

西南暖地における普通期作水稻の出液速度と収量構成要素との関係

下田代智英[†]・藤元優子・佐々木修・松元里志¹⁾

(作物学研究室, ¹⁾附属農場)

平成18年 8月10日 受理

要 約

西南暖地における登熟不良の改善のためには、根系の機能と収量構成要素の関係を明らかにする必要がある。そこで、本研究では異なる4施肥条件下で品種ヒノヒカリを栽培し、生育期間中の出液速度の変化を測定した。その結果、施肥条件により根系発達は異なり、根系の機能に差が生じていることが明らかになった。水稻根系の機能を示す出液速度は西南暖地においては出穂10日前から低下していることを定量的に捉えることができた。この出液速度と収量構成要素との関連を検討し、減数分裂期の出液速度と1穂穎花数、ならびに出穂期の出液速度と登熟歩合との間にそれぞれ有意な相関関係を認めた。これらのことは出穂期以降の根系機能の維持は登熟歩合を高め、収量を高める上で重要であることを示唆した。

キーワード：根系、収量構成要素、出液速度、水稻、西南暖地

緒 言

西南暖地の水稻の普通期栽培の平均収量は全国平均と比較して低い[9]。これは西南暖地特有の気象条件により、栄養成長期の生育は旺盛だが、その後の生殖成長期になると凋落し収量に結びつかないという、いわゆる秋落ち型の生育を示すことによる。この収量低下は登熟不良の影響が大きく、登熟期の寡照とともに高温による早い時期からの根系の機能の低下が一因とされている[14]。根系の機能は、施肥条件や土壌の物理性により変化することが知られており[19]、根系の機能を高めるために、経験的に中干しの励行や堆肥投入などが行われている。

作物根系の機能の評価には、これまで根の呼吸速度、 γ -ナフチルアミン酸化力が用いられてきた[13]。しかし、これらは単位根長あるいは根重あたりの生理活性の計測であり、根系全体の機能評価にまでは至っていなかった。近年、根の呼吸速度、 γ -ナフチルアミン酸化力とも高い相関を示し、根系全体の機能評価も可能と考えられる出液速度測定法が注目されている。水稻においても地温[16]、出液速度の

日変化[6]、品種間差[4, 10]あるいは根量[1, 17]との関係など多くのデータが蓄積されつつある。しかし、根系機能と水稻の収量形成との関連性についての検討は不十分である。

特に西南暖地水稻における収量・品質の向上、生産の安定には、根系の機能の維持がひとつの重要な鍵と指摘されているが、西南暖地水稻における根系の機能を定量的に把握し、根系の機能と収量構成要素との関係を検討したものはない。本研究では西南暖地における水稻の主力品種ヒノヒカリを用い、化学肥料と牛糞堆肥を組み合わせた施肥条件下で栽培し、施肥条件の違いによる水稻根系、地上部の生育および出液速度の変化を測定した。加えて、この出液速度で評価した、根系機能と水稻の収量及び収量構成要素との関連を検討した。

材 料 と 方 法

試験は、2001年に鹿児島大学附属農場学内農事部の水田で行った。13aの水田一筆内に1区画3.25aの慣行区(牛糞堆肥1.5t/10a, 化学肥料N:P:K = 4:6:5

[†] : 連絡責任者: 下田代智英 (生物生産学科 作物学研究室)

Tel : 099-285-8540, E-mail : shimotas@agri.kagoshima-u.ac.jp

kg/10a), 牛糞堆肥単用区(堆肥3.0t/10a), 化学肥料単用区(化学肥料N:P:K=4:6:5kg/10a), 無肥料区の4区を設けた. 供試品種にヒノヒカリを用い, 慣行に従い育苗した後, 6月15日に, 株間18cm, 条間30cm, 栽植密度18.5株/m², 1株3本で手植えにより移植した. 移植後10日目の6月25日から1週間毎に出穂期(8月23日)まで各処理区内の3箇所連続する5株について生育調査を行った. 根系の機能を評価するため, 森田らの方法[8]に従い, 各処理区から平均茎数の8株を選んで, 出液速度を測定した. 出液速度の測定は, 最高分けつ期(7月26日)・減数分裂期(8月15日)・出穂期(8月23日)・乳熟期(8月29日)・黄熟期(9月12日)の計5回行った. また, 出穂期(8月23日)と乳熟期(8月29日)には, 出液速度測定後, 平均的な出液速度を示した株を対象に, 円筒モノリス法によってサンプリングし, 根系を観察した. 収量調査は収穫時に(10月3日)に各処理区につき任意の5株を選び, 常法に従い測定した.

