



УДК 631.81:633.1 (571.1)

В.И. Попова,
Е.П. Болдышева

БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ПОД ОЗИМЫЕ ЗЕРНОВЫЕ КУЛЬТУРЫ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Ключевые слова: энергетическая эффективность, энергетические затраты, биоэнергетический КПД, озимая пшеница, озимая рожь, урожайность, прибавка, цинковые удобрения, микроудобрения, химический состав почвы.

Введение

Эффективное управление производством невозможно без использования энергетического анализа. Денежные оценки природных ресурсов неадекватно отражают их реальную стоимость, поскольку в них не учитывается вклад накоплений возобновляемых источников. Интенсификация сельского хозяйства повлекла за собой создание сложного производства, каждая технологическая ступень которого требует значительных энергетических затрат. При постоянно возрастающей энергоёмкости аграрного производства уменьшается относительная величина созданного продукта (выход продукции на единицу затраченной энергии) несмотря на рост получаемой продукции. При этом снижается биоэнергетический КПД, который рассчитывается как отношение энергии получаемой продукции к совокупной энергии, затраченной в процессе производства.

Энергетическая эффективность изменяется по закону А. Тюрго-Т. Мальтуса, который стал прописной истиной сельскохозяйственной экологии и формулируется следующим образом: повышение удельного вложения энергии в агроэкосистему не дает адекватного, пропорционального увеличения ее продуктивности [1]. Напри-

мер, в США повышение урожайности кукурузы в 2,61 раза с 1945 по 1970 гг. за счет внедрения индустриальных методов производства потребовало десятикратного увеличения совокупных расходов энергии, при этом биоэнергетический КПД снизился в 4,4 раза, расход энергии на производство средств производства вырос за это время на 964%, а непосредственно в сельском хозяйстве – 318% [2].

Таким образом, интенсификация сельскохозяйственного производства связана с ростом затрат невозобновляемой энергии. Поэтому важно создание технологий возделывания сельскохозяйственных культур с минимальными энергетическими затратами [3, 4].

Биоэнергетическая оценка позволяет количественно оценить энергетическую стоимость полученной сельскохозяйственной продукции и является условным показателем энергетической рентабельности производства. Рассчитанный по этому методу энергетический КПД (энергоотдача) показывает соотношение между количеством энергии, полученной с дополнительной сельскохозяйственной продукцией, и энергетическими затратами, идущими для получения прибавки урожая. Применительно к нашим исследованиям этот показатель позволяет сравнить количество энергии, накопленной урожаем, и затраты энергии на получение этого урожая по стабильным энергетическим показателям.

Цель исследований – выявить энергетическую эффективность применения микроудобрений под озимые зерновые культуры на лугово-черноземной почве Омской области.

Полевые опыты проводились в 2007-2010 гг. на полях СибНИИСХа.

Объекты и методы исследований

Сорт озимой пшеницы – Омская 4, ржи – Сибирь 3. Содержание в пахотном слое нитратного азота и подвижного фосфора среднее, обменного калия – высокое, подвижных цинка, меди и марганца – низкое.

Расположение делянок на опытном участке – систематическое. Площадь делянок – 16 м². Повторность вариантов в опыте – трёхкратная, расположение повторностей – в 1 ярус. Схемы опытов предусматривали изучение различных доз цинковых удобрений в основное внесение и опудривание семян цинком, медью, марганцем на различных фонах макроудобрений. Формы удобрений – аммиачная селитра, суперфосфат двойной, калий хлористый, сернокислые цинк, марганец, медь. Предшественник – кулисный пар. Агротехника – общепринятая для зоны.

Экспериментальная часть

Исследования выявили разнообразное положительное действие цинковых удобрений в основное внесение на урожайность озимых культур в зависимости от доз и фона применения (табл. 1). Внесение цинковых удобрений в дозах 4 и 8 кг/га без применения фосфорных удобрений позволило сформировать высокую прибавку урожая озимой пшеницы (0,64 и 0,50 т/га при урожайности в контрольном варианте 2,43 в среднем по годам исследований), при этом окупаемость цинковых удобрений была даже выше, чем от их внесения на фосфорном фоне. В целом наибольшая прибавка урожая зерна пшеницы 0,85 т/га сформировалась при применении дозы цинка 8 кг/га

на фоне P₆₀. В то же время внесение цинковых удобрений в дозе 4 кг/га на фоне P₆₀ не привело к увеличению урожайности по сравнению с такой же дозой без фосфорного фона (прибавка урожая 0,64 и 0,69 т/га соответственно). Вероятно, это можно объяснить негативным влиянием на поступление цинка повышенного содержания фосфора в почве при применении фосфорных удобрений. Для преодоления негативного влияния данного фактора потребовалось увеличение дозы цинка до 8 кг/га, что позволило получить наивысшую урожайность в опыте.

