

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья
УДК 633.521:67.05
DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-112-126



Методика определения качества волокна льна по малым пробам с использованием универсальной разрывной машины Instron 5943

А. В. Павлов, Н. Б. Брач, Е. А. Пороховинова, Е. К. Хлесткина

*Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений
имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия*

Автор, ответственный за переписку: Елизавета Александровна Пороховинова, e.porohovinova@vir.nw.ru

Актуальность. Длительное время селекция льна-долгунца была направлена на повышение урожайности волокна, что привело к ухудшению его качества. Для анализа качественных характеристик волокна требуется значительное его количество, что замедляет селекционный процесс. Необходима надежная методика оценки, позволяющая выявлять ценные генотипы при анализе небольшого количества материала.

Материалы и методы. Проанализированы 53 образца волокна, представляющие линейку по разрывной нагрузке (от 11 до 39 даН), по действующей (стандартной) и созданной нами (новой) методикам. Разработанная методика максимально приближена к стандартной. Отличия связаны с заменой устаревшего прибора ДВК60 на современное оборудование – Instron 5943, что позволяет уменьшить навеску единичной пробы в 6,5 раз. Изменения также коснулись методики отбора волокна для определения тонины.

Результаты. Новая методика незначительно завышает показатели: по разрывной нагрузке и относительной разрывной нагрузке расчетной (ОРНр) – на 9%, гибкости – на 12%, тонины – на 13%. Корреляционный анализ выявил большое сходство результатов, полученных по стандартной и новой методикам: разрывная нагрузка ($r = 0,88$), ОРНр ($r = 0,83$), гибкость ($r = 0,67$), тонина ($r = 0,69$). Дисперсионный анализ показал достоверное высокое влияние генотипа на результаты оценки волокна по разрывной нагрузке (92%), гибкости (75%), тонины (78%) и ОРНр (83%).

Заключение. Результаты, полученные по новой методике, сопоставимы с данными стандартной оценки. Методика позволит достоверно оценивать качество волокна у селекционного материала уже на 1–2-й год размножения одного растения, что уменьшит трудозатраты, ускорит отбор ценных генотипов.

Ключевые слова: *Linum usitatissimum*, лен-долгунец, лен чесаный, оценка на начальных этапах селекции, приборная оценка

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM-2022-0005 «Растительные ресурсы масличных и прядильных культур ВИР как основа теоретических исследований и их практического использования».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Павлов А.В., Брач Н.Б., Пороховинова Е.А., Хлесткина Е.К. Методика определения качества волокна льна по малым пробам с использованием универсальной разрывной машины Instron 5943. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(3):112-126. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-112-126

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-112-126

Flax fiber quality estimation technique for small samples using the Instron 5943 universal breaking device

Andrey V. Pavlov, Nina B. Brutch, Elizaveta A. Porokhovinova, Elena K. Khlestkina

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Elizaveta A. Porokhovinova, e.porohovina@vir.nw.ru

Background. Fiber flax breeding was for a long time targeted at increasing the fiber yield that entailed deterioration in its quality. A significant amount of fiber is required for the analyses of its quality characteristics, which slows down the breeding process. A reliable assessment technique is needed to select valuable genotypes by analyzing small amounts of material.

Materials and methods. Fifty-three fiber samples representing the breaking load range (from 11 to 39 daN) were analyzed with two tools: the conventional method (standard) and the proposed (new) one. The technique we have developed is as close as possible to the standard one. The differences are in the replacement of the outdated DVK60 device with modern equipment, Instron 5943, which reduced the weight of a single sample 6.5 times. This substitution also affected the fiber selection procedure for assessing its fineness.

Results. The new technique slightly overestimated the indicators: by 9% in breaking and rated relative breaking loads, 12% in flexibility, and 13% in fineness. Correlation analysis revealed high similarity between the results obtained with the standard and new methods ($r = 0.88$ for the breaking load, $r = 0.83$ for the rated relative breaking load, $r = 0.67$ for flexibility, and $r = 0.68$ for fineness). Analysis of variance showed a high significant effect of the genotype on the assessment results for the breaking load (92%), flexibility (75%), fineness (78%), and the rated relative breaking load (83%).

Conclusion. The results obtained with the new technique are comparable with the evaluation data quantified according to standard procedure. It will provide reliable assessment of fiber quality in breeding material as early as in the 1st or 2nd year of seed reproduction from a single plant, which will reduce labor costs and accelerate selection of valuable genotypes.

Keywords: *Linum usitatissimum*, fiber flax, combed flax, assessment at initial breeding stages, instrumental assessment

Acknowledgements: the experiments were conducted within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. FGEM-2022-0005 "Plant resources of oil and fiber crops at VIR as the basis for theoretical research and their practical utilization".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Pavlov A.V., Brutch N.B., Porokhovinova E.A., Khlestkina E.K. Flax fiber quality estimation technique for small samples using the Instron 5943 universal breaking device. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(3):112-126. (In Russ.). DOI: 10.30901/2227-8834-2025-3-112-126

Введение

К настоящему времени в селекции льна-долгунца достигнуты значительные результаты: созданы сорта, устойчивые к основным болезням, обладающие высокой урожайностью соломы и семян, высоким содержанием волокна в стебле, которое, вероятно, уже приближается к своему биологическому пределу. Однако длительный отбор на повышение урожайности не сопровождался достаточным контролем качественных характеристик волокна и выделением форм, сочетающих в себе все наилучшие показатели. Это привело к ухудшению потребительских свойств производимой продукции. Одной из причин данной ситуации является невозможность эффективного отбора селекционных образцов из-за отсутствия методик достоверной оценки характеристик качества волокна на небольшом количестве материала. Качество пряжи, вырабатываемой из льняного волокна, зависит в основном от таких его характеристик, как разрывная нагрузка, гибкость и тонина, которые определяют его прядильную способность.

В настоящее время существует множество различных методик предварительной оценки качества волокна льна. Все их можно разделить на две группы: без выделения волокна и с его выделением из стебля.

К первой группе относится оценка растений по морфологическим признакам. Она основана на предположении, что отбор лучших растений по показателям качества волокна можно вести на основании внешних признаков структуры растения. К ним относят общую высоту растения и техническую длину стебля, мыклость – отношение технической длины стебля к его диаметру, сбежистость – разность между диаметром стебля у семядольного колена и диаметром основания соцветия, количество листьев на стебле и другие признаки. Например, существует метод, который базируется на анализе средней длины междоузлия, ширины листового следа и диаметра стебля в вершинной, средней и комлевой части (Pashina, Pashin, 2009). Другой метод – автоматическая комплексная оценка качества, учитывающая среднюю общую длину стеблей, мыклость и удельную сбежистость по фотоизображению (Fedosova et al., 2012).

К данной группе относится и анатомический метод, основанный на анализе поперечного среза стебля льна. Он дает представление о количестве и качестве волокна, устойчивости к полеганию, продуктивности растения. Хорошим качеством обладают стебли, в которых техническое волокно состоит из некрупных на поперечном срезе, ровных по диаметру элементарных волокон граненой формы, которые плотно расположены в пучке, имеют толстые стенки, небольшой внутренний просвет, с минимальной степенью одревеснения (Duktova et al., 2014). Утолщение стенок элементарных волокон приводит к повышению гибкости волокна, однако при увеличении их диаметра наблюдается обратный эффект. Увеличение гибкости волокна способствует повышению прочности, но лишь до определенного предела, достигая максимума при значениях гибкости, равных 75–85 мм. Таким образом, наилучшими показателями обладает волокно, состоящее из клеток, диаметр которых находится в диапазоне 17–21 мкм при толщине их стенок не менее 7–10 мкм (Khlopov, 2018).

Использование микрофокусной рентгенографии, основанной на анализе оптической плотности отрезков стеблей льна, позволяет проводить отбор селекционного

материала по содержанию волокна. На базе таких изображений можно разработать программное обеспечение и проводить анализ снимков в автоматическом режиме (Bolshakova et al., 2016).

Ко второй группе оценки качества выделенного волокна относится органолептический метод, который включает субъективную экспертную оценку показателей, таких как тяжесть, мягкость, маслянистость, прочность, тонина и др. Этот метод требует минимальных временных затрат и основывается исключительно на знаниях и опыте эксперта (Dyagilev et al., 2015). К данной группе относится и действующая (стандартная) методика оценки, используемая нами при изучении коллекции льна ВИР (Arno et al., 1961).

