

Research Article

Antioxidants مضادات التأكسد

Heba Fathi Al-Sayed^{1*}, Rifaat Ahmed Al-Kurd¹, Marwan Muhammad Al-Mawla¹, and Salma Magdy Abdel Qader¹

¹College of Fishing and Medical Sciences - University of Petra, Amman - Jordan

ARTICLE INFO

Article history:

Received 1 Apr 2019
Accepted 23 Jun 2019
Published 30 Jun 2020

DOI: <https://doi.org/10.35192/jjoas-n.v14i1.1602>

*Corresponding author:

College of Fishing and Medical Sciences -
University of Petra, Amman - Jordan

Email: halsayyed@uop.edu.jo

Keywords:

free radicals
oxidative stress
antioxidants,
amount of antioxidants
antioxidant efficiency

الكلمات المفتاحية:

الجذور الحرة
التأكسد
مضادات التأكسد
كمية مضادات التأكسد
كفاءة مضادات التأكسد

ABSTRACT

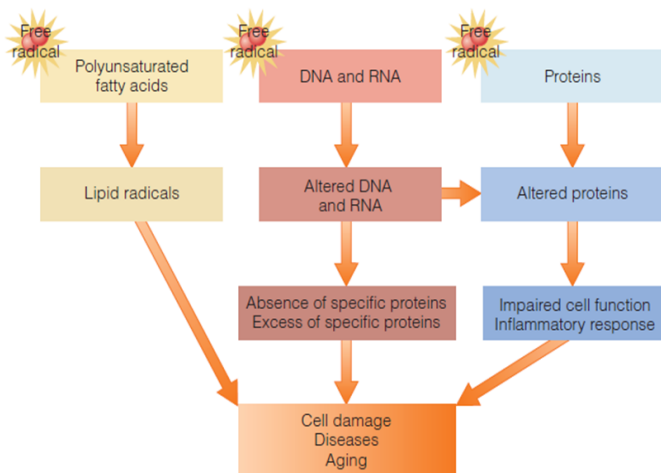
Antioxidants are chemical substances that are present either naturally or artificially. These chemicals are capable for inhibiting oxidation process. Free radicals are formed due to the loss of the electron(s) of the outermost orbit of an atom or a molecule. The loss of these electrons enables the atom to be highly reactive in chemical oxidation to satisfy/replace the lost electrons. Free radicals are continuously formed within the human body or due to the exposure to outside factors. The human body is equipped naturally with different mechanisms to reduce the free radical effect. When the formation of free radicals exceeds the body's ability of neutralizing free radicals, oxidative stress occurs. Oxidative stress is thought to be a risk factor for many chronic diseases such as cardiovascular diseases, cataract, rheumatoid diseases, diabetes, and some types of cancer. Antioxidants are abundant in fruits, vegetables, nuts, and herbs.

الملخص

تعرف مضادات التأكسد على أنها مواد طبيعية أو صناعية قادرة على منع عملية التأكسد بعدة طرق. تتكون الجذور الحرة نتيجة لفقد أحد الإلكترونين اللازمين لإشباع المدار الأخير، حيث أن فقدان ذلك الإلكترون يجعل الذرة نشطة جداً من الناحية الكيميائية كمادة مؤكسدة وقابلة لأن تتفاعل مع أحد الإلكترونات اللازمة لإشباع المدار الأخير لذرة أخرى بهدف إشباع مدارها الأخير. يتعرض جسم الإنسان للجذور الحرة من داخله بصورة طبيعية أو نتيجة لعوامل خارجية. ويستطيع الجسم التخلص من الجذور الحرة بصورة منتظمة. وقد يحدث خلل في قدرة الجسم على التخلص من تلك الجذور مسبباً ما يسمى باعتلالات الجهد التأكسدي. ويُعتقد بأن اعتلالات الجهد التأكسدي قد تسبب في العديد من الأمراض المزمنة كأمراض القلب والشرايين وعتمة العين والتهاب المفاصل والسكري وبعض أنواع السرطان. وتتواجد مضادات التأكسد في العديد من الأطعمة كالفواكه والخضار والمكسرات والأعشاب.

المقدمة

الحرارة الذرات ضمن الجزيئات ضعيفة البنية نسبياً كالجزيئات الدهنية اللامشبعة (Unsaturated fats) والأحماض النووية (Nucleic acids) والبروتينات (الشكل ١) (Rolfes et al., 2015: 361). ويؤدي هذا التفاعل إلى تأثيرات سلبية سيتم تناولها في هذه المراجعة.



التأكسد والاختزال يعرف التأكسد (Oxidation) على أنه تفاعل كيميائي يحدث بوجود عامل مؤكسِد يتضمن فقد الإلكترونات حيث تكتسب الذرة شحنة موجبة (معادلة ١) وتصبح الذرة عندئذٍ مُتأكسدة (Oxidized). وخلافاً لذلك، يحدث الاختزال (Reduction) عند اكتساب الذرة للإلكترونات؛ حيث تكتسب الذرة شحنة سالبة (معادلة ٢) وتصبح الذرة عندئذٍ مُختزلة (Reduced) (Rolfes et al., 2015: B6).

معادلة ١ عامل مؤكسِد
ذرة متعادلة (A) ← إلكترون (e⁻) + ذرة مُتأكسدة (A⁺)

معادلة ٢ عامل مختزل
ذرة متعادلة (A) + إلكترون (e⁻) ← ذرة مُختزلة (A⁻)

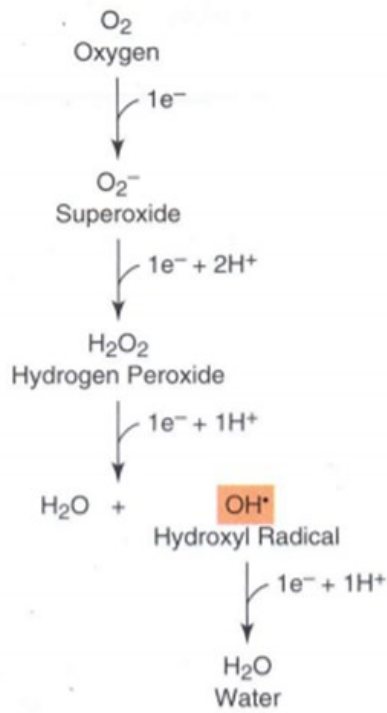
الجذور الحرة

تتكون الجذور الحرة (Free radicals) نتيجة لفقد أحد إلكتروني إشباع المدار الأخير حيث أن فقدان ذلك الإلكترون يجعل الذرة نشطة جداً من الناحية الكيميائية (Highly reactive species) كمادة مؤكسدة وقابلة لأن تتفاعل مع أحد الإلكترونات إشباع المدار الأخير لذرة أخرى بهدف إشباع مدارها الأخير (معادلة ٣). وكلما تكون جذر حر، كان قادراً على التفاعل مع ذرة أخرى في إلكترونات مدارها الأخير لإفقادها الإشباع حيث يكون هذا التفاعل حلقياً متكرراً (Radical chain reaction) (Rolfes et al., 2015: 361).

معادلة ٣ جذر حر (R) + إلكترون (e⁻) ← ذرة متعادلة (R)

الشكل ١. تمثيل للتلف الذي تلحقه الجذور الحرة بالمركبات الحيوية (Rolfes et al., 2015).

وفي الأنظمة الحيوية (Biological systems) كجسم الإنسان، تهاجم الجذور



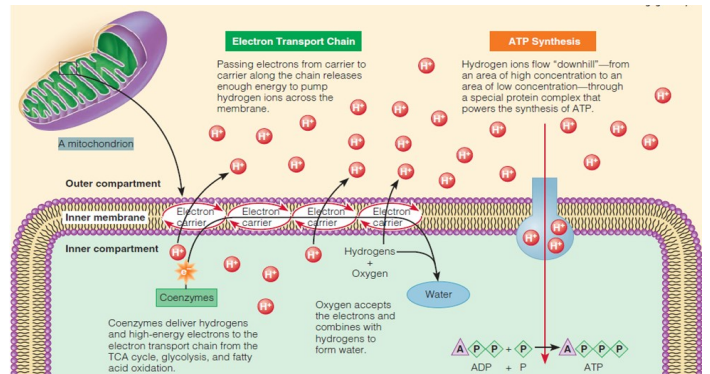
الشكل ٥. تخليق مركب فوق بيروكسيد الهيدروجين (Hydrogen Peroxide, H₂O₂) والمواد الأوكسجينية النشطة (Reactive Oxygen Species) (Beattie, 2006: ٥٧٦).

