

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН ОГУРЦА ИМПУЛЬСНЫМ ДАВЛЕНИЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ РАСТЕНИЙ

В.И. ЛЫСАК,

*доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ,*

Е.Э. НЕФЕДЬЕВА,

кандидат биологических наук, доцент, Волгоградский ГТУ

М.Н. БЕЛИЦКАЯ,

*доктор биологических наук, профессор,
Всероссийский НИИ агролесомелиорации*

В.В. КАРПУНИН,

*кандидат технических наук, доцент,
Волгоградская ГСХА, г. Волгоград*



Ключевые слова: семена огурца, ударная волна, рост и развитие растений, продуктивность.

Цель и методика исследований

В условиях защищенного грунта растения находятся под влиянием регулируемых факторов среды, с помощью которых создаются оптимальные условия для роста, развития и плодоношения растений. Высокая затратность культивирования растений в защищенном грунте требует увеличения их продуктивности. Задача решается путем выведения новых сортов и гибридов растений, получения генетически модифицированных организмов, совершенствования агротехнологий, разработки способов защиты растений от вредителей и болезней, внедрения методов оптимизации условий выращивания, применения различных стимуляторов роста растений. В частности, последние методы заключаются в использовании биологически активных и химических веществ или физических стимуляторов. Принцип применения физических стимуляторов основан на том, что растения в ответ на слабые воздействия запуска-

ют реакцию, направленную на изменение морфогенеза и увеличение продуктивности [2].

Нами предложен метод предпосевной обработки семян импульсным давлением (ИД), создаваемым ударной волной в водной среде, для стимулирования роста, развития и продуктивности растений.

Целью исследований были разработка, апробация и экспериментальное обоснование метода предпосевной обработки семян огурца ИД для повышения продуктивности растений в условиях защищенного грунта.

Исследования проводили на растениях огурца (*Cucumis sativus*) гибридов F₁ Эстафета ("Манул", Россия), НИИОХ-416 (НИИОХ, Россия) и Маринда (Royal Sluice, Нидерланды), отличающихся по агрономическим характеристикам, в полевых опытах на базе тепличных хозяйств.

Гибриды выращивали в зимне-весеннем и продленном обороте. Посев семян в зимне-весеннем обороте про-

водили 25-30 ноября, высадку рассады на постоянное место - 25-30 декабря, первый сбор урожая - 20-25 марта, последний сбор урожая - 10-15 июля. В продленном обороте посев семян проводили 15-20 декабря, высадку рассады на постоянное место - 10-20 января, первый сбор урожая - 5-15 марта, последний сбор урожая - 20-25 сентября. Агротехнические мероприятия проводили по стандартной технологии.

Семена обрабатывали импульсным давлением (ИД), создаваемым прохождением ударной волны, в диапазоне 5-29 МПа. Сухие семена помещали в поролоновые кассеты, укладывали на дно контейнера из нержавеющей стали, заполненного водой, и производили обработку путем детонации водостойкого взрывчатого вещества [3].

Давление на фронте волны рассчитывали по формуле [4]:

$$P = 5330 \cdot \left[\frac{Q^{1/3}}{R} \right]^{1.13}, \quad (1)$$

Cucumber seeds, impact wave, plant growth and development, yield.

Таблица 1
Всхожесть семян (%) и продуктивность растений (кгЧм⁻²), обработанных ИД, учетный участок 10 м², N=4, ANOVA

Гибрид F ₁	Контроль	ИД, МПа					
		3	4	5	11	17	23
		Всхожесть семян, %					
НИИОХ-416 F	96±2	95±2	90±3	78±2	29±4	21±3	17±5
		786,73					
		Продуктивность растений, кг м ⁻²					
НИИОХ-416 F	22,8±0,1	23,6±0,2	26,3±0,1	27,0±0,1	28,9±0,2	23,5±0,2	27,3±0,3
		750,38					
Эстафета F	15,8±0,1	16,2±0,1	18,4±0,2	19,1±0,1	16,0±0,2	16,8±0,1	22,6±0,2
		1125,46					

