湛水とその後の乾燥状態がヤナギ属の成長、生理特性に与える影響

森田裕介¹⁾・中村彰宏¹⁾

1) 大阪府立大学大学院農学生命科学研究科 Grad. Sch. of Agric. and Biol. Sci.,
Osaka Pref. Univ. nakamura@envi.osakafu-u.ac.jp

摘要: 近畿地方に分布する5種のヤナギ属苗を湛水条件に設置し、成長量および気孔コンダクタンスを計測し、湛水条件が成長と生理特性に与える影響を評価した。またこれらの湛水条件後に湛水や灌水を停止して乾燥条件を与え、過湿から乾燥状態への環境変化に対する種ごとの反応を気孔コンダクタンスの変化と枯死時の土壌含水率から評価した。不定根の形成は河川下流域に分布する種で早かった。また河川下流域に分布する種は、湛水条件下での気孔コンダクタンスの低下が小さく、耐湛水性があった。湛水後の乾燥条件では、河川下流域に分布する種は、山地、河川上流に分布する種よりも高含水率で枯死した。

キーワード: ヤナギ属, 湛水, 成長特性, 気孔コンダクタンス

MORITA, Yusuke and NAKAMURA, Akihiro : **Effects of flooding and the following dry condition on growth and physiological characteristics of *Salix* species**

Abstract : Effects of flooding and following dry condition on growth and stomatal conductance were studied for 5 *Salix* species distributed in Kinki district. Adventitious roots were formed earlier in lower river distribution than that in mountainous and upper river distribution. *Salix* species distributed in lower river floodplain had high stomatal conductance in flooding condition, so these species seemed to have resistance for flooding. These species died in relative higher water content than in mountainous and upper river distribution in the following dry condition.

Key words : *Salix*, flooding, growth characteristics, stomatal conductance.

1. はじめに

水辺や山地の荒廃地などの緑化において、再生力があり成長の速いヤナギ科植物が用いられることがある。わが国には30種以上のヤナギ属が存在し¹⁸⁾, また雑種も多い²²⁾。ヤナギ属は、山地の攪乱地にも分布する¹⁶⁾が、洪水などによる攪乱環境である河畔林の構成要素の主体である¹⁴⁾。わが国でのヤナギの分布中心域である北海道や東北、北関東の鬼怒川²³⁾や中部地方の揖斐川⁴⁾を対象にヤナギ類の分布が調べられ、土壌粒径や河道勾配などとの関係がまとめられ、北方河川沿いの種特性解明が進んでいる¹⁴⁾。

河川沿いに生育する種は、水辺での緑化樹となる。生産されている苗の植栽以外では、萌芽力の強い特性を用いる粗朶や挿し木としての導入方法がある。北海道に産する種については、種ごとの挿し木適期についての研究もなされている³⁾。播種による緑化もまた考えられる。-8℃の冷温貯蔵では、バッコヤナギ、シロヤナギの種子は1年以上発芽力を維持する¹⁹⁾が、タチヤナギなど6種は常温では45日以内と短期間に発芽力を失う¹³⁾。常温で発芽力を失いやすく、播種可能時期が限定されるため、施工時期に自由度がない場合には、播種緑化は

困難である。それゆえ、萌芽力の強い挿し木苗による緑化が現実的な手法と考えられる。

水辺の緑化では、その環境に適した種を用いる必要がある。緑化対象地は、河川沿いや湿地などの保全・修復だけでなく、修景を目的としたダム湖岸などにも及んでいる。多目的ダム湖では季節周期の水位変動が、揚水発電所に付属するダム湖では日周期の水位変動が生じ、自然界には存在し得ない水分変動条件が生じる。このような湛水や冠水などの過湿、乾燥という劣悪な環境をニッチとする野生種は存在しない。これまでに乾燥条件や湛水条件などの単一条件が成長・生理特性に与える影響評価に関する研究は多々あるが、過湿(湛水や冠水)や乾燥といった条件を複合的に組み合わせ、その影響を評価した研究は少なく¹⁾、ヤナギ属に関してはまだない。

