中国内蒙古自治区に生育する臭柏 (*Sabina vulgaris* Ant.) の個体サイズにともなう光合成能力と葉の特性の変化

田中憲蔵¹⁾・小田あゆみ^{2,3)}・増田寛子²⁾・二宮生夫²⁾・
王 林和⁴⁾・吉川 賢⁵⁾

1) 森林総合研究所 FFPRI

2) 愛媛大学農学部 Fac. of Agri., Ehime Univ.

3) 現：東京大学大学院新領域創成科学研究科 Grad. Sch. of Frontier Sci., Tokyo Univ.

4) 内蒙古農業大学 Inner Mongolia Agricultural Univ.

5) 岡山大学大学院環境学研究科 Grad. Sch. of Environ. Sci., Okayama Univ.

摘要：中国内蒙古自治区に生育する臭柏 (*Sabina vulgaris*) の、個体サイズにともなう光合成能力の変化を調べた。調査した 24 個体の樹冠直径は 20~360 cm であった。葉の飽和光合成速度($P_{\max}$)、最大カルボキシレーション効率 ($V_{\max}$)、気孔コンダクタンス (g_s)、葉内窒素濃度と葉重比 (LMA) を 8 月に測定した。光合成能力の指標となる $P_{\max}$ と $V_{\max}$ は樹冠直径に関係なくほぼ一定の値を示し、 g_s や葉内窒素濃度も樹冠直径との間に有意な相関が無かった。 LMA も樹冠直径との間には有意な相関は見られなかった。臭柏の光合成能力が個体サイズで変化しなかったのは、光合成能力に関係の深い g_s や葉内窒素濃度がほとんど変わらなかったためと考えられた。また g_s が樹冠直径に関係なく一定の値を示したことは、臭柏が個体サイズの増加による水ストレスの影響をほとんど受けていない可能性を示唆している。これは、臭柏が匍匐性の生活型を示し、樹高にともなう重力ポテンシャルの増加が少ないためと考えられた。

キーワード：臭柏、個体サイズ、光合成、気孔コンダクタンス、半乾燥地

TANAKA, Kenzo, ODA, Ayumi, MASUDA, Hiroko, NINOMIYA, Ikuo, WANG, Lin-he and YOSHIKAWA, Ken: **Size-related changes in photosynthesis and leaf characteristics in *Sabina vulgaris* Ant. in the Mu-us Desert, Inner Mongolia, China**

Abstract : We studied size-related trends in photosynthesis and leaf characteristics in *Sabina vulgaris* growing in the Mu-us Desert, Inner Mongolia, China. 24 individuals of *S. vulgaris* were selected for the study. The crown diameter on studied individuals ranged from 20 to 360 cm. We measured leaf maximum photosynthetic rate ($P_{\max}$), maximum carboxylation efficiency ($V_{\max}$), stomatal conductance, leaf nitrogen content and leaf mass per area (LMA) on August. Leaf $P_{\max}$, $V_{\max}$, stomatal conductance and nitrogen content did not change with crown diameter. LMA also did not differ with crown diameter. These results suggested that constant leaf nitrogen content and stomatal conductance, which strongly relate with photosynthetic rate, might lead to constant photosynthetic traits with tree size. *S. vulgaris* did not seem to suffer from strong water stress with tree size by having their decumbent life form.

Key words : *Sabina vulgaris*, tree size, photosynthesis, stomatal conductance, semi-arid land

1. はじめに

多くの生物は、個体サイズにともなって代謝速度など生理的な特性も変化することが知られている²¹⁾。樹木は 100 年を超える長い寿命を持ち、個体サイズも生育段階により大きく異なる。樹木の代表的な生理機能である葉の光合成は、樹木の生存に欠かせないばかりか、林分レベルの成長量や炭素固定速度にも関係する。このため、近年、個体サイズにともなう光合成能力の変化について多くの研究がおこなわれ、これ

まで多数の樹木で光合成能力が個体サイズにともなって変化することが明らかになってきた^{1, 21)}。しかし、その変化は樹種間で異なり、個体サイズにしたがって葉の光合成能力が増加する種^{10, 20)}や低下する種^{4, 29)}が報告されている。最も研究が進んでいる針葉樹に限れば、個体サイズと共に光合成能力が低下する種が多く見られ^{1, 15, 21)}、高齢林での生長量の減退や²³⁾、樹高制限^{11, 13, 22)}の要因の一つになっていると考えられている。個体サイズにともなう光合成能力の低下要因として、樹高が高くなることによる水力学的な制限^{11, 22)}や、葉内

