

シーベリー果汁やシーベリー酢は 運動後の肝臓グリコーゲン量の貯蔵回復に影響を及ぼす

太田ゆき菜¹・慈照紅²・小嶋道之³

(受付：2020年4月30日，受理：2020年7月22日)

Seaberry juice and seaberry vinegar promote the recovery of liver glycogen stores
after exercise

Yukina OTA¹, Chengyu JIANG^{1,2}, Michiyuki KOJIMA³

摘 要

運動後の肝臓グリコーゲン量の貯蔵回復にシーベリー果汁やシーベリー酢が及ぼす影響について検討した。水泳運動後にグルコースとシーベリー果汁を共に与えたマウス [GJ群]の2時間後の肝臓グリコーゲン量は 46.0 ± 23.6 mg/g f. w.、グルコースとシーベリー酢を共に与えたマウス [GV群]のそれは 47.3 ± 18.5 mg/g f. w.で、グルコースを単独で与えたマウス [G群]のそれ (21.3 ± 10.1 mg/g f. w.) に比べて、いずれも有意に高い値を示した。また、水泳運動後にグルコースとリンゴ酸を共に投与して30分後のマウス [GR群]の血中乳酸除去率は、マウス [G群]のそれに比べて有意に高い値を示した。また、マウス [GR群]の2時間後の肝臓グリコーゲン量は、[GJ群]や[GV群]とほぼ同様の高い値 (45.8 ± 22.2 mg/g f. w.) を示した。これらの結果は、グルコースと共にシーベリー果汁、シーベリー酢およびリンゴ酸を摂取することは、運動後の疲労回復に効果的であることを示唆している。

キーワード：サジー、リンゴ酸、疲労回復、貯蔵多糖、乳酸

¹ 帯広畜産大学食品科学研究部門

¹ Department of Food Production Science, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro, Japan

² 岩手大学連合農学研究科生物資源科学専攻

² Department of Bioresources Science, United Graduate School of Agricultural Sciences, Iwate University, Morioka, Japan

³ 帯広畜産大学人間科学研究部門

³ Department of Human Sciences, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro, Japan

連絡先：小嶋道之，kojima@obihiro.ac.jp

Address Correspondence : Michiyuki KOJIMA, kojima@obihiro.ac.jp

緒 言

近年、中高年を中心に健康の増進や維持に注目が集まっているが、今後さらに多くの年代層にも広がってゆくものと考えられる。健康増進には、有酸素運動と共に食べ物の種類も大切な事柄である。そこで、健康増進に役立つ北海道産の食材を探る一環として、今回はシーベリーについて検討した。

シーベリーは豊富な栄養素が含まれた小果樹であり(石井 2003 ; Thomas et al. 2003)、北海道内でもいくつかの地域で栽培されていて、それを利用した加工品にも注目が集まっている。シーベリー果汁はオレンジ色をしており、ビタミンCやビタミンE、プロビタミンAであるカロテノイドなどを豊富に含むことや特有のポリフェノール類を含んでおり(Yang et al. 2007)、抗酸化性など機能が期待される食材である(西ら 2007)。

また、シーベリー果実には、有機酸の1種であるリンゴ酸を多く含有する点も特徴といえる。そのために果実や果汁は、かなり強い酸味を感じる。レモンなどの柑橘系果実の主要な有機酸はクエン酸であり、それには血中の乳酸蓄積を防ぎ、組織グリコーゲンの分解を抑制して筋肉疲労の回復を促進する効果のあることが報告されている(Saitoh et al. 2007 ; 三宅ら2001)。また、食酢の主成分である酢酸にも血中の乳酸値の素早い低下作用、生体内でクエン酸合成の促進作用、解糖系を抑制することによるグリコーゲン貯蔵促進作用などが報告されている(Nakano et al. 2001 ; 内藤ら 2003 ; 鉄口ら 2012)。しかし、リンゴ酸の疲労回復効果に関する報告は、これまでほとんどみられない。

