

## コマツナの発芽と生長への及ぼす希土類元素 (Y, Yb, Lu) の影響

辻 久巳\* 中山 享\*\*

Effect of rear earth elements (Y, Yb, and Lu) on germination and growth of komatsuna

Hisami TSUJI\* Susumu NAKAYAMA\*\*

Rare earth element (Y, Yb, and Lu) test water with seven different concentrations was prepared in the range of  $2.0 \times 10^{-5}$  to  $3.2 \times 10^{-3}$  mol·L<sup>-1</sup>. The degree of growth was compared with that of the control plot (deionized water). As for the degree of germination, there were no plants with a significance of 5% or more compared to the control plot. Regarding the degree of growth, a 10% significance was observed with respect to the control plot at a Y concentration of  $4.0 \times 10^{-5}$  mol·L<sup>-1</sup>.

## 1. 緒言

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、筆者らは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、スカンジウム Sc、ランタン La、ガドリニウム Gd、ジルコニウム Zr、ハフニウム Hf、マグネシウム Mg、カルシウム Ca、ストロンチウム Sr、バリウム Ba、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、鉄 Fe、コバルト Co、ニッケル Ni の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系統的に調べてきた<sup>[1-5]</sup>。Sc、La、Gd においては、Sc 添加で生長への 15%の促進効果は認められた<sup>[1]</sup>。Zr、Hf においては、発芽への明らかな有意性は観察されなかったが、生長度合いはそれぞれの添加で 10%の有意性が認められた<sup>[2]</sup>。Mg、Ca、Sr、Ba においては、発芽への明らかな有意性は観察されなかったが、生長度合いはある濃度の Sr 添加で最大 10%の有意性が認められた<sup>[3]</sup>。Li、Na、K、Rb、Cs においては、発芽への明らかな有意性は観察されなかったが、生長度合いはある濃度の Na、K 添加で 10%の有意性が認められた<sup>[4]</sup>。Fe、Co、Ni においては、発芽度合いはある濃度の Ni 添加で 7~10%の有意性が、生長度合いもある濃度の Ni 添加で 6~9%の有意性が認められた<sup>[5]</sup>。本報告では、生長度合いで最大の 15%の促進効果は認められた Sc (8 配位の Sc<sup>3+</sup>: 0.087

nm) と同じ 3 価の希土類でイオン半径に近いイットリウム Y (8 配位の Y<sup>3+</sup>: 0.1015 nm)、イッテルビウム Yb (8 配位の Yb<sup>3+</sup>: 0.098 nm)、ルテチウム Lu (8 配位の Lu<sup>3+</sup>: 0.097 nm) に注目して、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<sup>[6]</sup>。

## 2. 実験

## 2-1 種子、試薬および器具

コマツナの種子は(株)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三塩化イットリウム (III) 六水和物 (YCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O、純度: 3N)、三塩化イッテルビウム (III) 六水和物 (YbCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O、純度: 3N)、および三塩化ルテチウム (III) 六水和物 (LuCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O、純度: 3N) は、すべて三津和化学薬品(株)のものを用いた。また、発芽試験シートは富士平工業(株)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(株)のポリスチレン滅菌シャーレ (径 90 mm、高さ 15 mm) を用いた。脱イオン水および各試験用水の pH 測定には(株)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(株)日立製作所の恒温培養器/CR-32 を用いた。

令和 5 年 8 月 24 日受付 (Received Aug. 24, 2023)

\*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)

## 2-2 イットリウム、イッテルビウムおよびルテチウム塩化物水溶液の調製

脱イオン水を用いて Y、Yb、Lu の塩化物濃度  $2.0 \times 10^{-5}$ 、 $4.0 \times 10^{-5}$ 、 $2.0 \times 10^{-4}$ 、 $4.0 \times 10^{-4}$ 、 $8.0 \times 10^{-4}$ 、 $1.6 \times 10^{-3}$ 、 $3.2 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  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、前報の写真とほぼ同じであった<sup>[1,2]</sup>。

## 2-4 評価方法

発芽の評価(発芽度合)は、対照区の脱イオン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>[1,4]</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5cm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、対照区の脱イオン水のみでの発芽率(発芽度合)を100として比較した値である。Table 2、3、4に、Y、Yb、Lu それぞれの発芽度合への影響をまとめた。 $2.0 \times 10^{-5} \sim 3.2 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  のすべて試験用水濃度において、Y、Yb、Lu 共に発芽度合が104を超えることは無かった。また、発芽度合が100を下回ることも無かった。このことから、Y、Yb、Lu の塩化物の添加によるコマツナの発芽阻害が認められないことがわかった。最も高い発芽度合104は、Yでは $4.5 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、Ybは $8.0 \times 10^{-4}$ 、 $1.6 \times 10^{-3}$ 、 $3.2 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、Luは $4.0 \times 10^{-4}$ 、 $3.2 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  の各試験用水濃度で観察された。発芽度合について、Y、Yb、Lu の差は認められなかった。

