



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمزة لخضر - الوادي



رقم التركيب : كلية علوم الطبيعة و الحياة

رقم التسلسل : قسم البيولوجيا

مذكرة تخرج

لنيل شهادة ماستر أكاديمي

ميدان علوم الطبيعة و الحياة

شعبة علوم بيولوجية

تخصص : تنوع حيوي و فسيولوجيا النبات

الموضوع

آليات التواصل ، الدفاع و الاستغاثة عند النباتات ، دراسة حالة نبات الطماطم

Solanum lycopersicum دراسة مقارنة و مراجعة

من إعداد:

باي رملة

وردة حوينق

نوقشت يوم // من طرف لجنة المناقشة :

❖ د. أحمد الخليفة شمسة أستاذ محاضر أ رئيساً جامعة الوادي

❖ د. عاطف شويخ أستاذ محاضر أ مؤطراً جامعة الوادي

❖ د. غمام عمارة الجيلاني أستاذ محاضر أ مناقشاً جامعة الوادي

الموسم الدراسي : 2021/2020



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمة لخضر - الوادي



رقم التركيب :

كلية علوم الطبيعة و الحياة

رقم التسلسل :

قسم البيولوجيا

مذكرة تخرج

لنيل شهادة ماستر أكاديمي

ميدان علوم الطبيعة و الحياة

شعبة علوم بيولوجية

تخصص : تنوع حيوي و فسيولوجيا النبات

الموضوع

آليات التواصل ، الدفاع و الاستغاثة عند النباتات ، دراسة حالة نبات الطماطم

Solanum lycopersicum دراسة مقارنة و مراجعة

من إعداد:

باي رملة

وردة حوينق

نوقشت يوم // / من طرف لجنة المناقشة :

❖ د. أحمد الخليفة شمسة أستاذ محاضر أ رئيساً جامعة الوادي

❖ د. عاطف شويخ أستاذ محاضر أ مؤطراً جامعة الوادي

❖ د. غمام عمارة الجيلاني أستاذ محاضر أ مناقشاً جامعة الوادي

الموسم الدراسي : 2021/2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ وَهُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ نَبَاتَ كُلِّ شَيْءٍ فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا نُخْرَجُ
مِنْهُ حَبًّا مُتَرَاكِبًا وَمِنَ النَّحْلِ مِنَ طَلْعِهَا قِنْوَانٌ دَانِيَةٌ وَجَنَّاتٍ مِنْ أَعْنَابٍ وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ
مُشْتَبِهًا وَغَيْرَ مُتَشَابِهٍ انظُرُوا إِلَى ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَيَنْعِهِ إِنَّ فِي ذَلِكَُمْ لَآيَاتٍ لِقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ ﴾

[الأنعام: 99]

شكر وتقدير

عملاً بقول رسول الله صلى الله عليه وسلم: "لا يشكر الله من لم يشكر الناس" ولأن الإعراف بالجميل خلق كريم وهدى متبع فإننا نتوجه بالشكر والتقدير إلى:

الأستاذ المشرف الدكتور شويخ عاطف الذي تفضل بالإشراف على هذا العمل ومنحه من وقته وجهده ونصحه والذي كان مثالا وقدوة في التواضع والمثابرة المستمرة. نسأل الله العظيم أن يمنّ عليه بدوام الصحة والعافية وأدامه خير نخر للأمة.

الأستاذ شمسة أحمد الخليفة لقبوله رئاسة اللجنة.

الأستاذ غمام عمارة الجيلاني لقبوله عضوية اللجنة.

إهداء

إلى من لا أجد حروفا لوصفها

غاليتي أُمي

إلى من كلّه الله بالهيئة والوقار إلى الذي أحمل إسمه بكل إفتخار

الغالي أبي

إلي إخوتي، أخواتي ، أصدقائي وأقربائي و كل الغالين على قلبي

إلى كل من نلت شرف التّعلم على أيديهم الأساتذة والأستاذات الأفاضل

وردة حويذق

إهداء

إلى روح أبي رحمه الله معلمي الأول ، الذي كان القرآن والعلم القضية التي سعى من أجلها طوال حياته ، و الذي له كل الفضل بوصلي إلى هاته مرحلة الدراسية .

إلى والدتي الغالية أمدّها الله بالعافية التي تابعت مراحل تعليمي بدعواتها لي بالتوفيق والنجاح كانت عوناً لي و أي عون .

إلى إخوتي و أخواتي و كل عائلتي.

إلى كل أساتذتي من المرحلة الابتدائية إلى الدراسات العليا بالجامعة .

إلى كل من ساندني و مد لي يد العون و رافقني في مساري الدراسي .

رملة باي

المخلص

Résumé

Abstract

ملخص

بغية فهم النبات وسلوكه في بيئته ، قمنا بدراسة تهدف إلى تسليط الضوء على مختلف آليات التواصل، الدفاع والاستغاثة في النبات مدعوما بدراسة التجارب السابقة التي أجريت على نبات الطماطم .

حيث بيّنت النتائج المتواصل إليها أنّ النبات كائن ذكي يعمل على حل المشكلات التي تواجهه من الظروف البيئية المختلفة ويستجيب لها بسلوك منسق ومرن ، كما يمتلك القدرة على التّعلم ، التذكر، الإحساس والحركة بالرّغم من أنّه كائن ساكن في مكانه ، كما يظهر النبات ظواهر مختلفة تشبه النوم .

كما تبين أنّ نجاح النّبات في البقاء يعتمد على نجاح العمليّة التّواصلية التي تقتضي تفاعله داخل النّبات نفسه أو مع كائنات أخرى باختلاف أنواعها وهذا يشكل مستويات التّواصل .

كما أظهرت النتائج أنّ للنّبات أساليب دفاعيّة تركيبية ، بيوكيميائيّة وأخرى مكتسبة ضدّ مسببات الأمراض ، كما ينتهج طرق دفاعيّة مباشرة أو غير مباشرة مخصّصة لصد مهاجميه من الحيوانات والعواشب .

كما تمّ التوصل إلى أنّ النبات يعزز من أساليبه الدفاعيّة السابقة بالاستغاثة وذلك إمّا بتلقيه لرسائل تحذيرية مصدرها النبات المجاور ، أو عن طريق إرسال رسائل استنجدية إلى الأعداء الطّبيعيّين للعواشب المهاجمة.

من خلال نتائج الأبحاث والتجارب السابقة تمّ التّوصل إلى أنّ نبات الطّماطم يتواصل مع النباتات المجاورة من حوله بواسطة مركبات عضوية متطايرة ويدافع عن نفسه من هجوم العواشب ويستنجد بمفترساتها كآلية استغاثة.

الكلمات المفتاحية :

ذكاء ، سلوك ، تواصل ، دفاع ، استغاثة ، الطماطم ، *Solanum lycopersicum* .

Résumé

Pour compréhension la comportement des plantes dans son environnement, nous avons mené cette étude pour fait l'intérêt sur différents mécanismes de communication, de défense et de détresse chez la plante appuyée par l'étude des expériences a été menées sur la plant tomate *Solanum lycopersicum*

Les résultats ont montré la plante est un être intelligent qui résout leur problèmes dans leur environnement et y répond avec un comportement coordonné et flexible. Elle A aussi la capacité d'apprendre, de se souvenir, de ressentir et bouger malgré qu'elle immobile, en plus d'autre phénomènes similaires au sommeil .

Il a également montré que la survie de la plante dépend de la réussite du processus de communication qui nécessite à son interaction, soit à l'intérieur de la plante soit avec les autres organismes vivants, donc cela constitue les niveaux de communication.

Les études ont également montré la plante possède des méthodes défensives structurelles, biochimiques et autre acquises contre les agents pathogènes, ainsi des méthodes de défense directes ou indirectes contre les herbivores.

Il a également été constaté que la plante demande l'aide, soit par recevant des messages d'avertissement de la plante voisine, soit par envoyant des messages de détresse aux ennemis naturels des herbivores attaquants.

A Pendant les résultats des recherches, nous concluons le plant tomate communique avec les plantes voisines par des composés organiques volatiles et défende contre herbivores, aussi elle demande l'aide de prédateurs comme mécanisme de détresse.

Les mots clé: Intelligence, comportement, communication, défense, détresse, tomate *Solanum lycopersicum*.

Abstract

In order to understand the plant and its behavior in its environment, we performed a study aimed on highlighting the various mechanisms of communication, defense and help in the plant supported by a study of previous experiments performed on the tomato plant (*Solanum lycopersicum*).

The studies showed that the plant is intelligent organism that solves the problems it encounters from different environmental conditions and responds to them with a coordinated and plasticity behavior.

It was also found that the success of the plant in survival depends on the success of the communicative process that requires its interaction within the plant itself or with other organisms of with different types of organisms and this constitutes the levels of communication.

The studies showed that the plant has structural, biochemical and acquired defense methods against pathogens, as well as direct or indirect defenses methods designed to repel its attackers from animals and herbivores.

It was found that the plant enhances its previous defensive methods by calling for help, either by receiving warning messages from the neighboring plant or by sending help messages to the natural enemies of the attacking herbivores.

Through the results of previous research and experiments, it was concluded that the tomato communicates with the neighboring plants around it by means of volatile organic compounds and defends itself from the attack of herbivores and ask help from natural enemies as a help mechanism.

key words :

Intelligence, Behavior, Communication, Defense, Help, Tomato *Solanum lycopersicum* .

الفهارس

الفهرس

الصفحة	العنوان
V	الملخص
X	الفهرس
XIX	فهرس الجداول
XX	فهرس الوثائق
XXI	قائمة الإختصارات
1	المقدمة
	الفصل الأول : الذكاء ، السلوك ، الحركة ، الذاكرة و الإحساس عند النبات
5	المدخل
6	I. الذكاء عند النبات
8	II. سلوك النبات
10	III. المرونة الظاهريّة
10	IV. الميكانيكية والحركة في النبات
11	1. أنواع الحركة عند النباتات
11	1.1. الحركة الحرة
11	2.1. الحركات التأثيرية
11	1.2.1. الحركة الإنتحائية
11	2.2.1. الحركة الجيمناستيكية
11	3.1. الحركة التلقائية
12	4.1. حركة التميؤ

13	2. النباتات المتحركة
13	1.2.النبات الراقص
13	2.2. النبات الحساس : ميموزا بوديكا
14	3.2.بعض النباتات الأكلة للحوم
14	3. ميكانيكية الحركة عند بعض النباتات
14	1.3.ميكانيكية الحركة عند النباتات الصائدة للحشرات
15	2.3.ميكانيكية حركة الأوراق أو الوريقات عند البقوليات
15	V. قدرة النبات على حل و التنبؤ بالمشكلات
15	1. حل المشكلات
17	2. التنبؤ بالمشكلات المستقبلية
18	VI. التعلم و الذاكرة عند النباتات
23	VII. الإحساس عند النباتات
23	1. استشعار الضوء
24	2. درجة الحرارة
25	3. اللمس
26	4. السمع
28	5. الأشجار الناطقة
28	6. الشعور بالألم
28	VIII. نوم النبات
30	IX. دماغ النبات
	الفصل الثاني :آليات التواصل عند النباتات

34	أولاً: التواصل
34	I. التواصل
34	II. التواصل الحيوي
35	III. المعلومة
35	IV. عمليات التواصل ونقل المعلومات
36	V. وسائل التواصل
39	1. الإشارات الكيميائية و الإشارات الكهربائية
39	1.1. الإشارات الكيميائية
39	1.1.1 مركبات طيارة
40	2.1.1. الهرمونات النباتية
43	3.1.1. البيبتيدات
43	4.1.1. مركبات الإستقلاب الثانوية
43	5.1.1. أيونات الكالسيوم
44	6.1.1. الأنواع الأكسجينية التفاعلية
45	2.1. الإشارات الكهربائية
46	1.2.1. نواقل عصبية : غلوتامات ، أكسين
48	VI. آلية الاستجابة و أنواع الإشارات
48	1. آلية الإستجابة
49	2. الإشارات قصير المدى و الإشارات طويلة المدى
49	VII. مسارات الإشارة
50	VIII. طرق نقل الإشارة

50	1. عبر الوصلات البلازمية
52	2. عبر أوعية اللحاء و الخشب
53	3. عبر الجو أو في تربة
54	ثانياً: مستويات التواصل
54	I. تواصل داخل النبات
54	II. تواصل داخل الخلية
54	1. تنظيم النسخ
56	2. عملية تصنيع البروتين
56	3. ظاهرة الموت الخلوي المبرمج
59	III. تواصل بين الخلايا
59	IV. تواصل بين أجزاء النبات
59	1. تواصل بين الجذور و الأوراق
60	2. تواصل الأوراق مع بقية أجزاء النبات
61	3. التواصل بين أجزاء البذرة
61	4. تواصل البرعم القمي مع البراعم الجانبية
62	5. تواصل الورقة و البرعم الخضري
63	6. عملية التأبير
64	V. تواصل نبات-نبات
64	1. دلائل تواصل النباتات مع بعضها البعض
64	1.1. ظاهرة Allelopathy
66	2.1. تغيير استراتيجيات النمو

66	2. طبيعة تواصل نبات-نبات
66	1.2. تواصل نبات-نبات تحت التربة
67	1.1.2. المنافسة بواسطة الجذور
68	2.1.2. التعرف على الأقارب بواسطة الإفرازات الجذرية
69	3.1.2. التحذير بواسطة شبكة الخيوط الفطرية
70	2.2. تواصل نبات-نبات فوق التربة
70	1.2.2. المنافسة بواسطة VOCs .
72	2.2.2. التحذير بواسطة VOCs .
72	1.2.2.2 تحذير نبات-نبات من نفس النوع
72	2.2.2.2. تحذير نبات-نبات مختلف النوع
73	3.2.2. التطفل
75	4.2.2. الإغتيال
75	5.2.2. التعايش
76	6.2.2. ممانعة
76	VI. تواصل نبات مع كائن مختلف عنه
76	1. تواصل نبات مع العواشب و الحيوانات
76	1.1. الإفتراس
78	2.1. الدفاع
79	3.1. التكافل
79	2. تواصل نبات مع الكائنات الحية الدقيقة
79	1.2. تواصل إيجابي

80	1.1.2. أمثلة التواصل الإيجابي
80	1.1.1.2. تكافل نبات بكتيريا
82	2.1.1.2. تكافل نبات فطر
83	2.2. تواصل سلبي
83	1.2.2. أمثلة عن التواصل السلبي
83	1.1.2.2. تطفل بكتيريا على نبات
83	2.1.2.2. تطفل فطر على نبات
84	3. تواصل نبات مع الفيروسات
84	1.3. تواصل إيجابي
85	2.3. تواصل سلبي
86	VII. تواصل متعدد الأطراف
86	1. التكافل الثلاثي نبات-فيروس-فطر
86	2. الحرب البيولوجية
86	1.2. أمثلة عن الحرب البيولوجية
86	1.1.2. نبات – بكتيريا – العواشب الكبيرة
86	2.1.2. نبات-عواشب-عواشب
87	VIII. العلاقة بين النباتات و الملقحات
88	IX. نباتات تستخدم الحيوانات لنشر بذورها
89	X. التواصل وما ينتج عنه
90	XI. ما ينتج عن علاقة النباتات بالأنواع الأخرى
	الفصل الثالث : الدفاع عند النباتات

94	أولاً : الدفاع ضد مسببات الأمراض
94	I. الطرق الدفاعية غير المكتسبة
94	1. الوسائل الدفاعية التركيبية
97	2. الوسائل الدفاعية البيوكيميائية
98	II. الطرق الدفاعية المكتسبة
99	1. التضاد
99	2. المنافسة
99	3. التطفل
100	ثانياً: الدفاع ضد الحيوانات و العواشب
100	I. استراتيجيات الدفاع
100	1. استراتيجية التجنب
100	1.1. نباتات طاردة
101	2.1. التمويه
101	3.1. ظاهرة التلوين الموضعي التحذيرية
102	4.1. ظاهرة تقليد حلقات Mullerian
102	2. استراتيجية المواجهة
102	1.2. المواجهة المباشرة
102	1.1.2. الوسائل الميكانيكية
102	1.1.1.2. الأشواك
103	2.1.1.2. الزوائد الشعرية
103	2.1.2. الوسائل الكيميائية

108	1.2.1.2. آلية عمل المركبات الكيميائية
109	3.1.2. الدفاع الميكانيكي الكيميائي المنسق
109	2.2. المواجهة غير المباشرة
109	1.2.2. التكافل النبات مع النمل
109	2.2.2. الإفتراس الذاتي للأنواع
110	3.2.2. الخنافس اليابانية
110	4.2.2. الدفاع عن طريق الإستغاثة
111	II. حوصلة للأساليب الدفاعية في النبات
	الفصل الرابع : الاستغاثة عند النباتات
114	I. أنواع الاستغاثة
114	1. الاستغاثة نتيجة استقبال رسائل تحذيرية
114	1.1. الاستغاثة باستخدام شبكة الخيوط الفطرية
115	2.1. الاستغاثة باستخدام المركبات العضوية المتطايرة VOCs
117	2. الاستغاثة نتيجة إرسال رسائل إستجابية
	الفصل الخامس : دراسة مقارنة عند نبات الطماطم
120	I. نبات الطماطم
121	II. الاستجابة الدفاعية عند الطماطم
122	1. الدفاعات المباشرة
123	2. الدفاعات غير مباشرة
125	III. التواصل عند نبات الطماطم
125	1. تواصل نبات-نبات

127	2. تواصل نبات-الحشرة المهاجمة
127	3. تواصل نبات-الأعداد الطبيعيين
130	الخاتمة
133	قائمة المراجع

فهرس الجداول

الصفحة	الجدول	الرقم
9	الفرق بين السلوك النباتي و السلوك الحيواني .	01
12	مختلف أنواع الحركة و أمثلة عنها	02
34	مختلف أنواع التواصل الحيوي التي لوحظت في النباتات	03
38	التنوع في الإشارات الجزيئية في النبات	04
41	تنوع الهرمونات و أهم أدوارها كإشارة	05
47	الفرق بين الإشارات الكيميائية و الإشارات الكهربائية	06
49	أهم مسارات الإشارة في النباتات	07
89	أهم ماينتج عن علاقة النباتات مع الأنواع المختلفة	08
90	أهم أنواع العلاقات بين النباتات و الأنواع الأخرى من النباتات و الكائنات المختلفة عنها	09
94	مختلف الوسائل الدفاعية التركيبية في النبات	10
97	مختلف الوسائل الدفاعية البيوكيميائية في النبات	11
103	دور المركبات الكيميائية في الدفاع ضد الحيوانات العاشبة عند النبات	12
116	الاستغاثة نتيجة استقبال رسائل تحذيرية من النبات المجاور من نفس أو مختلف النوع.	13
120	التصنيف العلمي لنبات الطماطم <i>Solanum lycopersicum</i>	14
128	تنوع طرق الدفاع المفعلة عند نبات الطماطم.	15
129	مقارنة دفاع النبات التي تعرضت للهجوم (النبته المصابة) و النبات المجاورة التي تلقت الإشارات التحذيرية (النبته المجاورة) .	16
129	آليات التواصل ، الدفاع و الاستغاثة عند نبات الطماطم .	17

فهرس الوثائق

الرقم	الوثيقة	الصفحة
01	تجربة اسقاط نبات المستحية من علو 15 سم.	21
02	وضعية الأوراق في الصباح و في المساء.	30
03	شبكة التواصل البيولوجية الهرمية من أقوى الروابط إلى أضعفها.	36
04	يوضح الآلية الحيوية للإستجابة للإشارة في النباتات الخضراء .	48
05	الديسموتيبيل على مستوى الخلية .	51
06	Symplasmic domains	52
07	موت الخلايا المبرمج في ظاهرة فرط التحسس HR	57
08	دور الميتوكوندري في ظاهرة الموت الخلوي المبرمج PCD	58
09	برعم زهري يوضح عوامل التزهير فيه	63
10	شبكة الخيوط الفطرية	67
11	تأثير سمية مركب juglone على نمو النباتات المجاورة.	71
12	مراحل تطور العقد جذرية للرايزوبيا في نبات باراسونيا (a) نبات حديث التعقيد-(b) عقد جذرية متوسطة و (c) عقد جذرية قديمة	82
13	تبادل المنفعة ضمن العلاقة التكافلية بين النبات والفطر	83
14	شبكة الخيوط الفطرية	114
15	الاستغاثة باستخدام المركبات العضوية المتطايرة VOCs	115
16	البنية الكيميائية لمركب (Z)-3-Hexenol	125
17	VOCs بدورها كإشارات تحذيرية المجاورة في نبات الطماطم	126
18	المواد المتطايرة للنباتات المتجاورة	127

قائمة الإختصارات

ABA: abscisic acid

AP : Action potential

ATP: Adenosine triphosphate

CK : Cytokinin

DAMPs: Damage associated molecular patters

DIVs: Damage induced volatiles

DM: Desmotuble

DNA : Deoxyribonucleic acid

GA: Gibberellic acid

GLVs: Green leaves Volatiles

HIPVs: Herbivore induced plant volatiles

IAA: Indole acetic acid

JA: Jasmonic acide

LOXs: Lipoxygenases

NCAPs: non-cell-autonomous proteins

OMM: outer metochonderial membre

PCD: Programmed cell death

PD: Plasmodesmata

PIs: inhibitors protienase

POD: Peroxidase

PPO: Polyphenoloxydase

QA: Quisqualic acide .

RNA: Ribonucleic acid

RNA_m: Ribonucleic acid Messenger

RNA_s: Ribonucleic acid small

ROS: Reactive oxygen species

VP : Variation potential

UV : Ultra violet

SA: Salicylic acid.

المقدمة

الحمد لله علّم القرآن ،خلق الإنسان ، علّمه البيان ، و الصلاة و السلام على سيدنا محمد الذي آتاه الله الحكمة والبيان و على آله و صحابته أهل التقوى و الإيمان ، والتّابعين لهم بإحسان .

وبعد : ما من مخلوق إلّا وتتجلى فيه القدرة الإلهية و المعجزات الربّانية ، ولكن من مخلوقات الله عزّ و جل ما تجلّت فيه القدرة الربّانية أكثر من غيره ، و على رأس هذه المخلوقات التي جعلها الله سبحانه و تعالى آية للعالمين الثّبات و الزرع ، ففيه من الآيات و المعجزات التي يتعجب على كل انسان أن يقف عندها مندهشاً متأملاً معترفاً و مقراً . يعتبر النبات مملكة و عالماً قائماً بذاته ، فهو من العوالم العظيمة التي خلقها الله تعالى و أبدع في خلقها ، فمنذ أن قام العلماء بدراسته وهم يكتشفون خصائص و أشياء عظيمة تدل على قدرة الله سبحانه وتعالى و إبداعه الذي لا مثيل له .
(النعيمي ، 2021)

إلّا أنّ العديد من العلماء يشيدون بسلبية النبات ومع ذلك فإنّ الأبحاث العلميّة حول ذكاء النبات انفكت تفرض نفسها على مختبرات الجامعات ومراكز البحث العامة والخاصة في البلدان المتقدمة (إيهاب، 2004) ، كما أظهرت العديد الأبحاث في علم النبات أنّه قادرة على التفاعل مع مجموعة واسعة من المنبهات، بما في ذلك الجاذبية، الضوء، الصوت (Michmizos,2009) ، كما أنّه يستقبل (Farmer,1990) ويستجيب للإشارات البيئية المختلفة (Falkenstein,1991) .

وباعتبار أنّ النبات عكس ذلك أي أنّه ذكي متكيف مع بيئته ، قمنا بدراسة مسلطين الضوء فيها إلى أهم الآليات التي تظهر ذكاء الثّبات و سلوكه المتكيف و المرن ، و ذلك بطرح الإشكالية التّالية : هل للنباتات القدرة على التّواصل و الدفاع و كذا الإستغاثة ومنه يمكن أن نصف الثّبات ككائن ذكي قادر على حل مشكلاته و الاستجابة للظروف البيئية من حوله و التّكيف معها ؟

وبهدف إيجاد حلّ لهذه الإشكالية سنعمل على دراسة أهم الآليات التّواصلية و الدفاعية و الإستغاثية المتعددة و المختلفة عند النبات حيث تمّ تقسيم العمل إلى خمسة فصول :

- الفصل الأول نعالج فيه عدّة مفاهيم ومصطلحات يستخدمها علماء الثّبات في الأونة الحديثة ، ذكاء النبات ، سلوكه ، و مختلف مظاهر الحركة عند النباتات و أيضا القدرة على التعلم والتّذكر و الإستشعار و التّوم .
- الفصل الثاني نهتم فيه بإبراز أهم طرق و مسارات التّواصل و أنواع الإشارات ، بالإضافة إلى مختلف المستويات و العلاقات التّواصلية داخل الثّبات و بين الكائنات الأخرى ، سواءً كانت من نفس نوعه أو مختلفة النوع أو حتى كائن حي مختلف عنه .

- الفصل الثالث نعالج فيه كذلك الآليات الدفاعية التي يفعلها النبات إثر تعرضه لمسببات الأمراض الفطرية كانت أو البكتيرية ، أو عند هجوم آكلات العشب كالحشرات أو الحيوانات الأخرى .
- الفصل الرابع نوضح فيه الآلية الدفاعية غير المباشرة المتمثلة في الاستغاثة مبرزين فيه مختلف الظواهر التي تحقق هذه الآلية لدى النباتات .
- الفصل الخامس قمنا بجمع التجارب السابقة التي أجريت على نبات الطماطم وذلك من أجل دراسة و مقارنة مختلف الآليات التي قمنا بذكرها في الفصول السابقة.

الفصل الأول

الذكاء ، السلوك ، الحركة ، الذاكرة و الإحساس
عند النبات

مدخل :

خلال السنوات الماضية ، ازداد عدد علماء النبات و البيئة الذين يستخدمون ألفاظ مثل : البحث على الغذاء ، التنافس ، التخفي ، عند التحدث على النباتات . كما و يستخدم علماء النبات مصطلح سلوك النبات بصورة روتينية في الوقت الحاضر ، فالنباتات أبعد ما تكون عن كونها كائنات سلبية . فمثلها مثل الحيوانات ، تستجيب النباتات للتلميحات الصادرة من البيئة المحيطة بها . يرى البعض أنّ هذه الاستجابات مرنة و متكيفة ، فالنباتات تضبط نموها و تطورها للوصول بلياقتها في بيئة متغيرة الى الحد الأقصى ، وهو ما يتوافق مع تعريف الذكاء الذي وضعه ديفيد ستينهاوس فيلسوف و عالم نفس نيوزيلندي في كتابه عن تطور الذكاء ، على أنّ الذكاء سلوك تكيفي متغير خلال فترة حياة الفرد . يعتقد بعض العلماء و منهم تريوفاس أنّ جميع النباتات لديها نوع من السلوك الذكي ، ويرى أنّ العديد من النباتات تظهر مرونة سلوكية تتخطى كونها أفعال انعكاسية فقط أو برمجة مسبقة . (إيهاب، 2004)

I. الذكاء عند النباتات :

يعتقد بعض الباحثين أن القدرات المكتشفة حديثا للنبات تشكل الأساس لنوع جديد من الذكاء ، و ينظرون إلى أنّ الفرق الحقيقي الوحيد بين أفراد المملكة الحيوانية و النباتات هو عدم قدرة أفراد المملكة الأخيرة على الحركة . و قد اعتدنا على الحكم على الذكاء من خلال الأفعال ، فما نفعه و ما نقوله هو ما يدل على ما يحدث داخل عقولنا . ولذلك فإن النباتات ، نظرا لكونها صامتة و ثابتة في موضعها ، لا تبدو ذكية بهذا المنطق . لكنها في الواقع تتحرك وتتفاعل مع العالم المحيط بها بطرق ذكية. (إيهاب، 2004)

لقد قاد سلوك النبات – قدرة النبات على التكيف و الاستجابة للمحفزات الموجودة في بيئته المباشرة – بعض علماء النبات إلى اقتراح أنّ النبات يتمتع بشكل بدائي من أشكال الذكاء ، وقد قادتهم أدلة عديدة إلى هذا الاستنتاج ، على سبيل المثال ، لدى شجرة السنط القدرة على الإحساس بأكل العشب يقوم بمضغ أوراقها فتقوم بإطلاق سماق مر الطعم كاستجابة لذلك . وهناك أشجار سنط أخرى لها القدرة على شم رائحة سماق الأشجار القريبة ، فتبدأ بإطلاق سماقها قبل وصول القطيع الجائع . حتى النباتات خناقة الذباب أذكي مما نتصور ، حيث يستشعر فخها من خلال شعيرات دقيقة على سطحها لكن كل شعرة يجب أن يتم لمسها مرتين في فترة قصيرة من الوقت حتى يفتح الفخ – لمنع استشارته بالصدفة بسبب قطرات الأمطار مثلا ، بمعنى آخر ، لا بد للنبات أن يتذكر الشعيرات التي تمّ لمسها مؤخرا – أي له ذاكرة بدائية . (بول ، 2018)

فبالنسبة لتعريف الذكاء ، فإنّه ليس هنالك تعريف متفق عليه عن الذكاء في كل الكتب التي كتبت عنه ، أما القواميس التقليدية فهي تُعرف الذكاء بالسلوك الإنساني فقط من وجهة نظر anthropocentric فالانسان وحده من يمكنه أن يكون ذكي . و لكن بالعكس تماما فعند النظر في المملكة الحيوانية نجد الغربان و الببغاوات و مستعمرات النحل و النمل .. الخ (Trewavas, 2005a) .

