

ВЛИЯНИЕ БИОВЫНОСА ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ИЗ ПОЧВЫ
НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОРМАTHE IMPACT OF BIOLOGICAL REMOVAL OF SOIL NUTRIENTS
ON BIOCHEMICAL INDICES OF FORAGES

Ключевые слова: многолетние травы, люпин, озимая рожь, модель, число Pe , константа ионного обмена катионов, протеин, жир, минеральные удобрения, закономерность.

Рассмотрены механизмы, вызывающие одновременное увеличение содержания сырого протеина и уменьшение содержания безазотистого экстрактивного вещества (БЭВ) в грубых кормах кормовых культур при внесении в почву возрастающих доз NPK. Приведены данные, указывающие на изменение содержания сырой клетчатки, золы и жира в зависимости от элементного состава кормов. В качестве метода анализа результатов полевых исследований использовали математические модели: 1) перенос ионов с потоком почвенного раствора по вектору напряжённости электростатических полей системы почва – корень к отрицательно заряженной поверхности корней; 2) адсорбции катионов на поверхности корней растений. Установлено, что содержание элементов питания в кормах зависит от числа Pe (отношения диффузии к конвекции) потока почвенного раствора к корневой системе и констант ионного обмена катионов K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , участвующих в синтезе биохимических веществ в продукции кормопроизводства и зерне озимой ржи. Получены линейные прямопропорциональные зависимости между константами ионного обмена $K^{K^+/Mg^{2+}}$ и K^{K^+/Na^+} и дозой калия в NPK, обратнопропорциональная зависимость адсорбции Mg^{2+} и Na^+ с дозой калийного удобрения. Максимальное содержание сырого протеина в грубых кормах многолетних трав было получено при $K/N > 1$ в минеральном удобрении. Основным механизмом регуляции содержания сырого протеина, сырого жира, БЭВ в кормах являются константы ионного обмена $K^{K^+/Mg^{2+}}$ и K^{K^+/Na^+} и адсорбция ионов K^+ , Mg^{2+} , Na^+ на поверхности корневой системы растений. Данная работа открывает возможности регулирования содержания биохимиче-

ских показателей корма путём использования оптимальных доз калия в системе удобрения.

Keywords: perennial grass, lupine, winter rye, model, Pe number, cation ion exchange constant, protein, fat, mineral fertilizers, pattern.

This paper discusses the mechanisms causing simultaneous increase of raw protein content and decrease of nitrogen-free extractive substance content in roughages at the application of increasing rates of NPK fertilizers. The data indicating the changes in the content of raw fiber, ash and fat depending on the elemental composition of the forage are presented. The following mathematical models were used as methods of analyzing the field studies: 1) ion transfer with soil solution flow along the vector of stress of electrostatic fields of the soil-root system to the negatively charged surface of the roots; 2) cation adsorption on the surface of plant roots. It was determined that nutrient content in forages depended on the Pe number of the soil solution flow to the root system and the ion exchange constants of cations K^+ , Mg^{2+} , Na^+ involved in the synthesis of biochemical substances in the forages and winter rye grain. Linear directly proportional dependencies of ion exchange constants $K^{K^+/Mg^{2+}}$ and K^{K^+/Na^+} and potassium dose in NPK, inversely proportional dependence of Mg^{2+} and Na^+ adsorption with potassium fertilizer dose were obtained. The maximum content of crude protein in roughages from perennial grass was obtained at $K/N > 1$ in mineral fertilizer. The main mechanism for regulating the content of crude protein, crude fat and nitrogen-free extractive substance in forages is the ion exchange constants $K^{K^+/Mg^{2+}}$ and K^{K^+/Na^+} and adsorption of K^+ , Mg^{2+} , Na^+ ions on the surface of the plant root system. This study opens the possibilities of controlling the biochemical indices of forage by using optimal rates of potassium in the fertilizer system.

Пакшина Светлана Михайловна, д.б.н., проф., Брянский государственный аграрный университет. Тел.: (48341) 24-3-30. E-mail: pakshina_s_m@mail.ru.

Белоус Николай Максимович, д.с.-х.н., проф., Брянский государственный аграрный университет. Тел.: (48341) 24-7-21. E-mail: bgsha@bgsha.com.

Смольский Евгений Владимирович, к.с.-х.н., Брянский государственный аграрный университет. Тел.: (48341) 24-3-30. E-mail: sev_84@mail.ru.

Pakshina Svetlana Mikhaylovna, Dr. Bio. Sci., Prof., Bryansk State Agricultural University. Ph.: (48341) 24-3-30. E-mail: pakshina_s_m@mail.ru.

Belous Nikolay Maksimovich, Dr. Agr. Sci., Prof., Bryansk State Agricultural University. Ph.: (48341) 24-7-21. E-mail: bgsha@bgsha.com

Smolskiy Yevgeniy Vladimirovich, Cand. Agr. Sci., Bryansk State Agricultural University. Ph.: (48341) 24-3-30. E-mail: sev_84@mail.ru.

