УДК 631.8:633.15

ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОВОЙ КУКУРУЗЫ В УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ДОНА ПОД ВЛИЯНИЕМ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И БАКТЕРИАЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ

КАМЕНЕВ Роман Александрович, *Донской государственный аграрный университет*

СЕВОСТЬЯНОВА Алиса Александровна, *Донской государственный аграрный университет*

ГУСАКОВА Наталия Николаевна, *Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова*

ГУДОВА Людмила Александровна, *ФГБНУ РосНИИСК «Россорго»*

Представлены результаты исследований трехлетнего полевого эксперимента по изучению влияния минеральных удобрений и биопрепаратов с активными штаммами ассоциативных микроорганизмов-азотфиксаторов на урожайность и качество зерна кукурузы на черноземе обыкновенном Нижнего Дона. Высокую эффективность обеспечило применение комбинации минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{40}K_{40}$. Прибавка урожайности зерна по сравнению с контрольным вариантом достигала 1,85 т/га, или 61,3 %. Увеличение урожайности при внесении бактериального препарата со штаммом ассоциативных азотфиксаторов 2П-7 при выращивании кукурузы без минеральных удобрений составило 40,1 %, биопрепарата 2П-9 на фоне внесения азотно-фосфорных удобрений в дозе $N_{30}P_{40}$ – 55,3 %. Наибольший эффект в сборе белка получен на варианте с $N_{60}P_{40}K_{40}$ – 81,6 %, при использовании штаммов 2П-7 и 2П-9 – 51,9 и 55,6 % соответственно, на азотно-фосфорном фоне от этих же штаммов увеличилось еще на 20,9 и 22,2 %. Уровень рентабельности варьировал от 17 % при использовании полного минерального удобрения до 69 % под действием биопрепаратов ассоциативных азотфиксаторов.

Введение. Кукуруза, обладая высокой потенциальной продуктивностью и универсальностью использования, имеет большое агрономическое и экономическое значение [5, 10]. Способность этой культуры усваивать элементы питания вплоть до созревания зерна характеризует ее как растение, предъявляющее высокие требования к условиям минерального питания в сравнении с прочими зерновыми культурами [7, 11, 13].

Значительному накоплению сухого вещества, повышению продуктивности фотосинтеза способствует применение удобрений, что положительно отражается на увеличении урожайности кукурузы [2, 4]. Важным фактором в повышении урожая культуры является не только норма удобрений, но и соотношение элементов питания в ней. Эффективное использование удобрений под кукурузу значительно повышает в зерне содержание белка и жира [6].

Обобщение более 100 полевых опытов с кукурузой в Европейской части России показало преимущество полного минерального удобрения перед парными сочетаниями в формировании урожая. Однако основным элементом, лимитирующим урожайность этой культуры, является азот [8; 9]. Оптимизация питания растений кукурузы азотом оказывает значительное влияние на скорость и характер физиологических и биохимических процессов, на рост растений в процессе онтогенеза, сроки прохождения отдельных фаз вегетации, величину, структуру и качество урожая [15].

Однако дороговизна азотных удобрений, с одной стороны, и возникающие проблемы при высоких нормах их применения – с другой, приводят к негативным последствиям, вызывают необходимость поиска других источников азота, важнейшим из которых является биологический азот. Наибольший эффект, как правило, дает применение биопрепаратов со штаммами азотфиксаторов в сочетании с невысокими дозами минеральных удобрений.

Проблема ассоциативного связывания азота атмосферы охватывает широкий круг вопросов. В этой связи необходимость рассмотрения влияния ассоциативных микроорганизмов-азотфиксаторов на питание кукурузы вызывает научный и практический интерес. Но сведений о применении ассоциативных азотфиксаторов при возделывании

кукурузы на зерно на черноземе обыкновенном в условиях Нижнего Дона недостаточно, и этот вопрос требует проведения соответствующих исследований.

