

# 水ストレス下における暖地型飼料作物の根の吸水力と地上部への水移送能力の草種間差異

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	実岡, 寛文 尾形, 昭逸 藤田, 耕之輔
巻/号	59巻2号
掲載ページ	p. 164-171
発行年月	1988年4月

# 水ストレス下における暖地型飼料作物の根の吸水力 と地上部への水移送能力の草種間差異\*

実岡寛文\*\*・尾形昭逸\*\*・藤田耕之輔\*\*

キーワード 暖地型飼料作物, 耐旱性, 根の水透過率, 根圧, 根から地上部への水移送能力

## 1. はじめに

土壌水分の減少に伴い土壌から作物への水供給能が低下し、土壌と葉の水ポテンシャルの落差が大きくなり吸水と蒸散の平衡が維持しえなくなると作物は水分欠乏状態（水ストレス）に陥り、枯死しない場合でも乾物生産は著しく低下する。水ストレスの作物の体内代謝、養分吸収そして生長への影響についてのこれまでの報告から作物の耐旱性には大きな草種間差異が存在し、土壌水分が著しく欠乏した条件下でも乾物生産を高く維持できる耐旱性の強い草種では、水ストレス下でも養水分吸収力の低下程度が小さいことが認められた<sup>9,10</sup>。

作物の水の吸収と移動は、蒸散圧により生じる土壌と作物体との水ポテンシャルの差あるいは代謝エネルギーを消費し根の生理的活性を高め土壌より積極的に水を吸収し地上部に押し上げる根圧とにより発現すると考えられている<sup>1,2,11,14</sup>が、作物の吸水力および地上部への水移送能力は、主に根系の発達程度、根の生理的活力ないし根、茎における水透過率（通水抵抗）等により決定されるものと推察される。

以上のことを背景に本研究では、耐旱性の強い草種が水ストレス下でも根の吸水力を高く維持できる要因を解析するために耐旱性の強いローズグラスと弱いハトムギを土壌水分を調節した土耕ポットおよびポリエチレングリコール 6000 の添加量により培地の水ポテンシャルを変えた水耕条件下で栽培し、両草種の根重、根表面積、<sup>3</sup>H でラベルしたトリチウム水の根から地上部への移送量、出液量とそのなかの <sup>3</sup>H 放射線量、根の水透過率等に水ストレスがどのような影響を及ぼすかを検討した。

## 2. 実験方法

### 実験 1) 根圏から地上部へのトリチウム水の移行量と根の生育に及ぼす水ストレスの影響

塩ビ製土耕ポット（直径 11cm, 深さ 60cm）に鉱質酸性土壌を 7.5 kg を充填し、20 kg N/10a 相当量の硫酸アンモニウム、20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10a 相当量の過磷酸石灰と熔成磷肥各半量ずつ、15 kg K<sub>2</sub>O/10a 相当量の硫酸カリウムを施与し、土壌の pH は消石灰を用いて pH (KCl) 6.0 とした。28℃の恒温器に入れたシャーレ中であらかじめ発芽させたローズグラス (*Chloris gayana* Kunth, 品種 カタンボラ) を移植し、ハトムギ (*Coix lacryma-jobi* L. var. *mayuen* (Roman.) Stapf) は直接播種した。発芽定着後両草種とも間引いて各ポットあたり 3 個体とした。両草種の草丈が約 20cm 程度になったところで土壌水分の処理を行った。

土壌水分は、簡易水分計 (Salient Electronic 社製) により地表面から深さ 30cm の土壌水分の水ポテンシャルが -0.05 ~ -0.1 bar (pF 1.7 ~ 2.0, 以下本文中では給水区として表わす), -0.79 ~ -1.58 bar (pF 2.8 ~ 3.2, 水ストレス区) の 2 水準となるように灌水量を調節した。

水ストレス処理後 27 日から 29 日目のよく晴れた日中にトリチウム水の吸収実験を行った。塩ビ製土耕ポットの地表面から深さ 20cm と 40cm の 2 か所に直径 3mm のトリチウム水の注入口を設け、地表面からの水の蒸散を防ぐために約 5mm に細断した発泡スチロールを厚さ約 2cm に敷き詰め、さらにそのうえをパラフィルムで覆った。ついで茎基部から 6cm のところで地上部を切断し、茎基部の隙間から蒸散を防ぐために茎基部にプラスチック粘土を充填し、さらにパラフィルムで固定後、切断口にあらかじめ重量を測っておいたろ紙を充填したポリエチレン製ビニール袋を輪ゴムで固定した。2 か所の注入口にそれぞれトリチウム水を 2.5 ml (25 μCi: 5550 × 10<sup>4</sup> dpm) ずつ注射針で注入し、一定時間ごとにろ紙とビニール袋を交換し、液が蒸発しないようにただちに

