الباب التاسع
الكيمياء الإشعاعية والأنظمة البيولوجية

obeikandl.com

obeikandl.com

الباب التاسع

" الكيمياء الإشعاعية والأنظمة البايولوچية "

علمنا من قبل أنه نتيجة لتسليط أشعة مؤينة علي جزيئات المحيط تتكون سلسلة من الجزيئات المتأينة وحالات إثارة لبعض الجزيئات المتواجدة في المحيط علي طول مسار الأشعة ثم تبدأ التفاعلات الكيميائية السريعة وخلاصة هذه التفاعلات تتحطم جزيئات وتتولد أخري .

وبما أن خلايا الكائن الحي تحوي الكثير من المركبات الكيميائية البسيطة التركيب والمعقدة بنسبة معينة لأداء وظائفها الحيوية، لذلك سيؤدي تسليط الأشعة المؤينة إلي تلف هذه المركبات أو تغيير نسبها ثم تولد مركبات أخري قد لا تستطيع أن تؤدي الوظائف الحيوية في جسم الكائن الحي .

وسنتناول هذه الظاهرة من خلال تأثير الأشعة المؤينة علي أهم المركبات الكيميائية الحيوية في خلايا الكائن الحي مثل البروتينات والأحماض النووية والأحماض الأمينية والمواد الكربوهيدراتية والسكرية والشحوم والفيتامينات إذ قد وجد بالتجربة أن جرعة الأشعة العالية تستطيع أن تقتل الكائن الحي هذا وقد أجريت تجارب أخري تثبت أن أنواعا متعددة من مرض السرطان تتكون نتيجة تعرض الكائن الحي إلي الأشعة المؤينة.

وقد أثبت من جهة أخري أن بعض الخلايا السرطانية قد تتحطم عند التعرض للأشعة. وكما أجريت أيضا تجارب لتكون عدة أنواع من الأحماض الأمينية عند تعرض خليط من غاز الميثان وغاز الامونيا وبخار الماء وغاز الهيدروجين إلي الأشعة

المؤينة وقد تقودنا هذه التجارب في المستقبل إلي بعض الاستنتاجات بخصوص أصل تكون الحياة علي الكرة الأرضية.

1- تأثير الأشعة المؤينة علي المركبات الكيميائية الحيوية :

(أ) البروتينات والأحماض الأمينية :-

لقد أجريت بحوثا كثيرة حول تأثير الأشعة المؤينة علي البروتينات ووحداتها الأساسية والأحماض الأمينية . وان التركيب الأيوني – زويتريون – للحامض الأميني $^{-}OOCR^{+}NH_3$ (Zwitterion from) يجعل تفاعله سريعا مع الالكترونات المتميئة في المحاليل المائية وتجعل وحدة الارتباط البينية الببتيد – CONH – (Peptide) في تركيب البروتين تفاعل الحامض الأميني سريعا جدا مع الالكترونات المتميئة.

وبصورة عامة يتكون غاز ثاني اوكسيد الكربون ومادة الأمين وغاز الامونيا ومركبات أخري عند تعرض الأحماض الأمينية للأشعة المؤينة. ويبين الجدول التالي قيم الناتج الكيميائي للإشعاع للمركبات المتكونة نتيجة التحلل الإشعاعي لمادة الجلايسين الصلبة عند تعرضها لأشعة جاما.

الناتج الكيميائي للإشعاع عند تعرض مادة الجلايسين الصلبة لأشعة جاما

المادة الناتجة	قيمة – G
NH_3	4.8
OHC.COOH	2.5
H_2	0.2~
CH_3COOH	2.3
CO_3	0.2~
HCHO	0.03~
CH_3NH_2	0.2

وتتفاعل كل من ذرات الهيدروجين وجذور الهيدروكسيل والالكترونات المتميئة في المحاليل المائية مع جزيئة حامض الجلايسين وفقا للتفاعلات التالية :

