

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580202

研究課題名(和文)酸化ストレスによる不安増加の新しい分子機構の解明

研究課題名(英文)Novel molecular mechanism of oxidative stress-induced anxiety.

研究代表者

竹中 麻子 (Takenaka, Asako)

明治大学・農学部・教授

研究者番号：40231401

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ビタミンE(VE)欠乏がグルココルチコイド(GC)分泌を増加させて不安行動を増加させる可能性を、CRF、ACTHによるGC分泌制御を中心に検討した。VE欠乏は急性および慢性ストレスによるGC分泌を増加させたが、CRF、ACTH投与による分泌促進を変化させなかった。合成GCであるデキサメタゾン(DEX)はフィードバック阻害によりGC分泌を抑制し、GC投与は不安行動を増加させたが、これらの作用もVE欠乏の影響を受けなかった。したがって、VE欠乏は視床下部におけるストレス誘導性のCRF分泌促進、あるいはGCによる分泌抑制を低下させることにより、GC分泌を増加させるものと結論した。

研究成果の概要(英文)：We have demonstrated that vitamin E deficiency increased anxiety-like behavior in rats. As this anxiogenic effect was not observed in adrenaletomized rats, corticosterone secretion from the adrenal glands may play an important role. Since corticosterone secretion is regulated by the hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) axis, effect of vitamin E deficiency on HPA regulation was investigated in this study. Vitamin E deficiency enhanced corticosterone secretion in response to acute and chronic stress. Administration of ACTH and CRF increased plasma corticosterone while dexamethasone, a synthetic glucocorticoid, decreased corticosterone through negative feedback regulation; vitamin E deficiency did not affect these regulations. Exogenous corticosterone increased anxiety of adrenaletomized rats; this was not affected by vitamin E deficiency. In conclusion, the response of hypothalamus to stress and/or feedback regulation of corticosterone, is possibly altered by vitamin E deficiency.

研究分野：Nutritional Biochemistry

キーワード：vitamin E tocopherol anxiety

1. 研究開始当初の背景

酸化ストレスが心疾患や代謝疾患などを誘導することが示され、食品成分の抗酸化作用は健康維持の目的で注目されている。ビタミンEは抗酸化作用を有する脂溶性の必須栄養素であり、ビタミンEを含まない食餌(ビタミンE欠乏食)を摂取し続けると、ヒトやげっ歯類ではビタミンE欠乏症を発症する。ラットでは摂取12週目頃から欠乏症を発症することが古くから知られている¹⁾。

申請者らは、ビタミンE欠乏食摂取後、数日から2週間程度で、ラットの不安行動が顕著に増加してくることを見出した²⁾。更にビタミンE欠乏による不安化の現象を詳しく解析し、不安行動の増加は運動能力の低下によるものではないこと²⁾、不安行動はGABA作動性あるいはセロトニン作動性抗不安薬の投与で抑制可能なこと、離乳期から成熟後のいずれの週齢でも生じること³⁾、

ビタミンEの再摂取により約1週間で徐々に回復すること、などの研究成果を得た。ビタミンE輸送タンパク質の遺伝子欠損によるビタミンE欠乏動物でも同様の不安行動が見られること^{4)、5)}を考え合わせると、体内ビタミンE濃度の低下がげっ歯類の不安行動を増加させることは明らかである。

続いて申請者らは、ビタミンE欠乏による不安行動増加の機構について検討を行った。不安行動は、ストレスにตอบสนองした視床下部下垂体-副腎を軸(HPA axis)とする内分泌系によって制御されていることが知られている。そこでビタミンE欠乏がHPA axisの下流に位置するグルココルチコイドの分泌や作用に及ぼす影響を解析した結果、ビタミンE欠乏はストレス下のラットの血中グルココルチコイド濃度を上昇させること³⁾、副腎除去によってグルココルチコイド分泌を不能にしたラットではビタミンE欠乏による不安行動増加が観察されなくなること、グルココルチコイド投与によって人為的に引き起こされる不安行動はビタミンE欠乏によって増加しないこと、などがわかり、副腎から分泌されるグルココルチコイドの増加がビタミンE欠乏による不安行動増加に重要であることが明らかとなった。