\* 本報の一部は昭和 62 年度日本土壤肥料学会北海道大会で発表した。

\*\* 広島大学生物生産学部 (724 東広島市西条町大字下見) 昭和 62 年 8 月 19 日受理  
日本土壤肥料学雑誌 第 59 巻 第 2 号 p. 164~171 (1988)

第1表 水耕液組成

元素	濃度 (ppm)	試薬
Z	40	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>
P	1	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O
K	40	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , KCl
Mg	20	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O
Ca	30	CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O
Fe	5	FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O
B	0.5	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>
Mn	0.4	MnSO <sub>4</sub> ·4~6H <sub>2</sub> O
Mo	0.05	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> ·4H <sub>2</sub> O
Cu	0.02	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O
Zn	0.05	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O

ろ紙ごと入ったビニール袋の重量を測って、固定前の重量との差から溢泌液量（本報告では以下、出液量として表わした）を測定した。ただちにろ紙はバイアルに入れ、乳化シンチレーター（Aquasol II）を加えてよく攪拌し液体シンチレーションカウンター（日立堀場製）により <sup>3</sup>H の放射線量を測定した。さらにこの吸収実験と同様に水分処理した他のポットを用いて、吸収実験開始時に地上部、根部を採取し、根部は脱塩水で十分洗浄し付着水を取り除きルートスキャナー（Commonwealth Aircraft 社製）により根長を測定したのち、両部位とも 80℃ で熱風乾燥後乾物重を測定した。また根表面積は根長測定後、一部の根につき顕微鏡により根径を測定し、平均根径と根長とから算出した。

実験 2) 出液速度および根の水透過率に及ぼす水ストレスの影響

あらかじめシャーレ中で発芽させたローズグラスとハトムギの発芽種子を第1表に示した基本培養液（pH 5.2）で前培養し、両草種の草丈が約 10~15cm 程度に生育した幼植物を基本培養液の入った 66 l 水耕ポットに移植し、実験開始まで生育させた。培養液は1週間に1回交換し、常時通気した。1個体あたりの根の乾物重がローズグラスで 0.50~0.70 g、ハトムギで 0.40~0.70 g となった栄養成長期に実験を行った。第1表に示した培養液の培地水ポテンシャルをポリエチレングリコール 6000 の添加により -0.14, -0.84, -1.05, -1.55, -1.98, -2.75, および -6.5 bar に調節し、この培地液を 500 ml 容の三角フラスコに入れ、これに両草種を1個体ずつ移し、その後、莖基部から 3cm のところで地上部を切断し、実験1と同様の方法で出液を捕集し、捕集液の水ポテンシャルを測定した。また、実験に使用した根は、80℃ で熱風乾燥後乾物重を測定した。これらの一連の実験は室温が 27±2℃、相対湿度が 90% 以上の

暗黒の恒温室で行い、培地液には常時通気を行った。

培地水耕液および出液の水ポテンシャルはサーモカップルサイクロメーター（Wescor 社製）で測定した。また上記により求めた出液速度（Lv）、出液（Ψx）および水耕液（Ψo）の水ポテンシャルより両草種の根の水透過率（Lp）を以下の式により求めた<sup>5)</sup>。

$$Lv = Lp(\Psi_o - \Psi_x) \quad (1)$$

3. 結果および考察

実験 1) 根圏から地上部へのトリチウム水の移行量と根の生育に及ぼす水ストレスの影響

1) 地上部および根部乾物重、根長、根表面積

土壌水分が欠乏した場合にローズグラスでは下位葉の枯れ上がり、ハトムギでは未展開葉などの上位葉の葉先からの枯死現象が認められ生育は著しく抑制された。

水ストレスにより両草種の地上部乾物重は低下し、その低下程度はローズグラスで 57%、ハトムギでは 82% であった（第2表）。

作物の耐旱性を評価する方法としては、水ストレス下で葉の気孔を閉鎖、leaf rolling による蒸散葉面積の縮小、あるいは葉を離脱させること等により葉からの蒸散量を減少させる能力、さらには生育の停止ないし休眠に移行し、水ストレスが解除されると再び生育を開始する能力<sup>7)</sup> 等が考えられているが、飼料作物のように莖葉を収穫利用することを目的として栽培される作物では、旱魃に抵抗して生き残っているというだけでは意味がなく、あくまでも水ストレス下で光合成を維持し作物の収量を多くしなければならぬ。したがって、こうした作物生産という立場から耐旱性を評価する場合、水ストレス下での生育量の低下度合、すなわち最適水分条件下で

第2表 トリチウム水吸収実験時におけるローズグラスとハトムギの地上部乾物重、根部乾物重、根長および根表面積（水ストレス処理後 29 日目）

	ローズグラス		ハトムギ	
	給水区	水ストレス区	給水区	水ストレス区
地上部乾物重 (g/個体)	17.03	7.30 (43)*	20.58	3.70 (18)
根部乾物重 (g/個体)	4.15	1.56 (38)	3.66	0.98 (27)
根長 (m/個体)	720.8	301.2 (42)	441.3	148.0 (34)
根表面積 (cm <sup>2</sup> /個体)	306.7	101.7 (33)	381.9	76.8 (20)

