



## ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАСЛЕДОВАНИЯ КРАХМАЛА В ЗЕРНЕ ГИБРИДОВ F<sub>2</sub> СОРГО ЗЕРНОВОГО

В. В. КОВТУНОВ,

кандидат сельскохозяйственных наук,

П. И. КОСТЫЛЕВ,

доктор сельскохозяйственных наук,

Н. А. КОВТУНОВА,

кандидат сельскохозяйственных наук,

Н. Г. ИГНАТЬЕВА,

старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт зерновых культур имени И. Г. Калиненко

(347740, г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; тел.: (86359) 41-4-68).

**Ключевые слова:** сорго, зерно, крахмал, гибрид, наследование, ген, расщепление, асимметрия, доминирование.

В настоящее время селекционная работа по созданию новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур тесно связана с генетикой. Большую часть зерновки сорго занимает эндосперм, который состоит из клеток, заполненных крахмалистыми зёрнами, которые являются основным источником питательных веществ. В связи с этим проведено изучение закономерностей наследования крахмала у гибридов второго поколения сорго зернового, полученных в результате гибридизации по двум диаллельным схемам 4x4 (I – *Sb-126/4*, Зерноградское 204, СПЗС-11, 144 ф/8; II – Белозерное 100, 34045, ЗСК-4, Отбор 100). В результате гибридологического анализа гибридов F<sub>2</sub> установлено, что по содержанию крахмала в зерне сорго между привлеченными в гибридизацию родительскими образцами наблюдались генетические различия в 1–3 гена. Наибольшие различия (3-го гена) проявились между образцами СПЗС-11 и 144 ф/8. В большинстве комбинаций скрещиваний между привлеченными в гибридизацию образцами наблюдались моногенные различия. По значению степени доминирования установлена величина проявления гена, контролирующего признак. Наблюдалось доминирование как больших, так и меньших значений признака «содержание крахмала» в зерне сорго. Кривые распределения частот гибридов находились в пределах изменчивости родительских форм, однако в отдельных комбинациях проявились отрицательные и положительные трансгрессии. В комбинациях *Sb-126/4*×СПЗС-11, Зерноградское 204×*Sb-126/4*, а также у гибридов с участием родительских образцов Белозерное 100, 34045, Отбор 100 и ЗСК-4 для дальнейшей селекционной работы выделены формы с высоким содержанием крахмала в зерне (более 71,0%).

## PATTERNS OF INHERITANCE STARCH IN GRAINS HYBRIDS F<sub>2</sub> OF GRAIN SORGHUM

V. V. KOVTUNOV,

candidate of agricultural sciences,

P. I. KOSTYLEV,

doctor of agricultural sciences,

N. A. KOVTUNOVA,

candidate of agricultural sciences,

N. G. IGNATIEVA,

senior researcher, All-Russian research institute of grain crops after I. G. Kalinenko

(347740, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3.tel.: (86359) 41-4-68).

**Keywords:** sorghum, grain, starch, hybrid, inheritance, gene, splitting, asymmetry (skewness), domination.

Nowadays the whole breeding work in hybridization of new crop varieties is closely connected with genetics. Endosperm which consists of cells with starchy grains as a primary source of nutrients, occupies the most part of grain sorghum. Thus, we have studied the regularities of starch inheritance by the second generation of grain sorghum hybrids, obtained as a result of breeding in two diallell schemes 4x4 (I – *Sb-126/4*, Zernogradskoe 204, SPZS-11, 144 f/8; II – Belozernoie 100, 34045, ZSK-4, Otkbor 100). The carried out cross experimental analysis of hybrids F<sub>2</sub> of grain sorghum established that according to content of starch there were genetic differences of 1–3 genes among the parental samples. The hybrids SPZS-11 and 144 f/8 showed the greatest differences (3 genes). In the most hybrids among the samples some monogenic distinctions have been found. According to the extent of domination, the value of gene which controls the trait has been revealed. The dominance of both large and small values of the trait «starch content» has been established in grain sorghum. In some combinations both negative and positive transgressions have emerged. In the combinations *Sb-126/4*×SPZS-11, Zernogradskoe 204×*Sb-126/4*, and in the hybrids Belozernoie 100, 34045, Otkbor 100 and ZSK-4 with the participation of parental forms there have been obtained the forms with a high content of starch (more than 71,0 %) for further breeding.

