
EDUCATION, DISSEMINATION AND ADVISORY WORK IN THE FIELD OF AGRICULTURE

DOI: <https://www.doi.org/10.23649/jae.2023.2.30.003>

Baranov S.G.^{1*}, Skatova S.E.², Vinokurov I.Yu.³

¹ ORCID: 0000-0002-7778-4689;

² ORCID: 0000-0003-1423-2323;

³ ORCID: 0000-0003-1713-1050;

¹ Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov, Vladimir, Russia;

^{1, 2, 3} Verkhnevolzhsky Agrarian Scientific Center, Novy-settlement, Russia

* Corresponding author (bar.serg58[at]gmail.com)

Received: 23.01.2023; Accepted: 09.02.2023; Published: 20.02.2023

TRITICALE: SHAPE AND ASYMMETRY OF THE LEAF PLATE

Research article

Abstract

To study the asymmetry and shape, flag leaf plates of five triticale varieties were collected from plants grown on gray forest soils of the Suzdal Opole (Vladimir Oblast, Russia). Marks (50 pairs) were applied to the scanned image of leaves and morphogeometric dispersion analysis of variance was carried out, followed by the determination of fluctuating asymmetry by the Goodall's F-criterion. Additional indicators were the distances of the Procrustean space between the centres of the XY coordinate sets of the covariance matrix obtained by the interaction of the "leaf" and "side" variation sources. The length of the plates and the size of the centroid were the largest in the Scallop variety. Directional asymmetry was registered in most cases. Pure fluctuating asymmetry was obtained in the leaves of the Norman ($F = 267$; $p < 00001$) and Helios ($F = 399$; $p < 00001$) varieties, but Procrustean distances confirmed the high FA value only of the Norman one. The leaves of this variety differed from the leaves of others in asymmetry, especially significantly from the Slava variety ($p < 00001$). Cluster analysis confirmed the isolation of the Norman variety and the high value of FA in Euclidean distances. The analysis of the genetic correlation by the form/asymmetry ratio showed that the Scallop and Dobry varieties are the most distant from others.

Keywords: fluctuating asymmetry, triticale leaf plate, morphogeometric method, shape, asymmetry.

Баранов С.Г.^{1*}, Скатова С.Е.², Винокуров И.Ю.³

¹ ORCID: 0000-0002-7778-4689;

² ORCID: 0000-0003-1423-2323;

³ ORCID: 0000-0003-1713-1050;

¹ Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, Россия;

^{1, 2, 3} Верхневолжский аграрный научный центр, п. Новый, Россия

* Корреспондирующий автор (bar.serg58[at]gmail.com)

Получена: 23.01.2023; Доработана: 09.02.2023; Опубликовано: 20.02.2023

ТРИТИКАЛЕ: ФОРМА И АСИММЕТРИЯ ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНЫ

Научная статья

Аннотация

Для изучения асимметрии и формы были собраны флаговые листовые пластины пяти сортов тритикале с растений, выращенных на серых лесных почвах Суздальского Ополя (Владимирская область, Россия). На сканированное изображение листьев наносились метки (50 пар), проводился морфогометрический дисперсионный анализ, и строилась усреднённая конфигурация (центроид) с последующим определением флукутирующей асимметрии F-критерием Гудолла. Дополнительными показателями служили расстояния Прокрустова пространства между центрами множеств координат ХУ ковариационной матрицы, полученной при взаимодействии источников вариаций "лист" и "сторона". Длина пластин и величина центроида была наибольшей у сорта Гребешок. Направленная асимметрия встречалась в большинстве случаев. Чистая флукутирующая асимметрия получена в листьях сорта Норманн ($F = 26,7$; $p < 0,0001$) и Гелиос ($F = 39,9$; $p < 0,0001$), но Прокрустовы расстояния подтвердили высокое значение ФА только сорта Норманн. Листья этого сорта отличались от листьев других по асимметричности, особенно сильно от сорта Слава ($p < 0,0001$). Кластерный анализ подтвердил обособленность сорта Норманн в евклидовых расстояниях.

