Azerbaijan Journal of Botany, 2020.1(2): 73-77

РОЛЬ КИНОА (*CHENOPODIUM QUINOA* WILLD.) В ЗАЩИТЕ ФОТОСИСТЕМЫ II (ФС II) ОТ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА

Х.Г. Гасымова, Р.А. Ганиева, В.М. Али-заде
Институт Ботаники НАНА, Бадамдарское шоссе 40, Баку, AZ1004, Азербайджан
E-mail: xatira1987@gmail.com

Проведен сравнительный анализ защитных свойств нескольких сортов киноа (*Chenopodium quinoa*) Q_3, Q_4, Q_5 при токсическом действии Co^{2+} на фотосистему II (ФС II). Исследования осуществляли *in vivo* на листьях проростков пшеницы (*Triticum aestivum*) путем введения ионов металла и экстрактов (Э) киноа. Характер изменений индукционных переходов мсек замедленной флуоресценции хлорофилла а (ЗФ Хл *а*) при действии Co^{2+} отражается в подавлении окислительно-восстановительных реакций в электрон-транспортной цепи ФС II. Коррегирующее действие киноа по отношению к действию Co обусловлено, вероятно, их фитохимическим составом, богатым антиоксидантами, способными нейтрализовать образующиеся при стрессе супероксиданион радикалы, уменьшая тем самым токсическое действие металла.

Ключевые слова: экстракты, реактивные формы кислорода, Co, фотосистема II

ВВЕДЕНИЕ

Запрограммированная смерть клетки определяет любую форму клеточной смерти, включающую единую или серию молекулярных и клеточных процессов, независимо от влияния внешних факторов [Barber, 2003]. Однако, отрицательные факторы среды обитания растительного организма приводят к различным токсическим эффектам. Действие тяжелых металлов (ТМ) вызывает в растительном организме подавление системы антиоксидантной защиты, нарущение функции мембран, а также блокирует сайты в реакционных центрах (РЦ) фотосистем (ФС) [Joshi and Mohanty, 2004]. Падение фотосинтетической активности при действии отрицательных факторов связано с возникновением окислительного стресса, инициирующего генерацию реактивных форм кислорода (РФК) [Ahmad et al., 2008]. Нарушение баланса между генерацией и удалением РФК вызывает активизацию системы антиоксидантной защиты [Foyer and Noctor, 2005]. Однако, избыточное накопление РФК ослабляют адаптивные и защитные механизмы клетки. Исследование последних лет внесли важный вклад в изучении антиоксидантных свойств растений, являющихся потенциальными источниками натуральных антиоксидантов [Ganiyeva et al., 2009; Jafarova et al., 2019]. Одним из них является вид *Chenopodium quinoa*, известный как киноа, имеющий в химическом составе широкий спектр фенольных соединений, в том числе антоцианы и флавоноиды проявляющие высокую антиоксидантную активность [Zhu et al., 2001]. Киноа, в основном, произрастает в засушливых и полузасушливых районах Андского региона Южной Америки, хотя его культивирование распространено по всему миру [Choukr-Allah et al., 2016]. Киноа хорошо приспосабливается к экстремальным условиям и может расти в пределах 4000 метров над уровнем моря [Adolf et al., 2013]. Отсутствие в его химическом составе глютеина делает его ценным пищевым продуктом [Abugoch et al., 2009].

Целью исследований являлось определение антиоксидантных свойств ряда сортов киноа, выращенных на Кюрдамирской Опытной Станции (КОС) Института Ботаники НАН Азербайджана, в восстановлении активности фотосистемы II подавляемой действием Co^{2+} [Gasimova et al., 2018; Gasimova et al., 2019].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экстракты (Э) киноа были получены в процессе выдерживания 20 гр измельченных семян киноа в течении 14 дней в 80% этаноле при ежедневном взбалтывании. Исследования проводились на листьях 7-дневных проростков пшеницы (*Triticum aestivum* L.), выращенных в водной среде в факторостатных условиях. 7-дневные проростки подвергались действию Co^{2+} (10^{-3}M) в течении 24 ч., а затем переносились в раствор Э в концентрации 2:3 на такое же время (Э 24 ч→Co^{2+} 24 ч) вариант 1 и (Co^{2+} 24 ч→Э 24 ч) вариант 2.