مضادات التأكسد تعرف مضادات التأكسد على أنها مواد طبيعية أو صناعية قادرة على منع عملية التأكسد بعدة طرق. فقد تحد مضادات التأكسد من تكوين الجذور الحرة أو تكتسبها (Scavenge free radicals) أو تعادله (Neutralize free radicals) عن طريق تبرع مضاد التأكسد بالإلكترونات المفقود من المدار الخبير للمادة المتأكسدة بحيث يُشبع ذلك المدار دونما حدوث أي اختلاف في البنية الإلكترونية لمضاد التأكسد وذلك لأن مضاد التأكسد يكون فعالاً في حالتيه المؤكسدة والمختزلة كما هو الحال في الفيتامين ج^١ (Vitamin C) (الشكل ٦). وقد تُصليح مضادات التأكسد العطب الناتج عن الجذور الحرة، أو تنشيط إنزيمات إصلاح ذلك العطب، كما قد تُدعم جهاز المناعة في الجسم (Beattie, 2006: 578; Rolfes et al., 2015: 555; أضرار التأكسد في الجسم

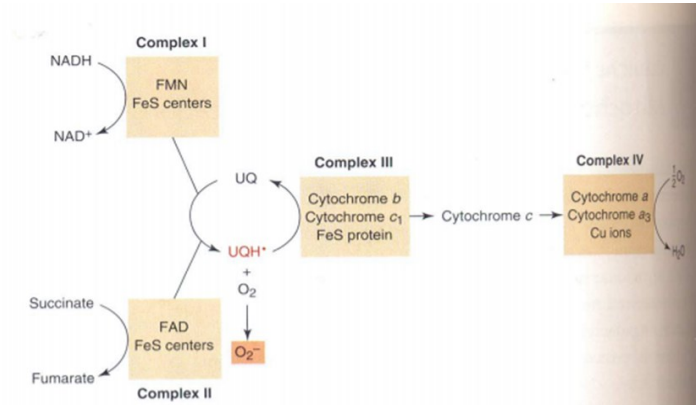
يتخلص الجسم من المؤكسدات بصورة طبيعية بالطرق الآتية ذكرها. إلا أنه في بعض الأحيان قد يفوق تعرض الجسم للمؤكسدات قدرته على التخلص منها حيث يكون الجهد التأكسدي (Oxidative stress) في الجسم مرتفعاً مما قد ينتج عنه ما يُسمى بأمراض الجهد التأكسدي (Oxidative stress diseases). وحديثاً، اعتبر السكري من النوع الأول (Diabetes mellitus Type I) وأمراض القلب والأوعية الدموية (Cardiovascular diseases) وبعض أنواع السرطان والتهاب المفاصل (Arthritis) وعتمة العين (Cataract) وارتفاع ضغط الدم (Hypertension) من أمراض الجهد التأكسدي. كما ويُعتقد بأن الشيخوخة (Aging) قد تكون ناتجة عن ارتفاع الجهد التأكسدي في خلايا جسم الإنسان (Gupta, 2015: 547).

أصناف مضادات التأكسد تُصنّف مضادات التأكسد بحسب تواجدتها (فقد توجد داخل جسم الحي أو خارجها)، كما تُصنّف بحسب مصدرها وطبيعتها الوظيفية (إنزيمية وغير إنزيمية) والكيميائية (محبّة للماء أو للدهن (Hydrophilic or lipophilic)). كما قد يكون مصدرها طبيعياً أو صناعياً (Gupta, 2015: 546). ومن مضادات التأكسد الموجودة داخل الجسم الحي إنزيمات الغلوتاثيون ترانسفيراز (Glutathione-S-transferase, GST) وسوبر أوكسيد دسميوتاز (Superoxide dismutase) والبيروكسيداز (Peroxidase) والكاتالاز (Catalase). وبشكل عام، تُحوّل مضادات التأكسد الإنزيمية المؤكسدات ذات الطابع الأوكسجيني إلى فوق أكسيد الهيدروجين ومن ثم إلى ماء (الشكل ٤). ويعتمد إنزيم الكاتالاز على الحديد والمنغنيز (Gupta, 2015: 549)، ويعتمد الغلوتاثيون ترانسفيراز في تركيبه ووظيفته على الكبريت (Sulfur, S) والسيلينيوم (Selenium, Se)، ويوجد في الكبد، ويختص بإزالة المؤكسدات العضوية وفوق أكسيد الهيدروجين (Gupta, 2015: 549). ويعتمد إنزيم السوبر أوكسيد دسميوتاز على النحاس (Copper, Cu) والزنك (Zinc, Zn) والمنغنيز (Manganese, Mn) والحديد (Iron, Fe)، ويتواجد في سوائل خارج الخلية (Extracellular fluids) وفي الخلايا الهوائية (Aerobic cells) (Gupta, 2015: 548). كما توجد بعض مضادات التأكسد غير الإنزيمية (Non-enzymatic) داخل الجسم الحي كمثبطات الإنزيمات المؤكسدة (Oxidative enzyme inhibitors) مثل إنزيم المؤكسد الحلقى

وتتعرض الأنظمة الحيوية للتأكسد بفعل الجذور الحرة إما بشكل طبيعي (Naturally) أو بفعل عوامل مؤكسدة (Oxidants). وتتعرض خلايا جسم الإنسان للتأكسد بشكل طبيعي خلال عملية التنفس الخلوي (Cell respiration) (الشكلين ٢ و ٣). كما تتأكسد المكونات الخلوية عند تعرضها للضوء أو الحرارة (الشكل ٤) أو المؤكسدات أو التدخين (Smoking) (Beattie, 2006: 576). وبين الشكل (٥) تخليق مركب فوق بيروكسيد الهيدروجين (Hydrogen Peroxide, H₂O₂) والجذور الحرة المؤكسجة (Oxygenated Radicals).



الشكل ٢. حلقة نقل الإلكترونات (Electron Transport Chain, ETC) بهدف تصنيع الأدينوسين ثلاثي الفوسفات (Adenosine Triphosphate, ATP) في الميتوكوندريا (Rolfes et al., 2015: ٢١٢).



الشكل ٣. تخليق أيونات (Superoxide) في حلقة نقل الإلكترونات داخل الميتوكوندريا (Beattie, 2006: ٥٧٦).

Fenton Reaction



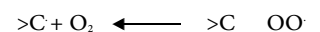
Haber-Weiss Reaction



الشكل ٤. تفاعلي فنتون (Fenton) وهابرويس (Haber-Weiss) المولدة للجذور الحرة الهيدروكسيلية (Hydroxyl radical) (Beattie, 2006: ٥٧٦).

وتكون الجذور الحرة إما مؤكسجة (Oxygenated) كجذر الهيدروكسيل الحر (Hydroxyl Radical, OH[•]) والسوبر أوكسيد (Superoxide, O₂⁻) وأكسيد النترات (Nitric Oxide, NO[•]) والبيروكسيل (فوق الأوكسيل) (ROO[•]) (المعادلة ٤) وجذر ألكوكسي (Alkoxy radical, RO[•]) (Gupta, 2015: 547, 548) أو غير مؤكسجة (Non-oxygenated) كجذر الألكيل الحر (Alkyl Radical, R[•]) والجذور النيتروجينية الحرة (Reactive nitrogen species) (Gupta, 2015: 547). وقد تتحلل فوق الأوكسيد مثل فوق أكسيد الألكيل (Alkyl Peroxide, ROOR) والبيروكسيد المائي (Hydroperoxide, ROOH) لتكون جذوراً حرة. وبالرغم من عدم وجود إلكترون منفرد في المدارات الأخيرة لمركبي فوق أكسيد الهيدروجين والأوكسجين الأحادي (Oxygen Singlet, ¹O₂) ونظراً لفرط نشاط تلك المركبات فإنها تُخلق بالجذور الحرة عند الحديث عن مضادات التأكسد (Beattie, 2006: 576).

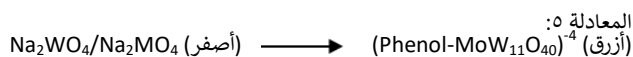
المعادلة ٤ (Gupta, 2015: 547)



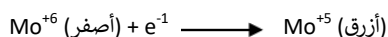
Hamilton and Grant, 2017: 371; Oliveras-López et al.,) (matairesinol 2008: 1074).

طرق قياس مضادات التأكسد مخبرياً تُقَيَّم مضادات التأكسد إما بكميتها (Antioxidant content) أو بكفاءتها (Antioxidant capacity) (Gupta, 2015: 550,551) أو بنشاطها (Antioxidant activity). ومن طرق قياس كمية مضادات التأكسد طريقة محلول فولين سيوكلي (Folin-Ciocalteu reagent method) وطريقة الفلافونويدات الكلية (flavonoids).

