



DOI: 10.26898/0370-8799-2017-5-11

УДК 631.527:004.4

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ R
ДЛЯ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ
В СЕЛЕКЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

А.Ф. ЧЕШКОВА¹, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник,
А.Ф. АЛЕЙНИКОВ^{1,2}, доктор технических наук, главный научный сотрудник, профессор,
И.Г. ГРЕБЕННИКОВА¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник,
П.И. СТЁПОЧКИН³, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН,
630501, Россия, Новосибирская область, пос. Краснообск,
e-mail: anna.cheshkova@sorashn.ru

²Новосибирский государственный технический университет
630092, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20,
e-mail: fti2009@yandex.ru

³Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции –
филиал Института цитологии и генетики СО РАН
630501, Россия, Новосибирская область, пос. Краснообск,
e-mail: petstep@ngs.ru

Описан опыт применения программной среды R для дисперсионного анализа данных полевых опытов по изучению мутантных и гибридных форм ярового тритикале. Эксперимент проведен в 2014 г. в Новосибирской области. Изучено семь форм ярового тритикале. Опыт проводили при двух нормах высева (400 и 800 зерен/м²) и двух сроках посева (15 и 27 мая) в четырех повторностях методом рандомизированных повторений. Образцы оценивали по 9 признакам, связанным с урожайностью и качеством зерна. На примере данного полевого опыта рассмотрены графические способы анализа структуры данных в программной среде R. Для дисперсионного анализа результатов эксперимента использована трехфакторная линейная модель. Проведена проверка необходимых условий применимости модели с помощью критерия Шапиро – Уилка и теста Левене. Определена достоверность влияния факторов на результирующие признаки. Для выяснения существенности разностей средних значений использовал критерий Тьюки. На основе выбранной модели выполнен сравнительный анализ зерновой продуктивности изучаемых форм ярового тритикале. Мутантные и гибридные формы ярового тритикале в проведенном опыте показали более низкий уровень адаптивности к различным условиям произрастания по сравнению с сортом Укро.

Ключевые слова: программная среда R, дисперсионный анализ, селекция, тритикале, сроки посева, плотность посева.

Программная среда R в настоящее время – безусловный лидер среди свободно распространяемых систем статистического анализа. Ведущие университеты мира, аналитики крупнейших компаний и исследовательских центров постоянно используют среду R при проведении научно-технических расчетов и создании крупных информационных проектов [1, 2]. Широкое преподавание статистики на базе пакетов этой

среды и всемерная поддержка научным сообществом обусловили то, что приведение скриптов R постепенно становится общепризнанным стандартом как в публикациях, так и при неформальном общении ученых всего мира [3–10].

Цель работы – рассмотреть возможности программной среды R при проведении дисперсионного анализа данных в селекционных исследованиях на примере полевого опыта по селекции тритикале.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эксперимент проведен в 2014 г. на опытном поле Сибирского федерального научно-го центра агробиотехнологий РАН. Изучали семь форм ярового тритикале:

– три мутантных формы факультативно-го типа развития – Сирс 57/2/4 (С57), Цекад 90/5 (Ц90), О.312/38 (О312);

– три гибрида F_5 – Сирс 57/2/4 × Укро (С × У), Укро × мексиканский образец из мировой коллекции ВИР с номером в каталоге К-3881 (У × К), озимая пшеница Филатовка × озимая рожь Короткостебельная 69 × Сирс 57/2/4 (ФКС);

– яровой сорт Укро из коллекции ВИР с номером в каталоге К-3644.

Опыт проводили при двух нормах высева (400 и 800 зерен/м²) и двух сроках посева (15 и 27 мая) в четырех повторностях методом рандомизированных повторений. Образцы оценивали по 9 признакам, связанным с урожайностью и качеством зерна.

Для анализа результатов эксперимента использована трехфакторная модель дисперсионного анализа [11–12]. Соблюдение необходимых условий применимости модели проверяли с помощью критерия Шапиро – Уилка (проверка нормальности распределения остатков) и критерия Левене (проверка гомогенности дисперсий) [13]. Существенность разницы средних определяли по критерию Тьюки [14]. Уровень значимости выбран $p \leq 0,05$.

