

ВЛИЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА СПОСОБНОСТЬ ЗЕРНОВОК ЯЧМЕНЯ К ПРОРАСТАНИЮ И АКТИВНОСТЬ В ПРОРАСТАЮЩЕМ ЗЕРНЕ АМИЛОЛИТИЧЕСКИХ ФЕРМЕНТОВ

Р.Р. Исламгулова, Н.Н. Новиков, И.И. Серегина

*ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный
университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»*

Поступила в редакцию 19.07.2024 г.

Аннотация. Известны биорегуляторы, которые вызывают активизацию физиологических и биохимических процессов, протекающих при прорастании семян. Данное воздействие на процесс прорастания семян осуществляется посредством активации синтеза фитогормонов и многочисленных ферментов. Целью настоящего исследования являлось изучение воздействия биорегуляторных препаратов на физиолого-биохимические процессы прорастающего зерна ячменя, а также активность в нем амилолитических ферментов.

В лабораторных опытах проведены исследования влияния регуляторных препаратов на прорастание ячменя. Зерновки ячменя подвергались замачиванию в растворах регуляторных препаратов в течение одного часа, после чего проращивались в соответствии с требованиями ГОСТ 12038-84 в течение 3, 5 и 7 суток при температуре 20°C. Анализ активности амилаз проводили в зерне проростков, выращенных при температурном режиме 12–14°C. Определение активности изоферментов α - и β -амилазы осуществлялось при pH 5,5, 7 и 8 с использованием фосфатной буферной системы (1/15 М фосфатный буфер) путём измерения количества гидролизованного крахмала. Экспериментальные исследования показали, что применение гиббереллина, новосила и циркона приводило к существенному увеличению энергии прорастания (на 6–7%) и лабораторной всхожести (на 5–6%) семян ячменя. Этот эффект был обусловлен активацией синтеза эндогенных фитогормонов и ускоренным выходом семян из состояния покоя. Наиболее выраженное стимулирование биосинтетических процессов в проростках ячменя наблюдалось при воздействии гиббереллина и новосила. При этом гиббереллин способствовал более значительному увеличению массы корешков, а новосил — массы ростков. В ходе проведенных исследований установлено, что циркон, эпин-экстра, биодукс и гиббереллин оказывали более заметное влияние на активность изоферментов α - и β -амилазы в проросших зерновках ячменя. Под влиянием указанных регуляторных препаратов активность α -амилазы в зерне 7-дневных проростков увеличивалась на 10–116%, β -амилазы – на 13–71%. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что применение регуляторных препаратов циркон, гиббереллин, новосил, эпин-экстра и биодукс оказывало существенное влияние на прорастание семян ячменя, биометрические характеристики проростков и активировало действие α - и β -амилазы в проросшем зерне. Полученные результаты исследований обосновывают целесообразность использования данных препаратов для обработки зерновок ячменя с целью повышения их посевных качеств и способности к солодоращению.

Ключевые слова: пивоваренный ячмень, биорегуляторы, прорастание зерна, морфофизиологические показатели проростков, активность амилаз.

Многочисленные научные исследования подтверждают, что всхожесть семян определяется происходящими в них сложными физиологическими и биохимическими процессами. Запуск этих процессов инициируется фитогормонами,

которые активируются при достижении в семенах оптимального уровня влажности. В процессе прорастания участвуют все основные типы фитогормонов: гиббереллины, ауксины и цитокинины, стимулирующие рост, а также абсцизовая кислота и этилен, обладающие ингибиторным действием [1–3]. К числу соединений, играющих важную

роль в физиологических и биохимических процессах прорастания, также относятся стеролы, лактоны, фенолы и тиамин [4–7].

На начальных стадиях развития растений гиббереллины играют решающую роль в активизации прорастания семян. Они вызывают пробуждение семян из состояния покоя и запускают процесс прорастания [8, 9]. Гиббереллины инициируют в алейроновом слое синтез α -амилаз, которые катализируют гидролиз крахмала в эндосперме и таким образом обеспечивают поступление в зародыш необходимых питательных веществ [2, 10, 11]. Кроме того, эти биологически активные соединения способствуют сокращению периода покоя зародыша, тем самым ускоряя прорастание семян [12]. При переходе семян к прорастанию наиболее значимые изменения в инициации транскрипции генов наблюдаются в тканях зародыша [13, 14].

При ферментативном расщеплении компонентов крахмала важное место занимают α -амилазы, способные катализировать гидролиз амилозы и амилопектина в интактных гранулах крахмала, а также β -амилазы, связанные в эндосперме с запасными белками, которые при прорастании переходят в свободное состояние. В процессе прорастания зерновок количество в них активных форм α - и β -амилаз значительно возрастает [15–19].

Увеличение активности амилаз в процессе прорастания зерновок является одним из способов интенсификации процесса получения солода. В связи с этим проводятся исследования, направленные на изучение влияния различных факторов на активность этих ферментов в зерне проростков, а также биопрепаратов, созданных на основе клеток или биологически активных компонентов микроорганизмов, а также растений. Установлено, что данные биопрепараты способны стимулировать биохимические и физиологические процессы, протекающие при прорастании семян, за счет активации синтеза гидролитических и других ферментов, в том числе амилаз [20–22].