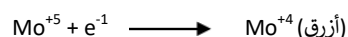
وتعتبر طريقة محلول فولين سيوكلي من أبسط وأدق الطرق لتحديد كمية مضادات التأكسد من نوع الفينولات، حيث يتم قياس كمية تفاعل التأكسد لمركبات الفينول في العينة/الاختزال للمعادن الموجودة في محلول فولين سيوكلي (حيث يتكون من مجموعة مركبات حمضية غير متجانسة (Heteropolyacids) وحمض الموليبدنوم الفوسفوري (Phosphomolybdic acid) وحمض التنجيسستن الفوسفوري (Phosphotungstic acid) في وسط حامضي حيث يكون اللون أزرقاً قاتماً) وعندما تتحول درجة الحموضة إلى القاعدية بغياب الضوء تحدث مجموعة من تفاعلات التأكسد والاختزال بحيث يتحول اللون إلى الأصفر (المعادلات ٥ و ٦ و ٧ و ٨ و ٩) ويمكن قياس درجة التحول في اللون (مقدار التفاعلات التأكسدية الاختزالية وبالتالي كمية المركبات الفينولية) بواسطة جهاز المطياف الذري (Spectrophotometer) على طول موجة مناسبة (بالمقارنة مع تراكيز مختلفة للمركب المعياري (Standard solution) المستخدم للقياس). ويتم القياس باستخدام محاليل (من أحد المركبات الفينولية) معيارية بتركيز مختلفة. وتُنسب النتيجة إلى كمية المحلول المعياري (Standard solution) في منحنى المعايرة (Standard curve) في كمية معينة من العينة. وعلى الرغم من دقة هذه الطريقة وسرعان وحساسيتها، إلا أنها لا تستطع التمييز بين المركبات الفينولية المختلفة (Agbor et al., 2014: 147).



المعادلة ٥:



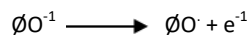
المعادلة ٦:



المعادلة ٧:



المعادلة ٨:



المعادلة ٩:

وتحدد طريقة الفلافونويدات الكلية أيضاً كمية مضادات التأكسد بناءً على تكوين معقد الألومنيوم (Aluminum complex formation) بعد إضافة مركب كلوريد الألومنيوم الثلاثي (AlCl₃) في وسط حمضي أو بوجود الأسيتات (Acetate) حيث تُكوّن مركبات الكويريسيتين (Quercetin) والروتين (Rutin) والجالينجين (Galingin) وفلافانات ٤-أول كاتيجينات (Catechin lavan-4-ol) معقدات الألومنيوم صفراء اللون في هذا الوسط. ويمكن قياس تكون تلك المعقدات بواسطة جهاز المطياف الذري على طول موجة مناسبة (مقارنةً بتركيز مختلف من تركيز محلول المركب المعياري المستخدم للقياس). ويتم القياس باستخدام محاليل (من أحد المركبات الفلافونويدية) معيارية بتركيز مختلفة. وتُنسب النتيجة إلى كمية المحلول المعياري في منحنى المعايرة في كمية معينة من العينة (Pekal and Pyrzynska, 2014: 414).

ويتم استخدام مصطلحي نشاط وكفاءة مضادات التأكسد بالتبادل في الأوساط العلمية وأحياناً يتم الخلط بينهما بشكل خاطئ. والصواب هو أن نشاط مضادات التأكسد هو معدل التفاعل الثابت بين المادة المؤكسدة والمادة المضادة للتأكسد. بينما يُطلق مصطلح كفاءة مضاد التأكسد على كمية الجذر الحر (بالمول) الذي تم التقاطه في العينة (Apak et al., 2007:1515).

وتُصنّف طرق تحليل كفاءة مضادات التأكسد إلى طرق تركز على فوق التأكسد للدهون (كطريقة تحليل حمض الثيوبوريبيثيوريك (Thiobarbituric acid assay, TBA) وطريقة تبييض البيتاكاروتين (β-carotene bleaching assay) وطرق تركز على التقاط الجذور الحرة (كاختبار ABTS واختبار قدرة مضادات التأكسد على اختزال أيون الحديدك ((Ferric reducing antioxidant power (FRAP assay)) وطرق تعتمد على نقل الإلكترونات وذرات الهيدروجين، حيث أن بعض مضادات التأكسد تتبرع بذرة الهيدروجين والبعض الآخر يتبرع بالإلكترونات (ويتفاعل مع ذلك تبادل البروتونات). وبناءً عليه، تقسم طرق تحديد كفاءة مضادات التأكسد إلى اختبارات بناءً على انتقال ذرة الهيدروجين (Hydrogen atom transfer assays, HAT-assays) واختبارات بناءً على انتقال الإلكترونات (Electron transfer assays-ETA) (Gupta, 2015: 550, 551). ويعتمد كلا النوعين من التفاعلات على طاقة انحلال الروابط الكيميائية (Bond dissociation energy) والقدرة على التأين (Ionization potential) (Prior et al., 2005: 4292).

(Cyclooxygenase) ومساعدات الإنزيمات المضادة للتأكسد (Antioxidant enzyme cofactors) مثل السيلينيوم ومرافق الإنزيم كيو ١٠ (Q10)، ولواقط الجذور الحرة من نوعي ROS/RNS كفيتامينات أ و ج و هـ (Vitamins A and C and E)، وعوامل استخلاص العناصر الانتقالية (Transition metal chelators) وجزء الغلوتاثيون (Glutathione, GSH) (Gupta, 2015: 549). وتتواجد بعض مضادات التأكسد خارج الجسم الحي كالفيتامينات الطبيعية (أ و ج و هـ) أو مضادات التأكسد المصنعة (Synthetic antioxidants) كالمادتين الحافظتين Butylated hydroxytolouene (BHT) و Butylated hydroxyanisole (BHA) كما توجد في شكل مركبات كيميائية نباتية (phytochemicals) مثل اللايكوبين (lycopene) والليوتين (lutein) والزيانثين (zeaxanthin) والأنتوسيانينات (anthocyanins) والكاروتين من نوع بيتا (β-carotene) والفلافونويدات (flavonoids) والجلوكوزينولات (glucosinolates) ومركبات الأليل الكبريتية (allyl sulfides). وتعطي هذه المركبات (عدا بعض الأليلات الكبريتية) الألوان الزاهية للأطعمة كما هو مبين في الجدول (١) (Hamilton and Grant, 2017: 731).

جدول ١. المركبات الكيميائية النباتية (المرجع: Hamilton and Grant, 2017: 731)

المركب الكيميائي النباتي	اللون
الليكوپين (lycopene)	أحمر
الليوتين والزيانثين (lutein, zeaxanthine)	أخضر-أصفر
الأنتوسيانينات (anthocyanines)	أحمر-وردي
الكاروتين من نوع بيتا (β-carotene)	برتقالي محمر
الفلافونويدات (flavonoids)	أصفر-برتقالي
الجلوكوزينولات (glucosinolates)	أخضر
مركبات الأليل الكبريتية (allyl sulfides)	أبيض-أخضر

وتعمل مضادات التأكسد غير الإنزيمية على التبرع بالإلكترونات أو ذرات الهيدروجين. أما مضادات التأكسد الإنزيمية، فتحطم أو تزيل المؤكسدات (Gupta, 2015: 548).

المصادر الغذائية لمضادات التأكسد توجد الفيتامينات المضادة للتأكسد في الأطعمة ذات الأصول النباتية والحيوانية. حيث يوجد الفيتامين أ في الأطعمة الدهنية كالحليب كامل الدسم والحليب المدعم والأجبان والزبدة والبيض والكبد. ويوجد الفيتامين هـ في الزيوت النباتية والزبدة النباتية والحبوب والمكسرات وجنين القمح وصفار البيض والجزء الدهني من اللحوم. ويوجد فيتامين ج في الفلفل والبندورة والفراولة والجوافة والحمضيات والشمام والبروكلي (Rolfes et al., 2015: 327, 347, 354).

يجب أن يتواجد في الجسم كميات معينة من السيلينيوم والنحاس والكبريت لاكمال التركيب الكيميائي للإنزيمات المضادة للتأكسد. ويوجد السيلينيوم في الأطعمة البحرية واللحوم والحبوب الكاملة والفواكه والخضروات (وتعتمد كميته على محتوى التربة من السيلينيوم). ويوجد الكبريت في الأطعمة الحاوية على المصادر البروتينية كاللحوم والدجاج والأسماك والبيض والحليب والمكسرات والبقوليات. ويوجد النحاس في الأطعمة البحرية والمكسرات والحبوب الكاملة والحبوب والبقوليات (Rolfes et al., 2015: 421).

