مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية – سلسلة العلوم الأساسية المجلد (39) العدد (3) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (39) No. (3) 2017

استخدام النقل الالكتروني الضوئي كمؤشر على فعالية التركيب الضوئي

د. عبد الكريم عياش*
د. عصام محمد **
رنا نصور***

(تاريخ الإيداع 28 / 2 / 2017. قُبِل للنشر في 11 / 5 /2017)

□ ملخّص □

تمت دراسة النقل الالكتروني الضوئي كمؤشر للتعبير عن فعالية التركيب الضوئي عند صنفين من القمح الطري ACSAD 899 ، ACSAD 1059 تحت تأثير أحد الاجهاد الملحي.

تم إجراء التجربة في مزارع رملية نقية بإضافة محلول مغذي ضمن غرفة نمو، وتم تعريض النباتات بعمر 14 يوم لتركيز 100 ميلي مول من كلوريد الصوديوم (NaCl)، ثم قيست معدلات النقل الالكتروني الضوئي في الأغشية الثايلاكويدية لتلك النباتات بعمر 21، 28، 35 يوم. لُحظ انخفاض معدل النقل الالكتروني الضوئي عند الصنف ACSAD 899 بنسبة وصلت لـ 57% في اليوم الأخير من التجربة، بينما بلغت هذه النسبة حوالي 24.6% عند الصنف ACSAD 1059.

يؤدي تناقص معدل النقل الالكتروني الضوئي إلى تناقص في معدلات إرجاع غاز CO_2 وبالتالي انخفاض في انتاجية النبات، وهو ما يمكن اعتماده كمعيار للتعبير عن فعالية التركيب الضوئي.

الكلمات المفتاحية: النقل الالكتروني الضوئي، القمح الطري، كلوريد الصوديوم.

* أستاذ – فسيولوجيا النبات – قسم علم الحياة النباتية – كلية العلوم – جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.
** أستاذ – الكيمياء التحليلية – قسم الكيمياء – كلية العلوم – جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.
*** طالبة دكتوراه – البيئة والتصنيف النباتي – قسم علم الحياة النباتية – كلية العلوم – جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية – سلسلة العلوم الأساسية المجلد (39) العدد (3) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (39) No. (3) 2017

Using of Photosynthetic electron transport as an indicator of photosynthesis efficiency

Dr. Abdulkarim Ayash[*]
Dr. Issam Mohammad[**]
Rana Nassour[***]

(Received 28 / 2 / 2017. Accepted 11 / 5 /2017)

□ ABSTRACT □

Photosynthetic transport was studied as an indicator of photosynthesis efficiency in two bread wheat cultivars (ACSAD 899, ACSAD 1059) under the influence of one of the salt stress.

This study was carried out in sand cultures irrigated with nutrient solution in a growth chamber, and 14 days seedlings were treated with 100 mM of sodium chloride. Later the electron transport rates in those plants thylakoids were measured in 21, 28, 35 days of the experiment.

Electron transport rates decreased in ACSAD 899 and reached 57% in the last day of the experiment, while it was 24.6% in ACSAD 1059.

The decrease in photosynthetic electron transport rate leads to a decrease in the reduction rate of CO_2 and the plant productivity as a consequence. Therefore, it could be used as criterion to express photosynthesis.

