

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет харчових наук, нутриціології та управління якістю

ПОГОДЖЕНО

В.о. декана факультету харчових наук
нутриціології та управління якістю,
доктор технічних наук, професор
_____ Баль-Прилипко Л.В.

«__» _____ 2026 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

В.о завідувача кафедри
громадського здоров'я та нутриціології
_____ Швець О.В.

«__» _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему

**«ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АМІНОКИСЛОТНОГО СКЛАДУ
ТВАРИННИХ І РОСЛИННИХ БІЛКОВИХ ДОБАВОК ТА ЇХ
БІОХІМІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ»**

Спеціальність _____ 229 «Громадське здоров'я» _____
(код і назва)

Гарант освітньої програми

к.мед.н., професор _____ Швець О.В.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

к.мед.н., професор _____ Швець О. В.

Виконала

_____ Панченко В.А.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
УКРАЇНИ**

Факультет харчових наук, нутриціології та управління якістю

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о завідувача кафедри громадського
здоров'я та нутриціології

к.мед.н., професор _____ Швець О.В.

« ____ » _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я

ДО ВИКОНАННЯ БАКАЛАВРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТЦІ

Панченко Вікторії Андріївни

Спеціальність _____ 229 «Громадське здоров'я»

Освітня програма _____ «Нутриціологія здорового харчування»

Орієнтація освітньої програми _____ освітньо-професійна

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи **«Порівняльний аналіз амінокислотного складу тваринних і рослинних білкових добавок та їх біохімічне значення для підтримки здоров'я людини»** затверджена наказом ректора НУБіП України від « 07 » січня 2026 р. № 75 «С» Термін подання завершеної роботи на кафедру « 25 » травня 2026 р. _____

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи: державні документи, посібники, словники, довідники, методична, наукова література, публікації, статистичні матеріали Державного комітету статистики України, наукові праці зарубіжних та вітчизняних авторів, матеріали науково-практичних конференцій щодо теми дослідження. Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Здійснити аналіз наукових даних щодо ролі білків, амінокислот з розгалуженим ланцюгом (ВСАА), лейцину та аргініну в регуляції метаболічних процесів і синтезу м'язового білка.
2. Визначити особливості амінокислотного складу та біологічної цінності білкових добавок тваринного і рослинного походження.
3. Провести порівняльний аналіз вмісту ВСАА, лейцину та аргініну в комерційно доступних білкових добавках різного походження.
4. Виконати розрахунково-аналітичну оцінку метаболічного потенціалу білкових добавок шляхом визначення умовного індексу активації mTOR, лейцинового порогу та добового надходження лейцину і ВСАА.
5. Оцінити практичне значення отриманих результатів для спортивного харчування, профілактики саркопенії, підтримання метаболічного здоров'я та розробки рекомендацій щодо вибору білкових добавок для різних груп населення.

Дата видачі завдання «02» лютого 2026р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи _____ Швець О.В.
Завдання прийняла до виконання _____ Панченко В.А.

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота на тему «Порівняльний аналіз амінокислотного складу тваринних і рослинних білкових добавок та їх біохімічне значення для підтримки здоров'я людини» складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків.

Робота налічує 89 сторінок основного тексту. У списку використаних джерел наведено 18 найменувань, серед яких навчальні видання з нутриціології та харчування, наукові статті у міжнародних фахових журналах, клінічні рекомендації та нормативні документи міжнародних організацій.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дослідження, зумовлену зростанням інтересу до білкових добавок у спортивному, клінічному та профілактичному харчуванні, а також необхідністю оцінки їхнього амінокислотного складу та потенційного метаболічного впливу. Визначено мету та завдання дослідження, об'єкт і предмет дослідження, охарактеризовано використані методи аналізу, порівняння та розрахунково-аналітичної оцінки. Підкреслено наукову та практичну значущість роботи для оцінки якості білкових добавок тваринного і рослинного походження, а також для обґрунтування рекомендацій у сфері спортивного та раціонального харчування.

Розділ 1. Теоретичні основи білкового харчування. У цьому розділі розглянуто сучасні наукові підходи до використання білкових препаратів у харчуванні людини. Проаналізовано значення білків як незамінних компонентів раціону, їхню роль у забезпеченні пластичних, регуляторних та енергетичних функцій організму. Охарактеризовано основні джерела білка, особливості тваринних і рослинних білкових продуктів, а також критерії оцінки їхньої харчової та біологічної цінності. Особливу увагу приділено амінокислотному складу, засвоюваності та функціональним властивостям

сучасних білкових препаратів, що використовуються як спортивне харчування та харчові добавки.

Розділ 2. Характеристика методів дослідження та порівняльний аналіз амінокислотного складу білкових добавок. У розділі наведено характеристику використаних методів аналізу та обґрунтовано вибір досліджуваних білкових добавок тваринного і рослинного походження. Проведено порівняльний аналіз амінокислотного складу десяти комерційних білкових продуктів із акцентом на вміст амінокислот з розгалуженим ланцюгом (BCAA), лейцину та аргініну. Встановлено, що білки тваринного походження характеризуються вищими концентраціями BCAA та лейцину, тоді як рослинні джерела містять більше аргініну. Виконано порівняльний, кореляційний і кластерний аналіз, що дозволило виявити характерні відмінності між амінокислотними профілями тваринних і рослинних білкових добавок та оцінити їх потенційне метаболічне значення.

Розділ 3. Розрахунково-аналітична оцінка метаболічного потенціалу білкових добавок та її значення для нутриціології та громадського здоров'я. У розділі проведено комплексну оцінку метаболічного потенціалу білкових добавок тваринного та рослинного походження на основі їх амінокислотного складу. Розраховано умовний індекс активації mTOR, визначено лейциновий поріг для стимуляції синтезу м'язового білка, проаналізовано добове надходження лейцину та BCAA, а також виконано порівняння тваринно- та рослинно-орієнтованих моделей харчування. Отримані результати свідчать про вищий анаболічний потенціал білкових добавок тваринного походження завдяки більшому вмісту лейцину та BCAA, тоді як рослинні джерела білка характеризуються помірнішою активацією сигнального шляху mTOR та вищим вмістом аргініну. Окрему увагу приділено практичному значенню результатів для спортивного харчування, профілактики саркопенії, підтримки метаболічного здоров'я та формуванню рекомендацій щодо вибору білкових добавок для різних груп населення.

У висновках узагальнено результати дослідження, які підтверджують наявність суттєвих відмінностей в амінокислотному складі білкових добавок тваринного та рослинного походження. Встановлено, що білки тваринного походження характеризуються вищим вмістом лейцину та ВСАА і мають більший потенціал щодо активації синтезу м'язового білка, тоді як рослинні джерела білка відзначаються підвищеним вмістом аргініну та можуть розглядатися як ефективна альтернатива за умови збалансованого амінокислотного складу. Отримані результати підкреслюють важливість врахування не лише кількості, а й якості білка при формуванні раціонів для різних груп населення.

Ключові слова: білкові добавки, амінокислоти, амінокислоти з розгалуженим ланцюгом (ВСАА), лейцин, аргінін, сигнальний шлях mTOR, амінокислотний профіль, тваринні білки, рослинні білки, спортивне харчування, нутріціологія, біологічна цінність білка.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- Arg – аргінін (Arginine)
- BCAA (Branched-Chain Amino Acids) – амінокислоти з розгалуженим ланцюгом
- DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung) – Німецьке товариство харчування
- DIAAS (Digestible Indispensable Amino Acid Score) – показник засвоюваності незамінних амінокислот
- ESPEN (European Society for Clinical Nutrition and Metabolism) – Європейське товариство клінічного харчування та метаболізму
- FAO (Food and Agriculture Organization) – Продовольча та сільськогосподарська організація ООН
- GABA (ГАМК) – гамма-аміномасляна кислота
- Leu – лейцин (Leucine)
- Lys – лізин (Lysine)
- Met – метіонін (Methionine)
- mRNA (мРНК) – матрична рибонуклеїнова кислота
- mTOR (mechanistic Target of Rapamycin) – механістична мішень рапаміцину
- mTORC1 (mechanistic Target of Rapamycin Complex 1) – комплекс mTOR 1
- mTORC2 (mechanistic Target of Rapamycin Complex 2) – комплекс mTOR 2
- МОЗ – Міністерство охорони здоров'я України
- NO (Nitric Oxide) – оксид азоту
- ООН – Організація Об'єднаних Націй
- PDCAAS (Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score) – показник якості білка з урахуванням амінокислотного складу та засвоюваності
- T3 – трийодтиронін
- T4 – тироксин
- WHO (World Health Organization) – Всесвітня організація охорони здоров'я

• **ЗМІСТ**

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БІЛКОВОГО ХАРЧУВАННЯ	12
1.1. Тваринні та рослинні білки: особливості амінокислотного складу та біодоступності	12
1.2. Роль амінокислот з розгалуженим ланцюгом (ВСАА) та лейцину у регуляції білкового синтезу	15
1.3. Білкові добавки у спортивному харчуванні та профілактичній нутриціології	21
Висновки до розділу 1	23
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АМІНОКИСЛОТНОГО СКЛАДУ БІЛКОВИХ ДОБАВОК	24
2.1. Опис методів аналізу амінокислотного складу білкових продуктів та обґрунтування вибору білкових добавок	24
2.2. Порівняльне дослідження амінокислотного складу білкових добавок	31
2.2.1. Аналіз вмісту ВСАА у білкових добавках	31
2.2.2. Аналіз вмісту лейцину як ключового активатора mTOR	33
2.2.3. Аналіз вмісту аргініну та особливостей рослинних білків	36
2.2.4. Порівняльний аналіз тваринних та рослинних білкових продуктів	38
2.2.5. Кореляційний аналіз амінокислотного складу	41
2.2.6. Кластерний аналіз білкових добавок за амінокислотним профілем	42
Висновки до розділу 2	44
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКОВО-АНАЛІТИЧНА ОЦІНКА МЕТАБОЛІЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ БІЛКОВИХ ДОБАВОК ТА ЇЇ ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ НУТРИЦІОЛОГІЇ ТА ГРОМАДСЬКОГО ЗДОРОВ'Я	46
3.1. Розрахунково-аналітична оцінка метаболічного потенціалу білкових добавок	46
3.1.1. Розрахунок умовного індексу активації mTOR	47
3.1.2. Розрахунок leucine threshold для стимуляції синтезу білка	48
3.1.3. Розрахунок добового надходження лейцину та ВСАА у різних типах раціонів	49
3.1.4. Порівняльний аналіз тваринно-орієнтованого та рослинноорієнтованого раціонів	54

3.1.5. Оцінка потенційного mTOR load високобілкових раціонів	58
3.1.6. Рейтинг білкових добавок за умовним анаболічним потенціалом	60
3.2. Оцінка практичного значення результатів для нутриціології та громадського здоров'я	63
3.2.1. Значення білкових добавок у спортивному харчуванні	63
3.2.2. Роль білкових продуктів у профілактиці саркопенії та вікових змін	67
3.2.3. Потенційний вплив надмірної активації mTOR на метаболічне здоров'я	69
3.3. Практичні рекомендації щодо вибору білкових добавок для різних груп населення	71
Висновки до розділу 3	76
ВИСНОВКИ	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	81

ВСТУП

Білки є одними з найважливіших біологічних макромолекул в організмі людини, виконуючи численні структурні, регуляторні та метаболічні функції. Вони є важливими компонентами м'язової тканини, ферментів, гормонів, транспортних білків, антитіл та клітинних сигнальних структур. Крім того, як будівельні блоки білків, амінокислоти відіграють центральну роль в енергетичному обміні, регенерації тканин та регуляції численних фізіологічних процесів.

В останні роки значення багатих на білок дієт значно зросло як у сфері клінічного харчування, так і в сферах спорту та профілактичного здоров'я. Білкові добавки, зокрема, все частіше використовуються спортсменами, людьми похилого віку та споживачами, які дбають про своє здоров'я, для збереження м'язової маси, підтримки процесів відновлення або збільшення загального споживання білка. Одночасно зростає світовий науковий інтерес до якісної оцінки різних джерел білка та їх метаболічного впливу.

Особлива увага приділяється амінокислотам з розгалуженим ланцюгом (BCAA), зокрема лейцину. Лейцин вважається одним із найважливіших дієтичних активаторів сигнального шляху mTOR (механістична мішень рапаміцину), який відіграє центральну роль у регулюванні синтезу м'язового білка, росту клітин та анаболічних метаболічних процесів. Водночас, сучасний науковий дискурс досліджує, якою мірою хронічна, підвищена активація сигнального шляху mTOR може мати довгострокові метаболічні наслідки.

Поряд із джерелами білка тваринного походження, рослинні білки набувають дедалі більшої ваги. Ця тенденція пов'язана зі зростаючою поширеністю вегетаріанських та веганських моделей харчування, а також з екологічними та пов'язаними зі стійкістю аспектами сучасних харчових систем. Однак, рослинні джерела білка часто суттєво відрізняються від тваринних білків за їхнім амінокислотним профілем, біологічною цінністю та засвоюваністю.

Зокрема, відмінності у вмісті лейцину, ВСАА та аргініну можуть призвести до різних метаболічних ефектів.

Наукова актуальність цієї теми впливає з необхідності всебічної оцінки функціональних властивостей різних джерел білка. У цьому контексті значення має не лише загальна кількість споживаного білка, але й його амінокислотний склад, біодоступність та потенційний вплив на метаболічні сигнальні шляхи. Оцінка різних джерел білка має особливе практичне значення в галузі спортивного харчування, профілактики саркопенії та забезпечення адекватного білкового харчування різних груп населення.

Метою цього дослідження є проведення порівняльного аналізу амінокислотних профілів білкових добавок тваринного та рослинного походження, а також оцінка їхнього потенційного метаболічного впливу. Особлива увага приділяється вмісту в них ВСАА, лейцину та аргініну, а також теоретичній оцінці їхнього потенціалу активувати сигнальний шлях mTOR.

Для досягнення цієї мети були визначені такі завдання:

- Аналіз амінокислотного складу різних білкових добавок тваринного та рослинного походження;
- Порівняння вмісту ВСАА, лейцину та аргініну;
- Проведення кореляційного аналізу між окремими амінокислотами;
- Розрахунок гіпотетичного індексу mTOR;
- Оцінка «лейцинового порогу»;
- Аналіз потенційної значущості різних джерел білка для спортивного харчування, профілактики саркопенії та підтримання оптимального білкового забезпечення населення.

Предметом цього дослідження є комерційно доступні білкові добавки тваринного та рослинного походження. Конкретними об'єктами дослідження є їхній амінокислотний склад та потенційний метаболічний вплив.

Методологічна основа цього дослідження охоплює порівняльний аналіз наукової літератури, оцінку заявлених профілів амінокислот, теоретичні

розрахунки метаболічних параметрів та порівняльну харчову інтерпретацію отриманих результатів. Практичне значення цієї роботи полягає в тому, що отримані результати сприяють нюансованій оцінці різних джерел білка та можуть створити наукову основу для рекомендацій у сфері спортивного харчування, клінічного харчування та профілактичного харчування. Крім того, ці результати мають актуальність у контексті стійких продовольчих систем та сучасних рослинних дієтичних стратегій.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БІЛКОВОГО ХАРЧУВАННЯ

1.1. Тваринні та рослинні білки: особливості амінокислотного складу та біодоступності

Білки є одними з найважливіших макромолекул людського організму та виконують численні структурні, регуляторні, каталітичні та метаболічні функції. Вони є важливими складовими м'язів, сполучної тканини, ферментів, гормонів, антитіл та транспортних білків. Крім того, білки відіграють центральну роль у рості, регенерації тканин, імунному захисті та підтримці численних фізіологічних процесів [1, 2].

З хімічної точки зору, білки складаються з амінокислот, які є основними будівельними блоками всіх білків в організмі. Специфічний амінокислотний склад визначає харчову якість білка та впливає на його біологічну цінність, а також на його метаболічний вплив в організмі. Оскільки організм людини постійно синтезує та розщеплює білки, для підтримки фізіологічних функцій необхідне регулярне споживання амінокислот з їжею [1, 2].

В організмі людини міститься двадцять протеїногенних амінокислот. Дев'ять з них вважаються незамінними амінокислотами, оскільки вони не можуть бути синтезовані або синтезуються не в достатній кількості, і тому повинні отримуватися з їжею. Ці незамінні амінокислоти включають гістидин, ізолейцин, лейцин, лізин, метіонін, фенілаланін, треонін, триптофан та валін. Достатнє надходження цих амінокислот є фундаментальною передумовою для синтезу білка, росту та численних метаболічних процесів [2, 6].

Харчова якість білка визначається не лише його загальною кількістю. Вирішальне значення мають амінокислотний склад, засвоюваність та біологічна цінність. Біологічна цінність описує, наскільки ефективно споживаний харчовий білок може бути використаний для синтезу власних білків організму. Сучасні методи оцінки якості білка включають, серед іншого, показник засвоюваності амінокислот з урахуванням перетравлюваності білка (PDCAAS) та показник

засвоюваності незамінних амінокислот (DIAAS), обидва з яких враховують засвоюваність, а також доступність незамінних амінокислот [6].

Ще одним важливим параметром оцінки білка є азотистий баланс. Позитивний азотистий баланс виникає, коли споживання азоту перевищує його виділення. Це трапляється, наприклад, у періоди росту, вагітності, відновлення після хвороби або нарощування м'язів після фізичних тренувань. І навпаки, негативний азотистий баланс вказує на посилений розпад білка та може виникати у випадках дефіциту білка, хронічних захворювань або тривалих періодів голодування [3, 4].

Харчові білки зазвичай поділяються на тваринні та рослинні. Ці два джерела білка відрізняються за своїм амінокислотним складом, засвоюваністю та біологічною цінністю. Тваринні білки отримують переважно з молочних продуктів, м'яса, риби та яєць. Як правило, вони містять усі незамінні амінокислоти в кількостях, що точно відповідають фізіологічним потребам людини. З цієї причини тваринні білки зазвичай демонструють високу біологічну цінність, а також високу біодоступність [2, 3].

До особливо високоякісних джерел тваринного білка належать сироватковий білок, казеїн та ячний білок. Сироватковий білок характеризується швидким перетравленням та засвоєнням, що призводить до швидкого підвищення концентрації амінокислот у крові. Отже, синтез м'язового білка стимулюється з особливою ефективністю. Казеїн, навпаки, перетравлюється повільніше, забезпечуючи тривале вивільнення амінокислот протягом кількох годин. Ячний білок, завдяки своєму збалансованому амінокислотному профілю, також має дуже високу біологічну цінність і часто вважається референтним білком [14].

Рослинні білки надходять переважно з бобових, зернових, горіхів та насіння. Порівняно з тваринними білками, вони часто демонструють дефіцит певних незамінних амінокислот. Наприклад, зернові білки часто містять нижчий рівень лізину, тоді як бобові часто характеризуються нижчим вмістом метіоніну.

Такі амінокислоти називають «лімітуючими амінокислотами», оскільки вони можуть обмежувати біологічну цінність білка [2].

Окрім амінокислотного складу, на біодоступність рослинних білків також впливають так звані «антинутриційні фактори». До цих сполук належать, серед іншого, фітати, таніни та інгібітори протеаз. Вони можуть погіршувати як перетравлення білка, так і засвоєння певних мінералів. Однак сучасні виробничі процеси отримання білкових ізолятів та концентратів дозволяють значно зменшити вміст цих речовин, тим самим покращуючи харчову якість рослинних білкових продуктів [1].

В останні роки джерела рослинного білка набувають дедалі більшого значення. Ця тенденція пов'язана зі зростанням поширеності вегетаріанської та веганської дієт, а також з екологічними та пов'язаними зі стійкістю аспектами виробництва продуктів харчування. Соевий білок, гороховий білок та суміші різних рослинних джерел білка особливо широко використовуються. Поєднуючи різні рослинні білки, їхні відповідні амінокислотні профілі можуть взаємно доповнювати один одного, тим самим покращуючи їх біологічну цінність [15, 16].

Особливий інтерес у сучасній науці про харчування викликають амінокислоти з розгалуженим ланцюгом (BCAA), до яких належать лейцин, ізолейцин та валін. Ці амінокислоти відіграють центральну роль у м'язовому метаболізмі та значною мірою сприяють регуляції синтезу м'язового білка. Лейцин, зокрема, вважається ключовою сигнальною амінокислотою, оскільки він здатний активувати механістичний сигнальний шлях мішені рапаміцину (mTOR). Цей сигнальний шлях регулює ріст клітин, синтез білка та численні анаболічні метаболічні процеси [7, 12].

