
ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ В ИНТРОДУКЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Показаны возможности применения информационно-математического подхода в интегральной оценке успешности интродукции растений. По результатам комплексного анализа окислительных процессов и белково-углеводного обмена двадцати видов дейций, гортензий, чубушников и сиреней, интродуцированных в Степное Приднпровье, проведена оценка информационных вероятностно-статистических показателей (энтропии, упорядоченности биосистем, коэффициента избыточности информации), использованных как критерии меры надежности функционирования растений в условиях района интродукции. Приведена методология количественной оценки сложности организации биосистем и их информационных характеристик.

В интродукции древесных растений значительное внимание уделяется проблемам, связанным с сохранением биоразнообразия арборифлоры и выявлением закономерностей адаптации древесных растений в условиях нового ареала. Для успешного решения этих задач требуется широкое привлечение дендрологических ресурсов, а также проведение анализа успешности интродукционных испытаний наиболее ценных видов. Поэтому, наряду с активным пополнением видового состава коллекций, все большую актуальность приобретают вопросы анализа и обобщения результатов первичных интродукционных испытаний, выявления общебиологических закономерностей интродукционного процесса.

Накопленный к настоящему времени фактический экспериментальный материал относительно различных сторон жизнедеятельности и функционирования интродуцентов [7, 12, 16, 25, 27, 29] дает представление об отдельных компонентах сложной цепи адаптивных реакций. Выявление каких-либо закономерностей интродукционного процесса возможно на основе системного анализа и прогностических оценок поведения интродуцентов в условиях района

интродукции. В связи с этим, на современном этапе интродукционных исследований актуальной задачей является получение интегральных оценок адаптивной способности растений, отражающих особенности структурно-функциональной организации растительного организма. Это и было целью нашего исследования.

Наиболее перспективным подходом к решению подобной задачи является привлечение понятий системного анализа, методологии теории информации, изучение растительного организма как сложной многоуровневой системы, а его адаптивных реакций — как информационного отклика на комплекс разнообразных воздействий внешних факторов среды [1, 2, 21, 22, 26, 28]. Основные положения данного подхода отражены в сформулированной П.Е. Булахом информационно-энергетической концепции интродукции растений [4, 5]. Согласно этой концепции, информация — это наиболее общая мера адаптации, а интродукция растений — это процесс отбора, переноса и введения в культуру новой информации по принципу ее максимализации, что сопровождается минимализацией энергетических затрат. Для обоснования общих теоретических посылок автор использует понятие энтропии как меры неопределенности,

или разнообразия возможных состояний биологической системы. Подобные представления изложены в работах Р.В. Галушко [6], Н.А. Кохно [17], С.Е. Коровина, А.С. Демидова [15], В.В. Петрушенко, Н.Я. Николаевой [23] и др. Информационный подход позволяет раскрыть изменение характера адаптационных процессов на онтогенетическом уровне при интродукции как реакцию на поступление и накопление информации о внешней среде при воздействии различных факторов [17].

Однако в информационной концепции интродукции не нашли должного отражения количественные оценки информационных критериев, лежащие в основе применения методов теории информации, в частности, вероятностного подхода к оценке уровня сложности и организации биосистем.

Анализ исследований по данной проблеме показал, что наиболее целесообразным является использование информационно-математического подхода в описании законов функционирования биологических систем на различных уровнях организации [3, 18, 19, 20, 31, 32].

Объекты и методы исследований

Объектами исследований являлись ценные в декоративном отношении красивоцветущие кустарники — представители родовых комплексов *Philadelphus* L., *Deutzia* Thunb., *Hydrangea* L. (Saxifragaceae L.) и *Syringa* L. (Oleaceae L.), интродуцированные в ботаническом саду Днепропетровского национального университета. Для исследований были выбраны 20 видов, характеризующиеся разной степенью приживаемости в ботаническом саду и, следовательно, различными адаптивными возможностями и устойчивостью в условиях данного района интродукции. Среди изучаемых видов были представители флоры Южной и Средней Европы, Малой Азии (*Philadelphus coronarius* L., *Syringa vulgaris* L., *S. josikaea* Jack.), Дальнего Востока и Северо-Восточного Китая (*Philadelphus schrenkii* Rupr., *Hydrangea bretschneideri* Dipp., *Syringa oblata* Lindl.),

