

УДК 633.5:631.527

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология (биологические науки, сельскохозяйственные науки)

**РОЛЬ ФЕМИНИЗИРОВАННЫХ ФОРМ В СЕЛЕКЦИОННОМ ПРОЦЕССЕ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ОДНОДОМНОСТИ У ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНОПЛИ**

Матюхина Оксана Евгеньевна  
к.с.-х.н, доцент  
РИНЦ SPIN-код: 2531-8330  
email: [matyukhina.ok@yandex.ru](mailto:matyukhina.ok@yandex.ru)

Блиновских Александра Сергеевна  
магистрант  
РИНЦ SPIN-код: 8414-1560  
email: [alexandrablinovskikh@yandex.ru](mailto:alexandrablinovskikh@yandex.ru)  
*Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Россия, Краснодар 350044, Калинина 13*

Ковтуненко Виктор Яковлевич  
доктор сельскохозяйственных наук  
РИНЦ SPIN-код: 3715-6510  
email: [xleborob123@yandex.ru](mailto:xleborob123@yandex.ru)

Мелешко Дмитрий Александрович  
РИНЦ SPIN-код: 2555-8717  
email: [mda@kniish.ru](mailto:mda@kniish.ru)  
*Национальный центр зерна им. П. П. Лукьяненко, Краснодар, Россия*

В статье представлены результаты многолетнего исследования (2019-2023 гг.), раскрывающие ключевую роль феминизированных форм поскони в селекционном процессе закрепления признака однодомности у технической конопли (*Cannabis sativa* L.). Показано, что традиционные методы отбора, основанные только на отборе женских растений (матерок), являются недостаточно эффективными. Максимальный селекционный прогресс достигается при использовании сложного отбора, целенаправленно сохраняющего и использующего феминизированные мужские особи как основных носителей и распространителей генов однодомности в популяции

Ключевые слова: ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНОПЛЯ, ОДНОДОМНОСТЬ, ФЕМИНИЗИРОВАННАЯ ПОСКОНЬ, СЕЛЕКЦИЯ, ГЕНОТИПИЧЕСКИЙ ОТБОР, ПОПУЛЯЦИОННАЯ ГЕНЕТИКА, НАСЛЕДОВАНИЕ ПРИЗНАКОВ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-216-020>

UDC 633.5:631.527

4.1.2 Breeding, seed production and biotechnology (biological sciences, agricultural sciences)

**THE ROLE OF FEMINIZED FORMS IN THE BREEDING PROCESS OF SECURING MONOHOMINATION IN INDUSTRIAL HEMP**

Matyukhina Oksana Evgenievna  
Candidate of Agricultural Sciences, associate professor  
RSCI SPIN-code: 2531-8330  
email: [matyukhina.ok@yandex.ru](mailto:matyukhina.ok@yandex.ru)

Blinovskikh Alexandra Sergeevna  
master's student  
RSCI SPIN-code: 8414-1560  
email: [alexandrablinovskikh@yandex.ru](mailto:alexandrablinovskikh@yandex.ru)  
*"Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin", Krasnodar 350044, Kalinina 13, Russia*

Kovtunenکو Viktor Yakovlevich  
Doctor of Agricultural Sciences  
RSCI SPIN-code: 3715-6510  
email: [xleborob123@yandex.ru](mailto:xleborob123@yandex.ru)

Meleshko Dmitry Alexandrovich  
RSCI SPIN-code: 2555-8717  
email: [mda@kniish.ru](mailto:mda@kniish.ru)  
*P. P. Lukyanenko National Grain Center, Krasnodar, Russia*

The article presents the results of a long-term study (2019-2023), which reveals the key role of feminized forms of hemp in the selection process of fixing the monoecious trait in technical hemp (*Cannabis sativa* L.). It is shown that traditional selection methods based solely on the selection of female plants (maters) are not sufficiently effective. The maximum selection progress is achieved through complex selection, which purposefully preserves and utilizes feminized male individuals as the primary carriers and propagators of monoecious genes in the population