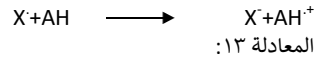
توجد المركبات الكيميائية النباتية (phytochemicals) في النباتات بشكل حصري. حيث توجد الكاروتينويدات (carotenoids) كالليكوپين (lycopene) في البندورة والبطيخ والفراولة والفلفل الأحمر الحلو والتوت الأحمر. ويوجد الليوتين (lutein) والزيانثين (zeaxanthin) (وهي من الكاروتينويدات) في الخضروات الورقية والأفوكادو والشمام والكيوي. ويوجد البيتا كاروتين (β-carotene) في الجزر والمانغا والبابايا والشمش والقرع والبطاطا الحلوة، ويتواجد الكاروتين من نوع ألفا (α-carotene) في الجزر (Hamilton and Grant, 2017: 731).

من المركبات الكيميائية النباتية الجلوكوسينولات (glucosinolates) والإندولات (Indoles) والأيزوثيوسيانينات (Isothiocyanates) كالسلفورافين (Sulphoraphane) الموجود في البروكلي وملفوف بروكسل (Brussels sprouts) والملفوف والقرنبيط، ومركبات كبريتيد الأليل (Allyl sulphide) الموجودة في الثوم والبصل والكراث (Hamilton and Grant, 2017: 731).

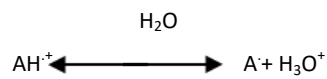
كما تُدرج متعددات الفينولات (polyphenols) بأنواعها المختلفة كالأحماض الفينولية (phenolic acids) كحمض الإلاجيك (ellagic acid) وحمض الفايستيك (phytic acid) والفلافونويدات (flavonoids) الموجودة في الدراق والشمام والليمون واليوسفي والحمضيات وزيت الزيتون كالتانينات (tannins) ومركبات الليجان (lignans) ومركبات الستيلبين (stilbenes) ضمن المركبات الكيميائية النباتية المضادة للتأكسد (Pandey and Rizvi, 2009: 271). ويتفرع من متعددات الفينولات مركبات الفلافونونات (flavonones) والفلافانولات (flavanols) والأنتوسيانينات (anthocyanins) الموجودة في العنب (وبخاصة العنب الأحمر) والتوت بأنواعه والتفاح الأحمر واللوزيات الحمراء كالجرائك والقراصيا الحمراء (Hamilton and Grant, 2017: 371)، والأيزوفلافونات (isoflavones) ومن أمثلتها مركبات الكويريسيتين (quercetin) الموجود في الفواكه والخضروات والحبوب والعصائر والشاي، والميريسيتسين (myricetin) والكاتيكينات (catechins). ومن أمثلة مركبات الستيلبين مركب الريفيرزاترول (resveratrol) الموجود في العنب. ومن أمثلة مركبات الليجان مركبي سيكوايزولارسايريزينول (secoisolaricresinol) ومركب ماتاآيزرينول (matairesinol).

Cupric (FRAP) واختبار قوة مضادات التأكسد عن طريق اختزال أيون النحاس (Apak et al., 2007:1516;) (reducing antioxidant capacity, CUPRAC (Gupta, 2015: 553).

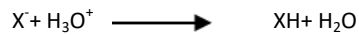
المعادلة ١٢:



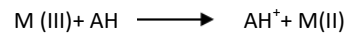
المعادلة ١٣:



المعادلة ١٤:



المعادلة ١٥:

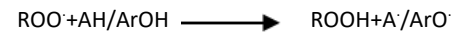


وتعتمد هذه التفاعلات على درجة الحموضة (pH) ونوع مضادات التأكسد ومحلولة التفاعل. وتحدث تلك التفاعلات في وقتٍ أطول (ثلاثين دقيقة أو أكثر) وتعتمد طرق قياسها على الانحلال في تراكيز نواتج تلك التفاعلات. وتكون نتائج القياس غير قابلة للتكرارية وغير متسقة (Inconsistent) بوجود حمض اليوريا (Uric acid) وحمض الأسكوربيك (Ascorbic acid). وتقاس هذه الاختبارات كفاءة مضادات التأكسد المحبة للماء والدهون (Prior et al., 2005: 4290).

وعند اختيار الطريقة المناسبة للتحليل، يتوجب على الباحث استخدام الطريقة المناسبة من حيث بساطة التطبيق العملي والوقت الممنوح للتحليل وتوافر أدوات التحليل وقابلية تحليل الطريقة لمضادات التأكسد باختلاف كمياتها ونوعياتها ووسط تواجدتها (Medium) ودقة الطريقة (Accuracy) وتكراريتها (Reproducibility) (Prior et al., 2005: 4300).

نشرت عدة دراسات محلية (Al-Ali et al., 2007; Tawaha et al., 2007: 1372) وعربية وعالمية (Pellegriani et al., 2003: 2814; The Organic center for education and promotion, 2005: 14; Zambrano et al., 2015; Xu et al., 2017: 4) كمية ونشاط مضادات التأكسد في الأطعمة المختلفة. فمنها ما ركز على الأعشاب ومنها ما ركز على الفواكه والخضار. وتبين الجداول (٢ و ٣ و ٤) كمية وكفاءة مضادات التأكسد في مجموعة من الخضار والفواكه والمكسرات والأعشاب.

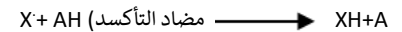
وفي الاختبارات المبنية على انتقال ذرة الهيدروجين، يتم قياس قدرة مضاد التأكسد (وعادةً ما يكون من صنف متعددات الفينولات، Polyphenols) على التقاط (quench) الجذر الحر عن طريق التبرع بذرة هيدروجين كما تبين المعادلة (١٠) المعادلة ١٠:



وعادةً ما يكون ذلك التفاعل مشعاً (Fluorescent). وفي الاختبارات المبنية على انتقال ذرة الهيدروجين يتم قياس حركية التفاعل في وجود وغياب مضاد التأكسد عن طريق قياس تثبيط ذلك الإشعاع (Fluorescence decay). ومن أمثلة تلك الاختبارات: اختبار امتصاص الجذور الحرة الأوكسيجينية (Oxygen radical absorbance capacity, ORAC assay) واختبار التقاط الجذور الحرة الكلي (Total radical trapping antioxidant parameter assay) واختبار تبييض البيتاكاروتين (β-carotene bleaching assay) واختبار تبييض الكروسين (Crocine bleaching assay) (Gupta, 2015: 552) وطريقة تثبيط تأكسد الليبوبروتين (يمكن اعتماد مصطلح بديل وهو البروتين الشحمي أو الدهني) منخفض الكثافة المحفّر (Inhibition of induced LDL oxidation) وطريقة تحليل كفاءة التقاط الجذر الحر الأوكسيجيني (Total oxygen radical scavenging capacity (oxyradical scavenging capacity) وطريقة تحليل انبعاث الضوء بناءً على التفاعل الكيميائي (Photochemiluminescent assay).

وتقيس تلك التفاعلات التنافس بين مضادات التأكسد المختلفة على منع التأكسد عن طريق منح ذرة أو ذرات الهيدروجين (المعادلة ١١). وتعتبر التفاعلات ذات العلاقة بهذه الاختبارات سريعة نسبياً (حيث يتم التفاعل في ثوانٍ أو دقائق معدودة) وتعتمد على الوسط الذي يتم فيه التفاعل ودرجة حموضته (pH). كما تتأثر سلباً وتعطي نتائج إيجابية خاطئة (False positive results) بوجود موادٍ مختزلة في وسط التفاعل كالمعادن.

المعادلة ١١:



(Prior et al., 2005: 4294)

وفي الاختبارات المبنية على انتقال الإلكترون، يتم قياس القدرة الاختزالية لمضاد التأكسد عن طريق قياس التغير اللوني باستخدام جهاز المطياف الذري (Spectrophotometer) (المعادلات ١٢ و ١٣ و ١٤ و ١٥). ومن تلك الاختبارات: اختبار مكافئ ترولويس (Trolox equivalent, ABTS/TEAC) واختبار قوة مضادات التأكسد عن طريق اختزال أيون الحديدك (Ferric reducing antioxidant power, FRAP).

