

Известен факт, что при определённой концентрации почвенного азота растение не образует клубеньков, т.к. для него менее затратно питаться азотом из почвы напрямую, а обмен азотом с окружающей средой происходит, скорее всего, только за счет разрушения структурной биомассы отмерших клубеньков.

На следующем шаге полученная модель была усложнена добавлением накопителей (пулов) запасных ресурсов азота ( $N_{pool}$ ) и углерода ( $C_{pool}$ ), что позволило уточнить такой нефизичный момент, как потерю неиспользованных (оказавшихся в избытке, то есть не востребуемыми) на текущем шаге первичных ассимилятов. Однако значительного влияния на результаты моделирования это изменение не оказало. Пулы оказывают незначительное буферное влияние на динамику системы и позволяют незначительно скорректировать в большую сторону темпы экспоненциального роста в установившемся режиме.

В модели запас углерода ( $C_{pool}$ ) пополняется с помощью фотосинтеза ( $C_{phot}$ )  $C_{photosynthesis}$ , запас азота  $N_{pool}$  – путём поглощения почвенных азотных соединений корнями растения ( $N_{up}$ ) и путём симбиотической азотфиксации ( $N_{fix}$ ):

$$C_{pool} = C_{phot} - TGRf_C, \quad (13)$$

$$N_{pool} = N_{up} + N_{fix} - TGRf_N, \quad (14)$$

$N_{pool} = N_{uptake} + N_{fixation} - TGR * f_N$  где  $f_C$  и  $f_N$  – параметры, равные доле содержания углерода и азота в структурной биомассе растения соответственно, TGR – Total Growth Resource – динамическая переменная, показывающая общий потенциальный прирост биомассы растения при текущих ресурсах углерода и азота. Слагаемые  $TGRf_C$  и  $TGRf_N$  показывают расход углерода и азота из запасов на рост растения.

#### Библиографический список

1. Хворова Л.А. Моделирование влияния азотного питания на продукционный процесс посева люцерны: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 1992. – 18 с.
2. Неупокоева К.Г., Хворова Л.А. Биологическая азотфиксация: модели ресурсосберегающих систем в сельском хозяйстве // Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и образования : Сб. трудов. – Барнаул, 2014. – С. 1217–1219.
3. Хворова Л.А., Топаж А.Г., Абрамова А.В., Неупокоева К.Г. Подходы к описанию симбиотической азотфиксации. Часть 1. Анализ и выделение перечня факторов с оценкой их приоритетности // Известия АлтГУ. – 2015. – Т. 1, № 1 (85). – С. 187–191.
4. Хворова Л.А., Топаж А.Г., Абрамова А.В., Неупокоева К.Г. Подходы к описанию симбиотической азотфиксации. Часть 1. Анализ подходов к математическому моделированию процесса // Известия АлтГУ. – 2015. – Т. 1, №1 (85). – С. 192–196.
5. Хворова Л.А., Топаж А.Г., Абрамова А.В. Математическая модель симбиотической азотфиксации // Известия АлтГУ. – 2015. – Т. 2, №1. – С. 158–163.
6. Абрамова А.В., Топаж А.Г., Хворова Л.А. Исследование особенностей процесса симбиотической азотфиксации и их реализация в имитационной модели в среде Anylogic // Омский научный вестник. – 2015. – № 3 (143). – С. 289–292.
7. Абрамова А.В., Топаж А.Г., Хворова Л.А. Агентный подход в моделировании симбиотической азотфиксации: от пассивных объектов к активным субъектам взаимодействия // Агрофизика. 2015. № 4. – С. 49–62.

УДК 58.08

### Влияние ЭДТА и тяжелых металлов на фотосинтетическую активность культурных растений

*Т.В. Семилет, М.М. Силантьева, А.Ю. Гребенникова*

*АлтГУ, г. Барнаул*

Одними из важнейших биоиндикационных показателей у растений на физиологическом уровне являются особенности протекания фотосинтеза, который чувствительно реагирует на изменение факторов внешней среды (Шуберт, 1988). В настоящее время существует множество методов исследования фотосинтетической активности и явления флуоресценции у растений. С их помощью мы можем определить состояние фотосистем, интенсивность и продуктивность фотосинтеза.