Отже, концентрація лейцину та BCAA часто розглядається як ключовий показник анаболічного потенціалу білка. Білки тваринного походження, зокрема сироватковий білок, зазвичай демонструють вищі концентрації цих амінокислот, ніж багато рослинних джерел білка. І навпаки, рослинні білки

часто містять вищий рівень аргініну. Ця амінокислота служить попередником для синтезу оксиду азоту (NO) та бере участь у різних механізмах судинної та метаболічної регуляції [9].

Окрім їхніх поживних властивостей, значну роль в оцінці різних джерел білка також відіграють міркування щодо здоров'я та навколишнього середовища. Хоча білки тваринного походження часто вважаються особливо ефективними для нарощування м'язів завдяки їхній високій біологічній цінності, джерела білка рослинного походження все частіше обговорюються в контексті стійких продовольчих систем та довгострокових стратегій охорони здоров'я. Кілька наукових досліджень показують, що збалансована рослинна дієта може позитивно впливати на різні параметри здоров'я, а також на екологічну стійкість продовольчих систем [15, 16].

Підсумовуючи, білки тваринного та рослинного походження суттєво відрізняються за своїм амінокислотним складом, біодоступністю та біологічною цінністю. Білки тваринного походження зазвичай характеризуються вищою концентрацією незамінних амінокислот та кращою засвоюваністю. З іншого боку, джерела білка рослинного походження пропонують певні поживні переваги та набувають все більшого значення, особливо в рамках концепцій сталого харчування. Таким чином, оцінка джерел білка не повинна базуватися виключно на загальній кількості білка, а також повинна враховувати якість амінокислотного профілю, біодоступність та потенційні метаболічні ефекти [2, 6, 15, 16].

1.2. Роль амінокислот з розгалуженим ланцюгом (BCAA) та лейцину у регуляції білкового синтезу

Амінокислоти – це органічні сполуки, що містять як аміногрупу, так і карбоксильну групу та є основними будівельними блоками всіх білків. Однак в організмі людини вони служать не виключно для синтезу білка, а й виконують численні інші метаболічні та регуляторні функції. Загалом приблизно 20–21

протеїногенна амінокислота використовується для побудови власних білків організму. Вони пов'язані пептидними зв'язками в поліпептидні ланцюги, тривимірна структура яких визначає їхню відповідну біологічну функцію.

Хімічна структура амінокислот відрізняється головним чином їхніми бічними ланцюгами, які значною мірою визначають їхні фізико-хімічні властивості. За хімічною структурою амінокислоти класифікуються на різні групи. Аліфатичні амінокислоти включають, серед інших, гліцин, аланін, валін, лейцин та ізолейцин. Ароматичні та гетероциклічні амінокислоти включають фенілаланін, тирозин та триптофан. Основні амінокислоти, такі як лізин, гістидин та аргінін, мають позитивно заряджені бічні ланцюги, тоді як кислі амінокислоти, такі як глютамінова кислота та аспарагінова кислота, мають негативний заряд. Ці структурні відмінності впливають на розчинність, транспорт та метаболічні властивості окремих амінокислот [1].

З точки зору харчування, найважливіша класифікація розрізняє незамінні, замінні та умовно незамінні амінокислоти. Незамінні амінокислоти не можуть бути синтезовані організмом людини або не можуть бути синтезовані в достатній кількості, тому їх необхідно отримувати з їжею. До незамінних амінокислот належать лейцин, ізолейцин, валін, лізин, метіонін, фенілаланін, треонін та триптофан. Гістидин вважається незамінним, особливо в немовлячому віці.

Умовно незамінні амінокислоти займають проміжне положення. За нормальних фізіологічних умов вони можуть вироблятися в достатній кількості; однак під час певних захворювань, стресових ситуацій або періодів швидкого росту власний синтез організму недостатній. Це стосується, наприклад, аргініну в дитинстві або глютаміну у випадках важких катаболічних метаболічних станів та у критично хворих пацієнтів. Тирозин зазвичай синтезується з фенілаланіну; однак у випадках фенілкетонурії він не може вироблятися в достатній кількості і тому стає незамінним [2, 4].

Амінокислоти виконують численні фізіологічні функції в організмі людини. Їхня основна функція - синтез ендогенних білків, таких як структурні білки, ферменти, рецептори, антитіла, транспортні білки та скоротливі білки м'язової тканини. Структурні білки, такі як колаген, еластин та кератин, мають особливе значення для сполучної тканини, кісток, шкіри та волосся. Ферментативні білки каталізують майже всі біохімічні реакції, що беруть участь в метаболізмі, і тому є необхідними для регуляції метаболічних процесів.

Крім того, амінокислоти забезпечують азотний та вуглецевий скелети, необхідні для синтезу численних інших біологічно активних молекул. Серед інших ролей, вони служать попередниками пуринів та піримідинів, які є ключовими складовими нуклеїнових кислот. Крім того, амінокислоти необхідні для синтезу креатину, карнітину, гемму та різних коферментів.

Амінокислоти мають особливе значення як попередники гормонів та нейромедіаторів. Тирозин служить вихідним матеріалом для біосинтезу катехоламінів дофаміну, норадреналіну та адреналіну. Крім того, тирозин забезпечує синтез гормонів щитовидної залози трийодтироніну (Т3) та тироксину (Т4). Триптофан функціонує як попередник нейромедіатора серотоніну, а також гормону мелатоніну, який регулює цикл сну та неспання. Шляхом декарбоксілювання гістидин перетворюється на гістамін, який діє як медіатор запалення та тканинний гормон. Глутамат функціонує як збуджуючий нейромедіатор, одночасно слугуючи вихідним матеріалом для утворення γ-аміномасляної кислоти (ГАМК) — основного гальмівного нейромедіатора центральної нервової системи [3].

Амінокислоти також відіграють значну роль в енергетичному обміні. У випадках недостатнього споживання енергії або протягом тривалих періодів голодування амінокислоти можуть бути використані для виробництва енергії. Біохімічно амінокислоти класифікуються на глюкогенні та кетогенні типи.

Після розпаду глюкогенні амінокислоти утворюють піруват або проміжні продукти циклу лимонної кислоти, що дозволяє їм використовуватися для глюконеогенезу. Це сприяє ендогенному виробленню глюкози, особливо для глюкозозалежних тканин, таких як мозок та еритроцити. Більшість амінокислот належать до категорії глюкогенних.

На противагу цьому, кетогенні амінокислоти розкладаються на ацетилКоА або ацетоацетат і служать вихідними субстратами для синтезу кетонів тіл. Лейцин та лізин функціонують виключно як кетогенні амінокислоти. Деякі амінокислоти, такі як фенілаланін, триптофан та ізолейцин, мають як глюкогенні, так і кетогенні властивості [1].

Біологічне значення незамінних амінокислот особливо очевидне в контексті так званої лімітуючої амінокислоти. Для того, щоб відбувся синтез білка, всі незамінні амінокислоти повинні бути присутніми одночасно та в достатній кількості. Якщо одна амінокислота відсутня або присутня лише в низьких концентраціях, синтез білка стає обмеженим, навіть якщо всі інші амінокислоти доступні в достатку. У рослинних джерелах білка лізин або метіонін часто є лімітуючою амінокислотою.

Потреба в незамінних амінокислотах залежить від віку, росту, фізичної активності та стану здоров'я. Потреба особливо висока в періоди росту, вагітності та одужання. Згідно з даними, наведеними в наданих джерелах, незамінні амінокислоти становлять приблизно 43% від загальної потреби в білку у немовлят, близько 36% у дітей ясельного віку та приблизно 19% у дорослих. Це підкреслює критичну важливість незамінних амінокислот для росту та розвитку [4].

Джерела білка тваринного та рослинного походження відрізняються не лише своєю біологічною цінністю та засвоюваністю, але й амінокислотним складом. Для оцінки харчової цінності білка важлива не лише загальна кількість

білка, але й, зокрема, вміст незамінних амінокислот, які можуть регулювати та впливати на різні метаболічні процеси.

Особливий інтерес у цьому контексті представляють амінокислоти з розгалуженим ланцюгом (BCAA), оскільки вони відіграють центральну роль у м'язовому метаболізмі та регуляції синтезу м'язового білка. Численні наукові дослідження показують, що лейцин, зокрема, служить не лише будівельним блоком для білків, але й одночасно функціонує як ключова сигнальна амінокислота, що бере участь в активації анаболічних метаболічних шляхів [7, 12].

Амінокислоти з розгалуженим ланцюгом (BCAA) включають лейцин, ізолейцин та валін і належать до групи незамінних амінокислот, які необхідно отримувати з їжею. Характерною особливістю цих амінокислот є їхній розгалужений аліфатичний бічний ланцюг, який визначає їхні унікальні метаболічні властивості. На відміну від багатьох інших амінокислот, BCAA метаболізуються переважно в скелетних м'язах, а не в печінці. Як наслідок, вони відіграють вирішальну роль в енергетичному метаболізмі м'язів та в регуляції синтезу м'язового білка.

Сигнальний шлях mTOR (механістична мішень рапаміцину) відіграє центральну роль у регуляції синтезу м'язового білка. mTOR – це серин/треонін протеїнкіназа, яка функціонує як ключовий клітинний датчик доступності поживних речовин, енергії та факторів росту. Цей сигнальний шлях інтегрує інформацію щодо концентрацій амінокислот, глюкози, інсуліну та інших метаболічних факторів і, на основі цієї інформації, регулює численні анаболічні та катаболічні процеси [7].

Розрізняють два функціонально різні комплекси: mTORC1 та mTORC2. Щодо регуляції синтезу м'язового білка, mTORC1 має окреме значення. Цей комплекс дуже чутливий до доступності амінокислот; при стимуляції він активує різні сигнальні білки, такі як p70S6K та 4E-BP1. Це сприяє трансляції

mPНК та посилює синтез нових м'язових білків. Одночасно mTORC1 пригнічує аутофагію та зміщує метаболічну активність у бік анаболічних процесів [7].

На активність mTORC1 особливо сильно впливає амінокислота з розгалуженим ланцюгом лейцин. Після споживання їжі, багатої на білок, внутрішньоклітинна концентрація лейцину зростає, тим самим активуючи специфічні сенсорні системи, що зрештою призводить до активації mTORC1. З цієї причини лейцин вважається найважливішою сигнальною амінокислотою, що залежить від харчування, для стимуляції синтезу м'язового білка [7, 12].

Окрім регуляції росту м'язів, сигнальний шлях mTOR впливає на численні інші фізіологічні процеси, включаючи ріст клітин, метаболічну регуляцію та регенерацію тканин. Тому збалансована активація mTOR має велике значення для підтримки метаболічного гомеостазу. Хоча короточасна активація, така як після фізичних вправ або споживання багатої на білок дієти, вважається фізіологічно корисною, хронічно надмірна активація пов'язана з різними метаболічними порушеннями [7].

Лейцин має особливе значення в цьому контексті, оскільки він вважається найважливішим поживно-залежним активатором сигнального шляху mTORC1. Після споживання їжі, багатої на білок, внутрішньоклітинна концентрація лейцину підвищується, активуючи сигнальний шлях mTOR через специфічні сенсорні білки. Це призводить до фосфорилування ключових регуляторних білків, таких як p70S6K та 4E-BP1, тим самим стимулюючи трансляцію mPНК та синтез м'язового білка [7].

Таким чином, лейцин функціонує не лише як будівельний блок для білків, але й як субстрат метаболічної сигналізації, який безпосередньо регулює анаболічні процеси. Одночасно активація mTORC1 може пригнічувати розпад білка, тим самим сприяючи позитивному балансу м'язового білка. Лейцин відіграє особливо важливу роль у відновленні та рості м'язів, особливо після фізичних навантажень.

Однак вплив лейцину на синтез м'язового білка залежить від одночасної наявності інших незамінних амінокислот. Ізольоване споживання лейцину може лише незначно посилити синтез білка, якщо відсутні інші амінокислоти, необхідні для побудови нових білків. З цієї причини високоякісні джерела білка з повним амінокислотним профілем вважаються особливо ефективними. Швидкозасвоювані білки, такі як сироватковий протеїн, мають потужний стимулюючий ефект на постпрандіальний синтез м'язового білка завдяки високому вмісту ВСАА та лейцину [3, 4].

Ізолейцин та валін також виконують важливі метаболічні функції. Серед інших функцій, ізолейцин впливає на метаболізм глюкози та поглинання глюкози м'язовими клітинами, тоді як валін сприяє головним чином енергозабезпеченню м'язів. Разом ВСАА підтримують підтримку азотного гомеостазу, відновлення після фізичних навантажень та збереження м'язової маси.

Зокрема, у сферах спортивного та клінічного харчування, ВСАА та лейцин є предметом численних досліджень. У людей похилого віку достатнє споживання білків, багатих на лейцин, може допомогти протидіяти віковій втраті м'язової маси. Аналогічно, при катаболічних метаболічних станах, хронічних захворюваннях або періодах інтенсивних фізичних навантажень рекомендується підвищене споживання білка, що містить достатню частку ВСАА [4, 8].

Водночас триває дискусія щодо можливості того, що дуже високе, тривале споживання ізольованих ВСАА може бути пов'язане з порушенням метаболічної регуляції. Отже, сучасні рекомендації, як правило, надають перевагу збалансованому споживанню високоякісних джерел білка, а не ізольованому добавлянню окремих амінокислот.

1.3. Білкові добавки у спортивному харчуванні та профілактичній нутриціології

Сьогодні білкові добавки відіграють значну роль як у спортивному харчуванні, так і в профілактичній та клінічній нутриціологічній медицині. Їхня основна мета — забезпечити адекватне споживання білка, підтримати синтез м'язового білка та запобігти втраті м'язової маси у випадках підвищеного фізіологічного попиту або недостатнього споживання їжі. Білкові добавки особливо широко використовуються спортсменами, людьми похилого віку, пацієнтами з хронічними захворюваннями та особами, які втрачають вагу.

Потреба в білку може бути значно підвищена за певних фізіологічних або патологічних станів. Хоча для здорових дорослих рекомендується щоденне споживання білка приблизно 0,8–0,83 г на кг маси тіла, Європейське товариство клінічного харчування та метаболізму (ESPEN) рекомендує споживання 1,2–2,0 г на кг маси тіла на день для госпіталізованих пацієнтів. Для людей похилого віку, онкологічних хворих або пацієнтів з пролежнями зазвичай рекомендується споживання 1,2–1,5 г на кг маси тіла [8].

У клінічній практиці часто рекомендується щоденне споживання білка приблизно 75–90 г, розподілене на три багаті на білок прийоми їжі. Споживання білка приблизно 30 г на прийом їжі вважається достатнім для максимальної стимуляції постпрандіального синтезу м'язового білка. І навпаки, більші споживання не призводять до пропорційно більшої швидкості синтезу білка; натомість вони в першу чергу збільшують окислення амінокислот та вироблення сечовини.

У контексті силових тренувань та нарощування м'язів білкові добавки використовуються спеціально для підтримки гіпертрофії та відновлення м'язів. У цьому відношенні сироваткові білки мають особливе значення завдяки своїй високій біологічній цінності, швидкому засвоєнню та високому вмісту амінокислот з розгалуженим ланцюгом (BCAA). Сироватковий білок містить високу концентрацію лейцину, ізолейцину та валіну і стає доступним для

організму приблизно через 30 хвилин після прийому. Отже, він особливо добре підходить для харчування після фізичних навантажень. Навпаки, казеїн засвоюється повільніше та безперервно засвоюється протягом кількох годин. Через це повільне вивільнення амінокислот казеїну часто рекомендується перед сном, щоб зменшити нічний розпад м'язового білка. Для людей з непереносимістю лактози або тих, хто дотримується вегетаріанської дієти, важливими альтернативами є ячні, соєві або горохові білки. Соєвий білок, зокрема, демонструє порівняно високу біологічну цінність і додатково містить біоактивні ізофлавоноїди, такі як геністеїн та даїдзетин [2, 3].

Якість білкових добавок оцінюється на основі таких факторів, як їхня біологічна цінність, засвоюваність та показники, такі як PDCAAS (шкала засвоюваності білка з корекцією амінокислот) або DIAAS (шкала засвоюваності незамінних амінокислот). Сироватковий білок, молочний білок та соєвий білок досягають високих балів у цих оцінках, тоді як деякі рослинні джерела білка демонструють нижчі бали через обмеження амінокислот. Однак, поєднуючи різні рослинні джерела білка, наприклад, зернові та бобові, біологічну цінність можна значно покращити [6].

Окрім спортивного харчування, білкові добавки все частіше використовуються в галузі профілактичної нутриціології. Особливо у людей похилого віку достатнє споживання білка може допомогти протидіяти віковій втраті м'язової маси та сили. Крім того, білки мають сильніший ефект насичення, ніж вуглеводи чи жири, тим самим сприяючи зниженню ваги у випадках ожиріння. Дослідження показують, що дієти з високим вмістом білка, де білок становить приблизно 20–40% від загального споживання енергії, демонструють помірну додаткову користь щодо втрати ваги, а також підтримки ваги після успішної дієти [3, 4].

Незважаючи на позитивний вплив достатнього споживання білка, тривале споживання дуже високого рівня білка залишається предметом критичних дискусій. У більшості досліджень споживання, що перевищує 2 г білка на кг

маси тіла на день, не показує додаткової користі з точки зору нарощування м'язів або фізичної працездатності. Водночас описуються потенційні ризики, такі як підвищена швидкість клубочкової фільтрації, підвищене утворення сечовини, підвищене виведення кальцію, утворення каменів у нирках та метаболічні зміни. Споживання білка має бути індивідуально скориговано, особливо у випадках захворювань печінки або нирок.

Висновки до розділу 1

У першому розділі викладено теоретичні основи білкового харчування, специфічні характеристики амінокислотного складу різних джерел білка та їх значення для метаболізму людини. Було продемонстровано, що білки є одними з найважливіших поживних речовин для організму, оскільки вони забезпечують незамінні амінокислоти для синтезу білків організму, регуляції фізіологічних процесів, імунної функції та енергетичного обміну.

В огляді літератури було підкреслено, що білки тваринного та рослинного походження демонструють суттєві відмінності щодо своїх амінокислотних профілів, біологічної цінності та біодоступності. Джерела тваринного білка, зокрема сироватковий білок, казеїн та ячний білок, характеризуються високою концентрацією незамінних амінокислот, а також високою засвоюваністю. Навпаки, рослинні білки часто містять обмежену кількість амінокислот і в деяких випадках мають нижчу біологічну цінність. Однак, поєднуючи різні джерела рослинного білка, можна досягти покращення амінокислотного профілю.

Особлива увага була приділена амінокислотам з розгалуженим ланцюгом (BCAA) — лейцину, ізолейцину та валіну. Ці амінокислоти відіграють ключову роль у м'язовому метаболізмі та в регуляції синтезу м'язового білка. Лейцин, зокрема, діє як ключова сигнальна амінокислота, яка активує сигнальний шлях

mTOR, тим самим стимулюючи анаболічні процеси, ріст клітин та синтез м'язового білка.

Крім того, було досліджено значення білкових добавок у спортивному харчуванні та профілактичному харчуванні. Проаналізовані наукові дані свідчать про те, що достатнє споживання високоякісного білка може сприяти підтримці м'язової маси, підтримувати відновлення після фізичних навантажень та допомагати у запобіганні віковій втраті м'язів. У цьому контексті ефективність джерел білка визначається не лише загальною кількістю білка, але й, перш за все, їх амінокислотним складом, вмістом незамінних амінокислот та їхньою біодоступністю. Підсумовуючи, можна зробити висновок, що оцінка джерел білка вимагає комплексної оцінки їхньої харчової якості. Окрім загального вмісту білка, особливо вирішальну роль відіграють амінокислотний профіль, біологічна цінність та потенційні метаболічні ефекти. Таким чином, результати, представлені в теоретичному розділі, складають наукову основу для подальшого аналізу білкових добавок та їх потенційного впливу на сигнальний шлях mTOR.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АМІНОКИСЛОТНОГО СКЛАДУ БІЛКОВИХ ДОБАВОК

2.1. Опис методів аналізу амінокислотного складу білкових продуктів та обґрунтування вибору білкових добавок

Оцінка харчової якості білкових продуктів базується не виключно на загальному вмісті білка, а головним чином на складі амінокислот, які вони містять. Хоча різні джерела білка можуть забезпечувати подібну кількість білка, вони часто суттєво відрізняються за вмістом незамінних амінокислот, їхньою біологічною цінністю та їх метаболічним впливом на організм людини. З цієї причини аналіз амінокислотного профілю є центральним методом у сучасній науці про харчування [1, 2].