Цель исследований – выяснение действия биорегуляторных препаратов на способность зерновок ячменя к прорастанию и активность в прорастающем зерне амилитических ферментов.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследования проводились с сортом ячменя "Надежный", выведенным в Федеральном исследовательском центре "Немчиновка". Зерно было получено в 2021 году при выращивании растений ячменя на дерново-подзолистой почве, которая характери-

зовалась средним уровнем плодородия. Изучение влияния фиторегуляторов на прорастание семян проводилось в лабораторных условиях на кафедре Агрономической, биологической химии и радиологии Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева.

В течение часа семена ячменя при замачивании подвергались обработке растворами биорегуляторных препаратов: Циркон (ННПП «НЭСТ М») – на основе гидроксикоричных кислот; Эпин-экстра (ННПП «НЭСТ М») – содержит 24-эпибрасинолид; Биодукс (ООО «Органик парк», Россия) – липидный экстракт гриба *Mortierella alpina*, богатый полиненасыщенными жирными кислотами; Агrostимулин (ООО «ВЫСОКИЙ УРОЖАЙ») – содержит фитогормоны и 2,6-диметилпиридин-1-оксид, а также макро- и микроэлементы (цинк, медь, марганец, магний, кальций, железо, натрий, калий); Новосил (ООО НПП «Биохимзащита») – содержит тритерпеновые кислоты, выделенные из хвои сибирской пихты; Силиплант (ННПП «НЭСТ М») – содержит биологически активный кремний и микроэлементы в хелатной форме; Гиббереллин (ПАО «Синтез»). Все препараты использовались в концентрации 0,1 мл на 1 литр деионизированной воды.

Для исследования влияния фиторегуляторов на прорастание семян ячменя, а также на морфофизиологические характеристики проростков, проводился эксперимент с проращиванием зерен в рулончиках из фильтровальной бумаги. Рулоны помещались в стаканы с дистиллированной водой и инкубировались в термостате при температуре $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$ в течение 3, 5 и 7 суток. Активность амилаз определялась в зернах проростков, выращенных по технологии солодоращения при температуре $12\text{--}14^\circ\text{C}$. Оценка энергии прорастания и лабораторной всхожести семян ячменя проводилась согласно ГОСТ 1238-84.

Для оценки активности изоферментов α - и β -амилазы при значениях pH 5,5, 7 и 8 использовался метод, основанный на количественном определении гидролизованного крахмала [23]. В качестве буферной системы применялся фосфатный буфер (1/15 M). Ферментный экстракт получали из 1 г мелкоизмельченного зерна путем экстракции 1%-ным раствором NaCl (10 мл) и перемешивания полученной смеси на электромеханической мешалке в течение 15 минут, после чего проводили центрифугирование с центробежным ускорением 12000 g. При определении активности α -амилаз в половине полученного ферментного экстракта β -амилазы

инактивировали путем нагревания в течение 10 минут при 70°C. Для стабилизации α -амилаз в ферментный экстракт перед нагреванием добавляли небольшое количество ацетата кальция.

Для проведения ферментной реакции в пробирки приливали по 3 мл 2-процентного раствора крахмала и 1/15 молярного фосфатного буфера с заданным рН (5,5, 7, 8), а затем вносили 0,5 мл исходного ферментного экстракта, содержащего суммарно амилаз или раствора α -амилаз после предварительной инактивации β -амилаз. Реакция протекала 5–10 минут при 40°C в (период инкубации зависел от продолжительности проращивания зерна). По окончании реакции действие ферментов останавливали добавлением 2 мл 1 молярного раствора соляной кислоты. В контрольном варианте вместо ферментного раствора к реакционной смеси добавляли 0,5 мл 1%-го раствора хлорида натрия.

Для определения количества крахмала, оставшегося негидролизированным, использовали метод окрашивания 0,3%-ным раствором йода в 0,3%-ном растворе йодида калия с последующим определением оптической плотности раствора при длине волны 670 нм. Активность амилаз измеряли в миллиграммах гидролизованного крахмала за одну минуту в расчете на один грамм сухой массы созревшего или проросшего зерна. Активность изоферментов β -амилазы определяли как разность между общей и α -амилазной активностью.

Статистический анализ полученных экспериментальных данных был осуществлен методом дисперсионного анализа с применением программного обеспечения «Straz» (Версия 2.1, Информационно-вычислительный центр РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева). Все показатели были определены в трехкратных биологических и аналитических повторениях. В таблицах представлены средние значения из трех измерений. Статистическая значимость различий между средними значениями была оценена с использованием критерия наименьшей существенной разности при уровне значимости 5% ($НСР_{05}$).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В ходе научных исследований было установлено, что биологически активные вещества оказывают влияние на физиолого-биохимические процессы прорастания зерна, стимулируя синтез необходимых ферментов [8, 9, 12]. В рамках наших лабораторных исследований изучалось воздействие регуляторных препаратов на способность прорастания и всхожесть зерновок пи-

воваренного ячменя, а также биометрические параметры проростков и активность изоферментов α - и β -амилазы в прорастающем зерне.

