

登熟期における水稻茎基部からの出液中のアンモニア態窒素濃度ならびに出液中の珪酸:カルシウム比と根の呼吸速度との関係*

山口 武 視・津 野 幸 人・中 野 淳 一・真 野 玲 子

(鳥取大学農学部)

1995 年 1 月 27 日受理

要 旨: 水稻の幼穂形成期から登熟期にかけて茎基部からの出液を採取し、出液中のアンモニア態窒素、珪酸およびカルシウムを定量して、それらと根の呼吸速度との関係を検討した。処理区として、堆肥、生ワラなどの有機物を施用した区、多窒素区および 75% 遮光区などの合計 11 区を設けた。出液中のアンモニア態窒素濃度は、遮光区が登熟期平均で 8.3 ppm と他の処理区平均 0.6 ppm より高い値を示した。遮光区の根は、全糖含有率が 0.2% と極端に低下(対照区 1.0%) しており、根の全糖含有率が低下すると出液中のアンモニア態窒素濃度が上昇する傾向が認められた。出液中の珪酸濃度は、幼穂形成期に高く、その後登熟の進行とともに漸次低下した。これは根の呼吸速度の変化と同様の傾向であった。出液中のカルシウム濃度は生育期間を通して、概ね一定濃度で推移した。根の呼吸速度と出液中の珪酸濃度および出液中の珪酸含有量とは、高い正の相関関係があった。また、根の呼吸速度と出液中の珪酸:カルシウム比との間には、正の相関があり、根の呼吸速度が高い場合には、珪酸:カルシウム比が高いことを認めた。したがって、呼吸速度の高い根を有する水稻では、葉身中の珪酸含有率が高くなる可能性が示唆された。

キーワード: アンモニア、カルシウム、珪酸、出液、水稻、根の呼吸。

Relationship between Root Respiration and Silica: Calcium Ratio and Ammonium Concentration in Bleeding Sap from Stem in Rice Plants during the Ripening Stage: Takeshi YAMAGUCHI, Yukindo TSUNO, Junichi NAKANO and Reiko MANO (*Faculty of Agriculture, Tottori University, Koyama, Tottori 680, Japan*).

Abstract: Rice plants were given various treatments, such as organic matter application, a large amount of nitrogen as topdressing and light shading of 75%, and ammonium (NH_3), silica (SiO_2) and calcium (Ca) in bleeding sap were then measured from young panicle formation to ripening stage. The average NH_3 concentration in bleeding sap of shading plants was remarkably higher (8.3ppm) than those of other treatments and shading plants had shown the lowest content of total sugar in roots during ripening. High NH_3 concentration in bleeding sap from the stem was accompanied by low total sugar content in the roots. The SiO_2 concentration in bleeding sap gradually decreased, essentially in parallel with root respiration, according to plant aging. The Ca concentration in bleeding sap was generally constant from young panicle formation to the ripening stage. The SiO_2 concentration and/or amount per stem in bleeding sap was shown to be highly positively correlated with root respiration. The SiO_2/Ca ratio in bleeding sap was proportional with root respiration; SiO_2/Ca ratio in bleeding sap from the stem had active root in respiration was being higher. Therefore, it supported that the plants which had high root respiration realized to be higher SiO_2 concentration in their leaves.

Key words: Ammonium, Bleeding, Calcium, Rice, Root respiration, Silica.

幼穂形成期より登熟中期にかけて水稻茎基部からの出液を採取し、出液中のアンモニア態窒素、珪酸およびカルシウムの 3 成分に着目して、それらの濃度ならびに含有量と根の呼吸速度との関係を明らかにするための実験を 1991 年に行った。なお、この年の鳥取県水稻作況指数は 93 であった。

上記 3 成分に着目した理由は、①アンモニア態窒素については、著者ら^{14,18)}は登熟初期に粒重肥大が抑制された玄米中には多量のアンモニアが存在していることを報告した。このアンモニアが由来する経路は明確に指摘できないが、本来アンモニアは生理

毒であり、根で吸収されたアンモニアは、すみやかにグルタミンなどのアミノ酸に合成される¹⁹⁾。もし、根の活性が衰えるとアミノ酸代謝が不調となり、アンモニア態窒素が水の移動とともに高濃度で地上部へ送られるのではないかと推論をたてた。②珪酸については、馬場¹⁾が出液中の珪酸量は根の活力診断の手がかりになると報告している。また、根の呼吸阻害剤による無機成分の呼吸阻害実験によると、水稻では珪酸の呼吸阻害順位はカリウム・リン酸に次いで高く、③カルシウムのそれは最も低いとの報告が多い^{2,4,6)}。また、津野ら^{10,11)}は水稻の葉身中の珪酸含有率とカルシウム含有率との間に負の相関関係を認めており、カルシウムが多いと珪化機動細胞の

* 大要は第 193 回講演会 (1992 年 4 月) において発表。本研究費の一部は文部省科学研究費による。

第1表 各区の施肥条件と処理内容 (品種: ヤマビコ).

