

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 30 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K15021

研究課題名(和文)セロトニンの褐色脂肪細胞における活性化機構の解明と脂肪蓄積制御技術への応用戦略

研究課題名(英文) Serotonin improves high fat diet induced obesity in mice by the activations of PGC-1 alpha and UCP1 through 5-HTR2A and 7

研究代表者

麻生 久 (Aso, Hisashi)

東北大学・農学研究科・教授

研究者番号：50241625

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：褐色脂肪細胞のセロトニン受容体は5-HT1から5-HT7の7種類のサブファミリーからなり、14個のサブタイプが存在が報告されているが、3A、5A、5Bを除いた11種類の受容体が発現していることが明らかとなった。セロトニン投与30分前に4種のセロトニンレセプターアンタゴニストをそれぞれ投与し、120分後に褐色脂肪組織を採材して遺伝子発現を解析した。結果、セロトニン投与によるPGC-1 α 、UCP1の発現上昇は、アンタゴニストの前投与によって有意に抑制され、セロトニンレセプター2Aおよび7を介してPGC-1 α 、UCP1の発現を上昇させることが判明した。

研究成果の概要(英文)：Mice were fed a chow (Ch) diet or a high fat (F) diet and orally administrated with serotonin (5-HT) every morning between the ages of 5 and 26 weeks. Mice on the F diet gained significantly more weight than the Ch fed mice. In order to identify the target tissues of the effect of 5-HT on energy metabolism, we focused on brown adipose tissue. PGC-1 is a master regulator that promotes mitochondrial biogenesis and an activity of uncoupling protein (UCP) 1 in brown adipose tissue. 5-HT increased the expressions of PGC-1 α , UCP1. Brown adipose tissue had higher expressions of 5HTR2A, 2B and 7. Mice were pre-treated with several 5-HTR antagonists at 30 min before 5-HT injection. We revealed that 5-HT increased the mRNA expressions of PGC-1 and UCP1 through 5-HTR2A and 7.

研究分野：細胞生物学

キーワード：セロトニン 褐色脂肪細胞 THP1 エネルギー代謝 抗肥満作用

1. 研究開始当初の背景

セロトニンは1950年代に発見され、セロトニン合成の律速酵素(THP)は中枢と末梢で異なる染色体にコードされた個別の酵素として存在する事が明らかになっている(Science 2003)。申請者は、末梢セロトニンが胆汁酸サイクルを亢進して糖代謝および脂質代謝を制御する新規な生理作用を発見した(Endocrinology 2010, Current Opinion in Lipidology 2011)。また、高脂肪摂取マウスの腹腔内にセロトニンを週2回投与して体重増加に与える影響を解析し、末梢セロトニン投与が高脂肪食摂取マウスの脂肪蓄積量を制御して体重増加を抑制する抗肥満作用を有することを発見した(PLoS ONE 2015)。しかしながら、末梢のセロトニン合成酵素(THP1)をノックアウトした(THP1KO)マウスでは褐色脂肪組織における脱共役タンパク質(UCP1)が活性化し、高脂肪食摂取しても体重が増加しないことが報告された(Nature Medicine 2014)。THP1KOマウスでは末梢セロトニンは合成されないことより、セロトニン投与による抗肥満誘導機構は未だ解明されていないのが現状である。

2. 研究の目的

生体の脂肪代謝の主役である褐色脂肪組織において、エネルギー代謝で最も重要な役割を担うミトコンドリア脱共役タンパク質(UCP1)の活性化機構を解明することは、家畜の皮下および筋肉内への脂肪蓄積制御技術開発に加え、新規で効率的な飼養管理技術の確立に繋がる。申請者は、セロトニン抗肥満発現マウスにおける抗肥満発現機構を解析し、UCP1活性化には細胞内THP1の発現が抑制されることを発見した。これらの実験結果は、末梢セロトニン合成酵素(THP1)遺伝子発現によるUCP1活性化制御機構の存在を示唆している。よって、本研究終了時までには、申請者が樹立したマウス褐色脂肪細胞株を用いてTHP1遺伝子のノックアウトを行い、真にUCP1活性化を誘導する遺伝子を特定し、セロトニンのUCP1活性化機構を明らかにする。