Таблица 2
Урожайность огурца гибрида F₁ Маринда в зимне-весеннем обороте по декадам (кгЧм⁻²), M±m, учетный участок 14 м², N=4

Декада	Контроль		5 МПа		Урожай, % от контроля
	Урожай, кгм ⁻²	Скорость прироста, г/сут. ⁻¹	Урожай, кгм ⁻²	Скорость прироста, г/сут. ⁻¹	
I.IV	0,26±0,01		0,50±0,03*		192
II.IV	0,75±0,02	75	0,80±0,05	80	107
III.IV	1,00±0,05	100	1,06±0,10	106	106
Итого за IV	2,01±0,04	58	2,3±0,13*	62	117
I.V	1,83±0,09	183	2,14±0,10*	214	117
II.V	1,61±0,10	161	2,10±0,13*	210	130
III.V	1,93±0,11	193	2,12±0,12	212	110
Итого за V	5,37±0,14	179	6,36±0,31*	212	118
I.M	1,53±0,08	153	1,73±0,09	173	113
II.M	1,46±0,09	146	1,65±0,08	165	113
III.M	0,68±0,05	68	0,73±0,04	73	107
Итого за VI	3,67±0,21	122	4,11±0,15	137	112
I.MI	0,61±0,04	61	0,65±0,04	65	107
Итого	11,66±0,37	-	13,48±0,13*	-	116

где P - давление, МПа;

Q - масса заряда взрывчатого вещества, кг;

R - расстояние от центра взрыва до поверхности семян, м.

Опыты проводили в 4-кратной биологической повторности. Размер учетной площади указан для каждой серии. Статистическую обработку проводили с использованием вариационного анализа ANOVA [5] и расчета достоверности различий по критерию Стьюдента [6]. В последнем случае представлены средние арифметические и их стандартные ошибки.

Продуктивность растений оценивали относительно контроля. Массу плодов, полученных при регулярных сборах, суммировали. Скорость прироста урожая V, г/сут.⁻¹, рассчитывали по уравнению:

$$V = \frac{dm}{dt}, \quad (2)$$

где m - масса плодов, г;

t - время, сут.

Изучено варьирование массы плодов на растениях огурца гибрида F₁ Эстафета. Выборка из генеральной совокупности составляла 40-50 вариантов. Количество классов (k) для контрольной выборки определяли по правилу Старджеса:

$$k = 1 + 3,3 \log n, \quad (3)$$

где n - объем выборки.

Величину классового интервала рассчитывали как отношение размаха варьирования признака к определенному числу классов:

$$i = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{k}, \quad (4)$$

Для удобства сравнения размер классового интервала для всех выборок был одинаковым и соответствовал контролю, а количество классовых интервалов различалось. Построены эмпирические кривые распределения, где частота определялась как количество вариантов выборки, входящих в границы данного класса.

Теоретические частоты для построения кривых нормального распределения рассчитаны по уравнению:

$$f' = \frac{n_i}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-M)^2}{2\sigma^2}}, \quad (5)$$

где f' - искомая ордината кривой (теоретическая частота);

n - объем выборки;

i - классовый интервал;

x - значение признака в выборке,

для которого определена теоретическая частота;

M - выборочная медия;

σ - среднее квадратичное отклонение.

Показано соответствие эмпирического и нормального распределения по критерию χ² [6].

Результаты исследований

Давления, оптимальные для стимуляции роста, развития и продуктивности растений, были установлены в опытах (табл. 1). Семена гибридов F₁ НИИОХ-416 и Эстафета обрабатывали ИД 3-23 МПа, при этом отмечали снижение всхожести под действием давлений свыше 5 МПа. Рассадная технология позволяет регулировать плотность растений при посадке на постоянное место, поэтому снижение всхожести не привело к изреживанию растений.

