БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ НА ПОСЕВАХ ПРОСА В УСЛОВИЯХ ДОНБАССА

А. С. Садовой, ассистент кафедры селекции и защиты растений, младший научный сотрудник НИЧ, sadovoialek@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0002-9438-8979;

А. В. Барановский, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры земледелия и экологии окружающей среды, lna_u_sorgo2011@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2098-0889

ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет», 91008, Луганская народная республика, г. Луганск, Артёмовский р-н., городок ЛНАУ, 1

Основной задачей использования регуляторов роста растений является повышение устойчивости и адаптации выращиваемых культур к неблагоприятным факторам внешней среды, что в итоге способствует повышению урожайности и качества продукции. Поэтому энергетическая оценка эффективности их применения имеет практическое значение. Целью проведенных исследований являлось изучение биоэнергетической эффективности применения регуляторов роста растений и микроудобрений отдельно и в комплексе с минеральными удобрениями на просе. Исследования проводились на черноземе обыкновенном в центральной части Луганской области на базе опытного поля Луганского национального аграрного университета в 2016–2018 гг. В полевых опытах использовали просо сорта Мироновское 51. Опыт включал три фона питания: без удобрений, $N_{30}P_{30}K_{30}$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$; обработку семян и растений в период вегетации регуляторами роста растений Келпак, РК, Блек Джек, Нива люкс и Силиплант. Закладку опыта, учеты и наблюдения, определение биоэнергетической эффективности применения регуляторов роста растений проводили в соответствии с общепринятыми методиками. Установлено, что применение минеральных удобрений нормами $N_{30}P_{30}K_{30}$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$ значительно (на 17,4–32,1%) увеличивает общие затраты энергии на производство продукции изучаемой культуры в сравнении с неудобранными посевами. Применение изучаемых препаратов увеличивает выход энергии с урожаем на 15,3–29,8% и позволяет получить в среднем 24,8–26,6 ц/га зерна. Выяснено, что наибольший выход энергии (46,5 ГДж/га) и урожайность (25,6–29,0 ц/га) посевов проса обеспечил препарат Силиплант. Наименьший показатель выхода энергии (41,3 ГДж/га) и урожайности (24,4 ц/га) отмечен в вариантах с применением препаратов Келпак, РК и Нива люкс. Определены эффективные варианты опыта (Блек Джек, Нива люкс и Силиплант на неудобранном фоне), на которых отмечался наиболее высокий коэффициент энергетической эффективности – 4,0–4,3 ед.

Ключевые слова: биоэнергетическая оценка, урожайность, просо, регуляторы роста растений, минеральные удобрения.

Для цитирования: Садовой А.С., Барановский А.В. Биоэнергетическая оценка применения регуляторов роста растений на посевах проса в условиях Донбасса // Зерновое хозяйство России. 2021. № 1(73). С. 63–67. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-63-67.

THE BIOENERGETIC ESTIMATION OF THE USE OF PLANT GROWTH REGULATORS FOR MILLET SOWINGS IN THE DONBASS

A. S. Sadovoy, assistant of the department of plant breeding and protection, junior researcher of RC, sadovoialek@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0002-9438-8979;

A. V. Baranovsky, Candidate of Agricultural Sciences, associate professor of the department of agriculture and ecology of environment, lna_u_sorgo2011@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2098-0889

Lugansk National Agricultural University, 91008, Lugansk People's Republic, Lugansk, Artyomovskiy district, LNAU town, 1

The main purpose of using plant growth regulators is to improve the resistance and adaptation of grain crops to unfavorable environmental factors, which ultimately result in an increase of productivity and product quality. Therefore, the energetic estimation of the efficiency of their utilization is of practical importance. The purpose of the research was to study the bioenergetic efficiency of the use of plant growth regulators and micronutrient fertilizers separately and in combination with mineral fertilizers on millet. The study was conducted on ordinary blackearth (chernozem) in the central part of the Lugansk region on the basis of the experimental plot of the Lugansk National Agricultural University in 2016–2018. In the field trials there was used the millet variety 'Mironovskoye 51'. The trial included three nutritional backgrounds, such as without fertilizers; with $N_{30}P_{30}K_{30}$ and $N_{60}P_{60}K_{60}$; treating seeds and plants during the vegetation period with plant growth regulators 'Kelpak', 'RK', 'Black Jack', 'Niva Lyuks' and 'Siliplant'. The trials, records and observations, and the study of bioenergetic efficiency of plant growth regulators were carried out in accordance with generally accepted methods. There was found that the use of mineral fertilizers with $N_{30}P_{30}K_{30}$ and $N_{60}P_{60}K_{60}$ significantly (by 17.4–32.1%) raised the total energy consumption by millet in comparison with unfertilized sowings. The use of the studied fertilizers increased the energy yield by 15.3–29.8% and allowed obtaining 24.8–26.6 hwt/ha of grain on average. There has been established that the largest energy yield (46.5 GJ/ha) and productivity (25.6–29.0 hwt/ha) of millet were provided by the utilization of the product 'Siliplant'. The smallest indicator of energy output (41.3 GJ/ha) and productivity (24.4 hwt/ha) was identified when using the products 'Kelpak', 'RK' and 'Niva Lyuks'. There have been established the such effective variants of the trial as the use of the products 'Black Jack', 'Niva Lyuks' and 'Siliplant' on an unfertilized background with the largest coefficient of energetic efficiency (4.0–4.3 units).

