

омаси є кавітаційне оброблення. Отримані експериментальні дані свідчать про те, що вже після 7,5 хв оброблення біомаси ціанобактерій у полі кавітації досягається здатність до розділення фаз: біомаса і освітлена вода. Із біомаси, яка пройшла попереднє оброблення у полі гідродинамічної кавітації, вдалось екстрагувати 0,45 % ліпідів (майже 80 % від усіх ліпідів), тоді як із біомаси без такого оброблення екстраговані ліпіди у кількості, що відповідає 0,32 % сухої маси водоростей (25,2 % від всіх ліпідів). Попередня гідродинамічна кавітація дала змогу збільшити частку синтезованого із біомаси водоростей біогазу майже на 30 %. Розроблено раціональну схему збирання приповерхневого шару води, насиченого ціанобактеріями, та його попереднього кавітаційного оброблення. Елементний вміст відпрацьованої біомаси ціанобактерій відповідає вимогам до складу добрива, тому що біомасу можна успішно використовувати як добриво.

Література

1. Приймаченко А.Д. Фитопланктон и первичная продукция Днепра и днепровских водохранилищ / А.Д. Приймаченко. – К. : Изд-во "Наук. думка", 1981. – 278 с.
2. Приймаченко А.Д. Фитопланктон и первичная продукция Днепра и днепровских водохранилищ / А.Д. Приймаченко. – К. : Изд-во "Наук. думка", 1981. – 278 с.
3. Сиренко Л.А. Растительность и бактериальное население Днепра и днепровских водохранилищ / Л.А. Сиренко, И.А. Корелява, Л.Е. Михайленко и др. – К. : Изд-во "Наук. думка", 1989. – 231 с.
4. Дзюбан А.Н. Сезонная динамика микробиологического цикла метана в воде прибрежных мелководий Рыбинского водохранилища / А.Н. Дзюбан // Гидробиологический журнал : сб. науч. тр. – 2006. – Т. 42, № 6. – С. 47-51.
5. СанПиН 4630-88. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. Минздрав СССР. 01.01.1989.
6. Никифоров В.В. О природоохранных и энергосберегающих перспективах использования синезеленых водорослей / В.В. Никифоров // Промышленная ботаника : сб. науч. тр. – 2010. – Вып. 10. – С. 193-196.
7. Никифоров В.В. О методах подавления массового развития синезеленых водорослей / В.В. Никифоров // Вісник проблем біології і медицини : зб. наук. праць. – 2002. – Вып. 4. – С. 27-31.
8. Сассон А. Биотехнология: свершения и надежды / под ред. В.Г. Дебабова. – М. : Изд-во "Мир", 1987. – 411 с.
9. Елизаров А.И. Природоохранный и энергосберегающий аспекты утилизации синезеленых водорослей / А.И. Елизаров, В.В. Никифоров // Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів" : матер. VII-ої наук.-техн. конф. – Кременчук-Хургада, 2008. – С. 87-90.
10. Кульский Л.А., Сиренко Л.А., Шкавро З.И. Фитопланктон и вода. – К. : Изд-во "Наук. думка", 1986. – 134 с.
11. Литовченко И.В. Проблемы и перспективы анаэробной микробиологической конверсии аминокислот в биогаз / И.В. Литовченко, К.В. Макаренко, Т.И. Стручалина. – Фрунзе : Изд-во "Илим", 1990. – 20 с.
12. Никифоров В.В. Отримання біогазу із синьо-зелених водоростей / В.В. Никифоров // Матеріали другої Всеукраїнської наук.-практ. інтернет-конференції, 27-29 березня 2007 р. – К., 2007. – С. 1-2.
13. Таштаналиев А.С. Биодegradация отходов микробиологического синтеза аминокислот в анаэробных условиях / А.С. Таштаналиев, Т.И. Стручалина // Проблемы и перспективы развития химии и химических технологий в Кыргызстане. – Бишкек : Изд-во "Илим", 2001. – С. 260-265.
14. Патент на корисну модель України № 24106 "Спосіб отримання біогазу із синьозелених водоростей", Співавтори Луговий А.В., Єлизаров О.І., Никифоров В.В., Дігтяр С.В., МПК С12Р 5/00, Бюл. № 9, 2007 р.
15. Барбаш В.А. Модифікований ASAE-спосіб делігніфікації пшеничної соломи / В.А. Барбаш, С.П. Пимаков, І.В. Тембус, М.О. Клік // Вісник Національного технічного університету Ук-

раїни "Київський політехнічний інститут". – Сер.: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. – К. : Вид-во НТУУ "КПІ". – 2010. – № 2 (6). – С. 97-101.

16. Склад О.Г. Методи інтенсифікації процесів метанового зброджування / О.Г. Склад, Р.В. Склад // Науковий вісник Таврійський державний агротехнологічний університет : зб. наук. праць. – 2014. – Вип. 4, т. 1. – С. 3-9.

17. Нестеров А.И. Оптимизация питательного минерального раствора для метанопотребляющих бактерий / А.И. Нестеров, Б.Д. Сусленков, Г.А. Старовойтова // Прикладная биохимия и микробиология : сб. науч. тр. – 1973. – № 9. – С. 873-876.

Малеваний М.С., Никифоров В.В., Харламова Е.В., Синельников А.Д.

