

ОПИСАНИЕ ФАЙЛА

Проскураков М.А., Зайченко О.П. и др. Хронобиологический анализ корреляций у растений при их адаптации к изменению климата.

Статья. - Сборник «Изучение ботанического разнообразия Казахстана на современном этапе». Доклады Международной научной конференции. –Алматы: ТОО «Издательство LEM» - 2013. – С. 140 - 143.

В статье рассмотрены динамические особенности дифференциации свойств растений, определена степень их уязвимости и основные типы адаптационной стратегии растений, которые должны учитываться для оптимизации природопользования. Установлено, что обязательным условием рационального растениеводства и природопользования является хронобиологический анализ изменения свойств растений в режиме постоянного и закономерного действия циклического флюктуирования климата. Такой анализ позволит определять степень уязвимости растений и их биологическую устойчивость при колебаниях климата. Даст возможность дифференцировать основные типы адаптационной стратегии растений, оценивать перспективность использования тех или иных таксонов растений в конкретном периоде жизни и прогнозировать возможный ход дальнейшей трансформации их жизнеспособности и свойств. Поможет создать ресурсосберегающие технологии растениеводства, обеспечивающие экологическую и экономическую безопасность стран. Ослабит вредные последствия трансформации растительного покрова под действием изменений климатического режима.

Далее следуют материалы опубликованного файла статьи.

ХРОНОБИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИЙ У РАСТЕНИЙ ПРИ ИХ АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА

М.А. Проскуряков, О.П. Зайченко, И.В. Бабай, В.А. Масалова, С.В. Набиева,
А.Н. Ишаева, Н.А. Исмаилова, И.В. Хусаинова
РГП «Институт ботаники и фитоинтродукции»
г. Алматы, Республика Казахстан,
proskuryakov_137@mail.ru

Рассмотрены вопросы адаптации развития растений при изменении климата.

Исследованиями климатологов достоверно доказано, что циклические колебания климата – есть явление закономерное. Они происходят, как при наличии, так и при отсутствии его глобальных изменений [1-6]. Притом, такие многолетние колебания климатического режима могут носить не только региональный, но и планетарный характер. Отсюда следует, что природа сама непрерывно и повсюду переводит растения в новые климатические условия, даже если их местоположение не меняется. Но, как свидетельствует о том весь опыт фитоинтродукторов искусственно переносивших растения в новые климатические условия, изменение климата влияет на динамику роста и развития растений, их биохимические реакции и модификации, ферментативные и физиологические процессы. На их морфологическое строение: габитус, облиственность, размеры листьев, развитость корневых систем, жизненную форму. На скорость старения и долголетие организмов. Иными словами, перемена климата может детерминировать коренные изменения во всех проявлениях жизни растений, а в итоге трансформировать продуктивность и биоразнообразие растительных сообществ в целом [7]. Целью данной работы и ставилось показать необходимость анализа корреляций растений при их адаптации в период изменения климата.

Всего объектами таких исследований были двадцать таксонов растений (видов и сортов) из рода *Corylus* интродуцированных в Главном ботаническом саду Института ботаники и фитоинтродукции РК (г.Алматы). Здесь же пока остановимся на четырех. В их числе – лещине китайской (*Corylus chinensis* Franch.) и выведенных в Укр.НИИЛХА (г. Харьков) сортах: Грандиозный (*C.avellana* 'Grandiozniy'), Сентябрьский (*C.avellana* 'Sentabrskiy') и Веселобоконьковский (*C.avellana* 'Veselobokovenkovsky'). В задачи исследований входило проанализировать временные ряды динамики фаз развития растений высаженных на коллекционной плантации, созданной в 1992г. Поэтому соблюдательное условие анализа временных рядов – наличие данных по каждому году наблюдений, когда все последовательные значения в файле данных имеются через равные промежутки времени [8]. Соблюдались также и принцип единственного различия существования растений – изменения температурного режима местности.

Фенологические наблюдения за развитием этих растений проводились О.П.Зайченко с частотой достаточной для уверенной индикации изменения фаз их развития. Анализ собранных его материалов и текст статьи выполнен М.А.Проскуряковым. В расчетах по статистической обработке данных участвовали И.В.Бабай, В.А.Масалова, С.В.Набиева, А.Н.Ишаева, Н.А.Исмаилова и И.В.Хусаинова.