の窒素濃度の低下¹⁵⁾、などが指摘されている。

中国内蒙古自治区の半乾燥地に生育する臭柏 (*Sabina vulgaris* Ant.) は、ヒノキ科の匍匐性の常緑針葉樹で、成長速度は遅いが80年以上の寿命を持つ^{7,16,25)}。また、臭柏は耐乾性が強く、半乾燥地において飛砂の防止や炭素固定能力の面から、緑化造林樹種として期待されている^{8,30)}。臭柏の個体サイズによる葉の光合成能力の変化を明らかにすることは、臭柏の成長特性の解明や群落の炭素固定速度のモデル化に貢献すると考えられる。では、臭柏の光合成能力や葉の特性は個体サイズにともなってどのように変化するのであろうか。

臭柏は、これまで調べられてきた他の針葉樹種に比べ、半乾燥地という水ストレスが強い環境に生育するため、個体サイズにともなう光合成能力の低下がより大きい可能性がある。一方、臭柏は匍匐性であることから、これまで報告されてきた針葉樹に比べ樹高が低いいため、高さにともなう水ストレスが少なく光合成能力が低下しないかもしれない。この研究では、臭柏の個体サイズが葉の光合成能力に与える影響を明らかにするために、様々な個体サイズの臭柏を選び、光合成能力と葉の特性の変化を調べた。

2. 材料と方法

2.1 調査地

調査をおこなった毛烏素沙地の図克地区 (N 35°58'18", E 109°18'18", 標高 1,300 m) は、中国内蒙古自治区に属し、年降水量約 350 mm、年平均気温 6.4℃、年平均気温較差が 14.6℃の半乾燥地である²⁷⁾。周囲には砂漠化により流動化した砂丘と丘間低地が交互に分布する^{27,28)}。調査地周辺の植生は、常緑の臭柏、ヤナギ科の落葉低木の烏柳 (*Salix cheilophila*)、沙柳 (*Salix psammophil*)、キク科の落葉低木である油蒿 (*Artemisia ordosica*) やイネ科の草本などから構成されている^{7,27)}。毛烏素沙地では、砂漠化により、牧草地・緑化地や居住区域・道路が飛砂や堆砂の被害を受けており、これらを防止するため緑化の試みが続けられている^{27,28,30)}。

2.2 植物材料

臭柏は匍匐性のヒノキ科の常緑低木で、耐乾燥性と耐寒性が強いことで知られる^{2,5,6,18,19)}。根系は浅根性で、側根が発達し、細根が多く、厚さ 10~60 cm の砂層中に縦横に交錯した根系網を作る^{18,19)}。臭柏の稚樹は、主に烏柳の樹冠下で更新することが知られ、生育段階により針葉から鱗片葉に葉を付け替える^{17,26,27)}。

調査個体として、地際直径 4~46 mm、樹冠直径が 20~363 cm までの 24 個体をランダムに選んだ。臭柏は針葉と鱗片葉の 2 型の葉を持ち、当年生実生では針葉のみをつけるが、地際直径が 4 mm 程度に成長すると鱗片葉をつけ始める¹⁷⁾。今回の調査ではすべての個体が鱗片葉をつけていた。

2.3 光合成蒸散特性と葉特性の測定

選定した個体の当年枝につく鱗片葉の飽和光合成速度 ($P_{\max}$)、気孔コンダクタンス (g_s)、最大カルボキシレーション効率 ($V_{\max}$) を携帯式光合成蒸散測定装置 (LI-6400, Li-

Cor) で測定した。測定は臭柏の成長期である 8 月に行った。 $P_{\max}$ と g_s の測定は、光強度 1,500 ($\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$)、葉温 25 度、二酸化炭素濃度 400 ppm で行った。また、 $V_{\max}$ を求めるために、葉温 25 度、チャンバー内の光強度を 1,500 ($\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$) に固定した状態で、二酸化炭素濃度を 0~400 ppm まで変化させ葉内 CO_2 濃度と光合成速度を測定した。測定値から Wullschlegel (1993) の方法に従い $V_{\max}$ を計算した。これら葉の光合成特性は、全天環境にある当年生葉を用い、各個体 1 から 2 点測定した。光合成の日中低下の影響を避けるため、測定は午前中に行った。光合成測定葉は採取し、葉面積、葉重比 (Leaf mass per area; LMA) を計測後、NC-900 (Sumigraph) を用いて葉内窒素濃度を調べた。