Рациональная технология утилизации сине-зеленых водорослей

Проведен анализ перспективности использования цианобактерий для получения энергоносителей – липидов и биогаза. Исследована эффективность применения стадии предварительной обработки биомассы в кавитационном поле. Установлено, что под влиянием кавитации достигается способность к эффективному разделению фаз: биомасса и осветленная вода. Кавитационная обработка также позволяет более, чем в 3 раза увеличить количество экстрагированных из биомассы водоростей липидов и на 30 % увеличить количество синтезированного биогаза. Разработана рациональная схема сбора приповерхностного шара воды, насыщенного цианобактериями и его предварительной кавитационной обработки. Установлен элементный состав отработанной биомассы, который позволяет использовать ее как удобрение.

Ключевые слова: цианобактерии, сине-зеленые водоросли, кавитация, биогаз, липиды, биомасса.

Malovanyy M.S., Nikiforov V.V., Kharlamova O.V., Sinelnikov A.D. Rational Technology of Blue-green Algae Utilization

The analysis of prospects of using cyanobacteria to produce energy (lipids and biogas) was conducted. The efficiency of application of biomass pretreatment stage in cavitation field was studied. It is established that under the influence of cavitation the ability of phase separation is achieved – biomass and illuminated water. Cavitation processing also allows increasing the number of extracted lipids from algae biomass in more than 3 times as well as increase synthesized biogas by 30 %. The rational scheme of collecting surface layer of water which is saturated with cyanobacteria and its previous cavitation treatment was developed. The elemental composition of waste biomass, which allows its use as fertilizer, is determined.

Keywords: cyanobacteria, blue-green algae, cavitation, biogas, lipids, biomass.

UDK 631.879 **Adjunkt M. Bury¹, dr. hab.; prof. S. Stankowski¹, dr. hab.; adjunkt G. Hury¹, dr.; dyrektor A. Dawidowski², mgr.; doktorant N. Opatowicz¹; specjalist M. Sobolewska¹, mgr. inż.; specialist R. Kowalewska¹, mgr. inż.; adjunkt U. Bashutska³, dr.**

WPŁYW NAWOŻENIA SIARKĄ NA WZROST I PLON KUKURYDZY PASTEWNEJ

Doświadczenie polowe przeprowadzono w sezonie wegetacyjnym 2014 roku na glebie kompleksu żytniego bardzo dobrego w Rolniczej Stacji Doświadczalnej w Lipniku koło Stargardu. Badano trzy warianty nawożenia: 0 – kontrolny (PK), N – PK+N oraz S – PK+N+S. Kukurydza, odmiany P8609, rozwijała się bardzo dobrze i pozytywnie reagowała na działanie nawożenia mineralnego. Nawożenie mineralne azotem i nawozem siarkowo-wapniowym pochodzącym z przemysłowego odsiarczania spalin (wariant S), zawierającym

¹ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie;

² Jednostka Biznesowa "Grupa Azoty. Zakłady Chemiczne. Police";

³ Narodowy Uniwersytet Leśno-Techniczny Ukrainy (Lwów)

siarkę (17 % S = 42,5 % SO₃), wpłynęło korzystnie na cechy biometryczne roślin kukurydzy (wysokość, wysokość osadzenia kolby i grubość łodygi) i parametry fizjologiczne (indeks zieloności liści – SPAD i powierzchnię asymilacyjną roślin – LAI). Stwierdzono istotny wpływ łącznego nawożenia mineralnego azotem i siarką, zawartą w siarczanie wapnia (wariant S), na plon świeżej masy. Nastąpiło jego zwiększenie o ok. 8 %, z 48,60 w wariantcie N (PK+N) do 52,6 t·ha⁻¹ (wariant S). Również plon suchej masy wzrósł z ok. 25,2 t·ha⁻¹ do ok. 25,3 t·ha⁻¹. Oceniany plon ziarna zwiększył się pod wpływem łącznego nawożenia azotem i siarką (wariant S) z ok. 10 (wariant N) do 10,7 t·ha⁻¹, tj. o 8 %.

Słowa kluczowe: kukurydza, odmiana P8609, nawożenie siarką (w formie nawozu siarkowo-wapniowego), cechy budowy morfologicznej i fizjologicznej, plon świeżej masy, plon suchej masy.

Wstęp. Kukurydza (*Zea mays* L.) jest to roślina pochodząca z klimatu tropikalnego, ale ze względu na jej wszechstronne użytkowanie została zaaklimatyzowana do warunków Europy Środkowej, a nawet Północnej. Jest bowiem gatunkiem cechującym się wieloma korzystnymi dla człowieka walorami przyrodniczymi oraz rolniczymi. Stanowi główne źródło paszy dla bydła (w postaci ziarna, zielonki, CCM i kiszonki), służy jako surowiec do produkcji cennego oleju i alkoholu (ziarno) oraz jest wykorzystana jako roślina energetyczna do produkcji biogazu. Kukurydza dla osiągnięcia zadawalających plonów wymaga dużego nawożenia, zarówno organicznego, jak i mineralnego. Niedobór jakiegoś składnika pokarmowego odbija się niekorzystnie na jej plonowanie. W ostatnich latach stwierdzono wyraźne niedobory siarki w uprawie roślin rolniczych – niezbędnego makroskładnika odgrywającego ważną rolę w procesie fotosyntezy oraz w metabolicznych przemianach azotu [6,8,11]. Siarka silnie wpływa na syntezę chlorofilu oraz ilość związanego ditlenku węgla [8], co przyczynia się do intensywnego wzrostu roślin i poprawy plonowania. Rośliny pobierają siarkę pochodzącą z różnych źródeł, z których najważniejszymi są gleba i atmosfera. Zmniejszona emisja siarki do atmosfery w ostatnich latach [9,15] wywołała widoczny niedobór tego makroskładnika dla roślin. Pomimo tego, że kukurydza należy do grupy roślin o małym zapotrzebowaniu na siarkę, to jednak przy dużych plonach suchej masy jej zapotrzebowanie na siarkę jest duże [1], a przy niedoborach siarki oraz wysokim nawożeniu azotem ulega zakłóceniu stosunek N: S i w konsekwencji znacznie obniża się wykorzystanie azotu przez rośliny. Prowadzi to najczęściej do spadku plonu.