С развитием технологий появляются и новые методы оценки, которые базируются на использовании современной приборной базы. Метод ближней инфракрасной спектроскопии (БИК) позволяет определить содержание целлюлозы в волокне. Качественное льняное волокно должно содержать не менее 70–80% целлюлозы. БИК-спектроскопия может служить альтернативой классическим методам определения содержания целлюлозы в волокне и костре (Belorukhov et al., 2017).

Термогравиметрический анализ позволяет с высокой точностью определять содержание основных полимерных компонентов волокна: целлюлозы, лигнина, гемицеллюлозы, пектиновых веществ, а также воды и зольных элементов, от которых зависят качественные характеристики волокна. Сканирующая электронная микроскопия позволяет оценить морфологические особенности микрофибрилл льноволокна и структурных компонентов стебля (Titok et al., 2006).

В зарубежных странах для определения показателей качества волокна применяют оборудование, используемое в текстильной промышленности. Так, для определения разрывной нагрузки применяют Statimatme (Германия), Instron (США), тонину устанавливают эталонным методом и методом воздушного потока, цвет волокна – спектрофотометром (Shimanskaya et al., 2020).

Существующие методы оценки волокна характеризуются значительной продолжительностью анализов и недостаточной точностью, они не в полной мере учитывают такой показатель, как прядильная способность волокна, на которую оказывает большое влияние невыравненность элементарных волокон в техническом волокне. При этом учитывается и такой показатель, как тонина волокна, а также коэффициент ее варьирования, что позволяет повысить эффективность отбора в процессе селекции (Pashin, Popova, 2024).

Все перечисленные методы имеют как положительные, так и отрицательные стороны: одни из них доступны и относительно нетрудоемки, но слабо достоверны, другие – очень трудозатратны, требуют специального дорогостоящего оборудования, но также не гарантируют достоверности результата.

Метод оценки волокна по его прядильной способности, без сомнения, является наиболее точным и достоверным, но он неприменим на начальных этапах селекции из-за отсутствия достаточного количества волокна. По нашему мнению, на втором месте по точности стоит приборная методика оценки, которая учитывает все основные показатели качества волокна. Однако приборная база, которая была инновационной для середины XX века, к настоящему времени устарела, что особенно актуально при анализе генотипов на начальных этапах селекции, когда имеется небольшое количество матери-

ла. При этом ГОСТ (GOST R 53484-2009, 2010), который распространяется на длинное трепаное льняное волокно, получаемое в результате заводской и не заводской обработки тресты, предписывает использовать прежнюю приборную базу. Поэтому *целью нашей работы* явилась разработка новой методики, которая была бы максимально приближена и не входила в противоречие со стандартной, но позволяла бы проводить технологическую оценку селекционного материала льна на 1–2 года раньше обычного, показывая сопоставимые результаты.

Материал и методы

Материал

По состоянию на 2024 г. коллекция льна-долгунца ВИР превышает 2500 образцов. В ней представлено широкое разнообразие образцов по всем изучаемым морфологическим (окраска венчика, семян) и хозяйственно ценным (высота растения, техническая длина, урожай соломы, волокна, семян, выход длинного и всего волокна, разрывная нагрузка, гибкость, тонины, относительная разрывная нагрузка расчетная (ОРНр), номер волокна) признакам. Однако из них лишь малое количество превосходит сорта-стандарты по комплексному сочетанию показателей качества волокна в стебле. Материалом для исследований послужили 43 образца льна-долгунца из основной и генетической коллекций ВИР, различающихся по характеристикам качества волокна. Кроме того, в опыте изучены сорта-стандарты: 'Светоч' (к-5333) в трех повторностях, 'К-6' (к-6815) в двух повторностях и 'Призыв 81' (к-7472) в пяти повторностях. Таким образом, общее количество проанализированного материала составило 53 образца (табл. 1).

В экспериментах использовали волокно, выделенное методом тепловой мочки из образцов, выращенных на полях научно-производственной базы (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» в 2010 г. Данное волокно проанализировали в 2011 г. по стандартной методике (Arno et al., 1961) с использованием гибкомера (Г-2) и динамометра (ДВК60). В дальнейшем весь материал хранили в сухом помещении без доступа света. В 2020 г. из него отобрали 53 образца. Набор представлял собой «линейку» по разрывной нагрузке волокна от минимума до максимума (через равные интервалы) – от 11 до 39 даН (Electronic Supplementary Materials, Suppl.)¹.

Стандартная методика определения качества волокна

Для оценки качества волокна по стандартной методике проводятся следующие стандартные процедуры.

- Подготовка проб:
 - из средней части длинного чесаного волокна вырезается отрезок 27 см;
 - из этого отрезка волокна (27 см) готовят 15 навесок по 420 мг для определения гибкости и разрывной нагрузки, а также 1 навеску 4–5 г для определения тонины;
 - навески укладывают в специальные книжки и помещают под 5 кг груза на 10 часов для выпрямления, при температуре воздуха 20°C и влажности 60–65%.
 - Гибкость волокна (**Flex_Old**, мм) измеряется по свободному провисанию обоих концов пряди с помо-

щью прибора Г-2, показывающего отклонения от горизонтали концов испытуемого образца при свободном провисании.

- Измерение разрывной нагрузки прядок (**Strength_Old**, даН) проводится на динамометре ДКВ60 после определения их гибкости.

- Таким образом, для определения гибкости и разрывной нагрузки выполняют 795 (53 × 15) анализов.

- Определение тонины (**Fin_Old**) проводят по следующему алгоритму:

- подготовленную прядку весом 4–5 г и длиной 27 см разрезают на 2 части на расстояние от середины в сторону ее вершины 1–2 см;

- более длинную (комлевую) часть пробы делят на 3 прядки, каждую прочесывают на длину 4–5 см от обрезанного края с помощью специального гребня (10 игл на 1 см);

- отступив 1–2 см от края обрезанной прядки, делают вырезку длиной 1 см, из каждой вырезки берет одна навеска весом 10 мг;

- в каждой навеске (весом 10 мг) подсчитывают количество технического волокна (**N_technF**);

- определяют среднее значение числа технических волокон для трех навесок по формуле [1]. Это значение показывает среднюю длину волокна (в см) весом 10 мг, что соответствует тонине, измеряемой в м/г:

$$\text{Fin_Old} = 10 \text{ мм} \times \text{N_technF} / 10 \text{ мг; м/г} \quad [1],$$

где **Fin_Old** – тонины волокна, измеренные по стандартной методике; **N_technF** – количество волокон; 10 мм – длина навески; 10 мг – масса навески.

Таким образом, для определения тонины выполняют 159 (53 × 3) анализов.

- Относительную расчетную разрывную нагрузку (ОРНр – **Qc_Old**) вычисляют по формуле [2]:

$$\text{Qc_Old} = 0,2 \times \text{Strength_Old} + 0,1 \times \text{Flex_Old} + 0,013 \times \text{Fin_Old} + 2,1 \quad [2],$$

где **Qc_Old** – ОРНр; **Strength_Old** – разрывная нагрузка, даН; **Flex_Old** – гибкость (мм); **Fin_Old** – тонины, измеренные по стандартной методике.

Статистическая обработка данных

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием программ MS Excel 10.0 и Statistica 7.0 (<http://statsoft.ru/home/textbook/default.html>). Число классов (Ivanter, Korosov, 2003) при ранжировании средних значений признаков качества волокна выборки образцов льна определяли по формуле [3]:

$$k = 1 + 3,32 \times \lg(n) \quad [3]$$

где **k** – количество классов; **n** – объем выборки.

При $n = 53$ количество классов (**k**) составляет 7.

Для выявления достоверности различий значений параметров качества волокна, оцененных по стандартной и новой методикам, использовали непараметрический U-критерий Манна – Уитни и параметрический t-критерий Стьюдента (Nasledov, 2012). Для определения влияния генотипа и методики изучения на признаки качества волокна проводили двухфакторный дисперсионный анализ (Nasledov, 2012).