Данные опыта импортировались в R из dbf файла следующей структуры.

Структура исходных данных

Поле	Значение
SORT1	Сорт тритикале
FACT1	Дата посева
FACT2	Плотность посева
X3	Число продуктивных побегов с делянки
X4	Высота растения, см
X5	Длина колоса, см
X6	Число колосков в колосе
X8	Число зерен в колосе
X9	Вес зерен колоса, г
X11	Масса 1000 зерен, г
X13	Общий вес зерен с делянки, г
X14	Натура зерна (вес 1 л зерен), г

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Перед любыми статистическими расчетами полезно выполнить разведочный анализ данных, используя графические средства. Для этого в программе R существует множество решений [15]. Мы воспользовались стандартной функцией `boxplot()` и функцией `ggplot()` из пакета `ggplot2` для построения групповых диаграмм размаха исследуемых признаков. На диаграмме размахов горизонтальная линия внутри прямоугольника соответствует медиане выборки, верхняя и нижняя границы прямоугольника – это квартили выборки, верхняя и нижняя вертикальные линии – отступы на полторы величины межквартильного расстояния. На рис. 1, 2 приведены примеры диаграммы

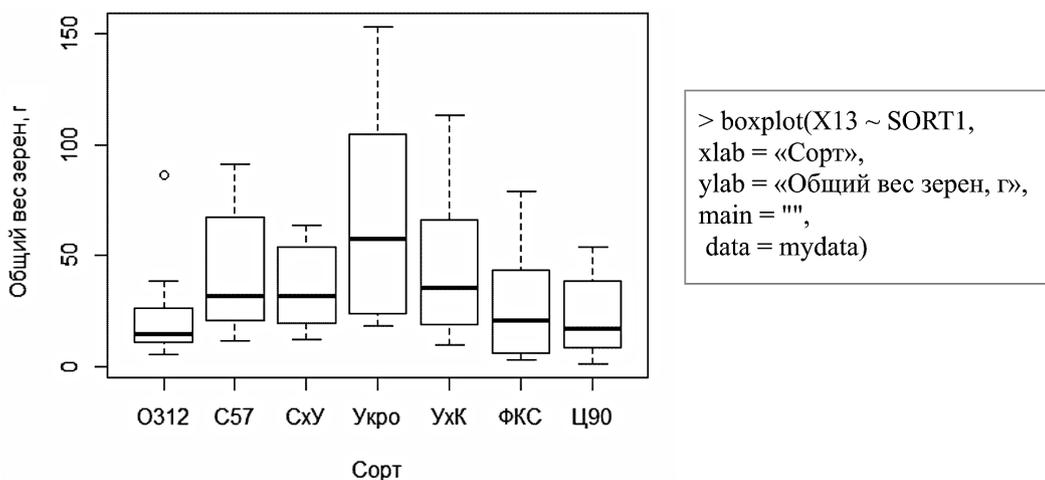


Рис. 1. Групповая диаграмма размахов признака «общий вес зерен» с группировкой по сортообразцам