Keywords: bioenergetic estimation, productivity, millet, plant growth regulators, mineral fertilizers.

Введение. Любая отрасль человеческой деятельности нуждается в энергосберегающих технологиях, что объясняется ростом затрат энергии на производство единицы продукции. Экономия ресурсов является одной из важнейших проблем современности. В последнее время вопросам биоэнергетической эффективности производства сельскохозяйственной продукции уделяется значительное внимание (Габдеев, 2009; Дудкин, 2018).

Целью биоэнергетической оценки возделывания сельскохозяйственных культур является разработка более эффективных технологий их возделывания со снижением затрат ресурсов и энергии. Это обусловлено тем, что в современных экономических условиях эффективность производственной деятельности предприятия зависит от цен на сырье, горюче-смазочные материалы, материальные ресурсы, электроэнергию и в конечном счете это влияет на стоимость получаемой продукции. Данные показатели постоянно изменяются, что не позволяет оценить эффективность отдельных технологий возделывания культур и выбрать наиболее приемлемую. Поэтому, биоэнергетическая оценка технологии производства продукции позволяет выбрать наиболее эффективные технологические приемы выращивания сельскохозяйственных культур (Осипенко и Осипенко, 2005). Это обусловлено тем, что энергетическая оценка наиболее достоверна и стабильна (Дудук и др., 1996).

Цель исследования – дать сравнительную характеристику биоэнергетической эффективности возделывания *Panicum miliaceum* L. на разных фонах минерального питания при обработке семенного материала и растений в период вегетации современными регуляторами роста растений и микроудобрениями.

Материалы и методы исследований. Экспериментальную часть исследований выполняли в 2016–2018 гг. на опытном поле Луганского НАУ. Луганская область входит в степную Атлантико-континентальную климатическую область, характеризующуюся ярко выраженной континентальностью и засушливостью климата. Характеризуется жарким и сухим летом с засушливо-суховейными явлениями, холодной и малоснежной зимой с частыми оттепелями. Осадки распределяются неравномерно. Среднегодовая норма осадков составляет 528 мм. Наибольшее их количество выпадает в юго-западной части, а меньшее – в центральной, восточной и северо-восточной частях (Краковская, 2012).

Почва опытного участка – чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке. В пахотном (0–30 см) слое почвы содержание гумуса составляло 3,4%; легкогидролизуемого азота – 113,2 мг/кг, подвижного фосфора – 80,1 мг/кг, обменного

калия – 156,2 мг/кг. Реакция почвенного раствора нейтральная ($pH_{водное} - 7,0$).

Площадь учетной делянки составляла 25 м², повторность – 3-кратная, расположение делянок – рендомизированное.

Подготовка почвы была общепринятой при возделывании проса в степной зоне Украины. Предшественник – яровой ячмень. Сев проводили в рекомендованные сроки (III декаде апреля), широкорядным (45 см) способом при норме высева 2,5–3,0 млн/га всхожих семян. Минеральные удобрения вносили под предпосевную культивацию для создания трех фонов питания (без удобрений, $N_{30}P_{30}K_{30}$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$). Для обработки семян и растений в период вегетации применяли регуляторы роста растений (PPP) Келпак, РК (на основе ауксинов и цитокининов), Блек Джек (на основе гуминовых веществ) и микроудобрения Нива люкс и Силиплант. Исследования проводили в соответствии с общепринятой методикой полевого опыта (Доспехов, 1985).

Энергию, накопленную в зерне проса, сопоставляли с затратами энергоресурсов на его производство. Расчеты проводили по общепринятым методикам (Шевелуха, 1988; Методология и методика, 2007; Смаглий та ін., 2004).

Погодные условия в годы исследований в основном были благоприятными для роста и развития проса. Метеорологические условия вегетационных периодов были контрастными, что позволило определить эффективность применения вносимых доз минеральных удобрений и изучаемых препаратов при разных условиях роста культуры.

Условия влагообеспеченности в период вегетации проса в 2016 году были благоприятные ГТК – 1,11, в 2017 – ГТК – 0,84 и в 2018 гг. – ГТК – 0,65 – засушливые. Среднегодовой показатель гидротермических условий вегетационного периода, по данным Луганского ЦГМ, составляет 1,0.