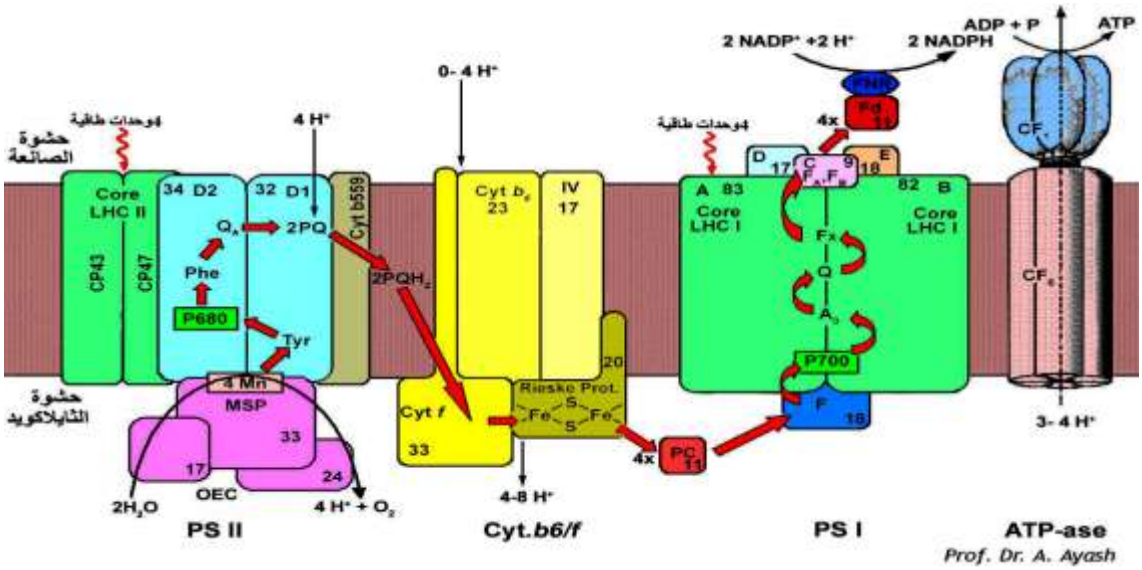
Key words: photoelectron transport rate, bread wheat, sodium chloride.

[*]**Professor , plant physiology, Botany department, Faculty of Sciences, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
**** Professor , analytical chemistry, Chemistry department, Faculty of Sciences, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
***** Postgraduate Student, plant taxonomy and environment, Botany department, Faculty of Sciences, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة

يجري النقل الالكتروني الضوئي ضمن الصانعات الخضراء Chloroplasts عند النباتات الراقية أو ضمن حوامل الأصبغة Chromatophores لدى الطحالب الدنيا والبكتيريا الخضراء المزرقة. وتشتمل مجموعتين من التفاعلات:

أ – التفاعلات الضوئية Light reactions: تجري ضمن الأغشية الثايلاكويدية Thylakoid membranes المنتشرة في الصانعات الخضراء، وتتكدس هذه الأغشية أحياناً فوق بعضها مشكلةً حبيبات تدعى بالغرانا Grana، وتمتد أحياناً أخرى غير متكدسة مشكلة مناطق بين حبيبية Intergrana. تتضمن التفاعلات الضوئية عملية شطر جزيئات الماء وانتقال الالكترونات الناجمة عن ذلك ضمن نظامي التركيب الضوئي الثاني Photosystem II (PSII) ثم الأول Photosystem I (PSI) ضمن سلسلة النقل الالكتروني الضوئي Photosynthetic electron transport chain. يجري انتقال الالكترونات ضمن هذه السلسلة بفعل الطاقة الضوئية الممتصة من قبل أصبغة التركيب الضوئي المرتبطة بالبروتينات مشكلة معقدات اقتناص الضوء Light harvesting complexes (LHC)، لتصل الالكترونات في نهاية سلسلة النقل الالكتروني إلى المستقبل النهائي وهو نيكوتين أميد أدينين ثنائي النيكليوتيد المفسفر Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate (NADP). يترافق هذا النقل مع إحداث فرق في الكمون بين طرفي الأغشية الثايلاكويدية، يُستغل لاحقاً في إنتاج الجزيئات الغنية بالطاقة (أدينوزين ثلاثي الفوسفات Adenosine triphosphate (ATP)، (عياش، 2010)، الشكل (1).



الشكل (1): التفاعلات الضوئية في الأغشية الثايلاكويدية للصانعات الخضراء

ب – تفاعلات تثبيت وإرجاع غاز ثاني أكسيد الكربون: تمثل مجموعة من التفاعلات الأنزيمية التي تجري ضمن حشوة الصانعة الخضراء Stroma. يجري خلال هذه التفاعلات تثبيت غاز ثنائي أكسيد الكربون بوساطة أنزيم الريبيلوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز أوكسجيناز Rubilose bisphosphate carboxylase oxygenase (روبيسكو RubisCO) وإرجاع هذا الغاز عبر حلقة كالفن Calvin cycle، وتحويله إلى سكريات باستغلال الطاقة (ATP) والمرافقات الأنزيمية المرجعة ($NADPH+H^+$) الناجمتين عن التفاعلات الضوئية (Mason *et al.*, 2017; Urry *et al.*, 2017).