¹ Приложение представлено в онлайн-формате. Электронная версия статьи: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2025-3-112-126> / See Electronic Supplementary Materials, Suppl., in the online version of this article: <https://doi.org/110.30901/2227-8834-2025-3-112-126>

Таблица 1. Список образцов льна, включенных в анализ**Table 1. The list of flax accessions used for the analyses**

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название / Name	Происхождение / Origin
к-6807 ¹	‘Оршанский 2’	Белоруссия, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию
к-7563	‘Новоторжский’	Россия, Торжок, Институт льна – обособленное подразделение Федерального научного центра лубяных культур
к-7697	‘Дашковский’	Белоруссия, Могилевская областная сельскохозяйственная опытная станция
к-7801	‘Алексим’	Россия, Торжок, Институт льна – обособленное подразделение Федерального научного центра лубяных культур
к-8288	‘Hermes’	Франция
к-8409	‘Кинельский 2000’	Россия, Самарская область, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П.Н. Константинова
к-8487	8212-9	Китай, Харбин, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences
к-8488	8643-10	– « –
к-8491	‘Boreal’	Франция, Terre de Lin
к-8493	‘Drakkar’	– « –
к-8494	‘Alizee’	– « –
к-8495	‘Melina’	– « –
к-8499	к-6084 × ГК-21	Россия, Санкт-Петербург, ВИР
к-8502	ГК-42 × к-7356	– « –
к-8504	‘Добрыня’	Россия, Псков, Псковский НИИСХ – обособленное подразделение Федерального научного центра лубяных культур
к-8505	‘Гладиатор’	Украина
к-8511	Y5I012	Китай, Чанша, Institute of Bast Fiber Crops, Chinese Academy of Agricultural Sciences”
к-8519	Y5I039	– « –
к-8529	Восход × Альфа, Л-1	Россия, пос. Михнево Московской обл. (бывшее Московское отделение ВИР)
к-8542	Родник × Балтучай, Л-1	– « –
к-8544	Т-16 × Успех, Л-2	– « –
к-8546	1071/4 × Аоуагi, Л-3	– « –
к-8547	Сальдо × П-359	– « –
к-8550	Светоч 80000 Р	– « –
к-8551	П-255 НММ 0,06%, Л-1	– « –
к-8661	Согласие × Альфа, Л-1	– « –
к-8665	Светоч ДМС 0, 016%	– « –
к-8668	Y5I007	Китай, Чанша, Institute of Bast Fiber Crops, Chinese Academy of Agricultural Sciences
к-8875	Yuan 2003-51	– « –
к-8878	‘Снежок’	Россия, Торжок, Институт льна – обособленное подразделение Федерального научного центра лубяных культур

Таблица 1. Окончание

Table 1. The end

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название / Name	Происхождение / Origin
к-8582	гк-65, л-3 из к-3178, (Местный, Россия, Тверская губ.) ²	Россия, Санкт-Петербург, генколлекция ВИР
к-8583	гк-79, л-1-2 из к-5408, (Печерский кряж, Россия)	– « –
к-8586	гк-109, л-3-2 из к-6099 ('Masovi M.A.G.', Аргентина)	– « –
к-8588	гк-124, л-1 из к-6284 ('Stormont Motley', Северная Ирландия)	– « –
к-8595	гк-173, л-1 из 548145 '48254, Ottawa 2152', Германия)	– « –
к-8597	гк-391, л-1-2 из к-601679 ('Eure', Австралия)	– « –
гк-2	л-1 из к-48 (селекции. Альтгаузена, Россия)	– « –
гк-22	л-3-2 из к-562 (Псковский кряж, Череповецкая губ.)	– « –
гк-130	л-1 из к-6577 ('Medra', ЧССР)	– « –
гк-146	л-1-1 из к-6988 (Франция)	– « –
гк-269	л-7 из к-7472 ('Призыв 81, Белоруссия, «Могилевская областная сельскохозяйственная опытная станция»)	Белоруссия, Институт льна (бывш. Белорусский НИИ земледелия) – дочернее подразделение Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по земледелию
гк-394	л-3 из и-595808 ('Linola', Канада)	Россия, Санкт-Петербург, генколлекция ВИР
гк-420	л-5 из и-601679 ('Eure', Австралия)	– « –
к-5333.1 ²	'Светоч'	Россия, Торжок, Институт льна – обособленное подразделение Федерального научного центра лубяных культур
к-5333.2	'Светоч'	– « –
к-5333.3	'Светоч'	– « –
к-6815.1	'К-6'	Россия, Псков, Псковский НИИСХ – обособленное подразделение Федерального научного центра лубяных культур
к-6815.2	'К-6'	– « –
к-7472.1	'Призыв 81'	Белоруссия, Могилевская областная сельскохозяйственная опытная станция
к-7472.2	'Призыв 81'	– « –
к-7472.3	'Призыв 81'	– « –
к-7472.4	'Призыв 81'	– « –
к-7472.5	'Призыв 81'	– « –

Примечание: ¹ – к – номер по основному каталогу ВИР; гк – номер по каталогу генетической коллекции ВИР; и – номер по интродукционному каталогу ВИР; л – линия из образца коллекции ВИР; в скобках указано происхождение образцов; ² – «1...5» – номер повторности сорта-стандарта

Note: ¹ – к – marks the number in the main VIR catalogue; гк – marks the number in the VIR genetic collection catalogue; и – marks the number in the VIR introduction catalogue; л – denotes the line derived from an accession from the VIR collection; the origin of the accessions is parenthesized; ² – “1...5” denotes the repeat number of the reference cultivar

Результаты и обсуждение

Новая методика определения качества волокна

Для оценки качества волокна с применением нового оборудования нами усовершенствована старая методика. Ниже приводим ее подробное описание.

Подготовка проб:

- из средней части чесаного волокна, как и по стандартной методике, вырезают отрезок длиной 27 см;
- из отрезка 27 см берут 10 навесок по 65 мг (в стандартной методике каждая навеска весит 420 мг);

- навески укладывают в специальные книжки и помещают под 5 кг груза на 10 часов для выпрямления, при температуре воздуха 20°C и влажности 60–65%.

■ Определение гибкости волокна (**Flex_New**, мм), как и при стандартной методике, измеряют по свободному провисанию обоих концов пряжи с помощью прибора Г-2.

■ С использованием универсальной машины Instron 5943 (США) и программы Bluehill Universal определяют разрывную нагрузку волокна.

- Расстояние между клеммами прибора, как и при стандартной методике с использованием ДВК60, составляет 100 мм.

- Данное оборудование позволяет делать замеры через каждые 0,2 секунды (от начала до полного разрыва волокна) – около 1000 точек.

- Полученные данные обрабатываются с использованием макроса, созданного нами в среде MS Excel 2010, в результате которого определяется разрывная нагрузка как максимальная сила (**Strength_Inst**, Н), прикладываемая к волокну до его полного разрыва.

- Полученные данные пересчитываются по стандартной методике, по формуле [4]:

$$\text{Strength_New} = \text{Strength_Inst} \times 420 / 65 / 10; \text{ даН [4]},$$

где **Strength_New** – разрывная нагрузка (даН) по новой методике, приведенная к стандартной методике оценки для навески в 420 мг; **Strength_Inst** – значение разрывной нагрузки (Н), полученное при разрыве пряжки весом 65 мг; 420 – вес навески волокна по стандартной методике, мг; 65 – вес навески волокна по новой методике, мг; 10 – коэффициент для перевода данных в ньютонах (Н) в деканьютонх (даН).

■ Таким образом, для определения гибкости волокна и разрывной нагрузки выполняют 530 (53 × 10) анализов.

■ Для определения показателя тонины волокна:

- используются те же навески, у которых определялась гибкость и разрывная нагрузка.

- С противоположных концов каждой навески (после их испытания на Instron 5943), отступив от краев 1 см, делают вырезку длиной 1 см, то есть с одной навески берется две вырезки.

- Вырезки используются целиком. Для сохранения возможности сравнения результатов, полученных по новой и стандартной методикам, масса вырезки рассчитывается: по навеске волокна весом 65 мг и длиной 27 см, (вместо 420 мг по стандартной методике). Таким образом, единичное волокно длиной 10 мм будет весить 2,4 мг, то есть при переходе на новую методику навеска составит 2,4 мг вместо 10 мг по стандартной методике.

- Показатель тонины определяют путем подсчета количества технических волокон в двух вырезках каждой навески с последующим нахождением среднего значения для каждой навески и образца (из 10 навесок).