結 果

1. 気象概況と生育状況

2001年の水稻栽培期間中の気象条件は, 移植期の6月下旬から8月初旬の幼穂形成期までは高温多照であった. このため, 移植後の活着は良好で, その後の生育も順調に推移し, 茎数の急激な増加もあって最高分けつ期は平年より若干早く7月24日となった. 最高分けつ数も株あたり25本前後で, 栄養生長期の生長は旺盛であった. また, 幼穂形成期も多照であり, 1穂粒数も多くなった. 一方, 出穂以降黄熟期までは寡照・多雨で経過し, この登熟初期の寡照は登熟に悪影響を及ぼした.

施肥条件による生育を比較すると, 草丈は慣行区と無肥料区間に有意な差が認められ(Fig. 1), 最高分けつ期の茎数は慣行区で有意に多く, 無肥料区で少なくなって, 慣行区>堆肥単用区>化学肥料単用区>無肥料区となった(Fig. 2). 葉齢の推移には各処理間で差は見られなかった(Fig. 3).

2. 収量および収量構成要素

単位面積当たりの穂数は, 慣行区と堆肥単用区とが有意に大きい値を示した(Table 1). 1穂穎花数は, 平年と比較して全処理区とも多かったが, 処理間では堆肥単用区が最も大きい値を示した. 総穎花

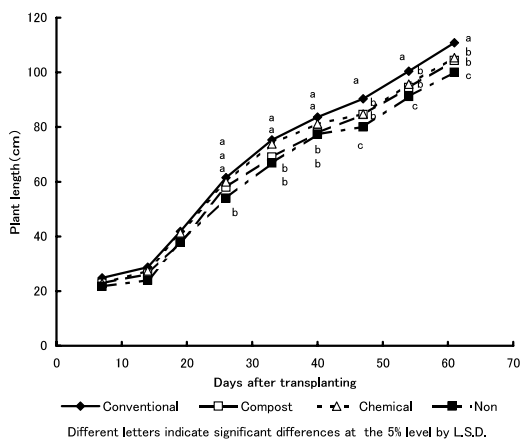


Fig. 1 Changes in plant length.

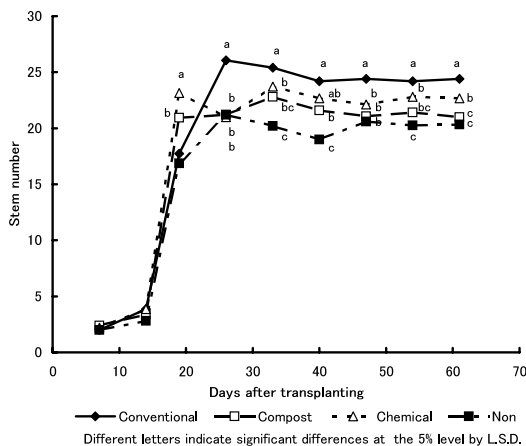


Fig. 2 Changes in stem number.

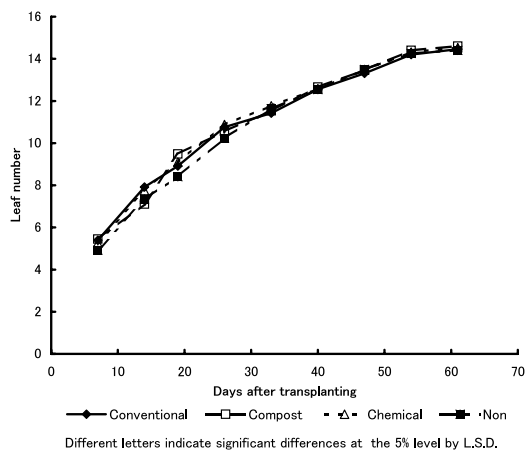


Fig. 3 Changes in leaf number.

Table 1. Comparison of yield and yield components for four fertilizations.