Целью исследований являлось изучение влияния минеральных удобрений и биопрепаратов с активными штаммами ассоциативных микроорганизмов-азотфиксаторов на урожайность и качество зерна кукурузы на черноземе обыкновенном Нижнего Дона.

Методика исследований. Полевые опыты проведены в 2015–2017 гг. в условиях Учебно-научного производственного комплекса Донского ГАУ в Октябрьском районе Ростовской области. Предшественник кукурузы – озимая пшеница. Повторность опыта – четырехкратная. Размещение делянок рендомизированное. Площадь делянки 42 м^2, учетная – 22,0 м^2. Агротехника – в соответствии с зональными рекомендациями. Объектом исследования являлся гибрид кукурузы Краснодарский 385 (среднеспелый). Оригинатор – ФГБНУ «Краснодарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. П.П. Лукьяненко».

При закладке опыта минеральные удобрения были представлены аммофосом ($N_{12}P_{52}$), аммиачной селитрой ($N_{34,4}$), хлористым калием ($К_2О_{65}$), которые вносились вручную вразброс под первую культивацию с последующей заделкой в почву. В качестве бактериальных препаратов были использованы изготовленные во Всероссийском институте сельскохозяйственной микробиологии (ВНИИСХМ, г. Санкт-Петербург) со штаммами ассоциативных азотфиксаторов: Мизорин, 204, 2П-9, 2П-7, КЛ-10. Они перемешивались с сухой структурированной почвой перед посевом. Полученную смесь вносили через туковысевающую систему сеялки СУПН-8 [11]. Уборку урожая кукурузы на зерно проводили вручную поделяночно. Закладку опытов, проведение наблюдений и учетов в течение вегетации осуществляли согласно методикам опытов с удобрениями [16, 17]. Определение подвижных соединений фосфора и калия проводили по методу Мачигина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26205–91), нитратного азота – ионометрическим методом (ГОСТ 26951–86), обменно-поглощенного аммония – по методу ЦИНАО (ГОСТ 26489–85). Содержание в растениях азота определяли по ГОСТ 13496.4–93. Дисперсионный и корреляционный анализ проводили с использованием программ Microsoft Word Excel и Statistica.

Почва – чернозем обыкновенный среднемощный тяжелосуглинистый. Мощность гумусового горизонта (А+В) – 55–95 см. Для этого типа почв характерно высокое содержание карбонатов в пахотном слое – до 2,5–4,0 %. В горизонте А содержание гумуса составляло 3,1–3,3 % [3].

Перед посевом кукурузы запас минерального азота в слое почвы 0–60 см в 2015 г. составил 64,0 кг/га, в 2016 г. – 62,5, в 2017 г. – 89,5 кг/га. Исходное содержание подвижного фосфора в почве под кукурузой в разные годы существенно различалось: в 2015 г. перед посевом в слое 0–40 см содержалось 12,9 мг/кг почвы подвижного фосфора, в 2016 г. – 14,8, а в 2017 г. – 22,1 мг/кг соответственно. Перед посевом кукурузы содержание обменного калия в слое почвы 0–40 см варьировало от 217 до 280 мг/кг почвы и соответствовало средней обеспеченности.

Землепользование Октябрьского района, где проводились исследования, находится в засушливой зоне. ГТК 0,7-0,8. Погодные условия в годы проведения полевых опытов отличались существенным разнообразием. В период проведения эксперимента превышение среднемноголетних годовых значений температуры воздуха составило от 0,9 °С в 2016 с.-х. году до 2,9 °С в 2015 с.-х. году. В 2016 и 2017 гг. отмечен дефицит осадков. По данным Е.В. Агафонова, в условиях недостаточного увлажнения кукуруза способна экономно расходовать продуктивную влагу почвы [1]. А применение удобрений снижает коэффициент водопотребления кукурузы до 25 %. А.М. Хлопянникова [14] отмечает, что кукуруза характеризуется обильными выделениями корневой системой экссудата, что позволяет растению получить локальное увлажнение пахотного слоя почвы и использовать питательные вещества в условиях засухи.

