

УДК 582.282.23:632.95.02-026.86

## Оценка экотоксического действия различных концентраций раундапа на *Saccharomyces cerevisiae*

Ибрагимова Э. Э., Эмирова Д. Э.

Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова  
Симферополь, Республика Крым, Россия  
[evelina\\_biol@mail.ru](mailto:evelina_biol@mail.ru)

В статье представлены результаты апробации метода определения токсичности пестицидов с использованием дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в качестве тест-объекта. Исследовано токсическое действие гербицида раундапа в диапазоне концентрация 0,1–0,8 мл/л на продуктивность и выживаемость *Saccharomyces cerevisiae*. Экспозиция дрожжей в растворах с различными концентрациями раундапа сопровождалась выраженным угнетением процессов воспроизводства культуры и появлением мертвых клеток, что свидетельствует о токсичности среды. Токсическое влияние различных концентраций раундапа на дрожжевые клетки проявилось в ингибировании процессов почкования. При концентрации 0,1 мл/л были обнаружены почкующиеся клетки, однако их количество оказалось очень низким – 18,94 % от общего числа, в контроле – 56,05%. В контрольном варианте отмечался мультиполярный тип почкования, с раундапом – однополюсный, что возможно, обусловлено снижением темпа деления в результате негативного влияния препарата на клеточный цикл и механизмы его протекания. При высоких концентрациях раундапа (0,4 и 0,8 мл/л) было обнаружено полное отсутствие почкующихся клеток, свидетельствовавшее о том, что они находились в стадии G<sub>1</sub> клеточного цикла. Возможно, действующие вещества тестируемого препарата вызывали полное блокирование митотического деления дрожжевых клеток. По всем вариантам исследования отмечалось статистически значимое ( $p < 0,01$ ) увеличение количества погибших дрожжевых клеток в сравнении с контрольным вариантом исследования. Следует отметить, что количество элиминированных клеток имело ярко выраженный дозозависимый эффект. В частности, количество мертвых клеток при концентрации 0,1 мл/л увеличивалось в 1,96 раза по сравнению с контролем, 0,2 мл/л (рекомендуемая доза) – в 3,47 раза, при высоких концентрациях (0,4 и 0,8 мл/л) – почти в 6 раз. Раундап в исследованном диапазоне концентраций (0,1–0,8 мл/л) оказывал среднетоксическое действие на *Saccharomyces cerevisiae*, выражающееся в ингибировании вегетативного размножения и гибели дрожжевых клеток по мере возрастания концентрации препарата.

*Ключевые слова:* *Saccharomyces cerevisiae*, пестициды, раундап, токсичность, дрожжи.

### ВВЕДЕНИЕ

Использование пестицидов отличается глобальными масштабами, однако, осознавая определенную их опасность для живых организмов, объектов окружающей природной среды и биосферы в целом, общество на современном этапе развития не может отказаться от их использования. В настоящее время в мире известно 5–6 млн. химических веществ, из которых 60–80 тыс. производятся в промышленном масштабе. Прирост новых химических соединений составляет 0,3–0,4 млн. в год, из них 50–1000 – в промышленном масштабе (Смирнов и др., 2002). Применение пестицидов оправдывается экономическими соображениями – сохранением урожая сельскохозяйственных культур. Выход из данной ситуации исследователи предлагают в разработке новых и выявлении среди используемых наименее токсичных препаратов. В этой связи проведение исследований по определению токсичности пестицидов имеет важное практическое значение.

Определение экотоксичности пестицидов – длительный трудоемкий и достаточно дорогостоящий процесс, что обуславливает сложность своевременной оценки используемых и поступающих на рынок новых препаратов. Этим объясняется значительная актуальность в поиске и разработке информативных, достоверных и недорогих методов оценки экотоксичности пестицидов. В настоящее время все большее значение придается альтернативным методам определения параметров токсичности и опасности химических веществ. Для этого разработаны тест-системы различного биологического уровня *in vitro*,

которые позволяют выявить связь между структурой и активностью химических веществ, а также использовать количественную зависимость химическая структура – биологическая активность (Жердев, 2009). Использование биологических объектов в качестве тест-систем показало высокую информативность и надежность метода биотестирования для токсикологической оценки экотоксикантов (Брагинский, 1983), однако в последние годы обострился вопрос о защите животных, используемых в опытах и соблюдения правил и норм концепции 3R (reduce, refine, replace – снижение, уточнение, замена) (Дядищев, 1998). В соответствии с правилами данной концепции предложено для токсикологической оценки различных химических веществ использовать беспозвоночных животных, растительные и микроорганизмы, животных на эмбриональной или личиночной стадии развития, клеточные культуры, физические и химические методы, а также математическое моделирование.

