

Пятибалльная шкала оценки стабильности развития яблони по значениям коэффициентов флуктуирующей асимметрии (ФА)

Балл	Величина показателя стабильности развития (ФА)	Связь ФА с действующими стрессовыми факторами
I	<0,100	<b>норма</b>
II	0,100 – 0,119	<b>Переход от нормы к загрязнению</b>
III	0,120 – 0,139	<b>загрязнение</b>
IV	0,140 – 0,159	<b>сильное загрязнение</b>
V	>0,159	<b>критическое загрязнение</b>

На основании интегральной функции распределения коэффициентов флуктуирующей асимметрии 1373 листовых пластинок яблони разных сортов и двух экологических зон обитания построена пятибалльная шкала оценки стабильности развития данной культуры. Применение метода флуктуирующей асимметрии в анализе яблони показало его высокую специфичность в интегральных оценках состояния культуры и окружающей среды обитания. Показана индифферентность сортосостава яблони к значениям коэффициентов флуктуирующей асимметрии. В целом, проведенное исследование позволяет считать яблоню биоиндикаторной культурой для биомониторинга – системы наблюдений, оценки и прогнозирования изменения состояния популяций отдельных видов растений под влиянием антропогенных факторов воздействия.

*Литература*

- Жученко А.А. Адаптивный потенциал культурных растений (эколого-генетические основы). Кишинев, 1988, 485 с.  
 Зайцев Г.Н. Методика биометрических расчетов (математическая статистика в экспериментальной ботанике). М., Наука, 1978, 212 с.  
 Захаров В.М., Баранов А.С. и др. Здоровье среды: методика оценки. М., 2000, 41 с.  
 Константинов Е.Л. Особенности флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth) как вида биоиндикатора. Автореф. канд. дисс. Калуга, 2001, 21 с.  
 Марченко С.И. Эстетика и оптимизация природопользования (методические указания по НИРС). Брянск, 2005, с.15.

**МОРФО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДНЫХ (ОСТРОВНЫХ И КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ) ПОПУЛЯЦИЙ *ARABIDOPSIS THALIANA* (L.) HEYNH. (BRASSICACEAE)**

**Грицких М. В., Федоренко О. М., Николаевская Т. С.**

*Петрозаводск, Институт биологии Карельского научного центра РАН*

Фотоморфогенез у высших растений включает процессы развития и дифференцировки, в том числе и оптимизацию структуры растений, обеспечивающей максимальное использование света в фотосинтезе. Под контролем генов фитохромов формируются такие признаки как прорастание семян, время цветения, рост черешков листьев, удлинение генеративного побега, увеличение площади листа и другие (Casal et al, 2003; Reed et al, 1994; Smith, 1997; Whitlam, Delvin, 1997). Развитие растений в существенной степени зависит от интенсивности и качества световой энергии, что напрямую связано с широтой и климатическими условиями региона их распространения. Это было показано на основе изоферментного анализа нескольких континентальных карельских популяций *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. (Федоренко и др., 2001). Однако морфо-физиологические особенности растений этих популяций *A. thaliana* подробно не были исследованы.

В этой связи целью нашей работы было изучение особенностей развития морфо-физиологических признаков, а также внутри- и межпопуляционного их разнообразия. В четырёх карельских природных популяциях *Arabidopsis thaliana* (двух континентальных – Царевичи, Шуйская, и двух островных – Радколье, Климецкий) были исследованы всхожесть и энергия прорастания семян (%), индекс формы листа (отношение ширины к длине листа), количество розеточных листьев, длина их черешка и диаметр розетки (мм). *A. thaliana* (2n=10) – резущка Таля относится к двудольным травянистым растениям семейства крестоцветных (Brassicaceae или Cruciferae). Это растение является одним из лучших объектов для молекулярно-генетических исследований среди высших растений благодаря короткоцикличности, эффективной индуцируемости мутаций и наличию сравнительно небольшого размера генома (Ежова, 1999). Короткий жизненный цикл, высокая плодовитость, небольшой габитус позволяет выращивать это растение в лабораторных условиях круглый год. Растения анализируемых популяций выращивались в люминостате при температуре 21<sup>0</sup>С и круглосуточном освещении.

