

原著

# イネ種子根のらせん生長および伸長量と 湛水土壌表面直播における苗立ち性との関係

信州大学農学部、\*東北農業試験場  
井上直人・荒井輝博・金 漢龍\*・萩原素之

## はじめに

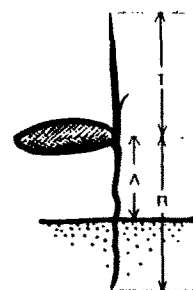
高等植物の根のらせん生長は多くの種で観察されている (Darwin, 1882; 廣田, 1976; Okada and Shimura, 1990)。イネでは種子根のらせん生長の程度は品種によって異なることが明らかにされている (井上ら, 1993; 上埜・佐藤, 1993; 一井・梁, 1996)。さらに、種子根のらせん生長はイネの湛水土壌表面直播における種子根の土壌への貫入に関与し、真横から見た時のらせん生長の屈曲の角度が大きいほど広義の苗立ち率 (土壌表面から根までの距離が 1cm 以内の個体を苗立ち個体と数えた場合の個体割合で個体群の定着の尺度) が良好なことがわかっている (井上ら, 1993a,b,c; Inoue *et al.*, 1997, 1999)。そこで、この形質に関する簡易検定法を検討し (荒井ら, 1996, 1998b)、IRRI のコアコレクションをスクリーニングした結果、種子根のらせん生長に関して大きな変異が認められ、従来最も苗立ち性が良好だった Arroz da Terra よりも種子根のらせん生長の屈曲角度が大きく、浮き苗の発生が少ない優れた品種を選抜することができた (荒井ら, 1997; Arai *et al.*, 1999)。これらのことから、湛水土壌表面直播における高苗立ち性品種を選抜するためにはこの簡易検定法が有効と考えられた。

しかしながら種子根のらせん生長の屈曲程度が同程度に大きい品種であっても、土壌表面から根までの距離を計測して比較すると有意差が認められた (荒井ら, 1998a; Arai *et al.*, 1999)。このことは浮き苗率に他の要因が強く関与する場合があることを示唆するものである。そこでこの原因を明らかにするため、種子根のらせん生長が著しく、また屈曲の程度がほぼ同じ品種を用い、異なる水温条件下における種子根などの初期生長について比較検討した。

## 材料と方法

供試材料は第 1 表に示した。簡易検定法において種子根のらせん生長の屈曲角度が最も大きかった CAWWA/FORTUNA 6-103-15 (IRGC accession number 5441) [CA] と KANIRANGA (IRGC accession number 9145) [KA] を用いた。これらは IRRI コアコレクションの品種である。また比較対照品種として苗立ち性が大きく異なる Arroz da Terra [AR] とコシヒカリ [KO] を加えた。

種子根のらせん生長の程度の調査は荒井ら (1998b) のゲランガム培地 (粘度 11cp) を用いた方法で 27℃ で実施し、スペクトル解析の手法の一つである MEM (日野, 1993; Ulrych, 1972) を用い、種子根を真横から見た形状 (根のゆらぎの角度) を解析した (井上ら, 1995; Inoue *et al.*, 1999)。湛水土壌表面直播における苗立ち率や種子根の貫入程度の調査は、室内に設置した水槽 (60 (L) × 80 (w) × 40 (H) cm) を用いて水温 20、24、26、28、30℃ で実施した。実験水槽はなるべく振動しないように設置した。水は停滞しないように水道水を一時間あたり 10 ℓ 流入させながら自然排水した。また水温は ±0.1℃ の精度でコントロールするために、ポンプでゆっくりとエアレーションして循環させた。1mm の篩を



第1図 苗立ちの程度の測定

A: 土壌に貫入しなかった  
種子根の長さ (cm)  
R: 種子根長 (cm)  
T: 草丈 (cm)

第1表 供試品種

品種	由来	分類群	苗立ち性	記号
CAWWA/FORTUNA 6-103-15	フィリピン	Japonica	最も優れている	CA
KANIRANGA	インドネシア	Indica (bulu)	水温 24℃ ~ 30℃ において Arroz da Terra 並	KA
Arroz da Terra	ポルトガル	Japonica	比較品種 (高苗立ち性)	AR
コシヒカリ	日本	Japonica	比較品種 (低苗立ち性)	KO