Ключевые слова: флуктуирующая асимметрия, листовая пластина тритикале, морфогеометрический метод, форма, асимметрия.

1. Введение

Популяция растений среди прочих характеристик, обладает стабильностью развития, которая определяется по величине флуктуирующей асимметрии (ФА) листовой пластины, как колебания около нуля разности в величине пластических билатерально-симметричных признаков.

Ранние работы в области стабильности развития растений проводились с измерением линейных или счетных признаков или сравнением площади половинок листовой пластины. Такие подходы основаны на четком обозначении оси симметрии, определении величины парных признаков и расчетов величины флуктуирующей асимметрии по абсолютной разности, отнесенной к сумме значений признаков. Для злаков характерно продольное жилкование листьев, поэтому может использоваться лишь признак – ширина листа [9], [10]. Методы геометрической морфометрии позволяют сравнивать различные виды асимметрии и форму листовой пластины благодаря меткам с координатами ХУ, которые равномерно расставляются по контуру пластины, зеркально отображаются и вращаются до формирования консенсусной формы. Программа MorphoJ [1] регистрирует как изменчивость расположения меток друг относительно друга (форма), так и билатерально-симметричную изменчивость координат парных меток (асимметрия).

Высокое содержание направленной асимметрии (НА) влияет на величину флуктуирующей асимметрии и искажает её в зависимости от частотного распределения [2], [3]. В лесных ценопопуляциях ФА, как нормальная изменчивость листовых пластин, варьирует в широком диапазоне из-за неучтенных факторов, среди которых наиболее важный – освещение, а фактор урбанизации оказывает серьезное влияние на снижение стабильности развития в популяциях березы повислой [4].

Флуктуирующая асимметрия варьирует по величине в зависимости от различных факторов: генетических и эпигенетических. Основное влияние оказывает среда, а саму ФА относят к фенотипической изменчивости, отдельно выделяя флуктуационную изменчивость [5]. В предыдущих работах была проведена оптимизация числа расставляемых меток и количества листьев на примере листовых пластин пшеницы [6], [7].

Длина листовых пластин заслуживает отдельного рассмотрения, т.к. изменчивость длины пластины ведёт к возможному изменению формы и асимметрии. Известно, что продолжительность вегетации озимых злаков более чем в два раза больше, чем у яровых форм, отсюда ожидаемо большие размеры пластин и большая величина ФА, хотя линейные размеры не всегда коррелирует с величиной ФА. Равномерное освещение растений и относительная генетическая чистота посевного материала – важные преимущества этих культур. В условиях меняющегося климата и физико-химических свойств почвы важны многолетние повторности проведения эксперимента.

Тритикале (*Triticosecale*) – гибрид пшеницы и ржи – одна из широко распространенных хозяйственно ценных культур. Известно не менее 100 сортов тритикале, классифицируемых по различным признакам. Существуют первичные и вторичные формы тритикале. Вторичные тритикале – продукт гибридизации исходной формы с различным набором хромосом. Например, существуют урожайные сорта, полученные после скрещивания гекса- и октаплоидных сортов. В геноме тритикале присутствуют как гены ржи, так и пшеницы. Форма листовой пластины зависит от генотипа. Асимметрия обладает фенотипической природой зависящей от среды с возможным эпигенетическим влиянием. Отношение формы к асимметрии представляет ковариативную величину, которая варьирует в большую или меньшую сторону. Установление родства между сортами при помощи геномно-фенотипического соотношения вызывает интерес. Такая работа создает базу для генотипического картирования сортов и, возможно, может служить прогностической оценкой стабильности развития сорта и урожайности.

В цель настоящей работы входило:

а) определить уровень стабильности (нестабильности) развития у пяти различных генотипов;

б) поскольку асимметрия – фенотипическое свойство, изначально зависящее от генома, мы попытались найти генетическое родство между сортами на основе формы и асимметрии листовой пластины.

