УДК 631.41

**Влияние особенностей использования чернозема типичного
Курской области на молекулярно-массовый состав лабильных
гумусовых веществ**

Крылов В.А., Мамонтов В.Г.

РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева

Аннотация

Полученные результаты свидетельствуют о том, что ЛГВ (лабильные гумусовые вещества) чернозема типичного являются полидисперсными соединениями. Под влиянием сельскохозяйственного использования увеличивается дисперсность ЛГВ, а молекулярно-массовый состав ЛГВ трансформируется в сторону накопления в их составе фракций с более низкими молекулярными массами. В результате этого среднечисловая молекулярная масса ЛГВ снижается с 15230 а.е.м. у ЛГВ целинного чернозема до 11180–12770 а.е.м. у ЛГВ чернозема под бессменными культурами и паром. Замена бессменного пара залежью не отражается принципиальным образом на степени дисперсности ЛГВ и величинах молекулярных масс фракций. Отмечается лишь тенденция увеличения относительного содержания фракций с высокими молекулярными массами. Это отражается на величине среднечисловой молекулярной массы ЛГВ, которая возросла с 11180 а.е.м в варианте с бессменным паром до 12530 а.е.м. у ЛГВ залежи.

Ключевые слова: ЧЕРНОЗЕМ ТИПИЧНЫЙ, ГЕЛЬ-ХРОМАТОГРАММА, ФРАКЦИЯ, МОЛЕКУЛЯРНАЯ МАССА ФРАКЦИИ, СРЕДНЕЧИСЛОВАЯ МОЛЕКУЛЯРНАЯ МАССА, ЛГВ (ЛАБИЛЬНЫЕ ГУМУСОВЫЕ ВЕЩЕСТВА)

Введение

Лабильные гумусовые вещества (ЛГВ) представляют собой комплекс относительно легко трансформируемых соединений, образующихся при разложении и гумификации органических остатков, корневых выделений, продуктов автолиза и метаболизма почвенной биоты. Они включают новообразованные гумусовые кислоты, неспецифические органиче-

ские соединения, в той или иной мере – зрелые гуминовые и фульвокислоты, непрочно связанные с минеральной частью почвы. Эти вещества принимают непосредственное участие в динамичных почвенных процессах: участвуют в агрегировании почвенной массы, проявляют физиологическую активность по отношению к корневым системам растений и микроорганизмам, одними из первых подвергаются минерализации и др. и непосредственно участвуют в формировании эффективного плодородия почвы [1]. Однако их состав и свойства до настоящего времени исследованы не так обстоятельно, как собственно гуминовых кислот или фульвокислот.

Для изучения состава и свойств гумусовых веществ почвы широко применяются различные инструментальные физико-химические методы [2-6]. К одному из таких методов относится метод гель-хроматографии, зарекомендовавший себя как надежный и быстрый способ фракционирования гумусовых веществ и определения их молекулярных масс. С его помощью получен значительный объем ценной научной информации об особенностях органических веществ различных почв и их роли в почвообразовательном процессе, пространственной и структурной организации, экологических функциях, особенностях взаимодействия с минеральными компонентами почвы [7, 8]. В частности, установлена гетерогенность по размерам молекул не только всей совокупности гумусовых кислот, но и их отдельных фракций, различающихся прочностью связи с минеральной частью почвы. Показано, что с уменьшением молекулярной массы в гуминовых кислотах снижается содержание водорода и азота, увеличиваются концентрация парамагнитных центров, величина оптической плотности и радиоуглеродный возраст фракций, возрастают степень окисленности гуминовых кислот и доля циклических структур в их составе [9, 10]. В высокомолекулярной фракции гуминовых кислот преобладают фрагменты парафинов, олиго- и полисахаридов и аминокислот, тогда как низкомолекулярные фракции сформированы, преимущественно, ароматическими структурами [11, 12]. В то же время особенности молекулярно-массового состава лабильных гумусовых веществ до настоящего времени не получили должного освещения в научной литературе.

Между тем, как отмечают некоторые исследователи [13, 14], именно ЛГВ, в первую очередь, подвергаются трансформации при вовлечении почв в пашню. Поэтому изучение состава и свойств ЛГВ и особенностей их трансформации при различном использовании почв имеет большое научное и практическое значение.

Материалы и методы

Объектом исследования служил чернозем типичный тяжелосуглинистый. Почвенные образцы отбирались в Центрально-Черноземном государственном биосферном заповеднике им. А.А. Алехина на участке целинной некосимой степи из гумусово-аккумулятивного горизонта А чернозема. Образцы пахотного чернозема типичного были отобраны на стационарном полевом опыте Курского НИИ АПП, заложенном в 1964 г. Изучались следующие варианты опыта: бессменная озимая пшеница без удобрений, бессменная кукуруза без удобрений, бессменный пар. Размер делянок – 296 м². В 1998 г. 2/3 участка пара было оставлено под бессменное парование, а 1/3 участка отведена под залежь. Согласно полученным ранее данным [15], в результате экстенсивного сельскохозяйственного использования содержание гумуса в черноземе типичном уменьшилось на 1,95-3,91 %, или на 24-48 % от его содержания в целинной почве.

Почвенные образцы для получения препаратов ЛГВ отбирались в июне 2021 г. из слоя мощностью 0–20 см в 5-кратной повторности методом конверта. ЛГВ экстрагировали из средних образцов 0,1 н. раствором NaOH при соотношении почва : раствор, равном 1 : 20 и суточном настаивании [16]. Полученную вытяжку центрифугировали при 8000 тыс. об/мин, обрабатывали катионитом КУ-23 в Н-форме и высушивали на водяной бане.

Для фракционирования ЛГВ использовали сефадекс G-75. Концентрация ЛГВ, наносимых на колонку, составляла 4 мг/мл, растворителем служил 0,1 н. раствор NaOH, элюентом – 1/15 М фосфатный буфер с pH=7,5, отбор проб проводили через 2 мл, оптическую плотность измеряли на КФК – 3 – 01 при длине волны 315 нм. Для определения свободного объема использовали голубой Декстран, расчет молекулярных масс фракций и средневесовых молекулярных масс ЛГВ проводили по эмпирическим формулам [17].

Результаты и обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о том, что ЛГВ чернозема типичного являются полидисперсными соединениями и имеют сложный молекулярно-массовый состав. Судя по гель-хроматограмме, ЛГВ целинного чернозема типичного состоят из трех фракций, а чернозема, вовлеченного в пашню и находящегося в залежи, четырех фракций, отличающихся друг от друга величиной молекулярных масс и содержанием, при этом в их составе явно доминирует третья фракция (рис. 1).

Рис. 1. Гель-хроматограммы лабильных гумусовых веществ чернозема типичного Курской области

Молекулярные массы ЛГВ чернозема различного использования и их относительное содержание приведены в таблице 1. При сравнении ЛГВ чернозема типичного различного использования можно отметить как общие черты, так и качественные отличия. Общим является наличие в составе всех ЛГВ высокомолекулярной фракции с молекулярной массой ≥ 74440 а.е.м., присутствующей в небольшом количестве. В ЛГВ целинного чернозема ее содержание составило 11,0%. Меньше всего этой фракции в составе ЛГВ чернозема бессменного пара: 7,6 %. В остальных вариантах ее количество находится в пределах 8,8–9,1 %.

Наряду с этим, в составе ЛГВ целинного чернозема типичного присутствуют еще две фракции с молекулярными массами 21620 и 4900 а.е.м. и относительным содержанием 16,0 и 73,0 %, соответственно. Таким образом, в составе ЛГВ чернозема типичного целинного абсолютно преобладают вещества с молекулярной массой 4900 а.е.м. Примерная среднечисловая молекулярная масса ЛГВ целинного чернозема типичного составила 15230 а.е.м.

В составе ЛГВ чернозема типичного под бессменной озимой пшеницей, наряду с высокомолекулярной фракцией, присутствуют еще три фракции с молекулярными масса-

ми 16880, 4900 и 2330 а.е.м. и относительным содержанием 20,3, 41,3 и 29,5 %, соответственно. Примерная среднечисловая молекулярная масса ЛГВ данного варианта составила 12770 а.е.м., что меньше по сравнению с ЛГВ чернозема типичного целинного.

Таблица 1. Влияние особенностей использования на молекулярно-массовый состав ЛГВ чернозема типичного Курской области

Вариант	Номер фракции	Молекулярная масса фракции, а.е.м.	Относительное содержание, %	Примерная среднечисловая молекулярная масса, а.е.м.
Целина	1	≥ 74470	11,0	15230
	2	21620	16,0	
	3	4900	73,0	
Озимая пшеница	1	≥ 74470	8,9	12770
	2	16880	20,3	
	3	4900	41,3	
	4	2330	29,5	
Кукуруза	1	≥ 74470	8,8	11970
	2	16880	15,8	
	3	4900	44,8	
	4	1820	30,6	
Пар	1	≥ 74470	7,6	11180
	2	16880	14,7	
	3	4900	47,7	
	4	2330	30,0	
Залежь	1	≥ 74470	9,1	12530
	2	16880	18,3	
	3	4900	38,0	
	4	2330	34,6	

Схожий молекулярно-массовый состав имеют и ЛГВ чернозема типичного в варианте с бессменной кукурузой. Вторая и третья фракции имеют такие же молекулярные массы – 16880 и 4900 а.е.м. при относительном содержании 15,8 и 44,8 %, соответственно. В то же время третья фракция, содержащаяся в количестве 30,6%, имеет несколько более низкую молекулярную массу, равную 1820 а.е.м. Примерная среднечисловая молекулярная масса ЛГВ составила 11970 а.е.м. Таким образом, по сравнению с вариантом с бессменной озимой пшеницей ЛГВ варианта с бессменной кукурузой характеризуются несколько более низким относительным содержанием второй фракции, меньшей молекулярной массой четвертой фракции и более низкой примерной среднечисловой молекулярной

массой.

Молекулярно-массовый состав ЛГВ чернозема бессменного пара очень похож на таковой ЛГВ варианта с бессменной озимой пшеницей. Наряду с высокомолекулярной фракцией, в их составе присутствуют еще три фракции с молекулярными массами 16880, 4900 и 2330 а.е.м. и относительным содержанием 14.7, 47.7 и 30.0 %. Примерная среднечисловая молекулярная масса составила 11180 а.е.м. Таким образом, под влиянием бессменного пара в составе ЛГВ, по сравнению с вариантом с бессменной озимой пшеницей, несколько уменьшилось относительное содержание фракции с молекулярной массой 16880 а.е.м. и возросло содержание фракции с молекулярной массой 4900 а.е.м. Примерная среднечисловая молекулярная масса ЛГВ составила 11180 а.е.м.

Перевод бессменного пара в залежь принципиально не повлиял на молекулярно-массовый состав ЛГВ. ЛГВ чернозема залежи, кроме высокомолекулярной фракции, включают фракции с молекулярными массами 16880, 4900, 2330 а.е.м и относительным содержанием 18.3, 38.0 и 34.6 %, соответственно. Примерная среднечисловая молекулярная масса ЛГВ составила 12530 а.е.м. В целом трансформация молекулярно-массового состава ЛГВ чернозема при переводе бессменного пара в залежь происходит очень медленно. Можно отметить лишь как тенденцию увеличение относительного содержания фракций с молекулярными массами $\geq 74470, 16880$ а.е.м и увеличение на 5% относительного содержания фракции с молекулярной массой 2330 а.е.м., что, вероятно, обусловлено включением в состав ЛГВ новообразованных гумусовых веществ в связи с улучшением условий гумификации. При этом, как было показано ранее, прирост содержания органического углерода при переводе бессменного пара в залежь происходит со скоростью всего 0,03% в год [13], что и отражается на молекулярно-массовом составе ЛГВ чернозема залежи.

Выводы

1. Лабильные гумусовые вещества чернозема типичного представляют собой совокупность органических веществ с различными молекулярными массами. Наряду с присутствием высокомолекулярной фракции размером ≥ 74470 а.е.м., в их составе явно доминирует фракция с молекулярной массой 4900 а.е.м., относительное содержание которой варьирует в пределах 38,0–73,0 %.

2. Под влиянием сельскохозяйственного использования происходит трансформация молекулярно-массового состава лабильных гумусовых веществ. Об этом свидетельствует исчезновение на гель-хроматограммах фракции с молекулярной массой 21620 а.е.м. и появление новых фракций с молекулярными массами 16880, 2330 и 1820 а.е.м., а также уменьшение среднечисловых молекулярных масс лабильных гумусовых веществ на 2460–4060 а.е.м.

3. Трансформация бессменного пара в залежь за истекший период не оказала существенного влияния на молекулярно-массовый состав лабильных гумусовых веществ чернозема типичного. Отмечается лишь некоторое (на 1360 а.е.м.) увеличение их среднечисловой молекулярной массы.

Список использованных источников

1. Мамонтов В.Г., Афанасьев Р.А., Соколовская Е.Л. Лабильные гумусовые вещества – особая группа органических соединений чернозема обыкновенного // Плодородие. – 2018. – № 5 (104). – С. 15-19.
2. Чуков С.Н., Е.Д. Лодыгин, Е.В. Абакумов Использование ¹³C ЯМР-спектроскопии в исследовании органического вещества почв (обзор) // Почвоведение. – 2018. – № 8. – С. 952–964. DOI: [10.1134/S0032180X18080026](https://doi.org/10.1134/S0032180X18080026).
3. Черников В.А. Изменения гумусовых соединений почвы в длительном стационарном опыте ТСХА // Плодородие. – 2002. – №4 (7). – С. 34-36.
4. Шевцова Л.К., Черников В.А., Сычев В.Г., Беличенко М.В., Рухович О.В., Иванова О.И. Влияние длительного применения удобрений на состав, свойства и структурные характеристики гумусовых кислот основных типов почв. Сообщение 1 // Агрохимия. – 2019. – № 10. – С. 3-15.
5. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. – М.: МГУ, 1990. – 325 с.
6. Giovanela M., Crespo J.S., Antunes M., Adametti D.S., Fernandes A.N., Barison A., da Silva C.W.P., Motelica-Heino R.G.M. Chemical and spectroscopic characterization of humic acids extracted from the bottom sediments of Brazilian subtropical microbasin // Journal of Molecular Structure. – 2010. – 981 (1-3). – P. 111-119.
7. Лодыгин Е.Д., Безносиков В.А., Василевич Р.С. Изучение полидисперсности гумусовых веществ методом гель-хроматографии // Доклады Россельхозакадемии. – 2012. – № 4. – С. 24–27. – DOI: [10.3103/S1068367412040118](https://doi.org/10.3103/S1068367412040118).
8. Попов А.И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование. – СПб.: Изд-во С.-Петербургского университета, 2004. – 248 с.

9. Ширшова Л.Т. Полидисперсность гумусовых веществ почв. – М.: Наука, 1991. – 85 с.
10. Chefetz B., Tarchitzky J., Deshmukh A.P., Hatcher P.G., Chen Y. Structural characterization of soil organic matter and humic acids in particle-size fraction of an agricultural soil // Soil Science Soc. America. – 2002. – Vol. 66. №1. – P. 129-141.
11. Трубецкой О.А., Трубецкая О.Е. ¹³C-ЯМР анализ компонентов гуминовой кислоты чернозема и ее фракций различного молекулярного размера и электрофоретической подвижности // Почвоведение. – 2011. – № 3. – С. 311–316.
12. Василевич Р.С., Вежов К.С., Лодыгин Е.Д. Молекулярно-массовое распределение гуминовых кислот мерзлотных бугристых торфяников Европейского Северо-Востока России // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – № 8. – С. 146-154.
13. Когут Б.М. Трансформация гумусового состояния черноземов при их сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. – 1998. – № 7. – С. 794-802.
14. Чуков С.Н. Структурно-функциональные параметры органического вещества почв в условиях антропогенного воздействия. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2001. – 216 с.
15. Мамонтов В.Г., Артемьева З.С., Лазарев В.И., Родионова Л.П., Крылов В.А., Ахмедзянова Р.Р. Сравнительная характеристика свойств целинного, пахотного и залежного чернозема типичного Курской области // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. – 2020 (101). – С. 182-201.
16. Когут Б.М., Булкина Л.Ю. Сравнительная оценка воспроизводимости методов определения лабильных форм гумуса черноземов // Почвоведение. – 1987. – № 4. – С. 143-145.
17. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. – М.: МГУ, 1981. – 272 с.

=====

Цитирование:

Крылов В.А., Мамонтов В.Г. Влияние особенностей использования чернозема типичного Курской области на молекулярно-массовый состав лабильных гумусовых веществ [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №4. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/4/st_418.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/20214418>.