

## 根乾物率による水稲根系活性の評価の試み

信州大学農学部, \*東北農業試験場  
萩原素之・服部篤司・井上直人・金漢龍\*

生育に伴う根系の拡大過程および根の生理的活性の推移を把握することは作物の生産性向上を図る上で重要と考えられる。本報は、根箱内で生長した水稲管理法の異なる水稲根系を対象に、根系形成と根の生理的活性の調査から得た結果に基づき、根系活性(根系全体としての根の生理的活性)の簡便な評価モデルを提案するものである。根系活性の簡便な評価方法の確立には次のような意義がある。すなわち、栽培管理に伴う根系活性の推移の違いを容易に把握できるようになるので、理想的な(例えば多収となる)根系活性の推移を明らかにしたり、理想的な根系活性の推移を実現する栽培管理の究明が容易になる。また、理想的な根系をもつ品種の育成(根系育種)にも有用であろう。

水稲根の生理的活性の評価は、根の形態・外観性状、根の酵素活性( $\alpha$ ナフチルアミン酸化力(山田ら, 1961)やテトラゾリウムクロライド(TTC)還元力(相見・藤巻, 1959)など)や呼吸速度による方法で行なわれてきた。さらに、切断した茎断面からの出液(森田ら, 1995; 森田ら, 1996; 森田, 1998; Songmuang, 1997)やその成分(森田・豊田, 1996; 折谷ら, 1997)による評価も行なわれている。しかしながら、根の形態・外観による方法では活性の定量化は難しく、その他の方法は出液量の測定を除けば化学分析などの手間を要する。根系育種を実施可能にするには測定容易で多数のデータを扱いやすい指標を確立することが必須である。このような観点からすると、本報で根の生理的活性の指標として注目した根乾物率(根乾物重/根新鮮重)は測定が容易であるので、出液と同様に有望な指標の一つと考えられる。そこで、根乾物率に注目した根系活性評価モデルのアイディアの概要を報告する。

### 材料および方法

#### 1. 栽培管理

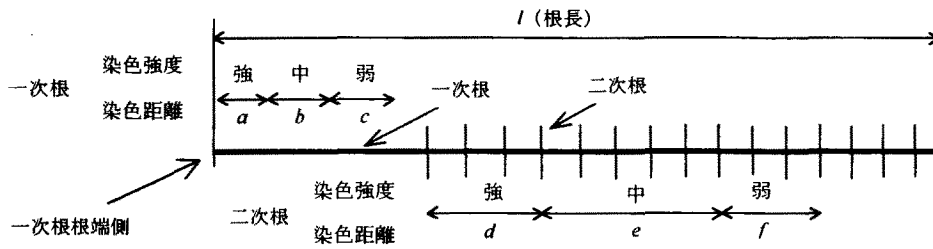
水稲育苗用培土(しなの培養土1号)を詰めた根箱(45×45×4cm)にコシヒカリの苗を7月3日に根箱あたり1株(1個体)移植した。常時湛水区と中途落水区を設け、中途落水区は7月19日~8月10日に土が大きくひび割れない程度に落水し、これ以外の期間は両区とも湛水深を約5cmとした。

#### 2. 根系の採取

幼穂分化期(7月19日)に1個体、出穂期(8月26日)、成熟期(10月13日)に両区とも各2個体の根系をピンボード法(Kono et al., 1987)で採取した。出穂期と成熟期のサンプリング時は、深さと株からの距離によって9つのメッシュの分布域別に根を分別した。

#### 3. 根の調査

根の新鮮重と乾物重(80°C, 48h 乾燥)を測定し、根乾物率(乾物重/新鮮重)を算出した。新鮮重は根表面の水分をティッシュペーパーで拭き取り迅速に秤量した。幼穂形成期は二価鉄の付着のみられる根(老齢根)およびみられない根(若齢根)各10本、合計20本を、出穂期と成熟期は各分布域から10本、合計90本の一次根をそれぞれランダムに選び、TTC染色反応により根の生理的活性を調べた。TTC染色反応はTTC溶液濃度を3%とした以外は定法(相見・藤巻, 1959)に従い、4時間の反応時間終了後ただちに根を水洗し、染色の観察までは水に浸して冷蔵庫に保管した。根の生理的活性の定量化のため、染色強度と染色距離を実体顕微鏡による観察で第1図に示した基準で同定した。すなわち、一次根、二次根とも染色強度は強、中、弱の3段階で判定した。また、それぞれの染色距離( $a \sim c, d \sim f$ )および一次根の全長( $l$ )を測定し、 $a/l, d/l$ 等のパーセント値を染色率とした。そして、染色強度×染色率の合計を各サンプル根の生理的活性とし、その平均値をもって根の生理的活性のデータとした。