本研究では、リンゴ酸を多く含むシーベリー飲料(果汁とシーベリー酢)と食品添加物であるリンゴ酸の運動による疲労回復効果の有無について明らかにしようとした。

実験材料および方法

1. 実験材料

実験試料には、市販品である北海道産シーベリー果汁(自然農園)とシーベリー酢(士幌町食品加工センター)を用いた。シーベリー果汁に含まれる主な有機酸は、リンゴ酸(39mg/ml)(Thomas et al. 2003)で、シーベリー酢のそれは酢酸(92 mg/ml)とリンゴ酸(19 mg/ml)である。

2. 実験動物と運動

7週齢のddY系雄マウス(日本SLC)は、個別ケージを用いて標準固形飼料と水道水を自由摂取させ、人工照明下、12時間の明暗周期で予備飼育をおこない、2日毎に10分間の水泳運動(プラスチックバレル(44×38×14 cm、水温20-22℃))をおこなった。実験動物の取り扱いは帯広畜産大学動物実験委員会の承認を得ておこなった。

3. 投与試料の調製と2つの実験プラン

血中の乳酸濃度の測定のための試料は、0.1 gのグルコース[G群]、0.1 gのグルコースと11.7 mgのリンゴ酸[GR群]、0.1 gのグルコース、5.7 mgのリンゴ酸および27.6 mgの酢酸[GRS群]の3種類を、それぞれ0.5 mlに含まれるように調製して用いた。また、組織グリコーゲン量を測定するための試料は、0.1 gのグルコース [G群]、0.1 gのグルコースと11.7 mgのリンゴ酸 [GR群]、0.1 gのグルコースと0.3 mlのシーベリー果汁 [GJ群]、0.1 gのグルコースと0.3 mlのシーベリー酢 [GV群]、および蒸留水 [W群] の5種類を、それぞれ0.5 mlに含まれるように調製した。

マウスは、体重がほぼ均等になるように各群5匹を用い、16時間の絶食をさせた後、計画的に20分間の水泳運動をおこなった。

血中の乳酸濃度の測定は、水泳運動直後、運動5分後、運動15分後、運動30分後、運動60分後に、それぞれ尾部先端穿刺により採血して、ラクテート・プロLT-1710(アークレイ株式会社)により測定した。乳酸除去率

は、運動直後の血中乳酸濃度(a)、運動後の各時間における血中乳酸濃度(b)、運動前の血中乳酸濃度(c)を用いて次の計算式により求めた(丸山ら 1991)。

乳酸除去率の計算式： $(a-b) / (a-c) \times 100$

組織グリコーゲン量を測定する実験では、水泳運動後直ちに試料をマウスの胃にゾンデ投与した。試料を与えない1群のマウスは、運動直後に解剖した。水泳運動後に試料を与えた5群のマウスは、2時間後に随時麻酔下で開腹して、心臓採血により血液を得た。続いて、直ちに肝臓および後足の骨格筋(腓腹筋とヒラメ筋)を採取し、素早く秤量して、直ちに液体窒素で凍結後、 -85°C で保存した。また、血液は3000 rpmで遠心分離(30分、 5°C)をおこない、得られた血清のグルコース含量と遊離脂肪酸含量を測定した。

4. マウス肝臓と骨格筋のグリコーゲン量測定

肝臓と骨格筋のグリコーゲン量は、アミログルコシダーゼを用いる方法に従って測定した(Keppler et al. 1974; 角田 2013)。 -85°C で保存しておいた各組織は、冷却した乳鉢に取り出して、氷冷した0.6 N 過塩素酸2 mlを加えて直ちにすりつぶしホモジネートを調製した。1.0 mlのホモジネートをエッペンチューブに取り、遠心分離(3000 rpm、10分、 4°C)をおこない、得られた遠心上清500 μl は別のエッペンチューブに採り、 KHCO_3 300 μl を加えて混和後(中和)、再び同条件で遠心分離して得られた上清を組織グリコーゲン抽出液とした。

組織グリコーゲン量の測定は、グリコーゲンを酵素分解して生じるグルコース濃度より算出した。すなわち、100 μl の各組織グリコーゲン抽出液と50 μl の1M KHCO_3 をエッペンチューブに取り、1.0 mlのアミログルコシダーゼ溶液(≥ 5 U/ml)を加えて穏やかに混和後、 40°C で16時間酵素分解をおこなった。反応終了後、直ちに氷上で冷却し、氷冷した0.6 N 過塩素酸500 μl を加えて混和後、遠心分離(3000 rpm、10分、 4°C)をおこなった。別のエッペンチューブに上清1.0 mlを取り、 KHCO_3 600 μl を加えて混和後(中和)、再び遠心分離して得られた上清に含まれるグルコース量を測定した。グルコース量の測定は、

