

УДК: 577.3

**Влияние некорневой подкормки препаратом «РЕАКОМ» на систему фотосинтеза растений**  
**Н.В.Байрак<sup>1</sup>, В.А.Зуза<sup>1</sup>, Я.А.Погромская<sup>1</sup>, И.М.Гритченко<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Донецкая опытная станция Национального научного центра «Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н.Соколовского» УААН (Украина, Донецкая обл., пос. Новгородское)<sup>2</sup>ЧП Гритченко (Украина, Донецкая обл., пос. Новгородское)

joanar@mail.ru

С помощью метода индукции флуоресценции хлорофилла при использовании флуориметра «Флоратест» показано, что некорневая обработка растений микроудобрением на основе ОЭДФ «РЕАКОМ» вызывает стресс системы фотосинтеза. Восстановление происходит в течение недели. Максимально защищенным от стрессового воздействия оказался пигментированный лист, минимально – нижний зеленый. Оптимальным является сочетание некорневой обработки микроудобрением «РЕАКОМ» и корневой подкормки полным комплексным удобрением.

Ключевые слова: *оксиэтелидендифосфоновая кислота (ОЭДФ), флуоресценция, первичные процессы фотосинтеза (ППФ), фотосистема 2 (ФС2), антоциановая пигментация, Rosa indica var. fragrant hybr.*

**Введение**

Эффективность некорневой подкормки растений микроэлементами широко известна. Сейчас очень популярны микроудобрения на комплексной основе. Перевод микроэлемента в биологически активную хелатную форму осуществляется с помощью специальных комплексообразователей. Считается, что главная роль принадлежит катиону металла, а комплексон играет лишь роль инертного транспортного средства, обеспечивающего доставку катиона и его устойчивость в почве и питательных растворах (Информационный раздел ..., 2007; Реаком, 2004). Однако несущая часть комплексного удобрения все же может вносить свои коррективы в физиологию взаимодействия препарат–растение. Так, признается, что ОЭДФ (оксиэтелидендифосфоновая кислота), хелатирующий агент микроудобрения «РЕАКОМ», принадлежит к весьма активному классу фосфонатов, среди которых есть гербициды и отравляющие вещества (Огородникова, 1999). ОЭДФ является регулятором роста, обладает антимикробными и антивирусными свойствами. Кроме того, по своей структуре близка к комплексонам на основе полифосфатов, поэтому ОЭДФ используется в медицине в качестве регулятора кальциевого обмена. Под действием света ОЭДФ разлагается в листьях растений до ацетатов и фосфатов. Последние используются как питание. Так что назвать комплексон ОЭДФ инертным никак нельзя.

При некорневой обработке растений комплексными препаратами основной контактирующей частью растения является листовая пластинка. Изучение влияния комплексоната на биохимию листа, а в частности, на процессы фотосинтеза, и возникающие отсюда вопросы оптимизации некорневой обработки могут представлять практический интерес. Кроме того, учитывая, что на одном растении могут присутствовать листья различного возраста и освещенности (теневые и световые листья), а также пигментированные антоцианом листья, ответ на препарат может быть далеко не однородным.

Поэтому целью работы было изучить влияние некорневой подкормки комплексным препаратом на основе оксиэтелидендифосфоновой кислоты «РЕАКОМ» на состояние первичных процессов фотосинтеза и определить зависимость отклика от световых условий формирования листа и наличия антоциановой пигментации.

**Материалы и методы**

В работе анализировалась реакция листа розы садовой чайно-гибридной *Rosa indica var. fragrant hybr.* сорта «Черная Магия» («Black Magic») при некорневой обработке препаратом «РЕАКОМ», а также при последующем использовании капельного полива жидким комплексным удобрением (ЖКУ) «Мастер» (табл. 1). Производитель ЖКУ – «VALAGRO-Spa» (Италия). Метод исследования – индукция флуоресценции хлорофилла (ИФХ). Подробное описание метода можно найти в работе (Корнеев, 2002). Для детектирования флуоресценции использовался хронофлуориметр «Флоратест», разработанный в Институте кибернетики НАН Украины. Измеряли флуоресценцию верхней стороны листовой пластинки листьев верхнего яруса, пигментированных антоцианом и без пигментации, а также листьев нижнего яруса, сформированных в условиях освещенности в большей степени рассеянным светом. Повторность измерения четырехкратная. Адаптация листа к темноте составляла 5 мин. Длина волны освещения в максимуме 470±15 нм;