Биотестирование токсического действия пестицидов с использованием беспозвоночных и микроорганизмов приобрело достаточно широкую популярность среди исследователей. Можно отметить ряд оригинальных работ по определению экотоксичности различных пестицидов на биопараметры, процессы жизнедеятельности и выживаемость *Daphnia magna* (Папченкова, 2018; Подосиновичева и др., 2008), дождевых червей (Эмирова, Баличиева, 2011), полезных насекомых и представителей почвенной биоты (Иванцова, 2013).

В этом аспекте трудно переоценить перспективы микробиологического тестирования, так как некоторые микроорганизмы обладают повышенной чувствительностью к экотоксикантам, что проявляется в достаточно быстрой ответной реакции их на действие (Постнов, туманов, 2000). Так, в работе Р. М. Островской (2018) приводятся результаты токсического действия пестицидов на активность каталазы *Saccharomyces cerevisiae* и уровень спиртового брожения, критерием активности каталазы, катализирующей разложение пероксида водорода ( $H_2O_2 \rightarrow H_2O + O_2 \uparrow$ ), служил объем пены, образующейся в результате выделения молекулярного кислорода над поверхностью реакционной смеси. Об уровне спиртового брожения у дрожжей судили также по интенсивности пенообразования, но в этом случае, связанном с выделением  $CO_2$ . Автор отмечает, что все исследованные пестициды (раундап, цифокс, фипронил, децис и торнадо) оказывали неблагоприятное воздействие на тест-объект. Использование дрожжей для биотестирования поллютантов различной природы рекомендуют как перспективный экспресс-метод (Вятчина и др., 2010).

В соответствии с вышеизложенным, цель настоящей работы заключалась в апробации метода определения токсичности пестицида с использованием дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в качестве тест-объекта.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследовании для определения экотоксичности использовали пестицид раундап в следующих концентрациях: 0,1; 0,2 (рекомендуемая доза); 0,4 и 0,8 мл/л. Рабочие растворы пестицида готовили на основе дистиллированной воды. Для получения лабораторной культуры дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* применяли метод пластиночных разливок желатины, дальнейшее разведение полученной чистой культуры осуществляли на смеси Адольфа Майера (Дармов, 2006). Определение токсического действия различных доз раундапа проводили на молодой дрожжевой культуре, предварительно выращенной в течение 1–2 сут. на богатой питательной среде при оптимальной для почкования температуре ( $t=30–33\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) (Калюжин, 2011).

Для определения токсичности раундапа в пробирки с дрожжевой культурой добавляли тестируемые концентрации пестицида, контроль – дистиллированная вода. Время экспозиции – 5–6 часов, так как в указанный временной промежуток дрожжи могут давать 4–6 генераций клеток (Калюжин, 2011). Заключение о токсичности раундапа в диапазоне исследованных концентраций осуществляли по следующим параметрам:

- а) по снижению процесса размножения клеток;
- б) по количеству мертвых клеток.

Подсчет дрожжевых клеток проводили на препаратах «раздавленная капля» в светлом и темном поле (Дармов, 2006).

Обнаружение мертвых клеток проводили путем окрашивания препарата с дрожжевой суспензией метиленовым синим, окрашивающим их синий цвет. В каждом поле зрения подсчитывали количество всех дрожжевых клеток, затем количество только окрашенных (мертвых). Количество мертвых клеток (МК) выражали в процентах от общего количества (ОК) дрожжевых клеток:

$$\frac{МК \cdot 100}{ОК} = \% .$$

Подсчет количества дрожжевых клеток и интенсивность их почкования осуществляли при помощи микроскопа «Leica» (объектив x16, x40, x90), видеокамеры «Canon» и ПК. По каждому варианту исследования анализировали не менее 1200 клеток. Статистическую обработку полученных данных проводили по t-критерию Стьюдента с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel.

