

ネピアグラス (*Pennisetum purpureum* Schumach.) とトウモロコシ (*Zea mays* L.), における地上部の水の通導抵抗の種間比較.

長菅輝義¹⁾・窪田文武²⁾

(¹⁾ 農業生物資源研究所, ²⁾ 九州大学大学院農学研究院)

要旨: 超多収性作物であるネピアグラスの地上部, 特に茎部の水輸送特性を明確にするため, 高圧流量計を用いてネピアグラスの地上部各部位の水の通導抵抗を測定した. 結果を以下に述べる. 1) ネピアグラスの地上部, 葉身部および茎節部の水の通導抵抗 (R_{shoot} , R_{leaf} および R_{stem}) は, すべてトウモロコシに比較して有意に高かった. 特に, R_{stem} の種間差は大きく, トウモロコシの約4倍だった. 2) ネピアグラスの茎の断面積 (SA) はトウモロコシよりも小さく, R_{stem} を SA で正規化した R_{stem}^S では R_{stem} の場合と比較して両種の差が大きく低下した. しかし, R_{stem}^S は依然としてネピアグラスの方が有意に高く, ネピアグラスの高い R_{stem} は SA と R_{stem}^S の相乗効果によるものと考えられた. 3) 茎部の水の通導抵抗を, 節の葉鞘方向の水の通導抵抗 (r_r), 節の茎頂方向の水の通導抵抗 (r_a) および節間の水の通導抵抗 (r_{in}) の3つに分割した. ネピアグラスの r_r および r_a は共に高く, 特に r_r で顕著な種間差が確認された. これらのことよりネピアグラスの R_{stem}^S の高さには節部の水の通導性が関与しており, 茎の細さと節部の高い水の通導抵抗の相互作用によって本植物1茎全体の水の通導抵抗が増加したものと考えられた.

キーワード: 茎1単位, 高圧流量計, 水の通導抵抗, トウモロコシ, ネピアグラス, 節, 分別評価, 葉鞘.

熱帯アフリカ原産のネピアグラス (*Pennisetum purpureum* Schumach.) は, 草本植物の中でも最高の物質生産能力を有する植物として知られており, その収量は最高で 93.4 t ha^{-1} にも達する (Watkins 1951). これまでの研究で, 本植物は広大な葉面積と優れた群落受光態勢を有することが確認されており, 葉面積指数は最高で $15 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ に達するが吸光係数は0.3と低く, 広大な葉面積に効率良く光が照射されることにより個体光合成が旺盛となり, これが多収性の実現に繋がるものと考えられている (伊藤・稲永 1988, 松田ら 1991, Kubota ら). また, 本植物の地上部は根系に比較して量的に非常に大きく, 1年生草本植物の地上部/根量比 (T/R 比) が4–7であるのに対し, 著者の調査では圃場条件下で生育させたネピアグラスの T/R 比は9.8と高かった. 地上部は主たる光合成器官であり, T/R 比の高さは植物個体における光合成器官の量的割合が大きいことを意味しており, 光合成生産の面からみると優れた乾物分配構成であると判断される. 一方, 水輸送の面からみると, 高 T/R 比は吸水器官である根が量的に少ないことを意味するが, 個葉のガス交換速度や葉の水ポテンシャルは正午以降も高く維持されており (Nagasuga ら 2002), また, 乾燥条件に対しても高い耐性を示す (伊藤 1994). このことから, 本植物は少ない根系の下でも水収支を安定させるような水輸送機能を有し, それが収量性の維持にも貢献するものと予測されている (松田ら 1991, 名田ら 1994). 著者らは, 本植物の水輸送特性を明らかにするため, まず始めに本植物体の水輸送状況を *in situ* の状態で簡便かつ迅速に診断する手法 (植物体切断法) を確立し, 応用した (長菅ら 1998, Nagasuga ら 2002). その結果, 本植物では地上部, 特に葉身の着生する茎節部が個葉への水移動を強く制