Результаты исследований. Перед посевом кукурузы содержание продуктивной влаги в метровом слое почвы составило в 2015 г. 187,3 мм, в 2016 г. – 110,2 и в 2017 г. – 159,1 мм соответственно (см. рисунок). В течение вегетации кукурузы во все годы влажность почвы уменьшалась. Снижение запасов почвенной влаги за вегетацию кукурузы в абсолютных величинах в годы проведения полевых опытов в слое почвы 0–100 см от момента сева до полной спелости наибольшим

было в 2015 г. – 139,7 мм; средним в 2017 г. – 107 мм и наименьшим в 2016 г. – 60,4 мм.

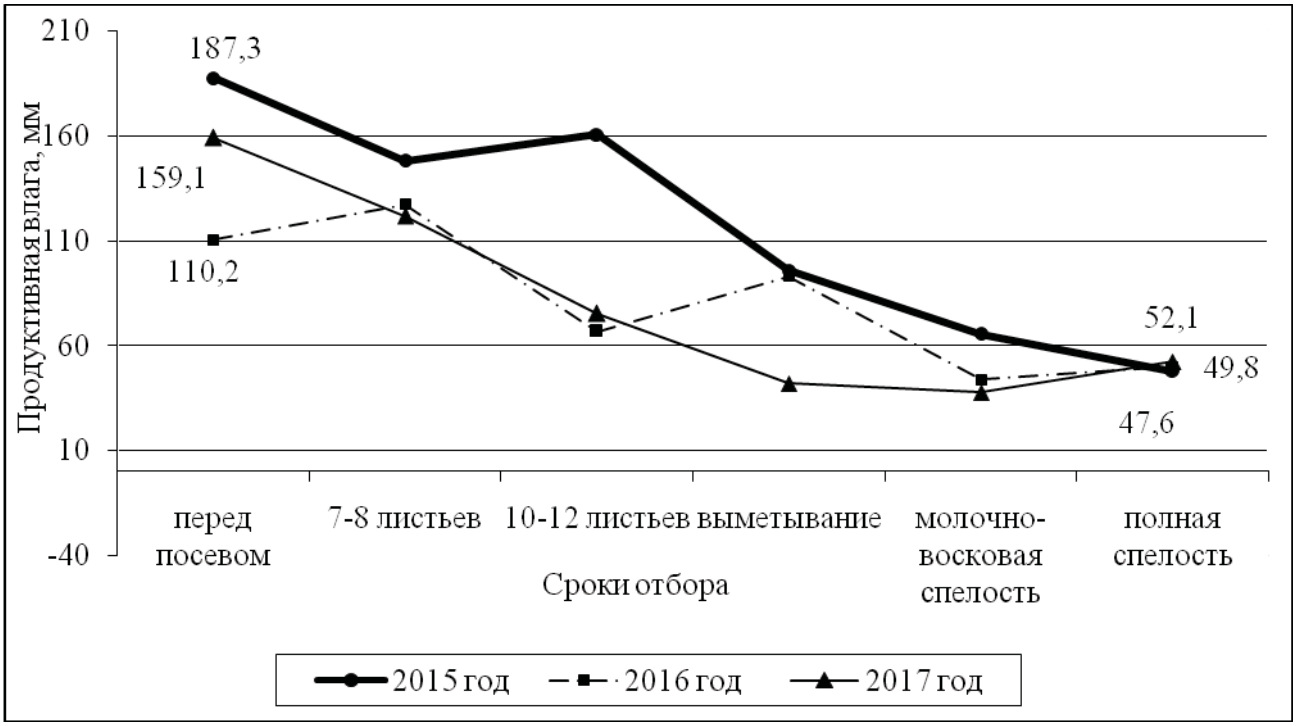
Благоприятные условия увлажнения в 2015 г. способствовали формированию наибольшей урожайности зерна кукурузы. При этом на контрольном варианте она достигала 3,51 т/га. В 2016 и 2017 гг. условия были менее благоприятные, и урожайность зерна снизилась соответственно до 2,84 и 2,71 т/га. В среднем за 3 года урожайность зерна кукурузы на контроле составила 3,02 т/га (табл. 1).

