

С. Н. ДРОЗДОВ

ПОТРЕБНОСТЬ В МЕДИ У ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ОНТОГЕНЕЗЕ

В современной литературе все более видное место занимают вопросы, связанные с физиологической ролью микроэлементов и их влиянием на величину и качество урожая сельскохозяйственных культур.

Несмотря на значительные успехи в области изучения физиологической роли микроэлементов и наличие большого количества опытов, свидетельствующих о положительном их влиянии на величину и качество урожая, применение микроудобрений пока не нашло должного места в практике сельского хозяйства. Это объясняется малой изученностью наличия в почвах доступных для растений форм микроэлементов, а также тем, что современные знания о потребности различных сельскохозяйственных культур в микроэлементах в онтогенезе далеко не полны. Отсутствие этих сведений приводит к тому, что в ряде случаев микроудобрения, примененные без учета содержания их в почве и без знания потребности в них у растений, не только не дают прибавки урожая, но в некоторых случаях и снижают его.

Вопрос об изучении потребности растений в элементах минерального питания в онтогенезе имеет как практическое, так и теоретическое значение. Выяснение его вносит много нового в имеющиеся представления о питании растений минеральными веществами, о физиологической роли отдельных элементов и их участии в формообразовательных процессах.

Работами ряда исследователей (Герике, 1925; Добрунов, 1938; Авдонин, 1940; Овечкин, 1940 и др.) показано, что в жизни растений имеются критические периоды в отношении ряда элементов минерального питания.

Если вопрос о потребности в макроэлементах в различные периоды роста и развития изучен достаточно подробно, то потребность растений в микроэлементах с учетом их стадийного состояния остается пока совершенно неизученным.

В работах Т. Д. Лысенко были выявлены две стадии — яровизация и световая, которые в дальнейшем подверглись детальному изучению. Однако онтогенез растений этим не исчерпывается. Исследования кафедры физиологии растений Ленинградского сельскохозяйственного института показали, что онтогенез включает еще две стадии: третью и четвертую (Новиков, 1953).

В количественном отношении потребность растений в боре, меди, марганце, цинке и молибдене очень невелика, но в связи с тем, что микроэлементы активно участвуют во многих важных физиологических процессах, они резко влияют на урожай; направление этого влияния зависит от правильного и своевременного их применения. Например,

наши исследования показали (Дроздов, 1956), что яровая пшеница особенно требовательна к бору с момента образования первых головок пыльников до появления тетрады пыльцы (3 стадия развития).

Положительный эффект от применения препаратов, содержащих медь, был отмечен еще в конце прошлого столетия, однако только в 30-х годах XX века в условиях водных культур были получены неоспоримые данные о необходимости меди для высших растений. В настоящее время в Советском Союзе медные удобрения применяются ежегодно на площади около 100 тыс. га (главным образом в Белоруссии).

В 1957—1958 г. Ленинградский институт радиационной гигиены провел изучение качества питания населения Карельской АССР. Изучение показало, что содержание меди и кобальта в рационе населения значительно снижено.

На недостаток легкоусвояемых растениями форм меди в почвах Карелии и высокую отзывчивость растений на медные удобрения указывают и работы А. Я. Кокина (1955), А. А. Комулайнен (1955) и Л. Г. Ганюшкиной (1958).

Содержание меди в почве подвержено большим колебаниям: от $3,10^{-4}\%$ до $1,4 \cdot 10^{-2}\%$. Больше всего меди в красноземах ($1,4 \cdot 10^{-2}\%$), меньше в подзолистом горизонте подзолистых почв ($1,6 \cdot 10^{-3}\%$) и торфяно-болотных почвах ($3 \cdot 10^{-4}\%$). Когда меди в почвах меньше $3 \cdot 10^{-4}\%$, у растений появляется «болезнь обработки» (Седлецкий, 1950).

Зола растений содержит меди значительно больше, чем прокаленная почва, что говорит об активном поглощении меди растениями. Содержание меди в растениях колеблется в пределах от 1,5 до 8,5 мг на 1 кг сухого вещества (Каталымов, 1950). При этом больше содержится меди в колосьях и метелках, а при созревании — в семенах.

При нормальном обеспечении растений медью она концентрируется в более молодых и физиологически активных органах и преимущественно в ионном состоянии (Островская, Яковенко, 1956), а при недостатке ее — в более старых тканях, где почти полностью находится в связанном состоянии (в соединении с белками). С урожаем сельскохозяйственных культур из почвы выносятся в среднем от 7,3 до 52,5 г меди с 1 га.

