

УДК: 519.87:575.222

Модель сжатия совокупности эпигенетических признаков растений в виде интегрального показателя

Неуймин С.И.* , Монтиле А.И.** , Шавнин С.А.***

Ботанический сад Российской академии наук, Екатеринбург, 620144, Россия

Аннотация. Рассмотрен эпигенетический принцип структурной организации растительной системы. Предложена модель интегрального показателя системы сжатых отображений, позволяющая сворачивать неограниченный набор признаков в один интегральный показатель, сохраняющий индивидуальные особенности (траекторию развития) целостности растительного организма.

Ключевые слова: математические модели исследований операций, комбинативная изменчивость

Структурная организация растительной системы имеет вполне определенные закономерности. В основу формирования признаков закладываются особенности надгенетической коррекции продуктов работы генов. Функционирование эпигенотипа обусловлено таким образом, что процесс развития оказывается «канализированным» – жёстко направленным, несмотря на наличие разного рода помех, как со стороны внешней среды, так и внутренней – генетической [1]. Эпигенетические взаимодействия, по-видимому, имеют определенную направленность, обусловленную внутрисистемным взаимодействием варьирующих единиц. Следует, однако, заметить, что её устойчивость не безгранична. Наряду с основной траекторией развития (креодом), которая ведёт к формированию нормального для популяции или линии фенотипа («дикого типа»), имеется набор «субкреодомов», направленных в ходе развития на реализацию определённых, отличных от нормы, устойчивых состояний фенотипа [2].

Для наглядности Уоддингтон в 1957 году ввёл аналогию эпигенотипа – эпигенетический ландшафт [1]. По своей сути это понятие было создано для того или иного органа или части организма. Как отмечает М.А. Шишкин [3] (1988, с. 63), «все зиготы одного вида имеют один и тот же потенциальный спектр путей развития и различаются лишь по вероятности их осуществления». Каждая зигота (особь) популяции в ходе развития может реализовать любой из имеющихся в конкретной популяции путей развития с определённой, заданной для этой популяции вероятностью их существования. В этом смысле каждая особь содержит информацию о едином для популяции эпигенетическом ландшафте [2].

Для раскрытия свойств эпигенотипа используются различные модели системы равновесных состояний признаков организма. Оцениваются, как правило, количественные и качественные параметры фенотипа. Фенотип, как и любое другое структурное подразделение системы, определяется соответствующим набором признаков имеющих приспособительный характер. В зависимости от генетической

* sergneu@mail.ru

** mai@usfeu.ru

*** sash@botgard.uran.ru

принадлежности организма одни и те же признаки функционально могут иметь различные приспособительные характеристики по отношению к определенным условиям произрастания. Динамизм проявления уровней приспособления признаков определяется общими закономерностями построения растительной системы в целом и специфичностью проявления ее составных элементов в эпигенезе.

В любом случае в определение растительной системы закладывается принцип изменчивости, который обуславливает динамику процессов развития происходящих во времени и пространстве. С этой точки зрения само понятие «растительная система» подразумевает динамизм развития не только относительных состояний структурных частей исходного генотипа, но частей надсистемного уровня. Правильнее сказать гомологию формирования комбинаций признаков растительных систем иных относительно близких генотипов. Поскольку каждая составная часть растительной системы является носителем информации о развитии всего организма в целом, то соответственно, она имеет определенные связи с другими структурными подразделениями. Целью настоящей работы является разработка формализованного подхода к описанию структурной организации растительной системы. В качестве такого подхода использовалась алгоритмическая модель интегрального показателя системы сжатых отображений.

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ СИСТЕМЫ СЖАТЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ

Понятие интеграция выражает процесс последовательного взаимодействия структур растительной системы, конечным результатом которого является целостность. Рассмотренные ранее подходы к построению растительной системы во многом предопределяют методологию агрегирования количественных параметров в один конечный показатель.

С целью формального представления закономерностей построения эпигенотипа нами предлагается алгоритм агрегирования последовательностей признаков в единый интегральный показатель, выраженный через «Систему-И».

Разработано несколько подходов по способам расчёта комплексного показателя, одним из которых является интегральный показатель системы сжатых отображений (Ип ССО). «Система-И» – система формального агрегирования комбинаций признаков на числовую ось, в основу, которой заложен принцип последовательного преобразования признаков в единый показатель – Ип ССО.

Ип ССО предназначен для сравнительной идентификации комбинаций признаков организма и надорганизменных структурных взаимодействий в эпигенотипе, а также изучения систем изменчивости последних. Кроме того, он используется для определения относительной важности отдельных признаков с точки зрения адаптации организма к конкретным условиям внешней среды.

