

ния интродукции, селекции и повышения эффективности семеноводства сельскохозяйственных растений на основе оценки сопряженности фундаментальных физиологических процессов».

Список литературы

- 1 Compant S., Samad A., Faist H., Sessitsch A. A review on the plant microbiome: Ecology, functions, and emerging trends in microbial application // J. Adv. Res. 2019. V. 19. P. 29–37. doi: 10.1016/j.jare.2019.03.004.
- 2 Дегтярь О.В., Чернявских В.И. О состоянии степных сообществ юго-востока Белгородской области // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Биология. 2004. № 2. С. 254–258.
- 3 Думачева Е.В., Чернявских В.И. Биоресурсный потенциал бобовых трав на меловых обнажениях и карбонатных почвах Европейской России. Белгород : Издательский дом "Белгород", 2014. 144 с.
- 4 Studies of biological resources of *Urtica dioica* L. As initial material for breeding / E.V. Dumacheva, V.I. Cherniavskih, A.V. Prisniy [et al.] // Journal of International Pharmaceutical Research. 2018. Vol. 45. P. 473–476.
- 5 Leach J.E., Triplett L.R., Argueso C.T., Trivedi P. Communication in the phytobiome // Cell. 2017. V. 169, No 4. P. 587–596. doi: 10.1016/j.cell.2017.04.025.
- 6 Бабьева И.П., Голубев В.И. Методы выделения и идентификации дрожжей. М.: Пищевая промышленность, 1979. 120 с.
- 7 Sajfutdinova L.D., Kosolapov V.M., Cherniavskih V.I., Dumacheva E.V. Influence of ecological conditions of various habitats on individual morpho-biological and physiological features of *Hedysarum grandiflorum* Pall seeds // Materials v international youth applied research Forum “oil capital”, Khanty-Mansyisk Autonomous Okrug-Yugra, 23–24 марта 2023 года. AIP PUBLISHING, 2023. P. 040005–04005.
- 8 Лавренчук Л.С., Ермошин А.А. Микробиология. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета. 2019. 107 с.

DOI 10.18699/GPB2024-30

Влияние источника углеводов на параметры гаплопродукции в культуре пыльников тритикале (*×Triticosecale* Wittm.)

Дьячук Т.И. *, д.б.н, гл.н.с., Хомякова О.В., к.б.н., в.н.с., Акинина В.Н., к.б.н., в.н.с., Жилин С.В., аспирант, Калашикова Э.В., н.с., Сайфетдинов Е.А., м.н.с.

Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, Саратов, Россия

*email: cell_selection@list.ru

В статье представлены результаты сравнительной эффективности получения гаплоидных растений тритикале в культуре пыльников в зависимости от источника углеводов в индукционной питательной среде. Установлено, что замена сахарозы мальтозой привела к увеличению частоты формирования андрогенетических структур. Однако увеличение параметров, характеризующих ин-

дукцию андрогенеза, не сопровождалось увеличением значений параметров регенерации растений. Выход зеленых растений на 100 структур снизился на среде с мальтозой у генотипа №3, не изменился у генотипов №1 и №5 и увеличился у генотипа №2. Выявленная эффективность мальтозы обусловлена более высокой частотой формирования андрогенных структур, а не их улучшенной дифференцировкой в сравнении с сахарозой.

Ключевые слова: тритикале, селекция, гаплоидия, культура пыльников, углеводы.

Effect of carbon source on parameters of haploid production in triticale anther culture ($\times$ *Triticosecale* Wittm.)

Dyachuk T.I., Khomyakova O.V., Akinina V.N., Zhilin S.V., Kalashnikova E.V., Saifetdinov E.A.*

Federal State Budgetary Scientific Organization «Federal Center of Agriculture Research of the South- East Region». Saratov, Russia

**email: cell_selection@list.ru*

The article presents the results of the comparative effectiveness of obtaining haploid triticale plants in anther culture, depending on the source of carbohydrates in the induction medium. It was found that replacing sucrose by maltose led to an increase in the frequency of formation of androgenetic structures. However, the increase in parameters characterizing the induction of androgenesis was not accompanied by an increase in the values of plant regeneration parameters. Yield of green plants per 100 structures decreased on the medium with maltose in genotype No. 3, did not change in genotypes No. 1 and No. 5, and increased in genotype No. 2. The revealed effectiveness of maltose is due to a higher frequency of formation of androgenic structures, and not to their improved differentiation compared to sucrose.

