

土壌水分が水稻苗の素質におよぼす影響

田中尚道・丹下宗俊*・津川兵衛*

(神戸大学大学院自然科学研究科・*神戸大学農学部)

昭和62年3月31日受理

要 旨：水稻苗の素質に関して、形態的および生理的な解析を進める上で、苗質成立時および移植後の初期生育の2段階に分けて検討を行っている。本報では異なる土壌水分条件下（最大容水量の70%＝畑区、90%＝中間区および120%＝湛水区）で育苗した日本晴、農林22号およびコシヒカリの苗質の判定評価を行った。

1. いずれの品種においても土壌水分含量が高いほど草丈、生葉数、葉面積、茎の太さおよび乾物重ともに大きかった。処理後日数の経過とともに処理間差は広がり、湛水区の苗はいわゆる徒長苗の形態を呈した。一方、土壌水分含量の低い畑区は湛水区に比べ生育は終始抑制的であったが、葉身は直立し、茎は太く剛直であり、ずんぐり苗の形態を呈した。

2. 処理後の発根力、屈起力、溢泌液量および枯れ上り葉面積は処理後7日目では処理による影響は小さかったが、その後の生育では三者とも畑区は湛水区をかなり上まわった。また、澱粉含量、全窒素含有率とも畑区で大きく、澱粉含量と発根力、屈起力および枯れ上り葉面積との間には密接な関係がみられた。

3. 土壌水分含量がアミラーゼ活性におよぼす影響を調べたところ、土壌水分含量が高いほどアミラーゼ活性は高くなる傾向がみられた。

キーワード：アミラーゼ活性、水稻、土壌水分、苗の素質。

Effects of Soil Moisture on the Character of Rice Seedlings (*Oryza sativa* L.): Naomichi TANAKA, Munetoshi TANGE* and Hyoe TSUGAWA* (*Graduate School of Science and Technology, Kobe University, * Faculty of Agriculture, Kobe University, Kobe 657, Japan*)

Abstract : The characteristics of rice seedlings (*Oryza sativa* L.) before and just after transplanting are being studied from the morphological and physio-ecological view-points. In this paper, the differences in characteristics of rice seedlings grown under different soil moisture conditions were examined, as a first step in diagnosing the quality of the seedlings :

1. In all varieties, plant length, the number of living leaves, leaf area, stem thickness, top and root dry weights all increased with increasing soil moisture. The differences in these characteristics among the treatments expanded with the passage of time, and the seedlings in the paddy nursery plot showed spindly growth. On the other hand, the dry matter production of seedlings grown in the upland nursery plot was suppressed compared with the paddy nursery plot, but the upland nursery seedlings showed the features of so-called "pudgy seedlings" with upright leaves and relatively stout stems (Fig. 2).

2. Rooting ability, vertical standing ability, the amount of bleeding water and the degree of leaf die-off were hardly affected by soil moisture treatments. However, upland nursery seedlings were superior in all characteristics to paddy nursery seedlings with the growth advances. Also, upland nursery seedlings had greater starch accumulation and rooting ability, vertical standing ability or the area of leaves die-off. Furthermore, it is assumed that the upland nursery seedlings maintain higher root vitality during the late growing season since the amount of bleeding water is closely related to the root vitality (Fig. 3 and 4-A, -B, -C).

3. The amylase activity and starch accumulation measurements suggested that amylase activity tended to increase with increasing soil moisture and that a certain relationship exists between starch accumulation ability and amylase activity in rice seedlings (Fig. 4-D). The questions related to these points are left for future studies.

Key words : Amylase, Character of rice seedlings, *Oryza sativa* L., Soil moisture.

