中国内モンゴルにおける緑化用灌木 *Caragana korshinskii* Kom. (樟条) の種子散布と実生動態

田中晴飛¹⁾・高橋遥香¹⁾・岩本紗弥¹⁾・原鋭次郎²⁾
増田達志³⁾・衣笠利彦^{*1)}

1) 鳥取大学農学部 Faculty of Agriculture, Tottori University

2) 地球緑化クラブ Green Plantation for Earth

3) エコスタイルネット Ecostyle Net

摘要: *Caragana korshinskii* Kom. はマメ科の灌木で、中国北部に自生し砂丘緑化によく用いられる。しかし *C. korshinskii* による砂丘固定の効果が長期間持続するには、種子による天然更新が必要である。そこで中国内モンゴル自治区の砂丘緑化地において、植栽された *C. korshinskii* の種子散布と実生の発生および枯死を 3 ヶ月にわたって調査し、天然更新の可能性を評価した。*C. korshinskii* の実生の発生と枯死は、降雨にともなう土壌含水率の変化に大きく影響されていた。1 個体が散布した種子のおよそ 6 % に相当する実生が発生し、そのうち約半数がその年の秋まで生残した。内モンゴルの砂丘緑化地では、植栽された *C. korshinskii* の天然更新は可能であるものの、夏期の降雨パターンに大きく影響されると考えられる。本研究は家畜の侵入を制限して行われたため、今後は家畜による食害の影響も検討する必要がある。

キーワード: 天然更新, 内モンゴル, 実生, *Caragana korshinskii*, 降雨

TANAKA, Haruto, TAKAHASHI Haruka, IWAMOTO, Saya, HARA, Eijiro, MASUDA, Tatsushi, KINUGASA, Toshihiko : **Seed dispersal and seedling dynamics of the restoration shrub *Caragana korshinskii* Kom. in Inner Mongolia, China**

Abstract : The fabaceous shrub *Caragana korshinskii* Kom. is native to northern China and is commonly used for dune revegetation. However, the sustainability of revegetation by *C. korshinskii* depends on natural regeneration through seeds. We surveyed seed dispersal and seedling dynamics of *C. korshinskii* on a revegetated dune in Inner Mongolia, China and evaluated the possibility of natural regeneration. Seedling emergence and death were affected by changes in soil moisture caused by rainfall. The number of seedling that emerged during the study period corresponded to 6 % of the seeds dispersed, and about half of the seedlings survived till autumn. Natural regeneration was possible in *C. korshinskii* on a revegetated dune in Inner Mongolia, but it may be affected by the rainfall pattern during the summer. As livestock was excluded in this study, grazing effects should be considered in the future research.

Key words : natural regeneration, Inner Mongolia, seedling, *Caragana korshinskii*, rainfall

1. はじめに

中国では、新疆ウイグル自治区、内モンゴル自治区、チベット自治区、青海省といった北部の乾燥・半乾燥地域を中心に、砂漠化が問題となっている。1980 年代から本格的な砂漠化対策事業が始まり、2007 年には中国政府により砂漠化面積の拡大停止が宣言された¹⁵⁾。しかし 2009 年の時点でも未だに国土の約 27 % にあたる約 260 万 km² が砂漠化し、約 31 万 km² の土地が砂漠化の危険に直面している¹¹⁾。中国政府による砂漠化防止事業は今後も継続され、2050 年までに森林被覆率を 26 % 以上にすることが目標とされている¹⁴⁾。

砂漠化した土地の緑化には、自生種で砂丘固定に効果的な灌木がしばしば用いられる^{3, 20, 22)}。*Caragana korshinskii* Kom. (樟条) はマメ科の灌木で、中国北部に自生し緑化によく用

