

## УСПАДКУВАННЯ ЗАБАРВЛЕННЯ ПЕЛЮСТОК КВІТОК У ГІРЧИЦІ СИЗОЇ

В.М. Журавель, К.В. Ведмедєва, Г.І. Буділка, Г.В. Вендель

*Інститут олійних культур НААН*

У статті наведено результати досліджень з встановлення характеру успадкування світло-жовтого та кремового забарвлення пелюсток квіток гірчиці сизої. Встановлено, що кремове забарвлення пелюсток квіток гірчиці сизої у сортів Дижонка та Ретро обумовлено одним геном у рецесивному стані, а блідо-жовте забарвлення пелюсток квіток гірчиці сорту Світлана обумовлено іншим геном у рецесивному стані. Отримані розщеплення 12:3:1 вказують на наявність епістатичної взаємодії генів, що обумовлюють кремове та блідо-жовте забарвлення.

**Ключові слова:** ген, гірчиця, забарвлення пелюсток, схрещування, успадкування.

**Вступ.** Гірчиця – цінна багатопрофільна олійна культура. Вона представлена трьома видами родини *Brassicaceae*: гірчиця сиза (сарептська) (*Brassica juncea* Czern.), гірчиця біла (*Brassica alba* L.) та гірчиця чорна (*Brassica nigra* Koch.), які мають багато спільних морфологічних та біологічних ознак, а видова відмінність пов'язана з різним їх походженням (Mahmudug et al, 2018). Найбільш поширеною є гірчиця сиза. Занесені до Реєстру вітчизняні сорти даного виду слабо відрізняються між собою, хоча на сьогодні гостро стоїть питання захисту прав інтелектуальної власності. Науковцям Інституту олійних культур НААН, застосовуючи хімічний мутагенез, вдалося створити сорти гірчиці з відмінними морфологічними ознаками, наявність яких сприяє легкій їхній ідентифікації. Сорти гірчиці сизої Ретро, Дижонка та Світлана характеризуються відмінним – кремовим та світло-жовтим забарвленням пелюсток квіток, не типовим для гірчиці сизої (Zhuravel 2011).

Морфологічними маркерами у гірчиці у першу чергу є забарвлення пелюсток квіток та насіння (Jianjun Zhao 2007). Генетику забарвлення пелюсток квіток гірчиці вивчають вже близько 70 років. Спочатку було встановлено наявність білого забарвлення пелюсток квіток у різних видів гірчиці. У гірчиці сизої (*Brassica juncea* Czern.) воно контролюється рецесивним станом двох незалежних генів (Singh et al. 1968), а у іншого виду *Brassica carinata* було вказано як на моногенний (Getinet et al. 1993) так і на дигенний контроль білого забарвлення пелюсток квіток (Heun 1973). Пізніше було проведено дослідження з використанням молекулярних маркерів генів *Vjpc1* та *Vjpc2*, які обумовлюють біле забарвлення пелюсток квіток і визначено молекулярні маркери та місце знаходження генів на хромосомі A02 *Brassica rapa*. (Xiangxiang et al. 2018; Zhang et al. 2018).

Метою нашого дослідження було встановлення характеру успадкування ознаки забарвлення пелюсток квіток у сортів гірчиці сизої.

**Матеріали та методи досліджень.** У якості матеріалу було використано сорти гірчиці сизої селекції Інституту олійних культур НААН – Ретро, Дижонка, Світлана, Деметра, Пріма, Мрія та Тавричанка з різним забарвленням пелюсток квіток. Забарвлення пелюсток квіток у сортів Дижонка та Ретро позначено нами як кремове, у сорту Світлана – блідо-жовте, сорти

гірчиці Пріма, Деметра, Тавричанка та Мрія мали звичайне золотисто-жовте забарвлення квіток.

Для встановлення характеру успадкування ознаки забарвлення пелюсток квіток проведено схрещування з використанням ручної кастрації та подальшим запиленням пилом батьківських компонентів з використанням індивідуальних ізоляторів. Насіння гібридів гірчиці, отримане з кожного ізолятора, висівали окремо на одно- дворядкових ділянках та вирощували за звичайною технологією.

Оцінку забарвлення квіток гірчиці проводили візуально, порівнюючи з забарвленням квіток батьківських компонентів. Статистичну достовірність встановлювали за допомогою критерія Пірсона (Lakin 1990).

