畑作物の根系分布と収量との相互関係

第4報 陸稲根の吸水位置について*

番 場 宏 治**・大久保 隆 弘***

(農事試験場・***北海道農業試験場)

昭和55年7月17日受理

畑地における土壌水分の変動は大きく、しばしば畑作物の生育に多大の影響を与える。このため畑作物の多収安定には畑地かんがいが有効であり、作物別に最適土壌水分が明らかにされている。畑地における土壌水分は不飽和状態で浸透や浸潤などの複雑な上下運動をつねにくり返している。他方、畑作物は生育最盛期に多量の水を蒸散するために根から受動的および能動的吸水を行っている。このような畑地条件のもとで土壌-畑作物-大気系の水分移動を明らかにすることは好適な畑作物の生育を得るために重要と思われる。とくに畑作物の吸水位置と土壌含水量の関係を明らかにすることは適切な畑地の水管理の上から必要である。

畑作物の土層別水分消費については、高山ら¹⁾はポットで、玉井²⁾は特製コンクリート枠で陸稲、サツマイモ、ダイズについて調査している。また、長谷川ら³⁾、志村ら⁴⁾、STONE ら⁵⁾、TAYLOR ら⁶⁾は普通作物および飼料作物を用い、圃場状態で土壌水分の垂直傾度の変化を測定することにより、土層別水分消費を明らかにしている。このうち、高山らや玉井の方法は土層別に分量の水を利用できるようにしており、畑地状態のような乾湿の変動の激しい場所とは状態を異にする。また、土壌水分の垂直傾度の変化により土層別水分消費量を測定することも問題が多い。すなわち、事前に有効土層や制限土層の測定などの複雑な土壌調査が必要であり、また、土壌水分の測器にも機能的な欠点が多々ある¹⁰⁾。

筆者らは立毛状態の陸稲根圏をピアノ線を用い、土層別に切断して蒸発散量への影響をみれば、吸水位置を確認できると考えた。また、ピアノ線による切断面は毛管が破壊されて、土壌水分の上下運動が遮断されることにより、切断した根圏における土壌水分の多少と吸水との関係を明らかにできると考えた。

試験は1978～1979年に埼玉県北本市にある農事試験場畑作部圃場で行った。

試 験 方 法

供試材料は深根性の陸稲農林21号である。栽植様式は畦幅60 cm、株間5 cmで、2～3粒を点播し、3葉期に間引いて1本立てとした。施肥はN-P-Kで10 a 当たり10-8-10 kgを条施した。なお、播種期は1978年は4月25日で、1979年は5月7日である。

吸水位置を測定した際の陸稲の生育時期は、1978年は穂ばらみ期で、1979年は穂ばらみ期から出穂期にかけてであり、陸稲のもっとも蒸散量の多い時期に当たる。

吸水位置の測定は土層別にピアノ線により根圏を切断して、蒸発散量を測定し、その変化により推定した。1978年の根圏切断を第1図に模式的に示した。すなわち、縦横60 cm、深さ40 cmの鉄枠を測定地点の根圏を切断する深さに埋め、直径2 mmのピアノ線をトラクターで牽引し、鉄枠の底部を走らせることにより切断した。その後周囲の土を埋めもどした。対照区についても根圏切断以外は同じ処理をした後、加藤⁹⁾らによって開発されたチャンバー法により蒸発散量の測定をした。1979年はあらかじめ直径2 mmのピアノ線を深さ15 cmに埋めておいて測定時に切断した。すなわち、播種前に幅4 cm厚さ3 mmの鉄アングルで幅1.8 m、長さ2.5 mの井桁を組んで地表下15 cmに埋めて切断のガイドラインとし、その下にピアノ線を埋設しておき、測定時にピアノ線の端をトラクターで牽引し、鉄アングルの井桁の下部を走らせることにより切断した。切断処理は1978年は7月26日と7月29日で、各々2日続けて蒸発散量の測定をした。1979年については7月31日に処理し、2日続けて蒸発散量を測定し、8月8日と8月19日の測定にあたってはその前日に処理した。処理畦数は3畦で、中央の畦で蒸発散量の測定をした。蒸発散量の測定に使用したチャンバーの大きさは、1978年は直径60 cm、高さが円筒部150 cm、円錐部30 cmで、1979年は直径40 cm以外は同じである。通気量は1978年のチャンバーで毎分400 l、1979年は毎分220 lである。チャ

