

ギョウギシバの耐塩性における系統間差異

沖 陽子^{a)}・宇津木 友^{b)}

(作物機能調節学講座)

Differences in Salt Tolerance within Strains of *Cynodon dactylon*Yoko Oki^{a)} and Tomo Utsugi^{b)}

(Department of Eco-physiology for Crop Science)

Nine strains of *Cynodon dactylon* grass were collected from various habitats such as the seaside, the saline soil areas and the roadside. These strains were grown in sand culture under greenhouse at various NaCl treatments, and their growth, morphological variation, mineral contents and rooting were determined.

The growth of most strains was increased by Cl concentrations of 1,000 ppm to 3,000 ppm, and addition of NaCl up to 5,000 ppm of Cl concentrations did not affect their growth. Furthermore all strains survived relatively well even when grown with Cl concentrations of 10,000 ppm. With increasing Cl concentrations, Na content in their tissues increased. Especially some strains which were collected from saline areas, had higher Na content in their tissues than those of other strains. It was also found that *Cynodon dactylon* may possess one mechanism for salt tolerance, which may be related to restriction of Na translocation from root to top.

Morphological characters of all strains at various NaCl treatments varied widely, and a relation between morphological variation and yield variation was found.

In contrast, NaCl treatments significantly affected the rooting and the root growth of *Cynodon dactylon*.

Key words : *Cynodon dactylon*, salt tolerance, strains, NaCl treatments, rooting

緒 言

近年、乾燥地域、半乾燥地域、乾燥半湿潤地域における気候上の変動や人間活動を含む様々な要素に起因する土地の劣化が進んでいる。その劣化の中で、灌漑農地の土壌の塩類化が大きな問題となっている。これは、灌漑が行われる際に、過剰な灌漑や水路からの漏水等のために地下水位の上昇が起こったり、塩類濃度の高い地下水を用いることにより、水分が蒸発した後に水に含まれていた塩類が表層面に集積し、塩化によって農地が荒廃、劣化することである³⁾。

とくに土壌の浸透圧を高め、植物の吸水を妨げたり、植物体内のイオンバランスを崩すなど生理作用を阻害する塩化ナトリウム (NaCl) などの中性のナトリウムが問題であるといわれている¹⁰⁾。このような塩類

Received October 1, 1997

a) 岡山大学環境理工学部

(Faculty of Environmental Science and Technology, Okayama University)

b) 岡山大学大学院農学研究科

(Graduate School of Agriculture, Okayama University)

集積土壌は世界の陸地面積の約10%, 100ヵ国以上に及んでおり⁸⁾, 早急な修復が望まれている。解決策の一つとして, 生物生産性を高める土壌に改善するために, まず耐塩性の高い植物や好塩性の植物を緑化資材として導入することが考えられる。

筆者は, タイ東北部の塩類集積土壌の植生調査を実施する機会があり, ギョウギシバが自生しているのを確認した。また, 国内においても海岸地帯に広く自生している⁹⁾, 塩類集積土壌に自生する有用資源植物の候補種として選定した。ギョウギシバ (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) は寒帯を除く, ほとんど全世界に分布するイネ科多年生植物で, 日本でも各地の路傍, 原野, 海浜に広く生育する⁹⁾。また, 世界の畑地の強害草である¹⁰⁾と共に, 飼料作物や芝生用にも活用される植物である。

そこで, ギョウギシバに NaCl 処理を行い耐塩性の程度を調査した結果, Cl 濃度で5000 ppm 以上では乾物生産に影響が現れるが, 比較的耐塩性の高い植物であることが把握された²⁾。従って, 本実験では, 海岸付近や塩類集積地など塩分の影響のある土壌に自生していたギョウギシバの系統と, 路傍など塩分の影響のない土壌に自生していた系統を供試し, NaCl 処理を行うことにより, 塩分濃度が生育と外部形態に及ぼす影響, 及び耐塩性の系統間差異を検討した。さらに, これらの結果を踏まえて塩類集積地や海浜における緑化被覆植物として活用する可能性を探った。