Центрального и Юго-Западного Китая (*Philadelphus magdalenae* Koechne, *Deutzia discolor* Hemsl., *Syringa reflexa* C.K. Schneid., *S. yunnanensis* Franch.), Японии (*Philadelphus satsumanus* Miq., *Deutzia sieboldiana* Maxim.), Атлантического (*Philadelphus latifolius* Schrad., *Ph. grandiflorus* Willd., *Hydrangea cinerea* Small.) и Тихоокеанского (*Philadelphus californicus* Benth., *Ph. mexicanus* Schlecht.) регионов Северной Америки, а также гималайские (*Deutzia staminea* R.Br.), среднеазиатские (*Syringa persica* L.) виды и виды, занимающие широкий ареал в Японии и Китае (*Deutzia scabra* Thunb.).

Был проведен комплексный анализ физиолого-биохимических показателей, характеризующих активность основных звеньев метаболизма (окислительные процессы и белково-углеводный обмен). Исследования проводили в динамике в течение вегетационного и осенне-зимнего периода.

В тканях листьев и однолетних побегов определяли содержание белков, высокомолекулярных углеводов, сумму сахарозы и восстанавливающих сахаров [24, 30]. Об активности процессов биологического окисления судили по показателям интенсивности дыхания, активности ферментов — каталазы, пероксидазы, полифенолоксидазы [24, 30].

Полученные экспериментальные данные обрабатывали стандартными методами статистического анализа и представляли в виде основных параметров простой статистики. Полученный массив данных являлся предметом изложенного ниже анализа с использованием информационно-математических критериев.

Результаты и их обсуждение

Результаты экспериментальных исследований отражают динамику сезонных изменений содержания в тканях листьев и побегов белков, крахмала, суммы сахаров, сахарозы, восстанавливающих сахаров, интенсивности дыхания, а также активности каталазы, пероксидазы и полифенолоксидазы в листьях у восьми видов чубушников, че-

тырех видов дейций, двух видов гортензий и шести видов сиреней [8—11, 13, 14]. Сложность комплексного сравнительного анализа уровня жизнедеятельности этих интродуцентов заключалась в различных диапазонах числовых значений полученных величин и разной их размерности (эти данные в обобщенном виде приведены в табл. 1). В связи с этим экспериментальные данные необходимо было представить в относительных единицах, что позволило бы их сравнивать. Для этого значения отдельного показателя вида относили к соответствующему обобщенному максимуму, величина которого приведена в табл. 1.

Все полученные динамические характеристики можно рассматривать как результат реализации реакции растений на определенные информационные воздействия внешних факторов и взаимовлияния внутренних информационных процессов. Поэтому диапазон их варьирования может слу-

жить показателем меры сложности, или организации вида как целостной биосистемы.

Информационный подход к структуре биологических объектов, основанный на классической (вероятностно-статистической) теории информации, применяется в медико-биологических и морфологических исследованиях [1, 3, 18, 20, 28]. Основной категорией теории информации является понятие разнообразия элементов сложной системы, под которым подразумевают совокупность различных элементов, свойств, отношений, связей объекта, поддающихся идентификации и учету [20]. Поскольку любое разнообразие элементов сложной системы может быть представлено как множество, то можно определить количество информации, заложенное в структуре системы, как функцию множества [19]. В логарифмическом представлении это имеет следующий вид:

$$H = \log_2 N, \quad (1)$$

Таблица 1. Диапазон изменений показателей функциональной активности у растений-интродуцентов изучаемых родовых комплексов