Celem badań było określenie wpływu nawożenia mineralnego siarką, zawartą w siarczanie wapnia, na plonowanie kukurydzy pastewnej, odmiany P8609 (Kiszonka FAO 260/ Ziarno FAO 250). Wykorzystany w badaniach siarczan wapnia (gips syntetyczny) jest produktem pochodzącym z odsiarczania spalin w elektrowniach i elektrociepłowniach (odsiarczanie spalin prowadzi do zmniejszenia emisji siarki do atmosfery i poprawę jakości powietrza). Jego właściwości są identyczne jak gipsu naturalnego (Szymanek 2012). Ma to szeroko pojęty aspekt ekologiczny, gdyż umożliwia utylizację produktów spalania węgla, a siarczan wapnia zamiast trafiać na składowisko odpadów może być wykorzystywany do nawożenia roślin [7,14].

Materiał i metody. Doświadczenie eksperymentalne przeprowadzono w sezonie wegetacyjnym 2014 roku w północno-zachodniej Polsce w Rolniczej Stacji Doświadczalnej (RSD) w Lipniku (53°20'36"N; 14°57'49"E) koło Stargardu Szczecińskiego (województwo Zachodniopomorskie). Doświadczenie polowe zostało założone metodą bloków losowych w czterech replikacjach na glebie brunatno-rdza-

wej zaliczanej do kompleksu żytznego dobrego o odczynie lekko kwaśnym (pH 5,60). Powierzchnia poletka do zbioru wynosiła 45m². Badano trzy następujące warianty nawożenia: 0 – kontrolny, nawożenie PK; N – nawożenie mineralne PK + N; S – nawożenie mineralne PK + N + S. Kukurydzę, odmiany P8609, wysiano dnia 25.04.2014 roku siewnikiem punktowym Maschio-Gaspardo w rozstawie, co 45 cm i gęstości 90 000 nasion na 1 ha. Odmiana P8609 wg Pioneer Hi-Bred Northern Europe Sales Division GmbH, Oddział w Polsce, jest odmianą pastewną średnio wczesną (Kiszonka FAO 260 / Ziarno FAO 250), średnio wysoką, o dużym potencjale plonotwórczym, przeznaczoną zarówno do produkcji kiszonki, jak i na ziarno. Przed siewem kukurydzy zastosowano na całości doświadczenia jednolite nawożenie fosforowe w dawce 40 kg P na 1 ha (90 kg P₂O₅) w postaci superfosfatu wzbogaconego i potasowe w dawce 133 kg K na 1 ha (160 kg K₂O) w postaci soli potasowej 60 % oraz nawożenie azotowe w dawce 80 kg N na 1 ha w postaci mocznika w wariantcie N i S. Siarkę zastosowano w postaci siarczanu wapnia, nawozu WE w dawce 51 kg S·ha⁻¹ przed siewem tylko w wariantcie S. Po wschodach roślin w fazie 6 liści zastosowano drugą uzupełniającą dawkę azotu – 40 kg na 1 ha w postaci mocznika (w wariantcie N i S). Siarczan wapnia jest nawozem WE siarkowo-wapniowym (AgroSupra S). Zawiera 17 % siarki i 22 % wapnia w przeliczeniu na czysty składnik (siarka w ilości 42,5 % SO₃, wapń w ilości 30,7 % CaO). Może być on stosowany na wszystkich typach gleb i pod wszystkie rośliny uprawne. Przed zbiorem wykonano pomiary biometryczne roślin. Po zbiorze (22.10.2014 r.) oszacowano plony biomasy kukurydzy. Badania zawartości suchej masy roślin podczas zbioru wykonano uproszczoną metodą wagowo-suszarkową wg normy PN-EN 14774-2:2010. Na podstawie zawartości suchej masy i plonu świeżej masy obliczono plon suchej masy. W związku z tym, że badana odmiana P8609 jest odmianą o dwustronnym użytkowaniu, na kiszonkę i na ziarno, określono plon suchej masy ziarna i masę tysiąca ziaren. Wyniki opracowano statystycznie na poziomie istotności P≤0,05. Do obliczeń statystycznych wykorzystano program FR-ANALVAR-5,2 prof. F. Rudnickiego (UTP Bydgoszcz).

