Teruhiro Arai, Naoto Inoue, Ryoichi Ikeda, Hideo Hirasawa, Akio Ujihara and Mineo Minami: Simple Method for Testing Spiral Growth of Seminal Roots to Improve the Establishment of Direct-Seeded Rice on the Soil Surface in Flooded Paddy Fields (English Summary on p.307)

水稻湛水直播に関わる種子根のラセン生長の簡易検定法

荒井輝博¹⁾・井上直人²⁾・池田良一³⁾・平澤秀雄³⁾・氏原暉男²⁾・南 峰夫²⁾

¹⁾岐阜大学大学院連合農学研究科(信州大学), 上伊那郡, 〒399-4598, ²⁾信州大学農学部, 上伊那郡, 〒399-4598,

³⁾農業研究センター, つくば市, 〒305-8666)

摘 要

イネの湛水土壌表面直播における苗立ち率に関係の深い種子根のラセン状生長の簡易検定法について検討した。組織培養用のゲランガム培地を使用して種子根の形状を観察した。ゲランガムを加えた 1/2 MS 培地上に 3cm 湛水し 27℃ で育苗すると、種子根のラセン生長の品種間差がより明瞭になった。また、ゲランガム濃度 0.25~0.5g/l のとき、種子根の培地への貫入率が高かった。このように、種子根を同じ条件下で生長させることによって品種間差を観察し易くなった。一方、ラセンの曲がりの強さを定量的に示すために、種子根のラセン形状指数(本論文では α/β で示す)を求めた。ラセン形状を真横から観察すると波形とみなせるので、 α/β は伸長方向に対する波の形状を示すものである。種子根の付け根から先端方向 1cm 以内に発現した波についての α/β と圃場での苗立ち率との相関は極めて高かった ($r=0.967$, $p<0.001$)。 α/β の計測位置を限定するために、種子からの定点における α/β を内挿法により算出し、この値と圃場での苗立ち率との相関を調べた。種子根の付け根から 7mm および 9mm の位置の α/β 値と苗立ち率との相関係数は高い値を示した ($r=0.951$, $r=0.941$, いずれも $p<0.01$)。このことから、上記濃度のゲランガム培地条件で種子根の付け根から 7~9mm の位置にあるラセン形状が、水稻の湛水土壌表面直播における苗立ち率の *in vitro* における検定法として有効であると考えられた。

Key Words : *Oryza sativa*, direct seeding, flooded paddy field, seedling establishment, seminal root, testing method.

緒 言

水稻の直播栽培は、育苗の手間が省けることから省力化と低コスト化(櫛淵 1995)だけではなく、投入エネルギー削減(Flinn and Duff 1985)といった面からも重要な技術と考えられる。直播栽培は主に乾田直播と湛水直播

の2種類に分類できるが、湛水直播は乾田直播に比べて保温効果があるため、播種時や生育初期に気象条件の影響を受け難く、寒冷地にも適用可能である。しかし、湛水直播の場合は、発芽不良を生じたり、浮き苗や転び苗を生じて苗立ち率の低下をきたすという欠点もある。

三石(1975)は、湛水直播栽培の苗立ち率低下の問題が浮力による幼苗の持ち上がりに起因すると考え、過酸化石灰粉衣種子の土壌中埋没播種が有効であることを示した。

一方、井上ら(1993a, b, c)は、高い苗立ち率を示す Arroz da Terra や苗立ち率の低いコシヒカリなど国内外の品種を用い、種子根の形状と苗立ち率の間に関係があり、苗立ち率の高い品種の種子根が、ラセン(平面に投影すれば波形)を示すことを明らかにした。また、その形状を記述するために最大エントロピー法によるスペクトル解析(MEM スペクトル)を適用したところ、スペクトル密度の最大値と水田での苗立ち率の間に高い相関があることを認めた(井上ら 1995)。

