

攝取植物性蛋白的植物性飲食對於疾病危險因子預防及肌原纖維合成的影響

學生：1073033 周世惟

摘要

生活中有部分族群因個人因素或是宗教信仰而選擇植物性飲食，植物性飲食的食物幾乎來自植物，因為其對於環境及人體的益處，讓植物性飲食成為議論紛紛的議題之一。本篇宗旨在了解植物性飲食及其對於減少肥胖、預防危險因子外，也探討植物性蛋白對於肌原纖維合成的影響。研究表明，植物性飲食具有減少體重、體脂肪、內臟脂肪，降低胰島素阻抗、增加血糖控制及預防肥胖、第二型糖尿病的益處。植物性蛋白帶給人體血液胺基酸濃度的波動雖然不及動物性蛋白，但植物性蛋白的肌原纖維合成能力與動物性蛋白相似，因此植物性飲食的健身者不必擔心日常飲食及補充品不足以提供肌肉生長的營養。

關鍵字：植物性飲食、植物性蛋白、肥胖、肌原纖維合成

壹、前言

植物性飲食是近年來的新興議題，在生活中，仍有不少部分的族群可能因為個人因素或是宗教信仰而選擇植物性飲食，也有許多卓越的運動員會依靠植物性飲食來增加表現。植物性飲食主要是以植物為食物來源，減少或完全不食用動物源性食物。植物性飲食所攝取的食物通常飽和脂肪含量低，不飽和脂肪含量較高、膳食纖維含量高以及能量密度較低，可以有效減少肥胖、預防癌症、第二型糖尿病及心血管疾病等等 (Fresán & Joan Sabaté, 2019; Lynch, Johnston, & Wharton, 2018)，而肥胖正是流行病學中的一項主要危險因子之一，現代人類由於飲食精緻化，肥胖者的比例逐漸增加，植物性飲食對於減少肥胖的影響或是改善肥胖者的身體組成對於全體人類至關重要。

蛋白質是可以改變人類身體組成的重要營養素，植物性飲食的蛋白質來源幾乎來自植物，但是一般人生活中大部分蛋白質來源都是肉類，因此蛋白質攝取對於植物性飲食者或是素食者來說是一項考驗。對於健身者而言，蛋白質更是增長肌肉、增加肌原纖維合成的營養素 (Jäger et al., 2017)。許多探討蛋白質攝取量的文獻裡並沒有提及素食者是否能套用一樣的標準，像是蛋白質需求量、單次最大有效劑量或是一餐的最佳攝取量等等皆無提及植物性飲食者 (Bandegan, Martin, Rafii, Pencharz, & Lemon, 2017; Moore, 2019; Schoenfeld & Aragon, 2019)。如果植物性飲食者不能攝取動物性蛋白，是否也能達到跟雜食者一樣的肌原纖維合成效果呢？

因此，本文將探討植物性飲食對於危險因子預防，特別是肥胖，以及植物性蛋白對於肌原纖維合成的影響。

貳、植物性飲食

一、何謂植物性飲食

植物性飲食是以植物為主要的飲食來源，飲食內可包含少量的動物源性食物，例如只攝取植物及乳製品的奶素，攝取植物、乳製品以及蛋類的蛋奶素等。極端至包含完全不吃動物源性的食物，例如全素、純素 (Satija & Hu, 2018)。

二、植物性飲食的蛋白質來源

(一) 蛋白質來源性

植物性飲食蛋白質來源通常分成植物性蛋白與動物性蛋白，植物性蛋白最常見的例子是豆類、豆製品、穀類。而動物性蛋白則是日常生活中的魚、肉、蛋、奶類，按照自己的飲食限制來選擇蛋白質來源。

(二) 植物性蛋白與動物性蛋白的品質

根據 Van Vliet 與 Van Loon (2015) 指出，蛋白質品質可以代表攝取蛋白質後肌原纖維合成增加的能力，蛋白質品質越高，則肌原纖維合成的效果越好。

也有另一種說法是，如果蛋白質的必需胺基酸組成是完整的，可以稱為完全蛋白質；而有缺少任一項必需胺基酸的，會稱作不完全蛋白質。

Van Vliet 與 Van Loon (2015) 以及 Lynch, Johnston, 與 Wharton (2018) 的研究指出，植物性蛋白與動物性蛋白品質最大的差異在胺基酸組成，植物性蛋白的必需胺基酸較不完整，而且支鏈胺基酸含量相對較低，支鏈胺基酸對於促進肌原纖維合成最為重要。透過 Garlick (2005) 及 Devries 等人 (2018) 的研究中發現亮胺酸更是刺激肌肉合成的重要胺基酸之一。

而在學術中評估蛋白質品質通常會使用兩種方式：1. 蛋白質消化率校正胺基酸評分以及 2. 可消化必需胺基酸評分 (附錄一)，兩者皆是評分越高代表品質越好。簡單來說，幾乎所有動物性蛋白在此兩種評分皆高於植物性蛋白，而植物性蛋白中除了大豆是完全蛋白質外，其他植物性蛋白皆為不完全蛋白質，因此分數皆低於動物性蛋白 (Berrazaga, Micard, Gueugneau, & Walrand, 2019; Hertzler, Lieblein-Boff, Weiler, & Allgeier, 2020; Kerksick, Jagim, Hagele, & Jäger, 2021; Schaafsma, 2012)。

三、植物性飲食對於人體的益處

(一) 植物性飲食有助於減少肥胖及減脂

根據 Najjar 與 Feresin (2019) 的文獻，植物性飲食具有能量密度較低的特點，能量密度較低代表與相同重量的食物相比，植物性飲食具有較低的熱量，但是水分少的食物例外。用餐時人們通常會食用差不多份量的食物，因此植物性飲食的明顯優勢在於能提供相同的飽足感，且熱量相對較低。

(二) 植物性飲食有助於預防疾病

肥胖也與胰島素阻抗有密切關聯，而胰島素阻抗更是第二型糖尿病的重要因素之一，不僅是第二型糖尿病，代謝症候群、心血管疾病也受胰島素阻抗影響 (Barazzoni, Gortan Cappellari, Ragni, & Nisoli, 2018)。

根據 Della 等 (2018) 的橫斷性研究指出，增加植物性飲食中的全麥穀物的攝取可以預防得到第二型糖尿病的風險。而全麥穀物的例子為：(燕麥、全麥麵包、小米、糙米等...)。Zong 等 (2016) 的研究更是表明了全麥穀物的攝取量與心血管疾病的死亡率、癌症的死亡率呈現負相關。

