

УДК 57.087:598.2

## ЦІЛІСНІСТЬ ЯК МЕТОДОЛОГІЧНА ОСНОВА ДЛЯ ОПИСУ ПТАШИНИХ ЯЄЦЬ

Митяй І.С.

*Київський національний університет біоресурсів  
та природокористування України*

Проведено аналіз суті пропорцій і подвійного відношення (вурфа) та накреслені перспективи їх використання для цілісного опису пташиних яєць. Показані переваги такого підходу в порівнянні з раніше існуючими методиками. Виявлений зв'язок запропонованих критеріїв з біологічним змістом, що стоїть за кожною формою яєць.

**Ключові слова:** пропорції, подвійне відношення, індекси форми

**Integrity as the methodological basis for avian eggs description. Mytai I.S.** - Essence of proportion and double ratio (wurf) have been analyzed and prospects of their use for integral description of avian eggs have been outlined. Advantages of such approach as compared to previous methods have been shown. Relations of proposed criteria with biological content of each egg shape has been discovered.

**Key words:** proportions, double ratio, shape indices.

### ВСТУП

Абсолютні морфометричні показники організмів та систем їх органів є класичними критеріями описів у зоології. Їх методологічною основою є редуccionізм, тобто характеристика об'єкта на основі аналізу його частин. Своєї актуальності вони не втратили і сьогодні. Проте все частіше виникає необхідність цілісної (системної) характеристики, побудованої на основі синтезу. У його основі лежать загальні принципи організації природи, які є спільними для всіх її проявів. Перш за все будь-який організм є системою, що складається із взаємозв'язаних та взаємозалежних елементів, об'єднаних завдяки прояву одного чи декількох принципів організації. У сучасному природознавстві закріпились три таких принципи: принцип симетрії, комплементарності та рефлексії [7]. У своїй глибинній суті вони є взаємозв'язаним різностороннім проявом одного і того ж. Симетрія – (від грецького *symmetria* – співрозмірність, повторення) інваріантність будь-яких особливостей структури. Комплементарність – (від латинського *complementum* – доповнення) взаємна відповідність.

Рефлексія — (від латинського *reflexio* — зворотній зв'язок, повернення назад) співставлення. Віддаленим прикладом згаданої єдності можуть виступати центр та полюси магніту: в бруску вони існують, але розділити окремо їх не можна.

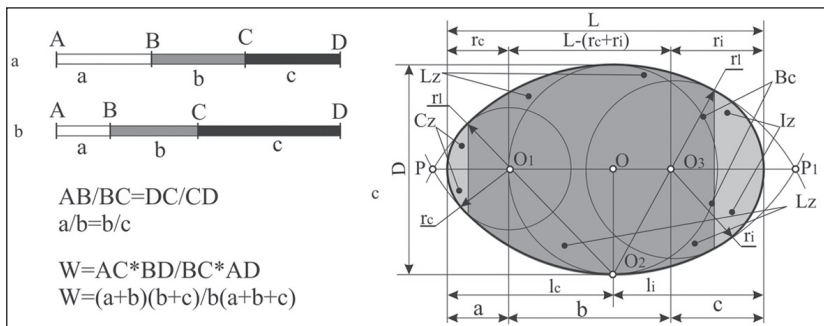
Для кожного із зазначених принципів є свої математичні прийоми, які в загальному вигляді досить складні, проте деякі з них цілком можуть бути використані зоологами для опису досліджуваних об'єктів. Такими є пропорції та подвійне відношення. Намагання автора привернути увагу дослідників до цих критеріїв оцінки біологічних систем, що з незрозумілих причин майже не використовуються зоологами, але по своїй суті є єдиними об'єктивними способами опису, є головною метою даного повідомлення.