ИД оказало влияние на продуктивность растений (табл. 1), которую оценивали в зимне-весеннем обороте как среднюю из четырех групп по 25 растений (на площади 10 м²). Продуктивность растений гибрида F₁ НИИОХ-416 увеличивалась на 15,4; 18,4; 26,8 и 19,7% соответственно под действием ИД 4; 5; 11 и 23 МПа. При ИД 3 и 17 МПа продуктивность практически не изменялась относительно контроля.

Продуктивность растений гибрида F₁ Эстафета значительно увеличилась при обработке ИД 4,5 и 23 МПа (на 16,5; 20,9 и 43,0% соответственно), а ИД 3; 11 и 17 МПа не влияли на продуктивность растений. Следовательно, продуктивность растений огурца определялась величиной действующего давления, а зависимость представляла собой кривую с двумя максимумами, соответствующими ИД 4-11 и 23 МПа. Положения экстремумов специфичны для каждого гибрида. Наличие двух максимумов повышения продуктивности, сопровождающееся во втором случае снижением всхожести, указывает на существование различных ответных механизмов. ИД 4-11 МПа могут быть использованы в сельскохозяйственном производстве для повышения урожая. В связи со значительным снижением всхожести затруднительно использовать на практике ИД свыше 11 МПа. Тем не менее, их действие представляет большой теоретический интерес.

В растениеводстве важно оценить динамику отдачи урожая. В таблице 2 приведены результаты исследований урожайности растений по декадам. Урожай изменялся волнообразно, возрастая в мае и постепенно снижаясь к июлю. ИД 5 МПа способствовало увеличению продуктивности растений на 16% за всю вегетацию. Наиболее значительное увеличение урожая отмечено в первую декаду вегетации (на 92%), причем первый сбор можно проводить на 3-5 дней раньше и в мае (в среднем на 18%), когда происходила наибольшая отдача урожая. В июне

Таблица 3

Последствие ИД на продуктивность растений в производственных опытах, N=4, ANOVA, 1 – зимне-весенний оборот, 2 – продленный оборот

Гибрид F ₁	ИД, МПа	Оборот	Площадь одного участка*	Количество растений	Продуктивность, кг*	F	Урожай, кг·м ⁻²
НИИОХ-416	0	2	2500	6250	46750	46,5	18,7
	5				53250		21,3
Эстафета	0	2	10000	25000	12300	42,9	12,3
	4				14000		14,0
Эстафета	0	1	12500	31250	198750	29,9	15,9
	4				226250		18,1
Эстафета	0	1	5000	12500	90500	95,4	18,1
	5				103000		20,6
Эстафета	0	2	17500	45500	393750	44,8	22,5
	5				449750		25,7
Эстафета	0	2	20000	52000	494000	99,9	24,7
	5				568000		28,4
Эстафета	0	2	17500	47250	444500	80,7	25,4
	5				505750		28,9

* Данные для одного учетного участка из четырех.

продуктивность растений, обработанных ИД, несущественно превышала контроль.

Одной из характерных особенностей влияния ИД было увеличение скорости прироста урожая в течение всей вегетации. Несмотря на то, что в июне увеличение урожая относительно контроля было минимальным, скорость прироста превышала контроль. Это обстоятельство свидетельствует, что потенциал растений, обработанных ИД, к моменту уборки не был исчерпан. Результаты опытов в продленных оборотах (табл. 3) подтверждают это положение.

Увеличение продуктивности растений огурца происходило параллельно со снижением всхожести семян (табл. 1). Предположительно, существуют нетипичные по фенотипу и генотипу растения с пониженной физиологической активностью [7], а их семена обладают повышенной чувствительностью к подобным воздействиям [8]. Важно оценить, является ли увеличение продуктивности растений результатом гибели таких семян или же это следствие стимуляции морфогенетических процессов растений.