Afshin 等 (2014) 的研究評估了堅果以及豆類攝取與缺血性心臟病、糖尿病以及中風的風險相關性，統合分析內的多項文獻顯示堅果、豆類對於心臟健康與心血管代謝的益處，特別是堅果內具有不飽和脂肪酸、植物蛋白、纖維、葉酸、礦物質、抗氧化劑和植物化學物質，單獨攝取就能降低心血管疾病、中風和糖尿病的風險。

除此之外，Aune 等 (2017) 的統合分析中表明，水果和蔬菜的總攝取量與冠心病、中風、心血管疾病、總癌症和全因死亡率的風險呈負相關。對於癌症，在每天攝入 600 克時觀察到最低風險，而對於冠心病、中風、心血管疾病和全因死亡率，在每天 800 克觀察到最低風險。

根據上述文獻，植物性飲食強調攝入全穀物、水果、蔬菜、堅果和豆類、茶和咖啡以及非氫化植物油，可能通過許多潛在的生物途徑影響心血管健康。植物性飲食所攝取的食物通常飽和脂肪含量低，不飽和脂肪含量較高、膳食纖維含量高以及能量密度較低。植物源性食物也富含抗氧化物，能減少血管發炎、減少低密度脂蛋白、降低膽固醇及改善脂質分佈等作用來改善心血管健康。這樣的飲食方法有助於減脂、改善身體組成以及預防各項慢性疾病或是心血管疾病 (Satija & Hu, 2018)。

四、植物性飲食對於環境的益處：

越來越多的證據表明，食品生產對環境的影響很大。生產糧食造成 80% 的森林砍伐、70% 以上的淡水使用和 30% 的人為溫室氣體排放。而肉類已被確定為對溫室氣體排放和土地利用影響最大的食物，因此飲食選擇會影響環境和人類健康 (Nelson, Hamm, Hu, Abrams, & Griffin, 2016)。生產植物蛋白相較於生產動物蛋白通常需要較少的土地、水及能源。而生產植物所產生的溫室氣體也較生產動物低，對於生態資源的需求較低，汙染較少，具有較高的生態永續性 (Lynch, Johnston, & Wharton, 2018)。

五、植物性飲食與雜食的差異：

純素食者可能因膳食纖維帶來的飽足感而比雜食者攝取更少的熱量，純素飲食者飲食結構中的蛋白質、脂肪、維生素 B12、Omega-3 脂肪酸、維生素 D、鈣、鐵和鋅的攝取量通常都比雜食者低，若沒有完整的審視自己的飲食習慣可能使巨量與微量營養素攝取不足，導致額外疾病的發生 (Craig, 2009; Phillips, 2005; Woo, Kwok, & Celermajer, 2014)。

素食運動員需注意的是蛋白質攝取，蛋白質對於運動表現及肌肉增長非常重要 (Jäger et al., 2017; Rogerson, 2017)。大多數植物性蛋白的胺基酸組成不完整，都缺乏一到兩種必需胺基酸，需透過調整飲食來使胺基酸組成完整，因此素食運動員的蛋白質

攝取量需要注意蛋白質的總量和品質。加上植物性蛋白中的支鏈胺基酸含量通常較動物性蛋白少，需要增加攝取的總量來達到足夠的必需胺基酸 (Rogerson, 2017)。

純素飲食者的肌酸儲存量較低，肌酸是一種由精胺酸、甘胺酸和甲硫胺酸內源合成的有機酸，而富含這些胺基酸的正是肉類和魚類。素食運動員的肌酸儲存量較低可能會影響到短時間高強度運動的表現，補充肌酸可減輕素食者的肌酸儲備不足，改善短期高強度運動表現、肌肉肥大和最大力量 (Rogerson, 2017)，因特殊原因 (如宗教) 而吃純素的運動員仍須注意肌酸的成分是否含有動物來源。

總結來說，植物性飲食與雜食者最大的差異來自蛋白質來源性，由於植物性蛋白的胺基酸組成及微量營養素與動物性蛋白有所差異，胺基酸組成對於肌原纖維合成可能有較大的影響，後續將探討植物性蛋白對於肌原纖維合成的影響。

參、植物性飲食對於減少肥胖及危險因子預防之相關研究

Kahleova 等 (2018) 招募 72 名超重或肥胖的成年人，身體質量指數 (Body Mass Index, BMI) 在 28 - 40 kg/m²，參與者的平均年齡為 53.2 ± 12.6 歲，89% (n = 67) 的參與者是女性，參與者以 1:1 的比例隨機分配到純素植物性飲食組或對照組，評估 16 週純素植物性飲食對於超族群身體組成及胰島素阻抗的影響。植物性飲食組被要求遵循由蔬菜、穀物、豆類和水果組成的純素食飲食。他們被指示避免使用動物產品和添加油。每日脂肪攝入量為 20-30 克。對照組的參與者被要求在研究期間保持他們目前的飲食，包括動物來源性的食物。結果表明純素食飲食藉由攝取植物蛋白來代替動物蛋白，有效的減少了體重、脂肪重、BMI、內臟脂肪體積，也降低了胰島素阻抗。

而 Kahleova 等 (2020) 同樣招募了 244 名超重或肥胖的成年人 (BMI:28 - 40 kg/m²)，211 名 (87%) 為女性，117 名 (48%) 為白人，平均年齡為 54.4 ± 11.6 歲。參與者以 1:1 的比例隨機分配到純素植物性飲食組或對照組，評估 16 週純素植物性飲食對超重成人體重、脂肪及胰島素抵抗的影響。植物性飲食 (約 75% 的能量來自碳水化合物、15% 蛋白質和 10% 脂肪) 由蔬菜、穀物、豆類和水果組成，不含動物產品或添加脂肪。並補充維生素 B₁₂ (500 µg/d)。而對照組的參與者被要求在研究期間保持他們目前的飲食。所有參與者都被要求保持他們平常的運動習慣和藥物治療。結果顯示純素植物性飲食組仍對過重成年人的體重改善達到了很好的效果，同時有效的減低體脂肪以及內臟脂肪，改善了血脂組成及血糖控制並降低了胰島素阻抗。

wright 等 (2017) 招募了 65 名 35-70 歲紐西蘭地區肥胖 (BMI₃₀ ≥ kg m⁻²) 或超重 (BMI ≥ 25 kg m⁻²) 及心血管危險因子的人，參與者以 1:1 的比例隨機分配到純素植物性飲食組或對照組，調查 12 週純素植物性飲食對於 BMI 過高、肥胖、血脂異常或心血管疾病的改善效果。純素植物性飲食組沒有限制熱量攝取，建議參與者吃飽為主，總熱量攝取約 7-15% 來自脂肪。避免食用精煉油 (橄欖油、椰子油...) 和動物產品 (肉、魚、蛋和奶製品)。不鼓勵攝取堅果和鱈梨等高脂肪植物性食物以及高度加工的食物，每天提供 50 微克維生素 B₁₂。對照組飲食無限制。結果顯示純素植物性飲食在體重、BMI、膽固醇、腰圍、HbA_{1c} 及高密度脂蛋白達到了明顯改變，並與對照組達顯著差異，植物性飲食具有良好的減重及改善身體組成效果。