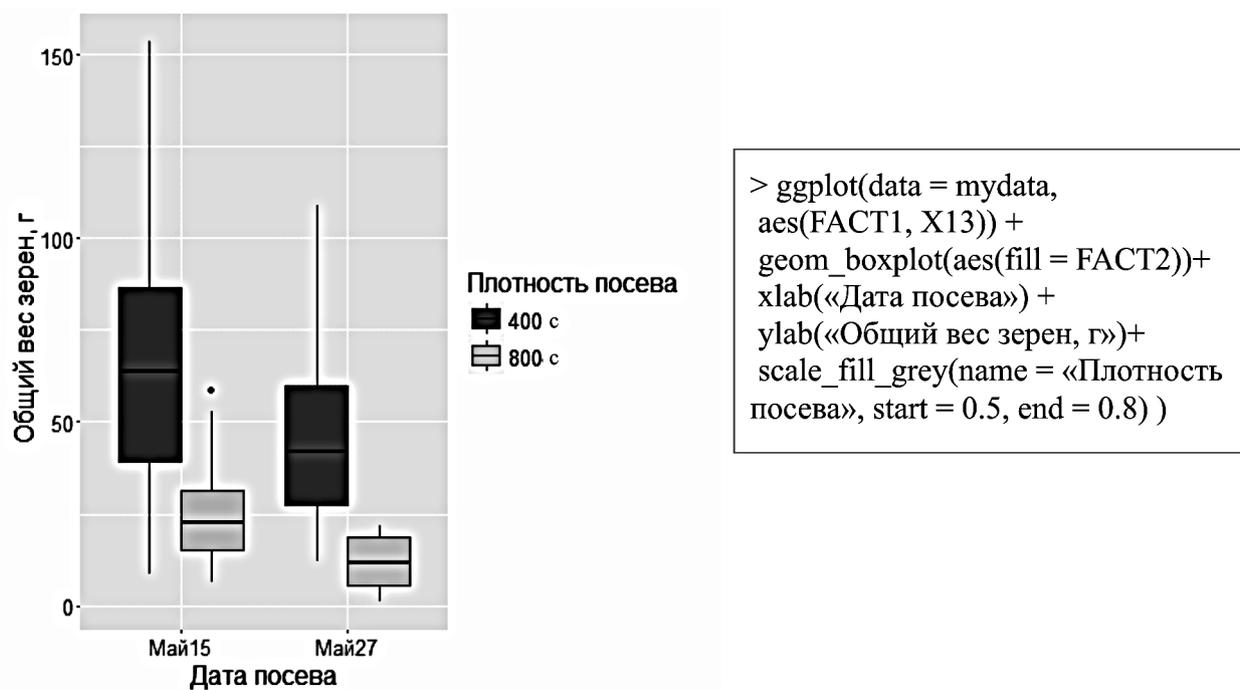


Рис. 2. Групповая диаграмма размахов признака «общий вес зерен» с группировкой по дате и плотности посева

размаха признака «общий вес зерен» с группировкой по сортообразцам и с группировкой по дате и плотности посева.

Чтобы лучше понять анализируемые эффекты, построили графики «план эксперимента» – `plot.design()`. На таком графике отображаются средние значения переменной-отклика в соответствии с каждым уровнем изучаемых факторов (рис. 3).

В результате проведенного разведочного анализа установлено, что сорт Укро пока-

зал наибольшие значения признаков «число продуктивных побегов», «высота растения», «вес зерен колоса», «масса 1000 зерен», «общий вес зерен» и «натура зерна». Признаки «длина колоса», «число колосков в колосе» и «число зерен в колосе» были максимальными у Сирс 57/2/4. Из четырех вариантов опыта наиболее благоприятным для всех признаков, кроме «натуры зерна», был вариант с датой посева 15 мая и плотностью 400 зерен/м². Признак «натура зерна» оказался

