– Питання біоіндикації та екології – 2009. – Вип. 14, № 2. –

УДК 591.465.11:637.412

ІНДЕКСИ ТА ПРОСТОРОВІ ФОРМИ ЯЙЦЯ ЯК БІОІНДИКАТОРИ

І.С. Митяй

Національний університет біоресурсів і природокористування України

На основании большого фактического материала (1650 яиц птиц Северо-западной Палеарктики) обосновывается возможность использования некоторых морфологических характеристик яиц в качестве биоиндикаторов. Для этого предлагаются: а) индексы формы: - $I_{el}=L/D$; $I_{lz}=r_l/D$,: де I_{el}, I_{lz} – индексы удлиненности и латеральной зоны, r_l – радиус латеральной дуги, L –длина, D – диаметр; б) индекс скорлупы – $I_{sch}=m_{sch}/M_{eg}$; где m_{sch} – масса скорлупы, M_{eg} – масса яйца; в) объемный индекс $I_{rV}= 6k_v/\pi*(D/L)^2$, $I_{rV}= 6k_v/\pi*I_{el}^2$; г) поверхностный индекс $I_{rS}=S_{ov}/S_{sph} =(k_{sv}*k_v*L)/\pi$, $I_{rS}=k_{ss}L/\pi D$, $I_{rS}=k_{ss}/\pi*DI_{el}$, где k_{sv}, $k_{ss,}$ $k_{v,}$ – поверхностные и объемные коэффициенты.

Пространственные и индексы формы яйца, индекс скорлупы, поверхностные и объемные коэффициенты

ВСТУП

Біоіндикація, згідно з класичним визначенням, є оцінкою якості довкілля за станом організмів, які в ньому мешкають. Критеріями такої оцінки виступає низка показників, серед яких найбільш вагомими є чисельність організмів, їх поширення, продуктивність протягом тривалого часу та ін. Пташине яйце, в даному відношенні, є досить специфічним біологічним об'єктом. Його формування та насиджування перебувають в тісній залежності від стану навколишнього середовища. Якщо в період дозрівання яйцеклітини птах може вибирати ті чи інші умови, то після відкладення яйця територія гніздування залишається незмінною. В даному випадку, успішність розмноження і, відповідно, наступне поповнення популяції молодими особинами, залежить від того, наскільки високою була якість відкладених яєць. Остання, як відомо, визначається багатьма чинниками, серед яких кліматичні умови, кормова база та чистота довкілля відіграють вирішальну роль. Таким чином, визначивши якість відкладених яєць, ми одночасно отримуємо інформацію про стан довкілля, що був до цього, та можемо спрогнозувати, якими будуть результати розмноження в залежності від тих, чи інших умов. Метою даної роботи є пошуки критеріїв якості яєць та можливості їх використання в якості біоіндикаторів.

МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИ

Збір матеріалу (проміри та фотографування) проводили в польових умовах і в музеях України та Росії. Опис форм яєць здійснювався за раніше розробленими нами методиками [2]. Початкові параметри (довжина і діаметр) вимірювалися на реальних яйцях штангенциркулем з точністю до 0,1 мм. Величини радіусів клоакальної, інфундибулярної та латеральної дуг визначалися за цифровими фотографіями яєць за допомогою комп'ютерних програм, розроблених на підставі рівнянь шматково-безперервної (гладенької) кривої. Результати вимірів автоматично вносилися до перебудованих нами баз Microsoft Access. Обробка даних здійснювалася за допомогою пакету програм STATISTICA – 6 Stat Soft Inc. [1]

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Яйцева шкаралупа, за своєю суттю, є просторовим забезпеченням умов ембріонального розвитку, що протікає поза водним середовищем та поза організмом. В зв'язку з цим вона виконує низку функцій, серед яких слід зазначити захисну, механічну, газообмінну, транспіраційну та терморегуляторну. Незважаючи на специфіку, всі ці функції дуже взаємопов'язані. Ступінь прояву кожної з них реалізується шляхом компромісу, адже ефективність виконання однієї функції досить часто пов'язана з пригніченням, а іноді майже з повним запереченням інших. Так, шкаралупа повинна бути достатньо товстою та міцною, щоб витримувати насиджуючого птаха і не розбиватись при перевертаннях яєць. В той же час її товщина не повинна бути великою, щоб пташеня змогло її пробити та вибратись назовні.

