Rookie، و Ruby Star)، وجد أن السيانيدين Cyanidin كانت هى الصبغة السائدة فيهم جميعًا. وأدى تظليل النباتات بنسبة ٥٥٪ أو ٨٠٪ إلى تقليل تكوين الأنثوسيانين، بينما أدى تظليلها بنسبة ٩٠٪ إلى منع تكوين الأنثوسيانين بدرجة كبيرة. كما أثر التظليل على نشاط عدد من الإنزيمات المسئولة عن تكوين الصبغات الأنثوسيانينية، مثل: naringenin-chalcone synthase، و chalcone isomerase، بينما لم يؤثر على نشاط إنزيم آخر هو dihydroflavonol 4-reductase (Boo & Lee ١٩٩٩).

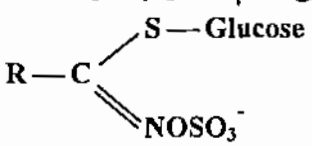
محتوى الكرنب – والصليبيات الأخرى – من الجلوكوسينولات

تعتبر الجلوكوسينولات glucosinolates (أو الثيوجلوكوسيدات thioglucosides) مثل السينرجين sinigrin من المركبات الكبريتية الهامة فى نباتات العائلة الصليبية. فهذه المركبات تتحلل إنزيميًا عند تمزق الخلايا، وينتج عنها تكوين الأيزوثيوسيانات isothiocyanates، وهى تتكون من زيوت الخردل، والثيوسيانات thiocyanates ذات الأهمية البالغة.

ولقد أمكن عزل أكثر من ١٠٠ مركب من الجلوكوسينولات من عدد محدود من العائلات النباتية، ولكنها تتركز بصفة خاصة فى نباتات العائلة الصليبية.

أنواع الجلوكوسينولات وانتشارها فى الخضر الصليبية

إن التركيب الكيميائى العام للجلوكوسينولات، كما يلى:

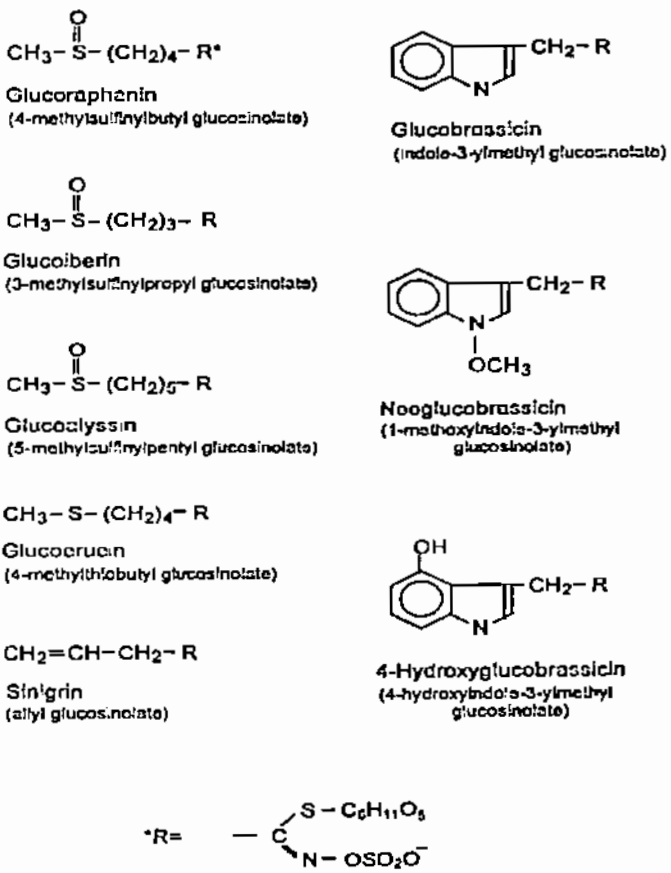


وتتحدد أنواع الجلوكوسينولات بمجموعة R التى ترتبط بها، كما يلى:

الجلوكوسينولات المقابلة	مجموعة R
Sinigrin	Prop-2enyl
Progoitrin	2-Hydroxybut-3-enyl
Gluconapoleiferin	2-Hydroxypent-4-enyl
Glucoiberverin	3-Methylthiopropyl
Glucoerucin	3-Methylthiobutyl
Glucoiberin	3-Methylsulfinylpropyl

Glucoraphanin	4-Methylsulfinylbutyl
Gluconasturtin	2-Phenethyl
Glucobrassicin	Indolyl-3-methyl
4-Hydroxyglucobrassicin	4-Hydroxyindolyl-3-methyl
4-Methoxyglucobrassicin	2-Methoxyindolyl-3-methyl
Neoglucobrassicin	1-Methoxyindolyl-3-methyl

ويوضح شكل (٣-١) التركيب الكيميائى الكامل لثمان من هذه الجلوكوسينولات، علمًا بأن R فى الشكل تمثل التركيب الكيميائى العام (الأساسى) لمختلف الجلوكوسينولات.



