

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.60>

МОДЕЛЬ ФЛУКТУАЦИОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ НА ПРИМЕРЕ ЛИСТОВЫХ ПЛАСТИН ПШЕНИЦЫ

Научная статья

Баранов С.Г.^{1,*}, Винокуров И.Ю.²¹ORCID : 0000-0002-7778-4689;²ORCID : 0000-0003-1423-2323;¹Владимирский государственный университет, Владимир, Российская Федерация²Верхневолжский Научный Агроцентр, Суздаль, Российская Федерация

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

Аннотация

Листовые пластины пшеницы, как и всех злаковых, имеют продольное жилкование, которое создает трудность при изучении флуктуирующей асимметрии (ФА) гомологичных билатерально симметричных структур. Для определения ФА (ненаправленного отклонения от нуля разности между правой и левой структурой) и направленной асимметрии (НА, сдвиг в одну из сторон), был использован метод геометрической морфометрии. Достоинство этого метода в выравнивании координат меток и удалении компонента размера в выборке образцов листовых пластин.

По контуру листа выставлялось 100 меток, равномерно по 50 с каждой стороны и проведено определение величины ФА и НА. Присутствие и значимость направленной асимметрии находилось в двух факторном дисперсионном анализе с помощью фактора «сторона», а ФА – по взаимодействию факторов «лист» и «сторона». Величина флуктуирующей асимметрии определялась по разности дисперсии левых и правых меток. Направленная асимметрия находилась вычитанием среднего значения из разности $|L - R|$, где L и R – величина дисперсии левой и, соответственно, правой метки.

Было проведено сравнение асимметрии листовых пластин 4-х популяций, выращенных при различных дозах удобрения, от интенсивной дозы минеральных удобрений, до, высокоинтенсивной, включавшей органические (навоз КРС) и минеральные удобрения (аммофос). В качестве испытуемого материала было использовано два сорта пшеницы: один сорт озимой и один – яровой.

Значительное снижение стабильности развития (увеличение ФА) с повышением дозы удобрения получено в растениях озимой пшеницы. Яровая пшеница показала постепенное снижение ФА от первой к четвертой дозе удобрения. Оба вида асимметрии проявляли положительную корреляционную связь: озимая пшеница Spearman's $r = 0,61$ и $0,64$ – яровая.

Моделирование с помощью регрессионного анализа показало, что отклик (ФА) озимого сорта находился в экспоненциальной зависимости от обоих факторов: от дозы ($\chi^2 = 264,5$) и от направленной асимметрии ($\chi^2 = 167,5$; везде $p \ll 0,05$). Экспоненциальная модель объясняла 81,7% дисперсии остатков.

Для яровой пшеницы получена полиномиальную модель зависимости, которая объясняла 73% дисперсии остатков и показала значимость только фактора направленной асимметрии ($\chi^2 = 14,1$; $p = 0,0002$). В обеих моделях применялось экспоненциальное распределение Твиди. Критерий оценки значимости коэффициентов регрессии Вальда показал результаты подтверждающие результаты оценки критерием кси-квадрат (χ^2). Таким образом, в листьях яровая пшеницы флуктуационная изменчивость снижалась по мере увеличения дозы удобрения и показала полиномиальную модель зависимости от направленной асимметрии, по которой повышение дозы снижало асимметричность, в противоположность озимой пшеницы, которая показала стойкое увеличение нестабильности развития и общей асимметрии с повышением дозы вносимого удобрения.

Ключевые слова: флуктуирующая асимметрия, направленная асимметрия, модель флуктуационной изменчивости.

A MODEL OF FLUCTUATION VARIABILITY ON THE EXAMPLE OF WHEAT LEAF PLATES

Research article

Baranov S.G.^{1,*}, Vinokurov I.Y.²¹ORCID : 0000-0002-7778-4689;²ORCID : 0000-0003-1423-2323;¹Vladimir State University, Vladimir, Russian Federation²Verkhnevolzhsky Agrarian Scientific Center, Suzdal, Russian Federation

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

Abstract

Wheat leaf plates, like all grains, have longitudinal veining, which creates a difficulty in studying the fluctuating asymmetry (FA) of homologous bilaterally symmetrical structures. To determine FA (non-directional deviation from zero of the difference between the right and left structures) and directional asymmetry (DA, a shift to one side), the method of geometric morphometry was used. The advantage of this method is the alignment of the mark coordinates and the removal of the size component in a sample of plate samples.