У якості моделі нами вибране пташине яйце. За своєю будовою воно є досить простою конструкцією природи. Проте деякі складності в отриманні вихідних параметрів (крім довжини та діаметру яйця) і відсутність цілісності (системності) у його дослідженнях не дає можливості отримати ту глибинну інформацію, яка зв'язана з його морфологією.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дана робота є логічним продовженням, поглибленням та узагальненням раніше запропонованих автором методик [2; 3; 4]. Головна увага в ній зацентрована на розкритті суті та перспективах використання пропорцій та подвійного відношення (вурфа) в якості критеріїв форми пташиних яєць. У зв'язку з тим, що термін „пропорція” в зоологічній літературі не завжди використовуються коректно, вважаємо за необхідне дати його визначення. Пропорція (від лат. *proportio* — співвідношення, співрозмірність) — це рівність двох відношень:  $a/b=c/d$ , або  $a/b=b/c$  [5; 6]. Вурф (від нім. *Wurf* — кидок) — відношення двох відношень [1]:  $W=AC \cdot BD/BC \cdot AD$ , або  $W=(a+b)(b+c)/b(a+b+c)$  (рис. 1).

В основу всіх розрахунків були взяті п'ять вихідних параметрів. Два з них (діаметр та довжина) замірялись штангенциркулем зі шкаралупи яєць. Інші три (радіуси інфундибулярної, клоакальної та латеральних дуг) визначались по фотографіях за допомогою спеціально розроблених комп'ютерних програм. Об'єм матеріалу складає більше 16500 яєць 800 видів з 19 рядів птахів Північно-Західної Палеарктики.



## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

З моменту виникнення зоології і до теперішнього часу методологічною основою досліджень є редукціонізм. Його суттю є розчленування цілого на частини з наступним описом на їх основі. Процедура зводиться до отримання та аналізу лінійних замірів (довжина тіла, довжина кінцівок, маса та ін.). Разом з цим використовуються порівняння (відношення, індекси) первинних вимірів між собою. Вони є більш інформативними та узагальнюючими, проте їх може бути дуже багато, у зв'язку з чим важко визначити, які з них є головними, а які другорядними. Це стає можливим при порівнянні двох і більше відношень між собою. У випадку їх рівності ми маємо справу з пропорціями. Останні є способами узгодження частин цілого, а точніше, вони є єдиним механізмом утворення будь-якого об'єкта природи. Рівність відношень можлива лише у випадках, коли частини однакові або відповідні одне одному (співвідносні, комплементарні). Від характеру такого поєднання залежить наявність та ефективність виконання тих чи інших функцій та властивості структури (механічна міцність, рівномірність розподілу навантажень, характер протікання фізичних та хімічних процесів, економічна вартість конструкцій та ін.). У відповідності із зазначеним було здійснено дослідження пташиних яєць на предмет виявлення взаємозв'язку кількісних характе-

ристик форми шкаралупи з її здатністю до забезпечення оптимального протікання процесу відтворення.

Як зазначалось нами раніше [2; 3; 4] в профілі (проекції на площину) яйця можна виділити три зони: інфундибулярну, латеральні та клоакальну (рис. 1), в які можна вписати однойменні дуги. Ця обставина лягла в основу розробки моделей, які потім використовувались як еталони для порівняння з реальними яйцями. Все різноманіття овоїдів (яйцеподібних фігур) отримується в просторі, обмеженому двома (латеральними) дугами (рис. 2).

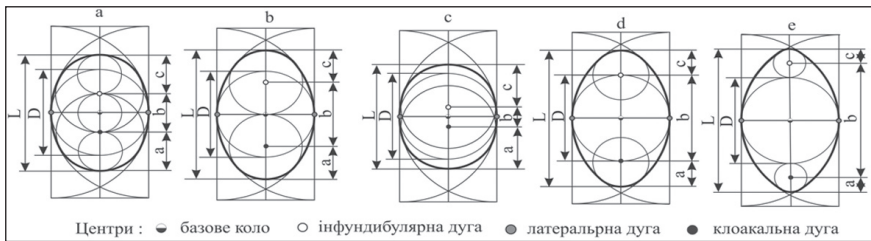


Рис. 2. Геометричні еталони симетричних овоїдів та схеми зняття параметрів для розрахунків індексів, пропорцій та подвійного відношення