処理区	元肥 (gm^{-2})			堆肥	追肥 (gm^{-2})		処理内容 (施用量は m^2 当たりで表示)
	N	P_2O_5	K_2O		N	K_2O	
対 照	4.0	6.0	4.7	0	4.0	2.5	7月11日硫安 9.5 g, 7月29日 NK 化成 (16-0-20) 12.5 g 追肥.
多 窒 素	6.0	6.0	4.7	0	4.0	2.5	元肥窒素 2 g 増.
未 熟 堆 肥	4.0	6.0	4.7	2000	4.0	2.5	堆肥 2 kg (乾重 720 g) を耕起時施用 (堆肥の N%: 1.86%).
緩 効 性 肥 料	4.0	6.0	2.6	0	4.0	2.5	被覆 NK 化成 100 日タイプ (20-0-13) 20 g, P_2O_5 は過石で施用.
ゼ オ ラ イ ト	4.0	6.0	4.7	0	4.0	2.5	ゼオライト (SiO_2 : 66%, CaO : 2%) 2 kg を耕起時施用.
堆肥ゼオライト	4.0	6.0	4.7	2000	4.0	2.5	ゼオライト 2 kg と堆肥 2 kg を耕起時施用.
生 ワ ラ	4.0	6.0	4.7	0	4.0	2.5	生ワラ 1 kg を細断して耕起時に施用.
多 追 肥	6.0	6.0	4.7	0	8.0	2.5	元肥窒素 2 g 増. 標準追肥+8月12日硫安 19 g 追肥.
75% 遮 光	4.0	6.0	4.7	2000	4.0	2.5	8月15日より9月27日まで塞冷紗で覆い, 75% 減光.
腐敗でんぷん	4.0	6.0	4.7	0	4.0	2.5	2% 腐敗でんぷん液を8月24日と27日に計 8 L 表面施用.
穂 切 除	4.0	6.0	4.7	0	4.0	2.5	8月31日に全ての穂首節で切除.

耕起日: 5月30日. 移植日: 6月5日, 20株 m^{-2} . 出穂日: 8月24日.

元肥は緩効性肥料区以外は高度化成肥料 (12-14-18) で施用. 追肥は多追肥区以外は対照区と同じ.

形成が抑制されると報告している.

そこで, 積極的吸収の代表成分として珪酸を, 受動的吸収を示す成分としてカルシウムを取り上げて, 葉身中でみられた珪酸とカルシウムの負の相関関係が, 出液中でも認められるかどうかを検討し, 出液中の珪酸: カルシウム比と根の呼吸速度との関係を明らかにしようとした.

材料と方法

面積が約 5 m^2 と 7 m^2 (いずれも深さ 30 cm) の鉄枠に耐水ベニア板を張り, 内側にビニールシートを敷きつめ, ここに水田表土をいれた箱型の試験圃場に, 水稻品種ヤマビコを 20 株 m^{-2} の密度で移植 (1 株 2 本植) した.

生育量や根の生理活性に差をつけるために第1表に示した 11 処理区を設けた. これらの処理区において, 幼穂形成期から登熟中期までに合計 5 回, 茎基部からの出液を採取した. まず, 1 個体の茎全部を午後 4 時に地際より 12 cm の部位で切断し, 太さの揃った 7 茎を選び, このうち 5 茎の切断面に約 0.37 g の脱脂綿を押しあて, 翌日の午前 9 時 (17 時間後) に脱脂綿を回収した. また, 2 茎については直径 55 mm のろ紙 (Advantec No. 6) 1 枚を同様に押しあてて出液を吸収させた. 取り付け後の重量増を出液

量とした. 出液を採取する日は田面水深を約 1 cm に調節した.

出液測定を終了した株は, 周囲の土壌とともに容量にして約 8 L (深さ約 20 cm) 掘りあげ, 根を土壌より洗い出して, 既報¹²⁾と同様の方法で, 根の呼吸速度を測定した. なお, 根の呼吸速度は出液測定時の地温に補正した.

脱脂綿で採取した出液は一括して搾汁したのち, アンモニア態窒素はインドフェノール法で, カルシウムは原子吸光法で定量した. また, 珪酸の分析試料は, ろ紙で吸収した出液を用いた. これは, 脱脂綿では出液採取中に珪素が酸化されて沈殿して, 脱脂綿に付着して搾汁してもそこに残存することが懸念されたからである. 試料ろ紙も一括してろつばに置いて電気炉にて 540°C で 5.5 時間焼いたのち, 5% NaOH 20~30 mL で珪酸を溶解させ, 100 mL に定容した. その一部をモリブデンブルー法で比色定量した. 測定した珪酸はシリカ (SiO_2) 濃度として表示した.

水稻体については, 乾物試料を乾式灰化後, 珪酸含有率を重量法で, カルシウム含有率を原子吸光法で求めた. また, 根の全糖含有率は, ソモギ・ネルソン法で定量した.