Table 2 試験用水濃度 ( $x \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} - \text{YCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) と発芽度合の関係

$x / \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	発芽度合
脱イオン水のみ	100
$2.0 \times 10^{-5}$	100
$4.0 \times 10^{-5}$	104
$2.0 \times 10^{-4}$	100
$4.0 \times 10^{-4}$	100
$8.0 \times 10^{-4}$	102
$1.6 \times 10^{-3}$	102
$3.2 \times 10^{-3}$	102

Table 3 試験用水濃度 ( $x \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} - \text{YbCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) と発芽度合の関係

$x / \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	発芽度合
脱イオン水のみ	100
$2.0 \times 10^{-5}$	102
$4.0 \times 10^{-5}$	100
$2.0 \times 10^{-4}$	100
$4.0 \times 10^{-4}$	100
$8.0 \times 10^{-4}$	104
$1.6 \times 10^{-3}$	104
$3.2 \times 10^{-3}$	104

Table 4 試験用水濃度 ( $x \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} - \text{LuCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) と発芽度合の関係

$x / \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	発芽度合
脱イオン水のみ	100
$2.0 \times 10^{-5}$	100
$4.0 \times 10^{-5}$	102
$2.0 \times 10^{-4}$	102
$4.0 \times 10^{-4}$	104
$8.0 \times 10^{-4}$	102
$1.6 \times 10^{-3}$	102
$3.2 \times 10^{-3}$	104

### 3-2 生長への影響

生長度合は、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、対照区の脱イオン水のみでの合計点を100として比較した。Y、Yb、Lu それぞれの生長度合への影響を、それぞれTable 5、6、7にまとめた。Yでは、 $2.0 \times 10^{-5}$ 、 $4.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  の試験用水濃度において生長度合が100を超え、生長の促進が認められた。一方、Yb、Luでは $2.0 \times 10^{-5} \sim 3.2 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  のすべて試験用水濃度において生長度合が100を下回る結果となった。Y、Yb、Lu共に生長度合が104を超えることは無かった。最も高い生長度合はYの添加で認められ、 $4.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  の試験用水濃度において110であった。

Table 5 試験用水濃度 ( $x \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}-\text{YCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) と生長度合の関係

$x / \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	生長度合
脱イオン水のみ	100
$2.0\times 10^{-5}$	105
$4.0\times 10^{-5}$	110
$2.0\times 10^{-4}$	92
$4.0\times 10^{-4}$	88
$8.0\times 10^{-4}$	84
$1.6\times 10^{-3}$	82
$3.2\times 10^{-3}$	77

Table 6 試験用水濃度 ( $x \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}-\text{YbCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) と生長度合の関係

$x / \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	生長度合
脱イオン水のみ	100
$2.0\times 10^{-5}$	99
$4.0\times 10^{-5}$	95
$2.0\times 10^{-4}$	92
$4.0\times 10^{-4}$	85
$8.0\times 10^{-4}$	85
$1.6\times 10^{-3}$	80
$3.2\times 10^{-3}$	75

Table 7 試験用水濃度 ( $x \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}-\text{LuCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) と生長度合の関係

$x / \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	生長度合
脱イオン水のみ	100
$2.0\times 10^{-5}$	99
$4.0\times 10^{-5}$	96
$2.0\times 10^{-4}$	97
$4.0\times 10^{-4}$	87
$8.0\times 10^{-4}$	85
$1.6\times 10^{-3}$	84
$3.2\times 10^{-3}$	79

### 3-3 試験前後の pH 値

発芽生長試験前後の pH 値変化は、脱イオン水のみでは試験前の pH 値 6.24~6.38 から試験後の pH 値 5.72~5.96 へ僅かな pH 値低下が認められた。Y、Yb、Lu の各試験用水は、発芽生長試験前の pH 値が 5.83~6.18 であったが、発芽生長試験後の pH 値は Table 8、9、10 よりわかるように、すべて 6.0 辺りになった。カイワレ大根の発芽と生長時における培養液中の  $\text{H}^+$  濃度変化を調べた藤野らの報告がある<sup>[7]</sup>。本報告の実験条件とは、まったく異なる。藤野らの報告では、培養液の発芽生長試験前 pH 値が 4~6 において、4 日間辺りまでは種子への  $\text{H}^+$  の吸収が原因と考えられる pH 上昇が観察される。この現象は、特に種子が発芽するまでの 20 時間付近までは顕著であり、その後の生長過程になると発芽過程とは逆に pH 値が低下し始める。そのカイワレ大根の発芽生長試験 4 日間辺りまでの培養液の pH 値の上昇傾向は、本報告の発芽生長試験前の pH 値が 6 未満のグループに観察される現象と同じであった。一方、発芽生長試験前の pH 値が 6.0 以上