Введение

В работе С.М. Пакшиной и Н.М. Белоуса рассмотрен процесс биовыноса ^{137}Cs из почвы корневыми системами сельскохозяйственных культур, возделываемых на разных почвах и в различных фитоклиматических условиях при внесении различных доз минерального удобрения [1]. Было показано, что основной причиной изменений в биовыносе ^{137}Cs является электростатическое поле на поверхности корней растений, впервые установленное в работе С.Н. Алёшина и М.Т. Ястребова [2]. Вектор напряжённости двух электростатических полей корневой системы и поверхности почвенных капилляров направлен к отрицательно заряженной поверхности корневой системы зоны «всасывания» (корневых волосков) и увеличивает потоки и доступность влаги, элементов питания, уменьшает число Pe (отношение диффузионного потока к конвективному в общем потоке влаги).

Число Pe зависит от скорости потока влаги, при больших скоростях преобладают конвективные потоки, с которыми в основном переносятся ионы, находящиеся в объёмной жидкости, за пределом двойного электростатического слоя (ДЭС). При низких скоростях общего потока влаги преобладают диффузионные потоки, которые переносят ионы, расположенные в адсорбционном слое ДЭС.

В работах С.М. Пакшиной и В.М. Прохоровой установлено, что с конвективным потоком раствора в почве переносятся в основном одновалентные катионы и анионы [3, 4].

Эти зависимости дают возможность понять закономерности накопления разных органических веществ в продукции кормопроизводства при внесении минерального удобрения.

Цель работы – выявить наличие связи между процессом биовыноса элементов питания из почвы и процессом синтеза органических веществ в продукции кормопроизводства, раскрыть механизмы, вызывающие изменение содержания сырого протеина и БЭВ от содержания N, K, Mg в грубых кормах.

Объекты, условия и методы исследований

Влияние биовыноса элементов питания из почвы корневой системой на процесс синтеза органических соединений в грубых кормах многолетних трав изучали по данным результатов полевых опытов, представленных в работах Е.А. Кротовой, Ю.А. Анишиной, Л.П. Харкевич и

В.М. Адамко [5-8]. Полевые опыты поставлены с целью разработки эффективных агрохимических и агротехнологических приёмов получения высоких урожаев многолетних трав в условиях радиоактивного загрязнения окружающей среды. В статье рассмотрены вопросы, которые не связаны с проблемами, обсуждаемыми в этих работах [5-8].

Объектами исследований служили результаты анализов элементного и биохимического состава грубых кормов одновидового посева овсяницы луговой, сеяных посевов мятликовых трав и естественного травостоя, люпина жёлтого и зерна ржи посевной. Многолетние мятликовые травы возделывались с 2006 по 2008 и с 2009 по 2011 гг. в центральной пойме реки Ипуть Брянской области Новозыбковского района. Люпин жёлтый и рожь посевная возделывались на дерново-подзолистых песчаных почвах, соответственно, с 1993 по 2008 и с 2009 по 2011 гг.

В качестве минеральных удобрений применяли: аммиачную селитру, суперфосфат двойной гранулированный, калий хлористый.

Отобранные после уборки урожая растительные образцы после высушивания анализировали на определение элементного состава и биохимических показателей кормов в научно-исследовательской лаборатории при Брянском ГАУ общепринятыми методами: определение фосфора и калия из одной навески после мокрого озоления – по методу Гинсбург смесью H_2SO_4 и HClO_4 ; фосфор – по методу Мерфи-Райли колориметрически на КФК-2; калий – на пламенном фотометре (FLAPHO-4); кальций – по ГОСТ-30178-96; общий азот – по Къельдалю, при пересчете на протеин использовали коэффициент 6,25; клетчатку – весовым методом Геннеберга-Штомана в модификации ЦИНАО; жир – по обезжиренному остатку (ГОСТ-13496.15-85); золу – сжиганием и прокаливанием (ГОСТ-26226-84).

Численные методы исследования включали расчёты коэффициента распределения (K_d) и константы ионного обмена K^+ на Mg^{2+} . Коэффициент распределения используется для характеристики величины адсорбции иона, который равен отношению адсорбированных ионов на 1 г твердой фазы адсорбента к его содержанию в 1 cm^3 равновесного почвенного раствора [3]. Константы ионного обмена $\text{K}^{\text{K}^+/\text{Mg}^{2+}}$ равны отношению коэффициентов распределения ионов K^+ на Mg^{2+} .

Для расчета K_d ионов K^+ и Mg^{2+} , K^+ и Na^+ была использована модель адсорбции ионов на поверхности корней растений. Решение модели получено в работе С.М. Пакшиной и В.Р. Петухова и имеет следующий вид [9]:

$$K_d = \exp[-(\lambda_k - \lambda_n)] \sum_v E_T, \quad (1)$$

где λ_k , λ_n – соответственно, параметры массопереноса ионов, обусловленные напряжённостью электростатических полей корневой системы и почвы;

$\sum_v E_T$ – транспирация в течение вегетации.

