

G-2 北東アジアにおける砂漠化アセスメント及び早期警戒体制（EWS）構築のための  
パイロットスタディ

- (3) 土壌・植生・水文解析による土地脆弱性の評価  
2) 植物の生理生態特性に基づく土壌劣化の評価

独立行政法人 国立環境研究所

アジア自然共生研究グループ

<研究協力者>

独立行政法人 国立環境研究所

中国科学院植物研究所

中国環境科学研究院

北京師範大学資源学院

モンゴル農業大学

陳 利軍・清水英幸

小林祥子・矢ヶ崎泰海

鄭 元潤

于 云江

邱 国玉

Undarmaa Jamsran

平成 16～18 年度合計予算額 7, 5 5 1 千円

(うち、平成 18 年度予算額 2, 4 7 4 千円)

「※上記の予算額には、間接経費 1, 7 4 3 千円を含む」

[要旨] 砂漠化地域に生育する主要植物種の土壌劣化に対する生理生態特性を実験的に解析し、砂漠化の指標と基準を設定する際の基盤情報と、各地域に適切な砂漠化回復植物種の提示を目的として実施した。中国内モンゴル自治区ホルチン沙地の 7 種 (*Agropyron cristatum*、*Artemisia halodendron*、*Caragana korshinskii*、*Caragana microphylla*、*Clinelymus dahuricus*、*Medicago sativa*、*Melilotus suaveolens*)、モンゴル国セレンゲ県カラガナスステップの 2 種 (*A. cristatum*、*C. microphylla*) を植物材料として、温度、光、水分に対する発芽反応と土壌中の水分含量と窒素含量の生長に対する影響を解析した。*A. cristatum*、*A. halodendron*、*C. korshinskii*、*M. suaveolens* は温度上昇によって発芽率が抑制され、35/25°C (明/暗) 処理では有意な影響が認められた。多くの種は光強度の増加に伴い最終発芽率および発芽速度は減少した。1000  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  処理で、*A. cristatum*、*A. halodendron*、*C. korshinskii*、*C. microphylla*、*C. dahuricus* の発芽率は著しく低下し、種子発芽には砂の被覆が必要と思われた。多くの種では水ストレス増加に伴い発芽率が減少したが、*A. cristatum*、*M. sativa* は処理した水ポテンシャル (0～-2.0 MPa) でほぼ一定の発芽率を示した。多くの種は土壌水分欠乏に伴い葉面積や乾重量が低下し、特に *A. cristatum*、*C. dahuricus*、*M. suaveolens* の個体乾重は、-25.2 kPa 処理で、-2.6～-3.4 KPa 処理の 50% 以下を示した。*C. microphylla* は -2.6～-25.2 KPa で、ほぼ一定の葉面積を維持した。地上部/地下部 (S/R) 比は多くの種で処理による差が少なかった。多くの種で窒素欠乏により、葉面積、乾重量、S/R 比の低下傾向が認められたが、0～0.625  $\text{mg l}^{-1}$  処理間ではほとんど差がなかった。なお、産地が異なる *A. cristatum*、*C. microphylla* の実験から、発芽率には若干の生態間差が認められたが、生長には顕著な差は認められなかった。本研究成果は砂漠化評価・対策の基盤データとなり、また生態系モデル構築にも利用された。

[キーワード] 砂漠化、指標植物、生理生態特性、土壌環境、北東アジア

## 1. はじめに

乾燥・半乾燥地域が広がる北東アジアでは、近年の社会経済の変革に伴い、従来草原として維持されてきた地域の過放牧による砂漠化・土地荒廃が深刻な問題となっている<sup>1-5)</sup>。乾燥・半乾燥地域の土地は脆弱であると言われているが、その脆弱程度を評価し、危険な状態を予め推測し防止対策を行う、あるいは、砂漠化した土地を早期に回復させるためには、砂漠化地域において植生・土壌・水文等に関する現地調査を実施し、砂漠化程度を的確に表す指標と基準を設定することが必要である。しかし、現地調査だけでは、その指標・基準の適用可能性は限定される。そこで、乾燥・半乾燥地域に生育する主要植物種の土壌劣化（流動砂、土壌水分減少、土壌有機物減耗等）に対する生理生態特性を実験的に解析し、土壌劣化に対する反応性・適応能を明らかにし、砂漠化現地における植生変動の機構を説明するとともに、砂漠化指標としての適用性について検討する必要がある。また、土壌劣化を含む環境要因に対する現地植物種の発芽特性<sup>6-13)</sup>と生長特性<sup>14-16)</sup>を把握することは、植物を用いた土壌劣化（砂漠化）回復の有効性を評価するために必要不可欠の基盤であり、重要な指標となる。しかしこれまで、砂漠化の進む中国北部地域やモンゴルの乾燥・半乾燥地域に生育する主要植物種の、環境変動に対する反応や土壌劣化の影響に関する実験報告はほとんどない。

## 2. 研究目的

本研究では、中国北部内蒙古自治区の沙地やモンゴル南部のカラガナステップ地域を対象とし、土壌劣化とそれに伴う植生の変化を科学的に説明するために、これらの地域に生育する指標植物（候補）種について、土壌環境をはじめとする各環境要因に対する生理生態特性等の基盤的情報を整備することを目標とする。そこで、土壌環境をはじめとした様々な環境要因の各指標植物（候補）種の発芽や生長に対する反応性を検討し、複数の種で比較することにより、現地の指標植物を用いた砂漠化（土壌劣化）評価手法の開発に有用な基盤情報、また、適切な砂漠化回復植物に有用な情報を提供する。

そこで、ホルチン沙地に生育する指標植物候補種（*Agropyron cristatum*、*Artemisia halodendron*、*Caragana korshinskii*、*Caragana microphylla*、*Clinelymus dahuricus*、*Medicago sativa*、*Melilotus suaveolens*）、およびやモンゴル国セレンゲ県のカラガナステップに生育する、*Agropyron cristatum*と*Caragana microphylla*を用いて、光強度（流動砂）、温度、降水量（水ポテンシャル）に対する種子発芽反応、および降水量（水ポテンシャル）、土壌劣化と関連する窒素（N）濃度に対する乾物生長特性について実験的に解明する。

## 3. 研究方法

### （1）中国ホルチン沙地およびモンゴルカラガナステップにおける生態環境

研究対象地域の中国北部内蒙古自治区の沙地およびモンゴル南部のカラガナステップ地域現地における気象・土壌・植生などの環境データを、現地観測所などの試料、野外調査等から収集し、整理した。

## (2) 実験植物の生態特性

現地で採種し本研究で用いた、中国内蒙古自治区ホルチン沙地に生育する7種、およびモンゴル国セレンゲ県カラガナステップに生育する2種の乾性地植物の基本的な生態特性を表1に示す。

表1. 本実験に用いた主要植物7種の基本的生態特性

| Species                                   | Abbreviation | Ability to fix nitrogen | Life form        | Regeneration |
|---|--------------|-------------------------|------------------|--------------|
| Horqin sandy land (Inner Mongolia, China) |              |                         |                  |              |
| <i>Agropyron cristatum</i>                | AC           | No                      | Perennial, grass | Seeds        |
| <i>Artemisia halodendron</i>              | AH           | No                      | Perennial, shrub | Seeds        |
| <i>Caragana korshinskii</i>               | CK           | Yes                     | Perennial, shrub | Seeds        |
| <i>Caragana microphylla</i>               | CM           | Yes                     | Perennial, shrub | Seeds        |
| <i>Clinelymus dahuricus</i>               | CD           | No                      | Perennial, grass | Seeds        |
| <i>Medicago sativa</i>                    | MSA          | Yes                     | Perennial, grass | Seeds        |
| <i>Melilotus suaveolens</i>               | MSU          | Yes                     | Annual, grass    | Seeds        |
| Caragana Steppe (Selenge aimag, Mongolia) |              |                         |                  |              |
| <i>Agropyron cristatum</i>                | AC           | No                      | Perennial, grass | Seeds        |
| <i>Caragana microphylla</i>               | CM           | Yes                     | Perennial, shrub | Seeds        |

## (3) 気温に対する発芽反応実験

0.52%次亜塩素酸で種子表面を約1分間殺菌後、3枚の濾紙(No.1; 東洋濾紙)を敷いたペトリ皿(90mm φ × 15mm H)に播種した。濾紙は純水で湿らせ、種子の約半分を水に浸した<sup>13)</sup>。各皿に25粒播種し、各処理5皿を反復処理とした<sup>10)</sup>。水分蒸発を抑制し種子周囲の水環境を安定させるために、ペトリ皿を透明プラスチックケース内に置き、蓋をした。

人工光型環境制御室(1.2m W × 0.8m L × 1.8m H; 小糸工業)4室を用いて、暗条件、相対湿度70%のもと、気温を20/10、25/15、30/20、35/25℃(14時間/10時間)の4条件に設定し、発芽実験を行った。種子を毎日10 μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>以下の緑色安全光のもとで観察し、幼根が見えた時点で発芽と確認した。種子発芽特性は、最終発芽率と発芽速度の2指標によって表した。最終発芽率は、発芽した種子の割合と定義され、発芽速度は、以下のRozemaモデルによって算出した<sup>6)</sup>。

$$\text{発芽率(\%)} = [100 (\Sigma G_i) / n],$$

$$\text{発芽速度} = [\Sigma (100G_i / n t_i)],$$

ここで、 $n$ は実験に使用した種子総数、 $G_i$ は $t_i$  ( $i=1, 2, \dots$ )日目に新しく発芽した種子数である。数字が大きいくほど発芽速度が速くなる。統計処理にはTurkeyの多重比較を用いた。

## (4) 光強度に対する発芽反応実験

種子の殺菌や発芽実験手法は上記(3)と同様である。人工光型環境制御室(2.31.2m W × 0.8m L × 1.8m H; 小糸工業)5室を用いて、14時間明期/10時間暗期、気温25/15℃(明/暗)、相対湿度50/60%(明/暗)のもと、光条件を0(暗条件)、15、62.5、250、1000 μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>に設定し、発芽実験を行った。上記(3)と同様に毎日観察し、幼根が見えた時点で発芽と確認した。種子発

芽特性は、上記（3）で述べたように、最終発芽率と発芽速度の2指標によって表した。

#### （5）水ストレスに対する発芽反応実験

種子の殺菌や発芽実験手法は前記（3）と同様である。濾紙は水ポテンシャル（ $\Psi_w$ ）のわかる PEG-6000 の溶液を用いて湿らせ、種子の約半分を溶液に浸した<sup>13)</sup>。PEG 溶液は Michel & Kaufmann の方程式（1973）に従って調整し、水ポテンシャルを 0、-0.2、-0.4、-0.6、-0.8、-1.0、-1.2、-1.4、-1.6、-1.8、-2.0 MPa にセットした。人工光型環境制御室（1.2m W × 0.8m L × 1.8m H；小糸工業）5室を用いて、暗条件、相対湿度 70%のもと、気温を 10、15、20、25、30℃一定の 5 条件に設定し、発芽実験を行った。上記（3）と同様に毎日観察し、幼根が見えた時点で発芽と確認した。PEG 溶液の水ポテンシャルは変化するので、毎日各ペトリ皿の約 3 分の 2 の溶液を新しい溶液と交換した（Tobe et al. 2000）<sup>11)</sup>。種子発芽特性は、前記（3）で述べたように、最終発芽率と発芽速度の2指標によって表した。

#### （6）土壌水分に対する生長反応実験

各植物の種子を播種用培土（川砂）に播種し、自然光型温室（温度 25℃/相対湿度 70%）において発芽・育苗した。発芽後 1～2 週間で、実験用培土を詰めたポット（7cm φ × 11cm H）に植物を移植し、同条件下で 3～4 週間育成後、人工光型環境制御室（1.7m W × 2.3m L × 1.9m H；小糸工業）に移動し、実験を行った（図 1）。

実験用培土としては、十分に洗浄した海砂もしくは川砂を篩器で選別し、重量比で粒径 0.05～0.25mm：45%、0.25～1.00mm：50%、となるように調整した。これに園芸培土（呉羽化学）を粉碎した粒子を 5%加えて、本生長実験に用いた。なお、園芸培土 1Kg には、窒素、リン酸、加里、苦土が各々、0.4g、1.9g、0.6g、0.2g 含まれている。

14 時間明期/10 時間暗期、明期の光量子密度：約 1,000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、気温 25/15℃（明/暗）、相対湿度 50/60%（明/暗）の環境条件のもと、4 週間実験を続けた。土壌水分環境として、1 ヶ月あたり、30、60、90、120 mm/月に設定した灌水を行った。処理期間中の平均水ポテンシャルは、各々 -15.2、-6.7、-3.1、-2.6 kPa で、安定化後では -25.2、-9.7、-3.4、-2.7 kPa であった。



図 1. 人工光型環境制御室と実験用植物栽培

Horqin 沙地産の 7 植物種およびカラガナステップ産の 2 植物種を実験に用いた（表 1 参照）。実験開始および終了時に、植物を収穫し、葉面積を計測後（3100 型；Li-Cor. Corp. USA）、根、茎、葉に分け、乾燥機（90℃）で最低 3 日間乾燥させ、乾重を計測した（AB204-S；Mettler Instruments. A. G., Switzerland）。統計処理には Turkey の多重比較を用いた。

#### （7）窒素（N）処理に対する生長反応実験

各植物の種子を播種用培土（川砂）に播種し、自然光型温室（温度 25℃/相対湿度 70%）において発芽育成した。発芽後 3～5 日に、アクアボールを詰めた礫耕用網型ポット（5cm φ×6cm H）に植物を移植し、同条件下で 3～5 日間水耕栽培後、自然光型環境制御室（2m W×2m L×2m H；小糸工業）2 室に移動し、生長実験を行った。各環境制御室の気温は 25/15℃（昼/夜）に、相対湿度は 50/60%（昼/夜）に設定した。本実験では液耕栽培システムを用いた（図 2）。

