

水田で栽培した水稻の出液速度の日変化および生育に伴う推移

森田茂紀*・阿部淳

(東京大学)

要旨: 根系の生理的活性を評価するための指標として出液速度を利用することを前提に、水田で栽培した水稻の出液速度に関する基本的な特性について検討した。茎葉部を除去した株について継続的に出液速度を測定したところ、処理直後から減少を始めた。そこで、毎回新しい株について出液速度を調査したところ、午前中にピークをもつ緩やかな山型の日変化パターンを示すことが確認できた。この日変化パターンを踏まえて、午前中に測定した出液速度の生育に伴う推移を検討したところ、出液速度は生育に伴って徐々に増加し、出穂期頃ピークに達した後、急激に減少していた。そこで「出液速度＝根量×単位根量当たりの生理活性」と考えて考察を進めた。すなわち、ファイトマー数と冠根数との間に比例的な関係が認められることを利用して、累積葉数からファイトマー数を推定し、出液速度をファイトマー数で割ったものを、単位根数当たりの生理的活性の指標と考えた。その結果、出液速度/ファイトマー数も出穂後急激に減少していたのは同じであるが、株当たりの出液速度の場合と異なり、出穂前の比較的早い時期から徐々に減少が始まっていた。このように、単位根数当たりの生理的活性は早期から減少を始めるが、それ以上に新しく出現する冠根の数が増加していくため、株当たりの出液速度は出穂頃まで徐々に増加する。出穂期前後に冠根の出現が終了すると、根系を構成しているすべての根の老化が進むため、株当たりの出液速度も急激に減少すると考えられる。

キーワード: 根系、出液速度、水稻、生育段階、日変化、ファイトマー。

水稻栽培における重要な管理作業には、例えば施肥や水管理のように、土壌を介して根系に働きかけているものが多い。したがって、適切な管理を行なうことを通じて水稻栽培を改善していくためには、いつ、どこに、どのような根が分布しているか、また、それらの根がどのように機能しているかという情報が必須となる。水稻の根系形成についてはすでに多くの研究成果が得られているが（森田 2000）、著者らは発育形態学的な視点からさらに研究を進め、(1) 根系の形態は根量とその分布の組合せによって把握できること、(2) 根量は冠根の数と側根を含む長さによって、分布は冠根の伸長方向と長さによって、それぞれ規定されること、(3) 冠根の数は、茎葉部を構成するファイトマー（川田ら 1963, Nemotoら 1995）の数によって規定され、冠根の伸長方向と長さは冠根の直径を介して、ファイトマーの大きさと密接に関係していることを明らかにしてきた（森田 1994a, 1994b, 森田ら 1995a, 1997a, 阿部ら 2000）。

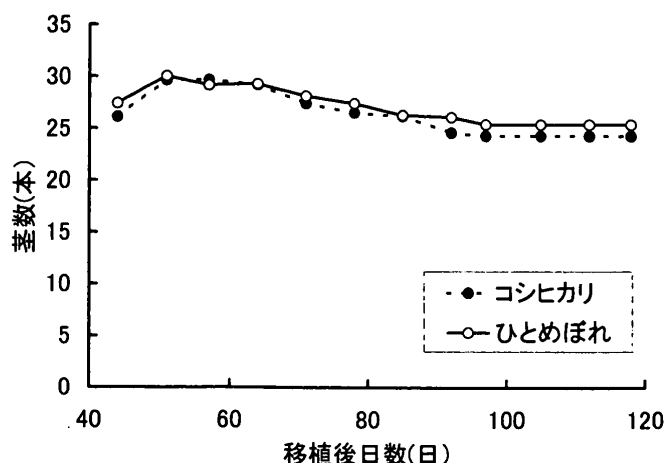
つぎの段階として根系の機能について、形態との関係を視野に入れながら検討を進めていきたいと考えているが、その場合、根系の機能をどのように評価するかが重要な問題となる。植物の根による吸水は、受動的吸水と能動的吸水に分けられる（Kramer and Boyer 1995）。受動的吸水は葉における蒸散に伴って起こるもので、水分吸収の大部分をまかなっている。一方、能動的吸水は根圧に基づくもので、受動的吸水に比較すると量的には少ないが、夜間や曇天のように蒸散がほとんど起こらない間の吸水に役立っている。能動的吸水の原動力となる根圧が発生するメカニズムについてはまだ十分に解明されていないが（加藤

