

コマツナの発芽と生長への及ぼす鉄族元素の影響

辻 久巳* 中山 享**

Effect of iron group elements on germination and growth of komatsuna

Hisami TSUJI* Susumu NAKAYAMA**

Test water containing 7 different concentrations of each iron group elements (Fe, Co, and Ni) in the concentration range of 2.0×10^{-5} to $3.2 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ was prepared and the germination rate and the growth degree of Komatsuna were compared with those of the control group (ion-exchanged water). At the Ni concentration of 2.0×10^{-5} , 4.0×10^{-5} , 2.0×10^{-4} , and $4.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, the germination rate and growth rate were 7–10 and 6–9% significant, respectively, compared to the control plot.

1. 緒言

これまでに、筆者らは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時間で評価できるコマツナを用いて、希土類元素（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 とハフニウム Hf、アルカリ土類金属元素（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）およびアルカリ金属元素（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）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^[1-4]。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^[1]。Zr と 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^[2]。アルカリ土類金属元素では、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、生長度合いについては 8.0×10^{-4} ~ $3.2 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 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^[3]。アルカリ金属元素でも、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、 8.0×10^{-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^[4]。本報告では、代表的な 3d 遷

移元素である鉄族元素（鉄 Fe、コバルト Co、ニッケル Ni）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。

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塩化鉄(III) (FeCl_3 、特級)、塩化コバルト(II) (CoCl_2 、特級) および塩化ニッケル(II) (NiCl_2 、特級) は、すべて富士フィルム和光純薬工業(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。イオン交換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4年8月22日受付 (Received Aug. 22, 2022)

*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 鉄族元素塩化物水溶液の調製

イオン交換水を用いて Fe、Co、Ni の塩化物濃度 2.0×10^{-5} 、 4.0×10^{-5} 、 2.0×10^{-4} 、 4.0×10^{-4} 、 8.0×10^{-4} 、 1.6×10^{-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^[1-4]。

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^[1-4]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、イオン交換水のみ、 2.0×10^{-5} 、 4.0×10^{-5} 、 2.0×10^{-4} 、 $4.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ のグループ、およびイオン交換水のみ、 8.0×10^{-4} 、 1.6×10^{-3} 、 $3.2 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 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に、Fe、Co、Niそれぞれの発芽度合への影響をまとめた。FeおよびCoでは発芽度合が100を超えることは無かったが、Feは $8.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ まで90以上を維持している。一方、Niでは発芽度合は、 2.0×10^{-5} 、 4.0×10^{-5} 、 2.0×10^{-4} 、 $4.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ で、それぞれ110、107、107、107であった。鉄族の中では、Niの発芽度合がもっとも高いと考えられる。また、CoとNiでは $8.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上で発芽度合が大きく低下し、生長の阻害が認められた。

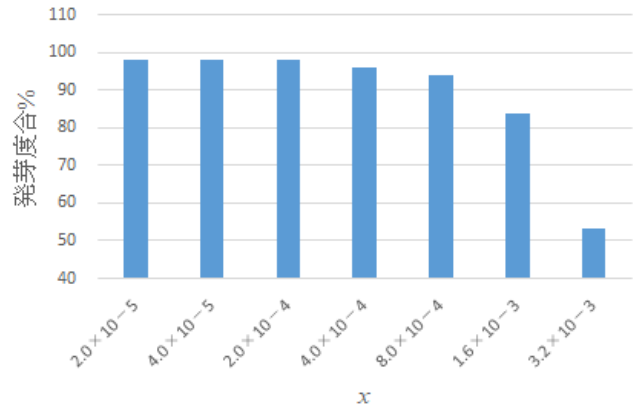


Fig.1 試験用水 $x \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ - FeCl₃ の濃度と発芽度合の関係。

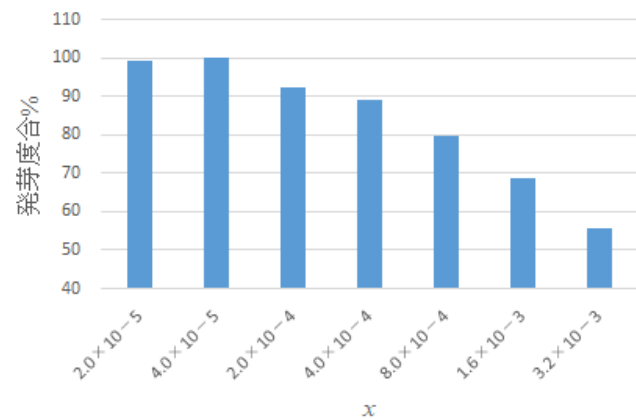


Fig.2 試験用水 $x \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ - CoCl₂ の濃度と発芽度合の関係。