Также выявлено положительное действие цинковых удобрений и на урожайность озимой ржи (табл. 1). Основное внесение сернокислого цинка оказалось эффективнее на фоне P₆₀. Так, цинк в дозе 4 кг/га на фоне P₆₀ обеспечил прибавку урожая зерна озимой ржи в 0,95 т/га, что выше, чем применение цинковых удобрений как в такой же дозе без фосфорного фона, так и при применении 8 кг/га цинка.

Эффективность опудривания семян озимых зерновых культур цинком, медью и марганцем при проведении исследований была неодинаковой (табл. 2).

При исследовании применения различных доз микроудобрений при опудривании семенного материала озимой пшеницы выявлено, что совместно с P₆₀K₆₀ наиболее эффективно их применение 100 г/ц. При опудривании цинком получена прибавка урожая зерна 0,98 т/га, или 40,7% к контролю, медью – 0,94 т/га (39,0%), марганцем – 1,01 т/га, или 41,9%. При опудривании несколькими микроэлементами наибольшую эффективность имела обработка семян Zn₅₀Cu₅₀Mn₅₀ (прибавка составила 1,09 т/га, или 45,2% к контролю).

Таблица 1

Влияние основного внесения цинковых удобрений на урожайность зерна озимых культур на лугово-черноземной почве (по фону N₃₀, среднее за 2007-2010 гг.)

Вариант	Озимая пшеница			Озимая рожь		
	урожайность, т/га	прибавка		урожайность, т/га	прибавка	
		т/га	% к контролю		т/га	% к контролю
Контроль	2,43	-	-	3,67	-	-
Zn ₄	3,07	0,64	26,3	3,85	0,18	4,81
Zn ₈	2,93	0,50	20,6	4,15	0,48	13,1
P ₆₀	2,96	0,53	21,8	4,08	0,41	11,2
P ₆₀ + Zn ₄	3,16	0,69	28,4	4,62	0,95	25,9
P ₆₀ + Zn ₈	3,28	0,85	35,0	3,81	0,14	3,82
HCP ₀₅		0,16-0,22			0,16-0,24	

Влияние обработки семян микроэлементами на урожайность озимых зерновых культур на лугово-черноземной почве (по фону N_{30} , среднее за 2007-2010 гг.)

Вариант	Озимая пшеница			Озимая рожь		
	урожайность, т/га	прибавка		урожайность, т/га	прибавка	
		т/га	% к контролю		т/га	% к контролю
Контроль	2,41	-	-	3,77	-	-
$P_{60}K_{60}$	2,71	0,30	12,4	4,20	0,43	11,4
$P_{60}K_{60} + Zn_{50}$	2,87	0,46	19,1	4,66	0,89	23,6
$P_{60}K_{60} + Zn_{100}$	3,39	0,98	40,7	4,73	0,96	25,5
$P_{60}K_{60} + Cu_{50}$	3,04	0,63	26,1	4,35	0,58	15,4
$P_{60}K_{60} + Cu_{100}$	3,35	0,94	39,0	4,60	0,83	22,0
$P_{60}K_{60} + Mn_{50}$	2,90	0,49	20,3	4,77	1,00	26,5
$P_{60}K_{60} + Mn_{100}$	3,42	1,01	41,9	4,13	0,36	9,5
$P_{60}K_{60} + Zn_{50}Cu_{50}$	3,39	0,98	40,7	4,45	0,64	17,0
$P_{60}K_{60} + Zn_{50}Mn_{50}$	3,43	1,02	42,3	4,83	1,06	28,1
$P_{60}K_{60} + Zn_{50}Cu_{50}Mn_{50}$	3,60	1,09	45,2	4,59	0,82	21,8
HCP_{05} , т/га		0,16-0,21			0,16-0,23	

При опудривании семенного материала озимой ржи солями цинка и меди выявлено, что наиболее эффективно их применение в дозе 100 г/ц. Получена прибавка урожая зерна 0,96 и 0,83 т/га соответственно, или 25,5 и 22,0% к контролю. Наиболее эффективная доза сернокислого марганца 50 г/ц, применение которой способствовало получению прибавки урожая 1,00 т/га, или 26,5%. Максимальная урожайность озимой ржи в среднем за три года получена при совместном опудривании семян сернокислым цинком и марганцем и в дозе 50 г/ц, прибавка к контролю составила 28,1%.