\* ( ): 給水区を 100 としたときの相対値。

第 3 表 出液中の  $^3\text{H}$  放射線量の経時変化

(dpm)

草 種	処 理 区	$^3\text{H}_2\text{O}$ 注入後の時間 (時間)					
		0~0.5	0.5~1	1~2	2~4	4~6	6~24
ローズグラス	給 水 区	142±43	173±35	1672±98	8254±559	18311±1875	44852±2437
	水ストレス区	30±12	59±21	135±33	305±108	305±135	8596±1194
ハトムギ	給 水 区	113±33	174±26	1778±57	7237±425	19278±1568	48196±3292
	水ストレス区	0	0	12±10	27±11	161±52	1302±76

第 4 表  $^3\text{H}_2\text{O}$  出液速度と出液中の  $^3\text{H}$  比放射能の経時変化

草 種	水分処理区		$^3\text{H}_2\text{O}$ 注入後の時間 (時間)					
			0~0.5	0.5~1	1~2	2~4	4~6	6~24
ローズグラス	給 水 区	$^3\text{H}_2\text{O}$ 出液速度*	282±86	364±70	1672±98	4127±280	9156±938	2361±128
		$^3\text{H}$ 比放射能**	1683±538	1331±250	5766±338	19652±1333	38960±3990	34248±1856
	水ストレス区	$^3\text{H}_2\text{O}$ 出液速度*	60±24	118±42	135±33	153±54	153±68	452±63
		$^3\text{H}$ 比放射能**	1500±600	2450±875	4500±1100	7625±2700	5083±2266	19084±2660
ハトムギ	給 水 区	$^3\text{H}_2\text{O}$ 出液速度*	226±66	348±52	1778±57	3619±212	9639±784	2537±173
		$^3\text{H}$ 比放射能**	628±183	994±144	7112±456	12923±757	32130±2613	34925±2381
	水ストレス区	$^3\text{H}_2\text{O}$ 出液速度*	0	0	12±10	14±2	81±26	69±4
		$^3\text{H}$ 比放射能**	0	0	1200±1000	1350±400	4025±1300	8740±507

\* dpm/時間.

\*\* dpm/ml.

の生育量に対する水ストレス条件下での相対生育量の大小により評価する方法がより実地的であると考えられる。

以上の観点から、本実験で供試した 2 草種のうち相対生育量を指標とした耐旱性は、ローズグラスで強く、ハトムギで弱いものと考えられ、この結果は以前の報告<sup>9)</sup>と一致する。

両草種の根部乾物重、根長、根表面積は水ストレスにより著しく抑制され、その抑制程度はローズグラスでそれぞれ 62, 58, 67%, ハトムギではそれぞれ 73, 66, 80% であり、水ストレスによる根の生育の阻害程度はローズグラスに比べハトムギで大きかった。

以上の結果より耐旱性の強い草種ほど水ストレス下でも根系の発達が良好であることから、土壤水分が減少した場合に根の吸水圏をいかに拡大しうるかが耐旱性の強弱を決定する重要な支配要因の一つになるものと考えられる。

## 2) $^3\text{H}_2\text{O}$ 出液量, $^3\text{H}_2\text{O}$ 出液速度および出液中の $^3\text{H}$ の比放射能

第 3 表に両草種の  $^3\text{H}_2\text{O}$  出液量の経時変化を示した。

給水区では、両草種ともトリチウム水注入後時間の経過とともに  $^3\text{H}_2\text{O}$  出液量が増大した。しかし、 $^3\text{H}_2\text{O}$  注入後 2 時間までの水ストレス区では、それはローズグラ

スでわずかに認められたが、ハトムギではほとんど認められなかった。その後、ローズグラスでは出液量が徐々に増加し、 $^3\text{H}_2\text{O}$  注入 24 時間後には給水区の出液量に対して水ストレス区では 19% まで回復したのに対して、ハトムギのそれはわずか 0.3% であった。

両草種の  $^3\text{H}_2\text{O}$  出液速度と出液中の  $^3\text{H}$  比放射能の経時変化を第 4 表に示した。

$^3\text{H}_2\text{O}$  出液速度は、給水区では草種間差はほとんど認められなかった。水ストレス区のローズグラスの出液速度は  $^3\text{H}_2\text{O}$  注入後から徐々に増加したが、ハトムギでは  $^3\text{H}_2\text{O}$  注入後 0~2 時間には出液は認められず、1~2 時間にわずかに認められ、2 時間以降は徐々に増加したがその値はローズグラスに比べ著しく小さかった。