材料と方法

1. 塩分濃度と生育との関係

Table 1 に示した 9 ヲ所の生息地よりギョウギシ

バを採取後, 岡山大学農学部圃場内において, 同一環境条件下で増殖させた。その後, 系統毎に先端から 3 節を含む分枝をとり, 平均新鮮重を約 0.62 g に揃え, 川砂を 15kg 詰めた 20 (L) × 30 (W) × 30 (H) cm の不織布製ポットに 3 本ずつ植え付けた。200 (L) × 24 (W) × 30 (H) のプラスチック製水槽に各系統 1 ポット, 計 9 ポットを入れ, 5 % Hoagland 培養液を水槽の底から 10cm まで入れて砂耕栽培を行った。

実験はガラス室内で実施し, 1995年 8月 1日に植え付け, 活着確認後, 8月 17日より NaCl 処理を開始した。NaCl 処理は, Cl 濃度でそれぞれ 1000, 3000, 5000, 8000 及び 10000 ppm の所定濃度になるように加え, 無添加の対照区を含めた 6 処理区, 2 反復を設定した。培養液は 1 週間毎に更新し, 10月 25日まで 1 週間毎に葉型, 緑葉数, 枯葉数, 総分枝数, 総莖数, 総節数について経時調査を行った。実験終了時には新鮮重, 乾物重及び葉面積を測定した。その後, 粉碎した乾物を乾式灰化し, 部位別に植物体内の Na, K, Ca 及び Mg 含有量を原子吸光分析法により測定した。

2. 発根及び根部の生育に及ぼす NaCl 濃度の影響

上述の実験で供試したタイ国コンケン市塩類集積土壌で採取した系統 (No. 3) のギョウギシバを岡山大学農学部圃場内で増殖させ, 先端から 5 節をとり, 新鮮重を揃えた分枝を準備した。試験管 (内径 24mm, 高さ 120mm) に 30ml の溶液を入れ, 最下節を水浸させて 1 本ずつ植え付け, 水表面をシリコン栓にて覆い, 水耕栽培とした。日照時間 12 時間, 昼温 30°C / 夜温 23°C に設定したインキュベーター内で, 以下の実験を行った。いずれの実験も処理溶液は 1 週間毎に更新した。また, 実験開始時に水耕液の EC, 植物体の

Table 1 Strain number, sampling sites and dates of *Cynodon dactylon*

Strain No.	Sampling sites	Date
1	Beach at <i>Futsu</i> cape, <i>Futsu</i> city, <i>Chiba</i>	1995.4.
2	Rocky stretch of seashore on <i>Inujima</i> Island, <i>Okayama</i> city, <i>Okayama</i>	1994.9.
3	Saline soils in <i>Khon Kaen</i> city, <i>Thailand</i>	1993.5.
4	Beach at <i>Onna-son</i> village, <i>Okinawa</i>	1994.8.
5	Site of salt farm at <i>Unotsu</i> , <i>Kurashiki</i> city, <i>Okayama</i>	1995.6.
6	Roadside, <i>Naha</i> city, <i>Okinawa</i>	1995.4.
7	Flood plain along <i>Ichinomiya</i> river, <i>Mobara</i> city, <i>Chiba</i>	1995.4.
8	Roadside at <i>Kokufu-ichiba</i> , <i>Okayama</i> city, <i>Okayama</i>	1994.5.
9	Roadside, <i>Kyoto</i> city, <i>Kyoto</i>	1995.5.

茎長, 新鮮重, 緑葉数を測定し, 実験終了時には加えて乾物重, 根長, 根重, 根数を測定した.

1) 発根に及ぼす NaCl 高濃度の影響

ハイポネックス1000倍水溶液に Na 濃度で1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000及び8000 ppm の所定濃度になるように NaCl を添加し, 無添加の対照区を含めた計9 処理区, 5 反復を設定した. 実験期間は4 週間とした.