そこで、本研究では、環境変動をともしう条件下でのヤナギ属の成長および生理特性を明らかにすることを目的とした。ダム湖岸などを含めた水辺の緑化を想定し、湛水とその後の水位低下による乾燥条件が、近畿地方に分布するヤナギ属の成長および生理特性に与える影響を評価した。そして、ヤナギ属5種の湛水への耐性について考察し、水際緑化への適応可能性について検討を行った。

2. 実験試料と実験場所

分布域が異なる近畿地方の5種のヤナギ属を用いた。2002年5月下旬に大阪府南河内郡でヤマヤナギ (*Salix sieboldiana* Blume), 4月下旬に兵庫県神崎郡でネコヤナギ (*Salix gracilistyla* Miquel) の種子を採取し, 4月下旬に京都府八幡市でアカメヤナギ (*Salix chaenomeloides* Kimura), カワヤナギ (*Salix gilgiana* Seemen), タチヤナギ (*Salix subfragilis* Anderson) の枝を採取した(表・1)。その後, 播種, または, 挿し木し, マサ土を入れた鉢(直径19.5 cm, 深さ20.5 cm)に1個体ずつ定植し, 実験試料とした。挿し穂には, 主に2~3年生で直径サイズ(概ね6~8 mm程度)がほぼ等しい枝を用いた。なお, 以下に述べるタンク中に鉢を設置して植物体を湛水するため, 深さが小さく底面に排水孔があり土壌中の水分移動が容易に行われる市販の鉢を実験に用いた。大阪府立大学圃場の温室内で以下の実験を行った。

3. 実験方法

3.1 46日間の湛水处理の影響評価

実験期間は, 2002年9月20日から2002年11月4日の46日間とした。温室内に設置したタンクの中に植物を植えた鉢を設置し, 給排水して水位を制御した。46日間の連続湛水, 5日間湛水後2日間排水を繰り返す行う湛水条件を設けた(以下, それぞれを連続湛水区, 5d湛水区と略す)。湛水時の水位は, ヤマヤナギ, ネコヤナギでは土壌から約1 cm, アカメヤナギ, カワヤナギ, タチヤナギでは3 cmとした。対照区として, 毎日, 圃場容水量を保てる程度に十分湛水する区を設けた。実験には, 各種, 各処理区あたり3~4 個体を用いた。

毎日, 枯死状況, 湛水区不定根を観察した。ほぼ毎日, 12時から13時までの間に, 各種, 各処理区あたり1枚の葉の気孔コンダクタンス (gs) を測定した。初期値として実験開始時に3~4個体, 終了時にすべての個体の葉, 茎, 根の乾燥重量, 葉面積を測定した。各処理区の環境の指標として, 実験期間中に各処理区の土壌含水率 (Wc) を測定した。

3.2 46日間湛水後の乾燥処理の影響評価

先の実験と同様の46日間の連続湛水, 5d湛水处理後に排水し, 土壌水分を減少させる処理区を設定した(以下, それぞれ湛水乾燥区, 湛水5d乾燥区とする)。対照区として, 先の

実験の対照区と同様の46日間の湛水を停止し, 土壌水分を減少させる区を設けた。湛水, 湛水の停止時に乾燥処理を開始し(2002年11月5日), 全ての葉が枯死するまで行った。各処理区の個体数は3個体とした。

毎日, 葉の枯死状況の観察, 土壌含水率 (Wc) の測定を行った。ほぼ毎日, 12時から13時までの間に, 各種, 各処理区あたり1枚の葉と, 比較のために各種の湛水した個体の葉の気孔コンダクタンス (gs) を測定した。実験終了時に各処理区の土壌の間隙率を測定した。

気孔コンダクタンスの測定は, 実験を温室内で行ったため外環境の影響を受けること, 実験に用いた種が多いこと等から, ほぼ同じ環境で測定できるように, 各種, 各処理区あたり1枚の葉のみとし, 各種の測定が少なくとも10分以内となるようにした。また, ほぼ毎日, 測定することにより, 実験期間中における生理特性の変化の傾向をみた。気孔コンダクタンスの測定にはsteady state porometer (Li-Cor社, LI-1600), 土壌含水率の測定にはスタンドアロンTDR土壌水分測定器 (Campbell社, HydoroSense) を用いた。

4. 結果と考察

4.1 46日間の湛水处理の影響評価

4.1.1 各処理区の土壌含水率 (Wc)