グルコースCII-テストワコー(和光純薬工業株式会社)を用いた。また、酵素分解していない組織グリコーゲン抽出液に含まれる遊離のグルコース量も同様の方法で測定して、差し引いて正味のグリコーゲン量を算出した。

5. 統計処理

それぞれのデータは平均値 \pm 標準偏差で表した。データ間の有意差検定はSAS 5.1を用いて一元分散分析法、T検定およびLSD有意差検定を行い、 $p < 0.05$ を有意であるとした。

結果および考察

1. 水泳運動後のマウスにグルコースとシーベリー飲料を同時に投与した時の肝臓および骨格筋グリコーゲン量の変化

組織グリコーゲン量は、絶食や運動により減少することが知られている。肝臓のグリコーゲン量は、骨格筋のグリコーゲン量よりも、絶食の影響を受けやすい(堀江ら2001)。また、角田(2013)は、運動後に起きる骨格筋グリコーゲン量の枯渇現象は、速筋線維の方が遅筋線維よりも先に起きることを報告しているが、ここで用いた骨格筋は、それらが混在したものをを用いた。

この実験の基盤データとなる水泳運動前後のマウス血中グルコース量、遊離脂肪酸量および組織グリコーゲン量を求めた(Table 1, 2)。水泳運動直後の血清グルコース量は $121.3 \pm 23.0 \text{ mg/dL}$ であり、水泳運動前の値($127.3 \pm 31.8 \text{ mg/dL}$)とほぼ同程度を示したが、血清中の遊離脂肪酸量は運動直前の値($0.84 \pm 0.4 \text{ mEq/L}$)に比べ、運動後のその値($1.1 \pm 0.2 \text{ mEq/L}$)は有意に増大していた。また、絶食後の水泳運動において血糖値がほぼ維持されていたことから、肝臓の糖新生が亢進したことが推測できる。また、このマウスの組織グリコーゲン量を測定したところ、骨格筋グリコーゲン量は $6.4 \pm 1.6 \text{ mg/g f.w.}$ で、肝臓のそれは $14.3 \pm 10.7 \text{ mg/g f.w.}$ を示し、水泳運動後の骨格筋グリコーゲン量は肝臓のその1/2以下であることが示された。

水泳運動後のマウスに蒸留水のみを与えて、2時間経過後に測定した血中グルコース量は 131.3 ± 14.7 mg/dLであり、運動直後の値とほとんど差異は認められなかったが、血清中の遊離脂肪酸量は 0.6 ± 0.2 mEq/Lを示し、運動直後のそれよりも有意に低く、運動直後の約56%を示した (Table 1)。また、骨格筋と肝臓のグリコーゲン量には、顕著な差異が認められた。すなわち、骨格筋グリコーゲン量は 7.2 ± 1.6 mg/g f. w. で、運動直後よりも若干の回復が認められたのに対し、肝臓グリコーゲン量は 2.3 ± 0.7 mg/g f. w. で、運動直後よりも顕著に減少していた (Table 2)。これらの結果は、肝臓のグリコーゲンは、時間経過と共に消費されたことを示している。

水泳運動後、2時間経過したマウス [G群]、[GJ群]、[GV群] および [GR群] の血中グルコース量は、いずれもほぼ同程度の値 ($200 \sim 209$ mg/dL) を示したが、すべての群で [W群] のそれよりも有意に高い値であった (Table 1)。これらのことから、グルコースとシーベリー飲料 (果汁とシーベリー酢) やリンゴ酸を同時に投与した2時間後には、血清グルコース値 (血糖値) には顕著な差異を示さないことがわかった。また、同じマウス群の血清中の遊離脂肪酸量は、いずれにおいても 0.5 ± 0.1 mEq/Lを示し、[W群] のそれよりも若干低い値を示したが、運動直後の値の約1/2量を示した (Table 1)。血清中の遊離脂肪酸量は、グルコース投与により若干減少したが、グルコースと共にシーベリー飲料を投与することによる影響はほとんど認められなかった (Table 1)。

