

水稻における根系と地上部のバランスが登熟に及ぼす影響

下田代智英*・佐々木修・米山貴子

鹿児島大学農学部作物学研究室 890-0065 鹿児島市郡元

Effects of Balance between Root and Top on Ripening in Rice Plants.

Tomohide Shimotashiro*, Osamu Sasaki and Takako Yoneyama

Laboratory of Crop Science, Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Korimoto, Kagoshima 890-0065

Summary

Lowering of the function of the root system with high temperature is concerned on the poor ripening in the normal-season cultivation of paddy rice of in south-west warmer place in Japan. Though function of root activity and top has complicated mutual relations, the research analyzed from point of a balance of root system and top is little. Then, the effect of both balance on the function of the root system was examined by making the material of which the quantitative relation between top and root differs by the change in planting number per hill and the use of organic material, and was measuring transpiration and leaf color at ripening stage. The result of this experiment, by the increase of planting number from 3 to 5, the number of panicle increased, and the yield became increasing. Since the increased of planting number increased the top prior, the result was obtained that the weight of leaf and stem/weight of root and all leaves length/weight of root increased. Then, transpiration and nitrate content of the leaf blades lowered by decrease of relative amount of root. It was indicated that low supply of water and nutrition per unit leaf area from root system decreased, and as the result, photosynthetic rate per unit leaf area might be lowered.

Key Words: Rice, root, root activity, shoot

キーワード：地上部，イネ，根，根の活力

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(嵐, 1960)。これは西南暖地特有の気象条件により、栄養生長期の生育は旺盛だが、その後の生殖生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。こうした収量低下は登熟期の寡照と過繁茂による受光体制の悪化に加えて、高温による登熟不良の影響も大きい。

津野(1976)は、登熟期において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。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。さらに、登熟期の日平均気温が高いほど間接的な影響のウェイトが高くなることを指摘している。このように、登熟期における根系機能の低下が登熟とかかわっているとする研究は多い。また、西南暖地においては早い時期から根系の機

能が低下することは古くから指摘されている(植木, 1971)。また、著者らは根系活力の指標となる出液速度を経時的に測定すると、出液速度のピークは出穂期の7~10日前で出穂期には低下過程に入っていること、登熟初期の出液速度が登熟歩合と高い関連性を持つことを報告している(下田代ら, 2007, 2009)。

しかしながら、根系が登熟に及ぼす影響については不明な点が多く残されている。登熟期において穂はシンク、葉はソースとして働き、根は葉の同化機能を支える養水分の供給を担う一方で、葉からの同化産物を消費し、穂とは競合関係にある。加えて、根系の機能は穂への水分供給を通じて、同化産物の取り込みにも影響を及ぼすと考えられる。このように、根系の機能は地上部と複雑な相互関係を持っているが、地上部と根系のバランスという点から解析した研究は少ない。

そこで本実験では、生物資材の施用と植付本数を変化させて、根と地上部の量的関係が異なる材料を作り、登熟期の蒸散量や葉色を計測することにより、根系の機能が収量、登熟に及ぼす影響を検討した。

材料および方法

材料は西南暖地の主力品種であるヒノヒカリを供試し

2009年11月30日 受付日

2010年1月29日 受理日

* Corresponding author. E-mail: shimotas@agri.kagoshima-u.ac.jp

た。植付本数を3本とした3本植、5本とした5本植、共生フザリウム菌（商品名ルートゲイン）を施用した生物資材処理を行い、植付本数を3、5本とした生物資材3本植、生物資材5本植の計4処理を設定した。共生フザリウム菌の作用機作については明確でないものの、水稻根の発達を促す効果があるとされている。本研究では、植付本数を変化させることに加えて、根量を変えるために共生フザリウム菌（生物資材）を施用した。人工培土を充填した育苗トレイに一穴3粒または5粒ずつ播種して3本植植付と5本植付の苗を育苗し、生物資材施用処理は育苗期間中に1トレイあたり共生フザリウム菌2.5 gを500 mlの水に溶かして2度散布した。

