УДК 633.152:632.11 https://doi.org/10.70739/sstac2025.18

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ СТРЕСС И КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ОСНОВНЫМИ МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИМИ ПРИЗНАКАМИ СУПЕРСАХАРНОЙ КУКУРУЗЫ

[1]Луцкан Е., научный сотрудник**, [1]Боровская А.,** научный сотрудник**,**
[2]Ванькович Н., доктор наук, заведующий лабораторией

[1]Институт генетики, физиологии и защиты растений, ГУМ, Республика Молдова,
[2]Национальный центр по исследованию и производству семян, Институт растениеводства «Порумбень», Республика Молдова

Резюме. Изучено влияние низкотемпературного стресса на прорастание семян суперсахарной синтетической популяции кукурузы Порумбень 300 и взаимосвязь между ее урожайностью и хозяйственно ценными признаками. Отмечено, что обработка семян раствором биорегулятора на фоне низкотемпературного стресса содействовала повышению относительно контроля количества использованной для прорастания корешков и проростков биомассы, что свидетельствует о более активном проявлении устойчивости к стрессовым условиям суперсахарной кукурузы П300. Предпосевная обработка семян (инкрустация) комплексом на основе КМЦ с природным биорегулятором из *Juniperus sabina L*. и красителем из *Phytolacca americana* способствовала образованию початков на растениях кукурузы в 2 раза больше, чем на контрольных делянках. Оценка различий взаимосвязей между основными хозяйственно полезными признаками у популяции кукурузы П300, показала, что наибольшее число высоких положительных значений коэффициентов корреляции наблюдается у вариантов с применением инкрустации семян. В данном случае предпосевная обработка семян обеспечивала укрепление взаимосвязи морфофизиологических признаков с продуктивностью.

Ключевые слова: суперсахарная кукуруза, инкрустация, низкотемпературный стресс, зародышевые корешки, проростки, корреляционные взаимосвязи, урожайность.

Введение

В Республике Молдова посевные площади под кукурузу на зерно в 2024 году составляли 34,5% от всех сельхозугодий [18]. Если распределить направления использования кукурузного зерна на доли, то на продовольствие уходит около 20% зерна кукурузы, на технические цели — 15-20% и порядка двух третьих потребляется животными в качестве питательного корма.

Каждый подвид пищевой кукурузы обладает способностью к адаптации в меняющихся условиях внешней среды в пределах, обусловленных его генотипом. Наиболее возделываемые высокоурожайные гибриды кукурузы с кремнистым и зубовидным строением эндосперма, из которой производят муку, крупу, спирт, а также используют как фураж на корм животным, менее требовательны к температуре и влажности, чем гибриды лопающейся и сахарной кукурузы.

Сахарная кукуруза - это овощная культура, ее используют в консервной промышленности. Как и все овощные культуры, она требовательна к теплу и влажности и выращивается на поливе. Початки стандартной сахарной кукурузы сохраняют свои качества всего 1-2 дня, поскольку сахар быстро превращается в крахмал.

В последние годы важное место в сельском хозяйстве занимает суперсахарная кукуруза и продукты её переработки приобретают всё большую популярность. Зерно ее содержит в два раза больше сахара, чем стандартная кукуруза, и превращение сахара в крахмал происходит гораздо медленнее. Это преимущество позволяет хранить зерно суперсахарной кукурузы в течение более длительного периода времени, доставлять сладкую кукурузу на большие расстояния и использовать для переработки (консервирование и заморозка в зерне и початках) без добавления дополнительного сахара. Однако семена суперсахарной кукурузы мельче стандартной, их продуктивность ниже и они очень чувствительны к холодовому стрессу во время прорастания семян и фазы прорастания всходов, что может привести к снижению силы роста растений и производства зерна.

Так как для выращивания суперсахарной кукурузы в коммерческих целях требуется ранневесенний посев, многие селекционеры прилагают специальные усилия к отысканию линий и гибридов кукурузы, отличающихся более энергичным прорастанием, более мощными всходами, высокой начальной скоростью роста в холодных и сырых почвах и нормальным ростом при относительно низких температурах [15].

Особый интерес, в связи с этим, представляет определение адаптивного потенциала кукурузы. Чем выше способность растения вырабатывать необходимые для жизнедеятельности продукты метаболизма в стрессовом состоянии, тем шире норма реакции данного растения и лучше его способность к адаптации [2].