いられる灌木の 1 つである¹⁾。この種は乾燥耐性が高く²⁷⁾、空中播種による大規模緑化にも用いられている^{24, 26)}。*C. korshinskii* は砂丘固定に有用なだけでなく、窒素固定を行い土壌の肥沃化に寄与し家畜の飼料にもなるため、生態学的・経済的に重要な価値を持つ¹⁷⁾。しかし *C. korshinskii* による砂丘固定の効果が長期間持続するには、砂丘緑化地における種子による天然更新が必要である。一般に、木本の生育において種子散布から実生の定着までの数年間の死亡率が最も高いため^{6, 12)}、種子による天然更新の可能性を評価するには、発芽後の実生がどれだけ生残するのかを明らかにする必要がある。これまで *C. korshinskii* の発芽特性や^{20, 24)}、砂への埋没と発芽の関係^{13, 23, 26)}、実生の乾燥耐性^{2, 19, 27)}などを調べた研究はあるが、実際に砂丘緑化地に植栽された *C. korshinskii* について、天然更新の可能性を検討した研究は無い。

* 連絡先著者 (Corresponding author) : E-mail : kinugasa@muses.tottori-u.ac.jp

〒680-8553 鳥取県鳥取市湖山町南 4-101 4-101 Koyama-Minami, Tottori 680-8553, Japan

そこで本研究では中国内モンゴル自治区において、砂丘緑化地に植栽された緑化灌木 *C. korshinskii* について、実生の発生と生残を調査した。内モンゴル自治区は中国の東北部に位置し、砂漠化した土地面積が 2009 年の時点で約 62 万 km² と、新疆ウイグル自治区に次いで大きい地域である¹⁾。現在、内モンゴル自治区では中国政府や各国の団体により積極的に植林が進められており、2009 年の砂漠化面積は 2004 年と比べて約 5,000 km² 減少した。この地域で 1997 年に *C. korshinskii* を用いて緑化された砂丘緑化地を対象に、*C. korshinskii* の種子散布と実生の発生および枯死を調べた。家畜の侵入を排除した条件下で 3 ヶ月にわたって調査を行い、天然更新の可能性を評価した。

2. 調査方法

中国内モンゴル自治区の中心都市フフホト市から南に約 80km に位置するバイアールイエ砂丘（北緯 40 度 8 分、東経 111 度 51 分、標高 1,200 m）を調査地とした。フフホト市は年平均気温 8.6 °C、年降水量約 430 mm の半乾燥地である。気温の季節変化が大きく、夏期の最高気温は約 30 °C、冬期の最低気温は約 -30 °C である。降水量の年内変動も大きく、降雨は 5 月から 8 月の期間に集中する。

バイアールイエ砂丘は元来灌木と牧草が混在する土地であったが、農業開発と過放牧によって流動砂丘が発生し、1982 年に中国政府によって主に *C. korshinskii* を用いた緑化が開始された。調査対象とした砂丘緑化地は、日本の環境 NGO エコスタイルネットが 1997 年に緑化を行い、砂丘の固定に成功した場所である。この緑化地は砂丘の南東斜面上に

存在し緩やかに傾斜しており、周囲に防風林としてポプラ (*Populus* spp.) が植栽されている。飛砂抑制のために稲藁を用いた 1 m 四方の草方格が作成され、草方格内に灌木である *C. korshinskii* と *Salix psammophila* C. Wang & Chang Y. Yang (沙柳) が植栽された。*C. korshinskii* と *S. psammophila* の植栽密度は、2009 年 10 月の時点でそれぞれ 1 ヘクタール当たり 315 本と 421 本であった。また、それらの灌木の植栽後に播種された *Hedysarum fruticosum* Pall. (羊柴) やその他の牧草なども生育している。

2011 年 7 月に、樹冠直径が 100 cm ± 20 cm の *C. korshinskii* を 15 個体選び、調査区を設置した。各個体の株元から南東方向に、30 cm 四方のシードトラップ（砂丘表面を約 10 cm 掘りそこに網を敷いて作成）を 5 つ、50 cm 四方の実生調査区を 4 つ設けた（図 1）。2010 年に行われた予備調査によって、この砂丘緑化地における *C. korshinskii* の種子散布量には、方角による有意な違いが無いことが分かっている。調査期間中の土壌体積含水率の変化を測定するため、調査個体を 1 個体選び、株元から 150 cm の地点の深さ 5 cm に土壌含水率計のセンサー（10HS、デカゴン）を設置し、土壌含水率を 30 分毎に測定した。調査地が家畜や現地住民による攪乱を受けないよう、個体と調査区を囲う柵（高さ約 1.5 m の支柱間にワイヤーを張ったもの）を設置した。

