

ТРЕНДОВАЯ МОДЕЛЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗРАСТАЮЩИХ ДОЗ АЗОТНОГО УДОБРЕНИЯ В ПОСЕВАХ ЯЧМЕНЯ ПРИ РАЗНОМ СОДЕРЖАНИИ ГУМУСА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

В. Б. ВОРОБЬЕВ

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: twins50@mail.ru

(Поступила в редакцию 09.07.2020)

В статье приведены результаты изучения энергетической эффективности различных доз азотного удобрения, применяемых в посевах ярового ячменя, возделываемого на фуражные цели на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с различным содержанием гумуса. Показано, что для ячменя оптимальный уровень гумусированности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы находился в интервале от 1,68 до 2,15 %. При более низком, или высоком содержании гумуса урожайность зерна ячменя снижалась.

Энергетическая эффективность применения азотных удобрений зависела как от дозы их внесения, так и от содержания в почве гумуса. Наиболее высокий энергетический коэффициент обеспечило применение азотных удобрений на учетных площадках с содержанием гумуса, близким к оптимальному значению. Явным энергетическим преимуществом отличались дозы азота N_{80+40} и N_{80+60} . На фоне N_{80+40} энергетический коэффициент в зависимости от содержания в почве гумуса находился в пределах от 1,53 до 2,85. Его максимальное значение соответствовало гумусированности почвы, близкой к 1,9 %. В интервале гумусированности почвы от 1,2 до 2,4 % при дозе азота N_{80+40} энергетический коэффициент в среднем составил 2,31. При дозе азота N_{80+60} среднее значение энергетического коэффициента было равно 2,43, однако, его максимальное значение оказалось несколько ниже (2,73 в интервале содержания гумуса в почве от 1,7 до 1,8 %). При этом на учетных делянках с содержанием гумуса свыше 1,8 % удельные энергозатраты оказались более высокие, чем при дозе азота N_{80+40} .

Ключевые слова: яровой ячмень, дозы азота, содержание гумуса, урожайность зерна, энергетический коэффициент.

The article presents the results of studying the energy efficiency of various doses of nitrogen fertilizer used in crops of spring barley cultivated for fodder purposes on sod-podzolic light loamy soil with different humus content. It is shown that for barley, the optimal level of humus content in sod-podzolic light loamy soil was in the range from 1.68 to 2.15 %. With a lower or higher humus content, the yield of barley grain decreased.

The energy efficiency of application of nitrogen fertilizers depended both on the dose of their application and on the content of humus in the soil. The highest energy coefficient was ensured by the use of nitrogen fertilizers at the accounting plots with a humus content close to the optimal value. Doses of nitrogen N_{80+40} and N_{80+60} were distinguished by a clear energy advantage. Against the background of N_{80+40} , the energy coefficient, depending on the content of humus in the soil, ranged from 1.53 to 2.85. Its maximum value corresponded to the soil humus content close to 1.9 %. In the range of soil humus content from 1.2 to 2.4 % at a nitrogen dose of N_{80+40} , the energy coefficient averaged 2.31. At a nitrogen dose of N_{80+60} , the average value of energy coefficient was 2.43, however, its maximum value was slightly lower (2.73 in the range of humus content in the soil from 1.7 to 1.8 %). At the same time, on accounting plots with a humus content of more than 1.8%, the specific energy consumption turned out to be higher than with a nitrogen dose of N_{80+40} .

Key words: spring barley, nitrogen doses, humus content, grain yield, energy coefficient.

Введение

Интенсификация земледелия неразрывно связана с усложнением технологических процессов. Это, с одной стороны ведет к росту урожайности сельскохозяйственных культур, а с другой – к увеличению расхода невозобновляемой энергии, что, часто сопровождается снижением выхода продукции на единицу энергетических затрат, а соответственно уменьшением соотношения между количеством энергии, накопленной в урожае и количеством энергии, затраченной на его получение. Очень важно разработать такие технологии возделывания сельскохозяйственных культур, которые бы требовали минимальных затрат невозобновляемой энергии и сопровождалась максимальным выходом энергии урожая [3, 4].

Наибольшее влияние на формирование урожайности сельскохозяйственных культур, а соответственно и на накопление энергии в продукции растениеводства оказывают минеральные удобрения. К сожалению, применение удобрений требует высоких энергетических затрат, которые связаны с их производством, транспортировкой, хранением и внесением. Кроме того, по мере увеличения урожая растут затраты на его уборку, транспортировку, переработку и реализацию. При этом эффективность минеральных удобрений определяется типом почвы, ее гранулометрическим и агрохимическим составами, режимом увлажнения и многими другими показателями. В частности, агрономическая окупаемость азотных удобрений во многом зависит от содержания в почве гумуса, в котором накоплен почти весь запас азота почвы. В связи с этим урожайность, а соответственно и прибавка урожая, обусловленная применением азотных удобрений на почвах с различным содержанием гумуса различна [1]. Именно поэтому цель наших исследований заключалась в изучении энергетической эффективно-

сти возрастающих доз азотного удобрения, применяемых в посевах ячменя, возделываемого на фуражные цели на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с различным содержанием гумуса.