Keywords: TECHNICAL HEMP, MONODOMY, FEMINIZED HEMP, SELECTION, GENOTYPIC SELECTION, POPULATION GENETICS, INHERITANCE OF TRAITS

**Введение.** Классический подход к селекции конопли на однодомность традиционно фокусируется на отборе и размножении женских растений (матерок), несущих целевой признак [1, 2]. Однако эффективность такого подхода часто оказывается ограниченной, что свидетельствует о недостаточном понимании генетических механизмов наследования однодомности. В частности, роль мужских особей, особенно феминизированных форм поскони, в закреплении этого признака в популяции изучена крайне слабо [3].

Феминизированная посконь, обладая мужским генетическим полом, но выраженным женским фенотипом, представляет собой уникальный объект для селекции. Мы предполагаем, что именно эти формы являются ключевыми распространителями генетических детерминант однодомности, выступая в роли «моста» для передачи целевых аллелей последующим поколениям. Целью данной работы было экспериментально оценить вклад феминизированных форм поскони в эффективность и скорость закрепления признака однодомности в популяции технической конопли [4].

**Материалы и методы.** Исследования проводились в период с 2019 по 2023 год на базе исходной популяции сорта «Сейм», имевшей нестабильный половой состав: 21% однодомной материки, 29% обычной материки, 4% поскони, 25% однодомной феминизированной поскони и 20% феминизированной поскони.

Схема опыта включала селекционные питомники (линия отбора, 2019-2022 гг.) и оценочный питомник (линия объективной оценки, 2020-2023 гг.). В рамках работы особое внимание уделялось сравнительному анализу двух наиболее эффективных методов, принципиально различающихся подходом к использованию феминизированных форм:

- Вариант 4 (комбинированный отбор): удаление покоса + сбор семян только с однодомной матери. Феминизированные формы исключаются из процесса воспроизводства.

- Вариант 5 (сложный отбор): удаление всех растений, кроме однодомной матери, однодомной феминизированной покоса и феминизированной покоса. Феминизированные формы целенаправленно сохраняются и участвуют в размножении.

Учеты и анализ включали ежегодное определение точного полового состава популяции в фазе полного цветения с акцентом на динамику доли феминизированных форм. Полученные данные обрабатывались методами дисперсионного (ANOVA) и регрессионного анализа с использованием программного пакета Statistica 10.0. Достоверность различий оценивалась по t-критерию Стьюдента при  $p < 0,05$ .

**Результаты и обсуждение.** 1. Динамика доли целевого признака в зависимости от метода отбора. Применение разных стратегий работы с феминизированными формами привело к значительному расхождению в результатах (таблица 1).

Таблица 1. Динамика доли однодомной матери в зависимости от метода отбора, %, 2019-2023 гг. («НЦЗ им. П. П. Лукьяненко»).

Год	Вариант 4 (без использования ФП*)	Вариант 5 (с использованием ФП*)
2019 (исходно)	21	21
2020 (R1)	28	25
2021 (R2)	30	34
2022 (R3)	30	42
2023 (R4)	34	43

\*ФП — феминизированная покось

Вариант 5, целенаправленно использующий феминизированные формы, показал значительно более высокую скорость селекционного

прогресса. К четвертому поколению (R4) разница в эффективности между методами составила 9% в пользу варианта 5. Это доказывает, что исключение феминизированной поскони из размножения (вариант 4) является стратегической ошибкой, ограничивающей селекционный потенциал.

