

## ダイズ幼植物における茎基部からの出液速度に関与する要因

馬啓林・山口武視\*・中田昇・田中朋之・中野淳一

(鳥取大学)

**要旨：**作物茎の切断面より溢出する出液現象は能動的吸水に基づくものであるので、これを用いて根の生理的活性を把握できる可能性がある。そこで、ダイズ幼植物を用いて、出液速度に影響を及ぼす要因を明らかにして、根の呼吸速度と出液速度との関係を検討した。土壌含水比が40%以下になると、出液速度が指数関数的に減少し、30%以下ではほとんど出なくなった。また、早朝や夕刻よりも午前10時に切断した場合が最も高い値であった。茎切断後の出液速度は急速に低下し、6時間後にほぼ一定となった。出液速度は地温の影響を受け、25℃～30℃ではほぼ一定の値を示した。生育に伴う出液速度の変化は、花芽分化期の出芽後45日ごろ最大となり、その変化は呼吸速度の推移と一致した。土壌水分を約55%、地温25℃に保ち、午前10時に切断後1時間の出液速度は、個体当たりの根の呼吸速度と密接な関係にあることが認められた。個体当たりの根の呼吸速度は「根重当たり呼吸速度×根重」で示されるので、この2要因について検討した結果、出液速度には根重の方が強く関与するが、同じ根量であれば、根の呼吸活性の高いものほど出液速度が高いことを明らかにすることができた。

**キーワード：**呼吸速度、出液速度、ダイズ、根の生理活性

作物栽培において、養水分吸収に関わる根の生理的活性を把握することは適切な肥培管理や水管理を行うために重要である。土壌中に伸長する根の生理的活性を測定する方法はいくつか提案されている(山口2003)が、それらの多くは根を土中から掘りあげる必要があり、このため多くの時間と労力を必要とする。また、畑作物では根表面に付着した微生物の影響、特にマメ科では根粒菌の影響を考慮して根の生理的活性を評価しなければならず、これが測定をより困難にしている一因でもある。

一方、茎を切断するとその切断面からあふれ出す出液の多少で根の生理的活性を把握しようとする試みは古くから行われており(馬場1957)、安価で特別な測定機器を必要としないため、作物根系の全体の活性を簡便に評価する指標として注目されている。しかし、出液現象は地温(穂積1969, 小柳1995, 山口ら1995, 阿部ら1998, 岡本ら1999)、土壌水分(小柳1995, 岡本・森田2000)などの根圏環境、残葉や茎太(山口ら1995)、飽差(平沢ら1983, 山口ら1995)などの地上部条件、測定時刻(小柳1995, 岡本ら1999, 森田ら2000, 森田・阿部2002, 境垣内ら2002)および側根の多少(山崎・阿部1987, 津野ら1992)などにも影響されることが報告されている。

山口ら(1995)は、これらの測定条件を統一するならば根の呼吸活性と出液速度が比例的関係にあることを水稻で明らかにした。畑作物でも、コムギ(小柳1995)およびダイズ(福井ら1963, 李ら1994)で両者の間に密接な関係にあることが確かめられている。しかしながら一方で、不明な理由により出液速度が同一の齢でも大きくばらつくことが指摘されている(Kramer 1986)ので、その測定条件については十分な検討がなされたとは言いがたいのが現状である。

そこで本実験では、わが国農業の水田転換畑で主要な作物であるダイズを取り上げ、茎基部からの出液速度に対す

る様々な環境条件の影響について検討し、出液速度で根の生理活性を把握するための条件を明らかにしようとした。

### 材料と方法

直径7.5 cm、高さ20 cm(容量0.9 L)のプラスチックパイプの一端を育苗用下敷紙で覆い栽培ポットとした。これに黒ボク土を充填し、基肥として窒素、リン酸、カリを成分で各0.2 g化学肥料で施し、品種エンレイを3粒ずつ播種した。初生葉展開後1個体を間引いて2本立てとし、温度制御施設のないガラス室内で生育させた。播種は5月から11月にかけて順次行い、実験には第3本葉展開後から第6葉抽出期までの生育期のうち、同一齢で生育の揃った個体を使用した。