3. 研究の方法

樹立に成功した褐色脂肪細胞株(MBP細胞)を用いて、エネルギー代謝で重要な脱共役タンパク質(UCP1)のセロトニンによる活性化機構を解明することを目的とする。具体的には、まずUCP1活性化に関わるセロトニン受容体を特定する。次に、野生型およびセロトニン合成酵素ノックアウトMBP細胞を用いて、セロトニンあるいは受容体アゴニストによるUCP1活性化を行い、それぞれの細胞で発現する

遺伝子群より、UCP1活性化の鍵遺伝子の特定を行い、末梢セロトニンの抗肥満誘導機構を解明することにより、脂肪蓄積制御技術への応用戦略を図る。

4. 研究成果

セロトニン合成律速酵素(THP)は中枢と末梢で異なる染色体にコードされ、末梢のセロトニンは血液脳関門を通過できず、生体内のセロトニンは中枢と末梢で独立に制御されて機能も異なる。我々は、腹腔内へのセロトニン投与が高脂肪食摂取マウスの脂肪蓄積量を制御して体重増加を抑制する抗肥満作用を有することを発見した。しかしながら、セロトニン投与による抗肥満誘導機構は未だ解明されていないのが現状である。

褐色脂肪細胞のセロトニン受容体は5-HT1から5-HT7の7種類のサブファミリーからなり、14個のサブタイプの存在が報告されているが、樹立した褐色脂肪前駆細胞株(MBP細胞)では3A、5A、5Bを除いた11種類の受容体が発現していることが明らかとなった。

8週齢マウスを用いて、セロトニン投与30分前に4種のセロトニンレセプターアンタゴニストをそれぞれ投与し、単回投与において有意にPGC-1 α -bとPGC-1 α -cの発現上昇が確認されているセロトニン投与120分後に褐色脂肪組織を採材し、PGC-1 α -bとPGC-1 α -cの遺伝子発現を解析した。使用したアンタゴニストは、Methysergide(セロトニンレセプター1、2、7)、SB-269970(セロトニンレセプター7)、Ketanserin(セロトニンレセプター2A)、SB-204741(セロトニンレセプター2B)の4種である。結果、セロトニン投与によるPGC-1 α -bとPGC-1 α -cの発現上昇は、MethysergideとSB-269970の前投与によって有意に抑制された。以上より、褐色脂肪組織においてセロトニンは、セロトニンレセプター7を介してPGC-1 α -bおよびPGC-1 α -cの発現を上昇させることが判明した。

セロトニン処理褐色脂肪細胞ではUCP1蛋白の著しい増加が誘導されるが、セロトニン合成酵素(THP1)発現は減少し、THP1KOマウスの褐色脂肪組織ではUCP1活性化が誘導されることより、セロトニンのUCP1活性化機構解明には、THP1活性減少によって作動する遺伝子群の特定が重要である。

そこで、CRISPR-Cas9法を用いてTHP1ノックアウト褐色脂肪細胞株の樹立を試みた。CRISPR-Cas9法では、標的配列の3'末端にあるPAM(NGG)配列の上流に存在する3塩基対においてDNA二本鎖の切断が予想される3箇所のターゲット配列を決定し、Neonを用いて1400V、20width、1pulseの条件でトランスフェ

クシオンし、無血清培地で48時間培養後に細胞を回収して切断効率を解析した。Target1 および Target2 を用いたトランスフェクションでは切断片は確認できなかったが、Target3 では34.7%の切断が確認された。Target3 をトランスフェクションした細胞を増殖させ、96穴プレートで限界希釈法によってクローニングを行い、単細胞培養が確認されたwellの細胞を96穴プレートの2枚にそれぞれの細胞のレプリカを作成した。7日間の培養後に片方の細胞を用いて、ゲノムDNAを抽出してGCD kitプライマーを用いてPCRを行い、DNA シークエンスを行ったところ、2株の切断部位が異なるTHP1 ノックアウト褐色脂肪細胞株の樹立に世界で始めて成功した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計19件)