液耕溶液としては、リン：3mg  $l^{-1}$ 、カリウム：4mg  $l^{-1}$ 、カルシウム：4mg  $l^{-1}$ 、マグネシウム：2mg  $l^{-1}$ 、に Hoagland No.2 微量要素類と微量の Fe-EDTA を加えたものを用いた。これに  $NH_4NO_3$  を窒素濃度が 40 mg  $l^{-1}$  (A)、10 mg  $l^{-1}$  (B)、2.5 mg  $l^{-1}$  (C)、0.625 mg  $l^{-1}$  (D)、0.1563 mg  $l^{-1}$  (E)、0.0391 mg  $l^{-1}$  (F)、0 mg  $l^{-1}$  (X) になるように調整した。実験に用いた植物種や植物の収穫法、統計処理などについては、上記（6）と同様である。



図 2. 自然光型環境制御室と液耕栽培で生育する植物

## 4. 結果・考察

### （1）中国ホルチン沙地およびモンゴルカラガナステップにおける生態環境

近年におけるホルチン沙地の年平均気温は 5.9℃ であり、1 月の平均気温は -12.6～-16.2℃、7 月の平均気温は 20.3～23.9℃ であった。1 年の最高気温は 39℃、最低気温は -29.3℃ であった。年降水量は 375 mm であり、近年の 5 月～9 月の降水量は、年間降水量のほぼ 70～80% であった。一方、モンゴルカラガナステップの年平均気温は 2.5℃ であり、1 月の平均気温は -15.2～-21.8℃、7 月の平均気温は 17.7～22.8℃ であった。1 年の最高気温は 39.6℃、最低気温は -34.9℃ であった。年降水量は 157mm であり、ホルチン沙地同様近年の 5 月～9 月の降水量は、年間降水量のほぼ 70～80% であった。2 地域を比較してみると、モンゴルカラガナステップは、中国ホルチン沙地に比べて、年平均気温、年降水量ともに半分以下の値であった。特に、中国ホルチン沙地に比べ

てモンゴルカラガナステップでは、夏場の降水量が半分以下、また冬場の気温が $-4^{\circ}\text{C}$ ほど低かった。2地域の月別の平均気温と降水量を図3に示す。

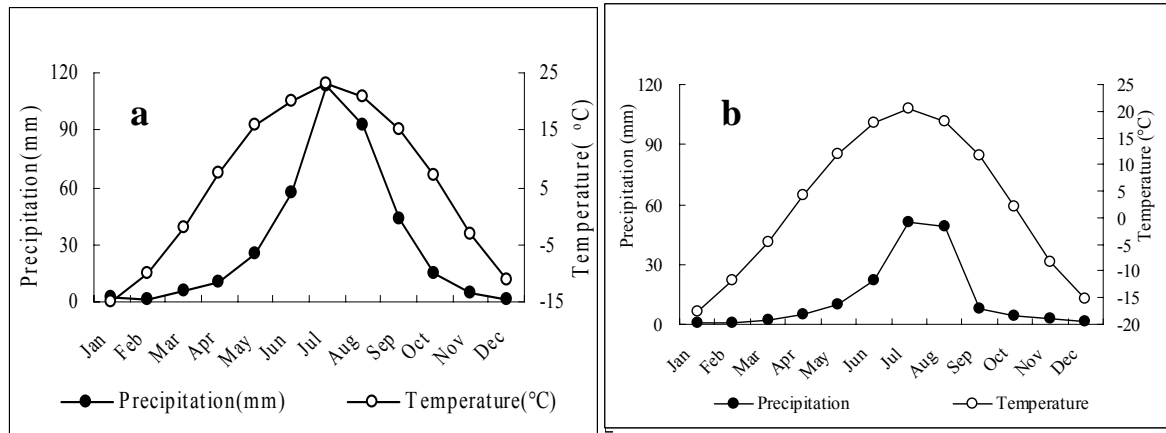


図3. 中国ホルチン沙地 (a) およびモンゴルカラガナステップ (b) における月別の平均気温および降水量

## (2) 気温に対する乾性地植物の発芽反応

本研究に用いたホルチン沙地産の植物のうち4種、*A. cristatum*、*A. halodendron*、*C. korshinskii*、*C. microphylla* の発芽率の経時変化を図4に示す。*Caragana* 2種は比較的早く一定の発芽率に達したが、他の2種では発芽に要する日数のばらつきが大きかった。

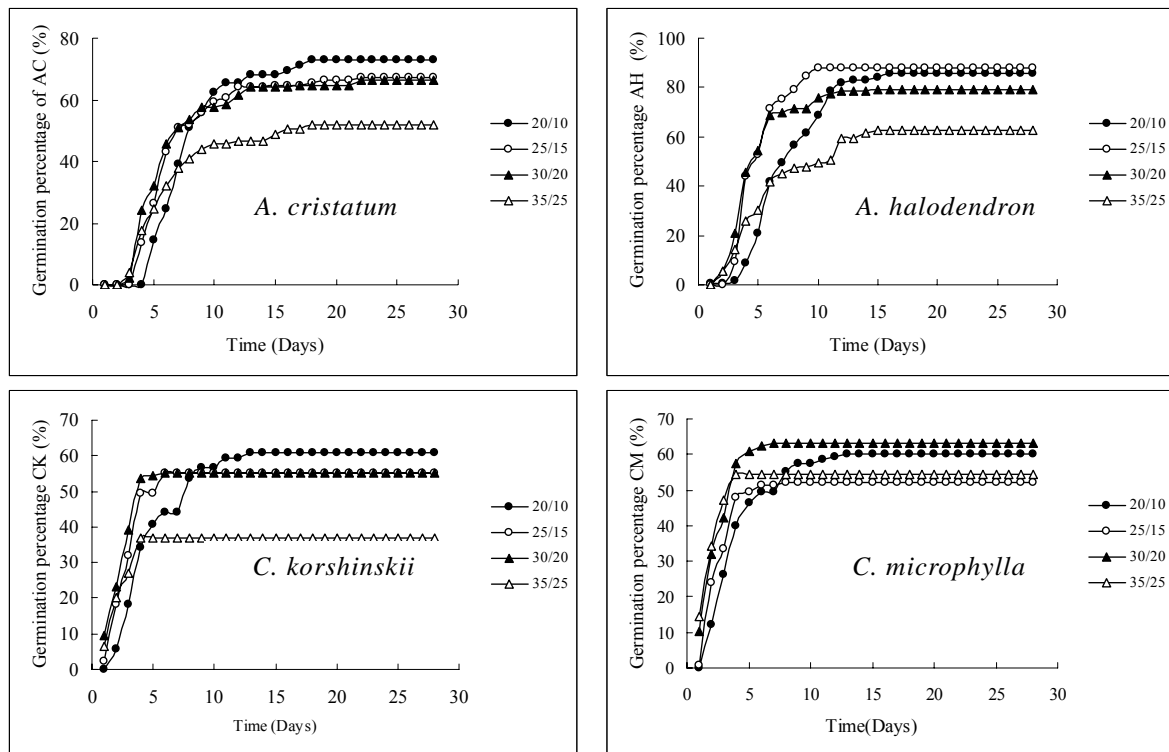


図4. 異なる温度でのホルチン沙地産植物4種の種子発芽の経時変化。略称は表1参照。



温度変動による最終発芽率への反応を植物7種で比較した(図5上)。*C. dahuricus*、*C. microphylla*、*M. sativa* の最終発芽率は温度の影響をほとんど受けなかったが、*A. cristatum*、*A. halodendron*、*C. korshinskii*、*M. suaveolens* では温度上昇によって発芽率が抑制され、35/25℃(昼/夜)処理ではそれ以下の処理に比べて有意な影響(発芽抑制)が認められた。特に、*M. suaveolens* では、25/15℃でも有意な発芽抑制が引き起こされた。一方、発芽速度(図5下)は多くの種で、30/20℃で最大を示し、それ以上では抑制された。しかし、*M. sativa* では25/15℃、*C. microphylla* では35/25℃でその最大値が認められた。*C. microphylla* では、その発芽率も発芽速度も高温(35/25℃)による抑制をほとんど受けなかった。

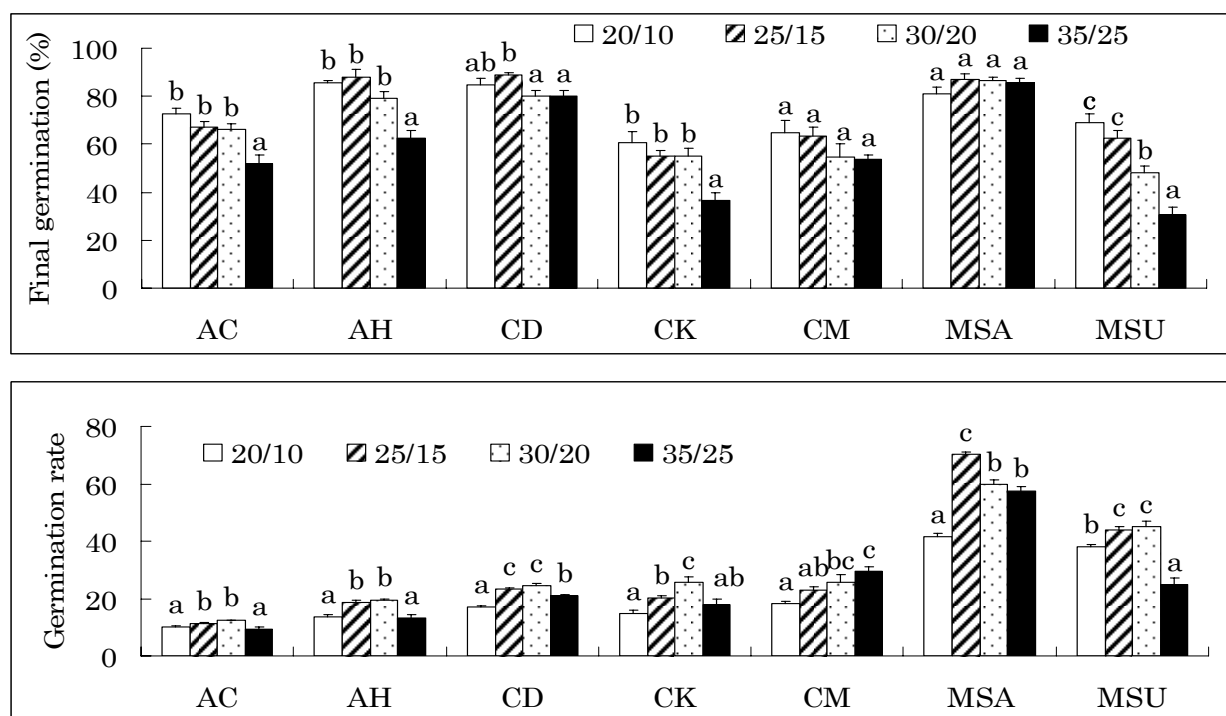


図5. 温度処理が植物7種の最終発芽率(上)と発芽速度(下)に及ぼす影響の比較。棒グラフ上の異なる英小文字は、植物種ごとに各温度処理間で有意差(5%)があることを示す。略称は表1参照。凡例の数字は処理温度(14時間/10時間;℃)。

本研究では、*A. cristatum* と *C. microphylla* の植物2種に関して、中国ホルチン沙地産とモンゴルカラガナスステップ産の2地域から種子を採取できた。そこで、モンゴル産の植物でも上記と同様な発芽-温度実験を実施し、これら植物2種×2生態種の最終発芽率と発芽速度を産地毎に比較した(図6)。実験期間中、モンゴル産のこれら2種の発芽は中国産の同種と比較して、一定の発芽率に達する時間が長かったが、発芽反応自体は全体的には同様な反応を示した。

しかし、中国産と比べモンゴル産の *A. cristatum* の発芽率は、低温ほど高く、また高温ほどその抑制が顕著であった。さらに、中国産 *A. cristatum* の最大発芽速度は30/20℃であったが、モンゴル産同種の最大発芽速度は25/15℃であり、高温域でより顕著な発芽速度の抑制が認められた。これらの結果はモンゴル産の *A. cristatum* の方がより寒冷地に適している可能性を示唆している。

一方、有意差はないが、温度上昇によって、中国産 *C. microphylla* の発芽率が低下する傾向が

認められたが、モンゴル産同種の発芽率は増加する傾向があった。発芽速度はどちらも温度上昇に伴って増加しているが、より寒冷地に生育しているモンゴル産 *C. microphylla* のより高温での発芽率増加についてはさらに詳細な検討が必要である。