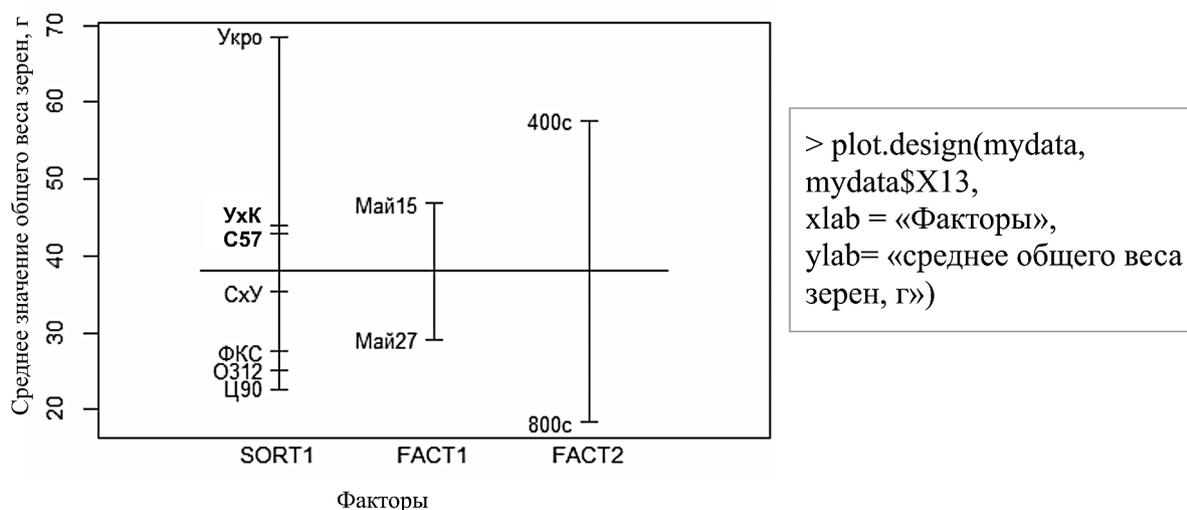


Рис. 3. Средние значения признака «общий вес зерен» с группировкой по сорту, дате и плотности посева

максимальным для варианта с датой посева 15 мая и плотностью 800 зерен/м². Разница в средних значениях признаков обусловлена в большей степени влиянием генотипа растения и плотностью посева.

Чтобы убедиться в достоверности влияния изучаемых факторов на значения признаков и статистической значимости различий групповых средних, необходимо выполнить дисперсионный анализ результатов опыта. Для анализа сбалансированных наборов данных можно применять классический способ разложения общей дисперсии на отдельные составляющие, реализованный в

функции aov(). Однако прежде чем содержательно интерпретировать рассчитанные параметры и выдвигать научные гипотезы на их основе, требуется выполнить проверку адекватности модели.

Важным условием применимости модели дисперсионного анализа является однородность групповых дисперсий. Проверку этого условия мы выполняли с помощью теста Левена – leveneTest(). Если возвращаемое этой функцией *p*-значение меньше, чем выбранный уровень значимости 0,05, то гипотеза равенства дисперсий в группах отвергается (рис. 4).

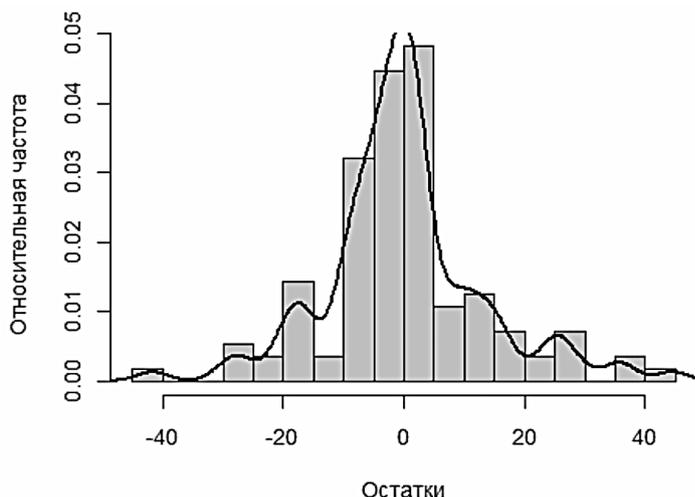
```
> mydata$F1F2S <- factor(paste0(mydata$FACT1,',',mydata$FACT2,',',mydata$SORT1))
> leveneTest(X13~ F1F2S, data=mydata)

Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
  Df F value    Pr(>F)
group 27  3.2488 1.988e-05 ***
      84
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Рис. 4. Проверка однородности дисперсий признака «общий вес зерен»

Второе необходимое условие применимости модели – это нормальность распределения остатков. Визуальную оценку плотности распределения остатков выполняли с помощью гистограммы – hist() (рис. 5).

В качестве формального теста на нормальность распределения остатков использован тест Шапиро – Уилка, реализованный в функции shapiro.test(). Если возвращаемое этой функцией *p*-значение меньше, чем вы-



```
fit <-
aov(X13~SORT1*FACT1*FACT2,
data=mydata)
hist(fit$residuals, freq = FALSE,
breaks = 20, col="grey",
xlab = «Остатки»,
ylab = «Относительная частота»,
main = "")
lines(density(fit$residuals), lwd = 2)
```

Рис. 5. Гистограмма и оценка плотности распределения остатков модели для признака «общий вес зерен»

```
> shapiro.test(fit$residuals)