Функциональное состояние фотосинтетического аппарата оценивали методом замедленной флуоресценции хлорофилла *a* (мсек ЗФ Хл *a*) в миллисекундном временном диапазоне. Кинетику мсек ЗФ Хл *a* измеряли на флуориметре, включающем фосфороскоп с интервалом времени между моментом возбуждения и свечения 1,25 мс [Goltsev et al., 2005].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Инкубация проростков пшеницы в растворе Co приводит к падению активности ФС II. Анализ флуоресцентных характеристик показал уменьшение величины отношения быстрой (б) и медленной (м) флуоресценции к стационару (с), которые определяют активность донорной (б/с) и акцепторной (м/с) стороны электрон транспортной цепи (ЭТЦ) ФС II. В первом варианте действие Э Q_3 привело к резкому возрастанию величины б/с и незначительному подъему величины м/с относительно действия Co^{2+} (90% и 12%, соответственно). Во втором варианте величина б/с несколько уменьшилась, а величина м/с возрасла (50% и 19%, соответственно) (Рис. 1 и 2 А). Действие Э Q_4 в обоих вариантах привело к возрастанию активности донорной (б/с) стороны ЭТЦ на 20% относительно действия Co^{2+}. Однако наиболее эффективное действие Э Q_4 наблюдалось на акцепторной стороне (м/с) и составило 33% и 65%, соответственно.

Действие Э Q_5 более эффективно в первом варианте. Величина б/с и м/с возрасли на 50%-53%. Величина б/с и м/с возрасли на 25% в варианте 2 относительно действия Co^{2+} (Рис. 1 и 2 Б).

Идентификация сайтов ингибирования ионами Co в ЭТЦ ФС II показала, что, возможно, ионы Co действуют непосредственно на P680 [El-Sheekh et al., 2003]. Показано, что мишенью ингибиторного действия Co^{2+} была акцепторная сторона ЭТЦ и местом связывания являлась область Q_B сайта [Ganiyeva, 2010].

Эффект ионов Co^{2+} проявляется в их участии в модификации функционирования Q_B, нарушении потока электронов между Q_A и Q_B и изменении компонентов после Q_B сайта, что приводит к ослаблению общей активности ФС II.

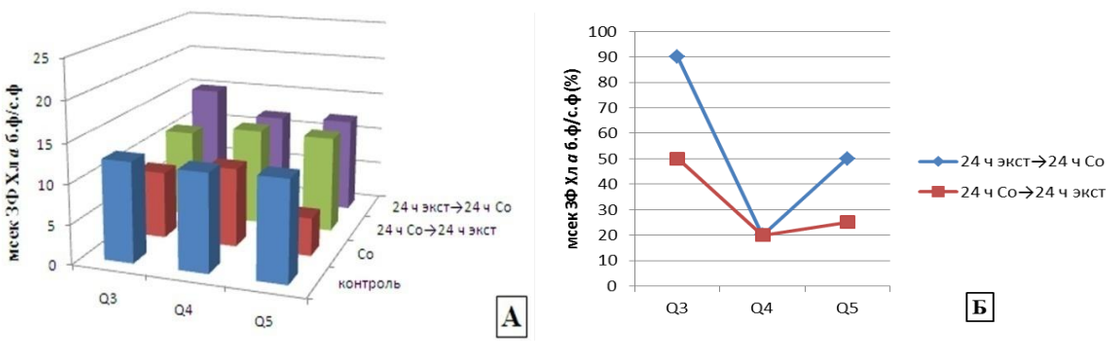

Рис 1. 1 (А) - изменение величины быстрой фазы к стационарному уровню индукционной кривой мсек ЗФ Хл *a*, при действии экстрактов киноа Q_3, Q_4, Q_5 на проростки пшеницы, подвергнутые кобальтовому стрессу, 1 (Б) - активность экстрактов Q_3, Q_4, Q_5 киноа в защите донорной стороны (б/с) электрон транспортной цепи (ЭТЦ) ФС II, подавляемой кобальтовым стрессом, (выражено в %)