第2表 各処理区の収穫時の穂数、乾物重ならびに珪酸とカルシウムの吸収量。

処理区	穂数 (本 m ⁻²)	乾物重 (gm ⁻²)				珪 酸			カルシウム		
		茎葉	穂	地上部		含有率 (%)		吸収量 (gm ⁻²)	含有率 (%)		吸収量 (gm ⁻²)
						茎葉	穂		茎葉	穂	
対 照	276	852	581	1433		9.1	3.7	99.0	0.36	0.02	3.18
多 窒 素	310	874	589	1463		9.4	4.0	105.7	0.35	0.02	3.18
未 熟 堆 肥	306	896	615	1511		11.2	3.7	123.1	0.33	0.02	3.08
緩 効 性 肥 料	272	724	568	1292		9.7	3.8	91.8	0.42	0.02	3.15
ゼ オ ラ イ ト	318	942	714	1656		10.1	3.0	116.6	0.30	0.01	2.90
堆肥ゼオライト	388	1041	857	1898		12.0	3.6	155.7	0.31	0.02	3.40
生 ワ ラ	284	781	650	1431		13.0	3.0	121.1	0.33	0.01	2.64
多 追 肥	318	1076	621	1697		7.2	3.3	98.0	0.28	0.02	3.14
75% 遮 光	296	708	309	1017		9.9	4.4	83.9	0.31	0.03	2.29
腐敗でんぷん	256	868	494	1362		9.0	4.1	98.2	0.26	0.01	2.33
穂 切 除	296	1145	—	1145		9.3	—	106.5	0.22	—	2.52

結 果

1. 各処理区の生育量と珪酸およびカルシウム吸収量

各処理区の収穫時の乾物量および珪酸とカルシウムの吸収量を第2表に示した。最も生育量が大であったのは堆肥ゼオライト区の 1898 gm⁻² で、次いで多追肥区であり、最低は 75%遮光区の 1017 gm⁻² であった。

茎葉部の珪酸含有率をみると、生ワラ区が 13.0% と最も高く、ついで堆肥ゼオライト区、未熟堆肥区の順であり、稲ワラを母材とする堆肥を施した区とゼオライトを施した区の珪酸含有率が高かった。稲ワラは優れた珪酸供給資材であることを馬場¹⁾は指摘しており、著者ら¹⁷⁾も稲ワラを投入した区の土壤溶液中の珪酸濃度は市販の土壤改良材施用よりも高いことを認めている。また、多窒素追肥区の珪酸含有率が低い点も指摘できる。

一方、穂部の珪酸含有率は 3.0~4.4% の範囲で、この部位は籾殻中の珪酸が主体であり、処理間で大差がなかった。珪酸吸収量は、生育量が大であった堆肥ゼオライト区が最も多く、乾物量の多いものほど吸収量が大となる傾向がうかがえる。そこで、珪酸吸収量と乾物重との相関係数を算出すると 0.730* であった。一方、茎葉部の珪酸含有率と吸収量との間の相関係数は 0.673* であって、吸収量は茎葉部の珪酸含有率の高低の影響も受けていることがわかった。

カルシウムについては、茎葉部含有率で緩効性肥料区が高く、穂切除区が最も低く、他は 0.36~0.26% の範囲であった。穂部は全区 0.02% 前

後で一定しており、吸収量も 2.3~3.4 gm⁻² の範囲にあって、処理間では大差がなかった。

2. 出液中のアンモニア態窒素濃度

登熟期における各処理区の出液速度、根の呼吸速度ならびに出液中のアンモニア態窒素、珪酸およびカルシウム濃度を第3表に示した。数値は登熟期間に4回にわたって採取した平均値に標準偏差を付して示した。この表の各成分の濃度に出液速度を乗ざると1茎・1時間当たりの吸収量を求めることができる。出液量が多くなれば、各成分の濃度が低下することが懸念されるのであるが、アンモニア態窒素とカルシウムについて、出液量と濃度との間の相関係数を求めると、アンモニア態窒素:0.11, カルシウム:0.08 であって、この2成分については出液量と濃度との間には相関はなかった。

根の呼吸速度と養分吸収量との関係を問題とする場合は、呼吸速度と出液量とが正の相関にあること¹⁶⁾より、出液量とそれに含まれる成分濃度双方の検討が必要である。珪酸については出液量と珪酸濃度との間には正の相関関係 ($r=0.608^{**}$) が認められ、出液の多いものほど濃度も高いという結果であった。

出液中のアンモニア態窒素で特徴的なのは、遮光区であって、処理開始4週間後(穂揃後23日)で 11 ppm を示し、出液中のアンモニア態窒素量としては $0.63 \mu\text{g stem}^{-1}\text{h}^{-1}$ と際だって他の処理よりも高い値を示した。登熟期間平均で 8.3 ppm ($0.37 \mu\text{g stem}^{-1}\text{h}^{-1}$) であり、他の処理区中で最高の生ワラ区の 1.8 ppm と較べても著しく高い値であった(第3表)。このアンモニア態窒素濃度および含有量と根の呼吸速度との間には明確な関係は認められなかった。