1. Tao Zhuang, Megumi Urakawa, Hidetoshi Sato, Yuko Sato, Teruaki Taguchi, Tsuyoshi Umino, Shiro Katto, Koutaro Tanaka, Kozue Yoshimura, Naokazu Takada, Hiroko Kobayashi, Megumi Ito, Michael T. Rose, Yoshio Kiku, Yuya Nagasawa, Haruki Kitazawa, Kouichi Watanabe, Tomonori Nochi, Tomohito Hayashi and Hisashi Aso, Phenotypic and functional analysis of bovine peripheral blood dendritic cells before parturition by a novel purification method. ANIMAL SCIENCE JOURNAL (2018 in press) DOI: 10.1111/asj.13014
2. K. Niimi, K. Usami, Y. Fujita, M. Abe, M. Furukawa, Y. Suyama, Y. Sakai, M. Kamioka, N. Shibata, E.J. Park, S. Sato, H. Kiyono, H. Yoneyama, H. Kitazawa, K. Watanabe, T. Nochi and H. Aso: Development of immune and microbial environments is independently regulated in the mammary gland. Mucosal Immunology (2018 in press) doi: 10.1038/mi.2017.90
3. Julio Villena, Hisashi Aso, Victor P. M. G. Rutten, Hideki Takahashi, Willem van Eden and Haruki Kitazawa. Immunobiotics for the Bovine Host: Their Interaction with Intestinal Epithelial Cells and Their Effect on Antiviral Immunity. Frontiers in Immunology 9(326): 1-10, 2018. doi: 10.3389/fimmu.2018.00326
4. Furukawa M, Yoneyama H, Hata E, Iwano H, Higuchi H, Ando T, Sato M, Hayashi T, Kiku Y, Nagasawa Y, Niimi K, Usami K, Ito K, Watanabe K, Nochi T, Aso H. Identification of a novel mechanism of action of bovine IgG antibodies specific for Staphylococcus aureus. Veterinary Research 49(1): 22-33, 2018. doi: 10.1186/s13567-018-0517-y.
5. Paulraj Kanmani, Leonardo

- Albarra2018.00326in, Hisakazu Kobayashi, Hikaru Iida, Ryoya Komatsu, A.K.M. Humayun Kober, Wakako Ikeda-Ohtsubo, Yoshihito Suda, Hisashi Aso, Seiya Makino, Hiroshi Kano, Tadao Saito, Julio Villen, Haruki Kitazawa. Exopolysaccharides from Lactobacillus delbrueckii OLL1073R-1 modulate innate antiviral immune response in porcine intestinal epithelial cells. Molecular Immunology 93: 253-265, 2017. doi: org/10.1016/j.molimm.2017.07.009
6. Leonardo Albarracin, Hisakazu Kobayashi, Hikaru Iida, Nana Sato, Tomonori Nochi, Hisashi Aso, Susana Salva, Susana Alvarez, Haruki Kitazawa and Julio Villena. Transcriptomic Analysis of the Innate Antiviral Immune Response in Porcine Intestinal Epithelial Cells: Influence of Immunobiotic Lactobacilli. Frontiers in Immunology 8 (57): 1-15, 2017. doi: 10.3389/fimmu.2017.00057
 7. Kazushi Yamamoto; Yui Iwagaki; Koichi Watanabe; Tomonori Nochi; Hisashi Aso; Tsoyoshi Tsuduki, Effects of a moderate-fat diet enriched with fish oil on intestinal lipid absorption in a senescence-accelerated prone mouse model. Nutrition 50: 26-35, 2017. doi: 10.1016/j.nut.2017.10.015
 8. Kobayashi, H., P. Kanmani, T. Ishizuka, A. Miyazaki, J. Soma, L. Albarracin, Y. Suda, T. Nochi, H. Aso, N. Iwabuchi, J-z. Xiao, T. Saito, J. Villena, H. Kitazawa. Development of an in vitro immunobiotic evaluation system against rotavirus infection in bovine intestinal epitheliocytes. Beneficial Microbes 26;8(2): 309-321, 2017. doi: 10.3920/BM2016.0155
 9. Kobayashi, H., L. Albarracin, N. Sato, P. Kanmani, AKM H. Kober, W. Ikeda-Ohtsubo, Y. Suda, T. Nochi, H. Aso, S. Makino, H. Kano, S. Ohkawara, T. Saito, J. Villena, H. Kitazawa, Modulation of porcine intestinal epitheliocytes immunetranscriptome response by Lactobacillus jensenii TL2937: finding new biomarkers for the selection of antiinflammatory immunobiotics. Beneficial Microbes, Benef Microbes. 7(5):769-782, 2016. DOI: 10.3920/BM2016.0095
 10. Islam J, Shirakawa H, Aso H and Komai M. Measurement of Serotonin Distribution and 5-Hydroxyindoleacetic Acid Excretion after Oral Administration of Serotonin using HPLC Fluorescence Detection. Food Science Nutrition and Technology, 1 (1):000105 (1-7), 2016.
 11. Susumu Muroya, Tatsuro Hagi, Ataru Kimura, Hisashi Aso, Masatoshi Matsuzaki, Masaru Nomura, Lactogenic hormones alter cellular and extracellular microRNA expression in bovine mammary epithelial cell culture. Journal of Animal Science and Biotechnology, 7 (8): 1-10, 2016. doi: 10.1186/s40104-016-0068-x
 12. Hiroki Ikeda, Tomoki Shibuya,