      Shapiro-wilk normality test

data:  fit$residuals
W = 0.95045, p-value = 0.0003948
```

Рис. 6. Проверка нормальности распределения остатков для признака «общий вес зерен»

бранный уровень значимости 0,05, то гипотеза нормальности распределения отвергается (рис. 6).

В результате проверки адекватности модели для каждого из исследуемых признаков выявлено, что данную модель можно применять только для признаков X6, X8, X9, X14. Признак X11 также удовлетворяет условиям модели, если его предварительно прологарифмировать. Дальнейший анализ проводили только для данных пяти признаков.

Стандартную таблицу дисперсионного анализа в R получали, применяя функцию `summary()` к возвращаемому функцией `aov()` объекту (рис. 7).

Трехфакторный дисперсионный анализ показал существенность влияния всех трех главных факторов на признаки «число колосков в колосе», «число зерен в колосе», «вес зерен колоса» и «масса 1000 зерен». Для признака «натура зерна» существенными оказались только влияние генотипа и плотности посева. Парное взаимодействие *генотип × плотность посева* было значимым для признаков «число колосков в колосе», «масса 1000 зерен» и «натура зерна». Для признака «натура зерна» существенным были также взаимодействия *генотип × дата посева* и *генотип × плотность посева × дата посева*.

```
> fit <- aov(X9~SORT1*FACT1*FACT 2, data=mydata)
> summary(fit)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
SORT1	6	17.695	2.949	13.057	2.22e-10	***
FACT1	1	5.720	5.720	25.323	2.72e-06	***
FACT2	1	18.266	18.266	80.868	6.14e-14	***
SORT1:FACT1	6	1.768	0.295	1.305	0.2641	
SORT1:FACT2	6	2.588	0.431	1.910	0.0886	.
FACT1:FACT2	1	0.235	0.235	1.040	0.3107	
SORT1:FACT1:FACT2	6	1.592	0.265	1.175	0.3277	
Residuals	84	18.973	0.226			

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Рис. 7. Результат дисперсионного анализа для признака «вес зерен колоса»

После установления существенной разницы между группами в целом выполняли апостериорный анализ (post-hoc analysis), т.е. выясняли, какие именно группы статистически значимо отличаются друг от друга. Для этого использовали тест Тьюки – `TukeyHSD()` как наиболее распространенный и рекомендуемый в литературе. В результате его выполнения выводится таблица, в которой в первом столбце перечислены пары сравниваемых значений факто-

ра, во втором – содержатся разности между соответствующими групповыми средними, в третьем и четвертом – значения нижнего и верхнего 95%-х доверительных пределов для соответствующих разностей, пятом – *p*-значения для каждой из сравниваемых пар (рис. 8). Если $p < 0,5$, то разница средних существенна.

Результаты парных сравнений групповых средних также анализировали с помощью соответствующих графиков (рис. 9).