100 marks were placed along the contour of the leaf, 50 evenly on each side, and the FA and DA values were determined. The presence and significance of directional asymmetry was determined by two-factor analysis of variance using the factor

"side", and FA was determined by the interaction between the factors "leaf" and "side". The magnitude of fluctuating asymmetry was determined by the difference in variance of the left and right labels. The directional asymmetry was found by subtracting the mean value from the difference $|L - R|$, where L and R are the variance of the left and right labels, respectively.

A comparison of leaf plate asymmetry of 4 populations grown at different fertilizer doses was carried out, from an intensive dose of mineral fertilizers to a high-intensive one that included organic (cattle manure) and mineral fertilizers (ammophos). Two varieties of wheat were used as test material: one winter and one spring wheat.

Significant decrease in development stability (increase in FA) with increasing fertilizer dose was obtained in winter wheat plants. Spring wheat showed a gradual decrease in FA from the first to the fourth fertilizer dose. Both types of asymmetry showed positive correlation relationship: winter wheat Spearman's $r = 0.61$ and 0.64 – spring wheat.

Modelling by regression analysis showed that the response (FA) of the winter variety was in exponential dependence on both factors: dose ($\chi^2 = 264.5$) and directional asymmetry ($\chi^2 = 167.5$; everywhere $p \ll 0.05$). The exponential model explained 81.7% of the variance in the residuals.

For spring wheat, a polynomial dependence model was obtained that explained 73% of the variance in residuals and showed only the directional asymmetry factor to be significant ($\chi^2 = 14.1$; $p = 0.0002$). Tweedie's exponential distribution was used in both models. The criterion for evaluating the significance of the Wald regression coefficients showed results confirming those of the xy-squared (χ^2) criterion. Thus, in spring wheat leaves, fluctuational variability decreased with increasing fertilizer dose and showed a polynomial model of directional asymmetry dependence, according to which increasing dose decreased asymmetry, in contrast to winter wheat, which showed a persistent increase in developmental instability and overall asymmetry with increasing fertilizer dose.

Keywords: fluctuating asymmetry, directional asymmetry, fluctuating variability model.

Введение

Флуктуационная изменчивость – это колебание величины морфологических, биохимических, а также других показателей около среднего значения, генетически обусловленного нормой реакции.

Существует несколько гипотез объясняющих природу флуктуационной изменчивости. В листовых пластинках, в том числе злаковых растений, ее определяют по величине флуктуирующей асимметрии (ФА) левых и правых гомологичных признаков, например по ширине листовой пластинки или любых других счетных или мерных билатерально симметричных структур.

Под термином «стабильность развития» понимается биохимический статус организма с определенным уровнем ФА. Известно, что у древесных растений высокое отклонение величины ФА в сравнении с контролем означает снижение стабильности развития популяции [1], [2].

Направленная асимметрия – это направленный сдвиг разности между левыми и правыми величинами в одну из сторон, левую или правую, которая часто встречается в растениях из-за фототаксиса – синтеза клеток по направлению к источнику освещения и регулируется фитогормонами в меристеме. В отличие от ФА, направленная асимметрия наследуема и теснее связана с генотипом.

Для злаковых характерны оба вида асимметрии. Так в проведенных ранее исследованиях замечено, что в листьях пшеницы, ржи, ячменя и овса в 80% случаях встречались оба вида асимметрии в равном или неравном соотношении [3], [4]. На долю того или иного вида асимметрии оказывали влияния климатические условия года, доза вносимого удобрения и способ обработки почвы [5].

Наиболее точно индекс ФА находят в смешанном 2-х факторном дисперсионном анализе (лист \times сторона) с вычетом ошибки измерения, где фактор «лист» является рандомным фактором, а «сторона» – фиксированным.

Метод геометрической морфометрии позволяет с использованием программных средств (TPSDig2, MorphoJ) искусственно увеличить число признаков в виде равномерно расставляемых меток по краю правой и левой половины листа [6].

Консунная фигура пластинки строится с учётом расположения всех меток, дисперсии ХУ координат меток и обеспечивает определение ФА и НА по совокупности наносимых меток. Соотношение ФА/НА указывает на соотношение фенотипического и генотипического компонентов асимметрии, а доля ФА указывает на изменчивость стабильности развития [7].