のグループに観察される pH 値の低下する現象についての原因は不明である。このような発芽生長試験前後の pH 値変化は、同じ希土類元素の Sc、La、Gd においても認められた<sup>[1]</sup>。

Table 8 試験用水濃度 ( $x \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}-\text{YCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) と試験前後の pH の関係

$x / \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	試験前 pH	試験後 pH
脱イオン水のみ	6.24	5.72
$2.0\times 10^{-5}$	5.81	6.02
$4.0\times 10^{-5}$	5.81	6.00
$2.0\times 10^{-4}$	5.58	6.08
$4.0\times 10^{-4}$	5.54	6.09
$8.0\times 10^{-4}$	5.62	5.92
$1.6\times 10^{-3}$	5.52	6.05
$3.2\times 10^{-3}$	5.53	5.88

Table 9 試験用水濃度 ( $x \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}-\text{YbCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) と試験前後の pH の関係

$x / \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	試験前 pH	試験後 pH
脱イオン水のみ	6.38	5.89
$2.0\times 10^{-5}$	6.18	6.01
$4.0\times 10^{-5}$	6.03	5.97
$2.0\times 10^{-4}$	5.83	5.85
$4.0\times 10^{-4}$	5.78	6.02
$8.0\times 10^{-4}$	5.65	5.98
$1.6\times 10^{-3}$	5.65	5.89
$3.2\times 10^{-3}$	5.55	5.92

Table 10 試験用水濃度 ( $x \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}-\text{LuCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) と試験前後の pH の関係

$x / \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	試験前 pH	試験後 pH
脱イオン水のみ	6.33	5.90
$2.0\times 10^{-5}$	6.18	6.06
$4.0\times 10^{-5}$	5.99	6.05
$2.0\times 10^{-4}$	5.84	5.90
$4.0\times 10^{-4}$	5.74	5.83
$8.0\times 10^{-4}$	5.72	5.86
$1.6\times 10^{-3}$	5.81	5.92
$3.2\times 10^{-3}$	5.84	6.00

## 4. 結 言

$2.0\times 10^{-5}\sim 3.2\times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  の濃度範囲において 7 種類の異なる濃度の各希土類元素 (Y、Yb、Lu) 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 (脱イオン水) と比較した。発芽度合いについては対照区に対して 5% 以上の有意性は認められるものはなかった。生長度合いについては Y の  $4.0\times 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  の濃度で対照区に対して 10% の有意性が認められた。

これまで筆者らは 5 年に渡り Sc、La、Gd、Zr、Hf、Mg、Ca、Sr、Ba、Li、Na、K、Rb、Cs、Fe、Co、Ni、Y、Yb、Lu の 20 種類の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てきた。その結果、生長への 15% の促

進が認められた Sc が最も効果のある無機イオンであった。Sc については、著者の中山らのグループによる 2023 年の報告で  $\text{ScCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  添加で枯草菌によるアミラーゼの生産向上も確認されている<sup>[8]</sup>。これらのことから、Sc は植物の生育促進および微生物の物質生産向上で有用な作用を示す非常に興味深い元素と考えられる。

## 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*, Vol.8, pp.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*, Vol.56, pp.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*, Vol.57, pp.26-29 (2020).
- [4] 辻久巳, 中山享, “コマツナの発芽と生長へ及ぼすアルカリ金属の影響”, *新居浜工業高等専門学校紀要*, Vol.58, pp.23-26 (2021).
- [5] 辻久巳, 中山享, “コマツナの発芽と生長への及ぼす鉄族元素の影響”, *新居浜工業高等専門学校紀要*, Vol.59, pp.70-73 (2022).
- [6] R. D. Shannon, C. T. Prewitt, “Effective ionic radii in oxides and fluorides”, *Acta Crystallographica B*, Vol.25, pp.925-946 (1969).
- [7] 藤野治, 松井正莉, 木原林, 宗林由樹, 鈴木みつ子, “カイワレ大根の発芽・生長時における培養液中水素イオンとカリウムイオンの濃度変化”, *日本化学会誌*, Vol.5, pp.580-585 (1992).
- [8] 早瀬伸樹, 真鍋優希, 中山享, “枯草菌のアミラーゼ生産へのスカンジウムの影響”, *科学・技術研究*, Vol.12, pp.47-52 (2023).