Согласно полученным данным, предварительное замачивание ячменных зёрен в растворах циркона, гиббереллина и новосила приводило к существенному увеличению их энергии прорастания на 6–7% и лабораторной всхожести на 5–6% (табл. 1). Это явление объясняется ускорением выхода зерновок из состояния покоя под воздействием данных биопрепаратов, активизацией синтеза фитогормонов и соответствующих ферментов, запускающих процесс прорастания зерна [13, 14, 21].

Таблица 1
Влияние регуляторных препаратов на прорастание и всхожесть зерновок ячменя сорта Надежный (%)

Варианты опыта	Энергия прорастания	Лабораторная всхожесть
Контроль (замачивание в воде)	88	91
Циркон	94	96
Эпин-экстра	90	92
Силиплант	89	92
Гиббереллин	95	97
Новосил	95	96
Агростимулин	90	92
Биодукс	91	94
$НСР_{05}$	5	5

Под воздействием изученных в наших опытах биорегуляторов существенно возрастали биометрические показатели 7-суточных проростков ячменя: длина ростков и корешков, а также их сухая масса (табл. 2). Наиболее сильным действием отличался гиббереллин как активный инициатор прорастания зерновок [8, 9, 12]. Под его воздействием длина ростков увеличивалась в 2,3 раза, корешков – в 1,2 раза, в результате чего сухая масса ростков возрастала в 2,1 раза, корешков – в 3,2 раза. По своему действию на рост корешков и ростков гиббереллин превосходил другие регуляторные препараты, которые тем не менее существенно превышали показатели контроля, кроме биодукса, который не влиял на длину корешков, но существенно увеличивал длину ростков, а также массу ростков и корешков.

Следует отметить особенности действия на развитие проростков ячменя биорегулятора новосил, который по влиянию на длину корешков и ростков уступал гиббереллину, а по массе ростков и в целом проростков превосходил его, что свидетельствовало о более сильном действии этого регуляторного препарата на биосинтез в ростках органических веществ.

Изменения биометрических показателей 7-суточных проростков ячменя сорта Надежный под воздействием биорегуляторов

Варианты	Длина, см		Сухая масса ростков и корешков 100 проростков, г		Сухая масса 100 проростков, г
	ростков	корешков	масса ростков	масса корешков	
Контроль	6,9	8,5	4,4	3,2	7,6
Циркон	11,9	9,3	6,7	7,7	14,4
Эпин-экстра	11,4	9,1	7,8	8,4	16,2
Гиббереллин	15,8	10,5	9,3	10,2	19,5
Новосил	12,2	9,0	13,2	9,8	23,0
Агростимулин	11,7	9,6	6,9	7,8	14,7
Биодукс	12,0	8,7	8,3	9,2	17,5
Силиплант	10,9	9,9	6,3	8,7	15,0
НСР ₀₅	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4

При прорастании семян важную роль играют амилотические ферменты, которые расщепляют запасной крахмал на низкомолекулярные соединения, обеспечивающие рост и развитие проростков [17–19]. Наши исследования в опытах с проростками ячменя показали, что наибольшая активность в прорастающем зерне наблюдалась у кислых изоферментов α - и β -амилазы. Активность нейтральных амилаз была значительно ниже и еще ниже отмечалась активность щелочных амилаз (табл. 3, 4; рис. 1, 2).

Изучение воздействия изученных биорегуляторов на активность изоферментов α -амилазы в зер-

новках ячменя после их 7-суточного проращивания показало, что наибольшую эффективность имел циркон. Под его влиянием активность указанных изоферментов увеличивалась на 31–116%. Также было отмечено значительное повышение активности α -амилаз (на 25–87 %) при применении биорегулятора эпин-экстра. Гиббереллин оказывал умеренный эффект, увеличивая активность α -амилаз на 10–51 %.

Биорегулятор силиплант показал наименьший эффект, повышая активность α -амилазы в зерне ячменя после его 7-суточного проращивания на 11–37 %. Биодукс оказывал более избирательное

Таблица 3

Изменение активности изоферментов α -амилазы в зерне 7-суточных проростков ячменя под воздействием биорегуляторов (мг гидролизованного крахмала за одну минуту в расчете на 1 г сухого вещества)

Варианты	Изоферменты α -амилазы		
	Кислые, pH=5.5	Нейтральные, pH=7.0	Щелочные, pH=8.0
Контроль (замачивание в воде)	434	252	221
Эпин-экстра	810	413	276
Циркон	818	543	290
Силиплант	584	344	246
Агростимулин	602	299	231
Биодукс	673	429	259
Гиббереллин	644	380	243
Новосил	469	257	222
НСР ₀₅	32	18	12

Таблица 4

Изменение активности изоферментов β -амилазы в зерне 7-суточных проростков ячменя под воздействием биорегуляторов (мг гидролизованного крахмала за одну минуту в расчете на 1 г сухого вещества)