Для повышения устойчивости растений кукурузы к температурным стрессам за счет стимулирования всхожести и начального роста корешков и проростков семян актуальным является использование физиологически активных соединений – вторичных метаболитов высших растений, обладающих способностью в низких концентрациях оказывать положительное влияние на многие процессы, связанные с жизнедеятельностью растений [3, 10, 17].

Между урожайностью и ее составляющими компонентами существуют взаимосвязи, понимание которых значительно повышает эффективность не только селекционной программы, но и технологий возделывания культуры [4, 6, 9, 19]. Анализ коэффициентов корреляции между различными морфофизиологическими признаками кукурузы имеет значение так как он показывает степень их одновременного влияния на урожайность культуры [7, 8, 14]. Он широко используется для определения характера взаимосвязи между урожайностью зерна и его компонентами, а также для выявления признаков, оказывающих значительное влияние на урожайность для потенциального их использования в качестве критериев селекционного отбора и методов технологии возделывания [15].

Таким образом, анализ коэффициентов корреляции помогает понять факторы, влияющие на урожайность кукурузы. Значительные положительные корреляции между урожайностью зерна и другими признаками, связанными с урожайностью, указывают на то, что улучшение этих признаков может положительно способствовать повышению урожайности зерна и, следовательно, может учитываться при косвенном подборе технологических приемов при возделывании кукурузы [19].

Изучение сопряженности хозяйственно-ценных показателей с использованием корреляционного анализа, выделение признаков, существенно связанных между собой, имеющих важное значение в оптимизации процесса по применению инкрустирования семян природными биорегуляторами с целью повышения продуктивности кукурузы, играет особую роль в возделывании сельскохозяйственных культур.

В наших исследованиях с целью определения потенциала устойчивости суперсахарной кукурузы к низкотемпературным стрессам мы использовали методически доступный критерий интенсивности ростовых реакций как интегрального показателя активности метаболизма растений, их продуктивности и анализ корреляционных связей между основными хозяйственно ценными признаками кукурузы. Для повышения посевных качеств семян использовали экологически безопасные природные биологически активные вещества.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования служили семена среднеспелой синтетической популяции суперсахарной кукурузы Порумбень 300 sh, созданной селекционерами Института растениеводства «Порумбень». В фазе технической спелости зерно содержит 14,0%-16,0% общего сахара, 31,4% крахмала, не содержит декстринов. Отличается крупной морщинистой угловатой зерновкой, состоящей из мучнистого эндосперма.

Для проведения низкотемпературного (cold) теста семена в лабораторных условиях проращивали 7 дней при температуре 10°C, а затем 4 дня при температуре 25°C [5]. Проращивание контрольных и инкрустированных семян проводилось в соответствии с положениями международных правил [11]. После проращивания оценивали общую всхожесть семян, длину корней и проростков, их силу [13], рассчитывалась биомасса резервных веществ, использованная на энергетическую поддержку физиологических процессов и дыхания при прорастании семян, а также эффективность метаболизма [1, 9].

Для полевых испытаний использовали семена суперсахарной кукурузы, обработанные инкрустирующей смесью, хорошо зарекомендовавшей себя при лабораторном тестировании. Повторность полевого опыта – 4-х кратная. Критерием оценки исследования служили такие физиологические показатели, как всхожесть, высота растений, площадь среднего листа, биометрические показатели початка, рассчитывали корреляционные связи между продуктивностью и морфофизиологическими признаками растений.

Для инкрустации семян применяли смесь следующего состава: в качестве прилипателя использовали водный раствор натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) в концентрации 1,0-1,2%; натуральный регулятор роста растений в виде концентрированного экстракта из надземных частей можжевельника казацкого - *Juniperus sabina L* (БР), полученный в лаборатории природных биорегуляторов ИГФЗР. Содержание экстракта: общее количество полифенольных веществ - 38,89±1,67 мгКЭ*/г; флавоноидов - 8,55±0,09 мгКЭ**/г; фенольных кислот - 13,25±0,25 МГКЭ***/г. (Примечание: *GAE - эквивалент галловой кислоты; **QE - эквивалент кверцетина; ***CAE - эквивалент кофейной кислоты). Антиоксидантную активность экстракта, равную IC50=59,19±9,77 мкг/мл, оценивали потенциометрическим методом [10, 12]. Для обработки семян кукурузы использовали биорегулятор, разведенный до концентрации 0,001%.