Наиболее удобным для изучения фактором, влияющим на асимметрию билатеральных признаков злаковых, представляется доза удобрения, вносимого под зерновую культуру, т.к. питательные вещества стимулируют рост вегетативных и генеративных органов растения и повышают конечную биологическую продукцию зерна в колосе.

Целью работы было построить модель изменения стабильности развития в виде величины ФА в зависимости от направленной асимметрии и с учетом дозы вносимого удобрения. Для сравнения использовались два распространенных сорта пшеницы, один сорт озимой и один – яровой.

Методы и принципы исследования

2.1. Места сбора

Флаговые листовые пластинки пшеницы (*Triticum aestivum* L., 1753), прилегающие к колосу, собирались во второй половине июля 2019 г. (озимая, сорт Поэма) и в 2020 г. (яровая, сорт Грань) на территории Федерального Аграрного Научного центра (г. Суздаль, Владимирская обл.), где на серых лесных почвах Суздальского Ополя проводится многолетний адаптивно-ландшафтный эксперимент с разработанной системой севооборота и внесения удобрения.

Использовались 4 дозы минерального удобрения нитроаммофоска (NPK). По принятой технологии были внесены следующие дозы:

- 1) интенсивная ($N_{90}P_{90}K_{90}$);
- 2) высокоинтенсивная ($N_{120}P_{120}K_{120}$);
- 3) интенсивная органоминеральная (60 т органического удобрения + $N_{90}P_{90}K_{90}$);

4) высокоинтенсивная органоминеральная (80 т органического удобрения + $N_{120}P_{120}K_{120}$).

Все дозы вносились непосредственно перед посевом.

Площадь участка составляла 35 м^2 (5×7), а контролем служили полосы шириной 1 м, разделявшие делянки с различными дозами удобрения. Листовые пластины собирались рандомно, избегая края делянки 1 м шириной. Отбирались пластины с длиной 16-18 см, затем выбирались симметричные пластины без изгибов и поражения микроорганизмами.

Таким образом, с каждой делянки (всего четыре) было отобрано 25-30 пластин. Сначала они вымачивались сутки в бытовом 5%-м детергенте, затем высушивались и наклеивались на бумагу нижней стороной вверх и сканировались с помощью сканера Canon MF3010 (dpi 300) вместе с мерной линейкой, градуированной по ГОСТ. Изображения сохранялись в формате JPG.

2.2. Статистическая обработка и моделирование

Основные статистики выборок $|L - R|$ определялись в программе STATISTICA10 (StatSoft Ink, 2011). Нанесение основных меток (true landmarks, программа TPSDig2) проводилось в точку основания пластины, лишенной лигулы (язычка) и на верхушку пластины (апекс). Вспомогательные метки (semilandmarks) наносились с равным интервалом по каждой стороне листа по 50 меток.

С помощью программы MorphoJ (Klingenberg, 2019) проводилось усреднение и выравнивание всех контуров листовых пластин, таким образом, создавалась консенсусная форма и по дисперсии координат меток (суммы квадратов координат X и Y) рассчитывалась дисперсия каждой правой и левой метки (программа TPSRelw). По разности дисперсии рассчитывалась флуктуирующая асимметрия. Значимость ФА тестировалась в 2-х факторном дисперсионном анализе по эффекту взаимодействия факторов «лист» и «сторона». Присутствие направленной асимметрии определялось по значимости эффекта фактора «сторона». Выборка, содержащая ФА не содержала примесь НА, т.к. из разности $L - R$ по абсолютной величине вычиталось среднее значение. Полученное значение и служило величиной направленной асимметрии.

Для проверки на присутствие антисимметрии была проведена визуальная проверка на выбросы, а также находился коэффициент корреляции Спирмена на отрицательную связь между значениями левого и правого признаков в выборках.

Для построения модели ФА – НА – доза удобрения был использован метод регрессионного анализа. Он был удобен в том, что позволял оценить влияние двух факторов (НА и величины дозы удобрения) на результирующий отклик, в нашем случае индекс флуктуирующей асимметрии.

Основные результаты

3.1. Описательная статистика

Все выборки $|L - R|$ (L – дисперсия левой метки; R – дисперсия правой метки) обладали непараметрическим распределением (К-С тест $p < 0,05$) из-за высокой дисперсии у верхушки и основания листа и в большинстве случаев содержали примесь направленной асимметрии, но большую долю асимметрии занимала флуктуирующая асимметрия.