1995）、根がエネルギーを使ってイオンを導管内へ積極的に取り込んだ結果、導管液と土壌溶液の間に濃度勾配が生じることが基盤となっていると考えられる（Schurr 1998）。そのため、生理的活性の高い根は能動的吸水能力も高いと捉えられている。

以上のような考え方に基づいて、能動的吸水が基盤となっている出液あるいは排水現象に着目して、水稻根系の生理的な活性を評価するというアイデアが古くからある（土井・山谷 1953, 馬場 1957）。出液速度の測定は容易であるだけでなく、呼吸や酸化力などの測定（根の事典編集委員会 1998）とは異なって根系を掘り出す必要がないため、著者らは国内および海外のフィールドにおいて出液速度を指標にして水稻根系の活力を評価することを試みている（森田ら 1995b, 1996, 1997b, Songmuangら 1997, 折谷ら 1997）。その場合に前提となる水稻の出液速度の基本的な特性については、すでにいくつかの検討が行なわれているが（平沢ら 1983, 山崎・阿部 1987, 蔣ら 1988, 山口ら 1995）、いまだ不明な点も少なくない。そこで、水田で栽培した水稻を対象として、出液速度の日変化、生育に伴う推移、根量との関係などの基本的な特性について検討を行なった。

材料と方法

本研究では、千葉県佐倉市の農家水田で慣行栽培された水稻を対象とし、1997年はコシヒカリおよびひとめぼれ、1998年はコシヒカリおよびふさおとめについて調査を行なった。耕種概要は両年ともほぼ同じであったので、1998年の場合を示すと、以下のとおりである。基肥としてJA



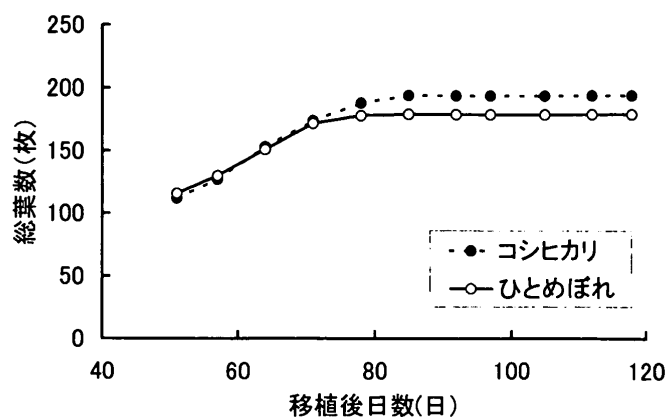
第1図 生育に伴う茎数の推移。

ネオパール（窒素5%，リン酸25%，カリ12%，苦土3%）を25 kg/10 a 施用し，5月4日に稚苗を条間約29 cm，株間約19 cmの栽植間隔（約18株/m²の栽植密度）で移植した。また，出穂約10日前にJA穂肥34号（窒素15%，リン酸4%，カリ15%）12 kg/10 aを穂肥として追肥した。