الجدول ٢. كمية وكفاءة مضادات التأكسد في مجموعة من الخضار وطرق استخلاصها وتحليلها

المادة الغذائية	الاسم العلمي	طريقة الاستخلاص	كمية مضادات التأكسد	طريقة تحليل كمية مضادات التأكسد	كفاءة مضادات التأكسد	طريقة تحليل كفاءة مضادات التأكسد	الباحث/الباحثون (سنة النشر)
بطاطا	<i>Solanum tuberosum</i>	ميثانول + حرارة	٥٥٣ ملغم فينولات كلية (مقدرة كمكافئ الكاتيكين (+)) لكل كغم عينة طازجة	كاشف فولين سيوكلي	١٤,٢ %	DPPH	Karadeniz et al., 2005:300
			١٥٣ ملغم فلافونويدات كلية (مقدرة كمكافئ الكاتيكين (+))	الفلافونويدات الكلية			
بصل	<i>Allium cepa</i>		٥٣٦ ملغم فينولات كلية (مقدرة كمكافئ الكاتيكين (+)) لكل كغم عينة طازجة	كاشف فولين سيوكلي	١٢,٥ %		
			١٧٠ ملغم فلافونويدات كلية (مقدرة كمكافئ الكاتيكين (+))	الفلافونويدات الكلية			
بصل أخضر	<i>Allium fistulosum</i>		٩٤٨ ملغم فينولات كلية (مقدرة كمكافئ الكاتيكين (+)) لكل كغم عينة طازجة	كاشف فولين سيوكلي	١٥,٧ %		
			٣٢٩ ملغم فلافونويدات كلية (مقدرة كمكافئ الكاتيكين (+))	الفلافونويدات الكلية			
فجل	<i>Raphanus sativus</i>		١٠٥٦ ملغم فينولات كلية (مقدرة كمكافئ الكاتيكين (+)) لكل كغم عينة طازجة	كاشف فولين سيوكلي	٢,٤ %		
			١٧٩ ملغم فلافونويدات كلية (مقدرة كمكافئ الكاتيكين (+))	الفلافونويدات الكلية			
ملفوف أحمر	<i>Brassica oleracea</i>		٢١٦٦ ملغم فينولات كلية (مقدرة كمكافئ الكاتيكين (+)) لكل كغم عينة طازجة	كاشف فولين سيوكلي	٤٠,٨ %		
			٨٤٢ ملغم فلافونويدات كلية (مقدرة كمكافئ الكاتيكين (+))	الفلافونويدات الكلية			
بروكولي	<i>Brassica oleracea</i>	حرارة+ماء	٠,٦٨ غم لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	الفلافونويدات الكلية	التركيز اللازم لإزالة ٥٠% من الجذر الحر (ED ₅₀) = ٨٥,٨٧ ملغم لكل مل		Calado et al., 2016: 428
بادنجان	<i>Solanum melongena</i>		٢,٣ غم لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	الفلافونويدات الكلية	التركيز اللازم لإزالة ٥٠% من الجذر الحر (ED ₅₀) = ١٠٤,٩٥ ملغم لكل مل		
كرنب	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>acephala</i>		١,٣٩ غم لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	الفلافونويدات الكلية	التركيز اللازم لإزالة ٥٠% من الجذر الحر (ED ₅₀) = ٢٢١,٠٩ ملغم لكل مل		

		التركيز اللازم لإزالة ٥٠% من الجذر الحر (ED _{٥٠}) = ١٣٢,١ ملغم لكل مل	الفلافونويدات الكلية	٤,٤٥ غم لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		<i>Petroselinum crispum</i>	بققدونس
		التركيز اللازم لإزالة ٥٠% من الجذر الحر (ED _{٥٠}) = ٣٩٠,٧٢ ملغم لكل مل	الفلافونويدات الكلية	٢,٣٨ غم لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		<i>Curcubita maxima</i>	كوسا
		التركيز اللازم لإزالة ٥٠% من الجذر الحر (ED _{٥٠}) = ١٤٧,٣٧ ملغم لكل مل	الفلافونويدات الكلية	٥,٣٥ غم لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		<i>Solanum lycopersicum</i>	بندورة
Isabelle et al., 2010: 996			اختبار امتصاص الجذور الحرّة الأوكسيجينية	١١,٤٣ ميكرومول لكل غم عينة طازجة	أسيون وماء وحمض الخل	<i>Asparagus officinalis</i> L.	هليون
				٦,١٩ ميكرومول لكل غم عينة طازجة		<i>Brassica pekinensis (Lour.) Rupr. Var</i>	ملفوف صيني
				٢,٤٧ ميكرومول لكل غم عينة طازجة		<i>Daucus carota var. sativa</i>	جزر
				٨,٢٨ ميكرومول لكل غم عينة طازجة		<i>B. oleracea var. botrytis</i> L.	قربيط
				٨,٣٧ ميكرومول لكل غم عينة طازجة		<i>Apium graveolens</i> L.	كرفس
				١٨,٣٩ ميكرومول لكل غم عينة طازجة		<i>Capsicum annuum var. longum</i>	فلفل حار أخضر
				٢٧,٧٥ ميكرومول لكل غم عينة طازجة		<i>Capsicum annuum var. longum</i>	فلفل حار أحمر
				٦٠,٤٥ ميكرومول لكل غم عينة طازجة		<i>Coriandrum sativum</i> L.	كزبرة
				١٠,٣٨ ميكرومول لكل غم عينة طازجة		<i>Zea mays</i> L.	ذرة
				٢,٥١ ميكرومول لكل غم عينة طازجة		<i>Curcuma sativa</i> L.	خيار
				٢٢,٣٦ ميكرومول لكل غم عينة طازجة		<i>Allium sativum</i> L.	ثوم
				٢,٤٤ ميكرومول لكل غم عينة طازجة		<i>Abelmoschus esculentus</i> L.	بامية
				٣,٩١ ميكرومول لكل غم عينة طازجة		<i>Cucurbita moschata Duchesne</i>	قرع
				١٦,٣٧ ميكرومول لكل غم عينة طازجة		<i>Ipomoea batatas</i> Lam	بطاطا حلوة
				٢,٢٦ ميكرومول لكل غم عينة طازجة		<i>Eleocharis dulcis</i>	كستناء
				٢٨,٧٢ ميكرومول لكل غم عينة طازجة		<i>Nasturtium officinale</i> R. Br.	جرجير
Tinrat, 2016: 3	DPPH	٥٨,٧٢ ملغم مكافئ فيتامين ج لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	كاشف فولين سيوكلي	١٨,٨٧ ملغم مكافئ حمض الجاليك لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	إيثانول	<i>Capsicum annuum</i> Linn	فلفل حلو أخضر
		١٧,٢ ملغم مكافئ فيتامين ج لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		١٦,٩٥ ملغم مكافئ حمض الجاليك لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		<i>Capsicum annuum</i> Linn	فلفل حلو أصفر
		٥٤,٧٢ ملغم مكافئ فيتامين ج لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		١٣,٣٧ ملغم مكافئ حمض الجاليك لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		<i>Capsicum annuum</i> Linn	فلفل حلو أحمر
Ninfali et al., 2005: 260	ORAC	٩٥٠ ميكرومول مكافئ الترولوكس لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	كاشف فولين سيوكلي	١١٣,٧ ملغم حمض الكافيك لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	ماء مغلي	<i>Capsicum annuum, cv Grossum</i>	فلفل حلو أصفر
		٩٥٦ ميكرومول مكافئ الترولوكس لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	كاشف فولين سيوكلي	٤٤,٢ ملغم حمض الكافيك لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		<i>Lactuca sativa</i> L.	خس

