

西南暖地の普通期水稻栽培における根系活力と登熟について

下田代智英・五位塚のぞみ・佐々木修・松元里志

(鹿児島大学農学部)

要旨：西南暖地の普通期水稻栽培において、同地域の主力品種であるヒノヒカリを供試し、4施肥条件を設定し3ヵ年にわたり、生育期間中の出液速度を経時的に測定して、株あたりの根系活力の推移と、根系活力が登熟に与える影響を検討した。株あたりの出液速度は水稻の生育にともなって増加し、出穂期の約7日前に最大となった。その後、出穂期から乳熟期にかけて減少し、出穂期にはすでに根系活力が減衰過程にあることが示唆された。また、株あたりの出液速度は年次と施肥条件に大きく影響され、施肥条件より年次の変動が大きかった。次に、株あたりの出液速度と、各収量構成要素、登熟期の乾物増加量ならびに穂重増加量との相関関係を検討した。登熟期における株あたりの出液速度と乾物増加量ならびに穂重増加量との間には有意な相関関係は認められなかったが、出穂14日後の株あたりの出液速度は登熟歩合ならびに精粳千粒重との間に有意な正の相関関係を示した。以上より、登熟期の出液速度は根系活力が登熟に及ぼす影響について検討するための有効な指標となりえること、および乳熟期の根系活力の維持が登熟歩合を向上させる可能性が示された。

キーワード：根系、出液速度、水稻、西南暖地、登熟歩合。

西南暖地における普通期水稻栽培では、6月の移植とともに気温が上昇し、栄養生長期の過繁茂によって受光態勢が悪化したり、登熟期には高温かつ低日照に遭遇して登熟不良となることから、収量および品質のいずれも他の地域より低くなる場合が多い(嵐 1960)。また、今後は温暖化によって登熟期の高温が登熟に悪影響を及ぼすことも予想されている。

高温による収量低下の要因について、村田(1964)は直接的な影響として高温による同化と呼吸のバランスの悪化があり、間接的なものとして高温にともなう植物体の老化や根の吸水阻害による光合成機能の低下をあげている。また、登熟期の日平均気温が高いほど、植物体の老化や根の吸水阻害による光合成機能の低下のウェイトが重くなることも指摘している。津野(1976)は、登熟期における根の機能と登熟との関係について検討し、根の老化にともなう吸水力の低下が登熟に悪影響を与えることを指摘している。また、登熟期においては、根の老化や枯死により吸水能力が衰え、これが高温による光合成能力の低下や、気孔抵抗増大に起因する光合成速度の低下を促進すると報告している。このように、西南暖地における収量低下の大きな要因となっている登熟不良に、登熟期における根系機能の低下がかかわっているとする研究は多いが、根系機能を経時的に評価しながら検討した研究はほとんどない。

根系の生理的活性の評価には、 α -ナフチルアミン酸化力(Jiangら1994)や呼吸速度(山口ら1995)を測定することが従来から行われてきたが、根系の一部をサンプリングして検討している場合が多い。しかし、根系の中から平均的な根を取り出すことは難しく、このようなサブサンプル法では根系全体の機能や生理的活性を評価することが難し

い。その点、出液速度を測定する場合は掘り出さなくても株全体の根系を対象とできるため、その時点における根系全体の生理的活性を測定、評価することができるというメリットがある(森田ら2002)。出液速度は植物の能動的吸水能力を示す指標であり、蒸散にともなう受動的吸水に比べると量的に少ないが、エネルギーを利用した生理現象であるため、根系の生理活性を反映している可能性が高い(森田2002)。また、出液速度は前述の呼吸速度との間に高い相関関係が認められており、呼吸速度が高いほど出液速度も高いことが明らかになっている(山崎・阿部1987、山口ら1995)。

そこで、本研究では複数年にわたり、異なる施肥条件下で水稻を栽培して出液速度を測定し、西南暖地における水稻根系の生理的活性の推移の特徴を把握するとともに、登熟に及ぼす影響について考察した。