Были построены кривые распределения частот варьирования признака продуктивности растений по значениям среднего арифметического и стандартного отклонения [6]. Использованы результаты, полученные для гибрида F₁ Эстафета и приведенные в таблице 1. Анализ проводили для ИД, вызывающих наиболее значимые изменения продуктивности (5; 11; 23 МПа).

Эмпирическое распределение в контроле (рис. а) соответствовало нормальному с уровнем значимости 0,99 ($\chi^2=3,33$ при 7 классовых интервалах). Минимальная масса плодов с одного растения составляла 4,1 кг, максимальная - 8,9 кг. Ветви эмпирической кривой более пологие, чем у теоретической кривой, а пик - выше и смещен в область больших значений. Островеершинность эмпирической

кривой указывает на элиминацию особей с признаками, значительно отклоняющимися от средних значений, что актуально при создании гибридов.

Эмпирическое распределение продуктивности растений, обработанных ИД 5 МПа (рис. б), соответствовало нормальному распределению с уровнем значимости 0,30 ($\chi^2=8,45$; 10 классовых интервалов). Минимальная масса плодов с одного растения составила 4,5 кг, максимальная - 11,0 кг. Как сама кривая, так и ее пик смещены в область больших значений сильнее, чем в контроле. Увеличилось количество особей с более высокой продуктивностью, на что указывает также увеличение средней (M). Из таблицы 1 видно снижение всхожести семян, следовательно, ИД оказалась фактором отбора, но при этом количество растений с низкой продуктивностью не уменьшилось. Таким образом, смещение пика на кривой эмпирического распределения было связано с появлением более продуктивных растений. Важно, что направление действия отбора, осуществляемого при выведении гибрида, и действия, оказываемого ИД 5 МПа, направлено приблизительно в одном направлении.

ИД 11 МПа не привело к повышению продуктивности растений (табл. 1), однако вызвало изменения в варьировании признака (рис. в). Эмпирическое распределение продуктивности растений после действия ИД 11 МПа соответствовало нормальному с уровнем значимости 0,30 ($\chi^2=10,88$; 11 классовых интервалов). Кривая оказалась еще более растянутой относительно контроля, чем в предыдущем варианте опыта. Минимальное значение продуктивности одного растения составило 4,0 кг, максимальное - 11,3 кг. Появились нерегулярные небольшие пики в области значений, соответствующих высокой продуктивности. Главный пик, напротив, переместился в область более низких величин

продуктивности. В этом варианте опыта выявились две тенденции. Во-первых, существует эффект стимуляции, сопровождающийся появлением особей с такой высокой продуктивностью, которая не встречалась в контроле. Во-вторых, снижение продуктивности по сравнению с предыдущим вариантом (5 МПа) вызвано увеличением числа малопродуктивных особей (в области 1-го, 2-го и 3-го классовых интервалов). Поскольку в этом варианте опыта всхожесть семян снизилась весьма существенно и составила 25% против 95% в контроле (табл. 1), можно утверждать, что ИД было фактором отбора. Действие отбора было направлено на особи со значениями продуктивности, приближающимися к средним. Описанные явления между двумя областями, в которых наблюдается эффект увеличения продуктивности под действием ИД, можно назвать переходными (табл. 1).

ИД 23 МПа привело к наиболее существенному увеличению продуктивности растений при значительном снижении всхожести семян (табл. 1). Эмпирическое распределение продуктивности растений (рис. г) соответствовало нормальному с высоким уровнем значимости 0,99 ($\chi^2=11,70$; 14 классовых интервалов). Ветви эмпирической кривой оказались более высокими, а вершина - более плоской, чем у теоретической кривой. Положения главных пиков совпали. Минимальная масса плодов с одного растения составила 5,3 кг, максимальная - 13,9 кг. Кривая распределения была значительно более растянутой, чем в контроле, и целиком смещена в область больших значений. Из выборки исчезли малопродуктивные особи, но появились особи с такой высокой продуктивностью, какой не было в контроле (рис. а). Поэтому можно предположить, что ИД оказывало общее стимулирующее действие, приводящее к появлению высокопродуктивных особей и перемещению кривой вправо. Элиминирующее действие, видимо, было направлено на малопродуктивные особи и привело к укорочению левой ветви кривой. Появление множественных пиков связано с намеренным увеличением количества классовых интервалов.