- Такая методика анализа позволяет точнее учитывать коэффициент вариации и отбирать генотипы, более однородные по данному показателю. Полученные значения приводятся к параметрам, рассчитанным по стандартной методике по формуле [5]:

$$\text{Fin_New} = \text{N_technF} \times 10 / 2,4 [5],$$

где **Fin_New** – тонина, измеренная по новой методике; **N_technF** – количество технических волокон в 2,4 мг навески; 10 – вес навески по стандартной методике, мг; 2,4 – вес навески по новой методике, мг.

Таким образом, для определения тонины выполняют 1060 (53 × 20) анализов.

■ Относительная разрывная нагрузка (**Qc_New**) рассчитывается так же, как и по стандартной методике, по формуле [6]:

$$\text{Qc_New} = 0,2 \times \text{Strength_New} + 0,1 \times \text{Flex_New} + 0,013 \times \text{Fin_New} + 2,1 [6],$$

где **Strength_New** – разрывная нагрузка, даН; **Flex_New** – гибкость, измеренная по новой методике, мм; **Fin_New** – тонина, измеренная по новой методике.

Сравнение характеристик волокна, полученных по стандартной и новой методикам

Для оценки по стандартной методике использовалось волокно, полученное с делянки площадью 1 м², по новой методике – с делянки 0,2 м². В таблице 2 приведены основные сравнительные характеристики, полученные с помощью этих методик.

В таблице 2 хорошо видны преимущества новой методики – это сокращение количества материала для анализа, лет изучения и площади делянки, необходимой для получения нужной навески волокна.

Современное оборудование позволяет получать дополнительную информацию о качественных характеристиках волокна: так, данные с Instron 5943 передаются на компьютер и сохраняются в виде таблиц и графиков. Наличие видеокамеры позволяет фиксировать процесс разрыва волокна на фотографиях и в видеоформатах (рис. 1).

Сходство результатов, полученных с использованием стандартной и новой методик, по исходным значениям (первичным данным) показателей качества волокна льна

Разработанная нами методика прошла апробацию на ранее оцененных по стандартной методике 53 образцах волокна (43 генотипах) льна, представляющих непрерывную «линейку» показателей по разрывной нагрузке.

Все показатели, полученные по новой методике, оказались несущественно завышены по сравнению со стандартной. Так, разрывная нагрузка и ОРНр увеличились на 9%, гибкость – на 12%, тонина – на 13%. При этом коэффициент вариации этих признаков внутри каждого образца увеличился в среднем в два раза, так как для анализа новой методикой использовали значительно меньшее количество волокна. Однако по показателям средних значений существенных различий между результатами, полученными с помощью разных методик,

Таблица 2. Сравнение параметров материала, анализируемого по стандартной и новой методикам**Table 2. Comparison of the material's parameters analyzed with the standard and new techniques**

Параметр / Parameter	Методика / Technique		Изменение / Change
	стандартная / standard	новая / new	
Вес прядки волокна для одного анализа, мг	420	65	меньше в 6,5 раз
Длина прядки волокна для одного анализа, см	27	27	без изменений
Длина прядки между клеммами (участок, на который приходится нагрузка), см	10	10	без изменений
Количество проб для анализа одного генотипа	минимум 10	минимум 10	без изменений
Минимальная площадь делянки льна, необходимая для получения волокна, достаточного для инструментальной оценки одного генотипа	1 м ² (12 рядков)	0,2 м ² (1–2 рядка)	меньше в 6–12 раз
Количество лет, необходимых для размножения потомства одного растения до получения волокна достаточного веса, год	2–3	1–2	меньше в 1,5–2 раза

не наблюдалось (рис. 2; см. Electronic Supplementary Materials, Suppl.). Таким образом, использование новой методики позволит точнее отбирать выравненные образцы, которые имеют наименьший коэффициент вариации по показателям качества волокна.

Исследованную нами выборку из 53 образцов можно разделить по изученным признакам на 7 рангов (Ivanter, Korosov, 2004). Ранжирование средних данных, полученных по стандартной и созданной нами методикам, показало полное совпадение рангов средних значений признаков у трети выборки по измеряемым показателям разрывной нагрузки, гибкости и тонины. Более чем у половины выборки оказались аналогичными ранги средних значений для вычисляемой ОРНр. Если рассматривать интервал различий по каждому признаку в один ранг (от –1 до +1), то он охватывает от 77% (по гибкости) до 94% (по разрывной нагрузке) образцов от всей выборки. Различия на 2–3 ранга найдены только у 6% образцов по показателям разрывной нагрузки, 17% – по ОРНр, 19% – по гибкости и 23% – по тонине, что может свидетельствовать о большой неоднородности волокна у этих образцов. Небольшие различия приводят к незначительному завышению значений разрывной нагрузки и ОРНр, а также занижению тонины, что интересно, так как по параметрическим данным значения тонины повышены. Различия по гибкости носят симметричный характер. Более грубых несоответствий в ранжировании образцов по значениям признаков не обнаружено (табл. 3, рис. 3). Таким образом, использование ранжирования показало, что значения характеристик волокна, полученных по нашей методике, существенно не отличаются от оцененных стандартной методикой.

Различия показателей качества волокна образцов льна, проанализированных с помощью стандартной и новой методик (U-тест Манна – Уитни и t-критерий Стьюдента)

Использование ранжирования выборки, разделенной на крупные классы, выявило различия между стандартной и новой методиками, приводящие к незначительному завышению значений разрывной нагрузки и ОРНр и занижению тонины. Различия по показателям гибкости носили симметричный характер.

Достоверность выявленных различий оценивали с помощью U-критерия Манна – Уитни (непараметриче-

ский) и t-критерия Стьюдента (параметрический). Сопоставление признаков качества волокна в предложенной нами и стандартной методиках по этим критериям показало сходные результаты (табл. 4). Сравнение исходных данных выявило, что все показатели качества волокна по двум методикам достоверно отличаются друг от друга. По новой методике значения были выше, чем по стандартной.

Сравнение средних данных для каждого образца выявило достоверные различия по гибкости, тонине и ОРНр. По новой методике данные, как и в случае с исходными значениями, были выше, чем по стандартной. По разрывной нагрузке различия не достоверны. Это говорит о том, что данные по разрывной нагрузке, полученные с помощью предлагаемой методики, можно непосредственно использовать вместо стандартной.

Полученные же достоверные различия можно объяснить составом выборки, в которой исходные образцы представлены не перекрывающимися значениями, находящимися на примерно равном интервале относительно друг друга, а также большим числом измерений. Поэтому у каждого образца (в случае исходных данных) и внутри всей выборки (в случае средних значений) была очень малая дисперсия, обеспечивавшая достоверность даже небольших различий при использовании параметрических критериев. В случае применения непараметрического критерия негативную роль сыграло большое число измерений, которое привело к тому, что различие внутри ранжированных рядов данных носило случайный характер, поэтому даже небольшие различия в крайних данных в рангах привели к достоверности различий. Некоторые исследователи считают, что использование непараметрических критериев при выборке $n > 100$ нецелесообразно, даже если не выполняются некоторые исходные предположения применения параметрических методов (Nasledov, 2012).

Сходство результатов оценки генотипической изменчивости показателей качества волокна образцов льна, полученной по стандартной и новой методикам

Корреляционный анализ средних показателей данных, полученных с использованием стандартной и новой методик, показал высокое сходство результатов при анализе генотипической изменчивости разрывной нагрузки и ОРНр ($r = 0,88$ и $0,83$ соответственно). Корреляцион-