تشير فعالية النقل الالكتروني الضوئي إلى فعالية التفاعلات الضوئية الجارية ضمن الأغشية الثايلاكويدية، التي تعد المصدر الرئيس للالكترونات والطاقة اللازمتين لجريان تفاعلات تثبيت وإرجاع غاز ثنائي أكسيد الكربون وتشكيل الكربوهيدرات وإنتاجية النباتات عموماً (Ott *et al*., 1999).

يشير تناقص معدلات النقل الالكتروني الضوئي إلى تناقص في تحرير الاكسجين وتناقص في كمية الالكترونات الواصلة إلى NADP الضرورية لإرجاع غاز CO_2 وتشكيل السكريات خلال المرحلة الثانية من التركيب الضوئي (حلقة كالفن) وبالتالي تناقص في انتاجية النبات.

تمت دراسة تأثير الاجهاد الملحي في نبات القمح الطري بغية دراسة النقل الالكتروني كمعيار في التعبير عن فعالية التركيب الضوئي. يعد القمح المحصول الأول في القطر العربي السوري من حيث المساحة والانتاج، وتتأثر انتاجيته بالإجهادات البيئية. هذا ويعد الإجهاد الملحي (الذي أصاب حوالي 20% من الأراضي المروية عالمياً) من أكثر الإجهادات البيئية تأثيراً في نمو وإنتاج المحاصيل الزراعية ومنها القمح (Parida and Das, 2005; Qadir *et al*., 2014).

يعد القمح من النباتات متوسطة التحمل للملوحة (Maas and Hoffman, 1977; Haidarizadeh and Zarei, 2009)، وتتضارب الآراء حول طور النمو الأكثر تحملاً للملوحة عنده، حيث اعتقد بعض الباحثين سابقاً أن طور الإنبات هو الأكثر تحملاً في حياة القمح (Ayer *et al*., 1952; Nishma *et al*., 2014)، بينما تبين دراسات أخرى أن هذا الطور هو الأقل تحملاً للملوحة (Rahman *et al*., 2008).

تتناقص معدلات التركيب الضوئي عند النباتات المُجهدة ملحياً مما يقود لانخفاض النمو والإنتاجية(Netondo *et al*., 2004; Moud and Maghsoudi, 2008; Sadak *et al*., 2013)، ويعود ذلك إلى أسباب عامة منها: إغلاق الثغور الورقية (Stomata)، وانخفاض فعالية أنزيم الروبيسكو RubisCO المثبت الأولي لغاز CO_2 خلال عملية التركيب الضوئي، ويؤثر الإجهاد الملحي على المستوى الجزيئي في عملية النقل الالكتروني الضوئي، التي تجري ضمن الأغشية الثايلاكويدية عن طريق التأثير في بنية هذه الأغشية الحيوية وتخريب النواقل الالكترونية المنغرسة فيها، وبما أن الأغشية الثايلاكويدية Thylakoid membranes أماكن حساسة للاجهادات الفيزيولوجية في خلايا النبات (Maslenkova *et al*., 1995; Morales *et al*., 2012; Negrao *et al*., 2017) تسبب الملوحة حدوث تبدلات عدة في بنية الغشاء الثايلاكويدي، منها:

تخريب الوحدة البروتينية المثبتة للمنغنيز (MSP) Manganese stabilizer protein في الأغشية الثايلاكويدية (Maslenkova *et al*., 1995)، الأمر الذي يؤدي إلى تناقص نشاط معقد تحرير الأوكسجين OEC، وتباطؤ النقل الالكتروني الضوئي، ومن ثم تباطؤ العمليات الحيوية المرتبطة بإنتاجية النبات.

تخريب جزئي في بنية البروتين D1 الذي يرتبط به الناقلين الإلكترونيين التيروزين (Tyr) Tyrosine والبلاستوكينون (PQ) Plastoquinone، مما يؤدي إلى خلل في انتقال الالكترونات ضمن النظام الضوئي الثاني (Sudhir and Murhty, 2004; Gong *et al*., 2008).