材料と方法

2002年から2004年までの3ヵ年間にわたり、鹿児島大学付属農場内の水田(シラス、砂壤土)において水稻品種ヒノヒカリを栽培した。その際、牛糞堆肥(N:2.6%, P:2.4%, K:1.8%)ならびにバーク堆肥(N:1.8%, P:2.6%, K:1.0%)と緩効性化学肥料(LP100)を組み合わせ、牛糞堆肥(2 kg m⁻²) + 緩効性化学肥料区(N:P:K=6:6:6 g m⁻²)、バーク堆肥(2 kg m⁻²) + 緩効性化学肥料(N:P:K=6:6:6 g m⁻²)区、緩効性化学肥料単用区(N:P:K=6:6:6 g m⁻²)、牛糞堆肥単用区(2 kg m⁻²)の4処理区を設定した。施肥は基肥一括で与え、牛糞単用区も追肥は行なわなかった。圃場は13aの水田の一筆を波板で4分割し、施肥条件ごとに一区画4.25aで無反復とした。

第1表 生育期間中の平均気温と平均日照時間.

	分げつ期 (～出穂前 30 日)		幼穂形成期～出穂期 (出穂前 30 日～出穂期)		登熟期 (出穂期～出穂後 40 日)	
	平均気温 (°C)	平均日照時間	平均気温 (°C)	平均日照時間	平均気温 (°C)	平均日照時間
2002 年	26.3	4.5	28.9	8.5	26.6	7.7
2003 年	27.5	4.7	28.6	8.0	27.5	7.7
2004 年	28.3	7.3	29.4	7.9	27.3	4.8
平年	27.6	6.5	28.4	8.1	26.3	6.4

第2表 年次および施肥処理間別の収量および収量構成要素.

		m ² あたり 穂数 (本)	平均 1 穂粒数 〔粒〕	m ² あたり 初数 (1000 粒)	登熟歩合 (%)	精粗千粒重 (g)	精粗収量 (g m ⁻¹)
年次間	02 年	399.6 ^b	90.2 ^b	36.0	78.2 ^a	27.0 ^a	751.2 ^a
	03 年	384.1 ^b	98.2 ^a	37.8	63.5 ^b	24.6 ^b	584.6 ^b
	04 年	422.1 ^a	89.5 ^b	37.8	65.7 ^b	25.2 ^b	622.4 ^b
処理間	牛糞 + 化学	412.6 ^{ab}	93.4	38.4 ^b	65.6 ^b	25.6	645.8
	パーク + 化学	439.1 ^a	93.7	41.0 ^a	65.3 ^b	25.3	684.1
	化学単用	387.0 ^{bc}	91.7	35.4 ^c	71.6 ^a	25.8	650.6
	牛糞単用	369.2 ^c	91.5	33.8 ^c	73.9 ^a	25.7	630.4

異なる文字は最小有意差法によって5%水準で有意差があることを示す.

牛糞 + 化学：牛糞堆肥 + 緩効性化学肥料区. パーク + 化学：パーク堆肥 + 緩効性化学肥料区. 化学単用：緩効性化学肥料単用区.

牛糞単用：牛糞堆肥単用区.

いずれの年も5月下旬に播種し、6月中旬に葉齢約3.5の稚苗を1株3本の手植えで移植した. 栽植間隔は株間18 cm, 条間30 cmで、栽植密度は18.5株m²とした. 移植後1週間はスクミリンゴガイ対策のため浅水とし、中干しは行わなかった. そのほかの栽培管理は、鹿児島県の慣行法に準じて行なった.

活着後から1週間毎に、いずれの処理区も同一条内の隣接する5株を3箇所から、合計15株選定し、草丈・葉齢・茎数を測定した. また、生育調査の結果から得られた平均茎数と同一の8株を各処理区から選定して、出液速度を測定した. 出液速度は幼穂形成期(出穂前約30日)から1週間毎に登熟期(出穂後約20日)まで、森田・阿部(1999b)の方法に従って測定した. 出液速度を測定した8株をそれぞれ葉身、茎(稈+葉鞘)、穂に分け、70°Cで48時間乾燥させた後、乾物重を測定した. 完熟期(出穂後約40日)に各処理区において15株の生育調査を行い、茎数が平均と同じ8株を選んで、収量調査を行った. 登熟歩合は比重1.06の塩水選で行った.