**Результати досліджень та їхнє обговорення.** Відмінне забарвлення пелюсток квіток – кремове та світло-жовте у гірчиці сизої було отримане шляхом застосування хімічного мутагенезу та інцухтування нащадків. Для встановлення характеру успадкування даної ознаки було проведено комбінаційне схрещування. У якості материнського компоненту використовували сорти гірчиці сизої – Мрія, Деметра, Тавричанка з золотисто-жовтим забарвленням пелюсток квіток та сорт Світлана з світло-жовтим забарвленням. Гібриди першого покоління в усіх комбінаціях схрещування мали золотисто-жовте забарвлення пелюсток квіток, хоча у якості батька використовували сорти з усіма досліджуваними забарвленнями квіток (табл. 1).

Таблиця 1

**Успадкування забарвлення пелюсток квіток гірчиці сизої у поколінні F<sub>1</sub> та F<sub>2</sub> (2015-2017 рр.)**

№ з/п	Комбінація схрещування		Фенотип F <sub>1</sub>	Розщеплення F <sub>2</sub> за фенотипом			Модель розщеплення	χ <sup>2</sup>
	♀	♂		золотисто-жовте	кремове	блідо-жовте		
1	Мрія (золотисто-жовте)	Дижонка (кремове)	Золотисто-жовте	100	24		3:1	2,10
2	Деметра (золотисто-жовте)	Дижонка (кремове)	Золотисто-жовте	69	13	6	12:3:1	0,92
3	Деметра (золотисто-жовте)	Ретро (кремове)	Золотисто-жовте	51	6	1	12:3:1	5,38
4	Тавричанка (золотисто-жовте)	Світлана (блідо-жовте)	Золотисто-жовте	79		16	3:1	3,37
5	Світлана (блідо-жовте)	Пріма (золотисто-жовте)	Золотисто-жовте	59		24	3:1	0,68
6	Світлана (блідо-жовте)	Мрія (золотисто-жовте)	Золотисто-жовте	85		30	3:1	0,07

У другому поколінні гірчиці спостерігали розщеплення рослин із забарвленням квіток на два та три типи. У комбінації схрещування Мрія×Дижонка у другому поколінні спостерігали розщеплення забарвлення квіток на золотисто-жовте та кремове, у співвідношенні 3:1. Рослин із золотисто-жовтим забарвленням пелюсток квіток було більше, ніж кремових. Проведена

© В.М. Журавель, К.В. Ведмедева, Г.І. Буділка, Г.В. Вендель

статистична перевірка за критерієм Пірсона підтвердила достовірність гіпотези співвідношення 3:1 (рослин з золотисто-жовтим забарвленням до рослин з кремовим). Це свідчить про моногенний рецесивний контроль кремового забарвлення пелюсток квіток у сорту Дижонка по відношенню до сорту Мрія з золотисто-жовтим забарвленням.

У поколінні  $F_2$  від схрещування батьківських компонентів Деметра та Дижонка, виявлено три типи забарвлень: золотисто-жовте, кремове та блідо-жовте, не характерних для фенотипів батьків. Отримане розщеплення відповідає співвідношенню 12:3:1. Це свідчить про наявність двох генів, які обумовлюють забарвлення пелюсток квіток у цих рослин.

У поколінні  $F_2$ , від комбінації схрещування Деметра×Ретро, було отримано 51 рослина з золотисто-жовтим забарвленням пелюсток квіток, 6 з кремовим та 1 з блідо-жовтим. Одна рослина у найменшому класі не може достовірно підтвердити співвідношення 12:3:1, але є досить близьким до нього та ідентичним з попередньою комбінацією схрещування Деметра×Дижонка.

Для встановлення успадкування блідо-жовтого забарвлення квіток проведено три варіанти схрещування. У комбінаціях схрещування Світлана×Мрія, Світлана×Пріма та Тавричанка×Світлана у першому поколінні спостерігали рослини з золотисто-жовтим забарвленням квіток. У поколінні  $F_2$  виявлено рослини з золотисто-жовтим та блідо-жовтим типом забарвлення пелюсток квіток у співвідношенні 3:1. Проведена перевірка за критерієм Пірсона підтвердила достовірність гіпотези співвідношення: 3 золотисто-жовтих до 1 блідо-жовтого. Це свідчить про моногенний рецесивний контроль блідо-жовтого забарвлення пелюсток квіток у сорту Світлана.

Узагальнюючи встановлені співвідношення рослин за забарвленням пелюсток квіток у поколінні  $F_2$  виявлено, що блідо-жовте забарвлення квіток обумовлено одним геном у рецесивному стані, кремове забарвлення квіток обумовлено у одній комбінації одним геном у рецесивному стані, у двох інших комбінаціях з сортом Деметра виявлено появу блідо-жовтого забарвлення пелюсток квіток. Це означає, що у сорту Деметра також присутній ген, який приймає участь у прояві блідо-жовтого забарвлення. Отримане співвідношення свідчить, що дія рецесивних алелів гену, які обумовлюють блідо-жовте забарвлення, проявляється на фоні кремового забарвлення.