Shunsuke Imanishi, Hisashi Aso, Manabu Nishiyama, Yoshinori Kanayama, Dynamic Metabolic Regulation by a Chromosome Segment from a Wild Relative During Fruit Development in a Tomato Introgression Line, IL8-3. *Plant and Cell Physiology* 57(6):1257-1270, 2016. doi: 10.1093/pcp/pcw075

13. Liushiqi Borjigin, Tomoyuki Shimazu, Yuki Katayama, Kouichi Watanabe, Haruki Kitazawa, Sang-gun Roh, Hisashi Aso, Kazuo Katoh, Takafumi Uchida, Yoshihito Suda, Akiko Sakuma, Mituru Nakajo, Keiichi Suzuki (2016), Mycoplasma pneumonia of swine (MPS) resistance and immune characteristics of pig lines generated by crossing an MPS pulmonary lesion selected Landrace line and a highly immune capacity selected Large White line. *ANIMAL SCIENCE JOURNAL*, 87(8): 972-81, 2016. DOI: 10.1111/asj.12529

14. Liushiqi Borjigin, Tomoyuki Shimazu, Yuki Katayama, Meihua Li, Takumi Satoh, Kouichi Watanabe, Haruki Kitazawa, Sang-gun Roh, Hisashi Aso, Kazuo Katoh, Takafumi Uchida, Yoshihito Suda, Akiko Sakuma, Mituru Nakajo and Keiichi Suzuki (2016) Immunogenic properties and mycoplasmal pneumonia of swine (MPS) lung lesions in Large White pigs selected for higher peripheral blood immune capacity. *ANIMAL SCIENCE JOURNAL*, 87(5): 638-45, 2016. doi: 10.1111/asj.12471

15. Kohichiro Tsukida, Takuya Takahashi, Hikaru Iida, Paulraj Kanmani, Yoshihito Suda, Tomonori Nochi, Shuichi Ohwada, Hisashi Aso, Sou Ohkawara, Seiya Makino, Hiroshi Kano, Tadao Saito, Julio Villena, and Haruki Kitazawa, Immunoregulatory effects triggered by immunobiotic *Lactobacillus jensenii* TL2937 strain involve efficient phagocytosis in porcine antigen presenting cells. *BMC Immunology* 17(21), 1-18 (2016). DOI 10.1186/s12865-016-0160-1

16. Liushiqi Borjigin, Tomoyuki Shimazu, Yuki Katayama, Meihua Li, Takumi Satoh, Kouichi Watanabe, Haruki Kitazawa, Sang-gun Roh, Hisashi Aso, Kazuo Katoh, Takafumi Uchida, Yoshihito Suda, Akiko Sakuma, Mituru Nakajo and Keiichi Suzuki, Immunogenic properties of Landrace pigs selected for resistance to mycoplasma pneumonia of swine. *ANIMAL SCIENCE JOURNAL*, 87 (3): 321-329, 2016. DOI: 10.1111/asj.12440

17. Ishizuka, T., P. Kanmani, H. Kobayashi, A. Miyazaki, J. Soma, Y. Suda, H. Aso, T. Nochi, N. Iwabuchi, J.-z. Xiao, T. Saito, J. Villena, H. Kitazawa. Immunobiotic Bifidobacteria strains modulate rotavirus immune response in porcine intestinal epitheliocytes via pattern recognition receptor signaling. *PLoS One*. 11(3): e0152416 (1-19), 2016. doi:

10.1371/journal.pone.0152416

18. Tetsuya Hondo, Shunsuke Someya, Yuya Nagasawa, Shunsuke Terada, Hitoshi Watanabe, Xiangning Chen, Kouichi Watanabe, Shyuichi Ohwada, Haruki Kitazawa, Michael T. Rose, Tomonori Nochi, Hisashi Aso. Cyclophilin A is a new M cell marker of bovine intestinal epithelium. *Cell and Tissue Research* 364: 585-597, 2016. DOI 10.1007/s00441-015-2342-1