苗の素質は育苗時の栽培環境によって大きく左右されることはよく知られている^{5,8,11,12)}。従来の報告によると、良苗とは葉身、葉鞘とも伸びすぎず、葉身が直立し、茎が太くてがっしりとしたものであって、澱粉、窒素含有率ともに高いものとされている⁶⁾。また、発根力が旺盛で、屈起力の大きいことも良苗の具備すべき条件とされてきた。ところが、

良苗は不良苗と比較して、どのように異なった生育経過をたどり高収量に結び付くのかということを取り扱った研究は少ない。

著者らは、良苗の素質とその成立要因の解明、および苗質が移植後の水稻の生育にどのように影響するのかを明らかにすることを目的として一連の研究を行っている。本研究では、土壌水分レベルを変え

て育苗した場合、苗はいかなる生理生態反応を示すかを、2, 3の形態的特性ならびに屈起力、溢泌液量、葉の枯れ上がり、発根力、澱粉含量および窒素含有率などの面からとらえようとした。なお、Yamada and Ota¹³⁾ は畑苗の生理的特性として澱粉含量の高いことを示唆し、これはフォスフォリラーゼ活性が水苗に比べ畑苗が高いことによると考えた。フォスフォリラーゼは澱粉蓄積に関与する酵素であるが、澱粉分解に携わる酵素としてアミラーゼが知られており、この酵素活性の差が苗の生長ひいては苗の素質を決定する一因となるのではないかと考えられる。したがって、本研究では苗質成立段階におけるアミラーゼ活性の測定も行い、苗質判定の指標となり得るかどうかについても検討した。

材 料 と 方 法

本研究は、神戸大学農学部網室において1983年と1984年の両年の5月上旬～7月下旬に行った。供試品種として穂数型の日本晴、中間型のコシヒカリならびに穂重型の農林22号を用いた。比重1.07以上の健全な種子を選び、消毒後30℃の恒温器内で48時間催芽させた。その後、1cm目の篩で篩選した風乾水田土壌（埴壤土）をつめた育苗箱（30×24×5cm）に、2×2cm間隔で240粒を播種した。施肥は元肥のみとし、1箱当たり硫酸1g、過石1g、塩加0.5gを土壌と良く混和した。なお、本研究では第8葉抽出期までの成苗をも含め、苗の特性を調べるため播種密度は通常の育苗法のものよりはかなり疎とした。慣行的播種密度に基づく実験結果は後続の報告で述べることにする。

土壌水分は畑区（最大容水量の70%）、中間区（最大容水量の90%）ならびに湛水区（最大容水量の120%）の3段階とし、播種後7日目より土壌水分を重量法により調節した。処理後7日目より7日

間隔で3回苗を採取し、出葉期、草丈、茎の太さ、葉面積、地上部および地下部乾物重を測定した。なお、上記項目の測定には毎回3育苗箱から無作為に10個体ずつ、計30個体を抽出し用いた。さらに、苗の素質と深い関係をもつと考えられる澱粉含量、窒素含有率と含有量、発根力、屈起力、溢泌液量、枯れ上り葉面積ならびにアミラーゼ活性を測定した。全窒素はケルダール法により分析した。澱粉含量は嵐・江口²⁾のヨウ素呈色法にしたがい、5段階（0～4）の黒のスタンダード・カラー板と葉鞘の黒く染まった部分を比較して、濃淡程度を決定した。それに染色された葉鞘部分の長さを乗じて相対的な澱粉含量とした。発根力試験では、光合成ならびに蒸散による影響を極力小さくし、葉鞘（source）のみによる発根量の違いを判定するために、すでに抽出している葉身および根をすべて切除し、葉鞘のみを試験管に挿し、室内散光条件下にて水耕栽培した。48時間後、新たに発生した根の重さを測定し、その重さを発根力とした。屈起力は、苗の茎基部を固定し、ねかせて置き、室内暗黒条件下48時間後の茎の起き上り角度から求めた。溢泌液量は、午後6時から7時までの1時間の液量をあらかじめ重さを測定したろ紙（2×2cm）に吸わせ、直ちに秤量した。枯れ上り葉面積は、試験管に挿した苗を30℃の暗所に放置し、48時間後の葉の黄化部分の面積から求めた。アミラーゼ活性の測定は、3,5-ジニトロサルチルサン法⁹⁾によった。すなわち、1%可溶性澱粉（1/15 Mリン酸緩衝液、pH 7.0）0.25 mlと抽出した粗酵素液0.25 mlを40℃で3分間反応させ、反応溶液を脱イオン水5 mlで希釈して530 nmで比色した。なお、澱粉含量、発根力、屈起力等の測定のためには、各育苗箱から5個体ずつ、計15個体を供試した。