給水区の両草種の  $^3\text{H}$  比放射能は、 $^3\text{H}_2\text{O}$  注入後 0~1 時間では 628~1683 dpm/ml であり、この値はローズグラスでやや高かった。その後時間の経過とともに両草種の比放射能は増加したが、両草種間で大きな差は認められなかった。水ストレス区におけるローズグラス<sup>10)</sup>の  $^3\text{H}$  比放射能は時間の経過とともに増加する傾向にあったが、吸水区に対する水ストレス区の  $^3\text{H}_2\text{O}$  比放射能は 0~2 時間では 78~184%, 2 時間以降は 13~55% とかなり低下した。一方、ハトムギの水ストレス区では、0~1 時間の間は出液が認められなかったために  $^3\text{H}$  放射

第5表 茎基部切断後24時間におけるローズグラスとハトムギの出液量、出液中の<sup>3</sup>H全放射線量および出液の平均<sup>3</sup>H比放射能

		出液量 (ml/個体)	<sup>3</sup> H全放射 線量 (dpm/個体)	出液の <sup>3</sup> H 比放射能 (dpm/ml)
ローズグ ラス	給水区	2.93	71929	24500
	水ストレス区	0.62	9114	14700
ハトムギ	給水区	3.22	75233	23400
	水ストレス区	0.22	1472	6690

能は検出できなかったが、<sup>3</sup>H<sub>2</sub>O注入後1時間目以降に出液が生じ<sup>3</sup>H<sub>2</sub>O比放射能が検出できたが、その比放射能は、給水区の10~25%であった。

この<sup>3</sup>H比放射能の経時変動は、作物根の<sup>3</sup>H<sub>2</sub>Oの吸収速度あるいは根で吸収された水がある組織に移送され、そこですでに組織中に取り込まれていた水と交換する水交換速度を表わすものと考えられる。

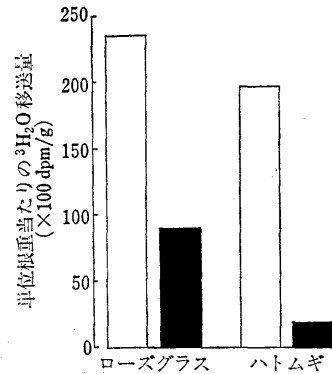
両草種とも給水区では<sup>3</sup>H<sub>2</sub>Oを注入してから1時間以降に急激に出液中の<sup>3</sup>H放射能が増加することから、土壌水分が十分に存在する場合は、根より吸収された水は、根組織にすでにあった水との交換が少なく、根より直接地上部に移送されるものと考えられる。それに対し、水ストレス区では<sup>3</sup>H比放射能の増加程度が小さいことから、根で吸収された水分は、いったん根組織細胞に受け止められ、そこで既存の水と交換されたのち、複雑な経路を経て地上部に移送されるものと推察され、この点については、さらに検討を進める必要がある。

第5表に、<sup>3</sup>H<sub>2</sub>O注入後24時間に補集した出液量と<sup>3</sup>H<sub>2</sub>O全放射線量および<sup>3</sup>H比放射能を示した。

<sup>3</sup>H<sub>2</sub>Oを注入して24時間の間に捕集した給水区の出液量はローズグラスに比べハトムギでやや多かったが、水ストレスによりそれは著しく低下した。水ストレスによる出液量の減少割合は、ローズグラスで79%、ハトムギで93%であり、耐旱性の弱いハトムギでは出液はわずかにしか認められなかった。出液中の<sup>3</sup>H全放射線量は、給水区においては両草種間で差異はほとんど認められなかったが、水ストレスによりそれは著しく低下し、その低下程度はローズグラスで87%、ハトムギで98%であった。また、<sup>3</sup>Hの比放射能も水ストレスにより低下し、その低下程度はローズグラスで40%と小さく、ハトムギで71%と大きかった。

一方、単位根重あたりの<sup>3</sup>H<sub>2</sub>O移送量は水ストレスにより低下し、その低下程度はローズグラスで42%、ハトムギで82%であった(第1図)。

以上の結果より、出液量とその<sup>3</sup>H放射線量は、両草


 第1図 <sup>3</sup>H<sub>2</sub>Oの地上部への移送量に及ぼす水ストレスの影響

□, 給水区; ■, 水ストレス区。

種とも水ストレスにより低下したが、耐旱性の強いローズグラスは、弱いハトムギに比べそれらの低下程度が小さいことから、耐旱性の強い草種は、水ストレス下でも根の吸水能力をして地上部への水の移送能力をより高く維持できるものと結論できる。

