水ストレス処理及び冠水栽培がタマリュウの耐乾性に及ぼす影響

Influence the Water-stress Treatment and Submerged Cultivation would affect on Drought Resistance of *Ophiopogon japonicus* Ker. forma *nanus* hort.

黄 仁倍* 飯島健太郎** 近藤 三雄***

Inbae HWANG Kentaro IIJIMA Mitsuo KONDO

Abstract : This study aims to verify influence the water-stress treatment would affect on drought resistance and to find possibility of *Ophiopogon japonicus* Ker. forma *nanus* hort. to be utilized as a plant for the afforestation on the roof. At the same time, it is also intended to verify influence the submerged cultivation would affect on drought resistance. The method chosen has provided three experimental sections, that is, water-stress treatment, water-stress un-treatment and submerged treatment sections respectively, measuring water-potential of leaves, roots and soil for the purpose of comparative analysis.

The result through the water-stress treatment has indicated that (1) water-potential value of leaves has become lower (2) water-potential of soil where water-potential of leaves starts to fall has gone lower (3) water-potential value of leaves and roots to be damaged has fallen (4) submerged treatment has had no effect on the lowering of drought resistance.

Therefore, it appears evident that the water-stress treatment would be effective for enhancing the possibility of introducing *Ophiopogon japonicus* Ker. forma *nanus* hort. under the severe environmental conditions wherein the thin-layered ground is unavoidable in terms of load limit problem such as afforestation on the roof having the slant.

Keywords: Roof afforestation, Water-stress treatment, Drought resistance, Water-potential, Submerged cultivation

キーワード: 緑化屋根, 水ストレス処理, 耐乾性, 水ポテンシャル, 冠水栽培

1. 研究目的

近年、環境対策としての屋根緑化が急速な勢いで展開しているが、荷重制限の問題から軽量化を余儀なくされ、乾燥しやすいことなど導入される植物にとってはかなり厳しい環境条件となっている。現状ではセダム類による施工が中心となっているが、緑化の多様性を図るためにも新たな緑化用素材の開拓が急務となっている。また、薄層地盤や直射日光が当たるなど、厳しい環境条件となる勾配屋根へ、より確実な活着を図るためには馴化処理後の導入が効果的であると考えられる。

植物が持つ乾燥耐性機構としては回避性と耐性が上げられ¹⁾、水ストレスを与えると浸透調整が起こり、組織、個体の機能が維持できる耐性を獲得する報告²⁾がある。

本研究では新しい緑化屋根用植物として維持管理の省力化が期待されるタマリュウ (*Ophiopogon japonicus* Ker. forma *nanus* hort.) を対象として、①水ストレス経験の有無による耐乾性の差異についての検証を試みた。なお、筆者らの研究⁵⁾によればタマリュウは冠水地で生存期間 175 日間以上であり、極めて冠水抵抗性が高いことが報告されており、この特性を生かした冠水栽培 (夏期等の灌水管理を省力化する目的で休耕田等に水を張り、そこにタマリュウのポット栽培品を漬ける。) が耐乾性に影響を及ぼすか否かの検証も併せて行った。次いで、より詳細な反応を調査するために②給水停止後の生体重量と水ストレスの進行過程について検討した。

2. 研究内容ならびに方法

(1) 異なる土壌水分条件が耐乾性に及ぼす影響について

本実験の供試植物であるタマリュウは完成型の緑化を図るためにマット栽培も行われている。その際根長 3~6cm の断根処理でも無処理と同程度の生育を示すという報告⁶⁾があり、本研究でも