На рисунке 1 (А) представлен трехмерный график, демонстрирующий изменение величины быстрой фазы к стационарному уровню индукционной кривой мсек ЗФ Хл *a*, при действии экстрактов киноа Q_3, Q_4, Q_5 на проростки пшеницы, подвергнутые кобальтовому стрессу.

На рисунке 1 (Б) показана активность экстрактов Q_3, Q_4, Q_5 киноа в защите донорной стороны (б/с) электрон транспортной цепи (ЭТЦ) ФС II, подавляемой кобальтовым стрессом, (выражено в %).

На рисунке 2 (Б) демонстрируется активность экстрактов Q_3, Q_4, Q_5 киноа в процентном отношении в защите акцепторной стороны (м/с) электрон транспортной цепи (ЭТЦ) ФС II подавляемой кобальтовым стрессом.

Как видно из приведенных результатов, наибольшей эффект Э Q_3, Q_4, Q_5 выразился в восстановлении активности донорной стороны (б/с) ЭТЦ, определяющей первичное разделение заряда и генерирование радикальной долгоживущей пары $P680^{+*}$ и $Tyrz^{+\bullet}$. Инактивация Co^{2+} акцепторной стороны происходит в результате формирования различных реактивных форм кислорода (РФК), в часности синглетного кислорода через образование триплетного хлорофилла [Gasanov et al., 2012]. Падение активности ФС II в данных условиях корригировалась действием Э Q_3, Q_4, Q_5 в условиях данного стресса. Эффект экстрактов независимо от сорта и вариантов их использования выразился в восстановлении активности как донорной, так и акцепторной стороны ЭТЦ ФС II. Различные сорта киноа были проверены на устойчивость к абиотическим стрессам, особенно к засолению, засухе и заморозкам [Gasimova et al., 2020]. Очевидно, что положительное действие экстрактов на восстановление активности ФС II определялось фитохимическим составом семян киноа включающих большое количество флавоноидов, белков, фенольных соединений, витамины группы B, C, D, E, K, PP, холины, являющиеся сильными антиоксидантами [Pereira et al., 2019]. Они способствуют нейтрализации образующихся при стрессе РФК, восстанавливая активность ФС II и поддерживают окислительно-восстановительное равновесие между фотосистемами.

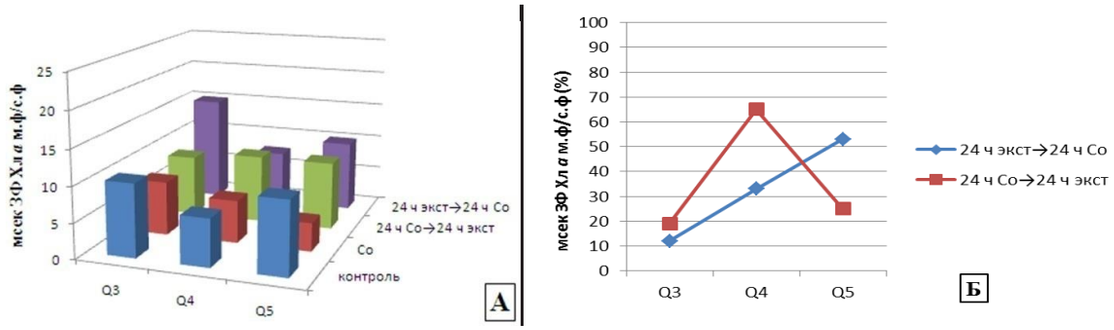

Рис 2. На рисунке 2 (А) представлен трехмерный график, демонстрирующий изменение величины медленной фазы к стационарному уровню индукционной кривой мсек ЗФ Хл *a* при действии экстрактов киноа Q_3, Q_4, Q_5 на проростки пшеницы, подвергнутые кобальтовому стрессу (выражено в %).