通常の出液の採取方法は以下の手順で行った。測定の24時間前にポットを5分間浸水し、その後引き上げて測定時まで静置して重力水を除き、測定16時間前から25℃の恒温器にポットを搬入した。出液採取時は、土壌表面から約2 cm高の下胚軸をはさみで水平に切断し、ここに予め重さを測定しておいたキャップ(ビニール管の一端にポリ塩化ビニールデンフィルムをかぶせて、中に約70 mgの脱脂綿をいれたもの)を押し当ててこれに出液を吸収させた。そして、一定時間後の重量変化を出液速度として、4～8個体の平均値で示した。

地温と出液速度との関係を求める実験では、ポットを搬入した恒温器の温度を2時間にわたって段階的に昇温させて同一個体について測定した。

出液を採取した個体のうち一部は根の呼吸速度を測定したが、これは根を丁寧に洗い出し、根粒菌を取り除いた後、根を同化箱(17 cm × 11 cm × 4 cm)にいれて、津野・山口(1987)の方法に準じて根が放出する二酸化炭素を赤外線炭酸ガス分析計(島津製URA-3B形)で測定して求めた。

## 結 果

### 1. 土壌水分と出液速度

土壌水分と個体当たり出液速度との関係を第1図に示した。土壌含水比が約40%以下になると出液速度は指数関数的 ( $y = 0.0087e^{0.25x}$ ,  $r = 0.945^{**}$ ) に減少し, 30%以下ではほとんど出なくなった。一方, 含水比が40%以上となると, 両者の間には明確な関係が認められなかった。これより, 土壌水分が直接出液速度に影響を及ぼすのは, 含水比が40%以下のときであることが明らかとなった。

したがって, 他の要因を検討する場合は, 土壌水分が出液に影響を及ぼさないように24時間前に充分灌水した後, 測定時まで放置して重力水を除去した条件下で出液を採取した。なお, この時の土壌含水比は約55%であった。

### 2. 出液速度の日変化

切断時刻が出液速度に及ぼす影響について検討するため, 5時, 10時, 14時および17時に出液を測定した。その結果, 10時の出液速度が最も高く, 5時および14時の出液速度は小さい値であった(第2図)。追試した結果でもこの傾向は同様であった。これより, 以後は切断時刻を10時前後として出液速度を測定することとした。

### 3. 茎切断後の出液速度の変化

茎切断後の出液速度の経時的変化を第3図に示した。茎を切断後1時間の出液速度が最大で, その後は出液速度が急速に低下し, 約6時間以降は低い値でほぼ一定となった。また, 土壌含水比の違いによる出液速度の差は, 時間が経過しても一定の差を保ち, 平行的に変動した。

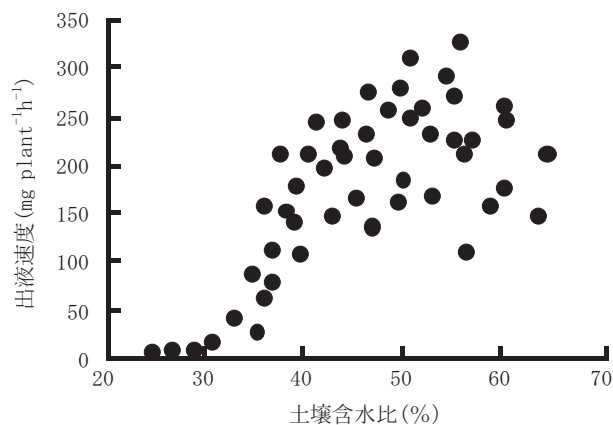
これより, 出液の測定は茎切断後1時間程度の短時間でもよいが, 測定時間は一定にする必要があると判断された。

### 4. 温度と出液速度との関係

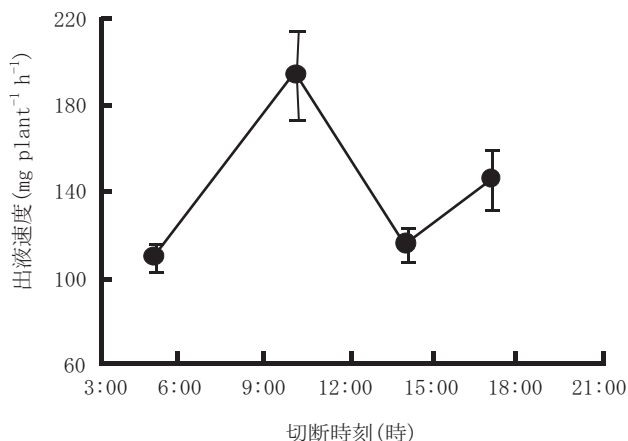
地温が出液速度に及ぼす影響について2つの測定例を第4図に示した。黒丸で示した播種後28日目の個体では, 25℃までは温度の上昇に伴い出液速度も増加し, 25℃から35℃まではほぼ一定で, それ以上の高温になると低下した。一方, 白丸で示した20日目の個体では40℃でも出液速度はあまり低下しなかった。他に2回ほど同様の実験を繰り返したが, 一定の傾向は得られず, 適温域の決定には至らなかった。