Данные других исследователей (Пайпер, 1942; Бакулина, 1952; Лашкевич, 1952) показывают, что медь усваивается растениями наиболее интенсивно в раннем возрасте и к концу выбрасывания метелки ее количество в них почти не изменяется или даже несколько уменьшается.

По имеющимся литературным данным (Окунцов, 1949; Заблуда, 1950; Школьник, 1950 и др.) физиологическая роль меди огромна. Влияя прямо или косвенно на разнообразные процессы, происходящие в растительном организме, медь повышает интенсивность дыхания, фотосинтез, стабильность хлорофилла, производит глубокое действие на обмен веществ, свойства плазмы — повышает жизнеспособность всего организма, предупреждая старение, а также повышает общую устойчивость растений к неблагоприятным условиям: холоду, засухе, различным заболеваниям.

Наши опыты по выяснению потребности в меди у яровой пшеницы сорта Диамант в онтогенезе проводились в 1955—1957 гг. в условиях водных культур в стеклянных парафинированных сосудах емкостью 6 л в двух-трехкратной повторности на смеси Кнопа, в которую дополнительно вводились бор, медь, марганец, цинк и молибден. В опыте использовались соли лишь с маркой Х. Ч. или Ч. Д. А., дополнительно перекристаллизованные 3—4 раза. Питательный раствор приготавливался

на дистиллированной воде, дополнительно очищенной на ионнообменных смолах. Смена растворов производилась в соответствии со схемами опыта. Аэрация растворов осуществлялась путем переливания их из сосуда в высокий цилиндр и обратно. В каждый сосуд на деревянные парафинированные крышки высаживалось по 19 проростков, размером 2,5—3 см. К концу вегетации в сосудах оставлялось по 10 растений, остальные в ходе вегетации равномерно использовались для просмотра точки роста и физиологических анализов. В основе схемы опытов по выяснению потребности яровой пшеницы в онтогенезе в меди были взяты следующие варианты внесения меди: 1) в течение всего периода вегетации (контроль); 2) 1-й стадии развития; 3) 2-й стадии развития; 4) 3-й стадии развития; 5) 4-й стадии развития; 6) растения не получали меди в течение всего периода вегетации.

Контроль за стадийным состоянием растений осуществлялся путем наблюдения за развитием зачаточного колоса. Автор исходил из того положения, что образование различных органов и признаков может произойти только в результате прохождения качественно-переломных моментов в развитии растения. Применение для этого какого-либо морфологического показателя в известной степени условно, потому что комплекс факторов, необходимый для формообразовательных процессов и стадийного развития, может не совпадать. Но при обычных условиях развития степень дифференциации конуса нарастания точнее любого другого морфологического признака отражает стадийное состояние растений (Баранникова, 1953; Заблуда, 1939; Новиков, 1953).

По литературным данным (Еременко, 1938; Куперман, 1955) начало световой стадии развития у яровой пшеницы совпадает с вытягиванием точки роста, а конец ее — с появлением зачаточных бугорков пыльников в нижних цветках средних колосков зачаточного колоса (Новиков, 1953).

Конец третьей стадии совпадает с началом появления тетрад пыльцы. Опыты А. В. Филиппова (1949) показали, что при нормальных условиях четвертая стадия развития у яровой пшеницы длится около 8—10 дней.

При проведении первого опыта по выяснению потребности в меди у яровой пшеницы в онтогенезе дистиллированная вода, используемая для приготовления питательной смеси, не была очищена на ионнообменных смолах от следов меди (около 0,03 мг меди в 1 л воды), что не замедлило сказаться на результатах опыта (табл. 1).

Растения, не получавшие дополнительно меди в течение всего периода вегетации (6-й вариант), не обнаружили внешних признаков медного голодания.

В опыте наметился ряд интересных моментов, указывающих на своеобразное влияние меди на урожай вегетативной массы и зерна. Меди, находящейся в дистиллированной воде и зерне, оказалось вполне достаточно для хорошего развития вегетативной массы (вариант 6-й, табл. 1), а урожай зерна был несколько снижен за счет частичной стерильности колоса (табл. 2).