ЛИТЕРАТУРА

Abugoch L., Castro E., Tapia C., Anon M. C., Gajardo P., Villarroel A. (2009) Stability of quinoa flour proteins (*Chenopodium quinoa* Willd.) during storage. Int. J. Food Sci. Technol., 44(10): 2013–2020.

Adolf V.I., Jacobsen S.E., Shabala S. (2013) Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Environ. Exp. Bot. 92: 43– 54.

Ahmad P., Sarwat M., Sharma S. (2008) Reactive oxygen species, antioxidants and signaling in plants. J.Plant Biol., 51: 167–173.

Barber J. (2003) Photosystem II: the engine of life. – Quarterly Rev. Biophys. 36(1): 71-89.

Choukr-Allah R., Rao N.K., Hirich A., Shahid M., Alshankiti A., Toderich K., Gill Sh., Butt Kh., Ur R. (2016) Quinoa for marginal environments: toward future food and nutritional security in MENA and Central Asia regions. Front. Plant Sci., 7: 1-11.

El-Sheekh M.M., El-Naggar A.H., Osman M.E.H., El-Mazaly E. (2003) Effect of cobalt on growth, pigments and the photosynthetic electron transport in Monoraphidium minutum and Nitzchiaperminuta. Braz. J. Plant Physiol., 15 (3) : 159-166.

Foyer C.H., Noctor G. (2005) Redox homeostasis and antioxidant signaling: a metabolic interface between stress perception and physiological responses. Plant Cell, 17 (7): 1866–1875.

Ganiyeva R.A. (2010) Comparative studies of the sites of damage to photosystem II by ions of Co^{2+} and Cd^{2+}, Известия НАНА (биологические науки) ANAS News (series of biological and medical science), 65 (1-2): 153-158 [Ганиева Р.А. (2010) Сравнительные исследования местповреждения фотосистемы II ионами Co^{2+} и Cd^{2+}. Известия НАНА (биологическиенауки) 65 (1-2): 153-158 (In Russia)].

Ganiyeva R.A., Novruzov E.M., Bayramova S.A., Kurbanova I.M., Hasanov R.A. (2009) Effect of seabuckthorn extract on delayed chlorophyll fluorescence on Cd and Co ions treated wheat seedlings. J.Environ. Biol. 30 (6): 1055-1058.

Gasanov R.A., Aliyeva S.A., Mamedov F. (2012) Delayed Fluorescenceina Millisecond Range–a Probe for Donor Side-Induced Photoinhibition in Photosystem II, In: Photosynthesis: Overviews on Recent Progress and Future Perspectives (eds. Guruprasad K. N., Itoh S., Mohanty P.), Narosa Publishing House, New Delhi, India, Chapter 7: 101-107.

Gasimova Kh.G., Ganiyeva R.A., Alizade V.M. (2020) Protective role of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seed extracts in the protection of the thylakoid membrane under conditions of salt stress, Azerbaijan Journal of Botany, 1 (1): 72-77 [Х.Г. Гасымова, Р.А. Ганиева, В.М. Али-заде. Протекторная роль экстрактов семян киноа в защите тилакоидной мембраны в условии солевого стресса. Azerbaijan Journal of Botany, 1 (1): 72-77 (In Russia)].

Gasimova Kh.H., Ali-zade V.M., Yusupova D.M., Toderich K.N., Rakhimova T. (2019) Comparative studies of reproductive biology, seed morphology and anatomy of new salt tolerant accessions of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) introduced in Kur-Araz lowland (Azerbaijan). Plant & Fungal Research 2(2): 31-40.

Gasimova Kh.H., Husiyev E.K., Ali-zade V.M. (2018) The potential for developing non-traditional and traditional forage plants for the salt-affected areas of Kur-Araz lowland. Transactions of the Institute of Molecular Biology & Biotechnologies, ANAS, 2:21-25.