Положительная рецензия представлена А. С. Ерешко, доктором сельскохозяйственных наук, профессором кафедры агрономии и биотехнологии Азово-Черноморского инженерного института Донского государственного аграрного университета.



В настоящее время селекционная работа по созданию новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур должна быть тесно связана с генетикой. По мнению К. И. Басовой [1], многое зависит от знания закономерностей наследования признаков, определяющих ценность зерна. Основную часть зерновки занимает эндосперм, в котором сосредоточены запасные питательные вещества. Мучнистая часть эндосперма составляет 80–85 % массы зерновки сорго, которая состоит из клеток, заполненных крахмалистыми зёрнами [4]. Таким образом, крахмал в зерне является основным источником запасенной энергии. В синтезе крахмала в зерне сорго принимает участие 5 генов: *Sh 2* (*Shrunken 2*), *Bt2* (*Brittle 2*), *SssI* (*Soluble starch synthase I*), *Ae 1* (*Amylose extender 1*), *Wx* (*Waxy*) [5]. Наиболее изученный ген *Wx* определяет формирование типа эндосперма. Рецессив *wx* ответственен за формирование воскового эндосперма [7]. Повышение дозы гена *wx* приводит к снижению содержания амилозы, но увеличивает содержание амилопектина, что улучшает питательную ценность зерна. В соответствии с числом рецессивных аллелей в генотипе различают крахмалистый (*WxWxWx*), средневосковой (*WxWxwx*; *Wxwxwx*) и восковой (*wxwxwx*) типы эндосперма. Восковой содержит до 100 % амилопектина, а невосковой – 75 % или более амилопектина и до 25 % амилозы [8].

**Материалы и методы исследований.** Исследования проводились на опытном участке лаборатории селекции и семеноводства сорго зернового, а также в лаборатории биохимической оценки селекционного материала ВНИИЗК им. И. Г. Калиненко. В качестве объекта исследований выступили родительские формы, а также гибриды  $F_2$ , полученные по двум диаллельным схемам 4x4 (I – Sb-126/4, Зерноградское 204, СПЗС-11, 144 ф/8; II – Белозёрное 100,

34045, ЗСК-4, Отбор 100). Предметом исследования являлось содержание крахмала в зерне сорго. Содержание крахмала в зерне родительских образцов и гибридов сорго определялось на инфракрасном анализаторе зерна SpectraStar 2200, для контроля – поляриметрическим методом по Эверсу (ГОСТ 10845-98) [2]. Для генетического анализа содержания крахмала в зерне гибридов второго поколения использовали компьютерную программу поиска моделей расщепления Полиген А [3]. Степень доминирования определяли по методу В. Griffing [6]. По значению степени доминирования определяли величину проявления гена, контролирующего признак: ( $hp < -1,0$ ) – депрессия;  $0 < hp < 0,5$  – частичное доминирование;  $hp = 0,5$  – полудоминирование;  $0,5 < hp < 1,0$  – неполное доминирование;  $hp = 1,0$  – полное доминирование;  $hp > 1,0$  – сверхдоминирование.

**Результаты исследований.** В результате гибридологического анализа гибридов второго поколения установлено, что по содержанию крахмала в зерне сорго между привлеченными в гибридизацию родительскими образцами наблюдались генетические различия в 1–3 гена (рис. 1).

Наибольшие различия (3-го гена) проявились между образцом СПЗС-11 и 144 ф/8. В большинстве комбинаций скрещиваний между привлеченными в гибридизацию образцами наблюдались моногенные различия. Подобные различия отмечены в комбинации 144 ф/8×Зерноградское 204. Вершина кривой распределения частот гибрида 144 ф/8×Зерноградское 204 была смещена в сторону родительской формы с меньшими значениями признака 144 ф/8. На долю рецессивной родительской формы с большим содержанием крахмала приходилось примерно 25 % частот гибрида, что указывает на расщепление в соотношении 3:1 (рис. 2). Сила гена составила 1,91 %.