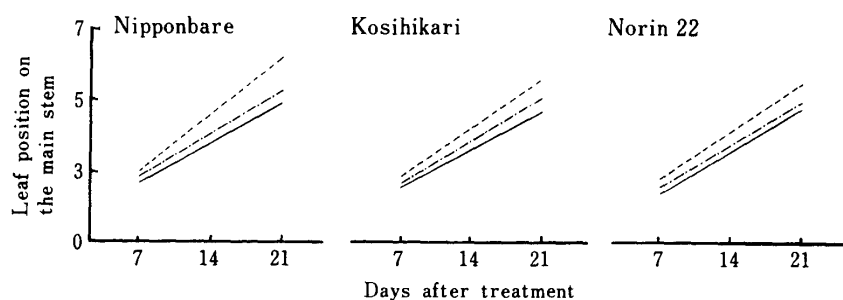


Fig. 1. Comparison of leaf-emergence rate among different soil moisture treatments.
----- upland (70%), - · - intermediate (90%), ——— paddy (120%).

結 果

1. 出葉期と分げつ発生率

いずれの品種も土壤水分含量が低いほど出葉期が早まる傾向がみられた(第1図). 日本晴では湛水区の平均出葉間隔は中間区より0.2日, 畑区より1.3日, コシヒカリではそれぞれ0.3日, 0.8日, 農林22号ではそれぞれ0.1日, 0.7日長かった. なお, 3処理区とも出葉速度はコシヒカリと農林22号との間にはほとんど差はないが, 日本晴はこれらの品種よりも大きかった.

分げつ発生率は処理間で差がみられ(第1表), い

Table 1. Influence of soil moisture on the appearance ratio of second and third primary tillers.

Variety	Plot	2nd.	3rd.
Nipponbare	70(%)	46.8(%)	7.1(%)
	90	92.8	54.6
	120	100.0	98.6
Koshikari	70	54.2	12.4
	90	87.3	52.2
	120	92.7	84.3
Norin 22	70	48.5	11.4
	90	100.0	48.4
	120	100.0	71.7