	No. of panicles /m ²	No. of spikelets / panicle	No. of spikelets × 103/m ²	Percentage of ripened grain (%)	1000-kernel-weight of winnowed paddy (g)	Yield of winnowed paddy (kg/10 a)
Conventional	436.6 ^a	97.80 ^b	42.7 ^a	47.93 ^b	25.06 ^b	512.87 ^{ab}
Compost	395.9 ^a	111.17 ^a	44.0 ^a	45.01 ^b	25.51 ^a	505.35 ^{ab}
Chemical	358.9 ^b	99.43 ^b	35.7 ^b	51.93 ^b	25.54 ^a	473.29 ^b
Non	373.7 ^b	98.41 ^b	36.8 ^b	63.29 ^a	25.73 ^a	598.88 ^a

Different letters following each value indicate significant differences at 5% level by L.S.D.

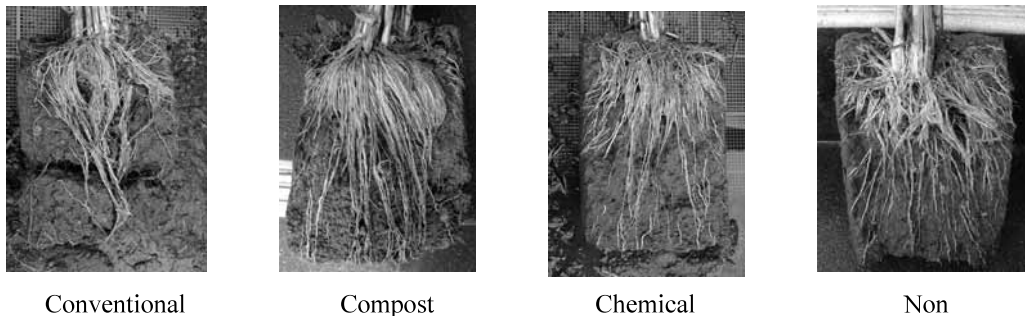


Fig. 4 Rice root systems in heading.

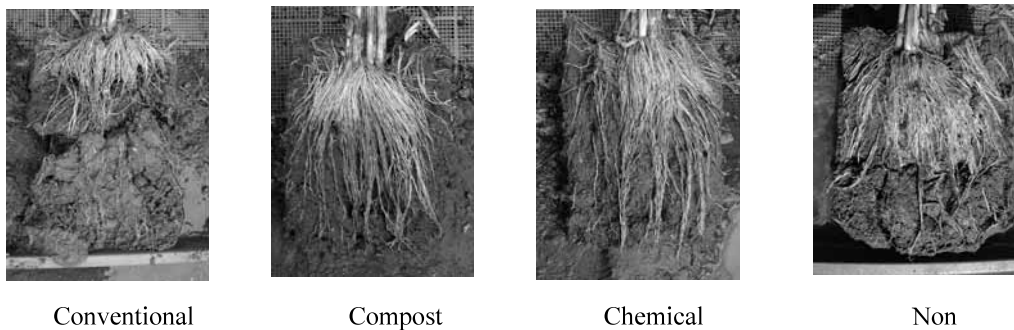


Fig. 5 Rice root systems in maturing.

数は堆肥単用区ならびに慣行区が多く、それぞれ 44000個/m²、42700個/m²となった。以下、無肥料区、化学肥料単用区となったが、いずれも35000個/m²を超え、穎花数は十分に確保できたといえた。一方、登熟歩合については無肥料区が有意に高い値を示したが、例年に比較すると、全処理区とも低い傾向がみられた。千粒重については慣行区が有意に小さい値を示した。その結果、収量については、無肥料区 > 慣行区 > 堆肥単用 > 化学肥料単用区の順に大きく、473 ~ 598kg/10aとなった。

3. 出穂期ならびに登熟期の根系の形態

円筒モリス法によって掘り上げた根系の写真を Fig. 4(出穂期)とFig. 5(登熟期)に示した。根長や根重などの測定は行わなかったが、観察によると根系の特徴に相違が認められた。出穂期と登熟期ともに、堆肥単用区の根系が量も多く、色が白い根が多かったのに対し、慣行区では根量も少なく、色も褐色がかった。