本研究結果は、同種であっても地域（生態種）によって発芽特性が異なる場合があることを示しており、飛行機播種等を考える際にも考慮すべきである。

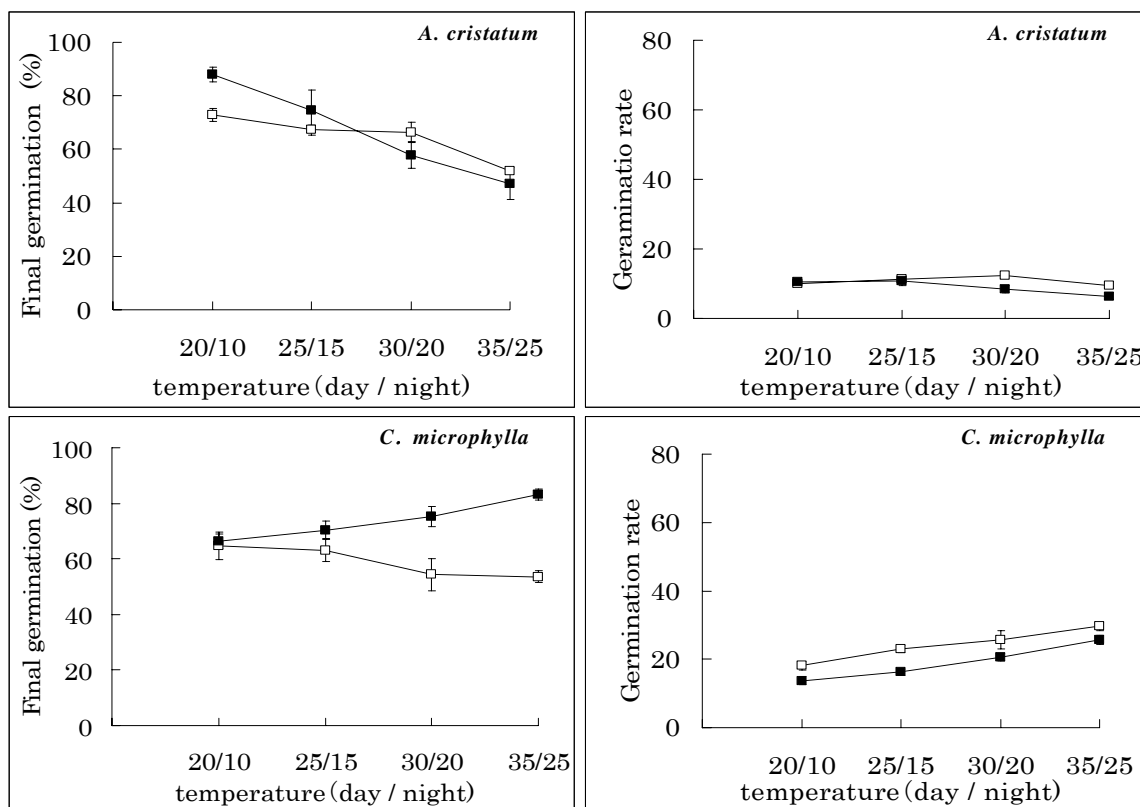


図 6. 温度処理が中国ホルチン沙地産およびモンゴルカラガナスステップ産の *A. cristatum* と *C. microphylla* の最終発芽率と発芽速度に及ぼす影響の比較。略称は表 1 参照。図中の□は中国産生態種を、■はモンゴル産生態種を示す。

### (3) 光強度に対する乾性地植物の発芽反応

本研究に用いたホルチン沙地産の植物 7 種の光強度に対する最終発芽率を図 7 上に示す。多くの種は光強度の増加に伴って最終発芽率は減少した。*A. cristatum*、*C. microphylla*、*C. korshinskii*、*C. dahuricus*、*A. halodendron* では、光強度 0~250  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  で最終発芽率は 60~90% の値を示したが、1000  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  では 5% 未満であり、光強度が強くなると最終発芽率は著しく低下した。一方、*M. sativa* では、0~250  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  での最終発芽率が 80% 以上、1000  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  でも約 70% を示し、光強度に対して最終発芽率は緩やかに低下した。*M. suaveolens* は *M. sativa* に比べて最終発芽率は低い、*M. sativa* と同様に光強度が増すにつれて緩やかに低下した。

発芽速度を図 7 下に示す。多くの植物種は光強度の増加に伴い、発芽速度は緩やかに抑制されたが、*A. cristatum*、*C. microphylla*、*C. korshinskii*、*C. dahuricus*、*A. halodendron* では 0~250  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  処理に比較し、1000  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  処理ではその発芽速度は極端（1 未満）に抑制された。な



お、*C. korshinskii*、*M. suaveolens* および *M. sativa* では  $0\sim 250 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  での発芽速度が  $30\sim 60$  であり、他の 4 種に比べ速かった。

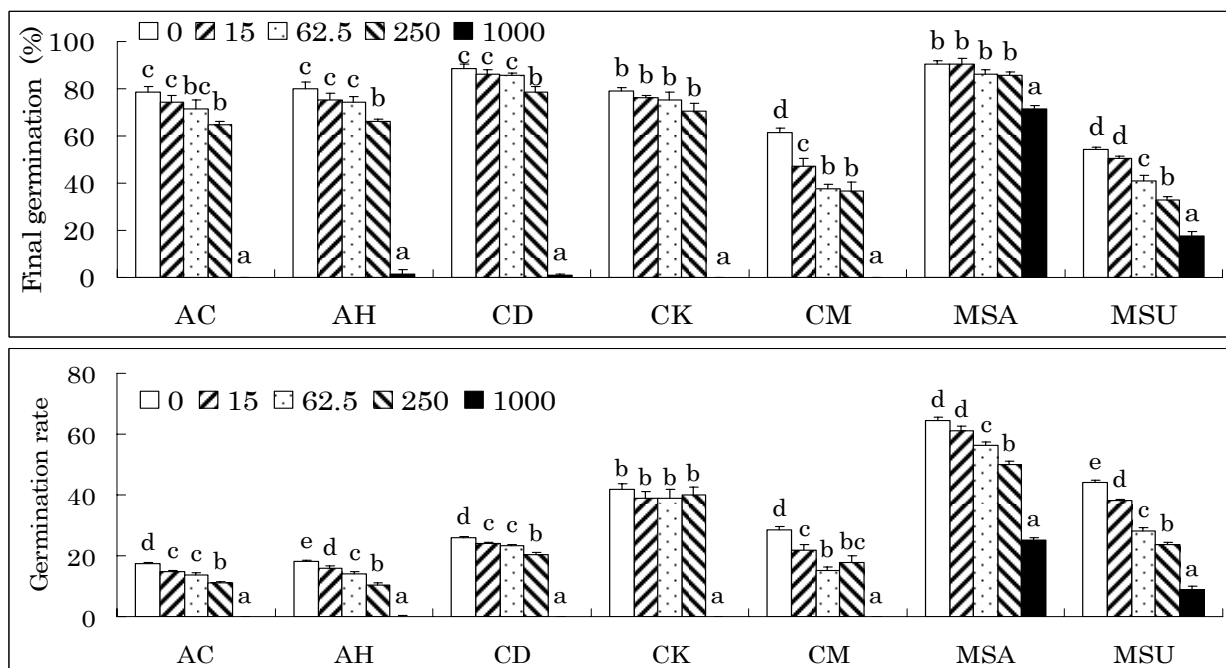


図 7. 光強度処理が植物 7 種の最終発芽率（上）と発芽速度（下）に及ぼす影響の比較。棒グラフ上の異なる英小文字は、植物種ごとに各温度処理間で有意差（5%）があることを示す。略称は表 1 参照。凡例の数字は処理光強度（ $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ）。

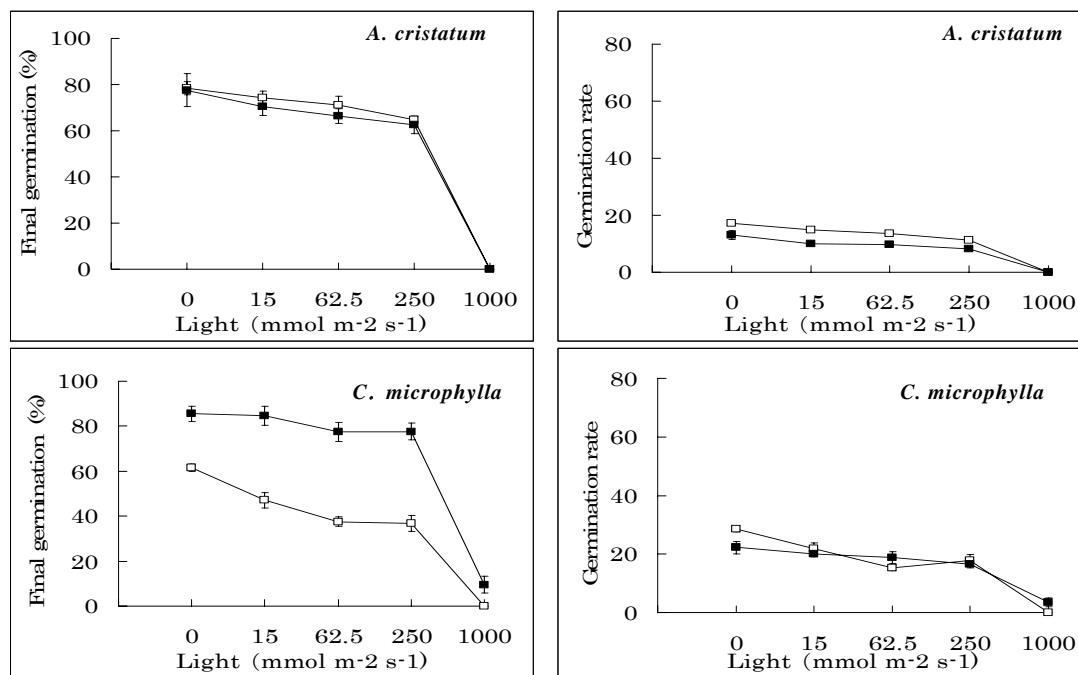


図 8. 光強度が中国ホルチン沙地産およびモンゴルカラガナスステップ産の *A. cristatum* と *C. microphylla* の最終発芽率と発芽速度に及ぼす影響の比較。略称は表 1 参照。図中の□は中国産生態種を、■はモンゴル産生態種を示す。

以上のことから、*A. cristatum*、*C. microphylla*、*C. korshinskii*、*C. dahuricus* および *A. halodendron* は *M. suaveolens* および *M. sativa* の 2 種に比べて種子に砂が覆いかぶさるような状態でないと発芽しにくいと思われる。

*Agropyron cristatum* と *Caragana microphylla* の植物 2 種に関しては、産地毎に最終発芽率と発芽速度を比較した (図 8)。*A. cristatum*、*C. microphylla* とともに光強度が増すと最終発芽率および発芽速度は低下した。特に  $1000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  での両値は著しく低下した。*A. cristatum* では中国産とモンゴル産ともに同じくらいの最終発芽率、発芽速度であったが、一方 *C. microphylla* ではモンゴル産に比べて、中国産の最終発芽率は低かった。発芽速度の傾向には産地間のちがいは認められなかった。

#### (4) 水ストレスに対する乾性地植物の発芽反応

本研究に用いたホルチン沙地産の植物 7 種のうちいくつかの種について 5 段階の温度処理毎の水ストレスに対する最終発芽率の反応を図 9 に示す。

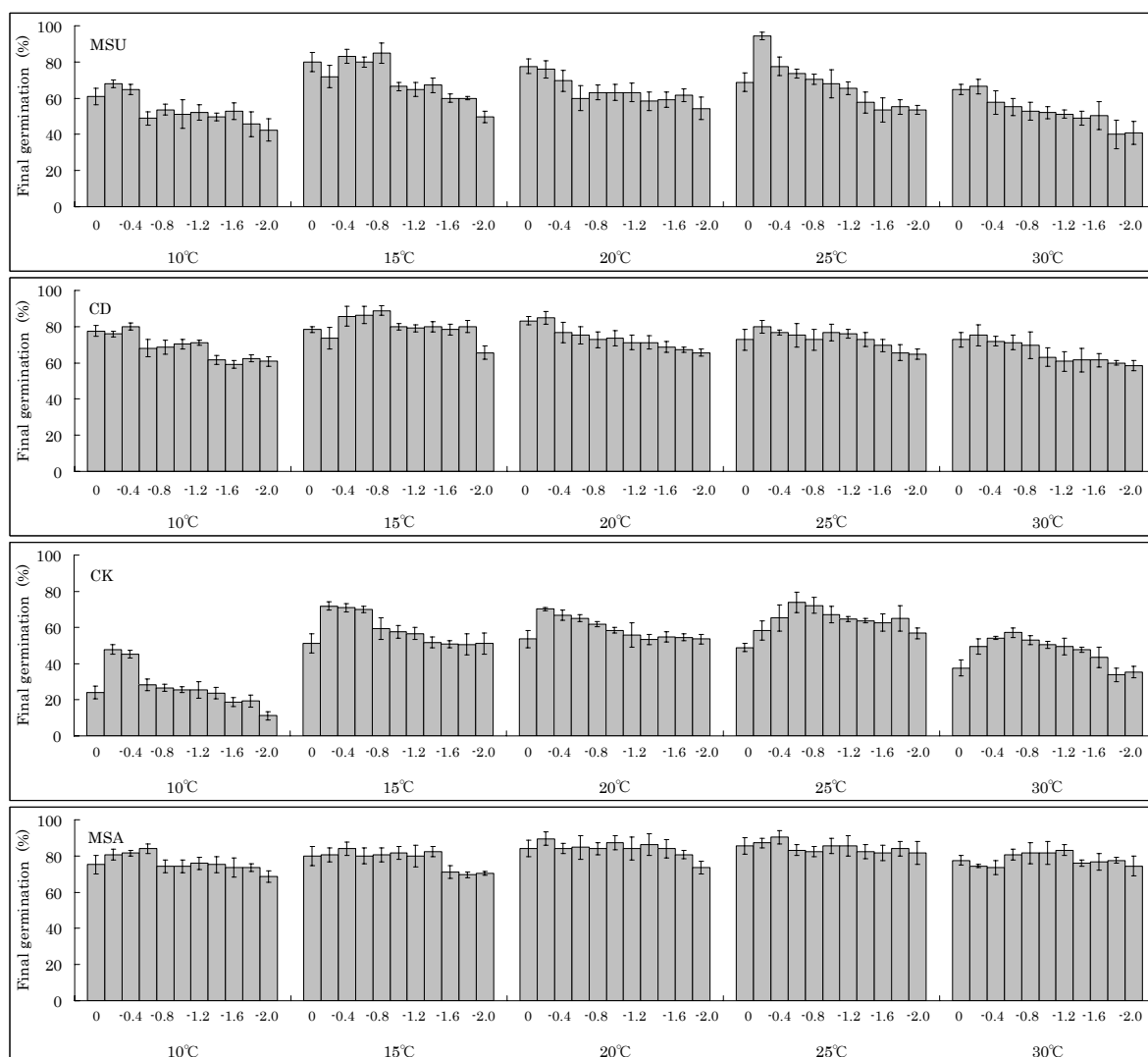


図 9. 各温度における水ストレスが最終発芽率に及ぼす影響。略称は表 1 参照。グラフ下の数字は水ストレスの強度を表す (水ポテンシャル; MPa)。

多くの植物種は水ポテンシャルの減少に伴い、最終発芽率が低下した。*C. dahuricus*、*A. halodendron*、*M. suaveolens*、*C. korshinskii*、*C. microphylla* では、いくつかの温度処理区で低い水ポテンシャル処理による有為な影響が認められた。ただし、*C. korshinskii*、*C. microphylla* では水ポテンシャルが高すぎても最終発芽率が低下する傾向が認められる温度処理区があった。一方、*M. sativa*、*A. cristatum* では水ポテンシャルの差に拘わらず、ほとんど一定の最終発芽率を示した。