شكل (٣-١): التركيب الكيميائى لبعض أنواع الجلوكوسينولات التى توجد فى الخضر الصليبية (عن Farnham وآخرين ٢٠٠٠).

هذا .. ويعد الكرنب – وكرنب أبو ركبة – أقل الصليبيات احتواء على الجلوكوسينولات ويعد القنبيط، والبروكولى وسطا فى هذا الشأن، بينما يوجد أعلى تركيز لهذه المركبات فى الكرنب بروكسل (عن Ryder ١٩٧٩).

وقد كان المركبان sinigrin، و glucoiberin أكثر المركبات الأليفاتية تواجدًا فى الكرنب الأبيض، بينما ساد المركب progoitrin فى الكرنب الأحمر، وشكلت المركبات الإندولية ٣٠–٤٠٪ من الجلوكوسينولات الكلية، وكان أكثرها تواجدًا المركب glucobrassicin. وعمومًا فإن تركيز الجلوكوزسينولات الكلية كان منخفضًا فى الكرنب (٢٦,٥٠ مجم/جم) مقارنة بتركيزها فى كرنب بروكسل (١٢٦,٦١ مجم/جم) (Ciska وآخرون ١٩٩٤).

كذلك كانت أكثر الجلوكوسينولات تواجدًا فى *B oleracea* (الكرنب والكيل) هى

3-methylsulphinylpropylallyl-glucosinolate

2-propenyl-glucosinolate

1-methoxyindol-3-ylmethyl-glucosinolate

حيث شكلت ٣٥٪، و ٢٥٪، و ٢٩٪ من الجلوكوسينولات الكلية على التوالى، كما كان أعلى تركيز لهذه المركبات بعد ١٤ يومًا من الزراعة، بينما كان أعلى تركيز فى رؤوس الكرنب ذاتها عند بداية تكوينها (Rosa وآخرون ١٩٩٦، و Rosa ١٩٩٧أ)

وفى دراسة أخرى على الكرنب .. وجد Rosa (١٩٩٧ب) أن أكثر الجلوكوسينولات تواجدًا فى الأجزاء الهوائية للنبات كانت:

2-propenyl-glucosinolate

3-methylsulfinyl glucosinolate

وذلك بمتوسط قدره ٢٦١، و ١٦٧ ميكرومول/١٠٠جم – على أساس الوزن الجاف – لكل منهما على التوالى، بينما كانت أكثر الجلوكوسينولات تواجدًا فى الجذور، هى:

1-methoxyindol-3-ylmethyl-glucosinolate

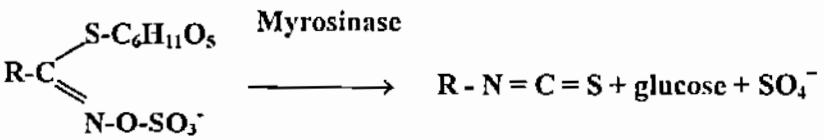
2-phenylethyl-glucosinolate

3-methylsulfinylpropyl-glucosinolate

وذلك بمتوسط قدره ٤٩٥، و ٤٩٥، و ٣٨٥ ميكرومول/١٠٠ جم - على أساس الوزن الجاف - لكل منها على التوالى وكان أعلى تركيز لكل منها - فى كل من الأجزاء الهوائية والجذور - خلال فترة الظلام الساعة ٢ صباحًا بالنسبة للأجزاء الهوائية، والساعة ١١ مساء بالنسبة للجذور، بينما كان أقل لها تركيز لها خلال فترة الإضاءة، وبخاصة الساعة ٦ مساء. وقد استدل من نتائج الدراسة على أن درجة الحرارة ليست مؤثرة فى التغيرات اليومية فى تركيز الجلوكوسينولات. وعلى الرغم من وجود فرق معنوى كبير جدًا بين التركيز الكلى للجلوكوسينولات فى الأجزاء الهوائية للنبات (٥٨١ ميكرومول/١٠٠ جم) والجذور (٢١٢٤ ميكرومول/١٠٠ جم وزن جاف)، فإن نتائج الدراسة لم تؤيد مبدأ انتقال الجلوكوسينولات بين الأجزاء الهوائية والجذور.