Для расчета произведения $(\lambda_k - \lambda_n) \sum_v E_T$ использовалась модель переноса ионов с потоком влаги по капиллярам почвы к зоне «всасывания» (коневых волосков). Решение модели получено в работе С.М. Пакшиной и имеет следующий вид [10]:

$$\ln(C_i/C_k) = \lambda \sum_v E_T, \quad (2)$$

где C_k , C_i – соответственно, содержание иона в фитомассе на контроле и варианте с внесением минерального удобрения, здесь $\lambda = \lambda_k - \lambda_n$.

Результаты исследований

Содержание элементов питания в кормах многолетних трав обусловлено тремя процессами: перенос ионов с потоками влаги из почвы к корневой системе растений, адсорбция ионов на корнях и миграция их внутрь корня. Первый процесс зависит от доступности влаги растениям и числа Пекле (Pe). До первого укоса, после весеннего паводка, многолетние травы развиваются в условиях достатка влаги и при большей доли конвекции в общем потоке влаги.

В опыте использовали две системы внесения удобрения. В первой – при постоянных дозах N и P в полном минеральном удобрении увеличивали соотношение K / N от 1,0 до 2,0 раз. Вторая отличалась только увеличением доз NPK в полном минеральном удобрении при сохранении соотношения K / N.

В таблице 1 представлены данные содержания элементов питания и биохимические показатели воздушно-сухого вещества (сена) естественного и сеяного травостоя в период первого укоса.

Содержание азота в грубых кормах при постоянных дозах $N_{60}P_{90}$ и $N_{90}P_{120}$ увеличивается с повышением доз K. Содержание калия в грубых кормах закономерно, независимо от систем внесения полного удобрения, повышается с увеличением доз K. Содержание магния в грубых кормах, в отличие от азота и калия, уменьшает-

ся при повышении доз K в полном минеральном удобрении в обеих системах. Содержание кальция и фосфора в грубых кормах при постоянных дозах $N_{60}P_{90}$ и $N_{90}P_{120}$ слабо изменяется с увеличением дозы K в полном минеральном удобрении.

Отмеченные особенности биовыноса элементов питания из почвы корневыми системами растений дают возможность рассмотреть закономерности синтеза различных органических веществ. Как следует из таблицы 1, содержание сырой клетчатки, сырой золы и сырого жира закономерно увеличивается с повышением доз NPK. Содержание сырого протеина увеличивается при внесении полного минерального удобрения с повышением азота и калия в сене многолетних трав. Имеет место линейная прямопропорциональная зависимость между содержанием азота и калия в грубых кормах и содержанием сырого протеина, аналогичную закономерность выявили между содержанием магния и БЭВ.

При увеличении дозы K в полном минеральном удобрении закономерно увеличивается содержание калия в грубых кормах и одновременно уменьшается магния, соответственно, происходит увеличение сырого протеина и уменьшение БЭВ.

Сеяный травостой состоит из введенных в культуру многолетних мятликовых трав следующих видов: овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.), тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.), костёр безостый (*Bromopsis inermis* Holub.), канареечник тростниковидный (*Phalaris arundinacea* L.) лисохвост луговой (*Alopecurum pratensis* L.).

Сеяный мятликовый травостой отличался от естественного более высоким содержанием элементов питания и сырого протеина в продукции кормопроизводства. Для сеяных посевов соблюдались аналогичные зависимости, которые имели место для естественного травостоя при постоянных дозах N и P, увеличении дозы K в полном минеральном удобрении: 1) биовынос N из почвы увеличивается, а Mg уменьшается; 2) содержание сырого протеина в грубых кормах увеличивается, а БЭВ уменьшается; 3) линейная прямопропорциональная зависимость содержания сырого протеина от содержания N и K, содержания БЭВ от Mg в грубых кормах; 4) максимальное содержание сырого протеина и минимальное БЭВ в грубых кормах достигается при отношении K/N, превышающем 1.

Элементный состав и биохимические показатели качества грубых кормов первого укоса по данным работы Е.А. Кротовой (2011) (среднее за 2006-2008 гг.)

