



УДК 581.192.2:633.853.494
DOI 10.25230/conf12-2023-317-321

**ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ
ГЛЮКОЗИНОЛАТОВ В СЕМЕНАХ РАПСА ОЗИМОГО (*BRASSICA NAPUS L.*)**

Усатенко Л.О., Ефименко С.Г.
ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК
shvedovalolita@yandex.ru, biohim@vniimk.ru

Материалом исследования служили 7119 образцов рапса озимого рабочей коллекции отдела селекции рапса и горчицы ВНИИМК урожая 2022 г. Было выделено 195 образцов рапса озимого с максимальным диапазоном изменчивости общего содержания глюкозинолатов – от 7,4 до 81,9 мкмоль/г. Анализ средних значений содержания глюкозинолатов, полученных фотоколориметрическим методом, показал, что данных, выходящих за пределы допустимой погрешности, нет. Погрешность определения содержания глюкозинолатов ИК-спектрометром составила от -18,5 до +15,4 мкмоль/г в 44 образцах. Наличие образцов, где погрешность



определения выходит за допустимые значения, возможно, связано с различным компонентным составом глюкозинолатов в исследуемых образцах.

Ключевые слова: семена, рапс озимый, глюкозинолаты, изотиоцианаты, ИК-спектметрия, антипитательные свойства.

Введение. Озимый рапс (*Brassica napus* L.) является одним из важнейших масличных растений. Площади с посевами рапса растут с каждым годом в мире и в России [1]. В Российской Федерации озимый рапс возделывается в Южном, Северо-Кавказском федеральных округах и Калининградской области, где зимой и ранней весной не характерны резкие колебания температур [2]. Широкое использование шротов рапса в качестве богатой белком пищи и кормов ограничивается наличием антипитательных глюкозинолатов [3].

Первые сведения о глюкозинолатах были приведены в трудах Челленджера в 1950 г. В те же годы было обнаружено, что высокая концентрация глюкозинолатов токсична для людей и животных, а низкая концентрация их некоторых продуктов гидролитического разложения имеет так же и полезный эффект [4].

В настоящий момент глюкозинолаты представляют собой класс, включающий около 120 вторичных растительных соединений, обычно встречающихся в семействе Brassicaceae [5]. В семенах рапса содержится около 20 различных глюкозинолатов, относящихся к алифатическим, индольным и ароматическим соединениям [6]. Присутствующие в семенах и шротах рапса эти соединения легко расщепляются ферментом мирозиназой и/или подвергаются гидролизу, что приводит к образованию следующих продуктов разложения – изотиоцианатов, нитрилов, тиоцианатов, индолов и др. Продукты разложения обладают антимикробными, антифунгицидными, антибактериальными и антипитательными свойствами, а также некоторые могут вызывать зобогенный эффект, избирательно связывая йод и подавляя синтез гормонов щитовидной железы – тироксина и трийодтиронина [7].

Общее содержание глюкозинолатов может быть оценено спектрофотометрически по продуктам гидролиза, а именно по остаткам глюкозы, при формировании окрашенных комплексов с хлористым палладием, по определению осажденных сульфатов [6]. Экспресс-метод определения содержания глюкозинолатов проводится на рентгеноструктурном анализаторе либо с использованием «глюкотеста» [2]. В настоящее время применяется фотоколориметрический метод анализа, усовершенствованный ведущими научными сотрудниками отдела биохимии ВНИИМК Н.С. Осик и П.С. Поповым [8] и разрабатываются физические методы определения, с использованием ИК-спектрии.

Содержание глюкозинолатов является показателем безопасности использования семян рапса, которое не должно превышать 25 мкмоль/г семян. В связи с этим, необходимо проведение исследований, углубленного контроля и мониторинга за общим содержанием глюкозинолатов в семенах рапса.