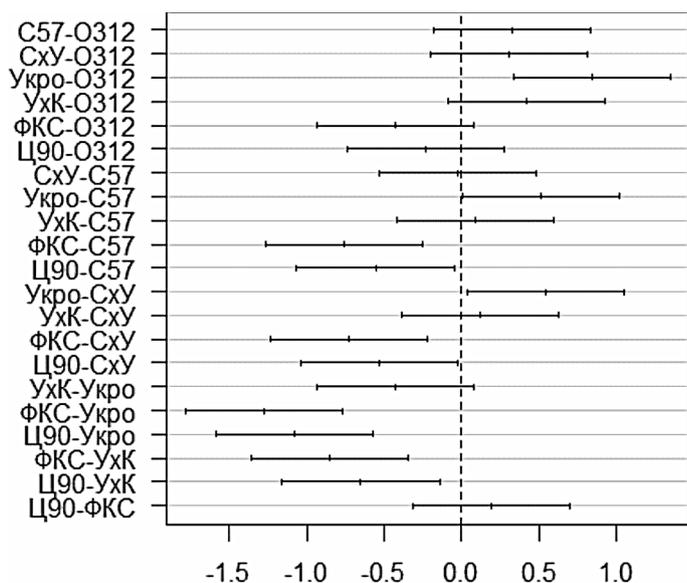
```
> TukeyHSD (aov(X9~SORT1*FACT1*FACT2, data=mydata) )
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level
Fit: aov(formula = x9 ~ SORT1 * FACT1 * FACT2, data = mydata)

$SORT1
      diff      lwr      upr    p adj
C57-0312  0.328750 -0.17885797  0.83635797 0.4497761
CхУ-0312  0.304375 -0.20323297  0.81198297 0.5442461
Укро-0312  0.847500  0.33989203  1.35510797 0.0000521
УхК-0312  0.422500 -0.08510797  0.93010797 0.1674484
ФКС-0312 -0.425000 -0.93260797  0.08260797 0.1622485
Ц90-0312 -0.226875 -0.73448297  0.28073297 0.8260029
CхУ-C57   -0.024375 -0.53198297  0.48323297 0.9999992
Укро-C57  0.518750  0.01114203  1.02635797 0.0418722
УхК-C57  -0.093750 -0.41385797  0.60135797 0.9977654
ФКС-C57  -0.753750 -1.26135797 -0.24614203 0.0004441
Ц90-C57  -0.555625 -1.06323297 -0.04801703 0.0226227
Укро-CхУ  0.543125  0.03551703  1.05073297 0.0280064
УхК-CхУ  0.118125 -0.38948297  0.62573297 0.9920816
ФКС-CхУ  -0.729375 -1.23698297 -0.22176703 0.0007556
Ц90-CхУ  -0.531250 -1.03885797 -0.02364203 0.0341494
УхК-Укро -0.425000 -0.93260797  0.08260797 0.1622485
ФКС-Укро -1.272500 -1.78010797 -0.76489203 0.0000000
Ц90-Укро -1.074375 -1.58198297 -0.56676703 0.0000002
ФКС-УхК  -0.847500 -1.35510797 -0.33989203 0.0000521
Ц90-УхК  -0.649375 -1.15698297 -0.14176703 0.0039619
Ц90-ФКС   0.198125 -0.30948297  0.70573297 0.9000781

$FACT1
      diff      lwr      upr    p adj
Май27-Май15 -0.4519643 -0.6305713 -0.2733572 2.7e-06

$FACT2
      diff      lwr      upr    p adj
800с-400с -0.8076786 -0.9862856 -0.6290715 0
```

Рис. 8. Тест Тьюки для признака «вес зерен колоса»



```
fit <-
aov(X9~SORT1*FACT1*FACT2,
data=mydata)
plot(TukeyHSD(fit, «SORT1»),
las=1)
```

Рис. 9. Разница групповых средних для признака «вес зерен колоса»

ВЫВОДЫ

1. Использование возможностей программной среды R позволило провести разведочный и дисперсионный анализ данных полевого опыта по селекции ярового тритикале.

2. В результате выполненного трехфакторного дисперсионного анализа установлено, что факторы «генотип», «дата посева» и «плотность посева» имели существенное влияние на признаки «число колосков в колосе», «число зерен в колосе», «вес зерен колоса» и «масса 1000 зерен». Для признака «натура зерна» существенными были только влияние факторов «генотип» и «плотность посева».

3. Сорт Укро достоверно превосходил остальные сорта по значениям признаков «вес зерен колоса», «масса 1000 зерен», «натура зерна». Признаки «число колосков в колосе» и «число зерен в колосе» были максимальными у Сирс 57/2/4. Из четырех вариантов опыта наиболее благоприятным для большинства признаков стал вариант с ранней датой сева и разреженными посевами. Однако «натура зерна» оказалась достоверно выше в опыте с загущенными посевами.