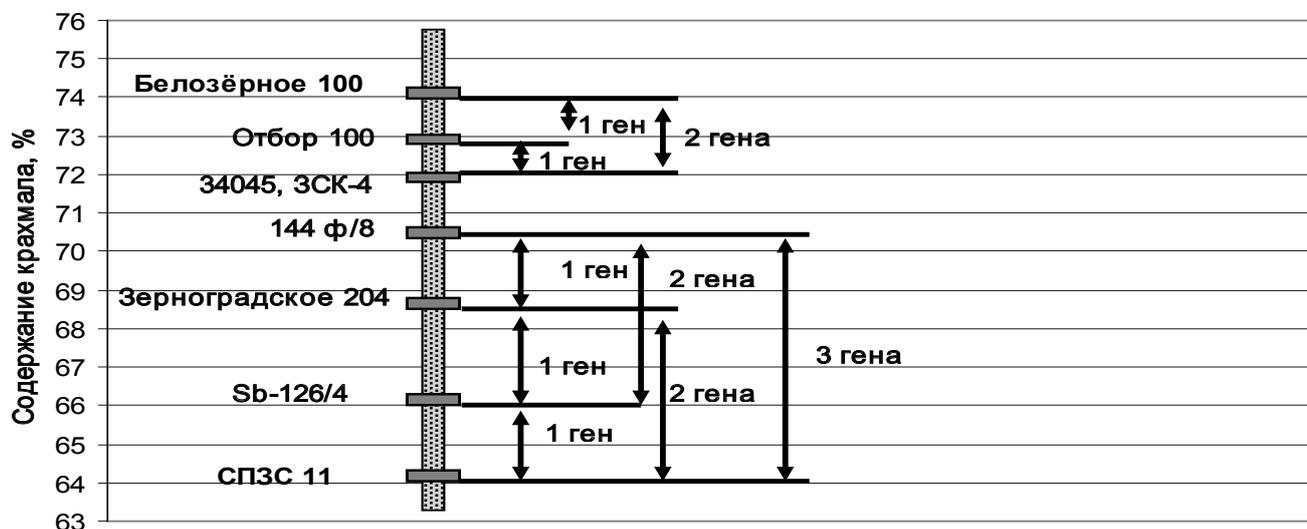


Рис. 1. Генотипические различия родительских форм по содержанию крахмала

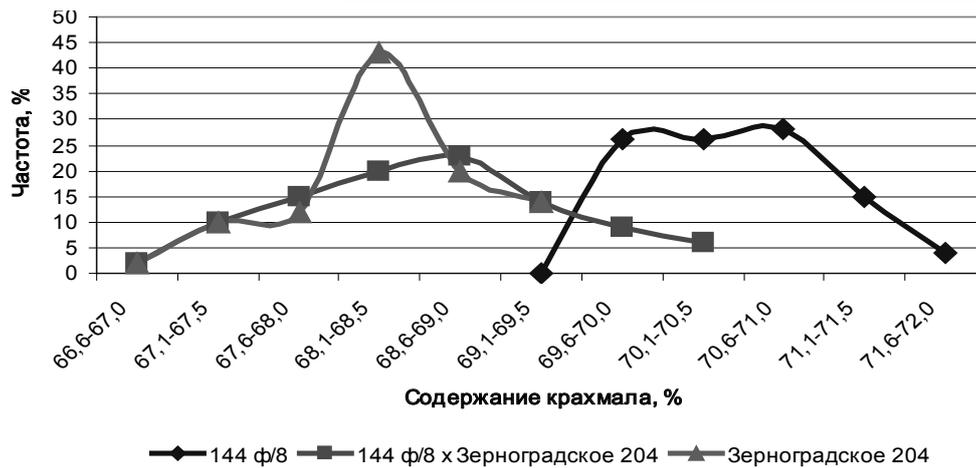


Рис. 2. Распределение частот значений признака «содержание крахмала» в зерне сорго у родительских форм и гибрида F2 144 ф/8×Зерноградское 204