結 果

1. 気象概況と生育および収量

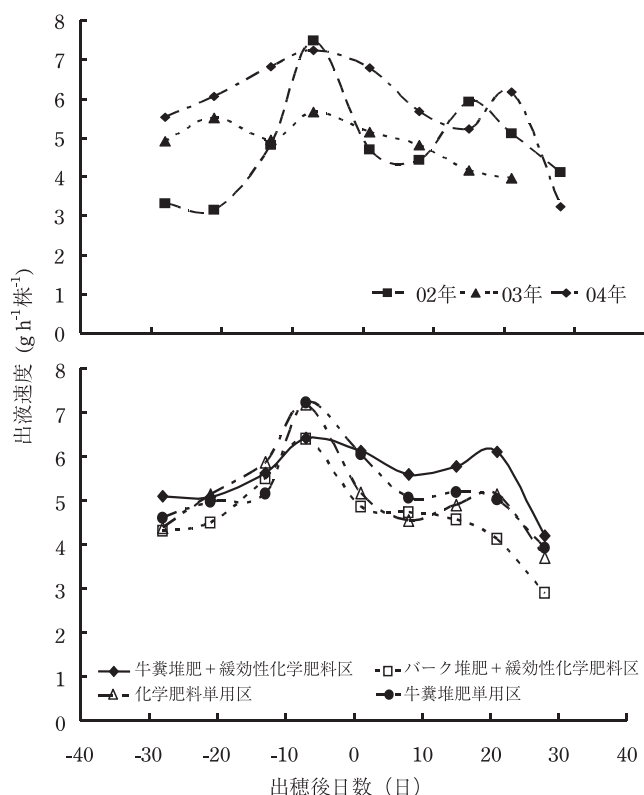
第1表に3ヵ年の生育段階ごとの日照時間と平均気温を示した. 2002年および2003年は活着期から分げつ期にかけて寡照であり、対照的に2004年度のこの時期は高温、多照であった. 幼穂形成期以降、出穂期にかけては3ヵ年

ともやや高温、多照傾向であった. 出穂期以降は2002年では多照で気温は平年並み、2003年は多照で気温は平年よりやや高かったが、特に登熟前期は平均気温が30°C近い高温であった. 2004年は登熟期に台風が接近し寡照となったが、気温は高く推移した.

第2表に年次別ならびに施肥処理別の収量および収量構成要素を示した. 単位面積当たりの穂数は年次間ならびに施肥条件間で有意差が認められた. 単位面積当たりの初数は年次間では有意差が認められず、施肥条件間で有意差が認められた. 登熟歩合は年次間で65.7~78.2%, 施肥処理間で65.3~73.9%と施肥処理間の差異はやや小さかったものの、年次ならびに施肥処理間の双方で有意差が認められた. 精粗千粒重は年次間で有意差が認められたが、処理間差は小さく有意ではなかった. 精粗収量は、584~751 g m²と年次間で有意差が認められたが、施肥処理間では有意差は認められなかった.

2. 出液速度の推移

第1図に年次別ならびに施肥処理別の株あたりの出液速度の推移を示した. 株あたりの出液速度は、年次別でも処理別でも、移植後から生育にともなって出穂7日前までは増加し、最大値を示した後、出穂期から乳熟期にかけて減少した. その後、株あたりの出液速度は2003年を除いて再び増加し、黄熟期には再び減少した. 2003年の株あたりの出液速度は他の2年よりも低く推移し、糊熟期に



第1図 年次別および処理別の株あたりの出液速度の推移。

においても減少した。幼穂形成期（出穂30日前～出穂期）における株あたりの出液速度は、施肥処理差より年次間差で大きかった。異なる施肥条件間での出液速度の差異は出穂7日に最大値を示す前までは小さく、その後の乳熟期においては緩効性肥料単用区より牛糞堆肥単用区と牛糞堆肥＋緩効性化学肥料区で大きくなった。

3. 出液速度の変異の要因

第3表に各時期の株あたりの出液速度と、出液速度測定直前の7日間の平均日照時間ならびに m^2 あたりの穂数との相関係数を示した。出穂期以前では株あたりの出液速度と日照時間との間に有意な正の相関関係が認められる場合が多く、日照時間が大きく影響したことが示唆された。そ

の後、出穂期には有意な負の相関関係が認められ、出穂期以後は負の相関関係を示したが有意ではなかった。登熟期を境に日照時間の影響が低下するかあるいは変化することが示唆された。

施肥の影響は茎数に現れ、 m^2 あたりの穂数は施肥間で有意差が認められた。一方、ファイトマー数と根量の間には比例的な関係が存在するため（森田1997）、茎数が多いほど根量も多くなる傾向がある。有効茎数は幼穂形成期にはほぼ決定されるので、この時期の茎数と穂数とはほとんど変わらない。そこで、 m^2 あたりの穂数と各時期の出液速度との間で相関関係を検討したところ、両者の間に有意な相関関係は認められず、年次ならびに処理間における出液速度の変異に茎数（根量）が与える影響は小さいことが示唆された。