種子根の屈曲伸長(ラセン型、波形など)は、シロイヌナズナ(Okada and Shimura 1990, 1992)、牧草類・トウモロコシ(広田 1976, 広田・橋本 1984)、イネ(上埜・佐藤 1993, 一井・梁 1996)などで報告されているが、作物栽培上の意義については不明であった。井上ら(1995)の MEM スペクトル解析の結果は、種子根のラセン生長が水稻の湛水土壌表面直播における苗立ちを支配する生態的な形質であることを示唆している。しかしながら、MEM スペクトル解析による種子根のラセン形状の測定には手間がかかるため、実際の育種への適用には、スペクトル密度に代わる尺度について検討し、新しい簡易検定法を開発する必要がある。

本研究では、検定条件の設定と種子根の形状のパラメーター化を試み、ラセン形状と水田での苗立ち率との相関をもとにして、水稻湛水直播における高苗立ち性品種育成のための簡便な *in vitro* 選抜法について検討した。

材料および方法

本研究では種子根のラセン形状を観察するため、ゲランガム培地を用いた。ゲランガムは、寒天よりも透明な

1997年5月19日受領 1998年6月15日受理

ために種子根の生長を観察しやすいこと、および土壌と異なり常に均一の検定条件で再現性が高いと考えたためである。

1. 湛水が種子根のラセン発現に与える影響

供試材料は、種子根がラセン生長を示して苗立ち率の高い Arroz da Terra (ポルトガル由来)、ラセン生長がやや不明瞭であるが直播向き品種とされるキヌヒカリおよび種子根のラセン生長が不明瞭で苗立ち率の低いコシヒカリの3品種である。実験に用いた種子は、塩水選(比重1.13)した粳を玄米にしたものである。玄米を用いた理由は、割れ米などによるラセン種子根の発現率への影響を排除するためである。種子は、70%エタノールに30秒、2%次亜塩素酸ナトリウムに30分浸漬して滅菌した。滅菌後、種子を滅菌イオン交換水で3回洗浄した。播種用培地は、イオン交換水に1/2MS培地、スクロース10gおよびゲランガム0.25gを添加して1lとし、pH5.7に調整し、ゲランガムを2g/lの濃度で添加して、試験管(φ25×150)に約3cmの深さに分注したものである。この培地をオートクレーブで滅菌(121℃, 20分)後、各品種30粒を試験管1本当たり1粒ずつ無菌播種した。播種後アルミ箔で試験管に蓋をし、試験管内を無菌状態にした。また、固化した培地上に滅菌イオン交換水を3cmの深さに湛水した試験区を設け、同様に各品種30粒ずつ播種した。ただし、育苗期間中加水しなかった。なお、1/2MS培地に含まれる塩類による障害は認められなかった。

育苗は、27℃に設定した2,300lxの連続照明の人工気象器内で行った。種子根のラセンの調査は種子根が十分伸長した播種後10日目に行った。種子根のラセン発現率は、発根個体数に対するラセン種子根の個体数の比で示した。種子根のラセン発現個体は、肉眼観察により種子根の付け根から試験管底面に至るまでの間にラセンが認められたものとした。

2. 生育期間の温度が種子根のラセン発現に与える影響

試験1と同じ湛水条件の培地を用いて、生育期間の温度の違いによる種子根のラセン発現率の変化を調査した。供試材料および培地組成ならびに種子根のラセン発現の調査方法は、試験1と同様である。生育期間の温度は18, 21, 23, 25, 27および30℃の6水準とした。

3. ゲランガム濃度の違いによる種子根の培地への貫入率の変化

予備実験では、培地の粘度が高いと種子根は培地内に入りにくくなり、しかも種子根がコイル状や糸球状になるなどの傾向が認められた。そこで、種子根のラセン形状を観察しやすいゲランガム濃度について検討した。Arroz da Terra, キヌヒカリおよびコシヒカリの粳各15粒ずつを供試した。