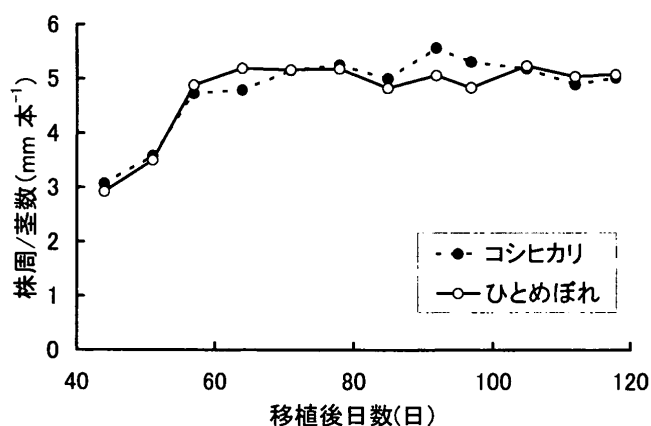
1997年は移植後約1ヶ月半以降，1998年は移植後約1ヶ月以降，いずれも成熟期までの間，1週間に1回のペースで出液速度の測定を行なった。また，1998年には7月10日（移植後67日目）—7月11日（同68日目）と，7月31日（同88日目）—8月1日（同89日目）の2回，出液速度の日変化を調査した。その場合，同一個体群について出液速度の推移を調査するとともに，1時間ごとに新たに異なる個体群の出液速度を測定して比較した。

出液速度は，以下のようにして測定した（森田・阿部1999a）。すなわち，株の基部をヒモでしばり，土壌表面から約10 cmの高さで茎葉部をハサミで切り取り，予め重さを測った綿を乗せて料理用ラップで包み，輪ゴムで止めた。1時間後に綿を採取して直ちに重量を測定し，増加分をそれぞれの株の1時間当たりの出液速度とした。測定株数は，生育時期別の場合は各回8-10，日変化の場合は各回5-6であった。なお，根域の温度が出液速度に及ぼす影響についても検討するため，土壌表面下約5 cmにおける地温を測定した。

両年とも，出液速度の最初の測定を行なう時に，それぞれの品種について平均的な生育を示している10株を選定し，実験終了までの期間，草丈，茎数，葉数，株の周長を継続して調査した。葉数は，それぞれ前回の調査時点からの増加分を数え，それを基にしてそれぞれの株を構成しているファイトマー数を推定した。株の周長は，土壌表面から約10 cmの部位を1 kg（生育初期は0.5 kg）の力をかけてヒモで縛った場合の長さとして用いた。また，株の周長を茎数で割って算出した平均茎直径の相対値を，ファイトマーの大きさの指標とした（森田ら1997a，阿部ら2000）。



第2図 生育に伴う総葉数（ファイトマーの数の指標）の推移。



第3図 生育に伴う株周長/茎数（ファイトマーの大きさの指標）の推移。

結 果

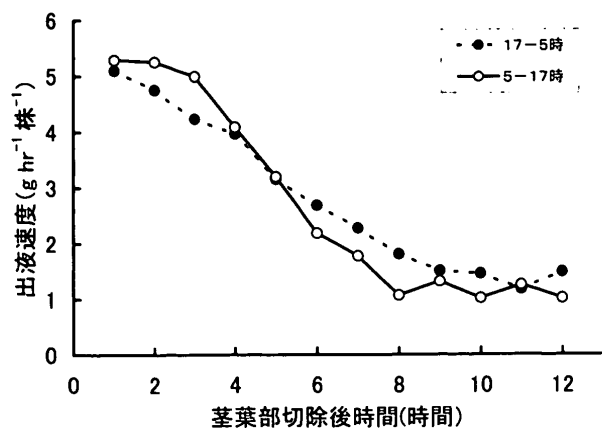
1. 茎葉部の生育と収量

1997年および1998年のいずれも茎葉部は順調な生育を示した。1997年についてみると，コシヒカリとひとめぼれの茎数の推移は，ほぼ同様のものではあった（第1図）。総ファイトマー数の指標となる株当たり総葉数も，両品種でほぼ同じ推移を示したが，コシヒカリの方が若干後まで増加していた（第2図）。ファイトマーの大きさの指標となる株周長/茎数の値も両品種でほぼ同じ推移を示し，移植後60日目くらいまで増加した後，ほぼ一定となった（第3図）。