Семена кукурузы покрывали натуральным красителем красного цвета, полученным из ягод лаконоса американского *Phytolacca americana*. Способ получения этого натурального красителя в виде порошка был запатентован [16]. Антиоксидантная активность полученного натурального красителя, оцененная потенциометрическим методом и выраженная в эквиваленте галловой кислоты, составляет 129,72±2,59мкмоль/г. В составе покрытия натуральный краситель использовался в концентрации 0,3%.

Погодные условия 2024 года

По данным метеорологов Государственной Гидрометеослужбы Молдовы агроклиматические условия в начале вегетационного периода кукурузы 2024 года были весьма благоприятными для роста и развития культуры. Средняя дневная температура воздуха в апреле составляла 14,9^{0}C, что довольно выше среднегодовой температуры, выпало 46 мм осадков, что на 16 мм больше нормы (табл. 1). Температурные показатели в мае не отличались от среднегодовой нормы и составляли в среднем 16,3^{0}C, а количество осадков - 60 мм.

Однако лето 2024 года в Молдове было самым жарким за всю историю метеонаблюдений**.** Средняя температура воздуха во многих районах превысила нормальные значения на 3–4 °C. В начале лета высокий температурный режим повлиял на запасы влаги в почве. Недобор осадков спровоцировал почвенную засуху на большей части территории республики, а высокие температуры отрицательно влияли, прежде всего, на культуры, которые находились в процессе нарастания вегетативной массы - кукурузе и подсолнухе.

Наибольшую потребность во влаге кукуруза испытывает в период за 10 дней до выбрасывания метелки и в последующие 20 дней. Этот период называют *критическим*. Недостаток влаги в фазе молочной спелости часто является причиной преждевременного прекращения налива зерна, формирования мелкого зерна в верхней части початка и, как правило, снижения урожайности.

Осадки распределялись неравномерно**:** основная часть выпала в июне, а июль и август оказались засушливыми. На 60% территории количество осадков не превысило 70–160 мм (40–75% нормы). На остальной территории страны, изолированно в северных и центральных районах, выпало 165–215 мм (85–105% нормы). Высокая температура воздуха и значительный дефицит осадков в течение большей части лета (июль-август) привели к почвенной и атмосферной засухе, что отрицательно сказалось на продуктивности кукурузы (табл. 1).

Результаты и обсуждение

Далеко не все физиологические параметры растений четко отражают их адаптивные возможности, так как описываемые процессы дают неодинаковый вклад в образование биомассы растения в экстремальных условиях. Поэтому для диагностических целей мы использовали оценку изменения таких характеристик организма, которые играют существенную роль в реализации потенциала его устойчивости, а именно показатели общей всхожести семян, длину зародышевых корешков и проростков, использование биомассы на их прорастание, параметры активности метаболизма семян и в конечном итоге продуктивность растений.

Начальная лабораторная всхожесть семян суперсахарной популяции кукурузы П300 составляла 89,0% и изменялась в зависимости от устойчивости к действию температурного стресса и влияния биорегулятора. В контрольных вариантах отмечено снижение всхожести семян, обработанных раствором биорегулятора, на 10,1% относительно контроля. В данном случае длина корешков инкрустированных семян превосходила контрольные показатели на 11,1%, а проростков на 8,2% (табл. 2).

Таблица 1

Агроклиматические условия в период вегетации кукурузы
(Порумбень, центральная зона)

Показатели	**Месяцы**					
	IV	**V**	**VI**	**VII**	**VIII**	**IX**
Температура воздуха, ^{0}C	14.9	16,3	22,8	26,2	25,2	19,0
Многолетний средний показатель температуры, ^{0}C	10,4	16,3	19,9	21,8	21,1	16,0
Отклонения от многолетнего среднего показателя, ^{0}C	+4,5	0,0	+2,9	+4,4	+4,1	+3,0
Атмосферные осадки, мм	**46**	**60**	**100**	**40**	**17**	**191**
Многолетний средний показатель, мм	30	45	65	60	45	30
Отклонения от многолетнего среднего показателя, мм	+16	+15	+35	-20	-28	+160

Применение для прорастания обработанных биорегулятором семян температуры 10^{0}C оказало отрицательное влияние на всхожесть кукурузы П300, их показатели были ниже контрольных водных вариантов на 6,9%. Однако, обработка семян популяции П300 раствором биорегулятора снизила отрицательное влияние низких температур и способствовала увеличению относительно контроля длины корешков на 10,3% и проростков на 17,5%, повышая и их жизнеспособность.