Таким образом, в результате проведенных исследований была выявлена высокая эффективность применения цинковых удобрений в основное внесение и опудривание семян озимой пшеницы и ржи микроэлементами при их выращивании на лугово-черноземной почве южной лесостепи Омской области.

Расчёт энергетической эффективности применения удобрений проводился по следующей методике [5]. Энергетическую эффективность минеральных удобрений определяли по энергоотдаче или по биоэнергетическому КПД их применения. Для его определения использовали и вычисляли следующие показатели:

- приходная часть – количество энергии, накопленной в надземной массе от применения минеральных удобрений;

- расходная часть – энергетические затраты на применение минеральных удобрений, на уборку урожая, уход за посевами и т.д.

Количество энергии (Vf_0 , МДж/га), накопленной в основной продукции, полученной от применения минеральных удобрений, определяется по формуле:

$$Vf_0 = Yn \times Ril \cdot 1000, \quad (1)$$

где Yn – прибавка урожая зерна от применения удобрений, т/га;

Ri – коэффициент перевода сельскохозяйственной продукции в сухое вещество;

l – содержание общей энергии в 1 кг сухого вещества продукции, МДж;

1000 – коэффициент перевода т в кг.

Энергетические затраты (A_0 , МДж/га) на применение минеральных удобрений определяют по формуле:

$$A_0 = (H_N \cdot a_N) + (H_P \cdot a_P) + (H_K \cdot a_K) + (Y_{II} \cdot a_{y\bar{o}}) + (H_{\phi.в.} \cdot a_{вн}), \quad (2)$$

где H_N, H_P, H_K – фактические дозы внесения азотных, фосфорных, калийных удобрений, кг д.в./га;

Y_{II} – прибавка урожая от применения удобрений, ц/га;

$H_{\phi.в.}$ – дозы азота, фосфора и калия в физической массе, ц/га;

$a_y, a_{в.н}$ – затраты энергии на уборку и внесение удобрений, МДж;

a_N, a_P, a_K – энергозатраты в расчете на 1 кг д.в. азотных, фосфорных и калийных удобрений.

Расчет энергетической эффективности (энергоотдача или биоэнергетический КПД) применения удобрений (η) определяется по формуле:

$$\eta = \frac{Vf_0}{A_0}, \quad (3)$$

где V_{f0} – количество энергии, полученной в прибавке продукции от минеральных удобрений, МДж/га;

A_0 – энергетические затраты на применение удобрений, МДж.

При внесении удобрений на единицу энергетических затрат получено 1,19-8,64 единиц энергии, содержащейся в прибавке урожая от минеральных удобрений (табл. 3, 4).

Таблица 3

Биоэнергетическая эффективность применения цинковых удобрений в основное внесение под озимые зерновые культуры (по фону N_{30} , среднее за 2007-2010 гг.)

Вариант	Прибавка, т/га	Количество энергии, накопленной в основной продукции (Vf_0 , МДж/га)	Энергетические затраты на применение минеральных удобрений (A_0), МДж/га	Энергетические затраты на получение дополнительной продукции за счет удобрений, МДж/т	Биоэнергетический КПД
Озимая пшеница					
Zn ₄	0,64	10528	1218	1903	8,64
Zn ₈	0,50	8225	1123	2246	7,32
P ₆₀	0,53	8719	2416	4558	3,60
P ₆₀ + Zn ₄	0,69	11351	2825	4094	4,01
P ₆₀ + Zn ₈	0,85	13983	3235	3806	4,32
Озимая рожь					
Zn ₄	0,18	3017	443	2461	6,81
Zn ₈	0,48	8045	1089	2269	7,38
P ₆₀	0,41	6872	2213	5398	3,10
P ₆₀ + Zn ₄	0,95	15922	3263	3435	4,87
P ₆₀ + Zn ₈	0,14	2346	1971	14079	1,19

Таблица 4

Влияние опудривания семян микроэлементами на биоэнергетическую эффективность применения макроудобрений под озимые зерновые культуры (по фону N_{30} , среднее за 2007-2010 гг.)