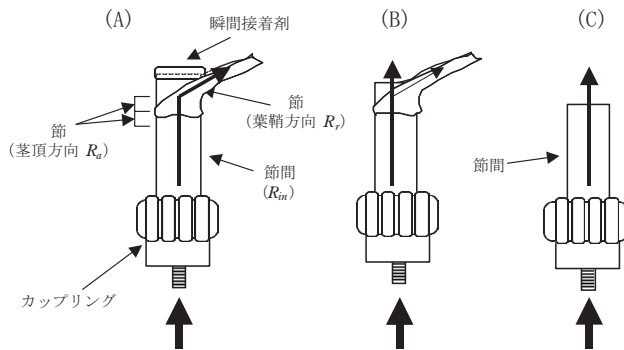
御するような高い水の通導抵抗を示すことを示唆した. また, 茎節部の水の通導特性を明確にするため, Tyree ら (1995) が考案した HPFM を基礎に作製した水の通導抵抗の測定装置を利用して茎節部の水の通導抵抗を各部位個別に評価するための手法を確立した (Nagasuga ら 2000).

本論文では, 上記の評価方法によってネピアグラスの水輸送上の特徴の一つと考えられる地上部, 特に茎部の水の通導特性を明確にするため, ネピアグラスおよび同じ多収性 C_4 作物であるトウモロコシの茎節部各部位の水の通導抵抗値を測定し, 比較した.

材料と方法

1. 供試材料および栽培条件

2000年6月7日に畦間150 cm, 株間50 cm (1.3 株 m^{-2}) で圃場栽培したネピアグラス (*Pennisetum purpureum* Schumach., 品種メルケロン) の越冬株から2001年に萌芽, 生長した植物体を実験に供試した. 2001年6月1日に基肥として複化成肥料を用い, N, P_2O_5 , K_2O を10 a 当たりそれぞれ25 kg, 10 kg, 10 kg, さらに有機質肥料として10 a 当たり発酵鶏糞と油粕をそれぞれ1500 kg 施用した. また, 対照としてトウモロコシ (*Zea mays* L., 品種ゴールドデント KD772) 種子3粒を畦間70 cm, 株間30 cm (4.8 株 m^{-2}) で点播し, 展開葉が5葉に達した時点で間引きして1株1個体植えとした. 肥料の施用についてはネピアグラスと同様である. 2001年には42L コンテナをポットとして使用し, 5葉位のネピアグラスおよびトウモロコシの種子を6月4日に同一ポットにそれぞれ植え付けた. 基肥として化成肥料16:16:16を24 g, 硫酸を10 g ずつ施用した. また6月30日に硫酸を20 g 追肥した. 土壌への灌



第1図 茎1単位における各部位水の通導抵抗値の測定手順。
測定は(A) (B), (C)の順に行った。なお, (A)では節部上端の切断面に瞬間接着剤を塗布して葉鞘方向のみに通水させたときの茎節の水の通導抵抗, (B)では接着剤を除去し葉鞘方向と茎頂方向の双方に通水させたときの茎節の水の通導抵抗および(C)では節間部のみに通水させたときの茎節の水の通導抵抗をそれぞれ測定した。

水はいずれの栽培方法においても十分に行った。

2. 植物体各部位の水の通導抵抗の測定

2001年7月10日に葉数8-10に達したネピアグラスとトウモロコシ植物体を水分状態の良好な早朝(7-8時)にサンプリングし, 高圧流量計(Tyree ら, 1995)を改良した水の通導抵抗測定装置(Nagasuga ら 2000)を用いて, 両種の地上部植物体(単茎植物体)と茎節部(茎1単位)の水の通導抵抗を測定した。本測定法の利点は, 蒸散速度と植物体各部の水ポテンシャル値より算出する蒸散法に比較して植物体の細かな部位の抵抗を簡便に評価できる点にある。ここで, 単茎植物体とは着葉状態の茎1本の地上部を意味し, また, 茎1単位とは, イネの要素説に従って新たに定義した茎節部であり, 1節と1節間から成るものとした(第1図B)。本研究では, 主に上位第3葉位あるいは第4葉位の節部, 節間を測定対象とした。