ولأسباب تاريخية فقط ، حدّد البعض وعن طريق الخطأ أنّ السلوك الذكي على أنّه خاصية إنسانية فريدة . (Trewavas, 2009)

وبحسب رولف فايفر ، وهو باحث في الذكاء الاصطناعي في جامعة زيورخ السويسرية و مؤلف كتاب فهم الذكاء ، إلى أنّ هناك الكثير من الطرق لتعريف الذكاء ، وما يستحق الاهتمام هو أنّ نأخذ سلوكيات بعينها ومن ثمّ نحاول استكشاف كيفية عملها . (إيهاب، 2004)

ينظر Warwick على أنّ نجاح الأنواع يعتمد على أداءها الجيد في بيئتها الخاصة و الذكاء يلعب دور مهم في نجاحها، وهو بذلك يؤكد العلاقة بين الذكاء واللياقة . كما يرجع Warwick الذكاء على أنّه القدرة على حلّ المشكلات ، ويشير على أنّ الذكاء داخل أي نوع من الأنواع يجب أن يعرف داخل قدرات الأنواع تحت الإختبار . غير ذلك فهو ذاتي . الأنواع ، الجهاز المناعي ، الحياة الاجتماعية للحيوانات ، البكتيريا ، الإشارات ، الخلية الحيوانية ، المورثات ، و أمثلة أخرى وُصفت على أنّها اظهرار للسلوك الذكائي . (Trewavas, 2005a)

النباتات هي كائنات ذكيّة للغاية إنّها تقوم بمعالجة توزيع المعلومات الحسيّة بشكل مستمر ، وصنع القرار المتزامن و التشغيل الموازي . فالنباتات هي عبارة عن كمبيوترات فعّالة في حد ذاتها ، وذلك لمحاولة النجاة و البقاء و كذلك التكاثر . (Adamatzky et al., 2017)

يرى (Ca Cerra & Bingham, 2002) أنّ النباتات ” نظام هرموني معقد ومتكامل ، ونظام ذكاء منسق لكن لامركزي يسيّر الموارد“

كما يرى علماء الأحياء أنّ الذكاء يشمل القدرة الحسية الدقيقة ، و القدرة على استخلاص المعلومات ، و التعلّم ، والحفظ ، و الاختيار ، و الحصول على الموارد بأقل مجهود ، و إدراك الذات ، و التنبؤ . فالكائنات الحيّة تحتاج إلى جميع هذه القدرات لحل المشكلات المتكررة و الجديدة. فهناك دلائل تؤكد على أنّ النباتات تستطيع القيام بكل هذه السلوكيات الذكيّة ، و لكن من خلال المرونة الظاهريّة ، وليس الحركة . بالإضافة إلى قدرتها على خوض بعض المنافسات للحصول على الموارد التي تحتاجها . إذا علينا تصنيف النباتات بكونها نماذج لكائنات حيّة ذكيّة ؛ اللامر الذي سيساعدنا على دراسة قدرة النباتات على التواصل و القيام ببعض الحسابات و ترجمة الإشارات . (مانكوزو و فيولا ، 2019)

”سيكون هدف المستقبل تحديد مدى معرفة الخلية من نفسها وكيف تستعمل هذه المعرفة بطريقة مدروسة عندما يتم تعريضها لتحدي“ (McCintock 1984) هذا التصريح كان بواسطة عالمة بيولوجيا النبات Barbera McClintock في خطابها لنيلها لجائزة نوبل و يمكن أن يتم تعديله على النحو التالي ” سيكون هدف المستقبل تحديد بيئة الشبكة الجزيئية المتكاملة الحالية للخلية الناتجة عن التطور و النمو و التجارب البيئية (الذاكرة) وكيف تعمل هذه الشبكة لتولد بذكاء استجابة تكيفية ناجحة عندما يتم اختبارها “ تصريح McCintock هو نداء لفهم أفضل لترجمة أو تفسير الإشارات عند التعرض للتحديات ، وكيف للخلية أن تعلم كلّ من مرحلة نموها و كيف يتم تعديلها بواسطة

الإشارات البيئية و السلوك المدروس (الذكاء) الذي يُستخدم عبر استجابات تكيفية (Trewavas,A.2005b).

هنالك ثلاث معايير مهمّة يجب تقديمها عن الذكاء :

- 1) الذكاء هو سلوك تكيفي معقد ، حتى عند البشر ، بالرغم من أنه ليس كل سلوك هو ذكاء (Stenhouse,1974) .
- 2) الذكاء السلوكي يتضمن كل الكائن .
- 3) الذكاء السلوكي يتطلب كلاً من ذكاء الكائن و بشكل مؤكد التحديات البيئية لتجربته. (Trewavas,2003)

II. سلوك النبات :

يُعرف القاموس السلوك ويشير على أنه استجابة كائن لمحفزات خاصّة ، وعلى هذا الأساس يغطي السلوك أي تغيير ، سواءً كان على المستوى الجزيئي أو على مستوى كل النبات . (Trewavas, 2014)

يمكن أن يُعرف السلوك كاستجابة الكائن للإشارات وهو في الأساس مختلف بين معظم النباتات و الحيوانات (Silvertown & Cordon 1989) . فالسلوك النباتي هو مرونة ظاهرية phenotypic plasticity و سلوك الحيوان هو عبارة عن حركة . (Trewavas,2005)

السلوكيات هي استجابات الكائنات للمشاكل البيئية ، سواءً إذا أحدث ذلك حركة أو لا ، هذه المشكلات يمكن أن تكون معقدة و موحدة لمعظم الكائنات مثل البحث عن الطعام ، تجنب الحشرات ، المفترسات و تحديد الأصحاب . السلوك و الذكاء في كل الكائنات يعززان الكفاءة وهذا يتضمن النباتات . (كتاب ذكاء و سلوك النبات لأنثوني تريوفاس)

أفضل وصف لسلوك النبات هو البحث على مايقوم به النبات وليس ما يمتلكه . إنّ الخطأ الأكثر شيوعاً في فهم النباتات الراقية على أنها كائنات بسيطة . فالنباتات لاتفتقر إلى شيء مقارنةً بالحيوانات من حيث المهارات و التعقيد السلوكي . (Trewavas,2009)

نجد أنّ النباتات دائماً ما تعمل على البحث واستكشاف بيئتها فوق و تحت الأرض بالنمو عوضاً عن الحركة . نودج بسيط طوره Herbret Simon ، يُستخدم لوصف سلوك النبات . هذا النموذج يشير إلى أنّ النباتات لا تنمو عشوائياً و سلوكها عقلائي . السلوك النباتي يوصف عموماً على أنه

استجابة للإشارة البيئية و النباتات تجيب بعدة طرق لهذه الإشارات على المستوى الجزيئي و المورفولوجي . (Trewavas,2014)

يمثل الجدول الدائر حول سلوك النبات - نقطة انطلاق الكتابين (دفاع ورقة الشجر) لإدوارد فارمر و (سلوك وذكاء النبات) لإنتوني تريوفااس . ففي كتاب (الاستشعار والاتصال في النبات) ، يناقش كاربان عالم البيئة السلوكية والحشرات العناصر البيئية التي يعتقد أن النباتات تستجيب لها، مثل الضوء والصوت. ويقدم هنا تعاريف عمل واضحة لبعض المفردات المثيرة للجدل، مثل: الاتصال، والتنصت، والتعلم، والذاكرة. وتتمتع ملخصاته حول القدرات الحسية للنباتات - مثل الإشارات التي يستخدمونها للتكيف مع البيئة - بمنظور تطوري، كما يتطرق أيضًا إلى موضوعات أخرى، مثل اختيار الزوج، ويفصل في كيفية تكاثر النباتات بشكل انتقائي مع آباء محددين، متمثلين في حمولة حبوب اللقاح المختلطة. (Baldwin,2015)

بالنظر إلى الحيوانات فهي كائنات راقية جهازها الحسي يعمل في نطاق زمني من الثواني ، و إنّه من الصعب أن نلاحظ السلوك الذي يعمل في خلال ساعات أو أيام وهو نموذجي في معظم النباتات . الكثير من النباتات تفقد نشاطها كنتيجة لذلك (صعوبة ملاحظة السلوك) فقط مع الصبر و الاستمرار في الملاحظة و التصوير بين الفواصل الزمنية . علاوة على ذلك الوجود الدائم في بيئتين مختلفتين التربة و الهواء هذا يعيق الحركة . (Trewavas,2005).

جدول (01) : الفرق بين السلوك النباتي و السلوك الحيواني

المرجع	سلوك النبات	سلوك الحيوان
(Trewavas,2005)	مرونة ظاهرية	حركة
(Fuminori & Kazuo,2019)	غياب الجهاز العصبي	تواجد الجهاز العصبي
(Trewavas,2009)	اطار زمني بطيء يصعب ملاحظة السلوك	اطار زمني سريع يُمكن من ملاحظة السلوك

III. المرونة الظاهرية :

المرونة الظاهرية هي استجابة الكائن للمحفزات البيئية . ولا تقتصر المرونة الظاهرية للنوع السلوكي على الاستجابات المورفولوجية ، ولكنها تشمل أيضا الاستجابات الفسيولوجية مثل التأقلم مع الضوء. (Slivertown, 1998)

المرونة الظاهرية ليست فريدة من نوعها عند النباتات ، يمكن لسلوك النبات (وينبغي بالفعل) أن يعبر عن استجابات محلية نمطية لإشارات محلية . (Trewava,2009)

تحتوي معظم النباتات الراقية على بنية معيارية ويتكون جسم النبات بشكل مرن من أعداد متغيرة من الأوراق بالإضافة إلى البراعم و الجذور الفرعية . وذلك يُمكن المرونة الظاهرية من احتلال المساحة الموجودة بدقة . ويظهر النمط الظاهري أثناء نمو النبات ، وبحته بدقة عن الموارد، واستبعاد الجيران بشكل تنافسي ، وبناء مكانة خاصة بها وذلك ضمن ضوابط وراثية وبيئية . (Trewavas,2009)

تشتمل المرونة الظاهرية أثناء دورة حياة النبات على تغيرات في ارتفاع الساق أو طول الجذر ، عدد أفرع الجذور و البراعم ، زوايا الفروع ، سُمك السيقان و الجذور و الفروع ، عدد و سماكة و درجة تداخل و شكل و موضع و كثافة الأوراق ، و اتجاهها نحو الضوء ، و الطبيعة الكيميائية للبشرة السطحية ، و عدد التغيرات على مستوى الأوراق . حيث تُمكن المرونة الظاهرية الفرد من النجاح على مستوى بيئته بمساعدته على النجاح في تحسين لياقته . فالمرونة هي أحد جوانب الذكاء التي يمكن اكتشافها . (Trewavas,2017)

IV. الميكانيكية و الحركة في النبات :

داروين هو العالم الذي قام بتأسيس علم حركة النبات . وذلك بسبب اهتمامه الشديد في سنواته الأخير بحركة النبات ، حيث نشر كتاباً أساسياً بعنوان (قوة الحركة في النبات) بناءً على تجارب باستخدام أكثر من 300 من الأنواع المختلفة . (Ueda & Nakamura ,2006)

من بين الاختلافات في سلوكيات الحيوانات و النباتات هو الإطار الزمني الخاص بهما . وهذا الاختلاف في الإطار الزمني يخلق مشاكل في التعرف على سلوك النباتات . فالنمو و الحركة في النباتات ليس واضحاً بشكل لافت ، حيث أدى ذلك إلى اعتبار النباتات على أنها ساكنة ولا تتحرك و أُعتبرت الحركات السريعة لنبات *Mimosa pudica* استثنائية بالنسبة للنبات و ينطبق الشيء نفسه على الحركات العفوية التي يقوم بها نبات التلغراف . وبسبب هذا فإن العلماء يرون أنّ هنالك العديد من

السلوكيات الجديدة ربما لم يتم رؤيتها إطلاقاً . أصبح الآن وباستعمال جهاز قياس الحركة Time lapse وبهذه الطريقة يمكن أن تُبدد الفكرة الخاطئة عن حركة النبات وذلك بتسريع الأنشطة التي تستغرق أسابيع وشهور إلى دقائق . (Trewavas,2009)

1. أنواع الحركة عند النباتات :

1.1. الحركة الحرّة :

يحدث هذا النوع من الحركة في النباتات السفلى أو الأولية مثل الطحالب وحيدة الخلية و يحدث أيضا في بعض الفطريات و في النباتات الحزازية و السرخسية حيث تكون متحركة تسبح في الماء أو قطرات الماء . وفي جميع الحالات السابقة فإنّ الوحدات المتحركة يكون لها أسواط . (وصفي،1995)

2.1. الحركة التأثيرية :

1.2.1. الحركة الإنتحائية :

الحركات الإنتحائية في النبات و هي الحركة التي تحدث في أحد أعضاء النبات بالنمو البطيء أو السريع نحو المؤثر الخارجي أو بعيداً عنه ، فإذا كان إتجاه النمو نحو المؤثر الخارجي سميت الحركة إنتحاء موجب و إذا كان بعيداً عنه سميت الحركة إنتحاء سالب . (وصفي، 2008)

2.2.1. الحركة الجيمناسيكية (الحركة التأثيرية الإنتحائية) :

وهي عبارة عن حركة تأثيرية نتيجة لمؤثر وليس لها علاقة بالاتجاه ناحية المؤثر و لذلك فإنها تختلف اختلافاً جوهرياً . فالحركة تكون نتيجة للنمو أو نتيجة ضغط الانتفاخ . (وصفي،1995)

3.1. الحركة التلقائية :

وهي الحركة التي تكون ذاتية في النبات دون فعل مؤثر خارجي واضح وهي حالات عديدة منها الدوران أثناء النمو وذلك أثناء نمو السيقان إلى أعلى ، يأخذ الجزء القمي منه حركة دائرية أي أنّ الجزء الطرفي لاينمو رأسياً . وتحدث هذه الحالة أيضاً للجذور والسيقان المددادة و أعناق الأزهار . الحركة الفصلية وهي حركة تحدث مرة واحدة في عمر العضو أو الجزء النباتي مثل حركة المياسم أو الأرقام أو الأسدية لإتمام عملية الإلقاح . حركة كبر أو صغر الزاوية وهي الزاوية المحصورة بين عنق الورقة و الساق . حيث أنّ الأوراق وتبعاً لنوع النباتي وعمره تكون في الوضع hyponasty(السطح السفلي للعنق محدب) أو epinasty (السطح العلوي للعنق محدب) . (وصفي،

(2008)

4.1. حركة التميؤ :

وهي الحركة التي تحدث في الأنسجة الغير حيّة من النبات نتيجة تميؤ أو جفاف جدر الخليّة وهي التي تسبب انشقاق القرنيات و تفتح الثمار العليّة والحركات السريعة للحواظ الجرثوميّة الناضجة في السراخس. (سليمان ، 2008)

جدول (02) : مختلف أنواع الحركة و أمثلة عنها

المرجع	الأمثلة	نوع الحركة
(سليمان، 2008)	<ul style="list-style-type: none"> ● الإحناء للضوء الساقط على السوق و الجذور (الانتحاء الضوئي) ● الانتحاء بتأثير الجاذبيّة الأرضيّة (الانتحاء الأرضي) ● اتخاذ أوضاع حركيّة بتأثير اختلافات المحتوى المائي للتربة (الانتحاء المائي) ● الانتحاء نتيجة التلامس الفيزيائي أو التلامس الكيميائي (الانتحاء التلامسي) أو (الانتحاء الكيميائي) . 	<p>الحركة الانتحائيّة</p>
(وصفي، 1995)	<ul style="list-style-type: none"> ● حركة Photonasty وهي التآثر بالضوء مثل حركة وحدات الغلاف الزهري أثناء تفتح الكثير من الأزهار أو اقفالها . ● حركة Thermonasty وهي التآثر بدرجة الحرارة مثل تفتح أزهار التوليب <i>Tulipa</i> أو الزعفران <i>Crocus</i> فدرجة الحرارة المرتفعة يسبب تفتح الأزهار و درجة الحرارة المنخفضة يسبب قفل الازهار . ● حركة Hydronasty وهي التآثر برطوبة الجو. فرطوبة الجو يمكن أن تتأثر بالضوء ودرجة الحرارة مثل حالة الحركة عند نوم أوراق <i>Oxatis</i> و أيضاً <i>Myriophyllum proserpinacoides</i> . ● حركة Nyctinastic وهي تتأثر بالليل والنهار مثل نبات المستحيّة و <i>Samanea samam</i> ، ونبات شجرة المطر (البقولي) و نبات شجرة قرن القرد . ● حركة Chemonasty وهي تتأثر بالمركبات الكيميائيّة كتأثر 	<p>الحركة الجيمناستيكيّة</p>

	<p>أوراق المستحيّة لبخار الكلورفورم ، وكذلك عند تعريض نبات <i>Callisia repens</i> لغاز الفحم ، أو عند أسديّة نبات <i>Berberis</i> عند تعريضه لبخار الأمونيا .</p> <ul style="list-style-type: none"> • حركة Haptonasty وهي التأثير باللمس كتأثر نبات المستحيّة أو لمس الشعيرات الغديّة لنبات أكل الحشرات <i>Drodera rotundifolia</i> . • حركة Electronasty التّأثر بالصدمة الكربائيّة ، عند تعريض نبات المستحية لتيار كهربائي يؤدي إلى انكماش الأوراق . • حركة Seismonasty التّأثر بصدمة لاستجابة ميكانيكيّة مثل الاهتزاز أو الجرح . 	
<p>(دفلس،2014)</p>	<p>من أمثلتها :</p> <ul style="list-style-type: none"> • الحركة الثغريّة : تعتمد هذه الحركة بصفة عامّة على الإستجابة المباشرة للزيادة أو النقص للجهد الأسموزي للحايا الحارسة والتغيرات في الجهد المائي الناتج من التغيرات الأسموزيّة تسبب انتقال الماء من أو إلى الخلايا الحارسة مسببةً بذلك تمدد (إنتفاخ مائي) أو إرتخاء هذه الخلايا . عندما تكون الخلايا الحارسة منتفخة بالماء تكون الثغور مفتوحة وعندما تكون رخوة تكون الثغور مقلقة . 	<p>حركة الامتلاء</p>

2. النباتات المتحركة :

من أمثلة النباتات التي لاحظ العلماء عليها سلوك حركي نجد :

1.2.النبات الراقص :

يقوم النبات الراقص المعروف أيضا باسم نبات التلغراف ، بتحريك أوراقه في حركات عشوائية عند تعرضه لأشعة الشمس المباشرة أو الدفاء أو الاهتزاز حيث تتحرك و تدور أوراقه على طول مسار بيبزاوي . (النعيمة ، 2021)

2.2.النبات الحساس : ميموزا بوديكا :

نبات المستحيّة *Mimosa pudica* هو نبات حساس تغلق أوراقه و تدلى استجابة لحافز ميكانيكي (رياح ، اهتزاز أو اللمس) أو كآلية دفاعيّة للحماية من الحيوانات وبعض الحشرات . كما أنّ هذا النبات يظهر استجابة للتحفيز الكهربائي . (Volkov et al., 2010)

3.2. بعض النباتات الآكلة للحوم :

إنّ عمل جميع المصائد في النباتات آكلة الحشرات يشير إلى حركة الإنتحاء السريعة التي تتم بواسطة جهد الفعل الذي يشبه التنبيه العصبي والذي يتولد أثناء لمس الشعيرات الحساسة. ومن أمثلة المصائد نجد المصائد الفكيّة تلك الموجودة عند نبات الديونيا أو فينوس صائد الذباب و نبات ناعور الماء و مصائد الجريبات حيث تكون المصيدة في هذه الأخيرة عبارة عن أوراق ملتفة حول نفسها مشكلة مصيدة أبويّة تشبه الجرة ، ذات فوهة من الجهة العلويّة وفي الغالب تكون ذات غطاء يعمل على غلق الجرة بعد دخول الحشرة كما في *Sarracenia* وعند أنواع الجنس *Nepenthes* ويفتح الغطاء و يغلق بنفس ميكانيكيّة فتح المصائد الفكيّة ومن أمثلتها ما هو موجود في نبات الجرة البوقيّة الشمال أمريكيّة *Sarracenia spp* ، ونبات الجرة الألباني *Cephalotus follicularis* حيث تكون الجرة مزودة بأغطية شفافة تسمح بدخول الضوء إلى داخل الجرة بعد انغلاقها . (أحمد ، 2016)

3. ميكانيكيّة الحركة عند بعض النباتات :

1.3. ميكانيكيّة الحركة عند النباتات الصائدة للحشرات :

تكون مصائد هذه الأنواع من النباتات آكلة الحشرات عبارة عن شكل فكين مفتوحين حيث تتحور أوصال الأوراق إلى مصراعين أو شقين مسطحين متناظرين يتمفصلان عند العرق الوسطي للورقة حيث تغلق وتفتح كما أنّ أطراف كل مصراع مزودة بمجموعة من الأشواك القويّة الحادّة وعند تقابل المصراعين على بعضهما تتشابك الأشواك لكلا المصراعين على بعضهما كالفكين حاصرةً الفريسة ومانعة إياها من الهرب . وبينما تقاوم الحشرة داخل الورقة (المصيدة) فإنّها تُسحق أكثر بالتحفيز الأكثر لفعل المصيدة . إنّ حرك المصيدة سريعة جدًّا في اقتناص الفريسة وهي أشبه بالحركة العضليّة لدى الحيوانات . تتمثل ميكانيكيّة الحركة من خلال التغير الكيميائي الذي يثيره تواجد الحشرة على السائل اللزج فيحفز انزيمات وظيفتها تقليل السكر في خلايا مصراع نصل الورقة مما يزيد الضغط التناضجي فينتقل الماء في تلك الخلايا لينتفخ مسببة في الحركة السريعة للأوراق لاقتناص الفريسة . وعند تلامس الحشرة للشعرات الحساسة تفتح بوابة قنوات أيونيّة في غشاء الخلايا عند قاعدة الشعيرات المتحسّسة مولدة جهد الفعل Action potential الذي ينتقل إلى الخلايا في العرق الأوسط للورقة فتسحب هذه الخلايا عن طريق ضخ الأيونات خارجا و التي إمّا تسبب جريان الماء بواسطة

الأسموزية فتطوى الخلايا في العرق الوسطي أو أن تسبب في النمو الحامضي السريع . ولا زال هناك جدل حول هذه الميكانيكية . يحدث الهضم في غضون أسبوع إلى أسبوعين حسب حجم الفريسة و يمكن أن يعاد استعمال الورقة 3-4 مرات قبل أن تصبح الورقة مسنة غير مستجيبة للتحفيز وهذا كله يعتمد على ظروف النمو . (أحمد ، 2016)

2.3. ميكانيكية حركة الأوراق أو الوريقات عند البقوليات :

تحافظ بعض أنواع البقوليات على أوراقها أو/و وريقاتها غير مطوية في النهار ، من أجل الضوء وطبها أثناء الليل وهذه الحركة معروفة باسم nyctinasty وتستحث بوجود أو غياب الضوء ، وهذه الحركة موجودة في العديد من البقوليات بما في ذلك *Mimosa* , *Albizza* , *Samanea* , *Phaseolus* و *Pterodon* , *Robinia* حيث تنظم بواسطة الساعة اليومية. في البقوليات فإن الأنواع الميموزية وخاصةً *Mimosa pudica* (على سبيل المثال) فبالإضافة إلى الحث الضوئي فهي تستجيب أيضاً للمس وذلك عن طريق طي أوراقه وتسمى هذه الحركة بـ *higmonastic* وهي أسرع من حركة *nyctinasty* . (Livia & Dornelas 2014)

فحركة الأوراق ناتجة من انكماش الخلايا الحركية في *pulvinus* (عضو الحركة في الورقة) وهو عضو يقع في الورقة . تلعب هذه الحركية دوراً رئيسياً في حركة أوراق النبات . فتدفق أيونات البوتاسيوم عبر الأغشية البلازمية للخلايا الحركية يتبعه تدفق هائل للماء ، مما يؤدي إلى انكماش و تقلص هذه الخلايا هذه الآلية هي آلية تنظيم لفتح و إغلاق قنوات البوتاسيوم وهي تحت تحكم أيضي . (Ueda & Nakamura .2006)

الحركة الديناميكية لأوراق النباتات البقولية تُعد من السلوكيات الفسيولوجية النباتية الأكثر غموضاً و إثارة للإهتمام . يعتبر تقلص الخلايا الحركية في أوراق البقوليات مشابه لحركة الخلايا الحارسة في الثغور . في الوقت الحالي تطور فهمنا للـ *nyctinasty* بشكل كبير وذلك من خلال تحديد القنوات الأيونية المسؤولة عن فتح الأوراق (*SPOK2* , *SsLAH1* , *SsSLAH3*) في نبات ألبيزيا سامان *Samanea saman* . (Ueda et al., 2019)

V. قدرة النبات على حل و التنبؤ بالمشكلات :

1. حل المشكلات :

الذكاء السلوكي موجود حتى عند الانسان ، فهو جانب من جوانب السلوك التكيفي الذي يحدث القدرة على حل المشكلات . فهل للنبات القدرة على حل المشكلات وبذلك يمكن أن يتم تصنيفه ككائن ذكي . (Trewavas, 2005a)

يشير (Warwick 2001) إلى أن السلوك الذكي هو القدرة على حل المشكلات وأكد أن السلوك الذكي في الكائنات الحيّة يجب الحكم عليه من خلال قدرات الكائن الحي المعني . وبالتالي فإنّ الذكاء موجود على نطاق واسع في الحياة . فالقدرة على حل المشكلات البيئية التي تتنوع بشكل كبير وتهدد اللياقة تتطلب حلاً ذكياً . لذلك فإنّ السلوك الذكي يعمل على التقييم بواسطة المعلومات المخزّنة ، والتفاعل مع مرحلة التطور و المعلومات المكتسبة الحالية . وذلك يؤدي إلى حل المشكلات و الاستجابات التكيفية الناجحة وبالتالي زيادة من لياقة النبات . (Trewavas, 2009)

تقوم النباتات بحسابات تشبه الخلايا العصبية و هذا ليس فقط من أجل التكيف السريع و الفعّال مع البيئة الفيزيائية المتغيرة باستمرار ، ولكن أيضا من أجل تبادل المعلومات مع النباتات الأخرى من نفس النوع و التواصل مع البكتيريا و الفطريات . فالجذور تشتهر بقدرتها على تجنب المشكلات (الأماكن الخطرة) من خلال النمو بعيداً عن التربة المعادية . (Adamatzky et al., 2018)

وكان قدرة النبات على صنع الغذاء من الضوء لم تكن مذهلةً في حد ذاتها بما يكفي، حتى يتم اكتشاف مهارة متطورة أخرى من ذخيرة المهارات النباتية وهي القدرة على تنفيذ عمليات القسمة الحسابية، على الأقل على المستوى الجزيئي. توضح النماذج التي صُنعت بواسطة الكمبيوتر كيف باستطاعت النباتات استخدام الرياضيات الجزيئية لتنظيم المعدل الذي تستهلك به مخزون النشا لتوفير الطاقة طوال الليل، وذلك عندما لا تتوفر الطاقة الشمسية. ويقول مؤلفو الدراسة إنه إذا كان الأمر كذلك، فهذا يُعد أول مثال للقدرة على تنفيذ عملية القسمة الحسابية في علم الأحياء. تجعل النباتات مخزونها من النشا الذي أنتجته طوال فترة النهار يدوم حتى الفجر تقريباً. وكان الباحثون في الماضي يظنون أن النباتات تقوم بتحليل النشا بمعدل ثابت في أثناء الليل، لكنهم لاحظوا بعد ذلك أن النبات المعروف باسم "أرابيدوبسيس ثاليانا" (*Arabidopsis thaliana*) وهو نبات يفضل الباحثون استخدامه في التجارب المعملية- يمكن أن يعيد حساب هذا المعدل بسرعة كبيرة عند تعرضه لظلام الليل مبكراً أو متأخراً بصورة غير التي اعتاد عليها. وقد أشار هذا إلى الباحثين إلى وجود حسابات جزيئية أكثر تعقيداً. فقد افترض الفريق القائم على البحث وجود جزيئين: أحدهما يكشف للنبات الكمية المتبقية من النشا (واستخدموا الرمز S للإشارة إليه)؛ والآخر يخبر النبات بالوقت المتبقي حتى طلوع الفجر (واستخدموا الرمز T للإشارة إليه). وأنشأ الباحثون نماذج رياضية لتوضح، مبدئياً، أن تفاعلات هذه الجزيئات يمكنها بالفعل أن تتحكم في معدل تحلل النشا، بحيث يعكس عملية حساب متواصلة

حاصل قسمة الكمية المتبقية من النشا على مدة الوقت المتبقي حتى بزوغ الفجر. ويقول هاوارد وهو من فريق الباحثين ” إننا نتعامل مع عملية بيولوجية أساسية في الخلايا تقوم بعمليات حسابية متطورة. ولم يسبق أن فكر أحد حقاً في أن يسلك هذه السبيل قبل اليوم “. (Ledford,2013)

تحتوي مصيدة فينوس (Dionaea) على شعرتين حساستين يجب لمسهما في غضون 20 ثانية لإغلاق المصيدة . كل لمسة لشعيرة تبدء في توليد جهد عمل (AP) يتم نقله إلى الخلايا الحركية في قاعدة المصيدة التي تتحكم في الإغلاق . يتم استخدام شعرتين لتجنب الإغلاق الخاطئ . لا يبدأ إفراز الإنزيمات الهاضمة وتشكيل قنوات الصوديوم لاستخراج المعدن الضروري . فيمكن للحشرات الصغيرة أن تدخل المصيدة وتلمس اثنين من الشعيرات فقط وتغلق . ويمكن أن تهرب بعد ذلك وغالباً ما تفعل في ظل الظروف الخاطئة . حيث يتم فتح المصيدة بعد يوم من ذلك . ولبدء تخليق الإنزيمات الهاضمة وتشكيل قناة الصوديوم لامتناس هذا المعد المهم يجب تحفيز خمس لمسات من الشعيرات أي توليد خمس جهود عمل وبذلك فإن الحشرات الكبيرة لا تستطيع الهرب و تحفز هذه الشعيرات خمس مرات . وبالتالي يمكن لهذا المصنع العد إلى خمسة وهي قدرة غير متوقعة تماماً . حيث يقوم النبات بتقييم مكاسب الطاقة المختلفة على أنها غير مجزية بسماحه للحشرات الصغيرة بالهرب وذلك مقابل مستقبل محتمل لفريسة أكبر بكثير وغنيّة بالطاقة . (Trewavas, 2017)

2. التنبؤ بالمشكلات المستقبلية :

أكد باحثون من جامعة إدنبره أنّ النباتات بوسعها التنبؤ بالمشكلات المستقبلية ، ومن ثمّ اتخاذ القرارات التي من شأنها تجنب التعرض لها ، كما يذكر علماء النبات منذ زمن أنّ البراعم النامية يمكنها استشعار النباتات المحيطة بها . وتقوم الأوراق الخضراء للنباتات بامتصاص الضوء الأحمر لكنها تعكس الأشعة دون الحمراء ، ويمكن للنباتات إدراك وجود نباتات خضراء مجاورة . (إيهاب، 2004)