освещенность в границах пятна не менее 20 Вт/м<sup>2</sup>. Спектральный диапазон измерения флуоресценции 670–800 нм. Измерения проводились в режиме 10 с, т. е. детектировалась быстрая индукция флуоресценции хлорофилла А (Хла) фотосистемы 2 (ФС2) (Корнеев, 2002). Некорневую обработку растений розы препаратом «РЕАКОМ» проводили в октябре в соответствии с рекомендациями (Информационный раздел ..., 2007). Температура воздуха составляла около 12°C. Переменная облачность и условия теплицы способствовали относительно постоянству микроклимата и освещенности растений в течение 4 часов последствия препарата «РЕАКОМ». Замеры производили до обработки препаратом и спустя 4 часа, а также на шестые сутки после обработки и на фоне однократного полива в этот промежуток времени жидким комплексным удобрением «Мастер».

Таблица 1.

## Состав удобрений, %

Препараты	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Zn	Cu	B	Mn	Mo	Co	Fe
«РЕАКОМ»	0	0	4,5	4,5	2,5	0,6	0,3	0,5	0,01	0,004	0,5
«Мастер»	5	12	6	18	0,01	0,005	0,02	0,03	0	0	0,07

## Результаты и обсуждение

Ответная реакция растений на некорневую обработку препаратом «РЕАКОМ» и на полив ЖКУ выражалась в характерных изменениях кинетики затухания индуцированной флуоресценции хлорофилла и расчетных показателях, характеризующих состояние системы фотосинтеза (Корнеев, 2002).

Через 4 часа после обработки препаратом «РЕАКОМ» наблюдалось существенное снижение эффективности ФС2 (квантового выхода ФС2). Это говорит о стрессовом состоянии системы фотосинтеза в этот период. При этом увеличивалась F<sub>o</sub> (флуоресценция хлорофилла А при «открытых» реакционных центрах (РЦ) ФС2), снижалась эффективность разделения зарядов и эффективность фотоллиза, уменьшался показатель T<sub>0,5</sub> (половина времени восстановления Qa), но увеличивалась доля Qb-восстанавливающих ФС2. Эти изменения однотипны для любого листа, независимо от локализации и пигментации антоцианом. Степень снижения эффективности ФС2 у пигментированного листа была минимальной (36%), у зеленых листьев – в два раза выше (60 и 66% для нижнего и верхнего соответственно). При этом уменьшение эффективности разделения зарядов и снижение доли Qb-невосстанавливающих ФС2, независимо от пигментации, были достаточно существенными (рис. 1). Степень же увеличения F<sub>o</sub>, снижения эффективности фотоллиза и ЭТЦ (электронтранспортной цепи) зависела от пигментации и локализации листа: пигментированный лист откликнулся минимальными изменениями первых двух показателей, а нижний зеленый – максимальными (табл. 2). Эффективность же ЭТЦ пигментированного листа увеличилась, а зеленого упала, нижнего – максимально (рис. 1).

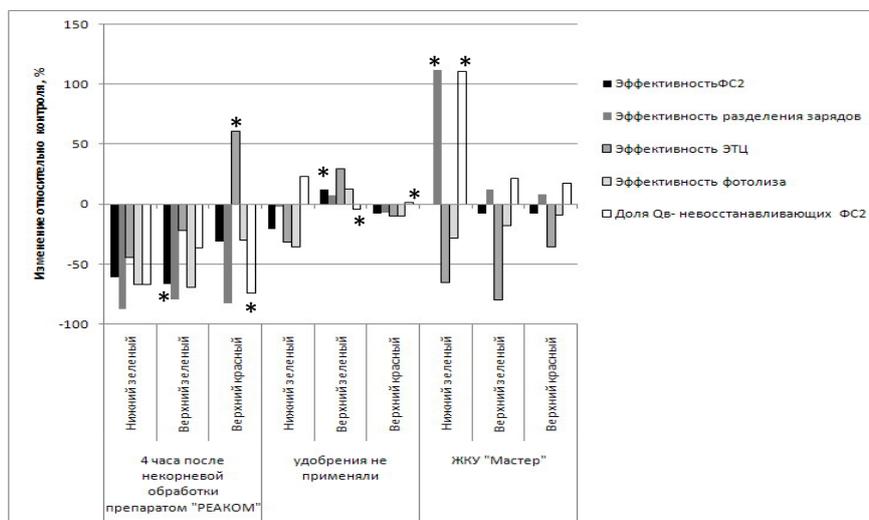


Рис. 1. Динамика изменений показателей состояния системы фотосинтеза

Примечание: \* – различия достоверны при  $p \leq 0,05$ .