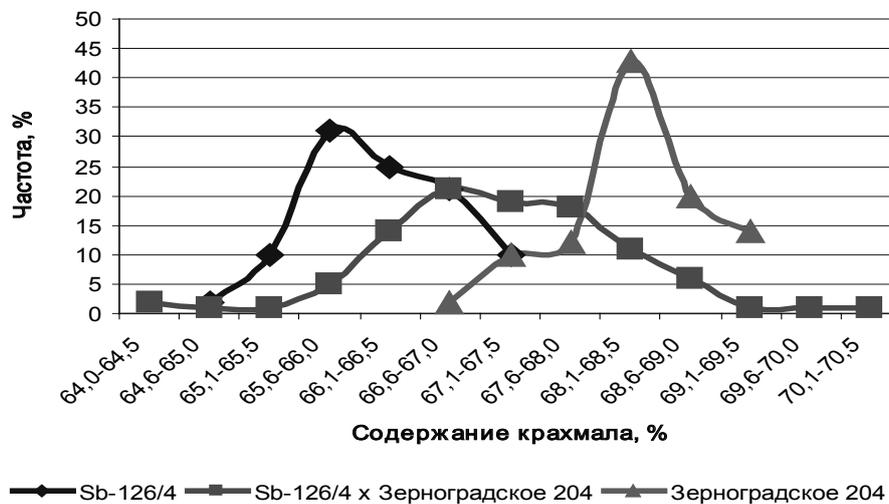


Рис. 3. Распределение частот значений признака «содержание крахмала» в зерне сорго у родительских форм и гибрида F2 Sb-126/4×Зерноградское 204

Анализ распределения частот признака «содержание крахмала» в комбинации Sb-126/4×Зерноградское 204 показал, что кривая распределения частот гибрида имела незначительную асимметрию ( $As = -0,09$ ), а степень доминирования ( $hp = -0,16$ ) указывает на частичное доминирование меньшего значения признака. Сопоставление краевых частот гибрида и частот родительских форм выявило различие между родительскими формами Sb-126/4 и Зерноградское 204 по одной паре генов (расщепление в соотношении 1:2:1) (рис. 3).

В комбинации Зерноградское 204×Sb-126/4 родительские формы также имели различия по одной паре генов. Степень доминирования ( $hp = 0,49$ ) свидетельствует о частичном доминировании больших значений признака, а кривая распределения частот имела левостороннюю асимметрию ( $As = -0,2$ ) и смещенную вправо вершину. Сила гена равнялась 2,45 %. В данной комбинации выделились формы с высоким содержанием крахмала в зерне. Кривая распределения частот содержания крахмала в зерне гибрида второго поколения от скрещивания материнской формы СПЗС-11 и отцовской формы Sb-126/4 была

симметричной ( $Asu = -0,03$ ), а ее вершина незначительно смещена в сторону кривой распределения частот Sb-126/4. На долю каждой родительской формы приходилось примерно по ¼ крайних частот гибрида. Это указывает на моногенные различия между данными образцами и частичное доминирование большего значения признака ( $hp = 0,2$ ). Расщепление происходило в соотношении 1:2:1 (рис. 4).

Подобный характер наследования отмечен и в обратной комбинации (Sb-126/4×СПЗС-11). Сила гена составила 2,06 %. Среди проанализированных образцов этой комбинации скрещивания выделились формы с содержанием крахмала в зерне до 72,0 %. В комбинации Отбор 100×34045 кривая распределения частот имела правостороннюю асимметрию ( $As = 0,25$ ), а степень доминирования ( $hp = -0,18$ ) указывает на частичное доминирование меньшего значения признака. На долю родительских форм Отбор 100 и 34045 приходилось по 25 % частот гибрида, что соответствует расщеплению в соотношении 1:2:1. В целом, у гибрида отмечено высокое содержание крахмала в зерне с варьированием от 70,5 до 74,5 % (рис. 5).