Поясним работу алгоритма на примере агрегирования четырех признаков. Процесс вычисления Ип ССО показан на рисунке 1. Он содержит: I – матрицу исходных данных K_{ij} и матрицу относительных величин K'_{ij} . II – Матрицу динамического сжатия исходных данных S_{ij} (3).

$$\begin{array}{cccc} a \circ b & b \circ a & c \circ a & d \circ a \\ a \circ c & b \circ c & c \circ b & d \circ b \\ a \circ d & b \circ d & c \circ d & b \circ c \end{array} \quad (3)$$

где, \circ – операция свертки; $a \circ b \ a \circ c \ a \circ d \dots$ – результаты последовательного взаимодействия каждого структурного элемента со всеми последующими в зависимости от их фактического расположения в системе организма. Соответственно их количество зависит от числа анализируемых признаков. $a \circ b \ b \circ a \ c \circ a \ d \circ a$ – варианты комбинаций первого уровня взаимодействия признаков; $a \circ c \ b \circ c \ c \circ b \ d \circ b$ – варианты комбинаций второго уровня взаимодействия признаков; $a \circ d \ b \circ d \ c \circ d \ b \circ c$ – варианты

комбинаций третьего уровня взаимодействия признаков. Нами, чаще всего, используется мультипликативная и аддитивная свертка вида:

$$a \circ b = k * a * b$$

$$a \circ b = k_1 * a + k_2 * b,$$

где k , k_1 , и k_2 – коэффициенты свертки определяемые исходя из содержательно обоснованной взаимозависимости признаков a и b .

Найдем суммы по вариантам комбинаций в зависимости по уровням взаимодействия признаков матрицы динамичного сжатия исходных данных – S_{ij} (3). По вариантам комбинаций первого уровня запишется в виде: $(a \circ b) + (b \circ a) + (c \circ a) + (d \circ a) = P_1$ и $(a \circ c) + (b \circ c) + (c \circ b) + (d \circ b) = P_2$, $(a \circ d) + (b \circ d) + (c \circ d) + (d \circ c) = P_3$ соответственно по второму и третьему вариантам.

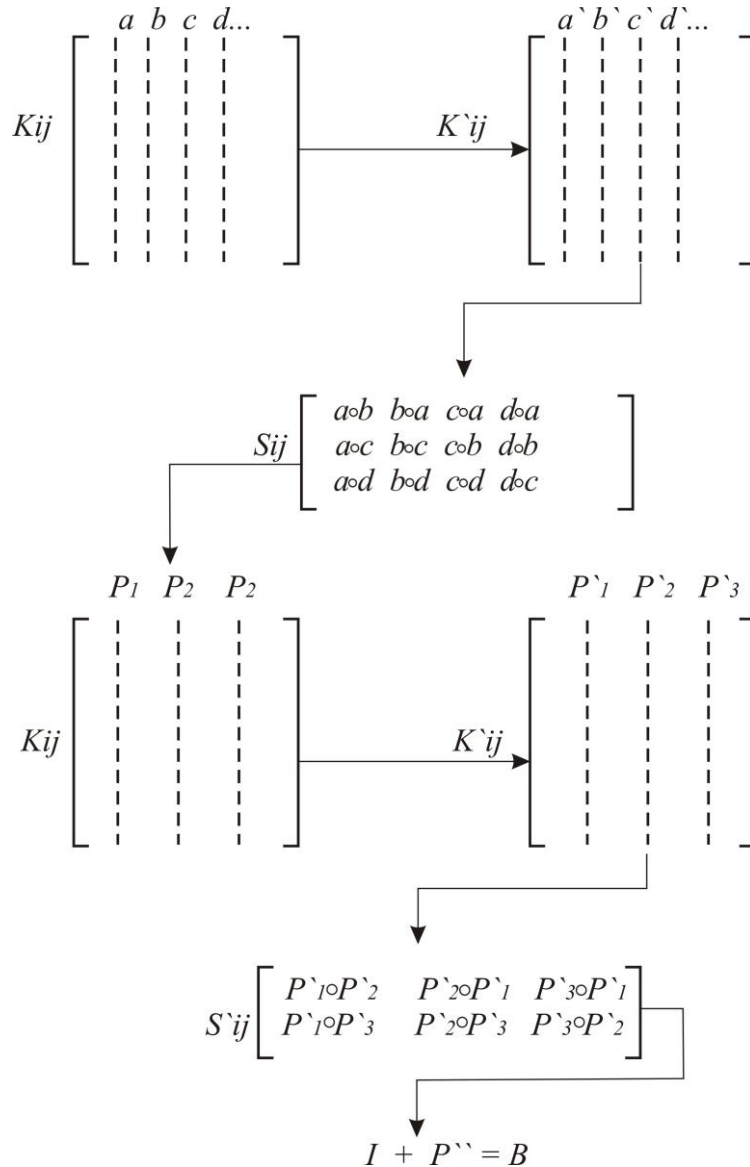


Рис. 1. Схема вычисления «Интегрального показателя системы сжатых отображений» для четырех признаков

Введем системное базовое значение – « B ». Базовое значение задается с целью анализа системы в целом по отношению к системе замкнутого пространства [4] и может принимать любые величины при условии $B > 0$. Под понятием «система замкнутого пространства» нами понимается совокупное выражение структурных элементов системы, соотнесенное к заданному базовому значению с целью

нормировки. Так если $P_1+P_2+P_3=P$, то после составления соответствующей пропорции $P'_1+P'_2+P'_3=B$.