تحلل الجلوكوسينولات وإنتاج الأيزوثيوسيانات

تنتج الأيزوثيوسيانات عند تحلل الجلوكوسينولات بفعل إنزيم الميروزينيز، كما يلى



وقد تبين من دراسات Kyung وآخرين (١٩٩٥) أن المركب 1-cyano-2,3-epithiopropane هو أكثر المركبات تواجدًا من بين تلك التى تنتج عن تحلل السنجرين sinigrin.

كما أمكن عزل المركب 2-propenyl isothiocyanate من كل من الكرنب الأبيض والأحمر، والمركب 3-butenyl isothiocyanate من الكرنب الأحمر.

أهمية الجلوكوسينولات

ترجع أهمية الجلوكوسينولات - وما ينتج عن تحللها من أيزووثيوسيانات - إلى ما يلى:

١ - تلعب دورًا رئيسيًا فى إعطاء الصليبيات نكهتها المميزة.

٢ – تلعب دورًا فى مقاومة بعض الحشرات.

٣ – يعد التركيز المرتفع من الثيوسيانات سامًا للإنسان؛ لأنها تؤدى إلى نقص اليود فى الجسم، وتضخم الغدة الدرقية (توصف هذه المركبات بأنها goitrogenic).

لقد لوحظت العلاقة بين الصليبيات وتضخم الغدة الدرقية منذ عام ١٩٢٨، حيث شوهدت أعراض المرض على الحيوانات الزراعية التى احتوى علفها على كميات كبيرة من الصليبيات، ثم عرف بعد ذلك أن المرض يرجع إلى ما تحتويه هذه النباتات من مركبات الثيوسيانات.

فمثلاً .. يؤدى المركب 5-vinyloxazolinidine-2-thione إلى تضخم الغدة الدرقية، كما يؤدى المركب thiocyanate إلى منع حصول الغدة الدرقية على اليود.

هذا إلا أن الثيوجلوكوسيدات thioglucosides (مثل الـ singrin) ذاتها لا تحدث تضخمًا فى الغدة الدرقية (nongiotrogenic)، ولكنها تتحلل إنزيميًا إلى جلوكوز، و bisulfate ومركبات وسطية من الأيزوثيوسيانيت isothiocyanate، ينتهى بها الأمر إلى تكوين نيتريل Nitril، وكبريت، وثيوسيانيت thiocyanate، والمركب المسئول عن تضخم الغدة الدرقية، وهو الـ goitrin (= S-5-Vinyloxazolidine-2-thione) (عن Salunkhe & Kadam ١٩٩٨).

٤ – التأثير المثبط للأيزوثيوسيانات للإصابات السرطانية:

من الجانب الإيجابى، فإن من بين نواتج تحلل الجلوكوسينولات glucosinolates المركبان benzyl isothiocyanate، و 2-phenylethyl isothiocyanate اللذان يثبطان الإصابات السرطانية التى تُحدثها المركبات الكيميائية (عن Carlson وآخرين ١٩٨٧).

هذا .. ولم يمكن عزل المركب الكبريتى المثبط للإصابات السرطانية 1,2-dithiole-3-thione من أوراق الكرنب (Marks وآخرون ١٩٩٢).

ولمزيد من التفاصيل عن التأثيرات المثبطة للإصابات السرطانية التى تحدثها الخضر الصليبية .. يراجع Fahey & Stephenson (١٩٩٩).

٥ – دور الأيزوثيوسيانيت فى المكافحة المتكاملة للفطريات الممرضة للنباتات فى التربة:

وجد أن الأنسجة المهروسة لنباتات أنواع الجنس *Brassica* تؤدى عند خلطها بالتربة إلى تقليل الإصابات النباتية المرضية، فقد خفضت الإصابة بعفن أفانوميسس الجذرى فى البسلة، وقللت من مستوى تواجد الفطر *Verticillium dahliae* المسبب لمرض ذبول فيرتسيلليم فى عديد من الأنواع النباتية، وكذلك الفطرين *Pythium ultimum*، و *Rhizoctonia solani*، وهى من فطريات التربة الواسعة الانتشار. وقد حدث ذلك عندما استخدمت بقايا نباتية من أى من الكيل، أو rapeseed (*B. rapa*)، أو البروكولى، أو الكرنب، أو الكرنب الصينى، أو مسترد الأوراق، أو المسترد الهندى. وترجع تلك الخاصية إلى مركبات الأيزوثيوسينات isothiocyanates التى تنتجها الأنسجة النباتية عند تحلل الجلوكوسينولات. وقد كانت أكثر الأيزوثيوسيانات التى أمكن التعرف عليها تواجدًا هى: (Z)-3-hexenyl acetate فى الكرنب والبروكولى والكرنب الصينى، و allyl isothiocyanate فى مسترد الأوراق والمسترد الهندى (Charron & Sams ١٩٩٩).

