



УДК 581.151.001.5

ЭКОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОРТОВЫХ И ПРИРОДНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ

© 2010. Шпаков А.Э. Волчков Ю.А.

ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий

Аннотация: Проведена количественная оценка динамики генотипической структуры популяций трех различных видов растений: *Nicotiana tabacum* L., *Anacamptus pyramidalis* (L.) Rich., *Teucrium chamaedrys* L. в различных экологических условиях. Установлена эффективность использования системного анализа комплекса признаков в целях проведения эколого-генетического мониторинга растительных популяций.

Annotation: Quantitative estimation of genotypic structure dynamic of three plant species: *Nicotiana tabacum* L., *Anacamptus pyramidalis* (L.) Rich., *Teucrium chamaedrys* L. in different ecological conditions has been conducted. The effectiveness of systemic analyses of the trait complex with the aim of ecologo-genetic monitoring of the plant population has been established.

Ключевые слова: эколого-генетический мониторинг, генотипическая изменчивость, растительные популяции.

Keywords: ecologo-genetic monitoring, genotypic variability, plant population

Систему наблюдений, оценки и прогноза изменения состояния биосферы и её отдельных элементов принято обозначать термином «мониторинг» [2]. Одним из элементов экосистем являются растительные популяции, представляющие собой и один из основных объектов эколого-генетических исследований. О существенности влияния комплекса факторов внешней среды на ту или иную конкретную популяцию, в реальности, можно судить по динамике её генотипической структуры. Эта динамика представляет собой результат и главное свидетельство действия естественного отбора.

Генотипическая структура природных популяций и её динамика в различных экологических условиях составляют основной предмет эколого-генетического мониторинга. Целью эколого-генетического мониторинга является долговременное слежение за состоянием популяционных генофондов, оценка и прогнозирование их динамики во времени и пространстве, определение допустимых изменений [1].

Принципы анализа генотипической структуры сортовых популяций определены ещё в классической работе В.Л. Иоганнсена «О наследовании в популяциях и чистых линиях» [4]. Они заключаются в получении и сравнительном изучении «чистых линий», как потомств от индивидуальных растений. Этот метод обладает высокой разрешающей способностью и полностью соответствует генетическому аспекту проблемы. Таким образом, был сформирован надёжный традиционный путь выявления генотипической структуры популяций по анализу потомства. Однако, анализ структуры природных и сортовых растительных популяций по их потомству бывает затруднителен, например, при исследовании больших объёмов коллекционного материала культурных растений или проведении эколого-генетического мониторинга природных популяций. Отказ от анализа потомства приводит к дефициту информации о генотипах изучаемых популяций. Этот дефицит может быть восполнен в рамках системного подхода учётом свойств и характеристик, которые при традиционном подходе не учитывают. В нашем случае системный подход означает количественное описание биологически осмысленных комплексов признаков с применением методов многомерного статистического анализа. Системный анализ структуры растительных популяций позволяет выявить внутрипопуляционные группы растений – «морфы», как генетические варианты, встречающиеся в популяции и находящиеся во временном или постоянном равновесии [6]. Эффективность подхода установлена ранее при решении задачи классификации сортов Мировой коллекции табака по феноло-



гическому типу и изучении потенциала генотипической изменчивости сортовых популяций табака [8, 9].

Целью нашего исследования является количественная оценка динамики генотипической структуры популяций различных биологических видов растений в различных условиях их произрастания. Достижение поставленной цели означает решение двух взаимосвязанных задач: выявление в сортовых и природных растительных популяциях составляющих их морф; идентификация гомологичных морф популяций каждого растительного вида в различных условиях произрастания.

Решение поставленных задач и достижение цели исследования свидетельствуют об эффективности предложенного метода проведения эколого-генетического мониторинга сортовых и природных растительных популяций.

Материал и методы исследования

Материалом для исследования послужили сортовые популяции табака (*Nicotiana tabacum* L.), семейство паслёновые (*Solanaceae*); природные популяции анакамптуса пирамидального (*Anacamptus pyramidalis* (L.) Rich), семейство орхидные (*Orchidaceae*); популяции дубровника обыкновенного (*Teucrium chamaedrys* L.), семейство губоцветные (*Lamiaceae*). Популяции трёх различных растительных видов описаны по комплексу морфологических признаков. Выбор признаков ориентирован на полноту описания габитуса растений, точность и простоту измерений в полевых условиях.

Список сортов табака составили: Подольский 23, Остролист 215, Трапезонд 219, Крупнолистный Б-3. В каждой сортовой популяции описано около 50-ти растений по 6-ти морфологическим признакам: «высота растения с соцветием» (см); «высота растения без соцветия» (см); «число листьев» (шт); «длина листа среднего яруса» (см); «ширина листа среднего яруса» (см); «расстояние от основания листа до его максимальной ширины» (см). Все сорта выращены в трёх различных регионах: г. Краснодар (Россия), г. Ялта (Украина) и г. Лагодехи (Грузия).

