

## コマツナの発芽と生長へ及ぼすアルカリ金属の影響

辻 久巳\* 中山 享\*\*

## Effect of alkali metals on germination and growth of komatsuna

Hisami TSUJI\* Susumu NAKAYAMA\*\*

Test water containing 11 different concentrations of each alkali metal (Li, Na, K, Rb and Cs) in the concentration range of  $2.0 \times 10^{-5}$  to  $1.0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  was prepared and the germination rate and the growth degree of Komatsuna were compared with those of the control group (ion-exchanged water). No significant difference was observed in the germination rate due to the difference in the elements in the concentration range of  $2.0 \times 10^{-5}$  to  $1.28 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Regarding the degree of growth, the Na concentration of  $1.6 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  and the K concentration of  $8.0 \times 10^{-4}$  and  $1.6 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  were 10–12 % significant compared to the control group.

## 1. 緒言

筆者らは、これまでに無機イオンの植物の種子の発芽および/または初期の生長に及ぼす影響に注目して、発芽および初期の生長を短期間で評価できるコマツナを用いて無機イオンがコマツナの種子の発芽と初期の生長へ及ぼす影響を調べた<sup>[1-3]</sup>。例えば、希土類元素の中からイオン半径の最も小さい Sc、イオン半径の最も大きい La、中間付近のイオン半径のガドリニウム (Gd) を選び、各塩化物の異なる濃度の試験用水と対照区 (イオン交換水) でのコマツナの発芽度合と播種後 3 日間の生長度合を比較した結果、希土類元素の添加による発芽への明らかな有意性は観察されず、希土類元素の種類および試験用水の濃度による発芽度合の違いも認められなかったが、希土類元素の添加による生長への 15% 程度の促進効果は Sc で認められた<sup>[1]</sup>。さらに、希土類元素と似た性質を有する同じ 4 族の遷移金属元素であるジルコニウム (Zr) とハフニウム (Hf) でも、同様な調査を行った<sup>[4]</sup>。その結果、Zr および Hf の添加による発芽への明らかな有意性は観察されなかったが、対照区に対して生長度合はそれぞれ 10% 程度の有意性が認められた<sup>[2]</sup>。アルカリ土類金属 (Mg, Ca, Sr, Ba) では、元素の違いによる発芽率の大きな差はみられなかった

が、生長度合については  $8.0 \times 10^{-4} \sim 3.2 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  の濃度で Sr にて対照区に対して最大 10% 程度の有意性が認められた<sup>[3]</sup>。

上述の調査研究を始めるにあたり、各元素の試験用水の調製が可能かを調べてみたところ、5 価以上の元素 (5 価ではニオブ (Nb) やタンタル (Ta))、6 価ではタングステン (W) やモリブデン (Mo) では加水分解による水酸化物の生成などより各元素を一定濃度以上含有した水溶液を得ることができないことを確認している。そこで、これまでの 3 価の希土類元素 (Sc, La, Gd)、4 価の Zr と Hf、および 2 価のアルカリ土類金属 (Mg, Ca, Sr, Ba) 以外の元素を対象を広げる意味で、本報告では 1 価のアルカリ金属 (リチウム (Li)、ナトリウム (Na)、カリウム (K)、ルビジウム (Rb)、セシウム (Cs)) について、コマツナの種子の発芽と初期の生長へ及ぼす影響を調べた。

## 2. 実験

## 2-1 種子、試薬および器具

コマツナの種子は㈱アタリヤ農園 (生産地: イタリア、発芽率 85% 以上) のものを用いた。試験用水の調製に使う塩化リ

令和 3 年 8 月 25 日受付 (Received Aug. 25, 2021)

\*新居浜工業高等専門学校エンジニアリングデザイン教育センター (Center for Engineering Design Education, National Institute of Technology (KOSEN), Niihama College, Niihama, 792-8580, Japan)