Для подальшого з'ясування характеру успадкування ознаки забарвлення пелюсток квіток у гірчиці було проведено самозапилення гібридів другого покоління та отримано гібриди третього покоління (табл. 2).

У комбінації схрещування Мрія×Дижонка від рослин  $F_2$  з золотисто-жовтим забарвленням пелюсток квіток виявлено в двох потомствах розщеплення 3:1, що підтверджує моногенний рецесивний контроль ознаки кремового забарвлення пелюсток квіток у цій комбінації. Одне потомство не виявило розщеплення і мало лише золотисто-жовті пелюстки квіток.

У комбінації схрещування Деметра×Дижонка рослина  $F_2$  з кремовим забарвленням квіток мали нащадків з таким же забарвленням. Одне потомство  $F_2$  з золотисто-жовтими квітками не розщеплювалось, друге мало два класи з розщепленням 3:1 і лише третє відповідало співвідношенню 12:3:1, як і у розщепленні  $F_2$  з появою класу блідо-жовтих нащадків.

У комбінації схрещування Деметра×Ретро три розщеплення в  $F_3$  достовірно відповідали співвідношенню 3 золотисто-жовтих до 1 кремового. Це підтверджує висновок про моногенний рецесивний контроль ознаки кремового

забарвлення пелюсток квітки. У одному схрещуванні було отримано клас рослин з блідо-жовтими квітками у співвідношенні 12:3:1, як і у другому поколінні.

Таблиця 2

**Успадкування забарвлення квіток у гірчиці сизої у поколінні F<sub>2</sub> та F<sub>3</sub> (2017-2018 рр.)**

№ з/п	Комбінація схрещування		Фенотип F <sub>2</sub>	Розщеплення F <sub>3</sub> за фенотипом			Модель розщеплення	χ <sup>2</sup>
	♀	♀		золотисто-жовте	кремове	блідо-жовте		
1	Мрія (золотисто-жовте)	Дижонка (кремове)	Золотисто-жовте	18	3	-	3:1	1,29
				18	8	-	3:1	0,46
				25	-	-	-	-
2	Деметра (золотисто-жовте)	Дижонка (кремове)	Золотисто-жовте	31	-	-	-	-
				40	11	1	12:3:1	1,74
				79	22	-	3:1	0,55
			Кремове	-	41	-	-	-
3	Деметра (золотисто-жовте)	Ретро (кремове)	Золотисто-жовте	30	4	1	12:3:1	2,18
				22	6	-	3:1	0,19
				41	8	-	3:1	1,97
				30	5	-	3:1	2,14
4	Тавричанка (золотисто-жовте)	Світлана (блідо-жовте)	Золотисто-жовте	22	-	8	3:1	0,04
				15	-	3	3:1	0,67
				16	-	6	3:1	0,06
				20	-	9	3:1	0,56
				24	-	12	3:1	1,33
				28	-	6	3:1	0,98
				21	-	5	3:1	0,46
				блідо-жовте	-	-	25	-
			блідо-жовте	-	-	38	-	-
5	Світлана (блідо-жовте)	Пріма (золотисто-жовте)	Золотисто-жовте	34	-	11	3:1	0,01
				32	-	18	3:1	3,21
			блідо-жовте	-	-	18	-	-
				-	-	20	-	-

У комбінаціях схрещування Тавричанка×Світлана, Світлана×Пріма, Світлана×Мрія від рослин F<sub>2</sub> з блідо-жовтими пелюстками квіток в F<sub>3</sub> усі рослини мали блідо-жовте забарвлення пелюсток квіток. У потомстві рослин F<sub>3</sub> (F<sub>2</sub> з золотисто-жовтими квітками) було отримано два класи нащадків з золотисто-жовтими та блідо-жовтими пелюстками квіток, які відповідали співвідношенню 3:1.

Поєднавши отримані розщеплення у другому та третьому поколінні, однозначно підтверджено моногенний рецесивний контроль ознаки кремового забарвлення пелюсток квіток. Блідо-жовте забарвлення квіток гірчиці обумовлено іншим геном у рецесивному стані. Отримані розщеплення 12:3:1 вказують на наявність епістазу алелів кремового забарвлення над блідо-жовтим.

