

強磁場環境がシロイヌナズナ芽生えの成長に与える影響

進藤裕美 (富山大・院・理工), 唐原一郎 (富山大・院・理工), 曾我康一 (大阪市大・院・理), 保尊隆享 (大阪市大・院・理), 酒井英男 (富山大・院・理工), 神阪盛一郎 (富山大・院・理工)

Effect of magnetic field on seedling growth of *Arabidopsis thaliana*

Yumi Shindo¹, Ichirou Karahara¹, Kouichi Soga², Takayuki Hoson², Hideo Sakai¹, Seiichiro Kamisaka¹

¹Graduate School of Science and Engineering, University of Toyama, 3190 Gofuku, Toyama, 930-8555 Japan

²Graduate School of Science, Osaka City University, Sumiyoshi-ku, Osaka, 558-8585 Japan

E-Mail: karahara@sci.u-toyama.ac.jp

Abstract: Effects of high magnetic field on physiological processes in plants have been reported. However the underlying mechanism of magnetoreception is poorly understood. The magnetic compass of migratory birds is shown to be blue light-dependent and cryptochrome is suggested to be involved in this mechanism by sensing the geomagnetic field through the radical-pair processes. Recent studies reported that magnetic intensity affected cryptochrome-dependent responses in *Arabidopsis thaliana*. In the present study, we tested whether high magnetic field affects hypocotyl growth of *Arabidopsis* under blue light as well as in darkness. As a result, high magnetic field did not affect the hypocotyls growth in darkness but partially decreased an inhibition of its growth under blue light. Moreover, changes in the mechanical properties in the cell walls were indicated to be involved in the partial decrease of the inhibition of hypocotyl growth under blue light.

Key words; High magnetic field, Blue light, Hypocotyl growth

1. 序論

地球上の生物は自らを取り巻く様々な環境要因の影響を受けて進化を遂げてきた。中でも光、温度など、地球上で大きく変動する環境要因の影響については、植物においても比較的多くの研究が行われてきた。重力や地上での地磁気(地球磁場)も環境要因であるが、上述の要因に比べると、比較的安定な要因と考えられてきた。磁場環境に関しては、地磁気や自然界の磁場だけであった時代に対し、最近では、人間活動による人工磁場の影響が強くなっている。そして、その植物への影響が注目され、最近、様々な研究や報告がなされている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。また磁場環境は多様であり、実験材料によって反応が異なるなど、統一的に理解できる知見も少ない⁵⁾。

宇宙空間に比べて、地球は、地球内部(中心核)から発生する磁場による強い磁場環境にある。宇宙空間に及んでいる地磁気の磁気圏は、太陽や宇宙からの放射線を遮断しており、そのおかげで地球上に生物圏が広がることができたと考えられている⁶⁾。また走磁性バクテリアや回帰性魚類、渡り鳥など、地磁気・磁場を感知し、実際に利用している生物も発見されてきた。この様に、地磁気も含む磁場環境と生物の関係は重要な課題であるが、解明されていない謎は多い。本研究では、磁場の植物への影響を新たな手法により探る。それは、宇宙環境利用・人類の宇宙進出という観点でも、重要な研究となる⁷⁾。

磁場受容のメカニズムについては、特に渡り鳥など長

距離の移動を行う動物の定位について研究が進められており、この磁場応答が光の影響を受けることが示され、鳥の場合、その受容体が目の網膜に存在すること、さらにその磁気受容体の第一候補は青色光受容体クリプトクロムであることが示唆されている⁸⁾⁹⁾。最近、植物でも青色光反応に対する磁場の影響がシロイヌナズナにおいて調べられ、青色光下における胚軸の成長制御が、野生型(WT)では強磁場により促進されるものの、*cry1cry2*の二重変異体ではその効果が消えることが報告された¹⁰⁾。その一方で、WTにおけるこの効果の再現性が見られないという報告もされており¹¹⁾、植物における青色光反応に対する磁場の影響はまだはっきりしない。