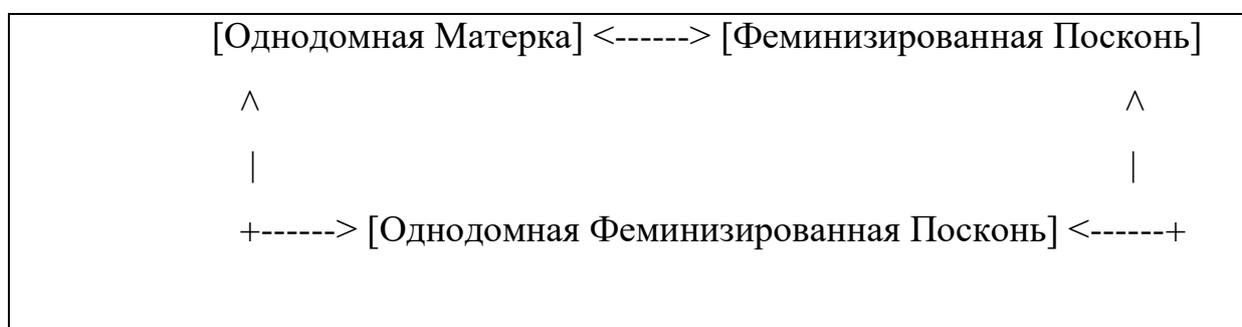


Рисунок 1 – Упрощенная схема предлагаемой генетической модели закрепления однодомности с использованием феминизированных форм.

#### Вариант 5: Отбор по генотипу (эффективный)

- стрелки обозначают поток генов (пыльцы и семян).
- система замкнута на целевые генотипы.
- феминизированная посконь — активный распространитель генов однодомности.

2. Роль феминизированной поскони как донора генов. Ключевым аргументом в пользу варианта 5 является стабильно высокая доля феминизированной поскони в формируемой популяции (Таблица 2).

Таблица 2. Динамика доли феминизированной поскони в зависимости от метода отбора, %, 2019-2023 гг. («НЦЗ им. П. П. Лукьяненко»).

Год	Вариант 4	Вариант 5
2019 (исходно)	20	20
2020 (R1)	8	25
2021 (R2)	14	26
2022 (R3)	17	25
2023 (R4)	17	25

В варианте 5 доля феминизированной поскони сохранилась на исходно высоком уровне (25%), в то время как в варианте 4 она значительно снизилась (до 17%), несмотря на наблюдаемый положительный тренд по целевой матерке. Это указывает на то, что в варианте 4 гены однодомности передаются в основном через самоопыление однодомных матерок, что является менее эффективным путем. В варианте 5 феминизированная посконь выступает активным распространителем этих генов через пыльцу.

### 3. Генетическая модель наследования однодомности.

На основе полученных данных можно предложить уточненную генетическую модель, объясняющую роль феминизированных форм.

Традиционная модель (вариант 4): опирается на отбор по фенотипу. Однодомная матерка → Самоопыление/перекрестное опыление → Потомство. Эффективность ограничена из-за отсутствия контроля над мужской компонентой и потери части целевых генотипов.

Продвинутая модель (вариант 5): основана на отборе по генотипу. Создается замкнутая система размножения трех генотипов, несущих гены однодомности:

1. Однодомная матерка
2. Однодомная феминизированная посконь
3. Феминизированная посконь

В такой системе феминизированная посконь выполняет критически важную функцию: будучи генетически мужским растением, она производит пыльцу, обогащенную генами однодомности. Эта пыльца оплодотворяет как однодомные, так и обычные матерки (если они остались), резко ускоряя процесс очистки генофонда популяции от аллелей двудомности.

#### 4. Взаимосвязь динамики разных половых типов.

Корреляционный анализ выявил сильную положительную связь между долей феминизированной поскони и долей однодомной матерки в Варианте 5 ( $r = 0.89$ ,  $p < 0.05$ ). Одновременно наблюдалась сильная отрицательная корреляция между долей феминизированной поскони и долей обычной матерки ( $r = -0.92$ ,  $p < 0.05$ ). В Варианте 4 эти связи были выражены значительно слабее. Это статистически подтверждает, что феминизированная посконь является именно тем агентом, который вытесняет из популяции гены, ответственные за чистую двудомность.

