低木改良品種における CO₂ 吸収量および蒸散量の定量的比較評価

赤阪幸司^{*1)}・大藪崇司¹⁾・堀川真弘²⁾・澤田佳宏¹⁾・
山本 聡¹⁾・藤原道郎¹⁾

- 1) 兵庫県立大学大学院緑環境景観マネジメント研究科緑環境景観マネジメント専攻 Grad. Sch. of Landscape Design and Management. Department of Landscape Design and Management, Univ. of Hyogo.
- 2) トヨタ自動車株式会社 バイオ・緑化事業部 Biotechnology & Afforestation Business Div. TOYOTA MOTOR CORPORATION

摘要: 都市緑化において、植物がもつ CO₂ 吸収効果やヒートアイランド現象の緩和効果が注目されている。そのような背景の中、低木類を品種改良し、CO₂ 吸収能力や蒸散能力を高めた植物が開発されつつある。本研究は、改良品種であるヴァルト (*Gardenia jasminoides* J.Ellis 'Wald') とキルシェレッド (*Salvia microphylla* 'Kirsch Red') の 2 種と、既存の一般的な造園低木の CO₂ 吸収量および蒸散量について定量的に比較評価を行った。その結果、ヴァルトは改良前のコクチナシに比べ、乾燥重量において 67% 高い増加率を示し、光合成速度も高い値であった。一方、キルシェレッドは改良前のチェリーセージと比較して蒸散速度が高い値を示した。

キーワード: CO₂ 固定, キルシェレッド, ヴァルト, ヒートアイランド現象

AKASAKA, Koji, OYABU, Takashi, HORIKAWA, Masahiro, SAWADA, Yoshihiro, YAMAMOTO, Satoshi, and FUJIHARA, Michiro : **Comparatively quantitative evaluation of CO₂ uptake and transpiration in landscape shrubs and the improved varieties.**

Abstract: The effects of planting in the city on CO₂ uptake and alleviation of urban heat island phenomenon has received much attention recently. Varieties of general landscape shrubs with improved CO₂ absorbing and transpiration ability have been developed. In this study, differences of the improved varieties and the general landscape shrubs were evaluated by comparing CO₂ absorption and transpiration quantitatively. In the results, *Gardenia jasminoides* J.Ellis 'Wald' showed 67 % higher growth rate in dry weight, and higher photosynthetic rate than the original. On the other hand, *Salvia microphylla* 'Kirsch Red' showed high transpiration ability compared with the original.

Key words: CO₂ uptake, *Salvia microphylla* 'Kirsch Red', *Gardenia jasminoides* J.Ellis 'Wald', urban heat island

1. はじめに

都市緑化は CO₂ の吸収源として、28 万 t-CO₂ (基準年度排出量の 0.02 %) ¹⁾ の吸収が見込まれ、地球温暖化防止に貢献するとされている ¹⁾。さらに、都市緑化等は国民にとって最も身近な吸収源対策であり、その推進は実際の CO₂ 吸収源としての効果はもとより、地球温暖化対策の趣旨を普及させる効果が期待できるとしている。また、緑化植物の蒸散作用により気温の上昇を抑える効果があり ^{6,9,14)}、ヒートアイランド現象の緩和には、緑化の推進が有効であるといえる。近

年、緑の基本計画などの行政計画においても、植物がもつ CO₂ 吸収効果やヒートアイランド現象緩和効果に着目した緑化政策が盛り込まれるなど、植物の環境改善効果に期待が寄せられている ^{11,12,15)}。そのような背景の中、沿道の緑化や外構、屋上の緑化等に利用される低木類を品種改良し、気孔サイズを大きくし CO₂ 吸収能力や蒸散能力を高めた植物が開発されつつある ^{4,18)}。これらの改良品種を導入するには、まずその効果を定量的に評価することが重要である。

緑化樹木の CO₂ 吸収量の研究は、イチョウやクスノキなどの高木を対象として森崎 ⁷⁾、藤原ら ²⁾、市村・黒澤 ³⁾ によっ

* 連絡先著者 (Corresponding author) : E-mail : aka_green_coast@yahoo.co.jp

て行われている。しかしながら、屋上や外構など小規模緑化にも植栽可能な低木類を対象とした事例は殆どない。また品種改良の効果について、長期間に渡って改良前の植物と比較評価した事例はなく、年間を通じたフェノロジーや生理機能についての報告はない。