Материалы и методы. Материалом исследования служили 7119 образцов рапса озимого рабочей коллекции отдела селекции рапса и горчицы ВНИИМК урожая 2022 г. С помощью разработанной градуировочной модели содержания глюкозинолатов для ИК-спектрометра MATRIX-I проводилось определение общего содержания глюкозинолатов в образцах рапса озимого и отбор образцов с максимальным диапазоном изменчивости по этому признаку.

Для уточнения предсказанных данных общего содержания глюкозинолатов, полученных с помощью ИК-спектрии в отобранных образцах рапса озимого определяли содержание глюкозинолатов фотоколориметрическим методом с использованием реактива хлористого палладия на спектрофотометре В-1200. Химические исследования проводились в двукратной повторности. Значения химических анализов принимались за истинные. Погрешность определения ИК-спектрометра рассчитывали, как разницу значений химических анализов и предсказанных значений, полученных с использованием ИК-спектрометра.



Результаты и обсуждение. Отобрано 195 образцов рапса озимого с максимальным диапазоном изменчивости общего содержания глюкозинолатов. Для подтверждения результатов предсказания ИК-спектрометра проводились химические анализы отобранных образцов. На основании химического анализа образцов, полученные значения общего содержания глюкозинолатов были распределены на 4 класса от низкого содержания до высокого (табл. 1).

Таблица 1. Распределение общего содержания глюкозинолатов в семенах рапса озимого
ВНИИМК, Краснодар, 2023 г.

Класс	Содержание глюкозинолатов	Количество образцов
1	7–22 мкмоль/г семян	142
2	22–40 мкмоль/г семян	22
3	40–60 мкмоль/г семян	24
4	60–82 мкмоль/г семян	6
Всего:		195

Исходя из данных, представленные в таблице 1, минимальное содержание глюкозинолатов было выявлено в образце рапса озимого №1104 и составило 7,4 мкмоль/г семян, а максимальное – 81,9 мкмоль/г семян в образце № 6886. Диапазон изменчивости признака составил 74,5 мкмоль/г семян. Первый класс (от 7 до 22 мкмоль/г) являлся самым многочисленным, он включал 142 образца. Поскольку в данном классе есть повторяющиеся значения общего содержания глюкозинолатов, было проведено уменьшение количества образцов путем поиска максимального разнообразия значений погрешности определения ИК-спектрометра. Значения погрешности могут быть выражены как положительные, если данные химических анализов превышают данные ИК-спектрометра и как отрицательные, если данные химических анализов меньше данных ИК-спектрометра. Все образцы с высоким содержанием глюкозинолатов (более 22 мкмоль/г семян) были взяты в полном объёме. Таким образом, исследуемая выборка составила 97 образцов. На рисунке 1 приведена графическая интерпретация значений общего содержания глюкозинолатов, полученных разными методами, и значений погрешности определения ИК-спектрометра (рис.).