Barnard 等 (2020) 招募了 62 名 BMI $28 - 40 \text{ kg/m}^2$ 的成年人，並隨機分配到地中海飲食組或是植物性飲食組，調查 16 週地中海飲食與植物性飲食對於改善體重及心血管疾病危險因子的效果。地中海飲食遵循 PREDIMED 協議 (Estruch et al., 2018)。參與者被要求每天食用 ≥ 2 份蔬菜，每天 $\geq 2-3$ 份新鮮水果，每週 ≥ 3 份豆類，每週 ≥ 3 份魚或貝類，每週 ≥ 3 份堅果或種子，並且選擇白肉 (去除可見脂肪)，禁止攝取加工食品、紅肉及奶油、黃油、奶酪。純素植物性飲食 (約 75% 的能量來自碳水化合物、15% 蛋白質和 10% 脂肪) 由蔬菜、穀物、豆類和水果組成。參與者被要求避免食用動物產品和額外添加脂肪，沒有提供膳食。在研究的期間純素植物性飲食組每天補充維生素 B₁₂ (500 $\mu\text{g}/\text{天}$)。兩種飲食都有限制總熱量。結果顯示植物性飲食有效減少體重、BMI、脂肪量、膽固醇和內臟脂肪，增加胰島素敏感性並改善血脂組成。

Lee 等 (2016) 招募了 93 名年齡 30-70 歲，使用降糖藥物 ≥ 6 個月和糖化血色素 (HbA_{1c}) 水平為 6.0%-11.0% 的第二型糖尿病患者，並以 1:1 的比例隨機分配到純素植物性飲食組或對照組，調查 12 週純素植物性飲食對韓國第二型糖尿病患者血糖控制及心血管疾病危險因子的影響。糖化血色素 (HbA_{1c}) 一般通稱為”血糖平均值”，可反映抽血前 3-4 個月內血糖控制的情形。純素植物性飲食組被要求遵循由全穀物、蔬菜、水果和豆類組成的純素飲食。並提醒 1. 他們攝取糙米並禁止白米；2. 避免使用米粉或小麥粉製成的加工食品；3. 避免所有動物性食品 (即肉類、家禽、魚類、日常用品和雞蛋)；4. 建議攝取低升糖指數食物 (如豆類、豆類食物、綠色蔬菜和海藻)，能量攝取的份量和頻率不受限制。而對照組飲食遵循韓國糖尿病協會 2011 推薦的糖尿病治療指南。參與者被要求 1. 根據體重、體力活動、體重控制需求和依從性限制他們個性化的每日能量攝入；2. 總熱量包含 50-60% 的碳水化合物、15-20% 的蛋白質 (如果腎功能正常)、 $< 25\%$ 的脂肪、 $< 7\%$ 的飽和脂肪、最少的反式脂肪攝取量和 ≤ 200 毫克/天的膽固醇。結果顯示純素植物性飲食的 BMI、腰圍及 HbA_{1c} 下降達到了組內顯著差異，純素植物性飲食似乎能有效改善第二型糖尿病患者的血糖控制。

Kahleova 等 (2011) 招募了 74 名接受口服降糖藥治療的 2 型糖尿病患者，年齡 30-70 歲，HbA_{1c} 介於 6% - 11% 之間，BMI 介於 $25 - 53 \text{ kg/m}^2$ 之間。參與者被隨機分配到植物性飲食組及對照組，比較 24 週限制熱量的純素植物性飲食和常規糖尿病飲食以及與運動相結合對 2 型糖尿病受試者的胰島素抵抗、內臟脂肪的影響。純素植物性飲食 (約 60% 的能量來自碳水化合物，15% 蛋白質和 25% 脂肪) 由蔬菜、穀物、豆類、水果和堅果組成。動物產品僅限於每天最多一份優格。傳統的糖尿病飲食是根據歐洲糖尿病研究協會的糖尿病飲食指南進行的。總熱量分配為 50% 碳水化合物，20% 蛋白質，少於 30% 的脂肪 ($\leq 7\%$ 飽和脂肪， < 200 毫克/天的膽固醇/天)，實驗組和對照組均補充維生素 B₁₂ (50 $\mu\text{g}/\text{天}$)。而訓練計劃則是在前 12 週內維持原本的運動習慣。在第 13-24 週期間，根據參與者的體育活動史和初始肺活量為他們制定了個人的訓練計劃。結果純素植物性飲食更能降低第二型糖尿病患者的空腹血糖及 HbA_{1c}、減少內臟脂肪的體積並改善血液中脂肪因子。第十三週增加運動訓練進一步增強了純素植物性飲食的改善效果。

從上述文獻可得知，植物性飲食可有效降低肥胖者的體重、BMI、脂肪重及腰圍，同時有效改善血脂，降低膽固醇及內臟脂肪。對於血糖控制的部分，植物性飲食能增加血糖控制、胰島素敏感度以及降低胰島素抵抗、HbA_{1c} 的效果。