На фоне применения P_{40} под весеннюю культивацию в среднем за 2015–2017 гг. наибольшее действие на урожайность зерна кукурузы получено от дозы азота 90 д.в. кг/га. Прибавка по сравнению с вариантом без удобрений составила 1,34 т/га, или 44,4 %. Увеличение дозы фосфора до 80 д.в. кг/га способствовало дальнейшему повышению урожайности зерна еще на 10,6 %. Максимальное влияние на урожайность зерновой кукурузы в среднем за 3 года оказало применение полного минерального удобрения в дозах $N_{60}P_{40}K_{40}$ и $N_{60}P_{80}K_{40}$ – увеличение урожайности по сравнению с контрольным вариантом составило 1,85–1,88 т/га. Применение биопрепаратов Мизорин, 2П-7 и 2П-9 на естественном фоне плодородия чернозема обыкновенного повышало урожайность зерна кукурузы на 1,17–1,21 т/га, или на 38,7–40,1 %. В сочетании с минеральными удобрениями эффект от действия этих штаммов возрастал еще на 14,9–15,9 %.

В среднем за три года содержание белка в зерне кукурузы на контроле составило 9,2 % (табл. 2). При внесении минеральных удобрений под весеннюю культивацию наблюдалось достоверное увеличение этого показателя на 0,7–1,3 %. Максимальная прибавка получена на варианте с внесением $N_{60}P_{40}$. На варианте с полным минеральным удобрением в дозе $N_{60}P_{40}K_{40}$ содержание белка в зерне ниже, чем на варианте с $N_{60}P_{40}$, это обусловлено эффектом «ростового разбавления» и увеличением потребления азота.

При использовании азотфиксаторов наибольший эффект достигнут на варианте со штаммом 2П-9. В сочетании с минеральными удобрениями в дозе $N_{30}P_{40}$ значительное повышение содержания белка в зерне по сравнению с контролем получено при использовании штаммов 2П-9, 204 и КЛ-10. Наиболее тесная корреляционная зависимость получена от концентрации азота в растениях кукурузы в фазу 10–12 листьев и содержания белка в зерне ($r = 0{,}812 \pm 0{,}176$).

В среднем за 2015–2017 гг. наибольший сбор белка был на варианте с полным минеральным удобрением. Прибавка по сравнению с контрольным вариантом составила 195 кг/га, или 81,6 %. Применение биопрепаратов на естественном фоне плодородия почвы наибольшее влияние оказало на сбор белка в урожае кукурузы при использовании штамма 2П-7 и 2П-9. Увеличение по сравнению с контролем составило 51,9 и 55,6 %, на азотно-фосфорном фоне под действием этих же штаммов – еще на 20,9 и 22,2 %.