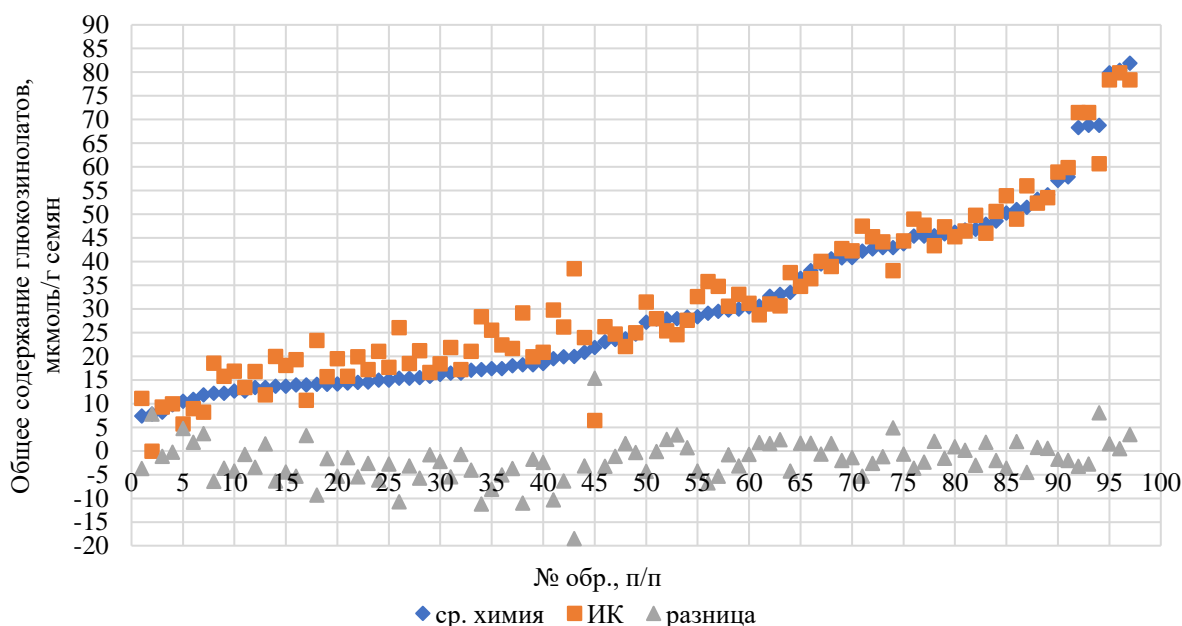


Рисунок – Оценка значений общего содержания глюкозинолатов, полученных разными методами (с использованием ИК-спектрометрии и фотоколориметрического метода)



Анализируя данные рисунка 1, максимальной положительной погрешностью обладал образец рапса озимого № 3426, она составила +15,4 мкмоль/г. Максимальная отрицательная погрешность была выявлена в образце рапса озимого № 7342, при этом ее значение составило -18,5 мкмоль/г.

Допустимой погрешностью определения считается 2 мкмоль/г до 22 мкмоль/г семян содержания глюкозинолатов. При содержании глюкозинолатов свыше 22 мкмоль/г семян допустимой погрешностью определения является 4 мкмоль/г [9].

Значения общего содержания глюкозинолатов, полученных фотоколориметрическим методом были проанализированы на допустимую погрешность, данные предоставлены в таблице 2.

Таблица 2. Оценка погрешности определения между повторностями общего содержания глюкозинолатов фотоколориметрическим методом в семенах рапса озимого
ВНИИМК, Краснодар, 2023 г.

Погрешность определения	Количество образцов, с содержанием глюкозинолатов до 22 мкмоль/г семян	Погрешность определения	Количество образцов, с содержанием глюкозинолатов от 22 мкмоль/г семян
До 2 мкмоль/г	45	До 4 мкмоль/г	52
Свыше 2 мкмоль/г	–	Свыше 4 мкмоль/г	–
Всего образцов	45	Всего образцов	52

Результаты, полученные с использованием ИК-спектрометра и фотоколориметрическим методом между собой так же были проанализированы на допустимую погрешность определения ИК-спектрометра (табл. 3).

За пределы погрешности вышло 35 образцов с содержанием глюкозинолатов до 22 мкмоль/г и 9 образцов с содержанием глюкозинолатов свыше 22 мкмоль/г. Наличие образцов, где погрешность определения выходит за допустимые значения, возможно связано с различным компонентным составом глюкозинолатов в исследуемых образцах. Определение состава отдельных форм глюкозинолатов будет проведено в дальнейших исследованиях на отобранных образцах рапса озимого.

Таблица 3. Оценка погрешности определения общего содержания глюкозинолатов между фотоколориметрическим методом и ИК-спектроскопией в семенах рапса озимого
ВНИИМК, Краснодар, 2023 г.