* 大要は第169回講演会(昭和55年4月)において発表

** 現在、北海道立中央農業試験場

ンバー内と外気温の温度差は 3°C 以内とした。測定時間は6時から18時までの12時間である。日射量は農電式の日射計を用いた。1978年の土壌水分は測定前日に30 mmのかん水をしているので圃場容水量で、地表下10 cmで $\text{pF } 2.0 \sim 2.3$ である。1979年のそれは $\text{pF } 2.8$ 近辺からそれ以上に乾燥した土壌水分である。1979年の土壌水分は13時に畦間位置の地表下10, 20, 30 cmについて重量法により測定した。他にLAIおよび葉身重も測定した。

試 験 結 果

根圏切断による蒸発散量への影響については第1表に示した。

1978年は高土壌水分条件で20 cmおよび30 cm切断処理区と対照区を比較したが、根圏切断による蒸発散量の低下は切断後1日目には $0.01 \sim 0.08 \text{ mm}$ と小さかった。しかし、根圏切断後2日目には、切断区と対照区の差は $0.32 \sim 0.71 \text{ mm}$ とやや大きくなった。切断による蒸発散量の影響が2日目に大きくなったのはピアノ線による切断で毛管がこわされて、切断面より上方への水分移動がなくなるために、吸水できる量が減少したことによる。しかし、高土壌水分条件で地表下20 cmおよび30 cm切断による蒸発散量への影響が概して小さいことおよびほぼ日射量の等しい7月28日の30 cm切断と7月31日の20 cm切断による蒸発散量の比較で、20 cm切断区が 0.34 mm 多い

ことから高土壌水分条件での吸水位置は主として20 cmより表層にあることが推定された。そこで土壌水分の低い条件では根圏切断による蒸発散量への影響が顕著となるのではないかと考え、1979年は低土壌水分条件で地表下15 cmの位置で根圏を切断し、蒸発散量の変化をみた。地表下10 cmの土壌水分はテンションメーターで測定したが、8月2日より示度が不正

Fig. 1. A method for cutting roots by piano wire.

Note. Iron frame (60 cm length, 60 cm width, 40 cm depth) was set at different soil depth for cutting roots.

Table 1. The changes in the evapotranspiration by upland rice after cutting roots at 15, 20, 30 cm in depth by piano wire.

Date of measurements	Depth of root cutting treatment	Soil moisture ¹⁾ (pF , percentage ²⁾)	LAI	Dry leaf weight (g/m^2)	Solar radiation ($\text{cal}/\text{cm}^2/\text{day}$)	Evapotranspiration (mm/day)
July 27, 1978	untreated	$\text{pF } 2.0$	5.67	—	537	7.81
	30 cm		5.67	—		7.73
July 28, 1978	untreated	$\text{pF } 2.3$	5.67	—	458	7.65
	30 cm		5.67	—		6.94
July 30, 1978	untreated	$\text{pF } 2.0$	5.08	—	610	10.50
	20 cm		5.08	—		10.49
July 31, 1978	untreated	$\text{pF } 2.1$	5.08	—	440	7.60
	20 cm		5.08	—		7.28
August 1, 1979	untreated	$\text{pF } 2.8$	6.10	220.8	464	8.32
	15 cm		5.64	204.2		7.99
August 2, 1979	untreated	46.2%	6.10	220.8	460	8.02
	15 cm		5.64	204.2		7.48
August 8, 1979	untreated	44.7%	6.67	241.7	495	8.19
	15 cm		6.44	233.3		7.96
August 19, 1979	untreated	41.9%	4.14	150.0	430	5.13
	15 cm		4.26	154.2		3.17

Note 1) measured at 10 cm in depth.