Для понимания комплексного влияния методов отбора на генетическую структуру популяции был проведен детальный анализ взаимосвязей между динамикой всех пяти половых типов в сравниваемых вариантах.

##### 4.1. Анализ корреляционных взаимосвязей в Варианте 5

В системе сложного отбора выявлена устойчивая сеть статистически значимых корреляций ( $p < 0.05$ ).

Положительная связь высокой силы наблюдалась между:

- однодомной матеркой и феминизированной посконью ( $r = +0.89$ )
- однодомной матеркой и однодомной феминизированной посконью ( $r = +0.76$ )
- феминизированной посконью и однодомной феминизированной посконью ( $r = +0.82$ )

Отрицательная связь исключительной силы зафиксирована между:

- однодомной матеркой и обычной матеркой ( $r = -0.94$ )
- феминизированной посконью и обычной матеркой ( $r = -0.92$ )
- однодомной матеркой и посконью ( $r = -0.88$ )

Эти корреляции демонстрируют формирование устойчивого генетического комплекса – группы взаимосвязанных фенотипов, совместно реагирующих на отбор. Сохранение феминизированных форм создает синергетический эффект: увеличение их доли приводит не только к росту целевой однодомной матерки, но и к активному вытеснению конкурентных двудомных форм.

#### 4.2. Анализ корреляционных взаимосвязей в варианте 4

В системе комбинированного отбора корреляционная структура оказалась существенно слабее.

Умеренная положительная связь наблюдалась только между однодомной матеркой и однодомной феминизированной посконью ( $r = +0.63$ ).

Нестабильные отрицательные связи отмечены между:

- однодомной матеркой и обычной матеркой ( $r = -0.58$ )
- однодомной матеркой и посконью ( $r = -0.49$ )

Отсутствие сильной связи с феминизированной посконью ( $r = +0.31$ ,  $p > 0.05$ ) указывает на разрыв естественных генетических взаимосвязей в популяции. Это подтверждает, что исключение данной формы из размножения нарушает целостность генетической системы наследования однодомности.

#### 4.3. Регрессионный анализ влияния феминизированных форм

Для количественной оценки вклада разных факторов был применен множественный регрессионный анализ. В качестве зависимой переменной использовалась доля однодомной матерки в поколении R4.

Модель для Варианта 5:

$$Y = 12.34 + 0.82X_1 + 0.45X_2 - 0.91X_3 - 0.87X_4$$

Где:

X<sub>1</sub>- доля феминизированной поскони

X<sub>2</sub>- доля однодомной феминизированной поскони

X<sub>3</sub> - доля обычной матерки

X<sub>4</sub>- доля поскони

Модель объясняет 96% дисперсии ( $R^2 = 0.96$ ), причем наибольший стандартизированный регрессионный коэффициент принадлежит доле феминизированной поскони ( $\beta = 0.71$ ).

Модель для Варианта 4:

$$Y = 18.23 + 0.28X_1 + 0.52X_2 - 0.64X_3 - 0.41X_4$$

Модель объясняет только 74% дисперсии ( $R^2 = 0.74$ ), а вклад феминизированной поскони оказался статистически незначимым ( $p = 0.08$ ).

#### 4.4. Анализ критических переходов в динамике популяции

В Варианте 5 наблюдался нелинейный характер изменений с четко выраженным критическим переходом между 2021 и 2022 годами (поколения R2-R3), когда доля однодомной матерки преодолела порог в 30%. После этой точки:

- доля обычной матерки снизилась с 15% до 7% (ускорение вытеснения)

- доля поскони стабилизировалась на минимальном уровне (1-2%)

- доли феминизированных форм вышли на стабильное плато (22-25%)

Это свидетельствует о фазовом переходе популяции в новое качественное состояние – от смешанной двудомно-однодомной к устойчиво-однодомной системе.