Флуориметр JUNIOR-PAM Walz (Germany) – оптический прибор, разработанный для быстрой и достоверной оценки состояния и активности фотосистем, определения квантового выхода, скорости электронного транспорта и фотохимического преобразования энергии в процессе фотосинтеза. Точ-

ные значения получают в самом начале работы, через 1 с после нажатия. Действие прибора основано на импульсной модуляции света, с помощью которой возможно определить квантовый выход флуоресценции хлорофилла. Измерение максимального выхода фотосинтеза производится путем подачи 1-го насыщающего светового импульса, который подавляет фотохимические реакции, при этом происходит регистрация фотохимического выхода флуоресценции (Heinz Walz GmbH, 2007).

Целью работы являлась оценка действия протектора ЭДТА (динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты) в комплексе с тяжелым металлом на показатели фотосинтетической активности культурных растений *Zea mays* и *Avena sativa* методом РАМ-флуориметрии.

#### Объекты и методы исследования

Объектом изучения являлись однолетние культурные растения из семейства *Poaceae*: *Zea mays* L. и *Avena sativa* L. Исследованные объекты отличаются между собой интенсивностью поступления кадмия в корневые системы, скоростью его транспорта по растению и пути протекания фотосинтеза. Для *Zea mays* характерен  $C_4$ - путь фотосинтеза (цикл Хэтча-Слэка-Карпилова), а для *Avena sativa*  $C_3$ - путь (цикл Кальвина).

Для каждого вида растения изучались следующие параметры:

1. ETR – скорость электронного транспорта, рассчитываемый из PAR и  $Y_{(II)}$ ;

2.  $Y_{(II)}$  – квантовый выход фотосинтеза – параметр, определяющий эффективность работы ФСII в первичных процессах разделения заряда в реакционном центре  $P_{680}$ .

На объекты исследования воздействовали солями тяжелых металлов (йодид кадмия) и комплекса, состоящего из протектора ЭДТА (Трилон Б) и  $CdI_2$  в течении 5 дней (1 ч, 24 ч, 48 ч, 72 ч, 96 ч).

Кадмий является токсичным элементом для растительных организмов, легко поступает через корневую систему из почвы и атмосферы, сохраняя свои свойства в течение долгого времени. Локализуется в основном в корнях и в меньшей степени в стеблях, черешках и главных жилках листьев (Дашиева, 2007).

Известно, что протектор ЭДТА (динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты) снижает концентрацию тяжелых металлов путем образования прочных комплексов. Образующиеся при этом комплексы имеют значительно большие размеры и с меньшей интенсивностью проникают внутрь клеток.

#### Результаты и их обсуждение

Отмечено изменение значения параметра ETR для *Zea mays* при внесении комплекса  $CdI_2$ +ЭДТА относительно контрольных образцов. При измерении скорости электронного транспорта через 1 час и 24 часа отмечалось повышение активности на 16% по сравнению с контрольными образцами. Показатели, полученные через 48 часов эксперимента, были снижены на 17%, а параметры ETR полученные через сутки (72 часа) свидетельствовали о повышении активности на 6%, относительно контроля. Однако в дальнейшем эксперименте (96 часов), отмечено незначительное уменьшение активности исследуемого показателя на 2% относительно контрольных образцов.

Внесение тяжелого металла в форме  $CdI_2$  в начале эксперимента 1 час, 24 часа и 48 часов оказало ингибирующее воздействие на скорость электронного транспорта (ETR) в среднем на 8%, а в конце эксперимента отмечено повышение активности скорости электронного транспорта (ETR) на 16% относительно контроля (рисунок 1).