株分けして根を約 3 cm に切断し、大学研究棟屋上 (東京都世田谷区) にて、相対照度 50% の条件下で 1 年間 (2000.4~2001.3) 養生したものを使用した。この期間中に開花・結実を観察されなかった。1/5000a ワグネルポットに砂利 12cm を入れ、屋根緑化の薄層の植栽基盤を想定し、根が下層に入り込まないようにするため、その上に防根シートを引き、関東火山灰表土を 5 cm 厚に充填し、葉数 42 枚、葉長 7.2cm (45 個体の平均値) の供試体を 1 ポット当たり 3 個体ずつ 2001 年 3 月 29 日に植え付けた。2001 年 4 月 1 日に人工環境気象室 (設定温度昼 30℃/夜 25℃・湿度 75%・照度 23Klux) にて、馴化処理区、対照区、冠水処理区の 3 実験区に 8 ポットは水ポテンシャル測定用、8 ポットは枯死率測定 (供試した 24 個体の内の枯死した個体の占める割合) 用の 16 ポットを設けてから 1 ヶ月間は全実験区共に十分な給水を行った。その後、馴化処理区では給水を停止し、予備実験から得た結果に基づき、葉の萎れ現象が観察された際、すなわち葉の水ポテンシャルが -3MPa 付近に達した際、給水する方法で馴化処理を行った。牛島の研究⁷⁾によるとふつうの草本では -2.5MPa~-3.0MPa が枯死するかどうかの分岐点付近であるとの指摘があるが、タマリュウにおいてもそれに非常に近い値と言える。この時点での土壌の水ポテンシャルは -5MPa であり、この時点で給水するために 16 日間隔で供試体の葉には水が掛らないように給水を行った。一方、対照区は根の吸水が停止しないように 4 日おきに給水し、これにより常に土壌の水ポテンシャルを 0~-0.3MPa に維持した。冠水処理区ではポットの水が漏れないようにポットの排水溝をゴム腺で閉める方法で、水を加えながら飽和水分状態を維持した。(表-1)

このような土壌水分条件の下で 3 ヶ月間管理した後、全実験区のポットへの給水を停止し、1 日目から 35 日目まで 1 週間ごとに土壌・葉・根の水ポテンシャルの変化を計測し、馴化処理の有

*株式会社緑花あずみ造園部 **桐蔭横浜大学工学部医用工学科 ***東京農業大学地域環境科学部造園科学科

無、また、冠水処理が耐乾性に及ぼす影響を調べた。

水ポテンシャルの測定には Dew Point Microvoltmeter-HR33 T,C-52 Sample Chamber (米国 WESCOR 社製) を用い、9.5 (直径) × 4.5mm (深さ) のチャンバーに各個体の先端・中心・基部の葉を平均的に取り、3 反復の測定を行った。

(2) 生体重量の減少に伴うタマリユウの水ストレス反応について

本実験は水ストレス処理の有無によってタマリユウが示す乾燥の進行程度の差異について調べた。草丈約 10cm の供試体を用い、株分けと断根処理を行わず、大学研究棟屋上 (東京都世田谷区) にて、相対照度 50% の条件下で 2 ヶ月間 (2001.6-2001.7) 養生した後、実験 (1) と同じポットに 1 個体ずつ植えつけ、人工環境気象室 (実験 (1) と同様) に 24 ポットを設置 (2001.8.4) した。10 日間十分に給水しながら養生した後、給水を停止することで水ストレス処理を行った。給水停止後、観察によって 6 日目から葉の萎れ現象が見られたため、7 日目には再給水を行った (水ストレス処理区)。7 日目の給水直前の葉の水ポテンシャルは -3MPa (± 0.17) を示しており、水ストレス処理を行う前の葉の水ポテンシャルは -0.62MPa (± 0.12) と測定されたことから、Hsiao の水ストレス程度分類⁸⁾ によると厳しい水ストレス状態 (植物個体の水ポテンシャルが十分な水分状態に生育する植物個体の水ポテンシャルよりも -1.5MPa 以上低い場合) をはるかに上回るものであった。その後、水ストレス処理を行っていない供試体 (対照区) と共に根の土を除去し、人工気象環境室 (温度 30°C ・湿度 75%・照度 23Klux) の中で個体を乾燥させながら、生体重量を持続的に 12 時間測定し、体内水分が 10% 減少するごとにつまり、生体重量比が各 90%, 80%, 70%, 60%, 50%, 40%, 30% になった時点で葉と根の水ポテンシャルの変化を計測した。また、葉の被害状況を観察するためにプラスチックの育苗箱に供試体を 2 個ずつ植えつけ、飽和含水量に達するまで給水を行った。その後、7 日間養生管理を行ってから被害状況 (全体の葉面積に対し褐変した葉の割合) を測定した。

表-1 実験区の詳細 (人工環境気象室内)

実験区	馴化処理区	対照区	冠水処理区
土壌水分	0~ -5MPa	0~ -0.3MPa	飽和水分状態
給水間隔	16 日	4 日	常時

注) 温度: 昼間 30°C /夜間 25°C ・湿度: 75%・照度: 23Klux

3. 実験結果

(1) 異なる土壌水分条件が耐乾性に及ぼす影響について

(i) 馴化処理の有無による地上部の生育状況 (表-2)