Варианты	Изоферменты β -амилазы		
	Кислые, pH=5.5	Нейтральные, pH=7.0	Щелочные, pH=8.0
Контроль (замачивание в воде)	275	125	84
Эпин-экстра	384	156	130
Циркон	469	167	130
Силиплант	269	134	108
Агростимулин	300	132	112
Биодукс	334	173	123
Гиббереллин	382	143	108
Новосил	311	129	89
НСР ₀₅	17	7	6

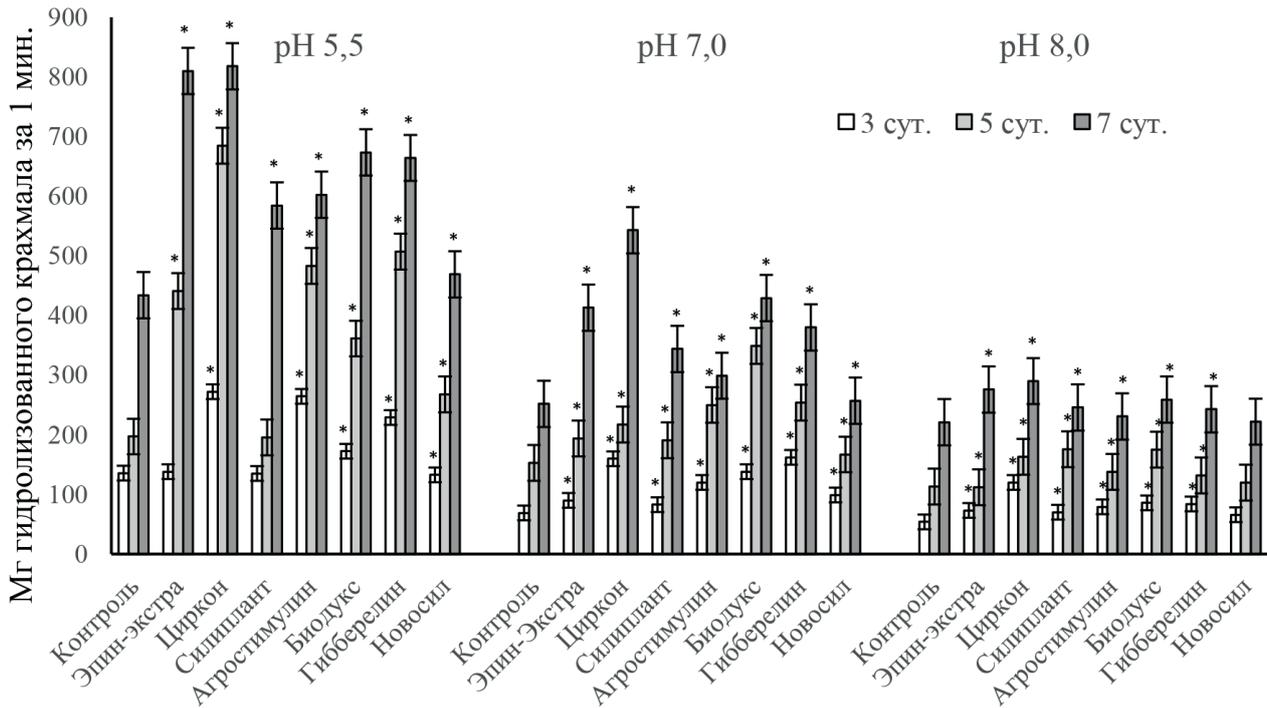


Рис. 1. Влияние биорегуляторов на активность изоферментов α -амилазы в прорастающем зерне ячменя. Обозначения * – отличия от контроля статистически достоверны при P < 0,05