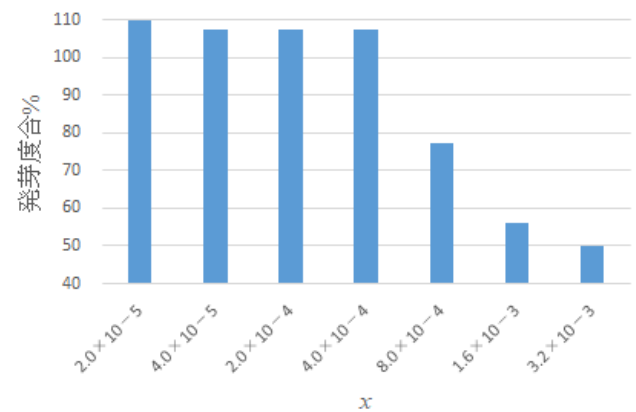


Fig.3 試験用水 $x \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ - NiCl₂ の濃度と発芽度合の関係。

3-2 生長への影響

生長度合は、イオン交換水のみ、 2.0×10^{-5} 、 4.0×10^{-5} 、 2.0×10^{-4} 、 $4.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ のグループ、およびイオン交換水のみ、 8.0×10^{-4} 、 1.6×10^{-3} 、 $3.2 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 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での合計点を100として比較した。Fe、Ni、Coの生長度合への影響を、それぞれFig.4、5、6にまとめた。Fe、Co、Ni

共に、 $4.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下ではFeの $2.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ を除き、1000以上であり、生長の促進が認められた。また、 $8.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上で生長度がFe < Co << Niの順に大きく低下し生長の阻害が認められた。Fe、Co、Niの生長度は、それぞれ $2.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ で最高の103、 $2.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ で最高の103、 $4.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ で最高の109を示した。鉄族の中では、Niの生長度がもっとも高いと考えられる。

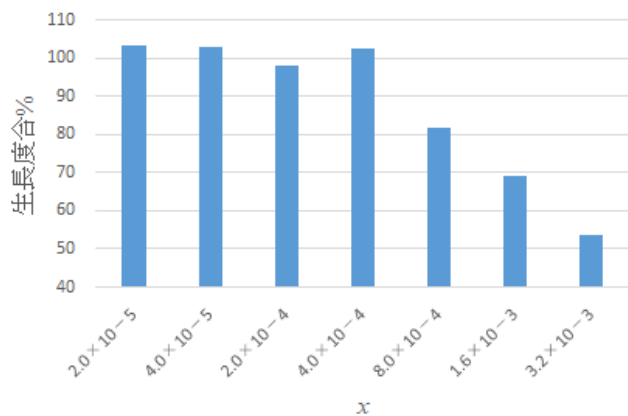


Fig.4 試験用水 $x \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ —FeCl₃の濃度と生長度合の関係。

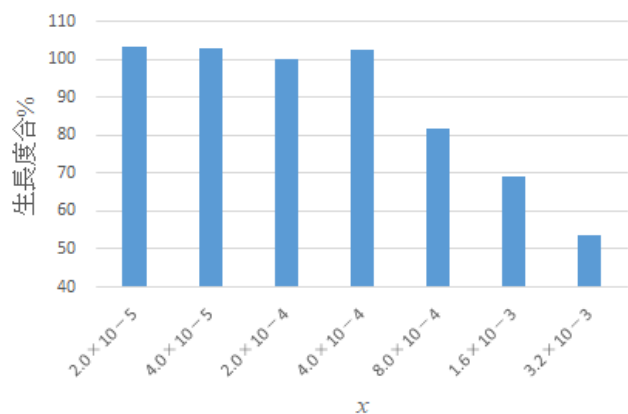


Fig.5 試験用水 $x \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ —CoCl₂の濃度と生長度合の関係。

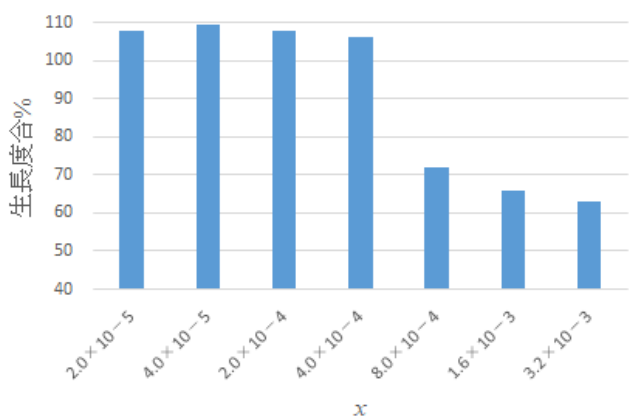


Fig.6 試験用水 $x \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ —NiCl₂の濃度と生長度合の関係。