Встановлені співвідношення не протирічать дослідженням інших науковців, якими було отримано результати про наявність дигенного контролю білого забарвлення пелюсток квіток у гірчиці (Singh et al. 1964; Rawat & Anand 1986; Vrag et al. 1991). У проведених ними дослідженнях також були отримані кілька розщеплень з співвідношенням 12:3:1. Отримані нами світло-жовте та кремове забарвлення пелюсток квіток, ми не можемо називати білими, як

описано у проведених іншими науковцями дослідженнях (Singh et al, 1964; Rawat and Anand, 1986; Brar et al, 1991). Кожен дослідник може описати їх різними словосполученнями, тому можливо один з цих типів забарвлення і є тим самим. Провести ідентифікацію зараз ми не маємо можливості.

Подальше дослідження цих сортів та більш детальне вивчення виявлених типів забарвлення дасть можливість виявити додаткові гени.

### **Висновки**

Доведено, що кремове забарвлення пелюсток квіток гірчиці у сортів Дижонка та Ретро обумовлено одним геном у рецесивному стані, а блідо-жовте забарвлення квіток гірчиці у сорту Світлана обумовлено іншим геном у рецесивному стані. Отримані розщеплення 12:3:1 вказують на наявність епістатичної взаємодії генів, що обумовлюють кремове та блідо-жовте забарвлення.

### **Література**

1. Getinet A, Rakow G, Downey RK (1996) Agronomic performance and seed quality of Ethiopian mustard in Saskatchewan. Canadian Journal of Plant Science 76(3):387-392. doi.org/10.4141/cjps96-069
2. Heyn FW (1973) Beitrage zum Auftreten unreduzierter Gameten und zur Genetik einiger Merkmale bei den *Brassicaceae*. Diss Georg August Univ, Goettingen
3. Huang Z, Ban Y-Y, Bao R et al (2014) Inheritance and gene mapping of the white flower in *Brassica napus* L. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 42(2): 111-117
4. Sanjay Jambhulkar (2018) Isolation of novel mutation for dwarfing genes for enhancing productivity in *Brassica juncea* L. FAO/IAEA Plant Mutation Breeding and Biotechnology Vienna, Austria : 99-100
5. Singh D, et al (1968) Inheritance of some qualitative characters in Indian mustard (*Brassica juncea* (L) Czern. & Coss.). Indian Journal of Agricultural Sciences 38: 97-100
6. Xiangxiang Zhang, Rihui LiLi et al (2018) Inheritance and gene mapping of the white flower trait in *Brassica juncea* Molecular Breeding 38:20. February 2018. doi: 10.1007/s11032-017-0771-0
7. Zhang X, Li R, Chen L et al (2018) Fine-mapping and candidate gene analysis of the *Brassica juncea* white-flowered mutant *Bjpc2* using the whole-genome resequencing. Mol Genet Genomics 293(2):359-370. doi: 10.1007/s00438-017-1390-5
8. Zhuravel VM (2011) The economic value of mutant samples of mustard, created by the method of chemical mutagenesis. (in Ukrainian) Scientific and technical bulletin of the Institute of Oilseeds of NAAS 16:53-58
9. Lakin GF (1990) Biometry. (in Russian) 4th edn. Higher school, Moscow
10. Mahmudur Rahman ID , Amina Khatun ID et al (2018) *Brassicaceae* Mustards: Traditional and Agronomic Uses in Australia and New Zealand. Molecules (23): 231. doi:10.3390/molecules23010231
11. Jianjun Zhao (2007) The genetics of phytate content and morphological traits in *Brassica rapa*. Proefschrift ter verkrijging van de graad van doctor op gezag van de rector magnificus van Wageningen Universiteit, the Netherlands 152

## НАСЛЕДОВАНИЕ ОКРАСКИ ЛЕПЕСТКОВ ЦВЕТКОВ У ГОРЧИЦЫ СИЗОЙ

В.Н. Журавель, К.В. Ведмедева, А.И. Будилка, Г.В. Вендель

*Институт масличных культур НААН*

В статье приведены результаты исследований по установлению характера наследования светло-желтой и кремовой окраски лепестков цветков горчицы сизой. Установлено, что кремовая окраска лепестков цветков горчицы сизой у сортов Дижонка и Ретро обусловлена одним геном в рецессивном состоянии, а бледно-желтая окраска лепестков цветков горчицы сорта Светлана обусловлена другим геном в рецессивном состоянии. Полученные расщепления 12:3:1 указывают на наличие эпистатического взаимодействия генов, обуславливающих кремовую и бледно-желтую окраску.