一般的に個体サイズの指標として樹高を用い比較される場合が多いが^{1,15)}、臭柏は、多幹で匍匐性の樹木のため、この研究では個体サイズの指標として主に樹冠直径を用いた。また光合成特性の測定は、匍匐枝の中で最大のものを選び行った。

3. 結果

3.1 葉の光合成特性と個体サイズの関係

葉面積あたりの飽和光合成速度 ($P_{\max \text{ area}}$) と樹冠直径の間

図-1 臭柏の樹冠直径 (cm) と葉面積あたりの飽和光合成速度 ($P_{\max \text{ area}}$)、葉重あたりの飽和光合成速度 ($P_{\max \text{ mass}}$)、最大カルボキシレーション効率 ($V_{\max}$) の関係。 r^2 値は変数を直線回帰した際の相関係数、ns は有意差無し、SE は標準誤差を表す。

Fig. 1 Crown diameter (cm) versus leaf area based maximum photosynthetic rate ($P_{\max \text{ area}}$), leaf mass based maximum photosynthetic rate ($P_{\max \text{ mass}}$) and maximum carboxylation efficiency ($V_{\max}$).

Statistical analysis: r^2 is explains variance of linear regressions, ns means not significant, $\pm SE$ explains standard error.

図-2 臭柏の樹冠直径 (cm) と蒸散速度 (Tr) 気孔コンダクタンス (gs) の関係

r^2 値は変数を直線回帰した際の相関係数, ns は有意差無し, SE は標準誤差を表す。

Fig. 2 Crown diameter (cm) versus transpiration rate (Tr) and stomatal conductance (gs)

Statistical analysis: r^2 is explains variance of linear regressions, ns means not significant, $\pm SE$ explains standard error.

には有意な相関は見られず、個体間で2から3倍のばらつきが見られた(図-1 a)。葉重あたりの飽和光合成速度 ($P_{\max \text{ mass}}$) や最大カルボキシレーション効率 (V_{cmax}) と樹冠直径の間にも有意な相関は見られず、個体間で値のばらつきが見られた ($P > 0.05$; 図-1 b, c)。気孔コンダクタンスと蒸散速度についても光合成能力とほとんど同じ傾向を示し、個体サイズに伴う有意な変化は見られなかった ($P > 0.05$; 図-2)。また、これら葉の生理特性と臭柏の樹高、匍匐枝長、地際直径、など他の個体サイズを表すパラメーターとの間にも有意な相関は見られなかった ($P > 0.05$; 表-1)。

3.2 葉重比 (LMA)・葉内窒素濃度と個体サイズの関係

葉重比 (LMA) と樹冠直径の間には有意な相関は見られず、 LMA にはかなりのばらつきが見られた ($P > 0.05$; 図-3 a)。

葉面積当たり (N_{area}) と葉重当たりの窒素含有量 (N_{mass}) と樹冠直径の間にも共に有意な相関は見られず値は個体間でばらついた ($P > 0.05$; 図-3 b, c)。

3.3 葉の光合成特性と葉重比 (LMA)・葉内窒素濃度・気孔コンダクタンス (gs) の関係

葉面積あたりの飽和光合成速度 ($P_{\max \text{ area}}$) と葉重比 (LMA)、葉面積当たりの窒素濃度 (N_{area}) の間には有意な相関は見

図-3 臭柏の樹冠直径 (cm) と葉重比 (LMA)、葉面積当たり葉内窒素濃度 (N_{area})、葉重当たり葉内窒素濃度 (N_{mass}) の関係

r^2 値は変数を直線回帰した際の相関係数, ns は有意差無し, SE は標準誤差を表す。

Fig. 3 Crown diameter (cm) versus leaf mass per area (LMA), leaf area and mass based nitrogen content (N_{area} , N_{mass})

Statistical analysis: r^2 is explains variance of linear regressions, ns means not significant, $\pm SE$ explains standard error.