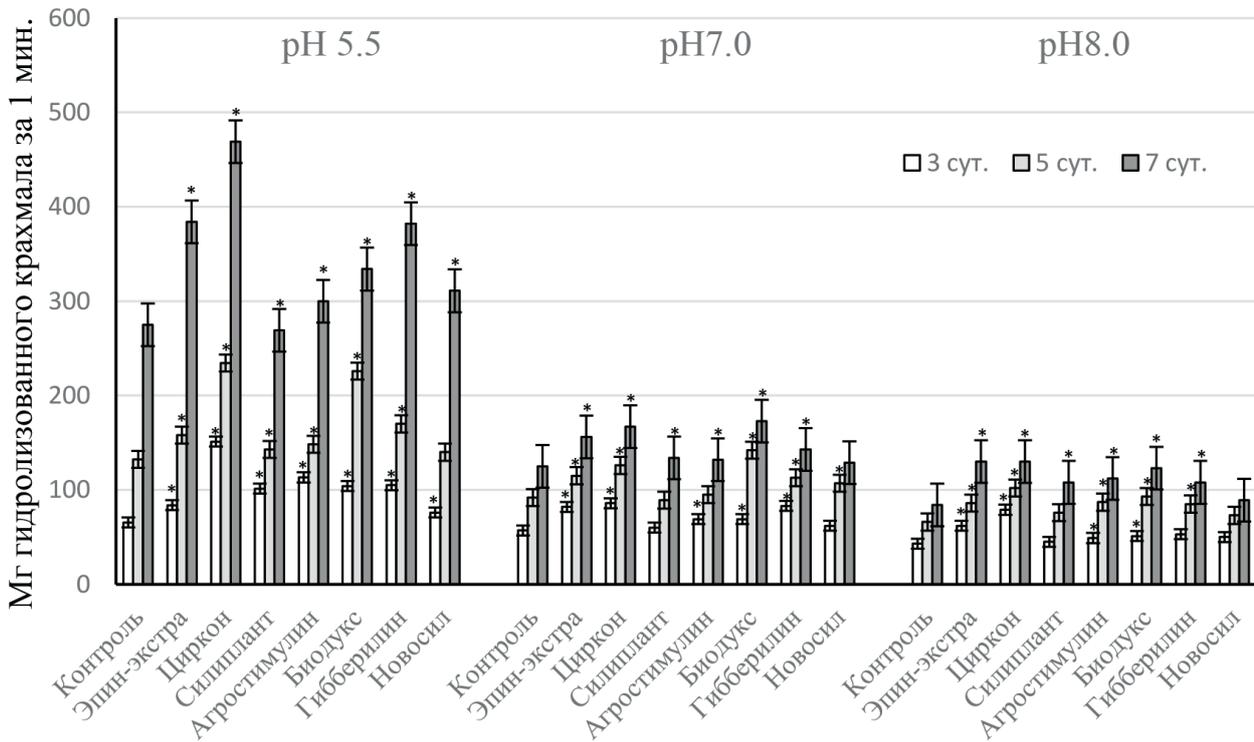


Рис. 2. Влияние биорегуляторов на активность изоферментов β -амилазы в прорастающем зерне ячменя. Обозначения * – отличия от контроля статистически достоверны при P < 0,05

воздействие, увеличивая активность кислых изоферментов α -амилазы на 55%, а нейтральных – на 71%. Агростимулин также стимулировал повышение активности α -амилаз, но в меньшей степени, чем Биодукс: на 39% кислых изоферментов и

на 19% – нейтральных. Наименее эффективным оказался Новосил, который повышал активность кислых α -амилаз лишь на 8%.

Как показали опыты, наибольшее влияние на активность β -амилаз в зерне семидневных про-

ростков ячменя имели биорегуляторы циркон, эпин-экстра, гиббереллин и биодукс. Применение циркона привело к увеличению активности изоферментов β -амилазы на 21–71 %, эпин-экстра – на 13–54 %, биодукса – на 21–46 %, гиббереллина – на 14–39 %. Кроме того, установлено положительное влияние агростимулина и силипланта на активность щелочных изоферментов β -амилазы (увеличение их активности на 33% и 28% соответственно). Новосил оказал наименьшее влияние, повысив активность кислых β -амилаз на 13%.

Таким образом, исследования показали, что циркон, эпин-экстра, биодукс и гиббереллин оказывали наибольшее влияние на активность α - и β -амилаз в проросших зерновках ячменя. Биорегуляторы агростимулин и силиплант имели менее выраженный эффект. Минимально значимое воздействие на активность указанных ферментов было зафиксировано при применении новосила.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования влияния биорегуляторов (циркон, гиббереллин, эпин-экстра, новосил, биодукс, агростимулин, силиплант) на физиолого-биохимические процессы прорастания семян ячменя было установлено, что гиббереллин, новосил и циркон достоверно увеличивали показатели их энергии прорастания (на 6–7%) и лабораторную всхожесть (на 5–6%). Это происходило за счет стимуляции синтеза эндогенных фитогормонов, которые ускоряли выход зерновок из состояния покоя.

Все указанные регуляторные препараты существенно увеличивали массу 7-суточных проростков в результате активизации биосинтетических процессов как в ростках, так и корешках. Наиболее заметное усиление этих процессов происходило под воздействием гиббереллина и новосила, причем под действием гиббереллина более интенсивно возрастала масса корешков, а новосила – масса ростков.

В ходе лабораторных опытов было установлено, что циркон, эпин-экстра, биодукс и гиббереллин оказывали более выраженное стимулирующее воздействие на активность изоферментов α - и β -амилазы в проросших зерновках ячменя. Применение данных регуляторных препаратов обусловило повышение активности α -амилаз в зерне 7-дневных проростков на 10–116 %, а β -амилаз – на 13–71 %.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что применение регуляторных препаратов циркон, гиббереллин, новосил, эпин-экстра и биодукс оказывало существенное влияние на прораста-

ние семян ячменя, биометрические характеристики проростков и активировало действие α - и β -амилаз в проросшем зерне. На основании полученных результатов можно сделать вывод о целесообразности использования данных препаратов для обработки зерновок ячменя с целью повышения их посевных качеств и способности к солодоращению.