Key words: triticale, breeding, haploidy, anther culture, carbohydrates.

Удвоенные гаплоиды являются эффективным источником получения гомозиготных линий по сравнению с традиционной селекцией. Применение метода культуры пыльников в селекции и генетике растений зависит от частоты формирования зеленых растений, успешности удвоения числа хромосом и стабильности удвоенных гаплоидов (ДН-линий) [3, 10]. Эффективность получения зеленых растений обусловлена тремя независимыми генетическими факторами: частотой формирования андрогенетических структур, их способностью к регенерации растений, а также соотношением зеленых и альбиносных регенерантов. Каждая из этих компонент находится под самостоятельным генетическим кон-

тролем [4]. Наименьший коэффициент наследуемости выявлен для числа зеленых растений, и этот показатель в равной степени зависит как от генотипа, так и окружающих условий [11].

Индукционная фаза андрогенеза является более значимой, чем фаза регенерации растений. На ее прохождение влияют различные факторы – генотип растения-донора, вид применяемого стресса и его интенсивность, условия выращивания донорных растений и др. [3, 8]. Частью стратегии улучшения протоколов получения гаплоидных растений является оптимизация состава индукционных питательных сред. Углеводы являются источником углерода для роста клеток и осмотическим регулятором культуральной среды [12]. Как правило, для культивирования пыльников злаков в качестве источника углеводов используется сахароза. Установлен положительный эффект использования мальтозы как для индукции эмбриоподобных структур, так и регенерации растений. Мальтоза используется самостоятельно или в различных комбинациях с сахарозой: мальтоза 90 г/л [1, 7, 9], сахароза 60 г/л + мальтоза 30 г/л [2], 50 г/л сахароза + 50 г/л мальтоза [5].

Несмотря на разработку различных протоколов получения гаплоидных растений тритикале в культуре изолированных пыльников и достигнутый прогресс в регенерации зеленых растений, до сих пор основными ограничивающими факторами остаются генотипическая зависимость, низкая частота регенерации растений и высокий процент альбиносных растений [6, 8, 10].

Цель настоящего исследования – оценить сравнительный эффект сахарозы и мальтозы в составе индукционной питательной среды на эффективность основных этапов получения гаплоидных растений тритикале в культуре пыльников *in vitro*. Объектами исследований были 5 селекционных образцов селекции ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока». Эффективность отдельных этапов андрогенеза оценивали по следующим показателям: число эмбриогенных пыльников на 100 культивируемых пыльников (ЭП/100КП) и число андрогенетических структур на 100 эмбриогенных пыльников (АС/100ЭП), общее число регенерантов на 100 культивируемых пыльников (Р/100КП) и на 100 андрогенетических структур (Р/100АС), число зеленых и альбиносных растений на 100 культивируемых пыльников и на 100 андрогенетических структур (ЗР/100КП, ЗР/100АС, АР/100КП и АР/100АС).

В результате культивирования пыльников тритикале все селекционные образцы сформировали эмбриогенные пыльники и андрогенетические структуры, однако способность к индукции андрогенеза между ними различалась. Генотип-зависимая природа андрогенеза является наиболее серьезной проблемой для использования метода в селекции [3]. У 4 генотипов из 5 установлено достоверное увеличение показателей ЭП/100КП и АС/100ЭП при замене в индукционной питательной среде сахарозы на мальтозу (табл. 1). Увеличилось не только общее

количество АС, но и число АС на 100ЭП или на один культивируемый пыльник. У двух генотипов с наименьшей отзывчивостью на среде с сахарозой (№ 3 и № 5) значения показателя АС/100КП увеличилось в 8,5–13 раз. Характерно, что среда с мальтозой обеспечила у этих генотипов и наибольшее число андрогенных структур на один пыльник. В общей сложности из 21273 культивируемых пыльников сформировалось 3818 андрогенных структур, из них 1118 на среде с сахарозой и 2700 – на среде с мальтозой. Положительный эффект мальтозы на индукцию андрогенеза может быть связан с эффектом голодания, вызванным замедленным гидролизом мальтозы в сравнении с сахарозой и относительно высоким и константным осмосом питательной среды [12].