4. 出液速度の推移

茎あたりの出液速度はいずれの処理区においても、出穂約1週間前の減数分裂期に最も高い値を示し、

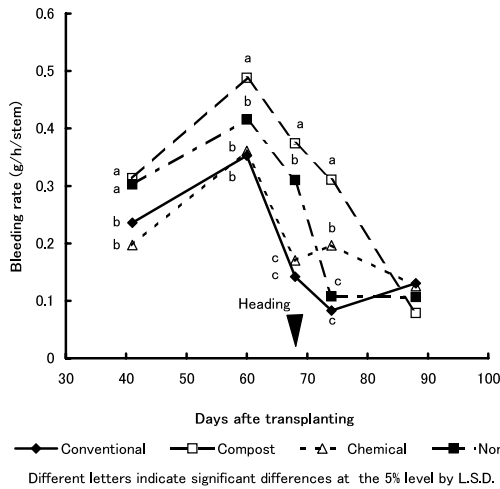


Fig. 6 Changes in bleeding rate per stem.

以後、急激に低下した(Fig. 6)。すなわち、根系の機能は、出穂前にピークに達した。つぎに、処理間について比較すると、測定期間中を通して堆肥単用区が有意に大きくかった。また、化学肥料単用区では、登熟期における出液速度の低下が緩慢であった。いずれの処理区でも黄熟期には出液速度は低下し有意差は認められなかった。

5. 出液速度と収量構成要素との関連

収量構成要素は生育に伴ってそれぞれの決定する時期の異なることが明らかにされている[5]。その情報をもとに収量構成各要素と根系の機能との関連性について、すなわち、収量構成要素とそれぞれの要素の決定時期における出液速度との関係を検討した。減数分裂期に1穂粒数が決定されることから、1穂穎花数とその時期の出液速度の関係を検討し、出穂期以降に登熟歩合と千粒重が決定されることから、出穂期、乳熟期と黄熟期の出液速度と登熟歩合、千粒重との関係をそれぞれ検討した。1穂穎花数と減数分裂期の出液速度との関係を見ると、両者の間には有意な相関関係($r = 0.889^{**}$)が認められた(Fig. 7)。千粒重と出穂期、乳熟期と黄熟期の出液速度との間にはいずれも有意な相関関係は認められなかった(Fig. 8)。また、乳熟期ならびに黄熟期の出液速度と登熟歩合との間には有意な関係は認められなかった(Fig. 9B, C)。しかしながら、出穂期の出液速度と登熟歩合との間には、堆肥単用区を除くと、有意な正の相関関係($r = 0.996^{**}$)を示した(Fig. 9A)。これらの結果は、根系の機能がその時期に決定される収

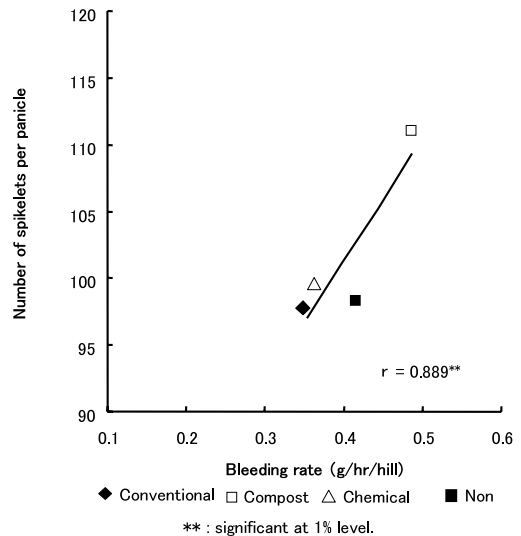


Fig. 7 Relationship between number of spikelets per panicle and bleeding rate at heading stage.