ビタミンE欠乏による不安行動の増加は、抗酸化力の低下によって生じる酸化ストレスを介するのだろうか? ビタミンE欠乏食摂取により、まず体内ビタミンE濃度が低下し、次に体内脂質過酸化が進行するが、不安行動は脂質過酸化と同時に増加することを申請者らは確認した。また、水溶性抗酸化ビタミンであるビタミンCの摂取がビタミンE欠乏による不安化を軽減すること、ビタミンC欠乏ラットでも血中グルココルチコイド濃度の増加と不安行動の増加が生じることを見出した。

これらの結果は、ビタミンE欠乏による不安行動増加は、抗酸化力の不足による酸化ストレスに起因する可能性を示していた。一連の研究成果から申請者らは、「酸化ストレスの亢進が、グルココルチコイド分泌増加を引き起こし、不安行動を増加させる」という不安行動の新しい誘導機構を想定するに至っている。[これらの研究成果は、科研費基盤研究(C)(平成21~23年度)により得られたものである。]

2. 研究の目的

本研究では、「ビタミンE欠乏による酸化ストレスの亢進が、グルココルチコイド分泌増加を引き起こし、不安行動を増加させる」という不安行動の新しい誘導機構を明らかにすることを目的とした。まず、ビタミンE欠乏がHPA axisのどの段階に作用するかを明らかにした後、どのような機構を介してHPA axisの変動が誘導されるかを解明することとした。さらに、酸化ストレスが普遍的に不安行動の要因となる可能性、および他の行動変化を引き起こす可能性を検討した。

3. 研究の方法

1) ビタミンE欠乏がHPA axisの各応答段階に及ぼす影響

以下の方法により、ストレス()、HPA axis上流のホルモン()、グルココルチコイドによるHPA axisのフィードバック抑制が、ビタミンE欠乏でどのような影響を受けるのかを解析した。

通常食あるいはビタミン欠乏食で3週齢のWistar系雄ラットを4週間飼育した。急性ストレスとして拘束ストレスホルダを用いて15分間の拘束ストレスを与え、血中コルチコステロン(ラットのグルココルチコイド)濃度を測定した。

通常食あるいはビタミン欠乏食で3週齢のWistar系雄ラットを4週間飼育した。飼育期間の後半2週間に、慢性ストレスとして予期不能なさまざまなストレス(床敷を湿らせる、ケージを傾斜させる、など⁶⁾)を毎日与え、血中コルチコステロン濃度を測定した。

通常食あるいはビタミン欠乏食で3週齢のWistar系雄ラットを4週間飼育し、corticotropin releasing factor (CRF) 100 µg/kg体重、あるいはadrenocorticotrophic hormone (ACTH) 100 µg/kg体重を腹腔内投与後、15分後の血中コルチコステロン濃度を測定した。

通常食あるいはビタミン欠乏食で3週齢のWistar系雄ラットを4週間飼育し、合成グルココルチコイドであるdexamethasone (DEX) 50 µg/kg体重を皮下投与後、90分後の血中コルチコステロン濃度を測定した。DEXは下垂体に作用してコルチコステロン分泌を抑制する。

2) ビタミンE欠乏がHPA axis関連組織に及ぼす影響

3週齢のWistar系雄ラットにAIN93Gに準じた対照食 (CON、50mg/kg dietの -トコフェロールを含む) あるいはビタミンE欠乏食 (E-) を与えて4週間飼育した後、視床、海馬、扁桃核、副腎を採取し、各組織のHPA軸関連遺伝子、酸化ストレス・炎症マーカー遺伝子の発現をreal-time PCR法で測定した。