Показатель, размерность	Количество экспериментальных данных по каждому виду растений*	Philadelphus L. (8 видов)	Deutzia Thunb. (4 вида)	Hydrangea L. (2 вида)	Syringa L. (6 видов)	Обобщенный максимум
Интенсивность дыхания, мг CO ₂ / г·ч	10/6	0,082—3,190	0,110—2,035	0,163—1,760	0,192—1,650	3,200
Активность каталазы, мкмоль H ₂ O ₂ / г·мин	—/3	322,3—1048,0	243,6—744,6	391,7—709,6	631,0—1022,0	1050,0
Активность пероксидазы, мкмоль гваякола / г·мин	—/3	13,62—123,05	1,23—13,81	15,92—102,37	20,80—98,42	125,0
Активность полифенолоксидазы, мкмоль аскорб. кислоты / г·мин	—/3	16,77—148,85	6,35—36,67	31,46—77,19	76,15—145,5	150,0
Содержание белков, мг/г сух. в-ва	10/6	0,390—1,483	0,220—1,076	0,443—1,372	0,339—1,517	1,520
Содержание крахмала, %	7/4	0,402—3,990	1,266—3,240	0,252—1,650	0,203—3,865	4,000
Сумма сахаров, %	7/4	11,50—15,96	11,46—14,04	11,76—15,26	11,18—15,46	16,00
Сахароза, %	7/4	4,43—7,14	3,24—6,63	4,81—6,69	4,56—7,42	7,45
Восстанавливающие сахара, %	7/4	6,00—8,81	5,63—8,43	6,39—9,24	5,75—8,75	9,25

* В числителе приведены данные по побегам, в знаменателе — по листьям.

где H — количество разнообразия, или информации в системе, или ее информационная емкость; N — число состояний системы. Для сложной (гетерогенной) системы H определяется суммой логарифмов числа состояний подсистем:

$$H_{\text{общ}} = \sum \log_2 N_i. \quad (2)$$

Для оценки информационных параметров конкретных биологических объектов необходимо получить значительный по объему массив данных о количественных или качественных характеристиках элементарных структур, формирующих изучаемую биосистему, которые и будут рассматриваться как множество состояний системы.

Оцениваемая по уравнению (1) информационная емкость системы не позволяет определить, в каком из множества состояний находится система. Для этого необходимо ввести понятие неопределенности, отражающее вероятностные характеристики разнообразия состояний системы. В реальных биологических системах всегда присутствует неравномерное распределение вероятностей элементов системы [20], поэтому разнообразие, или неопределенность, сложной системы будет выражаться суммой произведений вероятностей (p_i) всех возможных состояний на соответствующие логарифмы их вероятностей:

$$\sum H_i = -\sum p_i \log_2 p_i. \quad (3)$$

Сумма всех вероятностей составляет 1. Для систем с равновероятными состояниями $H = \sum \log_2 p_i = \sum \log_2 N = 1$. Величина H , в которой отражены вероятностные информационные характеристики, получила название информационной энтропии, или неэнтропии [32]. Максимум энтропии соответствует наибольшей неопределенности, или равенству вероятностей всех возможностей. Таким образом, важным аспектом информационных оценок систем является не только степень разнообразия элементов (диапазон изменчивости признака), но и вероятность нахождения системы в том или ином состоянии (частота встречаемости градаций признака).

Для более глубокого понимания механизмов структурной и функциональной организации биосистем и оценки количественных критериев их перестройки при воздействии внешних факторов предложены интегральные информационные показатели [2, 19, 26]: Q — абсолютная организация (упорядоченность) системы, R — относительная организация системы, или коэффициент избыточности информации.

$$Q = H_{\text{max}} - H. \quad (4)$$

При повышении вероятности реализации в системе определенных состояний ($p_i \rightarrow 1$), текущая неопределенность системы уменьшается ($H \rightarrow 0$). Тогда показатель Q приближается к максимальному значению, величина которого зависит от степени разнообразия (неоднородности) элементов, слагающих систему. В случае $Q = H_{\text{max}}$ система считается полностью детерминированной.

Коэффициент избыточности R показывает долю нереализованной (избыточной) информации, которая обеспечивает надежность системы и составляет ее структурно-функциональный резерв, который может быть активирован при изменившихся условиях существования.

$$R, \% = \frac{H_{\text{max}} - H}{H_{\text{max}}} \cdot 100 = (1 - H/H_{\text{max}})100. \quad (5)$$

В стабильных детерминированных системах отношение H/H_{max} имеет тенденцию к снижению, а коэффициент R приближается к максимальным значениям, что свидетельствует о значительном потенциале организации системы. Уменьшение избыточности является признаком дезорганизации и усиления энтропийных явлений, направленных на увеличение однородности (гомогенности) элементов системы и ее неопределенности.