Розміри простору залежать від радіусів дуг та ступеню їх взаємного перекриття. Для прикладу ми взяли перекриття, за розмірами рівними діаметру овоїда. Якщо з полюсів вписати кола однакових діаметрів, то ми отримаємо декілька еталонів симетричних овоїдів (виділені жирною лінією), які відрізняються між собою довжиною та конфігурацією полярних зон. Специфікою цих фігур є те, що для них характерна ціла низка пропорцій. Будь-які відношення параметрів до діаметру з однієї сторони вісі, що проходить через центр базового кола, ідентичні таким же відношенням по другу сторону від неї. У даному випадку важливо підібрати ті пропорції, які стосуються загальної організації яйця. Такими є такі, що пов'язані з відношенням довжини овоїду до його діаметру. Останнє, як відомо, є індексом подовженості яйця ( $I_{el} = L/D$ ). У зазначених форм з ним пов'язано багато інших відношень, а значить, він може вважатись цілісним критерієм яйця. Підтвердженням цього є дослідження Р.Мянда, який показав, що всі індекси форми, крім індексу подовженості, мають похибку, яка досягає 60-70% [5]. На користь цього свідчить також зв'язок індексу подовженості з відстанню між двома точками перетину ( $PP_1$ ) латеральних дуг. Ця відстань визначає максимальну довжину ової-

да. Нами [3] було встановлено, що радіусам латеральних дуг  $0,75D$ ;  $1,0D$ ;  $1,25D$  і  $1,5D$  відповідають відстані, рівні кореням квадратним з чисел 2, 3, 4 і 5. Ці значення були запропоновані нами в якості меж індексу подовженої для симетричних і біасиметричних яєць. У свою чергу моноасиметричним формам відповідають межі, які чисельно рівні  $(1+\sqrt{2})/2$ ;  $(1+\sqrt{3})/2$ ;  $(1+\sqrt{4})/2$ ;  $(1+\sqrt{5})/2$  (рис. 3) .

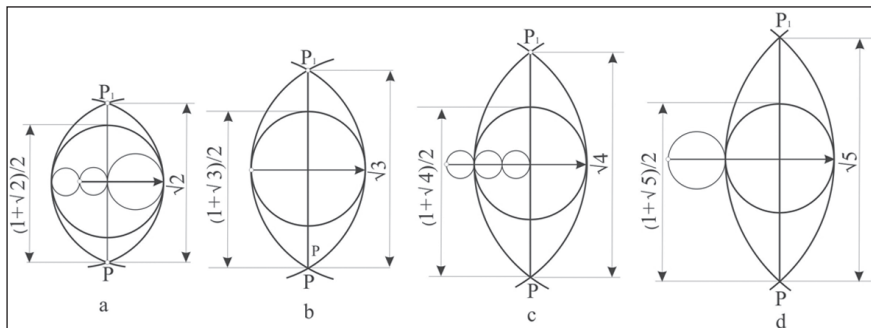


Рис. 3. Схеми для визначення меж індекса подовженості для різних овоїдів

Не важко помітити, що останнє значення є не чим іншим, як математичним виразом золоті пропорції. За аналогією інші значення є також пропорціями. Останнє ще раз підтверджує, що індекс подовженості є цілісним критерієм форми яйця і повинен бути пов'язаним з певним функціональним значенням, про що буде зазначено нижче.