Наличие двух максимумов продуктивности при увеличении ИД и популяционных изменений указывает на неоднозначность реакции растений на ИД. Вероятно, в стимуляции участвуют по крайней мере два процесса, каждый из которых имеет свою зону действия.

Специальные опыты показали, что обработка ИД в названном диапазоне не оказывает мутагенного действия на растения. В частности, анафаза-телофазным методом не обнаружено aberrаций хромосом [9].

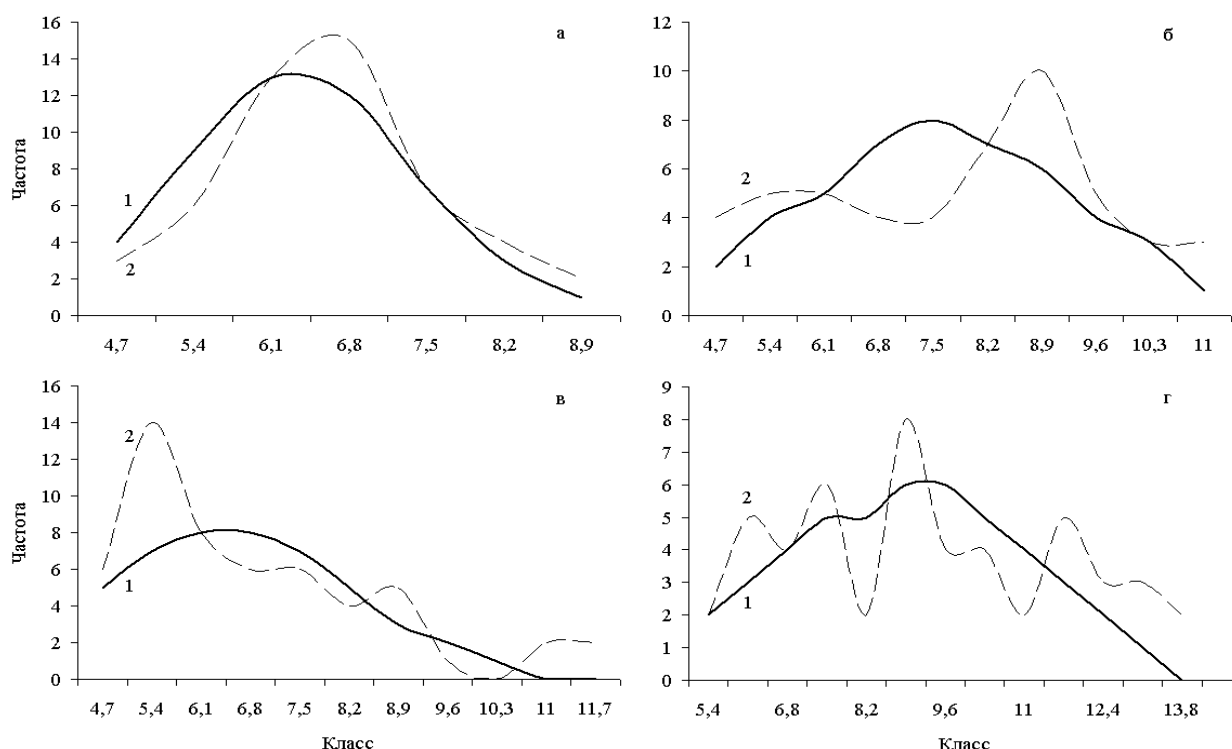


Рисунок. Варьирование продуктивности растений огурца гибрида F_1 Эстафета. Классы построены по массе плодов с одного растения: а – контроль, б – 5 МПа, в – 11 МПа, г – 23 МПа; 1 – нормальное распределение, 2 – эмпирическое распределение

Многолетние исследования показали, что наиболее надежными и абсолютно безопасными для растений огурца являются ИД 4-5 МПа, под действием которых продуктивность увеличивается в среднем на 15-17% для трех исследуемых гибридов.

