

**ИЗМЕНЕНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ
HYDRANGEA MACROPHYLLA (THUNB.) SER.
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
ВЛАЖНЫХ СУБТРОПИКОВ РОССИИ**

Маляровская В. И., Белоус О. Г.

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт цветоводства и субтропических культур»,
г. Сочи, Россия, e-mail: malyarovskaya@yandex.ru*

Приведены результаты изучения ферментативной активности каталазы и pH клеточного сока в листьях гидрангеи крупнолистной (*Hydrangea macrophylla* (Thunb.) Ser.) в зависимости от гидротермических условий региона. Выявлено, что на фоне повышения стрессовых факторов (температуры воздуха, влажности воздуха и почвы) особенно резко проявлялись сортовые различия по изучаемым показателям (активность каталазы и pH клеточного сока). Влияние стрессоров абиотического характера у относительно устойчивых сортов ('Draps Wonder', 'Admiration', 'Altona', 'Sester Terhesa') характеризовалось более высокими показателями активности каталазы и низкими показателями pH клеточного сока, что особенно значимо в летний засушливый период. Напротив, у неустойчивых сортов ('Madame Faustin' и 'Bichon') в стрессовый период отмечена пониженная активность фермента каталазы и высокие значения pH клеточного сока.

Ключевые слова: гидрангея крупнолистная (*Hydrangea macrophylla*), ферментативная активность, каталаза, гидротермические условия, стресс-факторы, pH среды.

Проблема адаптации растений к стресс-факторам внешней среды стоит в центре внимания многих исследователей [5, 7, 8, 15]. Особенно важно решение этой проблемы в неблагоприятных по гидротермическим условиям регионе влажных субтропиков Краснодарского края, где одним из наиболее значимых абиотических стресс-факторов, оказывающих влияние на растения, является недостаточное их обеспечение водой в летний период [3, 11–13]. В этот период засухи наносят значительный ущерб многим видам декоративных растений, к числу которых можно отнести и летне-цветущую гидрангею крупнолистную (*Hydrangea macrophylla* (Thunb.) Ser.). Часто при изучении устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды учитывается активность некоторых антиоксидантных ферментов [2, 4]. Каталаза является одним из самых активных энзимов в природе, обладающих рекордными скоростями

работы, играет определённую роль в процессах адаптации организма к стресс-факторам [4, 15]. Также железосодержащий фермент – каталазу – рассматривают в качестве одной из терминальных оксидаз растительной клетки, ответственной за разложение перекисей, регулирующих смену фаз аэробных и анаэробных процессов и участвующих в окислении перекисей в пероксисомах при фотодыхании [1, 5, 10, 16]. Для каждого фермента существует оптимальное значение pH среды, при котором он проявляет максимальную активность. В литературе имеются противоречивые данные по оптимуму действия каталазы. Так, по одним источникам, оптимум действия каталазы может наблюдаться при pH = 6,5, а в более кислых и щелочных средах активность фермента уменьшается [16]. Другой же автор приводит данные, что оптимум pH для активности каталазы равен 7,6 [13]. При этом переход к большей или меньшей (по сравнению с оптимальной) концентрации водородных ионов сопровождается более или менее равномерным падением активности фермента.

В связи с тем, что каталаза является наиболее чувствительным ферментом при воздействии на растения стресс-факторов окружающей среды, целью наших исследований было изучение изменения ферментативной активности в листьях *Hydrangea macrophylla* в зависимости от гидротермических условий влажных субтропиков России

Объектами исследований были 35–40-летние сорта *H. macrophylla* ('Altona', 'Draps Wonder', 'Admiration', 'Sester Terhesa', 'Bichon', 'Madame Faustin') различной степени устойчивости, произрастающие на территории Субтропического ботанического сада Кубани (СБСК), г. Сочи. Исследования проводили в период с 2012 по 2014 г.

