

## ДЕЙСТВИЕ РЕСВЕРАТРОЛА НА МИТОХОНДРИИ ПРОРОСТКОВ ГОРОХА В СТРЕССОВЫХ УСЛОВИЯХ. ДАННЫЕ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ И ФЛУОРОМЕТРИИ

© 2019 г. В. И. Бинюков<sup>1</sup>, И. В. Жигачева<sup>1</sup>, Е. М. Миль<sup>1</sup>, \*, А. А. Албантова<sup>1</sup>, И. П. Генерозова<sup>2</sup>, \*\*

<sup>1</sup>Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, 119334 Россия

<sup>2</sup>Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, 127276 Россия

\*E-mail: elenamil2004@mail.ru

\*\*E-mail: igenerozova@ipp.ras

Поступила в редакцию 16.04.2019 г.

После доработки 02.07.2019 г.

Принята к публикации 03.07.2019 г.

Методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) и флуориметрии исследовали возможности использования природного полифенола ресвератрола в качестве адаптогена. Работу проводили на митохондриях проростков гороха (*Pisum sativum* L., сорт Флора 2). Защитные свойства препарата изучали, используя модели “старения” митохондрий и дефицита воды. Инкубация изолированных митохондрий в гипотонической среде (процесс старения) активировала перекисное окисление липидов (ПОЛ): интенсивность флуоресценции продуктов ПОЛ увеличивалась по сравнению с контролем и приводила к увеличению объема АСМ-имиджей митохондрий, что свидетельствовало о набухании органелл. Ресвератрол в концентрации  $10^{-6}$  М снижал интенсивность флуоресценции продуктов ПОЛ почти до контрольных значений, а также предотвращал набухание митохондрий. В модели дефицита воды эксперименты проводили *in vivo*, при этом дефициту воды подвергали семена гороха, предварительно замоченные в воде или обработанные ресвератролом. Условия дефицита воды вызывали увеличение ПОЛ мембран митохондрий проростков гороха, приводили к набуханию митохондрий и торможению биогенеза этих органелл по сравнению с контролем. Обработка семян гороха ресвератролом ( $3 \times 10^{-4}$  М) снижала количество набухших митохондрий по отношению к контролю и активировала биогенез этих органелл, а также нормализовала ПОЛ. Делается предположение, что защитный эффект исследуемого препарата обусловлен, в том числе, его антиоксидантными свойствами, а методы АСМ и флуориметрии могут быть использованы для скрининга протекторных свойств биологически активных веществ.

**Ключевые слова:** митохондрии, АСМ, флуориметрия, ресвератрол, перекисное окисление липидов

**DOI:** 10.1134/S004137711910002X

Энергетический метаболизм играет важную роль в адаптации организма к изменяющимся факторам внешней среды. При этом митохондрии играют одну из главных ролей в адаптации организма к стрессовым условиям. Они представляют собой динамичные структуры, которые в большинстве клеток способны менять свою морфологию, локализацию, количество и размер в зависимости от ее энергетических потребностей и метаболического состояния (Mannella, 2006; Soubannier, McBride, 2009). Стрессовые воздействия, такие как дефицит воды, температурный стресс и др., смещают антиоксидантно-прооксидантное равновесие в сторону увеличения содержания активных форм кислорода в клетке (АФК). При этом митохондрии являются как источником, так и мишенью для

АФК (Зоров и др., 2007). Взаимодействие АФК с полиненасыщенными жирными кислотами, входящими в состав липидов мембран, приводит к активации перекисного окисления липидов (ПОЛ). Весьма важным морфологическим признаком повреждения митохондрий является их набухание. Увеличение объема (набухание) матрикса митохондрий и разрыв наружной мембраны под действием давления со стороны внутренней мембраны обусловлены увеличением ионной проницаемости внутренней мембраны, что, вероятно, обусловлено перекисной окислением мембран. В результате набухания и высвобождения ряда апоптогенных белков из межмембранного пространства митохондрий в цитоплазму, возможна также активация апоптоза. Можно полагать, что антиоксиданты, снижая интенсивность ПОЛ, могут играть роль адаптогенов, предупреждая дисфункцию митохондрий в стрессовых ситуациях.

**Принятые сокращения:** АСМ – атомно-силовая микроскопия, АФК – активные формы кислорода, ПОЛ – перекисное окисление липидов.