実験区に設置前の供試個体の平均葉数は 42 枚、葉長は 7.2cm であったが、設置してから全ての実験区で古い葉の枯葉化と新葉の展開が同時に行われ、3 ヶ月後の葉数は馴化処理区が 59 枚、対照区は 72 枚、冠水処理区が 63 枚と測定され、全実験区で葉数の増加が見られた。葉長は馴化処理区が 6.3cm、対照区が 6.5cm、冠水処理区が 6.1cm と実験前より短くなったが、全実験区で葉面積の増加が認められた。特に対照区は最も旺盛な生育を見せており、枯葉化も少なかった。冠水処理区では設置初期の段階で著しく枯葉化が進行したが、葉の生育量は対照区よりは少なかったが、馴化処理区に比べると若干、多かった。馴化処理区は馴化処理を与えるたびに枯葉化が顕著に見られた。また、馴化処理区と冠水処理区はほぼ新葉に更新された。特に、馴化処理によって更新された新葉は、同じ馴化処理を与えても枯葉は見られなかった。このように、異なる土壌水分に適應しながら、展開した新しい葉は既存の葉に比べ、より低い土壌水分条件まで適應できると共に葉

の色合いも濃くなることが観察された。また、全実験区ともに開花・結実は見られなかった。

(ii) 馴化処理の有無による地下部の生育量 (写真-1)

根数は馴化処理区と対照区の間では有意差は見られなかったが、根の伸長量は対照区の方が多かった。観察によれば、馴化処理区では土壌水分の減少に伴い、根 (1 次側根) の生育が促進されることが確認されたが、馴化処理による土壌乾燥の進行に伴い、枯損するものも生じ、結果的には根の生育が少なくなったと言える。対照区の供試体は根組織の破壊が見られず、1 次側根の数も多く、根長も長かった。一方、冠水処理区は既存の根はほとんどが根腐れしたが、新しい根 (水耕根) に更新された。このような水耕根は全て 1 次根であることが観察された。

(iii) 給水停止後の土壌、葉、根の水ポテンシャルの変化 (図-1)

給水停止後、全実験区で土壌の水ポテンシャルの低下が進行した。14 日目に馴化処理区の土壌の水ポテンシャルは -5.7MPa 付近に達し、他の実験区 (対照区 -2.2MPa ・冠水処理区 -2MPa) より早く低下した。馴化処理区では葉 -0.98MPa 、根 -0.65MPa に対し、対照区では葉 -1.17MPa 、根 -0.85MPa 、冠水処理区では葉 -1.07MPa 、根 -0.88MPa を示しており、この時点までは根の水ポテンシャルが葉の水ポテンシャルを上回っていた。全実験区で葉と根の水ポテンシャルが著しく低下し始めたのは 3 週目からであり、給水停止後 21 日目に馴化処理区では土壌の乾燥進行速度が速く、土壌の水ポテンシャルが -10MPa 付近にまで低下し、自然風乾状態となったが、葉の水ポテンシャルは $-$

表-2 土壌水分条件の違いによる地上部の生育量の変化

土壌水分条件	葉数 (枚)	葉長 (cm)	増加比 (%)	根数	根長 (cm)
馴化処理区	59.0 b (7.31)	6.3 a (0.36)	20.6 b	107	9.7
対照区	72.0 a (5.52)	6.5 a (0.33)	52.1 a	102	13.5
冠水処理区	63.0 b (4.03)	6.1 a (0.43)	25.6 b	140	11

注 1) 異なるアルファベットの間には Duncan の多重検定により、5% 水準で有意差があることを示す。

注 2) () 内は Standard Deviation。

注 3) 増加比 (%) は実験直前の葉面積に対し、人工気象環境室の異なる土壌水分条件下で 3 ヶ月間管理後の葉面積の比を示す。

写真-1 異なる土壌水分処理 3 ヶ月後の地上部と地下部の生育量の変化

注) 写真の上段から馴化処理区・対照区・冠水処理区を示す。

図-1 異なる土壌水分条件による給水停止後の葉・根・土壌の水ポテンシャルの変化

表-3 給水停止日数に伴うタマリユウの枯死率 (単位: %)