表 1

植物性飲食對於減少肥胖及預防危險因子之相關研究

作者	對象	組別	飲食內容	結果
Kahleova 等 (2018)	72 名 BMI (28 - 40 kg/m ²) 超重或 肥胖的成 年人	對照組= 一般飲食	對照組- 無限制。	體重 脂肪重 BMI 內臟脂肪體積 胰島素阻抗
		實驗組= 植物性飲食 (純素)	實驗組-植物性飲 食(純素) 避免攝取動物產 品和添加脂肪。 每日脂肪攝取量 為 20-30 克。	體重 ↓ 脂肪重 ↓ BMI ↓ 內臟脂肪體積 ↓ 胰島素阻抗 ↓
Kahleova 等 (2020)	244 名 BMI(28 - 40 kg/m ²) 超重或 肥胖的成年 人	對照組= 一般飲食	對照組- 無限制。	體重 瘦體重 ↓ 脂肪重 BMI 內臟脂肪體積 胰島素阻抗
		實驗組= 植物性飲食 (純素)	實驗組- 植物性飲食 (純素) 75%碳水 15%蛋白質 10%脂肪 無熱量限制。 不含動物產品或 添加脂肪。 補充維生素 B ₁₂ (500 μg/d)。	體重 ↓ 瘦體重 ↓ 脂肪重 ↓ BMI ↓ 內臟脂肪體積 ↓ 胰島素阻抗 ↓ HbA1c ↓ 總膽固醇 ↓ 高密度脂蛋白 ↓ 低密度脂蛋白 ↓ 胰島素敏感性 ↑
wright 等 (2017)	65 名 35-70 歲紐西蘭地 區肥胖或超 重及具有心 血管危險因 子的人	對照組= 一般飲食	對照組- 不限制總熱量， 以吃飽為主。	體重 BMI 總膽固醇 ↓ 低密度脂蛋白 ↓ 高密度脂蛋白 腰圍 HbA1c ↓

			實驗組-植物性飲食(純素) 不限制總熱量，以吃飽為主。避免食用精煉油和動物產品 7-15% 的總熱量來自脂肪	體重* ↓ BMI* ↓ 總膽固醇* ↓ 低密度脂蛋白 ↓ 高密度脂蛋白* ↓ 腰圍* ↓ HbA1c* ↓
			實驗組 1.-地中海飲食 禁止加工食品、紅肉及奶油、黃油、奶酪。每天使用 50 克特級初榨橄欖油於食物調理	體重 BMI 瘦體重 脂肪重 內臟脂肪體積 膽固醇 低密度脂蛋白 高密度脂蛋白 胰島素阻抗 HbA1c 胰島素敏感性
Barnard 等 (2020)	62 名 BMI(28 - 40 kg/m ²) 超重或肥胖的成年人	實驗組 2= 植物性飲食 (純素)	實驗組 2.-植物性飲食(純素) 75% 碳水 15% 蛋白質 10% 脂肪 不含動物產品或添加脂肪。 補充維生素 B ₁₂ (500 μg/d)。	體重 ↓ BMI ↓ 瘦體重 ↓ 脂肪重 ↓ 內臟脂肪體積 ↓ 膽固醇 ↓ 低密度脂蛋白 ↓ 高密度脂蛋白 ↓ 胰島素阻抗 HbA1c 胰島素敏感性 ↑
Lee 等 (2016)	93 名 年齡 30-70 歲; 使用降糖藥物 ≥6 個月; 和 HbA1c 水	對照組= 韓國糖尿病協會-糖尿病推薦飲食	對照組- 依照個人條件限制能量攝入，50-60% 碳水 15-20% 蛋白質 (腎功能正常) <25% 的脂肪 <7% 飽和脂肪 ≤200 毫克/天的膽固醇	HbA1c ↓ 體重 BMI 腰圍 空腹血糖 低密度脂蛋白 高密度脂蛋白 三酸甘油脂

Kahleova 等 (2011)	平為 6.0 - 11.0% 的第二型糖 尿病患者	實驗組= 植物性飲食 (純素)	實驗組- 攝取糙米，禁止 白米。避免使用 米粉或小麥粉製 成的加工食品及 所有動物性食 品。建議攝取低 升糖指數食物(如 豆類食物、綠色 蔬菜)	HbA1c ↓ 體重 ↓ BMI ↓ 腰圍 ↓ 空腹血糖 低密度脂蛋白 高密度脂蛋白 三酸甘油脂
	74 名確診 第二型糖尿 病 年齡 30-70 歲，HbA1c 介於 6 - 11% (42-97 mmol/mol) 之間，BMI 介於 25 - 53 kg/m ² 的 成年人	對照組= 傳統糖尿病 飲食	對照組- 總熱量 50% 碳水化合物 20% 蛋白質， ≤30% 脂肪 (≤7% 飽和脂 肪，<200 毫克/ 的膽固醇/天) 補充維生素 B ₁₂ (50 μg/天)	BMI ↓ 腰圍 ↓ 高密度脂蛋白 ↓ 皮下脂肪 ↓ 內臟脂肪 ↓ 空腹血糖 (3m) ↓ 空腹胰島素 HbA1c (3m) ↓ 註：(3m) 代表 介入三個月時
		實驗組= 植物性飲食	實驗組- 總熱量 60% 碳水化合物 15% 蛋白質和 25% 脂肪，每日 動物性食物 最多一份優格 補充維生素 B ₁₂ (50 μg/天)	BMI ↓ 腰圍 ↓ 低密度脂蛋白 ↓ 皮下脂肪 ↓ 內臟脂肪 ↓ 空腹血糖 ↓ 空腹胰島素 ↓ HbA1c ↓

註：↓-組內顯著下降、↑-組內顯著提升、*-組間達顯著差異。顯著性 $p < 0.05$

肆、植物性蛋白對於肌原纖維合成之相關研究

Joy 等 (2013) 招募 24 名健康男性 (年齡 21.3 ± 1.9 歲，體重 76.08 ± 5.6 kg，身高 177.8 ± 12.3 cm) 參與了這項研究。招募條件為過去六個月中每週至少參加 3 次阻力訓練，並且至少有 1 年的阻力訓練經驗，並要求所有受試者在研究前三個月停止服用營養補充劑。受試者按年齡、體重、力量和阻力訓練經驗仔細配對，然後隨機分為大米蛋白組或乳清蛋白組，以評估八週阻力訓練搭配高劑量大米蛋白與同等高劑量乳清蛋白對骨骼肌肥大及瘦體重的影響。在研究前兩週和整個研究期間，由專業營養師為