При этом следует отметить разнонаправленное действие некоторых биорегуляторов, таких как гиббереллин, новосил, биодукс. Гиббереллин усиливал рост корешков и ростков, новосил наиболее активно увеличивал массу ростков, а биодукс – длину ростков, что может служить обоснованием для совместного применения этих биопрепаратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Burrows V. D. A naked oat mutant with very short rachillas / V.D. Burrows, C.F. Konzak, Mc Diamid, G.J. Dey // Canadian Journal Plant Science. – 2001. – Vol. 82. – No. 1. – P. 83 – 84.
2. Дамдинсүрэн А., Фараджева Е.Д., Востриков С.В. Ферментные препараты при производстве светлого пивоваренного солода // Пиво и напитки. – 2003. – No 6. – С. 22–23.
3. Никитенко А.Н., Домаш В.И., Шейко А.Ч. Исследование аминокислотного состава белков семян злаковых и зернобобовых культур белорусской селекции // Труды БГТУ. Серия 2. Химические технологии, биотехнология, геоэкология. – 2015. – No 4(177). – С. 211–215.
4. Koornneef M. Seed dormancy and germination / M. Koornneef, L. Bentsink, H. Hilhorst // Current Opinion in Plant Biology. – 2002. – Vol. 5.– No. 1. – P. 33–36.
5. Мамытова Н.С., Хакимжанов А.А., Фурсов О.В. Гибберелловая и абсцизовая кислоты как регуляторы α -амилазы зародыша со щитком и алейроновым слоем зерна пшеницы // Физиология растений и генетика. – 2014. – No 2. – Т. 46. – С. 143–150.
6. Котляров Д. В. Физиологически активные вещества в агротехнологиях. Монография. / Д.В. Котляров, В.В. Котляров, Ю.П. Федулов – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 224 с.
7. Бишарев А.А., Шевченко С.Н., Мадякин Е.В. Влияние агрометеорологических условий на урожай зерна ярового ячменя в условиях Среднего Поволжья // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. – Т. 20. – No 2. – С. 667–670.
8. Shu K. Two faces of one seed : hormonal regulation of dormancy and germination / K. Shu,

X.D. Liu, Q. Xie, Z.H. He // Mol. Plant. – 2016. – Vol. 9.– No. 1. – P. 34–45.

9. Битаршвили С.В. Оценка роли фитогормонов в формировании адаптивных реакций при γ -облучении семян: специальность 03.01.01. «радиобиология»: автореферат диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Битаршвили София Валерьевна: Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии. – Обнинск, 2019. – 139 с.

10. Gubler F. Gibberellin signaling in barley aleurone cells. Control of SLN1 and GAMYB expression / F. Gubler, P.M. Chandler, R.G. White. et al. // Plant Physiol. – 2002. – Vol. 129. – No.1.– P. 191–200.

11. Чанчикова А.А., Каменская Е.П. Исследование влияния ферментных препаратов на показатели качества светлого ячменного солода // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2020. – № 5(64). – С. 17–22.

12. Баланов П.Е. Технология солода. Учеб.-метод. пособие / П.Е. Баланов, И.В. Смотраева – СПб: НИУ ИТМО. ИХиБТ, 2014. – 82 с.

13. Sreenivasulu N. Barley grain maturation and germination: metabolic pathway and regulatory network commonalities and differences highlighted by new MapMan/PageMan profiling tools / N. Sreenivasulu, B. Usadel, A. Winter, V. Radchuk, U. Scholz, N. Stein, W. Weschke, M. Strickert, T. J. Close, M. Stitt, A. Graner, U. Wobus // Plant Physiol. – 2008. – Vol. 146. – No.4. – P. 1738–1758.

14. Yamaguchi S. Gibberellin metabolism and its regulation / S. Yamaguchi // Annu. Rev. Plant Biol. – 2008. – Vol. 59.– No. 1. – P. 225–251.

15. Казаков Е.Д. Биохимия зерна и хлебопродуктов. Учебное пособие / Е.Д. Казаков, Г.П. Карпиленко – СПб: ГИОРД, 2005. – 512 с.

16. Бэмфорт Ч. Новое в пивоварении (пер. с англ. Боровиковой Е.С., Горожанкиной И.С) / Ч. Бэмфорт – СПб.: Профессия, 2007. – 520 с.

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

Исламгулова Регина Рафиковна, аспирант кафедры агрономической, биологической химии и радиологии

E-mail: 17regin@mail.ru

Новиков Николай Николаевич, доктор биологических наук, профессор кафедры агрономической, биологической химии и радиологии

E-mail: tshanovikov@gmail.com

17. Хозиев О.А. Технология пивоварения. Учебное пособие / О.А. Хозиев, А.М. Хозиев, В.Б. Цугкиева – СПб., Москва, Краснодар: Лань, 2012. – 560 с.

18. Бондаренко Л. С. Изоферменты α -амилазы и их генетический контроль у мягкой пшеницы: специальность 03.02.07« Генетика» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Бондаренко Людмила Сергеевна; Московский с.-х. акад. им. К.А. Тимирязева. – Москва, 2017. – 21 с.

19. Новиков Н.Н., Соловьева Н.Е. Формирование пивоваренных свойств зерна ячменя в зависимости от режима питания и применения фиторегуляторов при выращивании на дерново-подзолистой почве // Известия ТСХА. – 2020. – № 2. – С. 5–19.

20. Витол И.С., Бобков А.А., Карпиленко Г.П. Углеводно-амилазный комплекс и технологические показатели качества пивоваренного ячменя, выращенного в условиях Нечерноземья // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2007. – № 2. – С. 24–27.