При добавлении 2 мг $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ на 1 л питательного раствора резко увеличилась озерненность колоса, за счет чего в основном и возросла общая величина урожая зерна. Урожай вегетативной массы заметно снизился. Это произошло за счет как высоты растений, так и кустистости (табл. 2, варианты 1 и 6).

Подавляющее влияние высокой концентрации меди в питательной среде (0,43 мг) особенно сказывается на росте корневой и надземной массы молодых проростков пшеницы.

Таблица 1

Влияние меди на урожай яровой пшеницы (1955 г.)

Варианты	Периоды питания медью	Воздушно-сухой вес одного растения						
		надземная масса		корневая система		зерно		
		(г)	% к контролю	(г)	% к контролю	(г)	±	% к контролю
1	В течение всей вегетации (контроль)	1,74	100,0	0,26	100,0	0,500	0,097	100,0
2	В 1-ю стадию	2,31	132,9	0,35	138,4	0,650	0,121	130,0
3	Во 2-ю	2,98	171,4	0,49	192,3	0,982	0,088	196,4
4	В 3-ю	1,89	108,5	0,39	153,2	0,327	0,118	65,4
5	В 4-ю	3,17	188,2	0,59	230,0	0,493	0,016	98,6
6	Без питания	2,91	167,0	0,54	213,0	0,273	0,107	54,6

Таблица 2

Влияние меди на структуру урожая яровой пшеницы (1955 г.)

Варианты	Периоды питания медью	Озерненность главного колоса	Абсолютный вес	Плотность колоса	Кустистость	
					общая	продуктивная
		зерен	(г)	стеблей	стеблей	
1	В течение всей вегетации (контроль)	24,1	21,2	1,85	1,72	1,46
2	В 1-ю стадию	17,0	25,5	2,09	2,43	2,29
3	Во 2-ю	22,5	30,2	2,05	2,17	2,12
4	В 3-ю	12,1	25,1	2,05	2,33	1,20
5	В 4-ю	15,0	32,0	2,00	2,66	1,45
6	Без питания	8,8	—	1,90	3,62	0,66

При кратковременном питании яровой пшеницы медью (табл. 1, варианты 2 и 5), когда она дополнительно вносилась на период прохождения одной из стадий развития, наметилось интересное явление: растения, получавшие дополнительную дозу меди в течение короткого промежутка времени в начале развития, при уборке урожая имели лучше развитую вегетативную массу (табл. 1, варианты 2 и 3) и более высокий урожай зерна.

Второй опыт также проводился по выше описанной методике и схеме.

Исследования показали, что растения, выращенные на питательном растворе, лишенном меди, отстали в росте от контрольных растений, получавших медь в течение всей вегетации, уже на 29-й день, а на 31-й день у них появились четкие признаки недостатка меди: окраска листьев стала светло-зеленой, растения приостановили рост, побелели

концы верхних листьев; при этом многие верхние листья не разворачивались, имели шиловидную форму. Растения сильно кустились и выглядели немного подвявшими. К моменту уборки урожая надземная масса растений, выращенных без меди, составляла только 35,7% по сравнению с контрольными (табл. 3, вариант 6-й).

Внесение меди в питательный раствор только на период прохождения одной из стадий развития приводит к резкому улучшению состояния растений.

В этом опыте (как и в предыдущем) внесение меди в питательный раствор в течение второй стадии приводит к лучшему развитию растений и получению более высокого урожая по всем показателям, чем при питании растений медью в течение всего периода вегетации.

Таблица 3

Влияние меди на урожай яровой пшеницы (1956 г.)

Варианты	Периоды питания медью	Воздушно-сухой вес одного растения					
		надземная масса		корневая система		зерно с главного колоса	
		(г)	% к контролю	(г)	% к контролю	(г)	% к контролю
1	В течение всей вегетации (контроль)	6,19	100,0	0,57	100,0	0,87	100,0
2	В 1-ю стадию	7,20	116,3	0,76	133,8	0,62	71,4
3	Во 2-ю „	10,20	164,7	0,82	143,7	0,92	105,5
4	В 3-ю „	8,41	135,8	0,74	130,3	0,77	88,1
5	В 4-ю „	6,08	98,1	0,56	98,0	0,47	54,4
6	В 1 и 2 стадиях	6,38	102,7	0,67	118,1	0,74	85,2
7	Без питания	2,21	35,7	0,40	70,9	0,00	0,0

В результате исследований возникло два вопроса, не была ли дозировка меди токсичной (несколько снизился урожай зерна у растений, получавших медь в течение всей вегетации) по сравнению с растениями, получавшими ее лишь во вторую стадию развития, и не является ли второй вариант лучшим лишь потому, что продолжительность второй стадий развития несколько больше, чем первой, третьей и четвертой в отдельности. В частности, продолжительность стадий развития в опыте 1956 г. была: первой — 10 дней, второй — 14, третьей и четвертой — по 9 дней.