まず始めに, Yang and Tyree (1994)の方法に従って地上部各器官の水の通導抵抗を測定した。地表面より30-50 cmの高さで, 切断, 採取した単茎植物体の茎の切断面より加圧した水を注入し, 植物体内を流れた水量(F)と水圧(P)との関係より単茎植物体の水の通導抵抗値(R_{shoot})を測定した。同様に, 単茎植物体の全葉身を除去して茎一本の水の通導抵抗値(R_{stem})を測定し, R_{shoot} と R_{stem} の差を全葉身の水の通導抵抗値(R_{leaf})とした。

次に, 茎節の各構成部位の水の通導抵抗値を Nagasuga ら (2000)の方法に準じて測定した。概要を以下に記す。茎1単位の水の通導抵抗を, 節を通して茎頂方向に流れる水の通導抵抗(R_a), 同様に節から葉鞘方向へ水の通導抵抗(R_r)および節間部の水の通導抵抗(R_{in})の3者に分割し, 節部上端の切断面に瞬間接着剤を塗布して葉鞘方向のみに通水させたときの抵抗(R_1 , 第1図A), 接着剤を除去し葉鞘方向と茎頂方向の双方に通水させたときの抵抗(R_2 , 第1図B)および節間部のみに通水させたときの抵抗(R_3 , 第1

図C)のそれぞれ3ケースの抵抗を測定し, それらの相互関係(下記の3式)より R_r , R_a および R_{in} を算出した。

$$R_1 = R_{in} + R_a/2 + R_r \quad (1)$$

$$R_2 = R_{in} + R_a/2 + 1/[1/(R_a/2)] + (1/R_r) \quad (2)$$

$$R_3 = R_{in} \quad (3)$$

本研究では, 葉鞘は節部の中央部より伸張したものとし, R_r は R_a の半分的位置で残りの半分の R_a と並列抵抗を構成しているものと仮定した。また, 各器官および茎節部の水の通導抵抗値を葉面積(TLA), 茎長(L)および茎断面積(SA)との関係でも示した。算出式を以下に示す。

$$R_{stem}^L = P/(F/TLA) = R_{stem} \times TLA \quad (4)$$

$$r_{stem} = (P/L)/F = R_{stem}/L \quad (5)$$

$$R_{stem}^S = P/(F/SA) = R_{stem} \times SA \quad (6)$$

$$R_{stem}^{SP} = (P/L)/(F/SA) = (P/F) \times SA/L = R_{stem} \times SA/L \quad (7)$$

ここで, R_{stem}^L , r_{stem} , R_{stem}^S および R_{stem}^{SP} はそれぞれ単位葉面積当たりの茎部の水の通導抵抗, 単位茎長当たりの茎部の水の通導抵抗, 茎断面積当たりの茎部の水の通導抵抗および真の茎部の水の通導抵抗(茎断面積当たりおよび単位茎長当たりの茎部の水の通導抵抗, 単位茎長当たりの水圧を単位茎断面積当たりの流水量で除した値)を示す。節の茎頂, 葉鞘方向および節間部の水輸送の抵抗(R_a , R_r および R_{in})はそれぞれ節, 葉鞘および節間の長さで除して示し(r_a , r_r および r_{in}), さらに, (4)式に従って節に着生する個葉の葉面積(LA)で正規化した r (r_a^L , r_r^L および r_{in}^L)についても算出した。