れなかった ($P > 0.05$; 図-4 a, c)。最大カルボキシレーション効率 (V_{cmax}) と LMA , N_{area} の間にも有意な相関は見られなかった ($P > 0.05$; 図-4 b, d)。しかし、気孔コンダクタンス (gs) と $P_{\max \text{ area}}$, V_{cmax} の間には有意な正の相関が見られ、光合成能力は gs と共に増加した ($P < 0.01$; 図-4 e, f)。

4. 考 察

臭柏の光合成能力と個体サイズの間には相関が見られず、個体サイズの増加にともなう光合成能力の低下が起こっていないことが明らかになった。一般的に多くの針葉樹では、個

表-1 臭柏の樹高、匍匐枝長、地際直径と葉面積あたりの飽和光合成速度 ($P_{\max \text{ area}}$)、葉重あたりの飽和光合成速度 ($P_{\max \text{ mass}}$)、最大カルボキシレーション効率 (V_{cmax})、気孔コンダクタンス (gs)、蒸散速度 (Tr) の関係
数値は変数を直線回帰した際の相関係数 (r^2) を、ns は有意差無しを表す。

Table 1 Effect of tree size parameters on leaf physiological variables in *Sabina vulgaris*: explained variance (r^2) of linear regressions. Statistical analysis: ns means not significant.

Dependent variable	Tree height	Shoot length	Diameter
Leaf area based $P_{\max}$ ($P_{\max \text{ area}}$)	0.04 ns	0.01 ns	0.03 ns
Leaf mass based $P_{\max}$ ($P_{\max \text{ mass}}$)	0.00 ns	0.00 ns	0.00 ns
Maximum carboxylation efficiency (V_{cmax})	0.01 ns	0.05 ns	0.01 ns
Stomatal conductance (gs)	0.01 ns	0.09 ns	0.01 ns
Transpiration rate (Tr)	0.01 ns	0.01 ns	0.06 ns

図-4 葉の飽和光合成速度 ($P_{\max \text{ area}}$), 最大カルボキシレーション効率 (V_{cmax}) と葉重比 (LMA), 葉面積当たり葉内窒素濃度 (N_{area}), 気孔コンダクタンス g_s の関係
 r^2 値は変数を直線回帰した際の相関係数, ns は有意差無し, SE は標準誤差を表す。

Fig. 4 Leaf area based maximum photosynthetic rate ($P_{\max \text{ area}}$), and maximum carboxylation efficiency (V_{cmax}) versus leaf mass per area (LMA), leaf area based nitrogen content (N_{area}) and stomatal conductance (g_s)
 Statistical analysis: r^2 is explains variance of linear regressions, ns means not significant, $\pm SE$ explains standard error.

体サイズが大きくなるにしたがって葉の飽和光合成速度 ($P_{\max}$) や最大カルボキシレーション効率 (V_{cmax}) など光合成能力が低下することが報告されている^{1, 15, 21)}。また光合成能力だけでなく、葉の形態や化学組成なども個体サイズとともに変化し、特に、葉重比 (LMA) の増加、葉内窒素濃度の減少、気孔コンダクタンスの低下が起こることが知られている¹⁾。これら葉の特性変化から光合成能力の直接的な低下原因として、1) LMA の増加による葉内の二酸化炭素拡散抵抗の増加^{14, 15)}、2) 葉内窒素濃度の低下による光合成活性の低下¹⁵⁾、3) 樹高にともなう重力ポテンシャルの増加や水輸送抵抗など水ストレスの増大による気孔コンダクタンスの低下¹¹⁾、などが指摘されている。

臭柏の光合成能力と個体サイズに有意な相関が見られな

かったのは、これら光合成能力の低下要因となる葉の特性が個体サイズで変化しないためと考えられた。臭柏の場合、 LMA 、葉内窒素濃度、気孔コンダクタンス (g_s) のいずれもが個体サイズとの間に有意な相関がなかった (図-2, 3)。また、臭柏の g_s が変化しないことは、個体サイズの増加による水ストレスの影響が少ないことを示唆している。臭柏は、匍匐性の樹木のため匍匐枝が成長しても樹高が 1.5 m 程度にしかならず、他の樹木に比べ高さにともなう重力ポテンシャルの増加が小さい。この臭柏の生活型が、個体サイズの増加にともなう水ストレスを受けにくくした要因の 1 つであると推察された。また、半乾燥地に生育する低木の広葉樹の中には、成木と幼木で光合成速度がほとんど変わらないが、乾燥ストレスをより受ける立地では成木の方がむしろ高くなる場合も報告されている³⁾。成木は幼木に比べ根系の発達がよいため、水ストレスが大きい半乾燥地に生育する臭柏では、地下水の獲得に有利な大きな個体での光合成能力の低下が顕著に見られなかった可能性がある。