يرى العلماء أنّ النباتات تتوقع النتائج حيث تقوم بالتعرف على أكثر المواقع المحيطة بها احتمالاً لأن تواجه منافسة في المستقبل ثم تتخذ إجراءات للمراوغة إذا لزم الأمر . وهنا يقوم النبات بتغيير شكله، عدد وشكل أغصانه ، بالإضافة إلى تركيب جذعه للحصول على أفضل وضع ممكن في مواجهة الشمس . بالرغم أنّ هذا لايمائل عمل العقل البشري ، لكنّها استجابة تكيفية متغيرة تؤدي الغرض ذاته . (إيهاب، 2004)

ينظر العلماء إلى أنّ النباتات التي تتنبئ بشكل أكثر دقة بتوافر الموارد في المستقبل أو هجوم آكلات العشب و تقرر توزيع الموارد بشكل مناسب هي أكثر ذكاءً من غيرها . (Trewavas, 2009)

VI. التعلم و الذاكرة عند النباتات :

التعلم والذاكرة ، يظهر الاثنان مميزات للشبكات الطبيعية التي تتشارك أعداد كبيرة من الخلايا العصبية بالتواصل مع بعضها البعض . (Trewavas, 2003)

الذاكرة و التعلم هما عبارة عن مميزات معرفية عن كل الكائنات على مستوى كل مجالات الحياة. بالإضافة إلى ذلك فإنّ التنظيم والتناسق في الذاكرة والتعلم داخل الخلايا يحتاج إلى عنصر أساسي من أجل التواصل (إشارة وسيطية للتفاعلات) التي تنسق عدد محدود من مراحل النسخ الجيني (وهي ظاهرة جينية تتمثل في الشكل الظاهري الناتج عن الجينات الموروثة من الآباء الأصليين) بطرق مختلفة من أجل تثبيت الذاكرة المتعلقة بالتجارب في الكائن سواءً على المستوى الجيني/ مورثات أو على المستوى الظاهري . (Witzany et al.,2018)

في اللغة المعلوماتية ، الذاكرة هي مجرد معلومات مخزنة لاستخدامها لاحقاً ، والتعلم ببساطة هو اكتساب للمعلومات . و السلوك الذكي هو القدرة على تقييم المعلومات التي تؤدي إلى استجابات تكيفية من أجل حلّ المشكلات . (Trewavas,2009)

بالنسبة للسلوك الذكي ، فآلية التعلم يجب أن تنشئ ذاكرة يُمكن الوصول إليها لتعديل سلوك لاحق . فعموماً يعتقد أنّ الذكاء يتكون أساساً من تحسين السلوك وفقاً للتجربة . فعلاقات الترابط بين الخبرات و الأفعال هي التي تشكل الذكاء . (Trewavas,2017)

يرى الباحثون أنّ النباتات تتعلم بطريقة المحاولة و الخطأ عند حدوث تغيرات كافية ، يتم تقليل تعرض النبات للمزيد من الأذى إلى الحد الأدنى . ويقوم النبات أيضا بتعديل استراتيجياته المتعلقة بالاستجابة للإشارات البيئية الأخرى ، مثل المغذيات و درجة الحرارة و الرطوبة ، وتلك العوامل المتعلقة بتاريخ النبات ذاته ، مثل عمره ، و الأمراض التي تعرض لها سابقاً وهكذا . (إيهاب، 2004)

النباتات بالتأكيد لديها عدة أشكال مختلفة من الذاكرة ، لديها ذاكرة قصيرة المدى ، ذاكرة المناعة و حتى الذاكرة عبر الأجيال . نحن نعلم أنّ هذا مفهوم صعب ادراكه من قبل بعض الناس ، ولكن إذا استتبعنا الذاكرة في تشكيل الذاكرة (ترميز المعلومات) ، و الإبقاء على الذاكرة (تخزين المعلومات) ، و استدعاء الذاكرة (استرجاع المعلومات) ، فإنّ النباتات تتذكر بالتأكد . على سبيل

المثال ، يحتاج نبات مصيدة فينوس فلاي إلى امتلاك زوج من الشعيرات في أوراقها التي تلامسها حشرة من أجل إغلاقها ، لكونه يتذكر أنّ الشعيرات الأولى قد تمّ لمسها . لكن هذا لا يدوم سوى 20 ثانية ، ثم ينسى . تتذكر شتلات القمح أنّها مرت بالشتاء قبل أنّ تبدأ في الإزهار و تكوين البذور . وبعض النباتات المجهدة تذهب إلى تكوين الثمار الأكثر مقاومة لنفس الإجهاد ، وهذا نوع من الذاكرة عبر الأجيال التي تمّ عرضها أيضا في الحيوانات . في حين أنّ الذاكرة قصيرة المدى في مصيدة ذباب فينوس تعتمد على الكهرباء ، تشبه إلى حد كبير النشاط العصبي . الذكريات الأطول أجلا تبتدئ إلى علم الوراثة – التغيرات في نشاط الجينات التي لا تتطلب تعديلات في شفرة الحامض النووي ، كما تفعل الطفرات ، التي لا تزال تنتقل من الآباء إلى الذرية . (المنيحي ، 2021)

في النظام العصبي ، تواصل جديد بين الخلايا العصبية قد يشكل أساس الذاكرة (Kandel,2001). و ما يتطلب من الذاكرة هو القدرة على الوصول إلى تجربة سابقة ، بحيث يتم دمج استجابات جديدة متعلقة بمعلومات سابقة . فالعديد من الأشكال المختلفة لذاكرة النبات يتم تصورها ، كلها تعمل على تعديل توصيل الإشارة من الكيمياء و الإنزيمولوجيا الحالية للأغشية أو مميزات الجدار إلى تغيير جيني محدد مسبق . (Trewavas, 2003)

تطور ذاكرة النبات واضح في الوضع الحالي ، لأنّ نفس الإشارة يمكن أنّ يكون لديها تأثيرات مختلفة ، ويتم تحديد نوع تأثيرها بعد أنّ يتم استلامها من طرف النبات او نسيج او الخلية . تأثيرات إشارات الضوء الأزرق و الأحمر كمثال جيّد . وجود تأثيرات مختلفة يعتمد على مرحلة التطور ونمو النبات . الضوء الاحمر يمكن أنّ يؤثر على حركة الأوراق ، استطالة الساق أو الإنتاش . (Trewavas,2003)

Bruce وزملاؤه (2007) اقترحوا استخدام مصطلح الذاكرة في النباتات و هذا يعني وظيفة ادراكية. و من ذلك لا التّعلم أو الذاكرة أو الذكاء كلمات تقتصر على العمليات البيولوجية فقط . فعلى سبيل المثال تمتلك أجهزة الكمبيوتر ذاكرة و يمكن للأجهزة الأكثر تقدماً التّعلم . (Trewavas,2009)

كما أنّ النباتات لها القدرة على تحديد الجيران في نفس التربة ; (Tremmel,1995; Bazzaz,1993) و أنّ بعد تبديلها إلى تربة مختلفة فهيّ تسترجع ذاكرتها عن جيرانها الأصليين لمدة شهور إلى سنة (Evans & Turkington 1988; Turkington et al.,1991)

للنباتات القدرة على تذكر تأثير النباتات المجاورة في التربة السابقة على تطور النمط الظاهري لمدة تصل إلى عام بعد الزرع في مكان آخر . (Turkington et al.,1991)

و في تجربة (Hellmeier et al., 1997) تمّ سقي الأشجار الفتيّة مرة واحدة فقط في السنة ، في السنوات اللاحقة تعلمت هذه الأشجار أنّ تتوقع متى يتم تزويدها بالماء و تُزامن نموها مع ذلك الوقت . (Trewavas, 2005b)

كما وصف المؤلفون أنّ الذاكرة تُساهم في مجموعة متنوعة من السلوكيات النباتيّة . وربما تكون الذاكرة ضروريّة في جميع سلوكيات النبات ومن أمثلة ذلك :

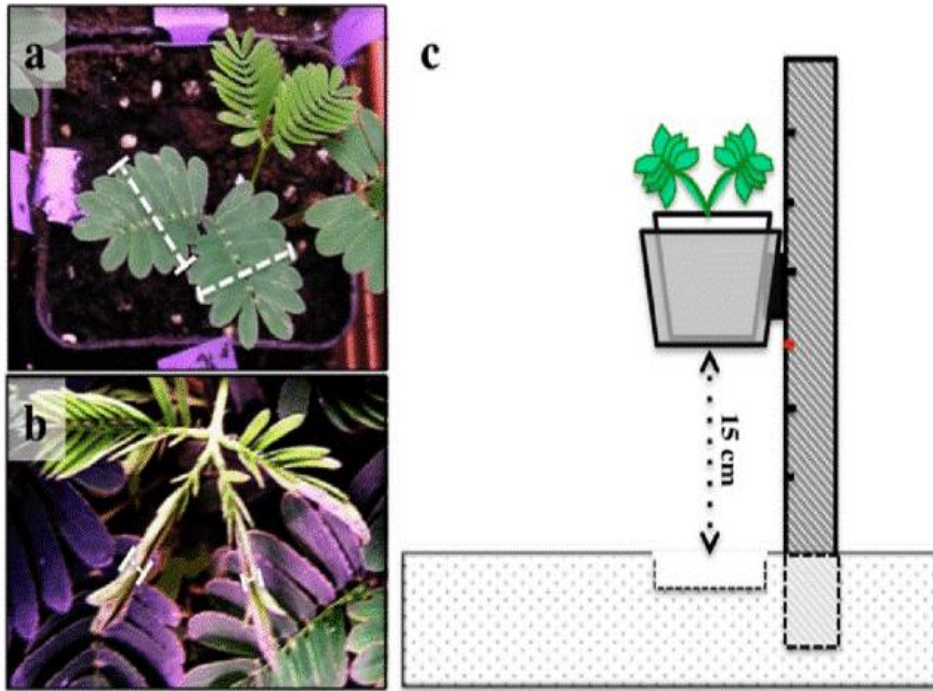
- تعريض النبات لعدة أسابيع من درجات الحرارة الباردة يمكن أن تكون ذاكرة مستقرّة من الناحية الإنقساميّة (vernalization) يمكن أن تستمر هذه الذاكرة لمدة 300 يوم . قد يكون إعادة تصميم الكروماتين الدعامّة الجزيئية في هذه الحالة .
- هجمات آكلات العشب تنشئ ذاكرة طويلة الأمد للهجمات السابقة . هذه الذاكرة تعمل على تهيئة آليات الدفاع ، وتزيد من المقاومة ضد المزيد من الهجمات .
- يمكن أن تستمر ذاكرة التحفيز الميكانيكي و اختلال التوازن المعدني لعدة أيام بعد توقف الإشارة .
- يمكن أن تدوم ذاكرة الصدمة للـ hypo-osmotic لمدة 20 دقيقة .
- يمكن تذكر تحفيز شعرة واحدة من نبات مصيدة فينوس لمدة 40 ثانيّة .
- يمكن أن تنتقل ذاكرة بعض النباتات إلى الأجيال السابقة . (Trewavas, 2009)

نجد أنّ النباتات لا تمتلك نظام مناعي تكيفي ، ولكن بادئة الدفاع primary defense يمكن أن تعتبر كشكل من الذاكرة المناعيّة . (Fantišek & Velemir 2010)

يشار إلى الذاكرة كنوع من الإشارة وهي موجودة عند النباتات ، و الذي في الغالب يظهر تأخير زمني في الاستجابة لتحفيز خاص . مثل هذا النظام لوحظ أولاً في عمل (Thellier et al., 1982) و (Desbiez et al., 1984) حيث قاموا بدراسة التخزين طويل المدى (لعدة أيّام) لإشارة مستتارة بواسطة جرح طفيف حيث كان قادراً أن يحدث تغيير مورفولوجي للنبات (ثمرة برعم) عندما نُقل النبات الى وسط زراعي مناسب . أيضاً لوحظ في العديد من النباتات أنّ العدوى الأوليّة تؤدي إلى نظام المقاومة المكتسبة (SAR/systemic acquired resistance) في النبات حيث توفر ذاكرة طويلة المدى (مدى الحياة) للعدوى (Spoel & Dong 2012) و تحسن من ذاكرة النبات لمقاومة المزيد من العدوى . (Vian et al., 2005)

قام (Galiano et al., 2014) بتجربة و بحث شامل وبالتعامل مع النبتة وكأنها حيوان، تحت ظروف دقيقة كتأثير البيئة ذات الضوء العالي وبيئة ذات الضوء المنخفض على مدى قابلية تعلّم

النبتة.أخذت الباحثة، مجموعة من هذه النبتة ووضعتهم في وعاء ومن ثم حملت الوعاء على جهاز يقوم بإسقاطه من ارتفاع محدد ودقيق. يتم إسقاط الوعاء من علو 15 سم كما موضح في (الوثيقة 1)، بحيث يتم تكرار هذه العملية 60 مرة تلو الأخرى وبفاصل خمسة ثوان. هذا الارتفاع آمن لحماية النبتة من الضرر ولكن هذه العملية تؤدي لاهتزاز النبتة بحيث تحفرها لأغلاق أوراقها. قام الباحثون بإسقاط 56 نبتة لـ 60 مرة ، لمعرفة مدى إدراك النبتة بأن هذه العملية ليست بخطر فتتوقف عن إغلاق أوراقها .



الوثيقة (1): تجربة إسقاط نبات المستحية من علو 15 سم (Galiano et al., 2014)

بعد أداء التجربة لاحظت الباحثة سريعاً ان بعض النباتات توقفت عن إغلاق أوراقها بعد عدة محاولات من التحفيزات وعند المرة الأخيرة من التكرار توقفت كل النباتات عن إغلاق أوراقها. وما تم مشاهدته هو تعلم و تذكر النباتات بأن عملية السقوط هذه ليست خطيرة و بذلك توقفت عن إغلاق أوراقها و إسراف طاقة خلوية لعملية غلق الأوراق أو قد تكون النباتات قد أجهت أوراقها و تعبت من عملية الإغلاق و لتأكد من ذلك فقد أخذوا هذه النباتات المتعبة وحفروها بطريقة أخرى عن طريق وضعها داخل هزاز وليس عن طريق جهاز السقوط الحر. تفاجأ الباحثون عندما شاهدوا أوراق النباتات قد أغلقت عند وجود المحفز الجديد وهذا يدل على أن النباتات لم تكن متعبة بالفعل وإنما تعلمت درس السقوط وتذكرته وأصبحت غير مبالية لهذا المحفز لعدم تشكيل الخطر عليها. للتأكيد على هذه الفرضية، أخذت هذه النباتات نفسها بعد أسبوع من تجربتها بالهزاز وتم إسقاطها من جديد عن طريق جهاز السقوط الحر نفسه. وبالفعل هنا أيضاً لم تكترث النبتة لهذا المحفز وتذكرته حتى بعد

أسبوع. كررت التجربة على نفس النباتات لمدة شهر وحتى بعد هذه المدة تذكرت النباتات عملية السقوط ولم تغلق أوراقها. في هذه التجربة استطاع الباحثون أن يظهروا كيف أن النبتة توقفت عن إغلاق أوراقها عندما تعلمت أن التأثير الخارجي غير مضر وكيف أن النباتات لها القدرة على التعلّم بسرعة ، وأيضا أن للنباتات قابليّة تذكر طويلة المدى، فقد أظهر الباحثون عبر نتائجهم أنها استطاعت تذكر الحافز حتى لمدة شهر كامل . (Galiano et al., 2014)

الطريقة الأسهل للتعرف على مدى قدرة النبات على التعلم وهي بواسطة تعريضه إلى ظروف لم يسبق أن واجهها من قبل و النظر إلى ردة الفعل التي يحدثها النبات . وهناك العديد من التجارب التي تمّ شرحها . حيث قام (Calabrese & Baldwin, 2001) بتعريض نبات النعناع إلى تراكيز مختلفة من Phosfon D وهو مبيد عشبي ، ثمّ قامو بقياس معدلات النمو كل أسبوع . خلال الأسابيع الأولى لوحظ تباطؤ وتضائل في النمو في التراكيز العالية ، ثمّ بعد عدة أسابيع نتجت زيادة في النمو ولوحظ أنّ النباتات المعالجة تنمو نمو سريع . هذا يظهر أنّ النباتات تعلمت كيف تتعامل مع المبيدات العشبيّة و كيف تقوم بالتعويض من أجل استعادة نموها ودورة حياتها إلى مسارها . (Trewavas, 2005b)

من مظاهر التعلم عند النباتات ، الانتحاء الشمسي (Heliotropic plants) للاتجاه الأمثل للشمس وتحافظ النباتات على الوضع لاتجاه الأوراق . (Trewavas, 2009)

هنالك بعض المعالجات الإجهاديّة التي من الممكن أن تقتل النباتات التي تجرى عليها التجارب وهذا يتضمن ، الكادميوم عالي التركيز ، الملح ، الاجهد الأسموزي أو الحرارة المرتفعة أو المنخفضة أو الإجهادات الميكانيكيّة . وبالرغم من ذلك فإنّه يمكن تدريب النّبات للنّجاة في مثل هذه الاجهادات المميّنة بتعريضها إلى اجهادات سابقة أكثر اعتدالاً . (Trewavas, 2005b)

يمكن للنّبات أن يكتسب مقاومة للاجهادات عبر التطبيق التدريجي لقوة اجهاد أكثر اعتدالاً لكن متزايدة نتيج هذه الاستجابة التعلّميّة ، مقاومة أسرع و أكثر عدوانيّة و تكيّفًا مع نوبات الإجهاد الآتيّة . (Trewavas, 2009)

عادة ما تؤدي الذكريات المكتسبة عند الحيوانات إلى تغييرات واضحة في السلوك ، يتم اكتشافها بواسطة الحركات المتغيرة ؛ ولكن مع استثناء الجهاز المناعة. هناك العديد من أحداث التعلم والذاكرة المماثلة في النباتات و التي لا يتم حسابها ، ببساطة لأنّ النبات يفشل في الاستجابة بشكل واضح ، لانعكاس نمط الحياة النباتيّة المختلفة. لكن يمكن اكتشافها تجريبيا كما هو الحال مع جهاز

المناعة . يمكن أن تتنوع أطوال الذاكرة عند النباتات فهي تختلف من بضعة ثوانٍ إلى ساعات أو أسابيع أو شهور أو حتى سنوات اعتماداً على الأنسجة وإشارة معينة. (Trewavas, 2017)

قدرة النبات على تخزين المعلومات التجارب و التعلم بواسطة المقارنة و تقييم التجارب المخزنة، تطرح تساؤلات عن قدرة إدراك النبات مع دلالات أخرى مثل العقل أو حتى الوعي عند النباتات . (Witzany et al.,2018)

VII. الإحساس عند النباتات :

من الحقيقي أنّ النباتات تمتلك أحاسيس خاصة بها ، حيث يمكنها استكشاف و الإستجابة للضوء و الأصوات ، الكيماويات ، الاهتزازات و اللمس ناهيك عن الماء ، الجاذبيّة و الحرارة . وتتمثل استجابتها عادة في تغيير نمط نموها ، ولكن بطريقة أكثر تنوعاً وتعقيداً مما يمكن أنّ نتخيل . (إيهاب، 2004)

اهتمّ الفسيولوجيون بدراسة داخل النبات و البحث عن كيفية تنفيذ النبات لبرنامج في التطوير و إحساسه بالليل و النهار و قياسه درجة الحرارة و أوضاع النبات عن مجاورته لأخرى و شن حرب للدفاع عن نفسه إذا تعرض لهجوم بكتيري أو فيروسي أو أصابته حشرة أو حتى إذا وقع تحت وطأة الإجهاد البيئي . (سليمان،2008)

تمتلك النباتات جهاز استشعار حيوي biosensor يعرف على أنّه جهاز يكتشف و يسجل و ينقل المعلومات المرتبطة بالآليات و التغيرات الفيزيائية في النظام البيولوجي . أو استخدام وسائل بيولوجية لمراقبة وضبط وجود مختلف المركبات الكيميائية في المادة . (Volkov & Ranatunga, 2006)

أنظمة الجذر ليست قادرة فحسب على الإحساس بحجم التربة التي ينمو فيها و إنّما أيضا يمكنها التعرف و تمييز جذور الأنواع المتجاورة وبالتالي تمتلك آلية الإدراك الذاتي . ويحتمل أنّ جذور النباتات المتجاورة تتجنب بعضها البعض قدر الإمكان لتحسين مساحة التربة المشغولة . (Trewavas,2009)

1. استشعار الضوء :

الضوء ضروري لنمو وتطور النبات و ذلك لتأثيره (تقريباً) على كل جوانب دورة حياته من الانتاش إلى التزهير ، يتلقى النبات مجال الضوئي من الأشعة البنفسجية إلى الضوء الأحمر البعيد بواسطة مستقبلات ضوئية خاصة . يعمل الإشعاع الطبيعي على تحفيز و تفعيل أكثر من مستقبل ضوئي واحد في النباتات الراقية . هناك ثلاث أقسام معروفة على المستوى الجزيئي للمستقبلات

الضوئية عند النباتات الفيتوتروبينات phytochromes الفيتوكورمات phytochromes الكريبتوكورمات cryptochromes. الفيتوتروبينات و هي الضوء الأزرق (300-500 نانومتر) وهي عبارة عن مستقبلات فلافوروتينية مسؤولة على الانتحاء الضوئي و اتجاه البلاستيدات الخضراء أما الفيتوكورمات فهي عبارة عن مستقبلات بروتينية ، تقوم بتنظيم عدة جوانب لنمو وتطور النبات ، الفيتوكورمات النباتية وهي عبارة عن بروتين الكيناز المعدل الخفيف وهي عملية مزدوجة تعتمد على ATP الفسفرة الذاتية و نشاط بروتين الفسفوترونسفيراز phosphotransferase . أما بالنسبة للكريبتوكورمات فهناك Cry1 و Cry2 وهي فلافوروتينات مسؤولة على التكوّن الضوئي ، تتلقى الضوء (UV-A) و الضوء الأزرق (360-500 نانومتر) يشارك الكريبتوكورم و الفيتوتروبين العديد من التشابهات و لكن لديهم مسارات تحويل مختلفة . (Volkov and Ranatunga, 2006)

يعتبر الضوء من المصادر الضرورية التي يحتاجها النبات ولذلك فإنّ النباتات تتوجه نحو مصدر الضوء ومن أمثلة ذلك فالنخلة تمتلك جذعاً مرتفعاً يرتكز على جذور داعمة بحيث ترتفع النخلة المرتكزة فوق التربة ، عندما تتعدى النباتات المجاورة على حصتها من الضوء أو المواد المغذية ، تتحرك النخلة بكاملها نحو أقصى اتجاه لضوء الشمس عن طريق نمو جذور داعمة جديدة باتجاه الجانب المشمس و تدبل الجذور الموجودة ناحية الظل و تموت وهو سلوك تكيفي واضح . (إيهاب، 2004)

ينتج الانتحاء الضوئي نتيجة التعرض للإضاءة غير متساوية على جانبي العضو النباتي ، و عادةً تنحني السوق في اتجاه الضوء الأقوى كما أنّ الأوراق تتخذ وضعاً معيناً بالنسبة لمصدر الضوء و كثيراً ما تتخذ أوراق بعض النباتات مثل الخس أوضاعاً بحيث تواجه أنصافها الشرق و الغرب حتى لا تواجه أنصاف الأوراق الشدة الكاملة لشمس الظهيرة سوى حواف الأوراق فتعرف عندئذ تلك النباتات بنباتات البوصلة ، تلك الحركات التي تضع الأوراق و السوق في مواضع معينة بالنسبة للضوء ترجع لاختلاف في معدلات النمو في الأجزاء المضاءة عن الأجزاء المظللة في السوق و الأعضاء . (سليمان ، 2008)

2. درجة الحرارة :

قد يشعر النبات بالدفء ولو لدرجة واحدة فتتفرج بتلاته كما في التوليب ، أما الزعفران فيتأثر بارتفاع درجة أو دفء الجو وبدرجة قليلة للغاية للغرض نفسه . وهناك نباتات متحملة للحرارة العالية فهي تقوم بانتاج بروتينات الصدمة الحرارية لتحميها من التأثيرات السامة للحرارة العالية. (سليمان، 2008)

يُعد برد الشتاء الطويل ضروريًا لإزهار كثير من النباتات. ويساعد تحديد آلية الإحساس بالبرد طويل الأمد التي لم تكن معروفة من قبل على الكشف عن الطريقة التي تستطيع بها النباتات ضبط توقيت إزهارها على نحو صحيح . عادة ما تزهر النباتات المنتمية إلى النوع نفسه، والتي تنمو في منطقة بعينها، في الوقت نفسه، وهذا الإزهار المتزامن مهم لزيادة فرص التلقيح وإنجاح التكاثر. واستجابة النباتات للتعرض للبرد تتيح لها طريقة تمكنها من ضبط توقيت إزهارها في فصل الربيع. نظرًا إلى أن درجات الحرارة اليومية تتذبذب، فإن البرودة طويلة الأمد، وليست قصيرة الأمد، هي الإشارة الحاسمة المطلوبة لتحفيز الإزهار، ففترات البرد الطويلة التي يعقبها طقس أدفأ تعد مؤشرًا على انقضاء الشتاء، وإيذانًا بحلول الربيع ووقت الإزهار. لذلك تحتاج النباتات إلى قياس طول الفترة الزمنية التي تعرضت فيها لبرد الشتاء. (Hiroyuki & Mähönen, 2020)

3. اللمس :

تتأثر النباتات باللمس و تختلف درجة الحساسيّة تبعًا لنوع النبات فقد تكون الحساسيّة عالية في النبات صائد الحشرات حيث تصبح الأوراق بمثابة الفخاخ أو قد يكون التوجيه في الزهرة هو الفخ ، وفي حالة ملامسة الأمطار و الرياح المتكررة للأشجار نجد جانبيها غير متماثلين نتيجة تعرضهما للمس الهواء أو الماء فيؤدي التلامس الى تمدد الساق و تضخم نصف قطره و يصبح أكثر صلابة في الجزء المعرض للمس . ويمثل رد الفعل عند التلامس انبعاث موجات كهربائية عبر الغشاء الخلوي و تندفق أيونات داخلية وخارجية لتعديل سيولة و نفاذية الغشاء على غرار ما يحدث في الخلايا العصبية في الانسان فيزيد دخول أيونات الكالسيوم لداخل الخلايا و تنشط بعض الجينات فقد وجد خمس جينات تتأثر وتنشط عند تعرض النبات للرياح أو البرد أو الاجهاد البيئي أو الاصابة المرضية أو الحشرية . (سليمان، 2008)

تستجيب النباتات للمس والمنبهات الميكانيكية وفي بعض الحالات ، تُغير النباتات شكلها بصورة دائمة استجابة لضغوط ميكانيكية ، تسمى هذه العملية بالنتشكّل اللمسي Thigmomorphogenesis . يُمكن رؤية هذا التغيير في الاتجاه الذي تنمو فيه الأشجار ، حيث تهب الرياح من جهة واحدة . (ريفن و آخرون ، 2014)

حسب (Aken et al., 2016) فإنّ النباتات يمكنها أن تشعر حين يتم لمسها، ولا يتوقف الأمر عند ذلك فحسب؛ إذ أوضح البحث أنها تستجيب للمس أيضًا وبطرق مختلفة وفقًا لطبيعة اللمسة يوضح أوليفر فان أكن "على الرغم من أن النباتات لا تشتكي حين يتم قطف زهرة منها أو الدهس عليها

والمروور خلالها في أثناء التنزّه، إلا أنها واعية بشكل كامل لتلك الملامسات وتستجيب بشكل لحظي".
لكن ذلك لا يعني أنها تشعر بالأمر وتدركه كما يحدث لنا نحن البشر.(السنباطي،2017)

على مستوى كل مصراع من مصيدة النباتات الأكلة للحشرات تتواجد شعرات حسية عددها يختلف باختلاف نوع النبات فمثلاً في نبات فينوس صائد الذباب توجد ثلاث شعرات حسية بينما في نبات ناعور الماء يوجد العديد من هذه الشعرات . وتكون هذه الشعرات حساسة للمس . (أحمد ، 2016)

تتأثر أسدية أزهار نبات عود الريح المحملة بحبوب اللقاح باللمس ، فإذا لامستها حشرة سرعان ماتتحتني السداة إلى الداخل نائرة حبوباللقاح على جسم الحشر . أما أزهار نبات النكومة ونبات الكتلبة فإنّ لمس الحشرات يسبب انضمام فصي الميسم و الفصوص تعود إلى التباعد بعد دقائق قليلة ، إلا إذا تعلق بها بعض حبوب اللقاح في أثناء لمس الحشر فعندئذتبقى مضمومة . (مجموعة مالفون ، 2021)

الإستجابات اللمسية شبيهة بالتؤد اللمسي (نمو اتجاهي لنبات أو جزء منه استجابة لملامسته لجسم ، كجسم حيوان أو نبات آخر ، أو حتى الريح) ماعدا أنّ اتجاه الاستجابة يبقى كما هو بغض النظر عن اتجاه المنبه . المحاليق سيفان متجورة تستعملها بعض الأنواع النباتية لتثبت نفسها في البيئة . عندما يلامس المحلاق جسماً ، فإنّ خلايا بشرة متخصصة تحس بالتلامس ، وتبدأ بالنمو غير المتساوي ، مُسببة التفاف المحلاق حول الجسم . (ريفن و آخرون ، 2014)

يمكن للإستجابات اللمسية للنبات أن تجعل النبات يعتدي على الحيوانات أو تحاصرهما و تلتهمها . وتمكن الأزهار من أن تكون فعالة من أجل ضمان التلقيح المتبادل و صعود البراعم إلى المرتفعات المضاءة بنور الشمس . كما يتأثر التكشف Morphogenesis بالإضطرابات المتباينة بما في ذلك المنبهات البيئية الديناميكية . و حتى على المستوى الخلوي فإنّها تأثر على الإمتلاء Turgor وصلابة الجدار Integrity وحتى على المستوى الجزيئي فإنّها تؤثر على الإشارات و الهرمونات بما في ذلك الكالسيوم . فداخل الخلايا أيضا يتأثر بالإستجابات اللمسية . (Barram, 2005)

4. السمع :

الصوت موجود في كل مكان في الطبيعة . الأدلة الحديثة تدعم فكرة حديثة تنص على أنّ الموجات الصوتية التي تحدث بشكل طبيعي أو مولدة بشكل مصطنع تؤدي إلى تغيرات بين الخلايا و