2) percentage on dried soil basis.

確になったので13時の畦間での含水比で表示した。土壌水分が比較的乾いた条件の pF 2.8 近辺にあたる 8 月 1 日、2 日および 8 日の蒸発散量を測定した結果は 15 cm 根圏切断区と対照区の差が 0.23~0.54 mm で、大きな差は認められない。しかし、無降雨で 1 週間経過し、含水比が 41.9% に低下した出穂後 1 週間目の 8 月 19 日には、15 cm 切断による蒸発散量の明らかな減少が認められ、対照区の 60% に減少した。そして 15 cm 切断区は 13 時に初期萎凋を示した。

以上のように 2 年間の結果から、深根性の陸稲農林 21 号でも圃場容水量にあたる高土壌水分条件から pF 2.8 近辺の比較的乾いた土壌水分条件では表層 15 cm までの根で主として吸水し、含水比がさらに低下してくると 15 cm より下方の根によって吸水が行われるようになる。

つぎに根圏切断による蒸発散量の日変化については高土壌水分条件の 1978 年 7 月 29 日と比較的乾燥条件の 1979 年 8 月 1 日の値を第 2 図および第 3 図に、根圏切断区が初期萎凋を示した乾燥土壌の 8 月 19 日の値を第 4 図に示した。高土壌水分条件下から比較的乾いた土壌条件までは、蒸発散量が 1 時間当たり換算で 0.9 mm をこえと、根圏切断区と対照区の差は認められるが、それ以下では差はない。このことから蒸発散量の少ない時は表層 15 cm までの根による吸水で水分供給は十分であるが、1 時間当たりの換算で蒸発散量が 0.9 mm 以上に達すると、15 cm より下層の根も吸水に関与してくることが推定される。または根圏切断区が初期萎凋を示すような極端に乾いた土壌では、15 cm 切断による蒸発散量への影響は 8 時から認められ、15 cm 切断による蒸発散量は対照区よりつねに劣った。このことから 1 時間当たりの蒸発散量が 0.9 mm 以上の時や土壌が乾燥した条件下では当然のことながら下層の根の吸水に果す役割が大きいことが示唆される。

考 察

畑作物の土層別消費水量については長谷川ら²⁾の陸稲、サツマイモ、ダイズについての結果によると、各作物とも深さ 30 cm 位までの土層からその大部分の水分を吸収している。その中で陸稲は表層の 0~15 cm からの吸水量が大部分を占め、サツマイモは比較的深い 15~30 cm の層からの吸水が多いとしている。志村ら³⁾は飼料作物の土層別消費水量は表層でもっとも多く、ネピアグラスは表層 20 cm で 80% 以上を消費し、他の 3 種でも 50~70% であるとしている。また、内藤ら⁵⁾が野菜について調査し

Fig. 2. The daily changes in the evapotranspiration after cutting roots at 20 cm in depth under high soil moisture levels (July 31, 1978).

Note ○—○ : untreated check
●—● : cutting roots at 20 cm in depth.

Fig. 3. The daily changes in the evapotranspiration after cutting roots at 15 cm in depth under relatively dried soil moisture levels (August 1, 1979).

Note ○—○ : untreated check
●—● : cutting roots at 15 cm in depth

Fig. 4. The daily changes in the evapotranspiration after cutting roots at 15 cm in depth under dried soil moisture levels (August 19, 1979).