Wyniki i dyskusja. Kukurydza jest rośliną ciepłolubną o szlaku fotosyntezy C4, występującą w naturalnych warunkach w strefie klimatu tropikalnego i zwrotnikowego. Rośliny o takim szlaku fotosyntezy lepiej wykorzystują światło słoneczne i ditlenek węgla (CO₂), zwłaszcza w warunkach wysokich temperatur i wydają często większe plony biomasy niż rośliny szlaku C3 (które w takich warunkach zahamowują asymilację i wysychają). Kukurydza, dzięki głębokiemu systemowi korzeniowemu i grubej łodydze, nie wylega, natomiast charakteryzuje się dużym potencjałem plonotwórczym. Kukurydza może być uprawiana na większości gleb Polski. Rozwija się szczególnie dobrze na glebach średnich, natomiast źle znosi uprawę na glebach bardzo ciężkich, zimnych i wilgotnych i lekkich piaszczystych, na których brakuje wody. Roślina ta preferuje gleby o szerokim zakresie pH. Warunki siedliskowe w RSD w 2014 roku były sprzyjające – przebieg warunków meteorologicznych w sezonie wegetacyjnym od kwietnia do listopada był korzystny, nie wystąpiły okresy posusze, w związku z tym uprawiana kukurydza pastewna, odmiany P8609, dobrze rozwijała się i wydała duże plony biomasy. Oddziaływanie zastosowanego nawożenia mineralnego z azotem (wariant N) jak również z siarką w postaci nawozu siarczanu

wapnia (wariant S) w porównaniu do działania tylko nawożenia fosforowo-potasowego bez azotu (0) było wyraźne i wpływało korzystnie na wysokość roślin odmiany P8609. Wysokość roślin kukurydzy sukcesywnie rosła i była istotnie wyższa pod wpływem nawożenia mineralnego azotem – wariant N (ok. 290 cm) w porównaniu do kontroli – 218,5cm (tab. 1). Zastosowanie nawożenia siarką (wariant S) spowodowało dalsze (ale nieistotne) zwiększenie wysokości roślin do ok. 305cm, natomiast w porównaniu do roślin na obiekcie kontrolnym wysokość kukurydzy była o 39 % wyższa (tab. 1). Mimo tak dużej wysokości rośliny kukurydzy nie wyległy, co ułatwiło ich zbiór mechaniczny. Wysokość kukurydzy jest cechą kompleksową, która zależy od odmiany i warunków środowiska (m.in. zaopatrzenia roślin w składniki pokarmowe i wodę, liczby roślin na jednostce powierzchni, temperatury i opadów, a zwłaszcza długości dnia) może wahać się od ok. 0,5 m u niektórych odmian karłowatych do 7-8 metrów u późnych odmian (11 miesięczny okres wegetacji) rosnących w tropikach przy długim dniu [12,13].

Kukurydza wykształciła grube, stabilne łodygi o średnicy ok. 20 mm. Średnica łodygi, mierzona na wysokości koszenia (ok. 10cm) zwiększyła się istotnie pod wpływem nawożenia mineralnego azotem (wariant N) o ok. 20 % w stosunku do roślin z obiektów kontrolnych (tab. 1). Nawożenia siarką zawartą w siarczanie wapnia (wariant S), również spowodowało istotne zwiększenie grubości pędu z ok. 19 do ok. 23 mm w porównaniu do kontroli (tab. 1). Powierzchnia asymilacyjna roślin kukurydzy, wyrażona wskaźnikiem LAI, tj. stosunek powierzchni części nadziemnych (łodyg i liści) do powierzchni gleby pokrytej przez rośliny, istotnie wzrastała z 1,35 m²·m⁻² w wariantcie kontrolnym (0) do ok. 2,54 m²·m⁻² po zastosowaniu nawożenia siarką, zawartą w siarczanie wapnia (wariant S) (tab. 1).

Indeks zieloności liści (SPAD) zmieniał się wyraźnie pod wpływem zastosowanego nawożenia (tab. 1). Wszystkie warianty nawożenia mineralnego w połączeniu z nawożeniem azotowym (wariant N i S) istotnie zwiększały zawartość chlorofilu w liściach kukurydzy w porównaniu do nawożenia tylko fosforowo-potasowego (kontrola). Zawartość chlorofilu, wyrażona w jednostkach SPAD, była istotnie większa w liściach roślin kukurydzy nawożonej siarką, zawartą w siarczanie wapnia (37,3 SPAD), w porównaniu do kontroli – ok. 25 SPAD (tab. 1).

Wysokość osadzenia pierwszej kolby jest to ważna cecha identyfikacyjna odmian kukurydzy. Może się zmieniać, podobnie jak wysokość roślin, w zależności od warunków środowiska (m.in. warunków agroekologicznych i meteorologicznych, zaopatrzenia roślin w składniki pokarmowe) i może wahać się od ok. 0,3 m u odmian niskich do 1,8 m u odmian późnych. Wyniki wielu badań dowodzą, że wysokość roślin kukurydzy oraz wysokość osadzenia (pierwszej) kolby to cechy o stosunkowo wysokiej odziedziczalności (zwykle >0,70) [17]. Wysokość osadzenia kolby u roślin na obiektach kontrolnych wynosiła ok. 89cm i była modyfikowana czynnikami doświadczenia (tab. 1). Zastosowanie nawożenia mineralnego azotem (wariant N) spowodowało, że kolby kukurydzy pastewnej, odmiany P8609 były istotnie wyżej osadzone na roślinie (ok. 113 cm) w porównaniu do roślin z wariantu kontrolnego. Wprowadzenie dodatkowo siarki z nawozu siarkowo-wapniowego spowodowało dalsze istotne zwiększenie wysokości osadzenia kolby na roślinie do ok. 123 cm (tab.1).