Горчица – ценная многопрофильная масличная культура. Она представлена тремя видами семейства *Brassicaceae*: горчица сизая (сарептская) (*Brassica juncea* Czern.), горчица белая (*Brassica alba* L.) и горчица черная (*Brassica nigra* Koch.). Которые имеют много общих морфологических и биологических признаков, а видовое отличие связано с различным их происхождением (Mahmudur et al, 2018). Наиболее распространенной является горчица сизая. Занесенные в Реестр отечественные сорта данного вида слабо отличаются между собой, хотя на сегодня остро стоит вопрос защиты прав интеллектуальной собственности. Ученым Института масличных культур НААН, применяя химический мутагенез, удалось создать сорта горчицы с отличительными морфологическими признаками, наличие которых способствует легкой их идентификации. Сорта горчицы сизой Ретро, Дижонка и Светлана характеризуются отличимой – кремовой и светло-желтой окраской лепестков цветков, не типичной для горчицы сизой (Zhuravel, 2011).

Морфологическими маркерами у горчицы в первую очередь являются окраска лепестков цветков и семян (Jianjun Zhao, 2007). Генетику окраски лепестков цветков горчицы изучают уже около 70 лет. Сначала было установлено наличие белой окраски лепестков цветков у разных видов горчицы. У горчицы сизой (*Brassica juncea* Czern.) она контролируется рецессивным состоянием двух независимых генов (Singh et al, 1968), а у другого вида *Brassica carinata* было указано как на моногенный (Getinet et al, 1993), так и на дигенный контроль белой окраски лепестков цветков (Heun, 1973). Позже было проведено исследование с использованием молекулярных маркеров генов *Vjrc1* и *Vjrc2*, которые обуславливают белую окраску лепестков цветков и определены молекулярные маркеры и место нахождения генов на хромосоме A02 *Brassica rapa*. (Xiangxiang et al, 2018, Zhang et al, 2018).

Целью нашего исследования было установление характера наследования признака окраски лепестков цветков у сортов горчицы сизой. В качестве материала были использованы сорта горчицы сизой селекции Института масличных культур НААН – Ретро, Дижонка, Светлана, Деметра, Прима, Мрия и Тавричанка с различной окраской лепестков цветков. Окраска лепестков цветков у сортов Дижонка и Ретро, обозначена нами как кремовая, у сорта Светлана – бледно-желтая, у сортов горчицы Прима, Деметра, Тавричанка и Мрия – обычная золотисто-желтая окраска цветков.

Для установления характера наследования признака окраски лепестков цветков проведены скрещивания с использованием ручной кастрации и последующим опылением пылью родительских компонентов с использованием индивидуальных изоляторов. Семена гибридов горчицы, полученные из каждого изолятора, сеяли отдельно

на одно- двух рядковых делянках и выращивали по обычной технологии.

Оценку окраски цветков горчицы проводили визуально, сравнивая с окраской цветков родительских компонентов. Статистическую достоверность устанавливали с помощью критерия Пирсона (Lakin, 1990).

Отличительная окраска лепестков цветков – кремовая и светло-желтая у горчицы сизой была получена путем применения химического мутагена и инцухтирования потомков. Для установления характера наследования данного признака был проведен ряд комбинаций скрещивания. В качестве материнского компонента использовали сорта горчицы сизой – Мрия, Деметра, Тавричанка с золотисто-желтой окраской лепестков цветков и сорт Светлана со светло-желтой окраской. Гибриды первого поколения во всех комбинациях скрещивания имели золотисто-желтую окраску лепестков цветков, хотя в качестве отца использовали сорта со всеми исследуемыми окрасками цветков. Во втором поколении горчицы наблюдали расщепление растений с окраской цветков на два и три типа. В сочетании скрещивания Мрия×Дижонка во втором поколении наблюдали расщепление окраски цветков на золотисто-желтую и кремовую, в соотношении 3:1. Растений с золотисто-желтой окраской лепестков цветков было больше, чем с кремовой. Проведенная статистическая проверка по критерию Пирсона подтвердила достоверность гипотезы соотношения 3:1 (растений с золотисто-желтой окраской к растениям с кремовой). Это свидетельствует о моногенном рецессивном контроле кремовой окраски лепестков цветков у сорта Дижонка по отношению к сорту Мрия с золотисто-желтой окраской.

В поколении F<sub>2</sub> от скрещивания родительских компонентов сортов Деметра и Дижонка выявлено три типа окраски: золотисто-желтая, кремовая и бледно-желтая, не характерные для фенотипов родителей. Полученное расщепление соответствует соотношению 12:3:1. Это свидетельствует о наличии двух генов, обуславливающих окраску лепестков цветков у этих растений.

В поколении F<sub>2</sub>, от комбинации скрещивания Деметра×Ретро, было получено 51 растение с золотисто-желтой окраской лепестков цветков, 6 с кремовой и 1 с бледно-желтой. Одно растение в маленьком классе не может достоверно подтвердить соотношение 12:3:1, но достаточно близким к нему и идентичным с предыдущей комбинацией скрещивания Деметра×Дижонка.