受試者提供由 25% 蛋白質、50% 碳水化合物和 25% 脂肪組成的飲食。結果顯示大米蛋白與乳清蛋白均能提升參與者的瘦體重及肌纖維厚度，兩組之間無顯著差異。

Mobley 等 (2017) 招募 75 名健康、未經訓練的大學年齡男性 (即 19-23 歲) 參與者。在開始研究之前完成了 4 天的食物記錄，收案條件 (a) 在研究開始前至少 6 個月沒有參加任何定期訓練計劃 (≤ 2 次阻力訓練運動或高強度有氧運動課程/週); (b) 目前未食用高蛋白飲食 (≥ 2.0 g/kg/天); (c) 未使用合成代謝增強劑 (例如合成代謝類固醇); (d) 沒有會阻礙他們參與當前研究的醫療或骨科疾病。參與者被隨機分配到整個訓練期間攝取 1.安慰劑; 2.亮胺酸補充劑; 3.濃縮乳清蛋白; 4.水解乳清蛋白; 5.濃縮大豆蛋白，以評估 12 週阻力訓練搭配乳清蛋白、大豆蛋白及亮胺酸補充劑對於大學男性身體組成及骨骼肌的影響。結果顯示所有組別均增加了瘦體重及肌纖維厚度，包括麥芽糊精安慰劑。經過此研究發現，阻力訓練為增加瘦體重的主要原因，可能需要排除訓練來單獨檢視補充劑對於骨骼肌的影響。

Lynch 等 (2020) 招募 61 名健康成年人，BMI 在 18.5 - 29.9 之間，年齡在 18 - 35 歲，從事娛樂活動，但至少 12 個月沒有參加有計畫的重量訓練並且沒有使用運動表現增補劑。參與者被隨機分配到乳清蛋白組或大豆蛋白組，兩組補充劑均含 2 克亮胺酸，以評估 12 週阻力訓練計畫後搭配亮胺酸匹配的大豆蛋白或乳清蛋白對於肌肉生長的差異。結果顯示兩種補充品皆能有效增加瘦體重，並且組間沒有差異。

Pinckaers 等 (2021) 招募 36 名健康男性 (年齡 23 ± 3 歲，身高 179 ± 6 cm，體重 71.5 ± 8.3 kg) 參與研究，參與者每週會參與 2-4 次各項運動的訓練，但不參與任何結構化的阻力訓練計畫。參與者被隨機分配到 1.牛奶蛋白組; 2.小麥蛋白組; 3.牛奶+小麥混合組，以檢驗牛奶蛋白、小麥蛋白及牛奶蛋白+小麥蛋白對於短時間內肌原纖維合成率的差異。結果顯示牛奶蛋白組的血液胺基酸濃度均較高，並與小麥組達顯著差異，但是短時間內肌原纖維合成率的部分三組沒有差異。可從此結果推測攝取相同劑量的植物性蛋白與相同劑量的動物性蛋白可能具有一樣的肌原纖維合成效果。

Gorissen 等 (2016) 招募 60 名健康老年男性 (年齡: 71 ± 1 歲; BMI: 25.3 ± 0.3 kg/m²) 參與了此研究。參與者被隨機分配到 1.普通小麥蛋白組; 2.水解小麥蛋白組; 3.膠束酪蛋白組; 4.乳清蛋白組; 5.高劑量水解小麥蛋白組，以評估攝取普通小麥蛋白、35 g 水解小麥蛋白以及高劑量水解小麥蛋白 (60g) 與酪蛋白和乳清蛋白相比的餐後血液胺基酸濃度和肌原纖維合成率差異。結果顯示 (a) 同劑量下，普通小麥蛋白與水解小麥蛋白的血液胺基酸濃度及肌原纖維合成率沒有差異; (b) 同劑量下，乳清蛋白比酪蛋白、水解小麥蛋白有更高的血液胺基酸濃度，但肌原纖維合成率則是酪蛋白較高，乳清蛋白其次，而水解小麥蛋白最後，但乳清蛋白與水解小麥蛋白無顯著差異。(c) 高劑量 (60g) 的水解小麥蛋白與 35g 乳清蛋白相比，雖然乳清蛋白的血液胺基酸濃度較高，但高劑量的水解小麥蛋白持續作用的時間更持久，因此肌原纖維合成率更高。

根據上述文獻，可以發現在大部分的情況下，乳清蛋白對於短時間內血液胺基酸濃度有著很強大的影響，但是短時間的血液胺基酸濃度不一定代表肌原纖維合成率。而相同劑量的植物性蛋白即使胺基酸濃度不及乳清蛋白，但對於人體的肌原纖維合成效果無顯著差異。而高劑量的植物性蛋白能夠在身體內作用較長時間，因此可能擁有比乳清蛋白更高的肌原纖維合成率。植物性蛋白可以靠胺基酸含量調整來彌補胺基酸的胺基酸差異，即便不知道胺基酸成分，也能增加單次的攝取量來彌補原本的不足。

表 2

植物性蛋白對肌原纖維合成之相關研究

作者	對象	組別	實驗內容	結果
Joy 等 (2013)	24 名健康 男性 過去 6 個月 內每週至少 3 次阻力訓 練，至少有 一年阻力訓 練經驗	對照組= 攝取 48 克 分離式 乳清蛋白	兩組均接受同樣設計的 飲食計畫(25% 蛋白 質、50% 碳水和 25% 脂肪)，在阻力訓練後 立即攝取補充品。兩種 補充品等熱量，營養素 相等。	瘦體重↑ 體脂率↓ 肱二頭肌厚度↑ 股四頭肌厚度↑
		實驗組= 攝取 48 克 大米分離蛋白		瘦體重↑ 體脂率↓ 肱二頭肌厚度↑ 股四頭肌厚度↑
Mobley 等 (2017)	75 名 健康、未經 訓練的大學 年齡男性， 未使用高蛋 白飲食 (\leq 2.0g/kg)、 類固醇及蛋 白質補充品	對照組= 麥芽糊精安慰 劑	所有組均接受相同阻力 訓練課表 訓練日：訓練後以及睡 前 30 分鐘攝取補充 品。 非訓練日：在特定一餐 及睡前 30 分鐘攝取補 充品 除了對照組外，其餘實 驗組的補充品每份皆有 約 3g 亮胺酸。	所有組別： 體重 瘦體重↑ 脂肪重 股外側肌厚度↑
		實驗組 1= 亮胺酸 補充劑		
		實驗組 2= 蛋白質 3 克 濃縮乳清 蛋白，蛋白質 26.3 克		
		實驗組 3= 水解乳清蛋 白，蛋白質 25.4 克		
Lynch 等 (2020)	61 名健康 男女性 (18 - 35 歲) BMI18.5-	實驗組 1= 攝取 21 克 分離式乳清蛋 白，蛋白質 19 克	兩組接受相同阻力訓練 課表。每週不連續的三 天 訓練日：訓練後立即攝 取補充品。	所有組別 體重↑ 瘦體重↑ 脂肪重↓