المادة الغذائية	الاسم العلمي	طريقة الاستخلاص	كمية مضادات التأكسد	طريقة تحليل كمية مضادات التأكسد	كفاءة مضادات التأكسد	طريقة تحليل كفاءة مضادات التأكسد	الباحث/ (سنة النشر)
تفاح	<i>Malus domestica</i> B.	ميثانول + حرارة	٥٤١-١٣٣٣ ملغم فينولات كلية (مقدرة كمكافيء الكاتيكين ((+)) لكل كغم عينة طازجة (يختلف الرقم بحسب النوع)	كاشف فولين سيوكلي	١٤,٧-٥٠,٧% (يختلف الرقم بحسب النوع)	DPPH	Karadeniz et al., 2005: 300
		ميثانول + حرارة	٧٧٨-٣٠٨ ملغم فلافونويدات كلية (مقدرة كمكافيء الكاتيكين ((+)) لكل كغم عينة طازجة (يختلف الرقم بحسب النوع)	الفلافونويدات الكلية			
عنب	<i>Vitis vinifera</i> L.	ميثانول + حرارة	٣٧,٦-١٥,٦ ملغم فينولات كلية (مقدرة كمكافيء الكاتيكين ((+)) لكل كغم عينة طازجة (يختلف الرقم بحسب النوع)	كاشف فولين سيوكلي	٣٧,٦-١٥,٦% (يختلف الرقم بحسب النوع)		
		ميثانول + حرارة	١٠٦٩-٤٥٢ ملغم فلافونويدات كلية (مقدرة كمكافيء الكاتيكين ((+)) لكل كغم عينة طازجة (يختلف الرقم بحسب النوع)	الفلافونويدات الكلية			
إجاص	<i>Pyrus communis</i> L.	ميثانول + حرارة	١٦,٧-١١,٥ ملغم فينولات كلية (مقدرة كمكافيء الكاتيكين ((+)) لكل كغم عينة طازجة (يختلف الرقم بحسب النوع)	كاشف فولين سيوكلي	١٦,٧-١١,٥% (يختلف الرقم بحسب النوع)		
			٣٨١-٣٢١ ملغم فلافونويدات كلية (مقدرة كمكافيء الكاتيكين ((+)) لكل كغم عينة طازجة (يختلف الرقم بحسب النوع)	الفلافونويدات الكلية			
رمان	<i>Punica granatum</i> L.	ميثانول + حرارة	٢٦,٧ ملغم فينولات كلية (مقدرة كمكافيء الكاتيكين ((+)) لكل كغم عينة طازجة (يختلف الرقم بحسب النوع)	كاشف فولين سيوكلي	٦٢,٧%		
		ميثانول + حرارة	٤٥٩ ملغم فلافونويدات كلية (مقدرة كمكافيء الكاتيكين ((+)) لكل كغم عينة طازجة)	الفلافونويدات الكلية			
بطيخ أصفر	<i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.)		١,١٠ ملغم مكافيء حمض الجاليك لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	كاشف فولين سيوكلي	٠,٣٧ ملغم مكافيء فيتامين ج لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	DPPH	Tinrat, 2016: 3
بطيخ أحمر	<i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.)	إيثانول	١,٩٤ ملغم مكافيء حمض الجاليك لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		٠,٣٥ ملغم مكافيء فيتامين ج لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		
فراولة	<i>Fragaria vesca</i> L.	ميثانول	١٧٨,٥٦ ملغم حمض الجاليك لكل ١٠٠ غم عينة جافة		التركيز اللازم لإزالة ٥٠% من الجذر الحر (IC ٥٠%) = ٨١,٨٣ ميكروغرام لكل مل		
جواقة	<i>Psidium guajava</i> L.	ميثانول	١٢٧,٥٤ ملغم حمض الجاليك لكل ١٠٠ غم عينة جافة		التركيز اللازم لإزالة ٥٠% من الجذر الحر (IC ٥٠%) = ١١٨,٢٢ ميكروغرام لكل مل		Batison et al., 2013: 583
عنب أحمر	<i>Vitis vinifera</i>	٨٠% إيثانول و ٨٠% ميثانول			٨٢,٤٤ ملغم لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	DPPH	Venka-tachalam et al., 2014: 1041
زبيب أشقر			٤٠٠,٣٧ ملغم مكافيء حمض الجاليك لكل ١٠٠ غم عينة جافة	طريقة كاشف فولين-سيوكلي	٢٦٤,٥٦ ميكرومول ترولوكس لكل ١٠٠ غم عينة جافة	DPPH	Miletić et al., 2014: 363
زبيب غامق			١٧٤,٧ ملغم مكافيء حمض الجاليك لكل ١٠٠ غم عينة جافة		١٥٢,٦٣ ميكرومول ترولوكس لكل ١٠٠ غم عينة جافة		
بوملي	<i>Citrus decumana</i>	٩٥% إيثانول	١٣,٥٧ ملغم مكافيء حمض الجاليك لكل ١٠٠ غم عينة جافة	طريقة كاشف فولين-سيوكلي	٩,٧٦ ملغم مكافيء الترولوكس لكل ١٠٠ غم عينة جافة	DPPH	Wang et al., 2017: 1117

Al-Sayyed et al., 2019: 3,4	CUPRAC	٠,٦٦٨٧ مول ترولوكس في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	طريقة كاشف فولين-سيوكالتي	٠,٩٩١٧ مول كاتيكين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	إيثانول+حرارة		
		٠,٤٦١٤ مول ترولوكس في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		١,٠٦٧١ مول كاتيكين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	ميثانول+حرارة		
		٠,٨٨٣٥ مول ترولوكس في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		٠,٩٢٤٤ مول كاتيكين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	ماء+حرارة		
	DPPH	نسبة تثبيط الجذر الحر ٣٠,٠٥٧٣%	الفلافونويدات الكلية	٠,٦٦٨٧ ميكرومول روتين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	إيثانول+حرارة		
	CUPRAC	٠,٩٣٠٧ مول ترولوكس في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	طريقة كاشف فولين-سيوكالتي	٠,٨٠٧٢ مول كاتيكين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	إيثانول+حرارة	<i>Citrus sinensis</i>	برتقال
		٠,٧٣٤٥ مول ترولوكس في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		٠,٧٩٣٦ مول كاتيكين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	ميثانول+حرارة		
		١,٧٧٥٥ مول ترولوكس في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		١,٢٣٥٥ مول كاتيكين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	ماء+حرارة		
	DPPH	نسبة تثبيط الجذر الحر ٣٨,٨٣٠٨%	الفلافونويدات الكلية	٢,٤٧٠٤ ميكرومول روتين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	إيثانول+حرارة		
		نسبة تثبيط الجذر الحر ٢٤,٠٩٤٥%		٠,٥٩٨٧ ميكرومول روتين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	ميثانول+حرارة		
		نسبة تثبيط الجذر الحر ٤٧,٥٨٧٢%		١٢,٣٣٩ ميكرومول روتين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	ماء+حرارة		
	CUPRAC	٢,٠١٥٧ مول ترولوكس في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	طريقة كاشف فولين-سيوكالتي	١,١٣٧٢ مول كاتيكين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	إيثانول+حرارة	<i>Citrus limonus</i>	ليمون
		٥,٤٨٤٧ مول ترولوكس في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		١,٣٧٥١ مول كاتيكين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	ميثانول+حرارة		
		١,٠٩٠٤ مول ترولوكس في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		١,٢٣٥٥ مول كاتيكين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	ماء+حرارة		
	DPPH	نسبة تثبيط الجذر الحر ١٠,٢٢٣٢%	الفلافونويدات الكلية	٣,٢٧٥١ ميكرومول روتين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	إيثانول+حرارة		
		نسبة تثبيط الجذر الحر ٣٣,٣٤٦٣%		٠,٨٧٥٢ ميكرومول روتين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	ميثانول+حرارة		
		نسبة تثبيط الجذر الحر ٣٣,٧٥٧٢%		١١,١١٥٦ ميكرومول روتين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	ماء+حرارة		
	CUPRAC	١,٠٧١٤ مول ترولوكس في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	طريقة كاشف فولين-سيوكالتي	٠,٨٠٨٠ مول كاتيكين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	إيثانول+حرارة	<i>Citrus nobilis</i>	مندلينا
		١,٩٤٧٢ مول ترولوكس في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		١,٠٦٧٢ مول كاتيكين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	ميثانول+حرارة		
		٠,٧٧٥١ مول ترولوكس في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		١,٣٤٣٢ مول كاتيكين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	ماء+حرارة		
	DPPH	نسبة تثبيط الجذر الحر ٢٠,٠٥٠٤%	الفلافونويدات الكلية	١,٢١٦٢ ميكرومول روتين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	إيثانول+حرارة		
		نسبة تثبيط الجذر الحر ٣٤,٠٤٥٠%		٠,٨٧٥٢ ميكرومول روتين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	ميثانول+حرارة		
		نسبة تثبيط الجذر الحر ٤٦,٤٧٢٣%		٠,٥٦٩٢ ميكرومول روتين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	ماء+حرارة		
Miletić et al., 2014: 363	DPPH	٣١٧,٥٦ ميكرومول ترولوكس لكل ١٠٠ غم عينة جافة	طريقة كاشف فولين-سيوكالتي	١٣,٥٠٤٦ ملغم مكافئ حمض الجاليك لكل ١٠٠ غم عينة جافة	٦٢,٥ % ميثانول	<i>Prunus armeniaca</i>	مشمش مجفف
		٣٨٨,٩٨ ميكرومول ترولوكس لكل ١٠٠ غم عينة جافة		١٦٧,٥١ ملغم مكافئ حمض الجاليك لكل ١٠٠ غم عينة جافة		<i>Phoenix dactylifera</i> L.	تمر
Al-Sayyed et al., 2018	CUPRAC	٤,٩٥٣١ مول ترولوكس في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	طريقة كاشف فولين-سيوكالتي	١,٧٢٦٣ مول كاتيكين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	ميثانول + حرارة		
		١,٥٠٠٥ ميكرومول ترولوكس في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		٠,٦٢٩٦ مول كاتيكين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	إيثانول + حرارة		
		٧,١٦٦٩ ميكرومول ترولوكس في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		٢,٧٥٨٩ مول كاتيجين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	ماء + حرارة		
	DPPH	نسبة تثبيط الجذر الحر ٣١,٥١٣٠ %	الفلافونويدات الكلية	٩٥,٣٠٦٠ مول كاتيكين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	ميثانول + حرارة		
		نسبة تثبيط الجذر الحر ١١,٤٦٠٢ %		٤٥,٢٩١٤ مول روتين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	إيثانول + حرارة		