Определение активности каталазы в листьях проводили по методике Гунара (1972) [8]. Исследования проводили в динамике с мая по август (оптимальный период – I–II декады мая, период стресса – I–II декады августа). Обработку экспериментальных данных выполняли методами корреляционного анализа, описательной статистики с использованием программ Microsoft Excel.

По метеорологическим данным, наиболее благоприятным по гидротермическому режиму был 2013 г. с температурами ниже средних многолетних: в июле на 0,5 °С и в августе на 0,2 °С. Осадков за три месяца, с июня по август, выпало выше средних многолетних значений (норма: 104, 128 и 121 мм) соответственно (122, 141, и 110 мм). Максимальная температура воздуха в августе повышалась до 30,1 °С. Однако наиболее экстремальными и по температуре, и по осадкам являлись 2012 и 2014 гг. Максимальная температура воздуха в июне 2012, 2014 г. превышала 35,0 °С и 30,7 °С соответственно, а в июле–

августе максимальная температура достигала 36 °С. Осадки выпадали неравномерно в эти годы, кроме того, в августе их было меньше средней многолетней нормы (в 2012 г. – 51 % от нормы, а в 2014 г. – 11 %). Так как данный период был наиболее напряжённым по гидротермическим условиям для растений гидрангеи крупнолистной, в статье приведены средние результаты за 2012 и 2014 г.

Отмечено, что в оптимальных гидротермических условиях (I–II декады мая) активность каталазы в среднем для культуры составляла 154,3 млО₂/г. По мере нарастания стрессовой нагрузки (II–III декады июня) у относительно устойчивых сортов ('Altona' – 183,9 млО₂/г, 'Draps Wonder' – 163,9 млО₂/г, 'Admiration' – 172,4 млО₂/г) отмечено незначительное повышение активности фермента, которое продолжалось до II декады июля, в то же время у неустойчивых сортов 'Madame Faustin' и 'Bichon' наблюдалось уменьшение её активности (89,1 и 111,1 млО₂/г, соответственно). Однако ко II декаде августа при повышении температуры воздуха до 36,0 °С и понижении влажности почвы до 24 % у всех изучаемых сортов наблюдался спад активности антиоксидантного фермента, в среднем составив 112,4 млО₂/г, что коррелировало с ростом температуры воздуха ($r = -0,8$) и снижением влажности почвы ($r = 0,9$) (рис. 1 и 2). По-видимому, снижение ферментативной деятельности у всех сортов гидрангеи крупнолистной также связано с перегревом листьев и усилением транспирации.

При этом максимальной активностью фермента в стрессовых условиях характеризовались относительно устойчивые сорта: 'Draps Wonder' (127,7 млО₂/г), 'Altona' (138,5 млО₂/г), 'Admiration' (139,3 млО₂/г), а наименьшей – неустойчивые: 'Madame Faustin' (61,1 млО₂/г) и 'Bichon' (91,4 млО₂/г).

Как известно, для каждого фермента существует оптимальное значение pH среды, при котором он проявляет максимальную активность. Переход к большей или меньшей (по сравнению с оптимальной) концентрации водородных ионов сопровождается более или менее равномерным падением активности фермента [16, 19].

Нами установлено, что в оптимальный период вегетации (май) pH клеточного сока в листьях гидрангеи крупнолистной в среднем составлял 4,89, а в стрессовый период (август) этот показатель был выше и соответствовал 5,32, что коррелировало с повышением температуры воздуха ($r = 0,9$) и уменьшением влажности почвы ($r = -0,89$). Кроме того, чётко проявлялись сортовые различия, выражающиеся в том, что в оптимальный период минимальный pH (4,65) отмечался у относительно устойчивого сорта 'Draps Wonder' (контроль), а наибольший – у неустойчивого сорта 'Madame Faustin' (5,00) (табл. 1).