培地組成は、ゲランガム濃度以外については試験1の湛水条件培地と同じである。ゲランガム濃度は0.25~2g/lの範囲で0.25g/lごとの8段階である。粳の滅菌は、70%エタノールに30秒、2%次亜塩素酸ナトリウムに30分浸漬とした。試験1および2と違い、粳を用いた理由は種子根の培地への貫入には浮力も関係すると思われるが、脱穎して玄米にすると、実際の直播で粳を播く場合と浮力が異なるので、実際的な貫入状態を観察することはできないと考えたためである。種子根の培地への貫入率の調査は播種後7日目に行った。培地に種子根が貫入した個体の判定は、「種子根が培地表面上を横方向に伸長することなく発根後直ちに培地内に進入した個体」とした。

また、実際の水田と培地における物理性を比較するために、水田土壌および貫入率が高い試験区の培地における粘度を測定した。これらの粘度の測定には、超音波振動型の粘度計(ビスコメイト, Yamaichi electronics 社製, VM-1G)を用いた。水田土壌は、代かき後1日静置してから粘度を調査した。また、ゲランガム培地の粘度は培地作成後1日目に計測した。培地は乾燥しないように冷蔵庫内で保存し、粘度測定前に室温で放置した後粘度を測定した。粘度の測定箇所は、土壌あるいは培地の表面下2mmの部分である。

4. 種子根のラセン形状の定量法

種子根のラセン形状を数量化するために、培地中の種子根を側面から見た場合の形状を観察した。ラセン生長した種子根は、真横から見ると波形にみえる。そこで、種子根に見られたすべての波について波長(L), 振幅(W), および根径(γ)を計測した。ここで $\alpha = (W - \gamma)/2$, $\beta = L/2$ とすると、 $\tan \theta = 2\alpha/\beta$ である。角度 θ は、波の山と谷を結ぶ線を斜辺とする直角三角形の角度の一つとなる(Fig.1)。したがって、種子根のラセン形状指数(ここでは α/β で示す)は、波の形状の指標と考えられる。L, Wおよび γ の計測は、接写レンズをつけた家庭用ビデオカメラで側面から根の画像を写し、平面のテレビモニターに約20倍に拡大投影してノギスで行った。

供試材料は、Arroz da Terra, Italic Livorno, オオチカラ, 胆振早生, 朔在来, ササニシキおよびコシヒカリの粳を塩水選し、各品種10粒ずつ用いた。培養条件は、イオン交換水に1/2MS培地、スクロース10gおよびゲランガム0.25gを添加して1lとし、試験管に深さ3cmに分注し、固化した培地上に3cmの湛水条件とした。育苗は、試験1および3と同様である。波長(L), 振幅(W)および根径(γ)の調査は播種後7日目に全個体について α/β を求めた。さらにこれら品種の苗立ち状態と平均 α/β との相関を調べた。

品種の苗立ち性を評価するため、塩水選(比重1.13)の後に粳を滅菌、芽出してから、湛水土壌表面に品種ごとに播種した。播種期は4月24日と5月28日の2回である。1×1mの木枠で囲んだ試験区を、播種前日に代かき

Fig. 1. Method for analyzing the spiral growth of seminal roots.

$$\alpha = (W - \gamma) / 2$$

$$\beta = L / 2$$

$$\tan \theta = 2 \alpha / \beta$$

X_0 is one of the measuring points.

