

A.N. Esaulko, L.N. Petrova, V.V. Ageev, Stavropol State Agrarian University, per. Zootechnical 12, Stavropol, Russia
E-mail: aesaulko@yandex.ru

The effects of different fertilizing systems and methods of cultivation on the productivity of crop rotation and the economic efficiency of fertilizing systems were compared within a long-term field experiment at the Research Station. The main results of the optimization of fertilizing systems in the period from 1978 to 2015 are presented.

Keywords: long-term field experiment, fertilizing system, soil tillage methods, leached chernozem, crop productivity, crop yield forecast, crop rotation.

УДК 631.8:633.16

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПОСЕВОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И БИОПРЕПАРАТА

А.Ю. Гаврилова, Смоленский НИИСХ, Л.С. Чернова, к.с.-х.н., А.А. Завалин, д.с.-х.н., ВНИИА
214025, Смоленск, улица Нахимова, 21. E-mail: smniish@yandex.ru
127550, Москва, улица Прянишникова, 31а. E-mail: bioazot@mail.ru

Рассматривается влияние минеральных удобрений и микробного препарата БисолбиФит, созданного на основе ризосферных азотфиксирующих бактерий *Bacillus subtilis* Ч - 13, на развитие листовой поверхности растений, фотосинтетический потенциал посевов, чистую продуктивность фотосинтеза и урожайность ярового ячменя в условиях Нечернозёмной зоны России.

Ключевые слова: яровой ячмень, минеральные удобрения, БисолбиФит, урожайность, площадь листьев, фотосинтетический потенциал посевов, чистая продуктивность фотосинтеза.

Урожай создается в процессе фотосинтеза, когда в зеленых растениях образуется органическое вещество из диоксида углерода, воды и минеральных веществ. Энергия солнечного луча переходит в энергию растительной биомассы. Так, в процессе фотосинтеза за счёт углерода формируется 42-45% массы сухого органического вещества. Эффективность этого процесса и в итоге урожай зависят от функционирования посева как фотосинтезирующей системы.

Главной задачей получения высокого урожая является создание такого посева, в котором бы максимально раскрывались потенциальные возможности фотосинтетической деятельности растений в агроценозе. Этого можно добиться при создании благоприятных условий для роста и развития растений. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах включает ряд важнейших показателей: площадь листьев, фотосинтетический потенциал и чистую продуктивность фотосинтеза [9, 10].

Чаще всего факторами, снижающими урожай, являются недостаточно быстрый рост листовой поверхности и ограниченные размеры листа. От размеров и пространственной структуры листового аппарата зависит количество поглощаемой посевами энергии. Вместе с тем, рост урожая не всегда пропорционален росту листовой поверхности, а только при увеличении её до определённых размеров, после чего он прекращается [4].

Наивысшие и наилучшие по качеству урожаи могут быть сформированы посевами с оптимальной площадью листьев, при этом важно, чтобы она быстро нарастала до максимальной величины и долго удерживалась

на достигнутом уровне без резкого снижения к концу вегетации, максимально поглощая солнечную радиацию. Величина площади листьев складывается из площади листьев отдельных растений и в разной степени зависит от периода вегетации, погодных условий выращивания, обеспеченности растений питательными веществами. Считается, что для эффективного усвоения солнечной энергии посевы должны сформировать не менее 40-50 тыс. м² листовой поверхности на 1 га земельной площади [1, 5].

Цель исследований - изучить влияние минеральных удобрений и биопрепарата на формирование оптимальной листовой поверхности и другие показатели фотосинтеза и на получение максимального урожая ячменя в условиях Нечернозёмной зоны Российской Федерации.

Методика. Исследования проводили в 2011-2013 гг. на опытном поле Смоленского НИИСХ на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Содержание гумуса в пахотном слое 2,0%, рН_{KCl} - 5,4, содержание минерального азота - 21-23 мг/кг почвы, подвижного калия (по Кирсанову) - 106-108, подвижного фосфора (по Кирсанову) на фоне I - 40-45, на фоне II - 166-170 мг/кг почвы. Полевой мелкоделяночный опыт проводили согласно методике, применяемой в Географической сети опытов ВИУА [6, 8].