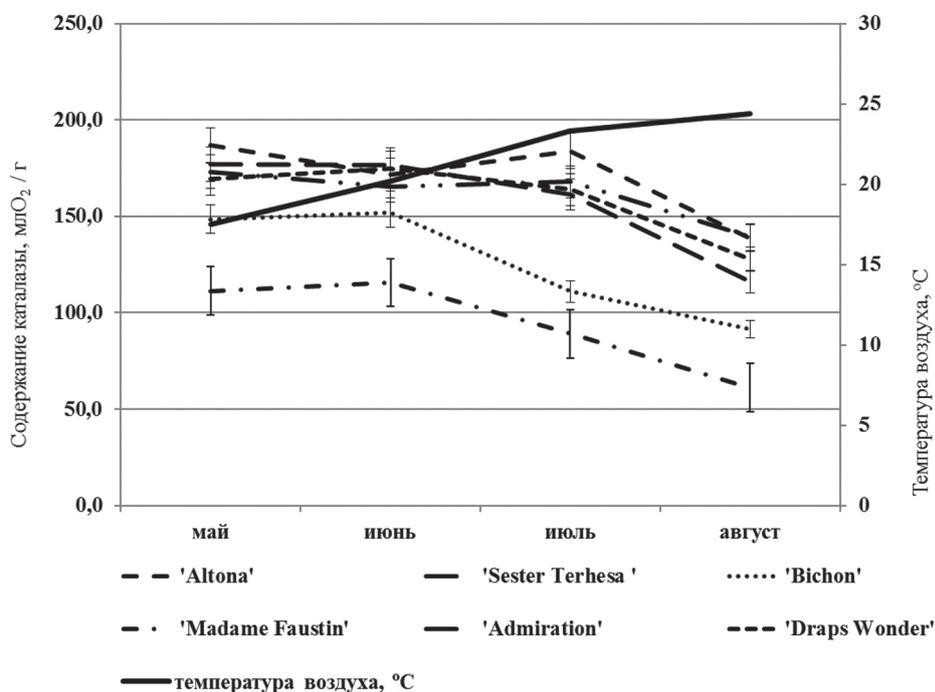


Рис. 1. Изменение активности каталазы в листьях *H. macrophylla* в зависимости от температуры воздуха

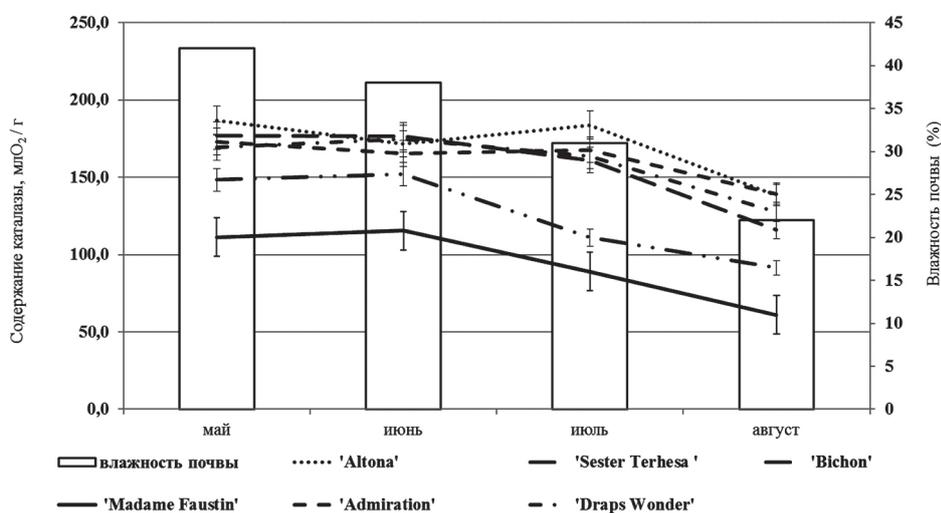


Рис. 2. Изменение активности каталазы в листьях *H. macrophylla* в зависимости от влажности почвы

**Изменение значений рН листьев *H. macrophylla*
в зависимости от гидротермических условий
(средние данные за 2012, 2014 гг.)**