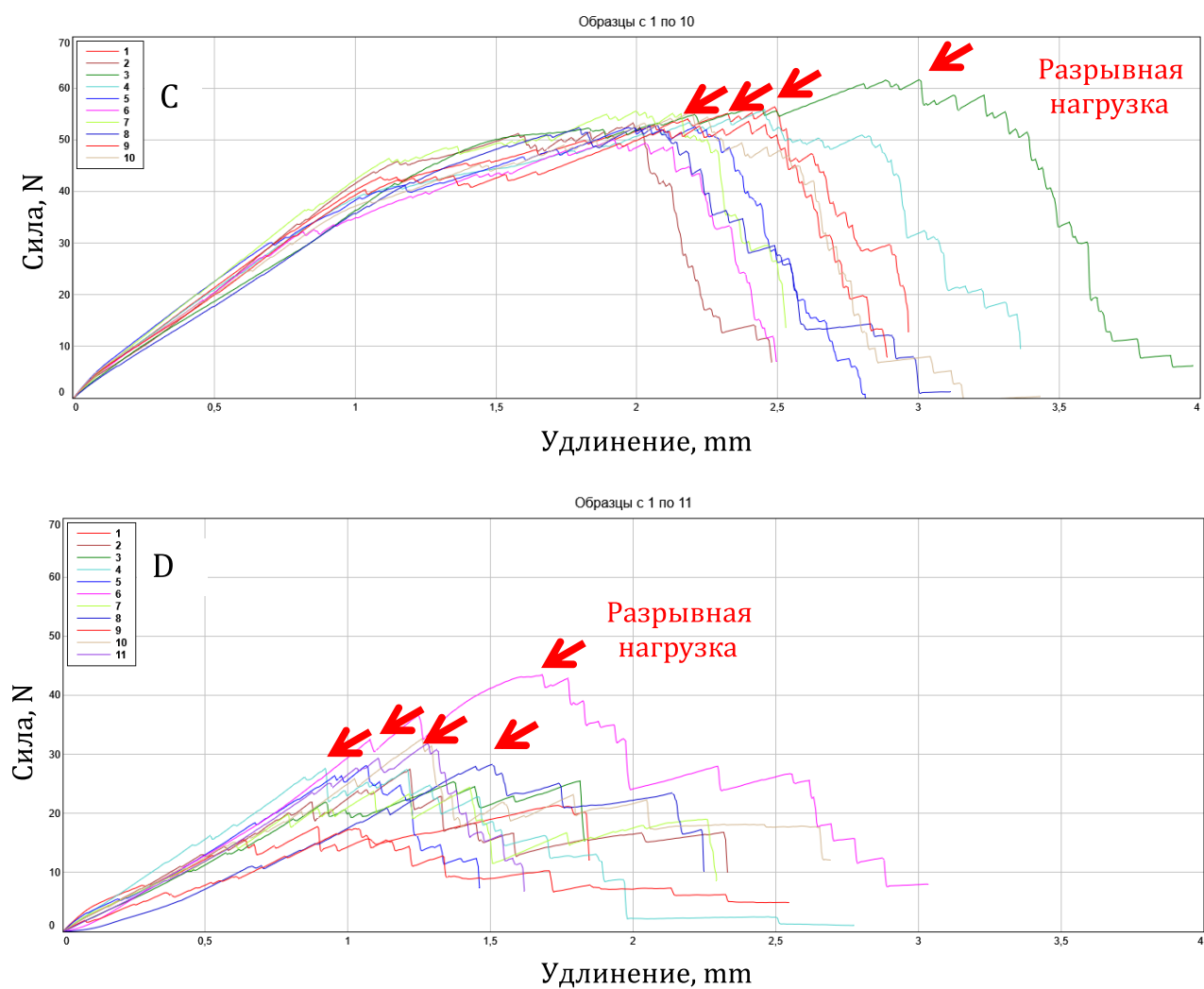
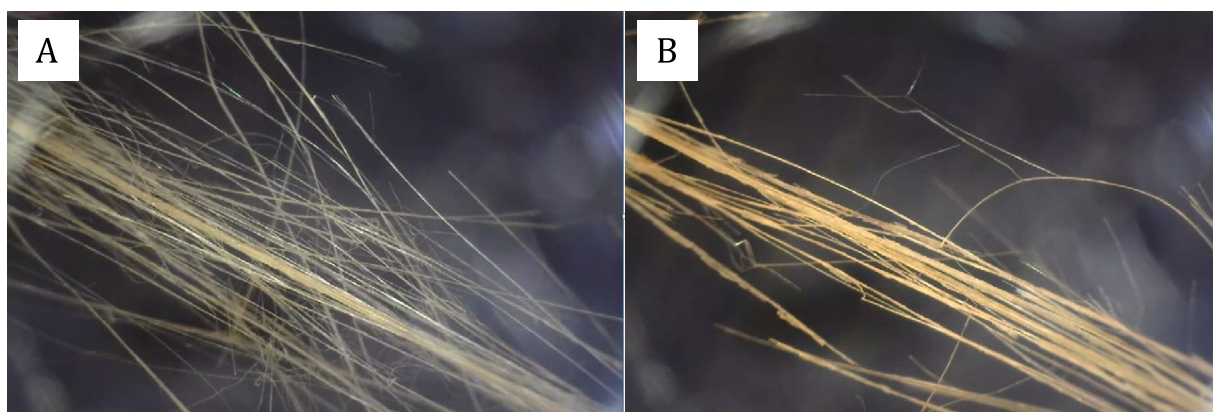


Рис. 1. Результат (А, В) и графическое изображение (С, D) испытаний двух образцов с хорошим и плохим качеством волокна на разрыв (А, С – к-8588, волокно хорошего качества; В, D – к-8595, волокно плохого качества)

Fig. 1. Results (A, B) and graphic images (C, D) of the fiber breaking tests on two samples with good and poor quality (A, C – k-8588, fiber of good quality; B, D – k-8595, fiber of poor quality)

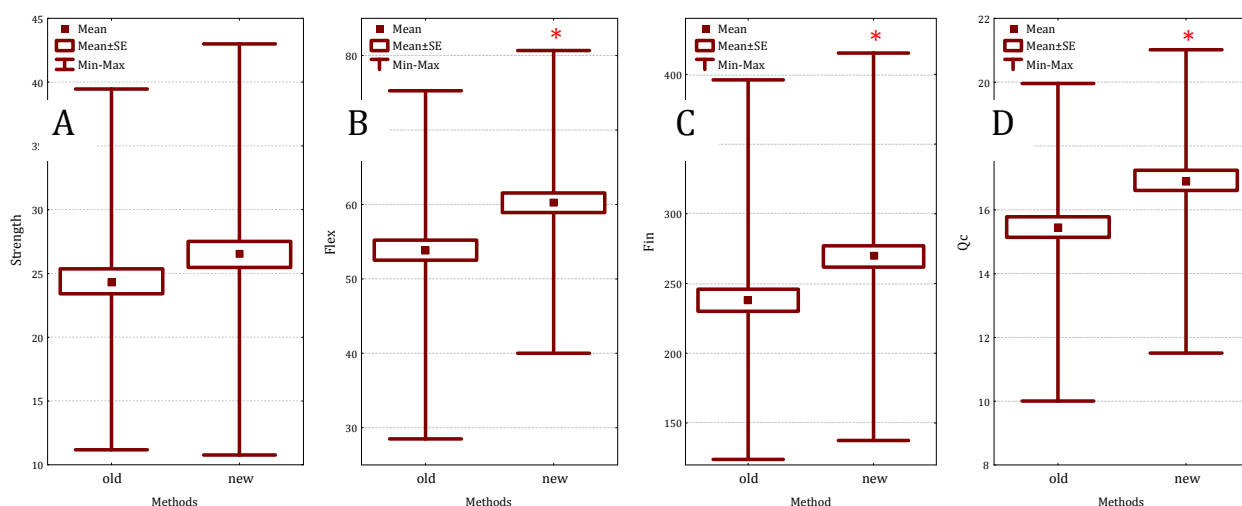


Рис. 2. Варьирование характеристик волокна у образцов льна, измеренных по старой (Old) и новой (New) методикам:

A – по разрывной нагрузке, даН; B – по гибкости, мм; C – по тонине, м/г; D – по ОРНр (* – различия достоверны; Min, Max, Mean, SE – минимальное, максимальное, среднее значение характеристик волокна, стандартная ошибка)

Fig. 2. Variability of fiber characters in flax accessions estimated with the conventional (Old) and proposed (New) techniques:

A – breaking load, daN; B – flexibility, mm; C – fineness, m/g; D – Qc, rated relative breaking load (* – significant differences; Min, Max, Mean, SE – minimum, maximum and mean values of fiber characters, and standard errors)

Таблица 3. Число различий рангов ранжирования образцов по показателям качества волокна, оцененных по стандартной и новой методикам

Table 3. Number of differences in the accessions' ranking according to the values of fiber quality characters estimated with the standard and new techniques