\*\*新居浜工業高等専門学校生物応用化学科 (Department of Applied Chemistry and Biotechnology, National Institute of Technology (KOSEN), Niihama College, Niihama, 792-8580, Japan)

チウム (I) (LiCl、特級)、塩化ナトリウム (I) (NaCl、特級)、塩化カリウム (I) (KCl、特級)、塩化ルビジウム (I) (RbCl、特級) および塩化セシウム (I) (CsCl、特級) は、すべて富士フィルム和光純薬工業㈱のものを用いた。また、発芽試験シートは富士平工業㈱の商品名「たねピタ」(基材:厚さ 0.26 mm—直径 84 mm のろ紙、ドット:50 個/シート<間隔 9 mm、径 1 mm>、粘着剤:アクリル系粘着剤) を、シャーレはアズワン㈱のポリスチレン滅菌シャーレ(径 90 mm、高さ 15 mm) を用いた。イオン交換水および各試験用水の pH 測定には㈱堀場製作所の pH メーター/D-71 を、発芽生長試験で使用する恒温槽には㈱日立製作所の恒温培養器/CR-32 を用いた。

2-2 アルカリ金属元素塩化物水溶液の調製

イオン交換水を用いて Li、Na、K、Rb、Cs の塩化物濃度  $2.0 \times 10^{-5}$ 、 $4.0 \times 10^{-5}$ 、 $2.0 \times 10^{-4}$ 、 $4.0 \times 10^{-4}$ 、 $8.0 \times 10^{-4}$ 、 $1.6 \times 10^{-3}$ 、 $3.2 \times 10^{-3}$ 、 $6.4 \times 10^{-3}$ 、 $9.6 \times 10^{-3}$ 、 $1.28 \times 10^{-2}$ 、 $1.0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  の各試験用水を作製した。各試験用水は、pH メーターによって、pH 値を測定した。

2-3 発芽生長試験

30°C暗所条件下に置き、3 日間 (72 時間) 発芽生長試験を行った。3 日後に恒温培養器からシャーレを取り出し、外観評価によって発芽率および生長度合を調べた。発芽生長試験 3 日後の状況は、前報<sup>[1-3]</sup>で掲載した写真とほぼ同じであった。

2-4 評価方法

発芽の評価 (発芽度合) は、対照区のイオン交換水のみでの発芽数で各試験用水での発芽数を割り 100 を掛けた値とした。一方、生長の評価 (生長度合) は、前報<sup>[1-3]</sup>と同様に発芽生長試験 3 日後の外観から、播種した 50 個のすべて種子をそれぞれ Table 1 のように未発芽の 0 点から生長 5 cm 以上の 5 点までの 6 段階で点数化して行った。また、発芽生長試験後の発芽試験シートを絞り取り出した各試験用水の pH 値を pH メーターによって測定した。

Table 1 生長の評価

生長度合	点数
生長 5 cm 以上	5
生長 2 cm 以上 5 cm 未満	4
生長 2 cm 未満	3
葉あるいは根どちらか一方確認	2
芽を切る	1
未発芽	0

3. 結果及び考察

3-1 発芽への影響

発芽度合は、イオン交換水のみ、 $2.0 \times 10^{-5}$ 、 $4.0 \times 10^{-5}$ 、 $2.0 \times 10^{-4}$ 、 $4.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  のグループ、イオン交換水のみ  $8.0 \times 10^{-4}$ 、 $1.6 \times 10^{-3}$ 、 $3.2 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  のグループ、イオン交換水のみ、 $6.4 \times 10^{-3}$ 、 $9.6 \times 10^{-3}$ 、 $1.28 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  のグループ、イオン交換水のみ、 $1.0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  のグループごとに、対照区のイオン交換水のみでの発芽率を 100 として比較した値である。Fig.1、2、3、4、5 に、Li、Na、K、Rb、Cs それぞれの発芽度合への影響をまとめた。各元素での発芽度合の最高値は、Li では 102、Na では 109、K では 107、Rb では 102、Cs では 107 であることから、Li、Na、K、Rb、Cs の各元素の添加による発芽への有意性の違いはほとんどないと考えられる。また、各元素ともに  $1.28 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  まで 90 以上を維持している。