各部位の水の通導抵抗値は F と P との関係より示される回帰直線の傾きの逆数とした。流水速度が日中の蒸散量と相当量(単茎植物体の流水速度: $1.0-2.0 \text{ mmol s}^{-1}$ (水圧 $0.05-0.2 \text{ MPa}$), 茎1単位における葉鞘方向への流水速度: $0.2-0.5 \text{ mmol s}^{-1}$ (水圧 $0.01-0.06 \text{ MPa}$), 同, 茎頂方向への流水速度: $1.0-2.0 \text{ mmol s}^{-1}$ (水圧 $1.0 \times 10^{-4}-1.0 \times 10^{-3} \text{ MPa}$))となるように水圧を調整し, 両パラメータ値とも実験開始約5分後の安定した測定値を水の通導抵抗値の算出に用いた。また, 植物体の道管内の水柱切断を防ぐため, 茎下端部を本装置に装着する前に再度水中で切断した。葉面積は電動葉面積計(AAM-8, 林電工)を用いて測定し, 茎の断面積はデジタルノギス(CD-15C, Mitutoyo)を用いて茎の長径および短径を計測し, 両者の平均値をもつ円の面積として算出した。

3. 乾物重および個葉のガス交換速度の測定

2001年7月28日の午前中(午前10時)にポット栽培した植え付け後55日目の両植物体の最上位展開葉の光合成速度(Pn), 蒸散速度(Tr)および気孔伝導度(G_s)を携帯型光合成・蒸散速度(ADC社製, SPB-H4, 英国)を用い

て測定した。また、測定の後にサンプリングして乾物重を調査した。

結果と考察

生育盛期（7月上旬）のネピアグラスとトウモロコシの単茎植物体を対象にした抵抗値 (R_{shoot} , R_{leaf} , R_{stem}), 単位葉面積当たりの抵抗値 (R_{shoot}^L , R_{leaf}^L , R_{stem}^L), 単茎植物体の地上部乾物重 (DW_{shoot}) と葉面積 (TLA) を第1表に示した。両種の DW_{shoot} を比較すると、ネピアグラスはトウモロコシの約40%であった。同様に、ネピアグラスの TLA もトウモロコシの約40%であり、 $20.2 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ であった。しかし、ネピアグラスの R_{shoot} は $21.9 \times 10^{-2} \text{ MPa s mmol}^{-1}$ であり、

トウモロコシの $4.82 \times 10^{-2} \text{ MPa s mmol}^{-1}$ に比較して有意に高かった。この傾向は R_{leaf} および R_{stem} についても同様であり、特に R_{stem} で顕著な種間差が確認された。植物体での水輸送の制御能力は水の通導抵抗の大きさから判断され、地上部、特に茎部で高い水の通導抵抗を示したネピアグラスでは、地上部での水輸送が葉の気孔だけでなく茎部においても強く制御されることが示唆される。

種間差が明確であった茎部の水輸送特性について詳しく検討する。第2表には両種の単茎植物体の R_{stem} , 単位葉面積当たりの R_{stem}^L (R_{stem}^L), 単位茎長当たりの R_{stem} (r_{stem}), 単位茎断面面積当たりの R_{stem} (R_{stem}^S), 真の水の通導抵抗 (R_{stem}^{SP}), TLA , SA および L を示した。茎を1本の管とし

第1表 ネピアグラスとトウモロコシの単茎植物体の水の通導抵抗値, 地上部乾物重 (DW_{shoot}) および葉面積 (TLA) の比較. R_{shoot} , R_{leaf} および R_{stem} はそれぞれ地上部, 葉身部および茎部の水の通導抵抗, また, R_{shoot}^L , R_{leaf}^L および R_{stem}^L はそれぞれ単位葉面積当たりの地上部, 葉身部および茎部の水の通導抵抗を示す。

パラメータ	A. ネピアグラス	(A/B)	B. トウモロコシ
R_{shoot} ($\times 10^{-2} \text{ MPa s mmol}^{-1}$)	21.9 ± 2.37	(4.54)	$4.82 \pm 0.08^{**}$
R_{leaf} ($\times 10^{-2} \text{ MPa s mmol}^{-1}$)	6.90 ± 3.02	(5.80)	1.19 ± 0.33
R_{stem} ($\times 10^{-2} \text{ MPa s mmol}^{-1}$)	15.0 ± 1.30	(4.13)	$3.63 \pm 0.27^{**}$
R_{shoot}^L ($\times 10^{-2} \text{ MPa s m}^2 \text{ mmol}^{-1}$)	4.11 ± 0.50	(1.91)	$2.15 \pm 0.33^*$
R_{leaf}^L ($\times 10^{-2} \text{ MPa s m}^2 \text{ mmol}^{-1}$)	1.31 ± 0.58	(2.62)	0.50 ± 0.13
R_{stem}^L ($\times 10^{-2} \text{ MPa s m}^2 \text{ mmol}^{-1}$)	2.81 ± 0.23	(1.70)	$1.65 \pm 0.33^*$
DW_{shoot} (g)	14.8 ± 0.27	(0.42)	$35.2 \pm 1.98^{***}$
TLA ($\times 10^{-2} \text{ m}^2$)	20.2 ± 0.29	(0.42)	$48.2 \pm 7.39^{**}$