	馴化処理区	対照区	冠水処理区
21 日目	—	—	—
28 日目	33.3	33.3	4.2
35 日目	87.5	100	50
42 日目	100	—	100

2.8MPa, 根の水ポテンシャルは-3.9MPaを示した。対照区と冠水処理区の土壌の水ポテンシャルはほぼ同様に低下したにも関わらず、給水停止後、21日目には冠水処理区の葉の水ポテンシャルが-2.5MPaを示し、-3.5MPaを示した対照区に比べ、低下程度は少なかった。しかし土壌の水ポテンシャルは馴化処理区では-10MPaを示した反面、対照区では-5MPa付近を示し、馴化処理によって生存臨界点に到達する土壌の水ポテンシャルは低くなったと言える。

(iv) 給水停止後の枯死率 (表-3)

対照区では萎れが全体的に進行する傾向であったが、馴化処理区と冠水処理区では古い葉からまた、葉の先端から徐々に被害を

図-2 生体重量の減少に伴う根・葉の水ポテンシャルの変化

受けることが観察された。給水停止後21日目に枯死に至っていなかったが、葉の被害が観察され、馴化処理の有無によって、多少の差はあったが、水ポテンシャルが-3MPa付近に達するとタマリユウは葉の先端から被害を受け、タマリユウの生存臨界点は概ね-3MPa前後であることが推察された。給水した後、14日目までに葉の成長が認められず、給水停止後28日目に降枯死したと思われる。馴化処理区と対照区の枯死率は共に33.3%を示したが、冠水処理区では4.2%に過ぎなかった。35日目には対照区の全供試体は枯死したが馴化処理区では87.5%であった。一方、冠水処理区では枯死の進行程度が少なく、35日目にも50%に過ぎなかった。

(2) 生体重量の減少に伴うタマリユウの水ストレス反応について

(i) 水ポテンシャルの変化 (図-2)

根の水ポテンシャルは生体重量比100%の時には水ストレス処理区と対照区共に-0.6MPa付近を示し、差が見られなかった。しかし、葉は対照区で-0.6MPaを示したが、水ストレス処理区は-1.4MPa付近であった。対照区は生体重量の減少に伴い、葉と根の水ポテンシャルは徐々に低下した。根の水ポテンシャルは生体重量比80%から急激に低下し始め、生体重量比50%の時に-3MPa付近に達し、40%の時点では-5.9MPaにまで低下したが、葉の水ポテンシャルは生体重量比50%までは低下程度は少なく-1.7MPaを示し、40%の時点では-2.7MPa付近に達した。

水ストレス処理区の供試体は生体重量比80%までは根の水ポテンシャルが葉の水ポテンシャルを上回ったが、70%の時点では根の水ポテンシャルが低くなった。また、葉の水ポテンシャルは生体重量比70%までは-1.4MPa~-1.6MPaを示し、ほとんど変化が見られなかったが、その後は次第に低下し、生体重量比40%の時点では葉の水ポテンシャルが-3.7MPaに低下し、根の水ポテンシャルは-6.2MPaにまで達した。水ストレス処理の有無にかかわらず、根は葉に比べ、急激な水ポテンシャルの低下を見せたが、水ストレス処理区の供試体は根の水ポテンシャルの低下程度が大きくなった。また、水ストレス処理によって葉の水ポテンシャルが0.8MPaも低くなった。既往研究において浸透調整により、細胞内の濃度が高くなったこと⁹⁾による水ポテンシ

ル値の低下についての知見があるが、本研究についても土壌の乾燥状態への適応性が増加した可能性がある。

(ii) 被害状況 (表-4, 写真-2・3)

対照区の供試体は生体重量比 50% (-1.68MPa) から葉の被害が見られ、40% (-2.73MPa) の時点では 35.2% の葉が被害を受けたが、水ストレスを処理した供試体は生体重量比 50% (-2.89MPa) の時にも被害が見られず、40% (-3.71MPa) の時点では 25.4% の葉が被害を受けた。一方、根は対照区の供試体は生体重量比 60% (-2.2MPa) の時点から被害が見られ、40% (-5.9MPa) になるとほとんどの根が被害を受けたが水ストレス処理区では生体重量 50% でも被害が観察されなかった。