Экотоксический эффект исследуемых концентраций раундапа – ЭЭ (%) по показателям количества живых дрожжевых клеток в каждом варианте исследования рассчитывали по формуле (Лозановская и др., 1998), модифицированной нами для *Saccharomyces cerevisiae*:

$$ЭЭ = \frac{K_o - K_x}{K_o} \cdot 100, \text{ где:}$$

$K_o$  – среднее количество живых клеток в контрольном варианте,

$K_x$  – среднее количество живых клеток культуры, экспозируемой в токсической среде.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования показали, что раундап, в диапазоне исследованных концентраций (0,1–0,8 мл/л), оказывал негативное влияние на тест-культуру *Saccharomyces cerevisiae*, установленное на основе ингибирования вегетативного размножения и увеличения летального эффекта микроорганизмов в сравнении с контрольным вариантом. За время наблюдения в опытных вариантах отмечалось выраженное угнетение процесса почкования, что обусловлено ингибирующим влиянием раундапа на процесс вегетативного размножения дрожжей. Предварительный анализ темпов почкования чистой культуры при благоприятных условиях инкубации, позволил установить высокие темпы вегетативного размножения дрожжевых клеток, проявляющиеся в увеличении их количества в 1,75 раза за 3 часа. Темпы размножения оставались достаточно высокими, но достоверно более низкими в контрольном варианте исследования (дистиллированная вода). В данном варианте после 5-часовой экспозиции наблюдалось увеличение количества клеток в 1,26 раза. В контрольном варианте исследования наблюдалось мультилатеральное почкование материнских клеток, характеризующееся образованием дочерних почек на различных участках почкующихся клеток. Снижение темпов деления дрожжевых клеток в контрольном варианте обусловлено отсутствием питательных веществ (Высоцкая, 2014), так как известно, что для протекания нормальных метаболических процессов, данные сапротрофные организмы нуждаются в кислороде, сахарах и неорганических солях. Сахар является не только энергетическим ресурсом дрожжевых клеток, но также и исходным продуктом для синтеза органических соединений и витаминов (Оськин, 2016). Снижение темпов почкования является результатом чувствительности аденилатциклазы к уменьшению концентрации питательных веществ и снижению ее активности. В результате уменьшается концентрация цАМФ – внутриклеточного активатора протеинкиназы, которая фосфорилирует белок, приводящий клетки в состояние готовности к делению (Высоцкая, 2014).

Экспозиция дрожжей в растворах с различными концентрациями раундапа сопровождалась выраженным угнетением процессов воспроизводства культуры и появлением мертвых клеток, что свидетельствует о токсичности среды. Первым признаком, свидетельствующим о негативном влиянии различных концентраций раундапа на дрожжевые

клетки, оказалось ингибирование процессов почкования. В частности, при концентрации 0,1 мл/л были обнаружены почкующиеся клетки, однако их количество оказалось очень низким – 18,94 % от общего числа, в контроле – 56,05 %. Если в контроле и богатой питательными веществами среде отмечался мультиполярный тип почкования, то в среде с раундапом тип сменялся на однополюсный, что возможно, обусловлено снижением темпа деления в результате негативного влияния препарата на клеточный цикл и механизмы его протекания.

У дрожжей обнаружена генетическая система контроля клеточного цикла. В частности, идентифицированы гены, обеспечивающие контроль репликации ДНК, цитокинеза, спирализации, деспирализации хромосом. Действие различных внешних факторов (тепловой шок, химические вещества, облучение) может инициировать мутации этих генов, что приводит к остановке клеточного цикла на различных этапах его реализации. У сахаромикетов идентифицировано около 50 генов, контролирующих клеточный цикл (*cdc* – от англ. *cell division cycle*), мутации во многих из них сопровождаются блокировкой стадии G, приводящей к подавлению вегетативного размножения (Осипова, 2017). Таким образом, можно предположить, что высокие концентрации раундапа могут инициировать мутации генов, контролирующих клеточный цикл путем блокировки стадии G.

Клетки почкующихся дрожжей в процессе репликации формируют почку, активно растущую в интерфазе, а затем отпочковывающуюся от материнской клетки в ходе митоза и формирующую дочернюю и шрам почкования. Таким образом, по числу шрамов можно судить о интенсивности почкования материнской клетки. Размеры почки являются своеобразными биомаркерами стадий клеточного цикла, в которых пребывает клетка. Так, клетки, не содержащие почки, находятся в пресинтетической стадии G<sub>1</sub>, клетки с крупными почками – в постсинтетической стадии G<sub>2</sub> или митоза. Низкое содержание, а при высоких концентрациях раундапа (0,4 и 0,8 мл/л) практически полное отсутствие почкующихся клеток, может свидетельствовать о том, что они находились в стадии G<sub>1</sub> клеточного цикла. Возможно, действующие вещества тестируемого препарата вызывали полное блокирование митотического деления дрожжевых клеток. Полученные данные согласуются с выводами ряда исследователей, изучавших генотоксичность и мутагенность раундапа. В частности, установлен генотоксический эффект глифосата на *Trigonella foenum-graecum*, что проявлялось в изменении митотического индекса и увеличении частоты хромосомных aberrаций в клетках, обработанных гербицидом растений (Siddiqui et al., 2012). В исследованиях ряда авторов обнаружено мутагенное и генотоксическое действие раундапа на рыб (Cavalcante et al., 2008; Guilherme et al., 2012; Moreno et al., 2014).