	29.9。至少一年無規律阻力訓練，未使用任何運動增補劑	實驗組 2= 攝取 29 克分離式大豆蛋白，蛋白質 26 克	非訓練日：在兩餐之間攝取補用品。補用品皆含 2 克亮胺酸	體脂率↓ 肱外側肌厚度- 股中間肌厚度- 組間 無顯著差異
Pinckaers 等 (2021)	36 名約 25 歲的健康男性有運動習慣，但沒有規律阻力訓練經驗	實驗組 1= 30 克牛奶蛋白濃縮物	實驗前三天避免激烈運動並完成飲食紀錄。實驗開始前採取血液樣本，攝取補用品後約每 30 分鐘採集血液樣本至攝取後 5 小時	血液必需胺基酸濃度 1>3>2*
		實驗組 2= 30 克小麥蛋白水解物		血液亮胺酸濃度 1>3>2 *
		實驗組 3= 15 克牛奶蛋白濃縮物及 15 克小麥蛋白水解物		血液離胺酸濃度 1>3>2 *# 血液甲硫胺酸濃度 1>3>2 * 肌原纖維合成率 1=2=3
註 :*-1 與 2 達顯著差異 #-1 與 3 達顯著差異				
Gorissen 等 (2016)	60 名平均年齡 71 歲的健康老年男性	實驗組 1= 35 克小麥蛋白(含 2.5 克亮胺酸)	參與者在抽血檢測前 2 天避免任何形式的劇烈體力活動，並儘可能保持飲食一致。在抽血檢驗前一天晚上，所有參與者都食用了標準化膳食 (30.9 ± 0.5 kJ/kg 體重)，其中 16% 的能量來自蛋白質，33% 來自碳水化合物，51% 來自脂肪。	肌原纖維合成率 5>4 3>4>2 2=1
		實驗組 2= 35 克水解小麥蛋白(含 2.5 克亮胺酸)		3>2*達顯著差異
		實驗組 3= 35 克膠束酪蛋白(含 3.2 克亮胺酸)		4>2 未達組間顯著差異
		實驗組 4= 35 克乳清蛋白(含 4.4 克亮胺酸)		血液胺基酸濃度 攝取後 3 小時內 4>5、4>3>2=1
		實驗組 5= 60 克水解小麥蛋白(含 4.4 克亮胺酸)		

註：↓-組內顯著下降、↑-組內顯著提升、*-組間達顯著差異。顯著性 $p < 0.05$

伍、結論與建議

一、結論

(一) 減少肥胖及危險因子預防

研究顯示，植物性飲食確實可以有效減輕肥胖者的體重及 BMI，使體脂肪、內臟脂肪甚至是血脂下降。而血糖方面，植物性飲食能夠提高血糖控制、胰島素敏感度，降低空腹血糖、HbA1c 以及胰島素阻抗。

(二) 植物性蛋白對於肌原纖維合成率的影響

透過以上研究發現，植物性蛋白雖然必需胺基酸含量較少，所帶來的血液胺基酸濃度影響較低，其仍具有與動物性蛋白相同的肌原纖維合成能力。

二、建議

植物性飲食已被證實可以改善肥胖者的身體組成，包括體重、BMI、體脂肪、內臟脂肪及血脂，也可以改善第二型糖尿病患者的 HbA1c、胰島素阻抗以及增加血糖控制。若是有肥胖狀況導致血脂及內臟脂肪過高的人、擁有慢性疾病危險因子亦或是有第二型糖尿病風險的人可以考慮執行植物性飲食。

植物性蛋白與動物性蛋白的最大差異在於胺基酸組成，由於植物性食物的蛋白質胺基酸組成通常都有缺少至少一種必需胺基酸，因此日常飲食必須透過食物搭配來達成完整胺基酸組成。補充劑部分，若擔心必需胺基酸或亮胺酸的含量不足可以考慮增加單次的攝取量來達到胺基酸需求量，也可挑選經胺基酸組成調整後的植物性蛋白。

陸、心得與致謝

植物性飲食是近幾年很熱門的主題之一，除了能夠增加環境永續性外，對於人體也具有相當不錯的益處。透過整理文獻讓我更了解有關於植物性飲食的資訊，除了不被網路上的農場文章欺騙以外，還能帶給身邊的人了解植物性飲食的好處，未來也能夠分享給我的學員們。非常感謝老師的悉心指導，也謝謝已畢業學長姊、組內同學及學弟妹的幫助，讓我能順利完成此篇報告。

柒、參考文獻

- Afshin, A., Micha, R., Khatibzadeh, S., & Mozaffarian, D. (2014). Consumption of nuts and legumes and risk of incident ischemic heart disease, stroke, and diabetes: a systematic review and meta-analysis. *The American journal of clinical nutrition*, 100(1), 278-288.
- Aune, D., Giovannucci, E., Boffetta, P., Fadnes, L. T., Keum, N., Norat, T., ... & Tonstad, S. (2017). Fruit and vegetable intake and the risk of cardiovascular disease, total cancer and all-cause mortality—a systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *International journal of epidemiology*, 46(3), 1029-1056.