Культура - яровой ячмень сорта Гонар. Повторность опыта пятикратная. Посевная площадь делянки - 5 м², учётная - 4 м². Посев проводили из расчета 500 семян на 1 м², что соответствует 5 млн шт/га. В опыте изучали четыре комплексных удобрения: аммофос (АФ 12% N, 52% P₂O₅), азофоски с разным содержанием элементов питания N:P:K (АЗФК 13:19:19) и (АЗФК 15:15:15) и диаммофоску (ДАФК 10:26:26). Дозы удобрений, эквивалентные внесению N₄₅P₄₅K₄₅, кроме аммофоса (N₄₅P₄₅), рассчитывали по фосфору (4,5 г/м²), вносили весной вручную под предпосевную культивацию. Эффективность минеральных удобрений оценивали на двух фонах, различающихся по обеспеченности почвы подвижным фосфором. На каждом из них изучали эффективность применения микробного

препарата, который наносили на гранулы оцениваемых минеральных удобрений.

Микробный препарат БисолбиФит (БП), активным биоагентом которого является штамм ризосферных бактерий *Bacillus subtilis* Ч-13, создан во ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии. БисолбиФит обладает хорошей сыпучестью и подходит для биологической модификации минеральных удобрений [7]. В результате нанесения бактерий на поверхность гранул удобрений образуется своего рода биокапсула, которая одновременно может выполнять сразу несколько функций: удобрительную, защитную и стимулирующую. Бациллы за счет колонизации корней растений и продуцирования фитогормонов улучшают развитие корневых волосков и увеличивают их поглотительную способность, в результате чего повышается эффективность минерального питания растений [2, 3, 11]. Биопрепарат наносили на минеральные удобрения в день их внесения из расчёта 5 г БисолбиФита на 1 кг удобрений. В чистом виде (вар. 2) биопрепарат вносили в смеси с песком из расчета 5 г/кг песка.

Погодные условия в период проведения исследований различались: 2011 и 2013 г. характеризовались переувлажнённым весенним периодом (92 и 114 мм осадков в мае соответственно) и умеренно увлажнённым летним периодом с повышенными средними температурами воздуха (16,3-20,4°C). 2012 г., напротив, характеризовался засушливым маем и июлем и переувлажнённым июнем и августом (145 и 137 мм осадков соответственно), с повышенными на 1,5-2,0°C среднесуточными температурами.

Результаты и их обсуждение. Результаты трёхлетних исследований показали, что в начале развития растений (от появления всходов до фазы кущения) только начинают проявляться различия вариантов по площади листьев. Площадь листьев в фазе кущения на фоне минеральных удобрений изменялась от 0,94 до 1,10 м²/м² на почве с низким содержанием подвижного фосфора и от 1,02 до 1,19 м²/м² – на почве с высоким содержанием (табл. 1).

1. Динамика нарастания площади листьев ярового ячменя при использовании биопрепарата и минеральных удобрений, м²/м² (в среднем за 2011-2013 гг.)

Вариант опыта	Кущение		Трубкавание		Цветение - колошение	
	I фон	II фон	I фон	II фон	I фон	II фон
1. Контроль	0,80	0,89	2,33	2,50	3,03	3,18
2. Контроль +БП	0,85	0,94	2,46	2,66	3,10	3,24
3. АФ12:52	0,94	1,02	2,69	2,76	3,34	3,44
4. АФ 12:52 + БП	1,00	1,07	2,74	2,81	3,41	3,50
5. АЗФК 13:19:19	1,00	1,11	2,90	3,04	3,70	3,82
6. АЗФК 13:19:19 + БП	1,07	1,14	2,94	3,08	3,76	3,88
7. ДАФК 10:26:26	1,07	1,15	2,97	3,09	3,77	3,87
8. ДАФК 10:26:26 + БП	1,13	1,19	3,02	3,14	3,82	3,92
9. АЗФК 15:15:15	1,10	1,19	3,02	3,13	3,84	3,90
10. АЗФК 15:15:15 + БП	1,16	1,22	3,07	3,17	3,90	3,97
НСР ₀₅ : А		0,02		0,07		0,08
В		0,04		0,10		0,13
С		0,02		0,07		0,08

Применение биопрепарата способствовало увеличению ассимиляционной поверхности листьев на 2,5-7,0%, особенно в варианте с биомодифицированной АЗФК (15:15:15). По-видимому, в этот период действие биопрепарата только начинало проявляться.