写真-2 水ストレス処理区と対照区の根の被害状況

注1) 写真の上: 水ストレス処理区, 下: 対照区

注2) 各写真の左: 生体重量比 50%, 右: 生体重量比 40%

表-4 水ストレス処理区と対照区における生体重量の減少に伴う枯葉率の変化 (単位: %)

生体重量比 (%)	枯 葉 率	
	水ストレス処理区	対照区
60	0 (-2.12)	0 (-1.37)
50	0 (-2.89)	3.7 (-1.68)
40	25.4 (-3.71)	35.2 (-2.73)

注) () 内の数値は葉の水ポテンシャルを示す

4. 考察

実験 (1) ではタマリユウの緑化屋根を想定し、5 cm の土層厚を用いたため、馴化処理によって根が土中深く伸びることはなく、耐乾性の獲得と根成長との関係は検証できなかった。

馴化処理区と対照区の生育量は葉数・葉長・根数・根長の全ての調査項目で違いが確認されたことからタマリユウはまず乾燥耐性機構として乾燥条件に置かれた場合には、体内水分の損失を少なくするため葉面積を減少させ、蒸散量の減少をもたらす回避性の機構²⁾を持ち、水ストレスに適応する可能性が示唆された。

また、馴化処理によって古い葉の落葉と新葉の展開が観察され、乾燥土壌条件に適応するために葉の更新が活発に行われたことが推察された。次に水ストレス処理によって①根の水ポテンシャルは差が見られなかったが、葉の水ポテンシャルの値は水ストレス処理によって低くなったこと、②水ストレス処理前は根の水ポテンシャルの低下に伴い葉の水ポテンシャルも低下したが、水ストレス処理を与えることによって根の水ポテンシャルが低下しても葉の水ポテンシャルは長く維持できる事が分かった。③馴化処理により、葉と根は水ポテンシャル値をより低下させることが可能になり、被害も少なくなることが観察された。つまり、より乾燥した土壌条件におかれても水ストレス経験によって細胞の溶質濃度が高まり、浸透ポテンシャルが低下するいわゆる、浸透調整が行われた可能性もあるが、その解明には至っていない。

しかしながら本実験ではタマリユウは馴化処理によってより低い土壌水分条件まで耐えられることが明らかとなり、薄層人工地盤など厳しい環境条件へのタマリユウの導入可能性を高めるためには水ストレス処理が有効であると言える。また、タマリユウの栽培方式の1つと考えられる冠水栽培をした個体の水ストレス耐性の低下が懸念されたが、冠水処理によって新しい根 (水耕根) に更新されても、葉・根の水ポテンシャルの減少程度も少なく、枯死率も低かったことから水耕根は耐乾性の低下を促進しないことが明らかになった。しかし、水耕根を発生させたタマリユウの栽培品は通常の土壌水分条件になると、再び、環境に適応するために新しい根に更新されることが考えられ、水耕根と土壌との親和性や乾燥耐性の変化など懸念される点も多く、この点についてはさらなる検証が不可欠である。

引用文献

- 1) Levitt, J. (1980) Responses of Plants to Environmental Stresses (2nd ed.), Academic Press.
- 2) Begg, J. E and N. C. Turner (1976) Crop water deficits. Adv. Agron., 28, pp.161-217.
- 3) Vidal, A. and M. Arnoux (1982) Drought tolerance processes in soybean. Biol. Plant., 23, pp.431-441.
- 4) Wright, G. C. et al. (1983) Difference between two grain sorghum genotypes in adaptation to drought stress. III. Physiological responses. Aust. J. Agric. Res., 34, pp.637-651.
- 5) 近藤三雄 (1986) : 濁水・流水条件下における緑化用植物の冠水抵抗性について: 造園雑誌 49(5), 114-119
- 6) 鎌田正行 (2001) : 早期被覆のためのマット状苗生産技術と今後の方向: 農業及び園芸 76(9), 1007-1012
- 7) 牛島忠広 (1979) : 植物の水ストレスと乾燥耐性: 芝草研究 8(2), 97-104
- 8) Hsiao, T. C. (1973) Plant responses to water stress. Ann. Rev. Plant Physiol., 24, pp.519-570.
- 9) McCree, K. J. et al. (1984) Carbon balance of sorghum plants during osmotic adjustment to water stress. Plant Physiol., 76, pp. 898-902.