発芽生長試験前後の pH 値変化は、イオン交換水のみでは試験前の pH 値 6.3 から試験後の pH 値 5.9 へ 0.4 の pH 値低下が認められた。また、Li、Na、K、Rb、Cs の各試験用水については、発芽生長試験前の pH 値が 4.5~6.2 であり、発芽生長試験後の pH 値は 0.2~1.5 程度の上昇がみられた。

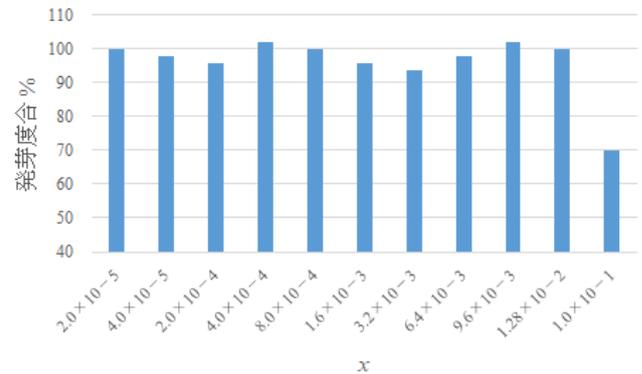


Fig.1 試験用水  $x \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ —LiCl の濃度と発芽度合の関係。

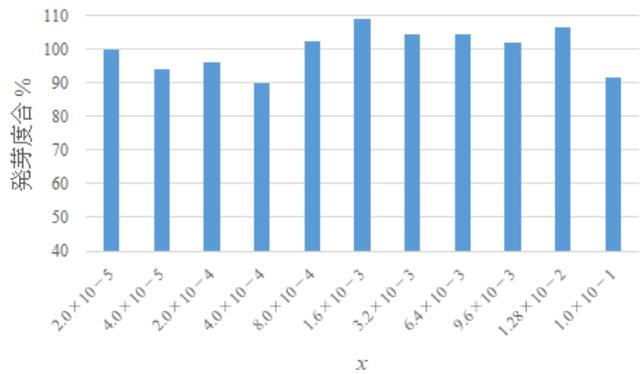


Fig.2 試験用水  $x \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ —NaCl の濃度と発芽度合の関係。

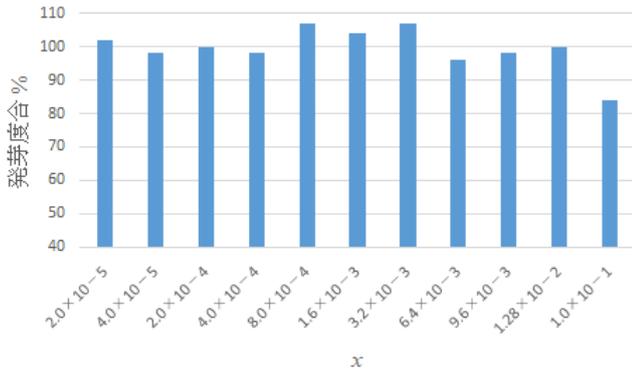


Fig.3 試験用水  $x \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ —KCl の濃度と発芽度合の関係。