2) 発根に及ぼす NaCl 低濃度の影響

ハイポネックス2000倍水溶液に Na 濃度で250, 500, 750及び1000 ppm の所定濃度になるように NaCl を添加し, 無添加の対照区を含めた計5 処理区, 5 反復を設定した. 実験期間は4 週間とした.

3) 根部の生育に及ぼす NaCl 濃度の影響

まず, 水道水のみにて17日間栽培し, 全植物体を発根させた. その後, ハイポネックス2000倍水溶液に Na 濃度で1000, 2000, 3000及び4000 ppm の所定濃度になるように NaCl を添加し, 無添加の対照区を含めた計5 処理区, 5 反復を設定した. 実験期間は3 週間とした.

結 果

1. 塩分濃度と生育との関係

1) 各系統の生長量

対照区の生長量を100とした場合の各処理区における相対生長量を Fig. 1 に示した. いずれの系も Cl 濃度1000 ppm 区では NaCl 無添加の対照区以上の

生育量を示し, 3000 ppm 区でもややばらつきはあるものの対照区の生長量より低下した系統は2 つのみで, 他は同程度またはそれ以上であった. とくに海岸または塩類集積土壌由来の系統No. 3 及びNo. 1 は3000 ppm 区において処理区中で最大値を, 塩分の影響のない土壌に自生していた系統No. 6 及びNo. 7 は1000 ppm 区で最大値を示した. いずれの系統も5000 ppm 区を境に徐々に生長量の低下が認められたが, 10000 ppm 区において最も減少した系統No. 6 でも半減には至らなかった.

2) 各系統の外部形態の変化

各系統における NaCl 処理による外部形態及び生長量の変化を模式的に表したのが Fig. 2 である. 外部形態の項目としては, 総莖数, 匍匐莖率, 分枝数, 緑葉数, 枯葉率, 葉型 (葉長/葉幅), 直立莖葉面積, 匍匐莖葉面積, 節数とした. 便宜上, 濃度と変化の大きさにかかわらず NaCl 処理によって対照区より増加した項目を[+]で, 減少した項目を[-]で, 変化しなかった項目を[0]で表現した. Fig. 2 によると, 生長量が増加した系統No. 1, 3, 4, 6, 7 は外部形態も [+] 方向に変化する項目が多く, とくにコンケン産のNo. 3 は葉型以外はすべて [+] 方向に動いた. 一方, 生長量があまり変化しなかった系統No. 2, 5, 8, 9 は外部形態の変化も小さい傾向が認められた.

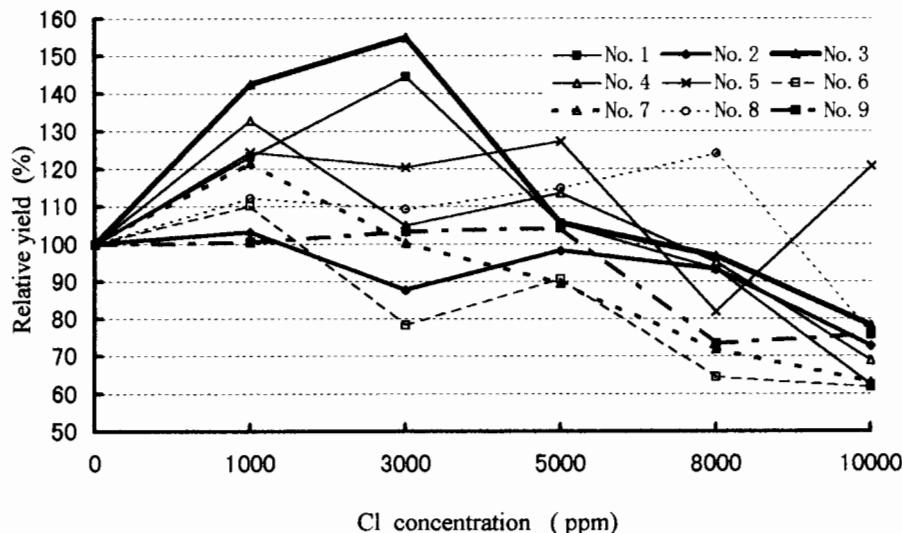


Fig. 1 Relative yield of 9 strains of *Cynodon dactylon* grown under various NaCl treatments.

