では比較的感受性が低かった。標準に用いたレイホウは供試した品種の中では中庸の活性を示したが、国内で作付け面積が大きい良食味品種に比較すると感受性が高かった。

芳香族カルボン酸の水稲への窒素吸収阻害活性を検討し、2-フェニルプロピオン酸は 1  $\mu\text{M}$ 、安息香酸と 3-フェニルプロピオン酸は 100  $\mu\text{M}$  で阻害活性が認められた。また、安息香酸と 3-フェニルプロピオン酸の 1000  $\mu\text{M}$  溶液では吸収された窒素の地上部への転流が阻害された。このことは、水稲栽培試験(2-1)において、窒素の吸収や転流の低下が認められていることと一致しており、麦わらを施用した土壌で栽培した水稲では芳香族カルボン酸により窒素吸収阻害が生じていると考えられる。

第3-1表 水耕栽培された水稲に対する芳香族カルボン酸の作用

a) 3-フェニルプロピオン酸を添加した水耕液における水稲の生育(実験1)

3-フェニルプロピオン酸 濃度 (μM)	草丈 cm	茎数 本/ポット	乾物重 mg	窒素含量 mg	総根長 m	最長根長 cm
0(対照)	50.7 (100)	7.3 (100)	887 (100)	38.0 (100)	66.0 (100)	19.7 (100)
10	52.0 (103)	7.7 (105)	953 (108)	41.1 (108)	66.9 (101)	23.3 (119)
50	51.3 (101)	7.7 (105)	990 (113)	44.5 (117)	57.2 (87)	14.7 (74)
100	44.7 (89)	6.3 (87)	660 (75)	27.9 (73)	46.8 (71)	11.4 (58)
500	37.7 (74)	6.0 (82)	580 (65)	22.5 (59)	57.3 (86)	10.5 (53)

( )内の数字は対照を100とした指数.

b) 芳香族カルボン酸を添加した水耕液における水稲の生育(実験2)

添加物質	草丈 cm	茎数 本/ポット	乾物重 mg	窒素含量 mg	総根長 m	最長根長 cm
無添加(対照)	38.5 (100)	7.3 (100)	737 (100)	33.2 (100)	43.6 (100)	19.7 (100)
安息香酸	39.2 (102)	9.0 (123)	823 (112)	38.5 (116)	48.6 (111)	17.3 (88)
2-フェニルプロピオン酸	26.0 (68)	6.0 (47)	347 (47)	11.9 (36)	16.5 (38)	13.0 (66)
4-フェニル酪酸	32.7 (85)	8.0 (83)	610 (83)	29.0 (87)	35.0 (80)	11.0 (56)
1-ナフタリン酸	26.2 (68)	3.7 (41)	303 (41)	10.6 (32)	14.5 (33)	14.3 (73)

( )内の数字は対照を100とした指数. 芳香族カルボン酸は全て100μM.

第3-2表 水稻品種による2-フェニルプロピオン酸溶液中の種子根伸長率の相違

実験3

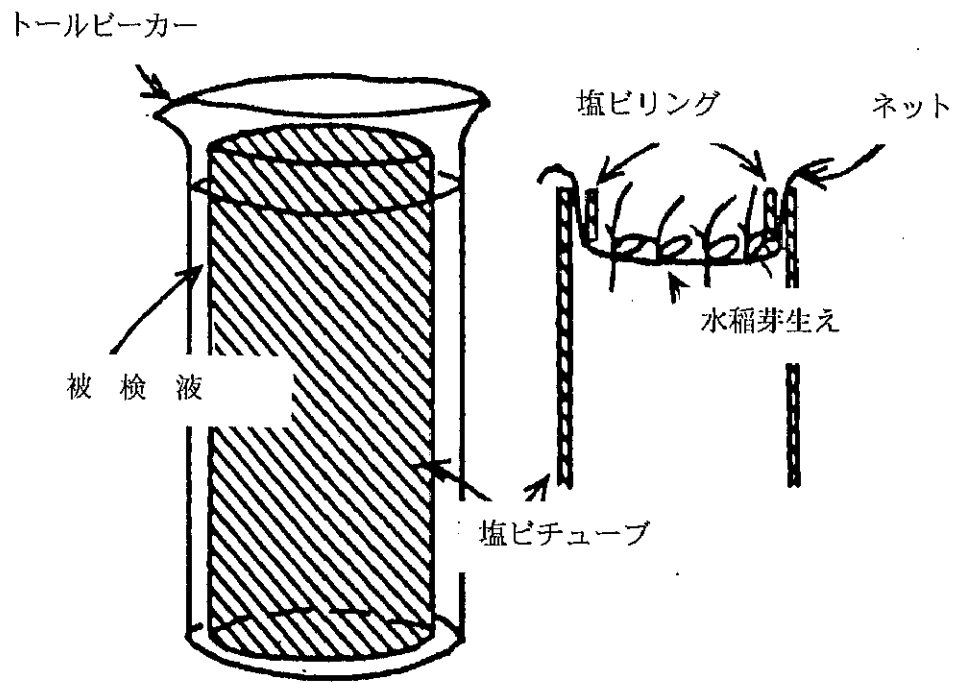
2-フェニルプロピオン酸濃度		品種						
		レイホウ	ハバタキ	ヒノヒカリ	IR8	ユメヒカリ	竹非10	
伸び (mm)	0(対照)	平均	73.4	69.5	76.7	88.4	87.8	77.8
		SE	2.59	2.43	2.33	2.16	1.33	5.78
	10 $\mu$ M	平均	21.8	19.2	30.6	21.8	29.3	21.5
		SE	0.92	0.76	1.05	0.93	0.89	0.98
伸長率*			0.297	0.276	0.399	0.247	0.334	0.276
品種の特性		多収	インディカ	良食味	超多収 インディカ	良食味	超多収 インディカ	