Вариант	Содержание в воздушно-сухом веществе, %										К N
	N	P	K	Ca	Mg	сырая				БЭВ	
						клетчатка	зола	жир	протеин		
Естественный травостой											
Контроль	1,51	0,23	1,60	0,51	0,40	26,3	7,12	3,29	9,44	53,86	–
N ₆₀ P ₉₀ K ₆₀	1,80	0,34	1,87	0,58	0,28	28,7	7,34	3,68	11,25	48,96	1,00
N ₆₀ P ₉₀ K ₉₀	1,89	0,34	2,12	0,60	0,24	29,2	7,58	3,72	11,81	47,65	1,50
N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀	2,24	0,34	2,33	0,59	0,23	29,7	7,93	3,81	14,00	44,55	2,00
N ₉₀ P ₁₂₀ K ₉₀	2,07	0,37	2,79	0,61	0,29	31,1	8,32	3,81	12,94	43,75	1,00
N ₉₀ P ₁₂₀ K ₁₃₅	2,23	0,36	2,98	0,61	0,25	31,6	8,36	3,89	13,94	42,19	1,50
N ₉₀ P ₁₂₀ K ₁₈₀	2,27	0,38	2,99	0,62	0,22	32,1	8,43	3,96	14,13	41,32	2,00
Сеяный травостой											
Контроль	1,51	0,25	1,65	0,51	0,43	26,2	7,06	3,37	9,44	53,91	–
N ₆₀ P ₉₀ K ₆₀	2,09	0,31	2,07	0,57	0,29	29,0	7,84	3,64	12,69	46,82	1,00
N ₆₀ P ₉₀ K ₉₀	2,24	0,35	2,31	0,60	0,29	29,9	8,11	3,72	14,00	44,29	1,50
N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀	2,34	0,37	2,40	0,60	0,28	30,0	8,24	3,78	14,63	43,32	2,00
N ₉₀ P ₁₂₀ K ₉₀	2,23	0,34	2,45	0,61	0,28	29,6	8,15	3,71	13,94	44,61	1,00
N ₉₀ P ₁₂₀ K ₁₃₅	2,32	0,38	2,67	0,60	0,26	29,9	8,40	3,78	14,30	43,39	1,50
N ₉₀ P ₁₂₀ K ₁₈₀	2,35	0,38	2,80	0,61	0,24	30,3	8,98	3,85	14,69	42,17	2,00

В таблице 2 представлены данные содержания элементов питания и биохимические показатели воздушно-сухого вещества (сена) второго укоса естественного травостоя и одновидового посева овсяницы луговой. В период от первого до второго укоса мятликовые травы развивались в условиях недостатка почвенной влаги, вызванного снижением уровня грунтовых вод и дефицитом атмосферной влаги.

Недостаток влаги и снижение доз N и K в минеральном удобрении в сравнении с данными таблицы 1 не изменили ход зависимостей, отмеченных при анализе данных первого укоса. При постоянных дозах N₄₅ и N₆₀ увеличение дозы K в удобрении вызывает повышение содержания азота и уменьшение магния в грубых кормах естественного травостоя и овсяницы луговой.

Содержание сырых клетчатки, золы, жира, протеина увеличивается в кормах с повышением дозы K в азотнокалийном удобрении и уменьшается содержание БЭВ.

В таблице 3 представлены данные содержания элементов питания и показатели качества корма люпина жёлтого.

Применение возрастающих доз фосфорно-калийного удобрения вызвало повышение содержания N, P, K и уменьшение Mg в корме люпина жёлтого в сравнении с контролем. Произошло повышение содержания в корме сырой клетчатки, золы и незначительное сырого протеина, что связано с недостатком калия в корме, его отношение к азоту равно 0,6. Снижение в сравнении с контролем содержания Mg в корме жёлтого люпина и почти равное количество его на всех вариантах обусловили приблизительно равное на всех вариантах содержание БЭВ и более низкое, чем на контроле, за исключением второго варианта.

В таблице 4 представлены данные содержания элементов питания и показателей качества зерна озимой ржи сорта Пуховчанка.

Применение возрастающих доз N, P, K в полном минеральном удобрении под посеvy озимой ржи увеличивали в зерне содержание фосфора, калия, крахмала, белка и снижали Na, жира. Увеличение содержания калия в зерне при увеличении дозы K в составе полного минерального удобрения вызывает снижение Na и жира в сравнении с контролем.

Таблица 2

Элементный состав и биохимические показатели качества грубых кормов второго укоса по данным работы Ю.А. Анишина (2012) (среднее за 2009-2011 гг.)

Вариант	Содержание в воздушно-сухом веществе, %										К N
	N	P	K	Ca	Mg	сырая				БЭВ	
						клетчатка	зола	жир	протеин		
Естественный травостой											
Контроль	1,37	0,21	1,69	0,42	0,40	25,8	7,06	3,15	8,56	55,47	–
N ₄₅ K ₄₅	1,60	0,34	1,85	0,50	0,36	26,8	7,96	3,66	10,00	51,54	1,00
N ₄₅ K ₆₀	1,73	0,36	1,97	0,51	0,34	27,7	8,26	3,69	10,81	49,49	1,33
N ₄₅ K ₇₅	1,86	0,40	2,05	0,54	0,26	28,4	8,48	3,76	11,62	47,71	1,66
N ₆₀ K ₆₀	1,72	0,34	2,20	0,52	0,30	28,4	8,38	3,70	10,75	48,73	1,00
N ₆₀ K ₇₅	1,80	0,37	2,40	0,54	0,26	28,9	8,41	3,78	11,25	47,64	1,25
N ₆₀ K ₉₀	1,82	0,37	2,42	0,55	0,26	29,3	8,44	3,85	11,37	47,03	1,50
Сеяный травостой овсяницы луговой											
Контроль	1,48	0,32	1,62	0,44	0,40	26,4	7,42	3,17	9,25	53,80	–
N ₄₅ K ₄₅	1,68	0,34	2,10	0,52	0,26	28,3	8,26	3,67	10,50	49,24	1,00
N ₄₅ K ₆₀	2,09	0,36	2,25	0,58	0,24	29,5	8,31	3,79	13,06	45,38	1,33
N ₄₅ K ₇₅	2,15	0,36	2,28	0,60	0,22	29,8	8,48	3,84	13,44	44,44	1,66
N ₆₀ K ₆₀	2,20	0,34	2,25	0,60	0,28	30,1	8,38	3,81	14,06	43,65	1,00
N ₆₀ K ₇₅	2,25	0,35	2,36	0,62	0,26	30,8	8,46	3,88	14,25	42,60	1,25
N ₆₀ K ₉₀	2,28	0,36	2,38	0,63	0,24	31,2	8,54	3,93	14,43	41,88	1,50