水泳運動後、2時間経過したマウス [GJ群] の肝臓グリコーゲン量は 46.0 ± 23.6 mg/g f. w. で、[GV群] のそれは 47.3 ± 18.5 mg/g f. w. および [GR群] のそれは 45.8 ± 22.2 mg/g f. w. であったが、[G群] のそれは 21.3 ± 10.1 mg/g f. w. であった。すなわち、[GJ群]、[GV群] および [GR群] のいずれにおいても、[G群] の肝臓グリコーゲン量よりも有意に高い値を示した。これらの結果は、水泳運動後の肝臓グリコーゲン量の貯蔵回復は、グルコースのみを投与するのに比べて、グルコースにシーベリー果汁やシーベリー酢、およびリンゴ酸を併用して投与することにより、有意に促進されることを示唆して

いる (Table 2)。

肝臓はグリコーゲンを貯蔵する重要な臓器であり、全身のエネルギー代謝に必要な十分量のエネルギー源を確保するために、正常範囲内の血糖値 (グルコース濃度) を維持する役割がある。外部からの糖質などのエネルギー源供給がない場合には、肝臓における糖新生やグリコーゲン分解によって血糖値が維持される。近年、脳・抹消組織連関を介した制御機構が重要な働きをしていることが明らかになっている (杉江ら2014 ; 井上 2012)。

肝臓グリコーゲン量の貯蔵回復にみられたシーベリー飲料やリンゴ酸の影響は、骨格筋では認められなかった (Table 2)。すなわち、水泳運動をしたのちにグルコース単独投与したマウス [G群]、グルコースとシーベリー果汁を同時に投与したマウス [GJ群]、グルコースとシーベリー酢を同時に投与したマウス [GV群] およびグルコースとリンゴ酸を同時に投与したマウス [GR群] の2時間経過後におけるマウス骨格筋のグリコーゲン量は、[GV群] の値が若干低かったが4群間に顕著な差異は認められなかった。

これらの結果は、骨格筋のグリコーゲンの貯蔵回復がグルコース単独で迅速に起きること、骨格筋のグリコーゲン再合成は、運動直後に最も迅速におこることなどを示しているのかもしれない。また、骨格筋グリコーゲンの再合成が速いのは、グリコーゲンの合成酵素活性が増大するとともに、運動すること自体により骨格筋のグルコース透過性が増大することに原因があるのかもしれない。グリコーゲン合成は、組織に貯蔵されたグリコーゲン量により抑制されることが知られているので、グリコーゲンを消費する運動による骨格筋グリコーゲンの大量消費が、骨格筋グリコーゲンの回復速度をより速くした可能性も考えられる。

マウス [G群] の肝臓よりも骨格筋において急速なグリコーゲンの貯蔵回復が認められたのは、骨格筋に特徴的なグリコーゲン代謝といえるであろう。また、骨格筋におけるグリコーゲン貯蔵回復に関するシーベリー果汁投与の影響は、今回の実験条件では認められなかったが、2時間以内の短時間における骨格筋のグリコーゲン貯蔵

回復実験をおこなうことにより、シーベリー飲料やリンゴ酸の骨格筋に及ぼす影響をさらに詳細に明らかにすることができるであろう。

Saitohら (1982) や三宅ら (2001) は、水泳運動を行わせたラットにグルコースと共にクエン酸もしくは酢酸を併用投与すると、グルコースの単独投与の時よりも肝臓および骨格筋のグリコーゲン回復が促進されることを報告している。すなわち、クエン酸は肝臓や骨格筋などの組織において、ホスホフルクトキナーゼの活性を抑制してグリコーゲン分解を抑制すること、酢酸は骨格筋および肝臓における解糖系を抑制して、糖新生を刺激する

ことを明らかにしている。Rudermanら (1999) は、酢酸の経口摂取によりクエン酸の細胞内濃度が増加すること、クエン酸がアセチルCoAカルボキシラーゼを活性化して、脂肪酸合成を促進させることを報告している。