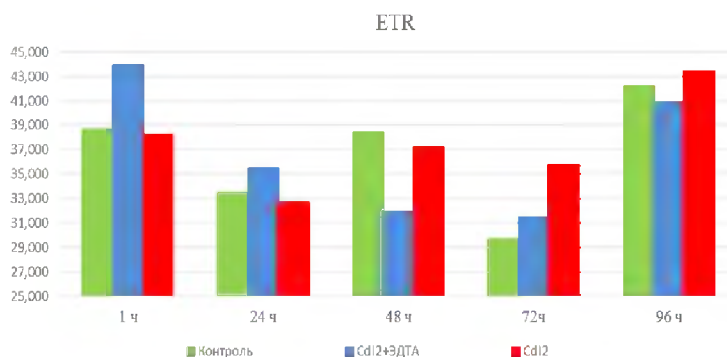


Рисунок 1 – Параметры квантового выхода  $Y_{(II)}$  (отн. ед.), полученные методом РАМ-флуориметрии для листьев *Zea mays*

На параметр квантового выхода ( $Y_{(II)}$ ) растения *Zea mays* протектор оказывал стимулирующее действие в течение первых двух экспериментов (1 час и 24 часа) в среднем на 12%, тогда как при третьем замере (48 часов) активность квантового выхода снижается на 10%, относительно контрольных образцов. Однако в дальнейшем отмечается положительная динамика исследуемого параметра

на 7% (72 часа) относительно контроля. В конце эксперимента (96 часов) протектор не оказывал ингибирующего или катализирующего действия на активность  $Y_{(II)}$  и значение данного параметра контрольных и опытных образцов не отличались, так как возможно произошла адаптация растения к воздействию тяжелого металла и комплекса ЭДТА и  $CdI_2$ .

Действие тяжелого металла на растения в течение всего эксперимента было неоднозначным, в среднем отмечено увеличение скорости квантового выхода на 13% (рисунок 2).

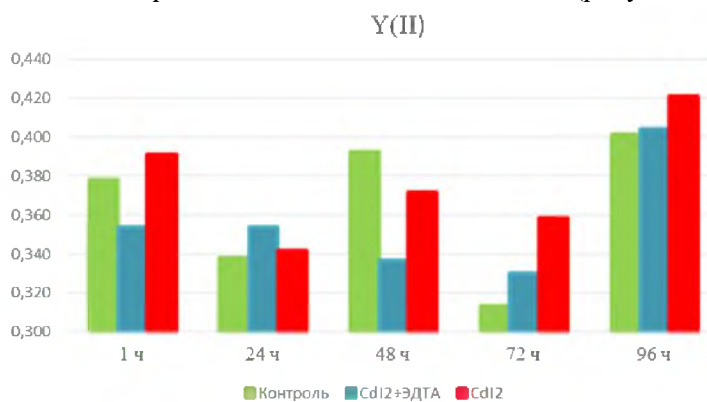


Рисунок 2 – Параметры квантового выхода  $Y_{(II)}$  (отн. ед.), полученные методом ПАМ-флуориметрии для листьев *Zea mays*

Во время наблюдения динамики параметра электронного транспорта (ETR) у растений *Avena sativa* в условиях воздействия комплекса  $CdI_2+EDTA$ , отмечалось увеличение активности в среднем на 15% в течение всего эксперимента и повышение активности в среднем на 2,8% у образцов, произрастающих с внесением  $CdI_2$ , относительно контрольных образцов (рисунок 3).



Рисунок 3 – Параметры скорости электронного транспорта ETR ( $\mu\text{моль}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ ), полученные методом ПАМ-флуориметрии для листьев *Avena sativa*

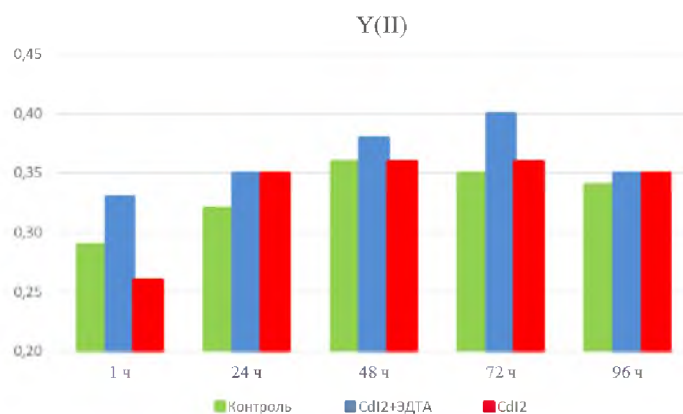


Рисунок 4 – Параметры квантового выхода  $Y_{(II)}$  (отн. Ед.), полученные методом ПАМ-флуориметрии для листьев *Avena sativa*

Протектор ЭДТА в комплексе с  $CdI_2$  образцов *Avena sativa* оказал стимулирующее действие на квантовый выход  $Y_{(II)}$ , показатели которого увеличились на 37% относительно контрольных образцов. Действие тяжелого металла катализовало процесс  $Y_{(II)}$  в среднем на 14%, относительно контроля (рисунок 4).