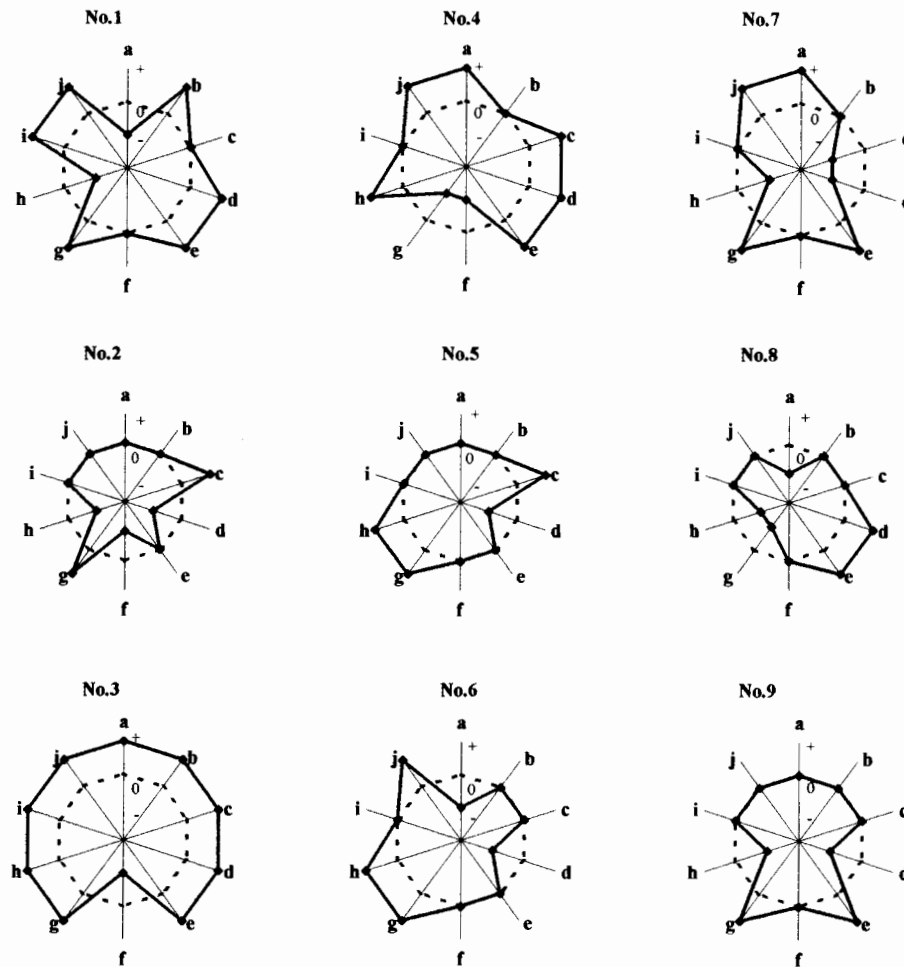


Fig. 2 Comparison of morphological variations among 9 strains of *Cynodon dactylon* grown under NaCl treatments.

- a) a : number of stems, b : rate of creeping stems, c : number of branches, d : number of green leaves, e : rate of dead leaves, f : leaf form (leaf length/leaf width), g : leaf area of erect stem, h : leaf area of creeping stem, i : number of nodes, j : yield.
 b) Broken line shows the criterion, and solid line shows changes by NaCl treatments.

