

# The anabolic properties of plant-derived proteins

Citation for published version (APA):

Pinckaers, P. J. M. (2024). *The anabolic properties of plant-derived proteins*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Maastricht University. <https://doi.org/10.26481/dis.20240410pp>

## Document status and date:

Published: 01/01/2024

## DOI:

[10.26481/dis.20240410pp](https://doi.org/10.26481/dis.20240410pp)

## Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

## Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

## General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.umlib.nl/taverne-license](http://www.umlib.nl/taverne-license)

## Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[repository@maastrichtuniversity.nl](mailto:repository@maastrichtuniversity.nl)

providing details and we will investigate your claim.

# SUMMARY

Skeletal muscle health is essential for well-being and functional capacity in humans. More specifically, skeletal muscle plays an important role in metabolism and allows us to perform physical activities (such as walking, cycling, and exercising) and activities of daily living that are required to maintain our physical independence (such as getting up from a chair). Muscle is comprised of many different proteins that work together to facilitate muscle contraction. These muscle tissue proteins are composed of smaller building blocks, also known as amino acids. There are 20 different amino acids which can be used to build proteins. As a result, each protein in our body is built from a unique combination of these amino acids. In order to keep our muscles healthy and functional, new muscle proteins are continuously synthesized, while old proteins are broken down. Dietary protein plays an essential role as it provides the prerequisite amino acids to synthesize new protein. Besides being a building block, amino acids also directly stimulate the production of new muscle proteins. To synthesize new muscle protein, not only the quantity but also the specific type of dietary protein ingested plays an important role. The type of protein consumed can be divided in two main categories, animal- (meat, fish, milk, egg) and plant-derived (beans, wheat, pea) proteins. This dissertation investigated whether plant-derived protein ingestion can stimulate muscle protein synthesis rates, and whether this would differ from ingesting an animal-derived protein in healthy, young males.

In recent years, plant-derived proteins received considerable attention as they are considered to be a sustainable alternative when compared to animal-derived protein production, requiring less water, land, and energy resources. Furthermore, there is an increased interest in reducing the *per capita* meat consumption, which corresponds with the increasing popularity of vegetarian and vegan diets. Since protein is crucial for the maintenance, growth, and recovery of skeletal muscle tissue, it is important to investigate to which extent this can be established by consuming plant-derived proteins. In **chapter 2**, we discuss the differences between plant- and animal-derived proteins, and elaborate on how these differences can affect muscle protein synthesis rates. Plant-based protein sources contain less protein, when compared to animal-based protein sources, and do not have all essential amino acids available in sufficient amounts. A lower amount of essential amino acids in the diet is thought to result in reduced muscle protein synthesis rates. Plant protein sources also contain more fibers and anti-nutritional factors, delaying protein digestion and amino acid absorption, which may result in an attenuated muscle protein synthetic response. For these reasons, plant-derived protein sources are regarded as lower quality protein sources compared to animal-derived protein sources. However, one can (in part) compensate for this reduced quality, by: 1) consuming protein concentrates/isolates (**Chapters 3, 4, 5, 7**); 2) enriching a plant-derived protein with the limiting essential amino acid(s) (**Chapter 8**); 3) Combining plant-derived proteins with animal-derived proteins, or combining multiple plant-derived proteins which complement each other's amino acid composition (**Chapters 3, 4, 6**); 4) ingesting more of a lower quality protein (**Chapters 3, 4, 5, 6, 7, 8**).

In **chapters 3, 4, and 5** the intake of 30 grams plant protein concentrate derived from pea, wheat, and corn have been investigated for their capacity to stimulate muscle protein