Для установления наследования бледно-желтой окраски цветков проведено три варианта скрещивания. В комбинациях скрещивания Светлана×Мрия, Светлана×Прима и Тавричанка×Светлана в первом поколении наблюдали растения с золотисто-желтой окраской цветков. В поколении F<sub>2</sub> обнаружены растения с золотисто-желтым и бледно-желтым типом окраски лепестков цветков в соотношении 3:1. Проведенная проверка по критерию Пирсона подтвердила достоверность гипотезы соотношение: 3 золотисто-желтых к 1 бледно-желтому. Это свидетельствует о моногенном рецессивном контроле бледно-желтой окраски лепестков цветков у сорта Светлана.

Обобщая установленные соотношения растений по окраске лепестков цветков в поколении F<sub>2</sub> установлено, что бледно-желтую окраску цветков обусловлено одним геном в рецессивном состоянии, кремовая окраска цветков обусловлена в одной комбинации одним геном в рецессивном состоянии, в двух других комбинациях с сортом Деметра обнаружено появление бледно-желтой окраски лепестков цветков. Это означает, что у сорта Деметра также присутствует ген, который принимает участие в проявлении бледно-желтой окраски. Полученное соотношение показывает, что действие рецессивных

аллелей гена, которые обуславливают бледно-желтую окраску, проявляется на фоне кремовой окраски.

Для дальнейшего выяснения характера наследования признака окраски лепестков цветков у горчицы было проведено самоопыление гибридов второго поколения и получены гибриды третьего поколения.

В комбинации скрещивания Мрия×Дижонка от растений  $F_2$  с золотисто-желтой окраской лепестков цветков обнаружено в двух потомствах расщепление 3:1, что подтверждает моногенный рецессивный контроль признака кремовой окраски лепестков цветков в этой комбинации. В одном потомстве не наблюдали расщепления и окраска лепестков цветков была только золотисто-желтая.

В комбинации скрещивания Деметра×Дижонка растение  $F_2$  с кремовой окраской цветков имели потомков с такой же окраской. Одно потомство  $F_2$  с золотисто-желтыми цветками не расщеплялось, второе имело два класса с расщеплением 3:1 и лишь третье соответствовало соотношению 12:3:1, как и в расщеплении  $F_2$  с появлением класса бледно-желтых потомков. В комбинации скрещивания Деметра×Ретро три расщепления в  $F_3$  достоверно соответствовали соотношению 3 золотисто-желтых к 1 кремовому. Это подтверждает вывод о моногенном рецессивном контроле признака кремовой окраски лепестков цветков. В одном скрещивании был получен класс растений с бледно-желтыми цветками в соотношении 12:3:1, как и во втором поколении.

В комбинациях скрещивания Тавричанка×Светлана, Светлана×Прима, Светлана×Мрия от растений  $F_2$  с бледно-желтыми лепестками цветков в  $F_3$  все растения имели бледно-желтую окраску лепестков цветков. В потомстве растений  $F_3$  ( $F_2$  с золотисто-желтыми цветками) было получено два класса потомков с золотисто-желтыми и бледно-желтыми лепестками цветков, которые отвечали соотношению 3:1.

Обобщив полученные расщепления во втором и третьем поколении, однозначно подтвержден моногенный рецессивный контроль признака кремовой окраски лепестков цветков. Бледно-желтая окраска цветков горчицы обусловлена другим геном в рецессивном состоянии. Полученные расщепления 12:3:1 указывают на наличие эпистаза аллелей кремовой окраски над бледно-желтой.

Установленные соотношения не противоречат исследованиям других ученых, которыми были получены результаты о наличии дигенного контроля белой окраски лепестков цветков у горчицы (Singh et al, 1964; Rawat & Anand, 1986; Brar et al, 1991). В проведенных ими исследованиях также были получены несколько расщеплений с соотношением 12:3:1. Полученные нами светло-желтая и кремовая окраски лепестков цветков, мы не можем называть белыми, как описано в проведенных другими учеными исследованиях (Singh et al, 1964; Rawat & Anand, 1986; Brar et al, 1991). Каждый исследователь может описать их различными словосочетаниями, поэтому возможно один из этих типов окраски и является именно таким. Провести идентификацию сейчас мы не имеем возможности.

Дальнейшее исследование этих сортов и более детальное изучение обнаруженных типов окраски позволит выявить дополнительные гены.

Доказано, что кремовая окраска лепестков цветков горчицы у сортов Дижонка и Ретро обусловлена одним геном в рецессивном состоянии, а бледно-желтая окраска цветков горчицы у сорта Светлана обусловлена другим геном в рецессивном состоянии. Полученные расщепления 12:3:1 указывают на наличие эпистатического взаимодействия генов, обуславливающих кремовую и бледно-желтую окраску.