$$OH + H_3N^+CH_2COO^- \longrightarrow H_2O + H_3N^+CHCOO^-$$

$$H + H_3NCH_2COO^- \longrightarrow H_2 + H_3N^+CHCOO^-$$

$$e_{eq}^- + H_3N^+CH_2COO^- \longrightarrow NH_3 + CH_2COO^-$$

$$\longrightarrow H + H_2NCH_2COO^-$$

$$CH_2COO^- + H_3N^+CH_2COO^- \longrightarrow CH_3COO^- + H_3N^+CHCOO^-$$

$$2H_3N^+CHCOO^- \longrightarrow H_2N^+=CHCOO^- + H_3N^+CH_2COO^-$$

$$H_2N^+=CHCOO^- + H_2O \longrightarrow {}^+NH_4 + OHC.COO^-$$

$$\xrightarrow{H^+} {}^+NH_4 + HCHO + CO_2$$

$$H_3N^+CHCOO^- + H_2O_2 \longrightarrow H_2N^+=CHCOO^- + H_2O + OH$$

ولقد وجد أيضا أن كميات قليلة من المواد $(CH_2COOH)_2$ و $(NH_2CHCOOH)_2$ و $(H_2NCH(COOH)CH_2COOH)$ في المحلول لمعرض للاشعة نتيجة تفاعلات الجذور الحرة فيما بينهما، ويبين الجدول التالي قيم الناتج الكيميائي للإشعاع لتحلل الجلايسين في المحاليل المائية بعدم وجود الأوكسجين عند تعرضه لأشعة اكس .

وتتحلل جميع الأحماض الأمينية في المحاليل المائية بميكانيكية تشابه كثيرا ميكانيكية تحلل الجلايسين. لذلك تتحلل الأحماض الأمينية في خلايا الكائن الحي عند تعرضها للأشعة المؤينة مكونة مركبات كيميائية لا تستطيع أداء الوظائف الحيوية كما كان الحامض الأميني.

الناتج الكيميائي للإشعاع عند تحلل الجلايسين في المحاليل المائية بواسطة أشعة اكس

المادة الناتجة	قيمة – G
NH_3	3.97
OHC.COOH	2.10
H_2	2.02
CH_3COOH	1.20
CO_2	0.90
HCHO	0.53
CH_3NH_2	0.19
HCOOH	0.085
O_2	0.01>

أما طرق تحلل البروتينات فتكون مماثلة لطرق تحلل الأحماض الأمينية لان البروتين عبارة عن سلسلة من الاحماض الأمينية المختلفة تتحد فيما بينها بوحدة ارتباط بينية تسمي الببتيد ويوضح الجدول التالي التغير في محتوي الأحماض الأمينية التي تكون البروتين في مصل الزلال (**Serum albumine**) عند تعرضه لأشعة اكس فس المحاليل المائية.

(ب) الأحماض النووية :

تلعب الأحماض النووية دورا حيويا في تنظيم وإدارة الأنظمة الحية لذلك فهي في غاية الأهمية في الكيمياء الإشعاعية إذ من المهم معرفة ما يحدث لهذه الأحماض عند تعرضها للأشعة المؤينة. وتتكون الأحماض النووية من حامضين هما الحامض

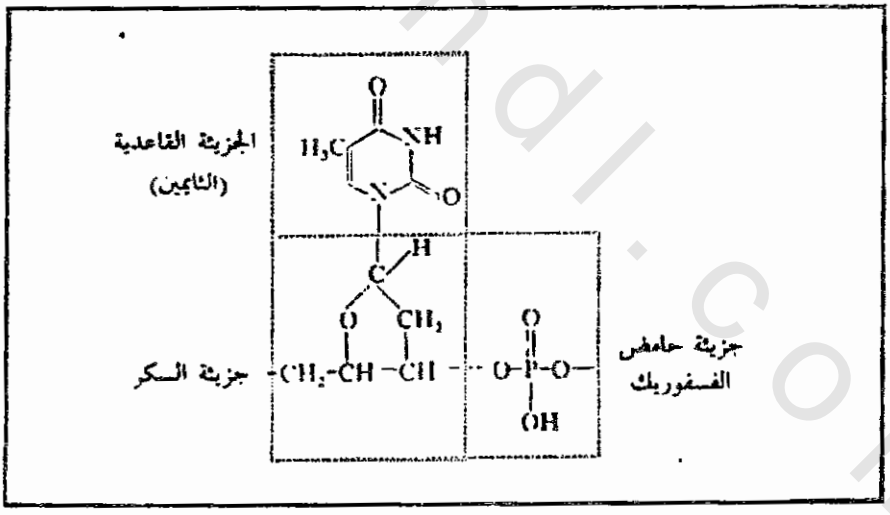
التغير في محتوي الاحماض الأمينية في مصل الزلال عند تعرضه لأشعة أكس