synthesis rates in healthy, young males. Furthermore, we assessed whether this stimulation differed from that observed following ingestion of 30 grams animal-derived dairy protein. The increase in the amount of circulating essential amino acids following ingestion of the plant-derived proteins was only half of the increase following ingestion of the same amount of milk-derived protein. Especially the amount of lysine (wheat and corn) and methionine (wheat and pea) in the circulation were low following the ingestion of plant-derived proteins. Despite the low plasma availability of these essential amino acids, a substantial increase in muscle protein synthesis rates was observed following ingestion of plant-derived proteins. Contrary to our hypothesis, this stimulation of muscle protein synthesis did not differ from the stimulation following ingestion of the animal-derived milk protein. We hypothesized that the muscle protein synthesis rate following ingestion of the plant-derived protein would be lower, when compared to the ingestion of the same amount of milk-derived protein. For this reason, an additional comparison was made in **chapters 4 and 5**, between the ingestion of 30 grams milk-derived protein, and either a blend of 15 grams milk protein plus 15 grams wheat protein (**Chapter 4**), or a blend combining 15 grams milk protein plus 15 grams corn protein (**Chapter 5**). By blending a plant-derived protein with a milk-derived protein, the amino acid composition of the protein drink improved. Subsequently, we assessed whether the protein blend stimulated the muscle protein synthetic response to same extent compared to the ingestion of milk-derived protein only. Despite the observation that less essential amino acids were present in the circulation following ingestion of the protein blends, no differences were observed in the muscle protein synthetic response between the ingestion of the protein blends (milk + corn or milk + wheat) when compared with the ingestion of milk-derived protein only.

**Chapter 6**, is the first to show that an exclusive plant-derived protein blend (15 grams wheat + 7.5 grams corn + 7.5 grams pea) can effectively stimulate muscle protein synthesis rates in healthy, young males. Subsequently, the muscle protein synthetic response following the plant-derived protein blend was compared with the ingestion of an equivalent amount of milk-derived protein. In line with **chapters 3, 4, and 5**, the amount of essential amino acids (mainly methionine and lysine) in the circulation following ingestion of the plant-derived protein mixture, was only half of the amount present following ingestion of milk-derived protein. Also the amount of leucine available in the circulation following ingestion of the plant-derived protein mix was lower (16%) when compared to the ingestion of milk-derived protein. Ingestion of the plant-derived protein blend resulted in a substantial increase in muscle protein synthesis rates, which did not differ from the rates observed following ingestion of milk-derived protein.

Besides protein ingestion, physical activity is known to be a potent stimulus to increase muscle protein synthesis rates and support overall muscle tissue health. In **chapter 7**, we investigated the capacity of a plant-derived protein to stimulate muscle protein synthesis at rest, as well as during recovery from a single bout of resistance exercise in healthy, young males. In general, plant-derived proteins contain a lower amount of leucine, lysine, and/or methionine. However, potato-derived protein distinguishes itself from other plant-derived

proteins by containing sufficient amounts of all essential amino acids. For this reason, we assessed whether ingestion of potato-derived protein can stimulate muscle protein synthesis rates to the same extent when compared with the ingestion of milk protein. The amount of essential amino acids present in the circulation was lower following ingestion of potato-derived protein, when compared to milk-derived protein. This was particularly evident throughout the first 1.5 hours following protein ingestion. Potato-derived protein ingestion resulted in an effective stimulation of muscle protein synthesis rates at rest and during recovery from a single bout of resistance exercise in healthy, young males. This stimulation of muscle protein synthesis rates was not different when compared to the ingestion of milk-derived protein.

The increasing interest in plant-derived protein rich foods has led to an increase in the development and availability of plant-derived meat substitutes. In chapter 8, the capacity of a protein rich meat substitute to stimulate muscle protein synthesis rates was investigated. Here we determined whether the muscle protein synthetic response to the ingestion of the plant-based meat substitute differed from the ingestion of an equivalent amount of meat. In this research study, the ingestion of a lysine-enriched meat substitute, composed out of wheat- (60%) and chick pea- (40%) derived protein, was compared with the ingestion of an equivalent amount of chicken breast filet. The post-prandial essential amino acid concentrations were lower following ingestion of the plant-derived meat substitute, compared to ingestion of the chicken breast filet. In contrast, the lysine availability in the blood circulation was strongly elevated following ingestion of the meat substitute when compared to the chicken breast filet. Ingestion of the meat substitute strongly increased the muscle protein synthesis rates and did not differ from the synthesis rates observed following ingestion of chicken breast filet in healthy, young males.