4. 収量形成と出液速度との関係

第4表に各時期の出液速度と収量構成要素、乾物増加量、穂重増加量との間の相関係数を示した。乾物増加量、穂重増加量は、乳熟期から糊熟期にかけて大きく増加する。そこで、乳熟期から糊熟期までに測定した株あたりの出液速度の平均値と乾物増加量、穂重増加量との関係を検討したが、有意な相関は認められなかった。収量構成要素のうち、 m^2 あたりの穂数は幼穂形成期に、幼穂形成期から出穂期には1穂粒数、 m^2 あたりの粒数が、そして、登熟歩合ならびに千粒重は登熟期に決定される。そこで、各収量構成要素と各要素の決定時期の出液速度との関係を検討したところ、出穂前7日の株あたりの出液速度と1穂粒数との間に有意な負の相関関係が認められた。また、出穂後14日の株あたりの出液速度と登熟歩合ならびに千粒重との間に有意な正の相関関係が認められ、根系活力が高いほど登熟が良好となることが示唆された。また、精籾収量はいずれの時期にも有意な関係は認められなかったが、出穂後14日では相関係数が比較的高かった。

考 察

本研究では、異なる4施肥条件で3年間にわたり水稻を栽培し、出液速度と収量・収量構成要素について年次なら

第3表 時期別の株あたり出液速度と直前7日間の日照時間ならびに穂数との相関関係。

		直前7日間の日照時間	m^2 あたり穂数
株あたりの出液速度	出穂前28日	0.845*	0.073 ^{ns}
	出穂前21日	0.915*	0.017 ^{ns}
	出穂前14日	0.014 ^{ns}	0.427 ^{ns}
	出穂前7日	0.508 [†]	0.293 ^{ns}
	出穂期	-0.666*	-0.037 ^{ns}
	出穂後7日	-0.489	0.293 ^{ns}
	出穂後14日	-0.430	-0.037 ^{ns}
	出穂後21日	-0.149	-0.037 ^{ns}

†, *はそれぞれ10, 5%水準で有意であり、nsは有意でないことを示す。

第4表 時期別の株あたり出液速度と収量構成要素, 乾物増加量ならびに穂重増加量との相関関係.

	m ² あたり 穂数	平均1穂粒数	m ² あたり 穎数	登熟歩合	精籾千粒重	精籾収量	乾物増加量 (出穂後7-21日)	穂重増加量 (出穂後7-21日)
出穂前28日	-0.073 ^{ns}	0.108 ^{ns}	0.141 ^{ns}					
出穂前21日	0.017 ^{ns}	0.059 ^{ns}	0.057 ^{ns}					
出穂前14日	-0.427 ^{ns}	-0.436 ^{ns}	0.186 ^{ns}					
出穂前7日	-0.293 ^{ns}	-0.806 ^{**}	-0.172 ^{ns}					
出穂期	-0.039 ^{ns}	-0.393 ^{ns}	-0.141 ^{ns}	-0.073 ^{ns}	0.259 ^{ns}	-0.475 ^{ns}		
出穂後7日				-0.017 ^{ns}	0.240 ^{ns}	-0.364 ^{ns}		
出穂後14日				0.569 [†]	0.769 ^{**}	0.495 ^{ns}		
出穂後21日				-0.070 ^{ns}	-0.165 ^{ns}	0.257 ^{ns}		
出穂後7-21日 ¹⁾				-0.210 ^{ns}	-0.288 ^{ns}	0.197 ^{ns}	-0.143 ^{ns}	-0.105 ^{ns}

†, * はそれぞれ 10, 5%水準で有意であり, ns は有意でないことを示す.

¹⁾ は出穂後 7, 14, 21 日の出液速度の平均値を用いた.

びに施肥処理間差を認めた. 登熟歩合はやや低い水準にあるが, これは本研究においても西南暖地でよく見られる登熟期における寡照や高温により (第1表), 登熟不良を引き起こしたためだと思われる. しかしながら, 本研究では年次間ならびに施肥処理間で千粒重, 登熟歩合, 精籾収量に変異があり, 西南暖地における登熟と根系の生理的活性について活力を検討する材料として有意義であると考えられる.