Исходя из первой цели, вытекали следующие задачи: определить влияет ли размер (длина) листовой пластины на величину ФА и стабильность развития. Для определения генетического родства мы сравнили матрицы ХУ координат меток. Генотипическая матрица содержала метки контура пластины, т.е. метки, характеризующие форму, а фенотипическая матрица содержала координаты билатерально симметричных меток.

2. Объекты и методы исследования

Флаговые листовые пластины собирались во второй половине июля 2022 г. на территории Федерального Аграрного Научного Центра (г. Суздаль, Владимирская обл.) с координатами 56,2157°N; 40,5166°E. Работа проводилась в рамках многолетнего адаптивно-ландшафтного эксперимента, проводимого на серых лесных почвах Суздальского Ополя с принятой системой севооборота с использованием гибридных сортов тритикале: Гребешок, Гелиос, Добрый, Норманн и Слава – 22.

Площадь делянки составляла 12,2 м², листовые пластины собирались рандомно, избегая края делянки. Отбирались пластины с длиной 16-18 см. Выбирались визуально симметричные пластины без изгибов и следов поражения микроорганизмами. С каждой делянки (всего пять) собиралось 25-30 пластин, высушивались и наклеивались на бумагу нижней (абаксальной) стороной наверх и сканировались вместе с линейкой, градуированной по ГОСТ. Изображения сохранялись в формате JPG.

Пластины сорта Гребешок были значительно больше (13,9±0,26 см). Решено было рассматривать эту выборку как условно контрольную. Другие пластины после отбора крупных и мелких листьев не отличались по размерам, а средняя

длина их была равна $10,1 \pm 0,19$ см. Общее число образцов листьев в выборках было следующее: Гребешок – 22, Гелиос – 24, Добрый – 23, Норманн – 23 и Слава – 22.

Нанесение меток (пакет TPSDig2) проводилось в основании пластины, лишённой лигулы (язычка) и на верхушку пластины (апекс). Вспомогательные метки наносились по 50 по обоим краям – левому и правому. Предполагалось, что эти метки несут информацию о гомологичных билатерально симметричных парных признаках (рис. 1).

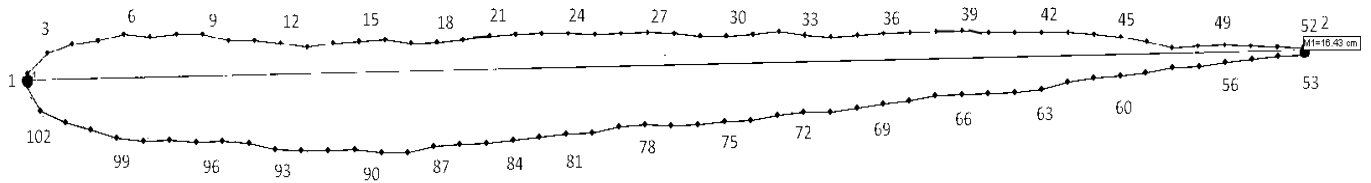


Рис. 1 – Расположение основных (№1 и №2) и вспомогательных меток (№№3-102)

Точка начала и окончания каждой кривой выставлялась по возможности ближе к центру настоящих меток №1 и №2, лежащих на оси симметрии. В предыдущих работах повышение числа пластин до 100 не вызывало увеличения статистической значимости флуктуирующей асимметрии и не существенно снижало систематическую ошибку в дисперсионном анализе [7]. При построении ломаных проводилось с использованием 25-30 точек (outlines). Процедура нанесения меток проводилась четыре раза: два раза по часовой стрелке и два раза – против часовой стрелки.

После определения всех координат меток и создания общего файла, проводилась проверка выбросов, т.е. координат меток, визуально выходящих за пределы доверительного интервала. Длина листовой пластины после усреднения формы отображалась в виде усредненной симметричной формы – центроида. В результатах Прокрустова анализа, как аналога 2-х факторного дисперсионного анализа, индивидуальное различие («лист») указывало на различие в форме внутри выборки. Эффект фактора «сторона» указывал на возможное присутствие направленной асимметрии. Взаимодействие обоих источников вариации указывало на статистическую значимость флуктуирующей асимметрии.