### 5. 生育に伴う出液速度の変化

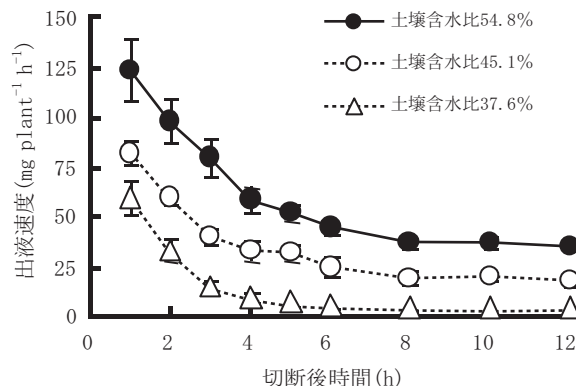
生育に伴う出液速度および呼吸速度の変化を第5図に示した。この図をみると, 出液速度は出芽後から生育の進行に伴って増加し, 花芽分化期の出芽後45日頃に最大値に達し, その後は低下した。一方, 根の呼吸速度も同様に, 出芽後から増加し, 出芽後60日以降は低下しており, 根の呼吸速度と出液速度とは同様の傾向を示した。



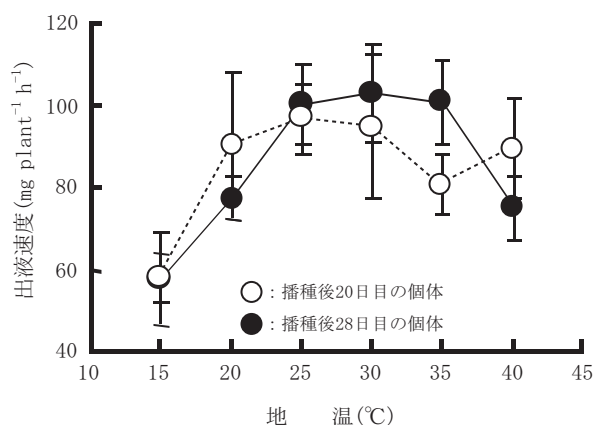
第1図 出液速度に及ぼす土壌水分の影響。  
品種：エンレイ。播種後36日目の個体。



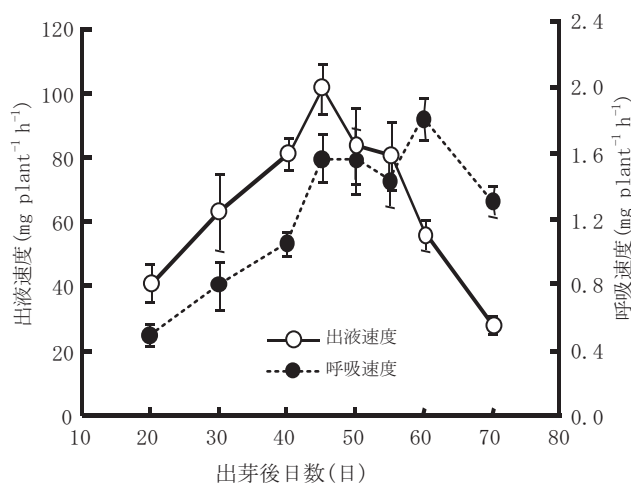
第2図 切断時刻が出液速度に及ぼす影響。  
播種後28日目の個体。  
記号に付した棒線は標準誤差 (n=5)。



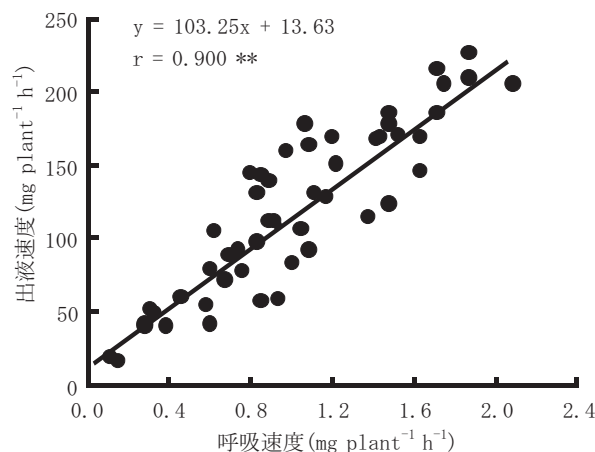
第3図 出液速度の経時的変化。  
品種：エンレイ。播種後30日目の個体。  
記号に付した棒線は標準誤差 (n=4)。