対照区では, 湛水1時間後の土壌含水率が約21.6 (±1.96) %であった。連続湛水区では, 約39.8 (±2.74) %に維持されていた。5d湛水区では, 湛水時に約36.3 (±2.62) %, 排水時については, 実験期間中, 湛水直前の最も低くなった日でも, 約16.9 (±1.35) %であり, 高い土壌含水率を維持していた。

4.1.2 枯死状況

湛水处理開始後2週間から枯死する種があることが報告されている⁵⁾が, 本研究では, 各種, 両湛水区において, 枯死した個体はなかった。河川沿いに生育する種だけでなく, 山地に分布するヤマヤナギ^{16,18)}も枯死しなかったことから, 耐湛水性をもつと考えられた。

4.1.3 不定根の形成

湛水条件下では不定根を形成する種があり¹⁷⁾, 本研究でも全ての種が不定根を形成した。不定根は根以外の器官から二次的に形成された根の総称である¹⁵⁾。湛水条件下における多

表・1 実験に用いた種の採取場所と分布域

Table 1 Sampling site of study species and their geographical distribution

種	採取場所	分布域 ²⁾	分布域 ¹⁰⁾	分布域 ²⁴⁾	分布域 ²³⁾	分布域 ¹²⁾
ヤマヤナギ	金剛山	山地	山地	丘陵から山地		
ネコヤナギ	市川	河川の上中流	山地の溪側	溪流沿い	扇状地帯	中流・sand
アカメヤナギ	淀川	低地の河川、池の周辺	平地・丘陵	湿地	蛇行帯から扇状地下部	下流・湿地・silt
カワヤナギ	淀川	河川の中流から下流、池の周り	平地の水辺	湿地	蛇行帯から扇状地下部	下流・silt
タチヤナギ	淀川	河辺	平地の水辺	湿地	蛇行帯から扇状地下部	下流・湿地・silt

²⁾ 橋本(1995), ¹⁰⁾ 桑島(1990), ²⁴⁾ 吉山(2000), ²³⁾ 吉川・福嶋(1999), ¹²⁾ 新山(1989)

くの植物では、根の水分吸収に対する抵抗が増加し、水分吸収量が減少する⁷⁾が、不定根は湛水条件による水分吸収量の減少を補う²¹⁾。不定根を早く形成する能力は氾濫原でヤナギ属が生育するのに重要であると考えられている²⁰⁾。本研究においては、連続湛水区で全ての種で不定根を生じた。河川沿いに生育するヤナギ属は、湛水への適応として不定根を形成しやすいが、山地に生育するヤマヤナギも不定根を形成した。各種が不定根を形成した日は、実験開始からヤマヤナギは20.4 (±4.5)、ネコヤナギは15.5 (±7.7)、アカメヤナギは6.3 (±2.0)、カワヤナギは5.9 (±2.0)、タチヤナギは5.1 (±1.1) 日後であった。礫質の土壤に生育するネコヤナギ^{11,12)}や山地に分布するヤマヤナギは、15日以上と、河川下流域に分布する種に比べて発根までに多くの日数を要した。また不定根の乾燥重量は、山地に分布する種ではほとんどなく、下流域に分布する種で多かった(表-3)。下流域に分布する種の方が、洪水による冠水や堆砂などによる低い溶存酸素量や酸化還元電位での適応能力を持っているため、短期間で不定根を形成でき、その量も多かったと考えられる。

4.1.4 気孔コンダクタンスに与える影響

図-1に、連続湛水、5d湛水区における、対照区に対する気孔コンダクタンスの比率の変化を示す。湛水条件下では、多くの植物に水分吸収量の減少、気孔の閉鎖、蒸散量の減少、