いくつかの種について発芽速度を図 10 に示す。多くの植物種は水ポテンシャルの減少に伴い、発芽速度は抑制された。*M. suaveolens*、*M. sativa*、*A. halodendron*、*C. dahuricus* では、ほとんどの温度処理区において、有意な差が認められ、特に *M. suaveolens*、*M. sativa* では水ポテンシャルが  $-0.2 \sim -0.8$  MPa において最大発芽速度を示した。一方 *A. halodendron*、*C. dahuricus* でも水ポテンシャルが  $-0.2 \sim -0.8$  MPa のいずれかで最大発芽速度を示したが、*M. suaveolens*、*M. sativa* に比べて半分以下の速度であった。*C. korshinskii* は  $10^{\circ}\text{C}$ 、 $15^{\circ}\text{C}$ 、 $20^{\circ}\text{C}$  の 3 温度区において有意な差がみとめられた。しかし、水ポテンシャルが高すぎても発芽速度が低下する傾向があった。*A. cristatum*、*C. microphylla* は水ポテンシャルの差に拘わらず、ほとんど一定の発芽速度を示した。

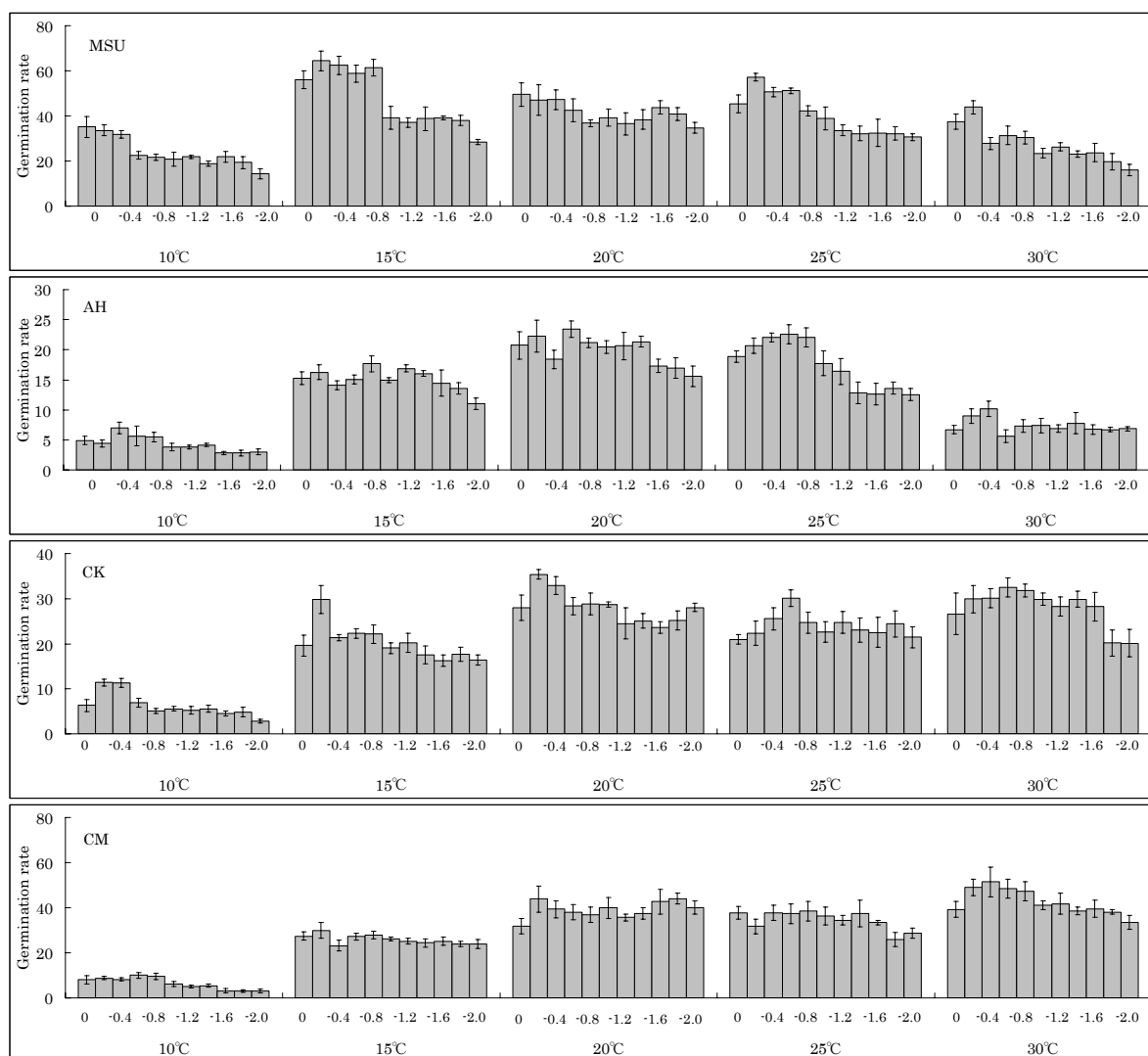


図 10. 各温度における水ストレスが発芽速度に及ぼす影響。略称は表 1 参照。グラフ下の数字は水ストレスの強度を表す（水ポテンシャル；MPa）。

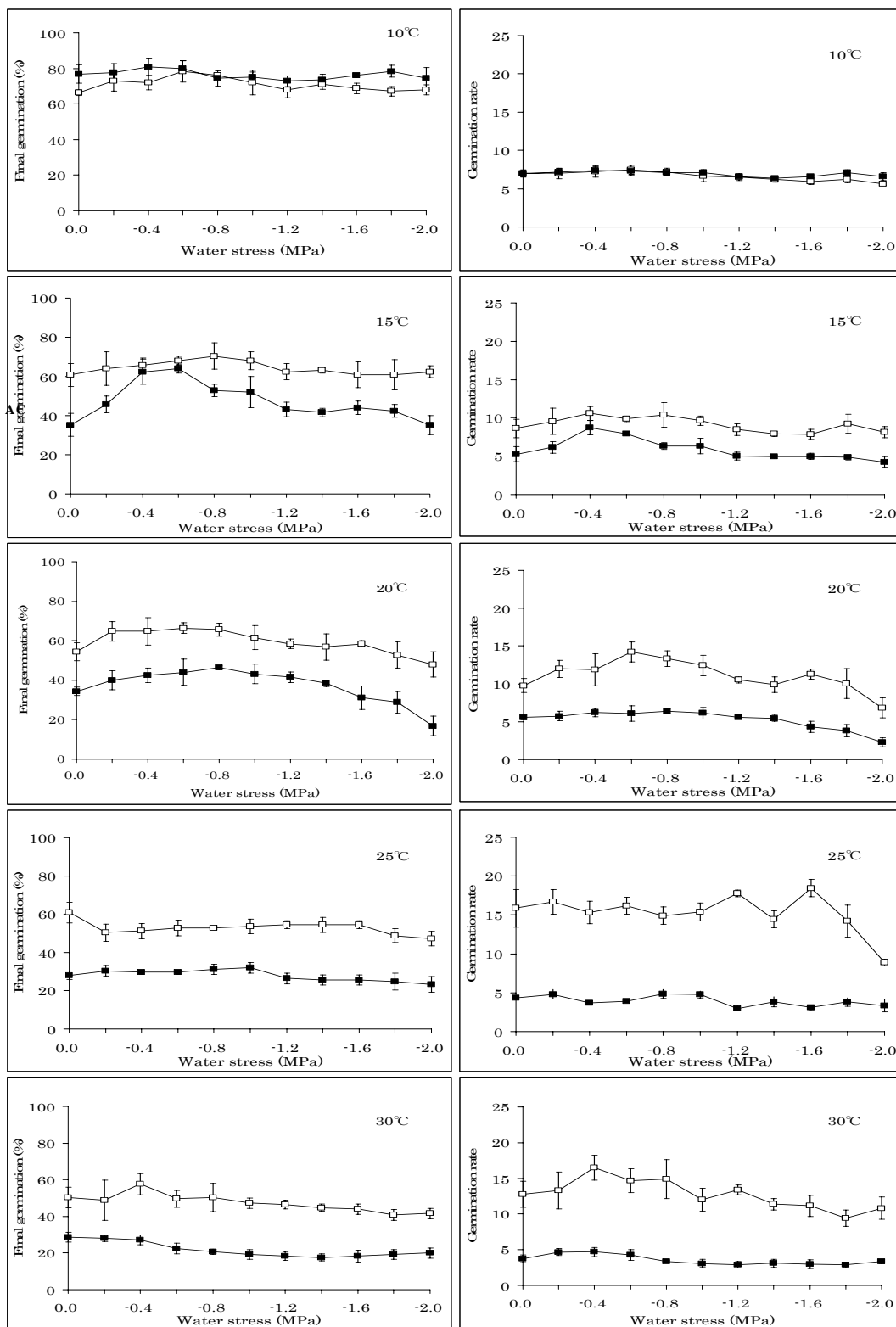


図 11. 各温度における水ストレスが中国産およびモンゴル産 *A. cristatum* の最終発芽率と発芽速度に及ぼす影響の比較。図中の口は中国産生態種を、■はモンゴル産生態種を示す。

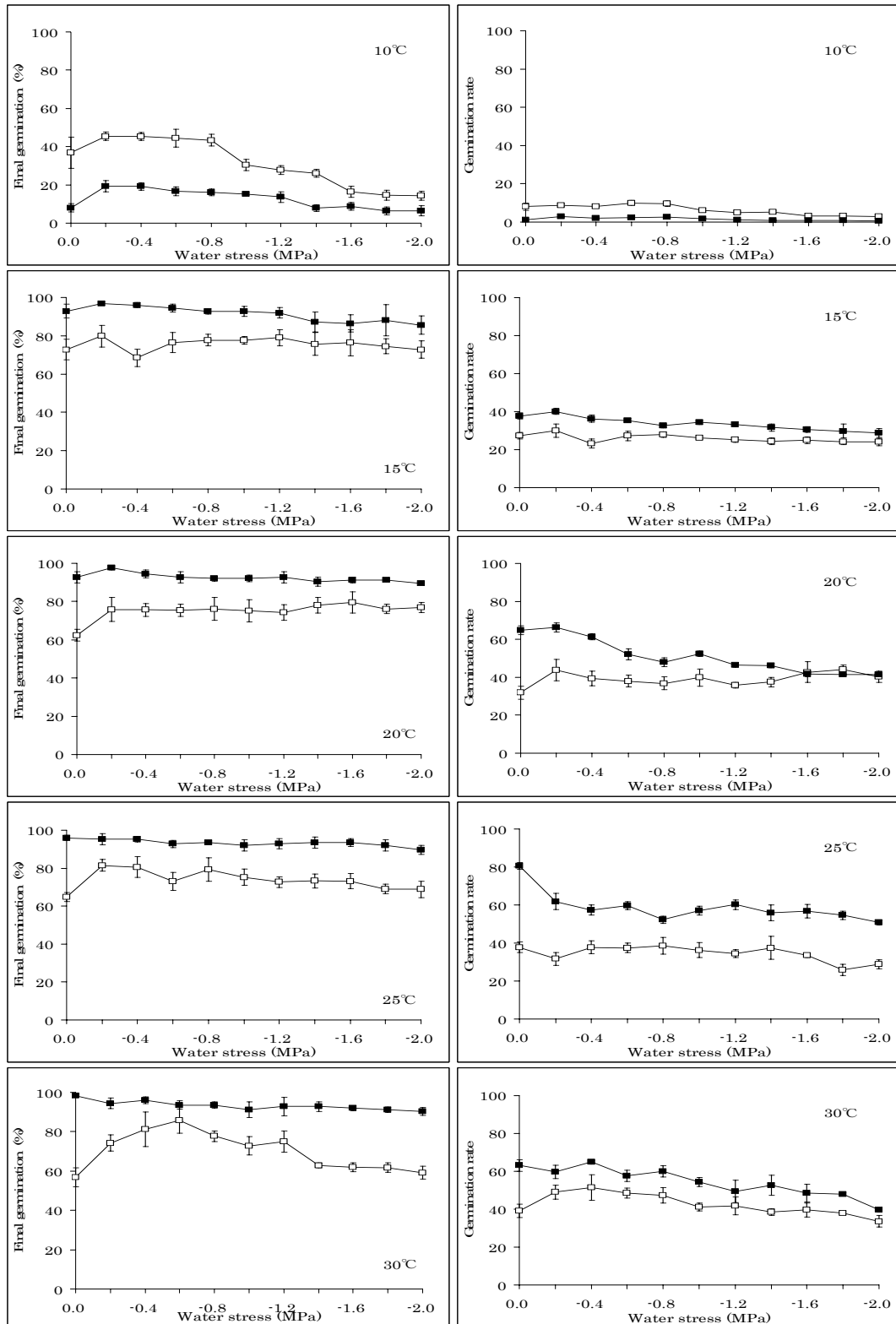


図 12. 各温度における水ストレスが中国産およびモンゴル産の *C. microphylla* の最終発芽率と発芽速度に及ぼす影響の比較。図中の□は中国産生態種を、■はモンゴル産生態種を示す。