В рамках цієї роботи було проведено порівняльний аналіз комерційно доступних білкових препаратів тваринного та рослинного походження. Це дослідження базується на профілях амінокислот, опублікованих виробниками, які були взяті з сертифікатів якості, технічних паспортів та офіційної інформації про продукт. Цей підхід часто використовується в порівняльних дослідженнях харчування, коли доступні стандартизовані дані про продукт.

Для забезпечення об'єктивної порівняльності всі значення амінокислот були нормалізовані до 100 г білка. Ця стандартизація усуває відмінності в загальному вмісті білка в продуктах, тим самим дозволяючи оцінити виключно якісні відмінності у складі білка. Крім того, ця нормалізація дозволяє безпосередньо порівнювати джерела білка різного походження.

Дослідження включало застосування кількох аналітичних та статистичних методів. Перший метод полягав у порівняльному аналізі профілів амінокислот, де систематично порівнювалися концентрації окремих амінокислот, а також функціональних груп амінокислот. Цей метод служить для виявлення відмінностей між джерелами білка тваринного та рослинного походження та оцінки їхньої потенційної харчової значущості.

Особлива увага була приділена аналізу амінокислот з розгалуженим ланцюгом (ВСАА), зокрема лейцину, ізолейцину та валіну. Визначення вмісту ВСАА є поширеною практикою у спортивному харчуванні, оскільки ці амінокислоти відіграють вирішальну роль у регулюванні м'язового метаболізму. Крім того, вони служать маркерами потенційної здатності білка підтримувати нарощування м'язового білка [10, 12].

Крім того, окремо було проаналізовано вміст лейцину в досліджуваних білкових добавках. Лейцин вважається найважливішою амінокислотою для активації сигнального шляху mTOR і, як наслідок, для стимуляції синтезу м'язового білка. Завдяки своїй ключовій ролі, лейцин часто використовується в наукових дослідженнях як індикатор анаболічної якості білка [7, 12].

Окрім лейцину, також було досліджено вміст аргініну. Аргінін є функціонально значущою амінокислотою та попередником синтезу оксиду азоту (NO). Оксид азоту впливає на функцію судин, кровотік та різні механізми клітинної сигналізації. Оскільки джерела білка рослинного походження часто демонструють вищі концентрації аргініну, ніж білки тваринного походження, аналіз цієї амінокислоти дозволяє провести нюансовану оцінку потенційних метаболічних переваг, пов'язаних з білковими продуктами рослинного походження [9].

Для цілей статистичної оцінки також було проведено кореляційний аналіз. Кореляційний аналіз - це математико-статистичний метод, який використовується для дослідження взаємозв'язків між різними змінними. Використовуючи коефіцієнт кореляції, можна визначити, чи пов'язані високі рівні певної амінокислоти з високими чи низькими рівнями інших амінокислот. Такий підхід полегшує ідентифікацію характерних амінокислотних структур і дозволяє описувати функціональні зв'язки в межах білкових профілів.

Для цього дослідження було відібрано десять комерційно доступних білкових добавок, які представляють одні з найбільш часто використовуваних продуктів у сферах спортивного харчування, профілактичної нутриціології та дієтичних режимів з високим вмістом білка. Метою цього вибору продуктів було проведення порівняльного аналізу джерел білка як тваринного, так і рослинного походження з точки зору їх амінокислотного складу, біологічної цінності та потенційного метаболічного впливу.

Процес вибору керувався кількома критеріями. Враховувалися різноманітні джерела білка, різні форми технологічної обробки та продукти від всесвітньо відомих виробників. Метою було надати огляд доступних на даний момент білкових добавок, який був би максимально репрезентативним.

Дослідження охоплювало як джерела білка тваринного походження, такі як сироватковий білок, казеїн та яечний білок, так і джерела білка рослинного походження, включаючи сою, горох та багатокомпонентні рослинні білки.

Тваринні білки зазвичай характеризуються високою засвоюваністю, повним амінокислотним профілем та високою концентрацією незамінних амінокислот. Рослинні білкові добавки, навпаки, набувають дедалі більшої популярності, особливо в контексті вегетаріанських та веганських дієт, а також концепцій сталого харчування [4, 15, 16].

Ще одним критерієм відбору був ступінь обробки досліджуваних продуктів. Аналіз охоплює білкові концентрати, білкові ізоляти, гідролізати та білкові суміші. Ці категорії відрізняються вмістом білка, швидкістю засвоєння та біодоступністю. Гідролізовані білки, наприклад, містять пептиди, які вже частково розщеплені, і тому засвоюються особливо швидко, тоді як повільно засвоювані білки, такі як казеїн, можуть постачати амінокислоти протягом тривалого періоду [3].

Крім того, було відібрано продукти різних всесвітньо відомих виробників, включаючи Optimum Nutrition, MyProtein, Dymatize, NOW Foods, Sunwarrior, Orgain та Garden of Life. Ці продукти є одними з найпоширеніших харчових добавок у сферах фітнесу, здоров'я та змагального спорту, водночас представляючи різноманітні стратегії харчування.

Класифікація проаналізованих білкових добавок представлена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Класифікація обраних білкових добавок

Група	Обрані продукти
Сироваткові протеїни	Optimum Nutrition Gold Standard Whey; MyProtein Impact Whey; Dymatize ISO100
Казеїнові протеїни	Optimum Nutrition Casein
Ячний протеїн	NOW Foods Egg White Protein
Соевий протеїн	MyProtein Soy Isolate
Гороховий протеїн	MyProtein Pea Isolate
Суміші рослинних протеїнів	Sunwarrior Warrior Blend; Orgain Organic Protein; Garden of Life Raw Organic Protein

Білкові добавки тваринного походження включають сироваткові протеїни, казеїн та яечний білок. Сироватковий протеїн вважається одним із найкращих джерел білка, що характеризується високою біологічною цінністю, швидким травленням та високим вмістом незамінних амінокислот. Особливої уваги заслуговує висока частка амінокислот з розгалуженим ланцюгом (BCAA), зокрема лейцину, який вважається ключовим активатором сигнального шляху mTOR [7, 12].

У категорії сироваткових протеїнів розглядалися різні технологічні форми. Білкові концентрати містять невелику кількість вуглеводів та жирів на додаток до білка. Білкові ізоляти, навпаки, мають вищий вміст білка, а також нижчий рівень лактози та жиру. Гідролізати, такі як продукт Dymatize ISO100, містять пептиди, які вже частково ферментативно розщеплені, що сприяє особливо швидкому всмоктуванню в травному тракті [3].

Казеїн є основним білковим компонентом молока та суттєво відрізняється від сироваткового протеїну за кінетикою травлення. У шлунку казеїн утворює гелеподібні структури, що уповільнює спорожнення шлунка та подовжує вивільнення амінокислот протягом кількох годин. З цієї причини казеїн часто використовується для забезпечення поживної підтримки протягом тривалих періодів без їжі або перед сном.

Яечний білок традиційно вважається еталонним білком, що має високу біологічну цінність. Він має повний амінокислотний профіль і чудову засвоюваність. Завдяки збалансованому вмісту незамінних амінокислот, його часто використовують як порівняльний стандарт у дослідженнях харчування [1].

Білкові добавки рослинного походження включають соєвий білок, гороховий білок та різні багатокомпонентні суміші. Порівняно з джерелами білка тваринного походження, рослинні білки іноді демонструють нижчу концентрацію окремих незамінних амінокислот; однак вони часто містять більшу кількість аргініну, а також різних біоактивних рослинних сполук [15].

Серед рослинних білків соєвий білок має найвищу біологічну цінність і містить усі незамінні амінокислоти. Завдяки своєму порівняно повному амінокислотному профілю, він часто використовується як рослинна альтернатива джерелам білка тваринного походження. Крім того, соєвий білок містить високу концентрацію аргініну та глутаміну.

Гороховий білок характеризується особливо високим вмістом аргініну, а також хорошою переносимістю. Водночас він містить меншу кількість сірковмісних амінокислот, зокрема метіоніну. Отже, гороховий білок часто поєднують з іншими рослинними джерелами білка для покращення якості білка.

Рослинні білкові суміші, розглянуті в цьому дослідженні, поєднують різні види сировини, такі як горохові, рисові або насінневі білки. Поєднуючи різні джерела білка, можна частково компенсувати обмеження амінокислот і покращити біологічну цінність. Такі багатоконпонентні продукти набувають дедалі більшого значення, особливо в контексті веганських дієт [15, 16].

Для подальшого аналізу амінокислотні профілі всіх вибраних білкових добавок були систематично записані та стандартизовані до 100 г білка. Результати цього збору даних представлені в таблиці 2.2 та слугують основою для подальших аналізів щодо вмісту ВСАА, лейцину та аргініну, а також для статистичних та харчових розрахунків.

Таблиця 2.2.

Порівняльна характеристика досліджуваних білкових препаратів

№	Продукт	Тип білка	Білок/ 100 г	Лейцин	Ізолейци н	Валі н	ВСАА	Лізин	Метіонін	Аргінін	Глутамі н	Джерело
1	Optimum Nutrition Gold Standard Whey	тваринний	79	8,98	5,73	4,74	22,8	8,09	1,67	1,92	15,12	сироватка молока
2	MyProtein Impact Whey	тваринний	74	10,6	6,4	5,9	23,7	9,6	2,2	2,1	18,1	сироватка молока
3	Dymatize ISO100	тваринний	78	8,5	5,2	4,5	25,3	7,7	1,7	1,5	13,9	гідролізат сироватков ого білка
4	Optimum Nutrition Casein	тваринний	74	7,3	4,6	5,4	17,3	6,5	2,3	2,4	18,5	казеїн молока
5	NOW Foods Egg White Protein	тваринний	78	8,1	5,6	6,2	19,9	6,8	3,4	5,8	12	ячний білок
6	MyProtein Soy Isolate	рослинний	83	8,2	4,9	5	16	6,3	1,3	7,6	19,1	соєвий ізолят
7	MyProtein Pea Isolate	рослинний	80	7	4,6	4,3	15,9	6,5	0,9	8,5	12,5	гороховий ізолят
8	Sunwarrior Warrior Blend	рослинний	80	7,4	4,5	4,6	16,5	6,3	1	7,8	13,8	суміш рослинних білків
9	Orgain Organic Protein	рослинний	70	8,4	4,7	5,8	14,6	3,9	2,5	8	17,2	суміш рослинних білків
10	Garden of Life Raw Organic Protein	рослинний	72	6,4	4,3	4,4	15,1	6	1	7,5	13,2	суміш рослинних білків

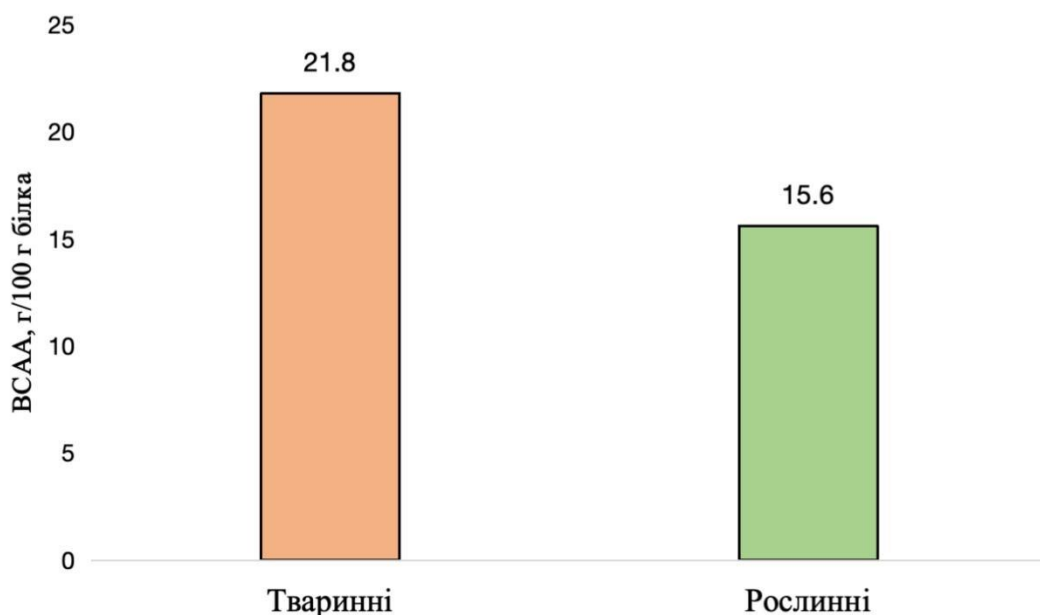
2.2. Порівняльне дослідження амінокислотного складу білкових добавок

2.2.1. Аналіз вмісту ВСАА у білкових добавках

Амінокислоти з розгалуженим ланцюгом (ВСАА) — лейцин, ізолейцин та валін — класифікуються як незамінні амінокислоти та відіграють центральну роль у білковому та енергетичному обміні, а також у підтримці м'язової маси. ВСАА мають особливе значення в галузі спортивного та клінічного харчування, оскільки вони безпосередньо беруть участь у регулюванні синтезу м'язового білка та його відновлення після фізичних навантажень.

На рисунку 2.2.1 показано середній вміст ВСАА у білкових добавках тваринного та рослинного походження. Результати показують суттєві відмінності між двома групами. Середній вміст ВСАА у білкових добавках тваринного походження становив 21,8 г на 100 г білка, тоді як білкові добавки рослинного походження містили в середньому лише 15,6 г ВСАА на 100 г білка. Отже, вміст ВСАА у білках тваринного походження був приблизно на 40% вищим, ніж у рослинних джерелах білка.

Рисунок 2.2.1 – Середній вміст ВСАА у тваринних і рослинних білкових добавках



Найвищі концентрації ВСАА спостерігалися в сироваткових білках. Помітно високі значення були зафіксовані для Dymatize ISO100 з 25,3 г/100 г білка та MyProtein Impact Whey з 23,7 г/100 г білка. Ці результати можна

пояснити високою біологічною цінністю сироваткового протеїну, а також його високим вмістом незамінних амінокислот. Сироваткові протеїни демонструють чудову засвоюваність, високу біодоступність та високі показники DIAAS та PDCAAS, що сприяє особливо ефективній стимуляції синтезу м'язового білка [6].

Досліджувана добавка з казеїном показала нижчі значення, ніж сироваткові протеїни, з 17,3 г ВСАА на 100 г білка; однак вона містила порівняно високу кількість глутаміну. Завдяки повільнішому шлунково-кишковому всмоктуванню, казеїн призводить до більш тривалого вивільнення амінокислот і тому часто використовується для підтримки антикатаболічних процесів. Серед рослинних білкових добавок, білкові суміші та, зокрема, ізолят соєвого білка продемонстрували порівняно вищий рівень ВСАА. Суміш Sunwarrior Warrior Blend містила 16,5 г ВСАА на 100 г білка, тоді як соєвий ізолят MyProtein досяг 16,0 г на 100 г білка. Загалом нижчий рівень ВСАА, що міститься в рослинних білках, пов'язаний з їх специфічними амінокислотними профілями та наявністю лімітуючих амінокислот. Крім того, засвоюваність рослинних білків може бути знижена антинутритивними факторами, такими як фітати або інгібітори протеаз [2].

І навпаки, білкові добавки рослинного походження демонстрували вищий рівень аргініну, ніж білки тваринного походження. Аргінін служить попередником для синтезу оксиду азоту (NO) і відіграє значну роль у регулюванні судинної функції, а також метаболічних процесів. Це свідчить про те, що, незважаючи на нижчий вміст ВСАА, рослинні білки можуть пропонувати певні метаболічні переваги.

Загалом, результати показують, що білкові добавки тваринного походження, зокрема сироваткові білки, мають вищу концентрацію ВСАА і, отже, більший анаболічний потенціал. Однак, поєднуючи різні джерела рослинного білка, можна покращити амінокислотний профіль та підвищити біологічну цінність рослинних білків.

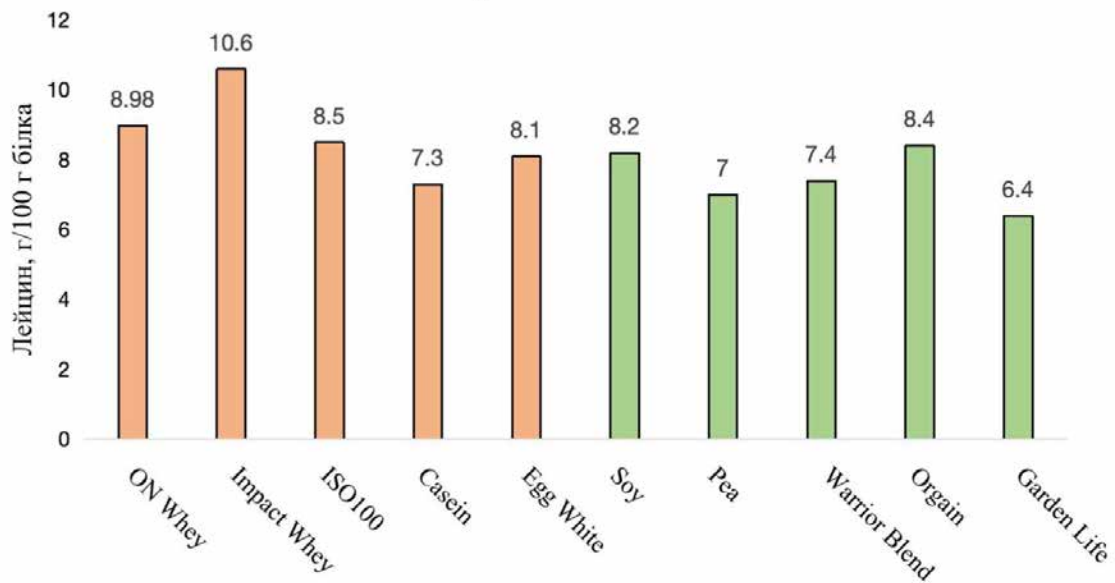
2.2.2. Аналіз вмісту лейцину як ключового активатора mTOR

Лейцин класифікується як амінокислота з розгалуженим ланцюгом (BCAA) і займає унікальне місце в метаболізмі амінокислот, оскільки вважається найважливішим поживнозалежним активатором сигнального шляху mTORC1 (механістична мішень комплексу рапаміцину 1). Активація mTORC1 стимулює трансляцію м'язових структурних білків, тим самим сприяючи синтезу м'язового білка. З цієї причини вміст лейцину в білкових добавках має велике значення в спортивному харчуванні, нарощуванні м'язів та клінічних стратегіях харчування.

На рисунку 2.2.2 показано вміст лейцину в аналізованих білкових добавках тваринного та рослинного походження. Результати показують чіткі відмінності між окремими джерелами білка. Найвищий рівень лейцину спостерігався в сироваткових білках. MyProtein Impact Whey продемонстрував найвищу концентрацію серед усіх протестованих добавок, що містить 10,6 г лейцину на 100 г білка. Аналогічно високі рівні продемонстрували Optimum Nutrition Gold Standard Whey з 8,98 г/100 г білка та Dymatize ISO100 з 8,5 г/100 г білка.

Висока концентрація лейцину, що міститься в сироваткових білках, має особливе біохімічне значення, оскільки лейцин безпосередньо стимулює активність комплексу mTORC1. Це активує ключові трансляційні процеси, зокрема, через фосфорилування кінази p70S6 та 4E-BP1, серед інших механізмів. Це призводить до посилення синтезу скоротливих м'язових білків та підтримує анаболічні метаболічні процеси. Крім того, завдяки швидкому засвоєнню, сироваткові білки викликають швидке підвищення постпрандіальної концентрації амінокислот у крові, тим самим ще більше посилюючи активацію mTOR [7].