第3表 登熟期の出液速度、根部呼吸速度ならびに出液中のアンモニア態窒素、珪酸およびカルシウム濃度 (平均値 \pm 標準偏差)。

処理区	出液速度 mg stem ⁻¹ h ⁻¹	呼吸速度** mgCO ₂ g ⁻¹ h ⁻¹	アンモニア態窒素 ppm	珪酸 ppm	カルシウム ppm
対 照	77 \pm 33 a	0.58 \pm 0.13 a	0.0 \pm 0.0 b	579 \pm 46 c	28.0 \pm 5.9 abcd
多 窒 素	60 \pm 17 a	0.38 \pm 0.05 a	0.6 \pm 1.1 b	488 \pm 83 bc	25.2 \pm 4.8 abc
未 熟 堆 肥	76 \pm 34 a	0.43 \pm 0.07 a	0.2 \pm 0.1 b	551 \pm 210 bc	25.5 \pm 0.6 abc
緩効性肥料	56 \pm 24 a	0.45 \pm 0.15 a	0.5 \pm 0.6 b	523 \pm 131 bc	33.2 \pm 9.8 cd
ゼオライト	84 \pm 44 a	0.49 \pm 0.14 a	0.9 \pm 0.8 b	530 \pm 91 bc	18.1 \pm 3.8 a
堆肥ゼオライト	71 \pm 18 a	0.49 \pm 0.10 a	1.1 \pm 1.2 b	504 \pm 23 bc	26.6 \pm 4.0 abcd
生 ワ ラ	88 \pm 22 a	0.48 \pm 0.14 a	1.8 \pm 1.4 b	520 \pm 31 bc	23.2 \pm 5.0 ab
多 追 肥	70 \pm 21 a	0.47 \pm 0.10 a	0.2 \pm 0.2 b	390 \pm 66 b	35.1 \pm 6.0 ae
75% 遮 光	45 \pm 11 a	0.38 \pm 0.02 a	8.3 \pm 4.5 a	198 \pm 96 a	24.7 \pm 2.7 abc
腐敗でんぷん	63 \pm 11 a	0.49 \pm 0.23 a	0.3 \pm 0.3 b	542 \pm 56 bc	32.6 \pm 4.5 bcde
穂 切 除	84 \pm 23 a	0.56 \pm 0.11 a	0.1 \pm 0.0 b	464 \pm 11 bc	40.0 \pm 5.7 e

*：穂揃後1～4週間に4回採取した平均値。

**：温度係数 (Q_{10}) = 2 を用いて出液採取時の平均地温で補正した値。

同一のアルファベットは処理間に5%水準で差のないことを示す。

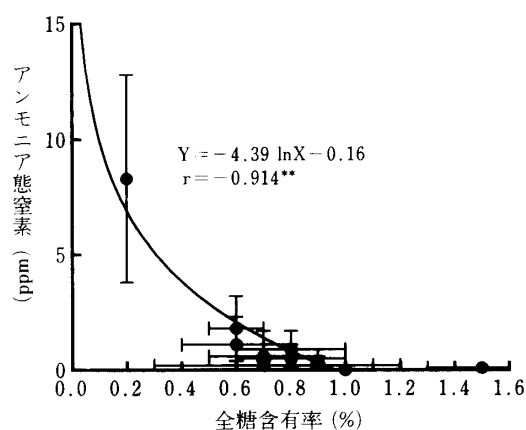
(濃度: $r=0.162^{NS}$, 量: $r=0.335^*$)。また、出液中のアンモニア態窒素濃度と根の窒素含有率との間にも有意な相関関係は認められなかった ($r=0.117^{NS}$)。

さらに、遮光区の根の全糖含有率をみると、登熟期平均で $0.2\pm0.1\%$ であり、他の処理区は 0.6% 以上であって、遮光区は極端に低い値であった。この点に着目して、根の全糖含有率と出液中のアンモニア態窒素濃度との関係を示したのが第1図である。この式の窒素濃度を出液中のアンモニア態窒素含有量におきかえても全く同じ傾向であり、 $Y=-0.202 \ln X+0.007$ $r=-0.915^{**}$ で示された。根の全糖含有率が低下すると出液中のアンモニア態窒素濃度および含有量が急激に高くなっていることがわかった。遮光処理によって、出液中のアンモニア態窒素濃度が高まることは、著者らの他の実験でも観察された (未発表)。

3. 出液中の珪酸およびカルシウム濃度と根の呼吸速度との関係

第3表で登熟期における出液中の珪酸濃度を詳細にみると、最も高い値は対照区が 579 ppm であり、遮光区では 198 ppm と極端に低い値であった。出液中の珪酸量では、最多が生ワラ区で $46 \mu\text{g stem}^{-1} \text{h}^{-1}$ 、ついで対照、ゼオライト区が $45 \mu\text{g}$ であったが、遮光区は $8.9 \mu\text{g}$ と量においても最少であった。また、収穫時の茎葉部珪酸含有率が最も低かった多追肥区 (第2表参照) は、出液中の珪酸濃度は 390 ppm、含有量は $27 \mu\text{g stem}^{-1} \text{h}^{-1}$ と低い値であった。