() の数字はトウモロコシの値を1としたときのネピアグラスの相対値を示す。測定には両種とも単茎の葉数810の個体を対象とした。*, **, ***: 5%, 1%, 0.1%でそれぞれ有意であることを示す。

第2表 ネピアグラスとトウモロコシの茎部の水の通導抵抗, 葉面積 (TLA), 茎の断面面積 (SA) 茎長 (L) およびの比較. R_{stem} , R_{stem}^L , r_{stem} , R_{stem}^S および R_{stem}^{SP} はそれぞれ茎部の水の通導抵抗, 単位葉面積当たりの茎部の水の通導抵抗, 茎長当たりの茎部の水の通導抵抗, 茎断面面積当たりの茎部の水の通導抵抗および真の茎部の水の通導抵抗を示す。

パラメータ	A. ネピアグラス	(A/B)	B. トウモロコシ
R_{stem} (MPa s mmol^{-1})	0.15 ± 0.01	(4.13)	$0.04 \pm 0.00^{***}$
R_{stem}^L ($\text{MPa s m}^2 \text{ mmol}^{-1}$)	0.03 ± 0.00	(1.70)	$0.02 \pm 0.00^*$
r_{stem} ($\text{MPa s m}^{-1} \text{ mmol}^{-1}$)	0.35 ± 0.03	(4.82)	$0.07 \pm 0.01^{***}$
R_{stem}^S ($\times 10^{-4} \text{ MPa s m}^2 \text{ mmol}^{-1}$)	1.40 ± 0.18	(1.92)	$0.73 \pm 0.06^*$
R_{stem}^{SP} ($\times 10^{-3} \text{ MPa s m mmol}^{-1}$)	0.35 ± 0.05	(2.28)	$0.16 \pm 0.01^*$
TLA ($\times 10^{-2} \text{ m}^2$)	20.2 ± 0.29	(0.42)	$48.2 \pm 7.39^{**}$
SA ($\times 10^{-4} \text{ m}^2$)	1.01 ± 0.09	(0.68)	$2.16 \pm 0.01^{***}$
L (m)	0.47 ± 0.02	(0.84)	0.56 ± 0.07

() の数字はトウモロコシの値を1としたときのネピアグラスの相対値を示す。*, **, ***: 5%, 1%, 0.1%でそれぞれ有意であることを示す。

第3表 ネピアグラスとトウモロコシの節部、節間部の水の通導抵抗および測定対象節に着生する個葉葉面積(LA)の比較. r_r , r_a および r_{in} はそれぞれ単位茎長当たりの節部の葉鞘方向の水の通導抵抗, 同じく茎頂方向の水の通導抵抗および節間部における水の通導抵抗を示す. また, r_r^L , r_a^L および r_{in}^L は葉面積・単位茎長当たりの葉鞘方向, 茎頂方向および節間部の水の通導抵抗を示す.