Рисунок 2.2.2 – Вміст лейцину у досліджуваних білкових добавках



Досліджувана добавка з казеїном демонструвала нижчі рівні, ніж сироваткові білки, містячи 7,3 г лейцину на 100 г білка. Тим не менш, через повільну швидкість перетравлення, казеїн має значний антикатаболічний ефект, оскільки амінокислоти вивільняються безперервно протягом тривалого періоду. Це дозволяє зменшити розпад м'язового білка, особливо протягом тривалих періодів без прийому їжі.

Загалом, рослинні білкові добавки демонстрували нижчу концентрацію лейцину. Найвищі значення в цій групі спостерігалися в органічному протеїні Orgain з 8,4 г/100 г білка та соєвому ізоляті MyProtein з 8,2 г/100 г білка. Натомість, сирий органічний протеїн Garden of Life містив лише 6,4 г лейцину на 100 г білка. Нижчий вміст лейцину в рослинних білках пов'язаний з їх специфічним амінокислотним профілем, а також з нижчою концентрацією незамінних амінокислот [2].

Оскільки лейцин вважається ключовим фактором синтезу м'язового білка, значення має не лише загальна кількість споживаного білка, але й, що ще важливіше, абсолютне споживання лейцину за один прийом їжі. У літературі часто описується так званий «лейциновий поріг» приблизно 2–3 г лейцину за один прийом їжі, що необхідно для досягнення максимальної активації синтезу

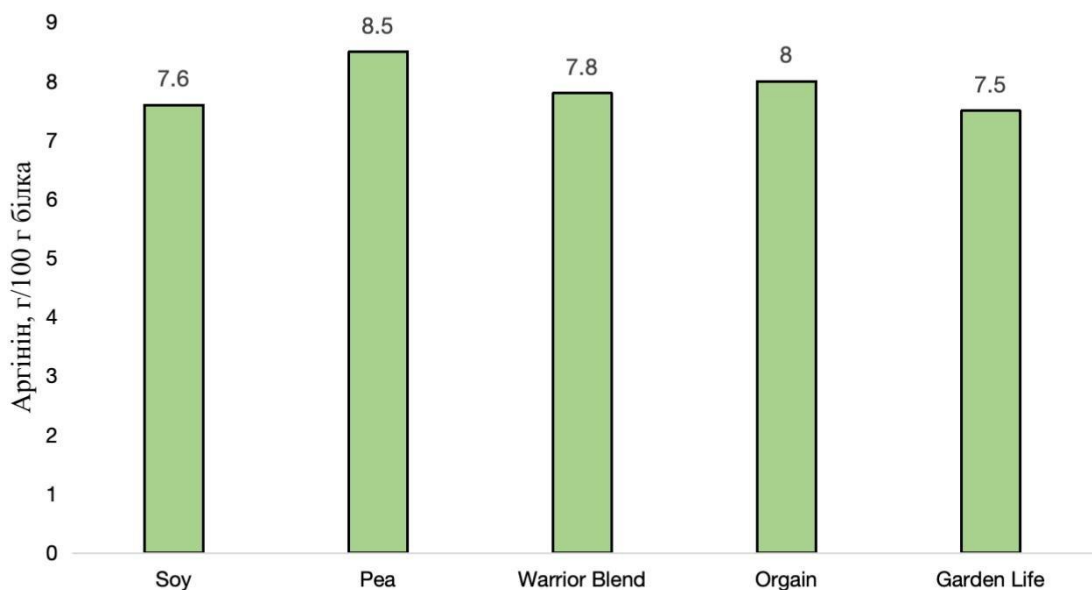
м'язового білка. Отже, джерела білка з високою щільністю лейцину мають більший анаболічний потенціал [8].

Загалом, результати показують, що білкові добавки тваринного походження, зокрема сироваткові протеїни, мають найвищу концентрацію лейцину і тому можуть найефективніше сприяти активації сигнального шляху mTOR. Хоча рослинні джерела білка містять меншу кількість лейцину, це можна частково компенсувати, поєднуючи різні джерела білка або збільшуючи загальне споживання білка.

2.2.3. Аналіз вмісту аргініну та особливостей рослинних білків

Аргінін є однією з функціонально значущих амінокислот у метаболізмі людини та виконує численні фізіологічні ролі. Хоча аргінін, як правило, може синтезуватися ендогенно у здорових дорослих, потреба організму в ньому значно зростає за певних метаболічних умов, наприклад, під час інтенсивних фізичних навантажень, стресу, травми чи хвороби. Аргінін особливо важливий як попередник для синтезу оксиду азоту (NO), який відіграє вирішальну роль у регулюванні судинної функції, кровотоку та клітинної сигналізації.

Рисунок 2.2.3 – Вміст аргініну у рослинних білкових добавках



На рисунку 2.2.3 показано вміст аргініну в аналізованих білкових добавках рослинного походження. Порівняно з джерелами білка тваринного походження,

рослинні білки зазвичай демонструють значно вищу концентрацію аргініну. Найвищі значення були зафіксовані для ізоляту гороху MyProtein – 8,5 г аргініну на 100 г білка. Високі концентрації також спостерігалися в органічному протеїні Orgain (8,0 г/100 г білка) та суміші Sunwarrior Warrior Blend (7,8 г/100 г білка). Серед рослинних добавок найнижчі значення спостерігалися в сирому органічному протеїні Garden of Life (7,5 г/100 г білка); однак ці значення залишалися значно вищими, ніж концентрації, виявлені в білкових добавках тваринного походження.

Підвищений вміст аргініну в рослинних білках пояснюється, перш за все, високою часткою білків бобового походження. Зокрема, білки гороху та сої містять велику кількість аргініну, оскільки ця амінокислота відіграє життєво важливу роль в азотному обміні та функціях зберігання насіння рослин. З точки зору харчування, це може позитивно впливати на ендотеліальну функцію, вазодилатацію та м'язовий кровотік.

У сфері спортивного харчування аргінін часто асоціюється з посиленням вироблення NO та збільшенням кровотоку під час фізичних навантажень. Теоретично, посилений синтез NO може покращити доставку кисню та поживних речовин до м'язів. Водночас слід враховувати, що фактичний фізіологічний ефект від збільшення споживання аргініну залежить від численних факторів і оцінюється дещо по-різному в різних наукових дослідженнях [9].

Окрім високого вмісту аргініну, білкові добавки рослинного походження мають інші характерні властивості. Вони часто містять більшу кількість певних незамінних амінокислот, а також біоактивні рослинні сполуки, харчові волокна та вторинні рослинні метаболіти. І навпаки, порівняно з джерелами білка тваринного походження, рослинні білки часто демонструють нижчу концентрацію незамінних амінокислот, зокрема лейцину та метіоніну. Крім того, їх засвоюваність може бути знижена антинутриєнтними речовинами, такими як фітати, таніни або інгібітори протеаз.

Ще одним важливим аспектом рослинних білкових добавок є поєднання різних джерел білка для покращення амінокислотного профілю. Поєднуючи білки бобових та зернових, можна частково компенсувати обмеження амінокислот та підвищити біологічну цінність. Це особливо помітно в змішаних добавках, таких як Sunwarrior Warrior Blend або Orgain Organic Protein, які поєднують різні рослинні джерела білка.

Загалом, ці результати показують, що хоча рослинні білкові добавки можуть містити меншу кількість ВСАА та лейцину, вони можуть одночасно пропонувати специфічні метаболічні переваги завдяки високому вмісту аргініну. Зокрема, горохові та соєві білки є значними рослинними джерелами аргініну і тому становлять потенційний інтерес для спортивного харчування та профілактичних дієтичних стратегій.

2.2.4. Порівняльний аналіз тваринних та рослинних білкових продуктів

Результати, представлені в таблиці 2.2.4, показують суттєві відмінності між білковими добавками тваринного та рослинного походження щодо їх амінокислотних профілів, біологічної цінності та потенційного метаболічного ефекту. У той час як джерела білка тваринного походження характеризувалися, зокрема, високою концентрацією амінокислот з розгалуженим ланцюгом (ВСАА) та лейцину, білкові добавки рослинного походження відрізнялися переважно вищим рівнем аргініну.

Середній вміст білка між двома групами відрізнявся лише незначно. Білкові добавки тваринного походження містили в середньому 76,6 г білка на 100 г продукту, тоді як добавки рослинного походження містили 77,0 г на 100 г продукту. Однак, незважаючи на порівнянну загальну кількість білка, спостерігалися значні відмінності в якісному складі білків.

Таблиця 2.2.4

Порівняльна характеристика тваринних і рослинних білкових добавок

Показник	Тваринні білкові добавки	Рослинні білкові добавки
Середній вміст білка, г/100 г	76,6	77,0
Середній вміст ВСАА, г/100 г білка	21,8	15,6
Середній вміст лейцину, г/100 г білка	8,7	7,5
Середній вміст аргініну, г/100 г білка	2,74	7,88
Біологічна цінність	висока	середня
Засвоюваність	висока	помірна
Швидкість всмоктування	висока	помірна
Лімітуючі амінокислоти	практично відсутні	метіонін, лізин
Характерні особливості	високий вміст ВСАА та лейцину	високий вміст аргініну
Потенціал активації mTOR	високий	помірний

Як показано в таблиці 2.2.4, середній вміст ВСАА у білкових добавках тваринного походження становив 21,8 г на 100 г білка, тоді як добавки рослинного походження містили в середньому лише 15,6 г ВСАА на 100 г білка. Середній вміст лейцину також був вищим у білках тваринного походження (8,7 г/100 г білка проти 7,5 г/100 г білка). Ці відмінності мають суттєве метаболічне значення, оскільки лейцин, зокрема, вважається ключовим активатором сигнального шляху mTORC1, тим самим стимулюючи синтез м'язового білка [7].

Зокрема, сироваткові білки характеризувалися високою концентрацією незамінних амінокислот, а також високою біологічною цінністю. Завдяки швидкому засвоєнню та високій біодоступності вони призводять до швидкого постпрандіального підвищення концентрації амінокислот у крові, тим самим сприяючи анаболічним метаболічним процесам. Відповідно, було виявлено, що

білкові добавки тваринного походження мають загалом вищий потенціал для активації сигнального шляху mTOR.

На противагу цьому, білкові добавки рослинного походження демонстрували значно вищий рівень аргініну. Середній вміст аргініну становив 7,88 г на 100 г білка, що значно вище, ніж у джерелах тваринного білка (2,74 г/100 г білка). Аргінін служить попередником для синтезу оксиду азоту (NO), який відіграє вирішальну роль у регулюванні судинної функції та кровотоку. Зокрема, білки гороху та сої демонстрували високу концентрацію аргініну [9].

Крім того, дві групи білків відрізнялися за своєю засвоюваністю та біологічною цінністю. Тваринні білки мають високу біологічну цінність завдяки своєму сприятливому амінокислотному профілю та високій засвоюваності. На противагу цьому, білкові добавки рослинного походження часто містять лімітні амінокислоти, такі як метіонін або лізин, і зазвичай демонструють нижчу засвоюваність. Крім того, їхня біодоступність може бути порушена антинутриційними факторами, такими як фітати або інгібітори протеаз.

Тим не менш, джерела білка рослинного походження пропонують чіткі харчові переваги. Поєднуючи різні рослинні білки, можна покращити амінокислотний профіль та підвищити біологічну цінність. Змішані добавки, отримані з різних джерел рослинного білка, зазвичай демонструють сприятливіші амінокислотні профілі, ніж білки з одного джерела.

Підсумовуючи, результати, представлені в таблиці 3.4, демонструють, що білкові добавки тваринного походження є кращими, особливо щодо вмісту ВСАА та лейцину, а також їхнього анаболічного потенціалу. І навпаки, білкові добавки рослинного походження мають вищий рівень аргініну та можуть слугувати цінною альтернативою в контексті рослинних дієт. Завдяки розумному поєднанню різних джерел рослинного білка їх поживну цінність можна ще більше покращити.

2.2.5. Кореляційний аналіз амінокислотного складу

Кореляційний аналіз, представлений у Таблиці 2.2.5, ілюструє взаємозв'язки між аналізованими амінокислотами та функціональними групами амінокислот у білкових препаратах. За допомогою кореляційної матриці було виявлено як позитивні, так і негативні зв'язки між окремими параметрами.

Таблиця 2.2.5

Кореляційна матриця аналізованих амінокислот та груп амінокислот у білкових препаратах

	Leu	BCAA	Lys	Met	Arg
Leu	1,00	0,70	0,62	0,41	-0,58
BCAA	0,70	1,00	0,83	0,27	-0,86
Lys	0,62	0,83	1,00	0,02	-0,73
Met	0,41	0,27	0,02	1,00	-0,33
Arg	-0,58	-0,86	-0,73	-0,33	1,00

Як зазначено в Таблиці 2.2.5, найсильніша позитивна кореляція спостерігалася між загальним вмістом ВСАА та лізином ($r = 0,83$). Це свідчить про те, що білкові препарати з високою концентрацією амінокислот з розгалуженим ланцюгом одночасно демонструють вищий рівень лізину. Оскільки лізин є незамінною амінокислотою, що має центральне значення для синтезу білка, росту та регенерації, цей зв'язок вказує на високу біологічну цінність таких джерел білка.

Також була виявлена сильна позитивна кореляція між лейцином та ВСАА ($r = 0,70$). Цей результат є біологічно правдоподібним, оскільки сам лейцин належить до амінокислот з розгалуженим ланцюгом і становить значну частину загальної фракції ВСАА. Крім того, спостерігався позитивний зв'язок між лейцином та лізином ($r = 0,62$), що вказує на те, що багаті на лейцин білкові препарати часто містять підвищені концентрації й інших незамінних амінокислот.

На противагу цьому, результати, представлені в таблиці 2.2.5, виявляють лише слабкі зв'язки між метіоніном та рештою параметрів. Кореляція між метіоніном та лізином була особливо низькою ($r = 0,02$), тоді як лише помірні

зв'язки спостерігалися з лейцином ($r = 0,41$) та ВСАА ($r = 0,27$). Це свідчить про те, що вміст метіоніну значною мірою змінюється незалежно від вмісту ВСАА. Особливо слід відзначити сильну негативну кореляцію між аргініном та ВСАА ($r = -0,86$). Аналогічно, негативні зв'язки спостерігалися між аргініном та лізином ($r = -0,73$), а також між аргініном та лейцином ($r = -0,58$). Ці результати підкреслюють фундаментальні відмінності між джерелами білка тваринного та рослинного походження. У той час як білкові добавки тваринного походження демонструють високу концентрацію ВСАА, лейцину та лізину, білкові добавки рослинного походження містять значно більшу кількість аргініну.

Загалом, кореляційний аналіз, представлений у таблиці 2.2.5, підтверджує раніше спостережувані відмінності в амінокислотних профілях досліджуваних білкових добавок. Джерела білка тваринного походження мають більш анаболічний амінокислотний профіль, що характеризується вищою концентрацією незамінних амінокислот та амінокислот з розгалуженим ланцюгом, тоді як білкові добавки рослинного походження характеризуються переважно високим вмістом аргініну. Ці відмінності можуть пояснювати різні метаболічні ефекти та різне харчове застосування, пов'язані з цими відповідними джерелами білка.

2.2.6. Кластерний аналіз білкових добавок за амінокислотним профілем

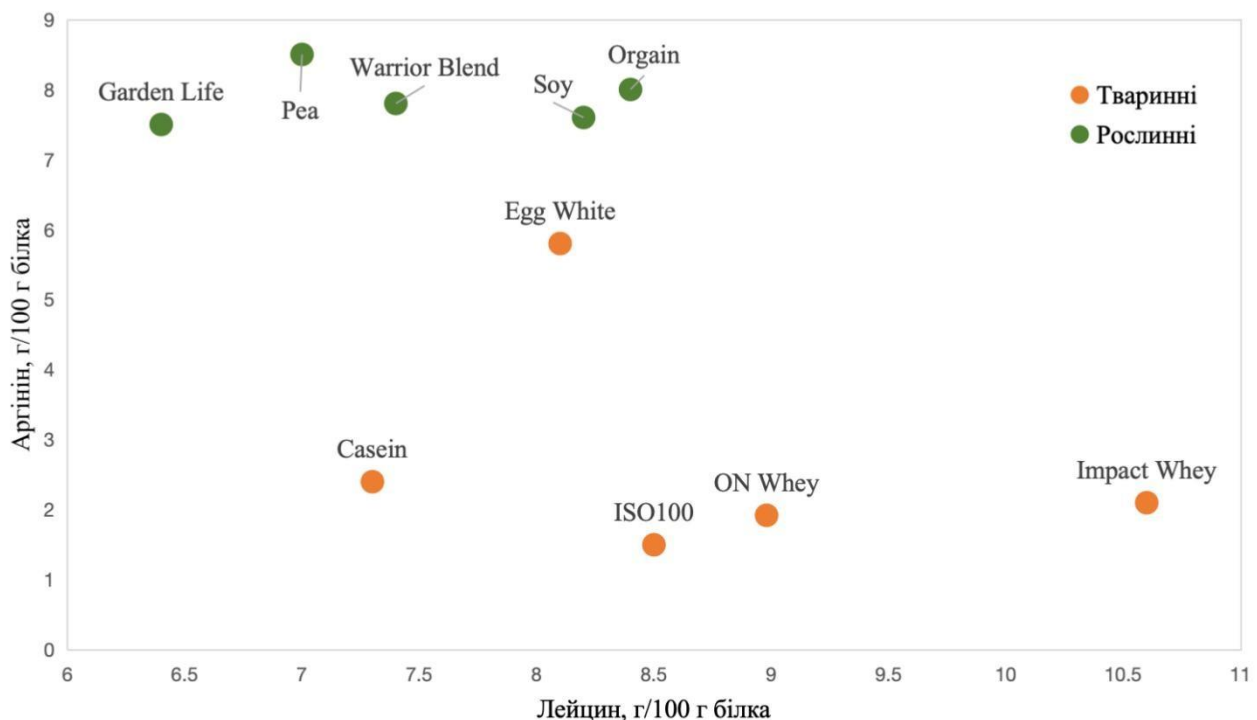
Кластерний аналіз досліджуваних білкових добавок було проведено на основі вмісту в них лейцину та аргініну. Результати представлені на рисунку 3.6 та демонструють чітке групування білкових добавок відповідно до їх походження та амінокислотного профілю.

Як показано на рисунку 2.2.6, білкові добавки тваринного походження утворили окремий кластер, що характеризується високою концентрацією лейцину та порівняно низьким рівнем аргініну. Особливо високі значення лейцину спостерігалися в Impact Whey, ON Whey та ISO100. Ці білкові добавки

відрізняються сильним анаболічним амінокислотним профілем і, завдяки високому вмісту амінокислот з розгалуженим ланцюгом, мають підвищений потенціал для активації сигнального шляху mTORC1 та стимуляції синтезу м'язового білка.

У групі білків тваринного походження казеїн та яєчний білок займали дещо окреме місце. Хоча ці добавки також тваринного походження, вони демонстрували нижчу концентрацію лейцину – і одночасно вищий рівень аргініну – порівняно з сироватковими білками. Це свідчить про відмінності в їх біологічній цінності, швидкості засвоєння та метаболічних ефектах.

Рисунок 2.2.6 – Кластерний аналіз білкових добавок за вмістом лейцину та аргініну



Білкові добавки рослинного походження утворили другий, чітко окремий кластер. Ці продукти характеризувалися вищою концентрацією аргініну, а також нижчими значеннями лейцину. Особливо високий рівень аргініну спостерігався в гороховому протеїні, органічному протеїні Orgain та суміші Warrior Blend. Підвищений вміст аргініну в рослинних джерелах білка може запропонувати метаболічні переваги щодо синтезу оксиду азоту, судинної функції та регуляції ендотелію.

У кластері рослинного походження соєвий ізолят займав проміжне положення, оскільки ця добавка демонструвала вищу концентрацію лейцину порівняно з іншими рослинними білками. Отже, його амінокислотний профіль частково наближається до профілю джерел білка тваринного походження. Це підкреслює порівняно високу біологічну цінність соєвого білка серед рослинних білкових добавок. Загалом, кластерний аналіз підтверджує раніше спостережувані відмінності між джерелами білка тваринного та рослинного походження. Білкові добавки тваринного походження характеризуються переважно високою концентрацією лейцину та ВСАА, тим самим демонструючи більш анаболічний профіль. Рослинні білки, навпаки, мають вищий рівень аргініну та можуть запропонувати специфічні метаболічні переваги, особливо в контексті рослинних дієт.