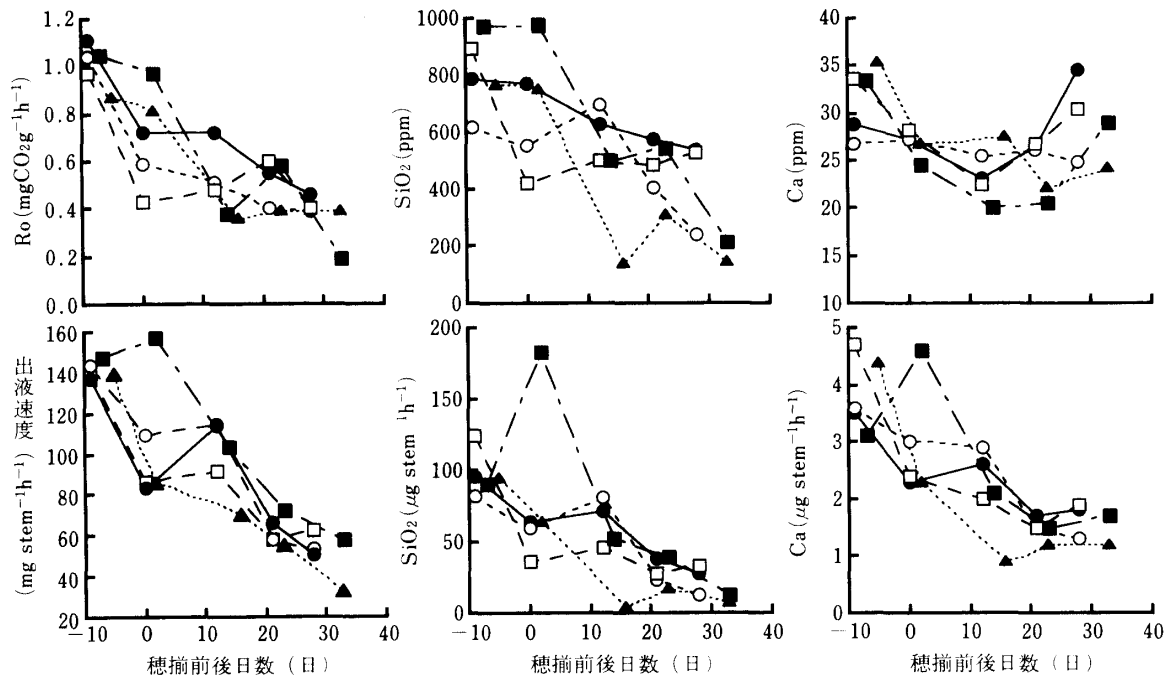
出液のカルシウム濃度を第3表でみると、珪酸資材としてゼオライトを施用した区が低い値 (18.1



第1図 登熟期の根の全糖含有率と出液中のアンモニア態窒素濃度との関係。
シンボルに付した棒線は標準偏差。

ppm) であるのに対し、穂切除区は高い値 (40.0 ppm) を示した。

第1表の処理区のうち、対照区の外に処理の影響の強く現れた4区 (未熟堆肥区、堆肥ゼオライト区、生ワラ区、遮光区) を選んで、根の呼吸速度、出液速度ならびに出液中の珪酸およびカルシウムの生育に伴う変化の詳細を第2図に示した。全般的な傾向として、1茎当たり出液速度は穂ばらみ期に高く、その後登熟の進行とともに漸次低下した。処理間では、穂揃期の生ワラ区が $155 \text{ mg stem}^{-1} \text{h}^{-1}$ と他の4区よりも高い値を示したが、他の時期では処理間に差は認められなかった。根の呼吸速度も出穂前より登熟後期にかけて低下するという出液速度と同様の傾向を示し、両者は密接な関係にあることを示唆して



第2図 根の呼吸速度 (Ro) と出液速度ならびに出液中の珪酸およびカルシウムの時期的変化。

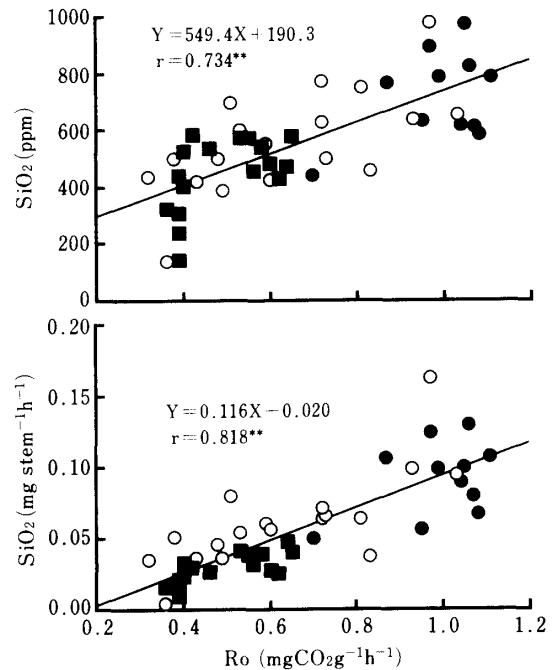
●: 対照, ○: 未熟堆肥, □: 堆肥ゼオライト, ■: 生ワラ, ▲: 75%遮光. 根の呼吸速度は出液測定時の地温に補正した。