تخريب جزئي في بنية البروتين D_2 الذي يؤدي إلى خلل في بنية المراكز التفاعلية (P680) وجزيئات اليخضور a المرتبطة به (Netondo *et al*., 2004).

طرائق البحث و مواده

تم تنفيذ التجارب في مخابر قسم علم الحياة النباتية في كلية العلوم – جامعة تشرين، حيث تمت زراعة صنفين من القمح الطري هما ACSAD 899 (حساس للملوحة)، ACSAD 1059 (متوسط التحمل للملوحة) بعد الحصول عليهما من المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (أكساد).

تمت تنمية النباتات ضمن حاضنة مجهزة بإضاءة 5000 لوكس بمعدل 14 ساعة/يوم، وحرارة (25±1)° م ورطوبة نسبية بلغت (70%±5)؛ إذ زرعت النباتات في مزارع رملية، بعد تعقيم بذور الصنفين سطحياً بمحلول كلوريد الزئبق $HgCl_2$ (0.1%) لمدة دقيقة واحدة، ثم غسلت بالماء وزرعت بأحواض تحتوي رمل نقي ومغسول ومعقَّم، ورويت بالماء المقطر.

تم نقل البادرات متساوية الحجم بعمر سبعة أيام إلى أحواض بلاستيكية (30×20×19) سم مملوءة بالرمل النقي المغسول والمعقم، ورويت بمحلول هوغلاند المغذي