Результати кластерного аналізу таким чином демонструють, що білкові добавки можна чітко класифікувати на окремі функціональні групи на основі їх амінокислотних профілів. Ці відмінності можуть бути значущими при виборі відповідних джерел білка для спортивного харчування, клінічного харчування та профілактичної нутриціології.

Висновки до розділу 2

У другому розділі було проведено порівняльний аналіз амінокислотного складу десяти комерційно доступних білкових добавок тваринного та рослинного походження. Для забезпечення коректного порівняння всі показники було стандартизовано до 100 г білка, що дозволило оцінити якісні характеристики досліджуваних джерел білка незалежно від загального вмісту протеїну в продуктах.

Встановлено, що білкові добавки тваринного походження характеризуються вищим вмістом амінокислот з розгалуженим ланцюгом (ВСАА) та лейцину порівняно з рослинними аналогами. Середній вміст ВСАА у тваринних білках становив 21,8 г/100 г білка, тоді як у рослинних – 15,6 г/100 г

білка. Найвищі показники були зафіксовані для сироваткових білків, зокрема Dymatize ISO100 та MyProtein Impact Whey.

Аналіз вмісту лейцину показав, що найбільшу його концентрацію містять сироваткові протеїни, які мають найвищий потенціал щодо активації сигнального шляху mTOR та стимуляції синтезу м'язового білка. Серед рослинних джерел найкращі показники продемонстрували соєвий ізолят та багатокomпонентні рослинні суміші.

Дослідження вмісту аргініну засвідчило перевагу рослинних білкових добавок. Найвищі концентрації аргініну були виявлені в гороховому протеїні, соєвому ізоляті та змішаних рослинних білках. Це свідчить про потенційні переваги рослинних джерел білка щодо підтримання синтезу оксиду азоту та регуляції судинної функції.

Порівняльний аналіз показав, що за загальним вмістом білка тваринні та рослинні добавки є практично однаковими, проте суттєво відрізняються за амінокислотним профілем. Тваринні білки характеризуються вищою біологічною цінністю, кращою засвоюваністю та більшим анаболічним потенціалом, тоді як рослинні білки відзначаються підвищеним вмістом аргініну та можуть бути ефективною альтернативою в раціонах рослинного спрямування.

Результати кореляційного аналізу підтвердили тісний позитивний зв'язок між вмістом ВСАА, лейцину та лізину, а також виражений негативний зв'язок між аргініном і ВСАА. Це свідчить про існування двох різних типів амінокислотних профілів, характерних для тваринних і рослинних джерел білка.

Кластерний аналіз дозволив чітко розділити досліджувані білкові добавки на дві основні групи відповідно до їх походження та амінокислотного складу. Білки тваринного походження сформували кластер із високим вмістом лейцину та ВСАА, тоді як рослинні білки об'єдналися в окремий кластер із підвищеним вмістом аргініну. Отримані результати підтверджують, що вибір білкової добавки повинен здійснюватися з урахуванням цілей харчування, фізіологічних потреб організму та бажаного метаболічного ефекту.

3. РОЗРАХУНКОВО-АНАЛІТИЧНА ОЦІНКА МЕТАБОЛІЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ БІЛКОВИХ ДОБАВОК ТА ЇЇ ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ НУТРИЦІОЛОГІЇ ТА ГРОМАДСЬКОГО ЗДОРОВ'Я

3.1. Розрахунково-аналітична оцінка метаболічного потенціалу білкових добавок

3.1.1. Розрахунок умовного індексу активації mTOR

Для оцінки потенційного анаболічного ефекту досліджуваних білкових добавок було розраховано умовний індекс активації mTOR. Цей індекс базується на вмісті лейцину, ВСАА та лізину, оскільки лейцин, зокрема, вважається центральним активатором сигнального шляху mTOR та відіграє вирішальну роль у стимуляції синтезу м'язового білка.

Для розрахунку було використано таку формулу:

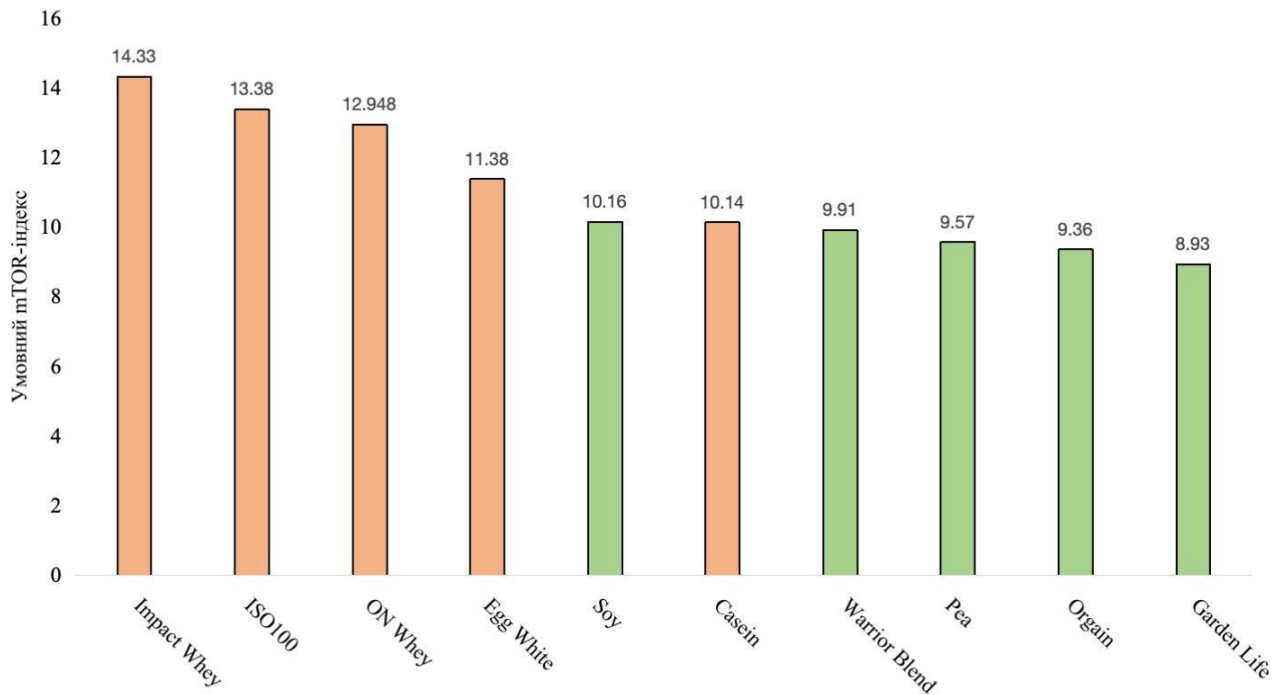
$$\text{Індекс mTOR} = \text{Лейцин} + (0,5 \times \text{ВСАА}) + (0,25 \times \text{Лізін})$$

У цій формулі вміст лейцину був повністю зважений, тоді як загальний вміст ВСАА був зважений з коефіцієнтом 0,5, а вміст лізину - з коефіцієнтом 0,25. Ця спрощена модель дозволяє порівняти потенційну метаболічну та анаболічну здатність різних джерел білка.

Отримані значення згодом були нормалізовані для отримання порівнянного умовного індексу mTOR. Результати розрахунку представлені на рисунку 3.1.1.

Як показано на рисунку 3.1.1, добавки з сироваткового протеїну тваринного походження продемонстрували найвищі значення умовного індексу mTOR. “MyProtein Impact Whey” досяг найвищого значення – 14,33, далі йшли “Dymatize ISO100” – 13,38 та “Optimum Nutrition Gold Standard Whey” – 12,95. Це вказує на високий потенціал активації сигнального шляху mTOR.

Рисунок 3.1.1 – Порівняльний аналіз умовного mTOR-індексу білкових добавок



Добавки з рослинного протеїну загалом досягли нижчих значень. Серед них “MyProtein Soy Isolate” продемонстрував найвище значення з індексом mTOR 10,16, що наближається до результатів, отриманих для деяких добавок тваринного походження. Найнижчі значення були зафіксовані для “Garden of Life Raw

Organic Protein” (8,93) та “Orgain Organic Protein” (9,36).

Ці результати підтверджують, що джерела білка тваринного походження мають більший анаболічний потенціал завдяки вищому вмісту лейцину та BCAA. Водночас, препарати рослинного походження, незважаючи на нижчу активацію mTOR, демонструють відповідний метаболічний профіль і можуть представляти функціональну альтернативу, особливо в рамках збалансованих дієтичних концепцій [7].

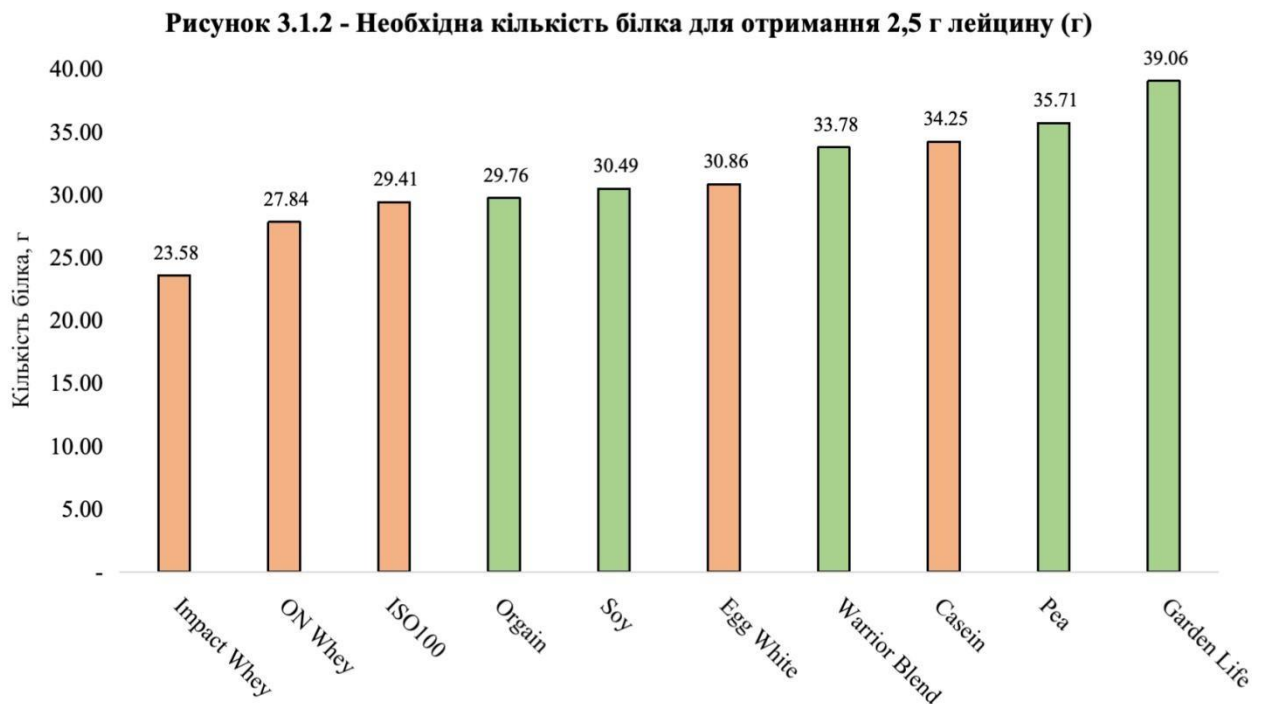
3.1.2. Розрахунок leucine threshold для стимуляції синтезу білка

Лейцин вважається найважливішою незамінною амінокислотою для активації сигнального шляху mTOR і відіграє центральну роль у регулюванні синтезу м'язового білка. Численні наукові дослідження показують, що для ефективної активації синтезу м'язового білка необхідна певна мінімальна

кількість лейцину. Цей поріг називається “Лейциновим порогом” і у дорослих становить в середньому приблизно 2,5 г лейцину на порцію.

Вміст лейцину — відповідає вмісту лейцину в грамах на 100 г білкової добавки.

Використовуючи цю формулу, було розраховано конкретну кількість кожної білкової добавки, яку необхідно спожити для досягнення споживання 2,5 г лейцину. Результати цих розрахунків представлені на рисунку 3.1.2.



Як видно на рисунку 3.1.2, досліджувані білкові добавки суттєво відрізнялися за необхідним розміром порції для досягнення порогу лейцину. Білкові добавки з високим вмістом лейцину вимагали меншої кількості білка, тоді як продукти з нижчою концентрацією лейцину вимагали значно більшої кількості.

“MyProtein Impact Whey” показав найнижче значення; для досягнення споживання 2,5 г лейцину потрібно було лише 23,58 г білка. Аналогічні сприятливі значення спостерігалися для “Optimum Nutrition Gold Standard Whey” (27,84 г) та “Dymatize ISO100” (29,41 г). Завдяки високому вмісту лейцину ці продукти мають особливо високий потенціал для швидкої активації синтезу м'язового білка. У середньому діапазоні знаходилися “Orgain Organic Protein” (29,76 г), “MyProtein Soy Isolate” (30,49 г) та “NOW Foods Egg White Protein”

(30,86 г). Це демонструє, що певні білкові добавки рослинного походження дійсно можуть досягати значень, порівнянних зі значеннями деяких продуктів тваринного походження.

Найвищі значення спостерігалися у “Garden of Life Raw Organic Protein” (39,06 г), “MyProtein Pea Isolate” (35,71 г) та “Sunwarrior Warrior Blend” (33,78 г). Ці результати свідчать про те, що в середньому для досягнення того ж стимулюючого ефекту на синтез м'язового білка потрібні більші порції білкових добавок рослинного походження.

Загалом, результати підтверджують, що джерела білка тваринного походження метаболічно ефективніші в активації сигнального шляху mTOR завдяки вищому вмісту лейцину. Водночас, незважаючи на нижчу концентрацію лейцину, білкові добавки рослинного походження демонструють значний поживний потенціал і можуть забезпечити достатнє постачання лейцину, особливо при споживанні у великих кількостях або в поєднанні з різними іншими джерелами білка.

3.1.3. Розрахунок добового надходження лейцину та ВСАА у різних типах раціонів

Для кількісної оцінки метаболічного потенціалу досліджуваних білкових добавок було розраховано добову норму споживання лейцину та амінокислот з розгалуженим ланцюгом (ВСАА). Цей аналіз базується на стандартизованій добовій порції 90г білкової добавки. Такий рівень споживання білка часто дотримуються фізично активні люди, силові спортсмени та ті, хто дотримується дієт з високим вмістом білка; це також полегшує пряме порівняння між джерелами білка тваринного та рослинного походження.

Добову норму споживання лейцину було розраховано за такою формулою:

$$\text{Лейцин (г/день)} = (\text{Вміст лейцину} \times \text{Добова порція}) / 100$$

Добову норму споживання ВСАА було розраховано аналогічно:

$$\text{ВСАА (г/день)} = (\text{Вміст ВСАА} \times \text{Добова порція}) / 100$$

Розраховані значення представлені в Таблиці 3.1.3.

Результати показують суттєві відмінності між білковими добавками тваринного та рослинного походження щодо їхнього потенціалу постачати метаболічно активні амінокислоти. Зокрема, джерела білка тваринного походження забезпечували велику кількість лейцину та ВСАА — сполук, визнаних ключовими регуляторами синтезу м'язового білка та активації mTOR.

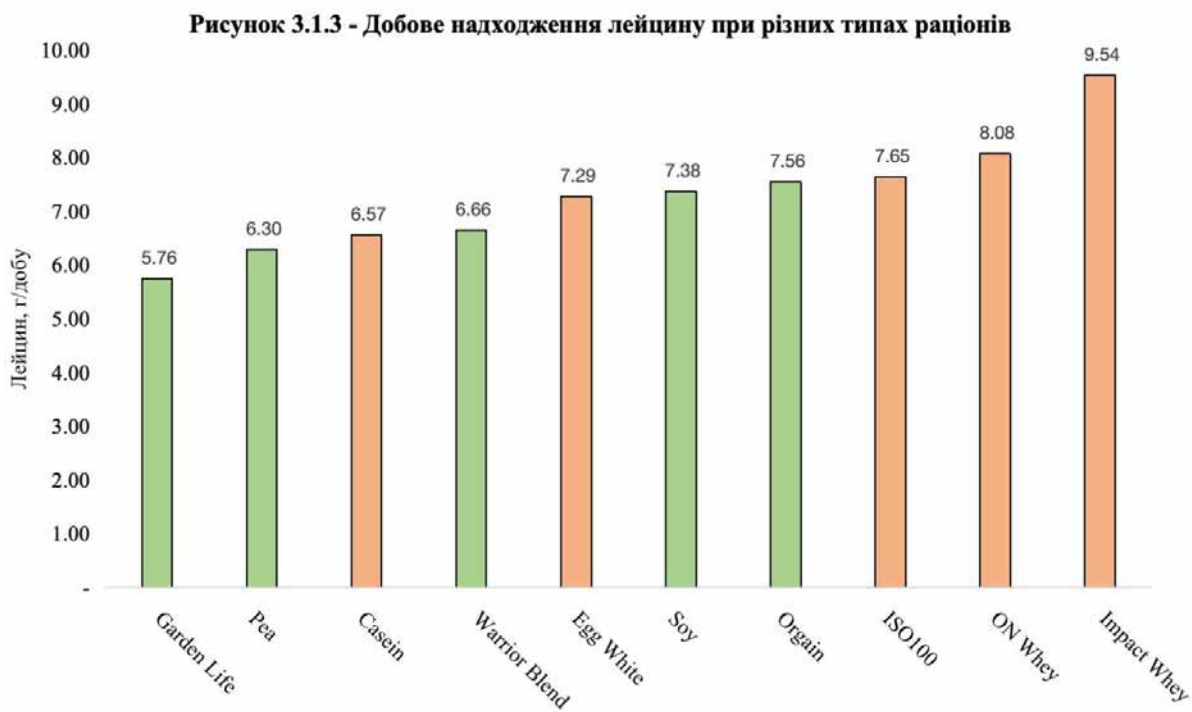
Як показано на Рисунку 3.1.3, результати щодо щоденного споживання лейцину показують, що сироваткові продукти тваринного походження досягли найвищих значень. “MyProtein Impact Whey” зафіксував найвище значення, забезпечуючи 9,54 г лейцину на день. За ним йшли “Optimum Nutrition Gold Standard Whey” з 8,08 г/день та “Dymatize ISO100” з 7,65 г/день. Ці продукти характеризуються високою часткою швидкозасвоєваних незамінних амінокислот і, як наслідок, мають особливо виражений анаболічний потенціал.