*A. cristatum* と *C. microphylla* の植物 2 種に関しては、中国ホルチン沙地産とモンゴルカラガナステップ産を産地毎に比較し、図 11、12 に示した。中国産 *A. cristatum* (図 11) は水ポテンシャルの差に拘わらずほとんど一定の最終発芽率を示したが、モンゴル産同種では 15℃ および 20℃ の温度処理区において、水ポテンシャルが高すぎても最終発芽率が低下する傾向が認められた。また、*A. cristatum* の発芽速度は両産地種共に水ポテンシャルの差に拘わらず、ほとんど一定の発芽速度を示した。ただし、どの水ポテンシャルにおいても、モンゴル産に比べて中国産のほうが発芽速度はやや速かった。中国産 *C. microphylla* (図 12) は 10℃ と 30℃ の温度処理区において水ポテンシャルの減少に伴い、最終発芽率が低下する傾向が認められた。また、水ポテンシャルが高すぎても最終発芽率が低下した。一方モンゴル産同種では水ポテンシャルの差に拘わらず、ほとんど一定の最終発芽率を示した。*C. microphylla* の発芽速度は中国産が水ポテンシャルの差に拘わらず、ほとんど一定の発芽速度を示したにもかかわらず、モンゴル産同種では水ポテンシャルの減少に伴い発芽速度は抑制され、5 温度処理区全てにおいて有意な差がみとめられた。また、*C. microphylla* では、中国産に比べてモンゴル産のほうが 10℃ 処理以外、やや早い発芽速度を示した。

#### (5) 植物の栄養生長に及ぼす水ストレスの影響

各水処理区の土壌中の水分の変動を図 13a に示す。土壌水分が安定した実験開始から 9 日後から 1 週間の平均土壌水分は、水処理区 30mm/月で -25.2 kPa と最も低かった。次いで、水処理区 60mm/月では -9.7 kPa、水処理区 90mm/月では -3.4 kPa、最も高い水処理区 120mm/月では -2.7 kPa であった (図 13b)。

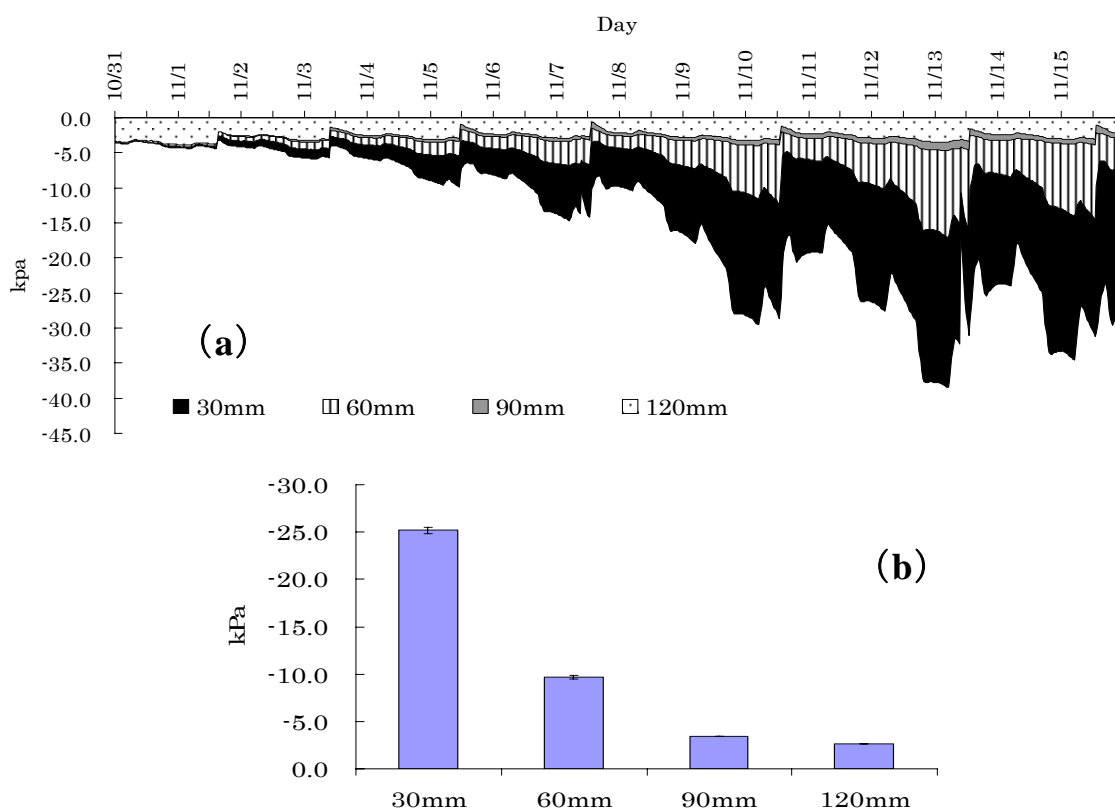


図 13. 水処理 (降水量相当/月) による土壌水分 (水ポテンシャル) の変化 (a) と安定後の土壌水分の平均値 (b)。

本研究に用いたホルチン沙地産の植物7種の水ストレスに対する葉面積、各器官の乾重および固体乾重を図14に示す。

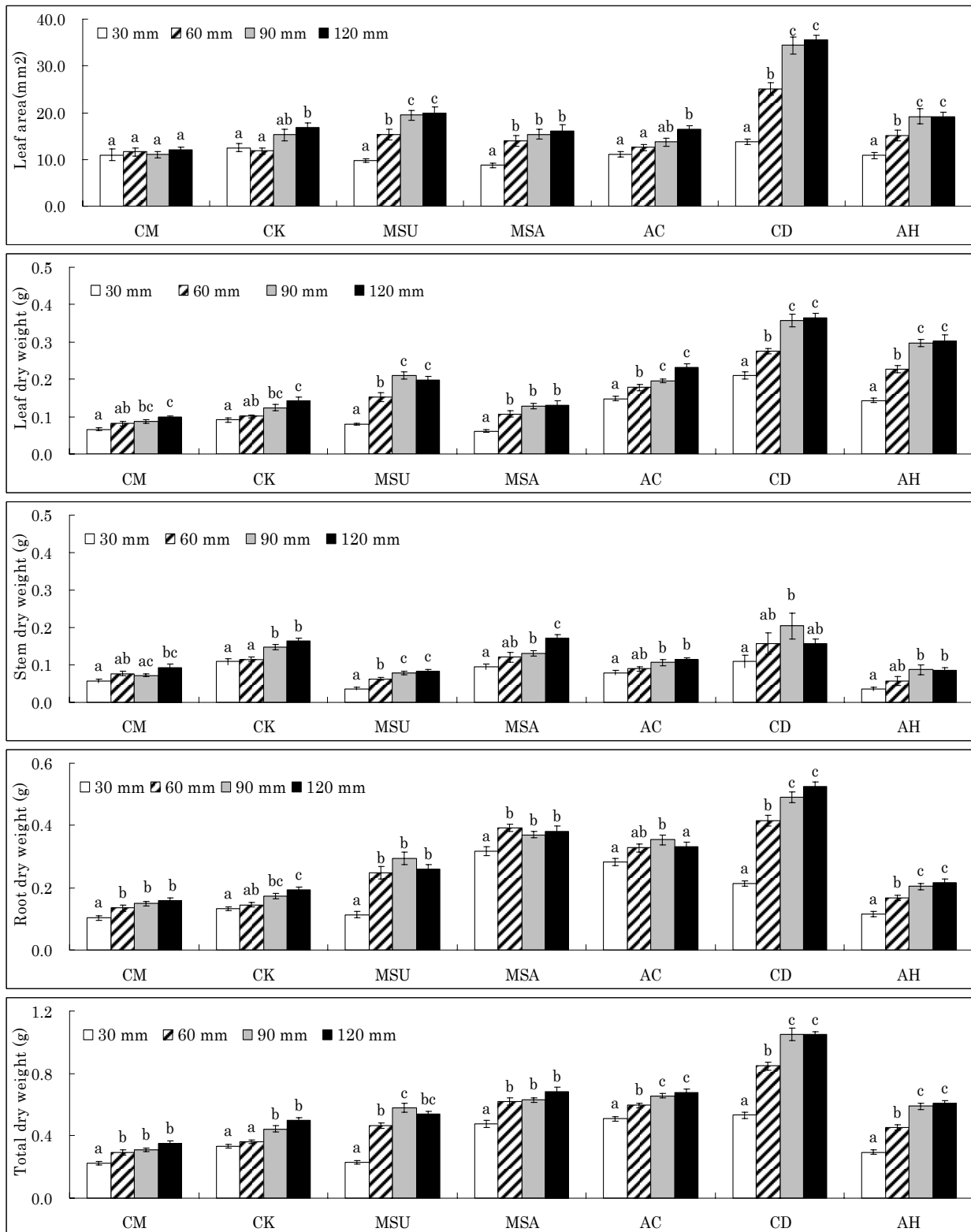


図14. 水処理が植物7種の葉面積、各器官の乾重および個体乾重におよぼす影響の比較。異なる英小文字は植物種ごと各水処理間での有意差(5%)。凡例の数字は水処理(mm/月)。



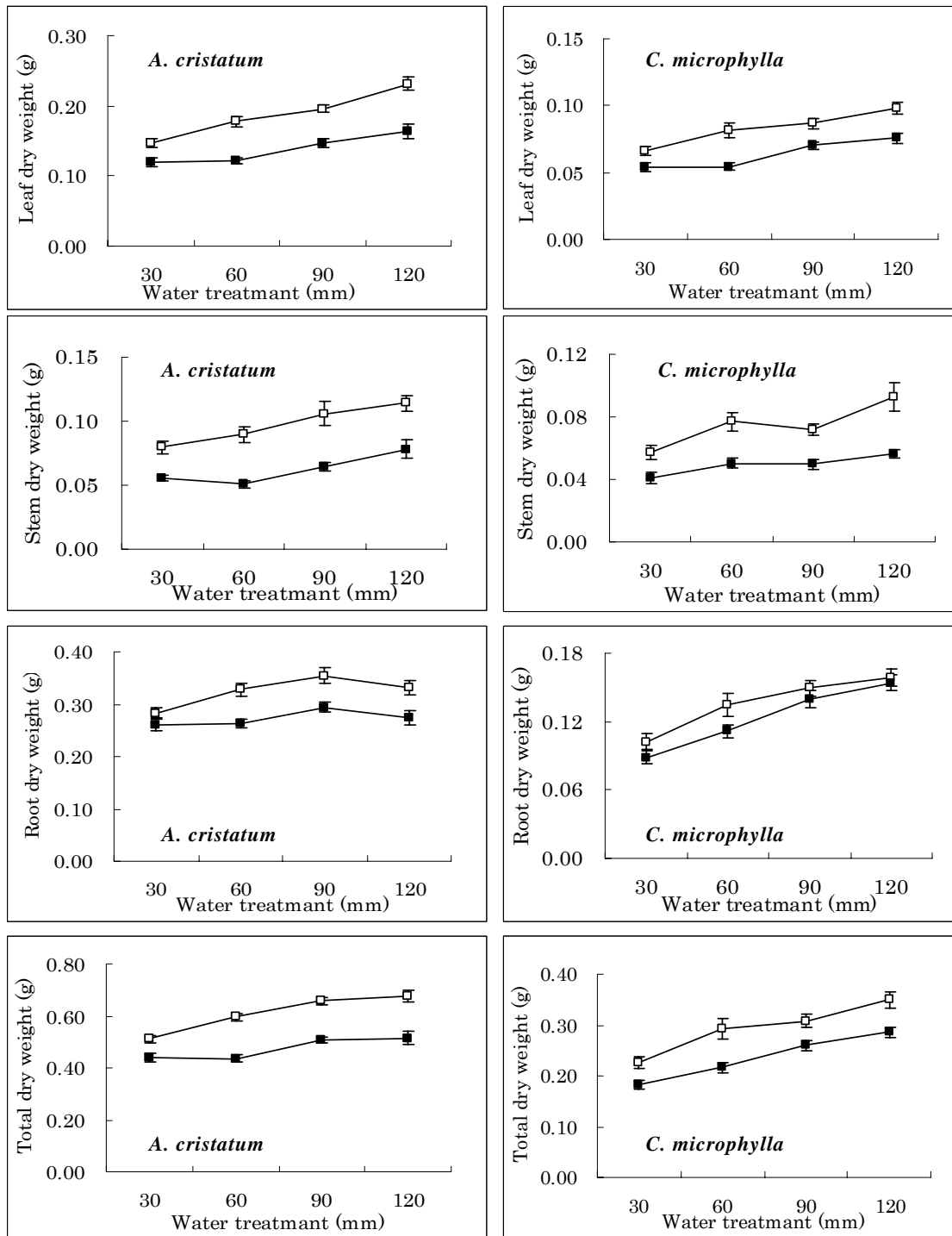


図 15. 水処理が中国産およびモンゴル産の *A. cristatum* および *Caragana microphylla* の各器官の乾重および個体乾重に及ぼす影響の比較。図中の□は中国産生態種を、■はモンゴル産生態種を示す。

乾重生長に関しては、根、茎、葉の各器官別乾重も個体乾重も、全ての植物種で、土壤水分欠乏に伴う生長低下の傾向が認められた。しかしその抑制程度は異なり、*A. halodendron*、*C. dahuricus*、

*M. suaveolens* の個体乾重量を比較すると、灌水量 30mm/月（平均水ポテンシャル-25.2KPa）処理は、90mm（-3.4KPa）、120mm（-2.7KPa）処理に比べ、半分以下の生長を示した。また、*M. suaveolens* では水分含量が高すぎても生長が抑制される傾向を示し、その影響は特に根乾重で大きかった。

なお、中国ホルチン沙地とモンゴルカラガナステップにおける、*A. cristatum* と *C. microphylla* においては、産地が違ってもその生長反応はほとんど変わらなかった（図 15）。ただし、中国産の植物種の方が常にモンゴル産の種より大きな生長を示した。

中国産 7 種の地上部/地下部（S/R）比は、土壤水分処理による差が少なかった（図 16）。しかし、水分欠乏によって、*M. sativa* や *A. cristatum* の S/R 比は有意に低下した。これらの種では、乾燥地域における水分ストレスに対して、地上部よりも地下部に同化産物を優先的に配分する戦略をとっていることを示唆する。一方、*C. dahuricus* では水分欠乏により S/R 比は有意に増加したが、葉乾重に比べ葉面積生長がより抑制されており、葉の構造を変えるような戦略をとっていることが示唆された。

中国ホルチン沙地とモンゴルカラガナステップにおける、*A. cristatum* と *C. microphylla* の S/R 比を比較すると、産地が違っても S/R 比はほぼ同様な反応を示した（図 17）。ただし、モンゴル産の植物種は中国産の種より S/R 比は小さかった。また、モンゴル産 *C. microphylla* では水分が豊富になると S/R 比が有意に低下し中国産同種と若干異なる反応を示した。