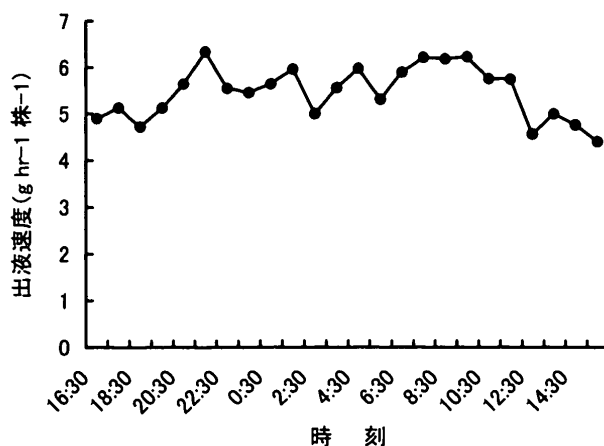
全刈り収量は，1997年のコシヒカリが570 kg/10 a，ひとめぼれが540 kg/10 a，1998年のコシヒカリが515 kg/10 a，ふさおとめが505 kg/10 aであった。これは，当該地域の両年における平均的な収量レベルといえる。

2. 出液速度の日変化

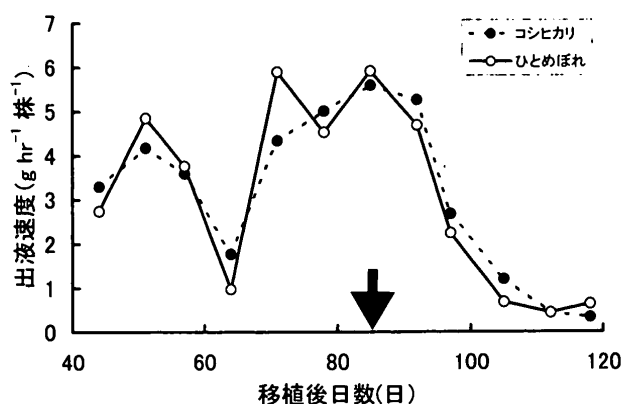
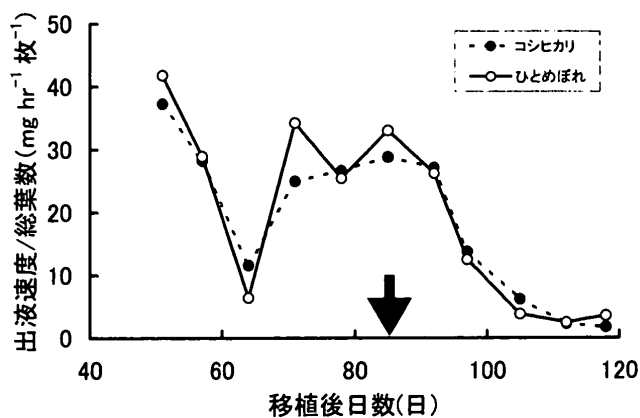
出液速度の日変化は1998年に栽培したコシヒカリについて，移植後67日目から68日目にかけて調査した。まず，67日目の午後5時から68日目の午前5時までと，68日目の午前5時から午後5時までについて，それぞれ同じ



第4図 株当たりの出液速度の推移 (同一の株)。



第5図 株当たりの出液速度の日変化。

第6図 生育に伴う株当たりの出液速度の推移。
図中の矢印は出穂期を示す。第7図 生育に伴う葉数当たりの出液速度 (単位冠根数当たり
の出液速度の指標) の推移。
図中の矢印は出穂期を示す。

5株について継続して調査した。その結果、いずれの場合も茎葉部を切除すると出液速度は減少を始め、約10時間後に低いレベル(茎葉部を切除した直後の約1/4)でほぼ安定した(第4図)。このように、同一株の出液速度は茎葉部を切除した時刻に関係なく、ほぼ同じ推移パターンを示した。

同日に1時間ごとに異なる6株の茎葉部を切除して出液速度を測定したところ、午前中に最高値、夕方に最低値を取る緩やかな山型の日変化を示したが、最高値と最低値との較差は比較的小さかった(第5図)。なお、1時間ごとに異なる株について測定したため、それぞれの測定時における茎数の平均値には若干の変異が認められた。そこで、茎数の補正を行なったが、出液速度の値や日変化パターンにはほとんど影響がなかった。また、同年の移植後88日目から89日目にかけて、再度同じ方法で出液速度の日変化を検討したが、同じように早朝に最高値、夕方に最低値を取る日変化パターンが認められた。