そこで本研究は、改良品種とその母品種や一般的な造園低木について、乾燥重量の変化、最大光合成速度、最大蒸散速度を定量的に比較評価することを目的とした。

2. 材料と方法

2.1 植物材料および生育環境

本研究で対象とする小低木の植物種として、コクチナシ (*Gardenia jasminoides* J.Ellis var *radicans*) の改良品種であるヴァルト (*G. jasminoides* J.Ellis 'Wald'), チェリーセージ (*Salvia microphylla* Kunth) の改良品種のキルシェレッド (*S. microphylla* 'Kirsch Red') の2種とした(図-1)。ヴァルトに対し、改良前のコクチナシ、キルシェレッドに対してチェリーセージを比較対照種とした。また、「社団法人日本植木協会 平成21年度供給可能量調査」¹⁶⁾を参考に、一般的に小規模緑化に導入され、兵庫県の造園低木として供給量が多く、調達も容易なヒラドツツジ(*Rhododendron*×*pulchrum*)を対照種として加えた。

2009年11月8日、9日に各種30株ずつを直径20cmポットに定植し、その後、兵庫県立淡路景観園芸学校内の温室にて2010年12月まで1年間育成した。灌水頻度は夏期3日に1度、冬期7日に1度、施肥は初期肥料(力3号, N:P:K=3:6:4; 日本林業肥料)30gのみとした。併せて、育成期間中の温度環境を把握するため、サーミスタ温度計(TR-73U, T&D Corporation)を使用して測定し、月平均気温のデータとして整理した。また、温室外と都市域との比較として、淡路市郡家および大阪市の月平均気温を気象庁観測地点データ⁵⁾から取得した。

図-1 改良品種と母品種および比較対照種

Fig. 1 Improved Varieties and original trees.

2.2 樹形と乾燥重量の測定

藤原ら²⁾・吉水ら¹⁹⁾・中村ら⁸⁾は、樹高もしくは胸高直径と木質部乾燥重量の関係式を作成し、その関係式に基づいて樹形からCO₂固定量を推定した。また、森崎⁷⁾の高木を対象とした報告によると、木質部乾燥重量の年間増加量を把握することから年間CO₂固定量を推測できるとしている。よって、改良品種と母品種の樹形の成長傾向とCO₂固定量の間を把握するため、樹形と乾燥重量の測定を行った。測定した成長量と乾燥重量の結果からその関係を累乗近似で示した。

樹形の測定は全個体の樹高(H)と根元直径(D)を測定項目とした。なお、根元で2本以上に幹が分かれた個体の場合は、各々の根元径の総和の70%をもって根元直径とした²⁰⁾。また、本研究では樹形測定で得られた数値から、根元直径×根元直径×樹高(cm³; 以下D²H)の変動を成長量の指標として用いた。

乾燥重量は、各種2個体(2009年12月のみ3個体)を対象に、80℃に設定した乾燥機で48時間乾燥させた後、重量を測定した。これらの測定は2009年12月から四半期ごとに実施し、2010年12月まで5回行い、種毎の変化傾向を比較した。

2.3 最大光合成速度および最大蒸散速度の測定

各樹種の単位時間・面積あたりのCO₂吸収能力や蒸散能力を明らかにするために、個葉レベルの光合成速度および蒸散速度を測定した。測定には、携帯用光合成蒸散測定装置LI-6400(LI-COR社製)を使用した。測定対象として、各種個体サイズが平均値に近い植物体2個を抽出し、当年葉を測定葉とした。測定時の測定部内環境は、温度は外気温、CO₂濃度は400ppmとし、光合成有効放射(PAR)を1,500, 1,000, 600, 300, 100, 50, 30, 20, 10, 0 μmol/m²/sの順に120秒間隔で変化させた。また光合成反応の日中低下を避けるため、測定は午前中に行った¹³⁾。測定頻度は、樹形と乾燥重量の測定と同時に、四半期ごとに実施し、計5回行った。