Исходя из этих посылок, нами была проведена оценка информационных характеристик состояния растений-интродуцентов как сложных биологических систем. При анализе полученных экспериментальных данных динамики физиолого-биохимичес-

ких процессов в ходе сезонного развития интродуцентов в ботаническом саду ДНУ по каждому виду из общего вариационного ряда были сформированы два взвешенных ряда: в первом сгруппированы числовые значения интенсивности окислительных процессов (в относительных единицах), во втором — содержания фракций белков и углеводов. Такой подход позволил дифференцированно оценить качественно различные процессы окисления и энергообеспечения клеток и процессы основных звеньев метаболизма.

Далее оценку информационных критериев проводили отдельно по двум массивам данных. В первом случае количество дат вариационного ряда составило $N_i = 25—27$, во втором — $N_i = 37$. Взвешенные ряды формировали, исходя из пяти градаций варьирования признаков, выраженных в относительных единицах.

Распределение относительных величин по группам значений — классам (частота f_i) в каждом вариационном ряду выражали в долях относительно общего числа членов вариационного ряда (N_i) и получали таким образом величину p_i , отражающую вероятность (встречаемость) отдельных величин признака. Величину энтропии каждой размерной группы (класса) рассчитывали по формуле:

$$H_i = p_i \log_2 p_i. \quad (6)$$

Значения энтропии H_i для каждой размерной группы (класса) суммировали (уравнение (3)) и получали реальную величину H для вариационного ряда. Максимально возможное значение энтропии H_{max} рассчитывали как логарифм по основанию 2 числа групп, или классов (N), на которые был разбит весь диапазон варьирования признака. Для всех вариантов анализа $H_{max} = \log_2 5 = 2,32$. С этой величиной соотносили полученные величины текущей неопределенности (энтропии) $\sum H_i$, рассчитанной по формуле (3), и оценивали информационные показатели Q (уравнение (4)) и R (уравнение (5)). Сравнить величины энтропии удобнее, если использовать показатель от-

носительной энтропии h , для чего H_{max} принимали за 1,0, а все значения $\sum H_i$, рассчитанные по экспериментальным данным, выражали в долях к 1,0.

В табл. 2 представлены результаты оценки информационных вероятностно-статистических показателей (энтропии, абсолютной организации системы, коэффициента избыточности информации в системе) для изучаемых растений, интродуцированных в Днепропетровском ботаническом саду.

Представленные в табл. 2 данные свидетельствуют о том, что в целом для показателей белково-углеводного обмена величина h выше по сравнению с динамическими характеристиками (интенсивность окислительных процессов), что подтверждает целесообразность выделения этих двух функциональных блоков и дифференцированного подхода к анализу их информационных характеристик. Высокие значения относительной энтропии h_2 , найденные нами для блока показателей белково-углеводного обмена (в среднем по родовым комплексам от 0,803 до 0,925), свидетельствуют о том, что большая часть заложенной в структуре объекта информации реализована, и при этом проявляется тенденция к снижению упорядоченности и гетерогенности элементов системы. Подобная направленность в организации метаболической системы сопряжена с недостатком резерва упорядоченности, необходимого для перехода системы к новым уровням функциональной и структурной организации в новых условиях существования. Об этом свидетельствуют невысокие значения коэффициента избыточности R_2 (от 2,60 до 25,52).

Информационные характеристики активности окислительных процессов, которые выражаются более низкими значениями энтропии h_1 (в среднем по родовым комплексам от 0,672 до 0,918) и более высокими — избыточности R_1 (от 4,48 до 41,33), напротив, демонстрируют лабильность и реактивность системы и высокий уровень ее функциональной активности.