Популяции анакамптуса пирамидального описаны вблизи посёлка Южная Озереевка Новороссийского района Краснодарского края. Соответственно условиям произрастания каждой из 3-х популяций присвоены названия: «Поле», «Берег», «Шибляк». Растения популяции «Поле» произрастали на открытом пространстве. Популяция «Берег» находилась в 100-а метрах от берега Чёрного моря. Популяция «Шибляк» являлась частью шиблякового сообщества вторичного типа – это лес, произрастающий на сухих мергелитовых склонах. В каждой популяции описано по 100 растений. Список признаков составили: высота растения (мм), число цветков на соцветии (шт.), высота соцветия (мм.), число листьев (шт.), диаметр молодого клубня (мм.), длина молодого клубня (мм.), длина старого клубня (мм.) длина листьев (мм.), ширина листьев (мм.), число жилок на листьях (шт).

Три популяции дубровника обыкновенного описаны в районе посёлка Малый Утриш Анапского района Краснодарского края. Популяция «Лобанова щель» находилась в 1-м км от берега моря в шибляковом сообществе. Популяция «Берег» расположена на приморском склоне в 300-х метрах от берега и в 1-м км от популяции «Лобанова щель». Популяция «Флашток» расположена на ровной площадке в 150-ти метрах от моря. Четвёртая популяция дубровника описана в верховьях реки Матузки вблизи посёлка Гуамка Апшеронского района Краснодарского края. Во всех популяциях дубровника описано по 100 растений. Список признаков составили: высота растения (мм.), высота соцветия (мм.), число цветков на соцветии (шт.), число листьев (шт.), длина самого крупного листа (мм.), ширина самого крупного листа (мм).

Системный анализ структуры популяций по габитусу растений и её динамика в различных условиях произрастания проведён с использованием одного из методов многомерного статистического анализа – метода главных компонент (МГК). Методы анализа изменчивости комплексов признаков принято называть многомерными. Растение, характеризованное значениями «р» признаков, может быть задано точкой в р-мерном пространстве. Метод главных компонент осуществляет переход из исходного пространства признаков $x_1 \dots x_p$, к новой системе координат $u_1, \dots, u_p$, которая представляет собой систему ортонормированных линейных комбинаций. Линейные комбинации являются собственными векторами корреляционной матрицы. Первая главная компонента – это линейная комбинация, обладающая наибольшей дисперсией. Геометриче-



ски она выглядит как новая ось u_1 , ориентированная вдоль направления наибольшей вытянутости эллипсоида рассеяния признаков в исходном пространстве. Вторая главная компонента имеет наибольшую дисперсию среди всех оставшихся линейных преобразований, некоррелированных с первой главной компонентой. Эта вторая главная компонента интерпретируется как направление наибольшей вытянутости эллипсоида рассеивания, перпендикулярное первой главной компоненте и т. д. Метод главных компонент обеспечивает наименьшее искажение геометрической структуры объектов при их проектировании в пространство меньшей размерности, что существенно упрощает задачи кластеризации.

Из категории кластерных процедур использованы методы «к-средних» и метод Уорда [5, 7].

Результаты и обсуждение

Выявление внутривидовой структуры – морф, исследование динамики выявленной структуры в различных условиях внешней среды у сортов табака, природных популяций анакамптиса и дубровника проведено по единой методической схеме. Морфы выявлены в системном анализе изменчивости комплексов морфологических признаков методом главных компонент с последующей кластеризацией растений сортовых и природных популяций. Одним из источников морфологической изменчивости популяций в различных условиях произрастания является преобразование их генотипической структуры. Фенотипически это выражается в изменении частот растительных морф. Гомологию морф установили по результатам кластерного анализа, где в качестве их характеристик выступили вектора средних значений главных компонент.

Специфичность реакции сортов табака в различных условиях выращивания проявилась в разном смещении векторов средних значений главных компонент (табл. 1).

Таблица 1

Смещение векторов средних значений главных компонент, характеризующих габитус сортов табака, выращенных в различных регионах (евклидовы расстояния усл. ед.)