Таблица 2.

## Влияние обработки растений розы на показатели фотосинтеза

Обработка		$F_p$	$F_0$	$T_{0,5}$	Эффективность ФС2	Доля Qb-невосстанавливающих ФС2	Эффективность разд. заряда	Эффективность ЭТЦ	Эффективность фотолиза
Контроль	Нижний зеленый	0,140	0,043	197,35	0,696*	0,373*	0,259	0,437*	1,089*
	Верхний зеленый	0,109	0,040	131,38	0,629	0,786*	0,494	0,135*	0,727
	Верхний красный	0,104	0,058	118,28	0,443*	0,640	0,284	0,160	0,506*
4 часа после обработки препаратом «РЕАКОМ»	Нижний зеленый	0,121*	0,088	161,44*	0,275	0,123*	0,034*	0,241	0,356
	Верхний зеленый	0,093*	0,073	17,68*	0,211	0,500*	0,105*	0,105	0,222
	Верхний красный	0,101	0,070	85,58	0,306	0,162	0,050	0,257	0,352
6-е сутки последыствия препаратом «РЕАКОМ»	Нижний зеленый	0,176	0,078	120,04	0,556	0,460	0,255*	0,300*	0,697
	Верхний зеленый	0,166	0,049	159,65	0,706*	0,752	0,531*	0,175	0,819
	Верхний красный	0,120	0,071	159,65	0,408*	0,649	0,265	0,143*	0,456
6-е сутки последыствия препарата «РЕАКОМ» + «Мастер»	Нижний зеленый	0,172*	0,051*	159,65*	0,701*	0,785	0,550	0,151*	0,782
	Верхний зеленый	0,215	0,090	175,18	0,583	0,954	0,556	0,027*	0,597
	Верхний красный	0,230*	0,135*	251,33*	0,411*	0,751	0,308	0,102	0,458

Примечание: \* – различия достоверны при  $p \leq 0,05$ .

Снижение доли Qb-невосстанавливающих ФС2 было на столько высоко, на сколько высоко снижение эффективности разделения зарядов. Так, у верхних зеленых листьев эффективность разделения зарядов снизилась минимально и падение доли Qb-невосстанавливающих ФС2 также было минимальным.

На 6-е сутки после обработки препаратом «РЕАКОМ» эффективность ФС2 была практически восстановлена. У верхнего зеленого листа проявились некоторые положительные тенденции в показателях состояния фотосинтеза, которые несколько нивелировались применением ЖКУ. У нижних зеленых наблюдалось восстановление системы только на фоне применения ЖКУ «Мастер», а ФС2 пигментированных листьев минимально отреагировала на корневую подкормку. В целом эффективность ФС2 на фоне корневого полива ЖКУ поддерживалась на уровне контроля при ином соотношении показателей, чем до обработки. При корневой подкормке жидким комплексным удобрением после некорневой обработки препаратом «РЕАКОМ» эффективность фотолиза практически мало снизилась, но заметно снизилась эффективность ЭТЦ. При этом увеличилась эффективность разделения зарядов и, в отличие от препарата «РЕАКОМ», соотношение ФС2 сместилось в сторону увеличения доли Qb-невосстанавливающих. При этом минимальные изменения показателей опять наблюдались у пигментированного листа, максимальные – у нижнего зеленого.

Применение приближенного показателя  $(F_p \cdot \text{Эффективность ЭТЦ}_{\text{контр}}) / (\text{Эффективность ЭТЦ} \cdot F_{p_{\text{контр}}})$  для характеристики относительного изменения содержания хлорофилла под внешним воздействием показало, что внесение полного ЖКУ на фоне некорневой обработки препаратом «РЕАКОМ» увеличило содержание хлорофилла в 3,5 раз для нижнего зеленого и верхнего

пигментированного и в 9,3 раза для верхнего зеленого листа. Интенсификация биосинтетических процессов при капельном поливе ЖКУ способствует более быстрому восстановлению от стресса при листовой обработке препаратом «РЕАКОМ» и вовлечению в метаболизм экзогенных микроэлементов.