図-1 日中の相対気孔コンダクタンスの推移

Fig. 1 Diurnal courses of midday relative stomatal conductance

光合成能力の減少等の影響が起きる^{6,7,17)}。本研究でも同様に、湛水条件で気孔コンダクタンスが減少した。処理開始直後の両湛水区において、ヤマヤナギでは気孔コンダクタンスが50%程度に減少したが、他の種では大きな減少はなかった。いずれの種も、処理開始からおよそ10日以降には、両処理区の気孔コンダクタンスは対照区よりも小さくなった。表-2に実験終了前10日間における気孔コンダクタンスの比率を示す。山地に分布するヤマヤナギ、ネコヤナギは70%以下、河川下流域に分布する種は70%以上であった。連続湛水区では、5d湛水区よりも比率が小さく、湛水ストレスが大きい傾向にあったが、明瞭な相違はなかった。河川下流を中心に分布する種は、山地、河川中上流を中心に分布する種より気孔コンダクタンスの減少の割合が小さい傾向があり、湛水への耐性をもつと考えられる。

4.1.5 成長特性に与える影響(乾燥重量)

表-3に、実験開始時と終了時の乾燥重量を示す。湛水条件下では、根系のO₂濃度の低下により、根の成長量が減少、根の損傷が増加する⁸⁾と報告されており、本研究においても、すべての種の両湛水区で、対照区と比べて根の乾燥重量が小さかった。湛水条件下において氾濫原に生育するヤナギ属は山地に生育する種より多くの不定根を形成する⁹⁾。本研究でも同様に、河川下流域の種では、多くの不定根をとともう根の増加量が大きかったが、山地の種では、両湛水区における根の重量の増加がほとんどなかった。個体全体の乾燥重量でも同様に、山地、河川中上流を中心に分布する種には、ほとんど増加がなかった。

これらのことから、山地、河川中上流を中心に分布する種の成長量が河川下流に分布する種より小さくなる傾向があり、さらに、山地、河川中上流を中心に分布する種は、湛水条件下で生存はできるが、成長は困難であると考えられる。

4.1.6 根/シュート比(R/S比)

ネコヤナギ以外の両湛水区のR/S比は、対照区より小さくなる傾向があり、アカメヤナギの対照区と5d湛水区、タチヤナギの対照区と両湛水区には有意な差があった(表-3)。湛水条件下で、光合成産物を茎の成長に割り当てることは、次に起こる洪水時に、シュートの一部分を湛水面より高く出すことができ、生存率を高めることになる¹⁾といわれている。本研究においては、河川下流を中心に分布する種に多くこのよう

表-2 実験終了時の両湛水区の気孔コンダクタンス

Table 2 Stomatal conductance at the end of experiment of both flooded treatment.

種	連続湛水区(%)	5d湛水区(%)
ヤマヤナギ	59.4±6.4	69.7±8.9
ネコヤナギ	43.8±8.2	55.0±11.3
アカメヤナギ	66.3±7.6	75.3±18.2
カワヤナギ	72.5±6.1	72.7±10.6
タチヤナギ	75.4±6.9	82.9±12.2

表中の数値:対照区の気孔コンダクタンスを100%とした比率、実験終了前に測定した10日の平均値、平均値±標準偏差

表-3 実験開始時と実験終了時の乾燥重量, R/S比

Table 3 Biomass and root:shoot ratio at the beginning and the end of experiment.