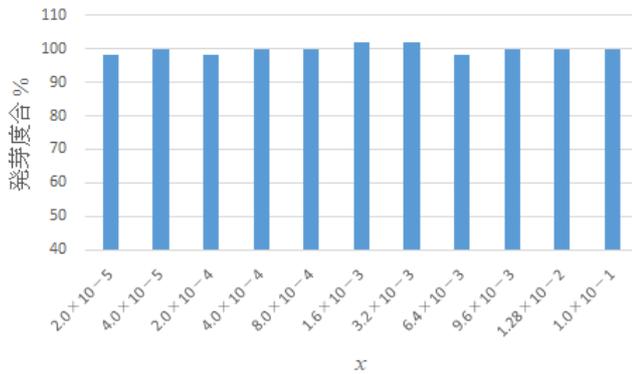


Fig.4 試験用水  $x \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ —RbCl の濃度と発芽度合の関係。

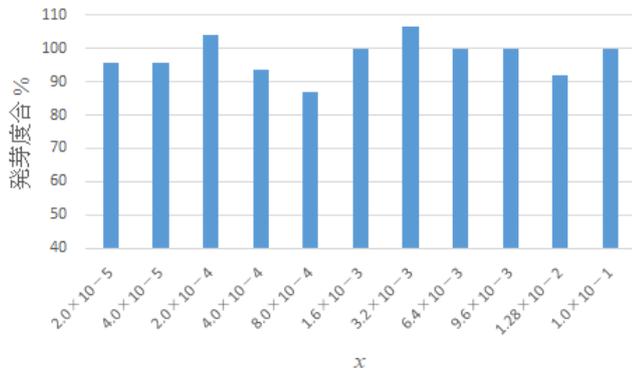


Fig.5 試験用水  $x \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ —CsCl の濃度と発芽度合の関係。

### 3-2 生長への影響

生長度合は、イオン交換水のみ、 $2.0\times 10^{-5}$ 、 $4.0\times 10^{-5}$ 、 $2.0\times 10^{-4}$ 、 $4.0\times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ のグループ、イオン交換水のみ、 $8.0\times 10^{-4}$ 、 $1.6\times 10^{-3}$ 、 $3.2\times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ のグループ、イオン交換水のみ、 $6.4\times 10^{-3}$ 、 $9.6\times 10^{-3}$ 、 $1.28\times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ のグループ、イオン交換水のみ、 $1.0\times 10^{-1} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ のグループごとに、播種した50個のすべて種子それぞれの生長度合をTable 1のように5段階で点数化した合計点にて、対照区のイオン交換水のみ合計点を100として比較した。

Li、Na、K、Rb、Csの生長度合への影響を、それぞれ Fig.6、

7、8、9、10にまとめた。Liの生長度合はすべての濃度において100以下、 $1.0\times 10^{-1} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ で49であり、アルカリ金属の中で最も生長の促進が認められなかった。Naの生長度合は $1.6\times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ で最高の111を示し、 $2.0\times 10^{-4}\sim 6.4\times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ の濃度では100以上であり、生長の促進が認められた。Kの生長度合は $8.0\times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ で最高の112を示し、 $8.0\times 10^{-4}\sim 6.4\times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ の濃度では100以上であり、Naと同じく生長の促進が認められた。Rbの生長度合は $4.0\times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ を除く $2.0\times 10^{-5}\sim 3.2\times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ の濃度では100以上であった。Csの生長度合は $3.2\times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ で最高の

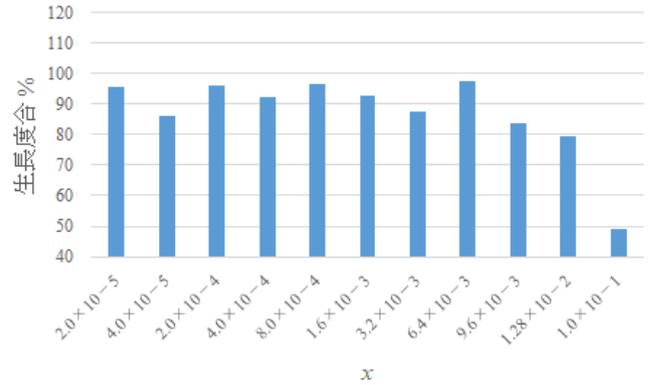


Fig.6 試験用水  $x \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ —LiCl の濃度と生長度合の関係。