Таблица 3

Элементный состав и биохимические показатели качества корма люпина жёлтого по данным работы Л.П. Харкевич (2011) (среднее за 1993-2008 гг.)

Вариант	Содержание в воздушно-сухом веществе, %										К N
	N	P	K	Ca	Mg	сырая				БЭВ	
						клетчатка	зола	жир	протеин		
Контроль	2,74	0,43	1,73	0,67	0,34	21,4	8,23	1,83	17,1	41,50	0,64
P ₂₀ K ₄₀	2,83	0,47	1,86	0,57	0,27	21,3	8,32	1,91	17,7	43,05	0,66
P ₄₀ K ₈₀	2,91	0,50	1,90	0,57	0,31	21,7	8,78	1,98	18,2	39,67	0,65
P ₆₀ K ₁₂₀	2,94	0,51	1,89	0,55	0,27	22,7	9,07	2,06	18,4	40,71	0,64
P ₂₀ K ₄₀ + пестициды	2,82	0,47	1,70	0,57	0,28	21,8	8,24	1,93	17,6	39,81	0,60
P ₄₀ K ₈₀ + пестициды	2,86	0,49	1,82	0,57	0,28	21,9	8,94	2,10	17,9	40,24	0,64
P ₆₀ K ₁₂₀ + пестициды	2,93	0,50	1,90	0,54	0,28	22,5	9,43	2,21	18,3	41,28	0,65

Для зерна озимой ржи соблюдается зависимость между отношением доз К к N в полном минеральном удобрении и содержанием белка, установленная для кормов многолетних трав, согласно которой при $K / N > 1$ достигается максимум содержания белка. На вариантах полево-

го опыта с озимой рожью отношение доз К / N в полном минеральном удобрении составило значение, равное 0,9. Отсюда незначительное увеличение содержания белка в зерне на вариантах опыта.

Таблица 4

Элементный состав и показатели качества зерна озимой ржи по данным работы В.Н. Адамко (2014) (среднее за 2009-2012 гг.)

Вариант	Содержание в воздушно-сухом веществе, %								Крахмал
	P	K	Ca	Mg	Na × 10 ⁻²	крахмал	жир	белок	Белок
Контроль	0,94	0,70	0,11	0,23	0,15	59,7	1,87	11,59	5,15
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	0,92	0,74	0,12	0,25	0,16	60,2	1,77	12,31	4,89
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₁₂₀	0,94	0,74	0,11	0,25	0,13	60,7	1,76	12,62	4,81
N ₂₁₀ P ₉₀ K ₁₈₀	0,95	0,76	0,12	0,25	0,13	62,3	1,75	13,09	4,76
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀ + пестициды	0,95	0,75	0,12	0,25	0,17	60,2	1,80	12,31	4,89
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + пестициды	0,95	0,75	0,12	0,26	0,15	60,5	1,77	12,60	4,81
N ₂₁₀ P ₉₀ K ₁₈₀ + пестициды	0,96	0,76	0,12	0,25	0,16	61,6	1,76	13,19	4,67

Для раскрытия механизма действия возрастающих доз K в составе полного минерального удобрения на снижение содержания Mg и БЭВ, увеличение содержания сырого протеина в корме многолетних трав, снижение содержания Na и жира в зерне озимой ржи и увеличение белка были рассчитаны адсорбция катионов K⁺, Mg²⁺, Na⁺ на поверхности корневых систем культур и константы ионного обмена K^{K+/Mg2+} и K^{K+/Na+}.

В таблицах 5 и 6 представлены показатели адсорбционной способности корневых систем мятликовых трав и озимой ржи. Выявили, что адсорбция ионов K⁺, Mg²⁺ на корнях растений зависит от доступной влаги. В период от возобновления вегетации до первого укоса, при до-

статке почвенной влаги и высокой доли конвекции в общем потоке влаги к корневой системе растений, в большем количестве переносится ион K⁺, чем Mg²⁺. При недостатке почвенной влаги и увеличении диффузионного потока, с которым переносятся двухвалентные катионы, находящиеся в адсорбционном слое ДЭС, возрастает адсорбция иона Mg²⁺ в период от первого до второго укоса.

Прямопропорциональная зависимость константы ионного обмена K^{K+/Mg2+} от дозы K в полном минеральном удобрении вызывается повышением концентрации ионов K⁺ в почвенном растворе.