Динамика продуктивной влаги в слое почвы 0–100 см

Таблица 1

Урожайность кукурузы на зерно, т/га

Вариант	2015 г.	2016 г.	2017 г.	Среднее за 3 года	Прибавка к контролю	
					т/га	%
Контроль	3,51	2,84	2,71	3,02	-	-
$N_{30}P_{40}$	4,83	3,33	3,05	3,74	0,72	23,8
$N_{60}P_{40}$	4,99	3,83	3,44	4,09	1,07	35,4
$N_{90}P_{40}$	5,06	4,22	3,81	4,36	1,34	44,4
$N_{60}P_{40}K_{40}$	5,94	4,56	4,10	4,87	1,85	61,3
$N_{30}P_{80}$	4,94	3,74	3,22	3,97	0,95	31,5
$N_{60}P_{80}$	5,06	4,16	3,80	4,34	1,32	43,7
$N_{90}P_{80}$	5,45	4,35	4,25	4,68	1,66	55,0
$N_{60}P_{80}K_{40}$	5,57	4,63	4,50	4,90	1,88	62,3
Мизорин	4,91	3,93	3,83	4,22	1,20	39,7
Мизорин + $N_{30}P_{40}$	5,28	4,55	4,21	4,68	1,66	55,0
204	4,93	3,56	3,37	3,95	0,93	30,8
204 + $N_{30}P_{40}$	5,17	4,23	3,88	4,43	1,41	46,7
2П-9	5,31	3,75	3,50	4,19	1,17	38,7
2П-9+ $N_{30}P_{40}$	5,36	4,50	4,21	4,69	1,67	55,3
2П-7	5,11	4,06	3,52	4,23	1,21	40,1
2П-7+ $N_{30}P_{40}$	5,21	4,50	4,33	4,68	1,66	55,0
КЛ-10	4,79	3,43	3,12	3,78	0,76	25,2
КЛ-10+ $N_{30}P_{40}$	5,00	3,91	3,32	4,08	1,06	35,1
$F_ф$	10,7	10,7	109,8	18,9		
$НСР_{05}$	0,40	0,41	0,13	0,30		

Таблица 2

Влияние минеральных удобрений и биопрепаратов на содержание белка в зерне кукурузы в среднем за 2015–2017 гг.

Вариант	Содержание белка, %	Прибавка к контролю, %	Сбор белка, кг/га	Прибавка к контролю	
				кг/га	%
Контроль	9,2	-	239	-	-
$N_{30}P_{40}$	9,9	0,7	319	80	33,5
$N_{60}P_{40}$	10,5	1,3	368	129	54,0
$N_{60}P_{40}K_{40}$	10,4	1,2	434	195	81,6
$N_{60}P_{80}$	10,4	1,2	388	149	62,3
Мизорин	9,5	0,3	346	107	44,8
Мизорин + $N_{30}P_{40}$	9,8	0,6	398	159	66,5
204	10,1	0,9	343	104	43,5
204 + $N_{30}P_{40}$	10,5	1,3	399	160	66,9
2П-9	10,3	1,1	372	133	55,6
2П-9+ $N_{30}P_{40}$	10,6	1,4	425	186	77,8
2П-7	9,9	0,7	363	124	51,9
2П-7+ $N_{30}P_{40}$	10,2	1,0	413	174	72,8
КЛ-10	10,1	0,9	328	89	37,2
КЛ-10+ $N_{30}P_{40}$	10,5	1,3	369	130	54,4
$F_ф$	5,2	-	25,2	-	-
$НСР_{05}$	0,5		28		

Выращивание кукурузы на черноземе обыкновенном Нижнего Дона является прибыльным. Применение минерального удобрения в дозе $N_{60}P_{40}K_{40}$ увеличивало рентабельность по сравнению с контрольным вариантом на 17 %, а себестоимость производства зерна снизилась на 0,26 руб./кг (табл. 3).

На вариантах с совместным применением биопрепаратов и минеральных удобрений наиболее высокие экономические показатели получены под влиянием штамма 2П-9. Наиболее оптимальные показатели экономической эффективности в опыте получены от применения штамма биопрепарата 2П-7 на естественном фоне плодородия. Уровень рентабельности выше, чем на контрольном варианте, на 69 % при снижении себестоимости 0,84 руб./кг.

Заключение. При возделывании кукурузы на зерно на черноземе обыкновенном Нижнего Дона с низкой и средней обеспеченностью почвы подвижным фосфором и средней обменным калием весной под культивацию необходимо применять полное минеральное удобрение в дозе $N_{60}P_{40}K_{40}$.

Бактериальный препарат 2П-7 (300 г/га) целесообразно применять при выращивании кукурузы без минеральных удобрений; бактериальный препарат 2П-9 (300 г/га) – при выращивании кукурузы на фоне внесения азотно-фосфорных удобрений в дозе $N_{30}P_{40}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агафонов Е.В.* Оптимизация питания и удобрение культур полевого севооборота на карбонатном черноземе. – М.: Изд-во ТСХА, 1992. – 160 с.