الحامـــــض		المحتـوي الابتـدائي جرام بكل 100 جرام بروتين	المحتـوي بعـد التعـــــرض للأشـعة جـرام بكل 100 جرام بروتين	النقصـان بالجرامات	الزيـــادة بالجرامات
الجلايسين	Gycine	1.88	1.72	0.16	—
الالانين	Alanine	6.78	5.13	1.65	—
الفالين	Valine	5.53	5.54	—	0.01
الليوسين	Leucine	11.90	10.75	1.15	—
الجلوتاميك	Glutamic	17.4	13.10	4.30	—
الارجنين	Arginine	6.01	6.3	—	0.29
الفنيك الانين	Phenylalanine	6.37	5.89	0.48	—
الاسبارتيك	Aspartic	10.60	10.8	—	0.20
السرين	Serine	4.42	4.55	—	0.13
الهستدين	Histidine	4.01	4.14	—	0.13
الثايروسين	Tyrosine	5.15	4.51	0.64	—
الثريونين	Threonine	5.94	5.11	0.83	—
اللايسين	Lysine	12.80	10.75	2.05	—
البرولين	Proline	5.12	4.72	0.40	—

obeikandl.com

النووي الرايبوزي Ribonucleic Acid , RNA والحامض النووي الدي أوكسي رايبوز Deoxyribonucleic Acid , DNA فهما يتكونان من سلسلة من وحدات كيميائية تدعي نيوكليوتيدات (Nucleotides) .

ويتكون كل نيوكليوتيد من ثلاث جزيئات وهي جزيئة سكر وجزيئة حامض الفسفوريك وجزيئة قاعدية ، ففي الحامض النووي RNA تكون جزيئة السكر D-ribose والجزيئة القاعدية هي جزيئة اليوراسيل (Uracil) ، أما في وحدة الحامض النووي DNA فتكون جزيئة السكر D-2-deoxyribose والجزيئة القاعدية هي الثايمين (Thymine) ويقدر وزنه الجزيئي بآلاف الملايين ويتكون من سلسلتين مزدوجتين حلزونية يرتبطان فيما بينهما بواسطة الرباط أو الرابطة الهيدروجينية. ويمثل الشكل التالي تركيب وحدة النيوكليوتيد في الحامض النووي DNA .



وتقسم الأضرار التي تصيب الأحماض النووية عند تعرضها للأشعة المؤينة إلي قسمين رئيسين هما :

الأضرار الرئيسية :

وتضم انشطار سلسلة الحامض وتكون جزيئات حامض نووي آخر أو جزيئات مكونات الخلية الأخرى .

الأضرار الثانوية :

وتضم التغيرات في الجزيئات القاعدية في وحدة النيوكليوتيد .

وتصيب جرعة الأشعة العالية أضرارا فادحة في الحامض النووي **DNA** إذ تتحطم سلسلتي الحامض المزدوجة الحلزونية من خلال انشطار رابطة الفوسفات والرابطة الهيدروجينية إذ ينتج عن ذلك تكون أملاح الفوسفات اللاعضوية والاسترات الفوسفاتية.

أما في المحاليل المائية فتتفاعل الالكترونات المتميئة مع الجزيئة القاعدية في النيوكليوتيد تفاعلا سريعا إذ يتراوح ثابت معدل سرعته بين 10^{9}-10^{10} مول$^{-1}$ ديسيمتر$^{3+}$ ثانية$^{-1}$ وتتفاعل جذور الهيدروكسيل مع جزيئة السكر تفاعلا سريعا أيضا. لا تتحطم جزيئة الثايمين القاعدية في النيوكليوتيد عند وجود الأوكسجين خلال التعرض للأشعة بسبب تفاعلها مع الالكترونات المتميئة كما هو موضح في المعادلات الكيميائية التالية:

$$\text{Thymine} + e_{aq}^{-} \longrightarrow (\text{Thymine})^{-}$$

$$2(\text{Thymine})^{-} + O_2 + H_2O \longrightarrow 2\text{Thymine} + H_2O_2 + 2OH^{-}$$

عندئذ يتكون بيرو كسيد الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد نتيجة لذلك. يمثل الجدول التالي قيم الناتج الكيميائي للإشعاع نتيجة تحلل جزيئة الثايمين عند تعرضها لأشعة جاما في المحاليل المائية .