そこで本研究では、シロイヌナズナを用い、強磁場および光環境が植物の成長に与える影響およびその過程における青色光受容体クリプトクロムの関与を検証した。

2. 材料と方法

植物材料

実験にはシロイヌナズナ(*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. ecotype Columbia)のWTまたは突然変異体 *cry1*を用いた。プラスチックシャーレに寒天を含む Murashige-Skoog 培地を入れ、無菌的にシロイヌナズナの種子を播種した。播種後、発芽を誘導するために3日間の4℃処理に続き4時間の白色光処理を行った。

強磁場暴露

播種したシャーレの両側に磁石の N 極面と S 極面が対面する様に角型フェライト製永久磁石で挟み、強磁場暴露を行った。富山大学の実験室の磁場を対照区としての地球磁場とした。地球磁場または強磁場に暴露した状態で暗条件または後述の光条件下において 25°C で 3 ~ 6 日間生育させ、成長した芽生えの胚軸長または細胞壁の力学的性質の測定を行った。

光環境の設定

青色光および赤色光照射には、それぞれ青色 LED および赤色 LED を使用した。

細胞壁の力学的性質の測定

地球磁場または強磁場暴露を行った芽生えをメタノール中で 60°C において 15 分間固定し、80% (v/v) メタノール中に移して、引っ張り試験機 (Tensilon RTM-25, Toyo Baldwin, Tokyo, Japan) を用いて、細胞壁の伸展性、最小緩和時間 (T_0 値)、緩和速度 (R 値) を測定した。

3. 結果

(1) 様々な光条件下において強磁場が胚軸成長に与える影響

暗所、白色光下、青色光下、または赤色光下において生育した芽生えにおける胚軸成長に対する強磁場の影響を調べた。暗所で生育した芽生えにおいては、強磁場の効果は見られず、その結果は以前の結果と一致した¹⁰⁾¹¹⁾。赤色光下または白色光下で育てた芽生えにおいては、光による胚軸成長に対する抑制効果が見られたが、強磁場の影響は見られなかった。青色光下で強磁場暴露を行った芽生えにおいてのみ、地球磁場と比較して、青色光による胚軸成長抑制効果の有意な緩和が見られた。またこの緩和は、生育期間を通して観察された。

(2) 青色光下において強磁場が *cry1* の胚軸成長に与える影響

青色光による胚軸成長抑制効果の強磁場による緩和に青色光受容体クリプトクロムが関わるか否かを調べるため、クリプトクロム 1 の機能欠損株 *cry1* を用いて青色光下における強磁場の影響を芽生えにおいて調べた。その結果、*cry1* では青色光による胚軸成長抑制効果は消え、その強磁場による緩和も見られなかった。

(3) 青色光下において強磁場が胚軸の細胞壁の力学的性質に与える影響

次に、青色光による胚軸成長抑制効果の強磁場による低下に細胞壁の力学的性質の変化が関わるか否かを調べた。その結果、地球磁場環境下と比較して、強磁場環境下では青色光による細胞壁の全伸展性の低下の有意な減少が見られた。全伸展性を可逆的伸展性と不可逆的伸展性に分けて見た場合、可逆的伸展性については

この有意な減少は見られず、不可逆的伸展性についてのみ見られた。また R 値については青色光下においては増加傾向が見られたが、両磁場条件下の間に有意差は見られなかった。一方、 T_0 値については、青色光によりわずかに増加傾向が見られ、その増加は強磁場により有意に抑制された。

4. 考察

以上の結果から、青色光による胚軸成長抑制効果を強磁場は緩和し、この緩和作用は細胞壁の伸展性 (特に不可逆的伸展性) の変化を通じて起こっていることが明らかとなった。 T_0 値の青色光による増加傾向が、強磁場により有意に抑制されたことから、細胞壁の伸展性の変化には架橋性多糖の分子量変化が関わることも示唆された。