パラメータ	A. ネピアグラス	(A/B)	B. トウモロコシ
r_r (MPa s m ⁻¹ mol ⁻¹)	139±12.1	(10.9)	12.7±1.06***
r_a (MPa s m ⁻¹ mol ⁻¹)	1.47±0.40	(4.69)	0.31±0.06*
r_{in} (MPa s m ⁻¹ mol ⁻¹)	0.07±0.02	(2.93)	0.02±0.00*
r_r^L (MPa s m ² mol ⁻¹)	2.83±0.21	(5.44)	0.52±0.05***
r_a^L (×10 ³ MPa s m ² mol ⁻¹)	29.2±0.01	(2.38)	12.3±2.21*
r_{in}^L (×10 ³ MPa s m ² mol ⁻¹)	1.00±0.10	(1.70)	2.26±0.26
LA (×10 ² m ²)	2.09±0.24	(0.51)	4.07±0.32

() の数字はトウモロコシの値を1としたときのネピアグラスの相対値を示す. *, ***, 5%, 0.1%でそれぞれ有意であることを示す.

てみなした場合, その抵抗は Poiseuille の法則より管の長さ L と直径に強く支配されるものと考えられる (野並 2001). ネピアグラスの L は 0.47 m であり, トウモロコシの 84% と短かったが, R_{stem} を L で正規化した r_{stem} にみられる種間差は R_{stem} のそれとほぼ同等であった (第2表). 一方, ネピアグラスの SA はトウモロコシの約 70% (1.01×10^{-4} m²) であり, R_{stem} を SA で正規化すると (R_{stem}^S), 両種の差は R_{stem} における 4 倍から 2 倍へと大きく低下した. このことから, ネピアグラスの R_{stem} は L よりも SA に強く支配されることが考えられる (第2表). しかし, ネピアグラスの R_{stem}^S は依然としてトウモロコシに比べて有意に高かったことから, 本植物の R_{stem} は SA と R_{stem}^S の相乗効果によって増加したものと考えられた.

茎部は節部と節間部より構成されているが, 節部の水の通導抵抗は節間部に比較して高い (Begg and Turner 1970, Sperry 1986, Meinzer ら 1992, Nagasuga ら 2000). この点に注目し, ネピアグラスの R_{stem}^S が高い原因の一つに茎の部位別の抵抗値の違いが関与するものと考え, 両種の茎部の水の通導抵抗を r_a , r_r および r_{in} に分離した (第3表). ネピアグラスではすべての部位で高い抵抗値を示したが, 節部の抵抗を示す r_a , r_r は共にトウモロコシの 4 倍以上の高い値を示しており, ネピアグラスの R_{stem}^S が高い要因の一つに節部での水の通導特性が関与することが推察される. また, 節部でも特に r_r は高く, トウモロコシの約 10 倍高い $139 \text{ MPa s m}^{-1} \text{ mmol}^{-1}$ であった (第3表).

トウモロコシの根系は量的に発達している上に地上部各部位の水の通導抵抗が低く, 多量の水を葉へ供給するのに適した水輸送システムを構成している. 一方, ネピアグラスの水輸送をみると, 根系は量的に劣る上に地上部各部位の水の通導抵抗は高く, 水輸送能力に優れるとは考え難い. 実際にネピアグラスとトウモロコシの同一ポット内にて栽

培した場合, T/R 比がトウモロコシの約 3 倍高いネピアグラスの個葉のガス交換速度は有意差こそ確認されなかったもののトウモロコシに比較して低かった (第4表). しかし, 両植物の Pn/Tr および Pn/Gs はほぼ同等であったことから (第4表), ネピアグラスでは, 水輸送能力は低くても, 個葉レベルの水利用効率および炭酸ガス交換効率はトウモロコシと同程度に維持されることが示唆される.

ネピアグラスでは, 蒸散の停止する夜間に植物体内へ蓄積しておいた水の一部を日中の蒸散に利用する水の貯留機能が発達しており, 同機能によって日中の総蒸散量は最高で約 8% 補填される (Nagasuga ら 2004). これは低木のそれとほぼ同程度である (Goldstein ら 1998). この点を考慮すると, 茎の細さと茎節部の水の通導性による茎部の高い水の通導抵抗によって個葉への水輸送が制御されても水の貯留機能が個葉への水供給量の少なさをしばしば補填するため, 個葉の水利用効率および炭酸ガス交換効率を高く維

第4表 同一ポット内にて栽培したネピアグラスとトウモロコシの全乾物重(TDW), 地上部/根重比(T/R 比), および光合成関連パラメータの比較. Pn , Tr および Gs はそれぞれ光合成速度, 蒸散速度および気孔伝導度を示す.