種子散布と実生動態の調査は、7 月 11 日から 9 月 25 日まで行った。シードトラップ内の種子は 1 日もしくは 2 日おきに回収し、実生の発生は 2 日もしくは 3 日おきに調査した。実生調査区内に発生した実生は位置を記録し、その後の消長を 2 日もしくは 3 日おきに調査した。種子散布量、実生の発生量と枯死量は、1 週間毎に集計した。種子散布量、実生の発生及び枯死量には株元からの方角による違いが無いと仮定し、個体の株元から 250 cm の範囲内における種子散布量と、株元 50 cm から 250 cm の範囲における実生の発生および枯死量を算出した。

種子散布量、実生の発生および枯死量に対する株元からの距離の影響は、Tukey-Kramer 法で検定した。統計処理には統計解析ソフト（JMP7, SAS）を用いた。

3. 結果

C. korshinskii の種子散布は 7 月から 8 月中旬まで続き、調査期間中に個体の株元から 250 cm の範囲に散布された種子量は、1 個体あたり平均約 2,400 個であった（図 2A）。種子散布量は個体によって大きくばらつき、最も少ない個体で約 200 個、多い個体で約 7,800 個であった。個体の株元からの距離によって種子散布量は異なり、株元から 50-100 cm の範囲に最も多く散布されていた（図 2B）。

実生の新規発生は 7 月中旬から 8 月下旬にかけてみられ、特に 7 月 17 日から 31 日にかけての期間と、8 月 14 日から 21 日にかけての期間に多かった（図 3A）。調査期間中に個体

図-1 調査区の設定

Fig. 1 Layout of the research plots

図-2 *C. korshinskii* 個体の (A) 調査期間中の種子散布および (B) 株元からの距離別の種子散布量。異なるアルファベットは有意な差があることを示す (Tukey-Kramer 法, $P < 0.05$)。エラーバーは標準誤差 ($n = 15$)

Fig. 2 (A) Seed dispersal during the study period and (B) the number of dispersed seeds at different distances from the shrub base of a *C. korshinskii* individual. Different letters above the bars indicate statistically significant differences among distances (Tukey-Kramer method; $P < 0.05$). Error bars indicate SE ($n = 15$)

の株元から 50-250 cm の範囲に発生した実生の量は、約 120 個であった。これは同範囲に散布された種子量の約 6 % に相当した。実生の発生量は個体によって大きく異なり、実生発生が見られなかった個体から、600 個以上の発生が見られた個体までであった。

実生の枯死は7月下旬に始まり9月下旬まで続いた(図3A)。特に7月31日から8月7日にかけての期間と、9月4日から9月18日にかけての期間で、実生の枯死量が急激に増加した。調査期間中に発生した実生のうち約 56 % が、調査期間終了時まで枯死した。

実生の発生は個体の株元から 50-100 cm の範囲で最も多く、

図-3 *C. korshinskii* 個体の周囲における (A) 調査期間中の実生の発生および枯死と (B) 株元からの距離別の実生発生量および枯死量。異なるアルファベットは有意な差があることを示す (Tukey-Kramer 法, $P < 0.05$)。エラーバーは標準誤差 ($n = 15$)

Fig. 3 (A) Seedling emergence and seedling death during the study period and (B) the number of seedlings emerging and dying at different distances from the shrub base of a *C. korshinskii* individual. Different letters above the bars indicate statistically significant differences among distances (Tukey-Kramer method; $P < 0.05$). Error bars indicate SE ($n = 15$)

個体から離れるにつれ減少した (図 3B)。実生の枯死数も発生数同様、50-100 cm の範囲で最も多かった。発生した実生の枯死率は、50-100 cm で 66 %、100-150 cm で 37 %、150-200 cm で 67 % であったが、個体間のばらつきが大きく、株元からの距離による有意な違いはみられなかった (Steel-Dwass 検定, $P = 0.05$)。