In summary, from this dissertation we can conclude that, when a sufficient amount of plant-derived protein (30 grams) is consumed in healthy, young males, muscle protein synthesis rates are effectively stimulated. Furthermore, the stimulation of muscle protein synthesis is not different from the response following ingestion of the same amount of milk-derived protein. Also, the ingestion of a blend of plant- and animal-derived protein, and a blend of different plant-derived proteins, result in a strong increase in muscle protein synthesis rates, a stimulation which is not different from ingesting an equal amount of milk-derived protein. We can further conclude that when a sufficient amount of protein (30 grams) is ingested, the low availability of one or several essential amino acids in plant-derived proteins, does not represent a limiting factor for the acute increase in muscle protein synthetic rates in healthy, young males. It is important, however, to consider that our nutrition does not consist out of protein isolates/concentrates, but rather represent whole-food products and complex meals. To further investigate the anabolic properties of plant-derived proteins, more research needs to focus on what we actually eat: whole-foods and complex meals (Chapter 9).

# SAMENVATTING

Gezonde skeletspieren zijn van essentieel belang voor het lichaam om goed te kunnen functioneren. Skeletspieren zijn belangrijk voor een goede stofwisseling, het uitvoeren van fysieke activiteit (zoals lopen, fietsen, en sporten), en voor het onafhankelijk kunnen uitvoeren van dagelijkse activiteiten (zoals het opstaan vanuit een stoel). Spieren zijn opgebouwd uit verschillende soorten eiwitten die samen werken om spiercontracties, en daarmee beweging van gewrichten, mogelijk te maken. Eiwitten zijn op hun beurt opgebouwd uit kleinere bouwstenen die aminozuren worden genoemd. Er zijn in totaal 20 verschillende aminozuren die voor de opbouw van eiwitten worden gebruikt. Ieder eiwit in het lichaam bestaat uit een unieke verhouding tussen deze aminozuren. Om de spieren gezond en functioneel te houden vindt continue opbouw van nieuwe en afbraak van oude spiereiwitten plaats in ons lichaam. Eiwitten in de voeding spelen een essentiële rol bij het aanleveren van aminozuren voor de opbouw van nieuwe spiereiwitten, en stimuleren daarnaast ook direct de aanmaak van spiereiwitten. Hierbij is niet enkel de inname van een voldoende hoeveelheid eiwitten van belang, maar ook het soort eiwit dat wordt ingenomen. Er wordt veelal een onderscheid gemaakt tussen dierlijke (vlees, vis, melk, ei) en plantaardige (bonen, tarwe, erwten) eiwitten. In dit proefschrift is onderzocht of de inname van een plantaardig eiwit de spiereiwitopbouw kan stimuleren en of dit verschilt van de inname van een dierlijk eiwit bij gezonde jonge mannen.

Eiwitten van plantaardige afkomst hebben de afgelopen jaren veel aandacht gekregen vanwege duurzaamheidsvoordelen ten opzichte van eiwitten met een dierlijke afkomst. Plantaardige eiwitten worden gezien als duurzaam omdat deze geproduceerd worden met minder gebruik van water, land, en energie. Daarnaast is er een toenemende interesse in minder vleesconsumptie en neemt de populariteit van een vegetarisch of veganistisch voedingspatroon toe. Gezien het feit dat eiwit van cruciaal belang is voor het onderhoud, de groei en het herstel van skeletspieren, is het belangrijk om te onderzoeken in hoeverre dit ook bewerkstelligd kan worden met de inname van plantaardige eiwitten. In **hoofdstuk 2** bespreken we de verschillen tussen plantaardige en dierlijke eiwitten en hoe dit de spiereiwitopbouw kan beïnvloeden. In vergelijking met dierlijke eiwitten bevatten plantaardige eiwitbronnen minder eiwit, en zijn niet alle essentiële aminozuren in voldoende mate aanwezig. De algemene gedachte is dat een lagere hoeveelheid essentiële aminozuren in de voeding kan resulteren in een verminderde spiereiwitopbouw. Plantaardige eiwitbronnen bevatten ook meer vezels en anti-nutriënten die de vertering van eiwit en de opname van aminozuren kunnen vertragen, wat ook kan resulteren in een verminderde stimulatie van de spiereiwitopbouw. Om deze redenen worden plantaardige eiwitten als lagere kwaliteit eiwitten gezien dan dierlijke eiwitten. Dit kan echter (deels) gecompenseerd worden door: **1)** gebruik te maken van eiwit concentraten/isolaten (**Hoofdstuk 3, 4, 5, 7**); **2)** een plantaardig eiwit te verrijken met het limiterende essentiële aminozuur (**Hoofdstuk 8**); **3)** plantaardige eiwitten te combineren met dierlijke eiwitten of een combinatie te gebruiken van meerdere plantaardige eiwitten welke elkaars aminozuursamenstelling aanvullen (**Hoofdstuk 3, 4, 6**); **4)** meer van een lagere kwaliteit eiwit in te nemen (**Hoofdstuk 3, 4, 5, 6, 7, 8**).