3週齢のWistar系雄ラットにBrdUを50mg/kg体重で3日間毎日腹腔内投与し、投与後AIN93Gに準じた対照食 (CON) あるいはビタミンE欠乏食 (E-) を与えて3週間飼育した。解剖時に脳をパラホルムアルデヒド固定して採取、脳切片を作製し、海馬歯状回体積を計測すると共に、海馬の細胞増殖能や神経新生をBrdU陽性細胞数・DCX陽性細胞数・Ki-67陽性細胞数により評価した。

3) 他の酸化ストレス(ビタミンC欠乏)がラットの行動に及ぼす影響

ビタミンC 合成不能ラット (ODS ラット) を用いて、ビタミンC (アスコルビン酸) 欠乏による酸化ストレスが不安行動および社会性行動におよぼす影響を解析した。

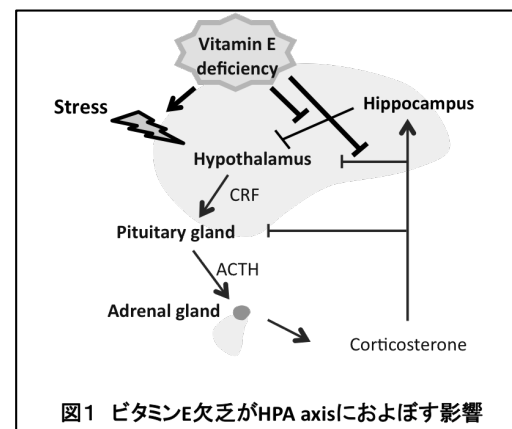
4週齢のODSラット (雄) を、アスコルビン酸添加水を与えて16日間予備飼育 (3 rats/cage) した。その後、アスコルビン酸添加食を与える群 (VC+) 群 (n=9)、アスコルビン酸欠乏食を与える群 (VC-) 群 (n=9) に分け、実験食を摂取させて10日間飼育 (1 rat/cage) した。実験食摂取開始5日目に高架型十字迷路試験 (Elevated Plus Maze; EPM試験)、7日目にオープンフィールド試験 (Open Field Test; OF試験)、9日目に社会性相互作用試験 (Social Interaction Test; SI試験) を行った。EPM試験; 新奇環境である十字型の迷路 (高さ50 cmの支柱の上に幅10 cm、長さ50 cm板を十字に組み合わせた迷路) 上に置かれたラットの15分間の探索行動や、壁の無いopen armと壁のあるclosed arm滞在時間を解析することにより、不安行動を評価した。OF試験; 新奇環境である試験箱 (1辺45 cm、高さ45cm) に置かれたラットの15分間の探索行動 (rearing; 前足を床から離し後ろ足のみで立ち上がる動作) や壁から離れたセンターゾーン (試験箱底面を16等分した中央の4マス) とそれ以外の部分への滞在時間を測定することにより、不安行動を評価した。SI試験; 同時に試験箱 (1辺45 cm) に置かれた相手のラットに対する1分間の社会性相互作用 (Social Interaction; SI、接触行動や追跡行動) の時間と回数を測定した。被験ラット1匹あたり、同じラットを4回、その後5回目に新たなラットを組み合わせ、試験箱に入れ、SIの低下で示される同じ

ラットへの慣れと、5回目の新たなラットに対するSIの増加を解析した。

4. 研究成果

1) ビタミン E 欠乏が HPA axis の各応答段階に及ぼす影響

急性ストレス、慢性ストレスはいずれも血中コルチコステロン濃度を増加させ、この増加はビタミン E 欠乏で増大した。CRF 投与 ACTH 投与は投与 15 分後の血中コルチコステロン濃度を増加させたが、ビタミン E 欠乏にはこの増加に影響をおよぼさなかった。DEX 投与は投与 90 分後のコルチコステロン濃度を低下させたが、ビタミン E 欠乏はこの低下に影響をおよぼさなかった。これらの結果から、ビタミン E 欠乏はストレスによるグルココルチコイド分泌を増加させるが、HPA axis の各臓器のホルモン応答および DEX から下垂体への HPA axis のフィードバック抑制には影響を与えないことが示された。したがって、ビタミン E 欠乏はグルココルチコイドによる海馬や視床下部への HPA 軸のフィードバックを抑制、あるいはストレスによる CRF 分泌を亢進させ、不安行動の増加を引き起こす可能性が考えられた (図 1)。