一方、臭柏個体間での光合成能力の違いには、気孔コンダクタンス (g_s) が影響を与えていると考えられた。葉の光合成能力には、 LMA など葉の形態的特性、葉内窒素濃度、気孔コンダクタンス (g_s) などが影響することが知られている^{9, 12, 15, 21)}。臭柏では、 LMA や葉内窒素量と葉の飽和光合成速度 ($P_{\max}$) や最大カルボキシレーション効率 (V_{cmax}) の間には有意な相関がなく (図-4 a, b, c, d), これらの特性が光合成能力に与える影響は小さいと考えられた。一方、臭柏の光合成能力と g_s には有意な相関が見られた (図-4 e, f)。気孔コンダクタンスは、個体や葉が受ける水ストレスの程度により変化することが一般的に知られている¹²⁾。臭柏の光合成能力が g_s と共に変化したことは、各個体の生育地の水環境が光合成能力の違いに影響を与えた可能性を示唆していると考えられた。

以上をまとめると、臭柏の光合成能力は個体サイズによる影響をほとんど受けなかったが、これは臭柏が匍匐性という生活型を持つことや、半乾燥地という強い水ストレスを受ける環境であることが影響した可能性がある。今後、地下水面からの距離など臭柏の生育環境も考慮した調査をおこなうことで、さらに詳細な個体サイズが葉の光合成に与える影響を明らかにできると考えられる。

研究を行うに当たって便宜を図っていただいた岡山大学農学部の坂本圭児博士、三木直子博士、石井義朗氏、また内蒙古農業大学の張国盛博士をはじめとする関係諸氏に感謝の意を表す。

引用文献

- 1) Bond, B.J. (2000) Age-related changes in photosynthesis of woody plants. *Trends Plant Sci.*, 5(8): 349-353.
- 2) Dong, X. and Zhang, X. (2000) Special stomatal distribution in *Sabina vulgaris* in relation to its survival in a desert environment. *Trees*, 14(7): 369-375.