第1図 水稻根のTTC染色反応による生理的活性の評価方法

一次根、二次根とも、根の活性 =  $\Sigma(\text{染色強度} \times \text{染色率})$  の平均値。染色強度は強=3、中=2、弱=1とし、各染色強度の染色率は  $a/l$ 、 $b/l$  等の%値とする。ただし、二次根の染色距離 ( $d \sim f$ ) は当該染色強度の二次根の出現範囲で、二次根長ではない。

## 結果

### 1. 根系の生長経過

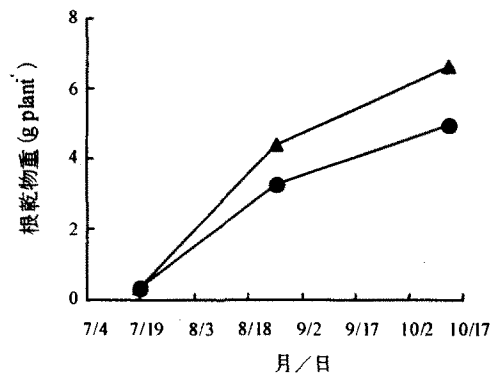
根乾物重は第2図に示したように、出穂期には常時湛水区が高く、成熟期には中途落水区との差がさらに拡大した。このように、根系形成は中途落水区で劣っていたが、中途落水区では葉色、草丈および茎数が落水終了後、常時湛水区に比べて低く推移していたことから、中途落水区では窒素吸収が制限されたため、地上部・地下部とも生長が抑制されたものと思われる。

### 2. 根の活性の推移

TTC染色試験によって得た根の生理的活性の推移を第3図に示した。ここでは幼穂形成期の値は老齡根と若齡根の平均値、出穂期以降の値は9つの根分布域の平均値で、老齡根と若齡根の存在比率や根の分布域による根量の違いは考慮していない。根系全体としての根の活性を示すためには、根量を考慮すべきであるが、本実験では老齡根と若齡根、一次根と二次根に分けて根量(根重、根長、根表面積など)を測定しなかったため、単純な平均値を示した。第3図によれば、一次根は幼穂形成期にはある程度の生理的活性を示すものの、出穂期以降は生理的活性が極めて低くなっていた。一方、二次根は常に一次根よりはるかに高い生理的活性を示すこと、出穂期に生理的活性が最高となっていたことがわかる。この結果から、幼穂形成期以降、特に登熟期間についてみれば、水稻根の生理的活性は主として二次根の生理的活性に支配されるものと思われる。

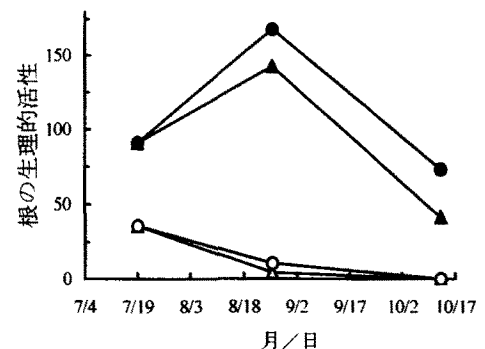
### 3. 根乾物率の推移

根系の根乾物率の推移を第4図に示した。ここでは、各分布域における根乾物率を分布域ごとの全根乾物重で重みづけした平均値を用いて結果を示してある。根系の根乾物率は幼穂形成期と出穂期ではほぼ同じであったが、成熟期には大幅に増大した。常時湛水区と中途落水区を比較すると、根乾物率は常時湛水区の方が高く推移し、出穂期以降の増加も大きかった。



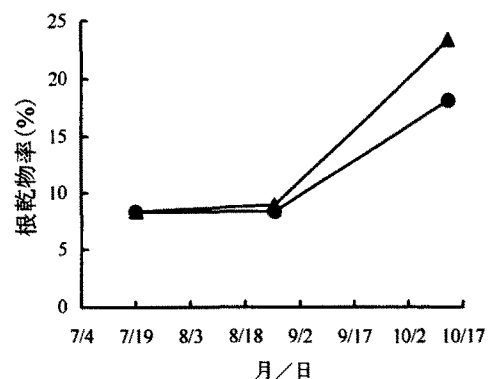
第2図 根乾物重の推移

▲: 常時湛水区, ●: 中途落水区



第3図 根の生理的活性の推移

△: 常時湛水区, ○: 中途落水区 (一次根)  
▲: 常時湛水区, ●: 中途落水区 (二次根)