Таблица 2. Информационные характеристики структурно-функциональной организации растений-интродуцентов

Вид	Активность окислительных процессов (1)				Белково-углеводный обмен (2)			
	ΣH_{i1}	Q_1	R_1	h_1	ΣH_{i2}	Q_2	R_2	h_2
<i>Philadelphus coronarius</i>	1,993	0,327	14,09	0,85	2,183	0,137	5,90	0,94
<i>Ph. schrenkii</i>	1,842	0,476	20,60	0,79	2,090	0,230	9,91	0,90
<i>Ph. magdalenae</i>	2,216	0,104	4,48	0,95	2,199	0,121	5,21	0,94
<i>Ph. satsumanus</i>	2,206	0,114	4,91	0,95	2,260	0,060	2,60	0,97
<i>Ph. latifolius</i>	1,895	0,425	18,32	0,82	2,179	0,141	6,07	0,94
<i>Ph. grandiflorus</i>	1,801	0,515	22,37	0,77	2,039	0,281	12,11	0,87
<i>Ph. californicus</i>	1,928	0,392	16,89	0,83	2,078	0,242	10,43	0,89
<i>Ph. mexicanus</i>	1,934	0,386	16,63	0,83	1,978	0,342	14,74	0,85
<i>Deutzia scabra</i>	1,564	0,756	32,58	0,67	2,011	0,309	13,32	0,86
<i>D. discolor</i>	1,688	0,632	27,24	0,72	1,912	0,408	17,58	0,82
<i>D. sieboldiana</i>	1,687	0,633	27,28	0,72	1,909	0,411	17,71	0,82
<i>D. staminea</i>	1,361	0,959	41,33	0,58	1,806	0,514	22,15	0,78
<i>Hydrangea cinerea</i>	1,827	0,493	21,25	0,78	2,100	0,220	9,48	0,90
<i>H. bretschneideri</i>	1,580	0,740	31,89	0,68	2,219	0,101	4,35	0,95
<i>Syringa vulgaris</i>	1,975	0,345	14,87	0,85	1,728	0,592	25,52	0,74
<i>S. josikae</i>	2,177	0,143	6,16	0,94	1,815	0,505	21,76	0,78
<i>S. persica</i>	2,062	0,258	11,12	0,89	1,848	0,472	20,34	0,79
<i>S. oblata</i>	2,511	-0,191	5,23	1,08	1,764	0,556	23,96	0,76
<i>S. reflexa</i>	1,841	0,479	20,64	0,79	1,930	0,390	16,81	0,83
<i>S. yunnanensis</i>	2,237	0,083	3,57	0,96	2,146	0,083	7,50	0,92

Такие общие закономерности вероятностного распределения состояний и степени их реализации в функционировании двух блоков метаболических реакций достаточно четко проявляются у представителей трех родов семейства Saxifragaceae. Таким образом, прослеживается связь близких в систематическом отношении таксонов по уровню значений информационных показателей. У представителей рода *Syringa*, наоборот, в большей мере проявляются энтропийные явления в активности окислительных процессов, что говорит об ограничении возможностей адаптивных перестроек процессов, связанных с энергетическим обеспечением растительных клеток.

Среди изучаемых родовых комплексов наиболее высокий коэффициент избыточности R , который отражает надежность системы при изменении внешних информа-

ционных воздействий, характерен для видов рода *Deutzia* ($\Delta R_1 = 32,10$; $\Delta R_2 = 17,69$). Значительный резерв адаптивных возможностей в отношении энергетического баланса заложен у видов гортензии ($\Delta R_1 = 26,57$); белково-углеводного обмена — у видов сирени ($\Delta R_2 = 19,31$). Представители рода *Philadelphus* характеризуются невысоким уровнем избыточности информации, которая может быть реализована в структурно-функциональных связях организации системы как реакция на внешние воздействия ($\Delta R_1 = 14,78$ и $\Delta R_2 = 8,37$).

Выводы

Наибольшие избыточность и детерминированность, отмеченные нами для комплекса окислительных процессов, коррелируют с недостаточной устойчивостью растений к низким температурам района интродукции.

Высокая избыточность указывает на слабую эффективность и инертность системы ферментно-метаболических реакций интродуцента.

Недостаточная устойчивость к стрессовым гидротермическим факторам среды района интродукции, характерная для некоторых изучаемых нами видов, проявляется в изменении основных информационных показателей белково-углеводного обмена: величина энтропии приближается к максимальной, а показатели избыточности и организации системы снижаются почти вдвое.