По данным Казгидромета за период 1936-2005гг климат Казахстана значительно потеплел. Среднегодовая температура воздуха возросла в среднем на 0,31°C за каждые 10 лет [5]. Однако это не исключало и непрерывных циклических колебаний меняющегося климата, типичность которых для района наших исследований объективно доказана в фундаментальной работе Г.Н.Чичасова [4]. Им были установлены факты цикличности изменения режима среднемесячных температур даже на уровне разных месяцев. Например, – для января установлены 9,21, 25 и 34-летние циклы их колебания. Для апреля – 5, 8, 16, 29, 32, 34 – летние циклы. Для июля – 5, 7, 12, 17, 28 и 37-летние. В октябре – 15, 21, и 34-летние циклы. Одна часть этих многолетних колебаний термического режима носила региональный, а другая – планетарный характер. И все они происходили на фоне долгопериодного изменения глобального климата. Притом, наблюдаемые изменения температуры приземного слоя воздуха имели нелинейный характер, что существенно ограничивало эффективность их упрощенного анализа методом линейных корреляций. Возникающие из-за такого упрощения погрешности имели свойство накапливаться и достигать, а нередко даже превышать значения самих анализируемых величин [4]. По этим причинам в наших исследованиях метод анализа линейных корреляций не применялся.

Для количественного исследования фазы развития растений рассматривались нами как хронобиологическая процессуальная система, работающая в режиме времени изменения климата. Входом в такую систему является период жизни растений, т.е. временной интервал лет, в течение которого она функционирует. Конкретными состояниями периода жизни растений являются охваченные наблюдениями годы изменения климата (X). Выход системы – изучаемые свойства растений (Y). Отслеживая поведение этой системы путем анализа корреляционных отношений свойств растений с периодом ее жизни можно выявить количественные закономерности нелинейной реакции показателей растений во время изменения климата [7,9]. Результаты такого анализа даны в таблице 1.

При расчетах статистических оценок корреляционных отношений необходимая группировка данных в корреляционных таблицах выполнялась по трем годам. В силу этого полученные результаты оказались лучше сопряжены с установленным климатологами разнообразием циклических колебаний термического режима постоянно флюктуирующего климата.