第4図 根乾物率の推移

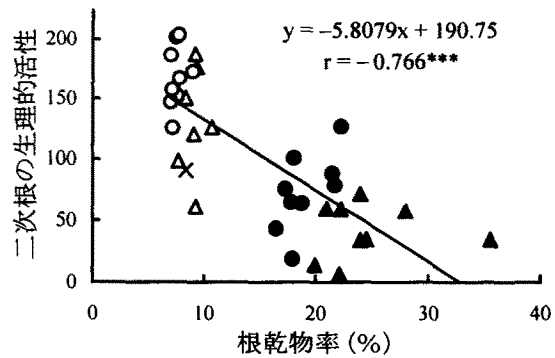
▲: 常時湛水区, ●: 中途落水区

#### 4. 根乾物率と根の生理的活性との関係

二次根の生理的活性は一次根のそれに比べて高く、特に出穂期以降は差が顕著であった(第3図)。したがって、幼穂形成期以降、特に登熟期については水稻の根系活性は二次根の生理的活性に支配されると考えてよいであろう。二次根の生理的活性と根乾物率との関係をみたのが第5図で、9の根分布域ごとに得た二次根の生理的活性と根乾物率との関係をプロットしたところ、0.1%水準で有意な負の相関関係が認められた。また、常時湛水区単独および中途落水区単独でみた場合でも0.1%水準で有意な負の相関関係は認められ、相関係数はそれぞれ -0.778 および -0.776 であった。

#### 考 察

本実験で扱った根系は、異なる水管理により生長経過(第2図)や生理的活性(第3図)に違いがあった。また、中途落水区の方が黒根の発生が少ないことも観察された。栽培条件の異なる根系のいずれでも根乾物率と二次根の生理的活性との間に高い相関関係が認められた(第5図)ことから、今後さらに検証の必要はあるが、根乾物率は根の生理的活性の測定容易な指標となりうるものとして注目したい。水稻根は成熟に伴いスベリン化(川田・頼, 1968)や木化(森, 1959)が進むことが知られており、根乾物率の生育に伴う推移は、根の老化に伴う根組織の変化を反映したものと考えられる。したがって、根乾物率が根の生理的活性の指標になるとの仮説には妥当性があるといえよう。第5図に示したように、根乾物率と二次根の生理的活性は全体としては負の相関関係にあるものの、出穂期あるいは成熟期のみ限定すると相関がみられない。根乾物率は生育に伴う根系活性の大きな変化の評価には有用と思われるが、根の分布域による生理的活性の違いのような細かな評価には向かないのかもしれない。水稻の根系活性の評価のためのモデル



第5図 根乾物率と二次根の生理的活性との関係

×: 幼穂分化期  
 Δ: 常時湛水区, ○: 中途落水区(出穂期)  
 ▲: 常時湛水区, ●: 中途落水区(成熟期)  
 根分布域ごとにデータをプロット  
 図中の回帰式は×のプロットを除いて算出

幼穂形成期以降、分枝根(二・三次根)は根数、長さ、表面積が一次根より著しく多い(川島, 1988)ことと第3図の結果を考え合わせると、幼穂形成期以降の水稻根の生理的活性は主として二次根の生理的活性に支配されることが示唆される。よって、幼穂形成期以降の根系活性(RSA)は次式で表せよう。

$$RSA = \text{二次根の生理的活性} \times \text{二次根根量} \dots\dots\dots (1)$$

根量としては、重量、根長、根の表面積等が考えられるが、ここでは測定容易な乾物重をとることにする。さらに、簡略化のために根量を二次根に限定しないことにすれば、(1)式は全根乾物重(RDW)を用いて以下のように書き換えられる。

$$RSA = \text{二次根の生理的活性} \times RDW \dots\dots\dots (2)$$

根量を二次根に限定しないことは、以下に導く根系活性の評価モデルを実用的なものにするために重要である。なぜならば、二次根のみの重量測定は困難だからである。また、川島(1988)のデータを用いた著者らの計算では、全根体積に占める二次根体積の割合は幼穂形成期以降一定とみなせた。これは全根乾物重と二次根乾物重との間の相関関係、ひいては(2)式の妥当性を示すデータといえよう。

一方、第5図より、根乾物率と二次根の生理的活性との間に負の相関関係があるとの仮説に基づいて、出穂期以降については二次根の生理的活性は根乾物率(RDMC)の一次関数と仮定すれば、

$$\text{二次根の生理的活性} = f(RDMC) = \alpha - \beta \times RDMC \quad (\alpha, \beta > 0) \dots\dots\dots (3)$$

となるので、(2)、(3)式より

$$RSA = f(RDMC) \cdot RDW \dots\dots\dots (4)$$

を得る。(4)式は、出穂期以降の根系活性が RDMC(根乾物率)と RDW(全根乾物重)という重量に関するデータのみで推定可能であることを示している。また、根乾物率と二次根の生理的活性との間の回帰係数である  $\alpha$  および  $\beta$  は RSA に関する重要なパラメータであることがわかる。