いる。

珪酸濃度は、全般的に出穂1週間前から穂揃期にかけて高く推移し、その後は低下するという動きを示し、根の呼吸速度と概ね同様の変化を示した。出液中の珪酸含有量は生ワラ区の出穂期の値が著しく高いが、それ以外は時期の経過に伴う濃度変化と同様の傾向であった。

一方、出液中のカルシウム濃度は出穂前に高い値を示し、穂揃日から登熟中期にかけては一定濃度で推移する区が多く、なかには登熟後半にかけてやや上昇する区 (対照区、生ワラ区) もあった。カルシウムの濃度変化を概括的にみれば、時期による濃度差は少ないといえよう。なお、根の呼吸速度とカルシウム濃度との間の相関係数は $r=0.332^*$ と低い値であった。また、根の呼吸速度と1茎あたり出液中のカルシウム量との間の相関係数は $r=0.750^{**}$ であった。これは、時期の経過に伴って出液速度が低下するためである。

出液中の珪酸濃度と根の呼吸速度との関係を見ると (第3図上図)、根の呼吸速度が高い場合には、珪酸濃度も高くなるという正の相関関係 ($r=0.734^{**}$) が成立した。また、珪酸濃度に出力速度を乗じて茎当たり珪酸量としても同様の結果となり (同図下図)、呼吸速度の高い根を有する茎で地上部に送られる珪酸量が多くなるという相関関係 ($r=0.818^{**}$) が



第3図 根の呼吸速度 (Ro) と出液中珪酸濃度および珪酸量との関係。

●: 出穂前, ○: 穂揃日～穂揃後16日, ■: 穂揃後21日～同30日. 根の呼吸速度は出液測定時の地温に補正した。

指摘できた。この関係は、第3図のように時期で区分しても1本の回帰直線で示すことができ、かつ、それぞれの時期においても、正の相関関係のあるこ

とがわかる。このことより、珪酸の吸収と根の呼吸速度とは密接な関係にあることが確認できた。

なお、本実験で用いた根の呼吸速度の測定法は、根の洗い出しによる根端部の損傷は不可避であり、1次根先端を完全には採取できていないが、第3図の結果はこの呼吸測定法が根の活力診断において有効であることを示す結果と考えられる。

考 察

出液中のアンモニア態窒素は根で吸収されると直ちにアミノ酸に同化される¹⁹⁾が、折谷・葭田⁸⁾が水稻の出液中のアンモニア態窒素の生育に伴う変化を調査した結果、生育初期より幼穂形成期までは次第に増加し、幼穂形成期の $0.4 \text{ mgNplant}^{-1}\text{day}^{-1}$ を頂点として、穂揃期では $0.1 \text{ mgNplant}^{-1}\text{day}^{-1}$ 以下に低下したと報告している。また、彼らは多窒素条件で出液中のアンモニア態窒素は高まることを認め、穂積²⁰⁾も同様の結果を示している。土壤溶液中の窒素は大部分がアンモニア態であり、この濃度が高い場合には、出液中のアンモニア態窒素濃度が高まるのが予想できるが、著者らの調査では、土壤溶液中のアンモニア態窒素が高濃度であったのは幼穂形成期までであった¹⁵⁾。第3表で登熟期の多追肥区のアンモニア態窒素濃度をみると $0.2 \pm 0.2 \text{ ppm}$ と低く、窒素施肥量を反映していない。むしろ多窒素処理よりも75%遮光という地上部への処理が、出液中のアンモニア態窒素濃度に強く影響を及ぼしている。これは、第1図に示したように、遮光による根の全糖含有率の低下に原因があるようで、土壤環境よりも根の質的な内部要因の影響を強く受けると考えられる。

本実験では、根の呼吸速度が低下すると出液中のアンモニア態窒素が増加するのではないかと仮説のもとで出発したのであるが、両者には明確な関係は得られなかった。しかし、根の全糖含有率は根の窒素含有率とともに、根の呼吸速度に関与する要因である¹²⁾。本実験でも、両要因を説明変数とし、根の呼吸速度を目的変数として重回帰分析した結果、 $R=0.810^{**}$ の重相関係数が得られ、根中の全糖含有率も呼吸速度に関与する要因とみなせた。これと出液中のアンモニア態窒素に関していえば、次のごとく説明できよう。すなわち、根の全糖含有率が低下した根では、吸収されたアンモニアが根中のアミノ酸代謝に取り込まれる割合が低下して根中の多く含まれ、それがアミノ酸とともにアンモニア態窒素の