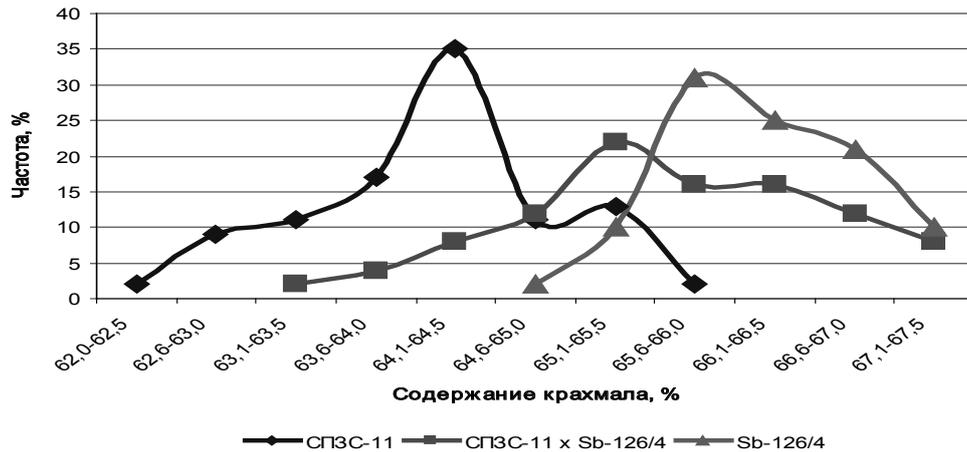


Рис. 4. Распределение частот значений признака «содержание крахмала» в зерне сорго у родительских форм и гибрида F2 СПЗС-11×Sb-126/4

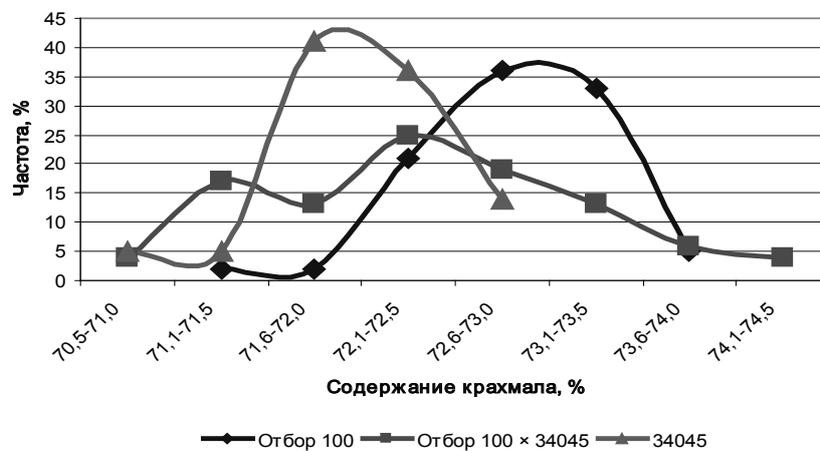


Рис. 5. Распределение частот значений признака «содержание крахмала» в зерне сорго у родительских форм и гибрида F2 Отбор 100×34045

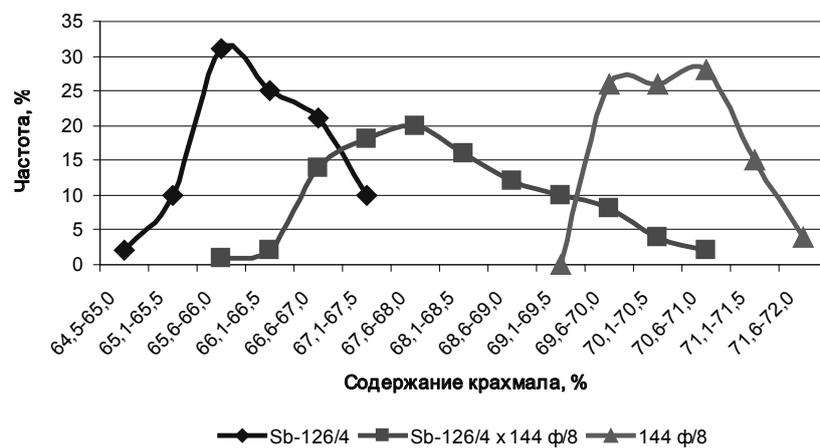


Рис. 6. Распределение частот значений признака «содержание крахмала» в зерне сорго у родительских форм и гибрида F2 Sb-126/4×144 ф/8