パラメータ	A. ネピアグラス	(A/B)	B. トウモロコシ
TDW (g)	299±95.2	(1.78)	168±16.9
T/R 比 (g g ⁻¹)	3.66±0.29	(2.90)	1.26±0.12***
Pn (μmol m ⁻² s ⁻¹)	27.5±2.16	(0.87)	31.7±0.23
Tr (mmol m ⁻² s ⁻¹)	6.61±0.16	(0.91)	7.25±0.23
Gs (mol m ⁻² s ⁻¹)	0.20±0.01	(0.86)	0.23±0.02
Pn/Tr (μmolCO ₂ mmol ⁻¹ H ₂ O)	4.15±0.29	(0.95)	4.37±0.33
Pn/Gs (mol m ⁻² s ⁻¹)	136±5.39	(1.00)	136±8.48

() の数字はトウモロコシの値を1としたときのネピアグラスの相対値を示す. ***, 0.1%で有意であることを示す.

持することが可能になるものと考えられ、これらは本植物の多収性の実現にも貢献するものと推察される。

最後に水の通導抵抗の高かった茎節部の内部形態に注目すると、茎内を縦走してきた維管束は、その多くが茎節部で分岐、横走しており、このような形態構造が茎節部の水の通導抵抗を高めることが報告されている (Sperry 1986, Wei ら 1999)。また、器官別あるいは栽培条件に伴う水の通導抵抗値の変化には本部道管の直径が強く関与するとの報告もある (Schultz and Matthews 1993, Lovisolo and Schubert 1998)。ネピアグラスとトウモロコシの茎節部における水の通導抵抗に種間差が生じた原因を節部や本部道管の構造形態との関連で調査、解析する必要がある。