Tab. 1. Wpływ nawożenia mineralnego siarką na wybrane cechy roślin kukurydzy pastewnej, odmiany P8609

Cecha	Wariant nawożenia			Istotność różnic [NIR _{0,05}]
	0 (PK) kontrola	N (PKN)	S (PKN+S)	
Wysokość roślin [cm]	218,5	287,6	304,6	10,03
Srednica łodygi [mm]	18,7	22,3	22,9	2,71
LAI [m ² ·m ⁻²]	1,35	1,93	2,54	0,67
Indeks zieloności [SPAD]	25,4	33,6	37,3	4,21
Wysokość osadzenie kolby [cm]	88,6	112,5	123,4	8,67

Plon świeżej masy kukurydzy, odmiany P8609, był duży i mieścił się w przedziale od ok. 33 do ok. 53 t z 1 ha (tab. 2). Również w przypadku plonu świeżej masy nastąpiło jego zwiększenie pod wpływem nawożenia mineralnego azotem (wariant N) do ok. 49 t·ha⁻¹ w porównaniu z wariantem kontrolnym (0). Dalsze zwiększenie plonu świeżej masy stwierdzono po zastosowaniu dodatkowego nawożenia nawozem siarkowo-wapniowym (wariant S) – do ok. 53 t·ha⁻¹, tj. o ok. 8 %. Plon ten był istotnie większy o ok. 60 % od plonu świeżej masy uzyskanego z obiektów kontrolnych (tab. 2).

Średnie plony kukurydzy pastewnej wynosiły w latach 2011-2012 w całej Polsce wg Głównego Urzędu Statystycznego (GUS 2013) ok. 50 t·ha⁻¹. Natomiast Bury i in. [4] uzyskali w 2011 roku większe plony świeżej masy kukurydzy, odmiany tzw. energetycznej Atletico, które wahały się od ok. 51 do 78 t·ha⁻¹ w zależności od nawożenia azotem w zakresie od 0 do 150 kgN na 1 ha. Podobne plony kukurydzy pastewnej (64 t·ha⁻¹) uzyskał Burczyk [2]. Świadczy to o tym, że kukurydza należy do roślin o bardzo dużym potencjale produkcyjnym i mocno reaguje na nawożenie mineralne w latach korzystnych.

Zawartość suchej masy określona w dniu zbioru była wysoka. Wynikało to z faktu, że wysiana odmiana kukurydzy jest odmianą średnio-wczesną i powinna być wcześniej zebrana na kiszonkę. Zawartość suchej masy kształtowała się od ponad 46 do ok. 52 % (tab. 2) i odpowiadała normom dla dobrego zakiszania, tj. ≥28 % [16]. Najmniejszą zawartość suchej masy (ok. 46 %) stwierdzono na obiektach wariantu kontrolnego (0) bez nawożenia azotem mineralnym. Istotnie większą zawartość suchej masy stwierdzono na obiektach nawożonych mineralnie azotem (ok. 52 % – wariant N). Zmiany zawartości suchej masy pod wpływem nawożenia mineralnego azotem i siarką, zawartą w siarczanie wapnia (wariant S), w porównaniu do kontroli były statystycznie nieistotne (tab. 2).

Tab. 2. Wpływ nawożenia mineralnego siarką na plon i elementy struktury plonu kukurydzy pastewnej, odmiany P8609

Cecha	Wariant nawożenia			Istotność różnic [NIR _{0,05}]
	0 (PK) kontrola	N (PKN)	S (PKN+S)	
Plon świeżej masy [t·ha ⁻¹]	32,80	48,60	52,60	3,16
Zawartość suchej masy [%]	46,38	51,78	47,97	3,43
Plon suchej masy [t·ha ⁻¹]	16,14	25,18	25,26	3,18
Udział kolb w masie [%]	48,1	39,6	42,5	3,57
Plon ziarna [t·ha ⁻¹]	7,76	9,97	10,74	1,74
Masa 1000 nasion=MTZ [g]	217,3	291,1	320,4	4,05

Plon suchej masy był bardzo duży i mieścił się w granicach od ok. 16 do ok. 25 t·ha⁻¹ w zależności od wariantu nawożenia (tab. 2). Stwierdzono istotny pozytywny wpływ nawożenia mineralnego azotem (wariant N) oraz nawożenia azotem i siarką, zawartą w siarczanie wapnia (wariant S) na plon suchej masy kukurydzy w porównaniu do plonu z obiektów kontrolnych (0). Plon suchej masy zwiększył się pod wpływem nawożenia azotowego (wariant N) o ok. 56 % w porównaniu do plonu z obiektu kontrolnego. Natomiast wzrost plonu suchej masy wskutek łącznego nawożenia mineralnego azotem i siarką w postaci nawozu siarkowo-wapniowego (wariant S) wyniósł ok. 57 %, z ok. 16 t·ha⁻¹ na obiekcie kontrolnym do ok. 25,3 t·ha⁻¹ (tab. 2). Podobny zakres plonów suchej masy (15,5-29,1 t·ha⁻¹) uzyskali Burczyk [2] oraz Bury i Jäger [3], natomiast wielkość plonów suchej masy w latach 2011-2014 wg Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych dla 26 odmian średnio-wczesnych w Polsce była na poziomie 20,3-21,9 t·ha⁻¹.