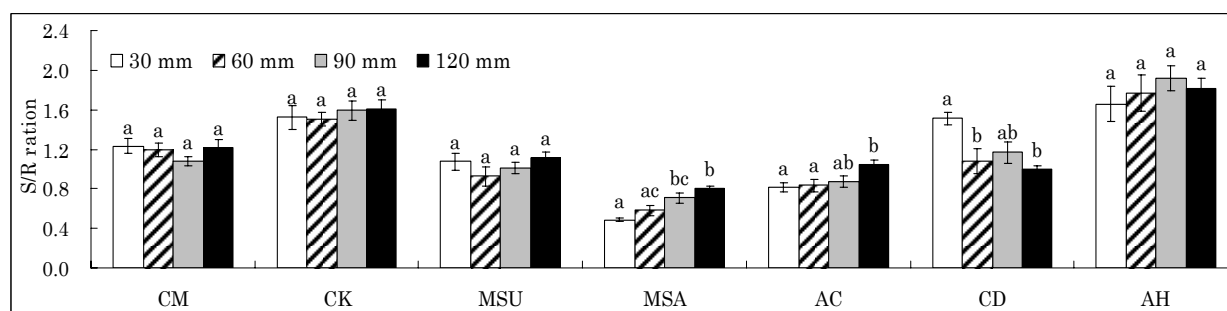


図 16. 水処理が植物 7 種の地上部/地下部（S/R）比に及ぼす影響の比較。異なる英小文字は植物種ごと各水処理間での有意差（5%）。凡例の数字は水処理（mm/月）。

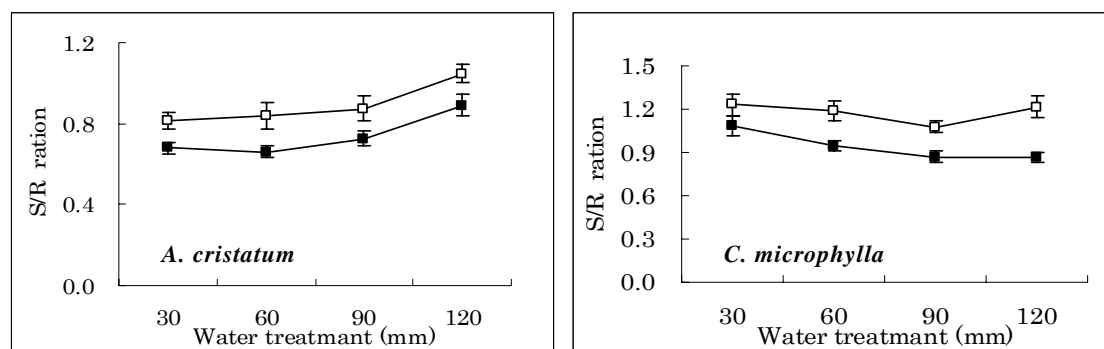


図 17. 水処理が中国産およびモンゴル産の *A. cristatum* および *Caragana microphylla* の地上部/地下部（S/R）比に及ぼす影響の比較。図中の□は中国産生態種を、■はモンゴル産生態種を示す。

## (6) 植物の栄養生長に及ぼす窒素含量の影響

中国ホルチン沙地で、植栽年数の異なる(砂漠化からの回復程度が異なる) *Caragana microphylla* が生育している場所から土壌を採取した。各土壌 25 g に 50 ml の蒸留水を加え、1 時間浸透後、上澄の窒素含量をイオンクロマトグラフで計測した(表 2)。植栽 7 年目に比べて、植栽 10 年以上の回復地における土壌の方が窒素含量は多かった。本計測では現地本来の土壌水に含まれる窒素含量より高い計測値が推定されるが、砂漠化回復程度に比較して、思ったほど大きな差が認められなかった。

表 2. 中国ホルチン沙地における植栽年数の異なる *C. microphylla* 生育地の土壌窒素含量の計測。窒素量の単位は  $\text{mg l}^{-1}$ 。

| 植栽年                                    | 1984 | 1995 | 2000 |
|--|------|------|------|
| 植栽年数                                   | 23   | 12   | 7    |
| $\text{NH}_4\text{-N}$                 | 3.02 | 3.12 | 2.42 |
| $(\text{NO}_3 + \text{NO}_2)\text{-N}$ | 1.48 | 1.44 | 1.03 |
| 合計                                     | 4.50 | 4.56 | 3.45 |

本研究に用いた中国ホルチン沙地産の植物 7 種の窒素に対する葉面積生長反応を図 18 に示す。多くの植物種は窒素欠乏に伴い、葉面積生長が低下した。しかしその抑制程度は異なり、*M. suaveolens* と *M. sativa* では窒素濃度  $10 \text{ mg l}^{-1}$  以下の処理区では、窒素濃度が最も高い  $40 \text{ mg l}^{-1}$  の葉面積の半分以下の値を示した。すなわち、窒素濃度の減少にしたがって、急激に葉面積を減らす傾向が認められた。一方 *C. microphylla*、*C. korshinskii*、*C. dahuricus*、*A. cristatum* では窒素濃度  $40 \text{ mg l}^{-1}$ 、 $10 \text{ mg l}^{-1}$ 、 $2.5 \text{ mg l}^{-1}$  の処理区と  $0.625 \text{ mg l}^{-1}$  以下の処理区の間には差が認められ、窒素濃度の減少にしたがって緩やかに葉面積を減らす傾向が認められた。なお、*A. cristatum* および *C. microphylla* 両種ともに産地が違ってもその反応はほとんど変わらなかった。

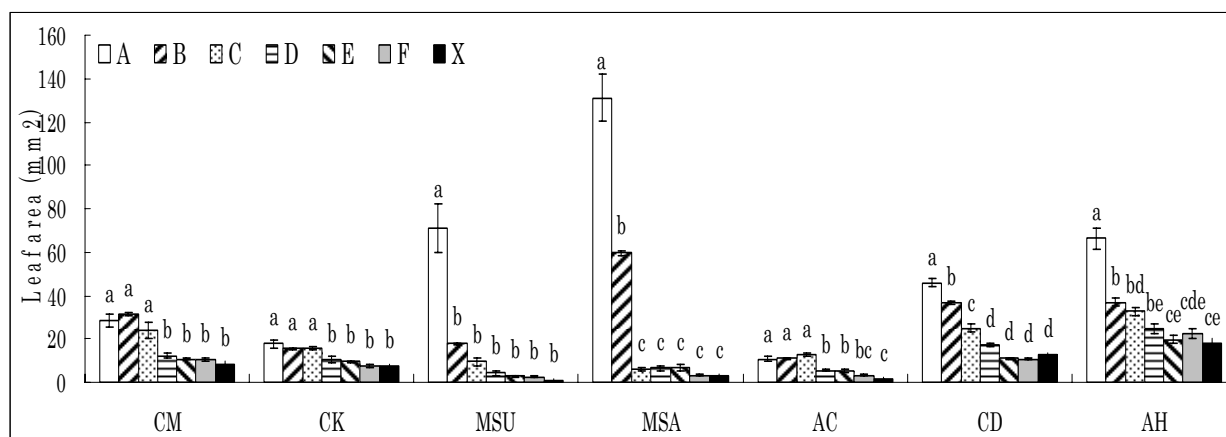


図 18. 窒素濃度処理が植物 7 種の葉面積生長に及ぼす影響の比較。異なる英小文字は植物種ごと各水処理間での有意差 (5%)。凡例のアルファベットは処理した窒素濃度 (A:  $40 \text{ mg l}^{-1}$ 、B:  $10 \text{ mg l}^{-1}$ 、C:  $2.5 \text{ mg l}^{-1}$ 、D:  $0.625 \text{ mg l}^{-1}$ 、E:  $0.1563 \text{ mg l}^{-1}$ 、F:  $0.0391 \text{ mg l}^{-1}$ 、X:  $0 \text{ mg l}^{-1}$ ) を示す。

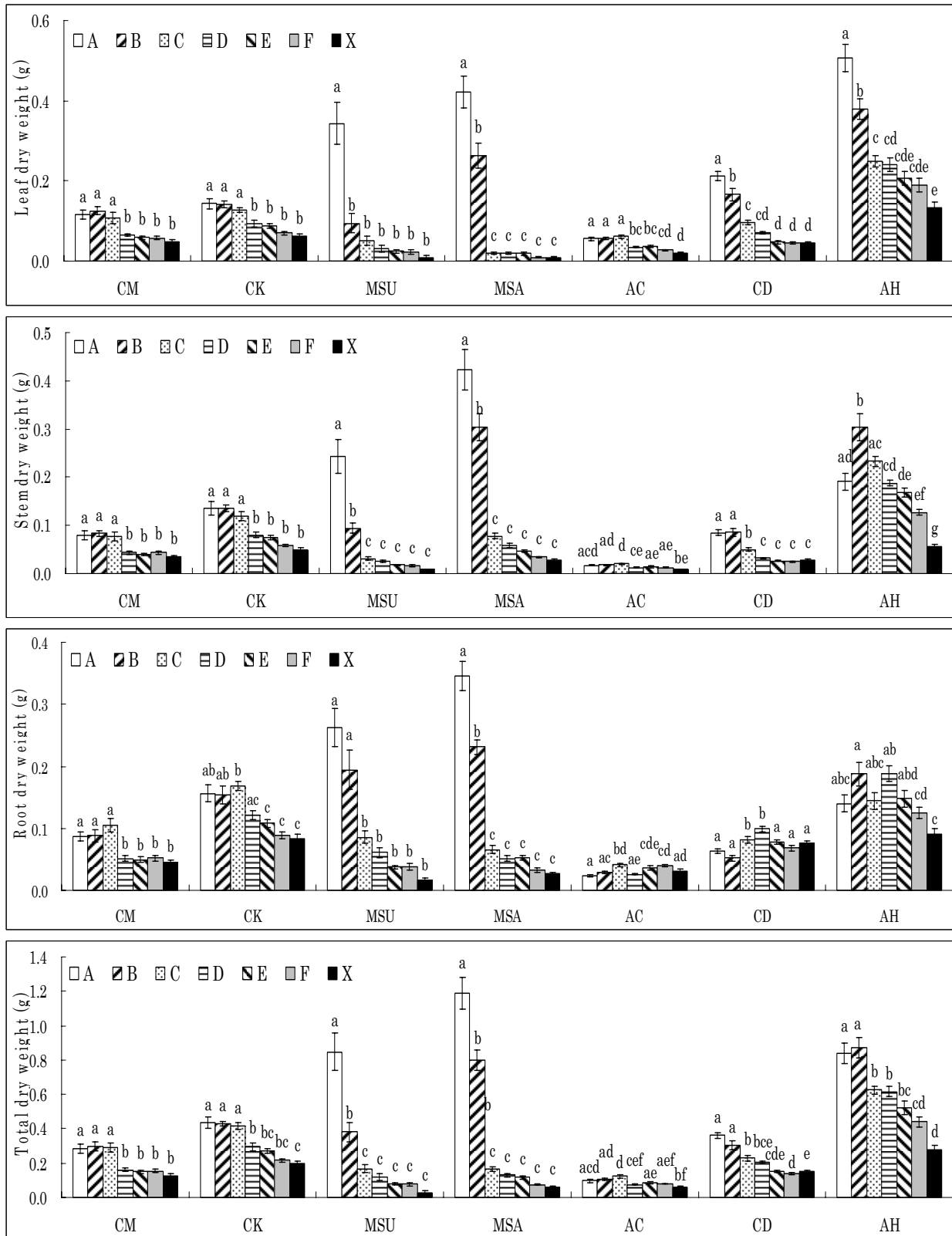


図 19. 窒素濃度処理が植物 7 種の各器官の乾重、個体乾重に及ぼす影響の比較。異なる英小文字は植物種ごと各水処理間での有意差 (5%)。凡例のアルファベットは処理した窒素濃度 (A:40 mg l<sup>-1</sup>, B:10 mg l<sup>-1</sup>, C:2.5 mg l<sup>-1</sup>, D:0.625 mg l<sup>-1</sup>, E:0.1563 mg l<sup>-1</sup>, F:0.0391 mg l<sup>-1</sup>, X:0 mg l<sup>-1</sup>) を示す。