Не было получено отрицательной корреляции между L и R , т.е. антисимметрия отсутствовала. Предварительно был проведен факторный дисперсионный анализ по влиянию дозы и направленной асимметрии на ФА двух сортов пшеницы. Значимыми был фактор дозы ($df = 3$; $F = 7,5$; $p < 0,05$), который влиял на ФА в зависимости от сорта ($df = 1$; $F = 5,24$; $p < 0,05$). 4-я доза способствовала повышению индекса ФА озимой пшеницы. Этот сорт показал высокую корреляцию ФА/НА в сгруппированных данных (Рисунок 1).

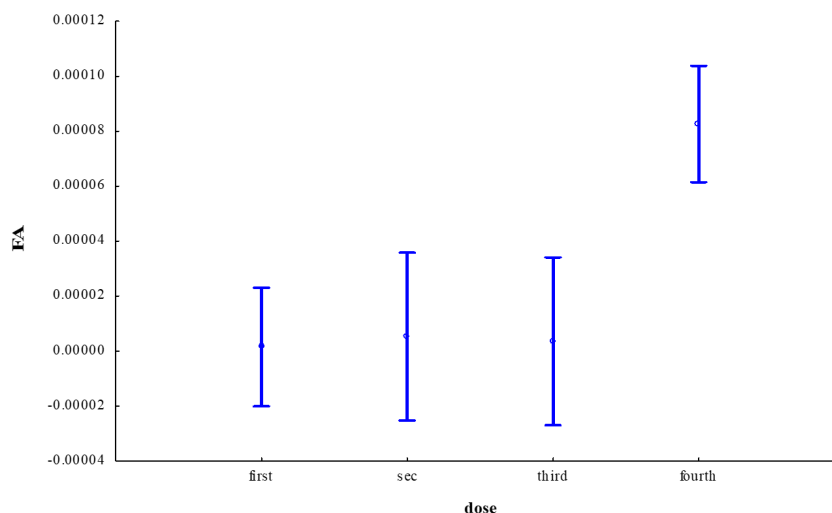


Рисунок 1 - Результаты однофакторного дисперсионного анализа по влиянию дозы удобрения на флуктуирующую асимметрию листьев озимой пшеницы ($F(3; 148) = 12,16$; $p < 0,05$)

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.60.1>

У ярового сорта была получена обратная зависимость (Рисунок 2). В отличие от озимого сорта, здесь не было получено корреляционной связи между значениями ФА и НА, сгруппированными по переменной «доза».

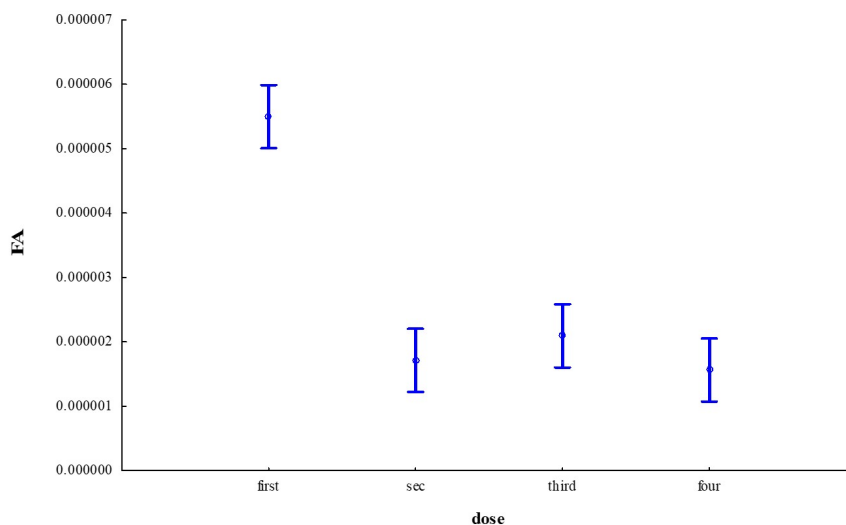


Рисунок 2 - Влияние дозы удобрения на флуктуирующую асимметрию листьев яровой пшеницы ($F(3; 96) = 57; p << 0,05$)

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.60.2>

Таким образом, в листьях яровой пшеницы было констатировано благоприятное воздействие 2-4-й дозы удобрения на флуктуирующую асимметрию в виде стабилизации биохимического гомеостаза. Как следует из диаграммы, начиная с высокоинтенсивной минеральной дозы (вторая) ФА практически оставалась на одном уровне.