		ماء + حرارة	٣٤,٨٢٣٧ مول روتين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	نسبة تثبيط الجذر الحر % ٥٠,٠٠٠	
رطب	ميثانول + حرارة	٢,٣٤٥٩ مول كاتيكين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	طريقة كاشف فولين-سيوكالي	٣٥,٨٩٩٨ مول ترولوكس في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	CUPRAC
	إيثانول + حرارة	٤,٩٠٣٠ مول كاتيكين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		٣٥,٢٦٥٤ ميكرومول ترولوكس في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	
	ماء + حرارة	٣,٧٤٥٢ مول كاتيكين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		٤٥,٣٢٠٨ ميكرومول ترولوكس في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	
	ميثانول + حرارة	٩,٠٠٩٤ مول روتين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	الفلافونويدات الكلية	نسبة تثبيط الجذر الحر % ٣٥,٨٩٩٨	DPPH
	إيثانول + حرارة	٣٢,٢٠٦٥ مول روتين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		نسبة تثبيط الجذر الحر % ٣٥,٢٦٥٤	
	ماء + حرارة	٩,٠٦٠٧ مول روتين في اللتر لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		نسبة تثبيط الجذر الحر % ٤٥,٣٢٠٨	

الجدول ٤. كمية وكفاءة مضادات التأكسد في مجموعة من المكسرات وطرق استخلاصها وتحليلها

المادة الغذائية	الاسم العلمي	طريقة الاستخلاص	كمية مضادات التأكسد	طريقة تحليل كمية مضادات التأكسد	كفاءة مضادات التأكسد	طريقة تحليل كفاءة مضادات التأكسد	الباحث/الباحثون (سنة النشر)
جوز	<i>Carya illinoensis</i>	ميثانول	٩,٧١ غم لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	الفلافونويدات الكلية	التركيز اللازم لإزالة ٥٠% من الجذر الحر (ED _{٥٠}) = ٩٣,١١ ملغم لكل مل	DPPH	Calado et al., 2015: 428
لوز	<i>Prunus dulis</i>		١٢,٢٥ ملغم لكل ١٠٠ غم	الفلافونويدات الكلية	٤٤,٥ ميكروغرام مكافئ الريتنول لكل غم عينة طازجة	ORAC	Bolling et al., 2010: 122,123
كاجو	<i>Anacardium occidentale</i>		١,٩٩ ملغم لكل ١٠٠ غم		٢٠,٠ ميكروغرام مكافئ الريتنول لكل غم عينة طازجة		
بندق	<i>Corylus avellana</i>		١١,٩٩ ملغم لكل ١٠٠ غم		٩٦,٥ ميكروغرام مكافئ الريتنول لكل غم عينة طازجة		
صنوبر	<i>Pinus pinea</i>		٠,٤٩ ملغم لكل ١٠٠ غم		٧,٢ ميكروغرام مكافئ الريتنول لكل غم عينة طازجة		
فستق	<i>Pistacia vera</i>		١٨,٠٠ ملغم لكل ١٠٠ غم		٧٩,٨ ميكروغرام مكافئ الريتنول لكل غم عينة طازجة		
جوز	<i>Juglans nigra</i>		٢,٤٧ ملغم لكل ١٠٠ غم		١٣٥,٤ ميكروغرام مكافئ الريتنول لكل غم عينة طازجة		
فول سوداني (غير محمص)	<i>Arachis hypogaea</i> L.		٣٧٠ ملغم مكافئ حمض الجاليك لكل ١٠٠ غم وزن جاف	كاشف فولين-سيوكالي	٦ ميكرومول مكافئ الترولكس لكل غم مادة جافة	DPPH	Rosales-Martínez et al., 2014: 187
فول سوداني (محمص)			٤٥٧ ملغم مكافئ حمض الجاليك لكل ١٠٠ غم وزن جاف		٨ ميكرومول مكافئ الترولكس لكل غم مادة جافة		

الجدول ٥. كمية وكفاءة مضادات التأكسد في مجموعة من النباتات وطرق استخلاصها وتحليلها

المادة الغذائية	الاسم العلمي	طريقة الاستخلاص	كمية مضادات التأكسد	طريقة تحليل كمية مضادات التأكسد	كفاءة مضادات التأكسد	طريقة تحليل كفاءة مضادات التأكسد	الباحث/الباحثون (سنة النشر)
أوراق الكاري	<i>Murraya koenigii</i>	حرارة+ماء	٥٩,٢ ملغم مكافئ حمض الجاليك لكل غم	كاشف فولين-سيوكالي	نسبة التثبيط ٦١,٤%	DPPH	Devatkal et al., 2012:783
أوراق الحلبة	<i>Trigonella foenum-graecum</i>	حرارة+ماء	٥٢,٢ ملغم مكافئ حمض الجاليك لكل غم	كاشف فولين-سيوكالي	نسبة التثبيط ٦٤,٢%	DPPH	Devatkal et al., 2012:783
أوراق الكرنديه	<i>Hibiscus sabdariffa</i>	إيثانول وميثانول وأستون وماء	١٩,٣ – ٢٩,٦ ملغم مكافئ حمض الجاليك لكل غرام (بحسب محلول الاستخلاص)	كاشف فولين-سيوكالي			Anokwuru et al., 2011:562
أوراق الكرنديه	<i>Hibiscus sabdariffa</i>	إيثانول وميثانول وأستون وماء	٣٣,٣ – ٥٣,٦ ملغم مكافئ الكاتيكين لكل غرام (بحسب محلول الاستخلاص)	الفلافونويدات الكلية			Anokwuru et al., 2011:562
زعر بري	<i>Origanum vulgare</i>	حرارة+ماء	٣,٠٢ غم لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	الفلافونويدات الكلية	التركيز اللازم لإزالة ٥٠% من الجذر الحر (ED _{٥٠}) = ٨٥,٨٧ ملغم لكل مل	DPPH	Calado et al., 2015:428
زنجبيل	<i>Zingiber officinale</i> Rosc		٣١,٦٢ ميكرومول لكل غم عينة طازجة	اختبار امتصاص الجذور الحرة الأوكسيجينية			Isabelle et al., 2010:226
أوراق المبرمية	<i>Salvia officinalis</i>	ماء مغلي	٧٩٨ ملغم حمض الكافيك لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	كاشف فولين-سيوكالي	٣٢٠٠٠٤٠١ ميكرومول مكافئ الترولكس لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	ORAC	Ninfali et al., 2005:260

			الفلافونويدات الكلية	٧٤٩٠.٥ ملغم حمض الكافيك لكل ١٠٠ غم عينة طازجة			
	ORAC	٢٧٢٩٧٠.٤ ميكرومول مكافئ التولوكس لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	كاشف فولين-سيوكلي	٨٥٤٠.٢ ملغم حمض الكافيك لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		<i>Origanum majorana</i>	مردقوش
			الفلافونويدات الكلية	٨١٢٠.٦ ملغم حمض الكافيك لكل ١٠٠ غم عينة طازجة			
	ORAC	٢٩٠٠.٣٢ ميكرومول مكافئ التولوكس لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	كاشف فولين-سيوكلي	١٣٧٧.٣ ملغم حمض الكافيك لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		<i>Rosmarinus officinalis</i>	حصا البان
			الفلافونويدات الكلية	١٣٢١.٠٢ ملغم حمض الكافيك لكل ١٠٠ غم عينة طازجة			
	ORAC	٤٨٠٠.٠٢ ميكرومول مكافئ التولوكس لكل ١٠٠ غم عينة طازجة	كاشف فولين-سيوكلي	٢٣٤٠.٠ ملغم حمض الكافيك لكل ١٠٠ غم عينة طازجة		<i>Ocimum basilicum</i>	ريحان
			الفلافونويدات الكلية	٢٣٠٠.٠ ملغم حمض الكافيك لكل ١٠٠ غم عينة طازجة			

chicken patties, Journal of Food Science and Technology 49, 781–785.