2. Агроэкономическая эффективность применения биопрепарата «Экстрасол» на посевах зерновой кукурузы в Нижнем Поволжье / А.П. Солодовников [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 11. – С. 32–36.

3. *Безуглова О.С., Хырхырова М.М.* Почвы Ростовской области: учеб. пособие. – Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2008. – 352 с.

4. Влияние микробиологического удобрения и густоты стояния растений на урожайность зерна гибридов кукурузы в Нижнем Поволжье / Л.А. Гудова [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 7. – С. 7–14.

5. *Жолобова И.С., Гранкина Н.А., Борисен-*

Таблица 3

Экономическая оценка применения удобрений и биопрепаратов под кукурузу на зерно (среднее за 2015–2017 гг.)

Вариант	Урожайность, т/га	Стоимость урожая, руб./га	Затраты на производство, руб./га	Себестоимость, руб./кг	Условно чистый доход, руб./га	Уровень рентабельности, %
Контроль	3,02	21 140	10 200	3,38	10 940	107
$N_{30}P_{40}$	3,74	26 180	13 041	3,49	13 139	101
$N_{60}P_{40}$	4,09	28 630	14 196	3,47	14 434	102
$N_{90}P_{40}$	4,36	30 520	15 322	3,51	15 198	99
$N_{60}P_{40}K_{40}$	4,87	34 090	15 207	3,12	18 883	124
$N_{30}P_{80}$	3,97	27 790	14 702	3,70	13 088	89
$N_{60}P_{80}$	4,34	30 380	15 858	3,65	14 522	92
$N_{90}P_{80}$	4,68	32 760	17 010	3,63	15 750	93
$N_{60}P_{80}K_{40}$	4,90	34 300	16 826	3,43	17 474	104
Мизорин	4,22	29 540	10 740	2,55	18 800	175
Мизорин + $N_{30}P_{40}$	4,68	32 760	13 529	2,89	19 231	142
204	3,95	27 650	10 686	2,71	16 964	159
204 + $N_{30}P_{40}$	4,43	31 010	13 479	3,04	17 531	130
2П-9	4,19	29 330	10 734	2,56	18 596	173
2П-9+ $N_{30}P_{40}$	4,69	32 830	13 531	2,89	19 299	143
2П-7	4,23	29 610	10 742	2,54	18 868	176
2П-7+ $N_{30}P_{40}$	4,68	32 760	13 529	2,89	19 231	142
КЛ-10	3,78	26 460	10 652	2,82	15 808	148
КЛ-10+ $N_{30}P_{40}$	4,08	28 560	13 409	3,29	15 151	113

ко В.В. Химический состав зерна кукурузы и содержание в нем каротина // Молодой ученый. – 2015. – № 5.1. – С. 9–12.

6. *Иванова З.А., Нагудова Ф.Х.* Прирост сухого вещества и продуктивность гибридов кукурузы в зависимости от удобрений // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 7. – С. 51–55.

7. *Киреев В.Н., Федин М.А., Клушина Е.В.* Производство кукурузы на силос. – М.: Россельхозиздат, 1985. – 159 с.

8. *Крамарев С.М.* Потребление основных элементов питания кукурузой при комплексном применении средств химизации // Бюл. ВНИИК. – 1995. – № 80. – С. 43–50.

9. *Крамарев С.М., Скрипник Л.Н., Усенко Ю.И.* Интенсивность поступления основных макроэлементов в растения кукурузы в онтогенезе // Агрохимия. – 2002. – № 12. – С. 21–30.

10. Кукуруза в Саратовской области / А.П. Царев [и др.]. – Саратов, 1996. – 152 с.

11. *Никитин В.В., Навальнев В.В.* Влияние длительного применения удобрений на продуктивность и качество кукурузы // Кукуруза и сорго. – 2016. – № 1. – С. 32–35.

12. Способ внесения бактериальных удобрений в ризосферу растений, высеваемых пневматическими сеялками на черноземах: пат. 2454060 Рос. Федерация МПК. – Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU2454060C1_20120627.