伸長率\*は対照の伸長に対する比率.

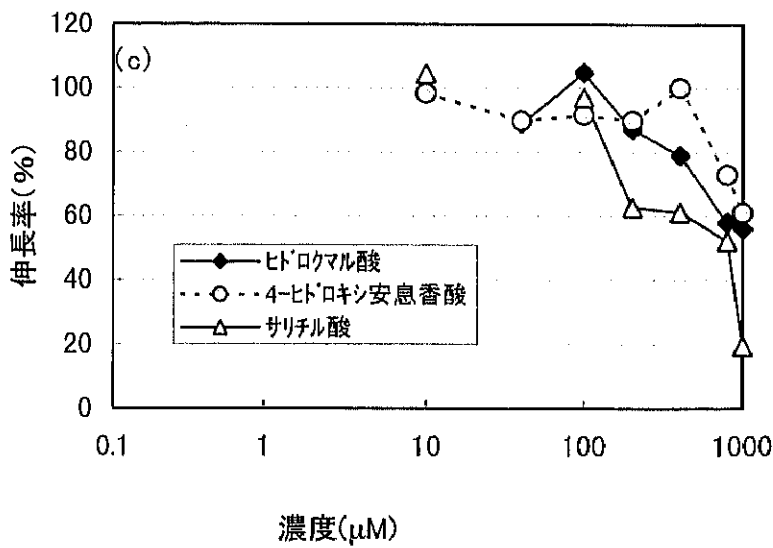
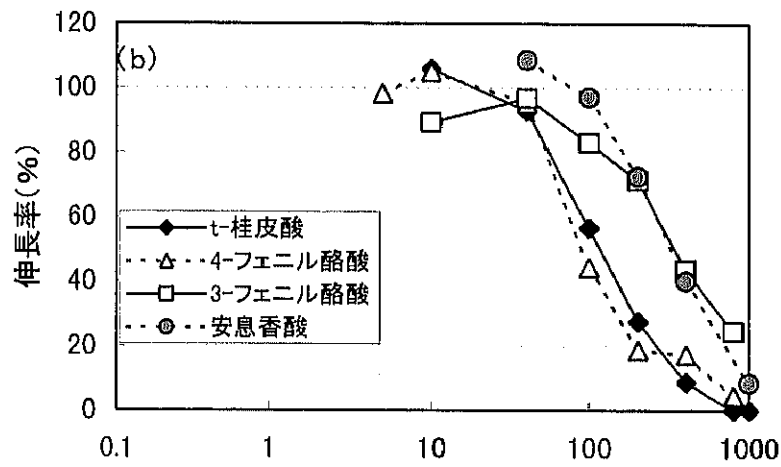
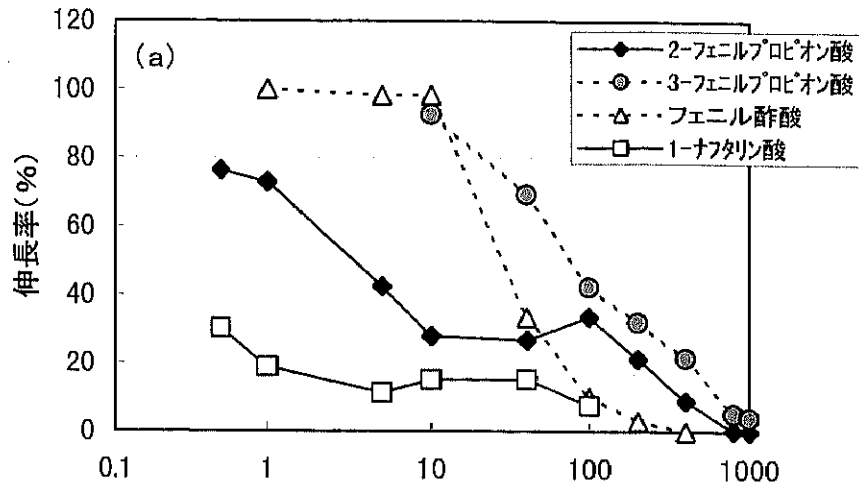
実験4