3.2. Моделирование

Озимая пшеница. В качестве категориальной переменной была выбрана доза вносимого удобрения (от 1-й до 4-й). Числовой переменной служили значения направленной асимметрии для каждой метки (всего 100 меток). Зависимой переменной служили значения ФА.

Был построен гнездовой план без взаимодействия эффектов, и использовалась опция «обобщенная линейная модель» (GLM, STATISTICA), позволяющая объединить различные модели распределения. Наиболее подходящая модель оказалась модель Твиди (TWEEDIE), относящаяся к экспоненциальному семейству моделей, связывающих дисперсию и среднее степенное. Была использована логарифмическая функция связи (link function). Регрессия ФА/НА показала близкие линии тренда, повышающиеся к 4-й дозе (ось OX; Рисунок 3).

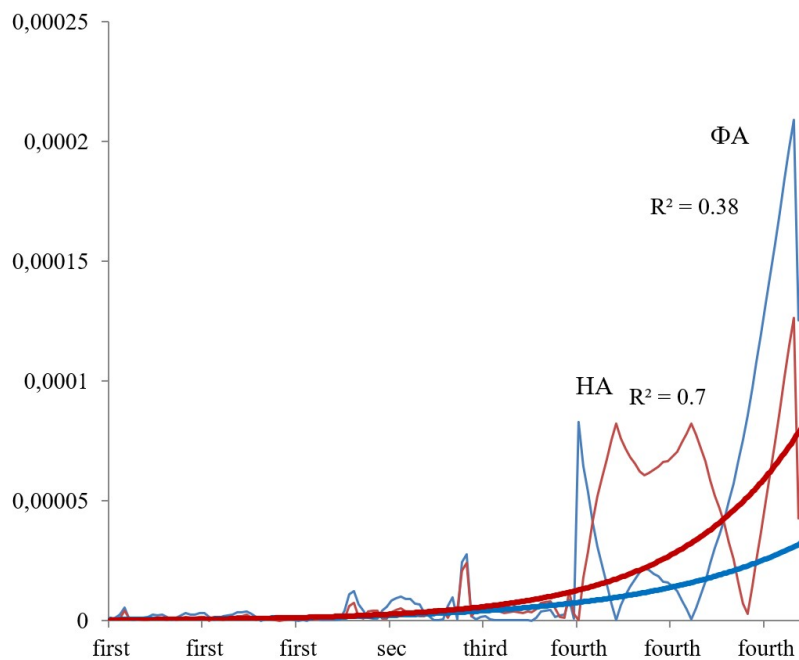


Рисунок 3 - Аппроксимационные линии тренда ФА (синяя линия) и НА (красная)
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.60.3>

Примечание: Озимая пшеница, сорт Поэма, Excel

При оценке коэффициентов регрессии критерием Вальда (Wald) они показали высокую значимость доза: 56,8 и направленная асимметрия: 45,5 (везде $p \ll 0,05$). Полная модель R объясняла 91% дисперсии остатков переменных ($R^2 = 0,83$; $F = 359,5$; $p \ll 0,05$).

Яровая пшеница. Наиболее точная модель показала полиномиальное распределение оп фактору направленной асимметрии. Чем больше степень, тем выше была степень детерминации модели (на графике - пятая степень).

Полиномиальная регрессия статистически была значима только по R, но не по R^2 , например, фактор дозы был незначим ($p > 0,05$).

Общая регрессионная модель показывала высокую значимость $R = 0,86$. Был также применен тест Вальда (Wald) с нулевой гипотезой о равенстве нулю коэффициентов регрессии. Этот тест является асимптотическим, т.е. предназначенным для описания предельного поведения функций. Распределение Твиди показывало значимость только фактора направленной асимметрии – 15,7 $p \ll 0,05$, в целом модель была адекватной относительно направленной асимметрии (Рисунок 4).