В последующем строится новая матрица динамического сжатия S'_{ij} (4), только в качестве элементов системного взаимодействия признаков выступают величины P'_1, P'_2, P'_3 .

$$\begin{matrix} P'_1 \circ P'_2 & P'_2 \circ P'_1 & P'_3 \circ P'_1 \\ P'_1 \circ P'_3 & P'_2 \circ P'_3 & P'_3 \circ P'_2 \end{matrix} \quad (4)$$

Найдем суммы по вариантам комбинаций в зависимости по уровням взаимодействия признаков матрицы динамического сжатия исходных данных – S'_{ij} [4]. По вариантам комбинаций первого уровня запишется в виде: $(P'_1 \circ P'_2) + (P'_2 \circ P'_1) + (P'_3 \circ P'_1) = P_1$. По вариантам комбинаций второго уровня $(P'_1 \circ P'_3) + (P'_2 \circ P'_3) + (P'_3 \circ P'_2) = P_2$

После преобразования через системное базовое значение – B и соответствующей пропорции конечный результат выглядит следующим образом:

$$I + P''_2 = B \quad (5)$$

где, I – «Интегральный показатель системы сжатых отображений». Фактически I – суть P''_1 , полученный на последнем шаге работы алгоритма.

Приведем пример использования Ип ССО для *Agropyrum cristatum* (L.) Vauv. [5]. Рассмотрим схему распределения комбинаций признаков «длин сегментов колоса» (Рис. 2, Табл. 1). Как видно на рисунке, расстояние между сегментами имеет различные величины и образует соответствующий вариационный ряд последовательностей: $a, b, c, d...$ При этом теоретически возможны различные варианты распределения величин признаков. Например, все величины расстояний между сегментами имеют аналогичные значения промежуточных признаков ($a = b = c = d...$) (вариант 2 - Модель). Кроме того, возможны варианты, при которых расстояние между сегментами распределяются не пропорционально ($a \neq b \neq c \neq d...$) (вариант 1 - Форма Agr 4_2 и вариант 3 - Форма Agr 4_4), при этом суммарные значения величин признаков могут быть условно равны (варианты 1 и 2) и не равны (вариант 1 и вариант 3; вариант 2 и вариант 3) и т.д.

Таблица 1. Значение величин «субкреодомов» формализованных при помощи интегрального показателя системы сжатых отображений (Ип ССО)

Формы	«Субкреодом» Ип ССО	Модификационная изменчивость	
		CV%	$\bar{x} \pm S\bar{x}$
«Agr 4_2 (20 151)»	0,535	11,57	$1,78 \pm 0,065$
Модель	0,500	0,00	$1,78 \pm 0,000$
«Agr 4_4 (16 109)»	0,389	46,55	$0,97 \pm 0,143$

Как видно из таблицы, при наличии N равных промежуточных величин $a, b, c, d...$ при условии $B = 1$, будет иметь следующее значение: Ип ССО=0,500, $P''_2=0,500$ (рис. 1, табл. 1).

Расчет интегрального показателя системы сжатых отображений применяется нами в дальнейшем для определения комбинаторики признаков характеризующих состояние эпигенотипа. На основе его раскрывается изменчивость комплекса признаков отражающих общие закономерности надгенетических коррекций продуктов работы генов по отношению к среде обитания. С использованием интегрального показателя можно проводить комплексную паспортизацию существующего многообразия форм в числовых значениях и подразделять последние в определенные ранговые группы, изучать уровень гетерогенности анализируемых популяций, а также переводить биологических сведений в числовые значения, формализовать эмпирические данные о состоянии эпигенотипа.