しておき、各区に各品種 120粒ずつを 3列等間隔に条播した。試験区は 2反復の乱塊法とした。苗立ち状態は湛水土壌表面直播における井上ら (1993a)の方法にしたがって分類した。すなわち、ア)発根後、初が湛水土壌表面上にある状態(狭義の苗立ち率の対象となる)、イ)発根後、種子根または冠根によって初が水中に持ち上げられ、初と土壌表面の距離が 1cm未満である状態、ウ)発根後、種子根または冠根によって初が水中に持ち上げられ、初と土壌表面の距離が 1cm以上である状態、エ)浮き苗の状態、オ)死亡の 5分類である。この分類に基づいて、播種した粒数に対する各分類に属する個体の割合をそれぞれ求めた。また、生存個体中の浮き苗率(ここでは $((ウ + エ) / (100 - オ)) \times 100$ と示す)を求めた。ここで、 $(ア / 播種数) \times 100$ を狭義の苗立ち率 [(a)と呼ぶ]、 $((ア + イ) / 播種数) \times 100$ を広義の苗立ち率 [(a+b)と呼ぶ]とした。広義の苗立ち率は、通常用いられる苗立ち率に最も近いものである。なお、苗立ち状態ア、イおよびウは、種子根が土壌中に侵入している状態にある。 α / β との相関を調べた水田における苗立ち状態の調査データは、圃場での苗立ち状態ア、ア+イ、ウ+エ、オおよび $(ウ + エ) / (100 - オ)$ (Inoue et al. (1997)) についての 2回の播種期の平均値と

Fig. 2. Effect of irrigation on the percentage of seminal roots with spiral growth. Vertical bars indicate standard deviation.

Fig. 3. Effect of temperature the percentage of seminal roots with spiral growth.

した。

結果

1. 湛水が種子根のラセン発現に与える影響

Arroz da Terra、キヌヒカリおよびコシヒカリにおける種子根のラセン発現率は、それぞれ 35%、16%および 10%であった (Fig.2)。一方、培地上 3cm の湛水にすると、上記 3品種の種子根のラセン発現率はそれぞれ 76%、16%および 5%となった。Arroz da Terraと他の 2品種との種子根のラセン発現率の差は培地上に湛水することによって大きくなった。

2. 生育期間の温度が種子根のラセン発現に与える影響

3品種における種子根のラセン発現率に 2次回帰曲線を

Fig. 4. Effects of concentration of gellan gum on the percentage of seminal roots penetrating into medium and viscosity of the medium.

当てはめると、生育温度のピークは25～27℃付近で見られた (Fig.3). 27℃では Arroz da Terra の種子根のラセン発現率が約90%を示したのに対し、キヌヒカリが約30%, コシヒカリが約20%を示し、品種間差が最大になった。

3. ゲランガム濃度の違いによる種子根の培地への貫入率の変化と培地の粘度

Arroz da Terra の種子根の培地への貫入率は、ゲランガム濃度 0.25g/l, 0.5g/l および 0.75g/l のとき 100%を示した。一方、キヌヒカリおよびコシヒカリの種子根の培地への貫入率は、0.25g/l のときのみ 100%を示した。供試品種の種子根の培地への貫入率は、いずれもゲランガム濃度が高くなるにつれて低下した (Fig.4)。

そこで、ゲランガム濃度 0.25～0.75g/l における培地の粘度と湛水田土壌の粘度を計測した。また、Arroz da Terra の種子根の培地への貫入率が低下し始めたゲランガム濃度 1g/l の培地の粘度も計測した。ゲランガム培地の粘度は、ゲランガム濃度 1g/l のとき 26cp (センチポアーズ), 0.75g/l のとき 17cp, 0.5g/l のとき 8cp, 0.25g/l のとき 2cp となった (Fig.4)。一方、湛水した水田土壌の粘度は 10cp を示した。

4. 種子根のラセン形状の定量法

7品種における種子根の波の波長 (L), 振幅 (W) および根径 (γ) について計測して α/β を求め、水田での苗立ち率との相関関係を検討した。供試各品種の圃場における苗立ち率 (a) および (a+b) は、胆振早生が 13.5%と 25.5%, コシヒカリが 21.5%と 47.0%, ササニシキが 24.0%と 42.0%, オオチカラが 26.5%と 57.0%, 朔在来が 46.5%と 72.0%, Italice Livorno が 51.0%と 77.0% および Arroz da Terra が 61.5%と 93.5%であった。ここで α/β を次の2つの方法で求めた。すなわち、1つは種子

Fig. 5. Correlations between seedling establishment and α/β values.

