

Наследование желтой окраски у сафлора красильного, *Carthamus tinctorius* L.

Т.В. Леус

Институт масличных культур Национальной академии аграрных наук Украины, Запорожская область, пос. Солнечный, Украина

Сафлор красильный – *Carthamus tinctorius* L. – малораспространенная культура, генетика которой слабо изучена. Исследователи выделяют 4 типа окраски цветков: красную, оранжевую, желтую и белую. Данные о наследовании окраски неполные и противоречивые. Цель работы – изучение наследования желтой окраски цветков у сафлора. Исследования проводились в 2009–2013 гг. Были использованы 11 образцов с красной, оранжевой, желтой и белой окраской венчика. Образцы были получены в результате самоопыления в течение нескольких лет. Для генетического анализа были использованы результаты искусственного и свободного опыления. Во время искусственного опыления для кастрации материнских цветков были использованы две методики: методика массовой кастрации цветков с помощью целлофанового изолятора, применяемая в Индии, и разработанная нами методика смыва пыльцы. Статистическая обработка проводилась с использованием метода χ^2 . Показано, что существует несколько типов наследования признака желтой окраски. При скрещивании растения с желтыми цветками с растением с другой окраской цветков гибриды первого поколения имели желтую окраску. В поколении F_2 в расщеплении наблюдались все 4 типа окраски, а растения с желтой окраской цветков представляли самый большой класс. Реже наблюдалась ситуация, когда во втором поколении выщеплялось меньшее количество растений с желтой окраской цветка при преобладании растений с окраской венчика другого типа. При этом желтая окраска не наблюдалась у участвовавших в скрещивании родительских растений. Доминантный ген, обуславливающий развитие желтой окраски, предложено обозначать буквой *C* (от англ. *Chrome*). Рецессивный аллель этого гена дает возможность проявления других типов окраски.

Ключевые слова: сафлор, скрещивание, наследование, окраска цветков, *Carthamus tinctorius* L., *Asteraceae*.

Inheritance of yellow colour in safflower (*Carthamus tinctorius* L.)

T.V. Leus

Institute of Oilseed Crops of the National Academy of Agricultural Sciences of Ukraine, Zaporozhskaya oblast, settlement Solnechny, Ukraine

Safflower is a minor crop, and its genetics is poorly known. Four types of safflower corolla color are recognized: red, orange, yellow, and white. As the information on color inheritance is incomplete and contradictory, we aimed to study the inheritance of yellow color in safflower. The research conducted in 2009–2013 involved 11 accessions with red, orange, yellow, and white corollae. Samples were obtained by self-pollination for several years. Their progenies by open and controlled pollination were genetically analyzed. Two emasculation techniques were used in artificial pollination: the Indian mass-emasculation technique with polythene bags and the washout pollen technique we've elaborated. The results were evaluated by the Chi-square test. They revealed several types of yellow color inheritance. Crosses of a yellow-corolla plant to a plant with another corolla color yielded yellow-corolla F_1 progenies. Segregation of F_2 produced all the four colors, the yellow color being the most abundant. However, when the parental plants had corolla colors other than yellow in some cases F_2 contained fewer yellow-corolla plants, while other corolla colors were predominant. The dominant gene determining the yellow color is proposed to be designated as *C* for *Chrome*. The recessive allele of this gene permits the development of other corolla colors.

Key words: safflower, breeding, inheritance, flower color, *Carthamus tinctorius*, *Asteraceae*.

КАК ЦИТИРОВАТЬ ЭТУ СТАТЬЮ?

Леус Т.В. Наследование желтой окраски у сафлора красильного, *Carthamus tinctorius* L. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2015;19(1):58-62.

HOW TO CITE THIS ARTICLE?

Leus T.V. Inheritance of yellow colour in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii – Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2015;19(1):58-62.

УДК 633.854.797:631.524.7

Поступила в редакцию 09.10.2014 г.

Принята к публикации 26.12.2014 г.