In **hoofdstuk 3, 4, en 5** is onderzocht of de inname van 30 gram plantaardig eiwitconcentraat afkomstig van erwt, tarwe, en mais in staat is om de spiereiwitopbouwsnelheid na inname te stimuleren in gezonde jonge mannen. Daarnaast is bekeken hoe deze stimulatie zich verhoudt tot de inname van 30 gram (dierlijk) melkeiwit. De resultaten laten zien dat de toename in de hoeveelheid essentiële aminozuren aanwezig in de bloedsomloop na inname van de plantaardige eiwitten slechts de helft is van de hoeveelheid aanwezig na inname van een zelfde hoeveelheid ingenomen melkeiwit. Voornamelijk de hoeveelheid lysine (tarwe en mais) en methionine (tarwe en erwt) is laag in de bloedsomloop na inname van de plantaardige eiwitten. Ondanks de lage beschikbaarheid van deze essentiële aminozuren in het bloed, is een substantiële toename in de spiereiwitsopbouwsnelheid te zien na inname van de plantaardige eiwitten. Tegen onze verwachting in is deze stimulatie van de spiereiwitsopbouw dus niet verschillend ten opzichte van de inname van het dierlijke melkeiwit. Onze hypothese was dat de spiereiwitopbouwsnelheid na inname van het plantaardige eiwit lager zou zijn dan na inname van eenzelfde hoeveelheid melkeiwit. Om deze reden is in **hoofdstuk 4 en 5** een extra vergelijking gemaakt tussen de inname van een mengsel van 15 gram melkeiwit en 15 gram tarwe eiwit (**hoofdstuk 4**), of een mengsel van 15 gram melk eiwit en 15 gram mais eiwit (**hoofdstuk 5**), met de inname van 30 gram melkeiwit. Door een plantaardig eiwit met melkeiwit te mengen, wordt de aminozuur samenstelling van de eiwitdrink verbeterd. Vervolgens is bekeken in welke mate dit eiwit mengsel de spiereiwitopbouwsnelheid stimuleert in vergelijking met de inname van alleen het dierlijke melkeiwit. Er waren minder essentiële aminozuren aanwezig in het bloed na inname van het eiwit mengsel, dan na inname van enkel het melkeiwit. De resultaten lieten echter zien dat de spiereiwitopbouwsnelheid even sterk gestimuleerd werd na inname van het eiwitmengsel (melk + mais of melk + tarwe eiwit) als na de inname van melkeiwit alleen.

In **hoofdstuk 6** is voor het eerst onderzocht of een volledig plantaardig eiwitmengsel (15 gram tarwe + 7.5 gram mais + 7.5 gram erwt) in staat is om de spieropbouwsnelheid te stimuleren bij gezonde jonge mannen. Vervolgens werd wederom deze opbouwsnelheid vergeleken met de inname van eenzelfde hoeveelheid dierlijk melkeiwit. De hoeveelheid leucine in het plantaardig eiwitmengsel was gelijk aan die van de melkeiwit drank. In lijn met **hoofdstuk 3, 4 en 5**, was de toename in de hoeveelheid essentiële aminozuren (met name methionine en lysine) aanwezig in de bloedsomloop na inname van het plantaardige eiwitmengsel slechts de helft van de hoeveelheid na inname van het melkeiwit. Er was ook minder leucine beschikbaar in de bloedsomloop na inname van het eiwitmengsel dan na inname van het melkeiwit, maar dit verschil was gering (16%). Inname van de plantaardige eiwit mengsel resulteerde in een substantiële stimulatie van de spiereiwitopbouwsnelheid die niet verschillend was van de inname van het melkeiwit.