المعدل بتركيز 100% (Epstein, 1972)، بمعدل 250 مل محلول لكل حوض كل يومين. أضيف ملح كلوريد الصوديوم NaCl، ولم يُضف (الشاهد) إلى المحلول المغذي في اليوم 14 للزراعة، وكانت المعاملات الملحية وفقاً لتركيز 100 ميلي مول. أخذت العينات لإجراء التحاليل على نباتات عمرها 21، 28، 35 يوماً بدءاً من تاريخ الزراعة (ثلاث مكررات لكل صنف بدون ملوحة ومع معاملة ملحية).

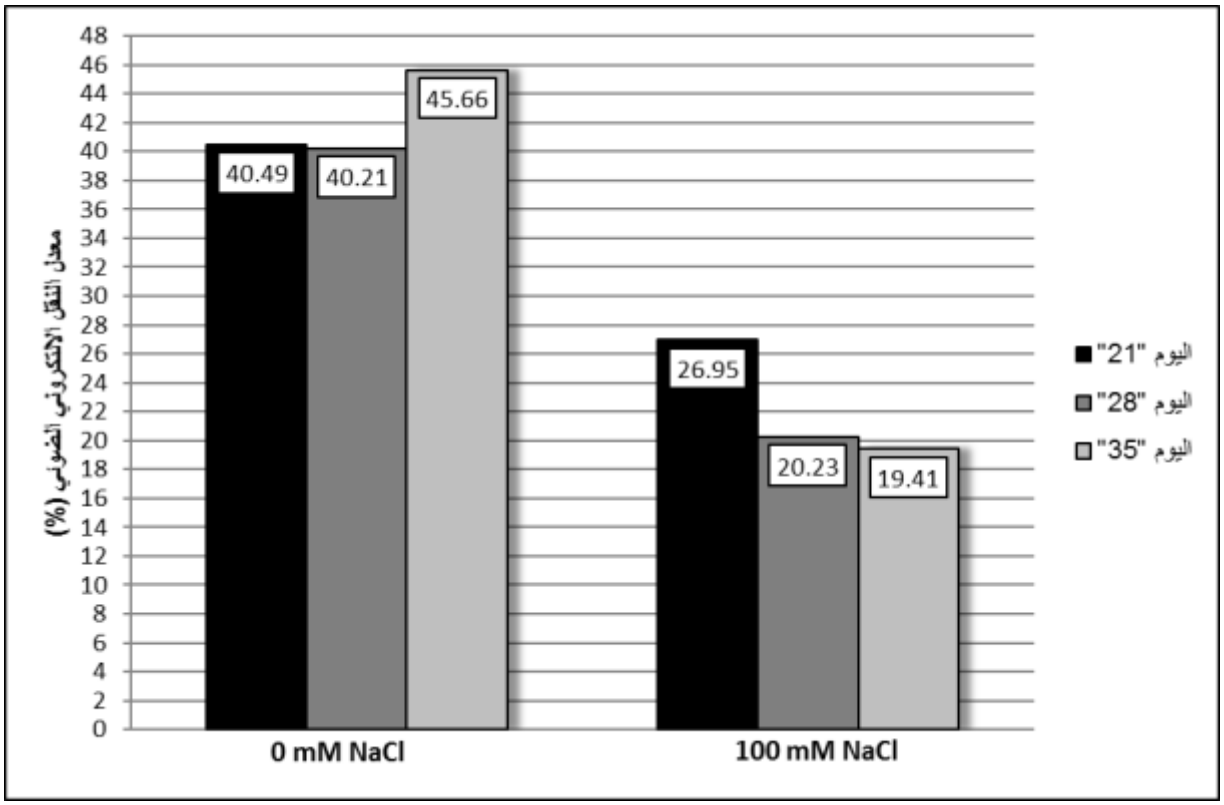
تم قياس معدل النقل الالكتروني Electron transport rate (ETR) في معلق الثايلاكويدات المعزولة المضاف له محلول ثنائي كلوروفينول اندوفينول Dichlorophenol indophenol (DCPIP) (1.5 ميلي مول) كمستقبل الكتروني لا فيزيولوجي. قُسمت العينة إلى قسمين: عُرضت احداها للضوء بشدة 6000 لوكس لمدة 15 دقيقة بينما وُضعت الآخرى في الظلام، ثم ثُفلت العينات بمثفلة مبرَّدة بسرعة 6000 د/دقيقة لمدة 10 دقائق، وجرى تحديد الكثافة الضوئية لكل منها باستخدام مقياس الطيف الضوئي عند طول الموجة 600 نانومتر، (Schopfer, 1989).