© АВТОР, 2015



e-mail: tatiana_leus@list.ru

Центр происхождения сафлора – Средиземноморье, родина – Эфиопия и Афганистан. Растение было известно в Древнем Египте, до нашей эры его выращивали в Индии, Китае. В Европу сафлор завезен арабами (Бартенев, 1956). Этот представитель семейства Сложноцветные (*Asteraceae*) относится к числу древнейших сельскохозяйственных культур, возделываемых человеком. Это неприхотливое растение, хорошо выдерживающее резкие колебания температуры и нетребовательное к почвам.

Сафлор красильный (*Carthamus tinctorius* L.) входит в число так называемых редко используемых культур, несмотря на то что упоминания о нем встречаются еще до нашей эры. Его посевные площади ограничены, и выращивают его в немногих странах (Dajue, Mündel, 1996). На сегодняшний день около половины урожая сафлора приходится на Индию. Сафлор используют как кормовое растение, в технических и декоративных целях, в медицине, однако в основном сейчас он популярен как масличное растение (Мамот, 1952; Bradley et al., 1999; Ji et al., 2009) для пищевых и технических целей. Масло сафлора сходно с подсолнечным (Минкевич, Борковский, 1952).

Исторически сафлор начал возделываться как источник ценного красящего вещества – красного картамина (Бартенев, 1956). Это гликозид, трудно растворимый в воде, но хорошо растворяющийся в щелочах и спирте. Он хорошо окрашивает ткани в красный и розовый цвет. Помимо красного картамина цветки сафлора содержат менее ценный пигмент – сафлор гельб желтого цвета, который, напротив, водорастворим.

В классификаторе ВИР (Классификатор ..., 1985) выделены типы окраски для бутона, распустившегося и увядающего цветка. Согласно этим данным, окраска бутона делится на белую, желтую и пурпурно-красную. Для распустившегося цветка выделены белая, желтая и оранжево-красная окраска венчика, а для увядающего – белая, желтая, оранжевая и красная. В ВОС-тесте (UPOV TG/134/3, 1990) выделены три типа окраски для распустившегося цветка: белая, желтая и оранжевая. Дополнительно ВОС-тестом выделен признак смены окраски венчика.

Сафлор считается самоопылителем, однако факторы окружающей среды могут увеличивать процент перекрестного опыления до 50. Пloidность $2n = 24$ (Dajue, Mündel, 1996).

Наследование окраски цветков у сафлора изучалось ранее, однако данные эти неполные и противоречивые. B.N. Narkhede и A.B. Deokar указывают на существование пяти генов, ответственных за окраску цветков (Narkhede, Deokar, 1986; Narkhede et al., 1989). Гены *R*, *O*, *C* и *Y* упоминаются и другими исследователями (Golkar et al., 2010). Их комбинации формируют красную, оранжевую, желтую и серовато-белую окраску венчика. Пятый ген, *P*, отвечающий за формирование пурпурной

окраски, в других источниках не встречается. Нет образцов с пурпурной окраской и в нашей коллекции.

Целью нашей работы было выяснение характера наследования желтой окраски у цветков сафлора красильного.

Материалы и методы

Изучение наследования окраски цветков сафлора проводилось в питомнике Института масличных культур НААН с 2009 по 2013 гг. В исследовании мы применяли гибридологический метод (Тихомирова, 1990; Проценко, 1991). Закладка опытов производилась, согласно методикам (Доспехов, 1965), селекционному опытному делу. Опыты закладывались вручную в питомнике на 4–6 рядовых делянках двухметровой длины, ширина междурядий – 0,35 см (площадь 2,8–4,2 м²), ширина между делянками – 0,7 см. Посев производился в первой половине апреля.

Для определения характера наследования были использованы результаты свободного опыления и скрещиваний. В эксперименте принимали участие 11 образцов сафлора. Образцы 157/1 UE0900046, Медовый UE0900039 (149/3.3), Салют UE0900051 (91/1) имеют желтую окраску (рисунок, а). Курчавый UE0900044, Огонек UE0900040 (47/1), Искорка UE0900043 (171) – оранжевую (рисунок, б). БПК2 UE0900049, Рассвет UE0900042, 129/к UE0900045, Розочка UE0900038 (63) – красную (рисунок, в) и Белоцветковый неколючий UE0900035 (152) – белую (рисунок, г). Образцы получены путем самоопыления в течение нескольких лет.