[1] Автор выражает искреннюю благодарность Л. Францевичу за консультативную помощь на протяжении многих лет, а также Б. Троцюку, С. Шелестюку и А. Демченко за помощь в создании компьютерных программ.

Потовщення шкаралупи, з однієї сторони, підвищує її міцність, а з іншої, крім зазначеного вище, ще й негативно відбивається на дифузійних процесах. Низька пропускна здатність шкаралупи веде до появи у ембріонів гіпоксії та ацидозу крові, що збільшує їх смертність [1]. Погіршення газообміну і транспірації, в свою чергу, викликає необхідність збільшення кількості та розмірів пор. Останнє зменшує міцність шкаралупи та збільшує її пропускну здатність для повітря та пари води. Це веде до того, що в ході інкубації у ембріонів розвивається гіпероксія, гіпокапнія, дегідратація та алкалоз крові, які понижують успішність розмноження [1]. Навіть цього невеликого переліку фактів достатньо для того, щоб відмітити значну роль шкаралупи в забезпеченні оптимального протікання процесу ембріогенезу.

Серед показників якості шкаралупи, як зазначалось вище, вагоме місце посідає міцність шкаралупи. Для визначення цього параметра потрібне спеціальне обладнання. Проте, можливі і непрямі методи визначення. В зв'язку з тим, що механічні властивості залежать від товщини та особливостей конструкції, а останні визначаються формою, то стає можливим використання критеріїв форми (індексів). Як відомо, максимальна міцність стінок при мінімальній її товщині характерна для сфери. Яйця птахів є в тій чи іншій мірі її топологічними перетвореннями, які ведуть до подовження. Це викликає зменшення кривизни латеральних зон та погіршення міцності шкаралупи в цих місцях. Цей факт загальновідомий: з боків куряче яйце можна роздавити двома пальцями, в той час, як з полюсів цього не можна досягнути максимальним зусиллям рук.

Як відомо, яйця в кладці лежать на боковій стороні і піддаються тискові маси птаха якраз в цьому місці. При високих значеннях маси ризики розбивання яєць зростають. Можливо з цієї причини яйця таких птахів за формою близькі до сфери. Порівняння маси та відносної маси шкаралупи (індекс шкаралупи $I_{sch}=m_{sch}/M_{eg}^{-}$ відношення маси шкаралупи до маси яйця) з індексами форми показало, що останні цілком можуть бути використані як біоіндикатори. Особливо ефективним є використання індексу латеральної зони, який виявляє дуже високу ступінь кореляції (0,813-0,956, $p<0,005$) з масою шкаралупи (табл. 1). Винятком з правила є малі та великі яйця. У стрижів і колібрі вони довгі (I_{el}=1,501), а індекс шкаралупи невеликий (I_{sch}=5,62), в той час яйця страусів короткі (I_{el}=1,210), а індекс шкаралупи значний (I_{sch}=18,32). Очевидно, в даному випадку діють механізми, пов'язані з масою: довгі яйця можуть витримувати дрібних птахів, а великих не витримують навіть майже сферичні яйця і ця обставина веде до потовщення вапнякової оболонки.

Формування шкаралупи дуже залежить від умов середовища. Як відомо, вона дуже чутлива до впливу пестицидів та інших забруднювачів. За їх наявності вона стає тонкою (маса зменшується) і часто ламається під насиджуючим птахом [3–6]. Таким чином, виявивши в гнізді розбиті яйця та розрахувавши масу шкаралупи, ми можемо допустити, що в навколишньому середовищі є хімічні забруднювачі.