Увеличение  $F_0$  и снижение эффективности разделения зарядов в первые 4 часа после обработки препаратом говорит об изменениях в состоянии светособирающего комплекса (ССК) и РЦ ФС2, об увеличении потери энергии света через антенну ФС2, возможно, за счет спровоцированного фосфорсодержащими компонентами препарата фосфорилирования, ведущего к конформационным изменениям РЦ и последующей диссоциации подвижной части ССК ФС2. Так, через 6 суток наблюдалось снижение  $F_0$ , хотя и без достижения прежнего уровня (увеличение уровня флуоресценции при «открытых» РЦ может происходить за счет изменения концентрации хлорофилла при интенсификации биосинтеза последнего). Корневая подкормка на фоне препарата «РЕАКОМ» ЖКУ «Мастер» привела к существенному увеличению  $F_0$  для верхних листьев, скорее всего, за счет активации биосинтеза хлорофилла.

Уменьшение доли Qb-невосстанавливающих ФС2 и, соответственно, увеличение доли Qb-восстанавливающих может быть проявлением одного из механизмов регуляции фотосинтетической функции на уровне пула ФС2. Можно предположить, что часть функционально зрелых ФС2 хлоропласта содержит пластохинон Qb в восстановленной форме (т.е. составляет Qb-невосстанавливающие ФС2) и является некоторым «резервом». Под действием препарата «РЕАКОМ» характерно снижение эффективности системы фотолиза, возможно, как результат тех же конформационных изменений РЦ. При сбоях в кислородвыделяющем комплексе (КВК) происходит выделение активных форм кислорода (Иванов и др., 2001, 2007) и перекиси водорода, что грозит развитием вредных свободнорадикальных процессов. Окисление пластохинона Qb этими активными интермедиатами может предотвращать негативные результаты сбоя КВК и регулировать поток электронов для синтеза АТФ и НАДФН. В работе наблюдалась прямая корреляция между увеличением доли Qb-невосстанавливающих ФС2 и повышением эффективности разделения зарядов ( $r=0,973$ ). Возможно, при чрезмерном потоке электронов из реакционного центра происходит регуляция посредством перераспределения его с помощью третьего агента, скорее всего, цитохрома  $b_{559}$ , могущего выступать в качестве акцептора  $e^-$  в данном случае. При этом оптимизация процесса происходит путем снижения доли Qb-восстанавливающих ФС2.

Снижение эффективности ЭТЦ при обработке зеленого листа препаратом «РЕАКОМ» и увеличение при обработке красного может быть связано с хелатной природой препарата. Возможно, проходя через эпителиальный пигментированный антоцианом слой, комплекс ОЭДФ разрушается в более полной степени. Хлоропластов достигают уже его неагрессивные метаболиты. В отсутствие пигментации деструкция может быть неполной, и не исключен контакт хлоропластов с хелатом как таковым. При этом возможны конкурирующие процессы обмена микроэлементов нераспавшегося комплекса и элементов, входящих в структурные единицы хлоропласта, в том числе и в элементсодержащие единицы фотосинтезирующей системы. У пигментированного листа возможность контакта системы фотосинтеза с комплексами ОЭДФ минимальна. Поэтому мало снижается эффективность фотосинтеза, а положительный эффект влияния препарата «РЕАКОМ» на ЭТЦ определяется действием микроэлементов без комплексона. Существенное снижение эффективности ЭТЦ под влиянием корневой подкормки ЖКУ «Мастер» можно связать с действием азотсодержащего компонента препарата, который интенсифицирует сток электронов через ферредоксин в азотный обмен (Корнеев, 2002; Информационная система ..., 2006).

### Выводы

1. Некорневая обработка препаратом «РЕАКОМ» вызывает кратковременный стресс системы фотосинтеза. Сильное падение эффективности фотолиза и разделения зарядов частично компенсировалось уменьшением доли Qb-невосстанавливающих ФС2. Восстановление системы происходит в течение недели, в зависимости от локализации и пигментации листа. Восстановление нижнего зеленого листа ускоряется на фоне применения корневой подкормки полным комплексным удобрением «Мастер».
2. Эффективность ФС2 на фоне корневого полива жидким комплексным удобрением после некорневой обработки препаратом «РЕАКОМ» поддерживалась на уровне контроля, но при ином соотношении показателей. Снижение эффективности ЭТЦ и увеличение доли Qb-невосстанавливающих ФС2 компенсировалось увеличением эффективности разделения зарядов.
3. Максимально защищенным от стрессового воздействия как некорневой обработки, так и корневой подкормки оказался пигментированный лист, минимально – нижний зеленый.