Таблица 5

Адсорбционная способность корневых систем многолетних трав

Вариант	Kd, см ³ /г		K ^{K+/Mg2+}	Kd, см ³ /г		K ^{K+/Na+}
	K ⁺	Mg ²⁺		K ⁺	Na ⁺	
Естественный травостой (1-й укос)			Сеяный травостой (1-й укос)			
Контроль	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
N ₆₀ P ₉₀ K ₆₀	1,16	0,70	1,60	1,25	0,68	1,84
N ₆₀ P ₉₀ K ₉₀	1,34	0,60	2,20	1,40	0,68	2,10
N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀	1,45	0,58	2,50	1,45	0,65	2,20
N ₉₀ P ₁₂₀ K ₉₀	1,13	0,72	1,60	1,49	0,65	2,30
N ₉₀ P ₁₂₀ K ₁₃₅	1,86	0,62	3,00	1,62	0,61	2,70
N ₉₀ P ₁₂₀ K ₁₈₀	1,88	0,55	3,40	1,70	0,56	3,00
Естественный травостой (2-й укос)			Овсяница луговая (2-й укос)			
Контроль	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
N ₄₅ K ₄₅	1,09	0,90	1,20	1,30	0,65	2,00
N ₄₅ K ₆₀	1,16	0,84	1,40	1,39	0,60	2,30
N ₄₅ K ₇₅	1,22	0,65	1,90	1,40	0,55	2,50
N ₆₀ K ₆₀	1,30	0,75	1,70	1,39	0,70	2,00
N ₆₀ K ₇₅	1,43	0,65	2,20	1,45	0,65	2,20
N ₆₀ K ₉₀	1,43	0,65	2,20	1,48	0,60	2,50

Адсорбционная способность корневых систем люпина и озимой ржи

Вариант	Kd, см ³ /г		K ^{K+/Mg²⁺}	Вариант	Kd, см ³ /г		K ^{K+/Na+}
	K ⁺	Mg ²⁺			K ⁺	Na ⁺	
люпин жёлтый				озимая рожь			
Контроль	1,00	1,00	1,00	Контроль	1,00	1,00	1,00
P ₂₀ K ₄₀	1,07	0,79	1,30	N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	1,05	1,06	0,99
P ₄₀ K ₈₀	1,09	0,91	1,20	N ₁₄₀ P ₆₀ K ₁₂₀	1,05	1,15	0,91
P ₆₀ K ₁₂₀	1,09	0,79	1,40	N ₂₁₀ P ₉₀ K ₁₈₀	1,09	1,15	0,95
P ₂₀ K ₄₀ + пестициды	1,02	0,83	1,20	N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀ + пестициды	1,07	1,14	0,94
P ₄₀ K ₈₀ + пестициды	1,05	0,83	1,30	N ₁₄₀ P ₆₀ K ₁₂₀ + пестициды	1,07	1,14	1,00
P ₆₀ K ₁₂₀ + пестициды	1,09	0,83	1,30	N ₂₁₀ P ₉₀ K ₁₈₀ + пестициды	1,11	1,06	1,05

Величина $K^{K+/Mg^{2+}}$, превышающая 1, означает, что ион K^+ слабо адсорбируется на корневых системах многолетних трав, характеризуется высокой миграционной подвижностью и способностью проникать в глубь корня и другие органы растения. Ион K^+ выполняет важную функцию, участвует в регулировании водного режима растения, входит в состав ферментов, участвует в фотосинтезе, входит в состав клеточного сока вакуолей.

Люпин жёлтый отличается от многолетних мятликовых трав более низким отношением калия к азоту в растении (около 0,6), которое вызвано недостатком ионов K^+ в почве для вовлечения азота, поступающего из клубеньков для синтеза органических веществ. При тех дозах калийного удобрения, которые применяли для посевов жёлтого люпина, имело место более высокая адсорбция на корнях ионов K^+ , чем Mg^{2+} . Константа ионного обмена $K^{K+/Mg^{2+}} > 1$ слабо изменяется от дозы калийного удобрения, которая обуславливает более высокое содержание сырого протеина и низкое БЭВ по сравнению с многолетними мятликовыми травами.

При анализе данных содержания органических веществ в зерне озимой ржи обнаружена обратнопропорциональная зависимость между содержанием белка и жира, обусловленная увеличением содержания ионов K^+ и снижением Na^+ с повышением дозы калийного удобрения. Согласно таблице 6, в соответствии с последовательностью катионов по способности адсорбироваться, адсорбция Na^+ на корневой системе озимой ржи превышает адсорбцию ионов K^+ .

Константа ионного обмена K^+ на Na^+ ($K^{K+/Na+}$), равная 1, означает, что катион Na^+ прочнее адсорбируется корневой системой растений и обладает меньшей миграционной способностью, чем K^+ .

Относительное увеличение содержание сырого протеина по сравнению с контролем при повышении доз калийного удобрения с 60 до 180 составило 12,9%, а снижение жира – 6,4%.