1. 生育にともなう出液速度の推移

本研究においては, 登熟に対する根系の生理的活性の影響について検討する前提として, 生育にともなう出液速度の様相を把握した. その結果, 栽培年次や施肥管理に関係なく, 株あたりの出液速度は移植後から出穂7日前まで増加し, 出穂期には減少過程, すなわち, 根系の活力が減少していることが明らかになった (第1図). 関東地方においてコシヒカリを慣行栽培した場合の出液速度は, 生育とともに増加し, 出穂期頃に最高に達した後, 登熟期間中に急速に減少することが報告されている (森田 1998, 2002). このように, 株全体の出液速度の推移は, 関東地方と西南暖地では若干異なっていた. 供試品種が異なることもあるが, 両地域における環境条件が影響している可能性が大きいと考えられる. すなわち, 西南暖地では気温, 水温, 地温が高いために根系の老化が早くから始まることが古くから示唆されており (嵐 1960), 根数や根重が減少過程に入り, 根色も褐色に変わるなど出穂期には根系の生理的活性が低下しているという報告例もある (植木 1971). 本研究の結果は, 西南暖地においては株全体の根系の生理的活性が出穂期には低下過程にあることを, 出液速度を指標にして明らかにしたものである.

株あたりの出液速度の推移は特に登熟後期では年次差が大きく, 2002年を除いて再増加した (第1図). 出液速度の大小には, 地温 (穂積 1969, 山口ら 1995, 阿部ら 1998, 大橋 2000), 土壤水分 (小柳 1995, 森田 1998), 光条件 (梶

田・島田 1993) などの環境条件が影響することが, これまでに明らかとなっている. ただし, 本実験においては, 同時期の出液速度測定中の処理区間の地温の差異は1℃程度と小さく, 年次あるいは実験中に出液速度測定時の地温の変化も3℃程度であった. また, 出液速度の測定時には水位を下けているが, 常に湛水状態を保ち, 各処理区を同時に測定しているので, 土壤水分に大きな変化はなく, 地温, 土壤水分は出液速度を測定している期間にほとんど変化していないことから, 出液速度の差異に直接影響を与えている可能性は小さいと考えられる. それにもかかわらず, 出液速度の推移は年次間で比較的大きな差異が認められた. 3ヵ年の気象条件は大きく異なっており, これが出液速度の推移の年次間差の一因と考えられる. 出液速度と測定直前7日間の日照時間との関係について検討すると, 出穂期以前では有意な正の相関関係を示し, 日照時間の影響が大きいことが示唆された (第3表). 一方, 出穂期以後では両者の間で負の相関関係を示す傾向がみられたが, 出穂期のみが有意であった. この結果は出液速度に日照時間が与える影響の程度が出穂期を境に変化すると考えることもできるが, 本研究において日照時間は年次変化が大きいため, 日照時間の影響だけでなく他の要因が影響している可能性もある. 一方, 出液速度の施肥処理間差については, 施肥処理間で変異の大きかった茎数との関係を検討したが, 有意な相関関係は認められず, 施肥処理区間で差異の生じる要因については明らかにできなかった. 乳熟期における出液速度は, 緩効性肥料単用区より牛糞堆肥単用区と牛糞堆肥+緩効性化学肥料区で大きくなった (第1図). これには堆肥の有効化の速度が影響していると考えている. 堆肥は根系の形態や量 (川田・副島 1976) を変化させるという報告があり, こうした変化は茎葉地上部と根系のバランス (森田 1997), 茎葉部からの光合成産物の供給量 (津野・山口 1987) にも影響を与え, 間接的にも出液速度に影響すると思われる. 施肥条件, 中でも堆肥が出液速度に与える影響については複雑で多面的に検討する必要がある.

なお、本研究で認められた糊熟期（出穂後 20 日頃）における出液速度の再増加は、他の地域ではほとんど報告されておらず、西南暖地特有の根系の生理的活性の特徴を示している可能性がある。しかしながら、2002 年の寡照条件下では再増加が見られず、これについては日照との関係も考慮しながら検討する必要がある。