تم تقدير معدل النقل الالكتروني الضوئي عن طريق مقارنة مقدار التبدل اللوني لمزيج محلول DCPIP والمعلق في العينات المعرضة للإضاءة وتلك الموضوعة في الظلام.

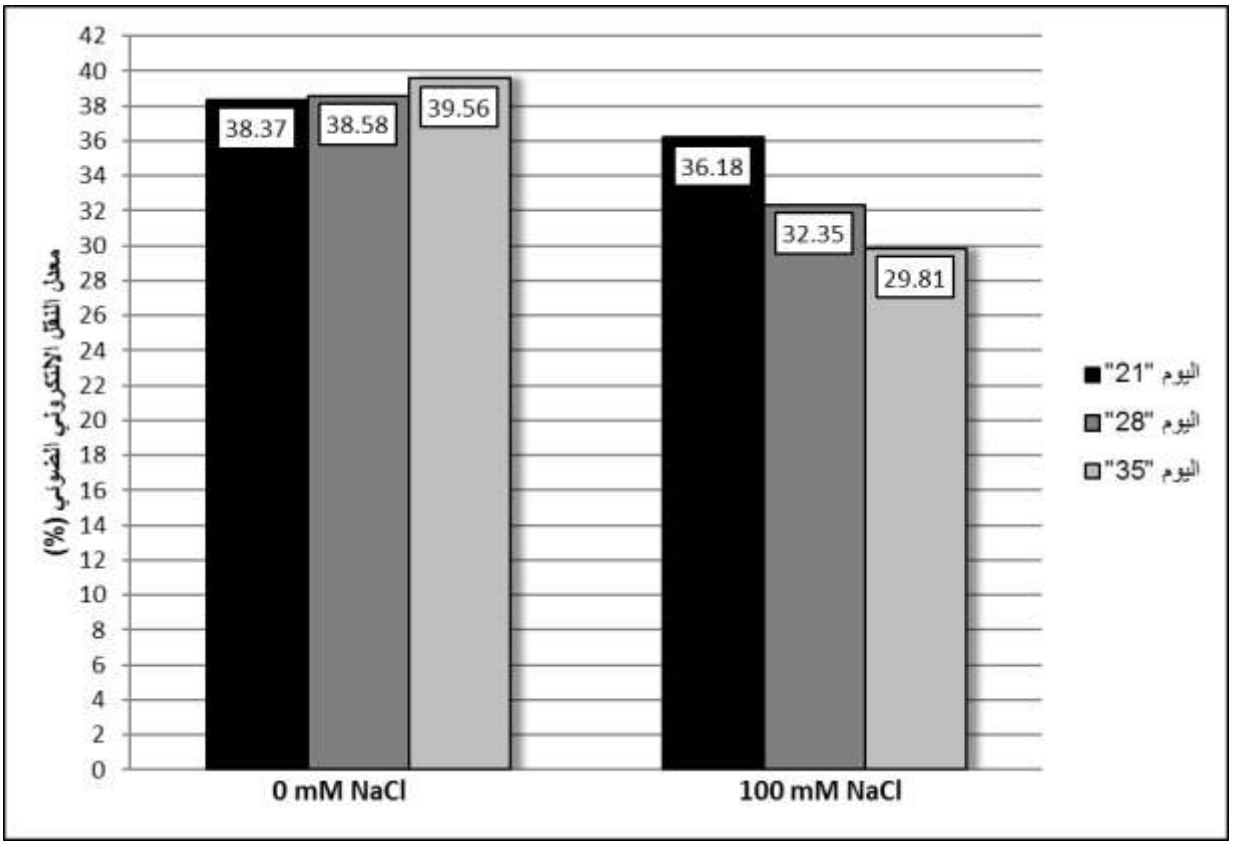
النتائج والمناقشة

يؤدي الإجهاد الملحي إلى انخفاض معدل النقل في كامل سلسلة النقل الالكتروني الضوئي في الأغشية الثايلاكويدية للصانعات الخضراء، وهذا ما أكدته العديد من الأبحاث (Stepien and Klobus, 2005; Zheng *et al.*, 2008; El-Shintinawy, 2000; Azizov and Khanisheva, 2010).

انخفض معدل النقل الالكتروني الضوئي بفعل الملوحة عند الصنف ACSAD 899 بنسب كبيرة 33.4%، 49.7%، 57.5% في الأيام 21، 28، 35 من عمر النبات على التوالي، وبدلالات إحصائية شديدة الوضوح، وفق الشكل (2)، كما انخفض معدل النقل الالكتروني لدي الصنف ACSAD 1059؛ إذ انخفض معدل النقل الالكتروني الضوئي إنما بنسب أقل بحوالي 5.7%، 16.1%، 24.6% في مراحل النمو الثلاثة على التوالي، وبفروقات إحصائية واضحة، وفق الشكل (3).



الشكل (2): تناقص معدلات النقل الالكتروني الضوئي عند الصنف ACSAD 899 بفعل ملح كلوريد الصوديوم



الشكل (3): تناقص معدلات النقل الالكتروني الضوئي عند الصنف ACSAD 1059 بفعل ملح كلوريد الصوديوم

يتبين بمقارنة الصنفين المدروسين أن معدل النقل الالكتروني الضوئي كان أكبر عند الصنف ACSAD 1059 مما هو عليه عند الصنف ACSAD 899 في الأيام 21، 28، 35 من عمر النبات بحوالي 25.51%، 37.46%، 34.89%. وقد بينت الدراسة الإحصائية وجود فروقات معنوية كبيرة نسبياً ما بين نباتات الصنفين المدروسين المعرضين للملوحة، ومنه يمكن القول أن الصنف ACSAD 1059 كان أكثر مقاومة للملوحة، وفق ما هو موضح في الجدول (1).