調査期間中の土壌体積含水率は、9月までは大きく変動した(図4)。土壌含水率が最も高かったのは8月15日で約34 % であった。土壌含水率は9月以降急激に低下し、調査終了時は約 1 % であった。

図-4 調査地の深さ 5 cm の土壌における日平均体積含水率

Fig. 4 Daily mean volumetric water content at 5 cm below the ground surface in the research field

4. 考察

調査期間中、*C. korshinskii* は株元から 250 cm の範囲に約 2,400 個の種子を散布した (図 2A)。*C. korshinskii* の種子散布様式は莢が弾けることによる自動散布であり、散布範囲は狭く、樹冠縁から 50 cm までの範囲 (株元から 150 cm 以内) に 90 % 以上の種子が散布されていた (図 2B)。このことは *C. korshinskii* では天然更新による分布範囲の拡大は遅く、広範囲の緑化には空中播種などの散布手段が必要であることを示している。

実生の発生は、7 月 17～24 日、7 月 24～31 日、8 月 14～21 日の 3 週に急激に増加した (図 3A)。この急激な増加は、実生の発生が降雨による土壌含水率の上昇に誘導されたためかもしれない。これら 3 週における深さ 5 cm の土壌体積含水率の最大値はそれぞれ 30 %、22 %、33 % であった (図 4)。深さ 5 cm よりも浅い位置の含水率はこれよりも低いと考えられるが、*C. korshinskii* の種子は培養液の水ポテンシャルが -0.8 MPa 以上であれば比較的高い発芽率を維持することが知られており^{21, 25)}、降雨による発芽誘導の可能性は十分に考えられる。降雨による実生発生の誘導は、乾燥地の植物でしばしば報告されている^{9, 10, 18)}。

本研究では調査期間中に数度の降雨があり土壌含水率が高い期間があったものの、実生の発生量は種子散布量の約 6 % に過ぎなかった。これは *C. korshinskii* の種子の多くが散布後に砂中に埋没せず、砂丘表面に残っていたためかも知れない。内モンゴル自治区のモウソ砂地で行われた研究で、*C. korshinskii* の種子は砂丘の表面に播かれた場合は発芽しないものの、0.5～2 cm 埋没させることで最大 42 % 発芽することが示されている²³⁾。これは砂の表面では、強光や乾燥、気温変動が種子の発芽を制限しているためだと考えられている。本研究の調査地でも地表面温度は非常に高く、日中 60 °C 近

くまで上昇することもあった。

散布後当年に発芽しなかった種子は、埋土種子として砂丘中に残存すると思われる。内モンゴル自治区テンゲル砂漠の砂丘緑化地で行われた調査では、場所によっては、深さ 5 cm までの砂の中に、発芽可能な *C. korshinskii* の種子が 1 m² あたり 6 個程度存在することが示されている⁷⁾。本研究の調査地において 2010 年 9 月に行った予備調査でも、深さ 5 cm までの砂中に 1 m² あたり 15 個程度の *C. korshinskii* の種子が存在し、そのうちの約半分が発芽可能であることが分かっている。この量は今回の調査で見られた個体の種子散布量 (1 m² あたり 122 個) と比べると少ないが、埋土種子集団の形成は、緑化地における植生攪乱後の自然回復能力の向上に繋がるかもしれない。

実生の枯死は、7 月 31 日～8 月 7 日、9 月 4～11 日、9 月 11～18 日に多く見られた (図 3A)。これらの期間は土壌含水率が低く、期間中の深さ 5 cm における土壌体積含水率の最小値はそれぞれ、9 %、3 %、2 % であった (図 4)。これは、内モンゴル自治区のモウソ砂地の固定砂丘における永久しおれ点 (7.2 %) と同程度か低い値であり⁵⁾、実生の枯死は降雨不足による土壌含水率の低下によるものだと考えられる。