ويستدل من دراسات Subbarao & Hubbard (١٩٩٦) أن بقايا نباتات البروكولى ساعدت فى تقليل أعداد الجسيمات الحجرية microsclerotia للفطر *V dahliae* فى درجات حرارة تراوحت بين ١٠، و ٣٥°م، سواء أكانت البقايا النباتية المستعملة جافة أم طازجة. ولكن فى حرارة ٣٠°م أو أقل من ذلك كانت البقايا النباتية الطازجة أكثر كفاءة من البقايا الجافة فى التأثير على الفطر. وعلى الرغم من أن عدد الجسيمات الحجرية انخفض جوهريًا بعد ٤٥ يومًا على حرارة ٣٥°م بدون إضافة مخلفات البروكولى، فإن إضافة تلك المخلفات (جافة أو طازجة) – على تلك الدرجة – قضى تمامًا على الجسيمات الحجرية للفطر. وفى كل درجات الحرارة حدث أكبر خفض فى عدد الجسيمات الحجرية فى التربة فى خلال ١٥ يومًا من إضافة المخلفات النباتية، وكانت المخلفات الطازجة أكثر تأثيرًا – بصورة معنوية – عن المخلفات الجافة. هذا .. وقد نمت نباتات القنبيط فى التربة المعاملة بصورة أفضل، وكانت أقل إصابة بذبول فيرتسيللم عما كان عليه الحال فى التربة غير المعاملة بمخلفات البروكولى.

العوامل المؤثرة فى محتوى الجلوكوسينولات وتركيز الثيوسيانات

من بين أهم العوامل المؤثرة فى محتوى الكرنب – والصليبيات الأخرى – من الجلوكوسينولات والثيوسيانات، ما يلى:

١ - الصنف:

وجد Bible وآخرون (١٩٨٠) أن أصناف الكرنب المتأخرة كانت أكثر احتواء على أيون الثيوسيانات عن الأصناف المبكرة، وكان الارتباط موجبًا، وجوهريًّا بين محتوى الثيوسيانات، وعدد الأيام حتى النضج.

٢ - معاملات منظمات النمو:

أدت معاملات منظمات النمو المبينة فى جدول (٣-١) إلى زيادة محتوى الثيوسيانات فى أصناف معينة من بعض الصليبيات، بينما لم يكن لهذه المعاملات تأثير على محصولى: الكرنب والبروكولى، وعلى أصناف أخرى من الفجل (Chong وآخرون ١٩٨٢).

جدول (٣-١): معاملات منظمات النمو التى أدت إلى زيادة محتوى جذور الفجل واللفت من مركبات الثيوسيانات.

المحصول	الصنف	المعاملة	
		منظم النمو	التركيز (جزء فى المليون)
الفجل	Burpee White	daminozide	١٠٠٠
اللفت	Tokyo Cross	GA_3	١٠٠٠
	Snow Ball	6-benzylamiopurine	٥٠٠

٣ - التجريح:

ازداد تركيز الجلوكوسينولات بمقدار ١٥ ضعفًا فى الكرنب المفروم إلى أجزاء صغيرة مقارنة بالكرنب السليم (عن Van Doorn ١٩٩٩).

٤ - التخزين وظروف التخزين:

تباينت نوعيات المركبات التى تكونت عند تحلل الـ glucosinolates فى ثلاثة أصناف من الكرنب أثناء تخزينها المبرد، ولوحظ تناقص فى تركيز كل من الـ thiocyanate، والـ isothiocyanate، والـ goitrin أثناء التخزين، وكان ذلك مصاحبًا بتدهور فى نوعية الكرنب المخزن. وعندما كان التخزين فى هواء متحكم فى مكوناته ازداد محتوى الكرنب من كل من الـ isothiocyanates الطيارة، والـ goitrin فى المراحل الأولى للتخزين، ولكنها تناقصت بمعدلات عالية قرب نهاية فترة التخزين (عن Hansen وآخرين ١٩٩٥).