Таблица 2

Реакция роста корешков и проростков семян кукурузы на температурный стресс

Вариант	**Корешки**				**Проростки**			
	длина		**жизнеспособность**		**длина**		**жизнеспособность**	
	см	**± к контролю, %**	**ед.**	**± к контролю, %**	**см**	**± к контролю, %**	**ед.**	**± к контролю, %**
Контроль (вода)	8,92		799,4		5,63		501,3	
БР	9,21	11,1	741,7	-7,2	6,09	8,2	484,1	-3,4
Контроль (вода) (10^{0}C)	5,45	-38,9	454,3	-41,2	3,02	-46,4	250,7	-50,0
БР (10^{0}C)	6,01	10,3	436,7	-3,9	3,55	17,5	256,4	2,3

Избирательное отношение изучаемых семян к стрессовым условиям прорастания выразилось в различном использовании резервных веществ на рост корешков и проростков. В контрольных вариантах для роста зародышевых корешков у П300 расходуется резервных веществ на 11,0% меньше, чем на развитие проростков, а в результате низкотемпературного стресса эта разница увеличивается до 18,0%.

В опытах с применением обработки семян биорегулятором этот показатель снизился до 7,0% в опыте без стресса. Низкотемпературный стресс способствовал использованию резервных веществ корешками для прорастания на 9% меньше проростков (рис. 1).

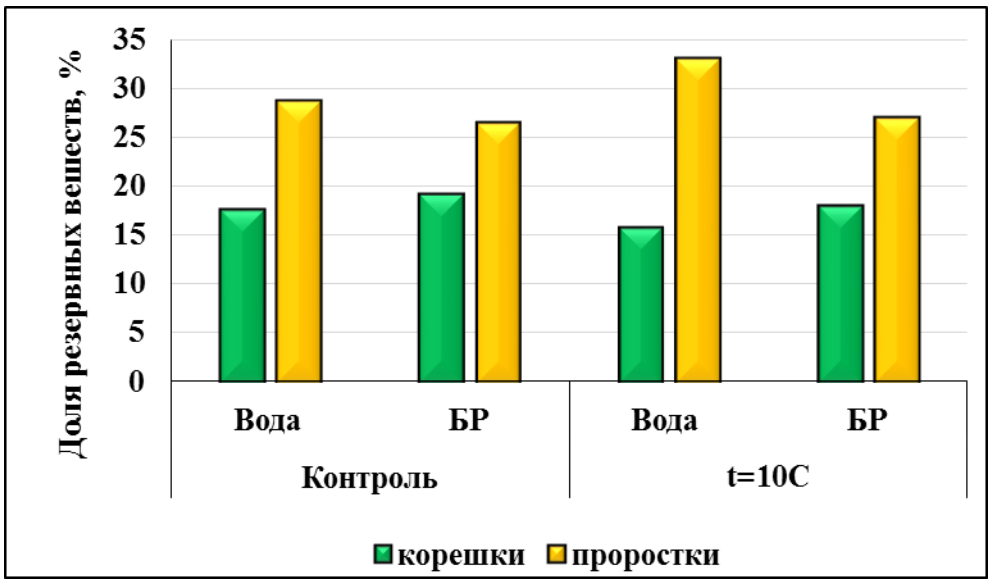

Рисунок 1. Доля резервных веществ, использованных для прорастания семян кукурузы П300

Суммарная доля запасных веществ эндосперма, которую использует популяция П300 для роста корешков и проростков, в контрольных опытах составляла 47,5%. Остальные 52,5% резервных веществ были израсходованы на дыхание в процессе прорастания. Низкотемпературный стресс снизил показатель резервных веществ, ушедших на дыхание, на 1,7%.

Применение БР оказало незначительное влияние на количество использованных для прорастания семян резервных веществ. При проращивании семян без стресса и при 10^0C на дыхание израсходовано на 2,0-4,0% резервных веществ больше относительно контроля соответственно (рис.1).