داخلها في النباتات . تؤدي هذه التغييرات بدورها إلى تغييرات فسيولوجية متنوعة. (Kim et al., 2018)

النباتات حساسة للمنبهات الخارجية مثل الموجات الصوتية ، تثير الموجات الصوتية (الطبيعية أو المصطنعة) استجابات مختلفة على مستوى النبات كالنمو و الاستجابة الدفاعية و تحمل الإجهادات اللاحائية و البناء الضوئي و تأخر نضج و إنبات البذور . (Kim et al., 2018)

تطورت حساسية النباتات لإدراك عدد لا يحصى من المحفزات الخارجية التي بها تضمن نجاحها في البقاء . أثبتت الأبحاث على مدى القرون الماضية استجابة النباتات للعوامل البيئية من خلال تعديل نموها وتطورها باستمرار . أما بالنسبة للاهتزازات الصوتية فقد بدأت في تلقي الإهتمام مؤخراً (نسيباً) حيث تمّ الإثبات على أنّ الإهتزازات الصوتية تزيد من غلة العديد من المحاصيل و تقوي مناعة النبات ضد مسببات الأمراض . حيث يمكن للنباتات التعرف على أصوات مضغ يرقات الحشرات و طنين النحلة الملقحة و الاستجابة وفقاً لذلك . (Mishra et al., 2016)

إنّ الطاقة الصوتية الناتجة عن تغذية الحشرات العاشبة يتم اكتشافها بواسطة النباتات . ولكي يعمل نظام اكتشاف الحيوانات العاشبة القائم على الاهتزاز في الطبيعة يجب على النباتات أن تميز بين الاهتزازات التي تشير إلى تغذية الحيوانات العاشبة من الاهتزازات البيئية العديدة التي لا تفعل ذلك . تمت معالجة نبات *Arabidopsis thaliana* L مسبقاً بالاهتزازات الناتجة عن تغذية اليرقة فكانت تحتوي على مستويات عالية من glucosinolate و anthocyanine وهي مركبات دفاعية عند تغذيتها بيرقات *Pieris rapae* L ، مقارنةً بالنباتات الغير معالجة مسبقاً . كما استطاعت النباتات أيضاً التمييز بين الاهتزازات الناتجة عن المضغ و التي تسببها الرياح . فالاهتزازات الناتجة عن المضغ و الرياح مختلفتان اختلافاً كبيراً في محتوى التردد فاهتزازات المضغ تحتوي على ترددات منخفضة وعالية ، بينما ترددات الرياح فهي تهيمن عليها الترددات المنخفضة . (Appel & Coeroft, 2014)

تنمو الشتلات بشكل أقوى نحو النغمات التي تنقلها المياه في نطاق تردد معين . (Gagiano et al., 2012a)

في الآونة الأخيرة تمّ الكشف على أنّ ثمار الطماطم *Solanum lycopersicum* المعالجة بموجات صوتية و باستخدام تقنيات التسلسل الحديثة (تحليل RNA-seq و microRNA-seq) إلى تأخر في نضج ثمار الطماطم . حيث تزامن هذا مع انخفاض في التخليق الحيوي للايثيلين و سيتوكينين وجينات الإشارة ، وزيادة في تنظيم الجينات المشاركة في التخليق الحيوي للفلافونويد و

الفينيل بروبانويد و الجلوكان . بالإضافة إلى ذلك تمّ تحديد جزيئتين من miRNAs خاصتين بالصوت والتي يمكن استخدامها كمؤشرات حيوية . هذه البيانات عبارة عن أدلة جزيئية على قدرة النبات على إدراك الصوت . (Kim et al., 2018)

ساهم RNaseq و التشخيص الجزيئي Molecular characterization للنباتات المعالجة بالصوت في فهمنا لطبيعة استجابة النبات للصوت . ولكن ومع ذلك فإنه يوجد العديد من العوائق التي تجعل من التحقيق في تأثيرات الصوت على النباتات أكثر صعوبة ، من بينها الصعوبات في استخدام الظروف التجريبية . (Kim et al., 2018)

5. الأشجار الناطقة :

يستخدم مصطلح لغة النبات أو الأشجار الناطقة لوصف إشارات النبات إلى النباتات المجاورة . حيث أنّ لغة النبات تغطي جميع الاتصالات مع النباتات أو الكائنات الأخرى . (Šimpraga,2016)

تعمل VOCs كلغة تستخدمها النباتات للتواصل و التفاعل مع البيئة المحيطة (Natalia et al.,2007) . كانت تعتبر النباتات صماء استناداً إلى حقيقة عدم امتلاكها هياكل مستشعرة كيميائية متنوعة شبيهة بالحيوان للإشارات المتطايرة . (Šimpraga,2016)

6. الشعور بالألم :

أفاد باحثون في جامعة بون بألمانيا أنّ النباتات تنتج غازات معينة عندما تكون في ضائقة وهو ما يعادل الصراخ من الألم ، واكتشف باحثون آخرون موجات صوتية يطلقها النبات بالإضافة إلى الغازات عند إصابته بالجروح . بالرغم من أنّ الصوت غير مسموع للبشر ، إلا أنّ باحثون في جامعة ميسوري في أميركا أنّ النباتات يمكن أن تشعر بأنّها تقطع أو تأكلها الحشرات و تستجيب من خلال آلية دفاعية مثل إنتاج عصارة سامة أو انتصاب أشواكها .

لا يوجد دليل قاطع أنّ النباتات تشعر بالألم ، لكنّها تستجيب بشكل إيجابي للمنبهات . يمكنها إصلاح الأجزاء التالفة ، وتجنب التهديدات المحتملة ، وتغيير الاتجاه . (المنيعي،2021)

VIII. نوم النبات :

اعتقد العلماء على مرّ القرون أنّ الإنسان و الحيوانات ذات القدرات العالية هم فقط من يستطيعون النوم ، أمّا الحيوانات ذات القدرات المنخفضة أو النباتات فإنّ ما يقومون به هو ظاهرة شبيهة للنوم لكننا

لا نستطيع أن نطلق عليها نومًا . اكتشف مؤخرا في عام 2000 أنّ ذبابة الفاكهة سوداء البطن تستطيع النوم، أي قدرة الحشرات أيضا على النوم و هذا أحدث ثورة حقيقية في دراسة نوم الحيوانات . إذا كانت أبسط الحشرات تستطيع النوم هذا يعني أنّ النوم أحد اساسيات الحياة . وماذا عن النباتات هل تستطيع النوم ؟ إذا كانت النباتات تتمتع بالذكاء و القدرة على التفكير ، فإنّها بالتالي تستطيع النوم . قام العالم كارل لينبوس بتجميع كل دراسته حول الوضع المختلف الذي تتخذه أوراق و فروع بعض النباتات أثناء الليل (الوثيقة 02) و أشار إلى أنّ هذه الظاهرة تعادل النوم عند الحيوانات . إنّ حركة تغيير الوضعية التي تقوم بها النباتات أثناء الليل لا تظهر بوضوح في الأوراق ذات الملمس الجلدي كأوراق شجر سنديان أو الزيتون أو الغار ، بينما يمكننا ملاحظتها بسهولة في الأوراق الحساسة . (مانكوزو و فيولا ، 2019)

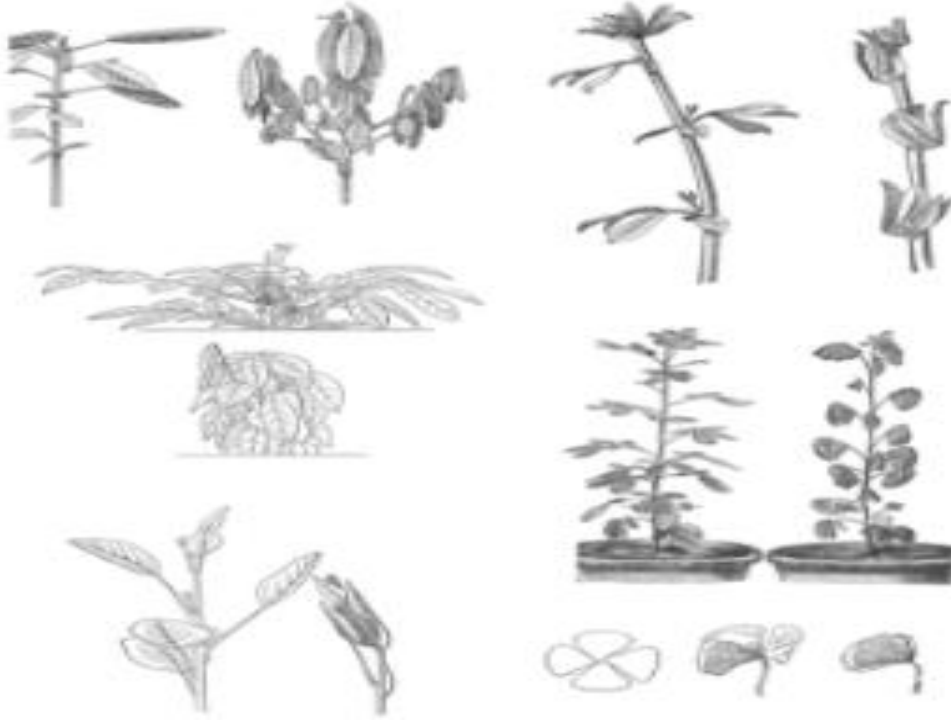
في العموم فإنّ النباتات متجذرة و غير قادرة عن تغيير مكانها أو التحرك ، ولكن العديد من النباتات تستطيع الحركة بطرق مختلفة . بعض النباتات تفتح أوراقها في النهار و في الليل تطوي أوراقها (النوم). هذا الإيقاع تنظمه ساعة بيولوجية مع دورة حوالي 24 ساعة وهذه الظاهرة قد أشار إليها العلماء لعدة قرون . (Ueda & Nakamura, 2006)

تظهر بعض الأنواع النباتية سلوكاً يشبه النوم كأوراق نباتات *Mimosa* و *Samanea* و *Albizzia* (أوراقها مركبة ريشية) حيث تتفتح الأوراق في الضوء و أثناء الظلام تنحني الريشات إلى أسفل في اتجاه قاعدة الورقة و هذا في حالة نبات *Samanea* أمّا النباتين الآخرين فينتحيان في اتجاه عكسي . (وصفي، 1995)

كما نجد أنّ الظلمة بإغلاق اللوريقات كما هو الحال في نبات الحميض . (سليمان، 2008)

كما تمّ اثبات ولأول مرة أنّ الأشجار تخضع لتغيرات جسمية ليلاً والتي يمكن تشبيهها بالنوم، أو على الأقل بدورات الليل والنهار التي رُصدت تجريبياً في النباتات الصغرى. عبر دراسة لتجربتين منفصلتين جغرافياً لأشجار القصبان الفضي *Betula pendula* في فنلندا و النمسا . حيث تمّ إجراء التجربتين في نفس الوقت من العام وفي ظل ظروف خارجية مماثلة وفي ليلة هادئة لتجنب آثار الرياح وفي يوم الاعتدال الشمسي في كلاً من البلدين لضمان تماثل طول الليل تقريباً . وذلك عبر استخدام المسح بالليزر الأرضي (TLS) . تمّ مسح 14 مرة لشجرة فنلندا و 77 مرة لشجرة النمسا تمّ التقاطهم بين غروب الشمس و شروقها . أشارت النتائج إلى أنّ نبات القصبان الفضي كانت له حركات رأسية للأفرع (تدلي الأفرع) بين 10 و 5 سم مقارنة بالوضع عند الغروب ، حيث حدثت الحركات القصوى قبل شروق الشمس بساعة ونصف تقريباً . (Puttonen et al., 2016)

نبات البرسيم الأبيض *Trifolium repens* تتكون ورقته من ثلاث وريقات تتصل الوريقات بعنق الورقة بواسطة عضو الحركة pulvinus لكل منها . تُظهر هذه الثلاث وريقات حركة نوم أي ضم للوريقات أثناء الليل و تنفرج أثناء النهار ، وهي تحدث دون الحاجة لتعاقب الليل و النهار . حيث أنّ الحركة من الضم و الإنفراج تحدث في تتابع كل 20 ساعة تقريباً أي يومياً وتسمى هذه الحالة بـ Circadian rhythm . (وصفي،1995)



الوثيقة (02) : وضعية الأوراق في الصباح و في المساء ، النباتات من الأعلى يساراً ؛
Codariocalyxmotorius ، كاسيا كورمبوزا ، تبغ أزرق ، *Cassia pubescens* ، *Lotus*
Marsilea quadrifoliata ، *creticus* . (مانكوزو و فيولا ، 2019)

IX. دماغ النبات :

إنّ محاولة كائن ما على النجاة والبقاء تعتمد على قدرته على الإستجابة لبيئته من خلال حواسه ، ذلك عندما يقوم الجهاز العصبي بترجمة المعلومات الحسية إلى نبضات كهربائية عبر شفرات عصبية . هذا يتيح تكامل تعدد الحواس الذي بدوره يقود إلى استجابة تكيفية و سلوك فعّال . في النباتات ، العديد من العوامل الفيزيائية البيئية خاصة الضوء و الجاذبية يتم مراقبتها بشكل مستمر . فالخلايا النباتية متخصصة حيث تمّ تحسينها بواسطة التطور لترجمة المعلومات الحسية التي تمّ الحصول عليها من البيئة الفيزيائية إلى استجابات حركية تعرف بالانتحاءات ، إنتحاء الجاذبية للجذور يعرض كواحد من انتحاءات الأعضاء النباتية التي تمّ دراستها بشكل مكثف .الإشارات الكهربائية

الناجمة عن كل هذه العوامل الفيزيائية المعروفة في النباتات ، مما يوحي أنّ الكهرباء يتوسط التواصل الفيزيائي و البيولوجي في النباتات أيضا . انتحاء الجاذبية للجذور هو مثال مرشد محدد لهذا الصدد . الإدراك الحسي للجاذبية يتم عند طرف قمة الجذر ، عند قنسوة الجذر، التي تحتوي دهليز وهو عضو مستشعر للجاذبية مكون من خلايا Statocytes (الخلايا الإحصائية و هي خلايا يعتقد أنّها متورطة في الإدراك التماثلي في النباتات ، تقع في أنسجة الجذور) . الاستجابات الحركية التي تبدأ فوراً بعد الأحداث الحسية لقنسوة الجذر تمت في مناطق النمو البعيدة نسبياً لقمة الجذر . لذلك انتحاء الجاذبية يعرض مثال جيد للدائرة العصبية الحسية و الحركية للنباتات . (Adamatzky et al., 2018)

بحسب تريوفاس فإنّه ليس هنالك نسيج واحد في النباتات يظهر تحكم عصبي للعمليات الفيسيولوجية ، بالرغم من أنّ اشارات المرسيتم تظهر أنّها تمتلك مكانة بارزة في اتخاذ قرارات العمليات. وهناك تقارير أخرى تقترح أنّ الوضع الأرجح لمكان العقول في قمم الجذور و/ أو قمم البراعم . (Struik,2007)

إنّ مكان التقييم الداخلي و المركزي لعمليات السلوكيات البيولوجية هو على الأرجح الجذور (Blaušak et al., 2005).

اكتشف العلماء مؤخراً أن بذور بعض النباتات تتصرف كما لو أنها تمتلك دماغاً يقرر متى ينبغي أن تبدأ عملية الإنبات. حيث لاحظ (Topham et al., 2017) أن هناك مجموعة من الخلايا الموجودة داخل بذور نبات رشاد أذن الفأر *Arabidopsis thaliana* ، تمتلك القدرة على تقييم الظروف البيئية المحيطة بالبذور داخل التربة من أجل اتخاذ قرار الإنبات . توضح الدراسة أنّ تلك الخلايا التي تتصرف كالمخ تتمركز بالأساس داخل الجذر الجنيني للبذرة. وتقسم الدراسة تلك الخلايا إلى مجموعتين: الأولى تحفز استمرار عملية الخمول وعدم الإنبات، والثانية تحفز عملية الإنبات ونمو النبات من البذرة. إذ يجري التواصل بين مجموعتي الخلايا المثبطة والمحفزة للإنبات عبر الهرمونات فيما يشبه الحديث والنقاش، ومن ثم يتم اتخاذ القرار الحاسم بشأن بدء عملية الإنبات. (السنباطي، 2017)

تمتلك النباتات بالفعل أدمغة ، لكن ليس في الشكل الذي يتبادر إلى الذهن ، فدماغ النبات هو جذوره . يتحكم نظام الجذر بالعديد من العمليات الحيوية في النبات ، حتى يعمل كالقلب عن طريق ضخ المياه و المعادن إلى النبات ، وبعد ذلك يتم نقل هذه المواد إلى بقية أنسجة النبات . كما تعمل الجذور كجهاز رئيسي لاحتياطات المغذيات ، حيث تقوم بتخزين المغذيات في العديد من الأشكال ، مثل السكريات في بنجر السكر و النشا كما هو الحال في البطاطا . (المنيعي، 2021)

الفصل الثاني

آليات التواصل عند النباتات

مدخل :

كثيراً ما نفكر في النباتات على أنها أجهزة استقبال سلبية لأي شيء تلقىه عليها البيئة. كما بين مجموعة من المؤلفين أن النباتات غبية وصماء والتواصل النباتي يتعارض مع الفطرة البشرية ، ومع ذلك فإنّ النباتات بعيدة كل البعد عن السلبية. في الواقع، النباتات شديدة النشاط والتواصل. تأتي الاتصالات النباتية في أشكال عديدة وتوجد في العديد من العائلات النباتية. فتح تواصل النبات منطلقاً شيقاً للعلماء كي يتم إزالة الغموض حيال هذا الموضوع وخصوصاً وأنه محل شك وريبة ونفي من قبل تيار آخر من العلماء ،الذين يعتبرون أن النبات لا يتواصل ولا نكاه له، الى درجة السلبية.

قامت عالمة البيئة سوزان سيمارد خلال ثلاثين سنة بمئات التجارب والتي أثبتت خلالها أنّ النباتات تتواصل فيما بينها بطريقة ذكية جداً فهناك عالم آخر تحت الأرض ترتبط فيه الأشجار والنباتات بمختلف أصنافها وأحجامها بطريقة كأنها جسد واحد.

وقد أثبتت التجارب أنّ هناك تعاوناً مذهلاً بين الأشجار بكافة أحجامها وأنواعها . وتقول عالمة سوزان : إن اتصال الأشجار فيما بينها ليس فقط عن طريق ثاني أكسيد الكربون و لكن أيضاً عن طريق الماء و النيتروجين والفسفور و عن طريق الكثير من الإشارات الكيميائية و الهرمونات ، وأن هناك معلومات هائلة و دقيقة بين مختلف الاشجار والنباتات ، كأنها شبكة انترنت فهناك امهات الاشجار التي تطعم صغارها من الشجيرات الصغيرة النامية و تزيد من نسبة بقائها ضعافاً . وتتعرف الأم الكبيرة على صغارها من الشجيرات بالإضافة انها ترسل غذاءً أكثر من عندها عن طريق فروعها تحت الارض الى اطفالها الصغار ، وعندما تصاب الام او تموت فإنها ترسل رسائل تحذيرية بشكل واع ومنظم الى الاجيال الاخرى و كذلك ترسل اشارات دفاعية لأطفالها لمقاومة الامراض و الإجهادات التي قد تمر بها تلك الشجيرات في المستقبل ، اذاً فالأشجار تتواصل فيما بينها و انها عوائل تملك شبكات معقدة من الاتصالات فيما بينها لتتكيف مع المعيشة والظروف البيئية

تشير الآية الكريمة رقم (29) من سورة الفتح الى ذلك التواصل والتراحم بين النباتات بقوله تعالى (وَمَثَلُهُمْ فِي الْإِنجِيلِ كَزَرْعٍ أَخْرَجَ شَطْأَهُ فَآزَرَهُ فَاسْتَغْلَظَ فَاسْتَوَىٰ عَلَىٰ سُوقِهِ) ، و معنى شطأت الأم بالولد اي (ولده) ، ومعنى ازره اي (شده واعانه)، واستغلظ اي تحول من (الدقة الى الغلظة) حتى (استقام على اصوله) . (web/site:05)

آليات التواصل عند النباتات

أولاً : التواصل

I. التواصل Communication :

يعرف قاموس Merriam-webster التواصل على أنه آلية تبادل المعلومة بين الأفراد عبر نظام مشترك من الرموز ، العلامات أو السلوك (Fantišek & Velemir 2010) .

II. التواصل الحيوي the biological communication :

هذا التعريف يتضمن بشكل أشمل تبادل المعلومة بين أي نوع من المرسل (signaler) والمتلقي (receiver) ويشمل أيضا التواصل بين الأعضاء ، ضمن عضو أو خلايا . أيضا تعوض الرموز و العلامات أو السلوك بمصطلح الإشارة (signal) التي يعرفها Webster's على أنها كميات مادية أو محفزات قابلة للاكتشاف ، و التي بها يمكن أن تُنقل المعلومة أو الرسالة . إذا فالتعريف العام للتواصل هو آلية تبادل المعلومة بين المرسل والمتلقي عبر نظام مشترك من الإشارات. (Fantišek & Velemir, 2010)

يعد التواصل أمرا حيويا بالنسبة لجميع الكائنات الحية ، يسمح لها بتجنب المخاطر و تحصيل الخبرات و التعرف على جسمها و البيئة المحيطة بها. (مانكوزو و فيولا ، 2019)

تحتوي النباتات على آليات فريدة و معقدة للإتصال الدقيق لمختلف الأعضاء بالرغم من غياب الجهاز العصبي لديها . (Takahashi & Shinozaki ,2019)

الجدول (03): مختلف أنواع التواصل الحيوي التي لوحظت في النباتات

(Fantišek & Velemir, 2010)

المراجع	أمثلة في النبات	دور المرسل و المتلقي	العلاقة بين المرسل و المتلقي
(Schenk 2006 ; Schenk et al.,2009)	<ul style="list-style-type: none"> تواصل الجذور الأرضية اشارات من العوائل المختلفة التي تحذر من 	<ul style="list-style-type: none"> تنافس عائل و طفيلي 	تعارض مصالح

	الطفيليات		
(Haring et al.,1990 ; Rea & Nasrallah, 2008)	<ul style="list-style-type: none"> التعرف على الذاتي / اللاذاتي اثناء عدم التوافق الذاتي 	<ul style="list-style-type: none"> أمشاج ذكرية و انثوية من نفس النبات 	تداخل مصالح
(karban et al.,2006)	<ul style="list-style-type: none"> Alarm calls ، اشارات طيارة تحفز الدفاع ضد آكلات العشب 	<ul style="list-style-type: none"> قريب 	

III. المعلومة Information :

يعرفها (2000) Gergory على أنها أي فرق يمكن أن يحدث فرق في حدث لاحق . حيث تأتي المعلومات بشكل أجوبة لأسئلة ثنائية مثل ذاتي أو لا ذاتي ، ذكر أو أنثى . و يمكن التعبير عن المعلومات المستمرة بسلسلة من الخيارات الثنائية . هذا يعني أن كمية المعلومات يمكن قياسها بالبتات (bits) . (Fantišek & Velemir, 2010)

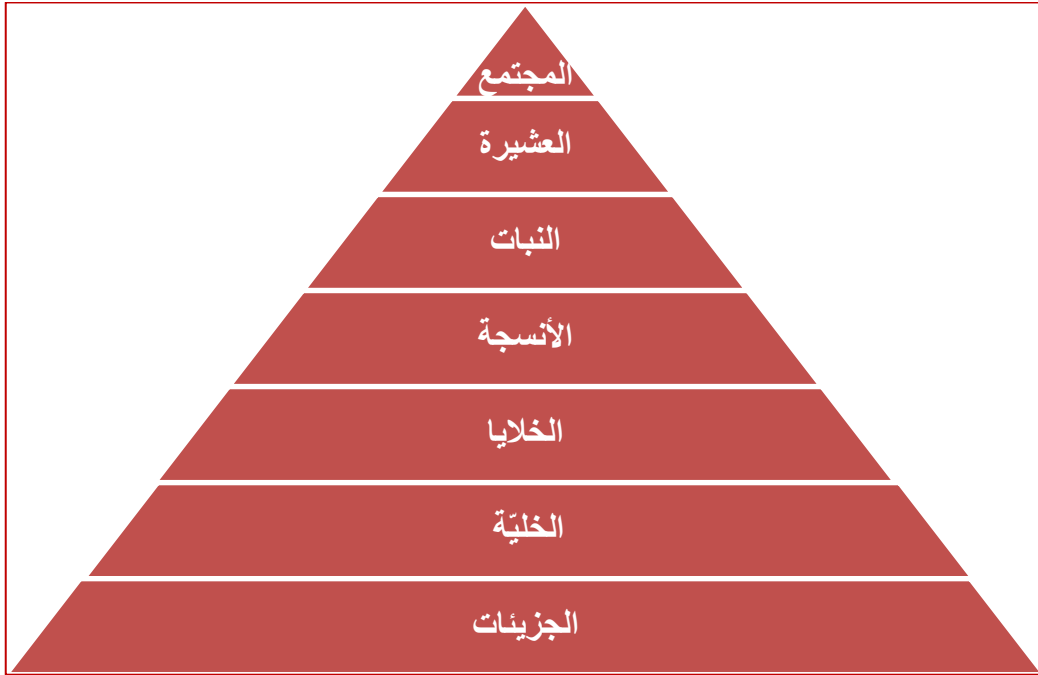
IV. عمليات التواصل و نقل المعلومات :

تطور ونمو النبات يعتمد على نجاح عمليات التواصل المعقدة . عمليات التواصل هي ليست مجرد تبادل للمعلومات فهي في المقام الأول اشارة وسيطة للتفاعلات المختلفة ، فهي تتضمن تنسيق نشط و تنظيم نشط يتم نقله بواسطة الإشارات . حيث يوجد العديد من المواد الكيميائية و الفيزيائية ذات تأثيرات وهي بمثابة إشارات.

نجد أنّ مختلف التأثيرات الحيوية و اللاحيوية تتطلب سلوكيات مختلفة ، فاعتمادًا على السلوك فإنّ المجموعة الأساسية من الإشارات المشتركة للأنواع و العائلات و الأجناس و الممالك العضوية يتم انتاجها و تجميعها و نقلها بشكل مختلف . فهذا يسمح بعمليات تواصل مختلفة تماما يتم اجراؤها بنفس أنواع الجزيئات الكيميائية .

أيضاً فإنّ تواصل النبات هو تقريبا عمليات موازية على مستويات متعددة بين النباتات و الكائنات الدقيقة ، فطريات ، حشرات و حيوانات أخرى .بين نباتات مختلفة في النوع و نباتات متماثلة النوع وكذلك بين الخلايا و داخل الخلية للنبات . (Günther,2006)

حيث تتدفق المعلومات عبر الشبكات البيولوجية التي تكون على نحو هرمي ، وهي تبدأ من الجزيئات إلى الخلية إلى الخلايا إلى الأنسجة إلى النبات إلى العشيرة وصولاً إلى المجتمع . كل مستوى من هذه المستويات في التسلسل الهرمي يشكل شبكة في حد ذاته . ومع ذلك فإنّ هذه الشبكات تختلف و بشكل ملحوظ في قوة الاتصالات التي تربطها ببعضها البعض . ممّا يعكس ذلك الدقة التي يتمّ من خلالها فهم المعلومات و تفسيرها بين مكونات الشبكة و الضجة المتزايدة لقنوات اتصال المعلومات . نجد أنّ الروابط تكون أقوى داخل الخلايا النباتية ثمّ تضعف تدريجياً مع ضعف قوة الإتصال . (Trewavas,2009)



الوثيقة (03): شبكة التواصل البيولوجية الهرمية من أقوى الروابط إلى أضعفها.