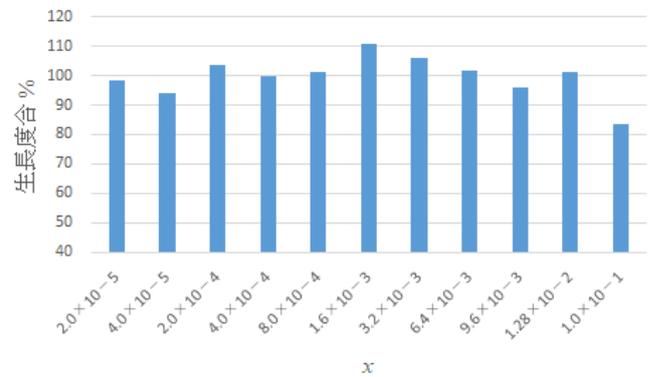


Fig.7 試験用水  $x \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ —NaCl の濃度と生長度合の関係。

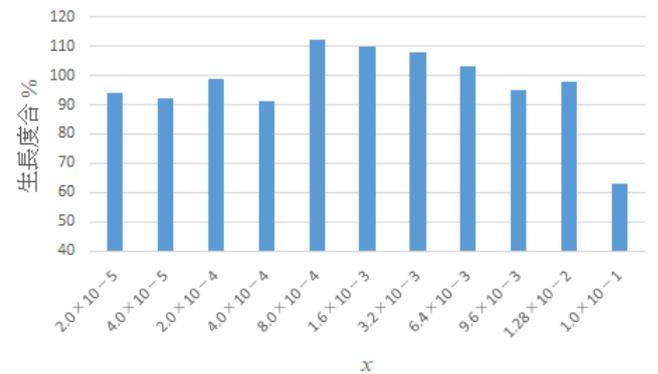


Fig.8 試験用水  $x \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ —KCl の濃度と生長度合の関係。

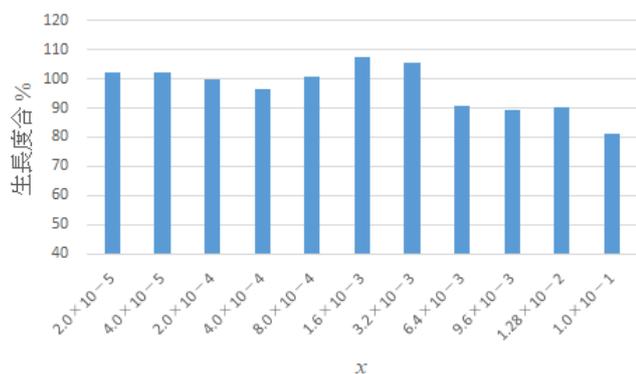


Fig.9 試験用水  $x \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ —RbCl の濃度と生長度合の関係.

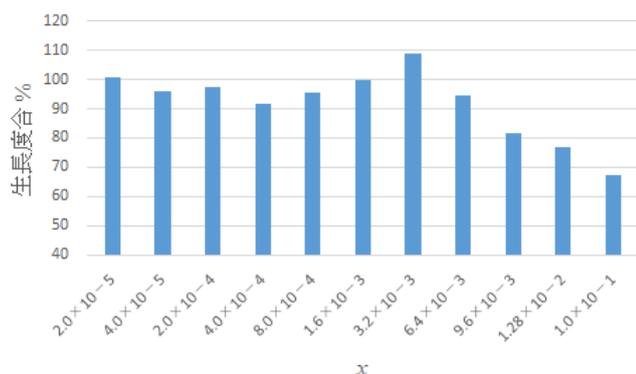


Fig.10 試験用水  $x \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ —CsCl の濃度と生長度合の関係.