В фазе трубкования наблюдались более интенсивный рост и существенное увеличение (в 2,6-2,9 раза) листовой поверхности по всем вариантам опыта.

В фазе цветения - колошения листообразование стабилизовалось и составляло 3,34-3,90 м²/м² при применении минеральных удобрений. Использование биомодифицированных удобрений повышало исследуемый показатель на 10 - 29% по сравнению с контролем. В дальнейшем, начиная с фазы колошения, листовая поверхность уменьшалась в связи с пожелтением и отмиранием нижних листьев.

Таким образом, установлено, что интенсивность нарастания листовой поверхности в течение всей вегетации достигала максимальных значений в варианте с биомодифицированной АЗФК (15:15:15). Увеличение площади листьев связано с улучшением условий роста и питания растений. Обработка минеральных удобрений биопрепаратом увеличивала данный показатель, вероятно, за счёт стимулирующего действия микроорганизмов, входящих в состав этого препарата, что начинало проявляться с фазы кущения.

Формирование наибольшей площади поверхности листьев в вариантах с применением биопрепарата обеспечило и более высокую урожайность ярового ячменя. В среднем за три года исследований минимальная урожайность зерна ячменя получена при внесении аммофоса (рис. 1). Остальные изучаемые формы удобрений (диаммофоска и азофоски) оказывали равнозначное действие на урожайность зерна: повышая её на 81-102 г/м², или на 45-56% на почве с низким содержанием подвижного фосфора и на 83-98 г/м², или на 38-45% на почве с высоким содержанием. Применение биомодифицированных форм удобрений позволило дополнительно повысить зерновую продуктивность ячменя на 12 - 52 г/м² (7 - 20%) на почве с низкой и на 21 - 50 г/м² (10 - 17%) на почве с высокой обеспеченностью подвижным фосфором.

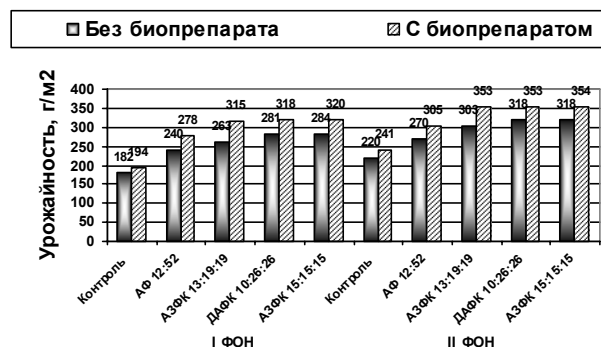


Рис. 1. Урожайность зерна ярового ячменя (в среднем за 2011-2013 гг.)

Установлена корреляционная связь между площадью листьев в фазе цветения - колошения и урожайностью растений ярового ячменя. Как видно из рисунка 2, коэффициент корреляции (r) на обоих фосфатных фонах не равен нулю, а близок к единице. Это говорит о том, что между изучаемыми признаками имеется тесная связь, зависимость прямопропорциональная (r ≠ 0), т.е. при изменении площади листьев на 1 м²/м² величина урожайности увеличивается на 141 г/м² на почве с низким содержанием и на 145 г/м² на почве с высоким содержанием подвижного фосфора.

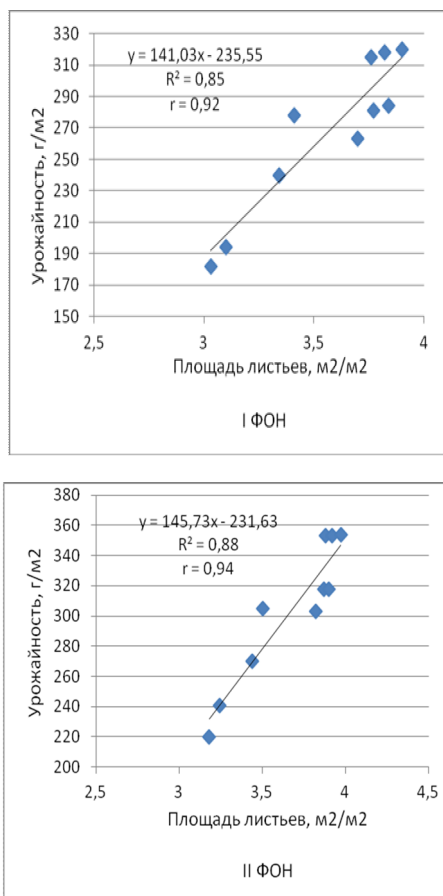


Рис. 2. Связь листовой поверхности в фазе цветения - колошение с урожайностью ярового ячменя