Для выяснения первого вопроса был проведен дополнительный опыт, включающий в себя следующие варианты: 1) растения в течение всей вегетации получали ранее используемую концентрацию меди ($2 \text{ мг Cu SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ на 1 л питательного раствора); 2) растения получали медь только в период прохождения второй стадии развития ($2 \text{ мг Cu SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$); 3) растения получали в течение всей вегетации вдвое уменьшенную дозировку меди ($1 \text{ мг Cu SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ на 1 л питательного раствора).

Как показал опыт, понижение концентрации меди в питательной среде положительно отозвалось на развитии вегетативной массы, но урожай зерна снизился (табл. 4).

Таблица 4

Влияние концентрации меди в питательной среде на урожай яровой пшеницы

Варианты	Периоды питания медью и концентрация ее в растворе	Воздушно-сухой вес одного растения					
		надземная масса		корневая система		зерно	
		(г)	% к контролю	(г)	% к контролю	(г)	% к контролю
1	В течение всей вегетации; 2 мг (контроль)	6,12	100,0	0,57	100,0	1,69	100,0
2	Во 2-ю стадию; 2 мг	10,2	164,7	0,82	143,7	2,38	140,6
3	В течение всей вегетации; 1 мг	9,4	153,5	0,64	112,2	1,66	98,2

Кратковременное обеспечение растений медью и в этом опыте показало лучшие результаты по сравнению с растениями, получавшими медь в течение всего периода вегетации. Наблюдения показали, что оптимальные дозировки меди для яровой пшеницы близки к дозировкам для овса, приведенным в литературе (Пайпер, 1942), где указывалось, что оптимальный рост овса достигается при широкой амплитуде колебаний концентраций меди в питательной среде. По его данным, урожай зерна возрастает при повышении концентрации меди от 0,003 до 0,5 мг/л, урожай соломы — до 0,02 мг/л, корней — до 0,006 мг/л. К этому следует добавить, что оптимальная концентрация меди в питательной среде во многом зависит от внешних условий, особенно температуры.

Таким образом, предположение о токсическом влиянии взятой концентрации меди на урожай зерна отпадает. (В наших опытах концентрация в пересчете на медь составляла 0,4 мг/л.)

Летом 1957 г. проведен спыт по проверке предположения о связи наибольшей отзывчивости яровой пшеницы при обеспечении ее медью в течение второй стадии развития, характеризующейся большей продолжительностью по сравнению с другими стадиями.

Схема опыта была построена так, чтобы растения различных вариантов получали медь в течение равного количества дней.

Как показали исследования, результаты которых сведены в табл. 5, кратковременное обеспечение растений медью на ранних этапах, независимо от их возраста и стадийного состояния, привело к хорошим результатам; наибольший урожай зерна получен при питании в период второй стадии развития (табл. 5, вариант 3). Это объясняется тем, что к началу второй стадии развития растения несколько окрепли и высокая концентрация меди в питательном растворе уже не задерживает роста корней и надземной массы, что наблюдается при внесении меди в питательный раствор с первых дней жизни растений (вариант 2). В то же время они еще не испытывали медного голодания, как растения, получившие медь в более поздний период.

Снижение урожая зерна у растений в вариантах с кратковременным питанием медью по сравнению с растениями, получавшими медь

Таблица 5

Влияние меди на урожай яровой пшеницы (1957 г.)