2) 植物体内の Na, K 含有率, K/Na 比及び Na 地上部移行率

NaCl 処理により異なる生長パターンを示した 2 つのグループを代表させて系統 No. 5 (塩田跡由来, 生長量の変化が少ない) と No. 7 (河川敷由来, 1000 ppm で生長量が増加) の植物体内の Na, K 含有率, K/Na 比及び Na 地上部移行率を Table 2 に示した。Na 含有率については, Cl 濃度が高まるに伴い含有率も高まり, 8000 ppm 区以上で No. 7 の地下部を除いて有意差が認められた。また, No. 5 は No. 7 より Na 含有率がやや高い傾向にあった。

一方, K 含有率は両系統共に地上部も地下部も Cl

濃度に影響されなかった。従って, K/Na 比を求めると, 両系統共に Cl 濃度が高まるに伴い低くなり, また地下部は地上部より小さい値であった。

全 Na 吸収量に対する地上部 Na 含有量の割合を Na 地上部移行率として算出した結果, 両系統共に処理区間の差は認められず, 24~27% の範囲であった。

2. 発根及び根部の生育に及ぼす NaCl 濃度の影響

1) 発根に及ぼす NaCl 高濃度の影響

Na 濃度 1000 ppm 区で数本の発根が認められたものの, 2000 ppm 区以上では全く発根せず, 乾物重は対照区以外は実験開始時と同量または減少した。4000 ppm 区以上は緑葉が存在しなかった。

Table 2 Na and K contents in the top and the roots of *Cynodon dactylon* under various NaCl treatments

Strain No.	Cl concentration	Na (%)		K (%)		K/Na ratio		Na translocation rate to top (%) ^{b)}
		Top	Root	Top	Root	Top	Root	
5	0 ppm	0.18	0.39	1.68	1.07	9.20	2.72	31.19
	1000 ppm	0.21	0.59	1.56	1.06	7.25	1.81	26.78
	3000 ppm	0.32	0.73	1.53	0.96	4.71	1.33	30.91
	5000 ppm	0.35	0.88	1.39	1.01	3.96	1.14 ^{*a)}	28.58
	8000 ppm	0.47*	0.98*	1.49	0.84	3.18	0.86*	32.40
	10000 ppm	0.54*	1.06*	1.50	0.84	2.80*	0.79*	33.63
7	0 ppm	0.11	0.24	1.43	1.12	12.58	4.62	34.33
	1000 ppm	0.14	0.45	1.34	1.09	9.59	2.42	24.46
	3000 ppm	0.25	0.57	1.39	0.91	5.51	1.58	30.37
	5000 ppm	0.33	0.60	1.29	1.01	3.91	1.68	36.94
	8000 ppm	0.40*	0.79	1.38	0.91	3.42*	1.15	33.72
	10000 ppm	0.47*	1.09*	1.31	1.00	2.81*	0.92	30.15

a)* Significant difference at 5 % level.

b) Na contents in top/Na contents in whole plant × 100

Table 3 Growth characters of *Cynodon dactylon* (Strain No. 3) exposed to various low NaCl concentrations for 4 weeks

Na concentration	shoot length (mm)	Number of green leaves	Number of dead leaves	Number of branches	Number of nodes	Number of rooting ^{b)}	Total root length (mm)
0 ppm	194	10.0	8.6	3.4	8.6	30.4	477.4
250 ppm	169	9.4	6.6	1.0	7.2	11.2	222.8
500 ppm	145	7.2	6.2	0.6*	5.8	7.4*	80.8*
750 ppm	128 ^{*a)}	4.8	9.2	1.0	5.6*	4.8*	27.0*
1000 ppm	133	5.2	7.8	0.8*	6.2	4.2*	21.0*

a)* Significant differences at 5 % level.

b) Number of rootings in each plant.

c) Each value is the mean of 5 replications.