Важлива роль шкаралупи полягає також у тому, що вона створює каркас для внутрішньої ємності яйця та зовнішньої поверхні. В якості біоіндикаторів краще всього використовувати відношення реального об'єму яєць до об'єму і площі поверхні сфер з діаметром рівним довжині або діаметру яйця. Найзручнішим способом отримання даних з об'єму та площі поверхні є комп'ютерний аналіз фотографій яєць з допомогою існуючих [7], або спеціально написаних [2] програм. Менш точно, але допустимо, об'єм можна розрахувати за формулою Хойта: $V=k_v*L*D^2$ [6]. Якщо в чисельнику поставити формулу Хойта [8]: $V_{ov}=k_v*L*D^2$, а в знаменнику формулу для визначення об'єму сфери з діаметром рівним довжині яйця: $Vsph=4/3\pi(L/2)^3=\pi L^3/6$ і здійснити необхідні скорочення, то ми отримаємо: $I_{rV}=6k_v(D/L)^2/\pi$. Не важко відмітити, що до складу формули входить індекс подовженості. Якщо останній використовувати, як відношення довжини до діаметру, то формула матиме вигляд – $I_{rV}=6k_v/(\pi*I_{el}^2)$.

Таблиця 1 – Індекси форми та шкаралупи яєць птахів Північно-Західної Палеарктики

Ряд	n	Індекс подовженості (I_{el})		Індекс латеральної зони (I_{lz})		Індекс шкаралупи (I_{sph})	
		M	± m	M	± m	M	± m
Gaviiformes	145	1,598	0,087	1,154	0,159	12,44	0,14
Podicipediformes	378	1,479	0,079	0,94	0,102	9,23	0,89
Procellariiformes	53	1,4	0,072	0,914	0,105	6,70	0,77
Pelecaniformes	211	1,59	0,092	1,115	0,144	10,70	0,12
Ciconiiformes	503	1,393	0,076	0,851	0,093	7,91	0,092
Anseriformes	636	1,427	0,077	0,919	0,095	9,29	0,076
Falconiformes	1573	1,263	0,059	0,755	0,075	8,92	0,093
Galliformes	995	1,311	0,06	0,919	0,119	8,98	0,081
Gruiformes (Rallidae)	345	1,414	0,005	0,914	0,0,05	7,29	0,07
Gruiformes (Gruidae)	154	1,489	0,011	0,993	0,016	9,34	0,015
Charadriiformes(Charadrii)	752	1,403	0,082	1,09	0,005	6,0	0,083
Charadriiformes (Lari)	226	1,407	0,078	0,978	0,005	6,2	0,073
Charadriiformes (Alcae)	90	1,519	0,085	1,552	0,15	9,13	0,087
Columbiformes	200	1,361	0,08	0,857	0,12	6,2	0,04
Cuculiformes	100	1,354	0,073	0,898	0,123	6,81	0,12
Strigiformes	139	1,223	0,057	0,696	0,061	7,29	0,06
Caprimulgiformes	98	1,412	0,064	0,922	0,09	6,49	0,07
Apodiformes	64	1,501	0,088	1,097	0,138	5,62	0,1
Coraciiformes	261	1,222	0,069	0,719	0,091	5,79	0,058
Upupiformes	144	1,446	0,064	0,974	0,1	6,9	0,015
Piciformes	213	1,314	0,063	0,839	0,111	6,6	0,071
Passeriformes	7071	1,345	0,078	0,894	0,14	5,78	0,061

Таблиця 2 – Поверхневі та об’ємні коефіцієнти яєць птахів Північно-Західної Палеарктики