3. 生育に伴う出液速度の推移

生育に伴う出液速度の推移の様相は、両年で基本的に同様のものであったので、1997年のコシヒカリとひとめぼれ

れについて記載する。両品種の出液速度は生育に伴ってゆるやかに増加し、出穂期ころ最高値を取り、その後急激に減少した(第6図)。両品種の茎数の推移もほぼ同じであったため、1茎当たりの出液速度も株当たりの出液速度とほぼ同じ傾向を示した。なお、移植後64日目前後に出液速度の急激な落ち込みが認められたが、これは中干しの時期に対応していた。

つぎに、株当たりの出液速度を、それぞれの測定時における株当たりの累積総葉数で割って、単位冠根数当たりの出液速度を推定した。その結果、株当たりの出液速度の場合と同様に、出穂期以降の減少が激しかった。ただし、測定を開始した移植後44日目において、すでに単位冠根数当たりの平均出液速度が減少傾向を示している点が異なっていた(第7図)。

考 察

1. 出液速度の日変化

本研究において出液速度の日変化を調査した理由は2つある。1つは、出液速度の日変化が必ずしも明らかでなかったことによる、日変化それ自体に対する興味である。もう1つは、生育に伴う出液速度の推移を調査する場合に、

測定時刻を決めておく必要があるからである。ただし、いずれにせよ、出液速度の日変化を調査する前提として、茎葉部を切除することの影響について検討しておく必要がある。そこで、同一個体について出液速度の経時変化を調査したところ、茎葉部を切除した直後は大きな変化はないが、2—3時間後から減少を始め、10時間ほど経過すると低い値で安定した。測定開始時刻が異なっても、同じようなパターンが認められた。これと類似の現象は、すでに水稻において報告されているだけでなく(山口ら 1995)、コムギ(小柳 1995)やトウモロコシ(森田ら 2000)でも認められている。したがって、水稻の同一個体について継続して出液速度を測定しても正しい日変化パターンを知ることとはできず、毎回異なる個体について出液速度の調査を行わなければならない。一方、トウガラシやメロンでは茎葉部を切除してもすぐに出水速度が減少することはない(森田・豊田 2000)、山型の日変化パターンを示すことが報告されている(穂積ら 1976, Masuda and Gomi 1982)。したがって、出水速度に対する茎葉部を切除することの影響は、植物の分類群や根系の類型、ひげ根型根系であるか主根型根系であるかによって異なる可能性がある。現段階で結論付けることはできないので、作業仮説として提示するに留め、今後もデータを蓄積していきたいと考えている。

測定時毎に新たに異なる個体について調査を行なった結果、水稻の出水速度は午前中にピークをもつ山型の日変化パターンを示すことが明らかとなった。部分的に類似した報告が水稻について(平沢ら 1983)あるし、日中に最高値を取る山型のパターンはほかの植物でも認められている(Minshall 1968, Masuda and Gomi 1982, 梶田・島田 1993, 小柳 1995, Kramer and Boyer, 1995, 森田・豊田 2000, 森田ら 2000)ことから、これが水稻の日変化パターンであると考えている。

以上のような日変化パターンが生ずる理由については、現在のところ明らかでない。出水速度が地温によって影響を受けることはすでに報告があるので(小柳 1995, 山口ら 1995, Marshner 1995, 阿部ら 1998, 岡本ら 1999)、出水速度と地温の関係を検討したが、とくに対応関係は認められなかった。このことは、温度だけでは出水速度の日変化を説明できないことを示唆している(梶田 1989)。ただし、湛水条件にある水田の地温(土壌表面下5 cm)の日較差と出水速度の日較差のいずれも、畑作物で一般にみられる傾向に比較して相対的に小さいことは、両者がある程度関連している可能性を示唆している。ここではそれ以上の議論はできないが、本研究の結果、水稻の出水速度の日変化パターンが明確に確認できた。また、これを踏まえて、生育に伴う出水速度の推移を検討する場合の測定は、出水速度が最高値に達する午前中に行なうことにした。