2) ビタミン E 欠乏が HPA axis 関連組織の機能に及ぼす影響

視床、海馬、扁桃核の炎症性サイトカイン (TNF- α 、IL-1、IL-6) および酸化ストレス応答遺伝子 (Mn-SOD、ヘムオキシゲナーゼ-1) の遺伝子発現は、ビタミンE欠乏の影響を受けなかった。海馬のグルココルチコイド受容体mRNA量にも変化がみられなかったが、視床のCRF mRNA量はビタミンE欠乏によって低下した。

連続切片のNissle染色解析により海馬歯状回の体積を測定した結果、ビタミンE欠乏で体積が増加する傾向がみられた ($p < 0.1$)。BrdU陽性細胞、Ki67陽性細胞、DCX陽性細胞にはビタミンE欠乏の影響はみられず、海馬の神経新生は不安行動増加を伴うビタミンE欠乏時にも変化しないことが示された。

3) 他の酸化ストレスの影響の解析

5 日間のアスコルビン酸欠乏では、EPM 試験における不安行動の変化は生じなかった。7 日間のアスコルビン酸欠乏では、OF 試験により不安行動の有意な増加が示された。当研究室ではこれまでに EPM 試験において 7 日間のアスコルビン酸欠乏による不安行動の増加をみとめていることから、欠乏 5-7 日目に不安行動の増加が顕著になることが示された。

また、社会性試験の対照群では、同じラットを入れ続けることにより SI が有意に減少し、初見のラットで SI の有意な上昇が確認されたが、VC(-)群ではその差が見られなかった。よって、アスコルビン酸欠乏がラットの社会性行動を低下させることが本研究で初めて示された

<引用文献> 1) J. Nutr., 107: 1200-1208, 1977. 2) J. Clin. Biochem. Nutr., 43S1: 445-448, 2008. 3) Biosci. Biotechnol. Biochem., 75: 1894-1899, 2011. 4) Free Radical Biology and Medicine, 35, 11343-1354, 2003. 5) The FASEB Journal, 19, 296-297, 2005. 6) Journal of Neuroscience, 6: 2908-2914, 1986.

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 8 件)

- 1) O. Yoshinari, A. Takenaka and K Igarashi. "Trigonelline Ameliorates Oxidative Stress in Type 2 Diabetic Goto-Kakizaki Rats", *Journal of Medical Food*, **16** (1): 1-8. doi: 10.1089/jmf. (2013). 査読有
- 2) Y. Ozaki, T. Takeda, N. Akanishi, F. Hakuno, Y. Toyoshima, S-I. Takahashi and A. Takenaka. "Insulin injection restored increased insulin receptor substrate (IRS)-2 protein during short-term protein restriction but did not affect reduced insulin-like growth factor (IGF)-I mRNA or increased triglyceride accumulation in the liver of rats", *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, **78**(1): 130-138. (2014). doi: 10.1080/09168451.2014.877825. 査読有
- 3) Toyoshima Y, Tokita R, Taguchi Y, Akiyama-Akanishi N, Takenaka A, Kato H, Chida K, Hakuno F, Minai S, and Takahashi S-I. Tissue-specific effects of protein malnutrition on insulin signaling pathway and lipid accumulation. *Endocrine Journal*, **61**(5): 499-512. (2014). doi: org/10.1507/endocrj.EJ13-0514. 査読有
- 4) 竹中麻子, "さまざまな生物におけるビタミン E の選択的体内輸送と機能", *ビタミン*, **86**(9), 521-523(2012). 査読無
- 5) 橋本理恵子、大谷祐貴、徳永香南子、竹中麻子, "ビタミン E 摂取量の違いがラットの不安行動におよぼす影響の解析", *ビタミン E 研究の進歩 XV*, 1-5 (2012). 査読無
- 6) 高橋伸一郎、金子元、竹中麻子, 東祐輔, 尾