1 حيث أنه نشط كمضاد للتأكسد بالشكل المختزل (Ascorbic acid) والمتأكسد (Dehydroascorbic acid)

2 ومركب الغلوتاثيون هو ببتيد ثلاثي (Tripeptide) يحتوي في تركيبه على الحمضين الأميين السيستين (Cysteine) والغلایسن (Glycine)، ويتواجد في شكلين كيميائيين (متأكسد ومختزل) حيث يكون الشكل المختزل قادراً على وهب إلكترون للجزيء غير المستقر كيميائياً ليصبح بدوره غير مستقر وقادراً على التفاعل مع جزيء آخر من الغلوتاثيون ليتكون مركب الغلوتاثيون ثنائي الكبريت (Glutathione disulfide). كما يمكن إعادة تصنيع الغلوتاثيون عن طريق الإنزيم المختزل للغلوتاثيون (Glutathione reductase) (Gupta, 2015: 549).

المراجع

- Hamilton, B. and Grant, B. (2017). Medical Nutrition Therapy for Cancer Prevention, Treatment, and Survivorship. Mahan, LK. and Escott-Stump, S. (Eds.). Krauser's Food and Nutrition Therapy. Saunders: Elsevier Inc.
- Gupta, D. (2015). Methods for Determination of Antioxidant Capacity: A Review, International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research 6, 546-566.
- Isabelle, M., Lee, B., Lim, M., Koh, W., Dejian Huang, D., Ong, C. (2010). Antioxidant activity and profiles of common vegetables in Singapore, Food Chemistry 120, 993-1003.
- Karadeniz, F., Burdurlu, H., Koca, N., Soyer, Y. (2005). Antioxidant activity of selected fruits and vegetables grown in Turkey, Turkish Journal of Agriculture & Forestry 29, 297-303.
- Miletić, N., Popović, B., Mitrović, O., Kandić, M., and Leposavić, A. (2014). Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity of Dried and Candied Fruits Commonly Consumed in Serbia, Czech Journal of Food Science 32, 360-368.
- Ninfali, P., Mea, G., Giorgini, S., Rocchi, M., and Bacchiocca, M. (2005). Antioxidant capacity of vegetables, spices and dressings relevant to nutrition, British Journal of Nutrition 93, 267-266.
- Oliveras-Lo'pez, M., Berna', G., Everardo M. Carneiro, E., Lo'pez-García de la Serrana, H., Martí'n, F., and Lo'pez, M. (2008). An Extra-Virgin Olive Oil Rich in Polyphenolic Compounds Has Antioxidant Effects in Of1 Mice, The Journal of Nutrition 138, 1074-1078.
- Pandey, K. and Rizvi, S. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease, Oxidative Medicine and Cellular Longevity 2, 270-278.
- Pekal, A. and Pyrzynska, K. (2014). Evaluation of Aluminium Complexation Reaction for Flavonoid Content Assay, Food Analytical Methods 7, 1776-1782.
- Pellegrini, N., Serafini, M., Colombi, B., Rio, D., SalvatoreMarta, S., and Bianchi, B. (2003). Total Antioxidant Capacity of Plant Foods, Beverages and Oils Consumed in Italy Assessed by Three Different In Vitro Assays, The Journal of Nutrition 133, 2812-2819.
- Prior, R., Wu, X., and Schaich, K. (2005). Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements, Journal of Agricultural and Food Chemistry 53, 4290-4302.
- Rolfes, S.R., Pinna, K., and Whitney, E. (2015). *Understanding Normal and Clinical Nutrition*, 10 th edition. USA: Cengage Learning.
- Agbor, G., Vinson, J., and Donnelly, P. (2014). Folin-Ciocalteu Reagent for Polyphenolic Assay, International Journal of Food Science, Nutrition and Dietetics 3, 147-156.
- Al-Sayyed, H., Al-Kurd, R., Mwalla, M., and AbdelQader, S. (2018). Determination of Antioxidant Content and Capacity of Four Jordanian Fresh Citrus Fruits, Australian Journal of Basic and Applied Sciences 12, 58-62.
- Al-Sayyed, H., Al-Kurd, R., Mwalla, M., and AbdelQader, S. (2019). Antioxidant Content and Capacity of Jordanian Date Palm Fruit at two Maturity Stages, Journal of Agricultural Science 11, 1-9 (مقبولة للنشر).
- Anokwuru, C., Esiaba, I., Ajibaye, O., and Adesuyi, A. (2011). Polyphenolic content and antioxidant activity of Hibiscus sabdariffa calyx, Research Journal of Medicinal Plant 5, 557-566.
- Apak, R., Güçlü, K., Demirata, B., Özyürek, M., Çelik, S., Bektaşoğlu, B., Berker, I. and Dilek Özyurt, D. (2007). Comparative Evaluation of Various Total Antioxidant Capacity Assays Applied to Phenolic Compounds with the CUPRAC Assay, Molecules 12, 1496-1547.
- Batson, W., Maruyama, S., Gomes, S., and Matsushita, M. (2013). Total phenolic content and antioxidant capacity of methanolic extracts of ten fruits, Acta Scientiarum 35, 581-588.
- Beattie, D. (2006). Bioenergetics and Oxidative Metabolism. Devlin, T. (Editor). Textbook of Biochemistry with Clinical Correlations, 6th edition. USA: Hoboken, 520-577.
- Bolling, B., McKay, D., and Blumberg, J. (2010). The phytochemical composition and antioxidant actions of tree nuts, Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition 19, 117-123.
- Calado, J., Albertão, P., Oliveira, E., Letra, M., Helena, A., Sawaya, F., Marcucci, M. (2015). Flavonoid contents and antioxidant activity in fruit, vegetables and other types of food, Agricultural Sciences 6, 426-435.
- Devatkal, S., Thorat, P., M. Manjunatha, and Anurag, R. (2012). Comparative antioxidant effect of aqueous extracts of curry leaves, fenugreek leaves and butylated hydroxytoluene in raw

23. Rolfes, S.R., Pinna, K., and Whitney, E. (2015). Understanding Normal and Clinical Nutrition, 10 th edition. USA: Cengage Learning.
24. Rosales-Martínez, P., Arellano-Cárdenas, S., Dorantes-Álvarez, L., García-Ochoa, F., and López-Cortez, M. (2014). Comparison Between Antioxidant Activities of Phenolic Extracts from Mexican Peanuts, Peanuts Skins, Nuts and Pistachios, Journal of Mexican Chemical Society 58, 185-193.
25. Tawahaa, K., Alalib, F., Gharaibehd, M., Mohammada, M., and El -Elimat, T. (2007). Antioxidant Activity and Total Phenolic Content of Selected Jordanian Plant Species, Food Chemistry 104, 1372-1378.
26. The Organic Center for Education and Promotion. (2005). Elevating Antioxidant Levels in Food through Organic Farming and Food Processing at URL https://www.organic-center.org/reportfiles/Antioxidant_SSR.pdf
27. Tinrat, S. (2016). Antioxidant activities and total phenolic content of multi-colored fruits and vegetables in Thailand, KKU Research Journal 21, 1-10 .
28. Venkatachalam, K., Rangasamy, R. and Krishnan, V. (2014). Total antioxidant activity and radical scavenging capacity of selected fruits and vegetables from South India, International Food Research Journal 21, 1039-1043.
29. Wang, Y., Qian, J., Cao, J., Wang, D., Liu, C., Yang, R., Li, X., and Sun, C. (2017). Antioxidant Capacity, Anticancer Ability and Flavonoids Composition of 35 Citrus (*Citrus reticulata* Blanco) Varieties, Molecules 22, 1114-1134.
30. Xu, D-P., Li, Y., Meng, X., Zhou, T., Zhou, Y., Zheng, J., and Zhang, J-J. (2013). Natural Antioxidants in Foods and Medicinal Plants: Extraction, Assessment and Resources, International Journal of Molecular Sciences 18, 1-32.
31. Zambrano-Moreno, E., Chavez-Jauregui, R., Plaza, M., and Wessel-Beaver, L. (2015). Phenolic content and antioxidant capacity in organically and conventionally grown eggplant (*Solanum melongena*) fruits following thermal processing, Food Science and Technology 35, 414-420.