Варианты	Периоды питания медью	Воздушно-сухой вес одного растения					
		надземная масса		корневая система		зерно с главного колоса	
		(г)	% к контролю	(г)	% к контролю	(г)	% к контролю
1	В течение всей вегетации .	8,38	100,0	0,74	100,0	0,952	100,0
2	1—18 день в течение 1-й и начала 2-й стадий . .	8,05	96,0	0,70	94,5	0,883	92,7
3	9—27 день в течение 2-й стадии	7,82	93,3	0,69	93,2	0,931	97,7
4	18—36 день в течение второй половины 2-й и 3-й стадий	8,57	102,2	0,77	104,0	0,912	95,7
5	27—45 день в течение 3-й и 4-й стадий	7,98	95,2	0,64	86,4	0,925	97,1
6	Без питания	3,74	44,6	0,35	47,2	0,000	0,0

в течение всего периода вегетации, объясняется продолжительностью прохождения стадий в этот вегетационный сезон. Период питания растений медью в 18 дней несколько велик. Для максимального получения урожая зерна при концентрации меди в питательной среде 0,4 мг/л лучший период — 12—14 дней.

При снижении концентрации меди в питательном растворе, как позволяет предполагать один из опытов, проведенных в ранневесенних условиях (табл. 6), продолжительность оптимального периода кратко-

Таблица 6

Варианты	Периоды питания медью	Воздушно-сухой вес одного растения					
		надземная масса		корневая система		зерно с главного колоса	
		(г)	% к контролю	(г)	% к контролю	(г)	% к контролю
1	В течение 2-й стадии (31 день)	6,48	109,2	0,52	133,3	0,27	128,5
2	В течение всей вегетации	5,93	100,0	0,39	100,0	0,21	100,0

срочного обеспечения растений медью возрастает. В этом опыте, проведенном в условиях оранжереи, сильно растянулось прохождение второй стадии развития, но несмотря на это, краткосрочное питание растений медью дало лучшие результаты. Это произошло благодаря сниженной вдвое концентрации меди в питательной среде. При увеличении продолжительности краткосрочного питания (более 14 дней) в опытах при концентрации меди 0,4 мг/л (табл. 3, вариант 6 и табл. 5, варианты 2 и 5), урожай зерна заметно снижался по сравнению с растениями контрольного варианта.

ВЫВОДЫ

1. Исключение меди из питательной среды на весь период вегетации вызывает у яровой пшеницы резкое нарушение нормального хода физиологических процессов; появляются характерные признаки «болезни обработки», следствием чего является значительное снижение общего урожая и полная стерильность колоса.

2. Наивысший урожай яровой пшеницы (вегетативной массы и зерна) достигается при краткосрочном обеспечении растений медью в начале вегетации. При этом оптимальная продолжительность такого обеспечения зависит от концентрации меди в питательной среде. При концентрации меди 0,4—0,45 мг на 1 л питательного раствора оптимальный срок снабжения медью растений — 12—14 дней. В этом случае урожай вегетативной массы и зерна превышает урожай растений контрольного варианта, получавших медь в течение всего периода вегетации. При увеличении срока и при указанной концентрации происходит снижение урожая, даже по сравнению с растениями контрольного варианта.

3. Оптимальное число дней при краткосрочном питании растений медью увеличивается с применением пониженных концентраций. При этом общий урожай снижается. Оптимальная концентрация лежит в пределах от 0,4 до 0,5 мг меди на 1 л питательного раствора. В то же время оптимальная концентрация меди, в свою очередь, зависит от возраста растений и изменения внешних условий, особенно температуры.

4. Лучшим временем внесения меди в питательный раствор для яровой пшеницы при краткосрочном снабжении является вторая стадия развития, так как в первые дни роста растений высокая концентрация меди (выше 0,2 мг/л) угнетает рост надземной массы, а особенно корневой системы. При внесении меди в питательный раствор в более поздний период развития (после второй стадии), когда уже появляются первые признаки медного голодания растений, происходит запаздывание созревания и снижение урожая как вегетативной массы, так и зерна.

5. При обеспечении растений медью в течение всей вегетации снижение концентрации меди в питательной среде до определенного предела приводит к повышению урожая вегетативной массы за счет увеличения кущения и высоты растений и к снижению урожая зерна за счет озерненности колосьев.

Таким образом, проведенные исследования показали, что для получения наибольшего урожая яровой пшеницы необходима довольно высокая концентрация меди в растении на ранних этапах его развития в течение короткого промежутка времени. Дальнейшее развитие растений идет за счет запаса меди в самом растении. В настоящее время лучшим агроприемом, наиболее экономичным и полнее удовлетворяющим требованиям яровой пшеницы в меди, как показывает практика, является предпосевная обработка семян раствором медного купороса.