青色光による胚軸成長抑制効果の強磁場による緩和には、青色光受容体 *cry1* を介した情報伝達経路が関与していることが示唆された。強磁場が影響を与える過程が、*cry1* そのものの作用か、それ以降の情報伝達経路にあるのかは今後の検討が必要である。渡り鳥の定位における地磁気受容においてはラジカルペアメカニズムが関わり¹²⁾、そこにはクリプトクロムが関わることを示唆されている⁸⁾。ラジカルペアモデルにおいては、青色光により青色光受容体クリプトクロムに含まれる発色団フラビンアデニンジヌクレオチド (FAD) が励起され、フラボセミンラジカルとトリプトフェニルラジカルがラジカル対を形成する。強磁場は、このラジカル対の一重項状態と三重項状態間を遷移する反応系における生成物収量に影響を及ぼすと考えられている¹⁰⁾¹²⁾。以上のことを考えると、本研究において見られた現象において、強磁場が影響を与えたのは、*cry1* そのものの作用であるという可能性が推測される。

しかし本研究で得られた結果は、シロイヌナズナにおいてヘルムホルツコイルによる強磁場が青色光による胚軸成長抑制効果を促進したという先行研究の結果¹⁰⁾とは反対の結果である。本研究の実験条件とは磁場強度や磁場環境が異なるためという可能性があるが、今後の精査が必要である。また、本研究で得られた結果は変異体 *cry2* においても確認する必要がある。

5. 参考文献

- Galland, P. and Pazur, A. Magnetoreception in plants. *J. Plant Res.*, **118**, 371-389 (2005).
- 岩坂正和. 磁場応答～植物における磁場応答の物理化学的メカニズム～. プラントミメティクス—植物に学ぶ—甲斐昌一, 森川弘道 編 pp. 363-370. エヌ・ティー・エス, 東京 (2006).
- 高橋秀幸. 磁気科学—磁場が拓く物質・機能および生命科学のフロンティア—. 北澤宏一 編 pp. 479-486. アイビーシー, 東京 (2002).
- 唐原一郎, 酒井英男, 神阪盛一郎. 生体と磁場—

- その基礎編一. プラントミメティックス—植物に学ぶ—. 甲斐昌一, 森川弘道 編 pp. 174-179. エヌ・ティイー・エス, 東京 (2006).
- 5) Belyavskaya, N.A. Biological effects due to weak magnetic field on plants. *Adv. Space Res.*, **34**, 1566-1574 (2004).
 - 6) Yamashita, M., Tomita-Yokotani, K., Hashimoto, H., Takai, M., Tsushima, M. and Nakamura, T. Experimental concept for examination of biological effects of magnetic field concealed by gravity. *Adv. Space Res.*, **34**, 1575-1578 (2004).
 - 7) Funaki, M., H. Sakai and T. Matsunaga, Identification of the magnetic poles on strong magnetic grains using magnetotactic bacteria. *J. Geomag. Geoelectr.*, **41**, 77-87 (1989).
 - 8) Möller, A., Sagasser, S., Wiltshcko, W. and Schierwater, B. Retinal cryptochrome in a migratory passerine bird: a possible transducer for the avian magnetic compass. *Naturwissenschaften*, **91**, 585-588 (2004).
 - 9) Mouritsen, H., Janssen-Bienhold, U., Liedvogel, M., Feenders, G., Stalleicken, J., Dirks, P. and Weiler, R. Cryptochromes and neuronal-activity markers colocalize in the retina of migratory birds during magnetic orientation. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, **101**, 14294 (2004).
 - 10) Ahmad, M., Galland, P., Ritz, T., Wiltshcko, R. and Wiltshcko, W. Magnetic intensity affects cryptochrome-dependent responses in *Arabidopsis thaliana*. *Planta*, **225**, 615-624 (2007).
 - 11) Harris, S.R., Henbest, K.B., Maeda, K., Pannell, J.R., Timmel, C.R., Hore, P.J. and Okamoto, H. Effect of magnetic fields on cryptochrome-dependent responses in *Arabidopsis thaliana*. *J. R. Soc. Interface*, **6**, 1193-1205 (2009).
 - 12) Ritz, T., Adem, S. and Schulten, K. A model for photoreceptor-based magnetoreception in birds. *Biophys. J.*, **78**, 707-718 (2000).