В реципрокной комбинации (34045×Отбор 100) также отмечен моногенный тип наследования, однако наблюдалось неполное доминирование больших значений признака ( $h_p = 0,59$ ). Кривая распределения частот гибрида имела правостороннюю асимметрию ( $A_s = 0,18$ ). Сила гена – 0,84 %. Моногенные различия между родительскими формами были отмечены в реципрокных комбинациях Белозерное 100×Отбор 100 и ЗСК-4×Отбор 100. Дигенные различия

проявились у гибрида Sb-126/4×144 ф/8. В данной комбинации наблюдалось частичное доминирование меньших значений признака ( $h_p = -0,36$ ), кривая распределения частот гибрида характеризовалась правосторонней асимметрией ( $A_s = 0,29$ ), а сопоставление частот родительских форм и крайних частот гибрида подтверждало различие родительских форм по двум парам генов с расщеплением в соотношении 15:1 (рис. 6). Сила гена составила 1,4 %.



Кривая распределения частот гибрида СПЗС-11×Зерноградское 204 имела левостороннюю асимметрию ( $As = -0,11$ ), а ее вершина располагалась между вершинами родительских форм ( $hp = 0,07$ ), что указывает на аддитивное действие генов. При этом на долю гибрида приходилось по 1/16 частот родительских форм по краям распределения, что подтверждает дигенные различия между гибридом СПЗС-11 и гибридом Зерноградское 204 с расщеплением в соотношении 1:4:6:4:1 (рис. 7).

Подобный характер наследования проявился у гибрида Зерноградское 204×СПЗС-11. Сила гена равнялась 2,3 %. В комбинации 34045×Белозерное 100 вершина кривой распределения частот гибрида была смещена в сторону родительской формы (34045) с меньшим содержанием крахмала в зерне, что свидетельствует о доминировании меньших значений признака ( $hp = -0,34$ ). Гибридологический анализ и сопоставление частот родительских форм и краевых частот гибрида  $F_2$  указывает на различия между 34045

и Белозерное 100 по двум парам генов и расщепление в соотношении 15:1. Содержание крахмала в зерне находилось в пределах 71,5–74,0 % (рис. 8).

У гибрида Белозерное 100×34045 также наблюдались дигенные различия, однако проявилось частичное доминирование больших значений признака ( $hp = 0,46$ ), а кривая распределения частот имела правостороннюю асимметрию ( $As = 0,2$ ). Сила гена составила 1 %. Тригенные различия установлены в комбинации СПЗС-11×144 ф/8, при этом кривая распределения частот имела правостороннюю асимметрию ( $As = 0,41$ ), находилась в пределах изменчивости родительских форм, а ее вершина – между вершинами родительских форм, что свидетельствует об отсутствии доминирования ( $hp = 0,07$ ) и аддитивном действии генов. Поскольку на долю гибрида приходилось по 1/64 частот родительских форм, то различия между ними составляют три пары генов, а расщепление по фенотипу происходило в соотношении 1:6:15:20:15:6:1 (рис. 9). Сила гена была на уровне 2,1 %.