3週間後、葉齢約3.5となった苗を1/5000 a ワグネルポットに移植し、1ポット1株をとし、各処理12ポットとした。基肥として N:P:K=0.16:0.20:0.24 g/ポットを施用し、追肥は移植後30日目に全処理に N:K=0.08:0.08 g/ポットを施した。栽培期間中ポットは常時湛水状態を保った。その他の栽培管理は鹿児島県の慣行に準じて行った。

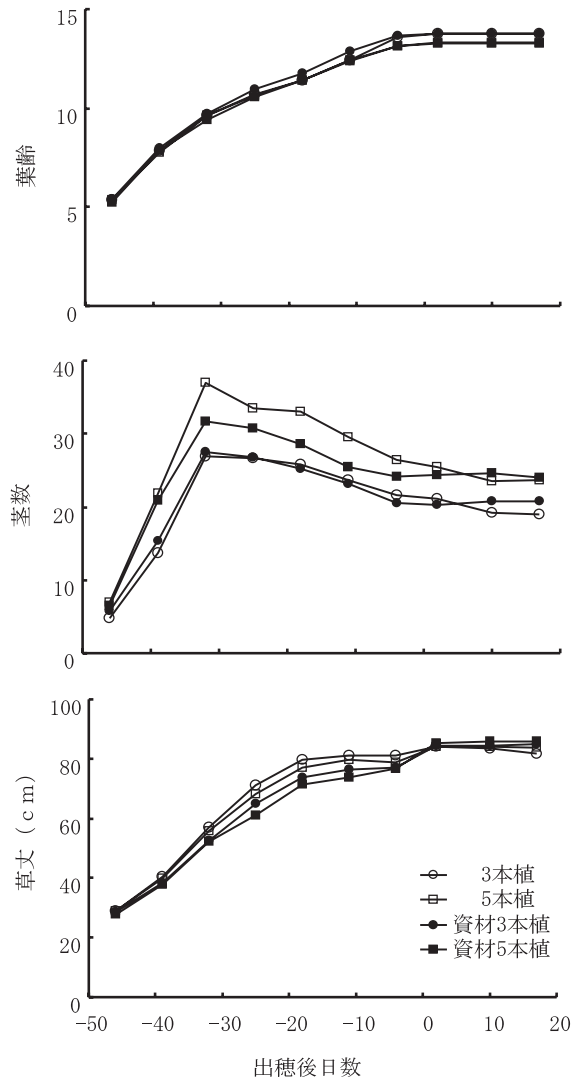
移植後、1週間おきに全ポットについて生育調査を行った。登熟期には平均茎数に近い5ポットについて3時間ごとの蒸散量を重量法で測定した。蒸散量は水稻を移植していない4ポットをブランクとして平均蒸発量を求め、ポットの重量の変化量から平均蒸発量を引いて求めた。葉面積にあたる指標として、株のすべての葉の葉身長を測定し、総葉身長を求めた。SPADメーター（ミノルタ社製 SPAD502）により第1~3葉の葉色を調査した。葉色の測定は止葉を第1葉とした上位3葉について1ポットにそれぞれの葉位につき3枚を測定した。地上部をサンプリングした後70℃で48時間以上乾燥し、穂、葉身、葉鞘+茎、枯死部に分けて乾物重を測定した。各処理5ポットについて、根系をサンプリングした後、70℃で48時間以上乾燥させ、根重を測定した。また、収穫期には5株について収量調査を行った。