Коэффициент детерминации (R^2) составил на почве с низкой обеспеченностью подвижным фосфором 0,85, а на почве с высоким его содержанием - 0,88. Можно сделать вывод о том, что, соответственно, 85 и 88% колебаний урожайности связано с изменением площади листьев.

Однако, показатель площади листьев не всегда даёт полную характеристику фотосинтетической деятельности посева, поскольку важно время, в которое сформировалась максимальная площадь листьев и сколько дней она работала на накопление урожая. Важнейшим показателем характеристики продолжительности фотосинтетической работы посева за всю вегетацию или за определённый период является фотосинтетический потенциал посева (ФПП). Он представляет собой сумму ежесуточных показателей площади листьев на 1 га посева и характеризует мощность ассимиляционной поверхности. Для успешного усвоения солнечной энергии считается достаточным фотосинтетический потенциал за весь вегетационный период не ниже 1 млн ($\text{м}^2 \cdot \text{сут}$)/га [$100 (\text{м}^2 \cdot \text{сут})/\text{м}^2$] [5, 10].

Исследования показали, что при применении биопрепарата интенсивность нарастания ФПП в течение вегетации ярового ячменя возрастала за счёт увеличения листовой поверхности. Так, минимальный фотосинтетический потенциал за период кущение - цветение-колошение получен на контроле (55,9 и 59,6 ($\text{м}^2 \cdot \text{сут}$)/ м^2) (табл. 2). Применение минеральных удобрений повышало анализируемый показатель на 13-29% на почве с низкой обеспеченностью подвижным фосфором и на 10-25% на почве с высокой. Максимальные показания ФПП получены при использовании биомо-

дифицированных форм азотфосок и диаммофоски (70,3-75,5 ($\text{м}^2 \cdot \text{сут}$)/ м^2).

2. Динамика фотосинтетического потенциала посевов ярового ячменя под влиянием биопрепарата и минеральных удобрений, ($\text{м}^2 \cdot \text{сут}$)/ м^2 (в среднем за 2011-2013 гг.)

Вариант опыта	ФПП 1 (кущение-трубкование)		ФПП 2 (трубкование - цветение-колошение)		ФПП за кущение-цветение-колошение	
	I фон	II фон	I фон	II фон	I фон	II фон
1. Контроль	15,7	17,0	40,2	42,6	55,9	59,6
2. Контроль +БП	16,6	18,0	41,7	44,3	58,3	62,3
3. АФ12:52	18,2	18,9	45,2	46,5	63,4	65,4
4. АФ 12:52 + БП	18,7	19,4	46,1	47,3	64,8	66,7
5. АЗФК 13:19:19	19,5	20,8	49,5	51,5	69,0	72,2
6. АЗФК 13:19:19 + БП	20,1	21,1	50,3	52,2	70,3	73,3
7. ДАФК 10:26:26	20,2	21,2	50,6	52,2	70,8	73,4
8. ДАФК 10:26:26 + БП	20,8	21,7	51,3	53,0	72,1	74,6
9. АЗФК 15:15:15	20,6	21,6	51,5	52,7	72,1	74,3
10. АЗФК 15:15:15 + БП	21,2	22,0	52,3	53,6	73,4	75,5
HCP ₀₅ : A		0,45		1,08		1,48
B		0,71		1,71		2,34
C		0,45		1,08		1,48

Таким образом, внесение минеральных удобрений оказало существенное влияние на интенсивность нарастания ФПП. Биомодификация удобрений способствовала формированию более высокого фотосинтетического потенциала посевов ярового ячменя.

Ведущая роль в формировании урожайности принадлежит чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ), которая характеризует активность работы ассимиляционной поверхности листьев в течение вегетации. Ассимиляция солнечной энергии - необходимое условие для образования биомассы [1]. С увеличением площади листовой поверхности и фотосинтетического потенциала растений ярового ячменя наблюдалось снижение ЧПФ.