Сорт	Май	Июнь	Июль	Август
‘Altona’	4,85 ±0,01	5,10 ±0,08	5,15 ±0,08	5,20 ±0,05
‘Sester Teresa’	4,90 ±0,03	5,05 ±0,03	5,20 ±0,06	5,25 ±0,02
‘Bichon’	4,98 ±0,02	5,10 ±0,01	5,30 ±0,04	5,55 ±0,03
‘Madame Faustin’	5,00 ±0,07	5,15 ±0,03	5,35 ±0,05	5,65 ±0,05
‘Admiration’	4,95 ±0,03	5,05 ±0,05	5,15 ±0,03	5,18 ±0,04
‘Draps Wonder’	4,65 ±0,06	4,95 ±0,07	5,05 ±0,07	5,10 ±0,05

В дальнейшем, в период с III декады июня по III декаду августа, при наступлении неблагоприятных гидротермических условий рН клеточного сока в листьях у всех сортов постепенно повышалась. Особенно резко сортовые различия проявлялись на фоне повышения стрессовых факторов (в августе при температуре воздуха до +36,0 °С, влажности воздуха – 78 % и почвы – 23 %). рН клеточного сока листьев у относительно устойчивых сортов составлял в среднем 5,18, в то время как у неустойчивых сортов этот показатель был выше на 0,42 у. ед. Кроме того, была выявлена отрицательная корреляционная зависимость между активностью фермента и рН клеточного сока ($r = -0,75$).

Таким образом, установлено, что изменение активности каталазы и рН клеточного сока происходит в ответ на изменение гидротермических факторов. Подтверждением этой закономерности является тесная корреляция между физиологическими показателями и стрессорами региона. Выявлено также, что сортовые особенности, определяя интенсивность метаболических процессов в растениях гидрангеи крупнолистной, сказываются на изменении активности каталазы и рН клеточного сока. Так, относительно устойчивые сорта (‘Draps Wonder’, ‘Admiration’, ‘Altona’, ‘Sester Terhesa’) характеризуются более высокими показателями активности каталазы и низкими показателями рН клеточного сока, что особенно значимо в летний засушливый период. Напротив, неустойчивые сорта (‘Madame Faustin’ и ‘Bichon’) характеризуются меньшей активностью каталазы и высокими значениями рН клеточного сока.