При этом изучаемая суперсахарная кукуруза характеризовалась уменьшением показателей эффективности использования резервных веществ для прорастания семян в вариантах с обработкой БР. В данном случае отмечено снижение метаболической активности относительно водного контроля на 14,5% в опыте с применением низкой температуры (рис. 2).

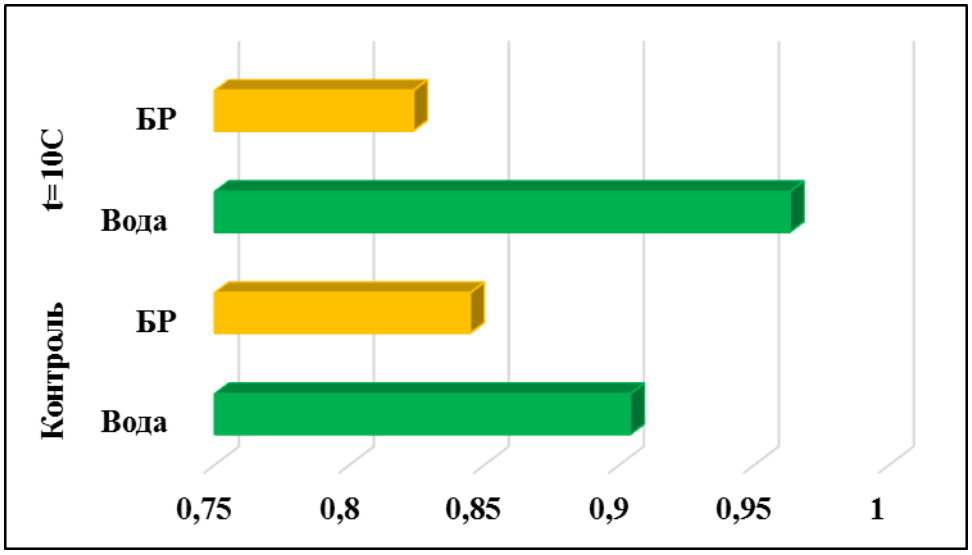

Рисунок 2. Эффективность использования резервных веществ для прорастания семян кукурузы после температурного стресса

Как видно из полученных данных, предпосевное замачивание семян синтетической популяции суперсахарной кукурузы П300 в растворе биорегулятора, полученного из можжевельника казацкого, содействовало на фоне низкотемпературного стресса не только повышению относительно контроля роста зародышевых корешков и проростков, но и количества

использованной для их прорастания биомассы, что свидетельствует об активном проявлении устойчивости к стрессовым условиям.

Изучение влияния инкрустирующего комплекса на основе КМЦ, содержащего биорегулятор природного происхождения из можжевельника казацкого, на морфофизиологические признаки растений кукурузы, проведено, как было сказано выше, в течение крайне жаркого и засушливого лета.

Известно, что начальная фаза роста растений является чрезвычайно чувствительной к неблагоприятным воздействиям внешней среды. В нашем случае всхожесть популяции П300 в опыте с применением инкрустирования семян биорегулятором превысила контрольные показатели на 12,4%. Початков в ряду в этом случае отмечено в 2 раза больше, чем в контроле. Показатели массы початков в опыте оказались меньше контрольных на 10%. Следует отметить, что обработка семян биорегулятором способствовала повышению продуктивности зерна, несмотря на стрессовые погодные условия, относительно контрольных растений (табл.3)

Изучение корреляционных связей продуктивности зерна с физиологическими параметрами роста и развития синтетической популяции суперсахарной кукурузы П300 оказались различными в контрольных и опытных образцах.

Так показатели урожайности кукурузы в контроле положительно коррелировали с показателями лабораторной всхожести семян (коэффициент 0,5528), длины початка, его массы и массы зерна на початке с коэффициентами 0,6674, 0,7417 и 0,5984 соответственно (табл. 4). Интересно отметить, что чем больше масса корешков, проросших в лабораторных условиях с применением низкотемпературного стресса, тем выше показатели полевой всхожести (коэффициент 0,6114) и масса початка (коэффициент корреляции 0,7023). Показатели массы проростков, полученных при t=10^0C, хорошо коррелируют с длиной початков и их массой с коэффициентами 0,5429 и 0,6912 соответственно.