Ряд	n	k_v-min	k_v-max	M_{kv}	±m	k_{sv}-min	k_{sv}-max	M_{ksv}	±m	k_{ss}-min	k_{ss}-max	M_{kss}	±m
Gaviiformes	128	0,503	0,525	0,513	0,001	5,238	5,513	5,368	0,011	2,705	2,836	2,753	0,005
Podicipediformes	363	0,492	0,531	0,506	0,001	5,250	5,615	5,480	0,006	2,645	2,892	2,775	0,005
Pelecaniformes	491	0,497	0,526	0,510	0,001	5,155	5,487	5,424	0,009	2,623	2,812	2,764	0,005
Ciconiiformes	464	0,490	0,528	0,509	0,001	5,337	5,704	5,529	0,009	2,695	2,922	2,815	0,006
Anseriformes	511	0,495	0,539	0,514	0,001	5,303	5,633	5,479	0,007	2,690	2,901	2,816	0,004
Falconiformes	1350	0,500	0,529	0,515	0,001	5,427	5,865	5,643	0,010	2,770	3,029	2,907	0,006
Galliformes	922	0,486	0,532	0,508	0,001	5,403	5,825	5,603	0,007	2,715	2,998	2,848	0,006
Charadriiformes	1903	0,473	0,526	0,499	0,001	5,303	5,759	5,573	0,010	2,600	2,962	2,782	0,007
Columbiformes	139	0,505	0,527	0,517	0,001	5,433	5,675	5,553	0,010	2,789	2,949	2,870	0,006
Cuculiformes	117	0,504	0,553	0,525	0,002	5,237	5,717	5,463	0,016	2,797	2,980	2,869	0,007
Strigiformes	245	0,504	0,529	0,516	0,001	5,473	5,877	5,687	0,010	2,821	3,057	2,935	0,006
Caprimulgiformes	45	0,511	0,535	0,520	0,001	5,357	5,593	5,465	0,009	2,771	2,913	2,842	0,005
Apodiformes	22	0,514	0,534	0,523	0,001	5,306	5,528	5,405	0,013	2,784	2,916	2,825	0,007
Coraciiformes	246	0,506	0,530	0,518	0,001	5,385	5,860	5,669	0,008	2,774	3,044	2,938	0,005
Upupiformes	144	0,506	0,531	0,517	0,000	5,346	5,608	5,460	0,005	2,744	2,907	2,820	0,003
Piciformes	551	0,496	0,534	0,514	0,001	5,403	5,764	5,586	0,008	2,770	2,998	2,872	0,005
Passeriformes	5839	0,487	0,532	0,512	0,001	5,255	5,825	5,576	0,009	2,667	3,029	2,852	0,005

k_v- об’ємний коефіцієнт; k_{sv} – поверхневий коефіцієнт для розрахунку площі за об’ємом; k_{ss} – поверхневий коефіцієнт для розрахунків площі за діаметром та довжиною

Таким же способом можна розрахувати площу поверхні: $S=4,951*V^{0,667}$ [9]; $S=4,857*V^{0,667}$ [8]. Цю процедуру ми спростили ще більше. За аналогією зі згаданими формулами стає можливим використання формули $S=k_{sv}*V$, або $S = k_{ss}*L*D$, де S – площа поверхні, V – об'єм, k_{sv}, k_{ss}, – поверхневі коефіцієнти, L – довжина, D – діаметр. Точність розрахунків можна підвищити використавши внутрішньовидові коефіцієнти. Для обчислень площі поверхні яєць через об'єм з помилкою близько трьох відсотків можна використовувати $k_{sv}=5,566\pm0,001$; $k_{ss}=2,842\pm0,0005$ (n=1650). Для відносної площі поверхні формула матиме наступний вигляд: $I_{rS}=S_{ov}/S_{sph}=(k_{sv}*k_v*L*D^2)/(4\pi(L/2)^2)=(k_{sv}*k_v*L)/\pi$, або $I_{rS}=k_{ss*}L/\pi D= k_{ss*}I_{el}/\pi$. Розрахунки поверхневих та об'ємних коефіцієнтів приводяться в табл. 2.