В пользу отрицательного влияния различных концентраций раундапа на *S. cerevisiae* свидетельствовало и увеличение количества мертвых клеток (табл. 1).

По всем вариантам исследования отмечалось статистически значимое ( $p < 0,01$ ) увеличение количества погибших дрожжевых клеток в сравнении с контрольным вариантом исследования. Следует отметить, что количество элиминированных клеток имело ярко выраженный дозозависимый эффект (табл. 2).

Таблица 1

Количественные показатели влияния различных концентраций раундапа на *Saccharomyces cerevisiae*

Вариант исследования	Живые клетки		Мертвые клетки	
	Количество	$\bar{x} \pm S_x$	Количество	$\bar{x} \pm S_x$
Контроль	1549	15,37±0,43	110	1,09±0,15
0,1 мл/л	1380	13,66±0,57*	206	2,04±0,20*
0,2 мл/л	1064	10,64±0,24*	318	3,18±0,21*
0,4 мл/л	1003	9,93±0,26*	626	6,20±0,35*
0,8 мл/л	890	8,81±0,26*	559	5,53±0,27*

Примечание к таблице. Отличия от контроля достоверны при  $p < 0,01$ .

Таблица 2

Влияние различных доз препарата раундап на *Saccharomyces cerevisiae*

Вариант	Количество мертвых клеток (МК, %)	Экотоксичность (ЭЭ, %)	EC <sub>10-90</sub>
Контроль	6,63	–	–
0,1 мл/л	12,99	11,12	EC <sub>10-50</sub>
0,2 мл/л	23,01	30,77	EC <sub>10-50</sub>
0,4 мл/л	38,43	35,39	EC <sub>10-50</sub>
0,8 мл/л	38,57	42,68	EC <sub>50</sub>

За время экспозиции в токсической среде было установлено увеличение экотоксичности по мере возрастания концентрации раундапа с 11,12 до 42,68 %, количества мертвых клеток – с 13 до 38,57 %. Возможно, более длительная экспозиция дрожжей в токсической среде, может сопровождаться более выраженным токсическим действием, так как оно зависит от химического состава пестицида, количества, воздействующего на организм, пути поступления, механизмов и продолжительности действия и т.д. (Бегляров и др., 1983). Так, количество мертвых клеток при концентрации 0,1 мл/л увеличивалось в 1,96 раза по сравнению с контролем, 0,2 мл/л (рекомендуемая доза) – в 3,47 раза, при высоких концентрациях (0,4 и 0,8 мл/л) – почти в 6 раз. Следовательно, высокие концентрации раундапа снижают продуктивность сахаромисетов, а также приводят их к гибели. Аналогичное действие раундапа на показатели продуктивности рачков *D. magna* установлено в исследованиях Г. А. Папченковой с соавторами (2008). Исследователи отмечают, что раундап в диапазоне исследованных концентраций (0,2–50 мг/л) в хронических экспериментах приводил к снижению показателей продуктивности, линейных размеров *D. magna*, а также в появлении патоморфологических отклонений в строении ряда структур рачков.

Таким образом, раундап в диапазоне исследованных концентраций оказывал выраженное токсическое действие на тест-культуру сахаромисетов, при этом токсичность установлена у рекомендуемой к применению дозы препарата (0,2 мл/л). Данное заключение подтверждает расчет показателя экотоксического эффекта (ЭЭ, %) тестируемых концентраций раундапа на дрожжи (см. табл. 2). Полученные данные были ранжированы по классификации EC<sub>10-90</sub> (Довгалоук и др., 2001): слаботоксичная (EC<sub>10</sub>), среднетоксичная (EC<sub>50</sub>) и высокотоксичная (EC<sub>90</sub>) концентрация тестируемого препарата в опытных вариантах при которой наблюдалась гибель 10, 50 и 90 % дрожжевых клеток по сравнению с контролем. Препарат в исследованном диапазоне концентраций (0,1–0,8 мл/л) оказывал среднетоксичное влияние на тест-объект. Следовательно, раундап в исследованном диапазоне концентраций оказывал среднетоксическое действие на культуру *S. cerevisiae*, проявляющееся в полном ингибировании репродуктивной функции и элиминации клеток по мере увеличения концентрации.