Библиографический список

1. Артамонов В.И. Растения и чистота природной среды. – М.: Наука, 1986. – 172 с.
2. Белоус О.Г. Роль физиолого-биохимических методов исследований в декоративном садоводстве // Субтропическое и декоративное садоводство: сб. науч. тр. – Сочи: ВНИИЦиСК, 2008. – Вып. 41. – С. 346-352. – ISSN: 2225-3068.
3. Белоус О.Г., Маляровская В.И. Оценка адаптивности красивоцветущих растений к стресс-факторам субтропиков России // Бюллетень Никитского ботанического сада: Государственное бюджетное учреждение Республики Крым «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр», 2016. – № 121. – С. 39-47. – ISSN: 0513-1634.
4. Бударин А.А., Белоус О.Г., Маляровская В.И. Изменение ферментативной активности роз в зоне влажных субтропиков России // Научные исследования в субтропиках России: сб. молодых учёных. – Сочи: ВНИИЦиСК, 2013. – С. 77-85. – ISBN: 978-5-904533-19-9.
5. Воскресенская О.Л., Алябьева Е.А., Половникова М.Г. Большой практикум по биоэкологии: учебное пособие. – Йошкар-Ола, 2006. – Ч. 1. – 107 с. – ISBN: 5-94808-239-3.
6. Гудков В.А., Каширская Н.Я., Цуканова Е.М. Окислительный стресс плодовых и ягодных культур. – Тамбов: ТГУ, 2001. – 88 с. – ISBN: 5-8265-0135-9.
7. Гудковский В.А., Каширская Н.Я., Цуканова Е.М. Окислительные повреждения плодовых растений (основные стресс-факторы, типы повреждений и пути повышения устойчивости) // Научные основы садоводства: сб. науч. трудов. – Воронеж: ВНИИС им. И.В. Мичурина, Кварта, 2005. – С. 9-31.
8. Гудковский В.А., Каширская Н.Я., Цуканова Е.М. Стресс плодовых растений. Рос. акад. с.-х. наук, ВНИИС им. И. В. Мичурина. – Воронеж; Мичуринск: Кварта, 2005. – 127 с. – ISBN: 5-89609-070-6.
9. Гунар И.И. Практикум по физиологии растений. – М.: Колос, 1972. – С. 100-102.
10. Кузнецов В.В., Дмитриева Г.А. Физиология растений: учебное пособие. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2005 – 736 с. – ISBN: 5-06-004786-5.
11. Маляровская В.И., Белоус О.Г. Концентрация клеточного сока в листьях гидрангеи крупнолистной (*Hydrangea macrophylla*) при разных режимах температуры и влажности // Сельскохозяйственная биология. – 2009. – № 3. – С. 48-51. – ISSN: 0131-6397.
12. Маляровская В.И., Белоус О.Г. О водном режиме гидрангеи крупнолистной (*Hydrangea macrophylla*) в условиях субтропиков России // Сельскохозяйственная биология. – 2010. – № 5. – С. 112-117. – ISSN: 0131-6397.
13. Маляровская В.И., Белоус О.Г. Методические рекомендации по оценке засухоустойчивости гидрангеи крупнолистной (*Hydrangea macrophylla* Ser.) // Субтропическое и декоративное садоводство: сб. науч. тр. – Сочи: ВНИИЦиСК, 2012. – Вып. 47. – Т. 2. – С. 228-245. – ISSN: 2225-3068.
14. Плешков Б.П. Биохимия сельскохозяйственных растений. – М.: Колос, 1980. – 495 с.
15. Рындин А.В., Белоус О.Г., Маляровская В.И., Притула З.В., Абиьфазова Ю.С., Кожевникова А.М. Использование физиолого-биохимических методов для выявления механизмов адаптации субтропических, южных плодовых и декоративных культур в условиях субтропиков России // Сельскохозяйственная биология. – 2014. – № 3. – С. 40-48. – doi: 10.15389/agrobiology.2014.3.40rus
16. Сарбаева Е.В., Воскресенская О.Л. Изменение активности железосодержащих оксидаз у декоративных растений в условиях урбанизированной среды // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2008. – № 4. – С. 70-76. – ISSN: 2313-2310.
17. Цегарем М.П., Пруидзе Г.Н. Субклеточная локализация каталазы в листьях чайного растения // Субтропические культуры. – 1990. – № 4. – С. 47-51. – ISSN: 0207-9224.

**CHANGES
IN *HYDRANGEA MACROPHYLLA* (THUNB.) SER.
FERMENTATIVE ACTIVITY DEPENDING
ON THE HYDROTHERMAL CONDITIONS
IN THE RUSSIAN HUMID SUBTROPICS**

Malyarovskaya V. I., Belous O. G.

*Federal State Budgetary Scientific Institution
"Russian Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops",
c. Sochi, Russia, e-mail: malyarovskaya@yandex.ru*

The paper presents studying results on catalase enzyme activity and pH of the cell sap in large-leaf hydrangea (*Hydrangea macrophylla* (Thunb.) Ser.) leaves, depending on the hydrothermal conditions in the region. It was revealed that against the background of increased stress factors (air temperature, air and soil humidity), varietal differences in the studied parameters (catalase activity and pH of the cell sap) were especially performed. The effect of abiotic stressors in relatively resistant cultivars ('Draps Wonder', 'Admiration', 'Altona', 'Sester Terhesa') was characterized by higher catalase activity and low pH of the cell sap, which is especially significant during the summer drought period. In contrast, ('Madame Faustin' and 'Bichon'), catalase enzyme activity and high pH values of the cell sap were recorded in not resistant cultivars during the stress period.

Key word: large-leaf hydrangea (*Hydrangea macrophylla*), enzyme activity, catalase, hydrothermal conditions, stress-factors, pH medium.