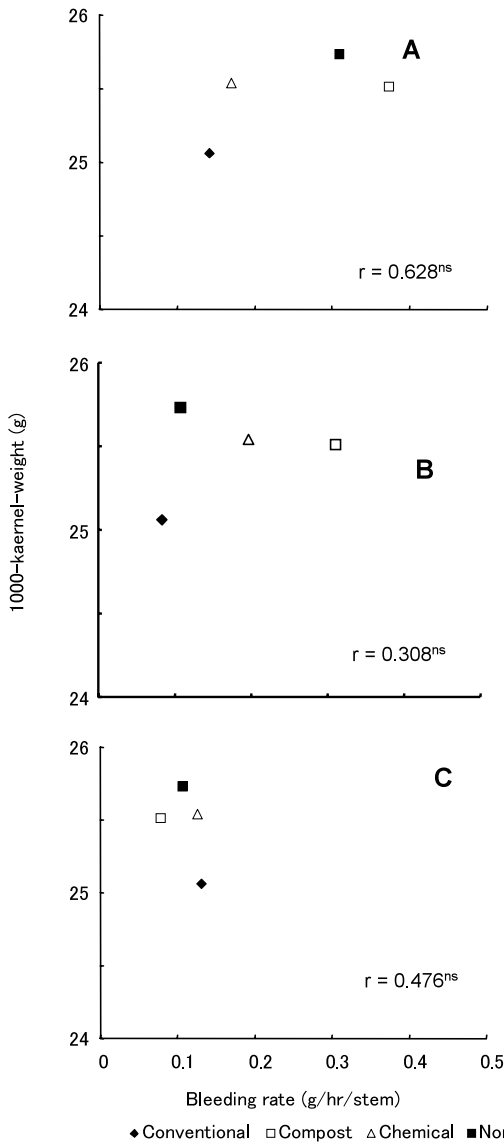
量構成要素と深く関わっており、登熟不良の改善には登熟期の根系機能の維持が重要であることを示唆している。

考 察

1. 2001年度の気象条件下で見られた生育の特徴と施肥条件による生育の相違

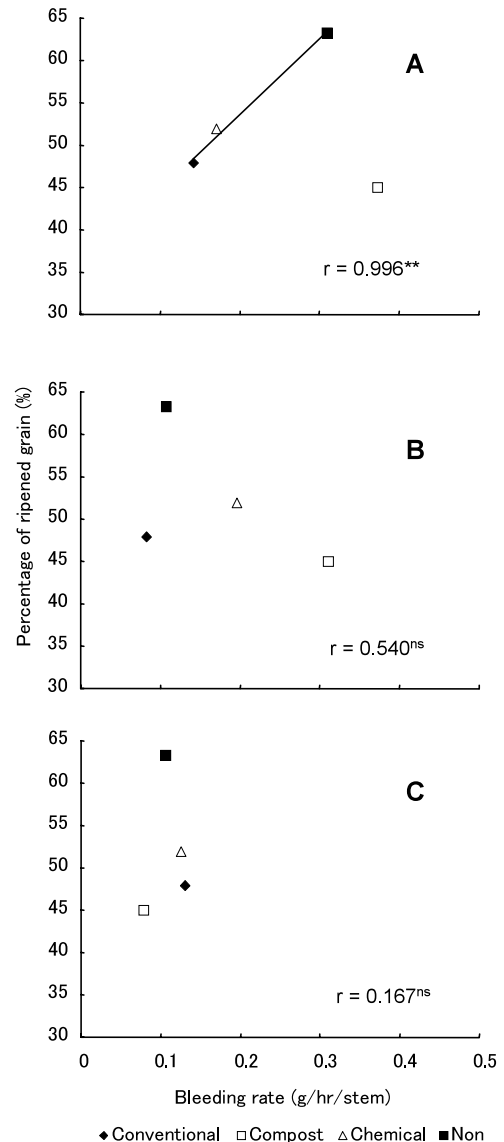
本研究は2001年単年度のデータであるので、複数年度、広い地域、様々な土壌条件にわたる研究が必要なのはいうまでもない。しかしながら、2001年度の気象条件下における生育の特徴を把握することは、西南暖地の普通期栽培の根系の機能を検討する上での前提条件となろう。2001年度は栄養生長期の気象条件に恵まれ、穂数ならびに1穂穎花数も十分に確保された(Table 1)。鹿児島でのヒノヒカリの初数は35000粒/m²程度が適当とされているが、本年の初数は最少の無肥料区においても35000粒/m²が確保されており、処理区によってはやや過剰となる40000粒/m²を越えていた。一方、登熟初期の寡照条件はその期間の光合成産物生産量の低下を招き、登熟歩合の減少につながった。このように、2001年度の気象状況は、西南暖地における普通期作水稻での秋落ち型減収を引き起こす典型的生育状況をもたらした。

次に、施肥条件の違いが水稻地上部、根系の生育状況と収量に及ぼす影響について見てみることにする。



** , ns : Significant and not significant at 5% level.

Fig. 8 Relationship between 1000-kernel-weight and bleeding rate at heading stage (A), milky ripe stage (B), yellow ripe stage (C).