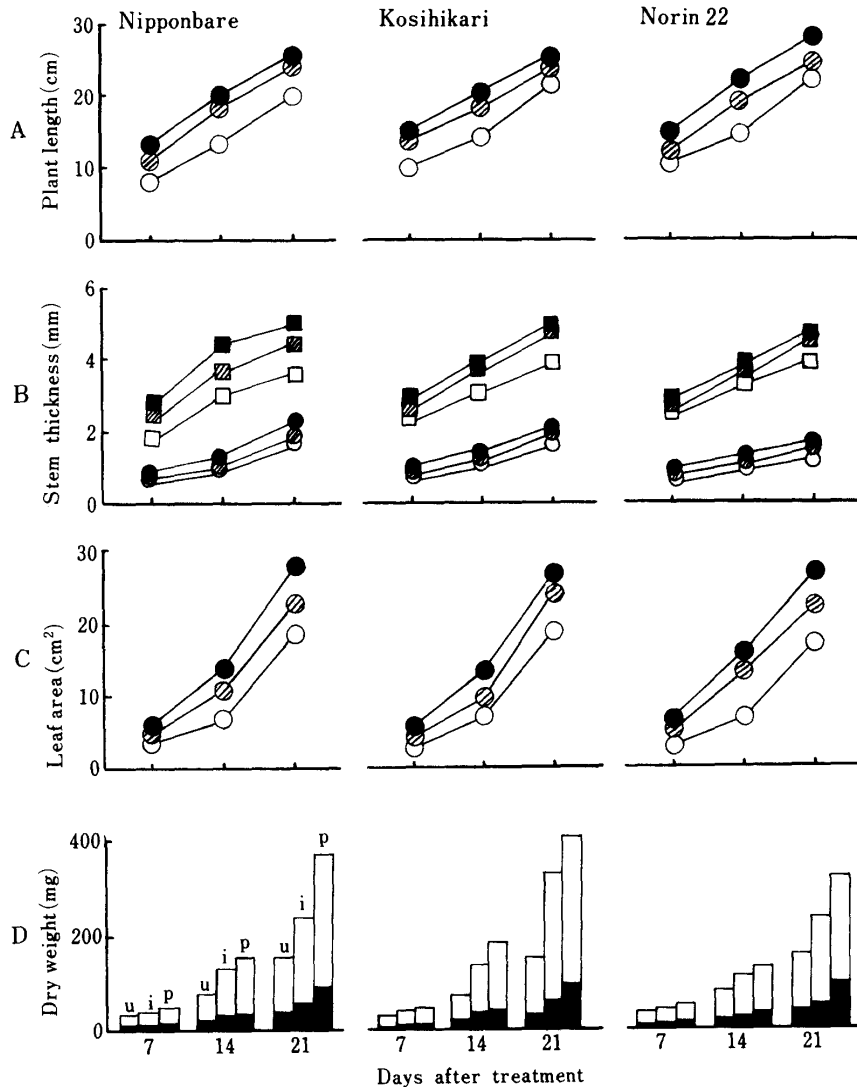


Fig. 2. Comparison of plant length (A), stem thickness (B), leaf area (C) and dry weight (D) among different soil moisture treatments.

Symbols: Figs.(A) and (C): ○-upland, ⊗-intermediate, ●-paddy.

Fig.(B) ○-long axis, □-short axis,

○, □-upland, ⊗, ⊠-intermediate, ●, ■-paddy.

Fig.(D) □-top dry weight, ■-root dry weight,

u-upland, i-intermediate, p-paddy.