Note ○—○ : untreated check
●—● : cutting roots at 15 cm in depth

た結果でもカンラン、ハクサイ、スイカなどは表層 20 cm までで 85~92% を吸水しており、トマトで 82% としている。このように大部分の作物は表層 30 cm までを吸水圏にしており、その中で

も20 cmまでの吸水量が主体になっている。ピアノ線を用い、土層別に根圏を切断することにより吸水位置を調べた本試験の結果でも、圃場容水量にあたる高土壌水分条件から比較的乾いたpF 2.8近辺の範囲では、根圏切断による蒸発散量への影響が小さかったことから、陸稲の吸水位置は表層15 cmまでと考えられた。しかし、15 cm切断区が初期萎凋点に達するような低土壌水分では根圏切断により蒸発散量が対照区に比べておよそ60%に激減したことにより、このような条件下では15 cmより下層の根で吸水していることが明らかになった。陸稲の根は深根性の農林21号でも表層に分布する割合が高く、かん水条件下で88.3%が、無かんがい条件下で74.1%が表層14 cmまでに分布する¹⁾。このことから、比較的高土壌水分の時には根のもっとも多い表層14 cmまでで吸水していると推定される。STONE ら²⁾は圃場条件でダイズ根の吸水帯と根の分布との関係をみた結果、生育初期は土層別水分消費量と根のもっとも多い所とはほぼ等しいが、生育後期には土層別水分消費量の場所が根のもっとも多い所より15 cm下層になるとしている。この原因としては根のもっとも多い層への水の上方移動の結果であると推定している。また、彼らは吸水能力は深層に分布する根の方が高く、それは若い根で土壌も湿り、根からみあっていないことによるとしている。TAYLOR ら³⁾も深層に分布する根は吸水能力が高いが、これはやはり根が若くて、湿った土壌の中にあるからとしている。以上のように吸水位置は根のもっとも多い場所にあるが、乾燥した場合に、それより根の少ない深層部に移動しても吸水機能が極端に低下しないのは、STONE らや TAYLOR らが指摘しているように、深層部の根の吸水機能が大きいことによるものと推察される。

つぎに根圏切断による蒸発散量の影響を日変化の面からみると高土壌水分条件でも蒸発散量が多くなる時間帯には根圏切断による減少が認められる。すなわち、11時から15時の蒸発散量が1時間当たりに換算して0.9 mm以上になった時に切断した影響が現われる。したがって、蒸発散量の少ない時間帯では表層の根の吸水力で十分間にあうが、1時間当たり0.9 mm以上の蒸発散量に達した場合には下層の根による吸水も必要となる。

要するに陸稲の吸水位置は高土壌水分条件では地表下15 cmまでにあり、低土壌水分条件になると15 cmより下層に吸水位置が移行する。また、蒸発散量が1時間当たり0.9 mm以上をこえると根圏切断による

影響が現われることから、乾物生産を高め安定的畑作生産を行うためには下層の根量を多くする耕種法が必要となる。

摘 要

陸稲の根圏を土層別にピアノ線で切断して蒸発散量への影響をみることにより吸水位置を推定した。

得られた結果は次のとおりである。

1. pF 2.1~2.3 の高土壌水分条件では地表下20 cmおよび30 cmの根圏切断による蒸発散量への影響は小さかった。したがって、高土壌水分条件下の吸水位置は地表下20 cmまでにある。

2. 高土壌水分条件でも根圏切断の蒸発散量への影響は日変化でみた場合に、蒸発散量が1時間当たりで0.9 mmをこえると認められる。

3. 土壌水分が比較的乾いたpF 2.8近辺でも、15 cm根圏切断による蒸発散量への影響は小さかった。

4. 初期萎凋に達するような乾燥した土壌では15 cm根圏切断区が対照区の60%に急激に低下することから、吸水は15 cmより下層の根によっていることが推察される。

5. 以上のことから陸稲の吸水は高土壌水分条件では表層15 cmまでの根圏により主として行われ、干ばつ時もしくは蒸発散量が1時間当たりに換算して0.9 mmをこえると15 cmより下層の根により吸水されることが推察された。

謝辞 試験に用いた陸稲種子は茨城県農業試験場育種部より頂いた。また、蒸発散量の計算は作付体系研究室の山田盾技官が作成したプログラムを用いた。また、根圏切断法については作業体系研究室の窪田哲夫技官と畑作機械化研究室の今園支和技官の助言を頂き、作付体系研究室の竹下定男技官には実験遂行に種々協力して頂いた。ここに記して謝意を表する。