根系活性の評価のためのモデル(4)は、さらに実験データを蓄積して妥当性を検証する必要があるが、重量測定のみで根系活性を評価しようとする簡易なものであることから注目すべきものと考えている。本モデルの重要要素である根乾物率と二次根の生理的活性との負の相関関係について品種や栽培条件を変えてデータを蓄積し、回帰係数  $\alpha$  および  $\beta$  がどのような変異を示すのか究明する必要がある。この点に関して著者ら(井上ら, 1998)は水稻根系の容易な経時的サンプリング法を開発しており、この方法によるサンプリングを行なって検討を進めているところである。

一方、根乾物率(RDMC)の推移、すなわち、RDMC を時間(t)の関数として表現する( $RDMC=f(t)$ )ことが根系活性の経時変化のモデル化のためには必要である。第4図は RDMC の経時変化を示しているが、サンプリング回数が少なく、 $f(t)$ の関数の形を決めるには情報が不十分である。しかしながら、登熟期については以下の理由から  $f(t)$ は一次関数で近似できるかもしれない。すなわち、登熟期の水稻根の呼吸速度は直線的に低下する(山口ら, 1995)ので、根の生理的活性も直線的に低下すると考えられる。これは、第5図において横軸を時間軸に読み替えたのと同じことであり、根乾物率と時間との間の関係は一次式とみることができよう。

ここに提案した根系活性評価モデルはまだ仮説の段階であるが、データを蓄積した上で今後さらに検討を進めたいと考えている。

## 引用文献

- 相見 豊三・藤巻和子 1959. 根の機能に関する細胞生理的研究 II 水稻根に於ける  $\alpha$ -NA 酸化力の組織内分布と TTC 還元力との関係について. 日作紀 28: 205-207.
- 井上直人・中道秀人・野村愛子・萩原素之 1998. 水田におけるイネ根系の経時的な拡張パターンの測定. 日作紀 67(別 1): 60-61.
- 川島長治 1988. 水稻の根系形成に関する研究 第3報 根の数, 長さ, 体積, 表面積の推移. 日作紀 57: 26-36.
- 川田信一郎・頼光隆 1968. 水稻冠根における内皮細胞の分化過程と吸水の関係. 日作紀 37: 631-639.
- Kono, Y., A. Yamauchi, T. Nonoyama, J. Tatsumi and N. Kawamura 1987. A revised experimental system of root-soil interaction for laboratory work. *Environ. Control in Biol.* 25: 141-145.
- 森敏夫 1959. 水稻根における組織の分化と発育に関する解剖学的考察. 東北大農研彙報 11: 159-203.
- 森田茂紀・萩沢芳和・阿部 淳 1995. 乳苗移植栽培した水稻の出穂期以降における活力の評価—葉の枯れ上りと出液速度—. 日作関東支報 10: 27-28.
- 森田茂紀・豊田正範 1996. メキシコ合衆国バハ・カリフォルニア州の砂漠地域で点滴灌漑を用いて栽培したトウガラシおよびメロンの出液速度と成分. 日作紀 65(別 2): 119-120.
- 森田茂紀・萩沢芳和・阿部 淳 1995. 水稻の乳苗および稚苗移植栽培における根系の形態と機能に関する事例研究. 日作関東支報 11: 18-19.
- 森田茂紀 1998. 農家水田で栽培した水稻の出液速度の生育に伴う推移および日変化. 日作紀 67(別 2): 50-51.
- 折谷隆志・森田茂紀・萩沢芳和・阿部 淳 1997. 農家水田において移植栽培した水稻の乳苗および稚苗の収量. 日作紀 66(別 1): 216-217.
- Songmuang, P. J., J. Abe and S. Morita 1997. Application of rice straw compost to lowland rice and its effect on root morphology in Thai paddy fields. *Root Research* 6(Special issue No. 1): 32-33.
- 山田 登・太田保夫・中村 拓 1961.  $\alpha$  ナフチルアミンによる水稻根の活力診断. 農及園 36: 1983-1985.
- 山口武視・津野幸人・中野淳一・真野玲子 1995. 登熟期における水稻茎基部からの出液中のアンモニウム態窒素濃度ならびに出液中の珪酸:カルシウム比と根の呼吸速度との関係. 日作紀 64: 529-536.

## Possible Use of Root Dry Matter Content for the Estimation of Root System Activity

Motoyuki HAGIWARA\*, Atsushi HATTORI, Naoto INOUE and Han-Yong KIM\*\*

\* Corresponding author: mothagi@gipmc.shinshu-u.ac.jp, Fac. Agr., Shinshu Univ., 8301 Minamiminowa, Nagano 399-4598, Japan, \*\*Tohoku National Agricultural Experiment Station