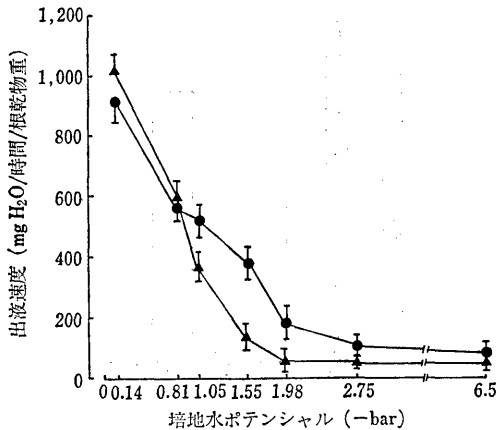
耐旱性の弱いハトムギに比較して強いローズグラスでは土壌水分が減少した場合でも気孔がよく開き、そのため葉の気孔伝導度が高く維持され高い光合成能を示すこと<sup>10)</sup>、さらにローズグラスでは下位葉の枯れ上がりが認められたのに対し、ハトムギでは水ストレス下で上位葉、とくに未展開葉の枯死が著しかった。これらの結果は、ローズグラスでは水ストレス下でも根の吸水の阻害程度が小さく、地上部とくに葉への水供給能がより高く維持されたために生じたものと考えられ、この点については、地上部へ移送された水分が葉茎等に分配される場合に、これらの器官間あるいは葉葉間で水に対して競合関係が生じているものと考えられ、この現象の解明にあたっては<sup>3</sup>H<sub>2</sub>Oの使用がより有効であると考えられる。

## 実験2) 出液速度および根の水透過率に及ぼす水ストレスの影響

### 1) 出液速度と根圧

水耕液の水ポテンシャル( $\Psi_0$ )の低下に伴う出液速度( $L_v$ )の変動を第2図に示した。

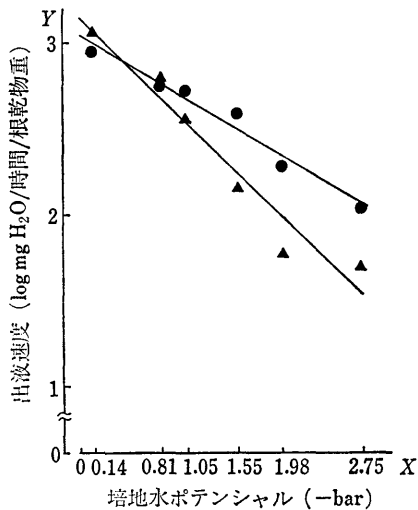
$\Psi_0$ が-0.14 barと高い場合のローズグラスの $L_v$ は901 mg H<sub>2</sub>O/時間/g、ハトムギでは1172 mg H<sub>2</sub>O/時間/gであった。 $\Psi_0$ を低下させ水ストレスを生じさせた場合、2草種の $L_v$ は低下し、その低下程度に大きな草種間差異が認められた。ローズグラスではその低下程度は緩やかであった。ハトムギでは、 $\Psi_0$ が-0.81 barのときはローズグラスより高い $L_v$ が認められたが、水スト



第2図 培地水ポテンシャルの低下にもなう出液速度の変動

2草種とも4~5回測定し、その平均値で示した。

●, ローズグラス; ▲, ハトムギ。



第3図 培地水ポテンシャルと log 出液速度との関係

●, ローズグラス,  $Y = -0.363X + 3.05$ ; ▲, ハトムギ,  $Y = -0.588X + 3.14$ .

Y, 出液速度 (log mg H₂O/時間/根乾物重); X, 培地水ポテンシャル (-bar).

レスによる  $L_v$  の低下程度は、ローズグラスに比べ大きく、 $-1.55$  bar のそれは  $142 \text{ mg H}_2\text{O}/\text{時間}/\text{g}$ 、 $-2.75$  bar では  $50 \text{ mg H}_2\text{O}/\text{時間}/\text{g}$  で出液はわずかししか認められなかった。

第3図に  $\Psi_0$  と  $L_v$  を対数値で表わした log 出液速度との関係を示した。

この log 値 (Y) と  $\Psi_0$  (X) との関係は、次の (2) 式で示されたように直線の負の回帰式になった。

$$\text{ローズグラス: } Y = -0.363X + 3.05$$

$$\text{ハトムギ: } Y = -0.588X + 3.14 \quad (2)$$

この回帰式の傾きは  $L_v$  の低下程度を示し、それはローズグラスで小さく、ハトムギで大きかった。したがって、耐旱性の弱い草種ほど水の供給が制限されると根から地上部への水移送量が低下しやすいものと考えられる。

地上部を切除した切株から出てくる出液現象は、植物が根で吸収した水を木部導管を通して地上部へ押し上げる力、すなわち根圧により発生する。この根圧は、根がその代謝エネルギーを消費して外液の溶質を根の木部導管へ輸送し、そのため根の導管内の浸透ポテンシャルが低下し、根と培地との間に水ポテンシャルの落差が生じて水が能動的に木部導管に入ってくる根の働きに起因すると現在考えられている<sup>1,2,11,13,14</sup>。