3-3 試験前後の pH 値

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 6.01~6.32 から試験後の pH 値 5.56~5.59 へ僅かな pH 値低下が認められた。Fe、Co、Ni の各試験用水は、発芽生長試験前の pH 値が 2.65~6.10 であり、発芽生長試験後の pH 値はすべて上昇した。発芽生長試験前の pH 値は、各試験用水の濃度が高くなるに従い低下した。また、pH 値の低下度合は Ni < Co << Fe の順に大きかった。しかしながら、発芽生長試験後の pH 値は Tbalet 2、3、4 よりわかるように、すべて 5.0~6.0 辺りになった。

Table 2 FeCl₃ 試験用水濃度と試験前後の pH の関係

濃度 / mol·L ⁻¹	試験前 pH	試験後 pH
イオン交換水	6.01	5.57
2.0×10^{-5}	4.92	5.69
4.0×10^{-5}	4.33	6.00
2.0×10^{-4}	3.41	6.04
4.0×10^{-4}	3.12	6.02
8.0×10^{-4}	3.15	5.80
1.6×10^{-3}	2.84	5.22
3.2×10^{-3}	2.65	4.79

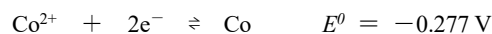
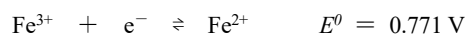
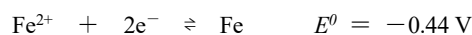
Table 3 CoCl₂ 試験用水濃度と試験前後の pH の関係

濃度 / mol·L ⁻¹	試験前 pH	試験後 pH
イオン交換水	6.32	5.59
2.0×10^{-5}	5.65	6.19
4.0×10^{-5}	5.56	5.97
2.0×10^{-4}	5.38	5.35
4.0×10^{-4}	5.12	6.22
8.0×10^{-4}	4.93	5.08
1.6×10^{-3}	4.89	5.09
3.2×10^{-3}	4.85	5.12

Table 4 NiCl₂ 試験用水濃度と試験前後の pH の関係

濃度 / mol·L ⁻¹	試験前 pH	試験後 pH
水のみ	6.14	5.56
2.0×10^{-5}	6.10	6.36
4.0×10^{-5}	5.49	6.05
2.0×10^{-4}	5.45	5.80
4.0×10^{-4}	5.16	5.53
8.0×10^{-4}	5.30	5.56
1.6×10^{-3}	5.37	5.42
3.2×10^{-3}	5.74	6.00

鉄族元素 (Fe, Co, Ni) の「イオン半径」および「標準電極電位」は、以下である。6 配位のイオン半径は、Fe³⁺ (低スピン状態) が 0.055 nm、Fe³⁺ (高スピン状態) が 0.0645 nm、Co²⁺ (低スピン状態) が 0.065 nm、Co²⁺ (高スピン状態) が 0.0735 nm、Ni²⁺ が 0.0700 nm である^[5]。水溶液中における標準電極電位 E^0 (25 °C) は、



である^[6]。

「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ると考えられる。鉄族の中で最も小さい「標準電極電位」は Ni であり、 $8.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上で Ni がもっとも生長度合が低下し生長の促進が認められなかった結果と一致する。また、 $8.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上での発芽度合の結果とも一致している。しかしながら、 $4.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下の発芽度合および成長度合の結果は説明できない。一方、「Mⁿ⁺のイオン半径」の小さい元素ほど、すなわち Ni < Co < Fe の順にコマツナへの取り込みやすいと考えられるが、発芽度合および成長度合との相関関係は認められなかった。

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鉄族元素 (Fe, Co, Ni) 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。発芽度合いについては Ni の 2.0×10^{-5} 、 4.0×10^{-5} 、 2.0×10^{-4} 、 $4.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ の濃度で対照区に対して 7~10% の有意性が、生長度合いについては Ni の 2.0×10^{-5} 、 4.0×10^{-5} 、 2.0×10^{-4} 、 $4.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ の濃度で対照区に対して 6~9% 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] 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*, **58**, 23-26 (2021).

- [5] R. D. Shannon, C. T. Prewitt, “Effective ionic radii in oxides and fluorides”, *Acta Crystallographica B*, **25**, 925-946 (1969).
- [6] 日本化学会編, *化学便覧—基礎編 II—* (改訂 4 版), 465-468 (1993).