### Выводы

1. Отмечается положительное влияние ЭДТА в комплексе с тяжелым металлом на динамику параметров электронного транспорта (ETR) и квантового выхода  $Y_{(II)}$  у растений *Avena sativa*, в течение всего эксперимента. Происходит связывание ионов комплексона с тяжелым металлом и снижение его активности.

2. За период исследования комплекс тяжелого металла и ЭДТА не оказывал четкого ингибирующего или катализирующего действия на скорость электронного транспорта и квантовый выход флуоресценции *Zea mays*, что возможно обусловлено более интенсивным протеканием процесса фотосинтеза и меньшей поглощающей способностью растения.

3. Тяжелый металл оказывал неоднозначное действие на виды растений в течение всего эксперимента. При попадании в почву ионов тяжелого металла возможно, происходит ингибирование процессов транспорта электронов и квантового выхода, а также нарушение нормальной работы фотосистем, что приводит к завяданию растений. Это обусловлено высоким уровнем стресса, которому подвержены исследуемые растения, при поглощении и накоплении  $CdI_2$ .

### Библиографический список

1. Дашиева М.Д. Влияние возрастающих доз кадмия на продуктивность и санитарно-гигиеническое качество кресс-салата при выращивании на аллювиальной дерновой почве // Современные наукоемкие технологии. – 2007. – № 9. – С. 49 – 50.
2. Шуберт Р. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем. – М.: Мир, 1988. – 309 с.
3. Junior-PAM chlorophyll fluorometer Operator's Guide / Erhard Pfündel – Heinz Walz GmbH, 2007. – 62 p.

УДК 004.9

## Разработка программного модуля для расчета величины основного обмена

*Д.Ю. Сидун, О.В. Филатова, Л.А. Хворова*

*АлтГУ, г. Барнаул*

В статье рассматривается разработка программного модуля для расчета величины основного обмена человека. Анализируются различные подходы к расчету величины основного обмена: клинические формулы Рида и Гейла, уравнения Харриса-Бенедикта для подсчета калорий, метод биоимпедансометрии с использованием данных прибора «Медасс» и статистический метод определения с помощью построения линейной модели. Приведены результаты сравнительного анализа полученных расчетов и сформулированы в качестве замечаний проблемы дальнейших исследований.

Основной обмен – это минимальный уровень энергетических затрат, необходимых для поддержания жизнедеятельности организма в условиях относительно полного физического и эмоционального покоя [1–5].

Исследование энергетических затрат организма широко используют в физиологии труда, спортивной медицине и клинике. Интенсивность обмена увеличивается пропорционально нагрузке, поэтому важно знать, сколько энергии тратит организм для выполнения той или иной работы. Определение величины основного обмена (ВОО) имеет большое значение и в диагностике некоторых заболеваний. На основании результатов обследования большого числа здоровых людей установлена средняя норма ВОО – так называемый должный основной обмен (в ккал за 24 ч). Допустимое отклонение от должной величины колеблется от +10 до +15%. Отклонения в пределах от +15% до +30% считаются сомнительными, требуют контроля и наблюдения; от +30% до +50% относят к отклонениям средней тяжести; от +50% до +70% – к тяжелым, а свыше +70% – к очень тяжелым.

Изменения ВОО наблюдаются при различных видах эндокринной патологии, сахарном диабете, при различных интоксикациях, инфекционно-лихорадочных заболеваниях. Повышение ВОО характерно для поздних стадий развития злокачественных опухолей и особенно лейкозов [1–3].

ВОО тесно связан с размерами поверхности тела, что обусловлено прямой зависимостью величины отдачи тепла от площади поверхности тела. Кроме роста и массы при расчете расхода калорий на основной обмен учитывают возраст и пол человека. Таким образом, ВОО определяется комбинацией генетических (внутренних) и внешних факторов [1–5].

### Методы определения ВОО

ВОО можно ориентировочно определить с помощью специальных клинических формул Рида, Гейла и др.