以上の結果を総合すると、シーベリー飲料に多く含まれるリンゴ酸は、運動後の肝臓のグリコーゲン貯蔵回復を促進して、運動後に素早い疲労回復に影響を及ぼしていることが考えられる。

Table 1. 水泳運動後に各飲料を投与したマウス5群の血中のグルコース量及び遊離脂肪酸量

[マウス群]飲料	血中グルコース (mg/dL) ¹	血中遊離脂肪酸 (mEq/L) ²
[運動直後]飲料摂取無し	121.3 ± 23.0	1.1 ± 0.2
[G群]グルコース	199.5 ± 17.9	0.5 ± 0.1 **
[GJ群]グルコース+シーベリー果汁	209.0 ± 18.3 *	0.5 ± 0.1 **
[GV群]グルコース+シーベリー酢	203.3 ± 9.0 *	0.5 ± 0.1 **
[GR群]グルコース+リンゴ酸	205.0 ± 14.5 *	0.5 ± 0.1 **
[W群]蒸留水	131.3 ± 14.7	0.6 ± 0.2 **

^{1,2}; 平均値 ± 標準偏差, * ; $p < 0.05$ vs [運動直後]

Table 2. 水泳運動後に各飲料を投与したマウス5群の肝臓と骨格筋に含まれるグリコーゲン含量

[マウス群]飲料	肝臓グリコーゲン量 (mg/g) ¹	骨格筋グリコーゲン量 (mg/g) ²
[運動直後]飲料摂取無し	14.3 ± 10.7	6.4 ± 1.6
[G群]グルコース	21.3 ± 10.1	11.4 ± 0.9 **
[GJ群]グルコース+シーベリー果汁	46.0 ± 23.6 *	11.6 ± 1.3 **
[GV群]グルコース+シーベリー酢	47.3 ± 18.5 *	9.1 ± 1.3 **
[GR群]グルコース+リンゴ酸	45.8 ± 22.2 *	11.0 ± 1.7 **
[W群]蒸留水	2.3 ± 0.7	7.2 ± 1.6

^{1,2}; 平均値 ± 標準偏差, * ; $p < 0.05$ vs [運動直後]

2. マウスの血中乳酸濃度に及ぼすリンゴ酸の影響

血中乳酸濃度を素早く低下させる割合を乳酸除去率といい、疲労回復の指標の一つと考えられる(丸山ら1991)。水泳運動後のマウスにグルコースのみを投与したマウス [G群]、グルコースとリンゴ酸を混合して投与したマウス [GR群]、グルコースにリンゴ酸と酢酸を混合して投与したマウス [GRS群] の血中乳酸値を経時的に測定して、乳酸除去率を求めた (Fig. 1)。試料投与後、15分までの乳酸除去率は、投与直後の値に対して負の値を示したが、30分以降の乳酸除去率は正の値を示した。乳酸除去率は、15分後からいずれも経時的に上昇し、60分後には一定値を示した。[GR群] および [GRS群] の乳酸除去率は、投与15分以降に [G群] のそれ (コントロール値) よりも高い値を示し、投与後30分で [GRS群] は高い傾向が、[GR群] では有意差が認められた (Fig. 1)。

血液中の乳酸は、解糖系により生成される化合物で、長く筋肉疲労の原因物質であると考えられてきた (Noakes et al. 2004)が、最近は否定的であり、逆に疲労を防ぐ物質として良い面が明らかになっている (八田2015)。すなわち、運動により上昇した血中の乳酸代謝を促進して、乳酸をエネルギー源として用いることにより、疲れた身体をより速く通常の状態に戻すことで、筋肉疲労の回復が促進されるのである (渡辺 2007 ; 八田2015)。

今回の実験結果は、水泳運動後にグルコースとリンゴ酸および酢酸を同時に投与することにより、血中の乳酸濃度低下を促進できることを示しており、リンゴ酸や酢酸が疲労回復に影響を及ぼすことを示唆している。今後、さらにシーベリー飲料の疲労回復に関する科学的な解明が進むことを期待したい。