3. 結果

3.1 温室の気象環境

対象植物の生育を行った温室(淡路市)の平均気温は、温室外に相当する淡路市郡家と比較すると年間を通じて高く、大阪市と比較すると、夏期(7-9月)の差はほとんど見られないが、冬期、特に2010年1月は4.0℃高いことが明らかとなった(図-2)。

3.2 樹形と乾燥重量の測定結果

ヴァルト・コクチナシ・ヒラドツツジの1年間のD²H推移は3種とも3月から成長が認められ、1年間の増加量は、改良品種であるヴァルトが3,519 cm³から7,658 cm³(4,139 cm³の増加)、母品種のコクチナシが3,232 cm³から4,526 cm³(1,294 cm³の増加)となり、コクチナシに比べヴァルトの生育が良かった。またヒラドツツジは6,166 cm³から

12,732 cm³ (6,566 cm³ の増加) であった (図-3)。

キルシェレッド・チェリーセージの 1 年間の D²H 推移については、母品種のチェリーセージが 324 cm³ から 2,004 cm³ (1,680 cm³ の増加)、改良品種のキルシェレッドが 362 cm³ から 1,724 cm³ (1,362 cm³ の増加) であった。また、2 種とも 6 月まで成長が認められたが、夏期の花序や枝の枯れにより、樹高が低下したことにより 9 月の値が低下した (図-4)。

対象種各 2 個体ずつの乾燥重量の平均値の変化について、2009 年 12 月と 2010 年 12 月の値を 1 年間の増加率として比較すると、ヴァルトは 218 % の増加、コクチナシは 151 % の増加であり、ヴァルトが高い増加を示した (表-1)。同様にキルシェレッド 213 % 増、チェリーセージは 347 % 増であり、母品種のチェリーセージと比較し、1 年間の増加率は小さかった。また、ヒラドツツジは 216 % の増加であった。ヴァルトとコクチナシ、キルシェレッドとチェリーセージの D²H と乾燥重量との関係について、図-5,6 に示した。決定係数は、

図-2 育成温室と淡路市および大阪市の月平均気温の変化

Fig. 2 Change in monthly mean temperature of Greenhouse, Awaji City and Osaka City

図-3 ヴァルトと対照種の D²H の推移 (平均値)

Fig. 3 The D²H Changing of *G. jasminoides* J.EllisWald' and the others.

図-4 キルシェレッドと対照種の D²H の推移 (平均値)

Fig. 4 The D²H changing of *S. microphylla* 'Kirsch Red' and *S. microphylla* Kunth.

表-1 乾燥重量の推移と 1 年間の増加

Table 1 Transition and increasing rate of dry weight.

	2009 12月	2010 3月	6月	9月	12月	1年間の平均 増加分 (g)	1年間の平均 増加率 (%)
ヴァルト	40.4	29.0	35.7	44.9	68.6	71.1	
	31.5	33.3	42.6	57.9	75.2		
平均値	33.6	34.5	43.8	63.3	73.2		39.5
コクチナシ	75.1	68.7	88.5	74.6	98.7	106.5	
	70.8	85.7	83.4	101.9	109.3		
平均値	71.5	87.1	79.0	100.3	107.9		36.4
キルシェレッド	7.6	9.9	15.5	16.5	20.1	16.4	
	4.6	13.6	12.9	16.5	14.9		
平均値	7.4	14.6	14.7	18.3	15.7		8.3
チェリーセージ	5.6	5.1	5.9	14.8	20.9	18.5	
	5.1	7.5	15.7	16.1	18.2		
平均値	5.3	6.7	15.2	18.5	18.3		13.1
ヒラドツツジ	57.5	53.3	93.8	111.2	133.9	122.8	
	67.9	78.9	98.4	132.8	134.2		
平均値	59.5	86.3	104.8	133.3	128.5		69.0

図-5 D²H と乾燥重量の関係 (ヴァルト, コクチナシ)

Fig. 5 Relation between D²H and dry weight.

(*G. jasminoides* J.Ellis 'Wald' and *G. jasminoides* var. *radicans*).

図-6 D²H と乾燥重量の関係（キルシェレッド，チェリーセージ）

Fig. 6 Relation between D²H and dry weight (*S. microphylla* 'Kirsch Red' and *S. microphylla* Kunth).