** , ns : Significant and not significant at 5% level.

Fig. 9 Relationship between percentage of ripened grain and bleeding rate at heading stage (A), milky ripe stage (B), yellow ripe stage (C).

慣行区は草丈、茎数の増加速度が大きく、堆肥単用区も茎数、1穂穎花数が多く (Fig.1, 3), 4 処理区における総穎数は35890 ~ 43660粒/m²と約2割の大きな差異が生じていた (Table 1)。また、登熟期に決定される登熟歩合も堆肥単用区の45%から無肥料区の63%と大きな差異が認められた。その結果、精籾収量も473 ~ 598kg/10aと約2割の変異を生じた。一般に、窒素吸収量は栄養生長の増大ならびに穎花

数増加に与える影響が大きく、同一気象条件では窒素吸収量と穂数は高い正の相関関係を示す。本実験においては施肥条件の違いが各処理区の可給態窒素供給量に差をもたらし、それぞれの処理区のイネの窒素吸収量を変異させ、生育状況と収量に影響を及ぼしたものと思われた。根系については円筒サンプリング法による観察から、堆肥単用区では根量が多く活性の高い根が多く存在したことが推察された

(Fig. 4, 5). このように、本研究において設定した施肥条件は、地上部生育、収量レベル、根系発達にそれぞれ比較的大きな相違をもたらしたといえる。

2. 西南暖地における生育期間中の出液速度の推移

出液速度の生育期間中の推移を見ると、いずれの施肥条件でも、出穂約1週間前に最大値を示し、以後低下することが明らかになった(Fig. 6). 生育期間中の出液速度の推移は、関東以北では出穂期にピークを示すという報告が多い[5]. しかし、本研究で得られた結果からは西南暖地では出穂期にはすでに根の機能の低下が始まっていることが示唆された. これまでも西南暖地の水稻栽培においては根量測定や根系の観察を基に、早期から根系の機能が低下するという報告があり[15], 本研究の結果と一致する. しかしながら、これらの研究は根系全体の機能を定量的に評価したものではない. 本研究は出液速度の測定によって根系の生育時期別機能を定量的に捉えた数少ない例といえ、地上部および根系生長に変異を与えた水稻について検討していることから、本実験で得られた結果は西南暖地の水稻の特徴を比較的良好に表しているものと考えられる. あわせて、出液速度の測定は西南暖地における水稻根系の研究の有用な手法となることを示しているともいえる.

3. 施肥条件による出液速度の差異

次に、施肥条件により生じた出液速度の処理間差について検討する. 堆肥単用区の出液速度が最も高く、慣行区が最も低くなり、登熟期においては化学肥料単用区の出液速度の低下が緩慢であった(Fig. 6). 本研究では根量を測定していないため、施肥条件がどのようなメカニズムで出液速度に影響するかを検討することはできないが、慣行区で出液速度が低かったことならびに堆肥単用区で出液速度が高かったことは、根系の観察結果とも概ね一致した. 一方、化学肥料単用区については出穂期・乳熟期の2時期の根系の観察では明らかな差異はみられなかった. 出液速度が変化する要因は根量と生理活性とに分けて考えることができる[6]といわれており、根量や分布なども含めた根の形態に関するデータと光合成産物量の分配を含めた生理活性に関連するデータを測定し、この点を解析する必要がある.