Таблиця 3.1.3

Добове надходження лейцину та амінокислот з розгалуженим ланцюгом

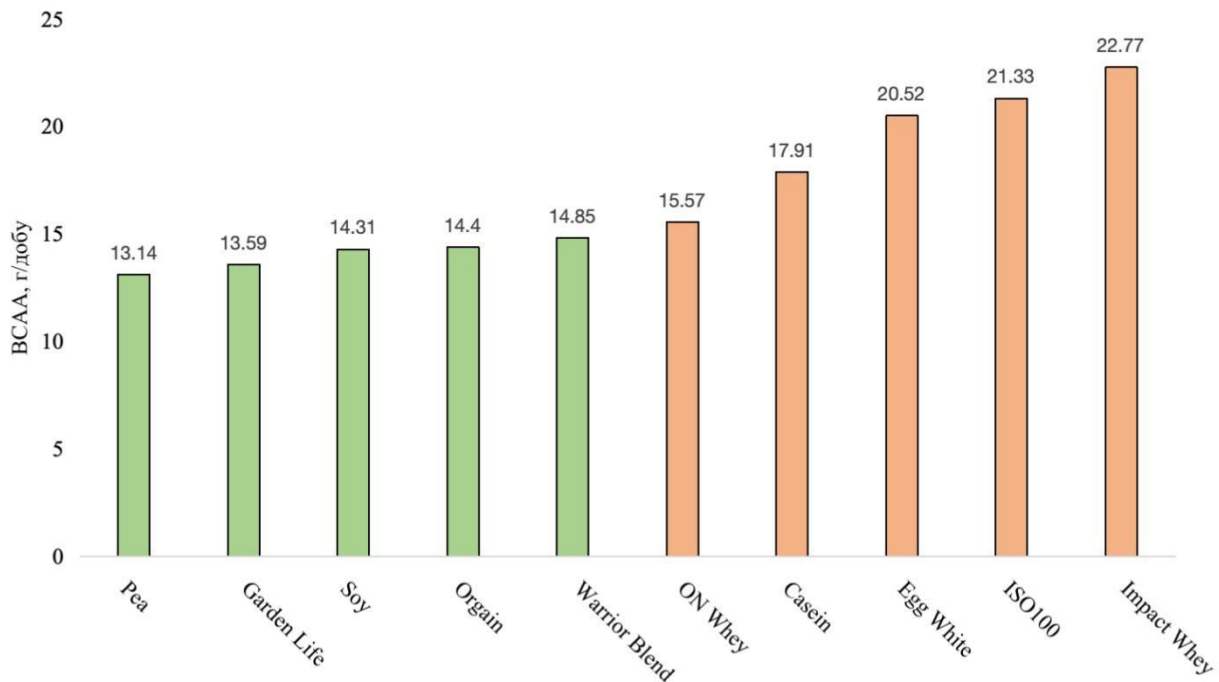
Тип раціону	Білкова добавка	Лейцин, г/100 г	ВСАА, г/100 г	Споживання г/добу	Лейцин, г/добу	ВСАА, г/добу
Тваринно-орієнтований	Optimum Nutrition Gold Standard Whey	8,98	22,8	90	8,08	20,52
Тваринно-орієнтований	MyProtein Impact Whey	10,6	23,7	90	9,54	21,33
Тваринно-орієнтований	Dymatize ISO100	8,5	25,3	90	7,65	22,77
Тваринно-орієнтований	Optimum Nutrition Casein	7,3	17,3	90	6,57	15,57
Тваринно-орієнтований	NOW Foods Egg White Protein	8,1	19,9	90	7,29	17,91
Рослинно-орієнтований	MyProtein Soy Isolate	8,2	16	90	7,38	14,4
Рослинно-орієнтований	MyProtein Pea Isolate	7	15,9	90	6,30	14,31
Рослинно-орієнтований	Sunwarrior Warrior Blend	7,4	16,5	90	6,66	14,85
Рослинно-орієнтований	Orgain Organic Protein	8,4	14,6	90	7,56	13,14
Рослинно-орієнтований	Garden of Life Raw Organic Protein	6,4	15,1	90	5,76	13,59

Нижчі значення спостерігалися серед білкових добавок рослинного походження. Найвищий рівень лейцину в цій групі спостерігався в “Orgain Organic Protein” з 7,56 г/день та “MyProtein Soy Isolate” з 7,38 г/день. Найнижчі значення були зафіксовані для “Garden of Life Raw Organic Protein” – 5,76 г/день. Загалом, Рисунок 3.1.3 ілюструє, що хоча джерела білка рослинного походження можуть забезпечити значну кількість лейцину, вони містять – в середньому – нижчі концентрації, ніж білкові добавки тваринного походження.



Аналіз щоденного споживання ВСАА підтвердив цю ж тенденцію. Як показано на Рисунку 3.1.4, білкові добавки тваринного походження забезпечували значно більшу кількість ВСАА порівняно з продуктами рослинного походження. “Dymatize ISO100” досяг найвищого значення – 22,77 г ВСАА на день. Високі значення також були зафіксовані для “MyProtein Impact Whey” – 21,33 г/день та “Optimum Nutrition Gold Standard Whey” – 20,52

Рисунок 3.1.4 - Добове надходження ВСАА при різних типах раціонів



г/день. Ці результати свідчать про те, що джерела білка тваринного походження мають більший потенціал для підтримки синтезу м'язового білка, відновлення та підтримки м'язової маси.

На противагу цьому, білкові добавки рослинного походження зазвичай споживали від 13 до 15 г ВСАА на день. Найвищі значення в цій групі спостерігалися у “Sunwarrior Warrior Blend” – 14,85 г/день та “MyProtein Soy Isolate” – 14,40 г/день. Найнижче добове споживання ВСАА було зафіксовано у “Orgain Organic Protein” – 13,14 г/день. Незважаючи на ці нижчі значення, білкові добавки рослинного походження все ще забезпечують значну кількість амінокислот з розгалуженим ланцюгом і можуть сприяти задоволенню потреб в амінокислотах, особливо за умови адекватного загального споживання білка.

Графічне представлення результатів на рисунках 3.1.3 та 3.1.4 дозволяє чітко розмежувати джерела білка тваринного та рослинного походження. Препарати тваринного походження переважно займають верхню половину діаграм і демонструють вищі значення лейцину та ВСАА, тоді як продукти рослинного походження демонструють більш компактні та нижчі діапазони значень. Водночас, серед рослинних препаратів спостерігається певна

мінливість, що можна пояснити відмінностями у складі використаних джерел білка.

Загалом, проведені розрахунки підтверджують, що в середньому тваринні білкові препарати мають вищу метаболічну ефективність щодо постачання лейцину та ВСАА. Хоча рослинні білкові препарати демонструють нижчі значення, вони, тим не менш, можуть забезпечити достатнє постачання незамінних амінокислот, особливо при споживанні у великих кількостях або шляхом поєднання різних рослинних джерел білка. Таким чином, результати підкреслюють важливість амінокислотного складу в оцінці функціонального та метаболічного потенціалу білкових препаратів

3.1.4 Порівняльний аналіз тваринно-орієнтованої та рослинно-орієнтованої дієти

Для комплексної оцінки метаболічного потенціалу різних джерел білка було застосовано порівняльний аналітичний підхід, що порівнює харчові моделі тваринного та рослинного походження. Цей аналіз враховував як кількісні, так і якісні характеристики досліджуваних білкових препаратів. Аналіз охоплював середній вміст лейцину та амінокислот з розгалуженим ланцюгом (ВСАА), розрахований індекс mTOR та добове споживання функціонально значущих амінокислот за умов стандартизованого споживання білка. Крім того, було досліджено біологічну цінність, наявність лімітуючих амінокислот та характерні відмінності в профілях амінокислот.

Узагальнені результати цього порівняльного аналізу представлені в Таблиці 3.1.4, а графічне порівняння візуалізовано на Рисунку 3.1.5.

Таблиця 3.1.4

Порівняння метаболічних характеристик харчових моделей тваринного та рослинного походження

Показник	Тваринноорієнтований раціон	Рослинноорієнтований раціон
Лейцин	8,7	7,48
BCAA	21,8	15,62
mTOR-індекс	12,44	9,59
Лейцин/добу	7,83	6,73
BCAA/добу	19,82	14,06
Вміст аргініну	нижчий	вищий
Біологічна цінність	вища	нижча
Лімітуючі амінокислоти	практично відсутні	можливий дефіцит метіоніну/лізину

Результати показують суттєві відмінності між білковими препаратами тваринного та рослинного походження щодо їх метаболічних та потенційно анаболічних профілів. У середньому, джерела білка тваринного походження демонстрували вищу концентрацію лейцину. Середній вміст лейцину становив 8,7 г на 100 г білка, тоді як білкові препарати рослинного походження містили в середньому 7,48 г/100 г. Ця різниця має особливе фізіологічне значення, оскільки лейцин вважається найважливішою регуляторною амінокислотою для активації сигнального шляху mTOR і відіграє центральну роль у стимуляції синтезу м'язового білка.

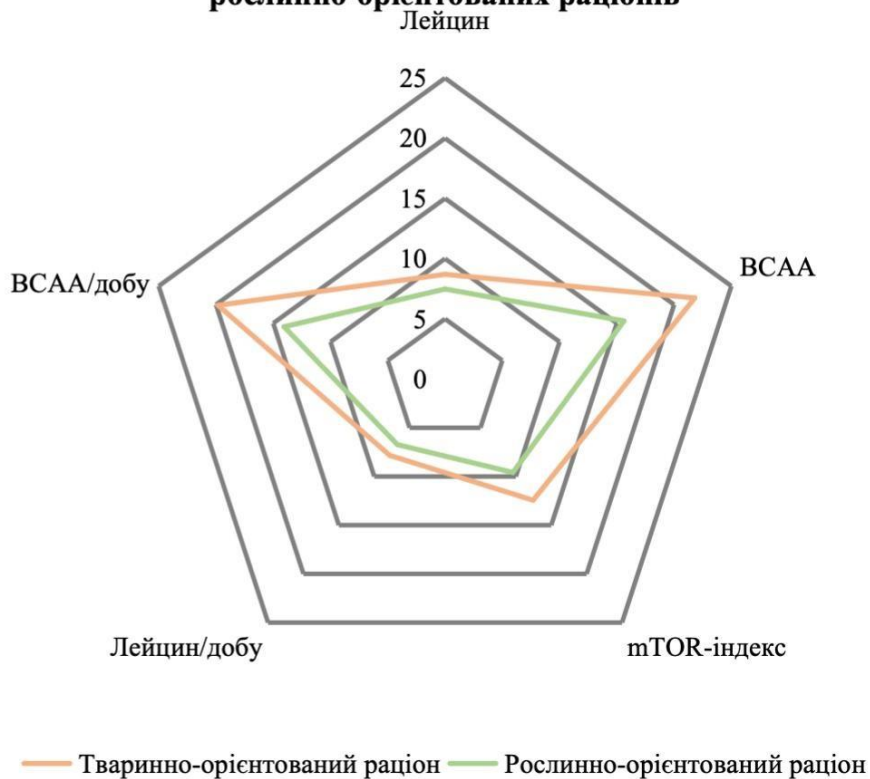
Білкові препарати тваринного походження також продемонстрували явну перевагу щодо загального вмісту амінокислот з розгалуженим ланцюгом. Середній вміст BCAA у продуктах тваринного походження становив 21,8 г/100

г білка – показник значно вищий, ніж у рослинних препаратах, де в середньому він становив 15,62 г/100 г. Ці результати свідчать про те, що джерела білка тваринного походження мають більш сприятливий амінокислотний профіль для процесів, що включають нарощування м'язів, відновлення та підтримку м'язової маси.

Відмінності між двома типами харчування також відображені в розрахованому індексі mTOR. Середній індекс mTOR для білкових добавок тваринного походження становив 12,44, тоді як продукти рослинного походження досягли середнього значення лише 9,59. Оскільки використаний індекс базується на комбінованому вмісті лейцину, ВСАА та лізину, ці значення підкреслюють загалом вищу метаболічну активність, пов'язану з джерелами білка тваринного походження. Зокрема, добавки на основі сироватки продемонстрували високі значення – результат, що пояснюється їхньою швидкою біодоступністю та повним профілем незамінних амінокислот.

На додаток до концентрації амінокислот, добове споживання метаболічно релевантних амінокислот було розраховано на основі стандартизованого споживання білка 90 г білкової добавки на день. Для дієт на основі тваринного походження середнє добове споживання лейцину становило 7,83 г/день, тоді як для рослинних дієт – в середньому 6,73 г/день. Подібні відмінності спостерігалися щодо добового споживання ВСАА: білкові добавки тваринного походження забезпечували в середньому 19,82 г ВСАА на день, тоді як продукти рослинного походження забезпечували лише 14,06 г/день.

Рисунок 3.1.5 – Порівняння метаболічних характеристик тваринно- та рослинно-орієнтованих раціонів



Графічне зображення на Рисунку 3.1.5 особливо чітко ілюструє ці відмінності. Помаранчева лінія, що представляє дієту на основі продуктів тваринного походження, демонструє вищі значення майже за всіма параметрами порівняно із зеленою лінією, що представляє режим харчування на рослинній основі. Ці відмінності особливо виражені щодо загального вмісту ВСАА та середньодобового споживання ВСАА. Водночас, рисунок демонструє, що джерела білка рослинного походження, незважаючи на нижчі значення, мають відносно стабільний та збалансований метаболічний профіль. Окрім кількісних параметрів, також були проаналізовані якісні властивості джерел білка. Як показано в таблиці 3.1.4, білкові препарати рослинного походження характеризуються вищим вмістом аргініну. Аргінін є функціонально значущою амінокислотою, яка бере участь у численних метаболічних процесах, включаючи синтез оксиду азоту (NO), регуляцію судинної функції, а також імунологічні та клітинні сигнальні механізми. Цей підвищений вміст аргініну є

характерною перевагою джерел білка рослинного походження та може мати особливе значення в контексті серцево-судинного та метаболічного здоров'я.

На противагу цьому, білкові препарати тваринного походження зазвичай демонструють вищу біологічну цінність. Це означає, що їхній амінокислотний профіль ближче відповідає потребам людини в незамінних амінокислотах, що дозволяє ефективніше використовувати їх для синтетичних процесів. Джерела білка тваринного походження зазвичай містять

3.1.5. Оцінка потенційного mTOR load високобілкових дієт

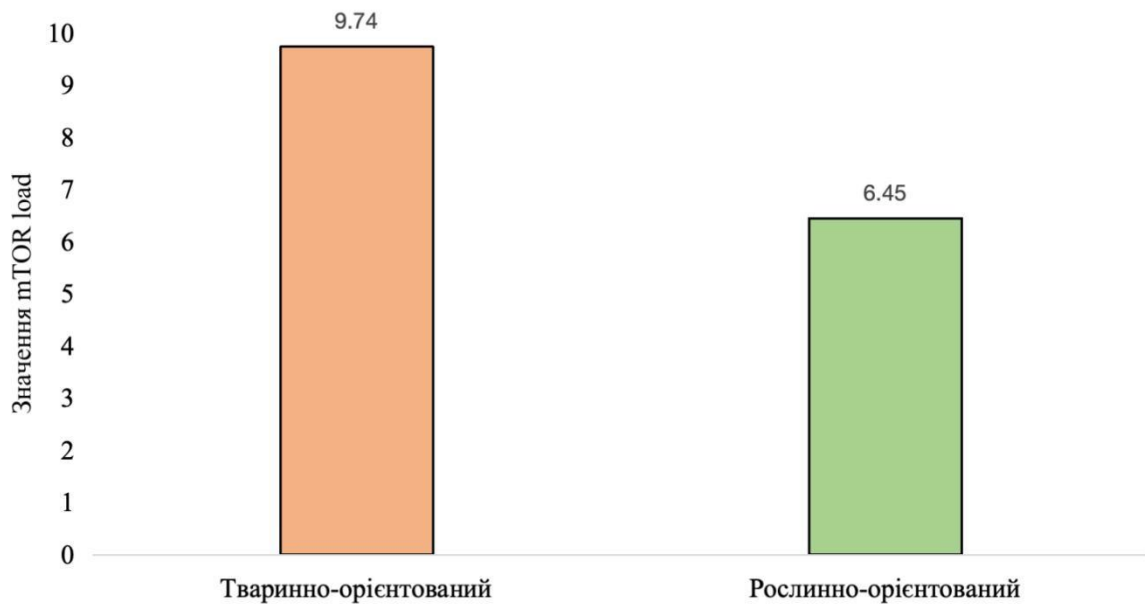
Для подальшої оцінки метаболічного впливу багатих на білок моделей харчування було розраховано «умовне навантаження mTOR». Цей параметр служить спрощеним аналітичним показником потенційного навантаження на анаболічні сигнальні шляхи внаслідок збільшення споживання джерел білка, багатих на лейцин та ВСАА. Розрахунок базувався на середньодобовому споживанні лейцину, а також на попередньо розрахованому індексі mTOR досліджуваних білкових добавок.

Умовне навантаження mTOR було розраховано за такою формулою:

$$\text{навантаження mTOR} = (\text{індекс mTOR} \times \text{добове споживання лейцину}) / 10$$

Отримані значення були розраховані окремо для моделей харчування на основі тваринної та рослинної їжі, а потім піддані порівняльному аналізу. Графічне представлення цих результатів представлено на Рисунку 3.1.6.

Рисунок 3.1.6 - Порівняння умовного mTOR load високобілкових дієт



Аналіз виявив чіткі відмінності між двома типами харчування. Розраховане навантаження mTOR для моделей харчування на основі тваринної їжі становило 9,74, що значно вище, ніж для моделей харчування на основі рослинної їжі, яке становило 6,45. Ці результати свідчать про те, що білкові добавки тваринного походження мають більший потенціал для активації сигнальних шляхів, залежних від mTOR.

Як показано на Рисунку 3.1.6, смужка, що представляє тип харчування тваринного походження, помітно вища, ніж у групи порівняння з рослинним харчуванням. Різниця між двома групами чітко помітна та підтверджує раніше спостережувані відмінності щодо значень лейцину, ВСАА та індексу mTOR. Зокрема, високий вміст швидкодоступних незамінних амінокислот, що містяться в добавках на основі сироватки, значною мірою сприяє цьому результату.

З фізіологічної точки зору, підвищене навантаження mTOR, пов'язане з джерелами білка тваринного походження, може мати як позитивні, так і потенційно критичні аспекти. З одного боку, більш потужна активація сигнального шляху mTOR пов'язана з ефективнішим синтезом м'язового білка, посиленими процесами відновлення та посиленою анаболічною реакцією. Це особливо актуально для силових спортсменів, осіб, які піддаються високим

фізичним навантаженням, або тих, хто проходить фази нарощування м'язової маси.

І навпаки, наукові дослідження іноді обговорюють хронічно підвищену активацію сигнального шляху mTOR у контексті метаболічних та вікових процесів. Це включає потенційні зв'язки з прискореним ростом клітин, змінами чутливості до інсуліну та довгостроковим метаболічним навантаженням. Однак, навантаження mTOR, розраховане тут, не є клінічним маркером; воно служить виключно аналітичним порівняльним параметром у рамках цього дослідження.

На противагу цьому, рослинні дієтичні схеми продемонстрували більш помірне навантаження mTOR. Це в першу чергу пов'язано з нижчим вмістом лейцину та ВСАА у рослинних джерелах білка. Водночас, нижчі значення, пов'язані з mTOR, можуть мати потенційно корисні властивості в контексті довгострокової метаболічної регуляції. Крім того, рослинні джерела білка містять вищий рівень аргініну, а також інших біоактивних рослинних сполук, які можуть мати додаткові функціональні ефекти.

Загалом, результати показують, що дієтичні схеми тваринного походження мають вищий потенціал для анаболічної та метаболічної активації, тоді як рослинні дієтичні схеми демонструють більш помірну активацію mTOR-залежних процесів. Отже, оцінка метаболічного потенціалу білкових добавок не повинна зводитися виключно до окремих амінокислот, а завжди повинна розглядатися в ширшому контексті загальної структури харчування, загального споживання білка та індивідуальних фізіологічних потреб.

3.1.6. Рейтинг білкових добавок за умовним анаболічним потенціалом

У заключному розділі аналітичної оцінки було проведено порівняльний рейтинг досліджуваних протеїнових добавок на основі їх умовного анаболічного потенціалу. Основою для цієї оцінки був попередньо розрахований індекс mTOR, який служив складовим показником вмісту лейцину, ВСАА та лізину в

джерелах білка. Метою цього аналізу було систематично ранжувати досліджувані добавки відповідно до їх потенційного впливу на активацію синтезу м'язового білка та надати короткий виклад відмінностей між джерелами білка тваринного та рослинного походження.