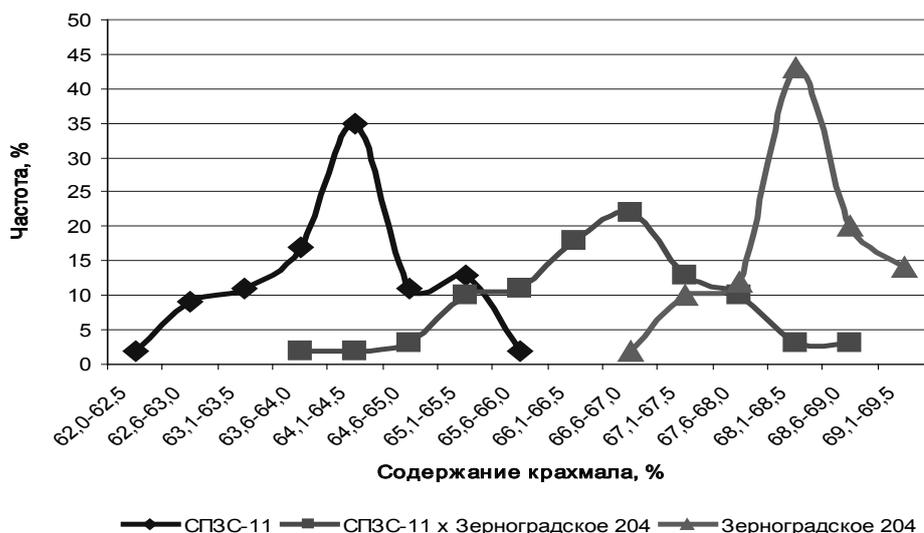


Рис. 7. Распределение частот значений признака «содержание крахмала» в зерне сорго у родительских форм и гибрида  $F_2$  СПЗС-11×Зерноградское 204

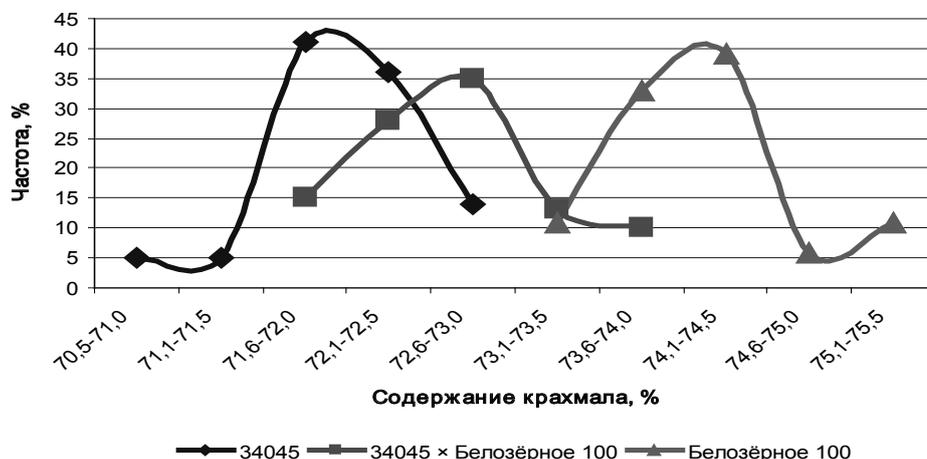


Рис. 8. Распределение частот значений признака «содержание крахмала» в зерне сорго у родительских форм и гибрида  $F_2$  34045×Белозерное 100

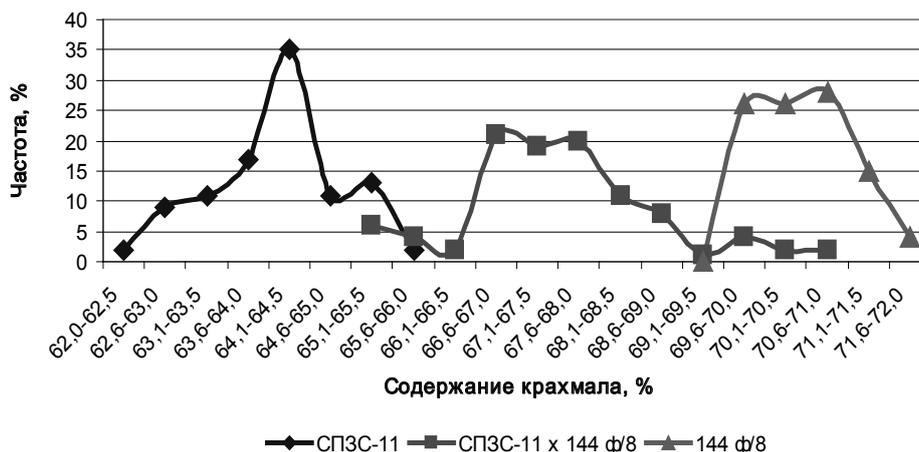


Рис. 9. Распределение частот значений признака «содержание крахмала» в зерне сорго у родительских форм и гибридов F<sub>2</sub> СПЗС-11×144 ф8