Таблица 3

Влияние инкрустирования семян на морфофизиологические параметры суперсахарной кукурузы Порумбень 300 в полевых условиях

Показатели	± к контролю, %	X min	X max
Всхожесть	**12,4**	20	63,75
Длина растений	**8,4**	131,0	160,0
Площадь среднего листа	**3,2**	336,0	451,0
Количество початков в ряду	**94,5**	11,0	15,0
Длина початка	**1,4**	11,0	17,5
Масса початка	**-1,0**	19,7	60,0
Масса зерна початка	**-10**	12,6	41,2
Влажность зерна при уборке	**0,6**	12,1	12,9
Продуктивность	**60,0**	0,12	0,27

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между хозяйственно ценными признаками суперсахарной кукурузы П300 (контроль)

Параметры	**Продуктивность**	**Всхожесть лаборат**	**Всхожесть 10С**	**Масса корешков**	**Масса кореш. 10С**	**Масса проростков**	**Масса пророст. 10С**	**Всхожесть полевая**	**Высота растения**	**Площадь листа**	**Кол-во початков в ряду**	**Длина початка**	**Масса початка**
Всхожесть лаборат.	0,1725												
Всхожесть 10С	**0,5528**	**0,9024**											
Масса корешков	0,3304	**0,8888**	**0,9223**										
Масса кореш. 10С	-0,5553	0,3179	**0,5441**	0,3467									
Масса проростков	-0,5553	-0,3703	-0,5763	-0,2675	-0,9161								
Масса пророст.	**0,8211**	-0,0163	0,3839	0,1534	**0,8123**	-0,7869							

10С													
Всхожесть полевая	-0,1307	0,2763	0,3123	0,3398	**0,6114**	-0,4061	0,2971						
Высота растения	-0,0330	-0,1446	-0,1838	0,1397	-0,5120	0,7287	-0,3867	-0,3877					
Площадь листа	0,3439	0,1726	0,2005	0,3338	-0,5349	0,4714	-0,2366	-0,6836	**0,6820**				
Кол-во початков	0,4716	-0,0421	0,0844	-0,1909	-0,1354	-0,2277	0,2231	-0,6513	-0,3277	0,3664			
Длина початка	**0,6674**	-0,2874	0,0479	0,1328	0,2088	0,0094	**0,5429**	-0,1075	**0,5519**	0,3989	-0,0812		
Масса початка	**0,7417**	0,3207	**0,5986**	**0,5942**	**0,7023**	-0,5000	**0,6912**	0,2604	0,2077	0,1183	-0,2009	**0,7308**	
Масса зерна початка	**0,5984**	-0,0879	0,1752	0,2760	0,3654	-0,0990	0,4959	-0,0067	**0,5629**	0,2703	-0,2665	**0,9575**	**0,8667**

У кукурузы, полученной при применении инкрустирования семян, выявлены положительные ярко выраженные корреляционные связи между ее продуктивностью и всеми изучаемыми показателями роста и развития растений в полевых условиях (корреляционные коэффициенты составляли от 0,5956 до 0,9447). В данном случае обнаружена незначительная отрицательная корреляция только между продуктивностью кукурузы и площадью листа (коэффициент корреляции -0,2645). Зафиксирована положительная корреляционная связь параметров полевой всхожести с количеством полученных початков, их длиной и массой. Установлена ярко выраженная взаимосвязь биомассы, использованной на прорастание корешков и проростков в лабораторных условиях, с высотой растений, площадью среднего листа и массой зерна початка (табл.5).

Основываясь на результатах корреляционного анализа, установлено, что сила взаимосвязи между продуктивностью зерна и основными хозяйственно ценными признаками кукурузы, полученной из обработанных биорегулятором семян, более ярко выражена, чем у контрольных растений. Интересно подчеркнуть, что увеличение биомассы, использованной на прорастание зародышевых корешков и проростков в лабораторных условиях, способствует тенденции роста растений и биометрических показателей початков. Устойчивость семян к проращиванию при 10^0С повлияла положительно на массу початков больше на контрольном участке. Полученные нами результаты подтвердили возможность использования интенсивности ростовых реакций как интегрального показателя активности метаболизма растений для сравнительной оценки устойчивости гибридов кукурузы пищевого назначения.