Таким образом, в основе оценки адаптивных механизмов древесно-кустарниковых растений к низким температурам при интродукции в Степное Приднепровье, лежат критерии избыточности окислительных процессов, к недостатку влагообеспеченности — критерии энтропии процессов пластического обмена. Различная степень сложности структурно-функциональной организации является основой видовой специфики, обеспечивающей адаптивные возможности организма к изменяющимся условиям окружающей среды.

Использование информационного подхода в интродукции растений как методологической основы количественной характеристики биосистем, позволяет провести более эффективный анализ значительных объемов разнородной первичной информации, интерпретировать данные по интегральным характеристикам организации системы и количественно оценить пороговые значения, надежность функционирования и потенциальные адаптивные возможности растительного организма в новых условиях произрастания.

1. Акопов А.Ю. Информационное взаимодействие живых систем со средой // Системные исследования. — М.: Наука, 1981. — С. 182—192.

2. Антомонов Ю.Г. Моделирование биологических систем. — К.: Наук. думка, 1977. — 260 с.

3. Бандарин В.А. Основы теории информации и ее применение в медицинских и биологических

исследованиях // Теория информации в медицине. — Минск: Наука и техника, 1974. — С. 6—77.

4. Булах П.Е. Информационно-энергетическая теория интродукции растений // Интродукція рослин. — 1999. — № 3-4. — С. 22—29.

5. Булах П.Е. Принцип оптимальности как важнейшая парадигма интродукции растений // Бюл. Держ. Нікіт. ботан. саду. — 1999. — Вып. 79. — С. 19—23.

6. Галушко Р.В. Информационная концепция адаптации интродуцированных растений на ЮБК // Биологическое разнообразие. Интродукция растений: Матер. 2-й междунар. конф. — Спб., 1999. — С. 127—128.

7. Гревцова Г.Т., Полякова Л.В., Лактіна Ю.А. Біохімічна оцінка зимостійкості кизильників, інтродукованих в умовах північного заходу України // Матеріали XI з'їзду Укр. ботан. т-ва. — Харків, 2001. — С. 108—109.

8. Долгова Л.Г. Вміст цукрів у вегетативних органах рослин — представників роду *Deutzia Thunb.*, інтродукованих в степову зону України // Відновлення порушених природних екосистем: Матер. II міжнар. наук. конф. — Донецьк, 2005. — С. 242.

9. Долгова Л.Г., Зайцева И.А. Активность процессов дыхания чубушников // Интродукція рослин. — 2004. — № 2. — С. 73—80.

10. Долгова Л.Г., Зайцева І.О. Інтенсивність дихання видів роду *Syringa L.*, інтродукованих в Степову зону України // Вісн. Криворізького технічного ун-ту. — 2005. — Вип. 10. — С. 215—218.

11. Долгова Л.Г., Зайцева І.О. Вміст цукрів у вегетативних органах садових жасминів, інтродукованих у Степову зону України // Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. Сер. Біологія. — 2006. — Вип. 18. — С. 49—51.

12. Зайцева І.О. Динаміка водообмінних процесів видів роду *Acer L.* у зв'язку з їх посухостійкістю // Вісн. ДНУ. Сер. Біологія. Екологія. — 2004. — Вип. 12. — № 1. — С. 54—61.

13. Зайцева І.О. Динаміка вмісту крохмалю в листках і пагонах представників роду *Syringa L.* // Проблеми збереження, відновлення та збагачення біорізноманітності в умовах антропогенно зміненого середовища: Матер. міжнар. наук. конф. — Кривий Ріг, 2005. — С. 436—438.

14. Зайцева І.О., Долгова Л.Г. Особливості сезонних змін білкового обміну видів роду *Syringa L.*, інтродукованих у Степове Придніпров'я // Вісн. ДНУ. Сер. Біологія. Екологія. — 2005. — Вип. 13. — С. 80—85.

15. Коровин С.Е., Демидов А.С. Интродукционный прогноз и его методические аспекты // Журн. общ. биол. — 1981. — 42, № 5. — С. 673—679.

16. Косенко І.С. Посухо- і зимостійкість видів *Corylus L.* // Бюл. Держ. Нікіт. ботан. саду. — 2003. — Вип. 88. — С. 96—101.

17. Кожно Н.А., Курдюк А.М. Теоретические основы и опыт интродукции древесных растений в Украине. — К.: Наук. думка, 1994. — 185 с.