Odmiana P8609 jest wg firmy Pioneer Hi-Bred pod względem przydatności do uprawy na ziarno jest wcześniejszym mieszańcem (FAO 250) niż na kiszonkę (FAO 260). W związku z powyższym oceniono również plon ziarna, ponieważ kukurydza w październiku uzyskała dojrzałość pełną o wilgotności ziarna ok. 30-35 %. Rok 2014 był rokiem korzystnym dla dojrzewania kukurydzy, zwłaszcza wrzesień i październik były miesiącami ciepłymi i słonecznymi z małą ilością opadów atmosferycznych, co przyczyniło się do szybszego dojrzewania. Plon ziarna (w przeliczeniu do wilgotności 14 %) był duży i wynosił od ok. 8 do 11 t z 1 ha (tab. 2). Plon ziarna zwiększał się istotnie po zastosowaniu zarówno nawożenia azotem (wariant N), jak i wariantu z nawożeniem mineralnym azotem i siarką (S) w porównaniu do obiektu kontrolnego (tab. 2). Wzrost plonu ziarna był istotny po zastosowaniu nawożenia siarką, w postaci siarczanu wapnia, i wynosił ok. 38 % w porównaniu do obiektu kontrolnego (0). Wzrost plonu ziarna wynikał głównie z wykształconej przez rośliny kukurydzy większej masy tysiąca ziaren na obiektach nawożonych mineralnie siarką, zawartą w siarczanie wapnia (wariant S) – masa tysiąca ziaren była istotnie większa (o ok. 47 %) w porównaniu z MTZ z obiektu kontrolnego. Należy zwrócić uwagę, że zastosowanie nawożenia mineralnego azotem (wariant N) spowodowało również wyraźny i istotny wzrost MTZ kukurydzy (tab. 2).

Wnioski:

1. Warunki siedliskowe oraz przebieg warunków meteorologicznych w 2014 roku były korzystne dla wzrostu i rozwoju kukurydzy (*Zea mays* L.), co potwierdziło się w budowie morfologicznej i plonowaniu odmiany P8609.
2. Łączne nawożenie mineralne azotem i siarką w postaci nawozu siarkowo-wapniowego (wariant S) – produktu odpadowego z odsiarczania spalin, w porównaniu do wariantu kontrolnego (0) wpłynęło korzystnie na wysokość roślin, wysokość osadzenia kolby, średnicę łodygi, indeks zieloności liści i powierzchnię asymilacyjną (LAI) roślin kukurydzy.
3. Zastosowanie łącznego nawożenia mineralnego azotem i siarką, w postaci siarczanu-wapnia pochodzenia przemysłowego, jako źródła siarki dla roślin (wariant S), spowodowało wyraźne i istotne zwiększenie plonów kukurydzy zarówno świeżej, jak i suchej masy oraz plonu ziarna. Nastąpił wzrost plonu świeżej masy z ok. 48,6 do 52,6 t·ha⁻¹, plonu suchej masy z ok. 25,2 t·ha⁻¹ do ok. 25,3 t·ha⁻¹ oraz plonu ziarna z ok. 10 do ok. 10,7 t·ha⁻¹ w stosunku do wariantu N (PK+N).

Literatura

1. Boreczek B. 2001. Bilans siarki w uprawie wybranych roślin polowych. *Fragmenta Agronomica* XVIII. – Nr 4 (72). – S. 118-133.
2. Burczyk H. 2012. Przydatność jednorocznych roślin uprawianych do produkcji biomasy na potrzeby energetyki zawodowej. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. – Z. 1 (75). – S. 59-68.
3. Bury M., Jäger F. 2011. Sorghum as a source of renewable energy and new forage crop in Central Europe. [In:] Michał Jasiulewicz (red.) *Use of biomass in power engineering. Economic and ecological aspects.* Polish Economics Association and Koszalin Un-ty of Technology. Publ. Intro-Druk Koszalin. – S. 255-268.
4. Bury M. Possibilities of cultivation and use of sorghum and Sudan grass hybrids (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) as a biogas source in North-West Poland / M. Bury, G. Hury, E. Mozdżer, K. Kuglarz, V. Amroży, U. Bashutska // *Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць.* – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2013. – Вип. 23.17. – С. 94-101.
5. COBORU. 2014. [Electronic resource]. – Mode of access <http://www.coboru.pl/dr/pdopublikacje/centralne.aspx>.
6. Gaj R. 2011. Wielofunkcyjne działanie siarki w roślinie – od żywienia do ochrony. *Progress in Plant Protection / R. Gaj, H. Klikocka // Postępy w Ochronie Roślin.* – Z. 51 (1). – S. 33-44.
7. Guptaand U.C., Sanderson J.B. 1993. Effect of Sulfur, Calcium and Boron on tissue nutrient concentration and Potato yield. *Journal of Plant Nutrition.* – Z. 16(6). – S. 1013-1023.
8. Grzebisz W. 2009. Nawożenie roślin uprawnych. – T. 2. Nawozy i systemy nawożenia. PWRiL Warszawa, 376 s.
9. Grzebisz W., Przygocka-Cyna K. 2003. Aktualne problemy gospodarowania siarką w rolnictwie polskim. *Nawozy i Nawożenie.* – Z. 4(17). – S. 64-77.
10. GUS. 2013. *Produkcja upraw rolnych i ogrodniczych w 2012 roku.* – Warszawa. – 124 s.
11. Rice R. 2007. The physiological role of minerals in the plant. [In:] Datnoff L.E., Elmer W.E., Huber D.M. (red.) *Mineral Nutrition and Plant Disease.* The APS, St. Paul, MN. – S. 9-30.
12. Troyer F.A. 1990. A retrospective view of corn genetic resources. *Journal of Heredity* 81. – S. 17-24.
13. Troyer F.A., Larkins J.R. 1985. Selection for early flowering in corn: 10 late synthetics. *Crop Sci.* 25. – S. 695-697.
14. Wallace A. 1994. Use of Gypsum on soil where needed can make agriculture more sustainable. *Communication In Soil Science and Plant Analysis.* – Vol. 25, No. 1 & 2. – S. 109-116.
15. Walker K., Dawson C. 2003. Sulphur fertilizer recommendations in Europe. *Fertilizers and Fertilization.* – Z. 3(16). – S. 72-83.
16. Zeise K., Fritz M. 2012. Sorghum als Energiepflanze – Optimierung der Produktionstechnik. *Berichte aus dem TFZ.* – Nr. 29. – 101 s.
17. Zsubori Z., Gyenes-Hegyí Z., Illés O., Pók I., Rácz F., Szóke C. 2002. Inheritance of plant and ear height in maize (*Zea mays* L.). *Acta Agraria Debreceniensis* 08. – S. 3-8.