したがって、出液が止まるときの  $\Psi_0$  を測定することにより作物の根圧が推定できる。 $\Psi_0$  を  $-0.14$  bar から徐々に下げていき出液速度が一定となる  $\Psi_0$  を測定したところ、その値はローズグラスで  $-2.75$  bar、ハトムギで  $-1.98$  bar で、耐旱性の弱い草種では出液が認められなくなる  $\Psi_0$  は、耐旱性に強い草種に比べて比較的高いところにあった。両草種の出液が認められなくなったところの  $\Psi_0$ 、すなわち  $-1.98$  および  $-2.75$  bar より低いところでの捕集袋の増加は出液現象によるものでなく、地上部切断口からの蒸発によるものと考えられる。したがって、本実験で用いた水耕液のうち水ポテンシャルが最も低い  $-6.5$  bar での捕集袋の増加量を (2) 式に代入して、出液現象が認められなくなる  $\Psi_0$  を算出し、両草種の根圧を推定した。その結果、両草種の根圧は、ローズグラスで  $3.11$  bar、ハトムギでおよそ  $2.35$  bar であった。

## 2) 根の水透過率

ローズグラスの  $\Psi_x - \Psi_0$  の差 ( $\Delta\Psi$ ) は、 $\Psi_0$  が低下するに伴い  $-1.71$  から  $-0.90$  bar とその差は小さくなった (第6表)。また、ハトムギの  $\Delta\Psi$  は、 $\Psi_0$  が  $-0.81$  bar のとき  $-0.69$  bar であったが、他の  $\Psi_0$  下では  $-1.01$  から  $-1.24$  bar と大きな差はなかった。これらの結果とローズグラスの  $L_v$  が水ストレス下でも高く維持されること、さらにハトムギの出液量と  $L_v$  が水ストレスにより著しく低下することから推察すると、水ストレス条件下での水の吸収と移動は、浸透圧による水の運動だけでは説明できず、むしろ根の水透過率や根の生理的活性等の非浸透圧的要因の関与により水移送量が規制されるものと考えられ、DALTON ら<sup>5)</sup> が示した理論式 (式 (1)) に基づき両草種の根の水透過率 ( $L_p$ ) を求め

第6表 ローゼグラスとハトムギの水耕液の水ポテンシャル ( $\Psi_o$ ) の低下に伴う出液の水ポテンシャル ( $\Psi_x$ ) および水透過率の変動

草種	$\Psi_o$ (-bar)	$\Psi_x^*$ (-bar)	$\Psi_x - \Psi_o$ (-bar)	水透過率* (mg H <sub>2</sub> O/ 時間/g/bar)
ローゼグラス	0.14	1.85	1.71	520
	0.81	1.82	1.01	558
	1.05	1.99	0.94	552
	1.55	2.45	0.90	431
	1.98	3.19	1.21	123
ハトムギ	0.14	1.31	1.17	1000
	0.81	1.50	0.69	871
	1.05	2.29	1.24	300
	1.55	2.56	1.01	141
	1.98	ND	ND	ND

\* 2草種とも各水耕条件下で4~5反復測定し、その平均値で示した。

ND: 出液がわずかであったため測定できなかった。

た。

ローゼグラスの  $Lp$  は、 $\Psi_o$  が  $-0.14$  から  $-1.05$  bar の間では  $520 \sim 558$  mg H<sub>2</sub>O/時間/g/bar と大きな変動は認められなかったが、 $-1.55$  bar では  $431$  mg H<sub>2</sub>O/時間/g/bar でわずかに低下した。それに対して、ハトムギの  $Lp$  は  $-0.14$  bar では  $1000$  mg H<sub>2</sub>O/時間/g/bar とローゼグラスに比べ2倍近く高かったが、 $\Psi_o$  が低下するに伴い  $Lp$  は著しく低下し、 $-1.05$  bar の  $Lp$  は  $300$  mg H<sub>2</sub>O/時間/g/bar、 $-1.55$  bar では  $156$  mg H<sub>2</sub>O/時間/g/bar であり、このときの  $Lp$  は  $-0.14$  bar に比べ86%も低下した。

以上の結果から、耐旱性の強い草種では水ストレス下でも  $Lp$  が低下しにくく、弱い草種では  $Lp$  が低下しやすいことが明らかとなった。

実験2では両草種とも根系の発達程度がほぼ同一の植物体を用いて水ストレス処理を行い、 $L_v$  および  $Lp$  を測定したが、根の発達が同一にもかかわらず水ストレスにより  $L_v$  および  $Lp$  は著しく低下し、それはとくに耐旱性の弱い草種で大きかった。したがって、根から地上部への水移送量が水ストレスにより低下し、出液量が著しく減少した要因として、水ストレスにより根の発達が阻害されることよりもむしろ  $Lp$  の低下が大きく関与していると考えられる。