Для точности результатов первые компоненты сравнивались в вариационном анализе между изучаемыми выборками для определения различия в форме и в асимметрии с помощью прокрустовых дистанций.

Кластерный анализ с использованием собственных (средневзвешенных) значений ковариационных матриц выполнялся в STATISTICA 10, Statsoft Ink. И служил для разбиения на близкие по дисперсии группы для определения генетического родства между сортами, а также для определения различия в ФА.

Для нормализации выборок проводилось пермутационное размножение значений 10 000 раз, статистическая значимость определялась на уровне 95%.

3. Результаты и их обсуждение

По длине листовые пластины в выборках обладали нормальным распределением, т.к. значения эксцесса и асимметрии находились в пределах $\{-1 \div 1\}$, а стандартные отклонения от среднего значения варьировали от 1,02 (Норманн) до 1,7 (Гребешок).

Величина центроидной фигуры (средний квадрат расстояния от координат меток до геометрического центра) была больше, как и ожидалось у сорта Гребешок ($MS = 153,2$). Центроидные величины других сортов варьировали от $MS = 33,6$ (Норманн) до $MS = 75,5$ (Гелиос) и различались внутри каждой выборки ($p < 0,0001$). У обоих сортов были высокие индексы чистой флуктуирующей асимметрии в прокрустовом анализе, таким образом, длина не влияла на величину ФА. Результаты Прокрустового дисперсионного анализа представлены в таб. 1.

Таблица 1 – Различие в форме (лист), в направленной асимметрии (сторона) и во флуктуирующей асимметрии (лист × сторона)

Источник вариации	Effect	SS	MS	df	F
Контроль (Гребешок)	лист (1)	0,013	0,00001	2300	0,76 ^{ns}
	сторона (2)	0,002	0,00002	100	2,94 ^{***}
	лист×сторона (3)	0,017	0,00001	2300	89,16 ^{***}
	ошибка (4)	0,001	0,00000	14400	
Гелиос	(1)	0,021	0,00001	2300	1,28 ^{***}
	(2)	0,001	0,00001	100	1,04 ^{ns}
	(3)	0,017	0,00001	2300	39,87 ^{***}
	(4)	0,003	0,00000	14400	
Добрый	(1)	0,029	0,00001	2300	1,63 ^{***}
	(2)	0,002	0,00002	100	2,74 ^{***}
	(3)	0,018	0,00001	2300	57,28 ^{***}
	(4)	0,002	0,00000	14400	

Окончание таблицы 1 – Различие в форме (лист), в направленной асимметрии (сторона) и во флуктуирующей асимметрии (лист × сторона)

Источник вариации	Effect	SS	MS	df	F
Норманн	(1)	0,034	0,00002	2200	1,42 ^{***}
	(2)	0,001	0,00001	100	0,84 ^{ns}
	(3)	0,024	0,00001	2200	26,65 ^{***}
	(4)	0,006	0,00000	13800	
Слава	(1)	0,015	0,00001	2100	0,74 ^{ns}
	(2)	0,002	0,00002	100	2,16 ^{***}
	(3)	0,020	0,00001	2100	44,5 ^{***}
	(4)	0,003	0,00000	13200	

Примечание: SS – сумма квадратов; df – степень свободы; MS – средний квадрат; F – критерий Гудолла; *** – $p < 0,0001$; * – $p < 0,01$; ns – $p > 0,05$

В выборках контроль (Гребешок) и Слава листья не различались по форме центроидной усредненной фигуры, т.к. фактор «лист» был незначим. Чистая флуктуирующая асимметрия получена в 2-х выборках Гелиос ($F=39,8$) и Норманн ($F=26,7$), т.к. направленная асимметрия отсутствовала (фактор «сторона») и не влияла на величину ФА.