Goltsev V., Chernev P., Zaharieva I., Lambrev P., Strasser R.J., (2005) Kinetics of delayed chlorophyll a fluorescence registered in milliseconds time range, Photosynth. Res., 84: 209-15.

Jafarova J., Ganiyeva R., Bayramova S., Gasanov R. (2019) The nature of PS II reactions stability under oxidative stress. Bangladesh J.Bot. 48(4): 1029-1035.

Joshi M.K., Mohanty P. (2004) Chlorophyll a fluorescence as a probe of heavy metal ion toxicity in plants, In: Papageorgiou GC, Govindjee, editorss. Chlorophyll a fluorescence: A signature of photosynthesis, Dordrecht, the Netherlands: Springer, 637–661.

Pereira E., Encina-Zelada C., Barros L., Gonzales-Barron U., Cadavez V., & Ferreira I.C.F.R (2019) Chemical and nutritional characterization of *Chenopodium quinoa* Willd. (quinoa) grains: A good alternative to nutritious food. Food Chemistry. 280: 110- 114.

Zhu N., Sheng S., Edmond D.L., Karwe M.V., Rosen R.T. and Ho C.T. (2001) Antioxidative flavonoid glycosides from quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd). J. Food Lipids. 8: 37-44.

Role of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in protecting photosystem II (PS II) from oxidative stress

Kh.G. Gasimova, R.A. Ganiyeva, V. M. Ali-zade
Institute of Botany, ANAS, Badamdar 40, Baku, AZ1004, Azerbaijan

A comparative analysis of the protective properties of several varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) Q_3, Q_4, Q_5 under the toxic effect of Co^{2+} on photosystem II (PS II) was carried out. The studies were carried out *in vivo* on leaves of wheat germs (*Triticum aestivum*) by introducing metal ions and quinoa (E) extracts. The character of changes in induction transitions msec of delayed fluorescence of chlorophyll a (DF Chl a) under the action of Co^{2+} is reflected in the suppression of redoxreactions in the electron transport chain of PS II. The corrective effect of quinoa in relation to the action of Co is probably due to their phytochemical composition, which is rich in antioxidants, capable of neutralizing superoxide anion radicals formed under stress, thereby reducing the toxic effect of the metal.

Key words: extracts, reactive oxygen forms, Co, photosystem II

Fotosistem II-nin (PS II) oksidləşdirici stresdən qorunmasında kinoyanın (*Chenopodium quinoa* Willd.) rolu

X.H. Qasımova, R.A. Qəniyeva, V. M. Əli-zadə
AMEA Botanika İnstitutu, Badamdar şossesi 40, Bakı, AZ1004, Azərbaycan

Co^{2+} -nin Fotosistem II-də (FS II) zəhərli təsiri altında bir neçə kinoya (*Chenopodium quinoa*) Q_3, Q_4, Q_5 sortunun qoruyucu xüsusiyyətlərinin müqayisəli təhlili aparılmışdır. Tədqiqatlar *in vivo* şəraitində buğda cücərtilərinin yarpaqlarına (*Triticum aestivum*) metal ionları və kinoya (E) ekstraktları tətbiq edilərək həyata keçirilmişdir. Co^{2+} təsiri altında gecikmiş xlorofil a flüoresensiyanın (GF Xl a Chl a) msan induksiya keçidlərindəki dəyişikliklərinin xarakteri FS II-nin elektron nəqliyyat zəncirindəki oksidləşmənin azaldılması ilə əks olunur. Kinoyanın Co təsiri ilə əlaqəli korrektiv təsiri, ehtimal ki, antioksidantlarla zəngin, stress altında əmələ gələn superoksid anion radikallarını zərərsizləşdirə bilən və bununla metalın zəhərli təsirini azaldan fitokimyəvi tərkibi ilə əlaqədardır.

Açar sözlər: ekstraktlar, reaktiv oksigen növləri, Co, fotosistem II