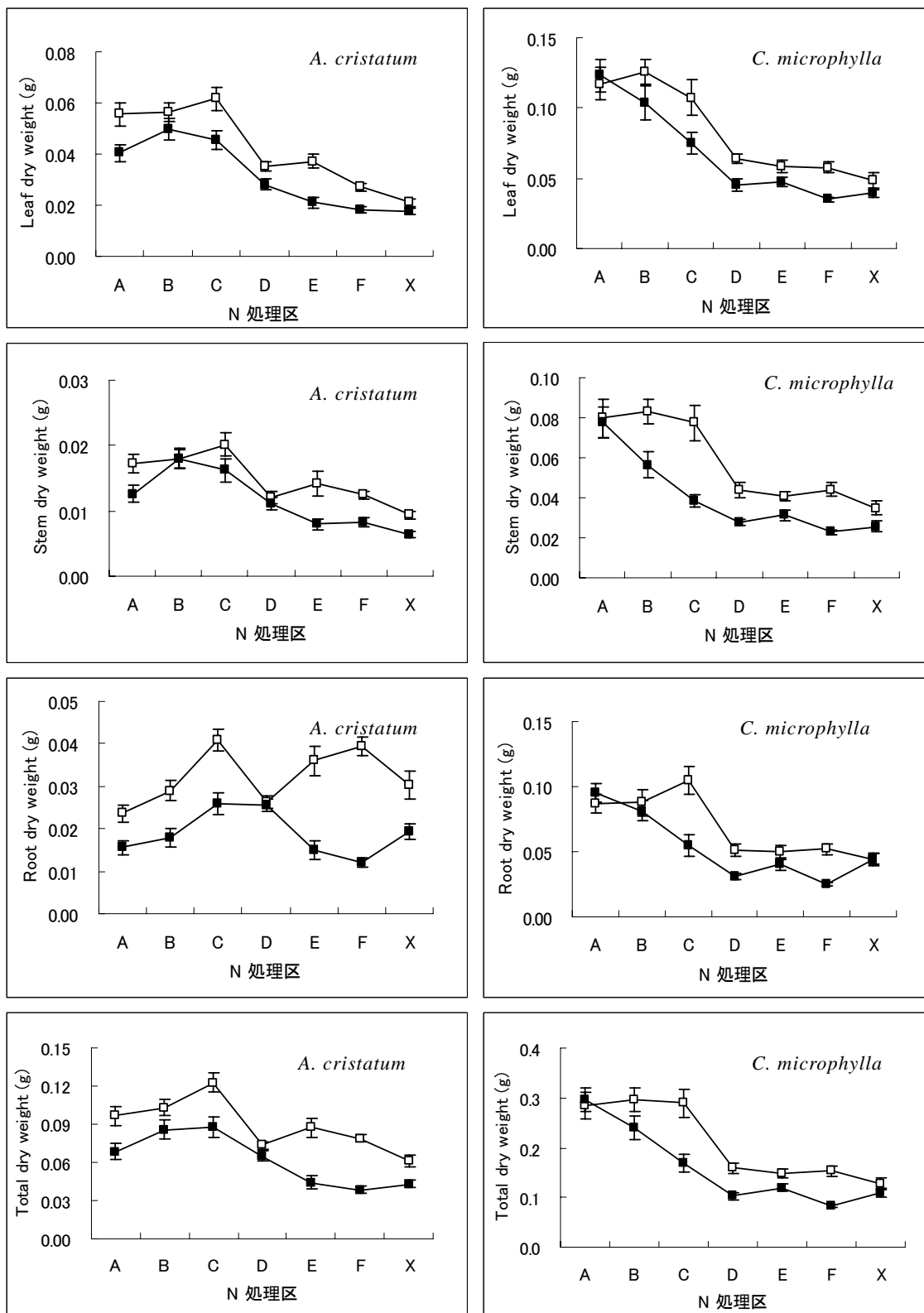


図 20. 窒素濃度処理が中国産およびモンゴル産の *A. cristatum* および *C. microphylla* の各器官の乾重および個体乾重に及ぼす影響の比較。図中の□は中国産生態種を、■はモンゴル産生態種を示す。グラフ下のアルファベットは処理した窒素濃度 (A:40 mg  $l^{-1}$ 、B:10 mg  $l^{-1}$ 、C:2.5 mg  $l^{-1}$ 、D:0.625 mg  $l^{-1}$ 、E:0.1563 mg  $l^{-1}$ 、F:0.0391 mg  $l^{-1}$ 、X:0 mg  $l^{-1}$ ) を示す。

中国ホルチン沙地産の植物7種の根、茎、葉の各器官別乾重および個体乾重を図19に示す。葉の乾重に関しては、全ての植物種で窒素欠乏に伴う生長低下の傾向が認められた。しかし抑制程度は異なり、その傾向は、葉面積の傾向と一致していた。一方、根と茎の乾重に関しては、*M. suaveolens*、*M. sativa*、*C. microphylla*、*C. korshinskii*、*C. dahuricus*（茎のみ）で窒素欠乏に伴う生長低下の傾向が認められたが、*A. cristatum*では窒素濃度が高い $40 \text{ mg l}^{-1}$ 、 $10 \text{ mg l}^{-1}$ でも抑制される傾向が認められた。個体乾重においても、*M. suaveolens*、*M. sativa*、*C. microphylla*、*C. korshinskii*、*C. dahuricus*、*A. halodendron*で窒素欠乏に伴う生長低下の傾向が認められたが、*A. cristatum*では窒素濃度が高い場合にも生長が抑制される傾向が認められた。

*A. cristatum*と*C. microphylla*の植物2種に関しては、中国産とモンゴル産の産地毎に生長を比較した（図20）。*C. microphylla*では、中国産、モンゴル産両種とも窒素欠乏に伴う生長低下の傾向が認められた。*A. cristatum*では、中国産、モンゴル産ともに窒素濃度が高い $40 \text{ mg l}^{-1}$ 、 $10 \text{ mg l}^{-1}$ でも生長が抑制される傾向が認められた。*A. cristatum*および*C. microphylla*ともに産地が違ってもその生長反応の傾向はほとんど変わらないが、多くの処理区で中国産植物種の方が高い生長を示した。

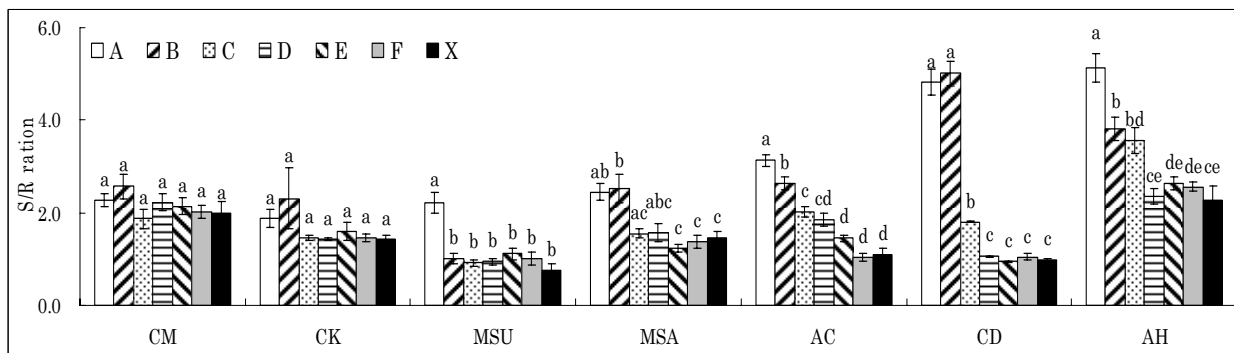


図21. 窒素濃度処理が植物7種の地上部/地下部（S/R）比に及ぼす影響の比較。異なる英小文字は植物種ごと各水処理間での有意差（5%）。凡例のアルファベットは窒素濃度（A: $40 \text{ mg l}^{-1}$ 、B: $10 \text{ mg l}^{-1}$ 、C: $2.5 \text{ mg l}^{-1}$ 、D: $0.625 \text{ mg l}^{-1}$ 、E: $0.1563 \text{ mg l}^{-1}$ 、F: $0.0391 \text{ mg l}^{-1}$ 、X: $0 \text{ mg l}^{-1}$ ）を示す。

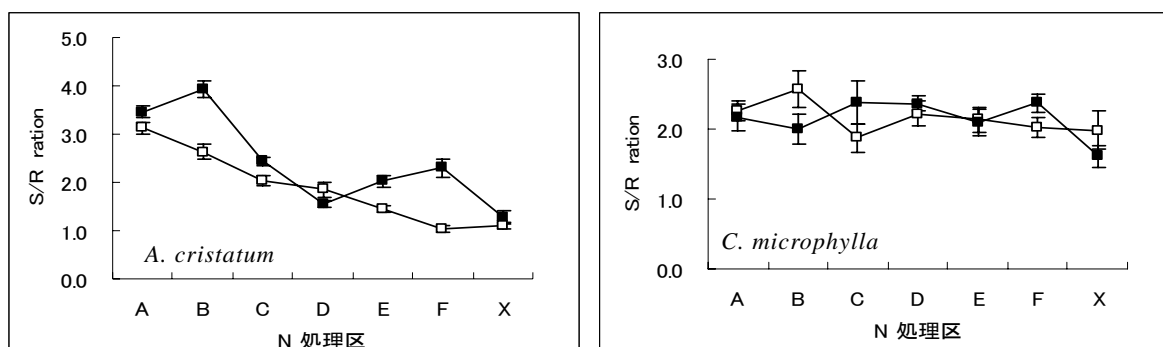


図22. 窒素濃度処理が中国産およびモンゴル産の*A. cristatum*および*C. microphylla*の地上部/地下部（S/R）比に及ぼす影響の比較。図中の□は中国産生態種を、■はモンゴル産生態種を示す。グラフ下のアルファベットは窒素濃度（A: $40 \text{ mg l}^{-1}$ 、B: $10 \text{ mg l}^{-1}$ 、C: $2.5 \text{ mg l}^{-1}$ 、D: $0.625 \text{ mg l}^{-1}$ 、E: $0.1563 \text{ mg l}^{-1}$ 、F: $0.0391 \text{ mg l}^{-1}$ 、X: $0 \text{ mg l}^{-1}$ ）を示す。

中国ホルチン沙地産の植物 7 種の地上部/地下部 (S/R) 比を図 21 に示す。*C. microphylla*、*C. korshinskii* では窒素濃度処理による差がなかった。しかし、*M. suaveolens*、*M. sativa*、*C. dahuricus*、*A. cristatum*、*A. halodendron* では窒素欠乏によって S/R 比は有意に低下した。これらの種では、乾性地における窒素欠乏に対して、地上部よりも地下部に同化産物を優先的に配分する戦略をとっていることを示唆する。

*A. cristatum* と *C. microphylla* の植物 2 種に関しては、中国産とモンゴル産の産地毎に S/R 比を比較した (図 22)。*A. cristatum* および *C. microphylla* ともに産地が違っても S/R 比の反応はほとんど変わらなかった。水分欠乏や窒素欠乏に対する *A. cristatum* および *C. microphylla* の生長に関する反応を見る限り、これらの植物の産地間による差 (生態種による差) は顕著ではなく、ほぼ同様な反応を示した。

現地における土壤窒素含量のデータ解析 (表 2) から推定すると、植物種によっては土壤窒素は土壤水分と同様に砂漠化 (回復) 地域に生育する草原・灌木植物種の生長に影響がある可能性が示唆された。

このような実験成果を利用して、これらの植物種の生長はモデルによりシミュレートされ得るが、さらには生態系 (植生) 変動の基盤的データとしても利用された (サブテーマ (1) 参照)。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

中国内モンゴルホルチン沙地に生育する主要な乾性植物 7 種 (*Agropyron cristatum*、*Artemisia halodendron*、*Caragana korshinskii*、*Caragana microphylla*、*Clinelymus dahuricus*、*Medicago sativa*、*Melilotus suaveolens*)、およびモンゴル国セレンゲ県カラガナスステップに生育する 2 種 (*Agropyron cristatum*、*Caragana microphylla*) の温度、光強度、水分に対する発芽反応と土壤水分や窒素濃度に対する栄養生長反応の生理生態特性を実験的に検討した。砂による被覆 (流動砂)、温暖化や乾燥化 (土壤水分) の種子発芽特性に及ぼす影響、また、土壤の水分や窒素含量の栄養生長特性に及ぼす影響が種毎に解明され、環境-生長関係が整理された。これらのデータは東アジアの乾性地域における主要な植物種の生理生態特性を実験的に初めて解明した研究成果である。

また、中国産およびモンゴル産の *A. cristatum* と *C. microphylla* の生態種による比較実験から、これらの生態種における生理生態特性の差異と同質性に関する基盤的情報も整理された。

さらに、これら植物種の生長反応に関するデータは、乾性地域における生態系モデル (MALS : Mosaic Arid Land Simulator など) を構築し、生態系動態を推定する際の重要な基礎データとして利用された。

### (2) 地球環境政策への貢献

本研究成果は、土壤環境をはじめとした様々な環境要因の各指標植物 (候補) 種の発芽や生長反応性 (生理生態特性) を、複数の種で比較・検討・解析することにより、野外調査の情報と併せて、現地の指標植物を用いた砂漠化 (土壤劣化) 評価手法の開発に有用な基盤情報を提供した。特に生長については生態種による顕著な差を認めないことを、*A. cristatum* と *C. microphylla* に関して明らかにし、指標植物種としての特性を提示できた。

一方、砂漠化地域に生育する植物の環境反応性 (発芽や生長に関する基盤データ) を把握・整



理することにより、環境の異なる各砂漠化地域において飛行機播種や植栽による砂漠化回復を実際に計画する際に、最も適切な砂漠化回復植物種を選択するための有用な情報を整理した

このように砂漠化の評価と砂漠化回復に有用な基盤情報を整備、提供できたが、さらには、生態系モデルの開発と共に、植生による砂漠化回復の予測と有効性に関しても、今後利用される研究成果である。

本研究の成果の一部は、「中国北西部生態系プロジェクトワークショップ（2006）」、「第47回大気環境学会年会（2006）」や、「The 6th International Symposium on Plant Responses to Air Pollution and Global Changes（2004）」、「The 2nd Scientific Congress of East Asian Federation of Ecological Societies（EAFE2）（2006）」、「The 6th Conference of East Asia and Pacific Regional Network of International Long-Term Ecological Research（2006）」、「International Workshop on Regional Ecology and its Environmental Effect -Dust Sand Storm, its Impact and Mitigation Countermeasure-（2006）」等において公表し、各国の砂漠化関係者等に広報しているが、今後も砂漠化対処条約を含め、内外の発表の機会を通じて成果の広報・普及に務める。

## 6. 引用文献

- 1) Zhu Z. D., Liu S., Di X. M. 1988. Desertification and its rehabilitation in China. Science Press.
- 2) Gao S. W., Zhou S. W. 1993. The desertification control in China. Beijing Science and Technology Press.
- 3) Zha Y., Gao J. 1997. Characteristics of desertification and its rehabilitation in China. J. Arid. Environ. 37: 419-432.
- 4) Guo L. S. 1998. Theory and practice for combating desertification, Inner Mongolia. University Press.
- 5) Jiang D., et al (eds). 2003. Desertification and Ecological Restoration of Keerqin (Horqin) Sandy Land. Chinese Environmental Science Press.
- 6) Rozema J. 1975. The influence of salinity, inundation and temperature on germination of some halophytes and non-halophytes. Oecol Plantarum 10: 342-353.
- 7) Gutterman Y. 1993. Seed germination of desert plants. Springer Verlag, Berlin.
- 8) De Vellers A. J., Van Rooyen N. W., Theron G. K. and Van Deventer H. A. 1994. Germination of three Namaqualand pioneer species, as influenced by salinity, temperature, and light. Seed Sci. Technol. 22: 427-433.
- 9) Khan M. A., Ungar I. A. 1997. Effects of light, salinity, and temperature on the seed germination of halophytes. Can. J. Bot. 75: 835-841.
- 10) Gul B. and Webber. D. J. 1999. Effect of salinity, light and temperature on germination of *Allenrolfea occidentalis*. Can. J. Bot. 77: 240-246.
- 11) Tobe K., Li X., Omasa K. 2000. Seed germination and radical growth of a Halophyte, *Kalidium capsicum* (Chenopodiaceae). Ann Bot. 85: 391-396.
- 12) De Villalobos A. E. and Peláez D. V. 2001. Influences of temperature and water stress on germination and establishment of *Prosopis caldenia* Burk. J Arid Enviro. 49(2): 321-328.
- 13) Zheng Y. R., Xie Z. X., Gao Y., Shimizu H., Jiang L. H., Yu Y. 2003. Ecological restoration in Northern China: germination characteristics of nine key species in relation to air seeding. Belg. J. Bot. 136(2): 129-138.