2. 生育に伴う出水速度の推移

そこで、生育に伴う出水速度の推移を調査したところ、出穂期頃までは徐々に増加し、登熟過程で急速に減少した。ほぼ同様の結果はいくつか報告されているが(平沢ら 1983, 蔣ら 1988)、水田で栽培した水稻について、出水速度を指標とした根系全体の生理的活性の推移が明らかとなり、物指しのできたといえる。今後はこれを踏まえて、水田における根系の生理的活性に対する栽培条件・環境の影響(森田ら 1995b, 1996, 折谷ら 1997, 鯨ら 1999a, 森田ら 1997b, 1999c)や、登熟期における根系の生理的な活性と収量形成との関係(Songmuangら 1997, 森田・阿部 1999b, 1999c)について検討を行なっていきたいと考えている。また、今回の調査では出水速度の推移に品種間差異は認められなかったが、まだ事例研究が多くないため(蔣ら 1988, 鯨ら 1999b, 楠谷ら 2000)、さらに検討が必要と考えている。

生育に伴う出水速度の推移についてさらに考察するために、「出水速度=根量×単位根量当たりの生理的活性」と考えることにした(森田ら 2000)。すなわち、株当たりの出水速度を根量で割れば、単位根量当たりの生理的活性を推定できるという考え方である。水田において株当たりの根量を直接測定することは容易でないが、水稻個体を構成するファイトマーの数と冠根数との間、ファイトマーの大きさと根長との間にはそれぞれ密接な関係が認められること、とくに前者の関係が密接であることが明らかとなっている(森田ら 1997a, 阿部ら 2000)。そこで本研究では、株当たりの出水速度をファイトマーの数で割ることによって、単位冠根数当たりの出水速度を考察することにした。茎葉部を構成しているファイトマーはそれぞれ1枚の葉を持つので、それまでに出現したすべての葉数(枯れ上がったものを含む)を累積すれば、ファイトマー数となる。それぞれの品種について、標準的な生育を示した株のファイトマー数を推定し、株当たりの出水速度をそれで割ったものを単位冠根数当たりの生理的な活性の指標とみなした。その結果、ファイトマー当たりの出水速度は株当たりの出水速度の場合と同様、出穂後急激に減少した。ただし、株当たりの出水速度が出穂まで徐々に増加したのと異なり、出穂前のかかなり早い時期から減少を始めていた。すなわち、根系を構成する冠根の形態や機能が生育段階によって異なることなどが捨象されているが、根系全体としてみると冠根の老化は早期から進行していることになる。ところで、水稻の場合、出現する冠根の数は生育とともに徐々に増加し、出穂期前後に終了することが明らかとなっている(森田 2000)。このことから、出穂期頃まで株当たりの出水速度が徐々に増加したのは、すでに出現している冠根の老化は進んでいくが、それ以上に、新しく冠根が出現したためと考えられる。それが、出穂期頃になると新たな冠根の出現がなくなり、それまでに出現しているすべての冠根の老化が進むため、株当たりの出水速度が急激に減少する

ことになると考えられる (平沢ら 1983)。予備的な調査結果によれば、登熟期・成熟期における出液速度と収量形成との間には密接な関係が認められている (森田ら 1997b, Songmuang ら 1997, 森田・阿部 1999b, 1999d)。登熟期における根系の生理的活性は収量の形成に深く関係している可能性があるため、出液中のサイトカイニン濃度や葉色などを含めて (Soejima ら 1995, 折谷ら 1997)、今後検討を続けていきたいと考えている。