19. Jahidul Islam, Hitoshi Shirakawa, Thomas Kim Nguyen, Hisashi Aso, Michio Komai, Simultaneous analysis of serotonin, tryptophan and tryptamine levels in common fresh fruits and vegetables in Japan using fluorescence HPLC. *Food Bioscience*, 13: 56-59, 2016. doi: 10.1016/j.fbio.2015.12.006

〔学会発表〕 (計 18 件)

1. 田口輝明・甲藤士郎・田中孝太郎・庄 涛・吉村 梢・渡邊康一・野地智法・麻生 久、末梢セロトニンの褐色脂肪細胞活性化による抗肥満作用、第 124 回日本畜産学会大会 (東京大学、2018 年 3 月 28 日)
2. 海野 剛・浦川めぐみ・庄 涛・田中孝太郎・吉村 梢・佐藤佑子・伊藤 愛・小林宏子・渡邊康一・野地智法・麻生 久、初産牛における乳汁中の体細胞数と炎症誘起因子シクロフィリン A 濃度との相関解析、第 124 回日本畜産学会大会 (東京大学、2018 年 3 月 28 日)
3. 浦川めぐみ・佐藤秀俊・庄 涛・田口輝明・海野 剛・田中孝太郎・甲藤士郎・吉村 梢・小林宏子・伊藤 愛・高田直和・芦田延久・大友直樹・渡邊康一・野地智法・麻生 久、プロバイオティクス枯草菌によるウシ乳房炎の発症軽減効果、第 22 回日本乳房炎研究会学術集会 (東京国立科学博物館、2017 年 10 月 16 日)
4. 井形愛美・K. AKM Humayun・Tada A.・A. Leonardo・Ikeda-Ohtsubo W.・Aso H.・Yoda K.・Miyazawa K.・He Fang・Saito T.・Villena J.・Kitazawa H.、Effects of common microbial ligands for TLRs on adipogenesis and inflammation in porcine adipocytes. 第 123 回日本畜産学会大会 (長野県信州大学、2017 年 9 月 6 日)
5. 甲藤士郎・田口輝明・田中孝太郎・庄 涛・吉村 梢・渡邊康一・野地智法・麻生 久、末梢セロトニンの骨格筋線維型移行および代謝亢進作用の解明、第 123 回日本畜産学会大会 (長野県信州大学、2017 年 9 月 6 日)
6. Komatsu R.・Iida H.・K. AKM Humayun・Albarracin Leonardo 3・Suda Y.・Ikeda-Ohtsubo W.・Aso H.・Iwabuchi N.・Xiao Jin-zhong・Saito T.・Villena J.・Kitazawa H.、Development of advanced evaluation system of anti-disease immunobiotics. 日本畜産学会第 123 回大会 (長野県信州大学、2017 年 9 月 6 日)