Основная часть

Исследования проводились в 2008–2012 гг. методом микроделянок [2]. Для этого в учебно-опытном хозяйстве УО БГСХА были подобраны 2 поля, расположенные на почве одного генезиса, имеющие одинаковую историю, отличающиеся выровненным рельефом и автоморфным типом увлажнения. Ежегодно на одном из подобранных полей выделялся массив опытного участка длиной около 1 км и шириной 60 метров. На этом участке в посевах ячменя сорта Гонар, возделываемого на фоне $N_{80}P_{60}K_{120}$, с помощью технологической колеи в фазу конец кущения – начало выхода в трубку были внесены в подкормку следующие дозы азотного удобрения: N_{20} , N_{40} и N_{60} . Предшественником ячменя был яровой рапс. Контролем служил вариант без применения азота. Выделенный массив захватывал несколько элементарных почвенных участков с содержанием гумуса от 1 до 3 %. Норма высева ячменя – 4,5 млн всхожих семян на 1 га. Уход за посевами включал: обработку гербицидом «Прима» в дозе 0,6 л/га (фаза кущения), обработку фунгицидом «Рекс Дуо» в дозе 0,5 л/га (фаза колосения).

На всех создаваемых вариантах азотного питания выделялось около 40 микроделянок, с которых учитывались урожайность зерна и соломы, отбирались образцы почвы для анализа на показатели, характеризующие гумусовое состояние. Полученные результаты подвергались корреляционно-регрессионному анализу.

Почва опытных участков дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на лессах. Ее агрохимические показатели в пахотном горизонте учетных площадок изменялись в широких пределах, однако практически все они находилась в тесной корреляционной зависимости от содержания в почве гумуса и поэтому, как правило, учетные делянки с близким содержанием гумуса относились к одинаковым группам по содержанию подвижных соединений фосфора и калия.

Для оценки энергетической эффективности внесения азотных удобрений были рассчитаны коэффициенты энергетической эффективности и удельные энергетические затраты [5]. При этом под коэффициентом энергетической эффективности понималось отношение энергии, накопленной в прибавке урожая, обусловленной применением азотных удобрений к количеству энергии, затраченной на их применение. Его расчет проводился по формуле $q = \frac{\text{Эп}}{\text{Эо}}$, где q – коэффициент энергетической эффективности, Эп – количество энергии (МДж), накопленной в прибавке урожая, Эо – энергетические затраты (МДж) на производство, доставку, хранение, подготовку, транспортировку и внесение азотных удобрений, а так же уборку, доработку и реализацию дополнительной продукции. Удельные энергетические затраты рассчитывались делением общих энергетических затрат на прибавку урожая, полученную от применения азотных удобрений.

В результате исследований установлено, что между содержанием в почве гумуса и урожайностью зерна ячменя существует тесная криволинейная связь имеющая вид параболы с вершиной соответствующей максимальной урожайности. При этом оптимальный уровень гумусированности почвы находился в пределах от 1,68 до 2,15 %. При более высоком содержании гумуса урожайность зерна ячменя снижалась.

На основании обобщения результатов исследований, полученных за годы исследований (всего около 600 пар сравнений), была разработана трендовая модель урожайности зерна ячменя, возделываемого при разных дозах азотного удобрения на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с различным содержанием гумуса (таблица).

Она показывает, что на фоне $P_{60}K_{120}$ при содержании гумуса в почве от 1,2 до 2,0 % наибольшую урожайность зерна (от 4,65 до 7,15 т/га) ячменя, возделываемого на фуражные цели, обеспечивает доза азотного удобрения 140 кг д.в./га (80 кг/га в основную заправку и 60 кг/га – в подкормку в фазу конец кущения – начало выхода в трубку). При содержании гумуса в почве от 2,0 до 2,5 % дозы азотного удобрения N_{80+60} и N_{80+40} обеспечивают равновеликую урожайность.

Достоверность полученных уравнений линий тренда подтверждается величиной аппроксимации (R^2), или так называемым коэффициентом детерминации, показывающим степень соответствия трендовой модели исходным данным. В нашем случае он находился в пределах от 0,40 до 0,77. Это говорит о том, что от 40 до 77 % всех изменений урожайности зерна ячменя были обусловлены изменением содержания в почве гумуса. Данная модель представляет интерес не только с точки зрения выявления роли гумуса в формировании урожайности ячменя и определения его оптимального содержания в почве, но и позволяет достаточно точно оценить энергетическую эффективность применения различных доз азотного удобрения при разном уровне гумусированности почвы.