Вариант	Прибавка, т/га	Количество энергии, накопленной в основной продукции (Vf_0 , МДж/га)	Энергетические затраты на применение минеральных удобрений (A_0), МДж/га	Энергетические затраты на получение дополнительной продукции за счет удобрений, МДж/т	Биоэнергетический КПД
Озимая пшеница					
P ₆₀ K ₆₀	0,30	4935	3156	10520	1,56
P ₆₀ K ₆₀ + Zn ₅₀	0,46	7567	3425	7446	2,21
P ₆₀ K ₆₀ + Zn ₁₀₀	0,98	16121	4302	4390	3,75
P ₆₀ K ₆₀ + Cu ₅₀	0,63	10364	3712	5892	2,79
P ₆₀ K ₆₀ + Cu ₁₀₀	0,94	15463	4234	4504	3,65
P ₆₀ K ₆₀ + Mn ₅₀	0,49	8061	3476	7094	2,32
P ₆₀ K ₆₀ + Mn ₁₀₀	1,01	16615	4352	4309	3,82
P ₆₀ K ₆₀ + Zn ₅₀ Cu ₅₀	0,98	16121	4302	4390	3,75
P ₆₀ K ₆₀ + Zn ₅₀ Mn ₅₀	1,02	16779	4369	4283	3,84
P ₆₀ K ₆₀ + Zn ₅₀ Cu ₅₀ Mn ₅₀	1,09	17931	4487	4117	4,00
Озимая рожь					
P ₆₀ K ₆₀	0,43	7207	3375	7849	2,14
P ₆₀ K ₆₀ + Zn ₅₀	0,89	14916	4150	4663	3,59
P ₆₀ K ₆₀ + Zn ₁₀₀	0,96	16090	4268	4446	3,77
P ₆₀ K ₆₀ + Cu ₅₀	0,58	9721	3627	6253	2,68
P ₆₀ K ₆₀ + Cu ₁₀₀	0,83	13911	4049	4878	3,44
P ₆₀ K ₆₀ + Mn ₅₀	1,00	16760	4335	4335	3,87
P ₆₀ K ₆₀ + Mn ₁₀₀	0,36	6034	3257	9047	1,85
P ₆₀ K ₆₀ + Zn ₅₀ Cu ₅₀	0,64	10726	3729	5827	2,88
P ₆₀ K ₆₀ + Zn ₅₀ Mn ₅₀	1,06	17766	4436	4185	4,00
P ₆₀ K ₆₀ + Zn ₅₀ Cu ₅₀ Mn ₅₀	0,82	13743	3981	4855	3,45

Основное внесение цинковых удобрений наиболее энергетически эффективно без фосфорных удобрений, так как энергетические затраты при этом относительно невелики при высокой дополнительной энергии в прибавке урожая. Внесение цинка на фоне P_{60} способствовало увеличению энергетической эффективности применения удобрений как при возделывании озимой пшеницы (где биоКПД составил в варианте $P_{60}Zn_4$ 4,01), так и при возделывании озимой ржи (4,87). Без внесения цинковых удобрений биоКПД фосфорных удобрений был меньше, соответственно, 3,60 и 3,10.

При опудривании семян микроэлементами биоКПД применения фосфорно-калийных удобрений $P_{60}K_{60}$ под озимые культуры в годы исследований изменялся от 1,56 до 4,00. При этом наивысшей биоэнергетической эффективности удобрения $P_{60}K_{60}$ способствовало применение под озимую пшеницу $Zn_{50}Cu_{50}Mn_{50}$, а под озимую рожь – $Zn_{50}Mn_{50}$; в обоих случаях биоКПД составил 4,0. Таким образом, можно сделать значительно более энергетически эффективным применение макроудобрений под озимые зерновые культуры при помощи микроудобрений.

Энергетические затраты на получение 1 т дополнительной продукции (зерна) за счет удобрений уменьшаются в более эффективных вариантах с точки зрения энергетической эффективности применения удобрений (табл. 3, 4).

Так, при применении возрастающих доз цинковых удобрений в основное внесение под озимую пшеницу на фосфорном фоне (P_{60}) энергетические затраты на получение 1 т зерна уменьшились с 4558 до 3806 МДж при увеличении биоКПД с 3,60 до 4,32 (рис. 1).