本研究では、発芽した実生のうち約半数が当年の秋まで生残した。しかし実生の枯死をもたらす要因は、夏期の水ストレスだけではない。文献調査を行って様々な植物種の実生の死亡要因をまとめた研究によれば、実生の死亡要因の 38 % が食害、35 % が水ストレス、20 % が病原菌の感染であった⁸⁾。中国に生育する *Caragana* 属の灌木には、蛾の一種である *Paleacrita vernata* の幼虫や、カミキリムシの一種である *Chlorophorus diadem*、コガネムシ科の甲虫 (*Holotrichia* spp.) の幼虫など、多くの食害昆虫が存在する¹⁶⁾。また、近縁種の *Caragana arborescens* Lam. では、病原菌 *Septoria caraganae* の感染によって葉が白化し生育が阻害されることが知られている⁴⁾。

以上をまとめると、内モンゴルの砂丘緑化地に植栽された *C. korshinskii* では、実生の発生と枯死は、降雨にともなう土壌含水率の変化に大きく影響されていた。1 個体が散布した種子のおよそ 6 % に相当する実生が発生し、そのうち約半数がその年の秋まで生残した。したがって内モンゴルの砂丘緑化地では、植栽された *C. korshinskii* の天然更新は可能ではあるものの、夏期の降雨パターンに大きく影響されると考えられる。ただし本研究における土壌含水率の変化は 1 個所のみで測定されたものであり、降雨にともなう土壌含水率の変化と実生の発生と枯死の関係をより明確にするには、多数の異なる地点における調査が必要である。また本研究は家畜の侵入を排除した条件下で行ったため、家畜による食害の影響は不明である。さらに昆虫による食害や病害の影響も考慮していないため、今後はそれらの枯死要因を含めて天然更新の可能性を検討する必要がある。

謝辞：本研究を行うにあたり、鳥取大学乾燥地緑化保全学研究室のみなさま、斯琴氏、朝克氏、李氏に多くのご協力を頂きました。厚く御礼申し上げます。本研究の一部は、公益信託地球環境日本基金の助成を受けて実施されました。