形で出液中に多く存在するものと推察できる。

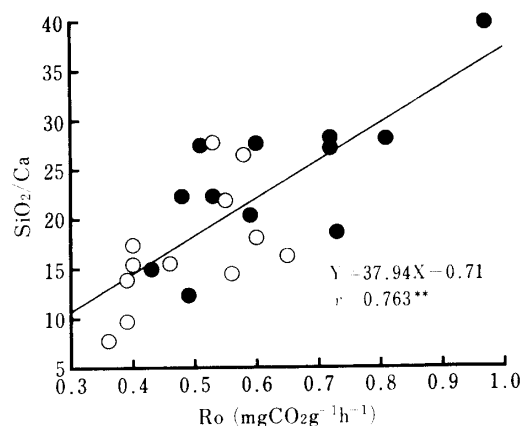
次に、出液中の珪酸と葉身の珪酸含有率との関係を検討する。茎の切断によって水のマスフローは正常なものより著しく減少する。Morrison⁵⁾によれば、出液中の無機成分は2~5倍に濃縮されているといわれているが、本実験のデータで試みに出液中珪酸濃度とその時の葉身珪酸含有率との間の相関を各時期ごとに求めてみると、いずれの時期も有意な相関は得られなかった。さらに、出液中珪酸量と葉身中の珪酸含有率との間にも同様に有意な相関はなかった。

奥田・高橋⁷⁾によれば、水稻の珪酸吸収は積極的吸収であり、48時間という短時間では蒸散の影響は受けないとの結果を得ているが、長期間では蒸散流による影響を無視できないとも指摘⁹⁾している。また、津野ら¹³⁾は、葉身の珪酸含有率は葉面が受光した日射量と指数関数で示され、蒸散量の多い葉に珪酸が多く集積することを報告している。実際栽培の水稻においても若齢の葉よりも老化した葉で珪酸含有率の高いこと¹³⁾、さらに晴天日の多い年には珪酸含有率の高いことなどが当方での他の実験結果より得られており、葉身の珪酸含有率は蒸散量を考慮しなければならないと考えられる。

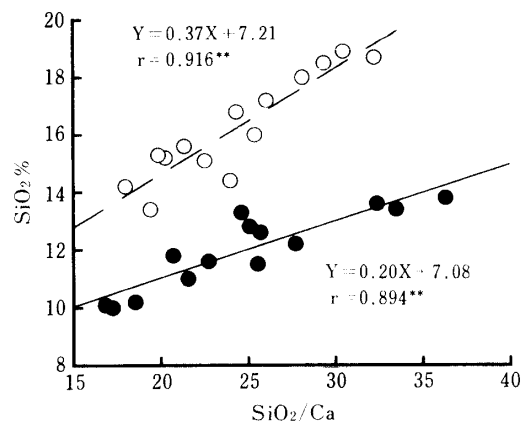
過去の実験結果よりみれば、1茎当たりの葉面積を 100 cm^2 とすれば、晴天時の蒸散速度は $2 \text{ gH}_2\text{O stem}^{-1}\text{h}^{-1}$ 程度と推定される。第3表の1茎当たり出液速度をみると最低 45 mg 、最大でも 88 mg であり、推定蒸散速度と比べて出液速度の割合は2~4%にしかすぎない。葉身中の珪酸含有率と出液中の珪酸濃度および珪酸量との間に相関関係がみつめられなかったのは、葉の齢および蒸散量を考慮しなかったためであると考えられる。

一方、カルシウムも蒸散流によって葉身に運ばれると考えられるが、津野ら^{10,11)}は葉身の珪酸含有率とカルシウム含有率の間で負の相関関係が認められることを報告している。この点に関して、出液中でも同様の関係が成立するかどうかを全データについて検討した。出液中の珪酸濃度とカルシウム濃度との間の負の相関関係は、穂揃期のみに認められ ($r=-0.713^*$)、他の時期(幼穂形成期、穂揃後7日~同30日)ではそれが認められなかった。

しかしながら、受動的吸収であるカルシウムと積極的吸収の珪酸との比を求め、それと根の呼吸速度との関係をみると第4図に示した関係があった。すなわち、根の呼吸速度が高い場合は、カルシウムに



第4図 登熟期の根の呼吸速度 (Ro) と出液中の珪酸:カルシウム比 (SiO_2/Ca) との関係。
●: 穂揃日～穂揃後14日, ○: 穂揃後15日～同30日。



第5図 登熟期における第13葉の珪酸:カルシウム比 (SiO_2/Ca) と珪酸含有率との関係 (品種: ヤマビコ)。

●: 9月3日, ○: 10月8日。

試験区は無肥料, 生ワラ, ワラ堆肥, 野草堆肥, 厩肥などを約 $1\sim 2\text{kgm}^{-2}$ 施用して, それぞれの区の半分に石灰 120gm^{-2} を加えた合計14区で, 各区より1点の資料を得た。

対する珪酸の比が高まり, 根の呼吸速度が低下するとその比が低下した。これは, 出液中カルシウムは出穂前から登熟後期までほぼ一定濃度である (第2図) のに対して, 珪酸は根の呼吸速度と正の相関を持つという第3図の關係に基づいている。もし, 出液中の珪酸:カルシウム比が蒸散流にも同様に保持されるならば, 葉身中に両成分が集積して, 珪酸:カルシウム比の高い葉では珪酸含有率が高まるはずである。