Сорта	Вариант оценки расстояний			Среднее расстояние (ранг)	Коэффициент вариации
	Краснодар - Лагодехи	Краснодар - Ялта	Лагодехи - Ялта		
Крупнолистный Б-3	4,0	4,4	2,4	$3,6 \pm 0,61$ (3)	29,4
Остролист 215	1,8	3,4	5,0	$3,4 \pm 0,75$ (4)	47,0
Подольский 23	6,8	5,6	6,3	$6,2 \pm 0,35$ (1)	9,7
Трапезонд 219	3,1	3,4	6,3	$4,3 \pm 1,02$ (2)	41,5

Примечание: Смещение вектора средних значений оценено по евклидову расстоянию между центрами сортовых выборок в пространстве главных компонент

Сравнительный анализ данных экологического испытания сортов табака показал, что некоторые, а иногда и все морфы, выделенные сортовой популяцией одного региона выращивания, обнаруживаются и в других регионах. Гомологию морф установили по результатам их кластерного анализа, где в качестве их характеристик выступили вектора средних значений главных компонент. Для количественной оценки экологически обусловленных преобразований структуры сортов, использован «показатель сходства популяций» [3] (табл. 2).

Из результатов вычисления показателя сходства популяций и его оценки по χ^2 следует, что у сортов Остролист 215 и Трапезонд 219 достоверно различаются по частотам морф две из трёх сопоставленных сортовых популяций. У сорта Подольский 23 – все три. У сорта Крупнолистный Б-3, достоверные различия в структуре выявлены между сортовыми популяциями из Ялты и Краснодара.



Таблица 2

Частота различных морф в сортах табака, выращенных в различных регионах

Сорт	Обозначение морфы	Место выращивания			Показатель сходства	χ^2 ; рНо
		Ялта	Лагодехи	Краснодар		
Подольский 23	A ₁	0(0,0)	0(0,0)	6(13,0)	0,85±0,038	16,1; p<0,01
	B ₁	11(22,9)	15(30,0)	15(32,6)	0,79±0,043	20,6; p <0,01
	C ₁	12(15,0)	18(36,0)	10(21,8)	0,92±0,031	9,1; p<0,05
	D ₁	12(25,0)	17(34,0)	15(32,6)		
	E ₁	13(27,1)	0(0,0)	0(0,0)		
Остролист 215	A ₂	12(24,0)	9(20,4)	10(20,0)	0,74±0,050	28,4; p<0,01
	B ₂	8(16,09)	0(0,0)	11(22,0)	0,99±0,014	2,6; p >0,05
	C ₂	14(28,0)	8(18,2)	11(22,0)	0,75±0,041	27,7; p<0,01
	D ₂	16(32,0)	15(34,1)	18(35,0)		
	E ₂	0(0,0)	12(27,3)	0(0,0)		
Трапезонд 219	A ₃	16(32,0)	12(24,0)	11(22,9)	0,97±0,024	6,1; p<0,05
	B ₃	17(34,0)	28(56,0)	14(29,2)	0,98±0,020	3,9; p >0,05
	C ₃	17(34,0)	10(20,0)	23(47,9)	0,94±0,034	11,7; p<0,01
Крупно-лиственный Б-3	A ₄	6(12,0)	7(14,0)	14(28,0)	0,99±0,014	2,0; p>0,05
	B ₄	10(20,0)	15(30,0)	16(32,0)	0,95±0,031	10,0; p <0,01
	C ₄	15(34,0)	16(32,0)	10(20,0)	0,97±0,024	6,0; p>0,05
	D ₄	19(38,0)	12(24,0)	10(20,0)		

Примечание: 1. Первым приведено значение показателя сходства при сравнении выборок из Ялты и Лагодехи; вторым – Ялты и Краснодара; третьим – Лагодехи и Краснодара. 2. Здесь и в табл. 3, 4 в круглых скобках приведены частоты морф, выраженные в процентах

Полученные данные свидетельствуют о том, что изменение условий выращивания сопровождается преобразованием генотипической структуры сорта. Однако новизна полученного результата не ограничивается доказательством этого фундаментального положения. Применённый метод выявления структуры сорта позволил количественно оценить её преобразования, что и составляет основное содержание эколого-генетического мониторинга.

В трёх различных популяциях анакамптуса пирамидального морфы выявлены методом Уорда с использованием евклидовых расстояний между соответствующими точками в пространстве главных компонент. В популяции «Берег», например, выявлено 5-ть кластеров. Объёмы кластеров равны: 40; 11; 27; 7 и 15 растений соответственно. Кластерный анализ популяций «Поле» и «Шибляк» выявил в каждой из них по три кластера. В результате в трёх различных популяциях анакамптуса всего выявлено 11-ть кластеров. Гомологичные морфы из разных популяций выявлены во втором туре кластерного анализа. Группировке подлежали уже не отдельные растения, а сами выявленные морфы. В основу кластеризации положены те же евклидовы расстояния, но определённые уже между центрами морф, координатами которых послужили вектора средних значений главных компонент. Результаты кластеризации позволили составить табл. 3, в которой структура популяций представлена в виде частот генотипических классов.

Динамика генотипической структуры популяций отражает различия условий их произрастания. Выявленные морфы, как генетически различные группы растений представляют собой необходимые объекты эколого-генетического мониторинга популяций вида *Anacamptus pyramidalis* (L.) Rich., в его естественных природных условиях.