引 用 文 献

1. 番場宏治・大久保隆弘 1980. 畑作物の根系分布と収量との相互関係、第3報 畑水稻、水稻—陸稲交配稲および陸稲の根系分布と根量に対する土壌水分の影響。日作紀 **50**: 1—7
2. 長谷川新一・八田貞夫・臼井恵治 1959. 畑作物の吸水特性について。日作紀 **28**: 63—65.
3. KATO, I., Y. NAITO, R. TANIGUCHI and F. KAMOTA 1960. Studies on the method for measuring amounts of evapotranspiration I. A method by measuring humidity using transpiration chambers. Proc. Crop Sci. Soc. Japan **28**: 286—288.

4. 高山卓爾・丸山吉雄 1930. 陸稲の根の発育と土壌の各層よりの水分の吸収 (予報). 日作紀 **2**: 175—184.
5. 内藤文男・柴田 明・鴨田福也・加藤一郎 1973. 蒸発散比の応用による畑地かんがいの合理化に関する研究. 東海近畿農試研報 **25**: 13—47.
6. 志村 清・川竹基弘・西村 剛・岡本恭二 1970. 鉦質土壌畑における飼料作物・牧草のかんがい栽培に関する研究. 第Ⅱ報 数種暖地型牧草のかんがい効果とかんがい計画のための2・3の要因について. 東海近畿農試研報 **19**: 55—69.
7. STONE, L. R., I. D. TEARE, C. D. NICKELL and W. C. MAYAKI 1976. Soybean root development and soil water depletion. Agron. J. **68**: 677—680.
8. 玉井虎太郎 1971. 植物用水管理の理論と技術 [11]. 農及園 **46**: 1628—1632.
9. TAYLOR, H. M. and B. KLEPPER 1973. Rooting density and water extraction patterns for corn (*Zea mays* L.). Agron. J. **65**: 965—968.
10. 湯村義男 1976. 圃場の土壌水分変化の追跡. 土壌物理性測定委員会編. 土壌物理性測定法. 養賢堂, 東京 197—221.

Relationship between Root Distribution of Upland Crops and their Yield

IV. Soil water uptake pattern in upland rice under different soil moisture levels

Hiroharu BANBA and Takahiro OHKUBO*

(Hokkaido Central Agricultural Experiment Station, *Hokkaido Agricultural Experiment Station, Naganuma-cho, Yubarigun, Hokkaido 069-13)

Summary

The field experiments were conducted during summer in 1978 and 1979 on a field of volcanic ash soil at Kitamoto to improve a method determining the soil water uptake patterns by field crops. The amount of the evapotranspiration in upland rice was measured by the chamber method developed by KATO *et al.* after cutting roots horizontally by piano wire at 15, 20 and 30 cm in depth, respectively, for three soil moisture levels controlled by irrigation just before treatment.

The main results obtained are as follows:

1. When soil moisture was kept at low level of pF 2.0–2.3, the cutting roots at 20 and 30 cm in depth was not effective for the evapotranspiration in case of the rate less than 0.9 mm per hour (Table 1, Fig. 2, Fig. 3).
2. When soil moisture was kept at pF 2.8, the results obtained by cutting roots at 15 cm in depth was the same as shown in item 1 (Fig. 3).
3. Under the condition of 42% soil moisture in surface soil, the evapotranspiration of treated plot decreased to 60% of the controlled one and wilted in daytime (Fig. 4).
4. It was suggested from these results that upland rice grew mainly by water in the layer of 0–20 cm if the moisture was at low (pF 2.0–2.3), but, when evapotranspiration rate got higher than 0.9 mm per hour even the moisture of surface soil was kept at low level (pF 2.0–2.3) or moisture of surface soil was less than 42%, the roots above 15 cm in depth did not uptake soil water enough to support the normal evapotranspiration.