V. وسائل التواصل :

الإشارات :

الإشارات هي عبارة عن كمية من المعلومات البيولوجية التي تنشأ في مكان و تنتقل إلى مكان آخر ، في كثير من الأحيان تكون عبارة عن رد لتحفيز خارجي (بيئي) . بعد أن يتم نقل الإشارة فإنّها تعمل كمحفزات داخلية لاستثارة المزيد من الردود و الاستجابات . ومنه فإنّ الإشارات و المحفزات

هي عبارة عن وحدات أساسية للتواصل البيولوجي (Davies, 2004). كما تختلف الإشارات في نوعها وسرعتها والقدرة المعلوماتية لها ومكانها أي مكان تصنيعها ونقلها ونشاطها. (Vian et al., 2015)

تنقل الإشارات الداخلية المعلومات التي تؤدي إلى مرونة بسرعات مختلفة، وتتحرك بشكل أساسي عبر نظام الأوعية. وهي تشمل RNA والعديد من RNAs ومئات من البروتينات والبيبتيدات وحوالي 10 هرمونات (قد يكون هنالك المزيد) وإشارات هيدروليكية ومعدنية. (Trewavas, 2017)

تؤثر الإجهادات البيئية على نمو النباتات أما البعض الآخر من الإجهادات فإنه يلحق بعض الخراب للنبات. الإجهادات الإحيائية بما فيها الجفاف، ارتفاع وانخفاض درجة الحرارة، شدة الضوء، الملوحة العالية ومستويات منخفضة للمغذيات في التربة. تستجيب النباتات وتكيف لمثل هذه الإجهادات البيئية بواسطة استجابات قصيرة المدى لمنع بعض التلف وتكيفات طويلة المدى لاكتساب تحمل للإجهاد على مستوى كل النبات. بعض الإشارات مثل تذبذب الكالسيوم وإنتاج الهرمونات النباتية تعمل كوسائط للإشارات طويلة المدى للحفاظ على التكيفات الإجهادية. (Takahashi & Shinozaki, 2019)

العديد من الإشارات تعمل على تغيير النمط الظاهري للنبات، فالكثير من الإشارات الإحيائية يتم الإحساس بها بواسطة النبات على سبيل المثال: الرطوبة، الضوء، المعادن، الجاذبية، الرياح، ذوبان الثلج، بنية وتركيب التربة... الخ و يبلغ العدد الإجمالي حوالي 20 إشارة، وهي تبدأ بتغيير النمط الظاهري. علاوة على ذلك فإن هذه الإشارات يتم الإحساس بها وتمييز كثافتها واتجاهها و طول التعرض لها بدقة. (Turkington & Aarsen, 1984; Trewavas, 2000)

هنالك 10 إشارات لإحيائية و هنالك على الأقل 6 إشارات إحيائية التي يمكن للنبات أن يستشعرها طبيعياً. فإذا كان النبات قادر على أن يميز 5 إشارات مختلفة من كل صنف و الإشارات المستقلة إداً فعدد البيئات المختلفة التي يستطيع النبات المعتدل أن ينمو فيها هو 10 بيئات. (Trewavas, 2005a)

نجد أن العديد من الإشارات الإحيائية يتم الإحساس بها حيث تقوم بتغيير النمط الظاهري للنبات، وهذا يتضمن وجود و غياب تحديد الجيران (Tremmel & Bazzaz, 1995)، التعاون، التبادل، الإزعاج، الدوس على النبات، آكلات العشب، التطفل و المساحة المتاحة للنبات. منذ أن النمط الظاهري للنبات يختلف مع كل جار جديد فالمكانة البيئية تكون في تغير مع استمرار النمو. (Trewavas, 2005b)

تنتج الإشارات الحيويّة الأخرى من التنافس على موارد التربة أي من التفاعلات البكتيريّة الفطريّة والتعاونيّة ، و المواد الكيميائيّة الأليلوبائيّة و المرض و التكافل (Kelly et al.,2008) . بعض هذه الإشارات مثل المرض و التعاون البكتيري مفهومه نسبياً و البعض الآخر أقل تمييزاً . (Trewavas,) (2009)

كما أوضحت دراسات أخيرة إلى أنّ مختلف الجزيئات المتحركة كالبروتينات الصغيرة ، البيبتيدات ، RNA's ، المستقبلات و الرسل الثانويّة ، تنقل المحفزات الخارج خلويّة من أنسجة الاستشعار إلى الأعضاء المستهدفة ، كما أنّ مختلف جزيئات الإشارة مثل الهرمونات النباتيّة و الكالسيوم تلعب دور مهم في عمليات عديدة تحت ظروف الإجهاد البيئي . هذه الملاحظات تشير إلى أنّ النّبات يملك آلية تطور فريدة لربط مختلف الأعضاء للتحسين من نموهم و مقاومتهم للإجهاد. (Takahashi & Shinozaki ,2019)

الجدول (04) : التنوع في الإشارات الجزيئية في النبات. (Vian et al.,2015)

الإشارات	نوع الإشارة
<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ • NO • ROS , H₂O₂ • Ca₂₊ • H⁺ 	جزيئات غير عضويّة / أيونات
<ul style="list-style-type: none"> • ABA • IAA • CK • GA • Ethylene • Methyl jasmonate • Phosphoinositides , • diacylglycerol , lipids • Phenolic compounds • ATP 	جزيئات عضويّة صغيرة

Salicylic acid , methyl salicylate •	
Sugars •	
Volatile organic comoundes •	
Oligosaccharides •	جزيئات عضوية كبيرة
RNA / miRNA •	
Polypeptides •	

1. الإشارات الكيميائية و الإشارات الكهربائية :

منذ أكثر من 200 سنة أظهر Galvani (1791) على أن الحيوانات تمتلك نشاط كهربائي في حين أن منذ 130 سنة كلاً من Burden-Sanderson (1873) و Charles Darwin (1875) برهنوا على وجود الإشارات الكهربائية في النباتات الأكلة للحشرات ، بعد ذلك بقليل عمل Darwin بشكل أساسي على تقديم الأدلة لوجود الإشارات الكيميائية في النباتات . بعد ذلك و لسبب ما تم التغاضي عن النشاط الكهربائي في النباتات و التركيز على الإشارات الكيميائية . ثم أنشئ اعتقاد على أن الحيوانات تمتلك اشارات كهربائية و النباتات تمتلك اشارات كيميائية . في بداية القرن 19 العديد من الأدلة المتراكمة تدل على وجود اشارات كيميائية في الحيوانات ، في حين أن النباتات تمتلك فقط اشارات كيميائية . اعتماداً على أبحاث لـ Bose (1924) ومؤخر الـ Barbara Pickard (1973) أدلة قوية عُرِضت تؤكد وجود الإشارات الكهربائية في مجال واسع من النباتات ليس فقط آكلات الحشرات أو النباتات المتحركة . (Davies,2004)

1.1 الإشارات الكيميائية :

التواصل الكيميائي داخل و بين النباتات معقد جدا ، تم التعرف على أكثر من 20 مجموعة مختلفة من الجزيئات تحتوي وظيفة التواصل . أكثر من 100.000 مادة مختلفة معروفة كمواد استقلاب ثانوية . (Günther, 2006)

1.1.1 مركبات طيارة VOC's :

تطلق النباتات المركبات العضوية الطيارة VOCs في البيئات الملائمة من الأعضاء مثل الأوراق ، الأزهار و الجذور . حيث أن هناك أكثر من 1700 مركب طيار تم التعرف عليه تخدم

مختلف الأدوار البيئية . المركبات الطيارة المنبعثة في الجو تساعد على تكاثر النبات بواسطة جذب الملقحات . (Fantišek & Velemir, 2010)

عدد VOCs المطلقة و المستقبلية من تواصل النباتات هائلة . حيث تتطلب آليات معقدة لإطلاق هذه الإشارات وجهاز فك تشفير يشبه الخلايا العصبية ، من أجل التفسير الصحيح للإشارات المستقبلية . حيث يعمل النبات على تحديث المعلومات المتنوعة حول محيطه و دمجها مع المعلومات الداخلية له و اتخاذ قرارات تكيفية توافقها في بيئتها . (Adamatzky et al., 2018)

تطلق النباتات VOCs وهي عبارة عن اشارات كيميائية تتوسط التفاعلات فوق سطح الأرض (الجو) و تحت سطح الأرض (التربة) بين النباتات المجاورة . حيث يمكن للجذور و الأوراق اكتشاف الإشارات الكيميائية الصادرة من جيرانها . يمكن لهذه المركبات أن تكون سامة لمسببات الأمراض وقادرة على صد الحشرات الأكلة للعشب ، كما يمكن لأن تعمل هذه المركبات في الدفاعات المباشرة ضد الآفات ، كما أنها أيضاً قادرة على جذب الكائنات الحية مثل الطفيليات أو الديدان الخيطية الممرضة للحشرات فوق الأرض و تحته وهي عملية جذب الأعداء الطبيعيين لأكلة العشب المهاجمة للنبات . (Delory et al.,2016)

المواد المتطاير الورقية الخضراء GLV هي من VOCs التي تطلق عبر الأوراق في الجو، وهي عبارة عن محفزات للعمليات المتعلقة بالدفاع في الأنواع النباتية المختلفة ، حيث تتوسط الدفاع المباشر ضد الآفات الحشرية كما تعمل أيضاً على تحفيز حمض الجاسمونيك . (Juergen et al.,2004)

2.1.1 الهرمونات (الهرمونات النباتية المختلفة)

تستشعر و تستجيب النباتات لكمية صغيرة من الهرمونات التي تعمل كإشارات داخلية و خارجية للتحكم في عمليات متنوعة ، الهرمونات فعالة في تركيزات ضئيلة . عكس الحيوانات فإن النباتات لا تمتلك عدد خاصة لإنتاج الهرمونات ، وبدلاً من ذلك فإن الهرمونات النباتية يمكن أن يتم إنتاجها بواسطة خلايا مختلفة . الهرمونات النباتية قادرة على التأثير على استجابات مختلفة اعتماداً على تركيزها . ومع ذلك ومن أجل أن تكون الهرمونات النباتية فعالة يجب أن تستهدف خلايا معينة لتحديث رودود معينة . (Karban,2015)

أقوى العوامل في التنظيم بين الخلايا هي الهرمونات النباتية. حيث تعمل هذه المركبات منخفضة الوزن الجزيئي كإشارات نظامية يمكنها نقل المعلومات عبر مسافات كبيرة. يتم تفسير هذه المعلومات على المستوى الخلوي ، وتستجيب أنواع مختلفة من الخلايا بشكل مختلف لنفس الهرمونات. تواجه الخلايا إشارات من هرمونات مختلفة في نفس الوقت وتعمل على ترجمة هذه المعلومات التراكمية إلى استجابات متماسكة. نظراً للوظائف الواسعة والمتنوعة للهرمونات .
(Wolfgang & philip,2010)

الجدول (05) : تنوع الهرمونات و أهم أدوارها كإشارة.

المرجع	الدور كإشارة	الهرمون
<ul style="list-style-type: none"> • (حشمت ، 2008) • (مجموعة باحثين ، 2021) 	<ul style="list-style-type: none"> • الانقسام الخلوي . • استطالة و اتساع الخلايا . • الانتحاء الضوئي . • السيادة القمية. • عملية parthenocarpy (الثمار اللاذرية). • تكوين الجذور . 	الأكسين
<ul style="list-style-type: none"> (كتاب منظمات النمو و الإزهار ، طه صقر) 	<ul style="list-style-type: none"> • استطالة ونمو النبات . • تحلل الغذاء المخزن في طبقة الأليرون . • كسر طور السكون . • التأثير على الإزهار و الإثمار . 	الجبريلين
<ul style="list-style-type: none"> (وصفي ، 2008) 	<ul style="list-style-type: none"> • تكوين الأعضاء النباتية morphogenesis . • استطالة الخلايا . • عملية parthenocarpy (الثمار اللاذرية). 	السيتوكينين

(Chen et al.,2020)	<ul style="list-style-type: none"> • ينظم نمو وتطور النبات و استجابته للإجهاد. • التحكم في غلق الثغور . • شيخوخة الأوراق . • تثبيط النمو . • إنبات البذور . 	<p>حامض الأبسيسيك</p>
(وصفي ، 2008)	<ul style="list-style-type: none"> • الشحوب الضوئي Etiolation . • نضج الثمار . • سقوط الأوراق . 	<p>غاز الإيثيلين</p>
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Nature</i> 498, 141 (2013) 	<ul style="list-style-type: none"> • درء الحشرات ومسببات الأمراض . • الخصوبة ونضج الثمار . • نضج حبوب الطلع . • التركيب الضوئي . • نمو الجذور. 	<p>حمض جاسمونيك</p>
<ul style="list-style-type: none"> • (Kumar & Klessig , 2003) • (Shulaev et al.,1997) • (Balmer & Mauch-mai ,2012) 	<ul style="list-style-type: none"> • الإستجابة الدفاعية ضد مسببات الأمراض • يحفز الإستجابة في النباتات المجاورة تواصل نبات-نبات . • إنبات البذور . • التنفس. • نمو الخلية . • غلق الثغور . • الإزهار . 	<p>حمض السلسليك</p>
<ul style="list-style-type: none"> • (Balmer & Mauch-mai ,2012) 	<ul style="list-style-type: none"> • تنظيم دفاعات النبات . 	<p>السيتامين Systemin</p>

• (Balmer & Mauch-mai, 2012)	• إنبات البذور . • انقسام الخلية . • الإزهار . • يلعب دور غير مباشر في الإستجابات المناعية	Brassinosteroides
------------------------------	---	--------------------------

3.1.1 البيبتيدات :

بالإضافة للهرمونات النباتية تشتمل المركبات الكيميائية على البيبتيدات أيضا مثل ال-Phytosulphokine وهي عوامل النمو و أيضا على الأحماض النووية الريبية RNAs . تلعب micro-RNAs دورا مهما في التواصل داخل الخلايا وفي تنظيم عمليات النمو ، مثل الترجمة و الإستنساخ ، قطبية الأعضاء ، نمو وتطور الأوعية الناقلة و الإستجابة الهرمونية . (Günther, 2006)

4.1.1 مركبات الإستقلاب الثانوي :

مركبات الإستقلاب الثانوي هي عبارة عن مركبات كيميائية تعمل كجزيئات إشارة ، حيث يوجد أكثر من 100.000 نوع مادة مختلفة. (Günther, 2006)

تلعب المستقبلات الثانوية دورا مهما في التكيف في البيئة و التغلب على الظروف الإجهاد . كما لها دور مهم في الدفاع ضد العواشب و الآفات ومسببات الأمراض . (Ramakrishna & Gokare, 2001)

المستقبلات الثانوية تكسب النباتات مميزات مثل الروائح ، الطعم و الألوان . كما تعمل على تنشيط الدفاع . فبالإضافة إلى الأدوار السابقة فهي تعمل على حماية النباتات ضد UV ، وتتضمن التداخلات أليوباثية مع النباتات ، و أدوار أخرى عديدة. (Bennete & Wallsgrove, 1994)

تنتج الجذور 100.00 مركب مختلف وهي عبارة عن مستقبلات ثانوية إلى حد كبير ، والعديد من هذه المركبات لها خصائص سامة للخلايا وذلك لمنع انتشار الميكروبات و الحشرات و النباتات الأخرى . (Günther, 2006)

5.1.1 أيونات الكالسيوم :

عملت الدراسات خلال السنوات الأخيرة على تحديد دور الـ Ca^{+2} و المسارات المختلفة لإشارات Ca^{+2} في النباتات ، حيث يلعب Ca^{+2} دورًا أساسيًا في نمو النبات وتطوره ، فالعديد من الإشارات خارج الخلية والإشارات البيئية بما في ذلك عوامل الإجهاد اللاحيائية و الإحيائية ، تؤدي إلى حدوث سلسلة من التغيرات في مستويات الكالسيوم الخلوية ، حيث يتم التعرف على المستوى المتزايد بواسطة مستشعرات Ca^{+2} كالـ Calmodulin (CaMs) أو بروتينات مرتبطة بالكالسيوم، والتي يمكنها تفعيل العديد من كينازات البروتين المعتمدة على الكالسيوم ، تنظم هذه الكينازات وظيفة العديد من الجينات بما في ذلك الجينات المستجيبة للإجهاد . (Narendra & Shilpi, 2007)

يلعب الكالسيوم دور مهم في حياة النبات من خلال دخوله في كثير من العمليات الحيوية التي يقوم بها النبات ، حيث يدخل في تركيب الأغشية الخلوية مما يعطي الكالسيوم دورًا مهمًا في التحكم في دخول و خروج المواد من و إلى الخلية ، كما له دور في زيادة امتصاص النترات مما يؤدي إلى زيادة البروتين في النبات ، للكالسيوم دور مهم في انتقال الكربوهيدرات داخل النبات وهو العامل المحفز لعدد من الإنزيمات . (داوود و آخرون ، 399)

تؤدي التغيرات في تركيز الكالسيوم إلى تعديل العديد من العمليات الفسيولوجية في النباتات ، فالـ Ca^{+2} يلعب دورًا حيويًا . (Narendra & Shilpi, 2007)

6.1.1 الأنواع الأكسجينية التفاعلية ROS و أكسيد النيتروجين NO :

الأنواع الأكسجينية التفاعلية ROS و أكسيد النيتروجين NO تمّ تحديدهم كمكونات متعددة قابلة لإعادة الاستخدام للعمليات البيولوجية أخرى . للـ ROS و NO وظائف تنظيمية كإشارات في العديد من العمليات مثل الإنبات والنمو و التكاث و مقاومة الأمراض . (Susuki et al., 2011)

تلعب ROS دورًا رئيسيًا في نقل الإشارات في الخلايا ، فهي تدخل في تنظيم العمليات الفسيولوجية كالنمو و التطور و الإستجابة للمحفزات الإحيائية و/أو اللاحيائية ، حيث يتم التحكم في مستوى الأنواع الأكسجينية التفاعلية في الخلايا بواسطة شبكة من جينات الـ ROS . الأبحاث المبكرة ركزت على سمية الـ ROS ، أما الأبحاث الحديثة فهي تركز على أهميتها كإشارات . (Günther, W 2006)

تلعب الجزيئات المتفاعلة كيميائيًا، التي تحتوي على الأكسجين، دورًا جوهريًا في أداء الخلايا لوظائفها. وتنتج خلايا النباتات أنواع أكسجين تفاعلية مختلفة . من بينها بيروكسيد الهيدروجين

(H₂O₂)، الذي يؤدي دورًا رئيسًا في التأشير الخلوي، ويجري إنتاجه في فراغ خارج الخلية، يقع بين غشاء البلازما، والجدار الخلوي، يُطلق عليه اسم «الممر الخلوي الغشائي» *apoplast*، استجابةً لمجموعة من العوامل، من بينها المُجهدات، والهرمونات النباتية، مثل حمض الأبسيسيك، والتغيرات الفيزيائية أو الكيميائية التي تحدث خارج الخلية. وعلى الرغم من أننا لا نعرف إلا أقل القليل عن الهدف الأولي لبيروكسيد الهيدروجين خارج الخلوي، فإن النتائج المترتبة على إنتاجه أكثر وضوحًا بكثير. فمن الواضح أن بيروكسيد الهيدروجين خارج الخلوي يحفز تدفق أيونات الكالسيوم Ca²⁺ إلى داخل الخلية، مما يؤدي بعد ذلك إلى نقل الإشارات بطريقة منهجية بين الخلايا في صورة موجات، وهو ما يعمل على تنشيط عمليات معينة، مثل مقاومة العوامل المسببة للأمراض، أو التكيف مع الإجهاد في مختلف أجزاء النبات. وإضافة إلى ذلك، تعمل إشارات بيروكسيد الهيدروجين خارج الخلوي على تنظيم النمو المستقطب لأنابيب حبوب اللقاح، والشعيرات الجذرية، كما تتحكم في عملية فتح الثغور وغلقها. (Foyer, 2020)

يُعرف أكسيد النيتروجين NO بأدواره العديدة في الوظائف الفسيولوجية في النباتات، ومع ذلك فهو يلعب دور مهم في توسط الاستجابات الدفاعية ضد مسببات الأمراض، حيث تؤدي تسلسلات الإشارة التي تسببها مسببات الأمراض إلى زيادة مستويات أكسيد النيتروجين في النبات، هذه الزيادة تؤدي إلى تعديل البروتينات بشكل مباشر أو إلى تنشيط رسل ثانية تعمل على نقل الإشارة. ولكن كيفية تفاعل الرسل الثانية مع NO من أجل إحداث الاستجابة المناعية لا تزال حتى الآن غير واضحة. (Gaupels et al., 2011)

2.1 الإشارات الكهربائية :

عُرفت الإشارة الكهربائية في النباتات منذ أكثر من 100 سنة لكن العلماء مازالوا يبحثون عن وظيفتها. لكن الدلائل موجودة عن دورها في العمليات العديدة بما فيها الإستتساخ و الترجمة والتنفس. (Davies, 2004).

تتعاقب الإشارات الكهربائية في الجهاز العصبي للثدييات بسرعات تصل إلى 100 متر في الثانية، لكن النباتات تعيش بايقاع أبطأ. ورغم افتقادها الجهاز العصبي، فبعض النباتات كالميموزا، وزهرة مصيدة الذباب تستخدم إشارات كهربائية لإطلاق حركات ورقية سريعة. يحدث انتشار الإشارات الكهربائية في هذه النباتات بسرعة 3 سنتيمترات في الثانية، وهي توازي السرعة الملحوظة بالجهاز العصبي لبلح البحر.

كما وُجد أيضا أنّ الحيوان آكل العُشب، والجرح الميكانيكي يولد إشارات كهربائية في النباتات بواسطة بروتينين من أشباه مستقبلات الجلوتاميت - تحفّز استجابات دفاعية بمواقع قريبة من موضع الإصابة وبعيدة عنه. (Christmann & Grill, 2013)

ولكن لماذا تمتلك النباتات إشارات كهربائية؟ وليس هذا فقط، فماذا يمكن أن تكون وظائف النبات التي تتحكم فيها الإشارات الكهربائية؟ السؤال الآخر الذي يمكن أن يطرح، ماهي المميزات التي تمتلكها الإشارات الكهربائية ولا تمتلكها الإشارات الكيميائية؟ .

أولاً : السرعة : لماذا تكون السرعة مهمّة؟ في تلك اللحظة عندما يجب على النبات أن يحدث استجابة حركية كما التي عند اصطياذ أو التقاط الحشرات تكون السرعة مهمّة جداً و ضرورية أو سيكون الجزء هروب الحشرة . أيضاً عندما تهجم حشرات على النبات (خاصةً عندما تكون حاملة للفيروسات) ، يحتاج النبات للنظام دفاعي سريع قدر الإمكان لمحاولة منع انتشار المرض أو آكل العشب .

ثانياً : الوجود في كل مكان : وهي مهمّة بقدر ما يحتاج كل النبات للدفاع ضد التهديدات المعادية ، يمكن أن تكون نقطة صغيرة في بعض المناطق سريعة التأثير أثناء الدفاع عن الآخرين ، هذا يكمن في الأساس في النظام الطبيعي للإشارات الكهربائية إلى جانب الإستجابات المحلية لهم .

ثالثاً : المعلومة : هنالك فرق كبير بين الإشارة الكهربائية في النظام العصبي للحيوانات و الإشارة الكهربائية للنباتات . في النظام العصبي للحيوانات أنّ جهد العمل AP الإشارات الكهربائية تقوم بإرسال المعلومة من مكان محدد إلى مكان آخر محدد بدون التأثير في الأنسجة المتداخلة ، أمّا في النباتات كلاً من AP و (Variation potential) VP صمما لإبلاغ أكبر قدر ممكن من النبات في أسرع وقت ممكن حيث يتم إبلاغ كل الأنسجة المتداخلة .

أخيراً : سرعة الزوال : بعد أن تبلغ الورقة المتضررة باقيّة النبات ، المناطق المتلقية تتعامل مع الوضع الطارئ ، ثمّ تعود إلى عملها العادي ، كذلك الزوال مهم إذ الإشارة هي مجرد تحذير للمناطق البعيدة على خطر وشيك ، بعد أن يتمّ تلقي التحذير ، تستعيد الأنسجة البعيدة (المحذرة) توازنها . (Davies,2004)

1.2.1 نواقل عصبية : غلوتامات ، أكسين:

الغلوتامات Glu هو بروتين وناقل عصبي معروف في جسم الإنسان . لكن لايعرف كثيراً عن أدواره في النباتات . تشير الدراسات الحديثة إلى أنّ الـ Glu يلعب أدواراً مهمة في إنبات البذور،

هندسة الجذور ، إنبات حبوب الطلع ، نمو الأنبوب الطلعي ، الشيوخة ، الاستجابة للجروح ، مقاومة العوامل المرضية و التكيف مع الإجهادات البيئية . (Ramlakrishna & Atanu, 2020)

كجزء إشارة يشتهر الـ Glu بدوره كناقل عصبي يثير الجهاز العصبي للثدييات ، وهو دور يتطلب نشاط المستقبلات الغلوماتية المؤينة iGluRs . أدى الاكتشاف سنة 1998 في نبات الـ Arabidopsis أنه يمتلك جينات شبيهة بالمستقبلات الغلوماتية المؤينة إلى تقييم الدور المحتمل للـ Glu كجزء إشارة في النباتات . ترتبط iGluRs بالمستقبلات الغلوماتية عند النباتات GLR ارتباطاً وثيقاً من ناحية التشابه في خصائص القنوات و لكن يختلفان في قدرة عمل GLR كقنوات Ca^{2+} ذات بوابات أحماض أمينية . (Brain, 2014)

تعمل الـ Glu في النباتات كإشارات جرح حيث تعمل الـ GLR كمستشعرات تقوم بتحويل هذه الإشارة إلى زيادة في تركيز أيون الكالسيوم داخل الخلايا الذي ينتشر من خلال الأوعية الناقلة للحاء عبر البلازمودسماتنا إلى الأهداء البعيدة حيث يتم تحفيز الاستجابات الدفاعية بعد ذلك . تعتبر إشارات طويلة المدى القائمة على الـ Glu سريعة ، في غضون دقائق يمكن أن تستجيب الورقة التالفة لمصير الورقة البعيدة . (Toyota et al., 2018)

توجد بنى نباتية تتصرف مثل نقاط الإشتباك العصبي أو المشابك Synapses ، إلى جانب جزيئات تتصرف مثل الناقلات العصبية النشطة في المنطقة المشبكية . وذلك عن طريق الحويصلات بالقرب من المشبك ، حيث يلعب الأكسجين دور ناقل عصبي . أيضا ناقلات هرمون الأكسجين تتصرف مثل المستقبلات فهي تساعد على حركة الأكسجين عبر الغشاء الخلوي . بعض العلماء يؤيدون على دور الأكسجين كناقل عصبي فقد أظهر أنّ الأكسجين يتم نقله عبر الحويصلة ، وهي عملية تنطوي على حويصلات خلوية (فقاعات مغلقة بالدهون) تحتوي على خصائص تشبه الناقلات العصبية الحيوانية . (النعمي ، 2021)

جدول (06) : الفرق بين الإشارات الكيميائية و الإشارات الكهربائية

المرجع	الإشارات الكهربائية	الإشارات الكيميائية
(Vian et al., 2015)	أقل تنوع	متنوعة
(Vian et al., 2015)	نواقل عصبية : جليتامات ، أكسين ، هيستامين	أيونات (Ca^{2+} , H^{+}) ، مركبات طيارة (ايتيلين ، ميثيل جاسمونات) ، جزيئات صغيرة

		(IAA , GA , NO) وكبيرة (RNA ، بروتينات)
(Van ,2015)	سريعة	بطيئة

VI. آلية الاستجابة وأنواع الإشارات :

1. آلية الاستجابة

معظم النباتات الراقية لديها احتياجات واضحة من ناحية الحصول على الطاقة الضوئية ، المعادن، الماء والتغيرات الظاهرية للوصول إلى المصادر الموزعة على نحو غير مستقر . بالإضافة إلى ذلك تحتاج إلى مقاومة كلا من المفترسات و الأمراض . الإستجابات السلوكية لكليهما مثبتة و آليات الإشارة هي أساسية لحل مشكلات النبات .



الوثيقة (04) : يوضح الآلية الحيوية للإستجابة للإشارة في النباتات الخضراء .

(Volkov & Ranatunga ,2006)

تنقل الخلايا و الأنسجة و الأعضاء النبضات الكيميوكهربائية عبر مسافات قصيرة و طويلة .
و إنّه من الممكن أنّ إمكانات العمل AP تتوسط التواصل الداخلى خلوي و البين خلوي في الاستجابة
للمهيجات البيئية . (Volkov & Ranatunga ,2006)

2. الإشارات قصيرة المدى و الإشارات طويلة المدى :

الإشارات قصيرة المدى في النبات تكون سريعة نسبياً (نطاقها الزمني : ثواني أو دقائق) وهو
الأكثر شيوعاً . أمّا الإشارات طويلة المدى فهي مهمة أيضاً لكنها تحتاج وقت أكثر من الإشارات
قصيرة المدى . حيث يؤدي النبات ارسال إشارات طويلة المدى بطيئة نسبياً عبر العديد من الآليات
وهذا يمكن أن يتضمن آليات جزيئية ، كهربائية ، هيدروليكية و كيميائية. نطاق الزمن المعروف لهذه
الإشارات هو بالساعات أو الأيام . بعض النباتات تؤدي إشارات طويلة المدى سريعة عند لمسها مثل
نبات الميموزا أو عند صيد الحشرات مثل نبات مصيدة فينوس . الإشارات طويلة المدى السريعة
تحتاج إلى نظام من الإرسال و التلقي للإشارات الكهربائية ووجود نظام الإرسال العصبي و جزيئات
عصبية خاصة في النباتات . (Strik et al.,2007)

VII. مسارات الإشارة :

جدول (07) : يظهر أهم مسافات / مسارات الإشارة في النباتات . (Vian et al.,2015)

النقل	مثال
داخل الخلية	الكالسيوم
انتشار ، افراز ، تدفق حشوي	<ul style="list-style-type: none"> • Diacylglycerol • بروتونات • كينازات • موجات H2O2
بين الخلايا	IP3
Symplasm و/أو Apoplasm	<ul style="list-style-type: none"> • الأكسين ، حامض الأبسيسيك • الجذور الحرّة • Oligosaccharides • ببتيديات
بين الأعضاء	جزيئات في الخشب

<ul style="list-style-type: none"> • جزيئات في اللحاء • إشارات هيدروليكية • إشارات كهربائية 	اللحاء و/أو الخشب
مركبات فينولية	بين النباتات
<ul style="list-style-type: none"> • جاسمونات و ميثيل جاسمونات • اثيلين • Mycorrhiza 	الانتقال عبر الجو ، الفطريات
DNA methylation	بين الأجيال
<ul style="list-style-type: none"> • التعديل في الهستونات • اسكات (إخماد) الجينات 	تغير جيني

VIII. طرق نقل الإشارات :

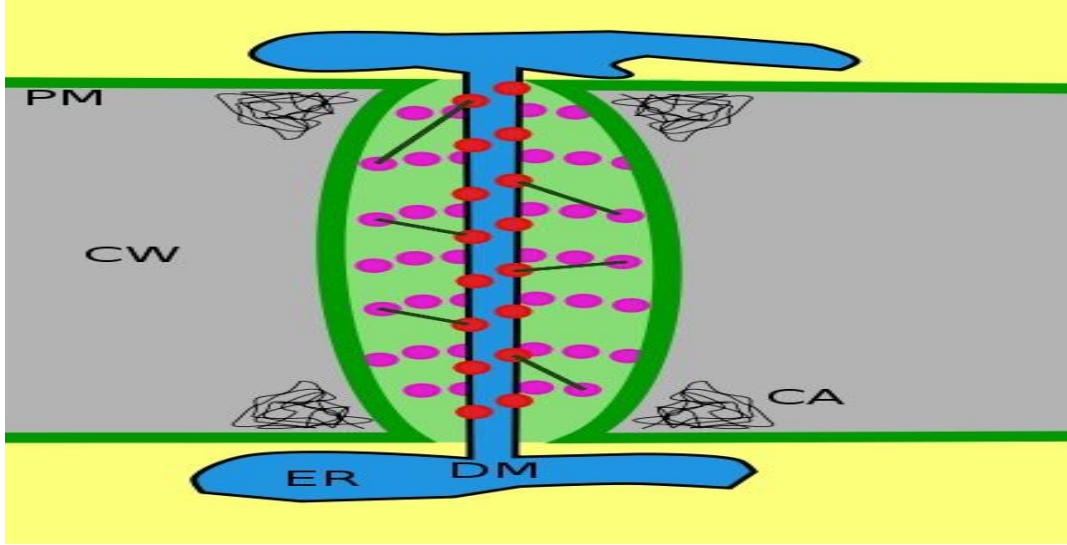
تقوم النباتات بنقل المعلومات إلى المناطق القريبة بتمرير المعلومة من خلية إلى أخرى عبر فتحات صغيرة موجودة في جدران الخلايا و تسمى بالوصلات البلازمية . أما بالنسبة للمناطق البعيدة (على سبيل المثال من الجذور إلى الأوراق) فتقوم باستخدام نظام يشبه نظام الأوعية الدموية وهو نظام هيدروليكي متمثل في النسيج الوعائي الخشبي و نسيج اللحاء . (مانكوزو و فيولا ، 2019)