根の初め付け根から先端方向 1cm 以内に発現した波についての α/β の平均値, もう 1つは種子根の付け根から一定の間隔 (2.5, 5, 7, 9 および 11mm) を定め、線形内挿法および外挿法により求めた各定点における推定値である。

$x_0 < x < x_1$ における関数値 $f(x_0)$, $f(x_1)$ が与えられているとすれば、 x における関数値 $f(x)$ の近似値は、線形内挿法により次式から得られる。

$$f(x) \approx f(x_0) + \left\{ (x - x_0) \cdot (f(x_1) - f(x_0)) \right\} / (x_1 - x_0)$$

ここで、 x_0 , x_1 は、定点 x を挟む実際に計測した点の種子からの距離であり、 $f(x_0)$, $f(x_1)$ は x_0 , x_1 における α/β の値である。したがって $f(x)$ は定点 x における推定された α/β となる。

種子根長 1cm 以内に発現した波の α/β と、狭義の苗立ち率 (a) または広義の苗立ち率 (a+b) との相関係数は、それぞれ 0.967 ($p < 0.001$) および 0.961 ($p < 0.001$) と高い値を示した (Fig.5)。一方、種子から 7mm の位置で推定した α/β 値は、Arroz da Terra が 0.119 ± 0.04 (4.8), 朔在来が 0.058 ± 0.042 (3.25), Italice Livorno が 0.067 ± 0.088 (3.16), オオチカラが 0.025 ± 0.035 (2.5), コシヒカリが 0.017 ± 0.013 (2.5), 胆振早生が 0.014 ± 0.022 (1.5), ササニシキが 0.013 ± 0.021 (1.5) となった (() 内は 1cm 当たりの波の数)。各定点において推定した α/β 値は、ササニシキを除くと種子から離れるにしたがって大きくなる傾向にあった (Fig.6)。特に Arroz da Terra の種子根の伸長に伴う α/β 値の増加の程度は、供試品種の中で最も大きかった。定点における α/β と (a) または (a+b) との相関は、7mm 定点においてはそれぞれ $r = 0.951$ ($p < 0.001$) および 0.924 ($p < 0.01$) であり、9mm 定点においてはそれぞれ $r = 0.941$ および 0.942 ($p < 0.01$) と高かつ

た (Table 1).

考 察

本研究ではゲランガム培地を用いた種子根形状の検定条件として、湛水が種子根のラセン形状に及ぼす影響、生育期間中の温度の影響および培地への種子根貫入状態を調べ、さらに種子根形状の数量化について検討した。種子根のラセン発現率は、Arroz da Terraは湛水により高くなったが、コシヒカリは低下した。また、キヌヒカリは湛水の有無による変化が見られなかった。このことから、湛水によって、種子根のラセン生長に関する品種間差異をより明確にすることができた。湛水がラセン発現に与える影響の品種間の機構の違いは不明である。しか

Fig. 6. Variation in estimated α / β value on each fixed point of seminal root.

Table 1. Correlation coefficients between estimated α / β values on each fixed point of seminal roots and seedling establishment rate

Measuring point distance from seed (mm)	Classification of seedling conditions ¹⁾				
	a	a+b	c+d	e	(c+d) (100 - e)
2.5	0.366	0.307	0.549	0.074	0.408
5	0.938**	0.884*	0.793*	0.795*	0.799*
7	0.951**	0.924**	0.901**	0.799*	0.870*
9	0.941**	0.942**	0.944**	0.793*	0.918**
11	0.844*	0.861*	0.886**	0.706	0.834*

*, **: Significant at 5% and 1% levels, respectively.