Заключение

Анализ экспериментальных данных содержания элементов питания и органических веществ в продукции кормопроизводства выявил следующие особенности протекания процессов биологического выноса элементов из почвы и синтеза органических веществ:

- увеличение дозы калийного удобрения в полном минеральном при постоянных дозах азотных и фосфорных удобрений повышает содержание N, K и сырого протеина в кормах многолетних мятликовых трав и снижает содержание Mg и БЭВ;

- обнаружены прямопропорциональные зависимости содержания иона Na^+ и жира, иона K^+ и белка в зерне озимой ржи в зависимости от дозы калийного в полном минеральном удобрении;

- установлена зависимость содержания сырого протеина от отношения K / N в растениях многолетних трав;

- доказана роль процесса адсорбции катионов на корневой системе растений и констант ионного обмена на процессы биосинтеза сырого

протеина, БЭВ и сырого жира в растениях многолетних мятликовых трав, зернобобовых и зерновых культур;

– показана зависимость констант ионного обмена K^{K+}/Mg^{2+} и K^{K+}/Na^{+} на корневой системе растений от доз калийных удобрений в НРК, что открывает возможность регулирования качества кормов использованием оптимальных доз калия в полном удобрении.

Библиографический список

1. Пакшина, С. М. Биовынос цезия-137 из почвы продукцией растениеводства / С. М. Пакшина, Н. М. Белоус. – Брянск: Изд-во Брянского ГАУ, 2019. – 125 с. – Текст: непосредственный.

2. Алешин, С. Н. Об электрическом заряде корня растения и методе его определение / С. Н. Алешин, М. Т. Ястребов. – Текст: непосредственный // Доклады ТСХА. – 1950. – Вып. 12. – С. 188-194.

3. Пакшина, С. М. Передвижение солей в почве / С. М. Пакшина. – Москва: Наука, 1980. – 120 с. – Текст: непосредственный.

4. Прохоров, В. М. Миграция радиоактивных загрязнений в почвах / В. М. Прохоров. – Изд-во Энергоиздат, 1981. – 99 с. – Текст: непосредственный.

5. Кротова, Е. А. Продуктивность пойменных сенокосов в зависимости от агрохимических и агротехнических приемов в условиях радиоактивного загрязнения: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Кротова Е. А.; Брянская ГСХА. – Брянск: БГСХА, 2011. – 22 с. – Текст: непосредственный.

6. Анишина, Ю. А. Эффективность возделывания многолетних мятликовых трав в одноидовых посевах на радиоактивно загрязненных пойменных лугах. (На примере юго-запада Брянской области): автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Анишина Ю. А.; Брянская ГСХА, Новозыбковская с.-х. опытная станция ВНИИ люпина. – Брянск, 2012. – 20 с. – Текст: непосредственный.

7. Харкевич, Л. П. Эффективность способов обработки почвы и агрохимических приемов при производстве кормов на радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных угодьях Юго-Запада России: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Харкевич Л. П.; Брянская

ГСХА, Новозыбковская с.-х. опытная станция ВНИИ люпина. – Брянск: БГСХА, 2011. – 46 с. – Текст: непосредственный.

8. Адамко, В. Н. Влияние комплексного применения средств химизации на урожайность и качество зерна озимой ржи в условиях радиоактивного загрязнения: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Адамко В. Н.; Новозыбковская с.-х. опытная станция ВНИИ люпина. – Брянск, 2014. – 22 с. – Текст: непосредственный.

9. Пакшина, С. М. Влияние двойных электрических слоёв поверхности корня и почвенных частиц на доступность питательных элементов растениям / С. М. Пакшина, В. Р. Петухов. – Текст: непосредственный // Агротехника. – 1976. – № 5. – С. 97-102.

10. Пакшина, С. М. Исследование закономерности вертикального распределения солей по профилю почвы и ее частных случаев / С. М. Пакшина. – Текст: непосредственный // Почвоведение. – 1986. – № 2. – С. 86-93.

References

1. Pakshina S.M., Belous N.M. Biovynos tseziya-137 iz pochvy produktsiyey rastenievodstva. – Bryansk: Izd-vo Bryanskoj GAU. 2019. – 125 s.

2. Aleshin S.N., Yastrebov M.T. Ob elektricheskom zaryade kornya rasteniya i metode ego opredelenie // Doklady TSKhA. – 1950. – Vyp. 12. – С. 188-194.

3. Pakshina S.M. Peredvizhenie soley v pochve. – Moskva: Nauka, 1980. – 120 s.

4. Prokhorov V.M. Migratsiya radioaktivnykh zagryazneniy v pochvakh. – Izd-vo: Energoizdat, 1981. – 99 s.

5. Krotova E.A. Produktivnost poymennykh senokosov v zavisimosti ot agrokhimicheskikh i agrotekhnicheskikh priemov v usloviyakh radioaktivnogo zagryazneniya: avtoref. dis. na soisk. uchen. step. kand. s.-kh. nauk / Bryanskaya GSKhA. – Bryansk: BGSKhA, 2011. – 22 s.