第4図 地温と出液速度との関係。  
記号に付した棒線は標準誤差(n=5)。



第5図 生育に伴う出液速度と根の呼吸速度の変化。  
記号に付した棒線は標準誤差(n=8)。



第6図 個体当たり根の呼吸速度と出液速度との関係。  
品種：エンレイ。播種後29～33日目の個体。

## 6. 根の呼吸速度と出液速度との関係

前項までの結果より出液速度は測定時刻、土壌水分、温度、測定時間および生育時期によって大きく影響を受けることが明らかになった。そこで、5葉期の個体を用い、土壌水分を圃場容水量に保ち、25℃の条件下で10時に茎を切断して1時間出液を採取して、これと個体当たり根の呼吸速度との関係を求めた(第6図)。両者の間には極めて高い相関関係が認められ、これによりダイズの茎基部からの出液速度は測定条件を一定にするならば個体当たり根の呼吸速度を示す簡便な調査形質であることが明らかとなった。

## 考 察

本論文では茎基部からの出液速度で根の呼吸活性を代表させるための測定条件を検討してきた。すでに水稻では山口ら(1995)が茎基部からの出液速度に及ぼす要因を明らかにしているが、畑作物であるダイズでは、土壌水分の影響を強く受けることが確認された(第1図)。すなわち、土壌含水比が40%以下になると出液速度は急激な低下を示し、30%ではほとんど出なくなった。小柳(1995)は、コムギでは土壌含水率が45%付近で出液速度が最大値を示し、その前後では低下したと報告しており、ダイズでは乾燥処理すると出液が低下することが確かめられている(浦野ら1958, 福井ら1963, 李ら1994)。

これらより、畑作物で出液速度を採取する際にまず留意すべき点は、土壌水分の影響であり、これを一定に保つことが必要である。しかし、圃場条件下で土壌水分を均一に保つことは困難であり、特に水田転換畑に栽培されることが多いダイズでは地下水位の影響も考慮しなくてはならない。したがって、出液速度で根の生理的活性を代表させようとするならば、ポット、圃場栽培のいずれの場合も、前日に十分に灌水し、測定時の土壌含水比を45%以上に保つ工夫が必要である。この場合、前日の灌水による過湿が根の生理的活性を低下させることが危惧されるが、ダイズにおいて24時間以内の湛水は根の生理的活性に影響を及ぼさないことを確かめている。

次に、出液速度の日変化については、本実験では午前10時に最大値を示すという結果が得られた。この日変化については、日中に最高値を示す山型のパターンが報告されている例が多い(Minshall 1968, Masuda and Gomi 1982, 森田・豊田 2000)。また、水の移動に対する根系の水の透過性にも日変化があり、日中は抵抗が最小で、夜間に最大となる(Skidmore and Stone 1964, Parsons and Kramer 1974)との報告がある。これは地上部からの信号によって周期が制御(Parsons and Kramer 1974, Bunce 1978)、あるいは根の細胞分裂や生長の日周期性と関係がある(Ivanov 1980)と考えられている。また、根の呼吸速度が光合成の日変化と関係があるとの報告もある(Jeffrey 2001)。一方、測定時の蒸散の多少が出液速度に影響することも報告されている。



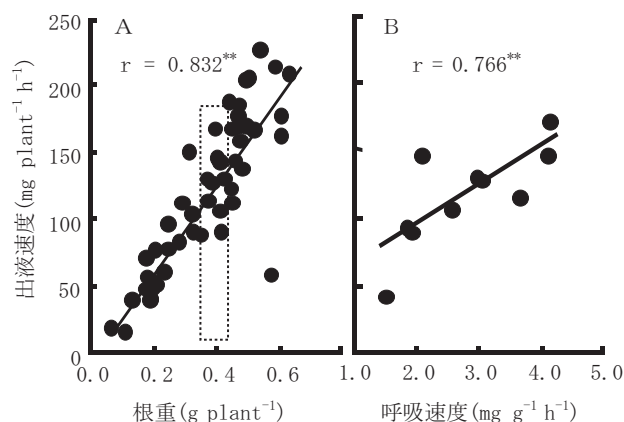
(山口ら 1995). このように出液速度の日変化の原因についてはなお不明な点が多いが, 測定時刻を統一しておく必要があることは指摘できる.