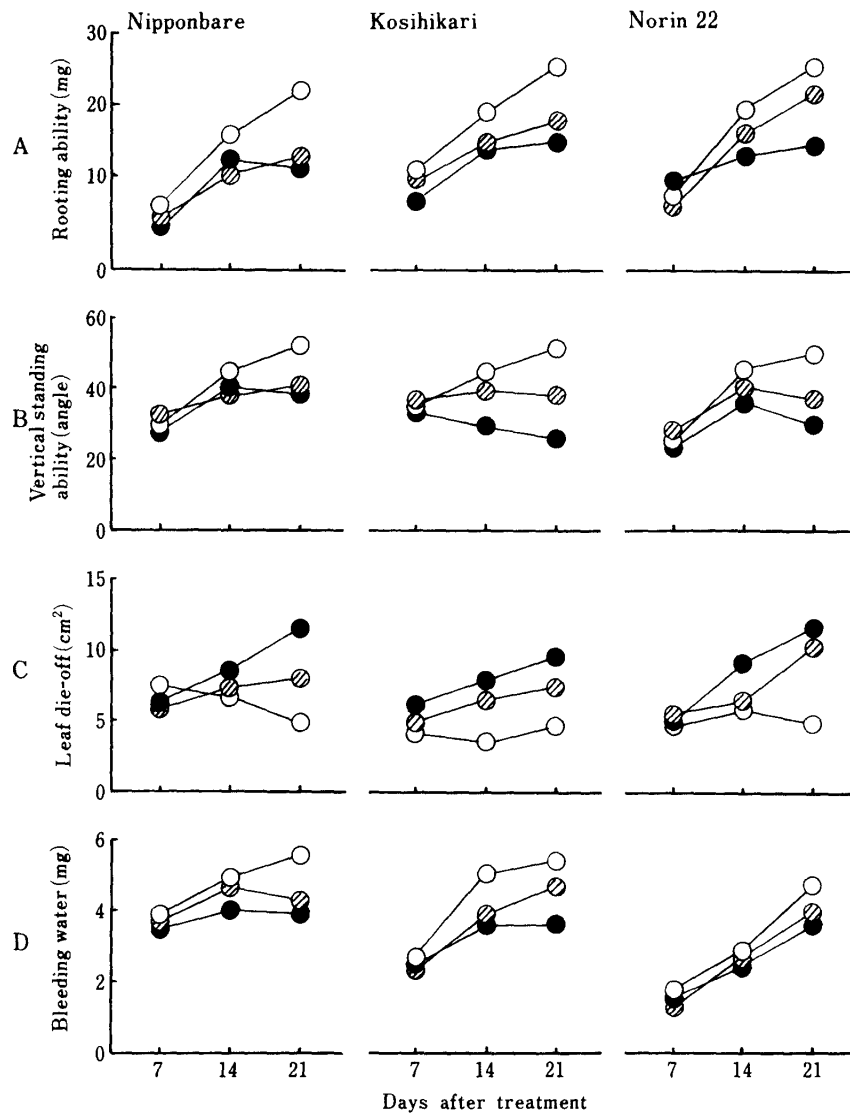


Fig. 3. Comparison of rooting ability (A), vertical standing ability (B), leaf die-off (C) and bleeding water (D) among different soil moisture treatments. Symbols: ○ - upland, ◐ - intermediate, ● - paddy.

ずれの品種ともに2号分げつ発生率は湛水区が最高であり、最低の畑区の約2倍であった。農林22号では中間区と湛水区の2号分げつ発生率はともに100%であり、他の品種でも両区間の差は比較的小さかった。3号分げつ発生率はいずれの品種においても2号分げつより低い、土壌水分含量が高いほど発生率は高かった。2号分げつと3号分げつの発生に関しては、土壌水分に対する反応に品種間差がみられた。なお、1号分げつ、すなわち不完全葉からの分げつ発生はなかった。

2. 草丈、茎の太さ、葉面積および乾物重

草丈(第2図-A)は、いずれの品種においても処理後14日までは土壌水分含量が高いほど大きくなる傾向があった。日本晴とコシヒカリでは畑区と中

間、湛水両区との間の差は大きかった。

茎の長径、短径(第2図-B)は、いずれの品種も土壌水分含量が高いほど大きくなる傾向が認められた。また、いずれの品種においても短径に比べ長径の方が土壌水分処理による反応がやや大きいようであった。

個体当りの葉面積(第2図-C)は、いずれの時期でも3品種とも土壌水分含量が高いほど大きく、また、いずれの品種においても処理後7日目から14日目より、14日目から21日目の方が増加程度は大きかった。