В других выборках значение ФА варьировало от 44,5(Слава) до 89,2 (Гребешок). Высокое значение F, в выборке Гребешок могло объясняться высоким содержанием НА.

Для того чтобы четче определить различия в форме и асимметрии использовались морфогеометрические (прокрустовы) расстояния (PD) между центрами множеств. По форме листовые пластины сорта Норманн показали значительную удаленность (отличие), в том числе и от контроля (PD = 0,03 $p < 0,0001$).

По асимметричности выделялся сорт Слава, т.к. он отличался от трех других сортов с высокими показателями прокрустовых дистанций (PD = 0,01; $p < 0,001$). Следовательно, форма и ФА не коррелировали между собой, также как и размер листьев и ФА. Например, у сорта Гребешок листья были самые большие по длине, соответственно с высоким центроидным размером, но по форме и по флуктуирующей асимметрии, несмотря на большое значение $F=89,2$, не отличался от других выборок.

Для визуальной оценки флуктуирующей асимметрии был применен метод кластерного анализа. Способ ближайших соседей показал эвклидовы расстояния между ближайшими сходными по дисперсии значениями ФА. Аналогичный результат показал метод Варда, основанный на дисперсионном анализе для оценки расстояний между кластерами (рис. 2).

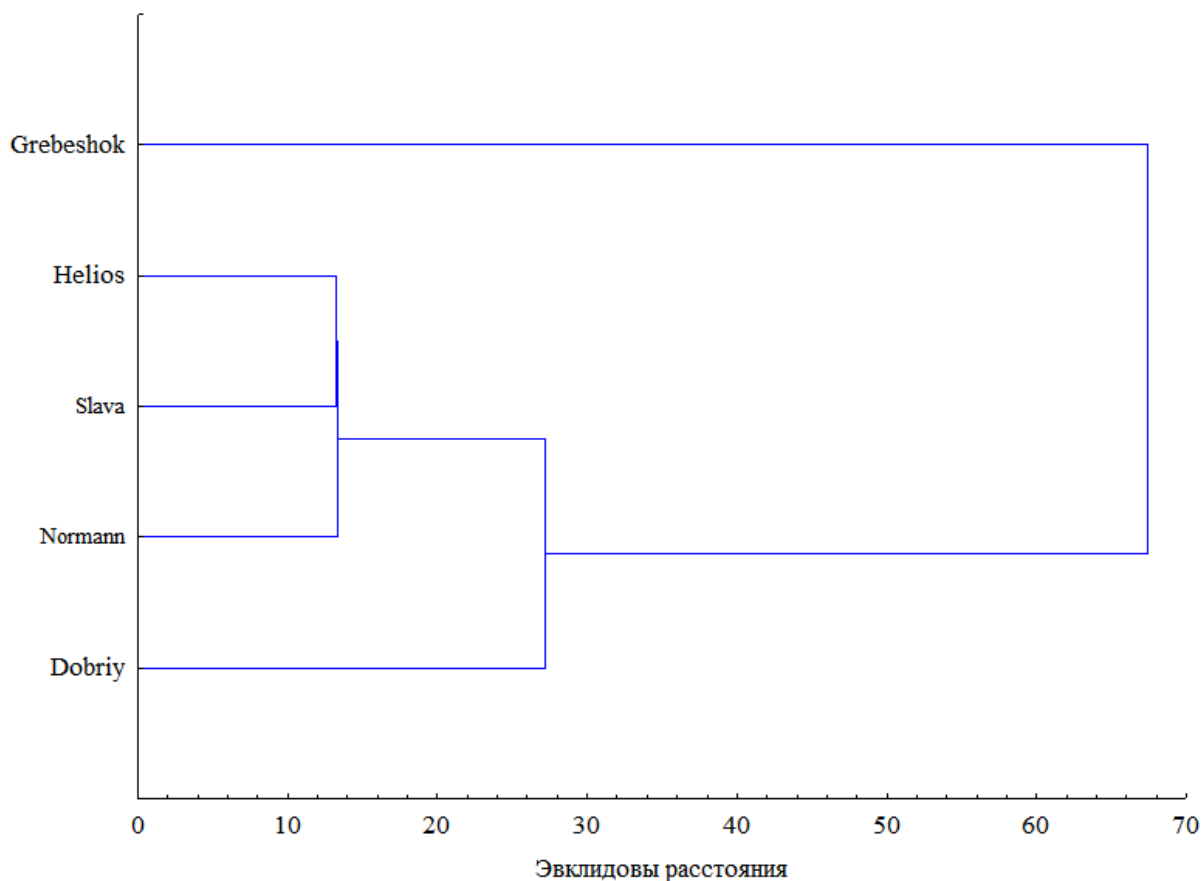


Рис. 2 – Кластерная диаграмма значений ФА

Сорт Норманн занимал первый кластер с наибольшим значением ФА. Другие сорта образовали другой кластер, причем, сорт Слава превышал в величине ФА все другие сорта, а сорт Добрый немного превышал ФА двух других

сортов. Наименьшая величина ФА – у сорта Гребешок, что подтверждалось результатами Прокрустового дисперсионного анализа.