¹⁾ a: Percentage of seedlings on soil surface (seedling establishment in a strict sense)

b: Percentage of seedlings within 1cm distance from the soil surface

c: Percentage of seedling above 1cm distance from soil the surface

d: Percentage of floating seedlings

e: Percentage of dead seedlings

a+b: Percentage of seedling establishment in general

(c+d)/(100 - e): Percentage of floating seedlings to surviving seedlings

し、湛水によって Arroz da Terraの種子根のラセン発現率が上昇したので、Arroz da Terraは湛水条件において高い苗立ち性を有することがこの実験からも明らかとなった。

一方、供試品種の種子根のラセン発現率は 27℃付近にピークを持ち、品種間差が最大となった。また、27℃で育苗した場合、種子根は播種後 7日目には試験管底面に到達しており比較的短期間で判定できる利点もあった。これらのことから、本検定法によるイネ種子根のラセン形状の品種間差を検出するための育苗温度は、27℃が適当と考えられた。しかし、実際の直播における水温は、南アジアや東南アジアでは 30℃近いが、日本や韓国など東アジアでは 15~20℃の低温であり、本検定法における設定温度とはかなり隔たりがある。ただし、低水温条件下ではラセン形状が見にくいだけでなく、indica 品種など発芽が不良になる材料については検定できなくなる。そこで、27℃の温度で一次的に検定した後に、水温など実際の生態的条件を考慮した二次検定が必要であると考えられた。

種子根のラセン発現率が温度により変化した理由は、温度による種子根の伸長速度の違いが考えられる。種子根の伸長速度は低温よりも高温で速い (Hirota and Watanabe 1981) とされる。種子根の伸長速度は低温では遅いため、種子根が同一角度のラセン生長をしていても横から見た場合の波は、波長と振幅が非常に小さいので肉眼での検出が困難である。一方、高温では伸長速度が速いので、同一角度のラセン生長であれば種子根が曲がるまでに種子根の伸長量が大きくなりラセンが確認できるほど拡大された。さらに高温になると伸長速度はさらに速まるため、種子根が曲がるまでの種子根の伸長量が大きくなりすぎ、ラセンが確認しにくくなる。このように、ラセン形状を肉眼で認識しやすくなった結果、その発現率に差が生じたものと推察された。

培地への種子根の貫入率は、ゲランガム濃度が高くなるにつれて低下した。培地に種子根が貫入しなかった個体の中には、種子根が培地上 (水中) である程度伸長した後または発根直後に、コイル状や糸球状に絡まるものが見られた。この種子根の“糸球状の絡まり”はゲランガム濃度が高いほど多く見られた。“糸球状の絡まり”は、ラセン生長の極端な場合と推察されるが、このような種子根の形状を数量化することは困難であり、発現の品種間差も不明瞭なため、高濃度のゲランガムを検定用培地に用いることは、適当ではないと考えられた。

種子根のコイル状の伸長“coiling”には、内生エチレンが関与していると考えられており (有馬ら 1987)、エチレンはオーキシンの過剰生成により生産され则认为られている (Hirota and Watanabe 1981)。これらのことから、種子根が絡まりやすくなる原因は強い物理刺激によるエチレン生成に加え、生育の進展に伴う地上部から根へのオーキシン転流量の

上昇によると推察された。したがって、種子根の形状の品種間差異を検定するためには、弱い物理刺激の条件下で種子根を培地に貫入させることが望ましいと考えられた。

物理性を比較するために培地と水田土壌の粘度を計測した結果、ゲランガム濃度 0.25 g/l~0.5g/l における培地の粘度と湛水田土壌の粘度は比較的近い値を示した。このことから粘性における水田表面の物理的環境はこれらのゲランガム培地に類似していると考えられたので、ゲランガム濃度 0.25g/l~0.5g/l が種子根の検定培地に適当と考えられた。検定条件としては、種子根が伸長後同じ時期に同じ物理的環境に遭遇させる必要がある。したがって、各供試品種とも培地に種子根が真下に 100% 貫入したゲランガム濃度 0.25g/l の条件を用いることにした。湛水土壌表面の物理性は、粘性の他に応力緩和なども苗立ちに関係すると推察される。*in vitro* の人工培地はこうした物理特性と種子根の環境応答との関係を解析できると考えられるので、これらの点についても今後さらに検討すべきと考えられた。