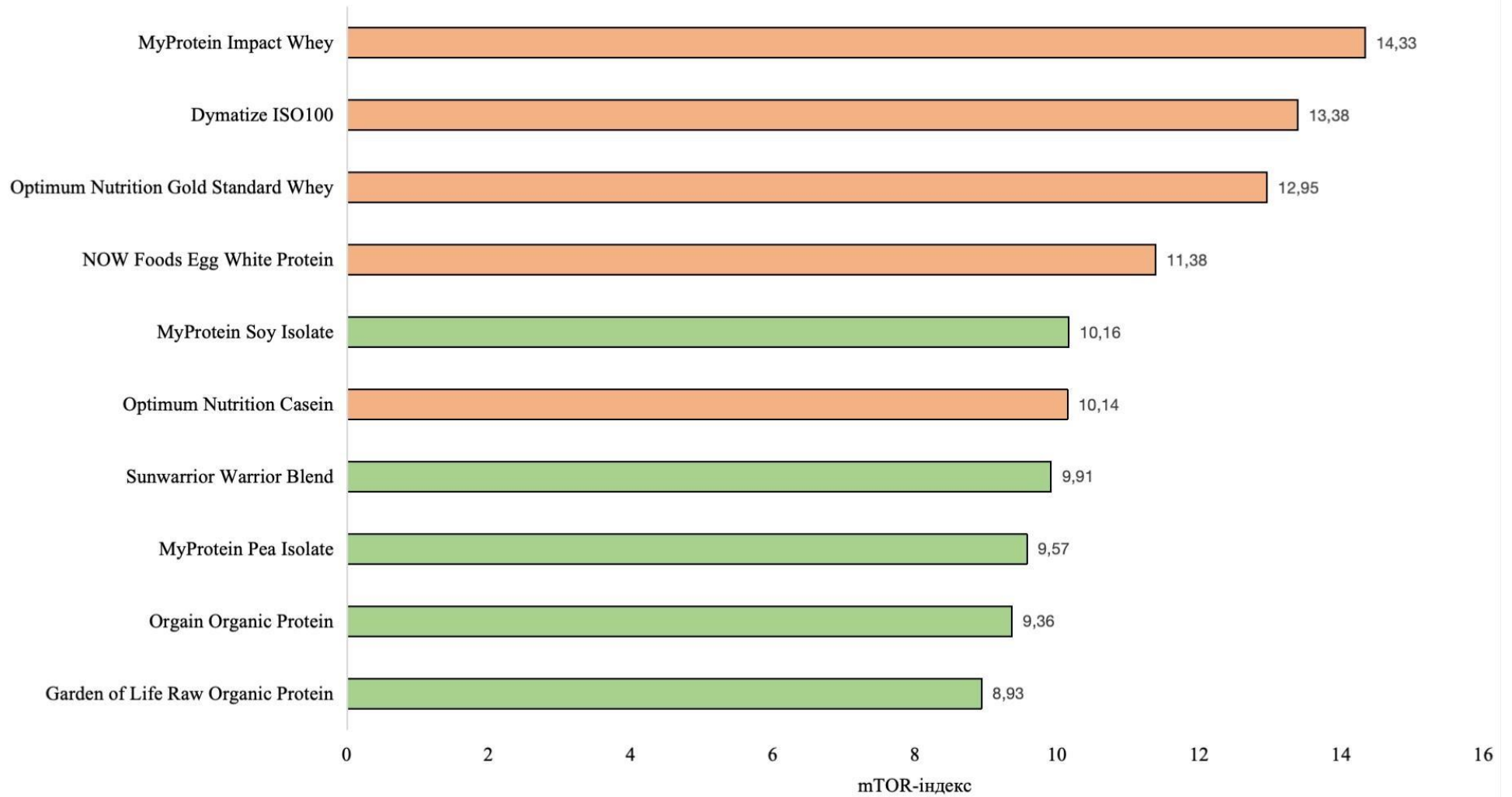
Результати рейтингу представлені на Рисунку 3.1.7.

Ці результати показали чітке домінування білкових добавок тваринного походження з точки зору їх умовного анаболічного потенціалу. Найвищі значення були зафіксовані для MyProtein Impact Whey (14,33), Dymatize ISO100 (13,38) та Optimum Nutrition Gold Standard Whey (12,95). Ці добавки характеризувалися особливо високою концентрацією лейцину та ВСАА, що дозволило досягти найвищих значень індексу mTOR у досліджуваній групі.

Як видно з Рисунка 3.1.7, класичні продукти на основі сироватки мають значно вищі показники, ніж усі рослинні добавки. MyProtein Impact Whey, зокрема, продемонстрував найвище розрахункове значення і тому може розглядатися — в рамках обраної моделі — як добавка з найбільшим потенційним анаболічним ефектом. Dymatize ISO100 також продемонстрував виражену здатність до метаболічної активації завдяки високому вмісту ВСАА.

Відносно високі значення також спостерігалися для білка яєчного білка NOW Foods (11,38) та казеїну Optimum Nutrition (10,14). Хоча ці добавки досягли нижчих значень, ніж ізоляти сироватки, вони, тим не менш, продемонстрували значно вищий анаболічний потенціал, ніж більшість рослинних продуктів. Це підтверджує високу біологічну цінність джерел тваринного білка, а також їх сприятливий амінокислотний профіль щодо активації синтезу м'язового білка.

Загалом, рослинні білкові добавки потрапили у вузький діапазон значень, між 8,93 та 10,16. Найвище значення в цій групі було досягнуто за допомогою соєвого ізоляту MyProtein (10,16), за ним йдуть Sunwarrior Warrior Blend (9,91) та MyProtein Pea Isolate (9,57). Нижчі значення спостерігалися для органічного протеїну Orgain (9,36) та сирого органічного протеїну Garden of Life (8,93).

Рисунок 4.7 – Рейтинг білкових добавок за умовним анаболічним потенціалом

Водночас результати показують, що сучасні білкові суміші рослинного походження можуть досягати відносно високих значень. Зокрема, добавки на основі сої та суміші рослинного білка частково наближаються до характеристик продуктів тваринного походження. Це свідчить про те, що шляхом стратегічного поєднання різних джерел рослинного білка можна оптимізувати амінокислотний склад та покращити метаболічний потенціал.

Метод оцінки, що використовується в цьому дослідженні, навмисно є спрощеною аналітичною моделлю та не замінює клінічних чи фізіологічних вимірювань фактичного синтезу м'язового білка. Однак розрахований індекс mTOR сприяє чіткому порівнянню різних білкових добавок щодо їхньої теоретичної здатності активувати анаболічні сигнальні шляхи.

Підсумовуючи, цей аналіз показує, що білкові добавки тваринного походження продемонстрували найвищий умовний анаболічний потенціал. Зокрема, продукти на основі сироватки досягли найвищих балів та продемонстрували найсприятливіше поєднання вмісту лейцину, ВСАА та лізину. Рослинні джерела білка, навпаки, продемонстрували помірніші значення; однак, завдяки вищому вмісту аргініну, а також іншим поживним властивостям, вони також мають значний функціональний потенціал.

Загалом, результати цього дослідження підтверджують, що амінокислотний склад має вирішальний вплив на метаболічні властивості білкових добавок. Зокрема, вміст лейцину та амінокислот з розгалуженим ланцюгом відіграє ключову роль в активації анаболічних сигнальних шляхів, тим самим суттєво впливаючи на теоретичний потенціал підтримки синтезу м'язового білка.

3.2. Оцінка практичного значення результатів для нутриціології та громадського здоров'я

3.2.1. Значення білкових добавок у спортивному харчуванні

Білкові добавки є одним із найважливіших компонентів сучасного спортивного харчування та активно використовуються для підтримання анаболічних процесів, прискорення відновлення після фізичних навантажень і

забезпечення організму незамінними амінокислотами. Особливу роль у спортивній нутриціології відіграють амінокислоти з розгалуженим ланцюгом — ВСАА, до яких належать лейцин, ізолейцин та валін. Саме ці амінокислоти беруть активну участь у регуляції м'язового метаболізму та процесів синтезу білка.

У сучасній спортивній практиці білкові добавки застосовуються не лише професійними спортсменами, але й фізично активними людьми, які прагнуть підтримувати м'язову масу, покращувати композицію тіла та оптимізувати процеси відновлення після тренувань. Основною перевагою білкових добавок є можливість швидкого та контрольованого надходження амінокислот без значного збільшення калорійності раціону.

Фізичні навантаження супроводжуються підвищеним розпадом м'язових білків та збільшенням потреби організму в амінокислотах. У зв'язку з цим спортсменам необхідне адекватне білкове забезпечення для підтримання позитивного азотистого балансу та ефективного відновлення м'язових структур. Згідно з рекомендаціями Німецького товариства харчування (DGE — Deutsche Gesellschaft für Ernährung), базова потреба дорослої людини у білку становить приблизно 0,8 г/кг маси тіла на добу [11]. В Україні відповідно до Наказу МОЗ України №1073 «Про затвердження Норм фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах і енергії» рекомендований вміст білка у добовому раціоні дорослих становить близько 13 % від загальної енергетичної цінності раціону, при цьому частка білків тваринного походження повинна складати не менше 50 % від загальної кількості білка. Для осіб із високим рівнем фізичної активності потреба у білку може бути суттєво вищою за базові фізіологічні норми [18].

У дослідженнях зазначається, що підвищене споживання білка — близько 1,5 г/кг маси тіла — позитивно впливає на підтримання м'язової маси та фізичної працездатності. Це особливо актуально для спортсменів силових видів спорту,

бодибілдінгу, кросфіту та фітнесу, де процеси м'язового синтезу та відновлення мають критичне значення для досягнення спортивних результатів [10].

Особливу увагу в спортивній нутриціології приділяють лейцину. Саме вміст лейцину та ВСАА вважається одним із головних критеріїв оцінки анаболічного потенціалу білкових добавок. У попередніх розділах роботи було показано, що сироваткові білки характеризуються найвищими показниками умовного mTOR-індексу та найбільшим добовим надходженням лейцину й ВСАА. Це пояснюється високою біологічною цінністю сироваткового білка та сприятливим амінокислотним профілем.

Якість білка визначається не лише загальною кількістю білка, але й співвідношенням незамінних та замінних амінокислот, а також їх біодоступністю. Високоякісними вважаються білки, які максимально наближені за амінокислотним складом до так званого «референтного білка» Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO — Food and Agriculture Organization) та Всесвітньої організації охорони здоров'я (WHO — World Health Organization) [6].

Тваринні білки — сироватковий білок, яйце, молочні білки та казеїн — зазвичай характеризуються високою біологічною цінністю та оптимальним співвідношенням незамінних амінокислот. Саме тому вони традиційно вважаються найбільш ефективними для стимуляції синтезу м'язового білка. Сироватковий білок особливо цінується завдяки швидкому засвоєнню та високому вмісту лейцину.

У той самий час останніми роками значно зросла популярність рослинних білкових добавок. Це пов'язано зі збільшенням поширеності вегетаріанських та веганських моделей харчування, а також із підвищеним інтересом до екологічно орієнтованих харчових стратегій. Найбільш популярними рослинними джерелами білка є соєвий, гороховий та багатокomпонентні рослинні білкові суміші.

Рослинні білки часто поступаються тваринним за вмістом окремих незамінних амінокислот, зокрема лізину або метіоніну, що може знижувати їх

біологічну цінність. У науковій літературі такі амінокислоти називають лімітуючими. Саме лімітуюча амінокислота визначає загальну ефективність використання білка організмом. Однак поєднання різних рослинних джерел білка дозволяє компенсувати дефіцит окремих амінокислот та покращувати амінокислотний профіль продукту.

У роботі було встановлено, що рослинні білкові добавки хоча й демонструють дещо нижчі показники умовного mTOR-індексу, проте можуть забезпечувати достатній рівень надходження лейцину та ВСАА при адекватному дозуванні. Це свідчить про можливість їх ефективного використання у спортивному харчуванні, особливо при комбінуванні різних джерел рослинного білка.

Практичне значення білкових добавок полягає також у зручності їх застосування. В умовах високого темпу життя або інтенсивного тренувального режиму спортсменам часто складно забезпечити необхідну кількість білка лише за рахунок звичайних харчових продуктів. Білкові добавки дозволяють швидко компенсувати дефіцит білка та підтримувати оптимальний режим харчування.

Крім спортивної нутриціології, результати дослідження мають важливе значення і для громадського здоров'я. Недостатнє споживання білка асоціюється з ризиком розвитку білковоенергетичної недостатності, втрати м'язової маси та порушення процесів регенерації тканин. Особливо актуально це для осіб похилого віку, у яких ефективність синтезу м'язового білка знижується через вікові метаболічні зміни [8].

Отже, білкові добавки є ефективним інструментом сучасної спортивної нутриціології, який дозволяє оптимізувати амінокислотне забезпечення організму, підтримувати процеси м'язового анаболізму та покращувати відновлення після фізичних навантажень. Отримані результати підтверджують, що найбільш виражений потенціал щодо стимуляції анаболічних процесів мають сироваткові білки з високим вмістом лейцину та ВСАА, тоді як сучасні

рослинні білкові суміші можуть розглядатися як перспективна альтернатива за умови збалансованого амінокислотного складу.

3.2.2. Роль білкових продуктів у профілактиці саркопенії та вікових змін

Білкові продукти відіграють вирішальну роль у запобіганні саркопенії, а також інших вікових метаболічних змін. Саркопенія визначається як прогресуюча втрата м'язової маси, м'язової сили та функціональної здатності у пізнішому віці. Цей процес пов'язаний зі зниженням синтезу білка, гормональними змінами, зниженням фізичної активності та недостатнім споживанням незамінних амінокислот.

З віком здатність скелетних м'язів адекватно реагувати на споживання амінокислот знижується. Це явище називається «анаболічною резистентністю». Отже, людям похилого віку часто потрібна більша кількість високоякісного білка для ефективної стимуляції синтезу м'язового білка. Особливе значення в цьому відношенні має достатнє споживання лейцину, оскільки ця незамінна амінокислота вважається центральним активатором сигнального шляху mTOR. Активація цього шляху сприяє синтезу м'язового білка та підтримує підтримку м'язової маси.

Кілька наукових досліджень показали, що збільшення споживання білка може позитивно впливати на м'язову масу, м'язову силу та фізичну функцію у людей похилого віку. Водночас наголошується, що важлива не лише загальна кількість споживаного білка, але й, що ще важливіше, його якість та амінокислотний профіль. Найбільше фізіологічне значення в цьому контексті мають високоякісні білки з високим вмістом незамінних амінокислот та амінокислот з розгалуженим ланцюгом (BCAA) [8, 6].

У рамках цього дослідження було виявлено, що білкові продукти тваринного походження, зокрема сироваткові білки, демонструють найвищі значення умовного індексу mTOR, а також найвищі концентрації лейцину та BCAA. Це свідчить про те, що такі джерела білка можуть особливо ефективно сприяти підтримці анаболічних процесів та запобіганню віковій атрофії м'язів.

Крім того, сироватковий білок характеризується швидким засвоєнням та високою біологічною цінністю, що сприяє швидкому підвищенню концентрації амінокислот у крові. Інші джерела білка тваринного походження, такі як білок яєчного білка та казеїн, також мають високу харчову цінність. У той час як сироватковий білок швидко засвоюється, казеїн характеризується повільнішим травленням та тривалим вивільненням амінокислот. Отже, казеїн може сприяти стабілізації м'язового метаболізму, особливо під час тривалого голодування або нічного прийому їжі [10].

Білкові продукти рослинного походження також набувають дедалі більшого значення, особливо в контексті вегетаріанського та веганського харчування. Однак рослинні білки часто демонструють нижчу концентрацію певних незамінних амінокислот, таких як метіонін або лізин. Крім того, вміст лейцину в багатьох рослинних білках нижчий, ніж у тваринних джерелах білка. Це може послабити активацію синтезу м'язового білка.

Тим не менш, сучасні суміші рослинних білків демонструють покращений амінокислотний профіль, особливо при поєднанні різних джерел білка. Комбінації бобових та зернових білків дозволяють взаємно доповнювати лімітні амінокислоти, тим самим підвищуючи біологічну цінність. У цьому дослідженні соєві, горохові та багатокомпонентні білки показали нижчі значення індексу mTOR, ніж продукти тваринного походження; проте вони все ще забезпечували відповідну кількість лейцину та ВСАА.

Для людей похилого віку достатнє споживання білка має вирішальне значення не лише для збереження м'язової маси, але й для загального здоров'я та якості життя. Саркопенія пов'язана з підвищеним ризиком падінь, переломів, обмеженням рухливості та потребою в тривалому догляді. Більше того, втрата м'язової маси може зменшити витрати енергії та спричинити метаболічні порушення.

Окрім споживання білка, фізична активність відіграє вирішальну роль у запобіганні віковій втраті м'язів. Поєднання регулярних силових тренувань та

багатої на білок дієти є особливо ефективним. У цьому контексті білкові продукти можуть запропонувати практичний спосіб цілеспрямованого збільшення щоденного споживання білка та забезпечення достатнього постачання незамінних амінокислот.

Крім того, білки виконують інші важливі фізіологічні функції. Вони необхідні для синтезу ферментів, гормонів, транспортних білків та імунних факторів. Отже, недостатнє споживання білка у старшому віці може не тільки погіршити здоров'я м'язів, але й послабити імунну систему та уповільнити регенеративні процеси.

3.2.3. Потенційний вплив надмірної активації mTOR на метаболічне здоров'я

Сигнальний шлях mTOR відіграє центральну роль у регулюванні росту клітин, синтезу білка, енергетичного обміну та адаптації організму до доступності поживних речовин. За фізіологічних умов активація mTOR є ключовим компонентом нормальних анаболічних процесів, особливо в контексті нарощування м'язів, регенерації тканин та фізіологічної адаптації до фізичних навантажень. Водночас, наукова література все частіше припускає, що хронічно надмірна активація цього шляху може мати потенційно негативний вплив на метаболічне здоров'я.

Активність комплексу mTOR регулюється різними факторами, включаючи амінокислоти, інсулін, фактори росту та стан клітинної енергії. Лейцин, зокрема, має потужний стимулюючий вплив на комплекс mTORC1 (mTOR Complex 1), який вважається центральним регулятором синтезу м'язового білка. Короткочасна активація mTORC1 після вживання багатої на білок їжі або фізичного навантаження вважається фізіологічно корисною та необхідною для підтримки анаболічних процесів. Однак хронічно підвищена та постійно стимульована активність mTOR може виявитися проблематичною.

Кілька наукових досліджень показують, що хронічно висока активація сигнального шляху mTOR може бути пов'язана з метаболічними порушеннями.

Конкретні асоціації, що зараз обговорюються, включають ожиріння, інсулінорезистентність, цукровий діабет 2 типу та вікові захворювання. Постійно підвищена активність mTORC1 може порушити фізіологічну регуляцію метаболізму глюкози та знизити чутливість до інсуліну.

Один з потенційних механізмів включає негативний вплив надмірної активації mTORC1 на функцію сигнального шляху інсуліну. Це відбувається, частково, через посилений негативний зворотний зв'язок на субстрати інсулінових рецепторів (IRS), що може послабити клітинну відповідь на інсулін. У довгостроковій перспективі це може сприяти розвитку інсулінорезистентності. Крім того, хронічно підвищена активність mTOR пов'язана зі змінами аутофагії. Аутофагія є вирішальним клітинним процесом для видалення пошкоджених клітинних компонентів та підтримки клітинного гомеостазу. За фізіологічних умов аутофагія активується особливо в періоди енергетичної недостатності або дефіциту поживних речовин. Однак сильна активація mTORC1 пригнічує аутофагію. Отже, це може призвести до збільшення накопичення пошкоджених білків та клітинних структур у довгостроковій перспективі [7].

Отже, дослідження старіння досліджують гіпотезу про те, що постійно підвищена активність mTOR може бути пов'язана з прискореними процесами старіння. Дослідження з використанням тваринних моделей демонструють, що знижена активність mTOR може бути пов'язана з подовженням життя, а також покращенням метаболічних параметрів. У цьому контексті також досліджується сполука рапаміцин, яка фармакологічно пригнічує сигнальний шлях mTOR.

Результати цього дослідження показують, що білкові добавки тваринного походження, зокрема сироваткові продукти, що характеризуються високою концентрацією лейцину та амінокислот з розгалуженим ланцюгом (BCAA), демонструють найвищі значення як умовного індексу mTOR, так і розрахованого навантаження mTOR. Це свідчить про підвищений потенціал активації анаболічних сигнальних шляхів. Для фізично активних людей це може

бути вигідним з точки зору нарощування м'язів та відновлення. Водночас результати підкреслюють, що постійно дуже високе споживання білкових добавок, багатих на лейцин, теоретично також може сприяти метаболічному навантаженню [10].

Це особливо актуально в контексті тривалих дієт з високим вмістом білка. Кілька досліджень пов'язали високе споживання білка зі змінами чутливості до інсуліну, підвищеною швидкістю клубочкової фільтрації в нирках та змінами метаболізму амінокислот. Крім того, триває дискусія щодо того, чи можуть постійно високі концентрації певних амінокислот впливати на прозапальні або проліферативні процеси. Однак це не означає, що дієта з високим вмістом білка за своєю суттю шкідлива для здоров'я. Швидше, її фізіологічний вплив залежить від численних факторів, включаючи загальне споживання енергії, рівень активності, якість білка, індивідуальний метаболічний статус та тривалість підвищеного споживання білка. Короткочасна та індукована фізичними вправами активація сигнального шляху mTOR продовжує розглядатися як вирішальний компонент фізіологічних процесів адаптації [8, 10].