種	処理	個体数	乾燥重量(g)					R/S比
			葉	莖	普通根	不定根	根(普通根+不定根)	
ヤマヤナギ	初期値	4	0.06±0.03 b	0.01±0.01 b	0.05±0.02	0	0.05±0.02 b	0.62±0.18 a
	対照区	3	0.30±0.03 a	0.11±0.03 a	0.25±0.06	0	0.25±0.06 a	0.60±0.07 a
	連続湛水区	3	0.09±0.04 b	0.06±0.03 ab	0.07±0.02	+	0.07±0.02 b	0.50±0.14 a
	5d湛水区	3	0.11±0.03 b	0.08±0.03 a	0.11±0.03	0	0.11±0.03 b	0.55±0.09 a
ネコヤナギ	初期値	4	0.10±0.03 b	0.06±0.02 b	0.11±0.03	0	0.11±0.03 b	0.71±0.08 a
	対照区	3	0.57±0.15 a	0.42±0.07 a	0.38±0.15	0	0.38±0.15 a	0.38±0.15 a
	連続湛水区	3	0.09±0.05 b	0.12±0.06 b	0.12±0.03	+	0.13±0.03 b	0.70±0.37 a
	5d湛水区	3	0.22±0.04 b	0.17±0.04 b	0.22±0.03	0	0.22±0.03 ab	0.56±0.12 a
アカメヤナギ	初期値	4	1.04±0.21 b	0.62±0.12 c	1.35±0.30	0	1.35±0.30 b	0.83±0.20 a
	対照区	3	2.22±0.12 a	1.92±0.14 b	3.54±0.39	0	3.54±0.39 a	0.86±0.09 a
	連続湛水区	4	1.30±0.18 b	1.71±0.22 b	1.32±0.51	0.51±0.16	1.83±0.42 b	0.61±0.07 ab
	5d湛水区	4	2.10±0.22 a	2.46±0.37 a	2.17±0.40	+	2.17±0.40 b	0.56±0.09 b
カワヤナギ	初期値	3	0.40±0.11 c	0.34±0.10 c	0.25±0.02	0	0.25±0.02 b	0.99±0.21 c
	対照区	3	3.44±0.77 a	3.23±0.71 ab	2.44±0.18	0	2.44±0.18 a	0.38±0.08 a
	連続湛水区	4	1.62±0.67 bc	2.29±0.72 b	1.15±0.56	0.26±0.19	1.41±0.72 ab	0.36±0.12 a
	5d湛水区	4	2.82±0.64 ab	3.99±0.69 a	1.43±0.51	0.08±0.04	1.51±0.55 a	0.22±0.04 a
タチヤナギ	初期値	4	0.78±0.13 c	0.90±0.11 b	0.94±0.07	0	0.94±0.07 c	0.56±0.02 a
	対照区	3	3.14±0.96 a	3.39±1.11 a	4.33±0.83	0	4.33±0.83 a	0.69±0.07 a
	連続湛水区	4	1.68±0.17 bc	3.49±0.50 a	1.55±0.27	0.50±0.30	2.05±0.33 b	0.40±0.07 b
	5d湛水区	4	1.85±0.29 b	4.42±1.81 a	1.75±0.28	0.10±0.09	1.85±0.32 bc	0.31±0.05 b

R/S: 根の乾燥重量(g)/シュートの乾燥重量(g), R/L比: 根の乾燥重量(g)/葉面積(m²)

表中の数値: 平均値±標準偏差, +: 少量確認, アルファベット: 有意な差を表示(p<0.05)

表-4 枯死時の土壌含水率

Table 4 Soil water content at the plant death.

種	処理	個体数	土壌含水率(%)
ヤマヤナギ	対照区	3	6.4±0.2 a
	湛水乾燥区	3	7.4±0.4 b
	湛水5d乾燥区	3	7.3±0.3 b
ネコヤナギ	対照区	3	6.8±0.2 a
	湛水乾燥区	3	7.7±0.3 b
	湛水5d乾燥区	3	7.8±0.2 b
アカメヤナギ	対照区	3	6.8±0.4 a
	湛水乾燥区	3	7.1±0.2 a
	湛水5d乾燥区	3	7.4±0.2 a
カワヤナギ	対照区	3	7.0±0.3 a
	湛水乾燥区	3	7.3±0.3 a
	湛水5d乾燥区	3	7.6±0.2 a
タチヤナギ	対照区	3	7.2±0.5 a
	湛水乾燥区	3	7.4±0.4 a
	湛水5d乾燥区	3	7.8±0.2 a

表中の数値: 平均値±標準偏差, アルファベット: 有意な差の表示(p<0.05)

表-5 乾燥処理後の生存日数

Table 5 Survival duration after drying treatment.

種	処理	個体数	経過日数
ヤマヤナギ	対照区	3	24.7±2.9 a
	湛水乾燥区	3	27.3±2.1 a
	湛水5d乾燥区	3	24.0±1.7 a
ネコヤナギ	対照区	3	18.3±0.6 a
	湛水乾燥区	3	26.3±3.8 a
	湛水5d乾燥区	3	22.7±5.0 a
アカメヤナギ	対照区	3	9.3±0.6 a
	湛水乾燥区	3	24.0±4.0 c
	湛水5d乾燥区	3	15.7±0.6 b
カワヤナギ	対照区	3	13.0±6.2 a
	湛水乾燥区	3	20.3±2.5 a
	湛水5d乾燥区	3	14.7±4.6 a
タチヤナギ	対照区	3	8.3±2.5 a
	湛水乾燥区	3	16.0±0 b
	湛水5d乾燥区	3	10.7±1.5 a