Различие между рангами значений, определенных стандартной и новой методиками / Difference between the ranks of values obtained with the standard and new techniques	Разрывная нагрузка / Breaking load	Гибкость / Flexibility	Тонина / Fineness	ОРНр / Rated relative breaking load
-3	0	2	0	1
-2	0	2	2	5
-1	23	12	8	9
0 (различий нет)	19	15	19	28
+1	8	16	14	7
+2	3	6	10	2
+3	0	0	0	1
[-1, +1]	50	43	41	44
[-3, -2] U [+2, +3]»	3	10	12	9
Сдвиг по рангам	новое завышено	новое симметрично	новое занижено	новое завышено
Различий нет (0), %	36	28	36	53
без различий, или различия в 1 ранг (+/-1), %	94	81	77	83
различия на 2-3 ранга (+/-2, +/-3), %	6	19	23	17

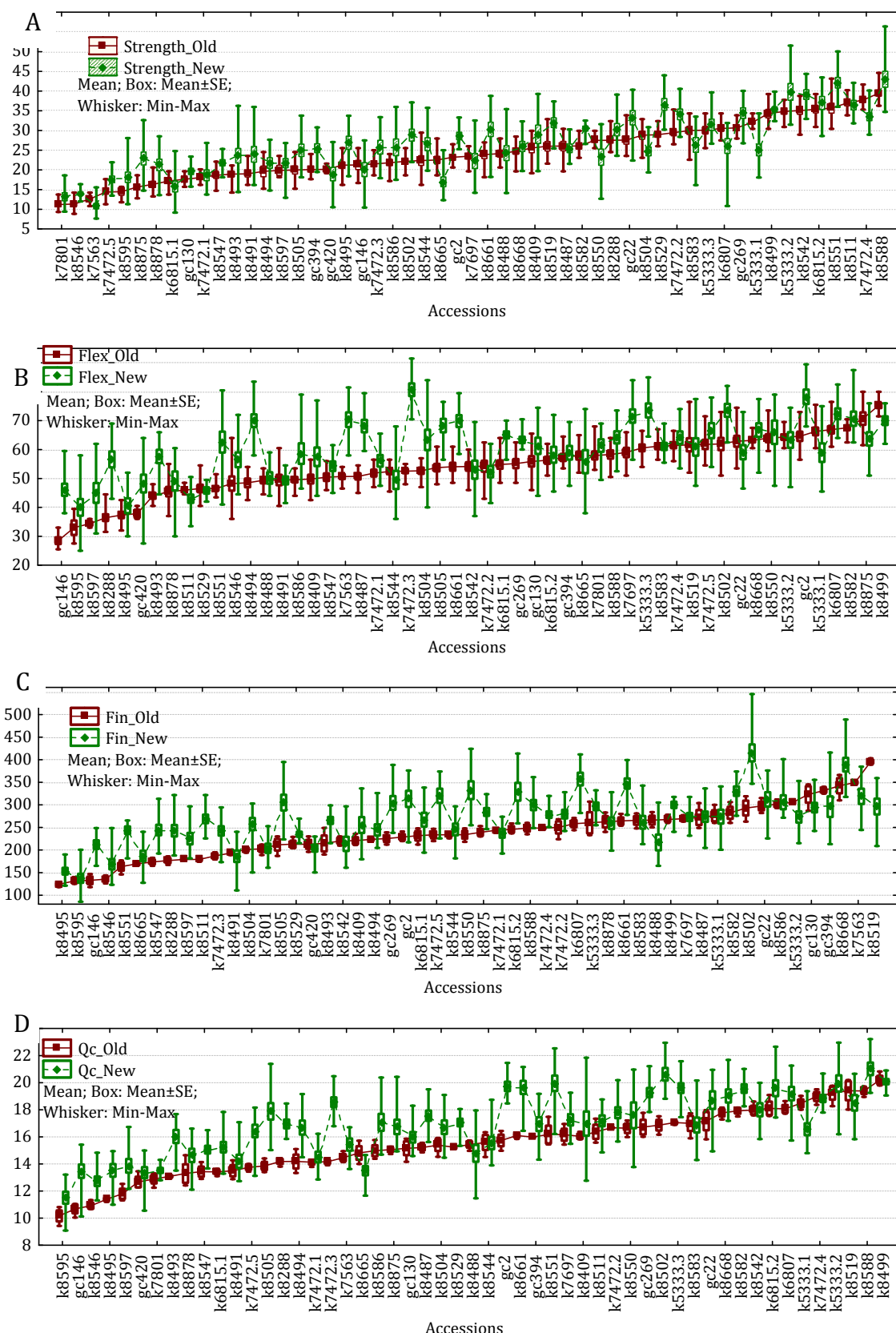


Рис. 3. Характеристики изменчивости параметров волокна образцов льна, измеренных по старой (Old) и новой (New) методикам: **A** – по разрывной нагрузке, даН; **B** – по гибкости, мм; **C** – по тонине, м/г; **D** – по ОРНр (Accessions – образцы; Min, Max, Mean, SE – минимальное, максимальное, среднее значение характеристик волокна, стандартная ошибка)

Fig. 3. Variability characteristics in fiber parameters of flax accessions estimated with the conventional (Old) and proposed (New) techniques: **A** – breaking load, daN; **B** – flexibility, mm; **C** – fineness, m/g; **D** – Qc, rated relative breaking load (Min, Max, Mean, SE – minimum, maximum and mean values of fiber characters, and standard errors)

Таблица 4. Сравнение показателей качества волокна образцов льна, проанализированных по стандартной и новой методикам**Table 4. Comparison of fiber quality parameters in flax accessions analyzed with the standard and new techniques**

Показатель / Indi- cator	Характеристика методик / Techniques used				Критерий различий, p / Criterion of differences, <i>p</i>	
	Стандартная / Old		Новая / New		Mann-Whitney U test	Student's <i>t</i> test
	N	Mean ± Se	N	Mean ± Se		
Исходные данные						
Разрывная нагрузка	499	24,7 ± 0,3	532	26,5 ± 0,4	0,0020	0,0005
Гибкость	500	54,7 ± 0,4	532	60,2 ± 0,5	0,0000	0,0000
Тонина	159	238,0 ± 5,0	533	269 ± 3,0	0,0000	0,0000
ОРНр	159	15,5 ± 0,2	530	16,9 ± 0,1	0,0000	0,0000
Средние данные						
Разрывная нагрузка	53	24,4± 1,0	53	26,5 ± 1,0	0,17*	0,14*
Гибкость	53	53,9 ± 1,3	53	60,2 ± 1,3	0,0020	0,0011
Тонина	53	238,0 ± 8,0	53	269 ± 8,0	0,0032	0,0051
ОРНр	53	15,5 ± 0,3	53	16,9 ± 0,3	0,0021	0,0016

Примечание: ¹ – N – число измерений в опыте; Mean $\pm$ Se – среднее с доверительным интервалом ($\pm$ стандартная ошибка) варианта опыта; p – уровень значимости; ² – различия не достоверны при p = 0,05

Note: ¹ – N is the number of measurements in the experiment; Mean $\pm$ Se is the mean with a confidence interval ($\pm$ standard error) for the experiment group; p is the significance level; ² – the differences are not significant at p = 0.05

ный анализ гибкости и тонины, измеренных по этим двум методикам, показал меньшее сходство изменчивости ($r = 0,67$ и $0,69$ для гибкости и тонины, соответственно) (рис. 4). С использованием регрессионного анализа возможно более точно перевести данные, полученные по новой методике, к стандартной. Но мы считаем, что в этом нет необходимости, так как выявленная флуктуация может отражать случайное варьирование внутри некоторых образцов.

Дисперсионный анализ признаков качества волокна по исходным и средним данным

Анализ исходных данных показал достоверное влияние генотипа, методики изучения и их взаимодействия на разрывную нагрузку, гибкость, тонины и ОРНр волокна. Около половины от общей изменчивости признаков качества волокна определяется генотипом образца, около трети – необъясненным фактором, что может указывать на неоднородность волокна, особенно по таким показателям как гибкость и тонина. Вклад методики изучения в изменчивость характеристик разрывной нагрузки (1%), гибкости (6%), тонины (5%) и ОРНр (7%) был незначительным, но достоверным. Взаимодействие генотипа и методики объясняет от 4 до 10% общей изменчивости признаков качества волокна и превышает вклад методики изучения (рис. 5).