Поряд із низкою переваг для пропорцій характерні деякі незручності. Одна з них полягає в тому, що в природі дуже рідко зустрічаються рівності двох відношень. У зв'язку з цим важко їх відшукувати в тих чи інших структурах. Можливо, з цієї причини вони рідко використовуються дослідниками. Таких недоліків позбавлене подвійне відношення (вурф). Воно показує процентне співвідношення трьох частин цілого, тобто є кількісним відображенням, як пропорційних так і непропорційний структур.

У біології вурф вперше був впроваджений С.В. Петуховим [6] як константа, що лежить в основі біологічних симетрій і реалізується в якості інваріанту трьохчленних кінематичних блоків людини та тварин. Пізніше нами [2] подвійне відношення було запропоноване в якості узагальнюючого індексу форми яйця. Це єдиний критерій, у якого в одній формулі поєднані довжина та інфундибулярний і клоакальний радіуси. Наочно це проглядається, коли у вищезгадану формулу в якості частин цілого, яким в даному випадку виступає довжина овоїда, підставити радіуси полярних зон:  $I_{sum} = (L-r_l)(L-r_c)/Lb$ , де

$I_{\text{sum}}$  — узагальнюючий індекс форми,  $L$  — довжина,  $r_i$ ,  $r_c$  — радіуси інфундибулярної та клоакальної зони,  $b = (L - (r_i + r_c))$ . Як показали наші дослідження, цих трьох незалежних параметрів ( $L$ ,  $r_i$ ,  $r_c$ ) достатньо для відтворення форми яйця. Четвертий параметр, яким є діаметр, необхідний для відтворення масштабу. Із вказаних параметрів легше всього виміряти довжину та діаметр яйця. Інші два проміри можна здійснити по фотографіях яєць штангенциркулем або з допомогою комп'ютерних програм. Після розрахунків індексу подовженості та узагальнюючого індексу стає можливою якісна характеристика яйця, суть якої зводиться до порівняння кількісних показників форми з її здатністю забезпечення оптимального протікання процесу ембріогенезу. Спочатку проаналізуємо наявність взаємозв'язку чисельних значень індексів з конкретними формами.

Індекс подовженості дає тільки загальну інформацію про форму яйця: довге воно чи коротке. При одних і тих же його значеннях овоїди можуть дуже відрізнитись між собою. Однак, якщо його використовувати спільно з подвійним відношенням, то інформативність одного і другого дуже зростає. Розглянемо це на симетричних формах овоїдів (рис. 2). У них радіуси полярних зон однакові, у зв'язку з чим мінливість показника визначається розмірами середнього відрізка ( $b$ ). Якщо він такий, як і два крайніх, то значення будуть рівними 1,333 (рис. 2, а). Якщо подвійне відношення дорівнює 1,125, то у такого овоїда клоакальний та інфундибулярний радіуси складають четверту частину довжини (рис. 2, б). Аналіз решти овоїдів (рис. 2, с, d, e) показав, що збільшення радіусів полярних зон веде до зменшення середнього відрізка. В такому випадку вурф зростає. Зменшення радіусів веде до наближення подвійного відношення до одиниці. У зазначених форм подвійні відношення складають, відповідно: 1,773, 1,054, 1,013. Для кожного з цих значень властиве лише одне процентне співвідношення: 39,8-20,6-39,8; 18,5-63,0-18,5; 10,0-80,0-10,0. Якщо вказані відсотки послідовно перемножити на індекс подовженості, то ми отримаємо величини радіусів клоакальної та інфундибулярної дуг, а також значення відстані між їх центрами. Цього достатньо для геометричного відтворення форми яйця, що створює можливість порівняння та узагальнення результатів досліджень різних авторів. До останнього часу це було неможливим у зв'язку з розрізненістю методик.

Цілісний (системний) характер індексів дає можливість побудувати сукупність геометричних еталонів, кожен з яких дає не тільки наочне уявлення про форму, але й супроводжується відповідним

їй чисельним значенням. Таким чином, назва яйця, його схема та кількісна характеристика виходять з єдиних позицій, що є досить конструктивним при функціональних аналізах шкаралупи. У даному випадку ми сконцентрували свою увагу на таких її властивостях, як механічна міцність, площа поверхні та об'єм. Вони є дуже важливими для успішного протікання ембріогенезу.