結果

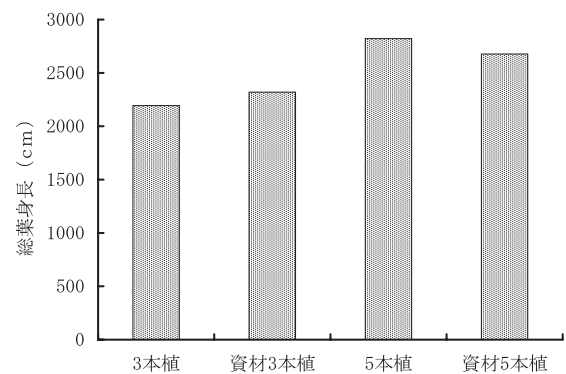
1. 生育状況と収量構成要素

草丈は最高分けつ期では3本植≒5本植>生物資材3本≒植生物資材5本植の順位大きくなったが、出穂期では差はなかった（第1図）。葉齢については各処理間で差は小さかった。一方、茎数は最高分けつ期では5本植>生物資材5本植>3本植≒生物資材3本植となったが、出穂期では5本植≒生物資材5本植>3本植≒生物資材3本植となった。

登熟期の部位別乾物重をみると、全乾物重、地上部重は3本植で小さい傾向があった（第1表）。葉身重は5本植>生物資材5本植≒3本植>生物資材3本植の順に大きくなった。一方、根重は生物資材5本植>5本植≒生物資材3本植>3本植の順に大きくなった。地上部と地下部のバランスを見るために、T/R（地上部重/根重）、L/R（葉身重/根重）をみると、T/Rは生物資材5本植で小さく、L/Rは3本植≒5本植>生物資材3本植≒生物資材



第1図 植付本数ならびに生物資材が生育に及ぼす影響



第2図 植付本数ならびに生物資材が総葉身長に及ぼす影響

5本植となった。植付本数の増加は相対的に地上部を大きくし、生物資材の施用は相対的に根系の生長を促進する傾向があった。葉身長は5本植>生物資材5本植>生物資材3本植>3本植の順となった（第2図）。ポットあたり葉身長の総計と総根重さらにに地上部地下部のバランスを見るために LL/R（総葉身長/根重）をみると、5本植>3本植>生物資材3本植>生物資材5本植の順となり、乾物ベースで見たのと同じく、生物資材処理は根量を相対的に大きくすることが明らかになった（第3図）。

第1表 植付本数ならびに生物資材が部別乾物重に及ぼす影響

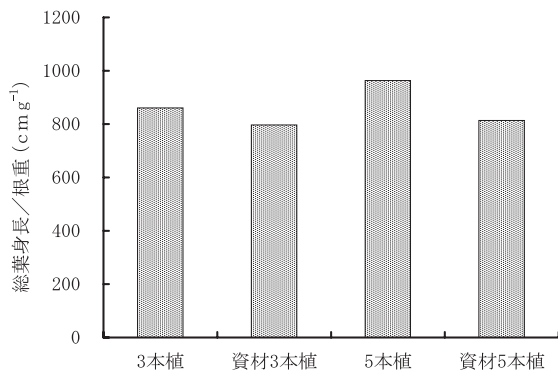
	穂重 (g)	葉身重 (g)	葉鞘+茎重 (g)	枯死部重 (g)	地上部 (g)	根重 (g)	T/R	L/R	収穫指数
3本植	22.4±2.4	6.4±0.7	14.1±1.2	7.4±0.7	50.1±4.4	2.55±0.24	19.75±0.55	2.53±0.13	0.44±0.01
資材3本植	25.8±3.0	5.7±0.5	15.2±1.5	9.6±1.0	56.3±4.9	2.91±0.16	19.22±0.78	1.96±0.08	0.46±0.02
5本植	25.6±2.3	7.2±0.5	16.9±1.6	9.6±0.8	59.3±3.9	2.93±0.04	20.23±1.17	2.47±0.16	0.43±0.01
資材5本植	27.2±2.5	6.1±0.4	16.0±1.3	9.1±0.6	58.5±4.2	3.29±0.22	17.95±1.21	1.91±0.17	0.46±0.01