Таблица 5

Коэффициенты корреляции между хозяйственно ценными признаками П300 (обработка БР)

Параметры	**Продуктивность**	**Всхожесть лаборат**	**Всхожесть 10С**	**Масса корешков**	**Масса кореш. 10С**	**Масса проростков**	**Масса пророст. 10С**	**Всхожесть полевая**	**Высота растения**	**Площадь листа**	**Кол-во початков в ряду**	**Длина початка**	**Масса початка**
Всхожесть лаборат.	-0,0941												
Всхожесть 10С	-0,0172	-0,6535											
Масса корешков	0,2294	-0,1054	-0,3894										
Масса кореш. 10С	0,2765	0,4629	0,0795	-0,8217									
Масса проростков	0,2765	-0,1798	-0,2240	**0,8779**	-0,9116								

Масса пророст. 10С	-0,2232	0,1127	0,3244	-0,8863	**0,9073**	-0,9930							
Всхожесть полевая	**0,7228**	-0,6833	0,4426	0,0230	-0,2343	0,2247	-0,1493						
Высота растения	**0,5956**	0,0615	-0,3606	**0,5340**	-0,5553	**0,7826**	-0,7842	0,4306					
Площадь листа	-0,2645	-0,4607	-0,0432	**0,7785**	-0,9214	**0,7386**	-0,7442	-0,0287	0,2093				
Кол-во початков	**0,9447**	0,1120	0,0231	0,0662	0,2263	0,0777	-0,0209	**0,5456**	0,4239	-0,4745			
Длина початка	**0,8928**	-0,1761	-0,0829	0,3350	-0,3291	**0,5396**	-0,5015	**0,7763**	**0,8578**	-0,0391	**0,7366**		
Масса початка	**0,7573**	-0,5092	-0,0021	0,3901	-0,5012	**0,5402**	-0,5052	**0,8738**	**0,7232**	0,2005	**0,5050**	**0,9027**	
Масса зерна початка	**0,7713**	-0,0945	-0,4281	**0,6736**	-0,5249	**0,6950**	**0,6937**	**0,5347**	**0,8414**	0,2647	**0,5708**	**0,8710**	**0,8529**

Выводы

Обработка семян раствором биорегулятора на фоне низкотемпературного стресса содействовало повышению относительно контроля количества использованной для прорастания корешков и проростков биомассы, что свидетельствует о более активном проявлении устойчивости к стрессовым условиям суперсахарной синтетической популяции кукурузы Порумбень 300.

Предпосевная обработка семян комплексом на основе КМЦ с природным биорегулятором из *Juniperus sabina L.* и красителем из *Phytolacca americana* способствовала образованию початков на растениях суперсахарной кукурузы П300 в 2 раза больше, чем на контрольных делянках.

Оценка различий взаимосвязей между основными хозяйственно полезными признаками у популяции кукурузы П300, показала, что наибольшее число высоких положительных значений коэффициентов корреляции наблюдается у вариантов с применением инкрустации семян. В данном случае предпосевная обработка семян обеспечивала укрепление взаимосвязи морфофизиологических признаков с продуктивностью.

Благодарность

Работа выполнена в рамках субпрограммы 011101 «Генетические и биотехнологические подходы к управлению агроэкосистемами в условиях изменения климата» и субпрограммы 210101 «Совершенствование и развитие генетических основ для улучшения зародышевой плазмы кукурузы и сорго, производство семян и решение технологических аспектов, идентифицированных в условиях климатических изменений» на 2024-2027 годы, финансируемые Министерством образования и исследований Республики Молдова.

Исследования по получению натурального красителя из ягод лаконоса американского и экстракта можжевельника казацкого были проведены благодаря поддержке Министерства образования, науки, исследований и спорта Словацкой Республики в связи с мобильностью доктора технических наук Раисы Ивановой и доктора биологических наук Дины Елисовецкой в рамках двусторонних стипендиальных программ на 2023-2024 и 2024-2025 годы.

Список литературы

1. Боровская А.Д., Луцкан Е.Д., Иванова Р.А., Ванькович Н.Г. Интенсивность ростовых реакций как интегральный показатель активности метаболизма растений кукурузы. В: Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего. IV Международная научная конференция, ФГБНУ АФИ, Санкт-Петербург, 13–15 сентября 2023 г. – СПб.ФГБНУ АФИ, 2023, с.44-51. ISBN978-5-905200-51-9.

2. Боровский Г.Б. Реакция растительной клетки на неблагоприятные температурные условия. В: Факторы устойчивости растений в экстремальных природных условиях и техногенной среде. Всероссийская научная конференция, Иркутск, 10-13 июня 2013 г. – Иркутск: СИФИБР СО РАН, 2013, с.3-4. ISBN 978-5-91344-512-4.