1. عبر الوصلات البلازمية :

في النباتات يفصل الجدار الخلوي كل خلية عن الخلايا الأخرى ، و المفاصل بين الخلية و أخرى تحدث فقط عند الثقوب ، أو الفجوات في الجدران الخلوية ، حيث تلتقي الأغشية البلازمية للخلايا المتجاورة مع بعضها ، تدعى الوصلات السيتوبلازمية التي تتشكل عبر الأغشية البلازمية المتلامسة ، بلازمودسماتا Plasmodesmata و المفرد بلازمودسما ، ترتبط غالبية الخلايا الحية في النباتات الأرقى مع الخلايا المجاورة عن طريق هذه المفاصل . (ريفن و آخرون 2014)

تظهر الـ PD بالمجهر الإلكتروني محاطة تمامًا أي مغلقة بالأغشية البلازمية للخلايا المحيطة ، يوجد في داخل قناة الـ PD أنيبيبة صغيرة تسمى الديسموتيل DM ، تتكون هذه الـ DM من الشبكة

الأندوبلازمية للخلايا المجاورة حيث يوجد في مركز الـ DM أنيبب مركزي . يتضح من ذلك أنّ الشبكة الأندوبلازمية للخلايا متصلة ببعضها البعض وأيضًا الأغشية البلازمية . (وصفي، 2008)



الوثيقة (05): الديسموتيل على مستوى الخلية. (Maule, 2008)

DM ديسموتيل ، CA كالوس ، ER الشبكة الأندوبلازمية ، PM الغشاء البلازمي ، CW جدار الخلية

تعد الوصلات البلازمية أنفاق تنظم مرور الجزيئات الصغيرة والكبيرة من أجل أن تنشئ تدرجات فيزيائية physiological gradients ، في الأنسجة الضرورية للعمليات الأساسية لنمو و تطور و الدفاع عند النبات . (3) جدار الخلية المحيط بـ PM يعمل على الكبح الفيزيائي على القناة من خلال ترسيب الجلوكونات خاصة الكالوس ، وهي تترسب على مناطق الأعناق . (Maule et al., 2011)

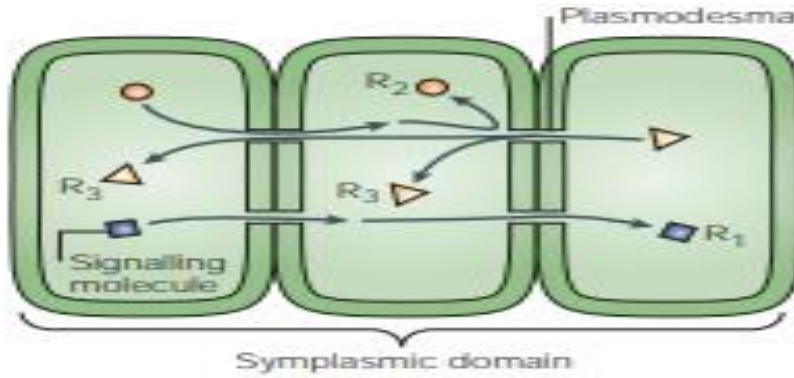
تعرف الوصلات البلازمية PD بثلاث مكونات بنائية أساسية :

- PM : أنبوب غشائي ينشئه الغشاء البلازمي .
- DT (desmotubule) : تربط بين الخلايا المجاورة و قصب غشائي مركزي . (تربط الشبكة الأندوبلازمية لخليتين متجاورتين ، وهو بشكل أنيبب)
- ER : الشبكة الأندوبلازمية . (Maule et al., 2011)

تنشئ PD مسار فعال للإشارات المحلية و البعيدة المدى Long-distance . في النباتات الراقية هذا المسار يتضمن نقل البروتينات و مختلف أشكال الحمض الريبي النووي RNA التي تعمل بشكل مستقل عن الخلايا non-cell-autonomously لتفعل آليات النمو . و هي وسيط لطرق

تواصل خلية لـ خلية cell-to-cell communication في المملكة النباتية وهب عبارة عن إشارات تتضمن حركة مباشرة من معلومات جزيئية إلى سيتوبلازم الخلايا المجاورة بدون دخول الوسط الخارج خلوي ، هذا المسار يشمل gap junctions عند الحيوان و البلازمودسماتا PD عند النباتات و الطحالب .

مسار PD يمتلك الخاصية الإختيارية والانتقائية لمرور الإشارة يعني أنه ليس كل مكونات الإشارة تنتقل إلى كل نوع من أنواع الخلايا . (Lucas & Lee , 2004)



الوثيقة (06) : Symplasmic domains . (Lucas & Lee , 2004)

تنشئ PD مجالات تراطيت سيتوبلازمية خاصة تعرف بـ symplasmic domains . حيث يمرور البروتينات و الـ RNA من الـ nucleoplasm إلى cytoplasm خلايا بعيدة تقع ضمن نفس symplasmic domain .

تعمل الـ PD على نقل البروتينات عبر مجموعة من البروتينات التي لديها القدرة على نقل البروتينات الكبيرة تدعي بـ (NCAPs) non-cell-autonomous proteins تتحرك عبر مسار NCAP pathway . وهي بروتينات نباتية تتحرك بين الخلايا ، تشمل أمثلة الروابط الصغيرة التي تنتشر من خلال الوسط الخارج خلوي و ترتبط بالمستقبلات الموجودة على الغشاء البلازمي ، و عوامل الاستنساخ التي تدخل أنوية الخلايا المجاورة لتتشارك في تحديد مصير الخلية cell-fate . NCAP pathway هو الطريق الذي تتحرك على طول NCAPs بين الخلايا . تحتوي مكونات هذا المسار على : عناصر بنائية داخل الستوبلازم (مثل : سيتوسكلتون cytoskeleton) ، ناقلات / مرافقات ، بروتينات الالتحام البلازمودسماتية ، مكونات بنائية للـ PD و بروتينات التنظيم (مثل : بروتين الكيناز) . (Lucas & Lee , 2004)

2. عبر أوعية اللحاء و الخشب :

لا تمتلك النباتات جهاز عصبي مثل الحيوانات و لذلك و بواسطة ربط البراعم والجذور فإنه يعتقد أنّ الأوعيّة مهمّة لدمج المعلومات البيئية من تحت الأرض إلى الأجزاء الهوائية للنبات . علاوة على ذلك فإنّ بعض الجزيئات المتحركة تعمل من خلال الأوعيّة النباتيّة لدمج الاستجابات البيئية . (Fuminori & Kazuo,2019)

تحتوي النباتات نظامي نقل للمسافات البعيدة الخشب لنقل الماء و المواد المغذية و اللحاء . يحتوي اللحاء على جزيئات صغيرة ، بيبتيدات ، بروتينات ، أحماض نووية ولييدات . علاوة على ذلك النقل في اللحاء من المحتمل أن يكون عبارة عن عملية منظمة تعتمد على التداخل بين بعض البروتينات أو RNA و بروتينات . تحدث الحركة في اللحاء في عناصر الخشب التي تطورت من أجل أن تحسن التدفق الطولي . (Lucas & Lee , 2004)

3. عبر الجو أو في التربة :

يتم نقل VOCs بسرعة في الجو ، وغالبًا ما تكون المسافة التي يمكن أن تحدث فيها التفاعلات بواسطة VOCs ، مما يجعل الأوراق الأقرب من المرسل أكثر احتماليًا لتلقي VOCs من الأوراق الأخرى ، ومن المحتمل أن تنتمي هذه الأوراق إلى النبات المرسل نفسه . (Heil & Adame-Álvarez ,2010 ; Heil & Karban, 2010)

تتحرك VOCs من موقع الهجوم أسرع من الإشارات طويلة المدى المنقولة عبر الأوعية الناقلة ، حيث تكون قادرة على تحفيز الدفاع في الأجزاء الغير تالفة من النبات . كما يمكنها أيضًا أن تعمل مع إشارات الأوعيّة الناقلة لتحفيز آليات الدفاع في أعضاء النبات البعيدة .

تطلق النباتات أيضًا VOCs في التربة ، حيث تتمكن جذور النباتات المجاورة من اكتشاف الإشارات الكيميائية المنبعثة من النبات المرسل . و يمكن لهذه المركبات أن تكون ذات تأثير سلبي على إنبات أو/و نمو النباتات المجاورة . (Bertin et al.,2003 ; Perry et al.,2007)

جذور النباتات قادرة على تخليق وإطلاق عدد كبير من المركبات العضوية في منطقة الجذور كمواد ذائبة أو مركبات متطايرة يمكن أن تنتشر على مسافات مختلفة من النبات المرسل ، اعتمادًا على خصائصها الفيزيائية والكيميائية والمعايير البيئية (نوع التربة ، محتوى الماء ، الميكروبات السكان ، وما إلى ذلك). فالمركبات العضوية المتطايرة الجذرية يمكن أن تعمل كإشارات تتوسط في التفاعلات الحيوية تحت الأرض بين النباتات والكائنات الحية . (Delory et al.,2016)

ثانياً : مستويات التواصل

I. تواصل داخل النبات :

إنَّ وراء بقاء النبات سلسلة من العمليات والبرمجيات الجينية التي تقف خلف هذا الإستمرار العظيم. فالنبات يعيش في وسطه البيئي متفاعلاً مع جميع ظروفه مدرِّكاً لما حوله من كائنات ، وعلى أساسها يستجيب، فهو يبقى رغم التَّنَافس والتَّظفُّل ورغم الإجهادات التي يمر بها ، بل يُمارس حياته لما يظهره من تكيفات وآليات فسيولوجية ، بيوكيميائية وتحورات مرفولوجية ، تحولات حيوية جد متنوعة وهذا ما يسمى بالتنوع الحيوي الموجود أساساً منذ الخلق ، خاصةً النباتات التي ميَّزها الله "سبحانه وتعالى" بأنماط جينية سريعة التكيف مع الأوساط البيئية التي تعيش فيها.(عسيلة،2019)

إنَّ تواجد النبات بهذا الشكل وهذه الكيفية يستدعي تنسيقاً كبيراً بداخله ، يُعنون هذا التنسيق الداخلي بالتواصل داخل النبات فغلقُ الثغور على المستوى الورقي بوجود حامض الابسيسيك (ABA) المصنع على مستوى الجذور ماهو الا مثال عن التواصل بين الاعضاء النباتية ، ناهيك عن أدق الإتصالات الجزئية الخلوية التي تختبئ خلف هذه الاتصالات العضوية .

II. التواصل داخل الخلية :

الخلية هي الوحدة البنائية الأساسية في النبات ، فنجاح النبات في ممارسة مختلف أنشطته ، وتخطيه لمراحل نمو جد حساسة مرتبط بنجاعة هذه الوحدة البنائية في ممارسة عملياتها الخلوية ، بدءاً من برمجة التعبير الجيني فيها إلى غيرها من الآليات إلى الزوال (ظاهرة الموت الخلوي) ، كل هذا وأكثر يحدث نتيجة التواصل داخل الخلية النباتية. ومن أهم العمليات التي تظهر التواصل داخل الخلية هي :

1. تنظيم النسخ :

إنَّ التَّعبير الجيني للجينوم النووي والبلاستيدي والميتوكوندري في النباتات يعمل بشكل متبادل و ينظم بشكل كبير . و هذا ما يضمن التوليف (نسخ وترجمة) الكافي للبروتينات التي تعمل في مجتمعات البروتين الشائعة للتعبير الجيني العضوي وأنشطة تحويل الطاقة في البلاستيدات الخضراء والميتوكوندريا. يشتمل مفهوم الاتصال داخل الخلايا على شبكة إشارات متقدم ورجعي بين النواة عضيتين ، حيث أن هذا التبادل التفاعلي للمعلومات يضمن نجاح العضوية في أداء مهامها بالشكل المطلوب.

إنّ تنظيم النسخ داخل الخلية سواءً بشكل معاكس (مثبط) أو تحفيزي يتطلب تنظيم الإشارة حيث أن :

الإشارات أنواع :

• إشارات تنموية وبيئية :

والمتمثلة في مجموعة الإشارات التي يتلقاها النبات نتيجةً لمرحلة النمو التي يمر بها (إشارات التزهير..الخ) وكذلك الإشارات الناتجة عن التأثيرات البيئية (ظروف نمو معاكسة كانخفاض مستوى الأكسجين أو قلة الإضاءة)

• إشارات مرجعية :

وهي المتمثلة في مجموعة الإشارات لمسارات مشتقة من البلاستيدات (مصدرها عمليات الأكسدة والاختزال المختلفة الناتجة عن نقل الإلكترونات الضوئي) استجابة للإشارات التنموية والبيئية .

• إشارات تقديمية :

نتيجة الإشارات (إشارات مرجعية) التي تتلقاها النواة من طرف الميتوكوندري والبلاستيدات تنتج هذه الإشارات التقديمية وهي عبارة عن معلومات واردة من النواة لتنظيم التعبير الجيني بما يتوافق مع مرحلة نمو النبات واستجابة لمختلف التأثيرات البيئية .

من دلائل الاتصال داخل الخلية هو الاستجابة لظروف النمو المعاكسة ونقص أنشطة الأيض (إشارات تنموية وبيئية يتم إنتاج الأنواع الأكسجينية التفاعلية من العضيات (إشارات مرجعية) لغرض التحكم في التعبير الجيني والإنزيمات الكاسحة (إشارات تقديمية) .

أيضا من الإشارات المرجعية (بيروكسيد الهيدروجين ، حامض الابسيسيك الأكسجين المفرد ABIA) وهي مسارات إشارة فردية مشتقة من البلاستيدات تعتمد على الحالة التنموية والتّمثيل الغذائي. كذلك دور بروتين kinase 4 المنشط بالميتوجين (MPk4) في التحكم في الاستجابة المناعية يعتمد على حمض ساليسيليك SA ، والنشاط العضوي للبلاستيدات الخضراء .

وباستخدام نهج phar-macological تم توضيح أنّ الإضطراب الجلوكوزياتي UDP-glucosyltransferase UGT74E2 لنبات *Arapidopsis thaliana* على وظيفة الميتوكوندريا ناتج عن الخلل الوظيفي للميتوكوندريا (إشارات مرجعية) والذي يؤثر على إشارات الأكسجين. (Grimm et al.,2014)

2. عملية تصنيع البروتين :

يُعد تصنيع البروتين من أبرز العمليات التي تُظهر التواصل بين العضيات داخل خلية بشكل جلي ففي النواة يحدث على مستواها عملية النسخ بحيث يتم الحصول على جزيئة RNAm إنطلاقاً من جزيئة DNA الذي بدوره ينتقل إلى السيتوبلازم عبر الثقب النووي. مرجع (02: Web site)

يحدث على مستوى الشبكة الأندوبلازمية المحببة عملية الترجمة بفضل تواجد الريبوزومات على سطحها وكذلك بداية نضج بعض البروتينات بالإضافة الأجزاء السكرية (غليكوبروتين) بحيث يتم استكمال نضج البروتين على مستوى جهاز غولجي .

يعمل جهاز غولجي على معالجة البروتينات الواردة إليه (تعديل كيميائي كإضافة كربوهيدرات "استكمال/نضج البروتين") ومن مهامه أيضا تجميع البروتينات في حويصلات غذائية ناقلة وإرسالها إلى الوجهة النهائية (web/site:03)

3. ظاهرة الموت الخلوي المبرمج PCD :

هي العملية النشطة لموت الخلية التي تحدث أثناء التطور واستجابة للإشارات البيئية في النباتات ، يعد PCD ضرورياً لتطوير النبات والبقاء على قيد الحياة على سبيل المثال ، أوعية نسيج الخشب مينة عند النضج، في الواقع و قبل 330 عامًا كانت الخلايا الأولى التي تمت ملاحظتها بشكل مجهري هي خلايا الفلين التي خضعت لـ PCD ،بالإضافة إلى هذه الأمثلة ، يحدث موت الخلايا أيضاً بشكل متوقع في مواقع وأوقات محددة طوال تاريخ حياة النباتات المزهرة. حتى في الجنين ، تموت خلايا المعلق العضو الجنيني الذي يربط الجنين بأنسجة الأم ويزوده بالمغذيات وذلك قبل نضج الجنين . في العديد من النباتات تكون طبقة البشرة مغطاة بطبقة سميكة من الشعر أحادي الخلية الميت ، تعمل هذه الطبقة على حماية جهاز التمثيل الضوئي من الآثار الضارة للإشعاع العالي في بيئات معينة ، كما توفر منطقة محاصرة للرطوبة لتقليل فقد الماء (Greenberg,1996). كما يحدث الموت الخلوي المبرمج إستجابة لظاهرة فرط التحسس وكما هو موضح في الوثيقة (07) حدوثها في مناطق معينة من الأوراق (الساهوكي وآخرون ، 2013)



الوثيقة (07): موت الخلايا المبرمج في ظاهرة فرط التحسس HR (الساهاوكي وآخرون، 2013)

تظهر هذه الظاهرة PCD الإتصال بين العضيّات الخلويّة (النواة ، الميتوكوندري، البلاستيدات، الفجوة) بغرض حُدوثها بشكل منسق ومتكامل في إطارها الزماني والمكاني حيث :

النواة :

تتحكم النواة في ظاهرة الموت الخلوي المبرمج بشكل أساسي وذلك من خلال برمجة التّعبير الجيني لتحفيز عمليّة الموت الخلوي المبرمج PCD .

الجينات المنظمة لموت الخلايا في النبات :

برز في الأخير جينين مهمين في عمليّة PCD في حالة HR فرط التحسس هما، LSD1، MLO في نبات *Arapidopsis thaliana* والشّعير ، وكلاهما موجود في نباتات مغلفات البذور.(الساهاوكي وآخرون، 2013)

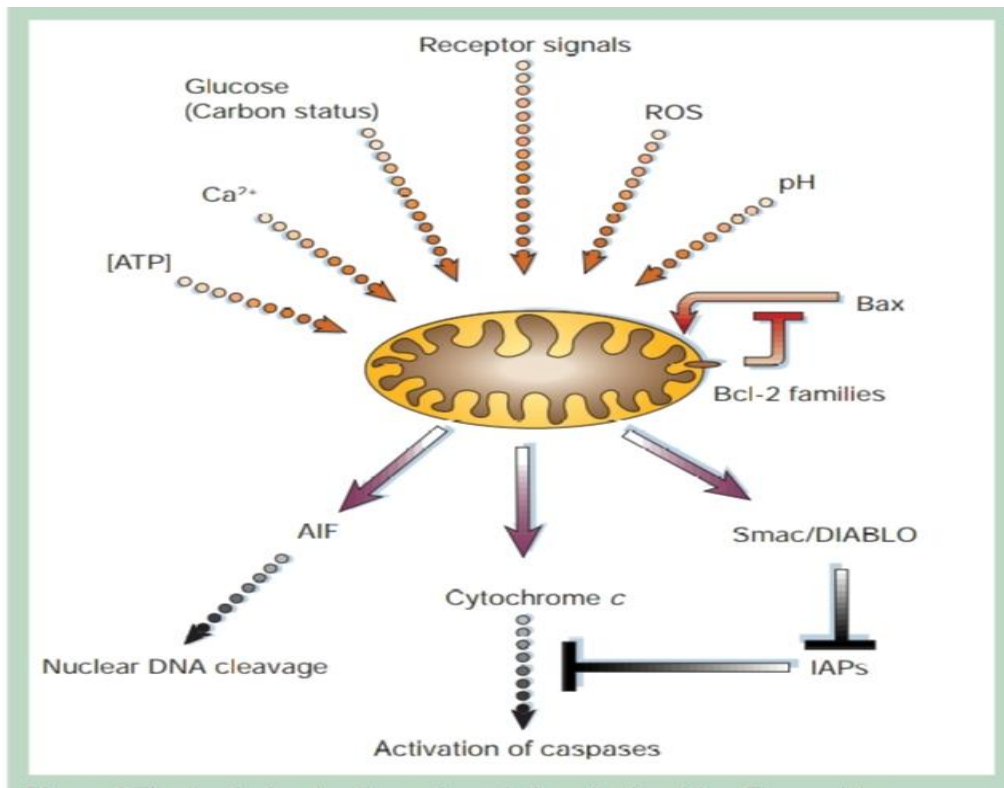
الميتوكوندري :

تبدأ استجابة الميتوكوندريا نتيجةً للتّغيرات في مستويات الرسل الثانوية كالكالسيوم والتعبير عن مستويات متطلبات التي تعكس الحالة الطاقية في الخلية (ATP.ADP.NADH.N فوسفات الكرياتين...) فيعمل الميتوكوندري على زيادة نفاذية غشاءه الخارجي outer metochonderial membre (OMM) ممّا يسمح بخروج منشطات ومثبطات ومثبطات المثبطات ومن أمثلتها: خروج السيروتوكروم ج الذي يعمل على تنظيم نشاط البادئ caspase 9 الذي ينشط caspase المسؤول عن تفكيك الخلية بالإضافة إلى ذلك عند ولوج السيروتوكروم ج إلى العصارة الخلوية هذا يؤدي إلى تثبيط التدفق الإلكتروني من المركب 3 إلى المركب 5 داخل غشاء الميتوكوندريا مما يسبب توليد الأنواع الأكسجينية النشطة وهي بمثابة إشارات لتضخيم ظاهره الموت الخلوي المبرمج .خروج بروتين من

الميتوكوندريا وهو بروتين كبير يمكنه الدخول النواه فيعمل على تنشيط تجزئة ADN الكروماتين إلى شظايا زوجية بحجم 50 kilobase .

(Lam et al.,2001)

وبالتالي فإن دور الميتوكوندري في ظاهرة الموت الخلوي المبرمج PCD يتمحور أساساً على تحليل مكونات الخلية حيث أن هذا الدور يُعوض دور الليزوزومات الحالة في الخلية الحيوانية . وكما هو موضح في الوثيقة (08) أدناه أن الميتوكوندري يستقبل إشارات (Ca²⁺, ROS ,...) تعمل على تحفيز دوره في العمل على تحليل مكونات الخلية .



الوثيقة (08): دور الميتوكوندري في ظاهرة الموت الخلوي المبرمج PCD. (Lam et al.,2001).

- توضح الخطوط الحمراء إشارات الإدخال الناشئة من مصادر خلوية مختلفة.
- تُظهر الخطوط الأرجوانية إشارات الخروج التي تنشط العمليات التي تؤدي إلى موت الخلية المبرمج.
- تُظهر الخطوط السوداء إشارات ثانوية قد تعمل على تضخيم إشارات موت الخلية التي تنتجها الميتوكوندريا.
- تشير الخطوط الصلبة إلى مكونات الإشارة المرتبطة فعلياً بالميتوكوندريا.
- تشير الخطوط المنقطة (- - - - -) إلى مسارات الإشارة والاستجابة التي قد لا تحدث بشكل مباشر.
- ROS: أنواع الأكسجين التفاعلية

الكلوروبلاست :

تحتوي على الجين DSG (في نبات التبغ هو جين مماثل لنظيره البكتيري الذي يعمل على مراقبة جودة السيتوبلازم وبروتينات الأغشية (Seo et al,2000) ، والذي يزيد من تدفق الإلكترونات في عملية التمثيل الضوئي حيث أنّ فرط التعبير عنه يؤدي إلى تفعيل آليات الموت الخلوي المبرمج في حالة فرط الحساسية HR .

الفجوات كمصادر للمواد القاتلة :

مؤخرًا افترض Alan Jones أنّ احتواء الفجوة على مجموعتين مختلفتين من الأنزيمات المحبة للماء يمكن أن يحفز إطلاق إشارة PCD ، وبالتالي يمكن تشخيص الأشكال المختلفة لموت الخلايا ، إذ يُعتقد أنّ للإنسياب أيون الكالسيوم دور حرج في إطلاق أحداث انهيار وتحطم الفجوات عن طريق التأثير المباشر أو غير المباشر لحركة المواد القاتلة الناتجة عن مختلف إشارات موت الخلايا. (Lam et al,2001)

III. التواصل بين الخلايا :

وذلك عبر Plasmodesmata ، فالوحدات البنائية المتمثلة في الخلايا لا تكون منفصلة بل إن PD تعمل على ربطها ببعضها البعض ، لذا فهي تعتبر قنوات اتصال والتي تسمح بتدفق الجزيئات الصغيرة وكذلك الأيونات والمستقلبات والهرمونات ، وتسمح بالتبادل الإختياري للجزيئات الكبيرة مثل البروتينات والـ RNA وغيرها (Witzany,2006).

IV. التواصل بين أجزاء النبات (عضو-عضو) communication between parts of plant :

من أهم جزيئات الإشارة التي تُساهم في نقل الإشارة وأحداث استجابة بما يتناسب وفق المراحل التنمويّة والظروف البيئيّة هي الهرمونات النباتيّة .

1. تواصل جذور- أوراق Roots- Leaves communication :

من أهم الهرمونات التي تساهم في استجابة النبات كجزيئات إشارة ، حامض الابسيسيك ABA والذي يظهر دوره جليا في إجهاد العجز المائي water stress ، حيث أنّ الجذور هي أعضاء النبات الأولى المعنيّة في هذا النوع من الإجهاد اللاحيوي ، ومع ذلك فإنّ الاستجابة المبكرة والسريعة هي غلق الثغور في الأوراق. إنّ فرضيّة إرسال إشارات من خلايا الجذر نحو خلايا الثغور الورقيّة

أكدته تجارب علمية ، أهمها تجارب تطعيم الأنماط الوراثية للطمطم العاجزة مع أخرى قادرة على تصنيع هرمون ABA ، حيث تأكد جليا دور جزيئات ABA لخلايا الجذر المنقول إلى خلايا الأوراق لغلق الثغور .

ويتم نقل ABA من الجذور إلى الأوراق بالكيفية التالية :

تعتبر الجذور أول الخلايا المستشعرة لإجهاد العجز المائي water stress محدثةً أولى الإستجابات حيث ترفع من حموضة الفراغات البينية apoplastical لخلايا الجذر، حيث أن رفع درجة حموضة المساحات البين خلوية وخصوصاً حموضة النسغ الخشبي في ظروف الإجهاد تسهم مباشرةً في تدفق هرمون ABA من خلايا الجذور ونقله لأجزاء النبات الهوائية وبالتالي وصوله إلى الأوراق فيعمل على خروج البوتاسيوم K⁺ من خلايا الثغور وهذا بدوره يؤدي لخفض الضغط الأسموزي فيها ومنه خروج الماء، وكنتيجة لذلك يغلق الثغور بغرض خفض عملية النتج وهذه الإستجابة تعتبر مناسبة إلى حد ما خلال ظروف إجهاد العجز المائي water stress. (عسيلة ، 2019)

2. تواصل أوراق مع بقية أجزاء النبات : communication of leaves and the rest of the plant parts.

إن إنتاج جزيئات ABA لدى الأنواع النباتية المحتملة للإجهاد الجفافي أو الملحي يستحث العديد من آليات الإستنساخ لإعادة برمجة التعبير الجيني للجينات المسؤولة على تنظيم العلاقات المائية بواسطة تعديل الجهد الأسموزي الخلوي ، والتحكم في غلق الثغور ومراكمه المواد العضوية الذائبة ، ومن جهة فإن تعديل مرفوبيوية النبات كاختزال سطح المجموع الورقي ، وتحفيز النمو الطولي للجذور وتغيير هندسة النظام الجذري ككل ، يعد فاعلاً في تحمل النبات لإجهاد العوز المائي .

من جهة أخرى أكدت نتائج الأبحاث أن المعالجة ABA يكبح التسرب الايوني electrolyte leakag، حيث يمكن أن يسهم ذلك في خفض أثار الجفاف بوقاية الأغشية الخلوية وأجهزة التمثيل الضوئي . كما أن تحفيز إنتاج بروتينات dehydrin عند النباتات المعالجة ABA ، دليل ضلوع هذا الأخير في إثارة آليات الوقاية الأخرى في خلايا النبات.

وفي حالات الإجهاد المتواصل، فإن ABA يعمل على تنظيم آليات الاستنساخ للجينات الفاعلة في خفض حركة وفقد الماء ، من جهة أخرى وفي كثير من الحالات تأكد أن هرمون ABA يلعب دور أساسي في بعض مسارات استحثاث بروتينات الصدمة الحرارية HSPs . وهي أحد آليات الوقاية الفاعلة في ظروف الإجهاد الحراري .

وكل ما تمّ ذكره عبارة عن دلائل تُبين مدى أهميه هرمون ABA على مستوى خلايا معظم أجزاء النبات لإحداث الإستجابة ليس فقط على المستوى الورقي بل على مستوى النبات بالكامل وهذا يتطلب نقله إلى بقية أجزاء النبات حيث أنّه في حالة الإجهاد الجفافي يتم بناء ABA المُتراكم في البلاستيدات الخضراء في الأوراق ويتم نقله عن طريق اللحاء وذلك برفع حموضة حشوه stroma الصّانعة الخضراء في خلايا الأوراق، المرتبطة بخفض نشاط آليات التركيب الضوئي وهذا يحدث من تدفق ABA إلى السيتوبلازم ثم إلى الممرات بين الخليّة وصولاً إلى اللحاء الذي يقوم بنقله إلى بقية أجزاء النبات وبالتالي يحدث هذا الكم الهائل من الإستجابات على مُختلف مستويات النّبات بما يتناسب مع نوع الإجهاد المعرض له. (عسيلة ، 2019) .

3. التواصل بين أجزاء البذرة (الجنين - طبقة الأليرون - نسيج الأندوسبرم) : Communication between the parts of the seed (embryo - aalron layer - endosperm tissue)

تبدأ عملية إنتاش البذور بدايةً من امتصاصها للماء الأمر الذي يتسبب في تنشيط هرمون الجبريلين GA على مستوى الجنين منتقلاً إلى طبقة الأليرون فيعمل على تحفيز تخليق إنزيمات التّحلل (تختلف من بذرة إلى أخرى) التي بدورها تنتقل إلى نسيج الأندوسبرم ومن ثمّ يتم تأمين المغذيات اللازمة لنشاط الجنين في عمليّة إنتاش البذور.