21. Кацурба Т.В., Евстафьев С.Н., Франтенко В.К., Дёмина А.И. Селенит натрия как интенсификатор солодоращения для пивоваренного ячменя // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2018. – Т. 8. – № 1. – С. 67–73.

22. Исламгулова Р.Р., Новиков Н.Н., Серегина И.И. Активность амилолитических и антиоксидантных ферментов (каталаз, пероксидаз) при солодоращении зерна ячменя в зависимости от размера зерновок и применяемых фиторегуляторов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2022. – № 1(37). – С. 13–28.

23. Новиков Н.Н. Лабораторный практикум по биохимии растений. Учебное пособие / Н.Н. Новиков, Т.В. Таразанова – М.: Изд. РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2012. – 97 с

Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev

Islamgulova Regina Rafikovna, Postgraduate Student, Department of Agronomic, Biological Chemistry and Radiology

E-mail: 17regin@mail.ru

Novikov Nikolai Nikolaevich, PhD., DSci., Full Professor, Dept. Agronomic, Biological Chemistry and Radiology

E-mail: tshanovikov@gmail.com

Серегина Инга Ивановна, доктор биологических наук, профессор кафедры агрономической, биологической химии и радиологии
E-mail: seregina.i@inbox.ru

Seregina Inga Ivanovna, PhD., DSci., Full Professor, Dept. Agronomic, Biological Chemistry and Radiology
E-mail: seregina.i@inbox.ru

EFFECT OF BIOLOGICALLY ACTIVE PREPARATIONS ON GERMINABILITY OF BARLEY GRAINS AND ACTIVITY OF AMYLOLYTIC ENZYMES IN GERMINATING SEEDS

R.R. Islamgulova, N.N. Novikov, I.I. Seregina

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev

Abstract. Bioregulators are known that stimulate physiological and biochemical processes occurring during seed germination. This effect on the process of seed germination is achieved through the activation of the synthesis of phytohormones and numerous enzymes. The purpose of this study was to study the effect of bioregulatory preparations on the physiological and biochemical processes of germinating barley grain, as well as the activity of amylolytic enzymes in it. In laboratory experiments, the influence of regulatory preparations on barley germination was studied. Barley grains were soaked in solutions of regulatory preparations for one hour, after which they were germinated in accordance with the requirements of GOST 12038-84 for 3, 5 and 7 days at a temperature of 20°C. Analysis of amylase activity was carried out in the grain of sprouts grown at a temperature of 12–14°C. Determination of the activity of α - and β -amylase isoenzymes was carried out at pH 5.5, 7 and 8 using a phosphate buffer system (1/15 M phosphate buffer) by measuring the amount of hydrolyzed starch. Experimental studies have shown that the use of gibberellin, novosil and zircon led to a significant increase in germination energy (by 6–7 %) and laboratory germination (by 5–6 %) of barley seeds. This effect was due to activation of endogenous phytohormones synthesis and accelerated emergence of seeds from dormancy. The most pronounced stimulation of biosynthetic processes in barley sprouts was observed under the influence of gibberellin and novosil. In this case, gibberellin contributed to a more significant increase in rootlet mass, and novosil contributed to a more significant increase in sprout mass. The conducted studies established that zircon, epin-extra, biodux and gibberellin had a more noticeable effect on the activity of α - and β -amylase isoenzymes in sprouted barley grains. Under the influence of the specified regulatory preparations, the activity of α -amylases in the grain of 7-day-old sprouts increased by 10–116%, β -amylases – by 13–71%. The obtained experimental data indicate that the use of regulatory preparations zircon, gibberellin, novosil, epin-extra and biodux had a significant effect on the germination of barley seeds, biometric characteristics of sprouts and activated the action of α - and β -amylases in the sprouted grain. The obtained research results substantiate the advisability of using these preparations for treating barley grains in order to improve their sowing qualities and ability to malt.

Keywords: brewing barley, bioregulators, grain germination, morphophysiological indicators of seedlings, amylase activity.

REFERENCES

1. Burrows V. D. A naked oat mutant with very short rachillas / V.D. Burrows, C.F. Konzak, Mc Diamid, G.J. Dey // Canadian Journal Plant Science. – 2001. – Vol. 82. – № 1. – P. 83 – 84.
2. Damdinsuren A., Faradzheva E.D., Vostrikov S.V. Enzyme preparations in light brewing malt production // Pivo i Napitki. – 2003. – No. 6. – P. 22–23.
3. Nikitenko A.N., Domash V.I., Sheyko A.Ch. Study of the amino acid composition of proteins of seeds of cereals and leguminous crops of Belarusian selection // Trudy BGTU. Seriya 2. Khimicheskie tekhnologii, biotekhnologiya, geokologiya. – 2015. – No. 4(177). – P. 211–215.
4. Koornneef M. Seed dormancy and germination / M. Koornneef, L. Bentsink, H. Hilhorst // Current Opinion in Plant Biology. – 2002. – Vol. 5. – № 1. – P. 33–36.
5. Mamytova N.S., Khakimdzanov A.A., Fursov O.V. Gibberellic and abscisic acids as regulators of α -amylase in the germ with scutellum and aleurone

layer of wheat grain // *Fiziologiya rasteniy i genetika*. – 2014. – No. 2. – T. 46. – P. 143–150.