2. 登熟と出液速度との関係

これまでにも出液速度と登熟との関係については若干の検討が行われており、根重量当たりの出液速度と登熟歩合との間に密接な相関関係が認められたという報告（Yamamoto and Nishimura 1986）や、出穂期以降の出液速度の推移と穂重増加との間に密接な対応関係が認められるという報告（森田・阿部 1999a）がある一方、出液速度と収量関連形質との間に有意な相関関係は認められない（折谷ら 1997, 鯨ら 1999a, b）という報告もあり、まだ十分に研究が進んでいない。出液速度の多少に多くの環境条件や植物体の生理的状態が複雑に関係していること、茎葉部や根系の生育が異なるものを比較していることのほか、異なる時期に決定する要因を比較していることが、問題を見えにくくしている原因と考えられる。

本研究の結果、出液速度は年次や施肥処理間で異なるほか、登熟期間中に大きく変動することが明らかになった（第 1 図）。それにもかかわらず、根系の生理的活性の指標としての出液速度と登熟との関係を検討した多くの研究では、出穂期や登熟期など、ある特定の一時期のみの出液速度を用いて解析を進めており（折谷ら 1997, 鯨ら 1999a, b, 楠谷ら 2000）、出液速度の推移に着目した研究はほとんどない（森田・阿部 1999a）。しかし、登熟歩合や千粒重は主として登熟期間中の作物の様々な生理作用の累積的な結果として決まるものであり、測定時点における出液速度が必ずしも登熟期間全体の様相を反映しているわけではないため、登熟歩合や千粒重などと関係があっても明確に現れるとは限らない。このような考え方から、本研究では、登熟期における株あたり出液速度（出穂後 7, 14, 21 日の平均値）と、登熟期の乾物増加量、穂重増加量ならびに精籾収量との関係を検討したが、いずれの場合も有意な相関関係は認められなかった（第 4 表）。一方、出穂前 28 日（幼穂形成期）から出穂後 21 日（糊熟期）までの間に測定した出液速度について、各時期別に収量構成要素との関係を解析したところ、出穂 7 日後の株あたりの出液速度と 1 穂粒数との間に負の相関関係が、出穂後 14 日の株あたりの出液速度と登熟歩合ならびに精籾千粒重との間には有意な正の相関関係が認められた。出穂 7 日後の株あたりの出液速度と 1 穂粒数との間に認められた負の相関関係については、根系への光合成産物の供給に関して、地上部と地下部の間での競合の面から検討する必要があると思われる。また、出穂後 14 日の株あたりの出液速度と登熟歩合ならびに精籾千粒重との間に認められた有意な正の相関関係については、因

果関係をまだ十分に解明できていない。穂への転流もまた登熟期間中の作物の様々な生理作用の累積的な結果として決まるものであり、乳熟期を中心とした比較的短時間の根の活力が、登熟の良否に大きく影響するという結果については、さらに解析する必要がある。しかしながら、環境条件によっては初めのシンク能力の低下が登熟前半からおこるという報告（佐藤・稲葉 1976）があり、乳熟期を中心とした比較的短期間の根系の生理的活性が影響する可能性は考えられる。

また、出液速度を用いて研究を展開する場合、株あたりのほか、茎数あたりの値が用いられることが多い。これは、出液速度が根量と単位根量当たりの出液速度の両者によって決まるという考え方（森田 1998）から、根数と比例的な関係にあることが明らかになっている茎数を利用して、茎数当たりで表示して単位根量あたりの生理的活性を評価しようという試みである。さらに、楠谷ら（1986）は初数レベルをそろえた場合は、下層根の割合が多いほど稔実籾の登熟歩合が高くなることを報告しており、根系の量や分布の影響の大きいことを示している。本研究においては、有効茎数が幼穂形成期にはほぼ決定されており、収量構成要素における m^2 あたりの穂数とほとんど変わらなかったもので、 m^2 あたりの穂数との相関を見ることで、根量が出液速度に与える影響を検討しようとした。しかしながら、 m^2 あたりの穂数と各時期の出液速度との間には有意な相関関係は認められず、茎数（根量）と出液速度の年次ならびに処理間の変異との関連は明らかにできなかった。

以上、本研究の結果、登熟期間中の根系の生理的活性の指標として出液速度を測定したところ、年次や施肥条件によって大きくことなることが明らかになるとともに、西南暖地では出穂時点ですでに根系の生理的活性の低下が始まっていることが強く示唆された。出液速度の推移や年次間差に影響を及ぼす要因やそのメカニズムについては未だ明らかでないが、年次や施肥条件により異なる出穂 14 日後の出液速度と登熟歩合との間に有意な相関関係が認められ、登熟期間の比較的早い時期の根系の生理的活性を維持、向上させることで登熟不良を改善できる可能性が示唆された。出液速度を用いて、登熟期間中の根系の生理的活性を適切に評価するためにはどの時期に、どのように測定すればよいかについてさらに検討しながら、出液速度に影響を及ぼす要因やそのメカニズムの解明を進める必要がある。