في بذرة نسيجها الأندوسبيرمي نو طبيعة نشويّة (نبات الذرة) دخول الماء للبشرة يؤدي إلى تنشيط GA في أنسجة الجنين فينتقل إلى طبقة الأليرون بحيث يثبت على مستقبلات غشائيّة نوعيّة ممّا يؤدي إلى تنشيط بروتينات داخلية بدايةً من البروتين (G بروتين مرتبط بالمستقبل) وكنتيجه لذلك يتم تثبيط بروتينات (Delle بروتينات كابحة لمورثة ألفا اميلاز) ممّا يُتيح المجال لتخليق (نسخ وترجمه) بروتينات MYB (بروتينات منشّطة لمورثة ألفا اميلاز) وبالتالي تنشيط مورثة ألفا ميلاز وتخليق إنزيم ألفا اميلاز والذي يعمل على تحليل المدخّرات ذات الطبيعة النشويّة لنسيج الأندوسبيرم . (قادري ، 2017)

4. تواصل البرعم القمي - البراعم الجانبية (السيادة القميّة): The apical bud-Lateral bud communication

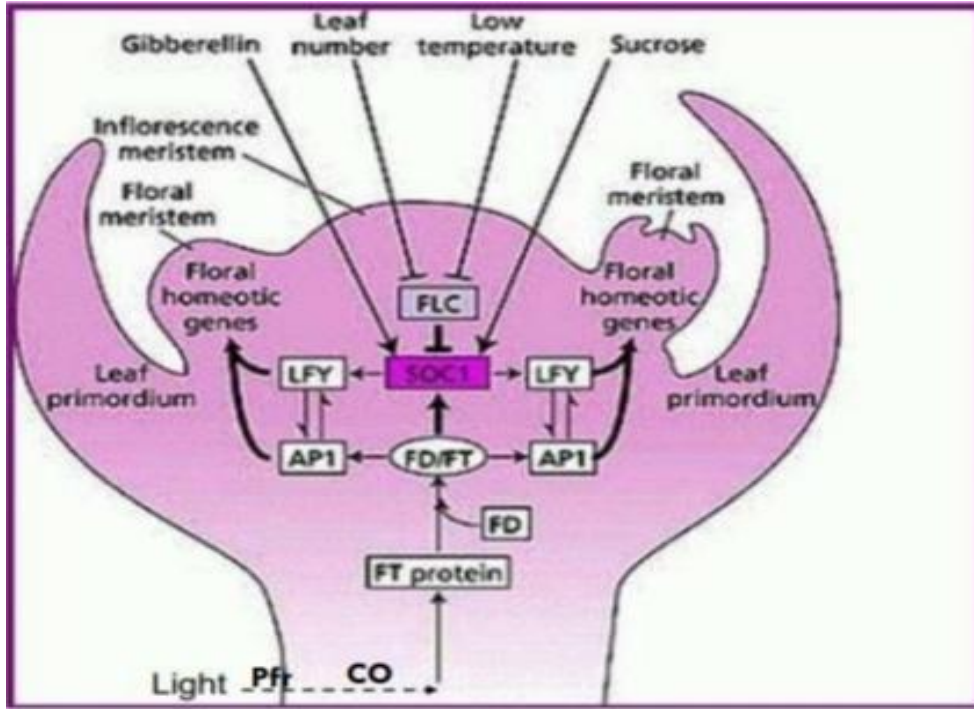
عادةً ما يتميز النبات بسيادة نمو برعم وحيد يُساهم في زيادة النبات من حيث الطول يسمى بالبرعم القمي The apical bud دون البراعم الأخرى والتي تتخذ دور البراعم الجانيّة Lateral bud ، وهذا ما يُطلق عليه بالسيادة القميّة والمتمثّلة في سيادة البرعم القمي بالنمو على البراعم الجانيّة

ولتوضيح السبب الذي يقف وراء هذه الظاهرة قام العالم سكوج وثمان بقطع القمة النامية (البرعم القمي) واستبدالها بقطعة من الأجار آجار المحتوية على الأكسين IAA. أدى ذلك إلى تثبيط نمو البراعم الجانبية. ففي الحالة الطبيعية يتم انتقال الأكسين من البرعم القمي إلى البراعم الجانبية انتقالاً قطبياً Polar transition (من القمة المرفولوجية إلى القاعدة المرفولوجية) ويتم توزيعها عبر اللحاء حيث أن عمل IAA يتطلب وجوده بتركيز أمثل وهذا التركيز يختلف من عضو لآخر ففي القمة يكون مرتفع على عكس البراعم الجانبية و بالتالي فإن انتقال IAA من البرعم القمي إلى البراعم الجانبية يؤدي إلى تثبيط النمو فيها وينفرد البرعم القمي بالنمو وهذا ما يطلق عليه بالسيادة القمية. (قادري، 2017)

5. ورقة-برعم خضري (عملية التزهير Efflorescence bud : Leaf-vegetative communication)

تدخل البراعم الخضريّة في الطور الزهري لتتحول لبراعم زهرية بفضل استجابتها لطول فتره الضوء والظلام المتعاقبة ، وهذا ما يسمى بالتوافق الضوئي photoperiodisme ، حيث أن هذه البراعم لا تستجيب للإضاءة وذلك لعدم امتلاكها لمستقبلات ضوئية ، فهي تتعامل بعوامل زهرية لا صبغات ضوئية ، مما يستدعي تدخل الأوراق في هذه العملية التي تحدث على مستوى البراعم الخضريّة (ورقة-برعم خضري) وذلك بفضل امتلاكها لمستقبلات ضوئية والمتمثلة في الفيتوكروم والتي تؤثر على بروتين Co مؤدياً إلى إنتاج هرمون الفلوروجين (FT) وهو ما يطلق عليه باصطلاح عامل التزهير والذي ينتقل من الورقة إلى المرستيمات الخضريّة عبر النسغ الكامل .

وكما هو موضح في الوثيقة (09) ، فإنه على مستوى المرستيم الخضري يتشكل معقد FD/FT الذي بدوره يعمل على تنشيط عوامل تزهير أخرى تسمى SOC1 والتي من شأنها تحفيز عوامل أخرى LFY و AP1 وصولاً في نهاية المطاف إلى سلسلة من التغيرات المرفولوجية البنوية الوظيفية لإنتاج براعم زهرية. (قادري، 2017)



الوثيقة (09) : برعم زهري يوضح عوامل التزهير فيه. (قادري، 2017)

6. عملية التأيير pollinisation :

في النباتات الزهرية ، يتم توجيه أنبوبة اللقاح التي تحتوي على الخلايا الذكرية نحو البويضات بواسطة عوامل جذب يفرزها العضو التناسلي المؤنث. لإتمام عملية الإخصاب في النباتات المزهرة ، يجب على حبوب اللقاح أن تقوم بنقل الخلايا الذكرية عبر مسافات طويلة. تستقر الحبوب التي تحوي تلك الخلايا على ميسم العضو التناسلي المؤنث (المدقة)، بينما تقع أجزاء المشيج الأنثوي التي تحوي الخلايا الأنثوية (المبيض) في بويضات بعيدة؛ ولذا.. تنتج كل حبة لقاح أنبوبة لقاحية تنمو في اتجاه البويضات. (Cheung et al.,2016)

يمكن أن يتم استخدام الأنبوب الطلعي نموذجاً لفهم سلوك الخلايا النباتية . حيث يتم دخول الأنبوب الطلعي للمشيج الأنثوي عبر إحدى الخلايا المساعدة حيث يتوقف نموه و يتمزق لتحرير الخلايا الذكرية بحيث يمكن أن يحدث الإخصاب المضاعف . يعتقد أن موت الخلية التي تستقبل الأنبوب الطلعي إما قبل أو عند دخوله مهم لتسهيل عملية الإخصاب . لكن دور الخلية المساعدة بالضبط يبقى غير واضح ، قد يكون موتها مهم للسماح للأنبوب الطلعي لدخول الخلية المساعدة عن طريق تقليل ضغطها النشط لتفريغ الخلايا الذكرية ، و / أو لإعداد بيئة تسمح باستقبال الأنبوب الطلعي و إيصال الخلايا الذكرية الى البيضة و الخلية المركزية . إذا فالتواصل الذي يحدث بين الأنبوب الطلعي و الكيس الجنيني يكون بتفعيل مسارات الإشارة التي تحدث أثناء استقبال الأنبوب الطلعي و تفعيل

إشارات توقيف نمو وتمزيق الأنبوب الطلعي و تنشيط قناة K^+ KZM1 وهي تؤدي إلى تفجير الأنبوب الطلعي .

V. تواصل نبات-نبات : Plant-plant communication:

1. دلائل تواصل النبات مع بعضها البعض:

1.1. ظاهره الأليلوباتي The allelopathy phenomenon:

تُعتبر ظاهرة الأليلوباتي من أولى الظواهر التي تبيّن من خلالها أنّ النباتات تتواصل مع بعضها البعض ، و يُقصد بظاهرة الأليلوباتي تأثير المركبات التي يفرزها النبات للتخلص من بعض النباتات المجاورة أو عدم السماح بنموها، وهذه المركبات تحدث خللاً في الأنشطة المختلفة للنبات المستقبل ، واشتُقت كلمة «Allelopathy» من الكلمة الإغريقيّة «allelon» وتعني بعضهم البعض وكلمة «pathos» وتعني يعاني ، فيصبح معناها التأثير الضار لنبات على نبات آخر. (web site :01)

يطلق على ظاهرة التضاد الكيميائي الذي يحدث بين الكائنات الحية خاصة النباتات عدة اصطلاحات أهمها Allelopathy, Mutual harm between plants, Suffering In plants. وهي ظاهرة ينتج فيها أحد الكائنات الحية مادة أو عدة مواد كيميائية تكون مسؤولة عن نمو أو حياة أو تكاثر كائنات أخرى وتعرف بإسم الكيمياءات المضادة Allelochemicals وهذه الكيمياءات إما أن تكون إيجابية التأثير ينشأ عنها فائدة ، أو سلبية التأثير. تتكون هذه الكيمياءات كنتاج للمواد الأيضية الثانوية والتي لا يحتاجها النبات في عمليات التمثيل الغذائي (النمو ، النضج ، الإنتاج).

أول من أشار إلى هذه الظاهرة هو العالم النمساوي Hans Molisch عام 1937 حيث ذكر أنّ للنباتات تأثير على بعضها البعض. وفي عام 1971 نشر Whittaker an Feenny تعريفاً لمعنى اصطلاح Allelochemicals بأنّها كل الكيمياءات التي تتفاعل مع الكائنات الحية ثم امتد المصطلح عام 1984 بواسطة Elroy Leon إلى كل التأثيرات الإيجابية أو السلبية الناشئة من نبات تجاه الآخر سواء كان نبات أو كائن حي دقيق وذلك عن طريق تحرير مواد كيميائية من النبات إلى البيئة الطبيعيّة المحيطة. وبعد عشر سنوات من ذلك التاريخ استخدم باحثون آخرون هذا المصطلح ليمثل التفاعلات الكيميائية التي تحدث بين كل الكائنات الحية. وفي عام 1996 حسمت الجمعية الدوليّة للأليلوباتي Society The International Allelopathy هذا التعريف ليشمل أي عمليات تدخل فيها المنتجات الأيضية الثانوية الناتجة عن النباتات ، الطحالب ، البكتيريا و الفطريات وتكون مسؤولة عن نمو وتطور في النظام الزراعي والبيولوجي .

حديثاً عاد الكثير من الباحثين إلى استخدام هذا المصطلح للتعبير عن المركبات التي تنتج بواسطة نبات معين لتنشيط نمو نبات معين آخر. وكان كثير من الباحثين قد لاحظ التأثيرات السلبية لبعض النباتات على النباتات الأخرى منها تأثير نبات رجل الأوزة Pigweed على نبات البرسيم الحجازي Alfalfa إضافة إلى اكتشاف التأثير الإبادي لبعض النباتات على الأخرى والذي يؤدي إلى حدوث ظاهرة مرض التربة Soil Sickness ، ويصبح هذا المصطلح محدد في التأثير السلبي على كائن حي بسبب إفراز كائن آخر لمادة كيميائية في البيئة المحيطة.

تتركز الأبحاث في العصر الحديث حول تأثير الحشائش على المحاصيل أو المحاصيل على الحشائش أو المحاصيل على المحاصيل الأمر الذي لفت نظر الكثير من الباحثين حول إمكانية استخدام هذه المواد المفترزة كمنظمات نمو أو مبيدات حشائش طبيعية من أجل تشجيع الزراعة المستدامة Sustainable Agriculture ، وقد تبع ذلك إنتاج تجاري من هذه الكيمائيات Allelochemicals ومنها من هو في طريقه إلى الإنتاج ومن هذه المركبات الموجودة على المستوى التجاري مركب Leptospermone والذي يستخدم لمقاومة Lemon bottlebrush إلا أن تأثيره الفعال ضعيف للغاية كمبيد للحشائش. ويظهر ذلك جلياً في الشجيرات الصحراوية والتي يلاحظ عدم وجود نباتات نامية في محيطها أو قريبة منها ربما حتى لا تنافسها في مصادر الغذاء أو المياه الشحيحة في الصحراء حيث تفرز تربينات طيارة تمنع نمو النباتات من الأنواع الأخرى في دائرة نموها.

أما في الغابات فظاهرة Allelopathy هي أكثر وضوحاً حيث بسببها يتحدد بناء المجتمع النباتي في الغابة أخرى فتحسر أنواعاً نباتية وتتعايش مع بعضها أنواعاً أخرى وتصبح كل غابة مميزة بمجتمع نباتي مخالف عن غيرها من الغابات ، ويمكن من خلال ذلك تفسير العديد من العلاقات بين الأنواع النباتية.

ومن ناحية أخرى فقد ثبت أن مخلفات بعض الأشجار خاصة المستخدمة كسياج للمزارع قد يكون لها تأثير بالغ الخطورة على نمو الأشجار أو النباتات الأصلية ، فمثلاً مخلفات الأشجار الكافور وإفرازات جذوره تنتج كيميائيات مضادة تثبط نمو العديد من النباتات حيث ثبت أن إفرازات أشجار الكافور والخلاصات المائية للأوراق تسبب ضعف في إنبات حبوب القمح وفي نمو الأوراق والجذور . كما وجد أن نمو حشائش الراى (جاودار) grass Rye في حقول بنجر السكر يؤثر تأثيراً سلبياً على الإنتاجية . (الوكيل ، 2013)

2.1. تغيير استراتيجيه النمو :

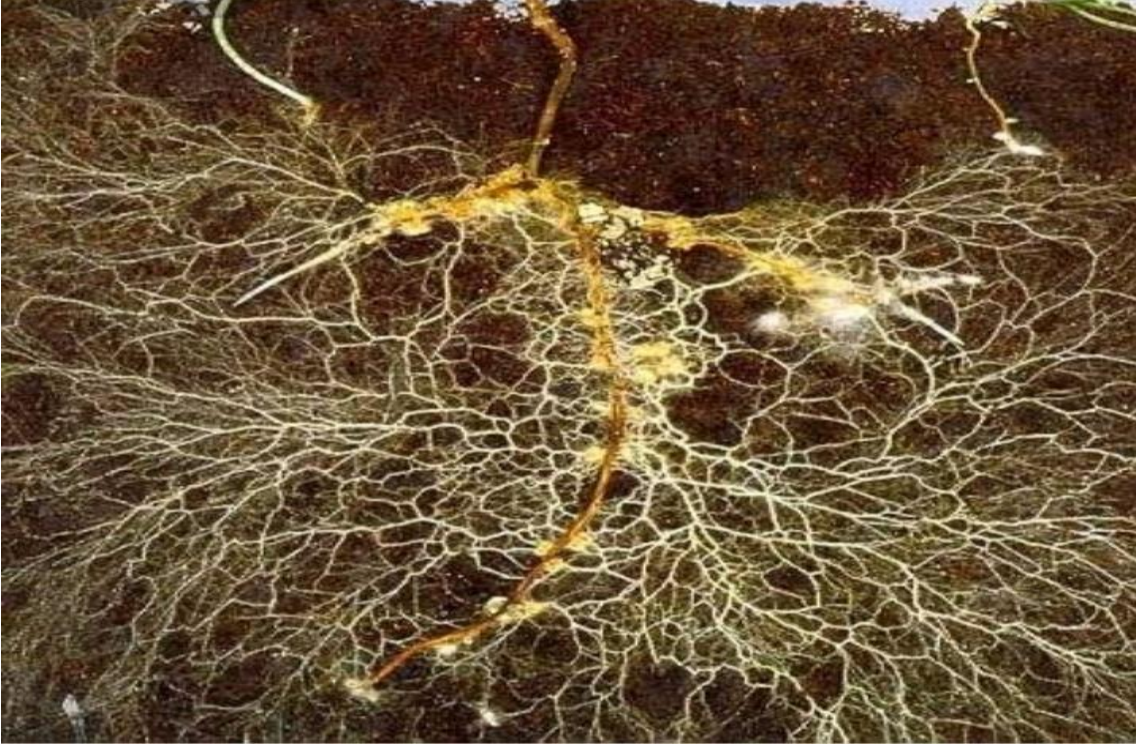
لوحظ أنه عند وجود نباتات متلامسة بفروع نباتات أخرى مجاورة لها فإنّ النبات يغير من استراتيجية النمو بحيث يحول الموارد من نمو الجذور إلى التوسع بسرعه اكبر فوق سطح الأرض وكنتيجه لهذا فإن نمو الجذور يشهد تراجعاً على عكس نمو المجموع الخضري .

وكتفسير لهذا السلوك تمّ القيام بالتجربة التالية ، وذلك بلمس أوراق نبات الذرة باستخدام فرشاة رسم وكانت النتيجة زيادة نمو الجزء الهوائي وتراجع نمو المجموع الجذري ، ويعود الفضل في هذه الاستجابة لسببين هما :

- توليد الإشارة : إشارات ميكانيكية التي التقطها الاوراق حيث أنه عند زرع الشتلات في محلول النمو مع نباتات غير متلامسه لم تظهر هذه الاستراتيجية من النمو
- احداث استجابة : الافرازات الميكانيكية في التربيه حيث أنه عند ازاله الشتلات ووضعوا نباتا جديد حل نموه ارقام هو أيضا بتعزيز نمو الاوراق وموارد أقل للجذور (web/site : 04)

2. طبيعة التواصل نبات-نبات :**1.2. تواصل نبات- نبات تحت التربة : (تواصل جذر-جذر)**

تتواصل الجذور مع بعضها البعض بفضل شبكة خيوط فطرية ويطلق عليها أيضا شبكة الخشب الواسعة والتي تمكن النبات من تبادل المياه والمغذيات وإرسال إشارات إستغاثة وتحذير(تبادل معلومات) وكذلك تمييز الغرباء من الأقارب . (Web site : 04)



الوثيقة (10) : شبكة الخيوط الفطرية. (08: web/site)

حيث أنه لتواصل النباتات عبر الجذور عدة أشكال من بينها:

1.1.2. المنافسة بواسطة الجذور :

تحدث التفاعلات بين النباتات في كل من النظم البيئية الطبيعية والمزروعة وتشكل محددًا مهمًا لديناميكيات وهيكل المجتمعات النباتية ، على الرغم من وجود تفاعلات إيجابية بين النباتات ، فإن التنافس على الموارد له أهمية قصوى في العديد من المجتمعات النباتية ، حيث تحدث المنافسة بين النباتات فوق وتحت التربة. في حين أن المنافسة فوق التربة تتطوي على مورد رئيسي واحد (الضوء) ، أما المنافسة تحت التربة تشمل مجموعة واسعة من الموارد ، بما في ذلك المياه وجميع العناصر الغذائية الأساسية. أظهرت العديد من الدراسات أن المنافسة تحت التربة يمكن أن تكون أقوى وتشمل جيرانًا أكثر من المنافسة فوق التربة تحدث المنافسة تحت التربة بين الجذور المجاورة للمغذيات المتحركة المنتشرة عندما تتداخل أحجام Depletion الفردية ، مما يؤدي إلى انخفاض في امتصاص المغذيات .

ولمعرفة المعايير (مرحلة نمو الجذر، مسافه بين الجذور، نباتات من نفس النوع أو نوع مختلف)المتحكمة في حدة التنافس بين جذور النباتات المجاورة تم القيام بالتجربة التالية ، حيث تم استخدام نموذج Sin Roor، وهو نموذج هندسي ديناميكي ، لمحاكاة نمو جذر نبات الفول ،

ولمقارنة تداخل نمو الجذور المختلفة من حيث المساحة التي تمّ التوسع فيها . من خلال تغيير جاذبية الجذور القاعدية ، من خلال محاكاة ثلاثة هياكل جذرية متميزة سطحيه ومتوسطة وعميقة ، تتوافق مع التباين الجيني الملحوظ لهندسة الجذر في هذا النوع .

نتج عن ذلك توليفات الجذور التي لها نفس التركيبية (نفس مرحله النمو) منافسة أكثر حدة بين النباتات. من بينها كان للتركيبية العميقة أشد المنافسة. بينما كانت المنافسة بين أنظمة الجذور العميقة وأنظمة الجذور السطحية نصف المنافسة بين أنظمة الجذور العميقة التي تتنافس مع أنظمة الجذور العميقة الأخرى. زادت المنافسة بين الجذور النباتية مع زيادة انتشار التربه وانخفاض المسافة بين النباتات . وكنتيجة لكل ذلك كانت المنافسة بين جذور نفس النبات ثلاث إلى خمس مرات أكبر من المنافسة بين جذور النباتات المجاورة. (Gerardo et al.,2001)

2.1.2. التعرف على الأقارب بواسطة الإفرازات الجذرية :

من المعروف أنّ النباتات تستطيع تمييز الأنواع الاشقاء من الغرباء والجذور الذاتية من غيرها وهذا ما يفسر السلوك التنافسي للنبات وغيرها من الاستجابات المتداخلة ضمن حياه النبات بوجه عام

من بين أهم الجزيئات التي تساهم في نقل الاشاره بين الجذور لكي تتم عمليه التمييز هذه هي المركبات المفترزة من طرف الجذور لذا تم الدراسه التاليه من أجل فهم أكثر لأليه التعرف على الهوية

- في تجربة مثبت الافراز : secretion inhibitor experiment

• الجزء الاول (control):تم تعريض شتلات فتيه لنبات رشاد إذن الفار *Arapidopsis thaliana* لأوساط سائله تحتوي على افرازات مختلفه :

• افرازات من الغرباء (stranger) stranger exudate/non siblings

• افرازات من الأشقاء (kin) siblings

• افرازات خاصه /ذاتيه (own) only own exudate

- النتيجة:

نمو جذور جانبيه اطول في حاله وجود افرازات الغرباء (stranger)مقارنه بالشتلات المزروعة في الوسط المحتوي على افرازات الأشقاء (kin) بينما يشهد نمو كبيرا في الجذر الرئيسي للشتلات

المزروعة في وسط يحتوي على الإفرازات الخاصة (own) هذه النتيجة توضح بشكل واضح أن نبات رشاد إذن الفار *Arapidopsis thaliana* يستجيب بشكل متباين لإفرازات الشقيقة (kin) والغريبة stranger ، أي أن نبات *Arapidopsis thaliana* يميز بين الأقارب والغرباء (Biedrzycki et al.,2010)

• الجزء الثاني Addition of a pump inhibitor and known root secretion inhibitor sodium orthovanadate (Na_3VO_4)

أدت إضافة مثبط المضخة ومثبط إفراز جذر الصوديوم المعروف باسم orthovanadate (Na_3VO_4) (3 ميكرومتر) إلى إلغاء الاختلافات في عدد الجذور الجانبية التي تنتجها كلا من الشتلات المزروعة في كلا الوسطين، إفرازات الغريباء (stranger) و إفرازات الأشقاء (kin) كما أن اضافته (Na_3vo_4) يقلل نوع ما بنسبه قليله في طول الجذر الرئيسي إلا أنه لا يقضي على الاختلاف بين الأوساط الإفرازيه الثلاث (own/kin/stranger)

- النتيجة:

عدم حدوث استجابته متميزه فيما يخص نمو الجذور الجانييه لكلا وسطي الإفراز (kin/stranger) يؤكد ما تضمنته نتيجته الجزء الاول من التجربه اي ان نبات رشاد إذن الفار *Arapidopsis thaliana* يميز فعلا بين الأشقاء والغرباء .

- حوصلة:

من خلال هذه التجربة تبين أنّ استجابة شتلات نبات *Arapidopsis thaliana* في حالة زرعه في وسط يحتوي على إفرازات خاصّة (own) لا تبدي أي اختلافًا تقريبًا أي أنّ الشتلات لا تتأثر في حالة إضافة مثبطات الإفراز (Na_3vo_4) وهذه النتيجة برهان جلي على أنّ التعرف على الأقرب والتعرف على الذات هما نظامين منفصلين للتعرف على الهوية وكلاهما يشتمل على مواد كيميائية قابلة للذوبان كجزيئات إشارة بين الأنظمة الجذرية. (Biedrzycki et al.,2010)

3.1.2. التحذير بواسطة شبكة الخيوط الفطرية :

ابتكر باحثون من جامعة أبردين ومعهد جيمس هوتون وأبحاث روثامستيد ، في المملكة المتحدة ، تجربة ذكية لعزل تأثيرات هذه الشبكات الشبيهة بالخيوط ، حيث اهتم الفريق بحشرات المن ، وهي حشرات صغيرة تتغذى على النباتات وتلتفها. تمتلك العديد من النباتات مواد كيميائية تنشرها عندما تهاجمها حشرات المن ، التي تعمل على جذب الدبابير الطفيلية التي تعد مفترسات طبيعية

لحشرات المن. قام الفريق بتنمية مجموعات من خمسة نباتات الفول ، مما سمح لثلاثة في كل مجموعة بتطوير شبكات الميكوريزا (شبكة الخيوط الفطرية) . ولمنع أي اتصال كيميائي عبر الهواء ، تم تغطية النباتات بأكياس . عندما سمح الباحثون بإصابة نباتات مفردة في المجموعات بالمن ، وجدوا أنه إذا كان النبات المصاب متصلاً بآخر بواسطة الفطريات الجذرية mycorrhizae حجم ، فإن النبات غير المصاب يبدأ في شن دفاعه الكيميائي . وبدا أن أولئك غير المتصلين بالشبكات لم يتلقوا إشارة الهجوم ولم يظهروا أي استجابة كيميائية (web site:05)

2.2. تواصل نبات-نبات فوق التربة :

تبدى العديد من النباتات من نفس النوع أو حتى المختلفة منها توصالاً فوق سطح التربة باستخدام مجموعة واسعة من VOCs (DAMPs, DIVs, HIPVs, GLVs...) ، والتي تستعمل كوسائل دفاعية (مباشرة /غير مباشرة) و جزيئات إشارة تهدف إلى إيصال فهم دقيق للرسائل الموجة للنبات المجاور سواءً كانت لأغراض تحذيرية من خطر وشيك ، أو كانت رسائل تنافس تصل إلى غاية تعريضه لخطر الموت . وغيرها من أشكال التواصل (تطفل ، اقتراس ، ...) التي لا يمكن حصرها ، فالنبات يعيش كما هائلاً من التفاعلات فيما بينه .

خصائص VOCs :

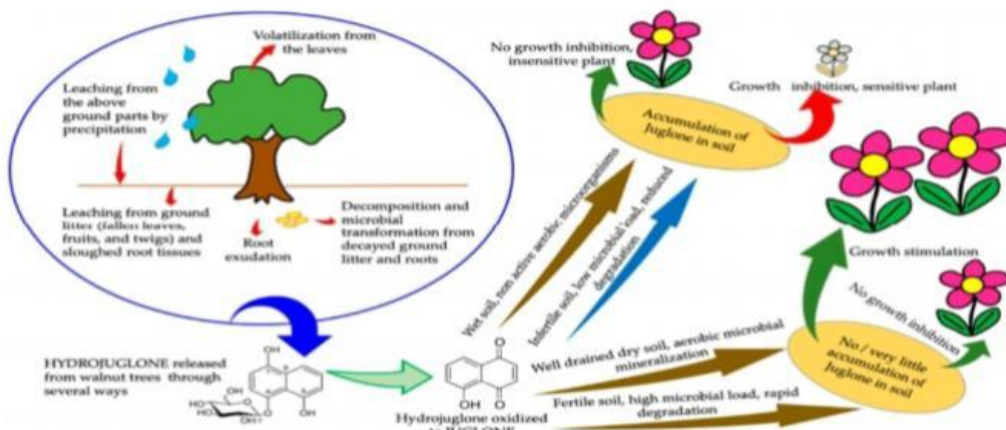
- تكون بتركيز محدد (Bruce & Pickett. 2011).
- فعالة ضمن مسافة محدودة (Skoczek et al.,2017)
- تعمل المركبات بشكل منفرد أو بشكل خليط (مزيج) وتكون ب:
- نسب محددة (Cha .2011).

1.2.2. المنافسة بواسطة VOCs :

لا يقتصر تنافس النباتات تحت التربة فقط ، بل تبدى آليات تنافس أخرى فوق سطحها . العديد من النباتات الأليلوباثية تطلق allelochemical في أشكال غازية. تنبعث من أوراقها (Islamand Joshua.2020) ، كما يمكن أن تتطاير المركبات الكيميائية المثبطة على هيئة أبخرة من الأجزاء الخضريّة للنبات على سبيل المثال نباتي *Artemisia californica L* و *Salvia leucophylla L* (Halligan, 1973) والتي تعمل على إلحاق الضرر بالنبات المجاور أو حتى قتله عند امتصاصه لهذه المواد السامة ، من الأمثلة الموضحة لذلك :

- نباتات السلفيا في جنوب كاليفورنيا بأمريكا تنتج مواد تربينية طيارة Volatile terpenes تمنع نمو النباتات العشبية حولها إلى مسافة 300 متر (عبد السلام & يوسف، 2017)
- قد وجد أنّ ثمار التفاح المتخلفة على سطح التربة تفرز مادة الايثلين $CH_2=CH_2$ التي تُؤثر سلبيًا على نمو النباتات الأخرى المجاورة . (عبد السلام & يوسف ، 2017)
- في دراسة نُبِطت المستخلصات المائية للأفرع الخضرية لنبات الكوسا *Cucurbita pepo L.* نمو العديد من الخضار حيث أثرت في الإستطالة الجذرية لكل من نبات الذرة واللوبياء والملفوف (Fujiyoshi et al., 2002)
- ويعتبر الجوز الأسود *Juglans nigra L* أحد أشهر النباتات الأليوباثية التي تنتج مادة كيميائية غير سامة عديمة اللون تسمى hydrojuglone ، المُتواجدة بتركيز عالي على مستوى الأوراق والجذور، كما تحتوي السيقان وقشور الفاكهة واللحاء الداخلي على هذا المركب. حيث عند تعرضه للهواء أو مركبات التربة يتأكسد hydrojuglone إلى juglone، المسمى أيضًا hydroxy-1,4-naphthoquinone-5 وهو مُركب عضوي أليوكيميائي يتميز بالسمية الشديدة ، إذ يتسبب في تثبيط نمو وقتل النبات المجاور في غالب الأحيان .