الجدول (1): تناقص معدلات النقل الالكتروني عند الصنفين المدروسين بفعل ملح كلوريد الصوديوم (%)

الصنف	اليوم "21"		اليوم "28"		اليوم "35"	
	المعاملة الملحية		المعاملة الملحية		المعاملة الملحية	
	شاهد	100 ميلي مول	شاهد	100 ميلي مول	شاهد	100 ميلي مول
ACSAD 899	40.49	26.95	40.21	20.23	45.66	19.41
ACSAD 1059	38.37	36.18	38.58	32.35	39.56	29.81

يؤثر ملح كلوريد الصوديوم في بنية الأغشية الثايلاكويدية (كما تم ذكره سابقاً) خصوصاً في النظام الضوئي الثاني PSII؛ إذ أشارت دراسات مختلفة إلى زيادة شدة إرجاع النواقل الالكترونية ضمن هذا النظام مما يؤدي إلى انخفاض معدلات النقل الالكتروني وزيادة معدلات الفلورة والهدر الطاقي في النباتات النامية بظروف الإجهاد الملحي في تراكيز ملحية متباينة (Netondo *et al.,* 2004; Ball and Anderson, 1986) . تشير زيادة NPQ إلى انخفاض تثبيت CO_2 وانخفاض معدل النقل الالكتروني الضوئي، مما يؤدي إلى زيادة تبديد الطاقة الضوئية بأشكال عدة أهمها التبديد الحراري (Netondo *et al.,* 2004; Stepien and Klobus, 2005; Abdeshahian *et al.,* 2010).

الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات:

- يعد النقل الالكتروني الضوئي مؤشراً واضحاً على قدرة الصنف النباتي على مدى تحمله للإجهادات الملحية، ويمكن الاعتماد عليه كبقية المعايير الدالة على سلامة جهاز التركيب الضوئي (الفلورة وتركيز صبغات التركيب الضوئي وتثبيت وارجاع غاز CO_2).
- يعد التركيز الملحي (100 mM NaCl) محدود التأثير في معدل النقل الالكتروني عند صنف القمح الطري أكساد (ACSAD 1059) خلال مراحل النمو المبكرة، بينما يكون هذا التركيز واضح التأثير فيها عند صنف القمح الطري أكساد (ACSAD 899) خلال مرحلة النمو المبكرة.
- زيادة مقدار التناقص في معدل النقل الالكتروني الضوئي مع زيادة عمر النبات من 21 – 35 يوم.

التوصيات:

- ضرورة إجراء دراسات معمقة على فعالية النقل الالكتروني الضوئي في التعبير عن معدلات التركيب الضوئي عند نباتات القمح في مراحل متقدمة من عمر النبات (مرحلتي الإزهار والتسنبل).

المراجع

1. عياش، عبدالكريم. التركيب الضوئي والكيميائي، منشورات جامعة تشرين، سوريا، 2010، 306.

2. ABDESHAHIAN, M.; NABIPOUR, M. and MESKARBASHEE, M. (2010): Chlorophyll fluorescence as criterion for the diagnosis salt stress in wheat (*Triticum aestivum*) plants. World Academy of Science, Engineering and Technology 71, 569 – 571.

3. AYERS, A. D.; BROWN, J. W. and WADLEIGH, L. (1952): Salt tolerance on barley and wheat in soil plots receiving several salinization regimes. Agron. J., 44, 307-310.

4. AZIZOV, I. V.; KHANISHEVA, M. A. (2010): Pigment content and activity of chloroplasts of wheat genotypes grown under saline environment. Proceedings of ANAS (Biological Sciences) 65 (5-6), 96 – 98.

5. BALL, M. C. and ANDERSON, J. M. (1986): Sensetivity of photosystems II to NaCl in relation to salinity tolerance. Comparative studies with thylakoids of the salt tolerant mangrove, *Avicennia marina*, and the salt sensitive pea, *Pisum sativum*. Australian Journal of Plant Physiology 13 (5), 689 – 698.

6. EPSTEIN, E. (1972): Mineral nutrition of plants. Principles and perspectives. Wiley and Sons, New-York, 412.

7. EL-SHINTINAWY, F. (2000): Photosynthesis in two wheat cultivars differing in salt susceptibility. Photosynthetica 38 (4), 615 – 620.

8. GONG, H.; TANG, Y.; WANG, J.; WEN, X., ZHANG, L. and LU, C. (2008): Characterization of photosystem II in salt-stressed cyanobacterial *Spirulina platensis* cells. Biochimica et Biophysica Acta 1777, 488 – 495.

9. HAIDARIZADEH, M. and ZAREI, M. A.(2009): Effect of different sodium chloride concentrations on early seedlings growth of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). Journal of Biological Sciences 9 (2), 188 – 191.