Трендовая модель урожайности зерна и энергетической эффективности возрастающих доз азотного удобрения в посевах ячменя при разном содержании гумуса в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

Дозы азота	Уравнения линий тренда	R ²	Показатели	Содержание гумуса, %													
				1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	
Без N	$Y = -1,7208X^3 + 7,772X^2 - 10,249X + 6,7734$	0,77	Урожайность зерна, т/га	2,69	2,80	2,94	3,08	3,22	3,36	3,47	3,55	3,60	3,59	3,52	3,38	3,15	
N ₈₀	$Y = 2,2375X^3 - 15,496X^2 + 33,762X - 19,22$	0,40	Урожайность зерна, т/га	2,85	3,40	3,81	4,11	4,29	4,38	4,39	4,33	4,22	4,06	3,88	3,68	3,48	
			Прибавка урожая, т/га	0,15	0,59	0,88	1,03	1,07	1,03	0,92	0,78	0,62	0,48	0,36	0,30	0,33	
			Накоплено энергии в прибавке урожая, Мдж/га	2530	9777	14448	16933	17623	16909	15181	12831	10248	7824	5949	5014	5410	
			Всего энергозатрат, Мдж/га	6991	8282	9114	9557	9680	9552	9245	8826	8366	7934	7600	7434	7504	
			Удельные энергозатраты, Мдж/ц	4545	1393	1038	928	904	929	1002	1132	1343	1668	2102	2439	2282	
			Энергетический коэффициент	0,36	1,18	1,59	1,77	1,82	1,77	1,64	1,45	1,23	0,99	0,78	0,67	0,72	
N ₈₀₊₂₀	$Y = 2,2375X^3 - 15,496X^2 + 33,762X - 19,22$	0,40	Урожайность зерна, т/га	3,71	3,99	4,22	4,39	4,50	4,58	4,62	4,63	4,61	4,58	4,53	4,49	4,44	
			Прибавка урожая, т/га	1,02	1,19	1,28	1,31	1,28	1,22	1,15	1,07	1,01	0,99	1,02	1,11	1,28	
			Накоплено энергии в прибавке урожая, Мдж/га	16715	19585	21085	21490	21073	20110	18875	17642	16685	16279	16699	18217	21110	
			Всего энергозатрат, Мдж/га	11133	11644	11911	11983	11909	11738	11518	11298	11128	11055	11130	11401	11916	
			Удельные энергозатраты, Мдж/ц	1096	978	929	917	930	960	1004	1053	1097	1117	1096	1029	929	
			Энергетический коэффициент	1,50	1,68	1,77	1,79	1,77	1,71	1,64	1,56	1,50	1,47	1,50	1,60	1,77	
N ₈₀₊₄₀	$Y = 14,684X^4 - 111,94X^3 + 307,32X^2 - 357,78X + 53,79$	0,40	Урожайность зерна, т/га	4,01	4,05	4,49	5,13	5,81	6,40	6,82	7,00	6,93	6,63	6,15	5,56	5,00	
			Прибавка урожая, т/га	1,32	1,25	1,56	2,05	2,59	3,04	3,34	3,45	3,34	3,04	2,63	2,19	1,85	
			Накоплено энергии в прибавке урожая, Мдж/га	21689	20559	25594	33740	42525	50056	55020	56684	54894	50075	43234	35955	30405	
			Всего энергозатрат, Мдж/га	13634	13433	14330	15781	17345	18687	19571	19867	19548	18690	17472	16175	15187	
			Удельные энергозатраты, Мдж/ц	1034	1075	921	769	671	614	585	577	586	614	665	740	822	
			Энергетический коэффициент	1,59	1,53	1,79	2,14	2,45	2,68	2,81	2,85	2,81	2,68	2,47	2,22	2,00	
N ₈₀₊₆₀	$Y = -6,2409X^2 + 22,883X - 13,818$	0,46	Урожайность зерна, т/га	4,65	5,38	5,99	6,46	6,82	7,05	7,15	7,13	6,98	6,71	6,32	5,80	5,15	
			Прибавка урожая, т/га	1,96	2,58	3,05	3,39	3,60	3,69	3,68	3,58	3,39	3,13	2,80	2,42	2,00	
			Накоплено энергии в прибавке урожая, Мдж/га	32274	42424	50172	55688	59141	60701	60538	58822	55723	51410	46054	39824	32891	
			Всего энергозатрат, Мдж/га	17135	18943	20323	21305	21920	22198	22169	21863	21311	20543	19589	18479	17244	
			Удельные энергозатраты, Мдж/ц	873	734	666	629	610	602	602	611	629	657	700	763	862	
			Энергетический коэффициент	1,88	2,24	2,47	2,61	2,70	2,73	2,73	2,69	2,61	2,50	2,35	2,16	1,91	