ヴァルト：R²=0.53，コクチナシ：R²=0.82，キルシェレッド：R²=0.33，チェリーセージ：R²=0.63 であり，コクチナシは R²=0.80 以上と高い正の相関関係が見られたが，チェリーセージ，ヴァルト，キルシェレッドは正の相関ではあるものの相関関係にばらつきが生じた。

3.3 最大光合成速度および最大蒸散速度の測定結果

全個体とも PAR1,500 または 1,000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 付近で最大光合成速度および最大蒸散速度の値を示した。各種 2 個体平均の最大光合成速度の値については，チェリーセージ，キルシェレッド，コクチナシは 2009 年 12 月に，ヒラドツツジは 2010 年 6 月に，ヴァルトは 2010 年 9 月にそれぞれ最も高い値を示した（図-7）。また，2009 年 12 月から 2010 年 12 月の平均値で各種を比較すると，キルシェレッドが最も高い値（13.1 $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ）で，次いでチェリーセージ（11.4 $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ），ヒラドツツジ（4.5 $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ），ヴァルト（4.1 $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ），コクチナシ（3.5 $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ）の順であった。

一方，各種 2 個体平均の最大蒸散速度の値について，ヴァルトとチェリーセージは 2009 年 12 月に，キルシェレッドとコクチナシ，それとヒラドツツジは 6 月に最も高い値を示した（図-8）。また，5 回測定の平均値で各種を比較すると，キルシェレッドが最も高い値（4.7 $\mu\text{molH}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$ ）で，次いでチェリーセージ（3.4 $\mu\text{molH}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$ ），ヒラドツツジ（1.3 $\mu\text{molH}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$ ），コクチナシ（1.1 $\mu\text{molH}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$ ），ヴァルト（0.9 $\mu\text{molH}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$ ）の順であった。

4. 考察

本研究は 1 年間継続して測定を行うことで，改良品種の年間のフェノロジーと CO₂ 吸収効果および蒸散効果の特性が明らかになった。改良品種のヴァルトは，乾燥重量の測定か

図-7 最大光合成速度の比較

Fig. 7 Comparison of Maximum Photosynthetic rate.

図-8 最大蒸散速度の比較

Fig. 8 Comparison of Maximum Transpiration rate.

らコクチナシと比較し，1 年間の乾燥重量増加率の差で 67 % 高い成長が認められ，年間を通じた平均値の光合成速度も，0.6 $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ と僅かに高い値であり，9 月の測定ではヴァルトはコクチナシより高い個葉光合成速度であった。また，蒸散速度はヒラドツツジ同様，1.1 $\mu\text{molH}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$ と低い値であったが，6 月から 9 月の夏期の温室の環境下でも，枯れや樹勢の衰えが見られず成長が見られた。

一方，改良品種のキルシェレッドは，単位葉面積あたりの光合成速度，蒸散速度ともに全樹種間で最も高い値，それぞれ 13.1 $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ，4.7 $\mu\text{molH}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$ を示した。ただし，母品種のチェリーセージと共通して，夏期に枝葉の枯れが一部発生し，乾燥重量の低下が認められた。したがって，本研究の環境条件では夏季に葉面積の減少のため，個体全体の蒸散量と CO₂ 固定量がともに減少していた可能性が示唆された。また，大気中の CO₂ を長期的に体内に固定することを期待することは難しいと推測された。しかし，測定を行った種の中で全季節を通じて蒸散速度が高く，母品種のチェリーセージに比べても夏期に高い傾向がみられた。したがって，ヒートアイランドの緩和効果が最も期待できると考えられる。ただし，植栽植物の蒸散速度が高いことは即ち十分な灌水が必要であり^{6,10,13)}，その効果を活かすためには適切な灌水が

重要といえる。本測定では、夏期における灌水頻度を3日に1度と統一したことやポット苗での育成であったため、夏期に一部の枝葉に枯れが生じている。よって、ヒートアイランド現象の緩和を目標とした緑化に利用するためには、灌水頻度や植栽基盤、植栽密度を工夫し、夏期の枯れを防ぐ必要がある。