表中の数値: 平均値±標準偏差, アルファベット: 有意な差の表示(p<0.05)

な傾向があった。

4.2 46日間湛水後の乾燥処理の影響評価

実験終了時の土壌の間隙率は, 対照区で46.1 (±1.5) %,

湛水乾燥区で40.9 (±2.5) %, 湛水5d乾燥区で40.0 (±1.7) %と, 対照区と比べて両湛水乾燥区では先に与えた湛水条件により間隙率が低くなる傾向があった。先に与えた湛水条件による植物体の蒸散量の違い, 土壌の透水性の違いが, 各処理区土壌含水率の減少の程度に影響を与えた。ほとんどの種において, 土壌含水率の減少は, 対照区で最も早く, 続いて, 湛水5d乾燥区, 湛水乾燥区であった(図-2)。

4.2.2 生存期間と枯死時の土壌含水率

枯死時の土壌含水率は, 山地のヤマヤナギ, 河川中上流域に分布するネコヤナギでは, 両湛水区で有意に高かった(表-4)。下流域の3種では, 有意差はなかったが, 湛水条件によって枯死時の含水率が高い傾向にあった。これらは, 湛水条件によって植物体が過湿条件に順化したため, その後の乾燥条件への耐性が小さくなったと考えられる。

乾燥処理後の生存期間は, ほとんどの種において, 対照区, 湛水5d乾燥区, 湛水乾燥区の順に長かった(表-5)。しかし, これは, 湛水処理が耐乾燥性を増したことを意味しない。植物体の乾燥重量の増加とともに枯死までの日数が減少するため(図-3), 水分量に制限のあるポットでは, バイオマスの小さな個体では, 蒸散による土壌水分の減少速度が小さく, 乾燥ストレスが生じるのが遅かったためと考えられる。

4.2.3 生理特性に与える影響(気孔コンダクタンス)

先の実験と同様に, 処理開始時の両湛水乾燥区の気孔コンダクタンスは, 対照区と比べて低下した(図-2)。湛水処理を停止した後の両湛水乾燥区の気孔コンダクタンスについては, カワヤナギ, タチヤナギが, 対照区と同様, 土壌水分の減少とともに減少した。湛水後の乾燥条件下において *Taxodium distichum* L.の成長, 生理特性は, 対照区を乾燥させた条件と同様であり, 湛水条件は *Taxodium distichum*の

耐乾燥性に影響を与えない¹⁾。河川下流域に分布する種では、湛水停止後の気孔コンダクタンスの低下は明らかではなかった。しかし、ヤマヤナギでは、湛水停止直後の湛水乾燥区、湛水5d乾燥区での気孔コンダクタンスは、灌水した個体の

図-2 土壌含水率と日中の気孔コンダクタンスの変化
Fig. 2 Diurnal courses of soil water content and midday stomatal conductance.

図-3 個体あたりの乾燥重量の平均値と枯死までの日数
Fig. 3 Relationship between mean biomass and the survival duration.

50 % 以下に減少した。河川下流域に分布する種は、*Taxodium distichum*と同様に、湛水がその後の乾燥条件への耐性に大きな影響を与えないが、ヤマヤナギでは湛水がその後の乾燥への耐性を弱める可能性が考えられた。

以上から、河川下流域に分布するヤナギ属は、湛水条件下で不定根を早く形成し、気孔コンダクタンス、成長量の減少は小さく、山地に分布する種は逆の傾向があることが明らかとなった。ヤナギ属の分布は、土壌粒径や比高などの環境条件と対応することが明らかとなっているが、湛水への耐性も分布を規定する一要因であると考えられた。湛水が生じる水辺の緑化では、河川下流域に分布するヤナギ属を用いることが有効と考えられた。本研究における河川下流域に分布する種は、ラクウショウと同じように湛水後の乾燥条件において、湛水条件が耐乾燥性に影響を与えないと考えられた。しかし、本実験での乾燥条件は日射量が小さく、気温が高くない秋季に行った。それゆえ、夏季における急速な乾燥条件下では、ヤマヤナギのように湛水条件が耐乾燥性に影響を与える可能性を否定できない。今後、より強い乾燥ストレス条件下での評価が必要である。現時点ではこれらの危惧を考慮して、湛水後の水位低下によって乾燥条件が生じる水辺空間の緑化を行う場合には、水位低下時でも土壌水分の減少を緩和するような、保水性のある土壌基盤を整備し、土壌水分の変動を小さくすることで、植栽樹木のストレスを軽減できると考えられた。