4. Заключение

Высокая гетерогенность дисперсии формы играет роль в асимметричности листовых пластин злаков, которая изучена слабо, например, по сравнению с асимметрией семян [14]. Работы, проведенные с тритикале, показали, что левосторонние листья (спиральная асимметрия) давали больше высокий урожай [13], что даёт основание считать флуктуирующую и направленную асимметричность серьезными факторами, влияющими на биохимический гомеостаз и зерновую продуктивность тритикале.

Листовая пластина сорта Норманн показала наибольшую дисперсию меток по сравнению с другими сортами ($\sigma^2 = 10.4 - 10.6$), что и обуславливало, по нашему мнению, высокую асимметричность. Гелиос и Слава были похожи по форме пластины, т.к. их конфигурации не различались (анализ Манна-Уитни; $p > 0.05$). Другие сорта высоко различались друг от друга и особенно от сорта Норманн.

Повышенная урожайность сорта Норманн (более 58 ц/га) может объясняться пониженной стабильностью развития. Между стабильностью развития и величиной листовой пластины не получено корреляции, скорее листья злаковых показывают высокую пластичность, чем древесные виды.

Отношение матрицы формы к матрице асимметрии несет большую информацию о генотипе, чем о фенотипе, т.к. направленная асимметрия – часто присутствующая в листьях, содержит генотипическую составляющую. ФА, мы рассматривали с точки зрения нормы реакции, представляющей особенность генотипа. Сказанное подтверждает обоснованность картирования структуры генотипических особенностей, сортов тритикале, как и других злаковых растений.

Conflict of Interest

None declared.

Конфликт интересов

Не указан.