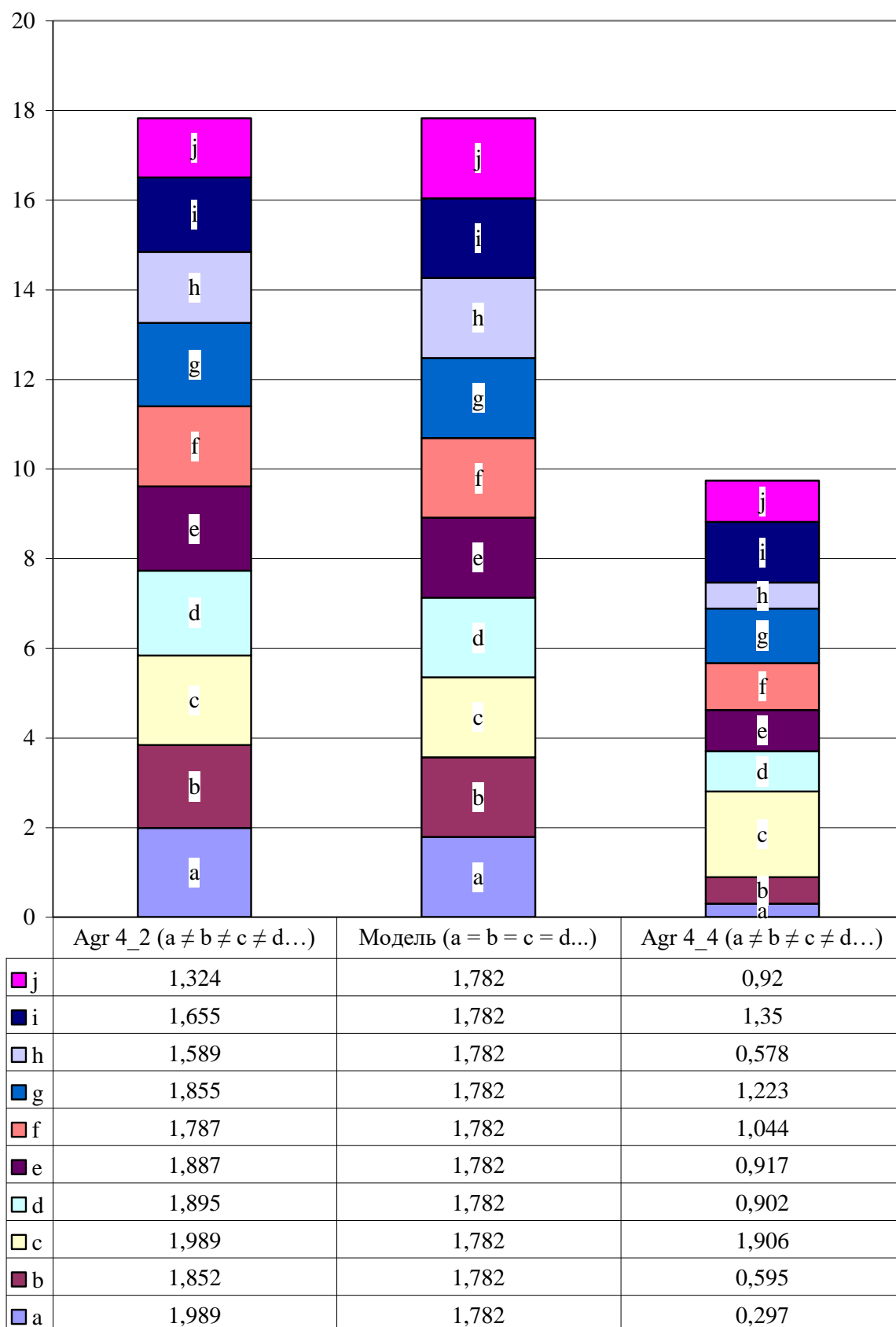


Рис. 2. Распределения комбинаций признаков «длин сегментов колоса» определяющих длину центральной оси соцветья *Agropyrum cristatum* (L.) Ваву.: ($a \neq b \neq c \neq d \dots$) – варианты распределения признаков в соцветьях Форма «Agr 4_2 (20 151)» и «Agr 4_4 (16 109)»; «Модель» ($a = b = c = d \dots$) – вариант равнозначных по величине распределения признаков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Waddington C.H. *The strategy of genes: A discussion on some aspects of theoretical biology*. L. Allen and Unwin. 1957. 262 p.
2. Васильев А.Г. В сб.: *Фенетика природных популяций*. М.: Наука. 1988. с. 158-169.
3. Шишкин М.А. В сб.: *Морфология и эволюция животных*. М.: Наука, 1986. с. 63-74.
4. Неуймин С.И., Филатенко А.А. В сб.: *Компьютерные базы данных в ботанических исследованиях*. Ред. Гельтман Д.В., Роскова Ю.Р. С.-Петербург: Ботанический институт РАН. 1997. с.71-73.
5. Неуймин С.И., Зимницкая С.А., Флягин Е.Н. В сб.: *Особь и популяция – стратегия жизни* Ред. Ишбиридин А.Р. Уфа: Вили Окслер. 2006. Ч. II. с. 257-262.

Материал поступил в редакцию 03.04.2007, опубликован 16.05.2007.