地上部および地下部乾物重(第2図-D)は処理後7日目から、いずれの品種においても土壌水分含量の高い湛水区で大きく、処理後21日目の地上部、

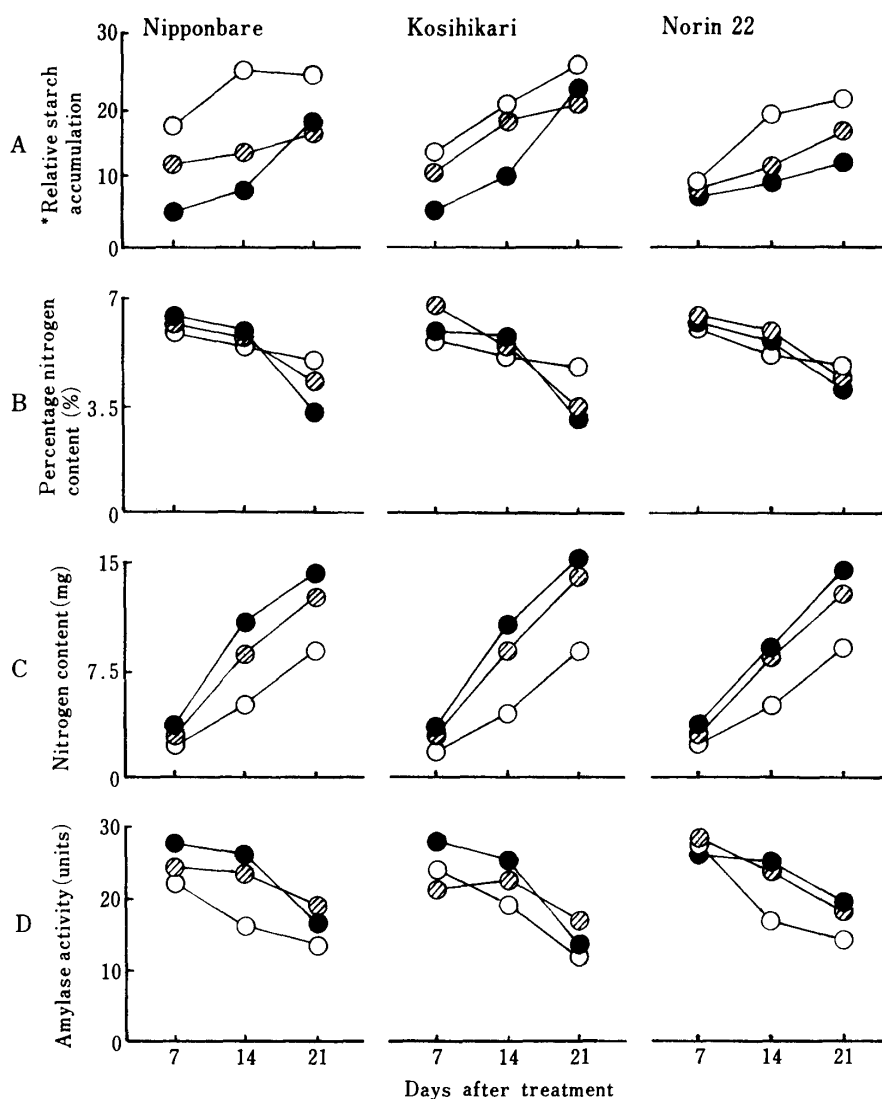


Fig. 4. Comparison of starch accumulation (A), percentage nitrogen content (B), nitrogen content (C) and amylase activity (D) among different soil moisture treatments. Symbols: ○ - upland, ⊗ - intermediate, ● - paddy. *Relative starch accumulation = Degree of shade of color to which a leaf sheath was stained with I-KI solution (0-4) × length of stained parts of leaf sheath (cm)

地下部とも湛水区は畑区の約2.5ないし3倍であった。

3. 苗の発根力, 屈起力, 枯れ上り葉面積および溢泌液

3品種とも発根力(第3図-A)は処理後7日目では処理間の差は小さく, 発根力と土壌水分との間には一定の関係はみられなかった。それ以降では, 処理後14日目の日本晴を除き, 土壌水分含量の低いほど発根力は大きかった。なお, いずれの処理区とも農林22号, コシヒカリ, 日本晴の順に発根力が小さくなる傾向がみられた。

屈起力(第3図-B)も発根力と同様に処理後7日目では処理間差はなかったが, 生育が進むにつれて差は広がり, いずれの品種においても土壌水分含量が低いほど屈起力は大きくなる傾向があった。な

お, 屈起力はいずれの品種とも畑区では生育が進むにつれて増大した。しかし, 他の2処理区では屈起力の変化に品種間差が認められた。

枯れ上り葉面積(第3図-C)は土壌水分含量が高いほど大きい傾向が認められ, 処理後日数の経過にともない処理間差は拡大した。

溢泌液(第3図-D)も処理後7日目では処理間に差はなかったが, 生育が進むにつれて土壌水分含量が低いほど増加する傾向がみられた。処理後7日目で溢泌液量の多かった日本晴はその後の増加は小さかったが, 少なかった農林22号ではその後の増加割合は大きかった。

4. 地上部澱粉含量, 窒素含有量率と含有量およびアミラーゼ活性

澱粉含量(第4図-A)は, 3品種のすべての区で

苗の生育にともない増加する傾向がみられた。澱粉含量はいずれの品種とも常に畑区が最も高かった。農林 22 号では処理後 7 日目は処理間に差はなかったが、日本晴ではかなりの差が認められた。日本晴とコシヒカリの湛水区で処理後 14 日目以降澱粉含量は急増し、21 日目には中間区よりやや大きくなったが、農林 22 号ではこのような増加はみられなかった。