4. Классическая модель дисперсионного анализа оказалась неприменима к признакам «число продуктивных побегов», «высота растения», «длина колоса», «общий вес зерен» в связи с неоднородностью дисперсий экспериментальных данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Мастицкий С.Э., Шитиков В.К.** Статистический анализ и визуализация данных с помощью R. – [Электронный ресурс]: URL: <http://r-analytics.blogspot.com>
2. **R Development Core Team.** R: A language and environment for statistical computing. – Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. – [Электронный ресурс]: URL: <http://www.R-project.org/>
3. **Losert D., Maurer H.P., Marulanda J.J., Wьrschum T., Friedt W.** Phenotypic and genotypic analyses of diversity and breeding progress in European triticale (Ч Triticosecale Wittmack) // Plant Breeding. – 2017. – Vol. 136. – P. 18–27.
4. **Kuhling I., Redozubov D., Broll G., Trautz D.** Impact of tillage, seeding rate and seeding depth on soil moisture and dryland spring wheat yield in Western Siberia // Soil & Tillage Research. – 2017. – Vol. 170. – P. 43–52.
5. **Tams S.H., Bauer E., Oettler G., Melchinger A.E.** Genetic diversity in European winter triticale determined with SSR markers and coancestry coefficient. // Theor. Appl. Genet. – 2004. – Vol. 108. – P. 1385–1391.
6. **Алейников А.Ф., Чешкова А.Ф., Гребенникова И.Г., Стёпочкин П.И.** Программные продукты для селекционной оценки сельскохозяйственных культур // Сиб. науч. вестн. – 2013. – № 17. – С. 164–171.
7. **Чешкова А.Ф., Алейников А.Ф., Стёпочкин П.И.** Анализ сопряженной изменчивости количественных признаков тритикале // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30, № 5. – С. 50–52.
8. **Чешкова А.Ф., Алейников А.Ф., Стёпочкин П.И.** Использование программной среды R для разведочного анализа данных в селекционных исследованиях // Информационные технологии, системы и приборы в АПК. «АГРОИНФО-2015»: материалы 6-й Междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск, 2015. – С. 182–187.
9. **Чешкова А.Ф., Алейников А.Ф., Стёпочкин П.И.** Использование программной среды R для кластерного анализа данных в селекционных исследованиях // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: материалы 8-й Междунар. науч.-практ. конф. – М.: Росинформагротех, 2016. – С. 468–472.
10. **Чешкова А.Ф., Алейников А.Ф., Стёпочкин П.И.** Применение графических возможностей программной среды R для анализа экспериментальных данных по селекции тритикале // Вычисл. технологии. – 2016. – Т. 21, спецвып. 1. – С. 104–115.
11. **Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д.** Прикладная статистика: Исследование зависимостей: справ. изд. / под ред. С.А. Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 487 с.

12. **Доспехов Б.А.** Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
13. **Zuur A.F., Ieno E.N., Elphick C.S.** A protocol for data exploration to avoid common statistical problems // *Methods in Ecology and Evolution*. – 2010. – Vol. 1. – Iss. 1. – P. 3–14.
14. **Teetor P.** R Cookbook. – Sebastopol: O'Reilly Media, 2011. – 413 p.
15. **Chang W.** R Graphics Cookbook. – Sebastopol: O'Reilly Media, 2012. – 396 p.
7. **Cheshkova A.F., Aleinikov A.F., Stepochkin P.I.** Analiz sopryazhennoi izmenchivosti kolichestvennykh priznakov tritikale // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. – 2016. – T. 30. – № 5. – S. 50–52.
8. **Cheshkova A.F., Aleinikov A.F., Stepochkin P.I.** Ispol'zovanie programmnoi sredy R dlya razvedochnogo analiza dannykh v selektsionnykh issledovaniyakh // *Informatsionnye tekhnologii, sistemy i pribory v APK. «AGROINFO-2015»: materialy 6-i Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* – Novosibirsk, 2015. – S. 182–187.