- 3) Donovan, L.A. and Ehleringer, J.R. (1991) Ecophysiological differences among juvenile and reproductive plants of several woody species. *Oecologia*, 86(4): 594-597.
- 4) Fredericksen, T.S., Steiner, K.C., Skelly, J.M., Joyce, B.J., Kolb, T.E., Kouterick, K.B. and Ferdinand, J.R. (1996) Diel and seasonal patterns of leaf gas exchange and xylem water potentials of different-sized *Prunus serotina* Ehrh. *Trees. For. Sci.*, 42(3): 359-365.
- 5) 傅立国・洪涛 (2000) 中国高等植物第三卷, 青島出版, 757 pp.
- 6) He, W., Zhang, X. and Dong, M. (2003) Gas exchange, leaf structure, and hydraulic features in relation to sex, shoot form, and leaf form in an evergreen shrub *Sabina vulgaris* in the semi-arid Mu Us Sandland in China. *Photosynthetica*, 41(1): 105-109.
- 7) Hirobe, M., Ohte, N., Karasawa, N., Zhang, G., Wang, L. and Yoshikawa, K. (2001) Plant species effect on the spatial patterns of soil properties in the Mu-us desert ecosystems, Inner Mongolia, China. *Plant Soil*, 234(2): 195-295.
- 8) Kang, M.Y., Dong, S., Huang, X., Xiong, M., Chen, H. and Zhang, X. (2003) Ecological regionalization of suitable trees, shrubs and herbages for vegetation restoration in the farming-pastoral zone of northern China. *Acta Botanica Sinica*, 45(10): 1157-1165.
- 9) Kenzo, T., Ichie, T., Yoneda, R., Kitahashi, Y., Watanabe, Y., Ninomiya, I. and Koike, T. (2004) Interspecific variation of photosynthesis and leaf characteristics in five canopy trees of Dipterocarpaceae in a tropical rain forest. *Tree Physiol.*, 24(10): 1187-1192.
- 10) Kenzo, T., Ichie, T., Yoneda, R., Watanabe, Y., Ninomiya, I. and Koike, T. (2006) Changes in photosynthesis and leaf characteristics with height from seedlings to mature canopy trees in five dipterocarp species in a tropical rain forest. *Tree Physiol.*, 26(7): 865-873.
- 11) Koch, G.W., Sillett, S.C., Jennings, G.M. and Davis, S.D. (2004) The limits to tree height. *Nature*, 428: 851-854.
- 12) Larcher, W. (2003) *Physiological Plant Ecology*. 4th Edn. Springer-Verlag, New York, 513 pp.
- 13) Midgley, J.J. (2003) Is bigger better in plants? The hydraulic costs of increasing size in trees. *Trends Ecol. Evol.*, 18(1): 5-6.
- 14) Niinemets, Ü. (1997) Distribution patterns of foliar carbon and nitrogen as affected by tree dimensions and relative light conditions in the canopy of *Picea abies*. *Trees*, 11(3): 144-154.
- 15) Niinemets, Ü. 2002. Stomatal conductance alone does not explain the decline in foliar photosynthetic rate with increasing tree age and size in *Picea abies* and *Pinus sylvestris*. *Tree Physiol.*, 22(8): 515-535.
- 16) 大窪久美子・前中久行 (2001) 中国内蒙古自治区毛烏素沙地における臭柏 (*Sabina vulgaris* Ant.) 個体群の構造と動態, 日本緑化工学会誌, 27(1): 84-89.
- 17) 田中憲蔵・小田あゆみ・二宮生夫・王林和・張国盛・坂本圭児・吉川賢 (2005) 中国内蒙古自治区に生育する臭柏 (*Sabina vulgaris* Ant.) 稚樹の異形葉性と生育段階にともなう資源分配特性, 日本緑化工学会誌, 30(4): 657-661.
- 18) 徳岡正三 (1992) 中国の半乾燥地に生育するサビナビャクシン (*Sabina vulgaris*) について, 日本緑化工学会誌, 18(1): 35-38.
- 19) 徳岡正三・王林和 (1994) サビナビャクシン (*Sabina vulgaris*) の分布と更新についての1, 2の知見, 日本緑化工学会誌, 19(4): 261-266.
- 20) Thomas, S.C. and Bazzaz, F.A. (1999) Asymptotic height as a predictor of photosynthetic characteristics in Malaysian rain forest trees. *Ecology*, 80(5): 1607-1622.
- 21) Thomas, S.C. and Winner, W.E. (2002) Photosynthetic differences between saplings and adult trees: an integration of field results by meta-analysis. *Tree Physiol.*, 22(2/3): 117-127.
- 22) Ryan, M.G. and Yoder, B.J. (1997) Hydraulic limits to tree height and tree growth. What keeps trees from growing beyond a certain height? *BioScience*, 47(4): 235-242.
- 23) Weiner, J. and Thomas, S.C. (2001) The nature of tree growth and the age-related decline in forest productivity. *Oikos*, 94(2): 374-376.
- 24) Wullschlegel, S.D. (1993) Biochemical limitation to carbon assimilation in C3 plants-A retrospective analysis of the A/Ci curves from 109 species. *J. Exp. Bot.*, 44(262): 907-920.
- 25) 温国勝・王林和・吉川賢 (2002) 中国半乾燥地に生育する臭柏 (*Sabina vulgaris* Ant.) の生理的特性と生態的特性, 日本緑化工学会誌, 27(3): 526-532.
- 26) 山中典和・王林和・吉川賢 (1998) 中国内蒙古毛烏素沙地における臭柏 (*Sabina vulgaris* Ant.) の種子生産と埋土種子, 日本緑化工学会誌, 23(4): 211-219.
- 27) 山中典和・王林和・吉川賢 (2000) 中国内蒙古毛烏素沙地における臭柏 (*Sabina vulgaris* Ant.) 更新場所の微環境, 日本緑化工学会誌, 25(4): 437-442.
- 28) 山中典和・張国盛・坂本圭児・王林和・吉川賢 (2001) 中国内蒙古毛烏素沙地における看護植物の伐採が臭柏 (*Sabina vulgaris* Ant.) 稚樹の生存に及ぼす影響, 日本緑化工学会誌, 27(1): 120-124.
- 29) Yoder, B.J., Ryan, M.G., Waring, R.H., Schoettle A.W. and Kaufmann, M.R. (1994) Evidence of reduced photosynthetic rate in old trees. *For. Sci.*, 40(3): 513-527.
- 30) 吉川賢・山中典和・大手信人編著 (2004) 乾燥地の自然と緑化 砂漠化地域の生態系修復に向けて, 共立出版, 233 pp.

(2006. 4. 20 受理)