Дисперсионный анализ средних данных показал достоверное влияние генотипа и методики изучения на показатели разрывной нагрузки, гибкости, тонины и ОРНр. Генотип объясняет более 3/4 от общей изменчивости характеристик качества – разрывной нагрузки (92%), гибкости (75%), тонины (78%) и ОРНр (83%). Вклад методики оценки обуславливал от 2% (разрывная нагрузка) до 7–10% (тонина, ОРНр и гибкость) общей изменчивости

признаков качества волокна. Случайный (необъяснимый) фактор по таким показателям, как гибкость и тонина, составил 15 и 14% соответственно, а по разрывной нагрузке и ОРНр – 6 и 8% соответственно.

Таким образом, методика изучения незначительно (1–10%), но достоверно влияет на все показатели качества волокна. Здесь, как и при сравнении результатов с использованием t-критерия Стьюдента, негативную роль сыграл состав выборки образцов, в котором перекрывался весь вариационный ряд от минимальных до максимальных значений. Высокая точность методик оценки качества волокна привела к очень малой дисперсии признаков, что увеличило значимость даже небольших различий.

Закключение

Предложенная нами методика оценки качества волокна льна с использованием Instron 5943 максимально приближена к стандартной. Несмотря на трудозатратность, эта методика дает возможность получать первые результаты на более ранних этапах селекционного процесса, чем стандартная. Благодаря наличию в институте современной приборной базы, новая методика позволяет значительно уменьшить количество необходимого для анализа волокна и, следовательно, снизить количество семян, уменьшить площадь посева, сократить время на обработку почвы. Так, для стандартной методики, по которой мы изучаем поступающие в коллекцию образцы, необходимо высевать 2 тысячи семян на 1 м² (Kutuzova, Pitko, 1988). Для того чтобы получить такое количество семян от одного растения льна-долгунца требуется два-три года. Новая методика сокращает количество пересевов до одного-двух. Уменьшенная в 6,5 раза еди-

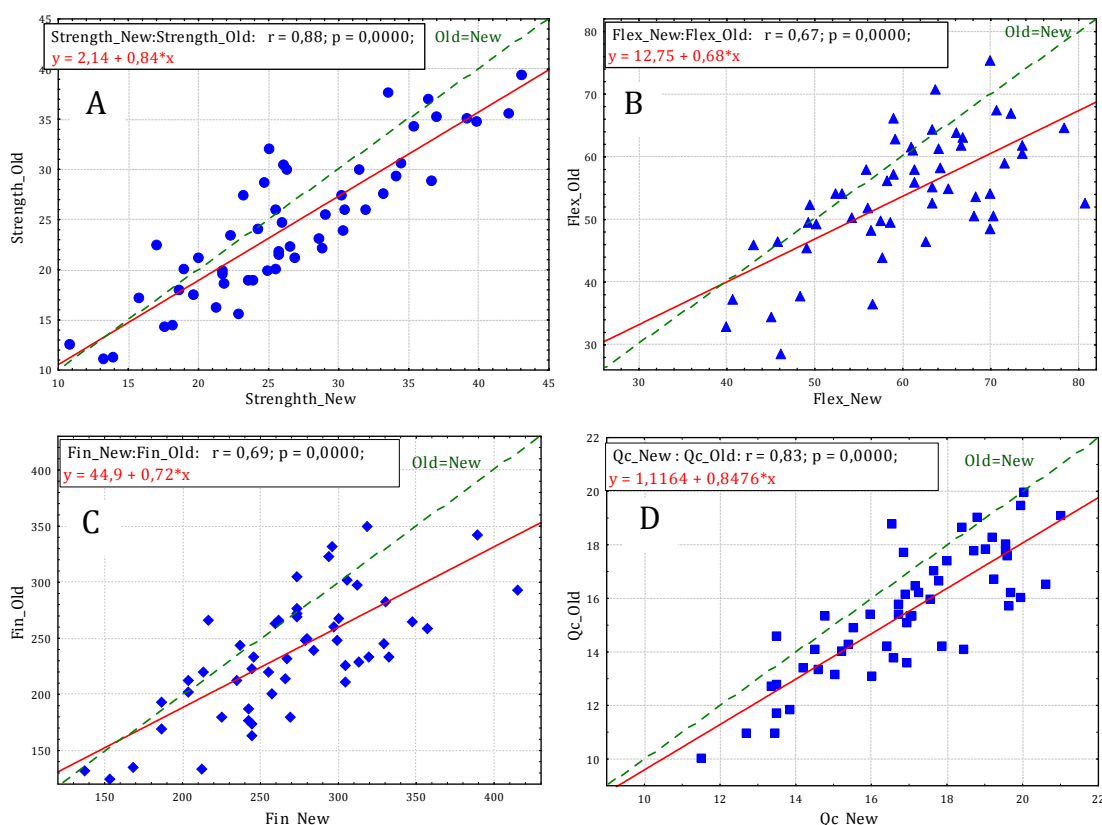


Рис. 4. Характеристики волокна образцов льна, измеренных по стандартной (Old) и новой (New) методикам: А – по разрывной нагрузке, даН; В – по гибкости, мм; С – по тонине, м/г; D – по ОРНр; r – коэффициент корреляции между новой и старой методиками; p – вероятность отсутствия корреляции; $y = a + bx$ – уравнение регрессии для пересчета значений признаков, полученных по новой методике, к старой; New = Old – линия в случае равенства значений по новой и стандартной методикам

Fig. 4. Fiber characteristics in flax accessions estimated with the standard (Old) and proposed (New) techniques: А – breaking load, daN; В – flexibility, mm; С – fineness, m/g; D – Qc, rated relative breaking load; r is the correlation coefficient between the new and old techniques; p is the probability of no correlation; $y = a + bx$ is the regression equation for recalculating the values obtained with the new technique to the old one; New = Old is a line if the values are equal for the new and standard techniques

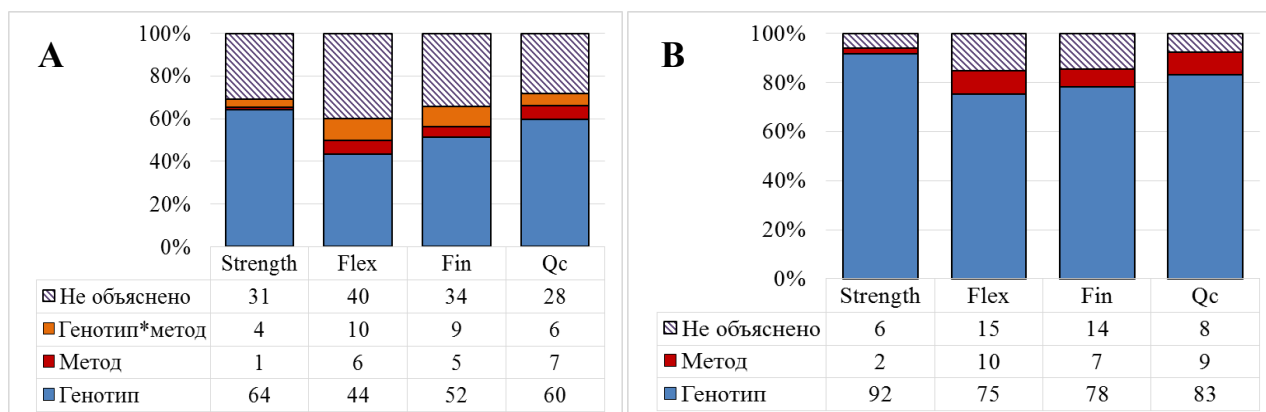


Рис. 5. Доля влияния генотипа и методики оценки на изменчивость признаков качества волокна по результатам дисперсионного анализа: А – доля влияния генотипа, методики изучения и их взаимодействия на разрывную нагрузку (Strength), гибкость (Flex), и тонину (Fin) по исходным данным; В – доля влияния генотипа и методики изучения на разрывную нагрузку (Strength), гибкость (Flex), тонину (Fin) и ОРНр (Qc) по средним данным

Fig. 5. The effect size of the genotype and estimation technique for the variability of fiber quality characters according to the results of variance analyses: А – the effect size of the genotype, technique, and their interaction for the breaking load (Strength), flexibility (Flex), fineness (Fin), and rated relative breaking load (Qc) according to the initial data; В – the effect size of the genotype, technique, and their interaction for the breaking load (Strength), flexibility (Flex), fineness (Fin), and rated relative breaking load (Qc) according to the mean data

ническая навеска волокна позволяет более точно устанавливать коэффициент варьирования признаков внутри образцов, что дает возможность отбирать наиболее однородные генотипы по разрывной нагрузке и гибкости. Изменения, внесенные нами в способ подготовки волокна для определения тонины, помогают точнее выявлять более однородные образцы по этому показателю.