Таблица 1 – Результаты корреляционного анализа фаз развития растений

Фенологическая фаза	Корреляционное отношение. $\eta_{yx} \pm S_{\eta}$	d_{yx}	$t_{факт}$	t_{05}	t_{01}	Степень уязвимости
1	2	3	4	5	6	8
<i>Corylus avellana</i> 'Grandioznyi'						
Начало выделения пыльцы	0,815±0,167	0,66	4,880	2,179	3,055	высокая
Начало восприятия рылец	0,785±0,179	0,62	4,385	2,179	3,055	высокая
Конец восприятия рылец	0,757±0,189	0,57	4,005	2,179	3,055	высокая
Конец выделения пыльцы	0,795±0,175	0,63	4,543	2,179	3,055	высокая
Начало разverzания почек	0,733±0,156	0,54	4,699	2,093	2,861	высокая
Начало роста побегов	0,706±0,162	0,50	4,358	2,093	2,861	высокая
Конец роста побегов	0,922±0,089	0,85	10,360	2,093	2,861	высокая
Созревание плодов	0,962±0,079	0,93	12,177	2,179	3,055	высокая
Опадение листьев	0,703±0,163	0,49	4,313	2,093	2,861	высокая
<i>Corylus avellana</i> 'Sentabrskiy'						
Начало выделения пыльцы	0,733±0,182	0,54	4,027	2,145	2,977	высокая
Начало восприятия рылец	0,685±0,195	0,50	3,513	2,145	2,977	высокая
Конец восприятия рылец	0,704±0,190	0,50	3,705	2,145	2,977	высокая
Конец выделения пыльцы	0,768±0,171	0,59	4,491	2,145	2,977	высокая
Начало разverzания почек	0,591±0,185	0,35	3,195	2,093	2,861	средняя
Начало роста побегов	0,647±0,175	0,42	3,697	2,093	2,861	средняя
Конец роста побегов	0,907±0,097	0,82	9,351	2,093	2,861	высокая
Созревание плодов	0,972±0,063	0,94	15,429	2,145	2,977	высокая
Опадение листьев	0,694±0,165	0,48	4,206	2,093	2,861	высокая
<i>Corylus avellana</i> 'Veselobokovenkovsky'						
Начало выделения пыльцы	0,645±0,221	0,42	2,925	2,179	3,055	средняя
Начало восприятия рылец	0,613±0,228	0,38	2,684	2,179	3,055	средняя
Конец восприятия рылец	0,624±0,226	0,39	2,768	2,179	3,055	средняя
Конец выделения пыльцы	0,815±0,167	0,66	4,876	2,179	3,055	высокая
Начало разverzания почек	0,630±0,178	0,40	3,539	2,093	2,861	средняя
Начало роста побегов	0,602±0,183	0,36	3,285	2,093	2,861	средняя
Окончание роста побегов	0,858±0,118	0,74	7,272	2,093	2,861	высокая
Созревание плодов	0,920±0,113	0,85	8,133	2,179	3,055	высокая
Опадение листьев	0,699±0,164	0,49	4,262	2,093	2,861	высокая
<i>Corylus chinensis</i> Franch.						
Начало выделения пыльцы	0,285±0,391	0,08	0,664	2,571	4,032	низкая
Начало восприятия рылец	0,532±0,320	0,28	1,663	2,365	3,499	средняя
Конец восприятия рылец	0,640±0,290	0,41	2,207	2,365	3,499	средняя
Конец выделения пыльцы	0,691±0,295	0,48	2,139	2,571	4,032	высокая
Начало разverzания почек	0,809±0,131	0,65	6,176	2,086	2,845	высокая
Начало роста побегов	0,517±0,191	0,27	2,707	2,086	2,845	средняя
Конец роста побегов	0,353±0,209	0,12	1,689	2,086	2,845	низкая
Созревание плодов	0,593±0,304	0,35	1,802	2,447	3,707	средняя
Опадение листьев	0,633±0,173	0,40	3,659	2,086	2,845	средняя

Степень уязвимости показателей растений определялась с учетом величины корреляционных отношений (η_{yx}) и коэффициентов детерминации (d_{yx}). Поэтому, исходя из теории корреляции, были приняты следующие придержки. При $\eta_{yx} = 0,5 \div 0,6$ уязвимость можно считать средней; $\eta_{yx} < 0,5$ указывает на слабую уязвимость. А при $\eta_{yx} \geq 0,7$, когда около 50% и более вариации показателя растительной системы (Y) происходит согласованно со шкалой времени изменения климата (X), можно констатировать сильную уязвимость [7]. Полученные материалы анализа четырех таксонов растений из рода лещины (таблица 1) иллюстрируют нам весьма широкий спектр уязвимости и адаптационной стратегии их развития в изученный период изменения климата.

Например, у растений сорта Грандиозный даты наступления всех проанализированных фаз развития очень тесно коррелируют с изученным периодом жизни растений. Величины рассчитанных выборочных корреляционных отношений по разным фазам оказались в пределах от 0,706 до 0,962. То есть, теснота анализируемых связей составила 70% ÷ 96% от полной неразрывной. Стандартные ошибки выборочных оценок величин корреляционных отношений небольшие. Поэтому рассчитанные критерии существенности корреляционных отношений ($t_{факт}$) во всех случаях оказались выше их теоретической величины для 1%-ого уровня значимости

найденного по таблице Стьюдента ($t_{\text{табл}}$). А в целом материалы таблицы 1, с вероятностью 99,0%, подтверждают наличие существенных, статистически значимых, близких к функциональным, связей. Нулевая гипотеза об отсутствии связи отвергается. Рассчитанные коэффициенты детерминации (d_{yx}) также свидетельствуют, что от 50% до 90% доли вариации сроков наступления фаз развития лещины сорта Грандиозный обусловлено согласованностью их варьирования именно с изученным периодом жизни растений. Следовательно, **установленный характер варьирования указывает на очень высокую уязвимость всех фаз развития растений** в данный период изменения климата.