謝辞：研究材料とした水稻の栽培管理は、千葉県佐倉市の根本一男・豊子ご夫妻およびご子息の栄彦氏に全面的にお世話になった。ここに記して謝意を表する。

引用文献

- 阿部淳・岡本美輪・森田茂紀 1998. トウモロコシ幼植物の出液速度に対する地温の影響. 日作紀 67 (別2) : 182—183.
- 阿部淳・森田茂紀・萩沢芳和 2000. ポット栽培したイネの登熟期におけるファイトマーの数・大きさと根量の関係. 根の研究 9 : 131—134.
- 馬場勉 1957. 水稻の窒素及び珪酸の栄養生理に関する研究. IV. 溢液及び溢液中の珪酸について. 日作紀 25 : 139—140.
- 土井弥太郎・山谷馨作 1953. 稲葉の溢液現象 (GUTTATION) に及ぼす根の活力の影響. 山口大農学報 4 : 133—162.
- 平沢正・荒木俊光・松田永一・石原邦 1983. 水稻葉身基部の出液速度について. 日作紀 52 : 574—581.
- 穂積清之・野中正義・木下隆雄 1976. 野菜のいっ泌液に関する研究. 第1報. 果菜類のいっ泌液量の日変化について. 園学要旨昭和51年秋 : 132—133.
- 蔣才忠・平沢正・石原邦 1988. 水稻多収性品種の生理的特徴について—アケノホシと日本晴の比較—. 日作紀 57 : 139—145.
- 加藤潔 1995. 根による水の吸収. 農及園 70 : 519—526.
- 川田信一郎・山崎耕字・石原邦・芝山秀次郎・頼光隆 1963. 水稻における根群の形態形成について、とくにその生育段階に着目した場合の一例. 日作紀 32 : 163—180.
- Kramer, P.J. and J.S. Boyer 1995. Water Relations of Plants and Soils. Academic Press, New York. 167—200.
- 鯨幸夫・高橋利征・山田優也・佐藤匠・正津麻希子・梅本英之・北田尊宇 1999a. 不耕起移植栽培が「ほほの穂」の根系生育、根からのいっ泌液量、収量および収量構成要素に及ぼす影響. 日作紀 68 (別2) : 6—7.
- 鯨幸夫・佐藤匠・高橋利征・山田優也・土屋猛 1999b. 水稻 F₁ 品種の根系生育、いっ泌液量および収量構成要素と玄米品質. 日作紀 68 (別2) : 8—9.
- 楠谷彰人・崔晶・豊田正範・浅沼興一郎 2000. 多収性水稻の品種生態に関する研究—出液速度の品種間差異. 日作紀 69 : 337—344.
- Marshcner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Second ed. Academic Press, New York. 73—78.
- Masuda, M. and K. Gomi 1982. Diurnal changes of the exudation rate and the miniral concentration in xylem sap after decapitation of grafted and non-grafted cucumbers. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 51 : 293—298.
- 梶田正治 1989. トマトおよびキュウリの真昼と真夜中における木部いっ泌液の無機成分濃度. 園学雑 58 : 619—625.
- 梶田正治・島田吉裕 1993. トマト木部いっ泌液における無機成分濃度の日変化およびその濃度に及ぼす光照度と苗齢の影響. 園学雑 61 : 839—845.
- Minshall, Wm.H. 1968. Effects of nitrogenous materials on translocation and stump exudation in root systems of tomatos. Can. J. Bot. 46 : 363—376.
- 森田茂紀 1994a. 植物の根に関する諸問題 (13) 水稻の根系形成を考える場合の視点 (1). 農及園 69 : 933—938.
- 森田茂紀 1994b. 植物の根に関する諸問題 (14) 水稻の根系形成を考える場合の視点 (2). 農及園 69 : 1031—1036.
- 森田茂紀・山田章平・阿部淳 1995a. イネ根系形態の解析—成熟期における品種間比較—. 日作紀 64 : 58—65.
- 森田茂紀・萩沢芳和・阿部淳 1995b. 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・萩沢芳和・阿部淳 1996. 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・萩沢芳和・阿部淳 1997a. ファイトマーの数と大きさに着目したイネの根系形成の解析—ポット試験による根量の品種間差異の解析—. 日作紀 66 : 195—201.
- 森田茂紀・李義珍・楊惠杰 1997b. 中国福建省における水稻の畝立栽培. 第8回根研究集会講演要旨・資料集. 4.
- 森田茂紀・阿部淳 1999a. 出液速度の測定・評価方法. 根の研究 8 : 117—119.
- 森田茂紀・阿部淳 1999b. 農家水田で栽培した水稻の出穂後の出液速度. 日作紀 68 (別2) : 168—169.
- 森田茂紀・阿部淳・山岸順子 1999c. FACE 条件下における登熟期の水稻の出液速度の推移. 根の研究 8 : 138.
- 森田茂紀・阿部淳 1999d. 農家水田で栽培した水稻の出穂後の出液速度と穂重. 日作関東支報 14 : 70—71.
- 森田茂紀・岡本美輪・阿部淳・山岸順子 2000. 圃場で栽培したトウモロコシの出液速度と根量との関係. 日作紀 69 : 80—85.
- 森田茂紀・豊田正範 2000. メキシコ合衆国バハ・カリフォルニア州の沙漠地域で点滴灌漑栽培したトウガラシとメロンの収穫期における出液の速度と成分. 日作紀 69 : 217—223.
- 森田茂紀 2000. 根の発育学. 東京大学出版会, 東京. 1—189.
- Nemoto, K., S. Morita and T. Baba 1995. Shoot and root development in rice related to the phyllochron. Crop Sci. 35 : 24—29.
- 根の事典編集委員会編 1998. 根の事典 (9. 根の生理作用と機能). 朝倉書店, 東京. 326—418.
- 岡本美輪・森田茂紀・阿部淳 1999. トウモロコシ幼植物の出液速度に対する温度の影響. 日作紀 68 (別1) : 178—179.
- 小柳敦史 1995. 圃場におけるコムギ根系の能動的吸水に影響を与える諸要因. 根の研究 4 : 39—42.
- 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、出液速度および出液中のサイトカイニン濃度. 日作紀 66 (別1) : 216—217.
- Schurr, U. 1998. Xylem sap sampling - new approaches to an old topic. Trends Plant Sci. 3 : 293—298.
- Soejima, H., T. Sugiyama and K. Ishihara 1995. Changes in the chlorophyll contents of leaves and in levels of cytokinins in root exudates during ripening of rice cultivars Nipponbare and Akenohoshi. Plant Cell Physiol. 36 : 1105—1114.