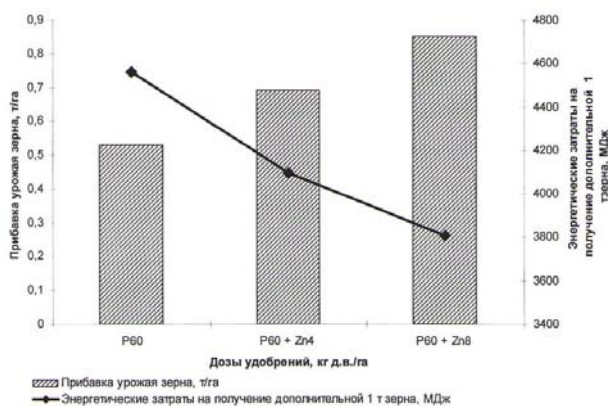


Рис. 1. Зависимость между дозами цинковых удобрений в основное внесение под озимую пшеницу на фоне P_{60} и показателями энергетической эффективности

Подобные закономерности наблюдались и при совместном применении макро- и микроудобрений при опудривании семян озимых пшеницы и ржи. Так, при применении возрастающих доз цинковых удобрений затраты энергии на получение дополнительной 1 т зерна озимой пшеницы уменьшались с 10520 (в варианте $P_{60}K_{60}$) до 4390 МДж ($P_{60}K_{60} + Zn_{100}$), а озимой ржи – с 7849 до 4446 МДж (рис. 2, 3).

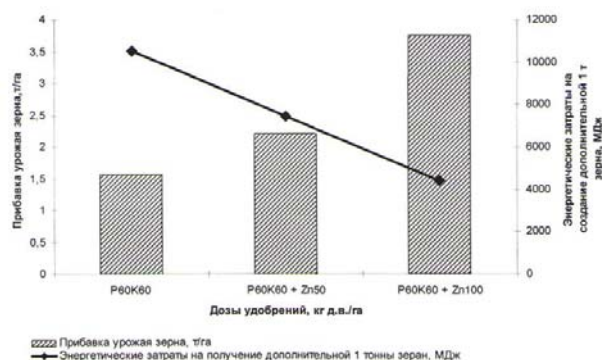


Рис. 2. Влияние опудривания семян цинком на энергетическую эффективность применения макроудобрений под озимую пшеницу

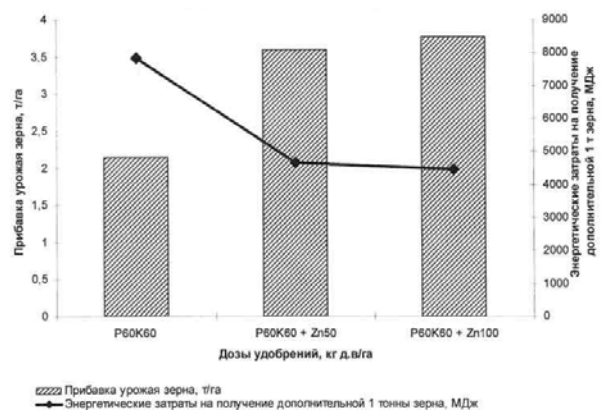


Рис. 3. Влияние опудривания семян цинком на энергетическую эффективность применения макроудобрений под озимую рожь

Выводы

Использование энергетического подхода дает возможность выявить и изучить структурные и функциональные зависимости между компонентами сельскохозяйственных систем, а также исследовать в динамике влияние различных энергетических источников на поведение агроэкосистем [6]. Биоэнергетическая оценка позволяет количественно оценить энергетическую стоимость полученной сельскохозяйственной продукции и является условным показателем энергетической рентабельности производства.

Проведенные исследования свидетельствуют, что как с агрономической, так и с энергетической точки зрения применение удобрений при возделывании озимой пшеницы и ржи в условиях лугово-черноземных почв Западной Сибири является эффективным.

Библиографический список

1. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. – М.: Колос, 1996. – 367 с.
2. Созинов А.А., Новиков Ю.Ф. Энергетическая цена индустриализации агро-сферы // Природа. – 1985. – № 5. – С. 11-19.
3. Ермохин Ю.И., Бобренко И.А. Оптимизация минерального питания сельскохозяйственных культур (на основе «ПРОД»): монография. – Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2005. – 284 с.
4. Оценка энергетической эффективности технологий возделывания озимой пшеницы в шести ротациях севооборота многолетнего стационара // Н.И. Цимбалист, В.Ф. Ладонин, В.А. Бузько, А.М. Алиев, В.А. Шмонин, С.Н. Цимбалист // Агрехимия. – 2007. – № 7. – С. 49-63.
5. Ермохин Ю.И., Неклюдов А.Ф. Экономическая и биоэнергетическая оценка применения удобрений: методические рекомендации. – Омск, 1994. – 44 с.
6. Сисо А.В., Югов А.В., Герасименко В.Н. Биоэнергетическая оценка различных агроприемов возделывания озимой пшеницы, сахарной свеклы и сои в орошаемом травяно-зернопропашном севообороте // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – 2007. – № 04(28). – С. 43-51.