このようにして決定した検定条件を用いて、ラセン形状の指標として種子根のラセン形状指数 α/β を求めた。ラセンの曲がりの大きさ(角度)の指標となる α/β と狭義および広義の苗立ち率(a)および(a+b)との相関係数は、種子根の α/β の計測個所の違いにより変化を示した(Fig.5, Table.1)。培地の粘度は均一であるので、 α/β 測定個所による相関係数の変化は、生長に伴って体内の生理的条件が少しずつ変化していることを反映していると推察される。高い相関を示した波の測定個所は、種子根の付け根から 7~9mm の部分であった。種子根長 7~9mm におけるラセンを横から見た角度が苗立ち率と相関が高かったことは、種子根の根端にかかる力と時期が関係するものと考えられた。すなわち、種子が土壌表面上に横に置かれた場合、種子根は種子の厚さの分だけ水中を伸びなければならない。また種子根が真っ直ぐ下方に伸びない場合も多く、通常はやや斜め方向に伸長する。このように発根後、土壌表面に到達するまでの種子根の長さは、通常 3~4mm と考えられる。また、湛水土壌表面境界層は非常に柔らかいので、種子根が土壌表面から数 mm 貫入するまでは根端での応力はほとんどないと考えられる。したがってこの時点における種子根の“支え”としての機能は期待できないと考えられる。一方、種子根が土壌に貫入できずに 10mm 以上伸長した場合、種子は、初めの先端を支点として種子根により持ち上げられることになる。このとき初めの長さが 10mm 程度とすれば、持ち上がった初めは水中で倒れることになるので、種子根端にかかる力は急速に失われてしまうはずである。このようなことから、種子根による“支え”の効果が発揮される位置、すなわち水中での根端に応力の最もかかる位置は、種子根の発根直後の 3~4mm の部分よりもやや伸長が進んだ位置であると考えられる。これが、種子根長 7~9mm の部分にお

ける α/β と実際の苗立ち率との相関が最も高かった理由と考えられた。

以上のことから、低ゲランガム濃度の湛水培地上で発根させた種子根のラセン形状の生長に着目して、ラセン形状指数 (α/β) を種子から 7~9mm 離れた所で観察することにより、高い苗立ち性を持つ個体を簡易に選抜できると考えられた。本研究では、種子根を側面から見た場合の画像について計測を行ったが、さらに簡易な測定による迅速な検索を行うには、種子根の形状を類型化するなどの工夫が必要と考えられた。

根は、環境に対して敏感に反応し、極めて大きい可塑性をもつと考えられるが、イネの種子根のラセン生長も非常に敏感に反応することが分かった。したがって、高苗立ち性品種の育成には、物理的刺激の条件を厳密に制御した環境の下で、種子根のラセン形状発現についての遺伝様式を解明することが必要と考えられる。