Результаты и их обсуждение. Энергетическую эффективность производства зерна проса рассчитывали по технологическим картам. В проведенных опытах с применением PPP и макроудобрений получены достаточно высокие уровни урожайности и выход энергии с единицы площади. Результаты энергетической оценки приведены в таблице.

Полученные результаты свидетельствуют, что расход совокупной энергии на выращивание проса с применением изучаемых препаратов варьировал от 10,0 до 14,7 ГДж/га. При этом наибольший расход энергии отмечен на повышенном фоне минерального питания ($N_{60}P_{60}K_{60}$) – 13,4–14,7 ГДж/га. Это объясняется высокими затратами энергии на минеральные удобрения и их внесение – 3,5 ГДж/га, что составляло 24,1 % от общего расхода энергии.

**Энергетическая оценка эффективности выращивания проса
при обработке посевов регуляторами роста на разных фонах минерального питания
Energetic estimation of the millet growing efficiency when treating crops
with growth regulators on different backgrounds of mineral nutrition**

Вариант		Урожайность, ц/га	Выход энергии с урожаем, ГДж/га	Затраты совокупной энергии, ГДж/га	Приращение валовой энергии, ГДж/га	Коэффициент энергетической эффективности (КЭЭ)
Фактор А (фоны питания)	Фактор В (препараты)					
Без удобрений	Контроль	20,5	34,7	10,0	24,8	3,5
	Келпак, РК	24,4	41,3	11,2	30,1	3,7
	Нива люкс	28,0	47,4	11,0	36,4	4,3
	Блек Джек	26,3	44,6	11,2	33,3	4,0
	Силиплант	27,8	47,1	11,0	36,1	4,3
$N_{30}P_{30}K_{30}$	Контроль	20,2	34,2	11,8	22,4	2,9
	Келпак, РК	25,2	42,7	13,1	29,6	3,3
	Нива люкс	25,7	43,5	12,9	30,7	3,4
	Блек Джек	25,1	42,5	13,1	29,4	3,2
	Силиплант	29,0	49,1	12,9	36,2	3,8
$N_{60}P_{60}K_{60}$	Контроль	21,5	36,4	13,4	23,0	2,7
	Келпак, РК	24,5	41,5	14,7	26,8	2,8
	Нива люкс	24,4	41,3	14,5	26,9	2,9
	Блек Джек	24,7	41,8	14,7	27,2	2,9
	Силиплант	25,6	43,4	14,5	28,9	3,0
НСП ₀₅ фактор А	1,30–1,52	–	–	–	–	–
НСП ₀₅ фактор В	1,68–1,96	–	–	–	–	–

На всех вариантах использования РРР, как без минеральных удобрений, так и в комплексе с ними, уровень полученной энергии с 1 га с зерном превышал 41,0 ГДж/га. Соответственно, на контрольных вариантах при разных фонах удобрения этот показатель был на 6,6–12,7, 8,3–14,9 и 4,9–7,0 ГДж/га меньше.

По вариантам опыта приращение валовой энергии составило 22,4–36,4 ГДж/га. Наибольшие показатели по всем вариантам были при использовании микроудобрения Силиплант – 28,9–36,2 ГДж/га. Препарат Нива люкс обеспечил наибольшую прибавку энергии в опыте только на неудобренном фоне питания – 36,4 ГДж/га.

Коэффициент энергетической эффективности (КЭЭ) в среднем по изучаемым препаратам варьировал в пределах – 2,8–4,3, что свидетельствует о высокой эффективности применения данных препаратов. При этом применение микроудобрений обеспечивало КЭЭ на 3,4–11,6% выше, чем от применения РРР, и на 8,5–19,4% больше, чем на контрольных вариантах.

В среднем за 3 года полевых опытов применение регуляторов роста растений и микроудобрений существенно повышало затраты совокупной энергии в среднем на 9,0–11,0% по сравнению с контролем.

Но лучшим по биоэнергетической эффективности применения на посевах проса являлось микроудобрение на основе кремния Силиплант, а менее эффективным – регулятор роста растений на основе фитогормонов (ауксинов и цитокининов) Келпак, РК.

Применение минеральных удобрений под просо нормами $N_{30}P_{30}K_{30}$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$ значительно увеличивает общие затраты энергии на производство продукции на 17,4–32,1% в сравнении с неудобренными посевами.

В среднем по опыту коэффициент энергетической эффективности составил 3,4. На неудобренном фоне данный показатель был на 16,2 и 27,8% выше, чем в вариантах с применением минеральных удобрений.

Применение препаратов без макроэлементов повышало КЭЭ в среднем на 5,7–22,8% по сравнению с контролем. На удобренных посевах проса данный показатель от применения изучаемых препаратов был выше, чем на контроле в среднем на 17,2 ($N_{30}P_{30}K_{30}$) и 7,4% ($N_{60}P_{60}K_{60}$).