3.3. Практичні рекомендації щодо вибору білкових добавок для різних груп населення

Вибір відповідних білкових добавок є складним завданням у сучасній дієтології та профілактичній медицині, оскільки фізіологічні потреби у споживанні білка значно різняться для різних груп населення. Вік, стать, фізична активність, гормональний статус, метаболічне здоров'я, особливості харчування, а також соціальні та економічні фактори впливають як на потреби в білку, так і на оптимальний склад споживаних амінокислот. Крім того, функціональне значення окремих амінокислот, зокрема лейцину та амінокислот з розгалуженим ланцюгом (BCAA), набуває все більшого значення.

З біохімічної точки зору білкові добавки мають велике практичне значення, перш за все тому, що амінокислоти служать не лише структурними компонентами білків, але й виконують центральні регуляторні функції в

метаболизмі. Лейцин, зокрема, діє як метаболічна сигнальна молекула, яка активує сигнальний шлях mTOR. Активація mTORC1 стимулює трансляцію рибосомних білків, активацію S6-кінази та пригнічення катаболічних процесів; це вважається одним з найважливіших механізмів синтезу м'язового білка.

Результати цього дослідження чітко демонструють, що білкові добавки суттєво відрізняються за своїм потенціалом щодо лейцину, BCAA та mTOR. Це підкреслює необхідність диференційованих практичних рекомендацій, адаптованих до різних груп населення.

Для силових спортсменів та осіб, які піддаються високому рівню механічного м'язового навантаження, швидкозасвоювані білкові добавки з високою біологічною цінністю мають першорядне значення. Зокрема, сироваткові білки, такі як MyProtein Impact Whey, Dymatize ISO100 або Optimum Nutrition Gold Standard Whey, досягли найвищих балів за умовним індексом mTOR у цьому дослідженні. Ці добавки містять високу концентрацію лейцину, а також незамінних амінокислот, що призводить до швидкого збільшення концентрації амінокислот у плазмі. З біохімічної точки зору, постпрандіальний сплеск лейцину, зокрема, стимулює активацію mTORC1 у скелетних м'язах. Це, у свою чергу, активує трансляцію, біогенез рибосом та синтез м'язового білка. З цієї причини сироватковий протеїн часто рекомендується одразу після силових тренувань, оскільки м'язи демонструють підвищену чутливість до амінокислот протягом цієї фази.

Для бодібілдерів та спортсменів-спортсменів рівень споживання білка 1,6–2,0 г білка на кг маси тіла на день може бути корисним, особливо під час фаз нарощування м'язів або інтенсивних тренувальних циклів. Однак не слід розглядати загальну кількість білка окремо; радше, необхідно також враховувати розподіл споживання білка протягом дня. Наукові дослідження показують, що споживання кількох помірних порцій білка з достатнім вмістом лейцину може бути метаболічно вигіднішим, ніж споживання кількох дуже великих прийомів їжі [10].

Спортсмени на витривалість стикаються з дещо іншими метаболічними потребами. У цьому контексті, окрім відновлення м'язів, значну роль відіграють мітохондріальний енергетичний метаболізм, окислювальний стрес та підтримка енергетичного балансу. У цих випадках може бути корисним поєднання вуглеводів та помірної кількості високоякісного білка. Особливо під час тривалих періодів навантажень на витривалість амінокислоти можуть сприяти глюконеогенезу та допомагати зменшити розпад ендогенних білків.

Для людей похилого віку якість білка має особливо велике клінічне значення. З віком у скелетних м'язах розвивається явище, відоме як «анаболічна резистентність». Це пов'язано зі зниженням здатності м'язів реагувати на амінокислоти та інсулін з достатньою активацією синтезу м'язового білка. До факторів, що сприяють цьому, належать, серед іншого, зміни в сигнальних шляхах mTOR, гормональні зміни, хронічне запалення низького ступеня та зниження фізичної активності [8].

Отже, людям похилого віку часто потрібна більша кількість лейцину для ефективної стимуляції синтезу м'язового білка. Ізоляти сироваткового білка, зокрема, можуть виявитися корисними завдяки їх швидкому засвоєнню та високому вмісту лейцину. Водночас повільно засвоюваний казеїн може сприяти довгостроковій стабілізації пулу амінокислот та зменшенню нічних катаболічних процесів.

Це має особливе значення для старших груп населення в Україні. Через соціальні труднощі, обмежений доступ до медичної допомоги та економічну невизначеність багато людей похилого віку стикаються з підвищеним ризиком дефіциту білка та саркопенії. Люди похилого віку, які проживають самі, зокрема, часто споживають недостатню кількість високоякісного білка. У таких випадках доступні та легкодоступні джерела білка, такі як молочні продукти, яйця або білкові добавки помірних доз, можуть допомогти пом'якшити атрофію м'язів та функціональне зниження.

Високоякісні білкові продукти також можуть мати клінічне значення для госпіталізованих пацієнтів або осіб, які проходять реконвалесценцію. Катаболічні метаболічні стани після операції, інфекцій або травм часто супроводжуються прискореним розпадом білка. У таких ситуаціях достатнє споживання білка та надходження лейцину можуть сприяти збереженню м'язової маси.

Для людей, які дотримуються веганської або вегетаріанської дієти, виникають специфічні проблеми з харчуванням. Джерела рослинного білка часто містять нижчі концентрації незамінних амінокислот, зокрема лейцину, метіоніну та лізину. Крім того, засвоюваність рослинних білків іноді знижується через наявність антинутрієнтних факторів.

Біохімічно це означає, що рослинні білки мають знижену здатність активувати mTORC1. У цьому дослідженні рослинні добавки продемонстрували нижчі значення індексу mTOR, а також нижчі концентрації амінокислот з розгалуженим ланцюгом (BCAA). Цей ефект був особливо виражений у багатокомпонентних сумішах та продуктах з горохового білка.

Тим не менш, рослинні білки пропонують значні переваги. Вони містять вищі концентрації аргініну, харчових волокон та біоактивних рослинних сполук. Аргінін служить попередником оксиду азоту (NO), який покращує ендотеліальну функцію, вазодилатацію та кровотік. Це може мати особливе значення для серцево-судинного здоров'я [9].

Більше того, знижена хронічна активація сигнального шляху mTOR, пов'язана з рослинними моделями харчування, може забезпечити довгострокові метаболічні переваги. У галузі досліджень старіння висувається гіпотеза, що хронічна гіперактивація mTOR може бути пов'язана з прискореними процесами старіння, зниженою аутофагією та метаболічними порушеннями. Отже, рослинні джерела білка можуть мати захисні властивості в контексті здорового старіння та профілактичної медицини.

Для людей, які дотримуються веганської дієти, рекомендується стратегічно поєднувати різні джерела рослинного білка, наприклад, соєві, рисові, горохові та бобові білки. Такий підхід допомагає частково компенсувати обмеження амінокислот та підвищує біологічну цінність. Крім того, особливу увагу слід приділяти забезпеченню достатнього споживання вітаміну B12, заліза, кальцію, цинку та омега-3 жирних кислот.

Для людей з ожирінням та метаболічним синдромом дієта з високим вмістом білка може допомогти посилити відчуття ситості, збільшити термічний ефект їжі та зберегти м'язову масу під час втрати ваги. Водночас слід уникати надмірної хронічної активації mTOR. У таких випадках дієтичні режими з помірним вмістом білка, що включають більшу частку рослинних джерел білка, можуть бути метаболічно більш корисними.

Регіональні та економічні відмінності також суттєво впливають на практичний вибір білкових добавок. У Північній Америці та Західній Європі переважають високоякісні ізоляти сироватки та білкові продукти тваринного походження. Хоча ці продукти мають високу біологічну цінність, вони часто дорогі. В азійських країнах продукти на основі сої традиційно користуються високим визнанням і є життєво важливим джерелом білка.

Для багатьох груп населення в Україні, навпаки, економічні чинники відіграють вирішальну роль. Через обмежені фінансові ресурси регулярне вживання дорогих імпортованих сироваткових продуктів не є реалістичним варіантом для великих верств населення. Отже, більш доступні альтернативи мають особливе практичне значення.

Для українських студентів та молодих людей комбіновані рослинні білки або стандартні сироваткові концентрати можуть бути економічно вигідним рішенням. І навпаки, для військовослужбовців та осіб, які зазнають високих фізичних навантажень, продукти з високою концентрацією лейцину та ВСАА можуть бути корисними для протидії руйнуванню м'язів та втомі.

Однак у контексті охорони здоров'я слід наголосити, що білкові добавки не можуть замінити повноцінне та збалансоване харчування. Основою здорового харчування повинні, як і раніше, бути натуральні джерела білка, овочі, цільнозернові продукти, фрукти та достатнє споживання енергії. Білкові добавки служать, перш за все, функціональними засобами та повинні використовуватися цілеспрямовано.

Підсумовуючи, результати цього дослідження показують, що вибір відповідних білкових добавок повинен бути індивідуалізованим. Джерела білка тваринного походження мають найвищий потенціал для активації анаболічних сигнальних шляхів та стимуляції синтезу м'язового білка. Джерела білка рослинного походження, навпаки, демонструють більш сприятливі характеристики щодо регуляції метаболізму, вмісту аргініну та довгострокових аспектів громадського здоров'я. Тому для різних груп населення, особливо для людей похилого віку, спортсменів, осіб, які дотримуються веганської дієти, та соціально незахищених верств населення в Україні, диференційований, науково обґрунтований та економічно реалістичний вибір джерел білка має центральне значення [2, 8].

Висновки до розділу 3

У третьому розділі було проведено обчислювально-аналітичну оцінку метаболічного потенціалу різних білкових препаратів тваринного та рослинного походження. Результати чітко демонструють, що амінокислотний склад має значний вплив на потенційну активацію анаболічних сигнальних шляхів і, таким чином, на харчову якість джерел білка. Оцінка підтвердила, що вміст лейцину та амінокислот з розгалуженим ланцюгом (BCAA), зокрема, можна вважати важливими показниками потенціалу стимуляції синтезу м'язового білка.

Розрахунок гіпотетичного індексу mTOR показав, що препарати сироваткового білка демонстрували найвищі значення. Такі продукти, як MyProtein Impact Whey, Dymatize ISO100 та Optimum Nutrition Gold Standard

Whey, продемонстрували найсильнішу теоретичну здатність активувати mTOR-залежні сигнальні шляхи. Білкові препарати на рослинній основі досягли загалом нижчих значень, але все ж змогли досягти відповідних результатів, особливо при використанні соєвого білка або комбінованих білкових сумішей.

Аналіз порогу лейцину показав, що джерела тваринного білка, завдяки вищому вмісту лейцину, потребують меншої кількості білка для досягнення концентрації лейцину, необхідної для синтезу м'язового білка. Водночас стало зрозуміло, що білкові добавки рослинного походження, за умови правильного дозування, також можуть забезпечити достатнє постачання лейцину.

Розрахунок добового споживання лейцину та ВСАА, а також порівняння моделей харчування тваринного та рослинного походження підтвердили метаболічні переваги джерел тваринного білка щодо їх анаболічного потенціалу. З іншого боку, джерела білка рослинного походження характеризувалися вищим рівнем аргініну та більш помірним гіпотетичним навантаженням mTOR, що може свідчити про потенційні переваги, пов'язані з довгостроковою регуляцією метаболізму.

Крім того, результати підкреслюють, що оцінка білкових добавок не повинна базуватися виключно на загальному вмісті білка. Для обґрунтованої оцінки харчування необхідно також враховувати біологічну цінність, амінокислотний профіль та потенційні метаболічні ефекти. Дослідження показує, що джерела тваринного білка особливо підходять для ситуацій з підвищеною потребою в нарощуванні та регенерації м'язів, тоді як джерела рослинного білка є цінною альтернативою в рамках стійких та орієнтованих на здоров'я концепцій харчування.

Підсумовуючи, результати розділу 3 підтверджують, що білкові добавки як тваринного, так і рослинного походження можуть зробити важливий внесок у споживання білка. Однак вибір відповідного джерела білка завжди слід робити з урахуванням індивідуальних цілей, стану здоров'я, харчових звичок та функціональних властивостей відповідного джерела білка.

ВИСНОВКИ

1. У ході виконання даної роботи було проведено комплексний аналіз амінокислотного складу білкових добавок тваринного та рослинного походження та здійснено оцінку їхнього потенційного впливу на метаболічні процеси організму. Актуальність дослідження зумовлена зростанням популярності білкових продуктів у спортивному харчуванні, профілактичній медицині та сучасній нутриціології, а також необхідністю науково обґрунтованого вибору джерел білка залежно від фізіологічних потреб людини.

2. На основі аналізу наукової літератури встановлено, що якість білка визначається не лише його загальним вмістом, але й амінокислотним профілем, біодоступністю та здатністю впливати на регуляторні метаболічні процеси. Особливе значення мають амінокислоти з розгалуженим ланцюгом (BCAA), насамперед лейцин, який є одним із ключових активаторів сигнального шляху mTOR та відіграє важливу роль у регуляції синтезу м'язового білка. Не менш важливим є аргінін, який бере участь у синтезі оксиду азоту та впливає на функціональний стан серцево-судинної системи.

3. У результаті проведеного порівняльного аналізу встановлено, що білкові добавки тваринного походження характеризуються вищими концентраціями BCAA та лейцину порівняно з рослинними аналогами. Найбільш сприятливий амінокислотний профіль продемонстрували сироваткові білки, які відзначалися високим вмістом незамінних амінокислот та значним анаболічним потенціалом. Рослинні білкові продукти, навпаки, містили менші кількості лейцину та BCAA, проте характеризувалися підвищеним вмістом аргініну, що свідчить про їхні потенційні переваги щодо підтримання судинної функції та метаболічного здоров'я.

4. Проведені розрахунки умовного індексу активації mTOR показали, що білкові добавки тваринного походження мають вищий потенціал щодо

стимуляції анаболічних процесів та синтезу м'язового білка. Розрахунок лейцинового порогу підтвердив, що продукти з високим вмістом лейцину дозволяють досягти необхідного рівня споживання цієї амінокислоти при менших розмірах порції. Водночас встановлено, що сучасні рослинні білкові суміші також можуть забезпечувати достатню кількість незамінних амінокислот за умови їх раціонального поєднання та адекватного споживання. Це свідчить про доцільність індивідуального підходу до вибору білкових добавок залежно від цілей харчування, рівня фізичної активності та особливостей раціону.

Результати кореляційного аналізу продемонстрували наявність тісного позитивного зв'язку між вмістом ВСАА, лейцину та лізину, що є характерною особливістю білків тваринного походження. Натомість аргінін показав виражений негативний зв'язок із цими показниками, що відображає специфіку амінокислотного складу рослинних білкових джерел. Кластерний аналіз підтвердив існування двох чітко відокремлених груп білкових продуктів відповідно до їхнього походження та особливостей амінокислотного профілю.

5. Проведене дослідження дозволило встановити, що білкові добавки тваринного походження є більш ефективними щодо забезпечення організму амінокислотами, безпосередньо пов'язаними з активацією синтезу м'язового білка. Тому їх використання може бути особливо доцільним для спортсменів, фізично активних осіб та людей похилого віку, які мають підвищену потребу у високоякісному білку. Водночас рослинні джерела білка можуть розглядатися як повноцінна складова сучасного харчування та перспективна альтернатива традиційним білковим продуктам, особливо в контексті поширення вегетаріанських і веганських моделей харчування та розвитку концепцій сталого споживання. Для підвищення ефективності рослинного харчування доцільним є поєднання різних рослинних джерел білка, що дозволяє покращити амінокислотний профіль та компенсувати можливий дефіцит окремих незамінних амінокислот.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання амінокислотного профілю як одного з ключових критеріїв вибору білкових добавок для різних груп населення. Отримані дані можуть бути корисними для спортсменів, людей похилого віку, осіб із підвищеними потребами в білку, а також для фахівців у галузі нутриціології та дієтології при розробці рекомендацій щодо оптимізації харчування. При виборі білкових добавок доцільно враховувати не лише загальний вміст білка, а й концентрацію лейцину, ВСАА та інших незамінних амінокислот, оскільки саме вони визначають метаболічну ефективність продукту. Для осіб, які надають перевагу рослинним моделям харчування, перспективним є використання соєвих білків та комбінованих рослинних сумішей, що забезпечують більш збалансований амінокислотний склад. Крім того, використання білкових добавок повинно розглядатися як доповнення до повноцінного раціону, а не як його заміна.

Таким чином, оцінка білкових продуктів повинна базуватися не лише на загальному вмісті білка, але й на аналізі їхнього амінокислотного складу та потенційного метаболічного впливу. Якість білка є важливим чинником, який визначає його функціональну цінність, ефективність використання організмом та можливості практичного застосування у спортивному, профілактичному та лікувальному харчуванні. Отримані результати можуть бути використані як наукове підґрунтя для розробки рекомендацій щодо оптимізації білкового забезпечення різних груп населення та подальших досліджень у галузі нутриціології.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Matissek R., Hahn A. Lebensmittelchemie. – Berlin : Springer Spektrum, 2014.
2. Elmadfa I. Ernährungslehre. – 5. vollst. überarb. u. erw. Aufl. – Stuttgart : Verlag Eugen Ulmer.
3. Müller M. J. Ernährungsmedizinische Praxis. – Stuttgart : Thieme Verlag.
4. Bosy-Westphal A., Kreymann K. G., Müller M. J. Repetitorium Ernährungsmedizin. – Berlin : Springer Verlag.
5. Elango R., Ball R. O., Pencharz P. B. Indicator amino acid oxidation: concept and application // *Journal of Nutrition*. – 2008. – Vol. 138(2). – с. 243–246.
6. FAO. Dietary protein quality evaluation in human nutrition. – Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013.
7. Saxton R. A., Sabatini D. M. mTOR signaling in growth, metabolism, and disease // *Cell*. – 2017. – Vol. 169(2). – с. 361–371.
8. Volkert D., Beck A. M., Cederholm T. et al. ESPEN guideline on clinical nutrition and hydration in geriatrics // *Clinical Nutrition*. – 2019. – Vol. 38(1). – с. 10–47.
9. Wu G., Morris S. M. Arginine metabolism: nitric oxide and beyond // *Biochemical Journal*. – 1998. – Vol. 336(1). – с. 1–17.
10. Position of the Working Group Sports Nutrition of the German Nutrition Society (DGE). Protein Intake in Sports // *German Journal of Sports Medicine*. – 2020. – Vol. 71(7–8). – с. 149–160.
11. Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE). Protein – Referenzwerte für die Proteinzufuhr. – 2024.
12. Phillips S. M. The impact of protein quality on the promotion of resistance exercise-induced changes in muscle mass // *Nutrition & Metabolism*. – 2016. – Vol. 13(64).
13. Morton R. W., Murphy K. T., McKellar S. R. et al. A systematic review, metaanalysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on

resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults // *British Journal of Sports Medicine*. – 2018. – Vol. 52(6). – с. 376–384.

14. Tang J. E., Moore D. R., Kujbida G. W. et al. Ingestion of whey hydrolysate, casein, or soy protein isolate: effects on mixed muscle protein synthesis at rest and following resistance exercise in young men // *Journal of Applied Physiology*. – 2009. – Vol. 107(3). – с. 987–992.

15. van Vliet S., Burd N. A., van Loon L. J. C. The skeletal muscle anabolic response to plant- versus animal-based protein consumption // *Journal of Nutrition*. – 2015. – Vol. 145(9). – с. 1981–1991.

16. Willett W., Rockström J., Loken B. et al. Food in the Anthropocene: the EATLancet Commission on healthy diets from sustainable food systems // *The Lancet*. – 2019. – Vol. 393(10170). – с. 447–492.

17. Wolfe R. R., Cifelli A. M., Kostas G., Kim I.-Y. Optimizing protein intake in adults: interpretation and application of the recommended dietary allowance compared with the acceptable macronutrient distribution range // *Advances in Nutrition*. – 2017. – Vol. 8(2). – с. 266–275.

18. Міністерство охорони здоров'я України. Про затвердження Норм фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах і енергії : Наказ МОЗ України від 03.09.2017 № 1073. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 02.10.2017 за № 1206/31074. // База даних «Законодавство України». Верховна Рада України.