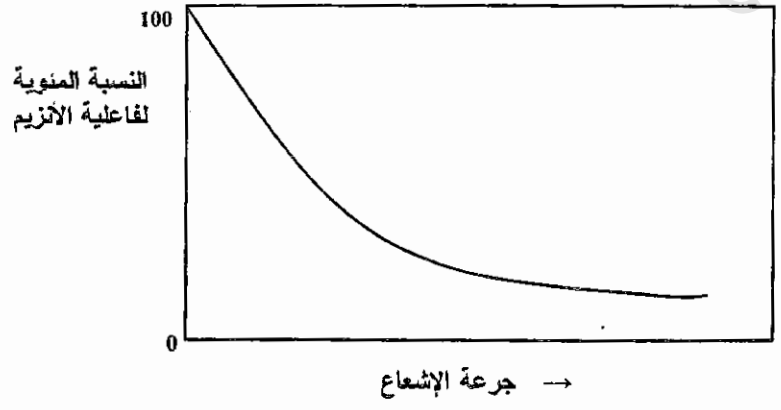
نتائج التحلل الإشعاعي للثايمين في المحاليل المائية عند تعرضه لأشعة جاما

المادة الناتجة	قيمة – G
الثايمين (جزيئة متفككة)	2.5–
الثايمين ثنائي الهيدروجين	0.15
مثيل اليوراسيل 5 ــ الهيدروكسيلي	0.23
كلايكول الثايمين (ترانز)	0.42
كلايكول الثايمين (سز)	0.25
الثايمين 6 ــ الهيدروجيني 5 ــ الهيدروكسيلي	0.38

(جـــ) الإنزيمات :

أن الغرض الأساسي للاهتمام البيولوجي في الكيمياء الإشعاعية للبروتينات هو دراسة ما تؤثره الإشعاعات علي الإنزيمات. وتقترح احدي النظريات الحديثة أن خمول فعالية الإنزيم (**Inactivation**) يتم عن طريق التأين المنفرد أو بواسطة عدة تأينات تحدث في أي موقع في جزيئة الإنزيم .

وأما حالات إثارة الإنزيم والتأين الذي قد يحدث بعيدا عن جزيئته (تأين الجزيئات الأخرى في المحيط) فلا تأثير لها علي فعالية الإنزيم ويمثل الشكل التالي العلاقة بين النقصان في فعالية الإنزيم وازدياد جرعة الإشعاع :



(د) الشحـــوم : (Lipids)

تتألف الشحوم الحيوانية من جليسرات الأحماض الشحمية المشبعة وغير المشبعة التي يتراوح عدد ذرات الكربون فيها من **12-20** ذرة. تتحلل هذه الشحوم إشعاعيا مكونة غاز الهيدروجين كناتج رئيسي وغاز الميثان وغاز ثاني أو كسيد الكربون ومركبات هيدوكربونية غير مشبعة واسترات.

(هـ) المواد الكربوهيدراتية والسكريات :

تعتبر المواد الكربوهيدراتية والسكريات مكونات مهمة جدا في النباتات والحيوانات على السواء إذ أن الرايبوز والدي أوكسي رايبوز يمثلان المكونات الجوهرية في تركيب الحوامض النووية. ولقد درس سكر **D** – الكلوكوز بجهد أكثر من غيره من السكريات في المحاليل المائية إذ يتفاعل مع الالكترونات المتميئة بصورة بطيئة جدا ولكنه يتفاعل مع جذور الهيدروكسيل بثابت معدل سرعة يقارن بثابت معدل سرعة تفاعل تلك الجذور مع الكحولات .