Необхідно відзначити, що кожна структура яйця є результатом певного компромісу між суперечливими, а інколи і взаємопротилежними сторонами формоутворення. Так, шкаралупа повинна бути достатньо товстою та міцною, щоб витримувати насиджуючого птаха і не розбиватись при перевертаннях яєць. У той же час її товщина не повинна бути великою, щоб пташеня змогло її пробити та вибратись назовні. При цьому форма яйця має суттєве значення. Перш за все від неї залежать механічні властивості шкаралупи. Як відомо максимальна міцність стінок при мінімальній її товщині характерна для сфери. Звідси витікає, що міцною та економічно більш вигідною є шкаралупа яєць, яка наближається до сфероподібної форми. З подовженням яйця зменшується кривизна поверхні, що супроводжується погіршенням міцності шкаралупи (з боків куряче яйце можна роздавити двома пальцями, в той час, як з полюсів цього не можна досягнути максимальним зусиллям рук). Таким чином, збільшення радіусів латеральних дуг і, відповідно, довжини яйця, викликає необхідність потовщення шкаралупи. Порівняння відносної маси шкаралупи (відношення маси шкаралупи до маси яйця) з індексами подовженості показало наявність їх тісного взаємозв'язку (табл. 1).

Таблиця 1

**Взаємозв'язок індекса подовженості з відносною масою шкаралупи**

| Ряд              | Маса<br>яйця | Маса<br>шкаралупи | Відносна<br>маса<br>шкаралупи | Довжина<br>яйця | Діаметр<br>яйця | Індекс<br>подовже-<br>ності |
|------------------|--------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|
| Coraciiformes    | 8,4          | 0,53              | 0,058                         | 28,2            | 23,0            | 1,221                       |
| Strigiformes     | 20,0         | 1,44              | 0,073                         | 37,5            | 30,4            | 1,234                       |
| Falconiformes    | 72,3         | 7,02              | 0,089                         | 56,9            | 44,8            | 1,268                       |
| Podicipediformes | 24,8         | 2,25              | 0,090                         | 46,2            | 31,3            | 1,475                       |
| Pelecaniformes   | 99,2         | 11,24             | 0,107                         | 73,3            | 46,9            | 1,560                       |
| Gaviiformes      | 131,8        | 15,08             | 0,124                         | 85,8            | 53,7            | 1,596                       |

\* розрахунки зроблені на основі вихідних даних М. Шонветтера [8] та В. Макача [9].

Збільшення товщини шкаралупи підвищує її міцність, проте суттєво погіршує процеси дихання і транспірації, а також негативно