数値は平均値±標準誤差 (n=5) を示す

第2表 植付本数ならびに生物資材が収量および収量構成要素に及ぼす影響

	穂数 (本/株)	1穂粒数 (粒/穂)	登熟歩合 (%)	精籾千粒重 (g)	精籾収量 (g/株)
3本植	14.8±0.7	54.5±2.7	81.6±3.2	25.9±0.4	16.8±0.6
資材3本植	15.8±0.6	63.2±2.5	84.0±2.7	26.5±0.1	22.0±0.3
5本植	19.2±0.7	55.5±1.4	86.8±1.9	25.6±0.4	23.6±0.8
資材5本植	19.0±1.1	55.9±3.2	83.4±1.2	26.5±0.1	23.2±0.8

数値は平均値±標準誤差 (n=5) を示す

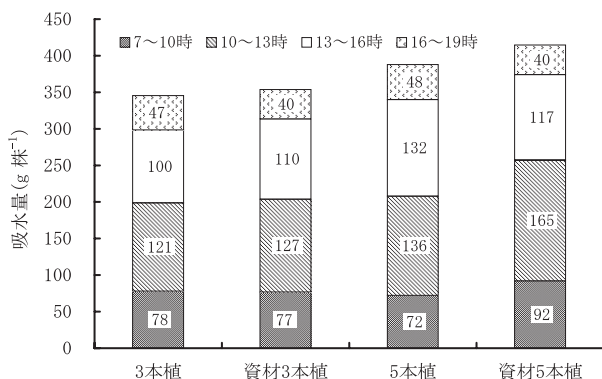


第3図 植付本数ならびに生物資材が総葉身長/根重に及ぼす影響

収量構成要素をみると、穂数は5本植、生物資材5本植が多くなった。一穂粒数は生物資材3本植でのみ増加した。登熟歩合は5本植で高く、3本植で低かった(第2表)。千粒重は変動が大きくなかった。その結果、株あたりの収量は穂数の影響を強く受け3本植で減少した。

2. 登熟期の蒸散量の日変化

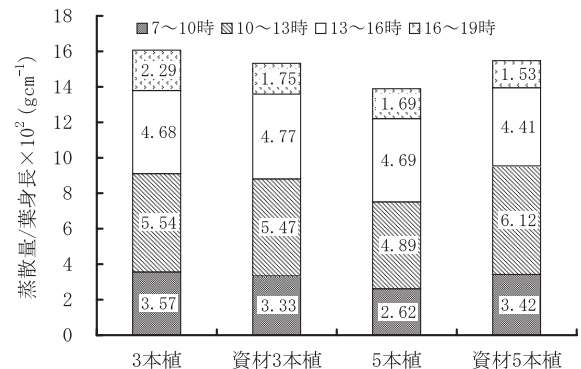
登熟期における株あたりの1日の蒸散量は生物資材5本植>5本植>生物資材3本植>3本植の順に大きくなった(第4図)。蒸散量の日変化は10~13時が最も大きく、次



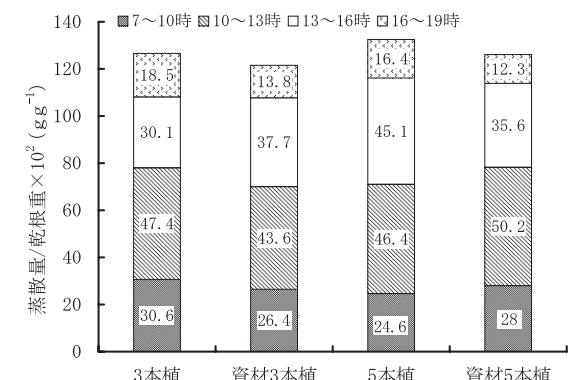
第4図 植付本数ならびに生物資材が登熟期における日蒸散量に及ぼす影響

いで13~16時であった。処理間差異は10~13時で生物資材5本植が大きく、これが日蒸散量の差異の主要因であった。

蒸散量は気孔の閉鎖の影響が小さい場合には葉面積に規定される。本研究では同一個体を収穫まで生育させたため、葉面積の代わりに簡便な葉身長を測定した。葉面積の影響を除くため葉身長あたりの吸水量をみると、生物資材5本植え植え>3本植え>生物資材3本植え植え>5本植えの順で大きくなった(第5図)。次に根重あたりの蒸散量を求めると、3本植えと5本植えで大きく生物資材3本植えと5本植えで小さくなった(第6図)。