4. 根系の機能と収量構成要素

根系の機能が生育あるいは登熟の過程に大きな影

響を及ぼすといわれており、根系の機能と登熟に関しては、これまでもいくつかの検討がなされている[12]. Yamamoto and Nishimura[17]は、根重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あること、森田・阿部[7]は、出穂期以降の出液速度は穂重増加と密接な対応関係があることなどを明らかにしている. 一方で、鯨ら[2, 3]や折谷ら[11]も出液速度と収量関連性質との関係について検討しているが、明確な関連性を示す結果を得てはいない. 本研究では、堆肥単用区を除いた場合に、登熟歩合と出穂期の出液速度との間に有意な相関関係が認められた(Fig. 9). 堆肥単用区において登熟歩合と出穂期の出液速度との間に有意な相関関係が認められなかったのは、一穂穎花数が非常に多くなったことの影響が考えられる. 一般に穂数と登熟歩合には負の相関がみられ、さらに、一穂穎花数が増え、2次枝梗の穎花が多くなった場合、これら2次枝梗の穎花は弱勢で登熟が不十分になりやすいためである. 今後はこのようなシンク容量の影響も加味した出液速度の評価法を検討する予定である.

引用文献

- [1] 穂積清之 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 (1969)
- [2] 鯨幸男・高橋利征・山田優也・佐藤匠・疋津麻希子・梅本英之・北田敬宇 不耕起移植栽培が「ほほほの穂」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 (1999a)
- [3] 鯨幸男・佐藤匠・高橋利征・山田優也・土屋猛 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): 8-9 (1999b)
- [4] 楠谷彰人・崔晶・豊田正範・浅沼興一郎 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(3): 337-344 (2000)
- [5] 松島省三 稲作の理論と技術. 養賢堂, 東京 (1959)
- [6] 森田茂紀 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 (1998)
- [7] 森田茂紀・阿部淳 農家水田で栽培した水稻の出穂後の出液速度と穂重. 日作紀 68(別2): 168-169 (1999b)
- [8] 森田茂紀・阿部淳 出液速度の測定・評価方法. 根の研究 8: 117-119 (1999c)
- [9] 村田吉男 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 (1964)
- [10] 大橋義之・静川幸明 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(Root Research) 9(2): 61-64 (2000)
- [11] 折谷隆志・森田茂紀・萩沢芳和・阿部淳 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 (1997)
- [12] Songmuang, P., Abe J. and Morita S.: Application of Rice Straw Compost to Lowland Rice and its Effects on Root Morphology in Thai Paddy Fields. *Root Research* 6 (Special Issue No.1) : 32-33 (1997)
- [13] 田辺 猛 中干し処理が水稻根の活気に及ぼす影響．東京農大農集報 16 : 35-43 (1971)
- [14] 津野幸人 わが国耕地における作物の生産力とその向上について - 暖地水稻多収種へのアプローチ - . 日作紀 45(3) : 489-517 (1976)
- [15] 植木健至 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(別) (1971)
- [16] 山口武視・津野幸人・中野淳一・真野玲子 水稻の茎基部からの出液速度に関する要因の解析．日作紀 64 : 703-708 (1995)
- [17] 山崎耕宇・阿部淳 水稻根の形態と出液速度との関係．日作紀 56(別1) : 176-177 (1987)
- [18] Yamamoto, T. and Nisimura M.: 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 (1986)
- [19] 王 余龍・新田洋司・姚 友礼・山本由徳 水稻の根の生育に及ぼす窒素の施用時期および施用濃度の影響 (1997)

Relation between Bleeding Rate of Rice and Yield Component in the South-western Part of Japan.Tomohide SHIMOTASHIRO[†], Yuuko FUJIMOTO, Osamu SASAKI and Satoshi MATSUMOTO¹*(Laboratory of Crop Science, ¹Experimental Farm)***Summary**

It is essential to clarify the relation between root activity and yield component to improve rice ripening in the south-western part of Japan. Therefore, bleeding rates of rice plants (cv. Hinohikari) grown under four different fertilizer application levels were investigated during growth period. The result showed that their root systems developed differently depending on fertilizer levels. The differences among the functions of the root systems were also observed. The maximum value of bleeding rate was shown at about 10days before heading for all fertilizer levels. There was a significant correlation between the bleeding rate at meiotic division stage and the number of spikelets per panicle. A highly positive correlation was also found between the bleeding rate and the percentage of ripened grain. These conclude that maintaining of root functions after heading stage is important to improve the percentage of ripened grain as well as to increase the yield of rice.

Key words : Root system, Yield components, Bleeding rate, Rice, South-west part of Japan

[†]: Correspondence to: Tomohide SHIMOTASHIRO (Laboratory of Crop Science)

Tel : 099-285-8540, E-mail : shimotas@agri.kagoshima-u.ac.jp