窒素含有率 (第 4 図-B) は、処理後 7 日目では約 7% の日本晴を除く 3 品種のいずれの処理区とも 6% 前後の含有率を示したが、処理後生育が進むにつれて窒素含有率の低下がみられ、畑区に比べ湛水区と中間区の含有率の低下は著しかった。処理後 21 日目ではいずれの品種とも土壤水分含量が低いほど含有率は高く、この傾向は日本晴で顕著であった。

窒素含有量 (第 4 図-C) は 3 品種とも湛水区と中間区は 7 日から 14 日の方が 14 日から 21 日の間よりも増加速度が大きいものに対して、畑区では逆の傾向がみられた。処理後 21 日目では、いずれの品種とも個体当りの地上部窒素含有量は湛水区約 16 mg, 中間区 11 mg, 畑区は湛水区の約 50% であった。

アミラーゼ活性 (第 4 図-D) は、いずれの品種とも経時的に低下する傾向があり、処理後 21 日目は 7 日目に比べ 18~35% 低かった。処理後 7 日目では日本晴、コシヒカリの湛水区は他の 2 区に比べて高かったが、農林 22 号では処理間に差はみられなかった。処理後 14 日目では、いずれの品種においても土壤水分含量の高いほどアミラーゼ活性は高かった。21 日目でもいずれの品種ともに畑区のアミラーゼ活性は低かった。なお第 4 図と第 5 図に示した特性については処理間差の方が品種間差よりも大きい傾向が認められた。

考 察

いずれの品種とも、土壤水分含量が高い区ほど草丈、茎の太さ、葉面積および乾物重は大きくなる傾向がみられた。土壤水分含量が高いと、苗の養水分の吸収が容易に行われるため、湛水区の光合成は高まり、畑区の乾物生産を上まわったのであろう。畑区の苗は湛水区ほど生育期間中の水分代謝は円滑でないことが推察される。しかし、水分ストレスは比較的軽度であったため、苗の素質に対してプラスに作用したものと考えられる。Hsiao⁷⁾の研究では、

水分ストレス下の植物は核酸およびタンパク合成の阻害、さらにアブシジン酸のような生長抑制物質の蓄積が大きいと報告されている。このことから、本研究では畑区は中間、湛水区に比べ生長抑制物質の蓄積が大きかったものと推察される。養水分の吸収、光合成における差に加え、このような生長抑制物質による生育の抑制が逆に苗の素質を高める結果をもたらしたものである。

Yamada and Ota^{12,13,14)}, 八柳ら¹⁵⁾, 平野ら⁴⁾, Aimi and Nakayama¹⁾ は畑苗は水苗に比べ窒素含有率の高い割に澱粉蓄積が大きく、発根力、冠水抵抗性、移植時の分げつ発生力、さらに低温下での活着力が旺盛であると報告している。また、土井・山谷³⁾ は溢泌液量は根の活力と密接な関係があると述べている。本研究においても同様に品種によりやや処理間の差はみられたものの、土壤水分含量の低い畑区で常に澱粉蓄積が大きく、発根力、屈起力は湛水区にまさり、枯れ上り葉面積は小さい結果を得た。Yamada and Ota は¹³⁾、畑苗において発根力の高い要因として澱粉含量の高いことを示唆し、その理由として澱粉蓄積に関与する酵素であるフォスフォリラーゼ活性の高いことによると述べている。本研究ではフォスフォリラーゼ活性の測定は行わなかったが、アミラーゼ活性は畑区は湛水区より常に低かったことからすると、湛水区は畑区に比べ光合成は大きいにもかかわらず、光合成産物がアミラーゼの働きにより常に糖の形で存在し、生長や代謝エネルギーとして消費されるものと考えられる。したがって、湛水条件で育てられた苗は畑区のものに比べ乾物生産は大きい、澱粉蓄積の小さいエネルギー消費型苗質といえる。畑区の苗は湛水区に比べ乾物生産は小さかったが、澱粉含量は大きかった。これは、畑区の苗は生長、代謝エネルギーとしての光合成産物の消費が少なかったことに加え、フォスフォリラーゼ活性が湛水区より高まり、苗が蓄積型となったためである。本研究では土壤水分含量の高い湛水区の苗は畑区に比べ草丈の大きい、葉の下垂した徒長的形態を示したことから、畑区に比べ湛水区の苗は葉面からの蒸散量は大きいものと推察される。このような苗では移植にともなうストレス、すなわち断根、倒伏等の影響を受けやすい。湛水区では屈起力が小さかったのもこれと関連があると思われる。本研究における発根力試験では根をすべて切除したため、苗は実際の栽培の移植よりもさらに過酷なストレスを受けたことになるが、湛水区に比べ畑