впливає на температурний режим процесу інкубації. З усім цим тісно пов'язана площа поверхні. З одного боку, вона повинна бути якомога більшою для забезпечення ефективності протікання згаданих процесів. З іншого боку – велика площа поверхні веде до швидкого охолодження яйця тоді, коли птах залишає гніздо. Те ж саме можна зазначити і для об'єму. З одного боку, він повинен бути великим, щоб побільше вмістити поживних речовин, необхідних для розвитку зародку. З іншого – його збільшення веде до подовження терміну насиджування, що має свої негативні наслідки. У даному відношенні важливим є таке співвідношення об'єму та площі поверхні, яке б було найбільш оптимальним для розвитку зародку. Таким оптимальним є максимальне відношення об'єму до площі поверхні. Як відомо, воно властиве тільки сфері. У птахів у зв'язку з насиджуванням та орієнтацією зародкового диску в бік обігріву сферичних яєць немає. Відповідно, у них можливе тільки певне наближення до такої форми. Для порівняння площ і об'ємів яєць різних видів птахів можна використовувати, наприклад, відношення їх між собою. Однак, такий показник не є відносним і безмірним, як той же індекс подовженості чи вурф. Але якщо віднести об'єм до площі та довжини яйця, то ми отримаємо відносний і безмірний критерій ( $I_{(V/S/L)}$ ). Більш зручними для наочного сприйняття, на наш погляд, є запропоновані нами два наступних індекси. Перший з них – відносний об'ємний індекс ( $I_V = 100 \cdot V_{OV} / V_{sph(D=L)}$ ), а другий – відносний площинний індекс ( $I_S = 100 \cdot S_{OV} / S_{sph(D=L)}$ ). Ці індекси пропонуються нами вперше. Їх суть полягає в тому, що площа та об'єм реального яйця відносяться до площі та об'єму сфери з діаметром, рівним довжині яйця. Можна відносити і до сфери з діаметром рівним діаметру яйця, але перший випадок наочніший, бо на схемах реальні контури яйця вписуються в контури сфери. При цьому чітко видно, наскільки фігури відхиляються одна від одної, а відсоток цього відхилення слугує критерієм для порівняння об'єму та площі яєць між собою.

Площа і об'єм цілком залежать від форми яєць. Про це також свідчить високий (80–99 %) кореляційний зв'язок цих морфологічних складових яйця з індексом подовженості. Останнє відкриває широкі перспективи для опосередкованої характеристики якості яєць та розрахунків теоретично можливої успішності розмноження.

## ВИСНОВКИ

Вищенаведені матеріали переконливо, на наш погляд, показують, що цілісний підхід до опису яєць є набагато конструктивнішим за ті, що існували раніше. Опис всіх морфологічних ознак здійс-



нюються з єдиних позицій на основі мінімальної кількості параметрів з використанням системних критеріїв. Це дає можливість пов'язати кількісні значення індексів з функціональними властивостями шка- ралупи та виявити їх роль в процесі ембріогенезу. Запропонований підхід дає можливість не тільки об'єктивно описати те чи інше яйце, але й відкриває перспективи для узагальнення даних інших авторів.

#### *Література*

1. Курант Р., Робинс Г. Что такое математика? — Москва: МЦНМО, 2000. — 564 с.
2. Митяй И.С. Новая методика комплексной оценки формы яйца // Бранта. — 2003. — Вып. 6. — С. 179-192.
3. Митяй И.С. Системний підхід - шлях до підвищення якості біологічних досліджень // Вісник КНУ. — 2007. — №12. — С. 21-24.
4. Митяй И.С. Порівняльна характеристика яєць близькоспоріднених видів мартинів України // Біологія та валеологія. 36. наук. Праць.— 2008, вип. 10. — С. 92-98.
5. Мяндр Р. Внутрипопуляционная изменчивость птичьих яиц. — Таллин: Валгус, 1988. — 195 с.
6. Петухов С. В. Биомеханика, бионика и симметрия. — М.: Наука, 1981. — 240 с.
7. Шевелев И.Ш., Марутаев М.А., Шмелев И.П. Золотое сечение: Три взгляда на природу гармонии. — М.: Стройиздат, 1990. — 343 с.
8. Makatsch W. Die Eier der Vögel Europas. — Band 1, 2. Neumann Verlag: 1976. — Vol. 1. — 460 p.
9. Schinwetter M. Handbuch der Oologie. Academie Verlag, Berlin. (1960-1992): Vol. 1-12.

**Целостность как методологическая основа для описания птичьих яиц. Митяй И.С.** — Проведен анализ сущности пропорций и двойного отношения (вурфа), а также очерчены перспективы их использования для целостного описания птичьих яиц. Показаны преимущества такого подхода по сравнению с раньше существующими методиками. Отмечена связь предложенных критериев с биологическим содержанием, которое стоит за каждой формой яиц.

**Ключевые слова:** пропорции, двойное отношение, индексы формы.