Таблица 1 – Влияние источника углеводов на индукцию андрогенеза в культуре пыльников тритикале

Генотип	ПС	КП, штук	ЭП/100КП		АС/100КП		АС/100ЭП
			штук	%	штук	%	
1	сахароза	2970	340	11,4h	690	23,2f	202,9cd
	мальтоза	2945	403	13,7i	912	31,0h	226,3de
2	сахароза	2990	104	3,5cd	161	5,4bc	154,8ab
	мальтоза	2925	247	8,4g	534	18,3e	216,2de
3	сахароза	2179	53	2,4b	72	3,3a	135,8a
	мальтоза	2740	182	6,6e	768	28,0g	421,9g
4	сахароза	1138	42	3,7d	161	14,1d	383,3f
	мальтоза	1189	30	2,5b	69	5,8c	230,0e
5	сахароза	1143	20	1,7a	34	3,0a	170,0b
	мальтоза	1054	81	7,7f	417	39,6i	514,8h
всего		21273	1502		3818		
в т.ч.	сахароза	10420	559		1118		
	мальтоза	10853	943		2700		

Примечание: Варианты, сопровождаемые одинаковыми латинскими буквами, различаются незначимо по критерию Дункана

Однако преимущества питательной среды с мальтозой, выявленные на этапе индукции андрогенеза, не сопровождается увеличением значений показателей регенерации растений (табл. 2). Необходимо отметить, что различные показатели, оценивающие эффективность андрогенеза по отношению к культивируемым пыльникам, характеризуют общую эффективность метода (затраты на отбор доноров, стерилизацию колосьев, подготовку питательных сред, введение пыльников в культуру и т.д.). Однако регенерация растений зависит от качества андрогенных структур, сформированных в эмбриогенных пыльниках. Выявлена различная реакция генотипов на источник углеводов по всем показателям, характеризующим регенерацию растений – нейтральная (№ 1 и № 5), снижение значений показателя на среде с мальтозой (№ 3) и их увеличение (№ 2).

Таблица 2 – Влияние источника углеводов на регенерацию растений

Генотип	Углевод	Получено растений					
		всего		зеленых		альбиносов	
		P/100КП	P/100АС	ЗР/100КП	ЗР/100АС	АР/100КП	АР/100АС
1	сахароза	6,7d	28,8fg	2,0d	8,3cde	4,8d	20,6ef
	мальтоза	8,7e	28,2efg	2,8e	8,9de	6,0e	19,3def
2	сахароза	1,2a	23,0def	0,7abc	13,0f	0,5a	9,9b
	мальтоза	5,5bcd	30,1g	3,6f	19,8g	1,9b	10,4b
3	сахароза	0,7a	20,8d	0,4ab	11,1ef	0,3a	9,7b
	мальтоза	2,1a	7,6a	1,2bcd	4,4b	0,9ab	3,1a
4	сахароза	1,1a	7,4a	0a	0a	1,1ab	7,5b
	мальтоза	1,3a	23,2def	0,1a	1,4ab	1,3ab	21,7f
5	сахароза	0,5a	17,6cd	0,1a	2,9ab	0,4a	14,7c
	мальтоза	5,8cd	14,6bc	1,3cd	3,4b	4,5cd	11,3bc

Примечание: Варианты, сопровождаемые одинаковыми латинскими буквами, различаются незначимо по критерию Дункана.

В целом по опыту получено 822 растения, из которых 553 – на среде с мальтозой и 269 – с сахарозой. Среди общего числа растений 322 были зелеными. Несмотря на то, что на среде с мальтозой получено больше зеленых растений (235), чем на среде с сахарозой (87), эти различия связаны не с улучшенным качеством андрогенных структур, а с их количеством (табл. 1 и 2). Несмотря на генотипическую зависимость показателей андрогенеза тритикале, степень отзывчивости генотипа может быть модифицирована составом индукционных питательных сред путем включения мальтозы в концентрации 90 г/л.

Финансирование: Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания по теме FNWF-2022-0001 «Ускоренное создание сортов и линий тритикале на основе удвоенных гаплоидов».