Анализ многолетних данных показывает, что внесение в основную заправку 80 кг/га азота обеспечило по сравнению с вариантом без азотного удобрения прибавку урожайности зерна в среднем от 0,15 до 1,07 т/га. При этом максимальные значения данного показателя (1,03–1,07 т/га) были получены на микроплощадках с содержанием гумуса от 1,5 до 1,7 %. Соответственно при таком содержании гумуса в прибавке урожая было накоплено наибольшее количество энергии, а в конечном итоге получен и наиболее высокий энергетический коэффициент (1,77–1,82). Применение вышеназванной дозы азотного удобрения на делянках с содержанием гумуса 1,2 %, а также с содержанием гумуса более 2,1 % было энергетически не выгодно, так как в этих случаях энергетический коэффициент оказался меньше единицы. В целом в интервале гумусированности почвы от 1,2 до 2,4 % удельные энергозатраты находились в пределах от 4545 до 904 Мдж/ц (в среднем 1669,5 Мдж/ц) и оказались наименьшими на учетных площадках с содержанием гумуса около 1,6 %.

Азотная подкормка в фазу конец кущения – начало выхода в трубку в дозе 20 кг/га снизила удельные энергозатраты в среднем до 1011 Мдж/ц. При этом среднее значение энергетического коэффициента составило 1,64.

Явное энергетическое преимущество имели дозы азота N_{80+40} и N_{80+60} . Так, на фоне N_{80+40} энергетический коэффициент в зависимости от содержания в почве гумуса находился в пределах от 1,53 до 2,85. Согласно трендовой модели, его максимальное значение соответствовало гумусированности почвы, близкой к 1,9 %. При содержании гумуса 2,4 % значение данного показателя снизилось до 2,00. В интервале гумусированности почвы от 1,2 до 2,4 % при дозе азота N_{80+40} энергетический коэффициент в среднем составил 2,31.

В этом же интервале при дозе азота N_{80+60} среднее значение энергетического коэффициента составило 2,43, однако, его максимальное значение было несколько ниже (2,73 при содержании гумуса в почве 1,7–1,8 %). При этом на учетных делянках с содержанием гумуса свыше 1,8 % удельные энергозатраты оказались более высокие, чем при дозе азота N_{80+40} .

Заключение

При возделывании ярового ячменя на фуражные цели оптимальный уровень гумусированности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы находился в пределах от 1,68 до 2,15 %. При более высоком содержании гумуса урожайность зерна ячменя снижалась.

Энергетическая эффективность применения азотного удобрения зависела как от дозы его внесения, так и от содержания в почве гумуса. Наиболее высокий энергетический коэффициент обеспечило применение азотного удобрения на учетных площадках с содержанием гумуса, близком к оптимальному значению. Явным энергетическим преимуществом отличались дозы азота N_{80+40} и N_{80+60} . На фоне N_{80+40} энергетический коэффициент в зависимости от содержания в почве гумуса находился в пределах от 1,53 до 2,85. Его максимальное значение соответствовало гумусированности почвы, близкой к 1,9 %.

В интервале гумусированности почвы от 1,2 до 2,4 % при дозе азота N_{80+40} энергетический коэффициент в среднем составил 2,31. При дозе азота N_{80+60} среднее значение энергетического коэффициента составило 2,43, однако, его максимальное значение было несколько ниже (2,73 при содержании гумуса в почве 1,7–1,8 %). При этом на учетных делянках с содержанием гумуса свыше 1,8 % удельные энергозатраты оказались более высокие, чем при дозе азота N_{80+40} .

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев, В. Б. Влияние содержания гумуса и различных доз азотного удобрения на урожайность ячменя и баланс азота в почве / В. Б. Воробьев, И. Ю. Грищенко, С. И. Ласточкина // Вестник БГСХА. – 2018. – № 2. – С. 98–101.
2. Воробьев, В. Б. Методика закладки полевого опыта на почве с различным уровнем содержания гумуса. Рекомендации для научных сотрудников, преподавателей, аспирантов, магистрантов, студентов учебных заведений агроэкологического профиля / В. Б. Воробьев, Г. В. Седукова. – Горки, 2018. – 20 с.
3. Ермохин, Ю. И. Оптимизация минерального питания сельскохозяйственных культур: монография / Ю. И. Ермохин, И. А. Бобренко. – Омск: Изд-во ФГОУ ВПО Ом ГАУ, 2005. – 284 с.
4. Оценка энергетической эффективности технологий возделывания озимой пшеницы в шести ротациях севооборота многолетнего стационара / Н. И. Цимбалит [и др.] // Агрохимия. – 2007. – № 7. – С. 49–63.
5. Система применения удобрений: учебник / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапы. – Минск ИВЦ Минфина, 2016. – 440 с.