Bury M., Stankowski S., Hury G., Dawidowski A., Opatowicz N., Sobolewska M., Kowalewska R., Bashutska U. The Effect of Sulphur Fertilisation on the Growth and Yields of Forage Maize

Field experiment was carried out during the growing season in 2014 year on the soil of good rye complex in Experimental Research Station in Lipnik near Stargard. It was examined three variants of fertilisation: 0 – control (KP), N – (KP+N) and S – (KP+N+S). The maize, cultivar P8609, developed very well and responded positively to the fertilisation. Fertilisation with nitrogen and sulphur, as a calcium sulphate containing 17 % sulphur (= 42.5 % SO₃) (variant S), as by-product from industrial Flue-gas desulphurisation, had a positive influence on the biometric features of maize plants (height, height to the first cob and thickness of the stems) and physiological parameters (SPAD – leaf greenness index and the assimilation area index – LAI). We found a significant effect of fertilisation with nitrogen and sulphur, as a calcium sulphate (variant S), on yield of fresh mass. There has been an increase of approx. 8 %, from 48.6 t·ha⁻¹ in the variant N (PK+N) to 52.6 t·ha⁻¹. Also the yield of dry mass increased from approx. 25.2 t·ha⁻¹ on the variant N (PK+N) to 25.3 t·ha⁻¹ (variant S). The evaluated grain yield of maize increased from approx. 10 (variant N) to 10.7 t·ha⁻¹, i.e. of 8 %, after using of nitrogen and sulphur fertilisers (variant S).

Keywords: maize, cv. P8609, sulphur fertilisation (as calcium sulphate fertiliser), morphological and physiological features, fresh mass yield, dry mass yield, yield components.

Бури М., Станковскі С., Хури Г., Давідовскі А., Опатовіч Н., Со-болєвська М., Ковалєвська Р., Баиуцька У. Вплив удобрення сіркою на ріст і врожайність кормової кукурудзи

Польовий експеримент проведено протягом вегетаційного періоду 2014 р. на ґрунті комплексу "житній добрий" на сільськогосподарській дослідній станції у Липнику біля Штаргарда. Розглянуто три варіанти удобрення: 0 – контрольний (PK), N – (PK+N) і S – (PK+N+S). Кукурудза сорту P8609 розвивалася дуже добре і позитивно реагувала на вплив мінеральних добрив. Мінеральне удобрення азотом і сірчано-вапняною сумішшю, отриманою від промислової десульфуризації димових газів (варіант S), що містить сірку (17 % S=42,5 % SO₃), позитивно вплинуло на біометричні характеристики рослин кукурудзи (висота, висота сидіння качанів, товщина стебел) і фізіологічні параметри (індекс вмісту хлорофілу SPAD та асиміляційну площу рослин – LAI). Підтверджено значний вплив комбінованого мінерального удобрення азотом та сіркою, що міститься в сульфаті кальцію (варіант S), на вихід сирої маси. Відбулося його збільшення на близько 8 %, від 48,6 (варіант N) до 52,6 т · га⁻¹ (варіант S). Також збільшився вихід сухої речовини від 25,2 т · га⁻¹ до 25,3 т · га⁻¹ стосовно варіанта N (PK+N). Номінальна врожайність зерна збільшилася під впливом комбінованого внесення азоту та сірки (варіант S) від 10 (варіант N) до 10,7 т · га⁻¹, тобто до 8 %.

Ключові слова: кукурудза, сорт P8609, сірчані добрива (у формі сульфату кальцію), особливості морфологічної та фізіологічної будови, вихід сирої маси.