Behalve eiwitinname is ook fysieke activiteit belangrijk om spieren gezond te houden en de aanmaak van nieuwe spiereiwitten te stimuleren. In **hoofdstuk 7** is onderzocht in hoeverre een plantaardig eiwit de spiereiwitopbouw kan stimuleren in rust als ook tijdens het herstel van een enkele krachttrainingssessie bij gezonde jonge mannen. Over het algemeen bevatten plantaardige eiwitten een lagere hoeveelheid leucine, lysine en/of methionine.



Aardappeleiwit onderscheidt zich echter van andere plantaardige eiwitten door te beschikken over een voldoende hoeveelheid van alle essentiële aminozuren. Om deze reden is het plantaardige aardappeleiwit geconcentreerd vergeleken met het dierlijke melkeiwit als referentie. De hoeveelheid essentiële aminozuren aanwezig in het bloed was lager na inname van aardappeleiwit dan na inname van het melkeiwit. Dit was met name zichtbaar in de eerste 1.5 uur na inname van de eiwitten. Inname van het plantaardige aardappel eiwit resulteerde in een effectieve stimulatie van de spiereiwitopbouw, zowel in rust als tijdens herstel van de krachttraining, in gezonde jonge mannen. Deze stimulatie van spiereiwitopbouw was niet verschillend in vergelijking met de inname van het melkeiwit.

De toenemende interesse in plantaardige eiwitrijke voeding leidt tot een toename in de ontwikkeling en beschikbaarheid van plantaardige vleesvervangers. In **hoofdstuk 8** is onderzocht in welke mate een eiwitrijke vleesvanger in staat is om de spiereiwitopbouw te stimuleren in gezonde jonge mannen. Vervolgens werd bepaald of deze spiereiwitopbouw stimulatie verschilt met vergelijkbaar 'traditioneel' vlees. In dit onderzoek is gekeken naar de inname van een lysine verrijkte vleesvanger, op basis van tarwe (60%) en kikkererwten (40%) eiwit, en vergeleken met de inname van eenzelfde hoeveelheid eiwit (40 gram) aan kipfilet bij gezonde jonge mannen. De essentiële aminozuren concentratie in de bloedsomloop was lager na inname van de plantaardige vleesvanger dan na inname van de kipfilet. Daarentegen was de hoeveelheid lysine in de bloedsomloop na inname van de vleesvanger sterk verhoogd. Inname van de vleesvanger verhoogde de spiereiwitopbouw sterk, maar deze was niet verschillend van de opbouw na inname van kipfilet bij gezonde jonge mannen.

Kort samengevat kunnen we uit dit proefschrift concluderen, dat wanneer een voldoende hoeveelheid plantaardig eiwit (30 gram) wordt geconsumeerd, een effectieve stimulatie plaatsvindt van de spiereiwitopbouw bij gezonde jonge mannen. Daarnaast zien we dat deze stimulatie van de spiereiwitopbouw niet verschilt met die na inname van eenzelfde hoeveelheid melk eiwit. Ook de inname een mengsel van plantaardige en dierlijke eiwitten, en een mengsel van verschillende plantaardige eiwitten resulteert in een sterke stimulatie van de spiereiwitopbouw, welke niet verschilt van die na inname van een equivalente hoeveelheid melk eiwit. Hieruit kunnen we verder concluderen dat wanneer een voldoende hoeveelheid eiwit (30 gram) wordt ingenomen, de lage beschikbaarheid van één of enkele essentiële aminozuren in plantaardige eiwitten geen beperkende factor vormt voor de acute stimulatie van de spiereiwitopbouw bij gezonde jonge mannen. Het is echter belangrijk om in acht te nemen dat onze voeding niet bestaat uit eiwit isolaten/concentraten, maar uit volledige voedingsproducten en maaltijden. Om de anabole eigenschappen van plantaardige eiwitten verder te onderzoeken, is het belangrijk dat meer onderzoek zich richt op wat daadwerkelijk gegeten wordt: volledige voedingsproducten en complete maaltijden (**Hoofdstuk 9**).