- Songmuang, P., J. Abe and S. Morita 1997. Application of rice straw compost to lowland rice and its effects on root morphology in Thai paddy fields. *Root Res.* 6 (Special issue 1) : 32—33.
- 山口武視・津野幸人・中野淳一・真野玲子 1995. 水稻の茎基部からの出液速度に関与する要因の解析. *日作紀* 64 : 703—708.
- 山崎耕宇・阿部淳 1987. 水稻根の形態と出液速度との関係. *日作紀* 56 (別1) : 176—177.

Diurnal and Phenological Changes of Bleeding Rate in Lowland Rice Plants : Shigenori MORITA* and Jun ABE (*Univ. of Tokyo, Bunkyo 113-8657, Japan*)

Abstract : The bleeding rate of rice plants grown in the farmer's paddy field was examined for use as an index of root activity. The bleeding rate started to decrease immediately after removing the shoot of rice plants. Therefore, the diurnal change of bleeding rate was examined using new different individuals for each measurement. The bleeding rate increased to reach the maximum value in the morning and decreased thereafter. On the other hand, the maximum bleeding rate of the day increased gradually to reach the maximum around the heading stage, and thereafter decreased rapidly. Next, the bleeding rate was divided by the accumulated leaf number, which is known to be closely related to the total root number, to evaluate the bleeding rate per unit root number. The bleeding rate per leaf number started to decrease gradually at the early developmental stage and decreased rapidly after the heading. Because new roots emerge successively, the bleeding rate of the whole plant increased gradually, even though bleeding rate per unit root number decreased. The bleeding rate decreased rapidly after the heading, because new roots did not emerge after heading and senescence of the roots proceeded.

Key words : Bleeding rate, Developmental stage, Diurnal change, *Oryza sativa* L., Phytomer, Rice, Root system, Xylem sap rate.