以上のことから、水ストレスによる作物の生育阻害機構を根の吸水と地上部への水の移送能から考察すると、作物体に水ストレスが生じた場合に根の水透過率がまず最初に変動する。続いて、それに伴い根から地上部への水の移送が抑制され葉の水ポテンシャルが低下する。そ

して、それにより気孔の閉鎖が生じ、葉の光合成速度が減少し乾物生産が阻害される。したがって、耐旱性の強い草種は、水ストレスでも根の水透過率が低下しにくい、そのために根から地上部への水の移送が阻害されず、葉に水が効率よく分配されているものと推察された。

一方、水ストレスにより  $Lp$  が減少（根の通水抵抗が増加）することはヒマワリ<sup>3,12)</sup>、トマト<sup>4)</sup>、テードマツ<sup>4,6)</sup>、ワタ<sup>8)</sup>、ダイズ<sup>3)</sup>、ラフレモン<sup>12)</sup>などで認められているが、ローゼグラスやハトムギなどのイネ科飼料作物、あるいは本実験のように耐旱性の異なる草種での  $Lp$  の変異については報告されていない。以上のように、 $Lp$  は水ストレスにより低下するが、それが低下する直接的な機構に関しては、根の細胞膜の機能や水の移動経路に關与する根細胞の微細構造が水ストレスにより変化すること等が考えられるが、本実験からは明らかにできず、今後さらに解析する必要がある。

得られた結果より、暖地型飼料作物の水ストレス耐性機構を考察すると次のように述べることができる。

すなわち、①ローゼグラスなどの耐旱性の強い草種では、水の供給が制限される水分欠乏下でも根圧が高く、根の水透過率が低下しにくい。したがって、蒸散が盛んとなり葉の水ポテンシャルが低下した場合でも、その蒸発に見合うだけの吸水が行われ、効率よく葉へ水が移送される。その結果、水ストレス下でも気孔がよく開き、それに応じて光合成能が高く維持される。②さらに、水ストレス下でも光合成産物が地上部から根部へ効率よく移行し、そのために根の生育が阻害されず根の集水能力が高く維持できるものと考えられた。

#### 4. 要 約

水ストレス下における暖地型飼料作物根の水分吸収力と地上部への水移送能の草種間差異とその支配要因を解析するために、耐旱性の強いローゼグラスと弱いハトムギを水ストレス条件下で栽培し、両草種の根圏から地上部へのトリチウム水の移送量、出液量とそれの水ポテンシャル、根の水透過率および根圧を測定し下記の結果を得た。

1) 根重、根長および根表面積は両草種とも水ストレスにより低下し、その低下はローゼグラスで小、ハトムギで大きく、耐旱性の小さい草種で根の発達が水ストレスにより著しく阻害された。

2) 出液量およびトリチウム水の移送量は両草種とも水ストレスにより低下し、この低下はローゼグラスで小さくハトムギで大きかった。また、出液中の <sup>3</sup>H の比放

射能は給水区では草種間差はほとんど認められなかったが、水ストレス区では両草種で著しく低下し、その低下程度はハトムギで大であった。

3) 出液速度は水耕液の水ポテンシャルの低下に伴い両草種とも低下し、この低下はローズグラスで小さく、ハトムギで大きかった。また、水耕液の水ポテンシャルが  $-1.55$  bar の場合、2 草種の根の水透過率はローズグラスで 431, ハトムギで  $141 \text{ mg H}_2\text{O}/\text{時間/g/bar}$  であり、ローズグラスではハトムギに比べ水ストレス下でも高い根の水透過率が認められた。出液が認められなくなる水耕液の水ポテンシャルから推定した両草種の根圧はローズグラスで 3.11 bar, ハトムギでは 2.35 bar であった。

以上の結果より、耐旱性の強い草種では根圧が高く、水の供給が制限される水分欠乏下でも根の生理的活性が高く維持され、根の水透過率が低下しにくい。その結果、根が吸収した水を地上部に効率よく移送し、蒸散によって失った水分を葉に補う能力が高いものと判断された。