7. 舩水由季・飯田ひかる・須田義人・大坪和香子・麻生久・齋藤忠夫・鈴木啓一・北澤春樹、ブタ腸管由来ワカメ資化性乳酸菌のイムノバイオティック利用性、日本畜産学会第122回大会（神戸、神戸大学、2017年3月28日）
8. 須田義人・相澤正樹・福島小百合・麻生久・小林栄治・鈴木啓一・黒毛和種におけるASS1遺伝子上流域のメチル化修飾に関する枝肉格付け間比較、日本畜産学会第122回大会（神戸、神戸大学、2017年3月28日）
9. 庄 涛・浦川めぐみ・鈴木 京・田口輝明・佐藤秀俊・高田直和・及川俊徳・小林宏子・伊藤 愛・芦田延久・今林寛和・渡邊康一・野地智法・麻生久、ウシ血中樹状細胞の精製法確立と枯草菌給与による活性化機構の解明、日本畜産学会第122回大会（神戸、神戸大学、2017年3月28日）
10. 浦川めぐみ・佐藤秀俊・庄 涛・鈴木 京・田口輝明・小林宏子・伊藤 愛・高田 直和・及川俊徳・芦田延久・今林寛和・渡邊康一・野地智法・麻生久、枯草菌の給与が乳牛の血中栄養因子および免疫因子に与える影響、日本畜産学会第122回大会（神戸、神戸大学、2017年3月28日）
11. 田口輝明・日高湧介・海野 剛・對木陽淳・陳 香凝・北澤春樹・渡邊康一・野地智法・麻生久、褐色脂肪細胞の活性化による経口セロトニンの抗肥満作用、第66回東北畜産学会大会（盛岡、アイーナいわて県民情報交流センター、2016年9月6日）
12. 庄 涛・浦川めぐみ・佐藤秀俊・高田直和・及川俊徳・小林宏子・伊藤 愛・芦田延久・今林寛和・渡邊康一・野地智法・麻生久、枯草菌給与によるウシ分娩前後における血中樹状細胞の機能解析、第66回東北畜産学会大会（盛岡、アイーナいわて県民情報交流センター、2016年9月6日）
13. 新實香奈枝、阿部未来、藤田勇氣、盛田彰太郎、古川睦実、宇佐美克紀、朴恩正、佐藤慎太郎、清野宏、渡邊康一、麻生久、野地智法、乳腺を標的としたIgA誘導型粘膜ワクチン開発を目指した学術基盤の形成、第121回日本畜産学会大会（東京、日本獣医生命科学大学、2016年3月29日）
14. 高梨暁、浦川めぐみ、鈴木京、田口輝明、菊佳男、林智人、佐藤秀俊、渡邊康一、野地智法、麻生久、乳汁に分泌される白血球遊走因子シクロフィリンAを指標とした乳房炎診断法への応用、第121回日本畜産学会大会（東京、日本獣医生命科学大学、2016年3月29日）
15. 浦川めぐみ、高梨暁、佐藤秀俊、芦田延久、今林寛和、渡邊康一、野地智法、麻生久、乳房炎多発牛への枯草菌給与と血中免疫担当細胞の動態、第121回日本畜産学会大会（東京、日本獣医生命科学大学、2016年3月29日）
16. 日高湧介、寺田俊介、佐藤勝祥、海

野剛、田口輝明、陳香凝、浦川めぐみ、渡邊康一、野地智法、麻生久、経口投与したセロトニンの抗肥満作用と骨格筋エネルギー代謝に与える影響の解析、第121回日本畜産学会大会（東京、日本獣医生命科学大学、2016年3月29日）

17. Kober A. K. M. Humayun、多田明日翔、鈴木政彦、Paulraj Kanmani、麻生久、宮澤賢治、依田一豊、何方、大坪和香子、齋藤忠夫、北澤春樹、Long term differentiation model of PIP cells for evaluating anti-adipogenic activities of immunobiotics. 第121回日本畜産学会大会（東京、日本獣医生命科学大学、2016年3月29日）

18. Paulraj Kanmani、小林永和、Humayun Kober、麻生久、大坪和香子、江草信太郎、齋藤忠夫、北澤春樹、Immunoregulatory activity of immunogenics on PIE cells against PolyI:C stimulation、第121回日本畜産学会大会（東京、日本獣医生命科学大学、2016年3月29日）

〔図書〕（計1件）

1. Hitoshi Watanabe, Michael Rose, Yoshinori Kanayama, Hitoshi Shirakawa and Hisashi Aso, Energy homeostasis by peripheral serotonin, Serotonin - A Chemical Messenger Between All Types of Living Cells, p185-p201. BOOK EDITOR: Fatima Shad Kaneez, InTech Team, ISBN 978-953-51-5290-3. (Published: July 26, 2017)

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

○取得状況（計1件）

名称：乳腺疾患の検査方法
 発明者：麻生久、北澤春樹、渡邊康一、大和田修一、渡邊一史、長澤裕哉、染谷俊介、堀越頼子、板谷奈波
 権利者：国立大学法人東北大学
 番号：特許第6176741号
 取得年月日：2017年（平成29年）7月21日
 国内外の別：日本

〔その他〕

ホームページ等
<http://www.agri.tohoku.ac.jp/keitai/index-j.html>

6. 研究組織
 (1) 研究代表者

麻生 久 (ASO HISASHI)
東北大学・大学院農学研究科・教授
研究者番号：50241625

(2) 研究分担者

野地 智法 (NOCHI TOMONORI)
東北大学・大学院農学研究科・准教授
研究者番号：10708001

渡邊 康一 (WATANABE KOICHI)
東北大学・大学院農学研究科・助教
研究者番号：80261494

北澤 春樹 (KITAZAWA HARUKI)
東北大学・大学院農学研究科・准教授
研究者番号：10204885