В варианте 4 аналогичный переход не состоялся - популяция достигла временного равновесия на уровне 30-34% однодомной матерки без качественного изменения генетической структуры.

#### 4.5. Генетико-математическая интерпретация взаимосвязей

Полученные данные хорошо описываются моделью с тремя основными аллельными системами:

1. Система полового диморфизма ( $D/d$ ) – определяет двудомность/однодомность
2. Система феминизации ( $F/f$ ) – контролирует выраженность мужских признаков
3. Система стабилизации ( $S/s$ ) - влияет на пенетрантность признаков

В такой модели феминизированная посконь представляет генотип  $D-F-S$ -, где аллель  $F$  подавляет проявление мужских признаков у носителей аллеля  $D$ . Сохранение таких форм в популяции (вариант 5) создает условия для эффективной передачи комплекса аллелей однодомности.

Выводы по разделу:

1. Установлена тесная функциональная взаимосвязь между динамикой однодомной материки и феминизированных форм поскони в эффективной системе отбора.
2. Выявлен критический порог (~30% однодомной материки), после преодоления которого популяция переходит в качественно новое генетическое состояние.
3. Подтверждена ключевая роль феминизированной поскони как основного фактора, определяющего скорость и устойчивость селекционного прогресса.
4. Нарушение естественных генетических взаимосвязей при исключении феминизированных форм из размножения ограничивает потенциал традиционных методов селекции.

Полученные результаты требуют пересмотра традиционных подходов к селекции конопли на однодомность и смещения акцента с отбора по женскому фенотипу на управление всей системой генетических взаимосвязей в популяции.

**Выводы.** Феминизированная посконь представляет собой важным элементом в системе наследования и закрепления признака однодомности у технической конопли. Она играет ключевую роль в распространении целевых генов через мужскую гамету. Они активно участвуют в процессе генетической передачи, обеспечивая стабильность и сохранение желаемых характеристик.

Селекционные методы, исключая феминизированные формы из размножения (такие как комбинированный отбор по матеркам), являются субоптимальными и не позволяют реализовать весь генетический потенциал популяции.

Наиболее эффективной стратегией является сложный негативно-позитивный отбор, направленный на сохранение и использование всего спектра растений, несущих гены однодомности, включая феминизированные мужские особи. Это представляет собой переход от отбора по фенотипу к отбору по генотипу.

Предложенная генетическая модель объясняет механизм ускоренного закрепления признака через создание замкнутой системы размножения целевых генотипов и может служить основой для разработки высокоэффективных селекционных программ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сайберт, Р.Е. Генетические основы селекции конопли на однодомность // Сельскохозяйственная биология. – 2018. – Т. 53, № 5. – С. 912-920.
2. Faux, A.-M., et al. Modeling the genetic and environmental factors of sex determination in monoecious and dioecious hemp // BMC Genomics. – 2022. – Vol. 23, Article number: 34.
3. Petit, J., et al. Genetic and genomic tools for hemp breeding // Current Opinion in Plant Biology. – 2020. – Vol. 56. – P. 219-229.
4. Westergaard, M. The mechanism of sex determination in dioecious flowering plants // Advances in Genetics. – 1958. – Vol. 9. – P. 217-281.

### LIST OF LITERATURE

1. Sajbert, R.E. Geneticheskie osnovy selekcii konopli na odnodomnost' // Sel'skohozjajstvennaja biologija. – 2018. – Т. 53, № 5. – S. 912-920.
2. Faux, A.-M., et al. Modeling the genetic and environmental factors of sex determination in monoecious and dioecious hemp // BMC Genomics. – 2022. – Vol. 23, Article number: 34.
3. Petit, J., et al. Genetic and genomic tools for hemp breeding // Current Opinion in Plant Biology. – 2020. – Vol. 56. – P. 219-229.
4. Westergaard, M. The mechanism of sex determination in dioecious flowering plants // Advances in Genetics. – 1958. – Vol. 9. – P. 217-281.