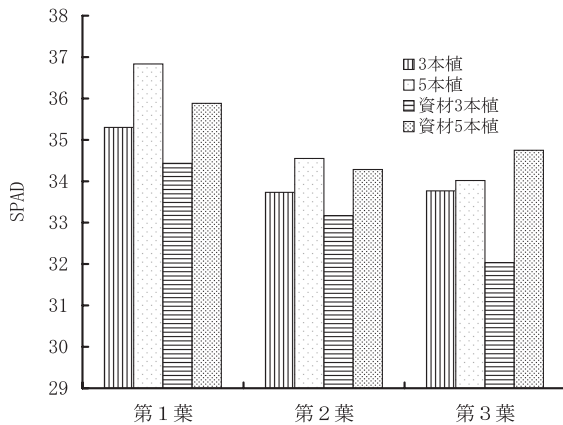
第5図 植付本数ならびに生物資材が登熟期における葉身長あたりの蒸散量に及ぼす影響



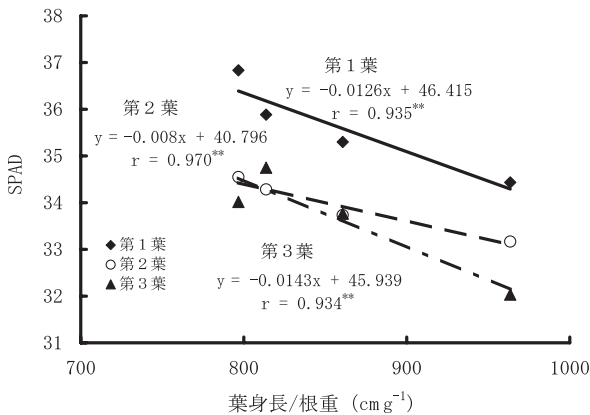
第6図 植付本数ならびに生物資材が登熟期における根重あたりの蒸散量に及ぼす影響

3. 葉色

登熟期における葉色を SPAD により評価した (第7図)。3本植で大きく、5本植で小さくなり、また、生物資材の有無では施用により葉色が維持されることが明らかになった。第1, 2葉では生物資材3本植 > 生物資材5本植 > 3本植 > 5本植の順となり、第3葉では生物資材5本植 > 生物資材3本植 > 3本植 > 5本植の順となった。いずれの葉位においても5本植が低く、このことは葉面積あたりの光合成速度が低いことを示唆した。また、SPAD 値と葉身長/根重との間に高い相関関係が認められたことから、葉色の維持には地上部と根系のバランスが関連していることが示唆された (第8図)。



第7図 植付本数ならびに生物資材が登熟期の葉位別 SPAD に及ぼす影響



第8図 植付本数ならびに生物資材が異なる水稻の SPAD と葉身長/根重の関係

考 察

1. 植え付け本数の影響が茎葉部と根系の生長ならびに収量に及ぼす影響

植付本数が多いと生育前半の茎数が多くなるが、その茎数の多いことによって分けつ期の出現が抑制されるとともに茎の生長が小さくなって茎の生存率 (有効茎歩合) が低下するという報告が多い (中野, 1994)。本研究では最高分けつ期では植付本数による茎数の差異が大きく、登熟期ではその差はやや小さくなったものの、5本植、生物資材5本植で多くなった (第1図)。一方、草丈は登