Апробация разработанного метода по определению экотоксического действия пестицидов показала достаточно высокую его информативность и достоверность полученных результатов, что позволяет использовать его для экспресс-диагностики пестицидов.

## ВЫВОДЫ

1. Предложен способ определения экотоксического действия пестицидов с использованием культуры *Saccharomyces cerevisiae*, отличающийся простотой выполнения, достоверностью и информативностью полученных результатов.

2. Раундап в исследованном диапазоне концентраций (0,1–0,8 мл/л) оказывал среднетоксическое действие на *Saccharomyces cerevisiae*, выражающееся в ингибировании вегетативного размножения и гибели дрожжевых клеток по мере возрастания концентрации препарата.

3. Высказано предположение, что высокие концентрации препарата (0,4 и 0,8 мл/л) оказывают негативное влияние на клеточный цикл и механизмы его протекания у *Saccharomyces cerevisiae* в результате индуцирования мутаций генов, контролирующих клеточный цикл путем блокировки стадии G.

4. Концентрация раундапа, рекомендуемая к применению (0,2 мл/л), оказывала среднетоксичное действие (EC<sub>10-50</sub>) на тест-объект.

### Список литературы

- Бегляров Г. А., Смирнова А. А. и др. Химическая и биологическая защита растений. – М.: Колос, 1983. – 351 с.
- Брагинский Л. П. Общие принципы и некоторые теоретические вопросы биотестирования // Обобщенные показатели качества воды. Практические вопросы биотестирования и биоиндикации. – Черноголовка: Ин-т хим. физики АН СССР, 1983. – С. 3–8.
- Высоцкая Л. В. Митотический цикл и его регуляция // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2014. – Т. 18, № 1. – С. 81–92.
- Вятчина О. Ф., Жданова Г. О., Стом Д. И. Некоторые особенности реакции пенообразования в суспензии сахаромыцетов // Сибирский медицинский журнал. – 2010. – № 2. – С. 34–36.
- Довгалюк А. И., Калиняк Т. Б., Блюм Я. Б. Цитогенетические эффекты солей тяжелых металлов в клетках апикальной меристемы корней проростков *Allium cepa* L. // Цитология и генетика. – 2001. – Т. 36, № 2. – С. 3–9.
- Дядищев П. Р., Рыбалкин С. Л., Марченко А. И. Биологические модели *in vitro* в токсикологии // 1-й Съезд токсикологов России, Москва, 17-20 ноября, 1998: Тез. докл. – М., 1999. – С. 276.
- Жердев Н. А. Оценка и прогнозирование экотоксичности пестицидов по *Daphnia magna* straus: дис. ... канд. биол. наук: спец. 03.00.16 Экология. – Ростов-на-Дону, 2009. – 170 с.
- Иванцова Е. А. Влияние пестицидов на микрофлору почвы и полезную биоту // Вестник Волгоградской государственной академии наук. – Серия 11, Естественные науки. – 2013. – № 1 (5). – С. 35–40.
- Калужин В. А. Терморезистентность у дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* // Журнал общей биологии. – 2011. – Т. 72, № 2. – С. 140–149.
- Лабораторный практикум по общей биологии / Составитель И. В. Дармов. – Киров, ВятГУ, 2006. – 68 с.
- Лозановская И. Н., Орлов Д. С., Садовникова Л. К. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: Учеб. пособие для хим., хим.-технол. и биол. спец. вузов. – М.: Высш. шк. – 1998. – 287 с.
- Осипова Л. А. Генетика в 2 ч. Часть 1: учебное пособие для вузов. – М.: Юрайт, 2017. – 255 с.
- Островская Р. М. Биотестирование пестицидов при использовании растений и грибов. – Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://www.sifibr.irk.ru/images/publications/mrpmue2018/261.pdf>.
- Оськин С. В. Электротехнологии в сельском хозяйстве: учебник для студентов вузов. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 501 с.
- Папченкова Г. А. Обобщенные результаты исследования влияния имидаклопридсодержащих инсектицидов на *Daphnia magna* // Труды Института биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН. – Выпуск 84 (87). – 2018. – С. 68–84.
- Папченкова, Г. А., Гребенюк Л. П. Влияние сублетальных концентраций гербицида Раундап на размеры, плодовитость и морфологические параметры *Daphnia magna* (Cladocera) // Токсикологический вестник. – 2008. – № 4. – С. 27–30.
- Подосиновикова Н. П., Ежов Н. Ф., Сайкина Н. А., Беляев В. А., Долго-Сабуров В. Б. Частота сердечных сокращений у *Daphnia magna* как функциональный тест оценки действия химических соединений // Экспериментальная и клиническая фармакология. – 2008. – Т. 73, № 3. – С. 54–56.
- Постнов И. Е., Туманов А. А. Биологический метод анализа: проблемы избирательности и чувствительности определения биологически активных веществ // Журнал аналитической химии. – 2000. – Т. 55, № 2. – С. 208–211.
- Смирнов В. Г., Маймулов В. Г., Нечипоренко С. П., Лойт А. О., Лоянич А. А., Колбасов С. Е. Расчетные методы оценки опасности и гигиенического нормирования вредных веществ в разных средах. – С. Петербург, 2002. – 112 с.
- Эмирова Д. Э., Баличиева Д. В. Биотестирование острой токсичности препарата ДНОК с использованием дождевых червей // Ученые записки Таврического национального университета. Серия «Биология, Химия». – 2011. – Т. 23 (64). – С. 159–163.
- Cavalcante, D. G. S. M., Martinez C. B. R., Sofia S. H. Genotoxic effects of Roundup on the fish *Prochilodus lineatus* // Mutation research. – 2008. – Vol. 655. – P. 41–46.
- Guilherme S., Santos M. A., Barroso C., Gaivao I., Pacheco M. Differential genotoxicity of Roundup formulation and its constituents in blood cells of fish (*Anguilla anguilla*): considerations on chemical interactions and DNA damaging mechanisms // Ecotoxicology. – 2012. – Vol. 21, N 5. – P. 1381–1390.
- Moreno N. C., Sofia S. H., Martinez C. B. R. Genotoxic effects of the herbicide Roundup Transorb and its active ingredient glyphosate on the fish *Prochilodus lineatus* // Environmental Toxicology and Pharmacology. – 2014. – Vol. 37. – P. 448–454.