18. Кошкин В.М., Забродский Ю.Р. Информационная модель адаптации // Математическое моделирование сложных биологических систем. — М.: Наука, 1988. — С. 141—144.

19. Кремянский В.И. Информация и системный подход в биологии. — М.: Знание, 1980. — 64 с.

20. Леонтьук А.С., Леонтьук Л.А., Сыкалов А.И. Информационный анализ в морфологических исследованиях. — Минск: Наука и техника, 1981. — 160 с.

21. Мельник Л.Г. Фундаментальные основы развития. — Сумы: ИТД "Университетская книга", 2003. — 288 с.

22. Околітенко Н.І., Гродзинський Д.М. Основи системної біології. — К.: Либідь, 2005. — 360 с.

23. Петрушенко В.В., Николаева Н.Я. Биоэнергетическое обоснование закономерностей ответных реакций растений при их интродукции в новые условия внешней среды // "Интродукция растений на початку XXI ст., досягнення і перспективи": Матер. міжнар. наук. конф. — Київ, 2005. — С. 49—51.

24. Починок Х.Н. Методы биохимического анализа растений. — К.: Наук. думка, 1976. — 384 с.

25. Сергеев Л.И., Сергеева К.А. Окислительные ферменты в годичном цикле зимостойких и незимостойких древесных растений // Физиология зимостойкости древесных растений. — М.: Наука, 1964. — С. 21—52.

26. Сетров М.И. Организация биосистем. — Л.: Наука, 1971. — 275 с.

27. Трофименко Н.М. Устойчивость видов дуба секции *Cerris Dumort.* к неблагоприятным факторам среды в условиях интродукции // Интродукция и акклиматизация растений. — 1994. — Вып. 19. — С. 27—29.

28. Урманцев Ю.А. Системный подход к проблеме устойчивости растений // Физиология растений. — 1989. — 26, вып. 6. — С. 1233—1234.

29. Федоровский В.Д. Морозостойкость древесных растений в Северной Степи Украины // Бюл. Держ. Нікіт. ботан. саду. — 1999. — Вип. 79. — С. 177—181.

30. Физиология растений. Практикум / За ред. М.М. Мусієнка. — К.: Вища школа, 1995. — 191 с.

31. Хайлов К.М. Упорядоченность биологических систем // Успехи соврем. биол. — 1966. — 61, № 2. — С. 198—211.

32. Чернышенко С.В. Термин "информация" и математическое описание информационных процессов в экологических системах // Экология та ноосферологія. — 1995. — 1, № 1-2. — С. 137—150.

Рекомендовал к печати
П.Е. Булах

І.О. Зайцева

Дніпропетровський національний університет,
Україна, м. Дніпропетровськ

ІНФОРМАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ В ІНТРОДУКЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

Показано можливості застосування інформаційно-математичного підходу в інтегральній оцінці успішності інтродукції рослин. За результатами комплексного аналізу окиснювальних процесів і білково-вуглеводного обміну двадцяти видів дейцій, гортензій, чубушників та бузків, інтродукованих у Степове Придніпров'я, проведено оцінку інформаційних імовірно-статистичних показників (ентропії, упорядкованості біосистем, коефіцієнта надлишковості інформації), які було використано як критерії міри надійності функціонування рослин в умовах району інтродукції. Наведено методологію кількісної оцінки складності організації біосистем та їхніх інформаційних характеристик.

I.O. Zaitseva

Dnepropetrovsk National University,
Ukraine, Dnepropetrovsk

INFORMATION ANALYSIS IN THE INTRODUCTION RESEARCHES

Possibilities of using informational mathematical approach to integral estimate of plants' introduction success are under consideration. According to the results of complex analysis of oxidative processes and protein-carbohydrates metabolism in 20 species of genus *Deutzia* Thunb., *Hydrangea L.*, *Philadelphus L.*, *Syringa L.*, introduced in the Steppe Dniepro region, the informational probabilistic-statistical indices were evaluated. These indices were entropy, orderliness of biosystems' and information redundancy coefficient. They were used as criteria of a measure reliability of plants' functioning under conditions of the introduction area. Methodology of quantitative estimation of complexity of biosystems' organization and its informational characteristics are presented.