**Ключевые слова:** ген, горчица, окраска лепестков, скрещивание, наследование.



## INHERITANCE OF FLOWER PETAL COLOR IN BROWN MUSTARD

V.M. Zhuravel, K.V. Vedmedeva, G.I. Budilka, G.V. Vendel

*Institute of Oilseed Crops NAAS*

The article presents the results of studies to establish the nature of the inheritance of light yellow and cream-colored petals of mustard-gray flowers. It has been established that the cream coloring of the petals of the mustard-gray flowers in the Dijonka and Retro varieties is due to one gene in the recessive state, and the pale yellow color of the petals of the mustard flowers of the Svetlana variety is due to another gene in the recessive state. The resulting cleavages of 12: 3: 1 indicate the presence of epistasis of cream-colored alleles over pale yellow.

Mustard is a valuable diversified oilseed crop. It is represented by three species of the family *Brassicaceae*: brown mustard (sarepta) (*Brassica juncea Czern.*), white mustard (*Brassica alba L.*) and black mustard (*Brassica nigra Koch.*). Which have many common morphological and biological characteristics, and the species difference is associated with different origins (Mahmudur et al, 2018). The most common is gray mustard. Domestic varieties of this type listed in the Register are slightly different among themselves, although today there is an acute issue of protection of intellectual property rights. Scientists of the Institute of Oilseeds of the National Academy of Agrarian Sciences, using chemical mutagenesis, managed to create mustard varieties with distinctive morphological traits, the presence of which facilitates their easy identification. Retro, Dijonka and Svetlana mustard varieties are characterized by a distinct creamy and light yellow color of the petals of flowers, which is not typical of mustard grayish (Zhuravel, 2011). Morphological markers for mustard are primarily the color of flower petals and seeds (Jianjun Zhao, 2007). Mustard has been studying the genetics of coloring petals of flowers for about 70 years. First, it was found the presence of white color of petals of flowers in different types of mustard. In gray mustard (*Brassica juncea Czern.*), It is controlled by the recessive state of two independent genes (Singh et al, 1968), and in another species of *Brassica carinata*, both monogenic (Getinet et al, 1993) and digital control of white coloration were indicated. flower petals (Heyn, 1973). Later, a study was conducted using molecular markers of the Bjpc1 and Bjpc2 genes, which determine the white color of the flower petals, and the molecular markers and the location of the genes on the A02 *Brassica rapa* chromosome were determined. (Xiangxiang et al, 2018, Zhang X, et al, 2018).

The purpose of our study was to establish the nature of the inheritance of the sign of the color of flower petals in varieties of mustard gray. The material used was the varieties of mustard gray-gray selection of the Institute of Oilseeds NAAN - Retro, Dijonka, Svetlana, Demetra, Prima, Mriya and Tavranchanka with different color of flower petals. The color of the flower petals in Dijonka and Retro varieties is designated by us as cream, in Svetlana varieties - pale yellow, in the mustard varieties Prima, Demetra, Tavranchanka and Mriya - the usual golden-yellow color of flowers.

To determine the nature of the inheritance of the character of the color of the petals of flowers, crosses were carried out using manual castration and subsequent pollination of the parent components with pollen using individual isolators. Seeds of mustard hybrids, obtained from each insulator, were sown separately on one or two row plots and grown according to the usual technology.

Evaluation of the color of mustard flowers was carried out visually, comparing with the color of the flowers of the parent components. Statistical significance was established using the Pearson criterion (Lakin, 1990).

The distinctive color of the flower petals — cream and light yellow in mustard — gray was obtained by applying chemical mutagenesis and inserting descendants. To establish the nature of the inheritance of this trait, a series of crossing combinations were carried out. As the maternal component used varieties of mustard - Mriya, Demetra, Tavrichanka with golden yellow color of flower petals and Svetlana variety with a light yellow color. The first generation hybrids in all cross-breeding combinations had a golden-yellow color of flower petals, although varieties with all studied flower colors were used as father. In the second generation of mustard we observed splitting of plants with flower color into two and three types. In a combination of Mriya×Dijonka crossing in the second generation, the colors of the flowers were split into golden yellow and cream in a ratio of 3:1. There were more plants with golden yellow flower petals than cream ones. A statistical check by the Pearson criterion confirmed the accuracy of the 3:1 ratio hypothesis (plants with a golden-yellow color to plants with cream). This testifies to the monogenic recessive control of the cream coloring of the flower petals of the Dijonka variety in relation to the Mriya variety with golden yellow color.