6. Anishina Yu.A. Effektivnost vozdeliyvaniya mnogoletnikh myatlikovykh trav v odnovidovykh posevakh na radioaktivno zagryaznennykh poymennykh lugakh (na primere yugo-zapada Bryanskoy oblasti): avtoref. dis. na soisk. uchen. step. kand. s.-kh. nauk / Bryanskaya GSKhA, Novozybkovskaya s.-kh. opytная stantsiya VNIИ lyupina. – Bryansk: 2012. – 20 s.

7. Kharkevich L.P. Effektivnost sposobov obrabotki pochvy i agrokhimicheskikh priemov pri

производстве кормов на радиоактивно загрязненных сельхозпредприятиях угорьях Юго-Запада России: автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра с.-х. наук. / Брянская ГСХА, Ново-зыбковская с.-х. опытная станция ВНИИ люпина. – Брянск: БГСХА, 2011. – 46 с.

8. Adamko V.N. Vliyanie kompleksnogo primeneniya sredstv khimizatsii na urozhaynost i kachestvo zerna ozimoy rzhi v usloviyakh radioaktivnogo zagryazneniya: avtoref. dis. na soisk. uchen. step. kand. s.-kh. nauk / Novozybkovskaya

s.-kh. opytная stantsiya VNIИ lyupina. – Bryansk: 2014. – 22 s.

9. Pakshina S.M., Petukhov V.R. Vliyanie dvoynnykh elektricheskikh sloev poverkhnosti kornya i pochvennykh chastits na dostupnost pitatelnykh elementov rasteniyam // Agrokhimiya. – 1976. – No. 5. – S. 97-102.

10. Pakshina S.M. Issledovanie zakonomenosti vertikalnogo raspredeleniya soley po profilyu pochvy i ee chastnykh sluchaev // Pochvovedenie. – 1986. – No. 2. – S. 86-93.



УДК 630*114:631.436:630*17:630*271 (571.15)

С.В. Макарычев
S.V. Makarychev

О НЕОБХОДИМОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ ПОД ДУБОВЫМИ НАСАЖДЕНИЯМИ В УСЛОВИЯХ ДЕНДРАРИЯ

ON THE NEED TO CONTROL THE HYDROTHERMAL REGIME OF GRAY FOREST SOIL UNDER OAK PLANTATIONS IN THE ARBORETUM

Ключевые слова: серая лесная почва, дубовые насаждения, влажность, плотность, температура, общие и продуктивные запасы влаги.

Дуб – крупное, высокорослое дерево с обширной кроной и мощной разветвленной корневой системой. Чем больше возраст дерева, тем лучше развита корневая система и глубина ее распространения. При иссушении почвенного профиля и почвообразующей породы растение испытывает дискомфорт и нуждается в оросительных мелиорациях. Основным назначением орошения является обеспечение нормальной жизнедеятельности древесных и кустарниковых пород независимо от погодных условий в результате регулирования водного и связанного с ним воздушного, теплового и питательного режимов почвы. В серой лесной почве увлажнение гумусового горизонта в начале вегетационного периода, как правило, превышало влажность разрыва капилляров, но с течением времени уменьшалось почти до влажности завядания и оставалось практически неизменным до осени. В то же время почвообразующая порода испытывала острый дефицит почвенной влаги. В 2014 г. в гумусовом горизонте имел место дефицит почвенной влаги с конца июня. В 2015 г. общие влагозапасы в гумусовых горизонтах почвы под дубовыми насаждениями с июля по октябрь оставались в диапазоне 50 мм за счет атмосферных осадков. Но в горизонтах АВ и В дефицит влаги к октябрю достиг 24,3 мм, а в метровом слое почвы к осени количество продуктивной влаги снизилось до 4,4 мм. В профиле серой лесной почвы в 2016 г. формировался напряженный водный режим. Хотя до середины лета в гуму-

совом горизонте почвенное увлажнение превышало ВРК, то ближе к осени наблюдалось снижение влагосодержания до ВЗ. Влажность почвообразующей породы к началу июля упала до 2-3% от массы почвы, т.е. опять появился дефицит доступной влаги. В результате возникла крайняя необходимость в орошении. Развита корневая система дуба, супесчаный гранулометрический состав лесной почвы способствовали иссушению почвенного профиля, что являлось основанием для регулярного орошения.

Keywords: gray forest soil, oak plantations, moisture content, density, temperature, total and available moisture.

Oak is a large, tall tree with an extensive crown and a powerful branched root system. The older the tree is, the better developed the root system and the depth of its distribution is. When the soil profile and parent rock dry out, the plant experiences discomfort and needs irrigation reclamation. The main purpose of irrigation is to ensure the normal life of tree and shrub species regardless of weather conditions as a result of regulation of water and associated air, thermal and nutrient soil regimes. In gray forest soil, the moisture content of the humus horizon at the beginning of the growing season, as a rule, exceeded the discontinuous capillary moisture but over time it decreased almost up to wilting moisture and remained practically unchanged until autumn. At the same time, the parent rock experienced an acute shortage of soil moisture. In 2014, there was a deficiency of soil moisture in the humus horizon from the end of June. In 2015, the total moisture in the humus horizons of the soil under oak stands from July to October remained