В северных широтах в популяциях арабидопсиса преобладают позднецветущие растения (Kranz, Kircheim, 1987). Исследованные нами популяции по времени цветения представлены почти исключительно (>90%) поздними экотипами, цветение которых начинается через 90 дней и позже. Только в популяции Царевичи, обнаружены как рано, так и поздно цветущие формы растений (Федоренко и др., 2001).

Как показали наши исследования жизнеспособность и выживаемость растений (энергия прорастания и всхожесть) были высоки и колебались в пределах 60–96 и 63–95% соответственно. В континентальных популяциях эти значения были на 10–30% ниже, чем в островных популяциях. И, что особенно важно, эти показатели самые низкие в популяции Царевичи, где рано цветущие растения доминируют (табл. 1).

Анализ морфологических признаков (диаметр розетки, количество розеточных листьев и длина их черешка) показал, что у континентальных популяций их величина также меньше, чем у островных популяций и в большинстве случаев обе группы достоверно (*t* Стьюдента) отличаются между собой. Растения островных популяций достоверно различаются между собой лишь по трем признакам: диаметр розетки и длина листа (крупнее в популяции Климецкий), индекс листа (выше в популяции Радколье). Континентальные популяции отличаются друг от друга сильнее: по ширине и индексу листа, длине черешка (больше в популяции Царевичи), по энергии прорастания и всхожести (выше в популяции Шуйская).

Уровень варьирования признаков и дисперсия во всех популяциях оказались высокими. Значения коэффициентов вариации находятся в пределах 10–29%, за исключением популяции Царевичи, проявившей наибольший уровень варьирования (26–54%).

Как представляется, формирование морфо-физиологических признаков связано с климатическими условиями мест произрастания (континентальные – островные). В то же время, индекс листа, опосредованно характеризующий количество поглощенной световой энергии, самый высокий у растений популяции Царевичи, где встречаются и рано цветущие растения. Помимо того, исследованные популяции арабидопсиса характеризуются наличием значительного количества листьев в розетке, что, как известно из литературных данных, свидетельствует о преобладании позднецветущих форм (Gazzani et al., 2003).

Таблица 1

**Морфофизиологические признаки у растений *A. thaliana* (L.) природных (континентальных и островных) популяций**

Популяция	Статистические параметры				
	n	$\bar{x} \pm s_x$	$\sigma$	D	V
Количество розеточных листьев					
Климецкий	84	16,0 ± 0,30	2,75	7,54***	17
Радколье	80	17,0 ± 0,30	2,66	7,09*	16
Царевичи	80	15,0 ± 0,49	4,34	18,83***	28
Шуйская	56	15,0 ± 0,43	3,23	10,44***	21
Диаметр розетки, мм					
Климецкий	168	66,79 ± 0,87	11,32	128,13***	17
Радколье	160	62,15 ± 0,84	10,68	114,15***	17
Царевичи	160	55,75 ± 1,14	14,45	208,72***	26
Шуйская	112	53,36 ± 0,86	9,08	82,39***	17
Индекс листа					
Климецкий	168	0,40 ± 0,01	0,08	0,01***	19
Радколье	160	0,47 ± 0,01	0,11	0,01***	23
Царевичи	160	0,49 ± 0,01	0,19	0,04*	39
Шуйская	112	0,43 ± 0,01	0,07	0,005	16
Длина черешка					
Климецкий	168	11,9 ± 0,24	3,09	9,57***	26
Радколье	160	12,4 ± 0,3	3,4	11,8***	28
Царевичи	160	10,3 ± 0,3	4,1	16,8***	40
Шуйская	112	9,5 ± 0,2	2,5	6,4***	26
Всхожесть,					
Климецкий	84	94,79 ± 0,78	7,16	51,28***	8
Радколье	80	95,28 ± 1,21	10,78	116,18***	11
Царевичи	80	63,62 ± 3,60	31,78	1009,67***	50
Шуйская	46	84,13 ± 2,56	17,38	302,12***	21
Энергия прорастания,					
Климецкий	84	93,00 ± 1,04	9,53	90,75***	10
Радколье	80	95,50 ± 1,24	11,11	123,49***	12
Царевичи	80	60,65 ± 3,68	32,92	1083,93***	54
Шуйская	46	79,83 ± 2,69	18,26	333,30***	23

Примечание. Здесь и в табл. 2 – \*\*\* – P<0,001; \* – P<0,05.