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.
- 嵐嘉一 1960. 水稻の生育と秋落診断. 養賢堂, 東京. 8–158.
- 穂積清之 1969. 水稻の溢泌液に関する研究 第 4 報 断根処理が溢泌液量および液内無機成分におよぼす影響. 日作紀 38(別 1): 125–126.
- Jiang, D.A., T. Hirasawa and K. Ishihara 1994. Depression of photosynthesis in rice plant with low root activity following soluble

- starch application to the soil. Jpn. J. Crop Sci. 63 : 531–538.
- 川田信一郎・副島増夫 1976. 水稻根の生育, とくに“うわ根”の形成と堆肥の施用との関係について. 日作紀 45 : 99–116.
- 鯨幸夫・高橋利征・山田優也・佐藤匠・正津麻希子・梅本英之・北田敬宇 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 F_1 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・天野高久・佐々木右治・小林聡 1986. 水稻の冷温登熟に関する研究 第2報 根系の登熟性に関する貢献. 日作紀 55 : 321–326.
- 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.
- 榊田正治・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.
- 森田茂紀 1997. 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. 日作紀 66 : 195–201.
- 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ともなう推移および日変化. 日作紀 67 (別 2) : 50–51.
- 森田茂紀・阿部淳 1999a. 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 1999b. 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 2002. 水田で栽培した水稻の出液速度の日変化および生育にともなう推移. 日作紀 71 : 383–388.
- 村田吉男 1964. わが国の水稻収量の地域性に及ぼす日射と温度の影響について. 日作紀 33 : 59–63.
- 大橋善之・静川幸明 2000. 水稻の登熟期間における出液速度の品種間差と地温の影響. 根の研究 9 : 61–64.
- 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.
- 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.
- 佐藤庚・稲葉健吾 1976. 水稻の高温稔実障害に関する研究 第5報 稔実期の初炭水化物受け入れ能力の早期減退について. 日作紀 45 : 156–161.
- 津野幸人 1976. わが国耕地における作物の生産力とその向上について—暖地水稻多収獲へのアプローチ—. 日作紀 45 : 489–517.
- 津野幸人・山口武視 1987. 水稻光合成の高温低下現象と根の呼吸との関係ならびに根の呼吸速度に関与する要因の解析. 日作紀 56 : 536–546.
- 植木健至 1971. 南九州とくにシラス地帯における水稻生育に及ぼす灌漑水温の影響. 鹿児島大学農学部学術報告 21 : 28–35.
- 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.
- Yamamoto, T. and Nisimura, M. 1986. Relation between the tolerance to the sterility type of cool injury and the amount of bleeding water in rice plants. Japan. J. Breed. 36 : 147–154.
- 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.

Relationship between Root Activity and Ripening of Rice Plants Grown in South West-Warm Region in Japan : Tomohide SHIMOTASHIRO, Nozomi GOIDUKA, Osamu SASAKI and Satoshi MATSUMOTO (*Fac. of Agr., Kagoshima Univ., Kagoshima 890-0065, Japan*)

Abstract : The objectives of this study are to investigate the bleeding rate of rice plants grow in a warmer region in south-west part of Japan during the growth period, and the relation between root activity and ripening were investigated. The bleeding rate of the rice plants (var. Hinohikari) grown under four different fertilizer application levels, were measured during the growth period in 3 years. The bleeding rate increased during the plant growth and reached a maximum value at 7 days before heading and decreased until the milk ripe stage. These results indicated that root activity of rice plants began to decrease before heading. The bleeding rate varied with the year and fertilizer application level, particularly with the year. The bleeding rate at the ripening stage did not significantly correlate to the yield of winnowed paddy, and increase in the dry matter and spike dry weight. However, the bleeding rate at 14 days after heading was significantly correlated with the percentage of ripened grain and the thousand grain weight. Thus, the bleeding rate could be used as an effective index in study on the effect of the activity of whole root system on ripening. The high root activity at milk ripe stage resulted in good ripening.

Key words : Bleeding rate, Percentage of ripened grain, Rice, Root system, South west-warm region in Japan.