Для кастрации материнских растений были использованы две методики. Методика, используемая для массовой кастрации цветков, применяется в Индии (Dajue, Mündel, 1996). При этом на растении выбираются 5–10 хорошо развитых головок на 4–5 ветках и изолируются полиэтиленовыми изоляторами. Остальные ветви обрезаются. Повышенная температура и влага внутри изолятора предотвращают самоопыление. Когда зацветает половина цветков, производят опыление, для более успешного результата процедуру проводят три дня подряд. Чтобы избежать загнивания и возникновения заболеваний, в конце цветения полиэтиленовые изоляторы заменяют бумажными или тканевыми. Данная методика была использована нами в измененном виде: оставшиеся свободными ветви не обрезают, а использовали как отцовские растения. Вторая использованная методика смыва пыльцы разработана нами. Созревший бутон вскрывается за 1–2 дня до цветения, после чего верхняя часть цветка вместе с пыльниками разрывается тонкой иглой. Когда все цветки таким образом вскрыты, корзинку прополаскивают в стакане с водой. После этого цветки накрывают изоляторами и 1–2 дня ждут вытягивания пестиков. Опыление производят несколько дней подряд до полного отцветания



Окраска венчика сафлора: желтая (а); оранжевая (б); красная (в); белая (г).

корзинки (Леус, Ведмедева, 2013). Перенос пыльцы с отцовского растения на материнское осуществлялся мягкой кисточкой. Таким образом были получены гибриды F_1 от скрещивания.

Отбор гибридов F_1 от свободного опыления проходил следующим образом. От нескольких растений материнской линии, не накрытых изоляторами, были взяты и высеяны семена. Полученные из них растения проверялись на сходство с материнской линией по таким морфологическим признакам, как окраска цветков и наличие колючек. Растения, отличавшиеся от материнской линии, были признаны гибридными.

Гибриды F_2 были получены путем самоопыления гибридов F_1 .

Статистическая обработка проводилась с использованием метода χ^2 (Лакин, 1990).

Результаты

Четыре гибрида F_1 от скрещивания дали поколение F_2 . Также поколение F_2 получено от 7 гибридов F_1

от свободного опыления. Еще от 13 скрещиваний имеются только гибриды первого поколения. По совокупности этих данных был проведен генетический анализ.

При скрещивании растения с желтыми цветками с растением с другой окраской цветков гибриды первого поколения имели желтую окраску (табл. 1). При этом в поколении F_2 в расщеплении наблюдались все 4 типа окраски (желтая, оранжевая, красная и белая), а растения с желтой окраской цветков представляли самый большой класс. В результатах, полученных от свободного опыления, аналогичная ситуация наблюдалась в 6 случаях из 7.

Реже наблюдалась ситуация, когда во втором поколении выщеплялось меньшее количество растений с желтой окраской цветка при преобладании растений с окраской венчика другого типа. При этом желтая окраска не наблюдалась у участвовавших в скрещивании родительских растений (табл. 2).

Мы предположили существование доминантного гена, контролирующего развитие желтой окраски. Чтобы это проверить, мы объединили растения с оранжевыми

Таблица 1. Наследование желтой окраски по доминантному типу

Номер/ год скрещивания	Комбинация скрещивания	F ₁	Окраска потомков F ₂			Модель	Теоретические частоты	χ ²
			желтая	оранжевая и красная	белая			
85/2011	♀152 × ♂N	ж	19	4	6	9 : 3 : 4	16,3:5,4:7,2	1,04
92/2011	♀63 × ♂N	ж	14	4	–	3 : 1	13,5:4,5	0,07
86/2012	♀БПК2 × ♂N	ж	114	35	–	3 : 1	111,8:37,3	0,18
101/2012	♀152 × ♂N	ж	14	6	6	9 : 3 : 4	14,6:4,9:6,5	0,32
110/2012	♀152 × ♂N	ж	66	17	22	9 : 3 : 4	59,1:19,7:26,3	1,87
123/2012	♀47/1 × ♂N	ж	169	54	–	3 : 1	167,3:55,3	0,07
128-130/2012	♀129/к × ♂91/1	ж	46	19	–	3 : 1	48,8:16,3	0,62
115-116/2013	♀152 × ♂149/3.3	ж	175	59	87	9 : 3 : 4	180,6:60,2:80,3	0,76

N – неизвестная отцовская форма при свободном опылении; ж – желтая окраска венчика.