10. MAAS, E. V. and HOFFMAN, G. J. (1977): Crop salt tolerance current assessment. -J. Irrig. Drainage Dir. Am. Soc. Civ. Eng. 103, 115-134.

11. MASLENKOVA, L.; GAMBAROVA, N. and ZEINALOV, Y. (1995): NaCl-induces changes in oxygen evolving activity and thylakoid membrane patterns of barley plants. Adaptation to salinity. Bulg. J. Plant Physiol. 21 (1), 29 – 35.

12. MASON, K., A.; LOSOS, J. B. and SINGER, S. R. (2017). Biology, 11th edition. McGraw Hill Education, New York, USA, 1410 pages.

13. MORALES, S. G.; TREJO-TELLEZ, L. I.; MERINO, F. C. G.; CALDANA, C.; ESPINOSA-VICTORIA, D. and CABRERA, B. E. H. (2012): Growth, photosynthetic activity, and potassium and sodium concentration in rice plants under salt stress. Acta Scientiarum. Agronomy 34 (3): 317 – 324.

14. MOUD, A. M. and MAGHSHOUDI, K. (2008): Salt stress effects on respiration and growth of germinated seeds of different wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. World Journal of Agricultural Sciences 4 (3), 351 – 358.

15. NEGRAO, S.; SCHMOCKEL, S. M. and TESTER, M. (2017): Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. Annals of Botany 119: 1–11.

16. NETONDO, G. W.; ONUANGO, J. C. and BECK, E. (2004): Sorghum and salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. Crop Sci. 44, 806 – 811.

17. NISHMA, K. S.; ADRISYANTI, B.; ANUSHA, S.H.; RUPALI, P.; SNEHA, K.; JAYAMOHAN, N.S and KUMUDINI, B.S (2014): Induced growth promotion under *in vitro* salt stress tolerance on *Solanum lycopersicum* by fluorescent pseudomonads

associated with rhizosphere. Int. Journal of Applied Sciences and Engineering Research 3(2): 422 – 430.

18. OTT, T; CLARKE, J., BRIKS, K. and JOHANSON, G. (1999): Regulation of the photosynthetic electron transport chain. Planta 209: 250 – 258.

19. PARIDA, A. K. and DAS, A. B. (2005): Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety 60, 324 – 349**.**

20. QADIR, M.; QUILLEROU, E.; NANGIA, V.; MURTAZA, G.; SINGH, M.; THOMAS, R. J.; DRECHSEL, P. and NOBLE, A. D. (2014): Economics of salt-induced land degradation and restoration. Natural Resources Forum 38: 282–295.

21. RAHMAN, M.; SOOMRO, U. A.; HAQ, M. Z. and GUL, S. (2008): Effects of NaCl salinity on wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. World Journal of Agricultural Sciences 4 (3), 398 – 403.

22. SADAK, M. SH.; ABD ELHAMID, E. M. and MOSTAFA, H. M. (2013): Alleviation of adverse effects of salt stress in wheat cultivars by foliar treatment with antioxidants. I. Changes in growth, some biochemical aspects and yield quantity and quality. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci. 13 (11): 1476-1487.

23. SCHOPFER, P. (1989): Experimental plant physiology. (in German). Springer-Verlag, 460.

24. STEPIEN, P. and KLOBUS, G. (2005): Antioxidant defense in the leaves of C3 and C4 plants under salinity stess. Physiologia Plantarum 125, 31 – 40.

25. SUDHIR, P and MURHTY, S. D. S. (2004): Effect of salt stress on basic processes of photosynthesis. Photosynthetica 42 (4), 481 – 486.

26. URRY, L. A.; CAIN, M. L.; WASSERMAN, S. A.; MINORSKY, P. V. and REECE, J. B. (2017). Campbell Biology 11th edition. Pearson Education, United States of America, 1490 pages.

27. ZHENG, Y.; WANG, Z.; SUN, X.; JIA, A.; JIANG, G. and LI, Z. (2008): Higher salinity tolerance cultivars of winter wheat relieved senescence at reproductive stage. Environmental and Experimental Botany 62, 129 – 138.