D²H と乾燥重量の関係では、いずれも正の相関であったものの、コクチナシ以外の種については、決定係数が低くなく、特にキルシエレッドについては低い値であった。これは測定したこれらの植物に、株立ち状の個体が多かった事に起因すると推測された。しかし、近年の地球温暖化問題により、温室効果ガスの CO₂ の植物による固定量の算定が望まれていることにより¹⁾、植栽されている植物の形状を簡易的に測定することで、乾燥重量を算出し CO₂ 固定量の増加量²⁾を把握できるよう、今後、さらに多くの植物サンプルの測定値を追加し、乾燥重量の算定式を構築することが必要と考えられる。

謝辞

本研究の測定および植物材料の管理を遂行するにあたり、兵庫県立大学大学院緑環境景観マネジメント研究科の兼村星志氏、粕谷朋未氏、兵庫県立淡路景観園芸学校ティーチングアシスタントの植松悦子氏には、終始、多大なるご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 地球温暖化対策推進本部 (2005) 京都議定書目標達成計画、内閣官房内閣広報室、73pp.
- 2) 藤原宣夫・山岸裕・村中重仁 (2002) 都市緑化樹木による CO₂ 固定量の算定方法に関する研究、日本緑化工学会誌 28(1) : 26-31.
- 3) 市村恒士・黒澤和隆 (2005) 都市林の二酸化炭素固定効果に関する研究—北海道帯広市「帯広市の森」を事例として、日本建築学会系論文集 597 : 81-87.
- 4) 株式会社エココスモ (2008) 在来種イワダレソウ改良品種クラピア、<<http://www.eco-cosmo.com/kurapia/index.htm>> 2011.2.20.
- 5) 国土交通省気象庁 (2011) 気象統計情報<<http://www.jma.go.jp/jam/menu/report.html>> 2011.2.20.
- 6) 久野春子・新井一司 (2002) 温度・湿度条件が5樹種の純光合成・蒸散速度・気孔コンダクタンスにおよぼす影響、日本緑化工学会誌 28(1) : 20-25.
- 7) 森崎耕一 (1998) 緑化樹木による CO₂ 固定量の推定について、都市緑化技術、30 : 22-25.
- 8) 中村友治・野島義照・岡田潤・柳井重人・丸田頼一 (2000) 千葉県松戸市の住宅地における CO₂ 吸収固定の推定、ランドスケープ研究 63(5) : 539-542.
- 9) 野島義照・長谷川秀三 (1995) 夏期における各種造園植物の葉面からの蒸散量、日本造園学会誌 58(5) : 97-100.
- 10) 大野朋子・山本聡・前中久行 (2006) メキシコマンネングサおよび芝生薄層緑化からの蒸発散量、ランドスケープ研究 69(5) : 431-436.
- 11) 大阪市建設局 (1999) 大阪市緑の基本計画、34pp.
- 12) 堺市建設局 (2001 年 5 月策定 2003 年 8 月改定) 堺市緑の基本計画、22pp.
- 13) 島田緑子 (1992) 光合成・蒸散過程の統合的理解について(I)—光合成モデルと気孔開閉の仕組み、日本緑化工学会誌 17(4) : 224-235.
- 14) 社団法人日本公園緑地協会 (2005) 公園緑地マニュアル 平成 17 年度版、社団法人日本公園緑地協会編、pp.9-13.
- 15) 社団法人日本公園緑地協会 (2008) 新編 緑の基本計画ハンドブック、社団法人日本公園緑地協会編、pp.195-199.
- 16) 社団法人日本植木協会 (2009) 平成 21 年度供給可能量調査 <<http://www.ueki.or.jp/kyokyu/index.html>> 2011.2.20.
- 17) 地球温暖化対策推進本部 (2002) 地球温暖化対策推進大綱、環境省地球環境局、72pp.
- 18) トヨタルーフガーデン株式会社 (2009) 環境改善植物 <<http://www.toyota-roofgarden.co.jp/engei%20jigyuu.html>> 2011.2.20.
- 19) 吉水祥平・大藪崇司・山本聡・澤田佳宏・藤原道郎 (2008) 戸建住宅の植栽モデルプランを用いた庭木の CO₂ 削減効果の評価、日本緑化工学会誌 34(1) : 121-126.
- 20) 財団法人日本緑化センター (2009) 公共用緑化樹木等規格基準 (案) の解説 (第 5 次改訂対応版)、財団法人日本緑化センター、p13.

(2011.7.14 受理)