添淳文, 伯野史彦, "酸化ストレスとインスリン様活性の相互作用が健康寿命延伸に果たす役割", *医学のあゆみ*, **247**(9), 934-941 (2013). 査読無

7) 高木真理、橋本理恵子、竹中麻子 ビタミン E 欠乏がメスラットの不安行動におよぼす影響の解析、*ビタミン E 研究の進歩 XVI*、*ビタミン E 研究会編*, pp40-43、(2014). 査読無

8) 大倉悠毅、寺田裕紀、橋本理恵子、大橋広弥、大谷祐貴、徳永香南子、松本康志、高木真理、中間未祈子、遠藤駿、竹中麻子 ビタミン E 欠乏と不安行動、*ビタミン*, **89**(3), 108-115、(2015). 査読無

〔学会発表〕(計 37 件)

(海外)

1) Yori Ozaki, Tomoya Takeda, Narumi Akanishi, Yuka Toyoshima, Fumihiko Hakuno, Shin-Ichiro Takahashi, Asako Takenaka, "Effect of short-term treatment with insulin on decreased IGF-I expression and increased liver triglycerides during protein deprivation", The 6th International Congress of the GRS and the IGF Society, Gastig, Munich, Germany, October 17-20, 2012.

2) Asako Takenaka and Naoko Fujita, "Sex differences of vitamin E metabolism in rats", 20th International Congress of Nutrition, Granada, Spain, September 15-19, 2013.

3) Mika Hino, Kanae Takeuchi, Shin-Ichiro Takahashi, Asako Takenaka, "Impaired mTORC1 activity up-regulates IGFBP-1 synthesis during dietary protein restriction.", The 7th International Congress of the GRS and the IGF Society, Singapore, October 15-18, 2014.

(国内)

1) 藤田尚子、竹中麻子、"ラット - トコフェロール代謝の性差に関する研究", 2012 年日本栄養・食糧学会大会、東北大学川内キャンパス、2012.5.18-20

2) 豊島由香、時田玲子、田口良亮、伯野史彦、竹中麻子、加藤久典、南史朗、高橋伸一郎、"十分なタンパク質量を含む食餌の再給餌が低タンパク質食給餌に应答して起こった肝臓の脂質蓄積に与える影響", 2012 年日本栄養・食糧学会大会、東北大学川内キャンパス、2012.5.18-20

3) 田口雄亮、豊島由香、時田玲子、大谷りら、竹中麻子、加藤久典、高橋伸一郎、南史朗、"低タンパク質食給餌によるインスリン様成長因子の動態、肝臓のインスリンシグナルと蓄積脂肪量の変化: 成長期と成熟ラットの比較", 2012 年日本栄養・食糧学会大会、東北大学川内キャンパス、2012.5.18-20

4) 江口岳、尾崎依、竹中麻子、"-TTP 遺伝子の肝臓特異的発現機構に関する研究", 2012 年日本ビタミン学会、長良川国際会議場、

2012.6.22-24

5) 依包智行、矢崎麻友美、佐藤道夫、竹中麻子、“-トコフェロール輸送タンパク質(-TTP)の細胞内局在の解析”、2012年日本ビタミン学会、長良川国際会議場、2012.6.22-24

6) 日野美佳、親松亜実、竹中麻子、“低タンパク質食摂取が炎症性サイトカイン合成に及ぼす影響”、2012年日本アミノ酸学会、千葉大学園芸学部、2012.9.28-29

7) 竹中麻子、高木真理、橋本理恵子、“ビタミンE欠乏がメスラットの不安行動におよぼす影響の解析”、2013年ビタミンE研究会、慶応義塾大学芝共立キャンパス、2013.1.11-12