Таблица 2. Появление желтой окраски во втором поколении

Номер/ год скрещивания	Комбинация скрещивания	F ₁	Окраска потомков F ₂			
			желтая	оранжевая	красная	белая
98-100/2012	♀152/2 × ♂N	ор	13	54	25	28
112/2013	♀152 × ♂171	ор	36	117	47	66
113/2013	♀152 × ♂171	ор	20	61	21	47

N – неизвестная отцовская форма при свободном опылении, ор – оранжевая окраска венчика.

и красными цветками в один класс. Данные представлены в табл. 1.

В скрещиваниях участвовали растения со всеми 4 типами окраски венчика. В первом поколении наблюдалось единообразие – все растения имели желтую окраску цветков. Во втором поколении наблюдалось расщепление на 2 класса по схеме 3 : 1 или на 3 класса по схеме 9 : 3 : 4, если при создании потомков F₁ участвовали растения с белыми цветками. При этом в потомстве F₂ преобладала доля растений с желтой окраской цветков. Подсчет χ² показал отклонение эмпирических частот от теоретических в рамках допустимых значений.

Таким образом, при расщеплении 3 : 1 желтые цветки образовывались при наличии гетерозиготного или доминантного состояния растений по гену, контролирующему желтую окраску. В случае рецессивной гомозиготы проявлялась красная или оранжевая окраска венчика цветка сафлора. При расщеплении 9 : 3 : 4 белая окраска проявлялась при наличии рецессивной гомозиготы по гену-ингибитору окраски *u*. Доминантный аллель гена *Y* дает возможность проявления других типов окраски. Этот аллель гена *Y* в комбинации с доминантным аллелем гена, отвечающего за желтую окраску, в фенотипе дает желтую окраску венчика. При наличии доминантного аллеля гена *Y* и рецессивной гомозиготы по гену, отвечающему за развитие желтой окраски, проявляется красная или оранжевая окраска венчика.

Обсуждение

Изучая окраску цветков сафлора, В.Н. Narkhede и А.В. Deokar (1986) первыми дали названия генам, ответственным за ее формирование. Согласно им, доминантный ген *C* (от слова *Cyan*) обуславливает развитие белой окраски, *Y* – желтой, *R* – красной и *O* – оранжевой. Однако дальнейшие исследования показали, что белая окраска у сафлора не обуславливается доминантным геном, а наследуется по типу рецессивного эпистаза (Golzar et al., 2010; Леус, Ведмедева, 2012). Рассчитанные генотипы растений представлены в табл. 3.

По этим данным, рецессивный аллель гена *Y* в гомозиготном состоянии обуславливает белую окраску венчика. При наличии доминантного аллеля гена *Y* проявляются другие типы окраски. За проявление желтой окраски отвечает доминантный аллель гена *C*. Чтобы убрать возникающее противоречие, мы предлагаем его обозначать как *C* (от англ. слова *Chrome* – желтый цвет). Тогда растение с генотипом *Y-C-* будет иметь желтую окраску венчика, с *ууС-* и *уусс* – белую, а при генотипе *Y-сс* будет проявляться красная или оранжевая окраска.

В наших скрещиваниях гибриды первого поколения, имеющие желтую окраску цветков, имеют генотипы *YYCc* и *YyCc*. В скрещиваниях 85/2011, 101/2012, 110/2012 и 115-116/2013 гибриды второго поколения желтого цвета имеют генотипы *YYCC*, *YYCc*, *YyCC* и *YyCc*. Растения с белой окраской венчика имеют ге-