References

1. Klingenberg C.P. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics / C.P. Klingenberg // *Mol. Ecol. Res.* — 2011. — No. 11. — P. 353–357. — DOI: 10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x
2. Baranov S.G. Use of MorphoJ soft package for phenotypic and genotypic variety testing (English oak case study) / S.G. Baranov // *Ecological genetics.* — 2016. — Vol. 14. — No. 4. — P. 3-13. — DOI: 10.17816/ecogen1443-13
3. Baranov S.G. Precision of measurement and directed asymmetry in leaf plates *Betula pendula* Roth / S.G. Baranov, T.S. Bibik, L.I. P'in // *Vestnik of the Kazan State Agrarian University.* — 2017. — №2 (44). — P. 14-21.
4. Shadrina E. Fluctuating Asymmetry in Morphological Characteristics of *Betula Pendula* Roth Leaf under Conditions of Urban Ecosystems: Evaluation of the Multi-Factor Negative Impact / E. Shadrina, N. Turmukhametova, V. Soldatova [et al.] // *Symmetry.* — 2020. — No. 12. — P. 1317. — DOI: 10.3390/sym12081317
5. Тиходеев О.Н. Классификация изменчивости по факторам, определяющим фенотип: традиционные взгляды и их современная ревизия / О.Н. Тиходеев // *Экологическая генетика.* — 2013. — № 11(3). — С. 79–92. — DOI: 10.17816/ecogen11379-92
6. Baranov S.G. Does Fertilizer Influence Shape and Asymmetry in Wheat Leaf? / S.G. Baranov, I.Yu. Vinokurov, M.V. Schukin [et al.] // *Computer Science On-line Conference.* Springer. Cham. — 2020. — P. 153-160. — DOI: 10.1007/978-3-030-51971-112
7. Baranov S.G. Two kinds of asymmetry in spring wheat leaf blade / S.G. Baranov, I.Yu. Vinokurov, I.E. Zykov [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* — IOP Publishing, 2021. — Vol. 839. 032037. — DOI: 10.1088/1755-1315/839/3/032037
8. Зыков И.Е. Систематические ошибки при определении асимметрии листовых пластин / И.Е. Зыков, С. Г. Баранов, И.Ю. Винокуров [и др] // *Успехи современного естествознания.* — № 12. — 2021. — С. 15–20. — DOI: 10.17513/use.37729
9. Устюжанина О. А. Коэффициент флуктуирующей асимметрии для пшениц озимой и яровой в севооборотах с насыщенностью элементами питания в разной форме / О. А. Устюжанина, Л. А. Соколова // *Проблемы региональной экологии.* — 2014. — № 6. — С. 59-62. — DOI: 10.1017/S1464793101005796
10. Устюжанина О. А. Влияние разных минеральных фонов на урожайность и коэффициент флуктуирующей асимметрии для озимой и яровой пшениц / О. А. Устюжанина, Л. А. Соколова, А. С. Голофтеева [и др.] // *Проблемы региональной экологии.* — 2017. — № 3. — С. 99–102
11. Baranov S. G. Conjugacy of two types of phenotypic variability of small-leaved linden / S. G. Baranov, I.E. Zykov, D.D. Kuznetsova // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding.* — 2019. — No. 23 496-02. — DOI: 10.18699/VJ19.519
12. Баранов С.Г. Опыт тестирования стабильности развития пшеницы в агроценозах Владимирского ополья / С.Г. Баранов, Т.С. Бибик, И.Ю. Винокуров // *Успехи современного естествознания.* — 2018. — № 12. — P. 51–55. — DOI: 10.17513/use.37007
13. Swamy N. R. Inheritance of seedling handedness in Triticale and its parents / N. R. Swamy, B. Bahadur // *Cereal Research Communications.* — 1999. — No. 27(1/2). — P. 91-97.
14. Sinclair C. Developmental stability as a potential tool in the early detection of salinity stress in wheat / C. Sinclair, A. A. Hoffmann // *International journal of plant sciences.* — 2003. — 164(2). — P. 325-331.