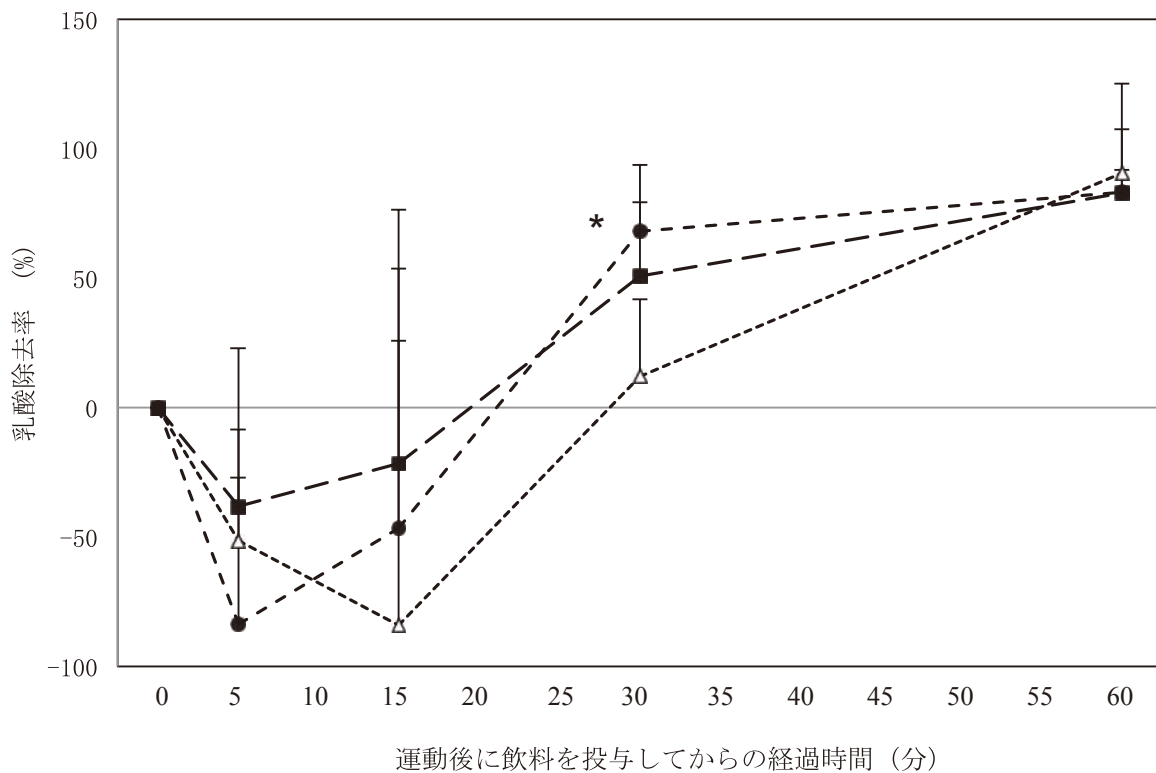


Fig. 1. 水泳運動後に3種類の飲料を投与してからの乳酸除去率の経時的変化
 △:G群、グルコースのみを投与した, ●:GR群、グルコースとリンゴ酸を投与した,
 ■:GRS群:グルコースとリンゴ酸と酢酸を投与した。* $p < 0.05$ vs G群