In the F<sub>2</sub> generation from the crossing of the parent components of the varieties Demetra and Dijonka, three types of coloration were revealed: golden yellow, cream and pale yellow, which are not characteristic of parental phenotypes. The resulting splitting corresponds to a ratio of 12:3:1. This indicates the presence of two genes responsible for the color of the flower petals in these plants.

In the F<sub>2</sub> generation, from the combination of Demetra × Retro, 51 plants were obtained with golden yellow flower petals, 6 with cream and 1 with pale yellow. One plant in a small class cannot reliably confirm the ratio of 12:3:1, but close enough to it and identical with the previous combination of crossing Demetra×Dijonka.

To establish the inheritance of a pale yellow color of flowers, three variants of crossing were carried out. In combinations of crossing Svetlana×Mriya, Svetlana×Prima and Tavrichanka×Svetlana in the first generation observed plants with golden-yellow flowers. In the F<sub>2</sub> generation, plants with golden yellow and pale yellow color of flower petals were found in a ratio of 3:1. The test carried out according to the Pearson criterion confirmed the hypothesis reliability: a ratio of 3 golden yellow to 1 pale yellow. This indicates a monogenic recessive control of the pale yellow color of the flower petals in Svetlana.

Summarizing the established ratios of plants for the color of flower petals in the F<sub>2</sub> generation, it was found that the pale yellow color of flowers is due to one gene in the recessive state, the cream color of flowers is caused in one combination by one gene in the recessive state, in two other combinations with Demetra variety the appearance of pale yellow colored petals of flowers. This means that the Demetra variety also has a gene that is involved in the manifestation of a pale yellow color. The resulting ratio shows that the effect of the recessive alleles of the gene, which cause a pale yellow color, appears on the background of a cream color.

To further clarify the nature of the inheritance of the color pattern of the petals of the mustard, self-pollination of second-generation hybrids was carried out and third-generation hybrids were obtained.

In a combination of Mriya×Dijonka crossing from F<sub>2</sub> plants with golden-yellow color of flower petals, 3:1 splitting was found in two offspring, which confirms monogenic recessive control of the sign of cream color of flower petals in this combination. In one offspring, no splitting was observed and the color of the flower petals was only golden yellow.

In the Demetra×Dijonka crossing combination, the F<sub>2</sub> plant with cream colored flowers had descendants with the same color. One F<sub>2</sub> offspring with golden yellow flowers did not split, the second had two classes with a 3:1 splitting, and only the third corresponded to the 12:3:1 ratio, as in the F<sub>2</sub> splitting with the appearance of a class of pale yellow

offspring. In the Demetra×Retro crossing combination, three splittings in F<sub>3</sub> reliably corresponded to a ratio of 3 golden yellow to 1 cream. This confirms the conclusion of a monogenic recessive control of the trait of cream coloring of flower petals. In one crossing, a class of plants with pale yellow flowers was obtained in a ratio of 12:3:1, as in the second generation.

In combinations of crossing Tavrichanka×Svetlana, Svetlana×Prima, Svetlana×Mriya from F<sub>2</sub> plants with pale yellow flower petals in F<sub>3</sub>, all plants had a pale yellow color of flower petals. In the progeny of F<sub>3</sub> plants (F<sub>2</sub> with golden yellow flowers), two classes of descendants were obtained with golden yellow and pale yellow flower petals, which corresponded to a 3:1 ratio.

Summarizing the resulting splittings in the second and third generation, the monogenic recessive control of the trait of cream coloring of flower petals was unequivocally confirmed. The pale yellow color of mustard flowers is due to another gene in a recessive state. The resulting cleavages of 12:3:1 indicate the presence of epistasis of cream-colored alleles over pale yellow.

The established ratios do not contradict the studies of other scientists who obtained results on the presence of digital control of the white color of petals of mustard flowers (Singh et al, 1964; Rawat & Anand, 1986; Brar et al, 1991). In their studies, several splits were also obtained with a ratio of 12:3:1. The light yellow and creamy colors of the flower petals we obtained cannot be called white, as described in other scientific studies (Singh et al, 1964; Rawat & Anand, 1986; Brar et al, 1991). Each researcher can describe them with different phrases, so perhaps one of these types of coloring is just that. To identify now we do not have the opportunity.

Further study of these varieties and a more detailed study of the detected types of color will make it possible to identify additional genes.

It is proved that the cream coloring of the mustard flower petals in Dijonka and Retro varieties is due to one gene in a recessive state, and the pale yellow color of mustard flowers in Svetlana is caused by another gene in a recessive state. The resulting cleavages of 12:3:1 indicate the presence of epistasis of cream-colored alleles over pale yellow.

*Key words:* gene, mustard, petal color, crossing, inheritance.