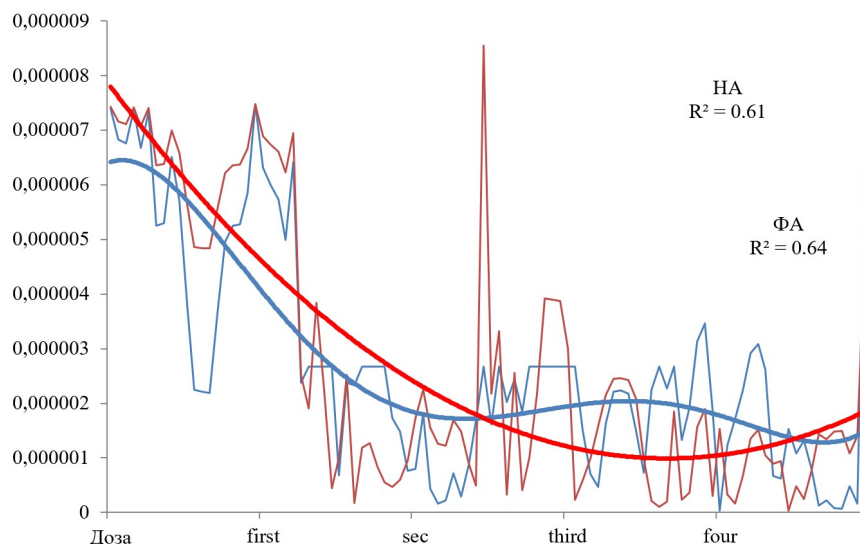


Рисунок 4 - Аппроксимационные линии тренда ФА (синяя линия) и НА (красная)
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.136.60.4>

Примечание: Яровая пшеница, сорт Грань, Excel

Линия тренда для направленной асимметрии соответствовала полиному второй степени, а для ФА – пятой степени. Логарифмические аппроксимации снижали качество модели с понижением значения R^2 . Критерий хи-квадрат показывающий различия между фактическими данными в выборке и теоретическими результатами, подтверждал результаты критерия Вальда.

Другие виды распределения, например, логарифмическое нормальное, не подтверждали значимость коэффициентов регрессии, или подтверждали один из них, например по фактору дозы, на уровне 1-й, 2-й дозы.

Построенные линейные тренды свидетельствовали о различии двух сортов пшеницы в морфологии листовых пластин. У озимой пшеницы они были оформлены полностью как полноценный фотосинтезирующий орган растения, а время вегетации яровой было на два месяца короче, следовательно, ФА варьировала не так сильно, как в сорте озимой (Поэма).

Заключение

Стабильность развития была пониженной у озимой пшеницы (более высокая ФА) особенно, при четвертой высокоинтенсивной органоминеральной дозе. Мы считаем, что разные сроки вегетации (более короткая у яровой пшеницы) играют роль в стабильности развития. Отсюда – различные допустимые модели описывающие влияние генотипически зависимой направленной асимметрии и дозы удобрения на стабильность развития. Экспоненциальная модель была характерна для озимой. Полиномиальная, далекая от линейной – для яровой пшеницы. Авторы полагают, что моделирование стабильности развития представляет интерес при учете других факторов, климатических, а также факторов обработки почвы.

При разработке системы моделирования следует учитывать множество экспериментальных данных для получения системы, состоящей из набора модулей, например, использовать разработанные и описанные модели базовых процессов в специализированных программах [8].

Интерес представляет моделирование биометрических показателей в зависимости от сорта и влажности семян [9]. При этом важно принимать во внимание модели флуктуаций не только асимметричности пластин, но и продуктивных показателей устойчивости агроэкосистем, как толерантности агроценоза к факторам среды [10].

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Baranov S.G. Environmental Factors Influencing Expression of Bilateral Symmetrical Traits / S.G. Baranov, I.E. Zykov, D.D. Kuznetsova [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2020. — Vol. 421. — № 5.