Погрешность определения	Количество образцов, с содержанием глюкозинолатов до 22 мкмоль/г семян	Погрешность определения	Количество образцов, с содержанием глюкозинолатов свыше 22 мкмоль/г семян
До 2 мкмоль/г	10	До 4 мкмоль/г	43
Свыше 2 мкмоль/г	35	Свыше 4 мкмоль/г	9
Всего образцов	45	Всего образцов	52

Заключение. В результате проведенных исследований было выделено 195 образцов рапса озимого с максимальным диапазоном изменчивости общего содержания глюкозинолатов от 7,4 до 81,9 мкмоль/г. Затем было отобрано 97 образцов, где так же наблюдалось разнообразие значений погрешности определения. Анализ средних значений общего содержания глюкозинолатов, полученных фотоколориметрическим методом, показал, что образцов, выходящих за пределы допустимой погрешности нет. Погрешность определения содержания глюкозинолатов ИК-спектрометром колеблется от -18,5 до +15,4 мкмоль/г. За пределы погрешности вышло 35 образцов с содержанием глюкозинолатов до 22 мкмоль/г семян и 9 образцов с содержанием глюкозинолатов от 22 мкмоль/г семян. Наличие образцов, где погрешность определения выходит за допустимые значения, возможно связано с различным компонентным составом глюкозинолатов в исследуемых образцах.



Литература

1. Бочкарева Э.Б., Горлова Л.А., Сердюк В.В., Стрельников Е.А. Результаты и перспективы селекции гибридов рапса озимого во ВНИИМК // Масличные культуры. Науч.-тех. бюл. ВНИИМК. 2018. Вып. 4 (176). С. 48–57.
2. Бочкарева Э.Б., Горлова Л.А., Стрельников Е.А., Сердюк В.В. Селекция рапса озимого во ВНИИМК: история и новые результаты (обзор) // Масличные культуры. 2021. Вып. 188. С. 87–95.
3. Бочкарева Э.Б., Горлов С.Л., Сердюк В.В., Горлова Л.А., Поморова Ю.Ю., Шведов И.В., Осик Н.С. Результаты и перспективы селекции рапса и сурепицы со ВНИИМК на качество масла и шрота // Сборник докладов Межд. науч.-практ. конф. «Технологические свойства новых гибридов и сортов масличных и эфиромасличных культур». 2003. С. 120–125.
4. Buchner R. Glucosinolates in rapeseed // Martinus Nijhoff Publishers. –1987. P. 50–58.
5. Halkier B., Gershenzon J. Biology and biochemistry of glucosinolates // Ann Rev Plant Biol. 2006. № 57. P. 303–333.
6. Daun J.K. Glucosinolate Analysis in Rapeseed and Canola // Update. J. Jpn. Oil Chem. Soc. (Yakagaku). 1986. №35. P. 426–434.
7. Fenwick G.R., Heaney R.K., Mullin W.J. Glucosinolates and their breakdown products in food and food plants // CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 1983. № 18. P. 123–202.
8. Осик Н.С., Швецова В.П. Метод быстрой оценки общего содержания глюкозинолатов в семенах капустных для целей селекции // НТБ ВНИИМК. 1996. Вып. 113. С. 98–99.
9. ГОСТ ISO 9167-1-2015. Определение содержания глюкозинолатов. М.: Стандартинформ. 2016.

**ESTIMATION OF THE ERROR IN DETERMINING THE TOTAL CONTENT
OF GLUCOSINOLATES IN SEEDS OF WINTER RAPESEED (*BRASSICA NAPUS* L.)**

Usatenko L.O., Efimenko S.G.

V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops

The working collection of 7119 samples of winter rapeseed harvested in 2022 was used as research material. The research was conducted in the biochemistry laboratory of V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Krasnodar. The total glucosinolate content varied significantly in 195 samples of winter rapeseed – from 7.4 to 81.9 $\mu\text{mol/g}$. The analysis of the average values of the glucosinolate contents obtained by the photocolometric method showed that there is no data beyond the margin of error. The error in determining the glucosinolate content by IR-spectrometer ranged from -18.5 to +15.4 $\mu\text{mol/g}$ in 44 samples. The presence of samples where the error of determination exceeds the permissible values may be due to the different component composition of glucosinolates in the studied samples.

Key words: seeds, rape, glucosinolates, isothiocyanates, IR-spectrometry, anti-nutritional properties.