3. Иванова Р., Боровская А., Луцкан Е., Мащенко Н., Ванькович Н., Мистрец С., Спыну А., Гузун Л. Применение биологически активных веществ природного происхождения для инкрустации семян кукурузы (практические рекомендации). Кишинэу: Гос.универ. Молдовы, 2023. 41 с. ISBN 978-9975-62-595-1.

4. Ильин В.С., Гетц Г.В, Губин С.В., Логинова А.М. Изучение корреляционных связей между основными хозяйственно полезными признаками у инбредных линий кукурузы омской селекции. Успехи современного естествознания. 2016. № 11 (часть 1), с. 43-48.

5. Красновский С.А., Жемойда В.Л. Отбор холодостойких генотипов кукурузы методом холодного проращивания (cold test). Земледелие и селекция в Беларуси. 2016, 52, с.274-280. ISSN 0130-156X.

6. Орлянский Н.А., Орлянская Н.А.. Корреляционные связи урожая зерна у кукурузы**.** Кукуруза и сорго, 2019, №3, с. 3-12.

7. Ahsan M., Hader M. Z, Saleem M., Islam M. Contribution of various leaf morpho-physiological parameters towards grain yield in maize. International Journal of Agricultural and Biology, 2008, p. 546-550.

8. Amin Z., KhodambashI M., Harsmand S. Correlation and path coefficient analysis of seed yield related triats in maize. Journal of Agriculture and Food Sciences, 2013, vol. 5, no. 15, p. 2217 – 2220.

9. Dascaliuc, A., Jelev, N., Ralea, T., Parii, Ia. & Parii Iu. Mobilization of reserve substances of seeds for germination and growth of seedlings in wheat varieties with different frost resistance. Buletinul Academiei de Stiinte a Moldovei. Stiintele Vietii, 2020, 2(341), 67-72.

10. Elisovetscaia, D., Ivanova, R., Ivanisova, E., Vergun, E., Simkova, J. & Brindza, J. Evaluation of antioxidant activity and phenolic compounds of Juniperus sabina from the Republic of Moldova and Slovakia. Program and abstracts of 2nd International Conference on the Scientific Actualities and Innovations in Horticulture SAIH-2018 "Development and technology", 2018, Kaunas, 04-06 June 2018, 28-29.

11. ISTA, International rules for seed testing. Chapter 5: The germination test. 2017 (1), Doi: https://doi.org/10.15258/istarules.2017.05

12. Ivanova, R. Antiradical capacity of seed extracts evaluated by potentiometric procedure. Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality, 2016, Nitra, Slovakia, 140-144.

13. Kerecki, S., Jovicic-Petrovic, J., Kljujev, I., Lalevic, B., Karlicic, V., Petrovic, I. & Raicevic V. (2021). Biopriming: a sustainable support for crop establishment. AGROSYM-2021. Proceedings of XII International Scientific Agriculture Symposium, Jahorina, October 10-13, [editor in chief Dusan Kovacevic]. East Sarajevo: Faculty of Agriculture, Bosnia and Herzegovina, 188-194

14. Menkir A. Genetic variation for grain mineral content in tropical-adapted maize inbred lines. Food Chemistry, 2008, no. 110, p. 454-464.

15. Mohammadi S.A., Prasanna B.M, SingH N.N. Sequential path model for determining interrelationships among grain yield and related characters in maize. Crop Science, 2003, no. 43, p.1690-1697.

16. Patent MD-1817. Process for obtaining the red dye betacyanin from the berries of American pokeweed (Phytolacca americana L.). Application s2024 0046, 2024.04.30. Authors: Ivanova, R., Casian, I. & Casian, A. BOPI, 2025, 1, 41. (2025).

17. Schulze E.D., Beck E., Müller-Hohenstein K. Plant ecology. Springer, 2002, 702 p.

18. Statistica Moldovei, 2024.

19. Yahaya M.S., Bello I., Unguwanrimi Abubakar Yakubu. Correlation and path-coefficient analysis for grain yield and agronomic traits of maize (Zea Mays L.). Science World Journal. 2021, vol. 16, no. 1, p. 10-13. www.scienceworldjournal.org ISSN: 1597-6343 (Online), ISSN: 2756-391X (Print).