References / Литература

- Arno A.A., Grashchenko M.G., Shikov S.A. Methodology of technological evaluation for flax and hemp products (Metodika tekhnologicheskoy otsenki produktov lina i konopli). Moscow: VASKhNIL; 1961. [in Russian] (Арно А.А., Гращенко М.Г., Шиков С.А. Методика технологической оценки продукции льна и конопли. Москва: ВАСХНИЛ; 1961).
- Belopukhov S.L., Dmitrievskaya I.I., Grishina E.A., Kulemkin Yu.V., Bukina S.V. Estimation content of cellulose in the linen production by the method of near-infrared spectroscopy. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Textile Industry Technology*. 2017;4(370):115-118. [in Russian] (Белопухов С.Л., Дмитриевская И.И., Гришина Е.А., Кулемкин Ю.В., Букина С.В. Определение содержания целлюлозы в льнопродукции методом ближней инфракрасной спектроскопии. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2017;4(370):115-118).
- Bolshakova S.R., Pavlova L.N., Potrakhov N.N., Bessonov V.B. The use of the microfocal radiography at definition of the fibre content in individual stalks of long-stalked flax. *Agroindustrial Complex of Upper Volga Region Herald*. 2016;1(33):38-41. [in Russian] (Большакова С.Р., Павлова Л.Н., Потрахов Н.Н., Бессонов В.Б. Использование микрофокусной рентгенографии при определении содержания волокна в единичных стеблях льна-долгунца. *Вестник АПК Верхневолжья*. 2016;1(33):38-41).
- Duktova N.A., Tsyrukunova O.A., Andronik E.L., Porkhuntsova O.A., Mykhlyk A.I. The use of anatomic parameters of stalk in oilseed flax selection. *Bulletin of the Belarussian State Agricultural Academy*. 2014;(4):115-119. [in Russian] (Дуктова Н.А., Цыркунова О.А., Андроник Е.Л., Порхунцова О.А., Мыхлык А.И. Использование анатомических параметров стебля в селекции льна масличного. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2014;(4):115-119).
- Dyagilev A.S., Bizyuk A.N., Kogan A.G. Express estimation of the long scutched flax fiber spinning ability. In: *Topical Scientific Research Trends in the 21st Century: Theory and Practice (Aktualnye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika)*. No. 7, Part 1. Youth Forum: Technical and Mathematical Science. November 9-12, 2015, Voronezh. Voronezh; 2015. p.350-354. [in Russian] (Дягилев А.С., Бизюк А.Н., Коган А.Г. Экспресс-оценка прядильной способности длинного трепаного льноволокна. В кн.: *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. № 7, часть 1. Молодежный форум: технические и математические науки. 9–12 ноября 2015 года, Воронеж. Воронеж; 2015. С.350-354). DOI: 10.12737/14876
- Fedosova N.M., Vikharev S.M., Bolonkin V.A. Improved method of estimation fiber flax on morphological grounds. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2012;(11):68-70. [in Russian] (Федосова Н.М., Вихарев С.М., Болонкин В.А. Совершенствование способа оценки льна-долгунца по морфологическим признакам. *Достижения науки и техники АПК*. 2012;(11):68-70).
- GOST R 53484-2009. National standard of the Russian Federation. Scutched flax fibre. Specifications. Moscow: Standartinform; 2010. [in Russian] (ГОСТ Р 53484-2009. Национальный стандарт Российской Федерации. Лен трепанный. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2010). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200076321> [accessed Nov. 26, 2024].
- Ivanter E.V., Korosov A.V. Introduction to quantitative biology (Vvedeniye v kolichestvennyuyu biologiyu). Petrozavodsk: Petrozavodsk University; 2003. [in Russian] (Ивантер Е.В., Коросов А.В. Введение в количественную биологию. Петрозаводск: Петрозаводский университет; 2003).
- Khlopov A.A. Selection of the source material of fiber flax for fiber quality for breeding purposes (Otbor iskhodnogo materiala lina-dolguntsa na kachestvo volokna dlya tseyley selektsii). In: *Scientific Support for Textile Crop Production: Status, Problems, and Prospects: Scientific Manual*. Tver: Tver State University; 2018. p.273-276. [in Russian] (Хлопов А.А. Отбор исходного материала льна-долгунца на качество волокна для целей селекции. В кн.: *Научное обеспечение производства прядильных культур: состояние, проблемы и перспективы: научное пособие*. Тверь: Тверской государственный университет; 2018. С.273-276).
- Kutuzova S.N., Pitko G.G. (comp.). Studies of the flax (*Linum usitatissimum* L.) collection: guidelines (Izucheniye kolektsii lina (*Linum usitatissimum* L.): metodicheskiye ukazaniya). Leningrad: VIR; 1988. [in Russian] (Изучение коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.): методические указания / сост. С.Н. Кутузова, Г.Г. Питко. Ленинград: ВИР; 1988).
- Nasledov A.D. Mathematical methods of psychological research. Data analysis and interpretation (Matematicheskiye metody psikhologicheskogo issledovaniya. Analiz i interpretatsiya dannykh). St. Petersburg: Rech; 2012. [in Russian] (Наследов А.Д. Математические методы психологического исследования. Анализ и интерпретация данных. Санкт-Петербург: Речь; 2012).
- Pashin E.L., Popova G.A. The direction of improving the assessment of fiber quality in the creation of new varieties of flax. *Agrarian Journal of Upper Volga Region*. 2024;1(46):5-13. [in Russian] (Пашин Е.Л., Попова Г.А. Направление совершенствования оценки качества волокна при создании новых сортов льна-долгунца. *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2024;1(46):5-13). DOI: 10.35523/2307-5872-2024-46-1-5-13
- Pashina L.V., Pashin E.L. Method of evaluating fiber flax fiber quality according to morphological characteristics. Russian Federation; patent number: 2369671 C1; 2009. [in Russian] (Пашина Л.В., Пашин Е.Л. Способ оценки качества волокна в стеблях льна-долгунца по морфологическим признакам. Российская Федерация; патент № 2369671 C1; 2009). URL: <https://patent.ru/patent/RU2369671C1.pdf> [дата обращения: 02.12.2024].
- Shimanskaya N.S., Uschapovsky I.V., Prokofiev S.V. Trends in the improvement of methods and equipment for the assessment of flax raw material (review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(6):639-652. [in Russian] (Шиманская Н.С., Ущাপовский И.В., Прокофьев С.В.) Тенденции совершенствования методов и приборов для оценки качества льносырья (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020;21(6):639-652). DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.6.639-652

StatSoft. Electronic statistics textbook: [website]. Available from: <http://statsoft.ru/home/textbook/default.html> [accessed May 06, 2023].

Titok V.V., Leontiev V.N., Yurenkova S.I., Lugin V.G., Khotyleva L.V. New approaches in determining the quality of flax fiber. *Proceedings of the Belarusian State Technological University. Series 4: Chemistry and Organic Substances*

Technology. 2006;1(4):127-130. [in Russian] (Титок В.В., Леонтьев В.Н., Юренкова С.И., Лугин В.Г., Хотылева Л.В. Новые подходы в определении качества льноволокна. *Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия 4. Химия и технология органических веществ*. 2006;1(4):127-130).

Информация об авторах

Андрей Валерьевич Павлов, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, avpavlov77@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5098-4904>

Нина Борисовна Брач, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, n.brutch@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2253-6263>

Елизавета Александровна Пороховинова, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, e.porohovinova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8328-9684>

Елена Константиновна Хлесткина, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, директор, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, director@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

Information about the authors

Andrey V. Pavlov, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Head of a Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, avpavlov77@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5098-4904>

Nina B. Brutch, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, n.brutch@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2253-6263>

Elizaveta A. Porokhovinova, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, e.porohovinova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8328-9684>

Elena K. Khlestkina, Dr. Sci. (Biology), Corresponding Member of the RAS, Director, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, director@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 05.02.2025; одобрена после рецензирования 05.06.2025; принята к публикации 14.07.2025. The article was submitted on 05.02.2025; approved after reviewing on 05.06.2025; accepted for publication on 14.07.2025.