参考文献

- 石井現相. 2003. 新しい小果樹ヒッコリア栽培マニユアル. 北海道農業研究センター研究資料 62 : 1-32
- 井上啓. 2012. 脳による肝臓糖代謝調節機構. 肝臓 53(6) : 329-335
- Keppler D, Decker k. 1974. Glycogen determination with amyloglucosidase; in Bergmeyer, Methods of enzymatic analysis. Chemie, Weinheim pp.1127-1131
- 角田総. 2013. 運動後24時間におけるラット骨格筋・肝臓グリコーゲン量と血漿インスリン濃度との関係. 大阪学院大学人文自然論叢 66 : 1-13
- Saitoh S, Yoshitake Y, Suzuki M. 1982. Enhanced Glycogen Repletion in Liver and Skeletal Muscle with citrate orally fed after exhaustive treadmill running and swimming. Journal of Nutritional Science and Vitaminology 29:45-52
- 杉江秀夫, 杉江陽子. 2014. グリコーゲン代謝について. 杉江秀夫(総編集), 福田冬季子, 西野一三, 古賀靖敏(分担編集). 代謝性ミオパチー. 東京 : 診断と治療社 pp.36-41
- Thomas L, Thomas B. 2003. Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.): Production and utilization. NRC-CNRC NRC Research Press, Ottawa 2003 (シーバックソーン シーベリー (スナチグミ) 生産と利用. 佐藤興重郎 訳, ISBN4-9902920-0-6 C2061. 北方ベリー研究所, 東京.)
- 鉄口宗弘, 東庸介, 三村寛一. 2012. 運動直後の市販酢酸飲料摂取が疲労回復に及ぼす影響. 大阪教育大学紀要 60(2) : 59-68
- 内藤祐子, 武宝愛. 2003. ヒトにおける食酢摂取が運動後の血中乳酸濃度およびアンモニア濃度に及ぼす影響. Physical education and sport science 22:31-35
- Nakano C, Yamada E, Fukaya M, Tayama K, Tsukamoto Y, Sato Y. 2001. Effect of acetate on glycogen replenishment in liver and skeletal muscles after exhaustive swimming in rats. Second J. Med. Sci. Sports 11:33-37
- Noakes TD, Gibson AC. 2004. Logical limitations to the “catastrophe” models of fatigue during exercise in humans. British Journal of Sports Medicine 38(5):648-9
- 西繁典, 齋藤優介, 小疇浩, 弘中和憲, 小嶋道之. 2007. シーベリー葉ポリフェノールによる高脂肪食投与雄マウスの抗肥満効果. 日本食品工業学会誌 54(11):477-481
- 堀江登, 中村愛子, 桂智美, 川瀬純子, 上田由紀. 2001. 絶食ならびに運動負荷がマウスの血糖値, 筋肉と肝臓のグリコーゲン量におよぼす影響. 武庫川女子大紀要49 : 79-83
- 丸山敦夫, 平木場浩二, 美坂幸治. 1991. 持久性鍛錬者における回復運動時の血中乳酸消長の特性. 体力科学 40(2):156-163
- 三宅義明, 山本兼史, 長崎大, 中井直也, 村上太郎, 下村吉治. 2001. ヒトにおけるレモン果汁およびクエン酸摂取が運動後の血中乳酸濃度に及ぼす影響. 日本栄養・食糧学会誌 54 : 29-33
- Yang ZG, Li HR, Wang LY, Li YH, Lu SG, Wen XF, Wang J, Daikonya A, Kitanaka S. 2007. Triterpenoids from *Hippophae rhamnoides* L. and their nitric oxide production-Inhibitory and DPPH radical-scavenging activities. Chemical & pharmaceutical bulletin 55(1):15-18
- 八田秀雄. 2015. 新版 乳酸を活かしたスポーツトレーニング. ISBN 978-4-06-280661-9 講談社, 東京.
- Ruderman NB, Saha AK, Vavvas D, Witters LA. 1999. Malonyl-CoA, fuel sensing, and insulin resistance. American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism 276(1):E1-E18
- 渡辺恭良. 2007. 疲労の分視神経メカニズムと疲労克服. 日本薬理学雑誌 129:94-98

Abstract

The effects of seaberry juice and seaberry vinegar on the recovery of liver glycogen stores after exercise were investigated. The amount of liver glycogen measured two hours after swimming exercise in mice fed glucose and seaberry juice (GJ group) was 46.0 ± 23.6 mg/g f.w. and that in mice fed glucose and seaberry vinegar (GV group) was 47.3 ± 18.5 mg/g f.w.; these values were significantly higher than those in mice fed glucose alone (G group) (21.3 ± 10.1 mg/g f.w.). Additionally, the rate of blood lactate clearance after swimming exercise in mice treated with glucose and malic acid (GR group) was significantly higher than that of the G group mice 30 min after feeding. Further, the liver glycogen levels in GR group mice measured two hours after swimming exercise were high (45.8 ± 22.2 mg/g f.w.), similar to those in GJ group and GV group. These results suggest that consumption of seaberry juice, seaberry vinegar, and malic acid along with glucose may be effective for the recovery from fatigue after exercise.

Keywords: saji, malic acid, fatigue recovery, storage-polysaccharide, lactic acid