2) 発根に及ぼす NaCl 低濃度の影響

実験終了時の植物体の外部形態を Table 3 に示した。Na 濃度 1000 ppm 以内の低濃度ではすべての処理区で発根が認められた。しかし、発根数や総根長は 500 ppm 区以上で有意に抑制され、根長 10 mm 以上の根が減少した。また、分枝数及び乾物重も開始時より増加したものの、Na 濃度が高まるとともに抑制された。

3) 根部の生育に及ぼす NaCl 濃度の影響

発根後の NaCl 処理が根部の生育に及ぼす影響を調べた結果、発根に大きく影響を及ぼした限界 Na 濃度 2000 ppm 以上の高濃度で、十分に根部の生育が

確認された。Na 濃度が高まるに伴い、茎長、分枝数、根数が減少する傾向にあったが、有意差は認められなかった (Table 4)。

考 察

本実験のギョウギシバの生長量から、Cl 濃度で 5000 ppm の NaCl 処理でも十分に耐え得る耐塩性の高い植物であることが明らかとなり、大きく影響を受け始めるのは Cl 濃度で 10000 ppm 以上であることが把握された。従って、海岸や塩類集積土壌などの緑化被覆資材として活用できる可能性が高いと考えられたが、本実験での土壌 EC は 10000 ppm 区でも上

Table 4 Growth characters of *Cynodon dactylon* (Strain No. 3) exposed to various high NaCl concentrations for 3 weeks after rooting

Na concentration	Shoot length (mm)	Number of green leaves	Number of dead leaves	Number of branches	Number of nodes	Number of roots ^{a)}	Total root length (mm)
0 ppm	181	8.6	8.0	2.4	8.4	14.4	418.2
1000 ppm	182	9.2	7.0	1.2	7.8	14.6	332.2
2000 ppm	176	8.2	7.2	1.2	8.0	10.6	271.2
3000 ppm	161	6.2	8.4	0.8	8.4	6.0	272.4
4000 ppm	167	5.2	9.0	1.0	7.6	5.0	300.6

a) Number of roots in each plant.

b) Each value is the mean of 5 replications.

層（表層から5 cm）で2.30 mS/cm，下層（表層から25cm）で4.82 mS/cmであった。一般に塩類集積土壌の指標となるEC値は4.0 mS/cmであり⁵⁾，また塩害についてはNaや浸透圧のみならず様々な要因が加わるので⁵⁾，さらなる検討を要する。

また，いずれの系統もNaCl無添加の対照区よりCl濃度1000 ppmあるいは3000 ppmのNaCl添加で生育量が増加した。これはギョウギシバの光合成のタイプがC₄・NAD-ME型に属しており¹⁰⁾，Na添加により生育が促進されたためと推察される。

一方，各系統とも外部形態はNaCl処理によって容易に変化すると考えられるが，系統により各部位の影響の受け方が異なった。その特徴は系統毎に異なり，規則性を見いだすことは出来なかったが，いずれの系統も生長量が大きく低下しなかったことから，これらの形態変化がNaClへの適応であるとするならば，ギョウギシバの耐塩性において系統間の形態的な差異が生じると推測される。

ところで，耐塩性には主に二つのタイプがあるとされており⁹⁾，一つはNaが体内に移行するのをエネルギーを使って抑制するタイプで，もう一つは体内にもNaを取り込んで外部の浸透圧に対抗するタイプである。塩生植物など真に耐塩性が強い植物は後者のタイプが多い。本実験ではギョウギシバの耐塩性の機構は，イネ科植物の特徴であるNaの地上部への移行を抑制し¹²⁾，Kの吸収を低下させないものであることが明らかになった。同じイネ科で耐塩性の高いヨシはギョウギシバよりさらに耐塩性が高く，Cl濃度が10000 ppmでも生育量は抑制されず，地上部のNa含有率はギョウギシバとほぼ同じ値であるが，地下部の値は高い。また，K含有率は地上