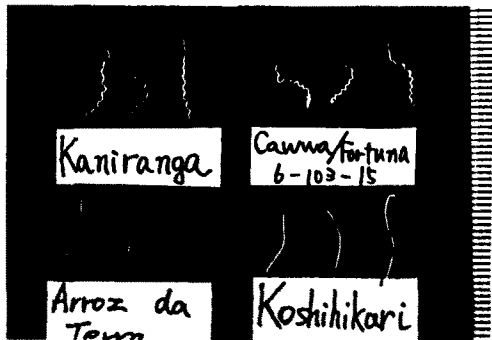
通した育苗用培土をつめた育苗箱を水深 15cm の位置に設置した。光条件は蛍光灯を用いた連続照射で、水面での照度を 600 lux とした。2 葉期に、種子根長 (R)、土壤に貫入しなかった種子根の長さ (A)、苗の草丈 (T) を測定した (第 1 図)。実験は 1 区あたり 6 個体用い、3 反復の乱塊法で実施した。

### 結果と考察

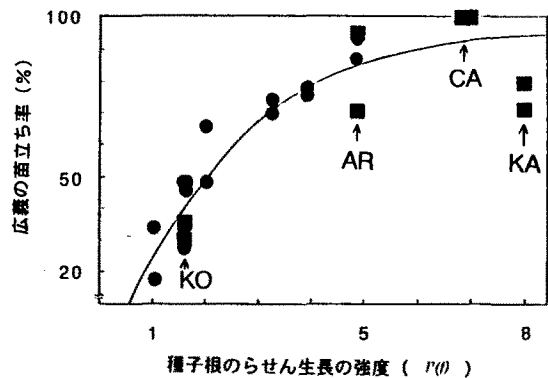
種子から 1cm 下方で種子根を切除して比較したのが第 2 図である。高苗立ち性品種である AR と比較して CA と KA のらせん生長はより明瞭であった。なお図には示さないが、AR ではらせん生長の程度に個体間差異が大きかったが、CA と KA はどの個体も同程度であった。

スペクトル解析により、らせん生長の程度 (真横から見た根のゆらぎの角度) を数値化した。また、水温 24 と 26℃ における広義の苗立ち率を求めた。約 25℃ における種子根の生長特性を示すパワースペクトル密度 ( $P(f)$ ) と実際の湛水土壌表面直播における苗立ち率の関係を示す図 (井上, 1997b) にこれらの数値 (■) を書き加えたのが第 3 図である。CA と KA の  $P(f)$  は他より高く、CA は頭打ちの曲線回帰 (対数) にそったものであった。しかしながら、KA の苗立ち率は予想に反して  $P(f)$  が高い割に低い傾向であった。

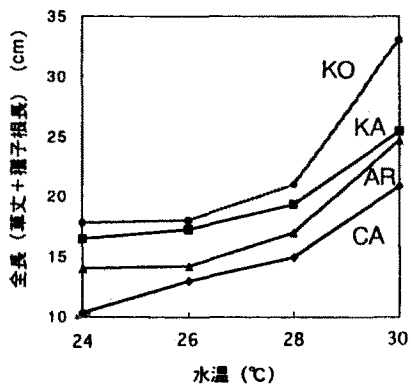
著者ら (1993b,c) は湛水土壌表面直播において浮き苗が発生する要因を考察し、三石 (1975) が指摘したような水中における見かけの重量 ( [苗の新鮮重量] - [浮力] ) 以外にも種子根の波打ち現象 (らせん生長の程度)、種子根の生長初期の伸長角度、種子根の伸長速度などが関与することを示唆した。低温条件で著しく伸長が劣る場合を除けば、品種間差異の多くはらせん生長の強さでほとんど説明できたが、本実験の KA の場合は説明しにくい。そこで、次に水温を変化させた実験の結果をもとに分析した。



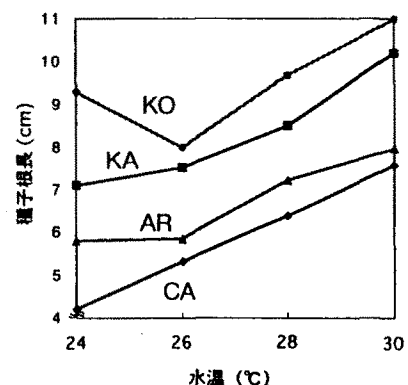
第2図 種子根の基部1cmの形状の品種間差異



第3図 種子根のらせん生長の程度と広義の苗立ち率の関係  
(●: 25℃, ■: 24または26℃)