2-フェニルプロピオン酸濃度		品種					
		レイホウ	ヒヨクモチ	MR65	西海184	夢十色	
伸び (mm)	0(対照)	平均	44.2	59.5	13.4	31.4	46.0
		SE	1.40	2.02	1.01	1.75	1.32
	10 $\mu$ M	平均	15.6	22.8	8.2	12.6	10.9
		SE	0.87	0.98	0.57	0.50	0.51
伸長率*			0.353	0.383	0.615	0.401	0.236
品種の特性		多収	糯性	インディカ	高アミロース, 小粒	高アミロース, 超多収	

伸長率\*は対照の伸長に対する比率.

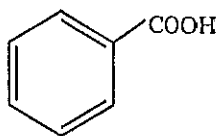


第3-1図 種子根試験法

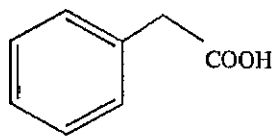


第3-2図 芳香族カルボン酸の水稻種子根伸長阻害活性

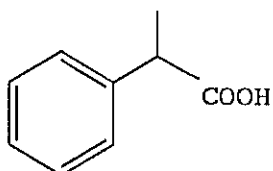
安息香酸



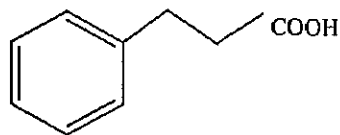
フェニル酢酸



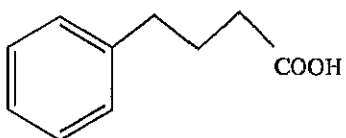
2-フェニルプロピオン酸



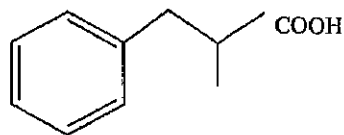
3-フェニルプロピオン酸



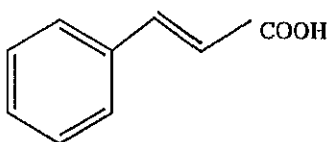
4-フェニル酪酸



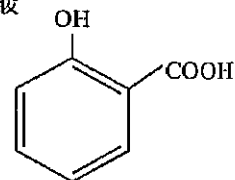
3-フェニル酪酸



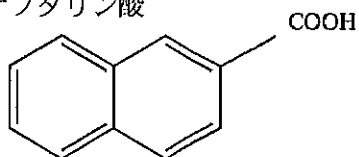
t-桂皮酸



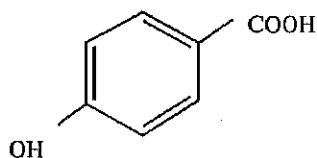
サリチル酸



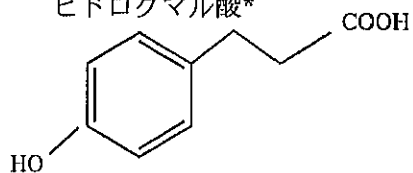
1-ナフタリン酸