В агроценозе проса применение возрастающих уровней минерального питания $N_{30}P_{30}K_{30}$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$ повышало затраты энергии на производство урожая по сравнению с неудобренным контролем на 1,8 и 3,4 ГДж/га, или на 18,0 и 34,0% соответственно.

В структуре расхода совокупной энергии в посевах проса на долю использования машин и оборудования приходится 33,8–42,9%, на горюче-смазочные материалы – 34,8–43,5%, на минеральные удобрения – 11,1–20,0% и на живой труд – всего 5,5–5,9% (см. рисунок).

Таким образом, для повышения зерновой продуктивности и качества урожая при выращивании проса – основной крупяной культуры Донбасса – рекомендуется для обработки семян и растений в период вегетации применение препаратов на основе микроэлементов на фоне норм минеральных удобрений, не превышающих $N_{30}P_{30}K_{30}$.

Структура затрат совокупной энергии при возделывании проса
The structure of the total energy consumption when cultivating millet

Выводы. Возделывание проса с применением регуляторов роста растений и микроудобрений является энергонасыщенной технологией, однако приращение валовой энергии было в 1,7–3,3 раза больше затрат совокупной энергии.

Применение стимуляторов роста без удобрений по сравнению с комплексным их использованием с макроудобрениями позволяет на 17,1–31,5% снижать затраты энергии, и как следствие экономить энергетические ресурсы.

Наибольший выход энергии с урожаем в опыте обеспечивало применение микроудобрения Силиплант – 46,5 ГДж/га. Минимальный выход энергии был в варианте с обработкой семян и растений РРР Келпак, РК – 41,8 ГДж/га.

Наименьший показатель выхода энергии (41,3 ГДж/га) и урожайности (24,4 ц/га) отмечен в вариантах с применением препаратов Келпак, РК и Нива люкс. Определены наиболее эффективные варианты опыта (Блек Джек, Нива люкс и Силиплант на неудобренном фоне), где отмечался наибольший коэффициент энергетической эффективности – 4,0–4,3 ед.

Библиографические ссылки

1. Габдеев Х. Н. Биоэнергетика как альтернатива при оценке эффективности технологий возделывания орошаемых культур // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. 2009. № 6(61). С. 269–273.
2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
3. Дудкин И. В. Биоэнергетическая эффективность выращивания культур в зернопропашном севообороте // Вестник Курской ГСХА. 2018. № 5. С. 13–18.
4. Осипенко Л. Д., Осипенко Д. А. Биоэнергетическая оценка технологии возделывания подсолнечника на орошаемых землях // Научный журнал КубГАУ. 2005. № 13(05). С. 43–49.
5. Краковська С. В. Сучасні зміни клімату Луганської області // Геоінформатика. 2012. № 3(43). С. 57–68.
6. Смаглій О. Ф., Малиновський А. С., Кардашов А. Т. Енергетична оцінка агроєкосистем. Житомир: Видавництво «Волинь», 2004. 132 с.

References

1. Gabdeev H. N. Bioenergetika kak al'ternativa pri ocenke effektivnosti tekhnologij vzdelyvaniya oroshaemykh kul'tur [Bioenergy as an alternative in estimating the efficiency of irrigated crops cultivation technologies] // Vestnik Kazahskoj akademii transporta i kommunikacij im. M. Tynyshpaeva. 2009. № 6(61). S. 269–273.
2. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta [Methodology of a field trial]. M.: Agropromizdat, 1985. 351 c.
3. Dudkin I. V. Bioenergeticheskaya effektivnost' vyrashchivaniya kul'tur v zernopropashnom sevooborote [Bioenergetic efficiency of crops growing in grain-row crop rotation] // Vestnik Kurskoj GSKHA. 2018. № 5. S. 13–18.
4. Osipenko L. D., Osipenko D. A. Bioenergeticheskaya ocenka tekhnologii vzdelyvaniya podsolnechnika na oroshaemykh zemlyah [Bioenergy estimation of the technology of sunflower cultivation on irrigated lands] // Nauchnyj zhurnal KubGAU. 2005. № 13(05). S. 43–49.
5. Краковська С. В. Сучасні зміни клімату Луганської області // Геоінформатика. 2012. № 3(43). С. 57–68.
6. Смаглій О. Ф., Малиновський А. С., Кардашов А. Т. Енергетична оцінка агроєкосистем. Житомир: Видавництво «Волинь», 2004. 132 с.

Поступила: 1.06.20; принята к публикации: 29.07.20.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Барановский А. В. – концептуализация исследования, разработка проблематики и темы научной публикации, анализ литературных источников по теме научной статьи, Садовой А. С. – подготовка и выполнение полевых/лабораторных опытов и сбор данных, анализ экспериментальных данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.