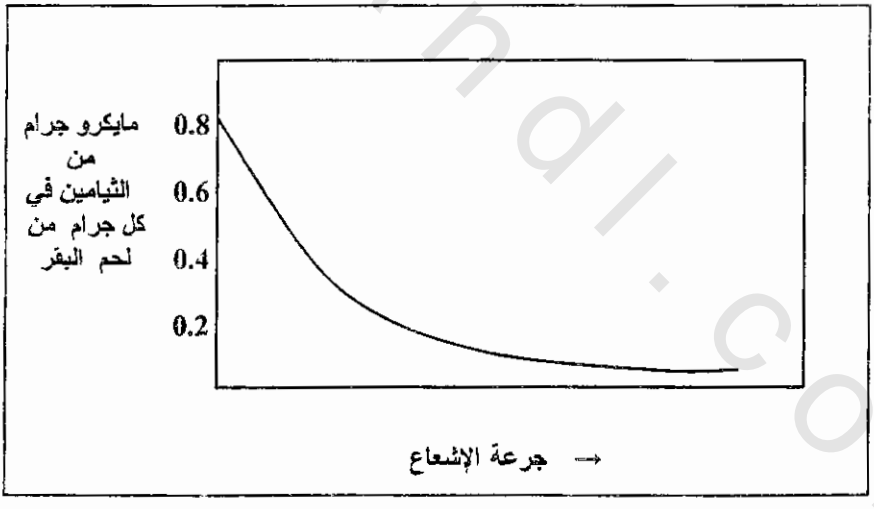
ويشمل التفاعل بين الجلوكوز وجذور الهيدروكسيل سلب ذرة هيدروجين من موقع الألفا نسبة إلي مجاميع (**OH**) في جزيئة الجلوكوز وتتفاعل أيضا ذرات الهيدروجين مع الجلوكوز بنفس الطريق الذي تتفاعل به جذور الهيدروكسيل ولكن بصورة أبطأ. وتتضمن المركبات الكيميائية المستقرة المتكونة نتيجة التحلل الإشعاعي للجلوكوز في المحاليل المائية حامض الجلوكونيك (**Gluconic acid**) وحامض الجلوكورونيك (**Glucuronic acid**) ومادة الأريثروز (**Erythrose**) ومواد أخري تحتوي علي ذرتين وثلاث ذرات كربون .

أما البوليمرات الكربوهيدراتية مثل الجلايكوجين فيتحمل تحت تأثير الإشعاع انحلالا سريعا في الحالة الصلبة أو في المحاليل وانشطارا عشوائيا في سلسلته بحيث

تكون قيمة – G لانكسار السلسلة حوالي (13) ونتيجة لذلك تتكون بوليمرات أحادية مثل الجلوكوز وحامض الجلوكونيك.

(و) تأثير الأشعة المؤينة على بعض الفيتامينات في مختلف أنواع الأغذية :

ثبت من الدراسات السابقة أن الفيتامينات تتحطم في الأغذية المعرضة للأشعة المؤينة بدرجة حرارة المحيط ومن بين هذه الدراسات تحطم فيتامين ب1 – الثيامين – (Thiamine) . ونظرا لحساسية هذا الفيتامين للأشعة فقد استعمل كدليل لدراسة تأثيرات عوامل عديدة في عمليات التعرض للأشعة فمثلا لقد وجد العالم ويلسون أن تلف هذا الفيتامين يزداد في لحم البقر بازدياد جرعة الإشعاع كما هو مبين في الشكل التالي :



وتبين النتائج التجريبية أيضا أن تلف الثيامين يكون على أعلاه في اللحوم التي تحتوى على مستوى عالي منه كما هو موضح في الجدول التالي :

تأثير معدل جرعة الاشعاع علي استبقاء الثايمين في اللحوم المعرضة للاشعة بدرجة 0-5 منوي

نوع اللحم	مصدر الإشعاع	كمية الثايمين بالمايكرو جرام لكل جرام من اللحم	الكمية المتبقية من الثايمين بالمايكروجرام في نموذج اللحم بعد التعرض للأشعة				
			الجرعة بالميجاراد				
			2	3	3.6	5	7
الدجاج	كوبلت ـ 60*	0.14	—	0.029	—	0.02	0.02
	المعجل الالكتروني الخطي **	—	0.064	—	0.038	0.031	—
البقر	كوبلت ـ 60	0.24	—	0.038	—	0.022	0.007
	المعجل الالكتروني الخطي	—	0.101	—	0.043	0.024	—
الخنزير	كوبلت ـ 60	6.85	—	0.343	—	0.206	0.206
(Pork)	المعجل الالكتروني الخطي	—	1.37	—	0.685	0.48	—
فخد الخنزير	كوبلت ـ 60	8.51	—	0.424	—	0.17	0.085
(Ham)	المعجل الالكتروني الخطي	—	0.681	—	0.596	0.17	—

(*) جرعة الاشعاع = **700** راد بالثانية.

(**) جرعة الاشعاع = **10** مليون الكترون فولت، 10^9 راد بالثانية.

يوضح الجدول بأنه ليست هناك فروقا ذات أهمية بين كميات الفيتامين المتبقية بازدياد جرعة الإشعاع اذا كان معدل الجرعة واطئا كما فى حالة الكوبلت – 60 أو عالي كما فى المعجل الالكتروني الخطى .