- Bandegan, A., Courtney-Martin, G., Rafii, M., Pencharz, P. B., & Lemon, P. W. (2017). Indicator amino acid–derived estimate of dietary protein requirement for male bodybuilders on a nontraining day is several-fold greater than the current recommended dietary allowance. *The journal of nutrition*, *147*(5), 850-857.
- Barazzoni, R., Gortan Cappellari, G., Ragni, M., & Nisoli, E. (2018). Insulin resistance in obesity: an overview of fundamental alterations. *Eating and Weight disorders-studies on Anorexia, Bulimia and Obesity*, *23*(2), 149-157.
- Barnard, N. D., Alwarith, J., Rembert, E., Brandon, L., Nguyen, M., Goergen, A., ... & Kahleova, H. (2020). A Mediterranean diet and low-fat vegan diet to improve body weight and cardiometabolic risk factors: a randomized, cross-over trial. *Journal of the American College of Nutrition*, 1-13.
- Berrazaga, I., Micard, V., Gueugneau, M., & Walrand, S. (2019). The role of the anabolic properties of plant-versus animal-based protein sources in supporting muscle mass maintenance: a critical review. *Nutrients*, *11*(8), 1825.
- Craig, W. J. (2009). Health effects of vegan diets. *The American journal of clinical nutrition*, *89*(5), 1627S-1633S.
- Della Pepa, G., Vetrani, C., Vitale, M., & Riccardi, G. (2018). Wholegrain intake and risk of type 2 diabetes: evidence from epidemiological and intervention studies. *Nutrients*, *10*(9), 1288.
- Devries, M. C., McGlory, C., Bolster, D. R., Kamil, A., Rahn, M., Harkness, L., ... & Phillips, S. M. (2018). Leucine, not total protein, content of a supplement is the primary determinant of muscle protein anabolic responses in healthy older women. *The Journal of nutrition*, *148*(7), 1088-1095.
- Estruch, R., Ros, E., Salas-Salvadó, J., Covas, M. I., Corella, D., Arós, F., ... & Martínez-González, M. A. (2013). Primary prevention of cardiovascular disease with a Mediterranean diet. *New England Journal of Medicine*, *368*(14), 1279-1290.
- Fresán, U., & Sabaté, J. (2019). Vegetarian diets: planetary health and its alignment with human health. *Advances in nutrition*, *10*(Supplement_4), S380-S388.
- Garlick, P. J. (2005). The role of leucine in the regulation of protein metabolism. *The Journal of nutrition*, *135*(6), 1553S-1556S.
- Gorissen, S. H., Horstman, A. M., Franssen, R., Crombag, J. J., Langer, H., Bierau, J., ... & Van Loon, L. J. (2016). Ingestion of wheat protein increases in vivo muscle protein synthesis rates in healthy older men in a randomized trial. *The Journal of nutrition*, *146*(9), 1651-1659.
- Hertzler, S. R., Lieblein-Boff, J. C., Weiler, M., & Allgeier, C. (2020). Plant proteins: assessing their nutritional quality and effects on health and physical function. *Nutrients*, *12*(12), 3704.
- Jäger, R., Kerksick, C. M., Campbell, B. I., Cribb, P. J., Wells, S. D., Skwiat, T. M., ... & Antonio, J. (2017). International society of sports nutrition position stand: protein and exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *14*(1), 1-25.

- Joy, J. M., Lowery, R. P., Wilson, J. M., Purpura, M., De Souza, E. O., Wilson, S., ... & Jäger, R. (2013). The effects of 8 weeks of whey or rice protein supplementation on body composition and exercise performance. *Nutrition journal*, *12*(1), 1-7.
- Kahleova, H., Fleeman, R., Hlozkova, A., Holubkov, R., & Barnard, N. D. (2018). A plant-based diet in overweight individuals in a 16-week randomized clinical trial: metabolic benefits of plant protein. *Nutrition & diabetes*, *8*(1), 1-10.
- Kahleova, H., Matoulek, M., Malinska, H., Oliyarnik, O., Kazdova, L., Neskudla, T., ... & Pelikanova, T. (2011). Vegetarian diet improves insulin resistance and oxidative stress markers more than conventional diet in subjects with Type 2 diabetes. *Diabetic Medicine*, *28*(5), 549-559.
- Kahleova, H., Petersen, K. F., Shulman, G. I., Alwarith, J., Rembert, E., Tura, A., ... & Barnard, N. D. (2020). Effect of a low-fat vegan diet on body weight, insulin sensitivity, postprandial metabolism, and intramyocellular and hepatocellular lipid levels in overweight adults: a randomized clinical trial. *JAMA network open*, *3*(11), e2025454-e2025454.
- Kerksick, C. M., Jagim, A., Hagele, A., & Jäger, R. (2021). Plant proteins and exercise: what role can plant proteins have in promoting adaptations to exercise?. *Nutrients*, *13*(6), 1962.
- Lee, Y. M., Kim, S. A., Lee, I. K., Kim, J. G., Park, K. G., Jeong, J. Y., ... & Lee, D. H. (2016). Effect of a brown rice based vegan diet and conventional diabetic diet on glycemic control of patients with type 2 diabetes: a 12-week randomized clinical trial. *PloS one*, *11*(6), e0155918.
- Lynch, H. M., Buman, M. P., Dickinson, J. M., Ransdell, L. B., Johnston, C. S., & Wharton, C. M. (2020). No significant differences in muscle growth and strength development when consuming soy and whey protein supplements matched for leucine following a 12 week resistance training program in men and women: a randomized trial. *International journal of environmental research and public health*, *17*(11), 3871.
- Lynch, H., Johnston, C., & Wharton, C. (2018). Plant-based diets: Considerations for environmental impact, protein quality, and exercise performance. *Nutrients*, *10*(12), 1841.
- Mobley, C. B., Haun, C. T., Roberson, P. A., Mumford, P. W., Romero, M. A., Kephart, W. C., ... & Roberts, M. D. (2017). Effects of whey, soy or leucine supplementation with 12 weeks of resistance training on strength, body composition, and skeletal muscle and adipose tissue histological attributes in college-aged males. *Nutrients*, *9*(9), 972.
- Moore, D. R. (2019). Maximizing post-exercise anabolism: the case for relative protein intakes. *Frontiers in nutrition*, 147.
- Najjar, R. S., & Feresin, R. G. (2019). Plant-based diets in the reduction of body fat: physiological effects and biochemical insights. *Nutrients*, *11*(11), 2712.

- Nelson, M. E., Hamm, M. W., Hu, F. B., Abrams, S. A., & Griffin, T. S. (2016). Alignment of healthy dietary patterns and environmental sustainability: a systematic review. *Advances in Nutrition*, 7(6), 1005-1025.
- Phillips, F. (2005). Vegetarian nutrition. *Nutrition Bulletin*, 30(2), 132-167.
- Pinckaers, P. J., Kouw, I. W., Hendriks, F. K., Van Kranenburg, J. M., De Groot, L. C., Verdijk, L. B., ... & Van Loon, L. J. (2021). No differences in muscle protein synthesis rates following ingestion of wheat protein, milk protein, and their protein blend in healthy, young males. *British Journal of Nutrition*, 126(12), 1832-1842.
- Rogerson, D. (2017). Vegan diets: practical advice for athletes and exercisers. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 14(1), 1-15.
- Satija, A., & Hu, F. B. (2018). Plant-based diets and cardiovascular health. *Trends in cardiovascular medicine*, 28(7), 437-441.
- Schaafsma, G. (2012). Advantages and limitations of the protein digestibility-corrected amino acid score (PDCAAS) as a method for evaluating protein quality in human diets. *British journal of nutrition*, 108(S2), S333-S336.
- Schoenfeld, B. J., & Aragon, A. A. (2018). How much protein can the body use in a single meal for muscle-building? Implications for daily protein distribution. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15(1), 1-6.
- Van Vliet, S., Burd, N. A., & Van Loon, L. J. (2015). The skeletal muscle anabolic response to plant-versus animal-based protein consumption. *The Journal of nutrition*, 145(9), 1981-1991.
- Woo, K. S., Kwok, T. C., & Celermajer, D. S. (2014). Vegan diet, subnormal vitamin B-12 status and cardiovascular health. *Nutrients*, 6(8), 3259-3273.
- Wright, N., Wilson, L., Smith, M., Duncan, B., & McHugh, P. (2017). The BROAD study: A randomised controlled trial using a whole food plant-based diet in the community for obesity, ischaemic heart disease or diabetes. *Nutrition & diabetes*, 7(3), e256-e256.
- Zong, G., Gao, A., Hu, F. B., & Sun, Q. (2016). Whole grain intake and mortality from all causes, cardiovascular disease, and cancer: a meta-analysis of prospective cohort studies. *Circulation*, 133(24), 2370-2380.