Таблица 3. Генотипы растений, согласно данным зарубежных исследователей

Генотипы	По: Narkhede и Deokar (1986)	По: Golkar et al. (2010)
<i>rrOOYCC</i>		белый
<i>rrOOYyC-</i>	белый	белый
<i>R-ooYyC-</i>	белый	
<i>rrO-yyC-</i>	белый	
<i>R-O-yyC-</i>	белый	
<i>rrOOY-C-</i>	красный	желтый
<i>rrO-Y-C-</i>	желтый	
<i>R-O-Y-C-</i>	желтый	
<i>rrOOY-cc</i>		оранжевый

нотипы *уусс*, *ууСс*, *ууСС* и растения с красными и оранжевыми цветками – генотипы *Уусс* и *УУсс*. В скрещиваниях 92/2011, 86/2012, 123/2012, 128-130/2012 гибриды второго поколения с желтой окраской венчика цветка имеют генотипы *УУСС* и *УУсс*, красной и оранжевой – *УУсс*.

У номеров 128-130/2012 и 115-116/2013 мы имеем возможность определить генотипы родителей. Генотип образца 129/к будет *УУсс*, 91/1 и 149/3.3 – *УУСС* и 152 – *уусс*.

В скрещиваниях 98-100/2012, 112/2013, 113/2013 (табл. 2) в F_2 наблюдалось появление меньшей доли растений с желтой окраской цветка при преобладании доли растений с оранжевой. Можно предположить, что в этом случае за проявление желтой окраски отвечают другие гены. Вероятно, что разные их комбинации обеспечивают формирование желтых, красных и оранжевых цветков, однако для генетического анализа этих признаков недостаточно данных.

Таким образом, установлено, что в образцах Медовый (UE0900039) и Салют (UE0900051) желтая окраска цветков обусловлена одним доминантным аллелем гена, обозначенного *С*. Рecessивный аллель этого гена дает возможность проявляться действию других генов, обуславливающих оранжевую и красную окраски.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

Бартенев Д.И. Сафлор и его применение. Ученые записки. 1956;3:(8):173-183.
Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1965.
Классификатор вида *Carthamus tinctorius* L. (сафлор красильный) (Под ред. В.А. Корнейчук). Л.: ВИР, 1985.
Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1990.

Леус Т.В., Ведмедева Е.В. Наследование признака белой окраски цветков у некоторых образцов сафлора красильного. Вісник харківського національного аграрного університету. Серія біологія. 2012;16:25:92-95.
Леус Т.В., Ведмедева К.В. Спосіб схрещування сафлора красильного. Патент № 84640 від 25.10.2013. Промислова власність. Офіційний бюлетень, 2013;20.
Мамот Я.Г. О колючках у сафлора. Изд. Акад. наук Узбекской ССР. 1952; № 2.
Минкевич И.А., Боровский В.Е. Масличные культуры, изд. 2. М.: Сельхозгиз, 1952.
Проценко Н.В. Генетический словарь. Киев, 1991.
Тихомирова М.М. Генетический анализ Л.: ЛГУ, 1990.
Bradley V.L., Guenther R.L., Johnson R.C., Hannan R.M. Evaluation of Safflower Germplasm for Ornamental Use. Perspectives on new crops and new uses. Alexandria: ASHS Press, 1999: 433-435.
Golkar P., Arzani A., Rezaei A. M. Inheritance of flower colour and spinelessness in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). J. Genet. 2010;89(2):259-262.
Dajue L., Mündel H.-H. Safflower. *Carthamus tinctorius* L. Promoting the conversation and use of underutilized and neglected crops. Rome: IPGRI, 1996.
Ji D.B., Zhang L.Y., Li C.L., Ye J., Zhu H.B. Effect of Hydroxysafflor yellow A on human umbilical vein endothelial cells under hypoxia. Vascular Pharmacology. 2009;50(3/4):137-145.
Narkhede B.N., Deokar A.B. Inheritance of corolla colour in safflower. J. of Maharashtra Agricultural Univ. 1986;11:278-281.
Narkhede B.N., Deokar A.B., Patil A.M. Genetics of corolla colour in Safflower: Abstr. Second Intern. Safflower: Abstracts Second International Safflower Conference, Hyderabad, India January 9–13. Agricultural Res. Station. 1989.
UPOV TG/134/3 Guidelines for the conduct of tests for distinctness, homogeneity and stability. International union for the protection of new varieties of plants, 1990.