13. *Тудель Н.В.* Интенсивная технология производства кукурузы. – М.: Росагропромиздат, 1991. – 272 с.

14. *Хлопяников А.М.* Формирование корневой системы кукурузы // Кукуруза и сорго. – 2007. – № 1. – С. 13–16.

15. *Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н., Кизинек С.В.* Агрохимические основы применения удобрений. – Майкоп: ОАО «Полиграф–ЮГ», 2013.– 572 с.

16. *Щерба С.В., Юдин Ф.А.* Методика полевого опыта с удобрениями // Агрохимические исследования почв. – М., 1975. – С. 526–584.

17. *Юдин Ф.А.* Методика агрохимических исследований. – М.: Колос, 1980. – 366 с.

Каменев Роман Александрович, *д-р с.-х. наук, проф. кафедры «Агрохимия и экология им. профессора Е.В. Агафонова», Донской государственный аграрный университет. Россия.*

Севостьянова Алиса Александровна, *старший преподаватель кафедры «Агрохимия и экология им. профессора Е.В. Агафонова», Донской государственный аграрный университет. Россия.*

346493, Ростовская обл., пос. Персиановский, Октябрьский р-н, ул. Кривошлыкова, 24.

Тел.: 89188560703.

Гусакова Наталия Николаевна, *д-р хим. наук, проф. кафедры «Ботаника, химия и экология», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.*

410012, г. Саратов, Театральная пл., 1.

Тел.: (8452) 26-16-88.

Гудова Людмила Александровна, *канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела кукурузы и трав, ФГБНУ РосНИИСК «Россорго». Россия.*

410050, г. Саратов, 1-й Институтский проезд, 4.

Тел.: 89271242886; e-mail: abelia77@mail.ru.

Ключевые слова: *кукуруза; минеральные удобрения; бактериальные препараты; урожайность; экономическая эффективность.*

PRODUCTIVITY OF GRAIN CORN IN THE LOWER DON AFTER APPLICATION OF MINERAL FERTILIZERS AND BACTERIAL PREPARATIONS

Kamenev Roman Aleksandrovich, *Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the chair "Agrochemistry and Ecology named after E. V. Agafonov", Don State Agrarian University. Russia.*

Sevostyanova Alisa Aleksandrovna, *Senior Teacher of the chair "Agrochemistry and Ecology named after E. V. Agafonov", Don State Agrarian University. Russia.*

Gusakova Natalya Nikolaevna, *Doctor of Chemical Sciences, Professor of the chair "Botany, Chemistry and Ecology", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

Gudova Lyudmila Aleksandrovna, *Candidate of Agricultural Sciences, Leading Re-searcher, Russian Research Institute for Sorghum and Maize "Rossorgo". Russia.*

Keywords: *corn; mineral fertilizers; bacterial preparations; yield; economic efficiency.*

The results of a three-year field experiment to study the effect of mineral fertilizers and biopreparations with active strains of associative nitrogen-fixing microorganisms on the yield and quality of corn on the ordinary chernozem of the Lower Don are presented. The application of a combination of mineral fertilizers in a dose of N60P40K40 ensured high efficiency. The increase in grain yield compared to the control option was 1.85 t / ha, or 61.3%. The increase in yield after a bacterial preparation application with a strain of asso-ciative nitrogen-fixing microorganisms 2P-7 without mineral fertilizers was 40.1%, after application of the biopreparation 2P-9 with nitrogen-phosphorus fertilizers in a dose of N30P40 - 55.3%. The greatest effect in protein harvesting was after application of N60P40K40 - 81.6%, after application of 2P-7 and 2P-9 - 51.9 and 55.6%, respectively. After their com-bined application with nitrogen-phosphorus fertilizers it increased by 20.9 and 22.2%. The level of profitability varied from 17% after application of full mineral fertilizer to 69% under the influence of biological products of associative nitrogen-fixing microorganisms.