引用文献

- 1) Elcan, J.M. and Pezeshki, S.R. (2002) Effects of flooding on susceptibility of *Taxodium distichum* L. seedlings to drought. *Photosynthetica*, 40(2):177-182.
- 2) 橋本光政 (1995) 兵庫県の樹木誌, 兵庫県, 678pp.
- 3) 東三郎 (1964) 砂防植生工におけるヤナギ類導入に関する研究, 北大農演報 23(2):151-228.

- 4) 石川慎吾 (1988) 揖斐川の河辺植生 I. 扇状地の河床に生育する主な種の分布と立地環境, 日生態会誌 38:73-84.
- 5) Kobayashi, T., Taga, A. and Okinaka, K. (1995) The effect on flooding on water relations, photosynthesis and growth of four tree species with different site preferences. J. Jap. Soc. Reveget. Tech., 20:150-157.
- 6) Kozlowski, T. T. (1982) Water supply and tree growth. Part II. Flooding. Forestry Abstracts, 43: 145-161.
- 7) Kramer, P.J. and Kozlowski, T.T. (1960) Physiology of trees. McGraw-Hill, New York, 642pp.
- 8) Kramer, P. J. (1969) Plant and soil water relationships : a modern synthesis. McGraw-Hill, New York, 482pp.
- 9) Krasny, M. E., Zasada, J. C. and Volt, K. A. (1988) Adventitious rooting of four *Salicaceae* species in response to a flooding event. Can. J. of Bot., 66:2597-2598.
- 10) 桑島正二 (1990) ヤナギ科, 大阪府植物目録, 近畿植物同好会, 大阪, pp.99-101.
- 11) 新山馨 (1987) 石狩川に沿ったヤナギ科植物の分布と生育地の土壌の土性, 日生態学会誌 37:163-174.
- 12) 新山馨 (1989) 札内川に沿ったケシヨウヤナギの分布と生育地の土性, 日生態会誌 39:173-182.
- 13) Niiyama, K. (1990) The role of seed dispersal and seedling traits in colonization and coexistence of *Salix* species in a seasonally flooded habitat. Ecol. Res., 5:317-331.
- 14) 新山馨 (2002) 河畔林, 水辺の生態学, 東京大学出版会, pp.61-93.
- 15) 沼田真一 (1974) 生態学辞典, 築地書館, 東京, p.341.
- 16) 大橋広好 (1997) ヤナギ科, 植物の世界 第6巻, 朝日新聞社, 東京, pp.226-256.
- 17) Pereira, J.S. and Kozlowski, T.T. (1977) Variations among woody angiosperms in response to flooding. Physiol. Plant, 41:184-192.
- 18) 佐竹義輔 (1989) 日本の野生植物 木本 I, 平凡社, 東京, 321pp.
- 19) 佐藤義夫 (1955) ヤナギ科種子の生存期間, 北大農演報 17(2):225-266.
- 20) Schaff, S. D., Pezeshki, S. R. and Shields, F. D. (2002) Effects of pre-planting soaking on growth and survival of black willow cuttings. Restor. Ecol., 10(2):267-274.
- 21) Sena Gomes, A. R. and Kozlowski, T.T. (1980) Growth responses adaptations of *Fraxinus pennsylvanica* seedling to flooding, Plant Physiol., 66:267-271.
- 22) 八島光雄・斎藤清 (1998) 東北大学理学部付属植物園 ヤナギ園栽植目録 (I), 宮城の植物 22:25-34.
- 23) 吉川正人・福嶋司 (1999) 鬼怒川河辺におけるヤナギ群落の分布と形成様式, 植生学会誌 16:25-37.
- 24) 吉山寛 (2000) ヤナギ科, 木に咲く花 離弁花1, 山と溪谷社, 東京, pp.38-121.

(2003.6.21 受理)