Стимулирующее действие ИД подтверждено в производственных сельскохозяйственных опытах, где увеличение продуктивности растений составляло 14-15% (табл. 3). Метод был апробирован и внедрен в тепличных хозяйствах городов Пензы, Тамбова, Саранска и др. Его использование на площади 1 га при среднем урожае 20 кг м² в зимне-весеннем обороте позволит получить прибавку урожая 34 т. При сред-

ней стоимости продукции 15 руб. за 1 кг дополнительная прибыль составит свыше 500 тыс. руб./га¹, а затраты на обработку семян - несколько процентов от дополнительной прибыли.

Выводы. Рекомендации

Исследования показали, что давления 4-5 МПа при незначительном снижении всхожести обеспечивают увеличение продуктивности растений от 14 до 21%. Наибольшая отдача урожая наблюдается в первые недели и в середине вегетации. Потенциал продуктивности не снижается до окончания вегетации.

Изучение реакции растений на ИД показало, что данное воздействие способствует не только элиминации

малопродуктивных растений за счет снижения всхожести, но и влияет на физиологические процессы растений. В результате появляются особи со столь высокой продуктивностью, какой не наблюдалось в контроле, то есть ИД оказывает стимулирующее действие.

Апробация в тепличных хозяйствах подтверждает, что предложенный метод обработки семян ИД отличается высокой эффективностью, низкой себестоимостью, поэтому возможно его применение в практике сельского хозяйства для увеличения продуктивности растений огурца гибридов F_1 Эстафета, НИИОХ-416, Маринда в условиях защищенного грунта.

Литература

1. Мокронос А. Т., Гавриленко В. Ф., Жигалова Т. В. Фотосинтез: физиолого-экологические и биохимические аспекты. М.: Академия, 2006. 448 с.
2. Пахомова В. М. Основные положения современной теории стресса и неспецифический адаптационный синдром у растений // Цитология. 1995. Т. 37. № 1-2. С. 66-91.
3. Патент RU 2083073 С1 6А01 С 1/00 А01 Г 7/04. Способ предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур / Э. С. Атрощенко, В. Н. Хрянин [и др.]. Оpubл. 10.07.1997 г. Бюлл. № 19.
4. Пихтовников Р. В., Завьялова В. И. Штамповка листового материала взрывом. М.: Машиностроение, 1964. 176 с.
5. Lane D. A. 2001. HyperStat Online Textbook. Davidmlane.com. <http://davidmlane.com/hyperstat/index.html/>
6. Шмидт В. М. Математические методы в ботанике. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. 288 с.
7. Nefedieva E. E. The Effect of Impulse Pressure on the Crop Productivity and Physiological Characteristics of Some Tomato (*Lycopersicon esculentum*) Hybrids // Greenwich Journal of Science and Technology. 2002. Vol. 3. № 1. P. 51-59.
8. Веселова Т. В. Изменение состояния семян при их хранении, проращивании и под действием внешних факторов (ионизирующего излучения в малых дозах и других слабых воздействий), определяемое методом замедленной люминесценции: автореф. ... д-ра биол. наук. Москва: МГУ, 2008. 48 с.
9. Нефедьева Е. Э., Хрянин В. Н. Динамика митотического индекса корневых меристем проростков гречихи // Цитология. 2000. Т. 42. № 4. С. 412-419.