109 を示し、それ以外の濃度では 100 以下であった。Li を除き、Na、K、Rb、Cs では生長度合が 90 未満で生長の阻害が認められる濃度は  $9.6\times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  以上の高濃度であり、前報のアルカリ土類金属 (Mg、Ca、Sr、Ba) と同様であった。

アルカリ金属 (Li、Na、K、Rb、Cs) の「 $M^+$ のイオン半径 (6 配位)」、「標準電極電位 ( $M^+/M$ )」、「第 1 イオン化エネルギー」を調べてみた。「 $M^+$ のイオン半径」は、Li が 0.074 nm、Na が 0.102 nm、K が 0.138 nm、Rb が 0.149 nm、Cs が 0.170 nm であった<sup>[4]</sup>。「標準電極電位」は、Li が -3.045 V、Na が -2.714 V、K が -2.925 V、Rb が -2.924 V、Cs が -2.923 V であった<sup>[5]</sup>。「第 1 イオン化エネルギー」は、Li が 5.392 eV、Na が 5.139 eV、K が 4.341 eV、Rb が 4.177 eV、Cs が 3.894 eV であった<sup>[6]</sup>。「 $M^+$ のイオン半径」の小さい元素ほど、すなわち  $\text{Cs} < \text{Rb} < \text{K} < \text{Na} < \text{Li}$  の順にコマツナへの取り込みやすいと考えられる。「標準電極電位」は還元電位とも言われ、その値が小さいほど還元性が強い環境 (すなわち嫌気性) になり易く、コマツナの生長に悪影響を与えられとされる。アルカリ金属の中で最も小さい「標準電極電位」は Li であり、生長の促進が認められなかった結果と一致する。「第 1 イオン化エネルギー」は小さいほど、すなわち  $\text{Li} < \text{Na} < \text{K} < \text{Rb} < \text{Cs}$  の順にイオン化し易く実際の  $M^+$ イオン数が多くなるなどが考えられる。「 $M^+$ のイオン半径 (6 配位)」から考えると Li 添加によって生長促進が最も期待でき、「標準電極電位」から

考えると Na 添加によって生長促進を最も期待でき、「第 1 イオン化エネルギー」から考えると Cs 添加によって生長促進を最も期待できることになるが、本報告で生長促進効果は Na、K、Rb の添加によって同程度みられた。

#### 4. 結 言

$2.0\times 10^{-5}\sim 1.0\times 10^{-1} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  の濃度範囲において 11 種類の異なる濃度の各アルカリ金属 (Li、Na、K、Rb、Cs) を含有した試験用水を準備し、コマツナの発芽率と生長度合いを対照区 (イオン交換水) と比較した。元素の違いによる発芽率の大きな差はみられなかったが、生長度合いについては  $1.6\times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  の濃度で Na にて、 $8.0\times 10^{-4}$  および  $3.2\times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  の濃度で K にて、対照区に対して 10% 以上の有意性がみられた。

#### 参考文献

- [1] 辻久巳, 中山享, “スカンジウムのコマツナの発芽と生長へ及ぼす影響”, *科学・技術研究*, **8**, 123-128 (2019).
- [2] 辻久巳, 中山享, “コマツナの発芽と生長へ及ぼすジルコニウムとハフニウムの影響”, *新居浜工業高等専門学校紀要*, **56**, 31-34 (2019).
- [3] 辻久巳, 中山享, “アルカリ土類金属のコマツナの発芽と生長へ及ぼす影響”, *新居浜工業高等専門学校紀要*, **57**, 26-29 (2020).
- [4] R. D. Shannon, C. T. Prewitt, “Effective ionic radii in oxides and fluorides”, *Acta Crystallographica B*, **25**, 925-946 (1969).
- [5] 日本化学会編, 化学便覧—基礎編 II— (改訂 4 版), 465-468 (1993).
- [6] 日本化学会編, 化学便覧—基礎編 II— (改訂 4 版), 617-619 (1993).