Siddiqui S., Meghvansi M. K., Khan S. S. Glyphosate, Alachor and Maleic Hydrazide have genotoxic effect on *Trigonella foenum-graecum* L. // Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. – 2012. – Vol. 88, N 5. – P. 659–665.

**Ibragimova E. E., Emirova D. E. Assessment of ecotoxic action of various roundup concentrations on *Saccharomyces cerevisiae*** // Ekosistemy. 2020. Iss. 23. P. 111–117.

The article presents the results of testing a method for determining the toxicity of pesticides using the yeast *Saccharomyces cerevisiae* as a test object. The toxic effect of roundup herbicide in the concentration range of 0.1–0.8 ml/l on the productivity and survival of *Saccharomyces cerevisiae* was studied. Exposure of yeast in solutions with different roundup concentrations was accompanied by a marked inhibition of culture reproduction processes and the appearance of dead cells, which indicated the toxicity of the environment. The toxic effect of different roundup concentrations on yeast cells was manifested in the inhibition of budding processes. At a concentration of 0.1 ml/l, budding cells were detected, but their number was very low – 18.94 % of the total number, in the control samples – 56.05 %. The multipolar type of budding was observed in the control group, while in the group with roundup it demonstrated single-pole type, probably, due to a decrease in the rate of division as a result of the negative influence of the drug on the cell cycle and its mechanisms. The complete absence of budding cells was found at high roundup concentrations (0.4 and 0.8 ml/l), indicating that they were in the G<sub>1</sub> stage of the cell cycle. It is highly probable that the active ingredients of the test drug caused complete blocking of mitotic division of yeast cells. All groups of the study showed a statistically significant ( $p < 0.01$ ) increase in the number of dead yeast cells in comparison with the control group. It should be noted that the number of eliminated cells had a substantial dose-dependent effect. In particular, the number of dead cells at concentration of 0.1 ml/l increased 1.96 times while in the control group at concentration of 0.2 ml/l (recommended dose) it increased 3.47 times and at higher concentrations (0.4 and 0.8 ml/l) – almost 6 times. Thus, it was proved that roundup in the studied range of concentrations (0.1 – 0.8 ml/l) had a medium-toxic effect on *Saccharomyces cerevisiae*, which was expressed in inhibition of vegetative reproduction and death of yeast cells when the drug concentration increased.

*Key words:* *Saccharomyces cerevisiae*, pesticides, roundup, toxicity, yeast.

Поступила в редакцию 25.01.20