References in English

1. Klingenberg C.P. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics / C.P. Klingenberg // *Mol. Ecol. Res.* — 2011. — No. 11. — P. 353–357. — DOI: 10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x
2. Baranov S.G. Use of MorphoJ soft package for phenotypic and genotypic variety testing (English oak case study) / S.G. Baranov // *Ecological genetics.* — 2016. — Vol. 14. — No. 4. — P. 3-13. — DOI: 10.17816/ecogen1443-13
3. Baranov S.G. Precision of measurement and directed asymmetry in leaf plates *Betula pendula* Roth / S.G. Baranov, T.S. Bibik, L.I. Il'in // *Vestnik of the Kazan State Agrarian University.* — 2017. — №2 (44). — P. 14-21.
4. Shadrina E. Fluctuating Asymmetry in Morphological Characteristics of *Betula Pendula* Roth Leaf under Conditions of Urban Ecosystems: Evaluation of the Multi-Factor Negative Impact / E. Shadrina, N. Turmukhmetova, V. Soldatova [et al.] // *Symmetry.* — 2020. — No. 12. — P. 1317. — DOI: 10.3390/sym12081317
5. Tikhodeev O.N. Klassifikatsiya izmenchivosti po faktoram, opredelyayushchim fenotip: tradicionnye vzglyady i ih sovremennaya reviziya [Classification of variability forms based on phenotype determining factors: Traditional views and their revision] / O.N. Tikhodeev // *Ekologicheskaya genetika [Ecological Genetics].* — 2013. — No. 11(3). — P. 79–92. — DOI: 10.17816/ecogen11379-92 [in Russian].
6. Baranov S.G. Does Fertilizer Influence Shape and Asymmetry in Wheat Leaf? / S.G. Baranov, I.Yu. Vinokurov, M.V. Schukin [et al.] // *Computer Science On-line Conference. Springer. Cham.* — 2020. — P. 153-160. — DOI: 10.1007/978-3-030-51971-112
7. Baranov S.G. Two kinds of asymmetry in spring wheat leaf blade / S.G. Baranov, I.Yu. Vinokurov, I.E. Zykov [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* — IOP Publishing, 2021. — Vol. 839. 032037. — DOI: 10.1088/1755-1315/839/3/03203770
8. Zykov I. E. Sistemicheskie oshibki pri opredelenii asimmetrii listovykh plastin [Measurement accuracy in leaf blade asymmetry testing] / I. E. Zykov, S. G. Baranov, I.Yu. Vinokurov [et al.] // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [Advances in current natural sciences].* — № 12. — 2021. — P. 15–20. — DOI: 10.17513/use.37729 [in Russian].
9. Ustyuzhanina O.A. Koeffitsient fluktuiruyushchej asimmetrii dlya pshenic ozimoy i yarovoj v sevooborotah s nasyschennost'yu elementami pitaniya v raznoj forme [The ratio of fluctuating asymmetry for winter and spring wheats in crop rotation with different forms of saturation with nutrients] / O.A. Ustyuzhanina, L.A. Sokolova // *Problemy regional'noj ekologii [Problems of regional ecology].* — 2014. — No. 6. — P. 59-62. — DOI: 10.1017/S1464793101005796 [in Russian].
10. Ustyuzhanina O.A. Vliyaniye raznykh mineral'nykh fonov na urozhajnost' i koeffitsient fluktuiruyushchej asimmetrii dlya ozimoy i yarovoj pshenic [Influence of different mineral backgrounds on productivity and coefficient of fluctuating asymmetry for winter and spring wheat] / O.A. Ustyuzhanina, L.A. Sokolova, A.S. Golofteeva [et al.] // *Problemy regional'noj ekologii [Problems of regional ecology].* — 2017. — No. 3. — P. 99–102 [in Russian].
11. Baranov S. G. Conjugacy of two types of phenotypic variability of small-leaved linden / S. G. Baranov, I.E. Zykov, D.D. Kuznetsova // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding.* — 2019. — No. 23 496-02. — DOI: 10.18699/VJ19.519
12. Baranov S.G. Opyt testirovaniya stabil'nosti razvitiya pshenicy v agrocenozah Vladimirskego opol'ya [Wheat developmental stability testing in agrocenosis of Vladimir high plain] / S.G. Baranov, T.S. Bibik, I.Yu. Vinokurov // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [Advances in current natural sciences].* — 2018. — № 12. — P. 51–55. — DOI: 10.17513/use.37007 [in Russian].
13. Swamy N. R. Inheritance of seedling handedness in Triticale and its parents / N. R. Swamy, B. Bahadur // *Cereal Research Communications.* — 1999. — No. 27(1/2). — P. 91-97.
14. Sinclair C. Developmental stability as a potential tool in the early detection of salinity stress in wheat / C. Sinclair, A.A. Hoffmann // *International journal of plant sciences.* — 2003. — 164(2). — P. 325-331.