熟期以前では3本植え、生物資材3本植で大きかったが、登熟期には差が見られなくなった。

収量構成要素をみると、穂数は5本植、生物資材5本植が多くなった。穂数が減少すると補償作用により一穂粒数が増加する場合があるが、生物資材3本植のみが一穂粒数が多くなった (第2表)。登熟歩合、千粒重は有意な差が認められなかった。したがって、株あたりの収量は穂数の影響を強く受け3本植で最小となった。中野ら (1994) は、植付本数が7本以上になると、穂数増加の効果は小さくなり、むしろ、一穂粒数、登熟歩合が低下することにより収量が低下したと報告している。一方、本研究では5本植は穂数増加の効果により3本植の収量を上回った。生物資材3本植では一穂粒数の増加により補償された登熟歩合と千粒重の低下が認められなかったのは、登熟期には穂数が株20本であり、茎間の競合の程度が小さくなったためだと考えられる。また、穂重では生物資材5本植と5本植との間に差異が認められたが、収量で差異が認められなかったのは、遅れ穂を穂重測定に含めた影響であったと思われる。

正常に伸長した冠根数は全茎数との間に高い正の相関関係が認められるという報告がある (片野, 2004)。したがって、茎数の増加は根量の増加をもたらす。本研究においても3本植より5本植で根重が多くなった (第1表)。しかし同時に栄養生長期に茎数が増加し、それに伴って葉数が増加し葉面積が拡大した (第2図)。森ら (1961) は、根の乾物重 : 地上部乾物重の相対生長係数は出穂期までは一定に保たれるが、その係数は栽培条件や処理によって異なると報告している。本研究では登熟期についてのみ地上部と根系のバランスを検討しており生育中のバランスの変化は見ることはできないが、植付本数を増やした場合、茎葉部と根系ともに大きくなるものの、相対的には茎葉部の増加が大きく、茎葉部重/根重、総葉伸長/根重の値は低下するという結果を得た (第1表, 第3図)。また、生物資材の施用は相対的に根系を大きくする作用が認められた。すなわち、植え付け本数と生物資材添加によって、根系と地上部のバランスが様々に異なる水稻を育成できた。

2. 根系の機能への影響

平沢ら (1987) は蒸散速度が急激に増加する午前中の早い時刻には吸水速度は蒸散速度よりも小さく、蒸散速度が急激に小さくなる夕刻には吸水速度は蒸散速度を上回ったが、日中の吸水速度と蒸散速度の差は著しく小さいこと、また、根の生理活性を低下させ吸水を抑制しても吸水速度と蒸散速度の差は小さいことを報告している。つまり、このことは吸水が抑制されれば、葉の水ポテンシャルが低下して気孔が閉じ、その割合だけ蒸散が抑えられるということの意味している。以上のことから、湛水状態で栽培した水稻においては、蒸散速度と吸水速度はほぼ等しいと考えてよく、吸水速度が小さければ気孔が閉じる程度は大きくなり、気孔開度と光合成とは密接な関係にあるのでそれだけ光合成は減少することになる。

そこで、本研究では日蒸散量を測定し根系の機能を評価しようとした。一般に個体の蒸散量は気孔の閉鎖の影響が小さい場合には葉面積に比例するが、葉身長あたりの蒸散量をみると、生物資材5本植え植 \approx 3本植 $>$ 生物資材3本植 $>$ 5本植の順で大きくなり処理間差が認められた(第5図)。また、蒸散量は吸水量とほぼ等しいと考えてよいので、葉面積の影響を除いた葉面積(葉身長)あたりの蒸散量の低下は、根系の吸水不足から生じた気孔の閉鎖の影響だと考えられる。また、根系の蒸散量の処理間差は、根量あたりの蒸散量が処理間で変わらなかったことから、根系の生理活性よりも根重すなわち、根量の多少が大きく影響したと推測された(第6図)。