附錄一

一、PDCAAS 與 DIAAS

(一) PDCAAS

蛋白質消化率校正胺基酸評分 (PDCAAS) 是 1989 年由糧農組織/世界衛生組織關於蛋白質質量評估的聯合專家磋商會制定的。將測試蛋白質的必需胺基酸含量與被認為滿足特定年齡組必需胺基酸需求理論的參考蛋白質質量進行比較，創建一個稱為胺基酸的比率或化學分數。比例最低的必需胺基酸稱為最大限制性胺基酸。根據蛋白質的糞便真實消化率校正最大限制胺基酸評分，一種給定的蛋白質在其 PDCAAS 低於 100% 時不能完全滿足人體對必需氨基酸的需求。除了一些大豆分離蛋白外，迄今為止已測試的植物蛋白來源的特點是 PDCAAS 低於 100%。而酪蛋白、乳清、牛奶和雞蛋等動物蛋白來源的得分均為 100，紅肉的得分為 92。PDCAAS 的優勢在於其簡單性和與人類蛋白質需求的直接關係。限制如下：參考模式基於人體組織生長和維持的最低胺基酸需求，不一定代表最佳攝取量 (Berrazaga, Micard, Gueugneau, & Walrand, 2019; Hertzler, Lieblein-Boff, Weiler, & Allgeier, 2020; Kerksick, Jagim, Hagele, & Jäger, 2021; Schaafsma, 2012)。

(二) DIAAS

2013 年糧農組織的一份報告引入了可消化必需胺基酸評分 (DIAAS) 作為評估蛋白質質量的方法。DIAAS 使用作為食物成分的每種胺基酸的迴腸消化率係數來確定食物中存在的必需胺基酸的真實迴腸消化率。它反映了到達迴腸並因此進入結腸的胺基酸濃度。因此，來自給定蛋白質來源的每種必需胺基酸都將具有相關的迴腸消化率值，並且其胺基酸評分將針對該值進行校正。與 PDCAAS 不同，DIAAS 方法允許分數 >1.00，以承認這些較高的 DIAAS 分數可能會帶來更多的健康益處 (Hertzler, Lieblein-Boff, Weiler, & Allgeier, 2020 ; Marinangeli & House, 2017)。

根據 Mathai, Liu, 與 Stein (2017) 的研究觀察到可消化必需胺基酸評分 (DIAAS) 值可能比使用蛋白質消化率校正胺基酸評分 (PDCAAS) 概念計算的值能代表更準確蛋白質品質。

Marinangeli, C. P., & House, J. D. (2017). Potential impact of the digestible indispensable amino acid score as a measure of protein quality on dietary regulations and health. *Nutrition reviews*, 75(8), 658-667.

Mathai, J. K., Liu, Y., & Stein, H. H. (2017). Values for digestible indispensable amino acid scores (DIAAS) for some dairy and plant proteins may better describe protein quality than values calculated using the concept for protein digestibility-corrected amino acid scores (PDCAAS). *British Journal of Nutrition*, 117(4), 490-499.

二、肌原纖維合成率 (FSR)

(一) Gorissen 等 (2016) 的研究

肌原纖維合成率 (FSR) 使用標準前體-產物方程計算，如下所示：

$$FSR = \frac{\Delta E_p}{E_{precursor} \cdot t} \cdot 100$$

ΔE_p 是肌纖維或混合肌蛋白結合 L-[Ring-¹³C₆]-苯丙胺酸在一個結合期後的增加量， $E_{precursor}$ 是該結合期的加權平均血漿或細胞內 L-[Ring-¹³C₆]-苯丙胺酸的富集程度， t 是結合期的時間點。通過取所有連續時間點之間的平均富集合併校正這些採樣時間點之間的時間來計算加權平均血漿或細胞內富集。在這種情況下，加權平均血漿前體池是首選，因為更頻繁的採樣時間點可以更準確地校正前體池富集隨時間的瞬間變化。對於基礎肌原纖維合成率，使用 $t = -180$ 和 0 分鐘的肌肉活檢樣本進行計算；對於攝取後肌原纖維合成率，使用 $t = 0$ 、 120 和 240 分鐘的活檢樣本進行計算。

(二) Pinckaers 等 (2021) 的研究

肌原纖維合成率 (FSR) 使用標準前體-產物方程計算，如下所示：

$$FSR = \left(\frac{(E_{b2} - E_{b1})}{(E_{precursor} \cdot t)} \right) \cdot 100$$

其中 E_b 是顯示劑攝入期間肌原纖維蛋白結合的 L-[Ring-¹³C₆]-苯丙胺酸富集的增加量， t 是以小時為單位的顯示劑攝入時間。通過獲取連續時間點之間的測量富集合併校正這些採樣時間點之間的時 ($E_{precursor}$) 來計算加權平均血漿 L-[Ring-¹³C₆]-苯丙胺酸富集。為了計算攝取後肌原纖維合成率 (FSR)，使用了 $t = 0$ 、 120 和 300 分鐘的骨骼肌活檢樣本。在計算基礎肌原纖維合成率 (FSR) 時， E_{b2} 代表在 $t = 0$ 分鐘時肌肉中蛋白質結合 L-[Ring-¹³C₆]-苯丙胺酸的富集程度， E_{b1} 代表在 $t = -180$ 分鐘時血漿蛋白中蛋白質結合 L-[Ring-¹³C₆]-苯丙胺酸的富集程度。