第4図 各温度で生育させたイネにおける全長の品種間差異



第5図 各温度で生育させたイネにおける種子根長の品種間差異

24℃～30℃における苗の全長はKAがCAに比べていずれの水温でも約5cm有意に長く、KOの反応と類似していた(第4図)。種子根長においても同様にKAはCAと比べていずれの水温でも約3cm有意に長かった(第5図)。15℃～20℃の低温苗立ち性においては、低温発芽性や低温条件における伸長性が問題にされてきた(佐々木・山崎, 1971; Peterson *et al.*, 1978)。伸長が遅いために水中で苗の活性が低下し、病原菌に侵されて死滅して、苗立ち率が低下することは良く知られている。しかしながら、この実験のような比較的高い水温では伸長生長は旺盛であり、伸長量がCAより大きいKAの苗立ち率が低くなる原因は低温の場合とは異なると考えられた。この点を明らかにしないと苗立ちが安定して高い品種は育成できないであろう。

そこで次に種子根の伸長量と土壤に貫入しなかった種子根長の関係を探るために、異なる水温、品種を同一のグラフ上に示した(第6図)。その結果、種子根長と土壤に貫入しなかった種子根長は弱い正の相関関係にあることがわかる。KAはCAと同じ程度のらせん生長をしていても種子根の伸長量が約1.5倍と大きく、このことが種子根と土壤表面の距離を大きくする要因と考えられた。種子根が貫入する速度よりも伸長速度のほうが大きければ、必然的に種子と土壤表面の距離は大きくなるということであろう。低水温では地上部や根の伸長が良いと死滅する個体が減少するが、比較的高温条件では逆に種子根の伸長生長が大きいことが浮き苗を増加させると考えられた。

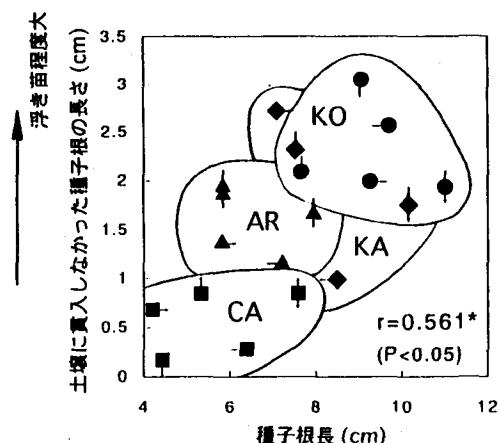
天野ら(1993)は15℃から20℃の水温での浮き苗の品種間差異が種子根の伸長量でうまく説明できないことから、根の伸長速度以外の形質が関与することを示唆し、著者ら(1993a,b,c, 1995)は低温では種子根のらせん生長性が浮き苗に関係深い重要な形質であることを示した。今回の実験から、20℃以上の水温では浮き苗の発生に種子根の伸長速度が負の要因として考えられた。これらのことから、低温でも高温でも苗立ちを良くする伸長特性とは、低温でも伸長する能力と同時に高温では伸長速度を抑える能力が必要と考えられた。高温条件ではどの品種でも伸長速度が大きくなるために、土壤との間の応力が大きくなることは避けがたいと考えられる。したがって、応力の大きさに応じて伸長速度を変化させる能力が必要であると考えられる。

現実の種子根の伸長量(R)は、物理刺激のない状態での伸長速度(潜在的な速度)と湛水土壌表面との間の応力の発生に伴う微弱な物理刺激に対する可塑的反応(わい化)で決まると考えられるため、その環境応答を解析することが重要と考えられた。

著者らは水耕栽培とガラスビーズ培地を用いた水耕栽培を行い、種子根の伸長量を比較した(井上ら, 1993c)。その結果、浮き苗の少ないARと朔在来のわい化率(水耕に対するビーズ培地での伸長量の比)はそれぞれ60%と45%であり、他の品種が70%以上だったのに比べて明瞭な差があった。湛水土壌中における物理刺激に対して鋭敏に反応し、わい化する能力があることもらせん生長の強さと同様に苗立ちに重要な形質であることが推察される。またガラスビーズ培地における種子根の伸長量はエチレン生成量と負の相関があることを品種間比較試験により認めた(Hagiwara *et al.*, 1998)。このことは、物理刺激に対するエチレン生成量の差異がわい化反応を通じて種子根長を左右し、苗立ち率の品種間差異に副次的に関与していることを示唆している。

## 引用文献

- 天野高久・田中英彦・井上直人 1993. イネ湛水直播における低温苗立ち性の品種間差異. 京都府立大農場報告 16: 12-21.
- 荒井輝博・井上直人・池田良一・平澤秀雄・南峰夫・氏原暉男 1996. 水稻湛水土壌表面直播における高苗立ち性に関わる種子根のらせん生長の簡易検定法. 育雑 46(別1): 162.
- 荒井輝博・井上直人・池田良一・平澤秀雄・氏原暉男・南峰夫 1997. イネのIRRI Core Collectionを用いた種子根のらせん型生長の検索. 熱帯農業 41(別2): 53-54.