Установлено, что наиболее интенсивно процесс фотосинтеза в листьях у ярового ячменя проходил в период кущение - трубкование (табл. 3). Чистая продуктивность фотосинтеза составила 5,2-7,2 г/($\text{м}^2 \cdot \text{сут}$) на низком фосфатном фоне и 6,7-8,4 г/($\text{м}^2 \cdot \text{сут}$) на высоком.

3. Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) растений ярового ячменя при использовании биопрепарата и минеральных удобрений, г/($\text{м}^2 \cdot \text{сут}$) (в среднем за 2011-2013 гг.)

Вариант опыта	ЧПФ 1 (кущение-трубкование)		ЧПФ 2 (трубкование - цветение-колошение)	
	I фон	II фон	I фон	II фон
1. Контроль	5,2	6,7	2,6	4,1
2. Контроль +БП	5,6	7,0	2,6	4,6
3. АФ 12:52	6,2	7,6	3,2	4,3
4. АФ 12:52 + БП	6,2	8,4	4,2	5,4
5. АЗФК 13:19:19	6,3	8,2	3,1	3,0
6. АЗФК 13:19:19 + БП	7,2	8,3	3,5	3,8
7. ДАФК 10:26:26	6,2	8,2	3,2	3,7
8. ДАФК 10:26:26 + БП	6,5	7,3	3,1	4,3
9. АЗФК 15:15:15	5,9	7,8	2,8	3,9
10. АЗФК 15:15:15 + БП	6,1	8,4	3,8	5,0
HCP ₀₅ : A		0,14		0,08
B		0,22		0,13
C		0,14		0,08

К фазе цветения - колошения ЧПФ снизилась почти в 1,5-2,2 раза вследствие того, что в начале вегетации растения не затеняли друг друга и все листья были хорошо освещены. В дальнейшем с увеличением площади

листьев ЧПФ начинала уменьшаться из-за затенения нижних листьев.

Выводы. Обработка минеральных удобрений биопрепаратом БисолбиФит способствовала улучшению фотосинтетической деятельности посевов ярового ячменя, повышая ассимиляционную поверхность листьев в среднем на 0,04-0,07 м²/м² (1,3-7,0%), а урожайность на 12-52 г/м² (7-20%) на почве с низкой и на 21-50 г/м² (10-17%) с высокой обеспеченностью подвижным фосфором. Установлена высокая корреляционная зависимость между листовой поверхностью и урожайностью ячменя ($r = 0,92-0,94$).

Литература

1. Андрианова, Ю.Е. Хлорофилл и продуктивность растений [Текст] / Ю.Е. Андрианова, И.А.Тарчевский. - М.: Наука, 2000. - 135 с.
2. Завалин, А.А. Биологизация минеральных удобрений как способ повышения эффективности их использования [Текст] / А.А. Завалин [и др.] // Достижения науки и техники АПК. - 2012. - № 9. - С. 45-47.

3. Завалин, А.А. Биопрепараты, удобрения и урожай [Текст] / А.А. Завалин. - М.: ВНИИА, 2005. - 302 с. 4. Мокроносов, А.Т. Фотосинтез. Физиолого - экологические и биохимические аспекты [Текст] / А.Т. Мокроносов, В.Ф. Гавриленко, Т.В. Жигалова. - М.: Академия. 2-е изд., испр. и доп., 2006. - 448 с. 5. Ничипорович, А.А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах [Текст] / А.А. Ничипорович [и др.]. - М.: Изд-во АН СССР, 1961. 6. Оценка эффективности микробных препаратов в земледелии / Под общ. ред. А.А. Завалина. - М.: РАСХН, 2000. - 82 с. 7. Петров В.Б., Чеботарь В.К., Казаков А.Е. Микробиологические препараты в биологизации земледелия России // Достижения науки и техники АПК. - 2002. - №10. - С. 16-20. 8. Программа и методика исследований в географической сети полевых опытов по комплексному применению средств химизации в земледелии. - М.: ВИУА, 1990. - 187 с. 9. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений [Текст]: учеб. пособие / Под ред. Н.Н. Третьякова. - 2-е изд. - М.: КолосС, 2005. - 656 с. 10. Частная физиология полевых культур [Текст]: Учеб. пособие / Под ред. Е.И. Кошкина. - М.: КолосС, - 2005. - 344 с. 11. Шуреков Ю.В., Даньков Д.Б., Кочетов В.М. Бисолбифит - перспективная новинка на рынке биопрепаратов // ПоволжьеАгро. - 2011. - №4. - С. 28-29.

PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF SPRING BARLEY PLANTS AT THE USE OF MINERAL FERTILIZERS AND BIO- PREPARATION

A.Yu. Gavrilova¹, L.S. Chernova², A.A. Zavalin²

¹Smolensk research institute of agriculture, ul. Nahimova 21, Smolensk, 214025 Russia E-mail: smniish@yandex.ru

²Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry, Russian Academy of Sciences, ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550 Russia E-mail: bioazot@mail.ru

The effect of mineral fertilizers and microbial preparation BisolbiFit prepared from rhizospheric nitrogen-fixing bacteria Bacillus subtilis strain H-13 on the development of plant leaf surface, photosynthetic potential, net photosynthetic productivity, and grain yield of spring barley was studied under conditions of the Nonchernozemic zone.

Keywords: spring barley, mineral fertilizers, BisolbiFit, crop yield, leaf surface area, photosynthetic potential of plants, net photosynthetic productivity.

УДК 631.674:635.25

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ОРОШЕНИЯ И ДОЗ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ ЛЕТНЕЙ ПОСАДКИ В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

В.В. Бородычев, акад. РАН, ВНИИГиМ, Т.Н. Дронова, д.с.-х.н., А.А. Дергачев,
И.А. Дергачева, ВНИИОЗ

Показано влияние условий водного и пищевого режимов почвы на продуктивность картофеля летних посадок при капельном орошении, обеспечивающих получение высококачественного посадочного материала с урожайностью клубней 20-40 т/га.

Ключевые слова: картофель, летние посадки, режим орошения, дозы удобрений, урожайность, качество.

Картофель в России используют для питания круглогодично. В условиях Нижнего Поволжья на орошении он формирует высокие урожаи и является одной из высокопродуктивных культур [1, 2, 10]. Но система семеноводства, сложившаяся в регионе, базируется на импортных семенах, в связи с чем резко возрастают затраты на возделывание этой культуры. Усугубляется положение тем, что по действующим правилам семеноводства посадочный материал необходимо приобретать на всю площадь посадки [1, 5, 6].

Альтернативой такому положению, по исследованиям ВНИИОЗ [3, 6, 9], является размножение завозных семян летними посадками. Доказано, что клубни, полученные от растений, вегетация которых сдвигается на июль-сентябрь, могут в течение 3-5 лет оставаться здоровыми и сохранять потенциал продуктивности.

В последние годы в институте проводят исследования по разработке и совершенствованию режимов оро-

шения, системы минерального питания, подбора адаптивных сортов при летних посадках, обеспечивающих получение оздоровленного семенного материала по цене и качеству, не уступающего импортному.

Исследования проводятся в трехфакторных полевых опытах на светло-каштановых почвах в ФГУП «Орошаемое». Содержание гумуса в почвах опытного участка - от 1,42 до 1,70%, подвижного фосфора -13,0-26,7, обменного калия 220-250 мг/кг. Наименьшая влагоемкость в слоях 0,4 м составляет 23,2 %, 0,6 м – 22,2%, плотность почвы, соответственно, 1,34 и 1,37 т/м³.

По фактору А (режим орошения) изучают четыре варианта с поддержанием предполивного порога увлажнения: 80% НВ в слоях 0,4 и 0,6 м в течение всей вегетации; 80% НВ в слое 0,4 м от посадки до бутонизации; 80% НВ в слое 0,6 м до конца вегетации; 80% НВ в слое 0,4 м до фазы бутонизации и 70% НВ в слое 0,6 м до конца вегетации.

По фактору В (пищевой режим) изучают дозы удобрений, рассчитанные на получение урожайности 30 и 40 т/га, на контроле (без удобрений) – 20 т/га.

Фактор С (сортовой состав) включает сорта Романо и Роко. Опыты закладывали и проводили по общепринятым методикам [4,7,8].