Для растений лещины сорта Сентябрьский установленный характер варьирования фаз развития растений свидетельствует уже о разной степени уязвимости фаз развития растений в изученный период их жизни. Например, величина выборочных значений корреляционных отношений по фазам начала разворачивания почек и начала роста побегов ($\eta_{\text{yx}}=0,6$) указывает на среднюю по тесноте связь сроков этих фаз развития с периодом изменения климата. Данное обстоятельство подтверждается и оценками рассчитанных коэффициентов детерминации, согласно которым только 35-42% варьирования сроков наступления разворачивания почек и начала роста побегов связано с режимом времени изменения климата. Для остальных же семи фаз развития растений сорта Сентябрьский, как и в случае с сортом Грандиозный, рассчитанные величины выборочных корреляционных отношений и коэффициенты детерминации свидетельствуют об их весьма тесной связи с периодом климатических изменений среды обитания. По всем фазам цветения (начала выделения пыльцы, начала восприятия рылец, конца восприятия рылец, конца выделения пыльцы), и также для фазы опадения листьев величины рассчитанных выборочных корреляционных отношений оказались равными 0,7. А для фаз окончания роста побегов и созревания плодов теснота анализируемых связей составила даже более 90% от полной неразрывной. В целом же для растений лещины сорта Сентябрьский, как и в предыдущем случае, все стандартные ошибки выборочных оценок величин корреляционных отношений также оказались небольшими. Поэтому рассчитанные критерии существенности корреляционных отношений ($t_{\text{факт}}$) во всех случаях выше их теоретической величины для 1%-ого уровня значимости найденного по таблице Стьюдента ($t_{\text{табл}}$). И материалы статобработки данных по фазам развития растений сорта Сентябрьский, с вероятностью 99,0%, подтверждают наличие статистически значимых связей. Нулевая гипотеза об отсутствии связи отвергается. Таким образом, выполненный корреляционный анализ свидетельствует уже о существенных изменениях адаптационной стратегии в развитии у растений сорта Сентябрьский. Он доказывает, что **в данный период изменения климата начальные фазы вегетации растений характеризуются средней уязвимостью, а все остальные фазы развития – высокой уязвимостью**, что очень важно знать при их культивировании.

Совершенно другой тип адаптационной стратегии растений при изменении климата иллюстрируют растения сорта Веселобокhovenьковский. Здесь уже **среднюю степень уязвимости можно констатировать, как для фаз цветения (кроме фазы окончания выделения пыльцы), так и для всех фаз начала вегетации растений**. То есть, для большинства важнейших фаз развития растений в весенний период. Это подтверждается выборочными оценками величины корреляционных отношений ($\eta_{\text{yx}}=0,6$). И рассчитанными коэффициентами детерминации ($d_{\text{yx}} \leq 0,4$), которые свидетельствуют, что только до 40% доли вариации весенних фаз развития данного сорта лещины обусловлено согласованностью их варьирования именно с изученным периодом изменения климата. По всем более поздним фазам развития растений (окончание роста побегов, созревание плодов и опадение листьев) рассчитанные выборочные корреляционные отношения оказались равными от 0,7 до 0,9. Что свидетельствует уже о высокой степени их уязвимости. Причем, для фазы окончания роста побегов и созревания плодов, коэффициенты детерминации достигали величины 0,74 – 0,85. То есть, от 74 до 85 процентов доли вариации сроков наступления этих фаз развития растений лещины сорта Веселобокhovenьковский обусловлено согласованностью их варьирования именно с изученным периодом изменения климата. Важно отметить, что, как и при анализе предыдущих таксонов, все стандартные ошибки выборочных оценок величин корреляционных отношений здесь также оказались небольшими. Рассчитанные критерии существенности корреляционных отношений ($t_{\text{факт}}$) во всех случаях выше их теоретической величины для 5%-ого, а по ряду фаз развития и 1%-ого уровня значимости найденного по таблице Стьюдента ($t_{\text{табл}}$). И в целом материалы статобработки данных по фазам развития растений сорта Веселобокhovenьковский, с вероятностью не ниже 95,0%, подтверждают наличие статистически значимых связей. Нулевая гипотеза об отсутствии связей отвергается.