第6図 種子根の伸長が浮き苗に及ぼす影響  
(○: 20, ●: 24, ▲: 26, △: 28, ◆: 30℃)

- 荒井輝博・井上直人・池田良一・平澤秀雄・氏原暉男・南峰夫 1998a. 水稻湛水土壌表面直播における簡易検定法により選抜されたイネ品種の苗立ち性 育雑 48 (別1) : 315.
- 荒井輝博・井上直人・池田良一・平澤秀雄・氏原暉男・南峰夫 1998b. 水稻湛水土壌表面直播における高苗立ち性に関わる種子根のらせん生長の簡易検定法. 育雑 48 : 301-307.
- Arai, T., N. Inoue, R. Ikeda, H. Hirasawa, A. Ujihara and M. Minami 1999. Evaluation of screening method for higher seedling establishment rate of direct seeded rice on the soil surface in flooded paddy field. *Jpn. J. Tropic Agric.* 43 (in press).
- Darwin, C. 1882. The power of movement in plants. (渡辺 仁訳「植物の運動」森北出版 東京)
- Hagiwara, M., N. Inoue, T. Arai and R. Ikeda 1998. Eco-physiological mechanism of the occurrence of floating seedling of rice in flooded paddy field. In Lu, H.Y., J. M. Sung and C.H. Kao, eds., *Asian Crop Science 1998. Proceedings of the 3rd Asian Crop Science Conference, Taiwan*. Chinese Society of Agronomy. p.309-312.
- 日野幹雄 1972. スペクトル解析. 朝倉書店, 東京.
- 廣田秀憲 1976. 牧草類の根の生長 1. 根端の首振り生長. 日草誌 22 : 156-160.
- 一井真比古・梁 正偉 1996. イネ種子根のらせん伸長とその遺伝 育雑 46 (別2) : 278
- 井上直人・天野高久・江湖暁子 1993a. 水稻の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.
- 井上直人・天野高久・江湖暁子 1993b. 水稻の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.
- 井上直人・天野高久・江湖暁子 1993c. 水稻の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) : 37-38.
- 井上直人・天野高久・林 泰一・江湖暁子 1995. 水稻の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、および苗立ち率の関係. 日作紀 64 (別1) : 84-85.
- 井上直人・荒井輝博・池田良一・天野高久 1997a. 水稻の湛水直播における苗立ち性に関する研究 (6) 低粘性培地中の種子根のラセン形状と苗立ち率の関係. 日作紀 66 (別1) : 84-85.
- 井上直人 1997b. 植物の根に関する諸問題 [52] イネ種子根のラセン運動の生態学的意味. 農業及び園芸 72 (11) : 1225-1233.
- Inoue, N, T. Amano and K. Khoko 1997. Seedling establishment of rice sown on soil surface in flooded paddy field. I. Varietal difference in seedling establishment. *Jpn. J. Crop Sci.* 66 (4) : 632-639.
- Inoue, N, T. Arase, M. Hagiwara, T. Amano T. Hayashi and R. Ikeda 1999. Ecological significance of root tip rotation for seedling establishment of *Oryza sativa* L. *Ecological Research* 14 : 55-62 (in press).
- 三石昭三 1975. 水稻の湛水直播における土壌中埋没播種に関する作物学的研究 石川県農業短期大学特別研究報告 第4号 : 1-58.
- Okada, K. and Y. Shimura 1990. Reversible root tip rotation in *Arabidopsis* seedlings induced by obstacle-touching stimulus. *Science* 250 : 274-276.
- Peterson, M.L., D.B. Jones and J.N. Rutger 1978. Cool temperature screening of rice lines for seedling vigor. *IL Riso* 27 : 269-274.
- 佐々木多喜雄・山崎信弘 1971. 水稻品種の低温発芽性と初期生育との関係. 第4報 苗立ち性との関係. 日作紀 40 : 474-479.
- 上埜喜八・佐藤雅志 1993. イネの種子根形態の生態型間差異. 育雑 43 (別1) : 214.
- Ulrych, T. J. 1972. Maximum entropy power spectrum of truncated sinusoids. *J. Geophys. Res.* 77 : 1396-1400.

## Relationship between spiral elongation of seminal root and establishment ability in direct seeding of rice

Naoto INOUE・Teruhiro ARAI・\*Han-Yong KIM・Motoyuki HAGIWARA  
(Shinshu University [inoue55@gipmc.shinshu-u.ac.jp], \*Tohoku Nat. Agr. Exp. Stn.)