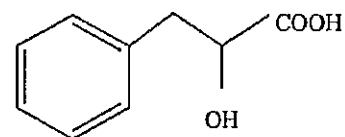
4-ヒドロキシ安息香酸\*\*



ヒドロクマル酸\*



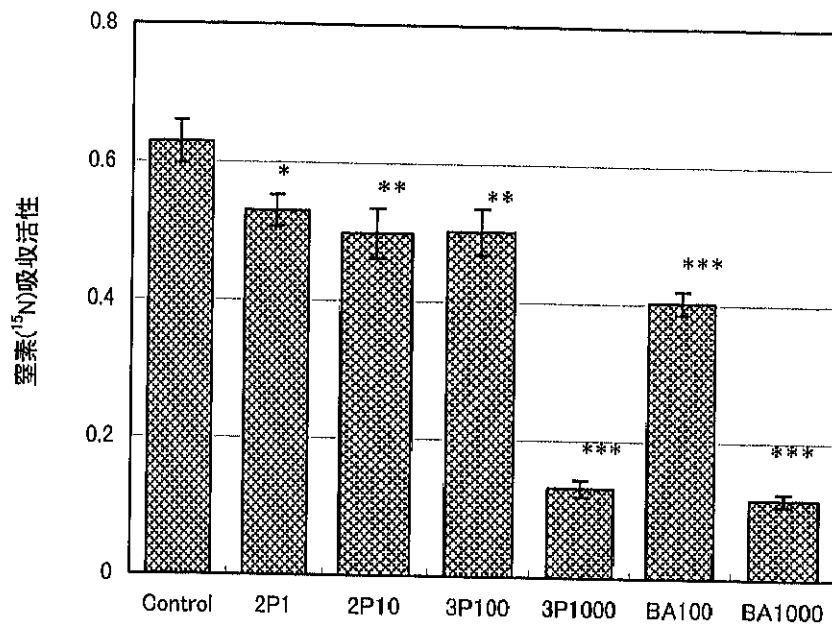
フェニル乳酸\*



第 3-3 図 土壌から検出された主な芳香族カルボン酸とその類似物質の構造

\*推定(OH の位置未確認)

\*\*土壌からは検出されていない



第3-4図 水稲の窒素(<sup>15</sup>N)吸収に対する芳香族カルボン酸の作用

バーはSE (n=5)を表す

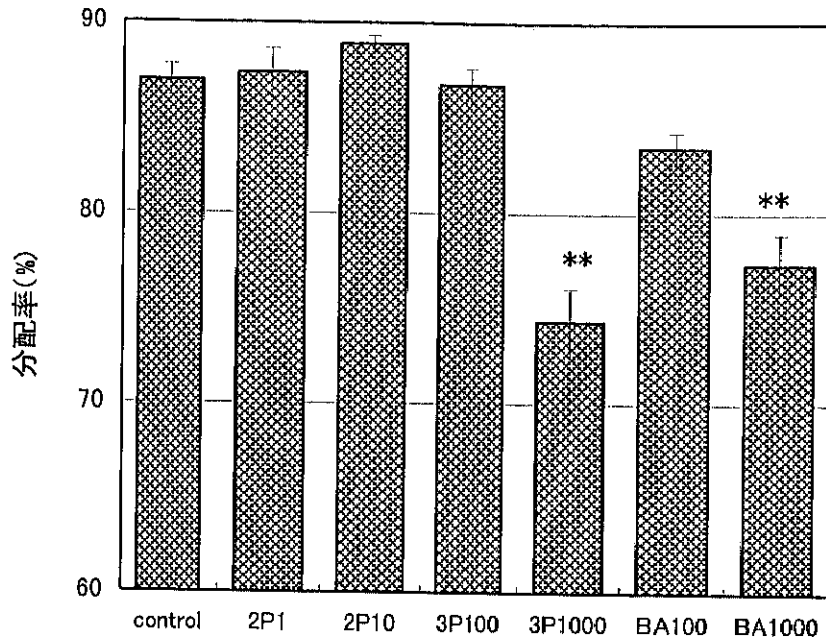
窒素吸収活性は処理前の水稲の含有窒素に対する処理期間中に吸収した窒素の比

\*,\*\*,\*\*\*はそれぞれ対照との差がDunnettの検定によりp=0.05, p=0.01, p=0.001の水準で有意であることを示す

2P1:1μM 2-フェニルプロピオン酸, 2P10:10μM2-フェニルプロピオン酸

3P100:100μM 3-フェニルプロピオン酸, 3P1000:1000μM 3-フェニルプロピオン酸

BA100:100μM 安息香酸, BA1000:1000μM 安息香酸



第3-5図 吸収された<sup>15</sup>Nの地上部への分配

バーはSE(n=5)を表す

窒素吸収活性は処理前の水稻の含有窒素に対する処理期間中に吸収した窒素の比  
 \*\*は対照との差がDunnetの検定によりp=0.01の水準で有意であることを示す

2P1:1μM 2-フェニルプロピオン酸, 2P10:10μM2-フェニルプロピオン酸

3P100:100μM 3-フェニルプロピオン酸, 3P1000:1000μM 3-フェニルプロピオン酸

BA100:100μM 安息香酸, BA1000:1000μM 安息香酸





对照(水)

安息香酸

2-フェニルプロピオン酸

4-フェニル酪酸

1-ナフタリン酸

写真 3-1 100 $\mu$ M の芳香族カルボン酸で水耕栽培した水稻