REFERENCES

1. **Mastitskii S.E., Shitikov V.K.** Statisticheskii analiz i vizualizatsiya dannykh s pomoshch'yu R. – [Elektronnyi resurs]: URL: <http://r-analytics.blogspot.com>
2. **R Development Core Team.** R: A language and environment for statistical computing. – Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. – [Elektronnyi resurs]: URL: <http://www.R-project.org/>
3. **Losert D., Maurer H.P., Marulanda J.J., Wьrschum T., Friedt W.** Phenotypic and genotypic analyses of diversity and breeding progress in European triticale (Ч Triticosecale Wittmack) // *Plant Breeding*. – 2017. – Vol. 136. – P. 18–27.
4. **Kuhling I., Redozubov D., Broll G., Trautz D.** Impact of tillage, seeding rate and seeding depth on soil moisture and dryland spring wheat yield in Western Siberia // *Soil & Tillage Research*. – 2017. – Vol. 170. – P. 43–52.
5. **Tams S. H., Bauer E., Oettler G., Melchinger A.E.** Genetic diversity in European winter triticale determined with SSR markers and coancestry coefficient. // *Theor. Appl. Genet.* – 2004. – Vol. 108. – P. 1385–1391.
6. **Aleinikov A.F., Cheshkova A.F., Grebennikova I.G., Stepochkin P.I.** Programnye produkty dlya selektsionnoi otsenki sel'skokhozyaistvennykh kul'tur // *Sib. nauch. vestn.* – 2013. – № 17. – S. 164–171.
9. **Cheshkova A.F., Aleinikov A.F., Stepochkin P.I.** Ispol'zovanie programmnoi sredy R dlya klasternogo analiza dannykh v selektsionnykh issledovaniyakh // *Nauchno-informatsionnoe obespechenie innovatsionnogo razvitiya APK: materialy 8-i Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* – M.: Rosinformagrotekh, 2016. – S. 468–472.
10. **Cheshkova A.F., Aleinikov A.F., Stepochkin P.I.** Primenenie graficheskikh vozmozhnostei programmnoi sredy R dlya analiza eksperimental'nykh dannykh po selektsii tritikale // *Vychisl. tekhnologii*. – 2016. – T. 21, spetsvyp. 1. – S. 104–115.
11. **Aivazyan S.A., Enyukov I.S., Meshalkin L.D.** Prikladnaya statistika: Issledovanie zavisimostei: sprav. izd. / pod red. S.A. Aivazyana. – M.: Finansy i statistika, 1985. – 487 s.
12. **Dospikhov B.A.** Metodika polevogo opyta. – M.: Kolos, 1979. – 416 s.
13. **Zuur A.F., Ieno E.N., Elphick C.S.** A protocol for data exploration to avoid common statistical problems // *Methods in Ecology and Evolution*. – 2010. – Vol. N1. – Iss. N1. – P. 3–14.
14. **Teetor P.** R Cookbook. – Sebastopol: O'Reilly Media, 2011. – 413 p.
15. **Chang W.** R Graphics Cookbook. – Sebastopol: O'Reilly Media, 2012. – 396 p.

APPLICATION OF THE R SOFTWARE ENVIRONMENT FOR ANALYSIS OF VARIANCE IN BREEDING RESEARCH

**A.F. CHESHKOVA¹, Candidate of Science in Physics & Mathematics, Lead Researcher,
A.F. ALEYNIKOV^{1,2}, Doctor of Science in Engineering, Head Researcher, Professor,
I.G. GREBENNIKOVA¹, Candidate of Science in Agriculture, Lead Researcher,
P.I. STEPOCHKIN³, Doctor of Science in Agriculture, Lead Researcher**

¹*Siberian Physical-Technical Institute of Agrarian Problems, SFSCA RAS
Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia*

e-mail: anna.cheshkova@sorashn.ru

²*Novosibirsk State Technical University*

20, Karl Marx Ave, Novosibirsk, 630073, Russia

e-mail: fti2009@yandex.ru

³*Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding –*

Branch of the Institute of Cytology and Genetics, SB RAS

Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia

e-mail: petstep@ngs.ru

The paper describes experience with applying the R software environment for analysis of variance in breeding studies on mutant forms and hybrids of spring triticale. The study was conducted in Novosibirsk Region, Russia in 2014. Seven spring triticale varieties were planted at two sowing rates (400 and 800 seeds per m²) and at two sowing dates (15 May and 27 May) in a randomized complete block design with four replications. Nine morphological characters were taken for evaluation of the samples. The R graphical tools were used for data exploration. The three-factor linear model was fitted for analysis of variance. Normality of model residuals was assessed by Shapiro-Wilk test, and homogeneity of variance was assessed by Levene's test. The analysis of variance showed that all main factors for almost all traits under study were significant. Tukey's honestly significant difference (Tukey's HSD) test was used to identify differences between treatment means. The comparative study of spring triticale varieties under different conditions of vegetation was performed. The mutant forms used in the experiment showed a lower level of adaptability in comparison with the cultivar Ukro.

Keywords: R software environment, analysis of variance, breeding, triticale, sowing dates, sowing density.

Поступила в редакцию 27.09.2017