Для правильного проведения такой обработки, гарантирующей получение весомой прибавки урожая, необходимо иметь данные о содержании меди в посевном материале и отзывчивости почв на медные удобрения. При высоком содержании меди в посевном материале, как показали опыты Л. К. Островской с рисом (1956), предпосевная обработка семян медью дает отрицательный результат.

Вопрос о наилучших способах доведения меди до растения (яровая пшеница) с целью получения наибольшего урожая при меньших материальных затратах требует дальнейшей разработки и уточнений¹.

ЛИТЕРАТУРА

- Авдони Н. С. Критические периоды и периоды максимальной эффективности в питании растений. «Химия соц. земледелия», 1940, № 7.
- Баранникова З. Д. Значение интенсивности света в развитии овса. Автореферат канд. дисс., Л., 1953.
- Бахулин М. Д. Применение меди в качестве удобрений на торфяных почвах. В кн.: «Микроэлементы в жизни растений и животных». М., Изд-во АН СССР, 1952.
- Ганюшкина Л. Г. Действие микроэлементов и систематических стимуляторов роста на развитие, физиологические процессы и урожай картофеля. Автореферат канд. дисс., Петрозаводск, 1958.
- Добрунов Л. Г. Критические периоды минерального питания растений. ДАН СССР, 1938, т. 19, № 3.
- Дроздов С. Н. Потребность в боре у пшеницы в онтогенезе. «Зап. Ленингр с.-х. ин-та», вып. 11, 1956.
- Еременко В. Т. О промежуточном периоде развития и анатомо-морфологических признаках световой стадии у пшеницы. ДАН СССР, 1938, т. 18, № 8.
- Заблуда Г. В. О фазах формирования генеративных органов у пшеницы. Там же, 1939, т. 23, № 4.
- Заблуда Г. В. Влияние меди на образование и разрушение хлорофилла в растениях. «Тр. Ин-та физиологии растений АН СССР», т. 7, вып. 1, 1950.
- Катальмов М. В. Значение бора в земледелии СССР. Сельхозгиз, 1948.
- Катальмов М. В. Содержание бора в урожаях сельскохозяйственных культур. ДАН СССР, 1950, т. 104, № 4.
- Комулайнен А. А. Влияние бора и меди на урожай и физиологические процессы некоторых сельскохозяйственных растений на минеральных и торфяных почвах КФССР. Тезисы докл. Всесоюз. совещания по микроэлементам, Рига, Изд-во АН Латв. ССР, 1955.
- Кокин А. Я. Значение микроэлементов бора, марганца и меди для зерновых и кормовых культур. Там же.
- Куперман Ф. М. Свет как фактор развития и формообразования у растений. «Естествознание в школе», 1955, № 1.
- Лашкевич Г. И. Применение меди и борсодержащих удобрений под сельскохозяйственные культуры на торфяных почвах. В кн.: «Микроэлементы в жизни растений и животных». М., Изд-во АН СССР, 1952.
- Новиков В. А. Некоторые особенности стадийного развития растений и образование новых форм у хлебных злаков. «Агробиология», 1953, № 4.
- Овечкин С. К. Периодичность в фосфатном питании яровой пшеницы. ДАН СССР, 1940, т. 26, № 2.
- Окунцов М. М. Физиологическое значение меди для растений и применение медных удобрений в практике сельского хозяйства. Доктор. дисс., М., 1949.
- Островская Л. К. О действии меди и гетероауксина на прорастание семян. «Физиология растений», 1956, т. 3, вып. 1.
- Островская Л. К., Яковенко Г. М. Поступление меди в растения на торфяных почвах. В кн.: «Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине». Рига, Изд-во АН Латв. ССР, 1956.
- Седлецкий И. Д. О роли меди в почвах и характере ее состояния в них. Рефераты докл. Всесоюз. совещания по микроэлементам, М., 1950.
- Филиппов А. В. Значение интенсивности света в развитии яровой пшеницы. Автореферат канд. дисс., Л., 1949.
- Школьник М. Я. Значение микроэлементов в жизни растений и земледелии. Изд-во АН СССР, 1950.
- Gericke W. Solt requirments of wheat at different growth phases. Bot. Gas, v. 8, 1925.
- Piper C. S. Investigations on copper deficiency in plants. Journal of Agricultural science, Vol. 32, part. 2, 1942.

¹ Автор статьи выражает искреннюю благодарность профессору В. А. Новикову за руководство настоящей работой.