Оценку внутри- и межпопуляционных различий провели на основе двухфакторного дисперсионного анализа, где в качестве специфического генетического фактора выступали «семьи», а неспецифического, негенетического – «место произрастания» (Зайцев, 1984).

Действие специфического генетического фактора ( $D_{fam}$ ), обусловленное внутривидовыми различиями, оказалось существенным только для морфологических признаков, доля влияния не превышала 26% (табл. 2). Неспецифический негенетический фактор ( $D_{pop}$ ), характеризующий межпопуляционные различия, оказался значимым для всех морфо-физиологических признаков, и наиболее выражен для всхожести и энергии прорастания. Доля влияния фактора составила около 30%. Тем не менее, наибольшее значение дисперсий обусловлено взаимодействием факторов: доля влияния колебалась в пределах 35–48%.

Действие естественного отбора (стабилизирующая форма) на формирование морфо-физиологических признаков наиболее сильно проявилось в островных популяциях по сравнению с континентальными. В популяции Царевичи оно наименее выражено, вследствие чего здесь наиболее высок уровень фенотипического разнообразия изученных признаков. В этой же популяции выявлен высокий уровень морфофизиологических отклонений (карликовость, многорозеточность, положительный геотропизм, этиолированные проростки, пигментные мутации, потенциальные летали), достигающих 23% и превышающих в 2 раза их уровень в других популяциях.

Таблица 2

**Компоненты дисперсии и наследуемость морфо-физиологических признаков у растений *A. thaliana* (L.) природных популяций**

Признак	$D_{pop}$	$D_{fam}$	$D_{int}$	DE
Количество розеточных листьев	50,3***	24,4***	15,3***	4,8
Доля влияния фактора,%	5,8	25,5	47,9	20,8
Диаметр розетки	2110***	166***	180***	50
Доля влияния фактора,%	20,4	14,5	47,0	18,2
Индекс листа	0,128***	0,017*	0,012	0,009
Доля влияния фактора,%	13,4	16,3	34,9	35,5
Длина черешка	107***	22***	20***	3
Доля влияния фактора,%	16,9	15,4	42,4	25,3
Энергия прорастания	4383***	349	425	426
Доля влияния фактора,%	31,7	16,0	52,3	–
Всхожесть	3020***	415	444	–
Доля влияния фактора,%	28,5	17,0	54,5	–

Примечание.  $D_{pop}$  – дисперсия признака, обусловленная межпопуляционными различиями;  $D_{fam}$  – дисперсия признака, обусловленная внутривидовыми различиями (между семьями);  $D_{int}$  – взаимодействие факторов; DE – остаточная дисперсия.

Таким образом, в карельских природных популяциях арабидопсиса выявлен высокий уровень межпопуляционного и внутривидового разнообразия морфо-физиологических признаков. Полученные данные согласуются с проведенными ранее исследованиями по изучению генетического разнообразия в северных природных популяциях арабидопсиса аллозимным и RAPD-анализами. Повышенное фенотипическое разнообразие морфо-физиологических признаков может быть связано с особенностями экологических условий (световых и температурных) произрастания растений и характеризует экологическую стратегию популяций арабидопсиса, расположенных на северной границе ареала вида: онтогенез растений и выживаемость могут обеспечиваться либо за счет изменения периода вегетации, либо за счет особенностей их морфологии.

*Литература*

- Ежова Т. А. *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. как модельный объект для изучения генетического контроля морфогенеза // Генетика. 1999. Т. 35. № 11. С. 1522–1537.
- Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М., 1984.
- Федоренко О. М., Савушкин А. И., Олимпиенко Г. С. Генетическое разнообразие природных популяций *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. в Карелии // Генетика. 2001. Т. 37. № 2. С. 223–229.
- Casal J. J., Ballare C. L., Luccioni L. G., Oliverio K. A., Boccalandro H. E. Light, phytochrome signaling and photomorphogenesis in *Arabidopsis* // Photochem. Photobiol. Science. 2003. V. 2. P. 625–636.
- Gazzani S., Gendall A. R., Lister C., Dean C. Analysis of the molecular basis of flowering time variation in *Arabidopsis* accessions // Plant Physiol. 2003. V. 132. P. 1107–1114.
- Kranz A.R., Kircheim B. Genetic resources in *Arabidopsis* // AIS. 1987. № 24.

Reed J. W., Nagatani A., Elich T. D., Fagan M., Chory J. Phytochrome A and phytochrome B have overlapping but distinct functions in *Arabidopsis* development // Plant Physiol. 1994. V. 104. P. 1139–1149.