葉色は3本植ならびに生物資材3本植で濃く、光合成速度が高く維持されていることが示唆された(第7図)。また、こうした葉色の処理間差異には地上部と根系とのバランスが影響していると考えられた(第8図)。寺島ら(1985)は植付本数の増加に伴って根の直径が小さく、下層に伸長する根が少なくなり、葉色も淡くなると報告している。すなわち、3本植えでは、5本植えと比較して、深く伸長する根が多くあることが、葉色に影響している可能性がある。また、植付本数の増加は、登熟期においては上位節での節根の出現数が抑制されるため、老化根が多くなったりする(原田, 1986)など、根系の量的変化のみならず、質的な変化をもたらしている可能性があるが、これらの点に関しては今後の課題としたい。

本研究では3本から5本へと植付本数の増加させることにより、穂数が増加し増収となった。一方で、植付本数の増加は葉面積と根量とともに増加させるが、地上部を優先的に増加させ、T/R、L/Rは減少した。こうした地上部と地下部のバランスの変化から、単位葉面積あたりの根系からの養水分の供給が減少し、蒸散量の低下、葉身窒素含量の低下を招き、その結果として葉面積あたりの光合成速度を低下させる可能性があることが示唆された。従来、葉面積の拡大効果を打ち消す要因としては、光の競合が生じ受光体勢の悪化による光合成速度の低下として説明されてきたが、地上部と地下部のバランスの変化による養水分の吸収の低下による光合成速度の低下も寄与している可能性がある。

要 約

西南暖地の水稲の普通期栽培における登熟不良には高温にともなう根系の機能の低下が関与している。根系の機能は地上部と複雑な相互関係を持っているが、地上部と根系のバランスという点から解析した研究は少ない。そこで本実験では、生物資材の施用と植付本数を変化させて、根と地上部の量的関係が異なる材料を作り、登熟

期の蒸散量や葉色を計測することにより、両者のバランスが根系の機能に及ぼす影響を検討した。本実験の結果は、3本から5本へと植付本数の増加させることにより、穂数が増加し増収となった。一方で、植付本数の増加は地上部を優先的に増加させたため、茎葉部重/根重、総葉伸長/根重の値は増加するという結果を得た。このように相対的根量が小さくなることにより、蒸散量、葉身窒素含量が低下した。このことは単位葉面積あたりの根系からの養水分の供給が減少し、その結果として葉面積あたりの光合成速度を低下させる可能性があることを示唆した。

引用文献

- 嵐 嘉一. 1960. 水稲の生育と秋落診断. P.8-158. 養賢堂. 東京.
- 原田二郎・前田忠信・山崎耕宇. 1986. 植付本数を異にする水稲1次根の伸長方向別分布. 日作紀. 55 (別1): 62-63.
- 平沢 正・荒木俊光・石原 邦. 1987. 水稲の吸水速度と蒸散速度の相互の関係について. 日作紀. 56: 38-43.
- 片野 學. 2004. 水稲1株の全茎数と冠根数との関係. 日作紀. 73: 6-9.
- 森 敏夫. 1961. 水稲の根と地上部の相対生長. 日作紀. 29: 69-70.
- 村田吉男. 1964. わが国の水稲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.
- 中野尚夫・水島嗣雄. 1994. 水稲の一株植付本数の違いが収量構成要素および収量に及ぼす影響. 日作紀. 63: 452-459.
- 寺島一男・平岡博幸・西山岩男. 1985. 一株当たり植付本数の違いが水稲根の形態に及ぼす影響. 日作紀. 54 (別2): 6-7.
- 下田代智英・藤元優子・佐々木修・松元里志. 2007. 西南暖地における普通期作水稲の出力速度と収量構成要素の関係. 鹿大農学術報告. 57: 5-12.
- 下田代智英・五位塚のぞみ・佐々木修・松元里志. 2009. 西南暖地における普通期水稲栽培における根系活力と登熟について. 日作紀. 78:465-470.
- 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-暖地水稲多収穫へのアプローチ-. 日作紀. 45: 489-517.
- 植木健至. 1971. 南九州とくにシラス地帯における水稲生育に及ぼす灌漑水温の影響. 鹿大農学術報告. 21: 28-35.