部・地下部共にギョウギシバより高いが，NaCl処理濃度が高まるに伴い低下する傾向がある⁹⁾。従って，ギョウギシバとは異なる耐塩性機構が考えられる。

また，ギョウギシバのNa含有率は自生地に影響されることが示唆され，NaClの影響のある土壌で生育する系統は体内のNa含有率を高める能力を獲得し，より高い塩分濃度の土壌でも生育が可能になるような適応能力が示唆された。本実験では自生地からの採集年月が系統により異なり，採集後は塩分の影響を除いて栽培保存したので，この点においてさらに詳細な検討が必要である。

一方，ギョウギシバの発根はNaCl処理にて大きく抑制されることが明らかとなった。塩生植物でさえ発芽や発根は最も塩害を受けやすいステージである¹¹⁾ので，今後，塩類集積土壌などの緑化資材として活用する場合，留意しなければならないと考えられる。

摘 要

ギョウギシバ (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) は寒帯を除く，ほとんど全世界に分布するイネ科の多年草で，海岸，塩類集積地，路傍などに広く自生している。そこで，海岸付近や塩類集積地に自生していた系統と路傍など塩分の影響のない自生地由来の系統を供試し，塩分濃度が生育及び外部形態に及ぼす影響を系統間で比較することにより，海岸や塩類集積地などの緑化被覆資材としての可能性を検討した。

ギョウギシバはCl濃度5000 ppm (Na濃度3300 ppm) のNaCl処理でも良好な生育を示し，Cl濃度1000 ppm または3000 ppm で生長量が増加する

系統が認められた。その耐塩性の機構は、Na の地上部への移行を抑制し、K の吸収を低下させないものであることが明らかになった。また、塩分の影響のある土壤中で生育した系統は体内の Na 含有率が高い傾向にあった。各系統とも外部形態は NaCl 処理によって容易に変化した。生長量が大きく変化しなかった系統は概して外部形態の変化も小さかった。

一方、発根は NaCl 濃度に影響されやすく、塩分の影響のある土壤において緑化資材として利用する場合の留意点が残された。

謝 辞

この研究は平成6年度から8年度までの3年間に亘る岡山大学学内特定研究『特殊環境生物の機能開発と物質生産への応用』を分担して行ったものである。記して感謝の意を表す。

文 献

- 1) Holm, L., J. V. Pancho, J. P. Herberger and D. L. Plucknett : World Weeds. John Wiley & Sons Inc., New York, pp. 450 (1997)
- 2) 石川太郎：ギョウギシバの耐塩性及び外部形態に関する種内変異について。岡山大学農学部卒業論文, pp. 24 (1994)
- 3) 環境庁地球環境部編：地球環境キーワード事典。中央法規出版、東京、pp. 104-105 (1997)
- 4) Matoh, T., N. Matsushita and E. Takahashi : Salt tolerance of the reed plant *Phragmites communis*. *Physiol. Plant.*, **72**, 8-14 (1988)
- 5) 日本土壤肥科学会編：塩類集積と農業。博友社、東京、pp. 11-38, pp. 123-154 (1991)
- 6) 沖 陽子：人里の植物。日本野生植物館(奥田重俊編)、小学館、東京、pp. 55 (1997)
- 7) 清水正元：緑化用植物としてのギョウギシバに関する研究 第1報ギョウギシバの分布域について。日本雑草防除研究会 第7回講演会講演要旨, 104 (1965)
- 8) Szabolcs, I. : Soils and Salinization. in A Handbook of Plant and Crop Stress (Pessralki, M. ed.), Marcel Dekker Inc., New York, pp. 411 (1994)
- 9) 高橋英一：自然の中の植物たち。研成社、東京、pp. 143-155 (1986)
- 10) 高橋英一：生命にとって塩とは何か。農山漁村文化協会、東京、pp. 122-129 (1987)
- 11) Ungar, I. A. : Ecophysiology of Vascular Halophytes. CRC Press Inc., London, pp. 9-43 (1991)
- 12) 山内益夫：イネにおける耐塩性の品種間差の発現機構。日本土壤肥科学雑誌, **60**(3), 210-219 (1989)