引用文献

- Begg, J. E. and Turner, N. C. 1970. Water potential gradients in field tobacco. *Plant Physiol.* 46 : 343–346.
- Goldstein, G., Andrade, J. L., Meinzer, F. C., Holbrook, N. M., Cavelier, J., Jacon, P. and Celis, A. 1998 Stem water storage and diurnal patterns of water use in tropical forest canopy trees. *Plant Cell and Environ.* 21 : 397–406
- 伊藤浩司・稲永忍 1988. ネピアグラスの乾物生産に関する研究. 第1報. 東京と宮崎における乾物生産及び生長パラメータの比較. 日作紀 57 : 90–96.
- 伊藤浩司 1994 農学大事典 第2次増訂改版, 野口弥吉・川田信一郎監修, 養賢堂, 東京 : 758–759.
- Kubota, F., Y. Matsuda, W. Agata and K. Nada 1994. The relationship between canopy structure and high productivity in napiergrass, *Pennisetum purpureum* Schumach. *Field Crop Res.* 38 : 105–110
- Lovisolo C. and Schubert A. 1998. Effects of water stress on vessel size and xylem hydraulic conductivity in *Vitis vinifera* L. *J. Exp. Bot.* 49 : 693–700.
- 松田義信・窪田文武・縣和一・伊藤浩司 1990. ネピアグラス (*Pennisetum purpureum* Schumach.) の高位生産性解明. 1. ネピアグラスとトウモロコシの乾物生産特性の比較. 日草誌 37 : 150–156.
- Meinzer F. C., Goldstein G., Neufeld H. S., Grantz D. A. and Crisosto G. M. 1992. Hydraulic architecture of sugarcane in relation to patterns of water use during plant development. *Plant, Cell and Environ.* 15 : 71–477.
- 長菅輝義・窪田文武・平尾健二・名田和義 1998. 植物体切断処理による個葉の光合成・蒸散速度の一時的上昇反応からみたネピアグラス (*Pennisetum purpureum* Schumach.) の水輸送系の特徴. 日作紀 67 : 555–560.
- Nagasuga, K., D. Yasutake, T. Araki, and M. Kitano 2000. Methodological establishment for individual evaluations of hydraulic conductances of a node, an internode and a leaf insertion in a nodal complex. *BIOTRONICS* 29 : 71–78.
- Nagasuga, K., F. Kubota and C. Nishiyama 2002. Specific difference in water transport regulation in two high-productive C₄ crops, napiergrass, *Pennisetum purpureum* Schumach. and maize, *Zea mays* L., grown in different light intensities. *J. Fac. agr., Kyushu Univ.* 46 : 267–274
- 名田和義・窪田文武・縣和一・松田義信 1994. ネピアグラスとトウモロコシの群落における乾物生産および個葉光合成特性. 九大農学芸誌 48 : 163–169.
- 野並浩 2001. 植物水分生理学 養賢堂, 東京. 85–88
- Schultz H. R. and Matthews M. A. 1993. Xylem development and hydraulic conductance in sun and shade shoots of grapevine (*Vitis vinifera* L.) : evidence that low light uncouples water transport capacity from leaf area. *Planta* 190 : 393–406.
- Sperry J. S. 1986. Relationship of xylem embolism to xylem pressure potential, stomatal closure, and shoot morphology in the *Palm Rhaps excelsa*. *Plant Physiol.* 80 : 110–116.
- Tyree M. T., Patino S., Bennink J. and Alexander J. 1995. Dynamic measurements of root hydraulic conductance using a high-pressure flowmeter in the laboratory and field. *J. Exp. Bot.* 46 : 83–94.
- Watkins, J. M. 1951 Effect of frequency and height of cutting on the yield, stand and protein content of some forages in EL Salvador. *Agron. J.* 43 : 291–296
- Wei C., Tyree M. T. and Steudle E. 1999. Direct measurements of cohesion-tension theory taking account of hydraulic architecture. *Plant Physiol.* 121 : 1191–1205.
- Yang S. and Tyree M. T. 1994. Hydraulic architecture of *Acer saccharum* and *A. rubrum*: comparison of branches to whole trees and the contribution of leaves to hydraulic resistance. *J. Exp. Bot.* 45 : 179–186.

Difference in Water Transport Resistance of Above-ground Parts between Napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumach.) and Maize (*Zea mays* L.): Kiyoshi NAGASUGA¹⁾ and Fumitake KUBOTA²⁾ (¹⁾ *Nias, 305-8602, Japan;* ²⁾ *Fac. of Agriculture, Kyushu Univ.*)

Abstract : The hydraulic resistances of each organ in napiergrass and maize shoots were measured with a pressure flow meter. The results obtained were as follows: 1) Hydraulic resistances of the shoot, leaf and stem, R_{shoot} , R_{leaf} and R_{stem} , respectively, in napiergrass were significantly higher than those in maize. Particularly, R_{stem} in napiergrass was about four-fold larger than that in maize. 2) The cross sectional area of a stem (SA) was smaller in napiergrass than in maize, and the difference between napiergrass and maize in R_{stem} normalized by SA (R_{stem}^S) was smaller than that in R_{stem} . However, R_{stem}^S in napiergrass was still about two-fold larger than that in maize, indicating that napiergrass has a higher hydraulic resistance in the stem due to the synergistic effect of these two factors. 3) The hydraulic resistance of a stem was divided into three components, the resistance toward the leaf sheath of the nodal stem (r_r), the resistance toward the stem apex of the nodal stem (r_a) and the resistance of the inter-nodal stem (r_{in}). Both r_r and r_a were high in napiergrass and the difference between napiergrass and maize was particularly large in r_r . These results suggested that a high R_{stem}^S in napiergrass was related with the water transport through the nodal stem. It was considered that a small stem diameter and high hydraulic resistance of nodal stem would result in a high resistance to water flow in napiergrass stem.

Key words : Hydraulic resistance, Leaf sheath, Maize, Napiergrass, Nodal stem, Pressure flow meter, Separate evaluation, Stem-unit.