引用文献

- 1) Boeken, B. (2008) The role of seedlings in the dynamics of dryland ecosystems – their response to and involvement in dryland heterogeneity, degradation, and restoration. In: Leck MA, Parker VT, Simpson RL (eds) Seedling ecology and evolution, Cambridge University Press, pp. 307-331.
- 2) Fang, X., Turner, N., Li, F., Li, W., and Guo, X. (2011) *Caragana korshinskii* seedlings maintain positive photosynthesis during short-term, severe drought stress. *Photosynthetica*, 49 : 603-609.
- 3) 原鋭次郎 (2008) 持続・拡大が可能な緑化活動を目指して, 日本緑化工学会誌, 33 : 561-565.
- 4) Kennedy, P. C. (1968) Insects and diseases of Siberian pea shrub (*Caragana*) in North Dakota, and their control. U.S. Forest Service Research Note RM, 104 : 1-4.
- 5) Kobayashi, T., Liao, R. T., and Li, S. Q. (1995) Ecophysiological behavior of *Artemisia ordosica* on the process of sand dune fixation. *Ecological Research*, 10 : 339-349.
- 6) Leck, M. A., Simpson, R. L., and Parker, V. T. (2008) Why seedlings? In: Leck MA, Parker VT, Simpson RL (eds) Seedling ecology and evolution, Cambridge University Press, pp. 3-13.
- 7) Ma, J. Y., Ren, J., Wang, G., and Chen, F. H. (2006) Influence of different microhabitats and stand age on viable soil seed banks of sand-stabilising species. *South African Journal of Botany*, 72 : 46-50.
- 8) Moles, A. T., and Westoby, M. (2004) What do seedlings die from and what are the implications for evolution of seed size? *Oikos*, 106 : 193-199.
- 9) Richmond, G., and Chinnock, R. (1994) Seed germination of the Australian desert shrub *Eremophila* (Myoporaceae). *The Botanical Review*, 60 : 483-503.
- 10) Silcock, R. (1973) Germination responses of native plant seeds to rainfall in south-west Queensland. *Tropical Grasslands*, 7 : 99-104.
- 11) State Forestry Administration, P. R. China (2011) A bulletin of status quo of desertification and sandification in China, State Forestry Administration, P. R. China, pp. 32. <<http://www.forestry.gov.cn/uploadfile/main/2011-1/file/2011-1-5-59315b03587b4d7793d5d9c3aae7ca86.pdf>>
- 12) Thomas, P. A. (2000) *Trees: Their natural history*, Cambridge University Press, pp. 296.
- 13) Tobe, K., Zhang, L. P., and Ornas, K. (2007) Seed size effects on seedling emergence of desert psammophytes in China. *Arid Land Research and Management*, 21 : 181-192.
- 14) 王林和・三木直子・李玉靈・楊靈麗・吉川賢 (2008) 中国の砂漠化防止に関する歴史および現在, 日本緑化工学会誌, 33 : 554-560.
- 15) 王林和・吉川賢 (2011) 砂漠化の過去, 現在, 未来, 吉川賢・山中典和・吉崎真司・三木直子 (編), 風に追われ水が蝕む中国の大地, 学報社, pp. 57-63.
- 16) Wang, T., Li, J., and Zong, S. (2010) Major insect pests and control strategies of *Caragana* spp. in west regions of China. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 26 : 242-244.
- 17) Wei, X. R., Shao, M. G., Fu, X. L., and Horton, R. (2010) Changes in soil organic carbon and total nitrogen after 28 years grassland afforestation: effects of tree species, slope position, and soil order. *Plant and Soil*, 331 : 165-179.
- 18) Went, F. W. (1949) Ecology of Desert Plants. II. The Effect of Rain and Temperature on Germination and Growth. *Ecology*, 30 : 1-13.
- 19) Wu, Y. P., Hu, X. W., and Wang, Y. R. (2009) Growth, water relations, and stomatal development of *Caragana korshinskii* Kom. and *Zygophyllum xanthoxylum* (Bunge) Maxim. seedlings in response to water deficits. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 52 : 185-193.
- 20) 吉川賢・山中典和・大手信人 (2004) 乾燥地の自然と緑化, 共立出版, pp. 233.
- 21) Zeng, Y. J., Wang, Y. R., and Zhang, J. M. (2010) Is reduced seed germination due to water limitation a special survival strategy used by xerophytes in arid dunes? *Journal of Arid Environments*, 74 : 508-511.
- 22) Zhao, H. L., Zhou, R. L., Su, Y. Z., Zhang, H., Zhao, L. Y., and Drake, S. (2007) Shrub facilitation of desert land restoration in the Horqin Sand Land of Inner Mongolia. *Ecological Engineering*, 31 : 1-8.
- 23) Zheng, M. Q., Zheng, Y. R., Zhou, G. S., Wu, Y. Z., An, P., Baskin, C. C., and Baskin, J. M. (2009) Effects of watering regime and depth of burial on seedling emergence of four dominant psammophytes in the Mu Us sandy land, Inner Mongolia, China, and relevance to revegetation of a desertified region. *Annals of Applied Biology*, 154 : 87-96.
- 24) Zheng, Y. R., Xie, Z. X., Gao, Y., Shimizu, H., Jiang, L. H., and Yu, Y. (2004a) Ecological restoration in northern China: Germination characteristics of nine key species in relation to air seeding. *Belgian Journal of Botany*, 136 : 129-138.
- 25) Zheng, Y., Xie, Z., Gao, Y., Jiang, L., Shimizu, H., and Tobe, K. (2004b) Germination responses of *Caragana korshinskii* Kom. to light, temperature and water stress. *Ecological Research*, 19 : 553-558.
- 26) Zheng, Y., Xie, Z., Yu, Y. I., Jiang, L., Shimizu, H., and Rimmington, G. M. (2005) Effects of Burial in Sand and Water Supply Regime on Seedling Emergence of Six Species. *Annals of Botany*, 95 : 1237-1245.
- 27) Zheng, Y., Rimmington, G., Xie, Z., Zhang, L., An, P., Zhou, G., Li, X., Yu, Y., Chen, L., and Shimizu, H. (2008) Responses to air temperature and soil moisture of growth of four dominant species on sand dunes of central Inner Mongolia. *Journal of Plant Research*, 121 : 473-482.

(2013. 6. 24 受理)