تؤثر الأشعة المؤينة أيضا على فيتامين ب$_6$ إذ يزداد تلف هذا الفيتامين بازدياد جرعة الإشعاع ويكون تلفه فى النباتات التى يتواجد بها اشد من تلفه فى الحيوانات كما هو موضح فى الجدول التالي الذي يمثل النسبة المئوية المتبقية من هذا الفيتامين فى كل من كبد البقر والدجاج (Boned) الطازجين واللهانة الطازجة أيضا بعد تعرضهم للأشعة .

النسب المئوية المتبقية من فيتامين ب$_6$ في بعض الاغذية الطازجة بعد تعرضها للاشعة

نوع الغذاء	النسبة المئوية المتبقية من الفيتامين بعد التعرض للاشعة	
	2.8 ميجاراد	5.6 ميجاراد
كبد البقر	100	82
الدجاج (boned)	68	63
اللهاة	63	53

ويزداد تلف هذا الفيتامين اذا كانت هذه الأغذية مخزونة لمدة طويلة قبل تعرضها للأشعة كما هو مبين فى الجدول التالي :

النسب المئوية المتبقية من فيتامين $ب_6$ في بعض الأغذية المخزونة لمدة 15 شهرا بعد تعرضها للأشعة

نوع الغذاء	النسب المئوية المتبقية من الفيتامين بعد التعرض للاشعة	
	2.8 ميجاراد	5.6 ميجاراد
كبد البقر	53	57
الدجاج(boned)	85	54
اللهانة	62	52

أما صبغة البيتا – كاروتين في الفاصوليا الخضراء الجزر والذرة فلا تتأثر كثيرا عند تعرض هذه النباتات للاشعة وعلى عكس فيتامين ج (Vitamin C) يسمى حامض (الأسكوربيك) في هذه الخضروات الذي يتأثر كثيرا بالأشعة وخاصة النوع المختزل منه (Reduced vitamin C) إذ يتأكسد تماما عند تسليط الأشعة كما هو موضح في الجدول التالي ،ويضم الجدول أيضا مقارنة بين نقصان محتويات البيتا – كاروتين وفيتامين ج نتيجة التعرض للأشعة ونقصانها نتيجة لمعاملتها حراريا لأغراض التعليب.

التغير في محتويات فيتامين ج وصبغة البيتا – كاروتين لبعض الخضروات عند تعرضها للاشعة بجرعة قدرها 4.8 ميكاراد

نوع الخضار وحالته	البيتا – كاروتين ملجرام لكل 100 جرام وزن جاف	فيتامين ج ملجرام بكل 100 جرام وزن جاف	
		فيتامين ج المختزل	فيتامين ج الكلي
الفاصوليا الخضراء			
الوزن الابتدائي - نموذج مجمد	1.6	40	53.3
بعد تعرضه للأشعة	2.7	0	39.3
المعلب	3.8	0	14.7
الجـــــزر			
الوزن الابتدائي - نموذج خام	129	46.9	46.9
بعد تعرضه للأشعة	112	0	36.5
المعلب	143	10.9	21.7
الـــــــذرة			
الوزن الابتدائي - نموذج مجمد	1.6	28.4	28.4
بعد تعرضه للأشعة	0.9	10.1	20.1
المعلب	1.3	12.6	16.8

opelkandl.com

الأسئلـــــــة

1- اكتب نبذة مفصلة عن علاقة الكيمياء الاشعاعية بالأنظمة البيولوجية ؟

2- وضح بالتفصيل تأثير الأشعة المؤينة علي كل من :

أ- البروتينات والأحماض الأمينية .

ب-الأحماض النووية .

ج- الأنزيمات .

د- الشحوم .

هـ- المواد الكاربوهيدراتية والسكريات .

و- الفيتامينات .

3- اذكر بالمعادلات فقط تفاعل كل من ذرات الهيدروجين وجذور الهيدروكسيل والالكترونات المتميئة في المحاليل المائية مع جزيئة حامض الجلايسين .

4- بين ما يحدث لثلاثة أحماض أمينية فقط من تغير في فصل الزلال عند تعرضه لأشعة اكس .

5- وضح نتائج التحلل الاشعاعي للثيامين في المحاليل المائية عند تعرضه لأشعة جاما .

6- فارق بين الدجاج والبقر في تأثير معدل جرعة الإشعاع علي استيفاء الثيامين عند درجة من صفر الي خمسة مئوية ؟

7- اذكر النسبة المئوية المتبقية من فيتامين ب-6 في بعض الأغذية الطازجة بعد تعرضها للأشعة . وكذلك بعض الأغذية المخزونة لمدة خمسة عشر شهراً بعد تعرضها

obeikandl.com