6. Kotlyarov D.V. Physiologically active substances in agricultural technologi. Monographes / D.V. Kotlyarov, V.V. Kotlyarov, Yu.P. Fedulov – Krasnodar: KubGAU, 2016. – 247 p.

7. Bisharev A.A., Shevchenko S.N., Madyakin E.V. Impact of agrometeorological conditions on spring barley grain yield in the Middle Volga region // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tshentra Rossiyskoy akademii nauk*. – 2018. – T. 20. – No. 2. – P. 667–670.

8. Shu K. Two faces of one seed : hormonal regulation of dormancy and germination / K. Shu, X.D. Liu, Q. Xie, Z.H. He // *Mol. Plant*. – 2016. – Vol. 9. – № 1. – P. 34–45.

9. Bitarishvili S.V. Otsenka roli Fitogormonov v formirovanii adaptivnykh reaktshiy pri γ -obluchenii semyan : spetsi-al'nost' 03.01.01. "radiobiology": avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata biologicheskikh nauk/ Bitarishvili Sofia Valeryevna ; Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy instituteradiologii i agroekologii. – Obninsk, 2019. – 139 p.

10. Gubler F. Gibberellin signaling in barley aleurone cells. Control of SLN1 and GAMYB expression / F. Gubler, P.M. Chandler, R.G. White. et al. // *Plant Physiol*. – 2002. – Vol. 129. – № 1. – P. 191–200.

11. Chanchikova A.A., Kamenskaya E.P. Study of the effect of enzyme preparations on the quality attributes of light barley malt // *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatshionnykh pitchevykh produktov*. – 2020. – No. 5(64). – P. 17–22.

12. Balanov P.E. Malt technology. Study method. stipend / P.E. Balanov, I.V. Smotraeva – SPb: NIU ITMO. IHiBT, 2014. – 82 p.

13. Sreenivasulu N. Barley grain maturation and germination: metabolic pathway and regulatory network commonalities and differences highlighted by new MapMan/PageMan profiling tools / N. Sreenivasulu, B. Usadel, A. Winter, V. Radchuk, U. Scholz, N. Stein, W. Weschke, M. Strickert, T. J. Close, M. Stitt, A. Graner, U. Wobus // *Plant Physiol*. – 2008. – Vol. 146. – № 4. – P. 1738–1758

14. Yamaguchi S. Gibberellin metabolism and its regulation / S. Yamaguchi // *Annu. Rev. Plant Biol.* – 2008. – Vol. 59. – № 1. – P. 225–251.

15. Kazakov E.D. Biochemistry of grain and bakery products. Uchebnoe posobie. / E.D. Kazakov, G.P. Karpilenko – SPb : GIOR, 2005. – 512 p.

16. Bemfort Ch. New in brewing (per. S angl. Borovikovoy E.S., Gorozgankinoy I.S.) / Ch. Bemfort – SPb.: Professiya, 2007. – 520 p.

17. Khoziev O.A. Brewing technology. Uchebnoe posobie. / O.A. Khoziev, A.M. Khoziev, V.B. Tsugkueva – SPb., Moskva, Krasnodar: Lan, 2016. – 560 p.

18. Bondarenko L.S. α -Amylase isoenzymes and their genetic control in bread wheat : avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni kandidata biologicheskikh nauk : Mosk. s.-h. akad. im. K.A. Timiryazeva. – Moskva, 2017. – 21 p.

19. Novikov N.N., Soloveva N.E. Formation of brewing properties of barley grain depending on the feeding regime and the use of phyto regulators when growing on sod-podzolic soil // *Izvestiya TSHA*. – 2020. – № 2. – P. 5–19.

20. Vitol I.S., Bobkov A.A., Karpilenko G.P. Carbohydrate- amylase complex and technological quality indicators of malting barley grown in the Non-Black Earth Region // *Izvestiya BUZov. Pitshevaya tekhnologiya*. – 2007. – № 2. – P. 24–27.

21. Katsurba T.V., Evstafyev S.N., Frantenko V.K., Demina A.I. Sodium Selenite as a Malting Intensifier for Brewing Barley // *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya*. – 2018. – T. 8. – № 1. – P. 67–73.

22. Islamgulova R.R., Novikov N.N., Seregina I.I. Activity of amylolytic and antioxidant enzymes (catalases, peroxidases) during malting of barley grain depending on the size of grains and the phyto regulators used *Izvestiya vysshykh uchebnykh zavedeniy // Povolzskiy region. Estesstvennyye nauki*. – 2022. – № 1(37). – P. 13–28.

23. Novikov N.N., Tarazanova T.V. Laboratory practical training in plant biochemistry. Study guide / N.N. Novikov, T.V. Tarazanova – M.: Izd. RGAU – MSHA im. K.A. Timiryazeva, 2012. – 97 p.