引用文献

- 有馬 進・田中典幸・窪田文武(1987) 禾本科作物の種子根に関する研究 1. 水稻種子根の水耕中に生じた屈曲現象について. 佐賀大農彙 63:47-54.
- Flinn, J.C. and B. Duff (1985) Energy analysis, rice production systems, and rice research. IRRI research paper series No.144. October. 2-11.
- 広田秀憲(1976) 牧草類の根の生長 1. 根端の首振り生長. 日草誌 22(3):156-160.
- ・橋本直樹(1984) 培地土壌の種類と粒径がトウモロコシの種子根の屈曲生長に及ぼす影響. 日草誌 30(2):195-200.
- Hirota, H. and S. Watanabe (1981) Endogenous factors affecting the varietal differences in the curvature of seminal roots of *Zea mays* L. seedlings in water culture. Jpn. J. Crop. Sci. 50(2):148-156.
- ・井眞比古・梁 正偉(1996) イネ種子根のラセン伸長とその遺伝. 育種 46(別2):278.
- 井上直人・天野高久・江湖暁子(1993a) 水稻湛水直播における苗立ち性に関する研究 (1) 表面播種における苗立ち率の品種間差異. 日作紀 62(別2):37-38.
- ・——・——(1993b) 水稻湛水直播における苗立ち性に関する研究 (2) 苗立ち率と関連形質の関係を総合的に評価するためのモデル. 日作紀 62(別2):39-40.
- ・——・——(1993c) 水稻湛水直播における苗立ち性に関する研究 (3) ガラスビーズ培地による種子根の運動性の調査. 日作紀 62(別2):41-42.
- ・——・林 泰一・江湖暁子(1995) 水稻湛水直播における苗立ち性に関する研究 (4) 最大エントロピー法による種子根の運動の記述, および運動と苗立ち率の関係. 日作紀 64(別1):84-85.
- Inoue, N., T. Amano and K. Khoko (1997) Seedling estab-

- lishment of rice sown on soil surface in flooded paddy field I. Varietal difference in seedling establishment. Jpn. J. Crop Sci. 66(4):632-639.
- 榊淵欽也 (1995) 直播稲作への挑戦 第3巻 新しい直播稲作の戦略. 榊淵欽也監修, 農林水産技術情報協会, 東京. 135.
- 三石昭三 (1975) 水稲の湛水直播における土壤中埋没播種に関する作物学的研究. 石川県農短大 特別研究報告 第4号:1-57.
- Okada, K. and Y. Shimura (1990) Reversible root tip rotation in *Arabidopsis* seedlings induced by obstacle touching stimulus. Science vol. 250:274-276.
- and — (1992) Aspects of recent developments in mutational studies of plant signaling pathways. Cell vol. 70:369-372.
- 上埜喜八・佐藤雅志 (1993) イネの種子根形態の生態型間差異. 育種 43(別1): 214.

Summary

We evaluated a method for testing the spiral growth of seminal roots in order to increase the seedling establishment rate of direct-seeded rice on the soil surface in flooded paddy fields. For the morphological observation of seminal roots, we used 1/2 MS medium supplemented with 10g/l sucrose and 2g/l gellan gum, and placed sterilized dehulled rice seeds on the medium. When ion exchange water was poured onto the medium (3cm depth), varietal differences in the frequency of the spiral root type were observed. Since seminal roots penetrated easily into the gellan gum medium at a low concentration, we used 0.25g/l gellan gum medium and at-

tempted to parametrize the spiral growth of seminal roots (Fig. 1). Value of α / β was assumed to represent the degree of spiral growth of seminal roots. The α / β value (average within 1cm of seminal root length) was closely related to the seedling establishment rate in paddy fields ($r=0.967, P<0.001$). Thereafter, to determine the measuring points, we projected the α / β value on a fixed point with linear interpolation and extrapolation. The α / β value for 9mm of seminal root length on a fixed point showed the highest positive correlation with the seedling establishment rate ($r=0.941, P<0.01$). Consequently, it was considered that the use of gellan gum medium at a low concentration was effective for the development of an *in vitro* testing method to increase the establishment rate of direct-seeded rice on the soil surface in flooded paddy fields.

T. Arai¹⁾
N. Inoue²⁾
R. Ikeda³⁾
H. Hirasawa³⁾
A. Ujihara²⁾
M. Minami²⁾

¹⁾ United Graduate School, Shinshu University, Minami-minowa 399-4598, Japan.

²⁾ Faculty of Agriculture, Shinshu University, Minami-minowa 399-4598, Japan.

³⁾ National Agriculture Research Center, Tsukuba 305-8666, Japan.