Список литературы

- 1 Ержебаева Р.С., Абдурахманова М.А., Бастубаева Ш.О., Таджибаев Д. Эмбриогенез и регенерация растений в культуре пыльников гексаплоидной тритикале (*Triticosecale* Wittmack) под влиянием цитокинина зеатина. Сельскохозяйственная биология. 2019. Т.54 (5). С. 934–945. doi:10.15389/agrobiologi.2019.5.934rus.
- 2 Тимонова Е.М., Адонина И.Г., Салина Е.А. Изучение влияния чужеродных транслокаций на показатели андрогенеза у линий мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183(1). С. 127–134. doi:10.30901/2227-8834-2022-1-127-134.
- 3 Asif M. Androgenesis: A Fascinating Doubled Haploid Production Process. Progress and Opportunities of Doubled Haploid Production. Switzerland: Springer Int. Publishing Switzerland. 2013. P. 7–44. doi:10.1007/s11627-013-9514-z.
- 4 El-Fatah A., Bahaa E.S., Sayed M.A., El-Sanussy S.A. Genetic analysis of anther culture response and identification of QTLs associated with response traits in wheat (*Triticum aestivum* L.). Molecular Biology Reports. 2020. Vol. 47(12). P. 9289–9300. doi:10.1007/s11033-020-06007-z.

- 5 Gonzalez J.M. and Jouve N. Improvement of anther culture media for haploid production in triticale. Cereal Research Com. 2000. V. 28 (1–2). P. 65–72.
- 6 Lantos C., Bona L., Boda K. Pauk J. Comparative analysis of *in vitro* anther-and isolated microspore culture in hexaploid triticale ($\times$ *Triticosecale* Wittmack) for androgenetic parameters. Euphytica. 2014. Vol. 197. P. 27–37. doi:10.1007/s10681-013-1031-y.
- 7 Marciniak K., Banaszak Z., Wedzony M. Effect of genotype, medium and sugar on triticale ($\times$ *Triticosecale* Wittm.) anther culture response. Cereal Research Com. 1998. Vol. 26(2). P. 145–151.
- 8 Niazian M. and Shariatpanahi M.E. *In vitro*-based doubled haploid production: recent improvements. Euphytica. 2020. Vol. 216: 69. doi:10.1007/s10681-020-02609-7.
- 9 Ponitka A. and Slusarkiewicz-Jarzina A. The effect of Liquid and Solid Medium on Production of winter Triticale (($\times$ *Triticosecale* Wittm.) Anther-Derived Embryos and Plants. Cereal Research Com. 2007. Vol. 35(1). P. 15–22.
- 10 Wędzony M., Zur I., Krzewska M., Dubas E., Szechynska-Hebda M. and Wąsek I. Doubled Haploids in Triticale. Triticale. Switzerland: Springer International Publishing Switzerland. 2015. P. 111–128. doi:10.1007/978-3-319-22551-7_6.
- 11 Zheng M.Y. Microspore culture in wheat (*Triticum aestivum*) – doubled haploid production via induced embryogenesis. Plant Cell Tissue Organ Cult. 2003. Vol. 73. P. 213–230.
- 12 Zhou H., Zheng Y., Konzak C.F. Osmotic potential of media affecting green plant percentage in wheat anther culture. Plant Cell Rep. 1991. Vol.10. P. 63–66.

DOI 10.18699/GPB2024-31

**Фитостимулирующие действие комплексных препаратов
на основе влагоудерживающих полимеров и клеток бактерий
Pseudomonas peli – продуцентов гидролитических ферментов
на рост кресс-салата *Lepidium sativum***

Елисеева А.Д. *, м.н.с.; Протасова Е.М., м.н.с.; Максимов А.Ю., к.б.н, с.н.с.

ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, г. Пермь,
Россия

*email: liamrik@list.ru

*Исследовано влияние комплексных препаратов, содержащих полимерную основу и бактериальные клетки, продуцирующие гидролитические ферменты, на рост модельного растения кресс-салата сорта Забава. Установлено, что инокуляция в почву бактериальной культуры *Pseudomonas peli* 3Т БЕЖ в комплексе с полиакриламидным гидрогелем оказывает умеренное стимулирующее действие на рост растений. Стимулирующий эффект становится более выраженным при отсутствии полимерного стабилизатора.*

*Ключевые слова: гидролитические ферменты, гидрогель, *Pseudomonas peli*, кресс-салат, бактериальные препараты.*