2. Baranov S.G. Evaluation of Shape and Asymmetry in Rye Leaf / S.G. Baranov, I.E. Zykov, D.D. Kuznetsova [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2020. — Vol. 548. — № 3.
3. Baranov S.G. Two Kinds of Asymmetry in Spring Wheat Leaf Blade / S.G. Baranov, I.Y. Vinokurov, I.E. Zykov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — IOP Publishing, 2021. — Vol. 839.
4. Баранов С.Г. Сравнение стабильности развития ячменя и овса в зависимости от дозы удобрения / С.Г. Баранов, И.Ю. Винокуров // Journal of Agriculture and Environment. — 2022. — № 6(26). — DOI: 10.23649/jae.2022.6.26.09.
5. Баранов С.Г. Морфологические особенности клевера лугового и озимой пшеницы в адаптивно-ландшафтных системах земледелия Владимирского Ополя / С.Г. Баранов, И.Ю. Винокуров // Владимирский земледелец. — 2019. — № 4(90). — С. 18-23.
6. Klingenberg C.P. Genetics of Fluctuating Asymmetry: a Developmental Model of Developmental Instability / C.P. Klingenberg, H.F. Nijhoit // Evolution. — 1999. — Vol. 53. — № 2. — P. 358-375.
7. Baranov S.G. Genotype-phenotype Ratio Determined by Geometric Morphometrics // Journal of Bioinformatics and Genomics. — 2023. — № 2(20). — P. 1-6.
8. Constantin J. Longterm Nitrogen Dynamics in Various Catch Crop Scenarios: Test and Simulations with STICS Model in a Temperate Climate / J. Constantin, N. Beaudoin, M. Launay [et al.] // Agric. Ecosyst. Environ. — 2012. — № 147. — P. 36-46. — DOI: 10.1016/j.agee.2011.06.006.
9. Соболева О.М. Моделирование биометрических показателей проростков пшеницы среднеспелых сортов / О.М. Соболева, Е.П. Кондратенко, И.В. Егорова // Социальная экология как основа экологизации общества. — Кемерово, 2014. — С. 39.
10. Лыкова Н.А. Метод оценки устойчивой продуктивности зерновых культур в агроценозе / Н.А. Лыкова, А.Г. Топаж // Плодородие. — 2007. — № 6. — С. 27-29.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Baranov S.G. Environmental Factors Influencing Expression of Bilateral Symmetrical Traits / S.G. Baranov, I.E. Zykov, D.D. Kuznetsova [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2020. — Vol. 421. — № 5.
2. Baranov S.G. Evaluation of Shape and Asymmetry in Rye Leaf / S.G. Baranov, I.E. Zykov, D.D. Kuznetsova [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2020. — Vol. 548. — № 3.
3. Baranov S.G. Two Kinds of Asymmetry in Spring Wheat Leaf Blade / S.G. Baranov, I.Y. Vinokurov, I.E. Zykov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — IOP Publishing, 2021. — Vol. 839.
4. Baranov S.G. Sravnenie stabil'nosti razvitiya jachmenja i ovsa v zavisimosti ot dozy udobrenija [A Comparison of Barley and Oat Development Stability Depending on Fertilizer Dosage] / S.G. Baranov, I.Ju. Vinokurov // Journal of Agriculture and Environment. — 2022. — № 6(26). — DOI: 10.23649/jae.2022.6.26.09. [in Russian]
5. Baranov S.G. Morfologicheskie osobennosti klevera lugovogo i ozimoj pshenicy v adaptivno-landshaftnyh sistemah zemledelija Vladimirskogo Opol'ja [Morphological Characteristics of Meadow Clover and Winter Wheat in Adaptive Landscape Farming Systems of Vladimir Opolje] / S.G. Baranov, I.Ju. Vinokurov // Vladimirskij zemledec [Vladimir Farmer]. — 2019. — № 4(90). — P. 18-23. [in Russian]
6. Klingenberg C.P. Genetics of Fluctuating Asymmetry: a Developmental Model of Developmental Instability / C.P. Klingenberg, H.F. Nijhoit // Evolution. — 1999. — Vol. 53. — № 2. — P. 358-375.
7. Baranov S.G. Genotype-phenotype Ratio Determined by Geometric Morphometrics // Journal of Bioinformatics and Genomics. — 2023. — № 2(20). — P. 1-6.
8. Constantin J. Longterm Nitrogen Dynamics in Various Catch Crop Scenarios: Test and Simulations with STICS Model in a Temperate Climate / J. Constantin, N. Beaudoin, M. Launay [et al.] // Agric. Ecosyst. Environ. — 2012. — № 147. — P. 36-46. — DOI: 10.1016/j.agee.2011.06.006.
9. Soboleva O.M. Modelirovanie biometricheskikh pokazatelej prorostkov pshenicy srednespelyh sortov [Modelling of Biometric Indices of Wheat Seedlings of Mid-maturing Varieties] / O.M. Soboleva, E.P. Kondratenko, I.V. Egorova // Social'naja jekologija kak osnova jekologizacii obshhestva [Social Ecology as the Basis for the Greening of Society]. — Kemerovo, 2014. — P. 39. [in Russian]
10. Lykova N.A. Metod ocenki ustojchivoj produktivnosti zernovyh kul'tur v agrocnenoze [Method for Assessment of Sustainable Productivity of Grain Crops in Agrocenosis] / N.A. Lykova, A.G. Topazh // Plodorodie [Fruitfulness]. — 2007. — № 6. — P. 27-29. [in Russian]