**Выводы.** В проведенных исследованиях по изучению наследования содержания крахмала в зерне гибридов второго поколения сорго зернового установлены различия между привлеченными в гибридизацию образцами в 1–3-го гена. В комбинациях

Sb-126/4×СПЗС-11, Зерноградское 204×Sb-126/4, а также у гибридов с участием родительских образцов Белозерное 100, 34045, Отбор 100 и ЗСК-4 для дальнейшей селекционной работы выделены формы с высоким содержанием крахмала в зерне (более 71,0 %).

### Литература

1. Басова К. И. Характер наследования белковости зерна и хлебопекарной силы муки внутривидовых гибридов F<sub>1</sub> мягкой озимой пшеницы // Генетика и селекция растений на Дону. Ростов н/Дону : Издательство Ростовского ун-та, 1983. С. 131–137.
2. ГОСТ 10845 – 98. Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала. М. : Изд-во стандартов, 2004. С. 12–17.
3. Мережка А. Ф. Использование менделевских принципов в компьютерном анализе наследования варьирующих признаков // Экологическая генетика культурных растений : мат. школы молодых ученых. Краснодар, 2005. С. 107–117.
4. Посыпанов Г. С., Долгодворов В. Е., Коренев Г. В. Растениеводство. М. : Колос, 1997. 447 с.
5. Figueiredo L. F., Sine F., Chantreau J., Mestres C., Flidель G., Rami Дж. Ф., Glaszman Дж. С. Изменчивость качества зерна сорго: связь с полиморфизмом в Sh<sub>2</sub>, Bt<sub>2</sub>, Sssl, Ae<sub>1</sub>, Wx и O<sub>2</sub> B. // Теоретическая прикладная генетика. 2010. Октябрь. 121(6). С. 1171–1185.
6. Griffing B. Понятия общей и специфической комбинационной способности в системе диаллельных скрещиваний // Австралийский Журнал Биологических наук. 1956. № 9. С. 463–493.
7. Карпер Р. Е. Наследование воскового эндосперма в сорго // Наследственность. 1933. Т. 24. С. 257–262.
8. Lichtenwalter R. E., Ellis E. B., Rooney L. W. Воздействие накопительной дозы воскового гена сорго на перевариваемость // Наука о животных. 1978. Т. 46. № 4. С. 113–119.

### References

1. Basova K. I. The peculiarity of inheritance of grain protein and bakery strength of flour by inter hybrids F<sub>1</sub> of soft winter wheat // Genetics and breeding on Don. Rostov-on-Don : Publ.by Rostov Uni., 1983. P. 131–137.
2. GOST 10845 – 98. Grain and its derived products. Methods of determining of starch. Moscow : Publ.of standards, 2004. P. 12–17.
3. Merezko A. F. Use of Mendel's principles in computer analysis of inheritance of varying traits // Ecological genetics of plants : materials of young scientists' school. Krasnodar, 2005. P. 107–117.
4. Posypanov G. S. Dolgodvorov V. E., Korenev G. V. Plant-growing. Moscow : Kolos, 1997. 447 p.
5. Figueiredo L., Sine F., Chantreau J., Mestres C., Flidель G., Rami J. F., Glaszmann J. C., Deu M., Courtois B. Variability of grain quality in sorghum: association with polymorphism in Sh<sub>2</sub>, Bt<sub>2</sub>, Sssl, Ae<sub>1</sub>, W<sub>x</sub> and O<sub>2</sub> B // Theor Appl Genet. 2010 Oct; 121(6). P. 1171–1185.
6. Griffing B. Concepts of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems // Austral. J. Biol. Sci. 1956. № 9. P. 463–493.
7. Karper R. E. Inheritance of waxy endosperm in sorghum // J. Heredity. 1933. V. 24. P. 257–262.
8. Lichtenwalter R. E., Ellis E. B., Rooney L. W. Effect of incremental dosage of the waxy gene of sorghum on digestibility // J. Anim. 1978. V. 46. № 4. P. 113–119.