Таблица 3

Структура трех различных популяций анакамптуса пирамидального (*Anacamptis pyramidalis* (L.) Rich.), в частотах генотипических классов растений, выявленных в системном анализе комплекса морфологических признаков

Морфы	Популяция		
	«Поле»	«Шибляк»	«Берег»
A	0	0	40 (40%)
B	0	18 (18%)	11 (11%)
C	35 (36,1%)	43 (43%)	27 (27%)
D	0	0	7 (7%)
E	25 (25,8%)	39 (39%)	0
F	37 (38,1%)	0	15 (15%)
Σ	97	100	100

Внутрипопуляционные морфы и их гомология установлены и для 4-х различных популяций дубровника обыкновенного (табл. 4).

Таблица 4

Структура популяций дубровника обыкновенного (*Teucrium chamaedrys* L.) в различных условиях произрастания

Морфы	Популяции			
	«Лобанова щель»	«Берег»	«Флагшток»	«Матузка»
A	38 (38%)	-	-	-
B	47 (47%)	58 (58%)	67 (67%)	-
C	-	-	-	68 (68%)
D	15 (15%)	42 (42%)	33 (33%)	32 (32%)

Данные табл. 4 свидетельствуют о связи генотипической структуры популяции дубровника обыкновенного с условиями его произрастания. Морфы «А» и «С» встречаются только однажды в популяциях «Лобанова щель» и «Матузка» соответственно. Морфа «В» – в трёх популяциях. Морфа «D» обнаружена с различной численностью во всех четырёх популяциях.

Системный подход, реализованный с использованием методов многомерного статистического анализа, позволил в популяциях из различных семейств растений с одинаковым успехом выявить их генотипическую структуру. Выявленные морфы сортовых и природных популяций обнаружены в различных условиях их произрастания. Установленная возможность количественной оценки динамики генотипической структуры популяций различных растительных видов свидетельствует об эффективности предложенного метода в решении задач эколого-генетического мониторинга.



Библиографический список

1. Алтухов Ю.П. Внутривидовое генетическое разнообразие: мониторинг и принципы сохранения // Генетика. – 1995. – № 10. – С. 1333-1357.
2. Биологический энциклопедический словарь. – М.: «Советская энциклопедия», 1986. – 375 с.
3. Животовский Л.А. Проблемы анализа комплекса признаков // Экологическая генетика и эволюция. – Кишинев: Штиница, 1987. – С.117-134.
4. Иоганнсен В.Л. О наследовании в популяциях и чистых линиях. – М.; Л.: ОГИЗ-Сельхоз, 1935. – 77 с.
5. Ольдендерфер М.С., Блекфилд С.К. Кластерный анализ // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. – М., 1989. – С.139-210.
6. Ригер Р., Михаэлис А. Генетический и цитогенетический словарь. – М., 1967. – 607 с.
7. Халафян А.А. Статистический анализ данных. STATISTICA 6.0. 2-е изд., испр. и доп.: Учебн. пособие. – Краснодар: КубГУ, 2005. – 307 с.
8. Шпаков А.Э., Волчков Ю.А. Фенологический тип растений как предмет генетических исследований // Генетика. – 1991. – Т.27. №8. – С. 1379-1387.
9. Шпаков А.Э. Системный анализ внутрисортной изменчивости растений-самоопылителей на примере *Nicotiana tabacum* L. // Проблемы региональной экологии. – 2007. – № 5. – С. 57-60.

Bibliography

1. Altukhov U.P. Inner species genetic diversity: monitoring and principles of protection // Genetics – 1995, №10. – P.1333-1357.
2. Biological encyclopedical dictionary. – Moscow, 1986. – 375 p.
3. Zhivotovsky L.A. Problems of analysis of complex features // Ecological genetics and evolution. – Kishinev, 1987. – P. 117-134.
4. Iogannsen V.L. On heirdom in population and clean lines. – Moscow, Leningrad, 1935. – 77 p.
5. Oldenderfer M.S., Blackfield Cluster analysis // factor, discreminant and cluster analysis. – Moscow, 1989.
6. Riger R., Mikhaelis A. Genetic and citogenetic dictionary. – Moscow, 1967. – 607 p.
7. Khalafyan A.A. Statistic analysis of data. STATISTICA 6.0. 2nd edition. – Krasnodar, 2005. – 307 p.
8. Shpakov A.E., Volchkov U.A. Fenologic type of plants as a subject of genetic researches // Genetics, 1991. – Vol. 27, №8. – P. 1379-1387.
9. Shpakov A.E. System analysis of insort changing's of self-pollinating plants on example of *Nicotiana tabacum* L. // Problems of regional ecology. – 2007. – №5. – P. 57-60.