**謝 辞** 本報告のとりまとめにあたり、有益なご教示と校閲をいただいた九州大学農学部縣和一教授に深謝いたします。

#### 文 献

- 1) BARRS, H.D.: Root Pressure and Leaf Water Potential. *Science*, **152**, 1266~1268 (1966)
- 2) BEGG, J.E. and TURNER, N.C.: Crop Water Deficits. *Adv. Agron.*, **28**, 161~217 (1976)
- 3) BOYER, J.S.: Resistance to Water Transport in Soybean, Bean, and Sunflower. *Crop Sci.*, **11**, 403~407 (1971)
- 4) BRIX, H.: The Effect of Water Stress on the Rate of Photosynthesis and Respiration in Tomato Plants and Loblolly Pine Seedlings. *Physiol. Plant.*, **15**, 10~20 (1962)
- 5) DALTON, F.N., RAATS, P.A.C. and GARDNER, W.R.: Simultaneous Uptake of Water and Solutes by Plants. *Agron. J.*, **67**, 334~339 (1975)
- 6) KRAMER, P. J.: Effect of Wilting on the Subsequent Intake of Water by Plants. *Am. J. Bot.*, **37**, 280~284 (1950)
- 7) LEVITT, J.: Responses of Plants to Environmental Stress, p. 425~446, Academic Press, New York (1972)
- 8) OOSTERHUIS, D.M. and WIEBE, H.H.: Water Stress Relationships. *Plant Soil*, **95**, 69~76 (1986)
- 9) 尾形昭逸・実岡寛文・松本勝士: 暖地型飼料作物の水ストレス耐性機構の解析 II, 異なった土壤水分条件下で栽培した暖地型飼料作物の生育と養水分吸収の草種間差, 日草誌, **31**, 43~51 (1985)
- 10) 尾形昭逸・実岡寛文・藤田耕之輔・松本勝士: 暖地型飼料作物の水ストレス耐性機構の解析 III, 光合成能と  $^{14}\text{C}$  同化産物の移動について, 同上, **31**, 159~166 (1985)
- 11) 佐伯敏郎: 植物生理学講座 5, 古谷雅樹・宮地重遠・玖村敦彦編, p. 112~140, 朝倉書店, 東京 (1972)
- 12) RAMOS, C. and KAUFMANN, M.R.: Hydraulic Resistance of Lemon Roots. *Physiol. Plant.*, **45**, 311~314 (1979)
- 13) TAERUM, R.: Occurrence of Inverted Water Potential Gradients between Soil and Bean Roots. *ibid.*, **28**, 471~475 (1973)
- 14) WEATHERLEY, P.E.: Water Uptake and Flow in Roots; in Physiological Plant Ecology II, ed. O.L. LANGE et al., p. 79~109, Springer-Verlag, Berlin (1982)

### Comparative Studies on Water Stress Tolerance of Warm Season Forages Relative to Root Hydraulic Conductivity, Root Pressure, and Exudation Rate from Root System

Hirohumi SANEOKA, Shoitsu OGATA and Kounosuke FUJITA  
(*Fac. Appl. Biol. Sci., Hiroshima Univ.*)

A series of experiments were conducted to study the relationships of the water stress tolerance in warm season forages to their root hydraulic conductivities, root pressures, and exudation rates.

*Chloris gayana* and *Coix lacryma-jobi* were used as test plants of which the former species was classified as one of the most tolerable and the latter, the weakest, to the water stress.

Both plants were grown with pot culture adjusted to pF 1.7-2.0 and pF 2.8-3.2 of soil moisture. And then tritium ( $^3\text{H}$ ) labelled water was injected to their rhizospheres and exudations from the cut surfaces of stem base were collected to determine radioactivity of  $^3\text{H}$ .

The dry weight of shoots and roots in both plants reduced under the water stress condition, particularly in *C. lacryma-jobi*.

The total root length and surface area of roots in *C. gayana* were 1.5-2.0 times as large as those in *C. lacryma-jobi* under the water stress condition.

$^3\text{H}$  contents in the exudation of both plants watered well were higher than those obtained in the water stressed.



In the exudation of *C. gayana*,  $^3\text{H}$  was obviously detected about 2 h after injection of  $^3\text{H}_2\text{O}$  and increased with time under the water stress condition, while  $^3\text{H}$  in exudation of *C. lacryma-jobi* delayed markedly and was about one-sixth that of *C. gayana*.

The decrease of  $^3\text{H}$  in exudation found under the water stress was due to decrease of the exudation rates and of  $^3\text{H}$ -specific activities in xylem sap. Thus, *C. gayana* can transport water more effectively, compared with *C. lacryma-jobi*, from root to shoot under the water stress condition.

The hydraulic conductivities of the tested plants were appreciably lowered by the water stress and estimated as 431 mg  $\text{H}_2\text{O}/\text{g}$  root/h/bar for *C. gayana* and one third of *C. gayana* for *C. lacryma-jobi* under the water stress of  $-1.55$  bar of the cultural solution in which the water potential was adjusted by additions of polyethylene glycol 6000. The root pressures of *C. gayana* and *C. lacryma-jobi* were estimated by using the cultural solution of various water potentials as 3.11 and 2.35 bar, respectively.

From these results it is assumed that the tolerance of plants to the water stress is dependent on the root hydraulic conductivity and the root pressure which are main factors in the transfer of water from roots to shoots under the water stress condition as well as root developing abilities.

*Key words* exudation rate, root hydraulic conductivity, root pressure, water stress, drought tolerance

(Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., 59, 164~171, 1988)