区の苗は澱粉蓄積が大きかったことに加え、葉面積が小さかったことにより蒸散量が少なく、水分ストレスの負荷が小さかった。このことが湛水区より畑区の発根力を大きくした原因であると思われる。

以上に述べたように、いずれの品種においても土壤水分含量の低い畑区では、湛水区に比べ乾物生産は劣ったが、発根力、屈起力および溢泌液量はまさり、枯れ上り葉面積も少なかった。これは葉鞘の澱粉含量が畑区の方が大きかったこと、および畑区の苗は形態的にコンパクトであり、根の完全な切除、横臥のような、植物の生育に対する一種のストレスに対応しやすかったためである。

なお、澱粉含量、アミラーゼ活性、発根力に品種間差が認められたことから、土壤水分に対する生育反応は品種によって多少の差異があることは明らかである。

引用文献

1. Aimi, R and H. Nakayama 1957. Rooting ability in rice seedlings under low temperature. I. Potentiality of re-rooting. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* 26: 154—155.
2. 嵐 嘉一・江口 広 1954. 水稻の稈の發育経過および健全・秋落型水稻間の稈内貯蔵澱粉消長の比較. *日作紀* 23: 167—173.
3. 土井弥太郎・山谷聲作 1953. 稻葉の溢液現象におよぼす根の活力の影響. *山口大学農学部学術報告* 4: 133—162.
3. 平野哲也・小野寺守一・竹村武雄 1958. 水稻苗の活着に関する研究. *日作紀* 26: 199—202.
5. 本田 靖・白田純雄 1955. 水稻苗に関する生理学的研究. I 播種密度を異にする水稻内成分消長とその発根力との関係. II 異なる肥料条件の下に育苗した水稻苗の体内成分とその発根力との関係. *日作紀* 27: 429—431.
6. 星川清親 1976. 稚苗, 中苗の生理と技術. 農文協, 東京.
7. Hsiao, T.C 1973. Plant response to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24: 519—570.
8. 星野孝文・松島省三・富田豊雄 1972. 水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究 (第 107 報) 苗代期の温度条件および土壤水分条件の相違が苗の各種特性におよぼす影響. *日作紀* 41: 250—255.
9. 中村道徳・大西正健・坂野好幸・谷口 肇 1986. アミラーゼ. 学会出版センター, 東京. 165—167.
10. 松島省三・田中孝幸・星野孝文 1968. 水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究 (第 81 報) 苗代期の気温, 水温, 遮光および施肥量の各種組合せが水稻苗の諸形質に及ぼす影響. *日作紀* 37: 169—174.
11. 白鳥孝治・松岡義浩・松本直治・田原久徳 1957. 水稻畑苗に関する研究. *日作紀* 29: 323—325.
12. Yamada, N and Y. Ota 1957. Physiological character of rice seedlings. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* 25: 165—168.
13. ——— and ——— 1957. ——— (II). *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* 26: 78—80.
14. ——— and ——— 1959. ——— (III). *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* 27: 28—30.
15. 八柳三郎・高橋鴻七郎・村上利夫・酒井英 1959. 低温下における水稻苗の発根力に関する研究. *日作紀* 27: 15—16.