- 14) Singh R. S., Ramakrishna Y. S. and Joshi N. L. 1996. Growth response of mustard *Brassica juncea*(L.) Czern & Coss] to irrigation levels in relation to temperature and radiation regimes. *J. Arid Environ.* 33( 3): 379-388
- 15) Bennet L. T., and Adams M. A. 2001. Response of a perennial grassland to nitrogen and phosphorus additions in sub-tropical, semi-arid Australia. *J Arid Environ.* 48: 289-308.
- 16) Marler R. J., Stromberg J. C. and Patten D. T. 2001. Growth response of *Populus fremontii*, *Salix gooddingii*, and *Tamarix ramosissima* seedlings under different nitrogen and phosphorus concentrations. *J Arid Environ.* 48: 133-146.

## 7. 国際共同研究などの状況

本研究は中国科学院沈陽応用生態研究所の陳利軍博士を EFF として招聘して実施する国際共同研究である。また、現地調査に当たっては、中国科学院植物研究所の鄭元潤教授、中国環境科学研究院の于云江博士、北京師範大学資源学院の邱国玉教授、また、モンゴル農業大学の Undarmaa Jamsran 助教授と協力して実施した。

## 8. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

< 論文 (査読あり) >

- 1) Zheng Y.R., Gao Y., An P., Shimizu H., Rimmington G.M.: *Can. J. Bot.* 82, 1662-1670 (2004).  
“Germination characteristics of *Agriophyllum squarrosum*.”
- 2) Zheng Y.R., Xie Z.X., Gao Y., Jiang L.H., Shimizu H., Tobe K.: *Ecol. Res.* 19, 553-558 (2004).  
“Germination responses of *Caragana Korshinskii* Kom. to light, temperature and water stress.”
- 3) Zheng Y.R., Xie Z.X., Yu Y.J., Jiang L.H., Shimizu H., Rimmington G.M.: *Annals of Botany* 95, 1237-1245 (2005).  
“Effects of burial in sand and water supply regime on seedling emergence of six species.”
- 4) Zheng Y.R., Xie Z.X., Jiang L.H., Chen L.J., Yu Y.J., Zhou G.S., Shimizu H.: *Phyton (Austria)* 45, 193-200 (2005).  
“Model of the net primary productivity of terrestrial ecosystems in China and its response to climate change.”
- 5) Zheng Y.R., Xie Z.X., Gao Y., Jiang L.H., Xing X., Shimizu H., Rimmington G.M.: *Annals of Applied Biology* 146, 327-335 (2005).  
“Effects of light, temperature and water stress on germination of *Artemisia sphaerocephala*.”
- 6) Zheng Y.R., Xie Z.X., Gao Y., Yu Y.J., Shimizu H.: *South African Journal of Botany* 71(2), 167-172 (2005).  
“Influence of light, temperature and water stress on germination of *Hedysarum fruticosum*.”
- 7) Zheng Y.R., Rimmington G.M., Gao Y., Jiang L.H., Xing X., An P., El-Sidding K., Shimizu H.: *Can. J. Bot.* 83, 1021-1028 (2005).  
“Germination characteristics of *Artemisia ordosica* (Asteraceae) in relation to ecological restoration in northern China.”
- 8) Zheng Y., Shimizu H.: *Phyton (Austria)* 45, 575-582 (2005).

“Plant growth and water use efficiency of four Chinese conifer tree species under different air humidity.”

- 9) Zheng Y.R., Xie Z.X., Jiang L.A., Wu Y.Z., Shimizu H.: Belgian Journal of Botany, 138, 109-118 (2005)

“Model simulation and comparison of the ecological characteristics of three degraded grassland types in China.”

- 10) Zheng Y.R., Xie Z.X., Jiang L.H., Shimizu H., Rimmington G.M., Zhou G.S.: Ecological Research 21, 396-404 (2006)

“Vegetation responses along environmental gradients on the Ordos plateau, China.”

- 11) Zheng Y.R., Xie Z.X., Robert C., Jiang L.H., Shimizu H.: Journal of Arid Environment 64, 523-541 (2006)

“Did climate drive ecosystem change and induce desertification in Otindag sandy land, China over the past 40 years?”

- 12) Zheng Y.R., Xie Z.X., Jiang L.H., Shimizu H., Drake S.: Journal of Arid Environment 66, 113-126 (2006)

“Changes in Holdridge Life Zone diversity in the Xinjiang Uygur Autonomous Region (XUAR) of China over the past forty years.”

- 13) Sun C.X., Chen L.J., Wu, Z.J., Zhou, L.K., Shimizu H. Biology and fertility of soils 43, 617-620 (2007)

“Soil persistence of *Bacillus thuringiensis* (Bt) toxin from transgenic Bt cotton tissues and its effect on soil enzyme activities.”

<その他誌上発表>

- 1) Shimizu H.: Workshop on Ecological Conservation in Northwest China. H17年度環境省請負業務報告書 (OECC, 156p.), 122-133 (2006)

“Eco-physiological Characteristics of Key Plant Species: Essential Information for Rehabilitating the Desertified land in Arid/semi-arid region.”

- 2) Totuska T., Sase H., Shimizu H.: Plant Responses to Air Pollution and Global Change, (Eds.) Omasa K., Nouchi I., De Kok L. J., 251-259. (pp. 300), Springer (Tokyo) (2005)

“Major activities of acid deposition monitoring network in East Asia (EANET) and related studies.”

(2) 口頭発表 (学会)

- 1) Zheng Y.R., Shimizu H.: Workshop on Control of Desertification of Degenerated Grasslands in China and Their Sustainable Use. Tsukuba, Japan (2004. 10).

“Traditional knowledge and synthetic technology for vegetation restoration in Mu Us sandy land.”

- 2) Zheng Y., Chen L.J., Shimizu H.: The 6th International Symposium on Plant Responses to Air Pollution and Global Changes. Tsukuba, Japan (2004. 10).

“Water use efficiency and plant growth of four Chinese conifer tree species under different air humidity.”

- 3) Shimizu H., Zheng Y.R., Tian J.L., Araki H., Inanaga S.: Core University Program: Japan-China Joint Open Seminar on Combating Desertification and Development in Inland China of Year 2004, ALRC, Tottori, Japan (2004.11).  
“Traditional knowledge and synthetic technology for vegetation restoration in Ordos plateau, north China.”
- 4) 清水英幸、鄭元潤、于云江、陳利軍、史培軍、稻永忍：乾燥地研究センター共同研究発表会、鳥取 (2004.12).  
「植生による砂漠化の評価と回復に関する総合的研究」
- 5) Shimizu H., Chen L.J., Zheng Y.R., Yu Y.J., Gao Y., An P., Tian J.L., Inanaga S.: Core University Program: Japan-China Joint Open Seminar on Combating Desertification and Development in Inland China of Year 2005, ALRC, Tottori, Japan (2005.9).  
“Strategic study on the vegetation rehabilitation of desertified semi-arid area in China — Eco-physiological adaptability to environmental stresses of plant species.”
- 6) Shimizu H.: Workshop on Ecological Conservation in Northwest China. Tokyo, Japan (2006.2).  
“Eco-physiological characteristics of key plant species: Essential information for rehabilitating the desertified land in arid/semi-arid region.”
- 7) Shimizu H., Chen L.J., Zheng Y.R., Yu Y.J.: The 53rd Annual Meeting of the Ecological Society of Japan (第 53 回日本生態学会大会), Niigata, Japan (2006.3).  
“Germination characteristics of some key plant species in Horqin sandy land in relation to ecological restoration.”
- 8) Chen L.J., Zheng Y.R., Yu Y.J., Shimizu H.: The 2nd Scientific Congress of East Asian Federation of Ecological Societies (EAFE2), Niigata, Japan (2006.3).  
“Growth responses of some key plant species in Horqin sandy land to nutrient status.”
- 9) Sase H., Oida T., Kamisato M., Bulgan T., Batchuluun T., Shimizu H., Luangjame J., Garivait H., Yamashita N., Ohta S., Shindo J., Totsuka T.: The 6th Conference of East Asia and Pacific Regional Network of International Long-Term Ecological Research. Kyoto, Japan (2006.3)  
“EANET ecological monitoring and related research projects.”
- 10) Yagasaki, Y., Ohkura, T., Nakai, M., Kusaba T., Shimizu, H., Tian, J.: Core University Program, Japan-China Joint Open Seminar on Combating Desertification and Development in Inland China of Year 2006. Tottori, Japan (2006.8)  
“Simulating the effect of field management practices on changes in soil organic carbon pools using coupled SWAT/Roth-C Model.”
- 11) 清水英幸、安萍、鄭元潤、于云江、陳利軍、矢ヶ崎泰海、小林祥子：第 47 回大気環境学会年会、東京 (2006.9).  
「東アジア半乾燥地域に生育する数種植物のオゾンと二酸化硫黄に対する生長反応」
- 12) 戸塚績、佐瀬裕之、清水英幸：第 47 回大気環境学会年会、東京 (2006.9)  
「東アジアにおける大気汚染の植生影響—モンゴルにおける共同研究を例として—」
- 13) Chen L.J., Wu Z.J., Shimizu H.: International Workshop on Regional Ecology and its Environmental Effect -Dust Sand Storm, its Impact and Mitigation Countermeasure-. Beijing, China (2006.12)  
“Germination responses of some key plant species grown at horqin sandy land of China to the

simulated desertified conditions.”

- 14) Xu Z.Z., Zheng Y.R., Shimizu H.: International Workshop on Regional Ecology and its Environmental Effect -Dust Sand Storm, its Impact and Mitigation Countermeasure-. Beijing, China (2006.12)  
“Interactive effects of water stress and high temperature on growth and photosynthesis of *Leymus chinensis* -A dominated grass in a semi-arid steppe ecosystem-.”
- 15) Fujiwara H., Shimizu H., Shirato Y., Ohkuro T.: International Workshop on Regional Ecology and its Environmental Effect -Dust Sand Storm, its Impact and Mitigation Countermeasure-. Beijing, China (2006.12)  
“Atmospheric deposition of <sup>137</sup>Cs associated with the Asian dust event in March 2002.”
- 16) Qiu G.Y., Shimizu H., Yin J., Shi P., Gao Y.: International Workshop on Regional Ecology and its Environmental Effect -Dust Sand Storm, its Impact and Mitigation Countermeasure-. Beijing, China (2006.12)  
“Evaluation of the Technologies and Activities for Control Desertification in China.”
- 17) Gao Y., Shimizu H., Qiu G.Y., Wang J., Wang J.: International Workshop on Regional Ecology and its Environmental Effect -Dust Sand Storm, its Impact and Mitigation Countermeasure-. Beijing, China (2006.12)  
“Influence of *Salix psammophila* Checkerboard on Wind-sand Flux and Soil Physical and Chemical Properties.”
- 18) Shimizu H.: Academic Lecture of College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University. Inner Mongolia, China (2006.12)  
“Recent Progress on Arid Land Science in Japan.”

(3) 出願特許  
特になし

(4) シンポジウム・セミナーの開催（主催のもの）

- 1) “The 6th International Symposium on Plant Responses to Air Pollution and Global Changes” (2004.10.19-22, Tukuba, Japan. 参加者約 300 人) 清水が実行委員として参加、“Current Asian Environmental Problems”の session を主催
- 2) 「大気環境学会第 47 回年会」(2006.9.20～22、東京) 清水が実行委員会委員として参加、特別集会「東アジア地域の大气環境問題：研究の現状と今後の展開」を企画・主催(参加者約 100 人)
- 3) “International Workshop on Regional Ecology and its Environmental Effect -Dust Sand Storm, its Impact and Mitigation Countermeasure-” (2006.12.3-5 Beijing, China、参加者約 100 人) 清水が Committee Council として参加

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 砂漠化評価に関する国際会議 (AIDCCD (ENRICH)、アルゼンチン) に清水が Reviewer として参加 (2004.5)
- 2) 「5 年の科学 (学習研究社)」 8 月号に関し、記述内容について清水が編集協力 (2004)

- 3) 「中国北西部生態系プロジェクトワークショップ (TEMM プロジェクトの一つ、(社) 海外環境協力センター) 主催」に清水が参加・発表し、座長を務めた (2006.2.26~28)
- 4) 「大気環境学会第47回年会」(2006.9.20~22, 東京) 清水が「実行委員会」委員 (広報担当主査) として活動、特別集会「東アジア地域の大气環境問題: 研究の現状と今後の展開」を広報
- 5) 「JSPS サイエンス・ダイアログ事業 (日本学術振興会)」(2006.11.10~11)に、「JSPS 外国人招聘研究者」と共に、清水が参加、群馬県立高崎高校において、招聘研究者の発表内容 (温暖化・砂漠化) を解説 (聴講者約 100 人)
- 6) “Academic Lecture of College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University.” (2006.12.7, Inner Mongolia, China)” 清水が内蒙古農業大学で講演 (聴講者約 100 人)

(6) その他  
特になし