この点を確かめるために, 1987年に本試験と同じ大型箱水田で実施した試験成績を検討した (試験の内容は第5図脚注に示した)。個体の全葉身を対象にすると age の異なる葉が混入して明確な關係が乱されるので, 葉位を特定して葉身の珪酸:カルシウム比と葉身珪酸含有率との關係をみると明確な傾向があった。本試験との整合をはかるために, 十分な積算蒸散量を有する第13葉を選んで, その登熟期間における葉身の珪酸:カルシウム比と珪酸含有率との關係を調べて第5図に示した (この關係は上位各3葉いずれも同様であった)。みられるごとく, 出穂後3日 (●: 9月3日) でも, また出穂後38日 (○: 10月8日) においても1次回帰式で示される關係があり, 両者の間には高い相関關係が認められ, 相関係数も高い値が得られた。すでに第4図でみたとおり, 珪酸:カルシウム比は根の呼吸速度を反映しているので, 呼吸速度で代表される活力の強い根を持つ水稻では, 葉身中の珪酸含有率が高くなる可能性が大である。

問題は, 葉身珪酸含有率は土壌中の有効態珪酸が多いときに高まるのではないかという設問にどう答

えるかである。著者らの成績¹⁷⁾によれば, 生ワラ施用, 珪酸カルシウム施用などによって, 土壌溶液中の水溶性珪酸濃度に処理の差が顕著に現れるのは分けつ期であった。その後, 濃度低下とともに出穂期にかけて差は縮小し, 登熟期には低濃度となり, かつ区間差は認められなかったが, 珪酸全吸収量の20%程度は登熟期間に吸収され, 特に堆肥区は28%と大であるのに対し, 生ワラ区は3%と区間差は大であった。この事実からして, 第5図の珪酸:カルシウム比は根の活力の長期にわたる発現が反映した結果と考えられるのである。

引用文献

1. 馬場 起 1957. 水稻の窒素及び珪酸の栄養生理に関する研究. IV 溢泌液及び溢液中の珪酸について. 日作紀 25: 139-140.
2. ——— 1958. 水稻の胡麻葉枯病及び秋落の発生機構に関する栄養生理的研究. 農技研報 D7: 1-157.
3. 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.
4. 三井進午・熊沢喜久雄・石原達夫 1951. 作物の養分吸収に関する動的研究. 第1報 水稻根の養分吸収に対する硫化水素の影響に就いて. 土肥誌 22: 46-52.
5. Morrison, T.M. 1965. Xylem sap composition in woody plants. Nature 205: 1027.
6. 岡島秀夫・高城成一 1953. 水稻体に於ける硫化水素の行動. 第1報 硫化水素による養分吸収阻害について. 東北大農研集報 5: 149-163.
7. 奥田 東・高橋英一 1962. 作物に対するケイ酸の栄

- 養生理的役割について (第9報) 水稻のケイ酸吸収に対する代謝阻害剤の影響. 土肥誌 33: 453—455.
8. 折谷隆志・葭谷隆治 1970. 作物の窒素代謝に関する研究. 第7報 作物体の溢泌液 および各器官における可溶態窒素化合物について. 日作紀 39: 355—362.
9. 高橋英一 1987. 元素の吸収と生理作用. ケイ酸. 農業技術体系, 土壤肥料編2, 農文協, 東京. 76—81.
10. 津野幸人・東 健志 1984. 水稻における珪酸と石灰との拮抗作用に関する研究. 第2報 葉身部にみられる珪酸と石灰含有率の拮抗的現象. 日作紀. 53 (別2): 78—79.
11. ———・竺原宏人 1984. 水稻における珪酸と石灰との拮抗作用に関する研究. 第3報 珪酸および石灰がいもち病の圃場抵抗性に及ぼす影響. 日作紀 53 (別2): 80—81.
12. ———・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關与する要因の解析. 日作紀 56: 536—546.
13. ———・———・牧野 賢 1989. 水稻葉身の珪酸および石灰含有率と珪化機動細胞形成との数式的解析. 日作紀 58 (別2): 201—202.
14. ———・———・牛見哲也 1990. 登熟抑制処理の水稻にみられる粒重と玄米中のアンモニア濃度との関係. 日作紀 59: 481—493.
15. ———・———・中野淳一・河上英俊 1993. 水稻の再生紙マルチ栽培の理論的根拠ならびにその応用試験. 日作紀 62 (別1): 28—29.
16. 山口武視・津野幸人・中野淳一・真野玲子 1992. 水稻茎基部からの出液速度に關与する要因と出液中の無機成分と根の呼吸速度との関係. 日作紀 61 (別1): 252—253.
17. ———・藤本 寛・———・津野幸人 1994. 有機物施用が水田土壤溶液中および水稻体の珪酸濃度に及ぼす影響. 日作紀 63 (別2): 37—38.
18. ———・津野幸人・中野淳一・三木幸次 1995. 水稻の登熟前半の粒重に及ぼす葉身窒素濃度の影響ならびに根部呼吸速度と稈当たり葉面積との関係. 日作紀 64: 251—258.
19. Yoneyama, T. and K. Kumazawa 1974. A kinetic study of the assimilation of ^{15}N -labelled ammonium in rice seedling roots. *Plant Cell Physiol.* 15: 655—661.