Наконец, на примере лещины китайской, здесь можно проиллюстрировать четвертый тип адаптационной стратегии развития растений, который уже коренным образом отличается от всех предыдущих. Для данного объекта **характерна тенденция к наименьшей (низкой и средней) уязвимости большинства фаз развития растений**. Но по многим фазам (начала выделения пыльцы, начала восприятия рылец, конца восприятия рылец, окончания выделения пыльцы, окончания роста побегов, созревания плодов) пока не удалось констатировать статистическую достоверность рассчитанных невысоких выборочных корреляционных отношений. Это обусловлено, с одной стороны, весьма низкими величинами корреляционных отношений. А с другой – большими выборочными стандартными ошибками, которые могут быть уменьшены только путем увеличения длительности наблюдений. Однако в целом такие результаты анализа свидетельствует о слабом проявлении систематической (регулярной) компоненты изменения временных рядов фаз развития в изученный период климата. Такой вывод подтверждает и сам факт отсутствия доказательств высокой уязвимости лещины китайской именно в тот же самый период, когда для других рядом растущих таксонов они имеются. Следовательно,

лещина китайская наиболее устойчива к происходящим изменениям среды обитания, а потому и наиболее перспективна для культивирования в изучаемом регионе.

Общеизвестно, что внешне легко различимая картина изменения фаз развития растений есть следствие глубочайших изменений их внутреннего состояния. Такие изменения связаны с физиологическими, биохимическими, ферментативными процессами, с ритмом и скоростью ростовых процессов происходящими в растениях. Они отражают то, насколько условия среды соответствует требовательности и биологическому ритму развития растений. Поэтому выполненный анализ материалов наблюдений позволяет прийти к следующим выводам.

1. Хронобиологический анализ изменения свойств растений в режиме постоянного и закономерного для всей территории Земли цикличного флюктуирования климата является обязательным условием рационального растениеводства и природопользования.

2. Такой анализ позволит статистически достоверно определять степень уязвимости растений и их биологическую устойчивость при колебаниях климата. Дифференцировать основные типы адаптационной стратегии растений. Выяснять их принадлежность к определенному типу стратегии адаптации в меняющихся условиях обитания. Оценивать перспективность использования растений в конкретном периоде жизни и прогнозировать возможный ход дальнейшей трансформации их жизнеспособности и свойств. Создавать ресурсосберегающие технологии растениеводства, обеспечивающие экологическую и экономическую безопасность стран. Разрабатывать научную основу природопользования позволяющую ослабить вредные последствия трансформации растительного покрова под действием изменений климатического режима.

3. Для разработки научной основы природопользования в условиях постоянного цикличного флюктуирования климата нужны хронобиологические исследования широкого диапазона свойств и процессов растений. В их числе: анализ физиологических, биохимических, ферментативных процессов; анализ ритма, направления и скорости развития растений, их роста и продуктивности; изменения морфологии; режима старения и долголетия организмов.

Литература

1. Антропогенные изменения климата /И.И.Борзенкова, М.И.Будыко, Э.К.Бютнер и др. Л..Гидрометеиздат. 1987. – С. 406.
2. Колебания климата за последнее тысячелетие / А.А.Абрамова, Т.Т.Битвинская, Е.П. Борисенков и др. Л..Гидрометеиздат. 1988. – С. 408.
3. Парниковый эффект, изменение климата и экосистемы. /Под ред. Б.Болина. Л. Гидрометеиздат. 1989. – С. 557.
4. Чичасов Г.Н. Технология долгосрочных прогнозов погоды. С.-Петербург. Гидрометеиздат. 1991. – С. 304.
5. Второе Национальное сообщение Республики Казахстан Конференции Сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Астана, 2009. – С. 190.
6. Пятое национальное сообщение Российской Федерации. М., 2010. – С. 130.
7. Проскуряков М.А. Хронобиологический анализ растений при изменении климата. Тр. Института ботаники и фитоинтродукции. Т.18(1). Алматы. 2012. – С. 228. <http://www.moip.msu.ru>, www.botsad.kz
8. StatSoft, Inc. (2001). Электронный учебник по статистике. Москва, StatSoft. WEB: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm>
9. Проскуряков М.А. Методика определения скорости и величины смещения характеристик растений при изменении климата. В сб. Изучение ботанического разнообразия Казахстана на современном этапе. Тр.международ. конф. 6-7 июня 2013. Алматы. 2013. www.botsad.kz