Таким чином, маючи тільки фотографії яєць, зроблених у відповідності з методикою [2], або скористувавшись поверхневими та об'ємними коефіцієнтами можна проводити багаторічні популяційні дослідження зі всебічним аналізом та прогнозами.

Широкомасштабні дослідження кладок птахів відкривають значні перспективи для проведення довготривалого моніторингу стану природних популяцій пернатих та стану навколишнього середовища.

ВИСНОВКИ

1. Яйце як форма забезпечення умов розвитку зародку поза організмом птаха є дуже залежним від умов зовнішнього середовища, що відбивається на його морфо-функціональній організації, яка виражається в кількісних значеннях індексів та просторових форми.
2. Порівняння індексів середньостатистичних яєць з нормальних умов з індексами розрахованими в умовах, де проводяться дослідження, дає можливість робити висновки про інкубаційну якість яєць та стан довкілля.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Дядичкина Л.Ф., Позднякова Н.С., Кисилева Е.В. Эмбриональное развитие кур при асфиксии и разном положении яиц в лотке // Сучасне птахівництво: Науково-виробничий журнал. – 2009. – № 2. – С. 15–19*
2. *Митяй І.С. Использование современных технологий в исследованиях птичьих яиц // Вісник Запорізького національного університету, Біологічні науки. – 2008. – №1. – С. 175–183.*
3. *Фадеева Е.О., Константинов В.М. Изменчивость метрических признаков яйца в колониях грача (Corvus frugilegus) при разном уровне химического и радиоактивного загрязнения // Актуальные проблемы оологии. Материалы II Международной конференции. Липецк: ЛГПИ, 1998. – С. 16–18.*
4. *Joiris C, Dejaegher J., Delbeke K. Changes of eggshell thickness in Belgian birds of prey // Gerfaut, 1979. – Vol.69. – P. 195–210.*
5. *Morrison M.L. Eggshell thickness changes in Pacific Ocean Phaethonidae and Sulidae // Condor. – 1979. – Vol. 81. – P. 209.*
6. *Vangilder L.D., Peterle T.J. Mallard egg quality: enhancement by low levels of petroleum and chlorinated hydrocarbons // Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. – 1983. – Vol. 30. – P. 17–23.*
7. *Bridge E.S., Boughton R.K., Aldredge R.A., Harrison T.E., Bowman R., Schoech S.J. Measuring egg size using digital photography: testing Hoyt`s method using Florida Scrub-Jay eggs // Journal of Field Ornithology. – 2007. – Vol. 78 – P. 109–116.*
8. *Hoyt D.F. The effect of shape on the surface-volume relationships of birds eggs // The Condor. – 1976. – Vol. 78 – P. 343–349.*
9. *Paganelli C.V., Olszowka A., Ar. A. The avian egg: surface area, volume and density // The Condor. – 1974. – Vol. 76 – P. 319–325.*

– Питання біоіндикації та екології – 2009. – Вип. 14, № 2. –

SPATIAL AND SHAPE INDICES OF AVIAN EGG AS BIOINDICATORS.

Mytiai I.S.

Numerous facts (1650 eggs of Northwestern Palearctic birds) testify to the possibility of use of certain oomorphological characters as bioindicators. The following indices are proposed: a) shape indices $I_{el}=L/D$; $I_{lz}=r_l/D$, *where* I_{el}, I_{lz} – elongation and lateral zone indices, r_l – lateral arc radius, L – length, D – diameter; b) shell index – $I_{sch}= m_{sch}/M_{eg}$; where m_{sch} – shell mass, M_{eg} – egg mass; c) volume index $I_{rV}= 6k_v/\pi*(D/L)^2$, or $I_{rV}= 6k_v/\pi*I_{el}^2$; d) surface index $I_{rS}=S_{ov}/S_{sph} =(k_{sv}*k_v*L)/\pi$, or $I_{rS}=k_{ss}L/\pi D$, $I_{rS}=k_{ss}/\pi*DI_{el}$, where k_{sv}, k_{ss}, k_v,- surface and volume coefficients.