УДК 637.127.576.8 Ст. лаборант Р.В. Безділь – Уманський НУ садівництва

ВПЛИВ СКЛАДУ СУБСТРАТУ НА ВИХІД ВЕРМИКОМПОСТУ ТА БІОМАСИ ШТУЧНОЇ ПОПУЛЯЦІЇ *EISENIA FOETIDA*

Наведено результати досліджень впливу складу субстрату на біомасу штучної популяції *Eisenia foetida* та вихід вермикомпосту. Використання в якості компонентів вермикомпосту вичавок із плодів яблук, ґрунту, соломи та кролячого гною позитивно впливає на приріст біомаси штучної популяції черв'яків. Біомаса черв'яків здатна виробити із 1 м³ органічних решток від 0,71 до 1,2 т вермикомпосту. Маса отриманого вермикомпосту залежить від вихідного субстрату. Для отримання більшої чисельності гнойового черв'яка найдоцільніше використовувати субстрати з кролячим гномом.

Ключові слова: *Eisenia foetida*, вермикомпост, субстрат, кролячий гній, альтернативні системи землеробства.

Вступ. Нині однією із найбільш важливих проблем сучасної науки і практики є утилізація і перероблення органічних відходів тваринницьких комплексів, птахофабрик й інших підприємств. Гній та органічні відходи, що нагромаджуються як побічні продукти техногенезу, є чужими біосфері, не вписуються у природний біологічний кругообіг. Тобто порушення екологічної рівноваги агробіоценозів внаслідок часткового розмикання малого біологічного кругообігу речовин призводить до зниження родючості ґрунту, забруднення повітря, води, ґрунтів, сільськогосподарської продукції, і у кінцевому результаті негативно впливає на здоров'я людини [5-7]. Тому нині дещо більшого впровадження набувають різні альтернативні системи землеробства: біодинамічна, органічна, біологічна, органічно-біологічна та ін. Вони спрямовані на мінімізацію негативного впливу на довкілля, завданого надмірною хімізацією аграрного ви-

робництва, за збереження урожаю вирощуваних сільськогосподарських культур й отримання екологічно безпечної продукції. Під час застосування зазначених вище альтернативних систем землеробства велике значення відводиться органічним добривам, особливо компостам.

Новим напрямком високоефективного, безвідходного та природоохоронного перероблення гною у компости є вермиктехнологія. Це система організаційно-технологічних заходів із застосуванням вермиккультури – популяції гнойових черв'яків разом із супутніми гетеротрофними організмами в конкретному органічному субстраті, а також оброблення й застосування копроліту (вермикомпосту чи біогумусу) та біомаси черв'яків у сільському господарстві [3]. Вермиктехнологія – це прогресивний і перспективний напрямок ведення агровиробництва, який дає змогу підвищити продуктивність, екологічну стійкість і саморегуляційну здатність агроєкосистем. Тому її розглядають як ключовий елемент альтернативного землеробства [9].

Вермикомпости – продукти перероблення органічної маси дощовими черв'яками і мікроорганізмами. Внаслідок перероблення органічних відходів утворюється цінне органічне добриво – біогумус. Біогумус сприяє оздоровленню ґрунтів і підвищенню їх родючості. В 1 г біогумусу міститься до 2000 млрд колоній мікроорганізмів порівняно зі 150-350 млн у гноєві, який вважають найкращим натуральним органічним добривом [8]. Отримання біогумусу ґрунтується на здатності дощових черв'яків використовувати органічні рештки, трансформувати їх у кишечнику і виділяти у вигляді копролітів. Дощові черв'яки – найбільші представники безхребетних, які входять до складу ґрунтової макрофауни. Їх частка становить не менш як половини всієї біомаси ґрунту. Щільність їх заселення досягає в середньому 120 особин/м², а біомаса – 50 г/м² (за маси тіла одного черв'яка 0,5-1,5 г). У процесі перетравлення органічних відходів у кишечнику черв'яків формуються гумусові речовини. Вони відрізняються за хімічним складом від гумусу, який утворюється у ґрунті за участю тільки мікрофлори, тому що в кишечнику черв'яків відбуваються процеси полімеризації продуктів розпаду органічних речовин і формуються молекули гумінових кислот, які утворюють комплексні сполуки з мінеральними компонентами, що довго зберігаються у вигляді стійких сполук. Тільки черв'яки, на відміну від інших біологічних об'єктів ґрунту, мають таку специфічну особливість, як здатність до меліорування й структурування ґрунтів. Перероблений за добу черв'яками ґрунт у копроліті дорівнює масі їхнього тіла. Концентрація гумусових речовин у копролітах черв'яків у 4-8 рази вища, ніж у гнойовій біомасі. Копроліти – це щільні чорно-коричневі палички без запаху, які не злежуються. Їх гранульована форма надає біогумусу розсипчастого вигляду, що дуже важливо для структурування ґрунту. Копроліти містять у 5 разів більше біологічного азоту, в 7 разів багатші на фосфор і в 11 разів на калій, порівняно з поверхневим шаром родючого ґрунту.

Щодо використання вермиккультури у тваринництві, потрібно зазначити, що з 1 т органічних відходів, перероблених черв'яками, отримують до 600 кг біогумусу і 100 кг біомаси черв'яків. Із тіл черв'яків після відповідного оброблення отримують білкове борошно, яке за амінокислотним складом наближається