出液速度に及ぼす温度の影響についてはいくつかの報告があり, 山口ら (1995) は水稻では  $7^{\circ}\text{C}$ ~ $29^{\circ}\text{C}$  の範囲では出液速度は指数関数的に増大し, 出液の温度係数は約 2.0 であるとの結果を得ている. 一方, 畑作物のコムギでは  $16^{\circ}\text{C}$ ~ $20^{\circ}\text{C}$  で最高値をとり, その前後では低下すること (小柳ら 1995), およびトウモロコシ幼植物の出液速度では,  $20^{\circ}\text{C}$  前後 (岡本ら 1999) または  $30^{\circ}\text{C}$  前後 (阿部ら 1998) に最大値となるとの報告がある. 本実験でも, 4 回の実験のうち地温が  $25^{\circ}\text{C}$ ~ $30^{\circ}\text{C}$  で最高値となったものが 2 例あり, 畑作物における出液現象には最適温度が存在することが示唆されたが, 別の実験ではその特定までは至らなかった場合もあったので, さらに詳しい検討が必要であろう. いずれにせよ, 出液採取時には地温を測定しておく必要がある.

検討した測定条件を一定として個体当たり根の呼吸速度と個体当たり出液速度との関係を求めると, 第 6 図に示したように両者の間には極めて高い相関関係にあることが確認された. しかし, ここで問題としたいのは, 個体当たり根の呼吸速度であって, これは「根重当たり呼吸速度×根重」という 2 要因に分けて考えることが出来る. そこで, 根の生理的活性と根量の 2 要因のうちどちらが強く出液速度に関与しているかを明らかにするために, 上記 2 要因と出液速度との関係を検討し, その結果を第 7 図に示した. 第 7 図 A をみると, 根重と出液速度とは極めて密接な関係にあり, 出液速度には根重が強く関与していることがわかった. 根重は根量や根の表面積を示す形質であることから判断すると, ダイズ茎基部からの出液速度の多少は基本的には根量に規制されるものであると推察された. これより, 測定条件さえ揃えれば, 出液速度は根量の把握が極めて困難な根系全体の呼吸速度を代表することのできる簡便な調査形質であるといえた.

しかし, 第 7 図 A では点線で囲った部分のように, 根重が同じであっても出液速度が大きくばらつく場合のあることも指摘できる. そこでこのばらつきの原因を明らかにするために, この範囲にある測定値について, 根重当たり呼吸速度と出液速度との関係を求めたのが第 7 図 B であり, 両者に比例関係が認められた. したがって, 茎基部からの出液速度はおもに根の乾物重の大小に支配されているが, 根量が同じであれば根重当たり根の呼吸速度の高低が出液速度に関与するということが明確にすることができた.

もちろん, 出液速度だけでなく, 出液中に含有される無機・有機成分から根の養分吸収能を把握することも可能であるので, 今後はこれらの成分分析も含めて出液を活用していく予定である.



第 7 図 根重および根の呼吸速度と出液速度との関係.  
品種: エンレイ. 播種後 29~33 日目の個体.  
B 図は A 図の点線の範囲にあるデータで作図.

## 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.
- 馬場超 1957. 水稻の窒素および珪酸の栄養生理に関する研究. 溢泌液及び溢液中の珪酸について. 日作紀 25: 139-140.
- Bunce, J.A. 1978. Effects of shoot environment on apparent root resistance to water flow in whole soybean and cotton plants. J. Exp. Bot. 29: 595-601.
- 福井重郎・松本重男・昆野昭晨 1963. 土壌水分ならびに施肥条件が大豆の溢泌液に及ぼす影響. 日作紀 31: 327-331.
- 平沢正・荒木俊光・松田永一・石原邦 1983. 水稻葉身基部の出液速度について. 日作紀 52: 574-581.
- 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.
- Ivanov, V.B. 1980. Specificity of spatial and time organization of root cell growth in connection with functions of the root. Sov. Plant Physiol. 26: 720-728.
- Jeffrey S.A. 2001. 呼吸と作物の生産性. 信濃卓朗訳. 学会出版センター, 東京. 75-76.
- Kramer, P.J. 1986. 根圧と茎圧. 田崎忠良編, 水環境と植物. 養賢堂, 東京. 234-240.
- 李忠烈・津野幸人・中野淳一・山口武視 1994. ダイズの耐乾性に関する生態生理学的研究. 第 2 報 土壌水分不足による葉の萎れ現象と再吸水による光合成速度の回復ならびに切断茎からの出液速度の変化. 日作紀 63: 223-229.
- Masuda, M. and K. Gomi 1982. Diurnal changes of the exudation rate and the mineral concentration in xylem sap after decapitation of grafted and non-grafted cucumbers. J. Jpn. Soc. Hort. Sci. 51: 293-298.
- Minshall, W.H. 1968. Effects of nitrogenous materials on translocation and stump exudation in root system of tomato. Can. J. Bot. 46: 363-376.
- 森田茂紀・岡本美輪・阿部淳・山岸順子 2000. 圃場で栽培したトウモロコシの出液速度と根量との関係. 日作紀 69: 80-85.