8) 依包智行、矢崎麻友美、佐藤道夫、竹中麻子、“-トコフェロール輸送タンパク質(-TTP)の細胞内局在の観察”、2013年日本顕微鏡学会関東支部第37回講演会、東京大学山上会館、2013.3.6

9) 向後雄一郎、堀内真美、中村卓、竹中麻子、“分離大豆タンパク質による脂質吸収阻害がインスリン分泌に及ぼす影響の解析”、2013年日本農芸化学会大会、東北大学川内キャンパス、2013.3.24-27

10) 堀内真美、向後雄一郎、日野美佳、佐々木友紀、竹中麻子、“大豆タンパク質食摂取時の血中アミノ酸濃度の低下が食後インスリン分泌に及ぼす影響”、2013年日本農芸化学会大会、東北大学川内キャンパス、2013.3.24-27

11) 藤田尚子、竹中麻子、“ラット -トコフェロール代謝の性差に関する研究”、2013年日本農芸化学会大会、東北大学川内キャンパス、2013.3.24-27

12) 藤田尚子、竹中麻子、“ラット -トコフェロール代謝の性差に関する研究”、2013年第16回 Vitamin E Update Forum、東京(如水会館)、2013.8.19

13) 堀内真美、竹中麻子、“アミノ酸欠乏がインスリン分泌に与える影響”、2013年日本アミノ酸学会、熊本(熊本市医師会館)、2013.11.2-3.

14) 丸井未槻、日野美佳、金子梨紗、尾崎依、竹中麻子、吉原英人、亀井宏泰、伯野史彦、高橋伸一郎、“低タンパク質食摂取がインスリン受容体基質(IRS)-2に及ぼす影響の解析”、2013年日本アミノ酸学会、熊本(熊本市医師会館)、2013.11.2-3.

15) 竹中麻子、中間未祈子、遠藤駿、天野翔太、“ビタミンE欠乏が視床下部-下垂体-副腎(HPA)軸におよぼす影響”、2014年ビタミンE研究会、鳥取(米子市文化ホール)、2014.1.24-25.

16) 日野美佳、竹内香菜恵、竹中麻子、“低タンパク質食摂取はmTORC1経路を介してIGFBP-1 mRNA量を増加させる”、2014年日本

農芸化学会、東京(明治大学生田キャンパス) 2014.3.27-30.

17) 尾崎 依、斉藤 憲司、中澤 京子、加藤 久典、伯野 史彦、高橋 伸一郎、竹中 麻子、“1日の低タンパク質食摂取が成長期のラット肝臓の遺伝子発現に及ぼす影響”、2014年日本農芸化学会、東京(明治大学生田キャンパス) 2014.3.27-30.

18) 竹之内袖貴乃、大谷りら、蟹沢壮平、小幡祐子、関亜理砂、加藤久典、竹中麻子、“タンパク質低栄養による肝臓脂肪蓄積機構”、2014年日本農芸化学会、東京(明治大学生田キャンパス) 2014.3.27-30.

19) 小幡祐子、蟹沢壮平、関亜理砂、竹之内袖貴乃、竹中麻子、“リポポリサッカライド投与は低タンパク質食による肝臓脂肪蓄積を抑制する”、2014年日本農芸化学会、東京(明治大学生田キャンパス) 2014.3.27-30.

20) 森友美、亀井宏泰、赤西成美、尾添淳文、伯野史彦、千田和広、加藤久典、豊島由香、竹中麻子、高橋伸一郎、“アミノ酸欠乏培地で培養した肝細胞ではインスリン受容体基質(IRS)-2量が増加し脂肪蓄積が起こる”、2014年日本農芸化学会、東京(明治大学生田キャンパス)、2014.3.27-30.

21) 内山智、遠藤駿、竹中麻子、“トコトリエノールがビタミンE欠乏による不安行動におよぼす影響”、2014年日本農芸化学会、東京(明治大学生田キャンパス) 2014.3.27-30.