4. Более безопасно для системы фотосинтеза и более эффективно сочетание некорневой обработки микроудобрением «РЕАКОМ» и корневой подкормки сбалансированным комплексным удобрением.
5. Некорневую подкормку розы препаратом «РЕАКОМ» лучше проводить в весенний период, когда пигментация антоцианом выражена ярче. Так как такая обработка является стрессовой, лучше исключать воздействие на очень молодой лист и осторожно использовать, если растение ослаблено.

#### Список литературы

- Иванов Б.Н., Мубаракшина М.М., Козулева М.А., Хоробрых С.А. Механизмы образования активных форм кислорода в хлоропластах: включение кислорода в фотосинтетическую цепь переноса электронов // *Материалы VI Съезда общества физиологов растений России. Симпозиум 1. Энергетика и метаболизм растительной клетки.* – Сыктывкар, 2007. [Электронный документ]. ([http://ib.komisc.ru/add/plant\\_phys2007/materials/symposium\\_1.pdf](http://ib.komisc.ru/add/plant_phys2007/materials/symposium_1.pdf)).
- Иванов Б.Н., Хоробрых С.А., Бродо А.С. Взаимодействие кислорода с компонентами тилакоидных мембран хлоропластов высших растений // *Вестник Башкирского университета.* – 2001. – №2 (1). – С. 37–39.
- Информационная система «Фотосинтетическая мембрана» // Кафедра биофизики Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова. – 2006. [Электронный документ]. (<http://phoem.biophys.msu.ru/>).
- Информационный раздел сайта группы компаний «РЕАКОМ». – 2007. (<http://www.reacom.info/info.html>).
- Корнеев Д.Ю. Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла. – К.: Альтапрес, 2002. – 188с.
- Огородникова С. Некоторые аспекты влияния продуктов трансформации фосфорсодержащих отравляющих веществ на растения. – 1999. [Электронный документ]. (<http://ib.komisc.ru/add/old/t/ru/ir/vt/02-60/04.html>).
- Реаком // Сайт «Торговий дім Насіння». – Киев, 2004. [Электронный документ]. (<http://www.ukrfood.com.ua/tdn/defence5.php#top>).

#### Вплив некореневої підкормки препаратом «РЕАКОМ» на систему фотосинтезу рослин

**М.В.Байрак, В.О.Зуза, Я.А.Погромська, І.М.Гритченко**

За допомогою методу індукції флуоресценції хлорофілу при використанні флуориметра «Флоратест» показано, що некоренева обробка рослин мікродобривом на основі ОЕДФ «РЕАКОМ» викликає стрес системи фотосинтезу. Відновлення відбувається протягом тижня. Максимально захищеним від стресового впливу виявилось пігментоване листя, мінімально – нижнє зелене. Оптимальним є сполучення некореневої обробки мікродобривом «РЕАКОМ» і підкормки повним комплексним добривом.

Ключові слова: *оксиетелідендифосфонова кислота (ОЕДФ), флуоресценція, первинні процеси фотосинтезу (ППФ), фотосистема 2 (ФС2), антоціанова пігментація, Rosa indica var. fragrant hybr.*

#### Influence of foliar processing of plants by a microfertilizer on the basis of 1-hydroxyethylidene-1,1-diphosphonic acid on system of photosynthesis

**N.V.Bajrak, V.A.Zuza, Ya.A.Pogromskaja, I.M.Gritchenko**

With the help of induction of chlorophyll fluorescence method at use of a fluorimeter «Floratest» it is shown, that foliar processing of plants by a microfertilizer on the basis of HEDP causes stress of photosynthesis system. Restoration occurs within a week. Pigmented leaves are maximally protected from the stressful influence and bottom leaves are minimally protected. The combination of foliar processing by the microfertilizer "REAKOM" and root top supplementary feeding by the full complex fertilizer is optimal.

Key words: *1-hydroxyethylidene-1,1-diphosphonic acid (HEDP), fluorescence, primary processes of photosynthesis, photosystem 2, anthocyanin pigmentation, Rosa indica var. fragrant hybr.*

Представлено: О.А.Задорожною  
Рекомендовано до друку: В.В.Жмурком