- 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伴う推移. 日作紀 71 : 383-388.
- 森田茂紀・豊田正範 2000. メキシコ合衆国バハ・カリフォルニア州の砂漠地域で点滴灌漑栽培したトウガラシとメロンの収穫期における出液の速度と成分. 日作紀 69 : 217-223.
- 岡本美輪・森田茂紀 2000. トウモロコシ幼植物の出液速度に関する研究—根の生理的活性に影響を及ぼす要因—. 日作紀 69 (別 1) : 134-135.
- 岡本美輪・森田茂紀・阿部淳 1999. トウモロコシ幼植物の出液速度に対する温度の影響. 日作紀 68 (別 1) : 178-179.
- 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.
- Parsons, L.R. and P.J. Kramer 1974. Diurnal cycling in root resistance to water movement. *Physiol. Plant.* 30 : 19-23.
- 境垣内岳雄・森田茂紀・阿部淳 2002. 水稻における出液中の全窒素量の生育にともなう推移と日変化. 根の研究 11 : 198.
- Skidmore, E.L. and J.F. Stone 1964. Physiological role in transpiration rate of the cotton plant. *Agron. J.* 56 : 405-410.
- 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速度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.
- 津野幸人・山城篤・中野淳一・山口武視 1992. 水稻幼植物根の出液速度の測定と出液速度に関与する根形質について. 日作紀 61 (別 1) : 254-255.
- 浦野啓司・長瀬喜迪・小口忠彦 1958. 生育時期別土壌水分の多少が大豆の生育・収量に及ぼす影響. 第 1 報 生育・開花・結実及び溢泌液現象並びに要水量に及ぼす影響. 日作紀 27 : 99-102.
- 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.
- 山口武視 2003. 根の生理. 巽二郎等編, 温故知新—日本作物学会創立 75 周年記念総説集. 日本作物学会, 友人社. 56-60.
- 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.

**Factors Affecting the Bleeding Rate from the Basal Part Cut End of Stem in Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) Seedlings :** Qilin MA, Takeshi YAMAGUCHI\*, Noboru NAKATA, Tomoyuki Katsube-TANAKA and Junichi NAKANO (*Fac. of Agr., Tottori Univ., Tottori 680-8553, Japan*)

**Abstract:** The bleeding rate from the stem cut end is considered to reflect the root physiological activity since the bleeding is caused by the active water absorption by root. We analyzed factors affecting the bleeding rate using soybean seedlings in order to elucidate the relationship between the root respiration and bleeding rate in soybean plants. The bleeding rate was (1) exponentially decreased when the soil moisture percentage (w/w) dropped from 40% to 30%, (2) higher around 10 a.m. than in the early morning and evening, (3) rapidly declined after stem cutting for 6 hours and was constant thereafter, (4) affected by soil temperature and showed a nearly constant rate at 25 to 30°C, and (5) varied with the plant growth period corresponding to the variation of the root respiration rate showing the maximum level around 45 days after emergence, which is the flower bud initiation stage. When the above variable factors were set constant, the bleeding rate closely correlated with the root respiration rate, which can be expressed as the product of whole root weight and the respiration rate per root weight. Even though the bleeding rate was correlated with the whole root weight more closely than with the respiration rate per root weight, we could demonstrate that a higher respiration rate per root weight resulted in higher bleeding rate when the whole root weight was the same.

**Key words :** Bleeding rate, *Glycine max* (L.) Merr., Respiration rate, Root physiological activity.