22) 江口岳、尾崎依、小田裕昭、竹中麻子、“細胞外マトリクスが -トコフェロール輸送タンパク質遺伝子発現に及ぼす影響”、2014年日本農芸化学会、東京(明治大学生田キャンパス) 2014.3.27-30.

23) 依包智行、佐藤道夫、竹中麻子、“-トコフェロールが -トコフェロール輸送タンパク質(-TTP)の細胞内局在に与える影響”、2014年日本農芸化学会、東京(明治大学生田キャンパス) 2014.3.27-30.

24) 竹中麻子、“抗酸化ビタミンの欠乏と不安行動”、2014年日本農芸化学会、東京(明治大学生田キャンパス) 2014.3.27-30.(シンポジウム)

25) 竹中麻子、“栄養素の不足を感知するしくみ”、2014年日本農芸化学会 Frontiers シンポジウム、茨城(デュープレックスセミナーホール) 2014.3.30-31.(招待講演)

26) 丸井未槻、堀内真美、竹中麻子、“アミノ酸欠乏食摂取が肝臓インスリン受容体基質(IRS)-2量に及ぼす影響の解析”、2014年日本栄養・食糧学会、北海道(酪農学園大学)、2014.5.30-6.1.

27) 堀内真美、米澤芽里、伯野史彦、高橋伸一郎、竹中麻子、“アミノ酸添加が膵細胞株MIN6のインスリン分泌に与える影響”、2014年日本栄養・食糧学会、北海道(酪農学園大

学) 2014.5.30-6.1.

28) 関亜理砂、日野美佳、竹之内柚貴乃、蟹沢壮平、小幡祐子、竹中麻子、”低タンパク質食摂取が VLDL の合成と代謝に及ぼす影響” 2014 年日本栄養・食糧学会、北海道(酪農学園大学) 2014.5.30-6.1.

29) 遠藤駿、西島壮、竹中麻子、”ビタミン E 欠乏が視床下部-下垂体-副腎(HPA)軸に及ぼす影響” 2014 年日本ビタミン学会、姫路(姫路商工会議所) 2014.6.13-14

30) 竹中麻子、”透過型電子顕微鏡を用いた -トコフェロール輸送タンパク質の細胞内局在解析”、2014 年 第 17 回 Vitamin E Update Forum、東京(如水会館) 2014.8.6

31) 堀内真美、遠藤駿、島村紘平、石川眞友穂、竹中麻子、”分岐鎖アミノ酸が迷走神経によるインスリン分泌制御に及ぼす影響” 2014 年日本アミノ酸学会、東京(東京農業大学) 2014.11.8-9.

32) 尾崎依、小西守周、伊藤信行、高橋伸一郎、竹中麻子、”低タンパク質栄養状態において線維芽細胞増殖因子(FGF)21 が脂質代謝に果たす役割” 2014 年日本農芸化学会、岡山(岡山大学) 2014.3.26-29.

33) 堀内真美、向後雄一郎、遠藤駿、田口雄亮、豊島由香、南史朗、高橋伸一郎、竹中麻子、”低タンパク質食摂取が豚島の大きさにおよぼす影響” 2014 年日本農芸化学会、岡山(岡山大学) 2014.3.26-29.

34) 西宏起、亀井宏泰、山中大介、赤西成美、森友美、合田佑貴、豊島由香、竹中麻子、千田和広、伯野史彦、高橋伸一郎、”肝臓におけるアミノ酸欠乏に応答したインスリン受容体基質(IRS)-2 量の増加とトリグリセリドの蓄積の新規分子機構” 2014 年日本農芸化学会、岡山(岡山大学) 2014.3.26-29.

〔図書〕(計 1 件)

3) 竹中麻子 食品成分と遺伝子(共著) 加藤久典・藤原葉子編 (2014) 栄養科学イラストレイティッド 分子栄養学 p153-166、羊土社

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹中 麻子(TAKENAKA, Asako)
明治大学・農学部農芸化学科・教授
研究者番号: 40231401

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし