

5. Бекбутаев, М. Б. Лен масличный в Узбекистане / М. Б. Бекбутаев // Масличные культуры. – 2005. – № 3. – С. 81–96.

6. Цыганов, А. Р. Микроэлементы и микроудобрения: учеб. пособие / А. Р. Цыганов, Т. Ф. Персикова, С. Ф. Реуцкая. – Минск, 1998. – 122 с.

7. Дридигер, В. К. Лен масличный на Ставрополье: монография / В. К. Дридигер, А. Н. Есаулко, Г. Р. Дорожко. – Ставрополь: Параграф, 2013. – 148 с.

INFLUENCE OF VARIOUS FORMS AND DOSES OF MICROFERTILIZERS ON THE ACCUMULATION AND REMOVAL OF MICROELEMENTS BY PLANTSOIL FLAX

E. N. Pukalova

Summary

The article presents the results of field experiments on the accumulation and removal of micronutrients by oil flax plants in foliar top dressing in the form of inorganic salts and the new liquid microfertilizer Mi-croStim. Application of microfertilizer MicroStim contributed to a more intensive accumulation of boron, zinc and copper in seeds and straw of flax in comparison with inorganic salts, increased the total removal of copper by 2,3–30,3 %, zinc – by 8,9–12,5 % (for except for with a dose $Zn_{0,3} Cu_{0,1}$), boron – 2,8–18,7 %.

Поступила 08.05.2020

УДК 631.825:633.521

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ С ДОБАВКАМИ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПОСТУПЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗА В ПОЧВУ И РАСТЕНИЯ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО, УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО СЕМЯН

Г. В. Пироговская, Ю. Г. Милоста

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Содержание железа в земной коре достигает 5,1 %. Оно занимает четвертое место после кислорода (49,4 %), кремния (28,6 %), и алюминия (8,32 %), присутствует почти во всех горных породах и составляет в кислых породах 2–3 % (граниты), в основных – от 7–8 до 12–14 % (базальт, габбро, диабаз и др.). В почве железо присутствует в виде Fe^{+2} и Fe^{+3} , что обусловлено почвенными режимами и кислотностью почвы. В аэробных условиях оно трехвалентно, а в анаэробных – двухвалентно. Fe_2O_3 – окисел, практически не растворимый в почвенных водах, а FeO – наиболее растворимое и подвижное соединение [1, 2].

Железо является обязательным компонентом всех живых организмов, необходимым для кислородного обмена и окислительных процессов. Известно, что железо признано одним из важных элементов в жизнедеятельности растений. Существуют различные мнения относительно потребления растениями соединений железа. Если в почвенных процессах железо играет роль важнейшего макроэлемента, то для растений оно является микроэлементом. Существует гипотеза, что растения поглощают водорастворимое и обменное железо. Реакция растений как на токсическое действие железа, так и на его недостаточность весьма изменчива и зависит от их генотипа и вида. При избыточных концентрациях Fe образует хелатоподобные комплексы с обычными метаболитами, нарушая нормальный обмен веществ, взаимодействует с клеточными мембранами, изменяя их проницаемость и вызывая разрыв. На поглощение и перенос железа в растительных органах влияет ряд факторов, из которых наибольшее значение имеют pH, содержание кальция и фосфора, а также соотношение некоторых тяжелых металлов. Растения, хорошо обеспеченные питательными веществами, в частности, кальцием и кремнием, могут выдерживать воздействие очень высоких концентраций железа. Установлено, что содержание железа в растениях исчисляется тысячами мг/кг сухого вещества, причем в многолетних частях растений аккумулируется большая часть элемента. Органами-концентраторами железа можно назвать корни и кору [3, 4].

Установлено, что хлороз растений связан с карбонатностью почв, вследствие снижения поступления железа в растения, однако развитие хлороза обусловлено целым комплексом факторов и прежде всего взаимодействием железа с другими макро- и микроэлементами, реакцией почвенной среды. Отдельными исследователями установлено, что избыток фосфора, меди, цинка, молибдена вызывает осаждение железа и снижает его поступление в растение [5, 6]. Низкие концентрации в почвах меди, магния, калия благоприятно сказываются на поступлении железа в растение и даже стимулируют его, а повышенные снижают [7].

Одни исследователи считают, что железо поступает в растение только в 2-валентной форме, при этом корни растений способствуют переводу в прикорневой зоне окисного железа в закисное, другие пришли к выводу, что при недостатке железа в питательной среде у растения наступает стрессовое состояние, начинают выделяться продукты кислой природы, способствующие переходу окисных форм железа в закисное [8].

Железо в обменной форме поглощается растениями и предохраняет их от хлороза. Железо-органические комплексы снижают необратимое связывание фосфора и обеспечивают лучшее фосфорное питание растений. Наиболее доступны для растений гумусо-железистые соединения, находящиеся в виде хелатов [9, 10]. Например, К. В. Дьяконова установила, что железо гумусовых соединений теряет положительный заряд, происходит его осаждение в виде гидроокисей [9]. Другие считают, что хелаты поглощаются растениями без предварительного расщепления [10].

Известно применение различных железосодержащих соединений на 6 хозяйственно-ценных сортах льна, их влияние на степень проявления хлороза, подкисление среды, на дефицит Fe и поглощение Fe из растворов с разной концентрацией (питательная смесь Стейнберга с добавлением микроэлементов по Хоглэнду-Арнону, pH 6,0). Установлено, что степень проявления хлороза и на-

копление железа корнями растений льна зависит от сорта и содержания железа в водном растворе [11].

Имеются сведения о необходимости изучения соотношений между железом и марганцем у растений льна. В вегетационных условиях с сортами льна (*Linum usitatissimum* L.): Clark (I) и Culbert (II) на карбонатной почве (Calciaquolls: pH 8,1–8,4, 1,7–1,8 % органического C, с содержанием ДТРА-растворимых Fe и Mn – 6,2–6,4 и 4,7–6,6 мг/кг почвы соответственно) изучали влияние внесения Fe – ЭДДГА на поступление в растения Fe и Mn и их распределение по органам растений, влияние температуры почвы на рост растений и поглощение ими Fe и Mn. Установлено, что без внесения Fe признаки хлороза отмечались через 30 дней после посева у сорта II, но при температуре 15°C отсутствовали. У сорта II накапливалось Mn меньше, а железа больше, особенно в листьях в молодом возрасте, и это различие усиливалось при внесении Fe. При выращивании льна в вегетационных опытах с внесением в почву Fe в дозе 0 (контроль), 0,5 и 2,0 мг/кг почвы в форме Fe – ЭДДГА в надземной части льна значительно повышалось содержание Mn, незначительно снижалось содержание Zn и эндогенного Fe [12].

Имеются данные, что для мобилизации Mn и Fe из почв разного уровня кислотности двудольные растения используют в основном механизм химического восстановления, а однодольные (менее зависимые от pH) – органическое комплексообразование Mn (II)-Fe (III). Обнаружена положительная корреляция между фракциями растворимых Mn и Fe в ризосфере, как и между скоростями их поглощения, так как механизм мобилизации обоих элементов растениями близок [13].

Приведенные данные свидетельствуют о том, что физиологические функции железа в растениях объясняются двумя важными свойствами: способностью образовывать хелатные комплексы и способностью изменять валентность. Железо поглощается растениями как в Fe⁺², в виде ионов (Fe), так и в виде хелатных форм.

Однако в научной литературе до настоящего времени недостаточно информации о роли железа в питании растений, механизма его потребления различными сельскохозяйственными культурами, дефиците и токсичности его для растений, а также его влиянии на урожайность и качество продукции, заболеваемость растений. Класс опасности железа на здоровье человека и состояние экосистем не предусмотрен, также лимитирующий показатель вредности не определен.

Таким образом, цель исследований – изучить влияние комплексных удобрений с добавками железосодержащих соединений на поступление железа в почву и растения льна масличного, определение их влияния на урожайность, масличность и заболеваемость растений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объект исследований – сорт льна масличного Солнечный, который возделывался в полевых опытах (2006–2008 гг.) на дерново-подзолистой супесчаной, развивающейся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 0,5 м моренным суглинком, почве (опытное поле УО «ГГАУ» (д. Зарица») Гродненского района Гродненской области).

Предмет исследований: удобрения для льна масличного – комплексные (NPK) с добавками микроэлементов (B и Zn) – базовый вариант; NPK с B, Zn, Fe (в форме

сульфата железа); NPK с В, Zn, Fe (в форме хелатов – X¹, X², X³); NPK с В, Zn, Fe (X²) и регуляторами роста растений.

Все модифицирующие добавки (В, Zn, Fe, регуляторы роста растений) включены в состав гранулированных комплексных NPK. Удобрения предназначенные для основного внесения в почву.

В качестве железосодержащих соединений применяли:

- сульфат железа – неорганическое химическое соединение, соль Fe₂(SO₄)₃, растворяется в воде и этаноле (Fe = 27,9 %);
- хелат железа 1 (X¹) – водорастворимое соединение, состоящее из водорастворимого комплекса Fe – DTPA (Fe = 11,0 %);
- хелат железа 2 (X²) – водорастворимое соединение, состоящее из водорастворимого комплекса D-FE (Fe = 13,0 %);
- хелат железа 3 (X³) (Fertika) – водорастворимое соединение, состоящее из водорастворимого комплекса EDT (Fe = 11,0 %).

Марки комплексных удобрений с модифицирующими добавками следующие: NPK = 13:11,5:21 и NPK = 12:12,5:19. Изучение влияния железосодержащих соединений на некоторые показатели льна масличного проводили (2006–2008 гг.) по следующей схеме:

1. Контроль без удобрений
2. N₆₀P₅₂K₉₆ с В и Zn – базовый вариант
3. N₆₀P₅₂K₉₆ с В, Zn, Fe – 0,10 %) – сульфат железа
4. N₆₀P₅₂K₉₆ с В, Zn, Fe (хелат¹ – 0,05 %)
5. N₆₀P₅₂K₉₆ с В, Zn, Fe (хелат¹ – 0,10 %)
6. N₆₀P₅₂K₉₆ с В, Zn, Fe (хелат¹ – 0,15 %)
7. N₆₀P₆₃K₉₆ с В, Zn, Fe (хелат² – 0,035 %)
8. N₆₀P₆₃K₉₆ с В, Zn, Fe (хелат² – 0,07 %)
9. N₆₀P₆₃K₉₆ с В, Zn, Fe (хелат² – 0,07 %), Эпином
10. N₆₀P₆₃K₉₆ с В, Zn, Fe (хелат² – 0,07 %), Гидрогуматом
11. N₆₀P₆₃K₉₆ с В, Zn, Fe (хелат³, – 0,10 %)
12. N₆₀P₆₃K₉₆ с В, Zn, Fe (хелат³ – 0,15 %)

Площадь делянок в полевом опыте составляла – 48 (2006), учетная площадь делянок – 35 м² и 42 м² (2007–2008 гг.), учетная площадь делянок – 30 м², повторность вариантов – 4-кратная.

Агрохимические показатели пахотного слоя дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы перед закладкой полевых опытов в 2006–2008 гг. приведены в табл. 1.

Таблица 1

Агрохимическая характеристика пахотного горизонта дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы перед закладкой полевых опытов (среднее по вариантам), 2006–2008 гг.

Год исследований	рН	Гумус, %	Содержание элементов, мг/кг почвы								
			P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Cu	Zn	B	Fe _{общ}	Mn
2006	6,0	1,67	165	195	700	125	1,2	2,1	0,69	71,4	1,8
2007	5,8	1,51	158	143	717	109	0,8	1,7	0,68	46,0	1,6
2008	6,1	1,70	181	197	1213	237	1,2	1,9	0,60	43,0	1,6

Данные, приведенные в табл. 1, свидетельствуют о том, что исследования по агрохимической эффективности комплексных удобрений с модифицирующими добавками при возделывании льна масличного проводили на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве со слабокислой и близкой к нейтральной реакцией почвенной среды, с повышенным содержанием подвижного P_2O_5 и средним содержанием K_2O , низким и повышенным содержанием обменного кальция, средним и повышенным содержанием магния обменного, низким содержанием подвижной меди и подвижного цинка, средним содержанием бора, низким содержанием подвижного марганца, подвижного железа, со средним содержанием гумуса [14].

Уход за посевами льна масличного в технологии его возделывания был следующий: семена льна перед посевом обрабатывали витаваксом 200 ФФ, 34 % в. к. с. (2,0 л/т); сев был проведен сеялкой СПУ-Л с междурядьями 10 см; в фазе «елочка» проведена химическая прополка льна против однолетних сорняков гербицидами – агритокс (1,0 л/га) + лонтрел – 0,2 л/га); через 5 дней – против злаковых сорняков гербицидом фюзилад в дозе 0,9 л/га и против льняной блошки – препаратом БИ-58 – 0,75 л/га).

Уборка льна масличного осуществлялась: 2006 г. (слабозасушливый вегетационный период) – 26 июля; 2007 г. (оптимальный) – 4 августа и 2008 г. (влажный) – 5 сентября.

Аналитическая обработка экспериментальных данных, полученных в опыте, выполнялась по общепринятым методикам.

Почвенные образцы анализировали в соответствии с общепринятыми методиками:

- рН в КСl суспензии – ЦИНАО ГОСТ 26483-85;
- подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову, в модификации ЦИНАО ГОСТ 26207-91;
- обменные катионы (Ca^{++} , Mg^{++}) – по ЦИНАО ГОСТ 26487-85;
- содержание гумуса – по методу ЦИНАО ГОСТ 26213-91;
- подвижного бора – по Бергеру и Труогу в модификации ЦИНАО, ГОСТ Р 50688-94; (водная вытяжка)
- Си – «Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства»; 2-е издание МСХ РФ, ЦИНАО (утв. 10.03.1992 г.). (вытяжка 1,0 М HCl);
- цинк – «Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства»; 2-е издание (переработанное и дополненное) Министерство сельского хозяйства РФ. ЦИНАО. Утв. 10.03.1992 г. (вытяжка 1,0 М HCl);
- марганец – по методу ЦИНАО ГОСТ 26486-85 (в вытяжке 1 М KCl);
- содержание подвижных соединений двух-, трехвалентного железа в почвах – ГОСТ 27395-87 «Метод определения подвижных соединений двух-, трехвалентного железа по Веригиной-Аринушкиной»; (вытяжка 0,1 н H_2SO_4);
- содержание железа в растительных пробах – ГОСТ 27998-88 «Корма растительные»;
- технология возделывания льна масличного осуществлялась в соответствии с отраслевыми регламентами «Возделывание льна масличного на семена» [15].

Статистическая обработка результатов исследований проведена по Б. А. Доспехову [16] с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на ПЭВМ, наименьшая существенная разность рассчитывалась с помощью компьютерной программы по годам и блокам.

Расчет средней НСР за два-три года исследований производился по М. Ф. Дембицкому [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика погодных условий в период возделывания льна масличного (2006–2008 гг.) приведена в табл. 2.

Таблица 2

Сумма положительных температур воздуха, количество атмосферных осадков и гидротермический коэффициент за период май–сентябрь 2006–2008 гг. (УО «ГТАУ» (д. Зарица» Гродненского района Гродненской области)

Год	Показатель	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	За 4–8 месяц
2006	Осадки, мм	22,0	37,0	51,0	11,0	155,0	254,0
	Температура, С°	7,2	13,1	16,5	21,4	17,7	17,2
	Сумма температур >10 °С	–	406,1	495,0	663,4	548,7	2113,2
	ГТК	–	0,91	1,03	0,17	2,82	1,20
2007	Осадки, мм	19,0	52,0	74,0	13,0	25,0	282,0
	Температура, °С	7,5	14,1	18,2	17,8	18,8	17,2
	Сумма температур >10 °С	–	437,1	546,0	551,8	582,8	2117,7
	ГТК	–	1,19	1,36	2,37	0,43	1,33
2008	Осадки, мм	38,0	87,0	45,0	108,0	66,0	306,0
	Температура, °С	8,9	12,0	16,7	17,9	17,9	16,1
	Сумма температур >10 °С	–	372,0	501,0	554,9	554,9	1982,8
	ГТК	–	2,34	0,9	1,95	1,19	1,54
Средне-ноготлетнее	Осадки, мм	40,0	51,0	76,0	77,0	66,4	310,0
	Температура, °С	6,3	12,9	16,2	17,8	16,7	15,9
	Сумма температур >10 °С	–	399,9	486,0	551,8	517,7	1955,4
	ГТК	–	1,28	1,34	1,40	1,28	1,59

Данные распределения атмосферных осадков за вегетационный период в 2006 г. показывают, что осадки были распределены неравномерно, их количество при возделывании льна масличного изменялось по месяцам в широких пределах: от 11,0 мм (июль) до 155,0 мм (август). Температура воздуха во все месяцы наблюдений была выше среднемноголетней, при этом была максимальной в июле – 21,4 °С, что в 1,2 раза выше среднемноголетнего значения. За вегетационный период с мая по август ГТК по месяцам изменялся в пределах от 0,17 (июль) до 2,82 (август), а в среднем за вегетационный период (5–8-й месяц) ГТК составил 1,20 при среднемноголетнем – 1,59. Вегетационный период возделывания льна масличного в 2006 г. считался как слабозасушливый.

Что касается выпадения атмосферных осадков и температуры воздуха по месяцам в период возделывания льна масличного в 2007 г., то эти показатели также отличались от среднемноголетних значений. Минимальное количество атмосферных осадков выпадало в июле (13,0 мм), максимальное – в мае (52,0 мм). За период май–август сумма осадков составила 282,0 мм, при среднемноголетних 310,0 мм. ГТК по месяцам изменялся в пределах от 0,43 (август) до 2,37 (июль), а за 5–8-й месяц составил 1,33 и вегетационный период по влагообеспеченности льна масличного характеризовался как оптимальный.

При возделывании льна масличного в 2008 г. погодные условия отличались от среднемноголетних показателей: атмосферных осадков выпало в мае – в 1,7 раза больше, июне – в 1,7 раза меньше, в июле – в 1,4 раза больше, а в августе – примерно на одном уровне. Сумма осадков за период май–август составила 310,0 мм. Все месяцы, кроме мая и июня, были теплее среднемноголетних. ГТК по месяцам изменялся в пределах от 0,90 (июнь) до 2,34 (май), за 5–8-й месяц составил 1,54. Вегетационный период возделывания льна масличного в 2008 г. был влажным.

В табл. 3 представлены данные по содержанию общего и 2-валентного железа (Fe^{+2}) в пахотном горизонте дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы перед закладкой опытов и перед уборкой льна масличного. Установлено, что в 2006 г. перед закладкой полевого опыта со льном масличным содержание общего железа в пахотном горизонте исследуемой почвы находилось в пределах от 63,7 до 77,2 мг/кг почвы, а процент 2-валентного железа, которое доступно для растений, составлял, в зависимости от вариантов опыта, от 7,9 до 16,3 %, в 2007 г. – от 33,3 до 64,0 мг/кг почвы, или 10,2–33,0 %, в 2008 г. – от 33,8 до 59,8 мг/кг почвы, или 10,1–30,0 %.

Таблица 3

Содержание общего и 2-валентного железа в пахотном горизонте дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы, 2006–2008 гг.

Вариант опыта	Содержание общего железа в пахотном горизонте почвы, мг / кг почвы								
	2006 г.			2007 г.			2008 г.		
	перед посе- вом	перед убор- кой	+,- к исх.	перед посе- вом	перед убор- кой	+,- к исх.	перед посе- вом	перед убор- кой	+,- к исх.
А пах									
Контроль без удоб- рений	<u>69,6*</u> 7,2**	<u>72,4</u> 7,8	<u>2,8</u> 0,6	<u>60,7</u> 7,8	<u>71,2</u> 7,2	<u>10,5</u> -0,6	<u>44,6</u> 7,9	<u>70,3</u> 7,3	<u>25,7</u> -0,6
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В и Zn базовый вариант	<u>67,3</u> 6,5	<u>68,1</u> 8,6	<u>0,8</u> 2,1	<u>40,2</u> 6,5	<u>65,3</u> 8,6	<u>25,1</u> 2,1	<u>33,8</u> 6,6	<u>46,7</u> 8,6	<u>12,9</u> 2,0
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe 0,10 %) сульфат железа	<u>63,7</u> 6,5	<u>74,5</u> 6,7	<u>10,8</u> 0,2	<u>64,0</u> 6,5	<u>75,0</u> 6,2	<u>11,0</u> -0,3	<u>43,5</u> 6,6	<u>74,1</u> 7,3	<u>30,6</u> 0,7
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат1 0,05 %)	<u>77,2</u> 6,1	<u>84,2</u> 7,4	<u>7,0</u> 1,3	<u>33,3</u> 6,1	<u>48,3</u> 7,5	<u>15,0</u> 1,4	<u>59,2</u> 6,0	<u>60,4</u> 7,3	<u>1,2</u> 1,3
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат1 0,10 %)	<u>72,1</u> 9,7	<u>87,4</u> 6,1	<u>15,3</u> -3,6	<u>58,7</u> 9,7	<u>59,2</u> 6,2	<u>0,5</u> -3,5	<u>44,6</u> 9,8	<u>67,1</u> 6,0	<u>22,5</u> -3,8
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат1 0,15 %)	<u>74,5</u> 7,7	<u>89,3</u> 9,1	<u>14,8</u> 1,4	<u>44,1</u> 7,8	<u>67,5</u> 9,0	<u>23,4</u> 1,2	<u>59,8</u> 7,7	<u>53,8</u> 9,2	<u>-6,0</u> 1,5
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат2 0,035 %)	<u>76,4</u> 9,7	<u>85,1</u> 6,5	<u>8,7</u> -3,2	<u>59,3</u> 9,7	<u>54,2</u> 6,4	<u>-5,1</u> -3,3	<u>42,8</u> 9,8	<u>61,2</u> 6,6	<u>18,4</u> -3,2

Вариант опыта	Содержание общего железа в пахотном горизонте почвы, мг / кг почвы								
	2006 г.			2007 г.			2008 г.		
	перед посе- вом	перед убор- кой	+,- к исх.	перед посе- вом	перед убор- кой	+,-к исх.	перед посе- вом	перед убор- кой	+,-к исх.
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² 0,07 %)	<u>72,2</u> 9,1	<u>82,5</u> 7,5	<u>10,3</u> -1,6	<u>42,3</u> 9,1	<u>62,2</u> 7,8	<u>19,9</u> -1,3	<u>34,4</u> 9,2	<u>42,4</u> 7,3	<u>8,0</u> -1,9
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² 0,07 %), Эпином	<u>65,3</u> 6,5	<u>78,4</u> 6,0	<u>13,1</u> -0,5	<u>43,2</u> 6,4	<u>65,3</u> 6,0	<u>22,0</u> -0,4	<u>33,8</u> 6,6	<u>72,9</u> 6,0	<u>39,1</u> -0,6
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² 0,07 %), Гидрогуматом	<u>72,4</u> 7,8	<u>84,8</u> 7,8	<u>12,4</u> 0	<u>33,3</u> 7,8	<u>71,2</u> 7,8	<u>37,7</u> 0	<u>36,4</u> 7,9	<u>51,0</u> 7,9	<u>13,7</u> 0
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ³ , 0,10 %)	<u>70,7</u> 11,5	<u>78,3</u> 5,8	<u>7,6</u> -5,7	<u>33,9</u> 11,2	<u>43,4</u> 6,2	<u>9,1</u> -5,0	<u>39,3</u> 11,8	<u>47,7</u> -5,4	<u>8,4</u> -6,4
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ³ 0,15 %)	<u>75,4</u> 6,2	<u>92,1</u> 3,8	<u>16,7</u> -24	<u>38,8</u> 6,5	<u>38,3</u> 4,2	<u>-0,5</u> -2,3	<u>43,5</u> 6,0	<u>69,3</u> 3,4	<u>25,0</u> -2,6
НСР ₀₅	<u>11,9</u> 0,35	<u>14,7</u> 0,46	-	<u>11,4</u> 0,22	<u>13,5</u> 0,61	-	<u>11,5</u> 0,21	<u>12,5</u> 0,60	-

* В числителе – содержание общего железа.

** В знаменателе – двухвалентного (Fe⁺²).

Перед уборкой льна масличного в условиях слабозасушливого периода 2006 г. содержание Fe⁺² составляло от 4,1 до 12,6 % от общего железа, в 2007 г. при оптимальных условиях – от 8,3 до 15,5 %, в 2008 г. в условиях влажного периода – от 4,9 до 18,4 %.

Выявлена также закономерность, что в варианте с внесением комплексного удобрения N₆₀P₅₂K₉₆ с В, Zn, Fe (хелат¹, 0,10 %), а также комплексного N₆₀P₆₃K₉₆ с В, Zn, Fe (хелат², 0,07 %), в том числе и с регуляторами роста растений (Гидрогуматом и Эпином) перед уборкой содержание двухвалентного железа снижалось в большей степени, чем с включением железа в удобрение в минимальных и максимальных количествах. Это, по-видимому, связано с максимальным потреблением железа растениями, так как в этих вариантах получена и более высокая урожайность семян льна масличного (табл. 4).

Таблица 4

Влияние комплексных удобрений с добавками железосодержащих соединений на урожайность льна масличного на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, 2006–2008 гг.

Вариант опыта	Урожайность семян льна масличного, ц/га					
	2006 г.	2007 г.	2008 г.	Среднее, за 2006–2008 гг.	Прибавка к контролю	+,- от Fe
Контроль без удобрений	4,8	5,4	5,6	5,3	-	-
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В и Zn – базовый вариант	9,3	9,4	13,4	10,7	5,4	-
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe – 0,10 %) – сульфат железа	9,3	9,4	14,8	11,2	5,9	0,5
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ¹ – 0,05 %)	9,6	9,5	14,5	11,2	5,9	0,5

Вариант опыта	Урожайность семян льна масличного, ц/га					
	2006 г.	2007 г.	2008 г.	Среднее, за 2006–2008 гг.	Прибавка к контролю	+,- от Fe
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ¹ – 0,10 %)	10,6	10,2	15,6	12,1	6,8	1,4
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ¹ – 0,15 %)	10,1	9,6	14,2	11,3	6,0	0,6
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² – 0,035 %)	9,1	11,5	16,1	12,2	6,9	1,5
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² – 0,07 %)	10,0	12,5	17,8	13,4	8,1	2,7
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² – 0,07 %), Эпином	9,4	16,5	21,2	15,7	10,4	5,0* 2,3
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² – 0,07 %), Гидрогуматом	8,4	19,0	22,8	16,7	11,4	6,0** 3,3
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ³ , – 0,10 %)	10,0	12,5	18,5	13,7	8,4	3,0
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ³ – 0,15 %)	8,2	10,7	14,6	11,2	5,9	0,5
Среднее по вариантам	9,1	11,4	15,8	12,1	7,4	2,2
НСП ₀₅	0,92	1,05	1,31	0,64	–	–

* В числителе – прибавка от железа и регулятора роста растений Эпин, в знаменателе – от Эпина, включенных в состав комплексного удобрения NPK с В, Zn, Fe (хелат², 0,07 %).

** От железа и регулятора роста растений Гидрогумат и от Гидрогумата соответственно.

Данные, приведенные в табл. 4, свидетельствуют о том, что внесение N₆₀P₅₂K₉₆ с В, Zn, содержащих соединения железа (хелат¹) в количествах от 0,05 до 0,15 % от массы удобрения, способствовало увеличению урожайности семян льна масличного на 0,5–1,4 ц/га по сравнению с аналогичным комплексным удобрением без железа (базовый вариант). При этом достоверное повышение урожайности (1,4 ц/га) отмечено только с NPK, содержащим железосодержащие соединения в количестве 0,10 % от массы удобрения.

При включении Fe (хелат²) в комплексное удобрение N₆₀P₆₃K₉₆ с В, Zn в количестве 0,035 и 0,07 % от массы удобрения урожайность семян повысилась на 1,5–2,7 ц/га. Но наиболее эффективными комплексными удобрениями были N₆₀P₆₃K₉₆ с добавками В, Zn, Fe (хелат² с регуляторами роста растений – Эпин и Гидрогумат), обеспечившими максимальную прибавку семян в размере 5,0–6,0 ц/га по сравнению с базовым вариантом. Прибавка семян льна масличного от регуляторов роста растений, включенных в состав комплексного удобрения с В, Zn, Fe, составила 2,3 (от Эпина), 3,3 (от Гидрогумата).

Что касается эффективности комплексного N₆₀P₆₃K₉₆ с В, Zn и Fe (хелат³), содержащим железо в количестве 0,10–0,15 % от массы удобрения, то более эффективным оказалось удобрение с 0,10 % железа, обеспечившим повышение урожайности семян на 3,0 ц/га по сравнению с базовым вариантом.

Содержание масла в семенах льна масличного приведено в табл. 5.

Не установлено четкой зависимости изменения содержания масла в семенах в различные по степени увлажнения годы: среднее содержание масла в семенах по вариантам опыта составило в 2006 г. – 48,4 %, в 2007 г. – 48,0 % и в 2008 г. – 48,6 %, а в среднем за три года – 48,3 %. Однако следует отметить, что прибавка содержания масла в семенах отмечена как по отношению к контролю

(от 4,3 до 9,3 %), так и от комплексных удобрений, содержащих соединения железа по сравнению с базовым вариантом (комплексным удобрением без железа).

Таблица 5

Влияние комплексных удобрений с добавками железосодержащих соединений на содержание масла в семенах льна масличного на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, 2006–2008 гг.

Вариант опыта	Масличность, %					
	2006 г.	2007 г.	2008 г.	Среднее, за 2006–2008 гг.	+ к контролю	+,- от Fe
Контроль без удобрений	40,0	42,0	43,0	41,7	–	–
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В и Zn – базовый вариант	48,0	45,0	45,0	46,0	4,3	–
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe – 0,10 %) – сульфат железа	50,0	49,0	50,0	49,0	7,3	3,0
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ¹ – 0,05 %)	49,0	47,0	49,0	48,3	6,6	2,3
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ¹ – 0,10 %)	49,0	48,0	49,0	48,7	7,0	2,7
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ¹ – 0,15 %)	50,0	51,0	52,0	51,0	9,3	5,0
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² – 0,035 %)	50,0	49,0	50,0	49,7	8,0	3,7
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² – 0,07 %)	47,0	48,0	48,0	47,7	6,0	1,7
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² – 0,07 %), Эпином	48,0	48,0	48,0	48,0	6,3	2,0
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² – 0,07 %), Гидрогуматом	49,0	48,0	49,0	48,7	7,0	2,7
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ³ , – 0,10 %)	52,0	51,0	50,0	51,0	9,3	5,0
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ³ – 0,15 %)	49,0	50,0	50,0	49,7	8,0	3,7
НСП ₀₅	1,02	1,08	1,07	0,61	–	–

Содержание общего железа в растениях льна масличного определялось в фазу «елочка» (в стеблях) и цветения (в стеблях, соцветиях, корнях), табл. 6.

Известно, что наличие железа в растениях является обязательным как для нормального их роста и развития, так и для правильного питания человека и животных. Накопление железа растениями различно и зависит от почвенных и климатических условий, а также от фазы роста и развития. Имеются данные по его содержанию в растениях: природное его содержание – от 18 до 1000 мг/кг сухой массы, в травах оно может быть в пределах от 2127 до 3580 мг/кг сухой массы, в овощах – от 29 до 130 мг/кг сухой массы, в золе различных растений – от 220 до 1200 мг/кг сухой массы [19].

В наших исследованиях среднее содержание железа (за 2006–2008 г., по всем вариантам) в растениях льна масличного в фазу «елочка» находилось в пределах от 214 до 392 мг/кг сухого вещества, в том числе на контрольном варианте без удобрений – 214, в вариантах при дозе внесения N₆₀P₅₂K₉₆ комплексных удобрений без железа (базовый вариант) – 287, а с комплексными с бором, цинком и железом (в форме сульфатов и хелатов с различным содержанием железа) при дозах N₆₀P₅₂K₉₆ и N₆₀P₆₃K₉₆ – от 168 до 392 мг/кг сухого вещества, при среднем содержании его по всем вариантам 279,9 мг/кг сухого вещества.

Таблица 6

Содержание железа в растениях льна масличного в разные фазы роста и развития, 2006–2008 гг.

Вариант опыта	Содержание железа в различных частях растений льна масличного в зависимости от фазы развития, мг/кг сухого вещества															
	фаза елочки			фаза цветения (в стеблях)			фаза цветения (в соцветиях)			фаза цветения (в корнях)						
	2006	2007	Среднее 2006–2008	2006	2007	2008	Среднее 2006–2008	2006	2007	2008	Среднее 2006–2008	2006	2007	2008	Среднее 2006–2008	
Контроль без удобрений	210	222	210	214	97	97	100	98	123	122	124	123	763	758	755	759
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В и Zn – базовый вариант	288	289	285	287	137	135	139	137	58	59	57	58	825	830	800	818
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe – 0,10 % – сульфат железа	264	410	380	351	106	174	177	152	136	138	137	137	530	520	525	525
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ¹ – 0,05 %)	270	271	275	272	149	147	148	148	150	151	153	151	627	720	725	691
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ¹ – 0,10 %)	302	303	300	302	84	85	86	85	145	147	146	146	1085	1078	1060	1074
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ¹ – 0,15 %)	282	283	285	283	136	137	133	135	74	77	75	75	1337	1320	1370	1342
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² – 0,035 %)	318	319	322	320	104	103	102	103	94	98	97	96	629	1400	1430	1153
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² – 0,07 %)	276	278	277	277	87	88	89	88	110	112	109	110	1168	1158	1160	1162
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² – 0,07 %), Эпином	167	168	170	168	140	105	108	118	120	62	59	80	630	580	570	593
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² – 0,107 %), Гидрогуматом	393	394	390	392	134	133	136	134	91	94	92	92	336	340	370	349
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ³ – 0,10 %)	299	295	300	298	175	174	173	174	122	124	121	122	1101	1090	1100	1097
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ³ – 0,15 %)	195	197	194	195	147	146	145	146	135	136	134	135	504	1092	1120	905
Среднее содержание железа в растениях, мг/кг сухого вещества	272,0	285,8	282,3	279,9	124,7	127,0	128,0	126,5	113,2	110,0	108,7	110,4	794,6	907,2	915,4	872,3
НСР ₀₅	26,4	25,7	24,0	14,7	8,1	8,6	9,2	4,9	6,9	6,5	7,4	4,0	53,2	63,5	80,6	38,5

В фазу цветения в *стеблях льна масличного* содержание железа уменьшилось и составило в среднем по всем вариантам 126,5 мг/кг сухого вещества. На контрольном варианте без удобрений его содержание было 98 мг/кг сухого вещества, в базовом варианте – 137, с комплексными удобрениями с бором, цинком и железом (в зависимости от варианта) – 85–174 мг/кг сухого вещества; соответственно в *соцветиях* – в среднем по всем вариантам 110,4 мг/кг сухого вещества, на контрольном варианте без удобрений – 123 мг/кг сухого вещества, в базовом варианте – 58 и с комплексными удобрениями с бором, цинком и железом – от 75 до 151 мг/кг сухого вещества. Следует отметить, что максимальное количество железа в фазу цветения отмечалось в *корнях льна масличного*. Этот показатель на контрольном варианте составил 759 мг/кг сухого вещества, в базовом варианте – 818, с комплексными удобрениями с бором, цинком и железом – 349–1342 мг/кг сухого вещества.

Что касается различий в содержании железа в различные фазы и в разных частях растения в зависимости от условий вегетационного периода льна масличного, то наблюдалось следующее: в 2006 г. при слабозасушливых условиях содержание железа несколько ниже, чем при оптимальном (2007 г.) и влажном (2008 г.) периодах. Различий в значениях этого показателя в 2007 и 2008 гг. не выявлено.

Полученные экспериментальные данные по содержанию железа в растениях льна масличного показывают, что трудно выявить закономерности поступления железа в растение в зависимости от формы применяемых удобрений. Однако в целом можно отметить, что при внесении комплексных удобрений с добавками железосодержащих соединений изменяется содержание железа в разных частях растения льна масличного в зависимости от количества вводимого железа в состав удобрения во все фазы роста и развития растения. Если сравнивать содержание железа в среднем по всем вариантам опыта в фазу цветения, то больше всего железа накапливалось в корнях (872,3 мг/кг сухого вещества), далее в стеблях – 126,5 и соцветиях – 110,4 мг/кг сухого вещества.

В табл. 7 приведены данные по поражаемости растений льна масличного различными болезнями перед уборкой, а также количество проросших семян в лучших вариантах опыта, где получена прибавка семян от внесения комплексных удобрений с добавками железосодержащих соединений.

Таблица 7

Влияние комплексных удобрений с добавками железосодержащих соединений на поражаемость растений льна масличного различными болезнями, 2006–2008 гг.

Вариант	Поражено болезнями, %					Всего, %		Всхожесть семян	
	Фуза-Риоз	Аль-терна-риоз	Крап-ча-тость	Бак-те-Риоз	Плес-невение	%	+,- к базовому	%	+,- к базовому
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В и Zn – базовый вариант	2,0	12,0	12,0	8,0	1,5	35,5	–	69,5	–
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe – 0,10 %) – сульфат железа	1,0	9,0	12,0	8,0	0,5	30,5	–5,0	79,0	9,5
N ₆₀ P ₅₂ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ¹ – 0,10 %)	2,0	8,0	4,0	3,5	1,5	19,0	–16,5	80,0	10,5
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ² – 0,07 %)	1,0	9,0	5,0	7,0	0,5	22,5	–13,0	79,6	10,1

Вариант	Поражено болезнями, %					Всего, %		Всхожесть семян	
	Фуза-Риоз	Аль-терна-риоз	Крап-чатость	Бак-те-Риоз	Плес-невение	%	+,- к базовому	%	+,- к базовому
N ₆₀ P ₆₃ K ₉₆ с В, Zn, Fe (хелат ³ , - 0,10 %)	2,0	10,5	5,5	8,5	1,5	28,0	-7,5	75,0	5,5
НСР ₀₅	0,088	0,661	0,616	0,427	0,061	-	-	-	-

Экспериментальные данные показывают, что в вариантах с комплексными удобрениями NPK с В и Zn с дополнительным включением в их состав железосодержащих соединений в форме хелатов – 0,07–0,10 % от массы удобрения, или сульфатов снижается заболеваемость растений льна различными болезнями (5,0–16,5 %), повышается всхожесть семян (на 5,5–10,5 %) по сравнению с применением комплексных удобрений с добавками только В и Zn, без включения железа (базовый вариант).

ВЫВОДЫ

1. Содержание общего железа в пахотном горизонте дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы перед закладкой полевых опытов со льном масличным, в зависимости от вариантов опыта, находилось в пределах: в 2006 г. – от 63,7 до 77,2 мг/кг почвы, процент 2-валентного железа, доступного для растений – от 7,9 до 16,3 %, в 2007 г. – от 33,3 до 64,0 мг/кг почвы (10,2–33,0 %), в 2008 г. – от 33,8 до 59,8 мг/кг почвы (10,1–30,0 %). Перед уборкой в условиях слабозасушливого периода 2006 г. содержание Fe⁺² составляло от 4,1 до 12,6 % от общего железа, в 2007 г. при оптимальных условиях вегетационного периода – от 8,3 до 15,5 %, в 2008 г. в условиях влажного периода – от 4,9 до 18,4 %.

2. В вариантах с внесением комплексных удобрений с хелатом¹ – 0,10 % от массы удобрения, и с хелатом² – 0,07 % от массы удобрения, в том числе и с регуляторами роста растений, перед уборкой льна масличного содержание двухвалентного железа в почве снижалось в большей степени, чем с комплексными удобрениями с содержанием железа в минимальных и максимальных количествах, что связано с более высоким потреблением железа растениями.

3. Применение под лен масличный комплексных удобрений с В, Zn, Fe (хелат¹ – 0,10 %) в дозе N₆₀P₅₂K₉₆ достоверно повышало урожайность семян на 1,4 ц/га; комплексных удобрений с В, Zn, Fe (хелат² – 0,07 %) в N₆₀P₆₃K₉₆ – на 2,7 ц/га, этих же удобрений с регуляторами роста растений (Эпин и Гидрогумат) – 5,0–6,0 ц/га; от комплексных удобрений с В, Zn, Fe (хелат³ – 0,10 %) в N₆₀P₆₃K₉₆ – на 3,0 ц/га по сравнению с базовым вариантом (комплексным удобрением без железа). Прибавка семян льна масличного от регуляторов роста растений, включенных в состав комплексного удобрения с В, Zn, Fe составляла от 2,3 (от Эпина) до 3,3 (от Гидрогумата) ц/га.

4. Не установлено четкой зависимости изменения содержания масла в семенах в зависимости от форм, применяемых удобрений и степени увлажнения года: среднее содержание масла в семенах по вариантам опыта составляло:

в 2006 г. – 48,4 %, в 2007 г. – 48,0 % и в 2008 г. – 48,6 %, а в среднем за три года – 48,3 %. При этом выявлено повышение содержания масла в семенах в вариантах с применением удобрений как по отношению к контролю, так и от комплексных удобрений, содержащих соединения железа по сравнению с комплексным удобрением без железа.

5. Содержание железа в растениях льна масличного изменяется в большей степени от фазы развития культуры, в меньшей степени от условий увлажнения года и форм применяемых удобрений. Однако в целом можно отметить, что при внесении комплексных удобрений с добавками железосодержащих соединений изменяется содержание железа в разных частях растения льна масличного в зависимости от количества вводимого железа в состав удобрения во все фазы роста и развития. Содержание железа (в среднем по всем вариантам опыта) в фазу цветения максимальное в корнях (872,3 мг/кг сухого вещества), далее в стеблях – 126,5 и соцветиях – 110,4 мг/кг сухого вещества.

6. Применение комплексных удобрений с добавками В, Zn и Fe – 0,07–0,10 % от массы удобрения, в форме сульфатов или хелатов) обеспечивает снижение заболеваемости растений льна масличного (фузариоз, альтернариоз, крапчатость, бактериоз, плесневение) на 5,0–16,5 %, повышение всхожести семян – на 5,5–10,5 % по сравнению с применением комплексных удобрений с добавками только В и Zn, без включения железа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Goldschmidt, V. M.* The principles of distribution of chemical elements in minerals and rocks / V. M. Goldschmidt // J. of the Chemical Society. – 1937. – P. 655–673.
2. *Зонн, С. В.* Железо в почвах (генетические и географические аспекты) / С. В. Зонн; ред. В. А. Ковда. – М.: Наука, 1982. – 209 с.
3. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас; пер с англ.: Д. В. Гричук, Е. П. Янин; ред. Ю. Е. Саен. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
4. *Кашин, В. К.* Железо в растениях Забайкалья / В. К. Кашин, Г. М. Иванов // Агрехимия. – 2007. – № 12. – С. 36–43.
5. *Rediske, J. H.* The absorption and translocation of iron / J. H. Rediske, O. Bidulph // Plant Physiology. – 1953. – Vol. 28, № 4. – P. 576–593.
6. *Хрускова, С. Г.* Влияние подвижных фосфатов на питание растений железом / С. Г. Хрускова // Агрехимия. – 1965. – № 8. – С. 65–69.
7. *Lingle, J. C.* Iron uptake-transport of soybeans as influenced by other cations / J. C. Lingle, L. O. Tiffin, J. C. Brown // Plant Physiology. – 1963. – Vol. 38, № 1. – P. 71–76.
8. *Brown, J. C.* Iron-stress response in tomato (*Lycopersicon esculentum*) 1. Sites of Fe reduction, absorption and transport / J. C. Brown, J. E. Ambler // Physiologia Plantarum. – 1974. – Vol. 31, № 3. – P. 221–224.
9. *Дьяконова, К. В.* Железо-гумусовые комплексы и их роль в питании растений / К. В. Дьяконова // Почвоведение. – 1962. – № 7. – С. 19–25.
10. *Wallace, A.* Resistance of rough lemon and trifoliate orange seedlings to high levels of iron chelates / A. Wallace, R. T. Mueller // Hortscience. – 1972. – Vol. 7, № 2. – P. 121–122.

11. *Kannan, S.* Iron-deficiency stress response in crop plants: An examination in linseed cultivars / S. Kannan, S. Ramani // *J. of Plant Nutrition.* – 1988. – Vol. 11, № 6/11. – P. 755–762.

12. *Wikoff, L.* Different iron-manganese relationships in two flax cultivars / L. Wikoff, J. T. Moraghan // *J. of Plant Nutrition.* – 1986. – Vol. 9, № 3/7. – P. 839–849.

13. *Warden, B. T.* Manganese-iron interactions in the plant-soil system / B. T. Warden, H. M. Reisenauer // *J. of Plant Nutrition.* – 1991. – Vol. 14, № 1. – P. 7–30.

14. Справочник нормативных материалов для агрохимического окультуривания почв и эффективного использования удобрений / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2017. – 60 с.

15. Организационно-технологические нормативы возделывания кормовых и технических культур: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, Науч. практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф. И. Привалов [и др.]; под общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 469 с.

16. *Доспехов, Б. А.* Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

17. *Дзямбіцкі, М. Ф.* Асаблівасці дысперсійнага аналізу вынікаў шматгадовага палявога доследу / М. Ф. Дзямбіцкі // *Весці Акадэміі аграрных навук Беларусі.* – 1994. – № 3. – С. 60–64

18. *Aaby, B.* Changes in biotic conditions and metal deposition in the last millennium as reflected in ombrotrophic peat in Draved Moses / B. Aaby, J. Jacobsen // *Denmark, Geol. – Serv. Denmark, Yearb.* 1978. 5.2. – Abd-Elfattan A., Wada K.

THE EFFECT OF COMPLEX FERTILIZERS WITH THE ADDITION OF IRON-CONTAINING COMPOUNDS ON THE INTAKE OF IRON IN THE SOIL AND OIL FLAX PLANTS

G. V. Pirahouskaya, Yu. G. Milosta

Summary

The article presents data on the effect of new forms of complex fertilizers with the addition of iron-containing compounds (in the form of sulfates or chelates) on the entry of iron into the soil (arable horizon), seed yield, oil content, iron intake in oil flax plant in the «herringbone» and flowering phase (stem, inflorescences and roots), plant affection by various diseases when cultivated on sod-podzolic loose sandy soils.

It was found that the inclusion of iron-containing compounds in doses (0,07–0,10 % by weight of fertilizer and, mainly iron-containing compounds in complex with plant growth regulators (Epin, Hydrohumate) has a positive effect on seed yield, oil content with a one-time reduction in the incidence of plant growth by various diseases.

Поступила 11.05.2020