Smith H., Xu Y., Quail P. H. Antagonistic but complementary actions of phytochromes A and B allow optimum seedling de-etiolation // Plant Physiol. 1997. V. 114. P. 637–641.

Whitelam, G. C., Delvin P. F. Roles of different phytochromes in *Arabidopsis* photomorphogenesis // Plant Cell Environ. 1997. V. 20. P. 752–768.

## ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ СЕМЯН ЗАЩИТНО-СТИМУЛИРУЮЩИМИ СОСТАВАМИ

Деревинская А.А.

Минск, Белорусский Государственный Педагогический Университет им. М. Танка

Реализация максимального потенциала продуктивности сельскохозяйственных культур не достигается в полной мере при естественных условиях обитания, вследствие постоянно возникающих стрессовых воздействий окружающей среды. В условиях неустойчивого климата Республики Беларусь, для которого характерны резкие смены погодных условий (в том числе и засушливые периоды), возделываемые сельскохозяйственные культуры трудно приспособляются к подобным колебаниям, что в результате приводит к значительным потерям урожая.

Водный стресс вызывает изменения ростовых, морфологических, анатомических и биохимических показателей в растениях. Последствия нарушения водного обмена многочисленны: изменение транспирации, фотосинтеза, минерального питания и других функций растительного организма.

Ранее (30 – 50 лет назад) частота засух составляла примерно один раз в десятилетие, а в последние годы она наблюдается намного чаще. Ожидается, что в связи с глобальным потеплением климата такая тенденция будет только усиливаться. Для повышения адаптационных способностей сельскохозяйственных растений к неблагоприятным условиям среды используются приемы предпосевной обработки семян комплексными пленкообразующими составами, в среде которых в последующем происходит процесс набухания и прорастания семян. Данные приемы в значительной степени контролируют эффективность прохождения последующих этапов онтогенеза растений (Кабашникова и др., 1998). Начальные фазы развития растений являются наиболее чувствительными к неблагоприятным факторам внешней среды, а их протекание определяет дальнейший ход онтогенеза растений. Обработка семян перед посевом позволяет направленно влиять на начальные этапы реализации генетической программы жизненного цикла растений и контролировать протекание последующих этапов онтогенеза (Кабашникова, 2003).

Цель исследования – в полевых условиях оценить эффективность использования защитно-стимулирующих составов (ЗСС) на основе препаратов Инкор и Сейбит П для предпосевной обработки семян яровой пшеницы с целью повышения засухоустойчивости данной культуры в условиях Беларуси.

Материал и методы исследований. Исследования проводили на яровой пшенице сорта Ростань, районированной в Республике Беларусь. Семена растений обрабатывались непосредственно перед посевом. Для обработки использовались защитно-стимулирующие составы: стандартный препарат Сейбит П и его модификации с добавлением регулятора роста силатрана (БИРР) и сернокислого железа; препарат Инкор – 2, состоявший из пленкообразующего полимера, гидрогумата; препарат Инкор – 7, состоявший из пленкообразующего полимера, гидрогумата и микроэлементов (цинк, железо, марганец, медь). Для защиты от болезней в полевых условиях использовали фунгицид байтан-универсал в стандартной дозе.

Анализ роста и развития растений проводили на основных этапах онтогенеза растений пшеницы (фазы кущения, колошения и молочной спелости). Физиологическое действие ЗСС оценивали по следующим показателям: относительное содержание воды, водный дефицит, содержание фотосинтетических пигментов, уровень перекисного окисления липидов.

Относительное содержание воды определяли по Campos et al. (1999) Водный дефицит листьев пшеницы вычисляли по Yordanov et al. (1997).

Количество пигментов в ацетоновых экстрактах определяли по спектрам поглощения, снятым на спектрофотометре «Uvikon 931» (Германия). Расчеты производили по формулам, предложенным Шлыкком (1971).

Перекисное окисление липидов тестировали по количеству малонового диальдегида (МДА), содержание которого определяли по цветной реакции с тиобарбитуровой кислотой (ТБК) с последующим измерением оптической плотности на спектрофотометре «Uvikon 931» (Германия) при длине волны 532 нм (Aono et al., 1995)

Статистическую обработку данных проводили по Рокицкому П.Ф. (1967).