وكما هو موضح في الوثيقة (11) تأثيره على نمو (تثبيط/عدم تثبيط) النبات المجاور ، فالبرغم أنه مركب عدائي سام إلا أنه يبدي تسامحًا مع بعض النباتات ، وهو أمر لا يتعلق بالنوع النباتي فقط بل لطبيعة التربة كذلك (خُصوبة التربة، النشاط الميكروبي المحلّل للمركبات السامة وغيرها) دور في فرض سلمه اتجاه النباتات المجاورة . (Islamand , 2020)



الوثيقة (11): تأثير سمية مركب juglone على نمو النباتات المجاورة.

(Islamand.2020)

- تعمل العديد من الأشجار على إفراز المركب الأليلوكيميائي hydrojunglone سواءً من الأجزاء الخضريّة أو الجذريّة، والذي يتحول إلى المركب السام junglone بعد تعرضه للأكسدة بفعل الهواء أو مركبات التربة ، حيث أنه يعمل على تثبيط نمو النبات المجاور وقد يلغى تأثير السّم بفعل النشاط الميكروبي للتربة .

2.2.2. التحذير بواسطة VOCs:

1.2.2.2. تحذير نبات-نبات من نفس النوع:

طورت النباتات مجموعة من الدفاعات الفيزيائية والكيميائية ،مطلقة عدداً متنوعاً من المركبات العضوية المتطايرة (VOCs). وذلك من خلال إعادة تكوينها ،حيث تعمل الإشارات النباتية (VOCs) على تقليل الحيوانات العاشبة كأسلوب دفاعي لدى النبات، كذلك تحذير النباتات المجاورة من حدوث هجوم ،متسببة في تحفيز آليات الدفاع لديها بشكل مبكر مما يجعلها أكثر مقاومه ضد مهاجميها من العواشب.

ولتأكيد هذه الرسائل التحذيريّة عُرضت مجموعة من صنف الذرة *Zea mays L* ، للمهاجمة من طرف حفار الذرة الأوروبي البالغ (*Ostrinia nubilalis Hübner*) ، مع بقاء مجموعة أخرى سليمة لم تتعرض للحيوان العاشب ، وذلك لدراسة الإشارات التحذيريّة ودور المدة الزمنية التي يتعرض فيها النبات للمهاجمة من طرف الحيوان العاشب ، كذلك تأثير المسافة بين النبات المتضرر والنبات السليم على كفاءة انتقال الرسالة التحذيريّة

- تم تسجيل زيادة في إطلاق VOCs من أوراق نبات الذرة بعد تعريضها لحفار الذرة الأوروبي البالغ بشكل ملحوظ ، والتي بدورها تعمل على الدفاع ضد الحيوان العاشب ، كما أنه كلما زادت مدة تعريضه للآفة زادت كمية VOCs.

- بالإضافة إلى تسجيل زيادة في VOCs لدى نبات الذرة السليم عند زراعته بجوار نظيره التّالف، حيث أنه كلما زادت المسافة بينهما تقل كمية VOCs المنبعثة ، وبالتالي تراجع كفاءة الدفاع (Skoczek et al.,2017)

2.2.2.2. تحذير نبات -نبات مختلف النوع :

التبغ البري *Nicotiana attenuata* هو نبات سنوي موطنه الحوض العظيم لغرب أمريكا الشماليّة الذي ينمو غالبًا بالقرب من نبات الميراميّة *Artemisia tridentata* وهو النبات المسيطر في تلك المنطقة. يعاني نبات التبغ *N. attenuata* معدلات عالية من حيوانات الجراد العاشبة (سنة أنواع شائعة حسب الوفرة ونوعين شائعين من العثة الليلية: noctuid . تتغذى هذه العواشب أيضاً

على نبات الميرامية *A. tridentata* ، هذه الأخيرة هي أكثر دفاعاً من نبات التبغ *N. Attenuata* ضد العواشب .

لقد أقيمت سلسلة من التجارب أجريت فيها فحوصات كيميائية وبيولوجية لنباتات التبغ التي تنمو في حدود 15 سم من نبات الميرامية التي تم قصها تجريبياً وأخرى سليمة لم يتم قصها. وذلك لإختبار الفرضية التي تفترض بأن نباتات التبغ البرية تصبح أكثر مقاومة عندما تزرع على مقربة شديدة من نبات الميرامية. وهو ما يفسر سلوك نموها بشكل طبيعي بالقرب منها. فكانت النتائج كالتالي:

- نباتات التبغ المجاورة لنبات الميرامية مقصوفة الأوراق لها مستويات نشاط أعلى من *polyphenol oxidase (PPO)* مقارنةً بنظيرتها المجاورة لنبات الميرامية السليمة غير المقصوفة ، حيث الزيادات في *PPO* التي لوحظت قد تكون أو لا تكون مسؤولة عن زيادة المقاومة . ومع ذلك ، فقد ثبت أن هذا المركب جزء من الحث المنسق للبروتينات ذات النشاط ضد الحشرات العاشبة .
- كما كانت الأضرار على المستوى الورقي أقل لدى نباتات التبغ المجاورة لنباتات الميرامية مقصوفة الأوراق عند تعريضها للجراد و العثة الليلية . (Karban et al.,2000)

وبالتالي فإن نباتات الميرامية تُحفز القدرة الدفاعية لنبات التبغ ، وهو ما يفسر نموه وانتشاره الواسع بالقرب منها.

3.2.2. التطفل :

يعتبر التطفل استراتيجيّة حياة ناجحة للغاية وموضوعاً يربط بين جميع ممالك الحياة . تتميز النباتات الطفيلية بالقدرة على التغذية مباشرةً على النباتات الأخرى ، ووفقاً للتقديرات الأخيرة فإن ما يقارب 1 ٪ من أنواع كاسيات البذور هي نباتات طفيلية ، حيث تغزو جذور أو براعم عوائلها من خلال هياكل طفيلية تسمى *Haustoria* والتي تتمثل وظيفتها في التعلق بالعائل والغزو وإعادة التوجيه الفسيولوجي لموارد المضيف إلى الطفيلي .

تتحسس النباتات الطفيلية عائلها من خلال *VOCs* المنبعثة ، ثم تقوم باتباع تدرجات الرائحة . في الساعات القليلة الأولى من الإتصال يقوم النبات الطفيلي بإجراء تقييم للموارد المستقبلية التي يمكن إكتسابها من العائل . فإذا كانت هذه الموارد غير كافية يتم قطع الإتصال به . أما إذا كانت الموارد كافية للإستغلال فإن الطفيلي يقوم بحساب الحد الأدنى من إنفاق الطاقة وذلك لضمان أقصى قدر من الطاقة المكتسبة ، كما يحدد أيضاً ما يحتاجه من تطوير للهياكل للحصول عن الموارد . وذلك يُمكن النباتات الطفيلي من التغذي على عائله على النحو الأمثل . (Trewavas & František , 2011)

درجة الاعتماد على المضيف تختلف بين الأجناس الطفيلية . يمكن للطفيليات الإختيارية Facultative parasites أن تعيش ذاتية التغذية وتتكاثر دون ملامسة مضيفها ، ولكنها تتطفل بشكل مناسب على النباتات المجاورة عند توفرها . في المقابل ، كما يجب أن تتطفل الطفيليات الملزمة holoparasitic على مضيف من أجل إكمال دورات حياتها . ويمكن أن يقتصر تطفلها على التّعرض لجزيئات إشارة المضيف من أجل حدوث عمليّة الإنبات ، على سبيل المثال Striga وهو نبات نصف طفيلي Triphy-saria يحتاج الى عوائل مضيضة من إنبات البذور حتى النضج (Westwood.2010)، يمكن تصنيف النباتات الطفيلية :

- حسب وجود وغياب الكلوروفيل إلى :
 - نباتات كاملة التطفل: وهي لا تحتوي على الكلوروفيل، من أمثلتها نبات الحامول والهالوك
 - نباتات ناقصة التطفل: وهذه النباتات تحتوي أوراقها على الكلوروفيل و تستهلك النسغ الناقص فقط من المضيف ،من أمثلتها نبات العدار
- حسب تطفلها على العائل النباتي :
 - نباتات متطفلة تحت سطح التربة ، وهي تُصيب الجذور أو الأجزاء تحت التربة (طفيليات الجذر (root parasites) كالهالوك .
 - نباتات متطفلة فوق سطح التربة ، تصيب السيقان أو الأفرع (طفيليات الساق stem parasites) مثل الحامول والدبق .

نجد أنّ نبات الحامول المتطفل نبات حولي متسلق ، ساقه خيطي متفرع تمتد أفرعه إلى النباتات المجاورة ، بحيث يتطفل على سيقانها ، من النباتات التي يعتبرها الحامول مضيضة له هي نبات البرسيم ، كما يتطفل الحامول بتسلقه ساق النبات الذي يتطفل عليه ، ومن ثم يرسل ممصّات تخترق أنسجة النبات ويتصل خشب الطفيل بخشب العائل ولحاء الطفيل بلحاء العائل ويبدأ الطفيل بامتصاص الغذاء .

يؤدي تطفل الحامول على أي نبات إلى ضعفه وتقزمه وحتى عجزه عن تكوين الثمار في غالب الأحيان .(الطّالبي ، 2021).

كما نجد أيضاً أنّ نبات المزمارة الهندي الطفيلي *Hypopitys uniflora* يفتقر هذا النّبات إلى الكلوروفيل . ويعتمد كلياً على الشجرة العائل من خلال دخوله عبر شبكة الخيوط الفطرية الجذرية و الجذور المرتبطة بالنباتات الأخرى . (ويفن و آخرون ، 2014)

4.2.2. الإغتيال : علاقة نبات التين الخنّاق بنبات النخيل

التين الخنّاق نبتة متطفلة على فرع شجرة مضيئة ، فهي تحيط بالشجرة التي استضافته وتغطيها تماماً حتى لا يصلها ضوء الشمس و لا الهواء الطلق كما تعزل جذوره جذورها فلا تصل إليها مغذيات التربة أو المياه الجوفية فتموت في جوف التينة الخنّاقة . وذلك عن طريق الطيور التي تسقط بذور التين الخنّاق من بطونها في أعالي أفرع الأشجار ، فتتوافر للبذرة المحاطة بفضلات الطيور كل مايلزمها للإنبات سماء طبيعي يليق قشرتها .(المخزنجي،2019)

تنبت البذرة و تنمو البادرة ، وللبادرة أوراق تنمو إلى أعلى نحو ضوء الشمس ولها نوعان من الجذور ، جذور تنمو حول فرع الشجرة أو جذعها و جذور تتدلى نحو التربة أرض الغابة . تمتص جذور النوع الأول الماء و الغذاء مما يتجمع في شقوق قلف الشجرة ، ولايعني ذلك تطفلاً على الشجرة لأنها لا تمتص منها شيئاً من الغذاء أو الماء ، إنها تنمو عالقة عليها . حتى إذا وصلت جذور النوع الثاني (المدلاة) إلى أرض الغابة ، ووجدت لها مكاناً في تربتها ، ازداد نمو النبات بسرعة وبدأت الجذور تتغلظ وتقوى و تزداد تفرعاتها و التفافها حول الشجرة العمادية حتى تغطيها بشبكة متماسكة قوية . لتبدأ رحلة اغتيال الشجرة العمادية. ليس فقط نتيجة لضيق الشبكة الجذرية حتى لتمنع إطراد نمو الشجرة وتغلظها ، إنما أيضا لأنّ الشبكة تضيق لتحصر الشجرة هصرًا . فالنباتات الخنّاقة تغتال أشجار النخيل وهي أشجار لا تتغلظ جذوعها بل تنمو طولاً . وبينما تموت الشجرة الضحية خنّاقاً تستمر جذور التين الخنّاق في النمو و التغلظ حتى يختفي جذع الشجرة الأصلية (مجموعة باحثين ، 2021)

5.2.2. التّعايش : النباتات من جنس كلوزيا مع أعالي أشجار الغابة

النباتات من جنس كلوزيا تعتمد على شجرة أخرى كسناد تربط نفسها به وترتفع نحو ضوء الشمس ولكنها لا تغتال الشجرة التي اعتمدت عليها كمثل التين الخنّاق بالرغم من تشابه مراحل حياتهما عدا مرحلة اغتيال الشجرة المضيئة . عندما تموت الشجرة المضيئة يبدو أنّ الكلوزيا تموت معها (على أنّ التأكد من ذلك يحتاج إلى مزيد من الملاحظة) . (مجموعة باحثين ، 2021)

6.2.2. الممانعة : نباتات تعلن الحرب على غيرها من الأنواع الأخرى (علاقة لا تعتمد على

التنافس)

هنالك بعض العلاقة المتبادلة بين النباتات لا تعتمد على ظاهرة التنافس بل تعتمد أساساً على أنّ نوعاً معيناً من أنواع النباتات ينتج مادة كيميائية يطلقها إلى التربة و يؤثر بها على نمو غيره من الأنواع و سلامتها . والنباتات التي تعلن على غيرها مثل هذه الحرب قد لا تكون في منافسة معها من أجل الغذاء أو غيره من احتياجات الحياة ، بل يبدو كأن العدا من سلبقتها . ففي إحدى التجارب عندما تمّ زرع

أشجار التفاح في أوعية تروى بماء منصرف عن أصص مزروع بها حشائش . أظهرت النتائج أنّ الحشائش قد أضافت مادة إلى الماء تثبط نمو أشجار التفاح . كما لاحظ أيضا العالم الألماني بود في إحدى حدائق النباتات الطبيّة أن النباتات النامية على جانبي نبات الشيح الرومي كانت إمّا شديدة الوهن أو ميتة . و لم يعزى هذا الأثر إلى ظاهرة التنافس فقد كان هناك شجيرات من أنواع أخرى تماثل الشيح الرومي في الحجم و النمو دون أن يكون لها مثل ذلك الأثر على النباتات المجاورة . توصل العالم إلى أنّ على أوراق نبات الشيح الرومي غدداً شعريّة تفرز مادة تسمى إيسنتين وهي مركب كيميائي يقبل الذوبان في الماء و ذو تأثير سام على بعض الأنواع النباتيّة . فإذا سقط المطر غسل هذه المادة عن الأوراق و أشقظها على التربة ، وكلما تكرر سقوط المطر تكرر تزويد التربة بهذه المادة السامة . أمّا النباتات التي لديها القدرة على احتمال أثر الإيسنتين فهي تستطيع أن تعاش الشيح الرومي . (مجموعة باحثين ، 2021)

VI. تواصل نبات مع كائن مختلف عنه :

1. تواصل نبات -العواشب والحيوانات :

العديد من أشكال التواصل تجمع كلا الكائنين أهمها :

1.1. الإفتراس :

يعتبر النبات الكائن المُنتج الرئيسي ، محتلاً بذلك قاعدة الهرم الغذائي ، إلا أنّ الظروف البيئيّة لبعض المناطق وافتقارها لبعض المواد امرأ يستدعي من النباتات التي لا تكفي بالغذاء الذي تستمدّه من التربة لاصطياد الحشرات و بعض الحيوانات الصغيرة لتحصل على غذائها المتكامل . إلا أنّ ذلك لا يجعل منها كائنات مستهلكة ، فتظل كائنات منتجة تقوم بعملية البناء الضوئي .

بعد عمل عدة دراسات على تلك النباتات ، وُجد أنّ معظمها ينمو في تربة تفتقر إلى النيتروجين ، عند المستنقعات و التُرب الفقيرة وهو عنصر هام بالنسبة للنباتات ، لذلك فإنّ تغذيتها على الحشرات تعوضها عنه.

وقد أثبتت الدراسات أيضاً أنّ النباتات الأكلة للحوم كغيرها من النباتات العادية ، إلا أنّ وجودها في بيئة فقيرة جعلها تلجأ للحشرات والحيوانات الصغيرة كغذاء لها .

حيث تقوم النباتات المفترسة بنصب الفخاخ لصيد الحشرات ، حيث تتميز بأوراق دبقّة ذات ألوان جذابة تجذب الفريسة و تلتصق بها . حتى أنّه هناك نوعاً منها يبدو كأنّ بها نقاط ندى على سطحها وهذا يجذب الحشرة نحوها ، وهو في الحقيقة فخ ، فتلك القطرات ما هي إلا مادة لزجة لصيد

فريستها . وبعضها يعتمد على جذب الحشرات عن طريق إطلاق الروائح المميزة ، فعندما تقع الفريسة في الفخ ، تستخدم تلك النباتات أحد الأسلوبين للإمساك بها إما عن طريق تغير ضغط الماء في أحد جانبي الورقة فتتطبق على الجانب الآخر، وإما أن يكون هناك جزء من الورقة أكثر نموًا من الآخر، فينتطبق عليها. أما بالنسبة لعملية الهضم وامتصاص المواد الغذائية من الحشرة ، فمعظم النباتات الأكلة للحوم تُفرز إنزيمات لهضم الحشرات، أو أنّ بعض البكتيريا الموجودة داخل النبات endophytes تُفرز هذه الإنزيمات الهاضمة (علاقة تكافلية). وهناك بعض النباتات تقوم باصطياد فريستها و لكنّها تنتظر حتى تأتي كائنات أخرى لتلتهمها وتلقي بفضلاتها فتتغذى عليها كغذاء جاهز للامتصاص .

• أشهر النباتات آكلة للحوم:

وفقًا لآخر الإحصائيات ، هناك نحو 600 نوع من النباتات المفترسة ، تتنوع في أشكالها وأماكن وجودها في العالم ، أشهرها :

- نبات ندى الشمس أو ندية رأس الرجاء ، وهو من النباتات المُعمرة التي يكثر وجودها في جنوب إفريقيا في المناطق الرطبة ، يتغذى على الحشرات الصغيرة .
- نبات التنين الأحمر وهو من أشهر النباتات الأكلة للحوم . يوجد في جنوب إفريقيا ، حيث يتغذى على الحشرات والحيوانات الصغيرة كالضفادع و يساعده على ذلك حجم أوراقه الكبيرة وألوانها المميزة التي تجذب الفرائس .
- خناق الذباب ، يوجد هذا النوع بالولايات المتحدة الأمريكية ، خاصةً في ولاية كارولينا حيث المستنقعات وطعامه الأساسي هو الذباب ، النحل والعناكب .

تواجه هذه النباتات تحديًا في منتهى الصعوبة والدقة وهو كيفية نقل حبوب اللقاح للتكاثر، فإذا كانت الحشرات التي هي وسيلة نقل حبوب اللقاح الأساسية هي نفسها جزء من طعام تلك النباتات ، فكيف تتكاثر إذن ؟

أجريت عديد من الدراسات البحثية في هذه النقطة تحديدًا ، فأثبتت أنّ معظم النباتات المفترسة بإمكانها التفرقة بين الحشرات الناقلة لحبوب اللقاح والحشرات التي تتغذى عليها. فالأولى تذهب في اتجاه الزهرة الغنية بحبوب اللقاح ، التي غالبًا ما تكون بعيدة عن الأوراق ، أما الثانية فتتجذب نحو الأوراق التي تحتوي الفخاخ ، فتصطادها النباتات المفترسة وتتغذى عليها . (فاطمة، 2017)

2.1. الدفاع :

تمتلك النباتات مجموعة من الدفاعات الكيميائية العضوية أو غير العضوية ، التي يمكن أن تؤثر سلبًا على العواشب غير المتكيفة . في الواقع تمّ استغلال بعض المواد الكيميائية النباتية ذات الخواص السامة اتجاه الحشرات (مثل بيريثرين) كمبيدات لمكافحةها . من ناحية أخرى تطورت الحيوانات العاشبة مع allelochemicals من خلال تطوير استراتيجيات البقاء مثل عزل السموم النباتية ، زيادة معدلات الإفراز والتغذية على أجزاء النبات الأقل حماية ، أو استخدام إنزيمات إزالة السموم من أجل التغلب على عقبة السموم النباتية الموجودة في وجباتهم الغذائية.

إنّ إنزيمات إزالة السموم هي الأهم لدى العواشب باعتبارها التكيف البيوكيميائي الأساسي للسماح باستهلاك النباتات ذات السمية ، وهي أيضًا آلية رئيسية لمقاومة المبيدات الحشرية ، إلا أنّها قد تواجه عوائق تؤدي إلى إبطاء فاعليتها وكنتيجه لذلك تواجه بعض الحيوانات العاشبة نوبة مؤقتة من العذاب تليها الانتعاش كما هو الحال لدى الخنافس اليابانية *Popillia Japonica* التي تتغذى على أكثر من 300 نوع من النباتات المضيفة في 72 عائلة نباتية على الأقل . من غير المعروف سبب إصابة *P. japonica* بالشلل ، عند التغذية على بتلات نبات إبرة الراعي *geranium* ، أو عند اتباع نظام غذائي صناعي يحتوي على حمض *quisqualic* (QA) وهو المركب الفعّال في نبات إبرة الراعي ، على الرغم من احتواء هذه الخنافس على إنزيمات إزالة السموم النشطة في أمعائها .

تمّ افتراض أن تأثير نبات ابره الراعي *geranium* و حمض QA يتمثل في عدم التحفيز لنشاط إنزيمات إزالة السموم P450 و الجلوتاثيون S ترانسفيراز (GST) و الكربوكسيل إستيراز (CoE) . إلا أنّ تأثير استهلاك نبات ابره الراعي المحتوي على حمض QA ، متمثل في التحفيز البطيء لأنشطة إنزيمات المعى (P450 و GST و CoE) المضادة للسمية والتي من المعتاد أنّ تنشيط في وجود السموم ، ممّا يقلل من فاعليتها بشكر كبير في حماية الخنافس من الشلل الذي سببه حامض QA ، أي أنّ الخنافس تبقى مشلولة مدة من الزمن قدرها 24 ساعة وهي مدة تتزامن مع فترة شفاء الخنافس من الشلل ، وهذا يزيد من فرصة اصطيادها من قبل مفترسيها من الحيوانات . (Adesanya et al.,2017)

3.1. التكافل : نبات نابنط مع حشرة النمل الحفار

إنّ النمل يعدّ من أكثر الكائنات التي تعود بمنفعة كبيرة على النباتات ، وما زالت أنظمة التواصل و المساعدة المتبادلة بينهما تثير دهشة العديد من الباحثين . ألقت دراسة حديثة الضوء على الخدمات التي يقدمها " النمل الحفار " (وهو نوع من النمل يدافع عن بعض أنواع النباتات ، وتوجد بينه

و بينها علاقة وطيدة غير عادية (إلى بعض النباتات آكلات اللحوم ، وخاصة " نبتة نابنط " ، تشكل مصيدتها التي تأخذ شكل الكيس المليء بالشعيرات ، الذي يجعل الضحية تنزلق ولا تستطيع الخروج منه .

تصطاد النبتة الحيوانات عن طريق إفراز بعض الرحيق داخل الكيس ، فينجذب الحيوان و يقع في المصيدة . لكن ، لكي تعمل هذه المصيدة على أكمل وجه ، على النبتة أن تحافظ على نظافة الكيس لكي يساعد على انزلاق الحيوانات بقدر المستطاع ؛ لأنه إذا تراكمت الأوساخ أو الأتربة في الكيس ، ستتشبت بها الحيوانات للنجاة . ومن هنا تظهر أهمية تحالف نبات " نابنط " و " النمل الحفار " القائم على المنفعة المتبادلة .. النبتة تعطي النملة الرحيق و النملة تحافظ على نظافة المصيدة . إذا ، من الواضح أنّ أشرس أنواع النباتات تحتاج إلى تكوين صداقات مع النباتات . (مانكوزو و فيولا ، 2019)

2. تواصل نبات - الكائنات الحية الدقيقة :

إنّ التفاعلات القائمة بين النباتات و الميكروبات جزءاً لا يتجزأ من النظام البيئي ، تتمحور في شكلين أساسيين متمثلين في تفاعلات إيجابية و تفاعلات سلبية .

1.2. تواصل إيجابي :

تعيش مجموعات كبيرة متشابكة من الكائنات المجهرية في التربة، وفي البحار المحيطة بنا، وفي أجسامنا كذلك. وتكوّن هذه الكائنات - بمحتواها الجينومي - علاقات وطيدة مع النباتات التي تسكن معها، حيث يمكن لها أن تُحسّن من امتصاص الغذاء فيها، وأن تعزز من نموها، ومقاومتها لمسببات الأمراض، وكذلك الآفات والضغوط البيئية. (Beattie, 2015)

نجد أنّ أقدم اكتشاف للعلاقة التكافلية بين النباتات و الميكروبات كان في جذور الشجرة المُتحرّجة *Amyelon radicans* (Hyde et al., 2008) . حيث تحظى كلُّ من الفطريات و البكتيريا الداخليّة *endophytes* باهتمام خاص و ذلك لما تملكه من مميزات ، التي تعود بالفائدة على عوائلها بتحسين نموها بطريقتين متكاملتين :

- طريقة مباشرة وتشتمل على :

إنتاج الهرمونات النباتيّة المنظمة للنمو (*gibberllins* و *cytokinins auxins*) ومن أمثلة ذلك الفطر الداخلي *Fusarium SPP* ، الذي يعمل على زيادة نمو *Euphorbia pekinensis* من خلال انتاجه لهرمون GB و IAA (Daiet al., 2008) . بالإضافة الى البكتيريا الخيطيّة *Streptomyces hygrosopics TP A045* التي عُزل منها نوعين من أحماض البتريديك A و

B (Pteridic acids) ذات التأثير المماثل لهرمون IAA حيث يعملان على زيادة طول و تشكل الجذور العرضية . (Igarashi ،2004)

المساهمة في تحسين إمتصاص العناصر الغذائية كتنشيط الأزوت الجوي بواسطة البكتيريا العُقدية و زيادة جاهزية العناصر .

(Compant et al، 2005; Kannan et Sureendar, 2009; Nimoni et al, 2010; Sun et al, 2009)

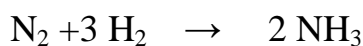
• طريقه غير مباشره تتمثل في :

إنتاج الكائنات الحية الدقيقة الداخلية endophytes لعوامل المقاومة ضد الكائنات الحية الممرضة للنبات وبالتالي تعزيز نموه ، فهي تُعتبر مصدر للمركبات الطبيعية ذات النشاط البيولوجي ضد ميكروبية (Zhao et al., 2010 ; Zhao et al., 2011) ، مستقلبات ذات نشاطية مضادة للسرطان (Chaeprasert et al ، 2010 ; Igarashi et al., 2007) ، مستقلبات ذات نشاطية مضادة للإلتهابات (Deshmukh et al., 2009 ; Thongchai et al., 2009) ، إضافةً إلى ذلك مستقلبات ذات نشاطية مضادة للأكسدة . (صدراتي 2011 ؛ Srinivasan et al., 2010)

1.1.2. أمثلة عن التّواصل الإيجابي :

1.1.1.2. تكافل نبات - بكتيريا:

يتعرض نتروجين التربة إلى فقد مستمر نتيجة للعمليات الحيوية وغير الحيوية ، منها الغسيل واختزال وانطلاق الأزوت ، وكذلك ما تأخذه المحاصيل . تتوقف خصوبة التربة و إنتاجيتها علي مقدار ما يعوض من هذا العنصر، بإضافة الأسمدة النتروجينية المعدنية والعضوية ، كذلك ما تضيفه بعض أكاسيد الأزوت المتكونة في الجو بواسطة البرق والرعد وأيضا إشعاع UV في الجو حيث يتحد النتروجين والأيدروجين مكونا الأمونيا ، غير أنّ كل هذا لا يُعوض إلا نسبة ضئيلة من العنصر الأساسي النتروجين مقارنةً بما تفقده التربة ، يتمثل العامل الجوّهي لتعويض هذا النقص في الإستغلال الأمثل للمصدر الجوي له ، إلا أنّه لا يمكن للنباتات استيعابه في صورته الجزيئية مباشرة ، بيد أنّه يُصبح متاحًا من خلال عملية التثبيت البيولوجي التي طوّرتها الخلايا بدائية النواة Procaryota ، والتي تحتوي على انزيم النيتروجيناز Nitrogenase ، الذي بدوره يعمل على تثبيت النتروجين الجوي بطريقه حيوية وفق التفاعل التالي :



إنّ هذا التثبيت النيتروجيني الذي تحظى به النباتات مصحوبًا بإمدادات غذائية للبكتيريا المثبتة، فكلاهما جزء من العلاقة التكافلية القائمة بينهما على أساس المنفعة المتبادلة ، فالنبات يمد الميكروب بما يحتاجه من المواد العضوية وغير العضوية اللازمة له ، بالمقابل يتلقى هو كذلك الإمداد بعنصر النتروجين ضمن ما يسمى بالعقد الجذرية والتي يتطلب تكوينها تخصصًا في البكتيريا ، بحيث تختلف أنواعها حسب النوع النباتي ، فلكل نبات أو مجموعة من النباتات جنس معين يُكون العقد الجذرية عليه ، أما باقى الأنواع البكتيرية فإنها غير قادرة على غزو هذا النبات ، أو قد تغزوه ولكنها تكون عُقدًا ضعيفة غير قادرة على تثبيت النتروجين ، تسمى مجموعة النباتات البقولية التي تغروها نوع واحد من البكتريا العقدية باسم مجموعة تبادلية التلقيح Cross inoculation group ، مثل مجموعة البسلة و هي تضمُّ نبات البسلة والفول العادى والعدس .. الخ ، تشترك في نوع البكتيريا العقدية *Rhizobium Ieguminosarum* المكونة للعقد الجذرية عليها .

ومن صور التّكافل في العقد الجذرية نجد :

- التّكافل بين بكتيريا الريزوبيا والنباتات البقولية *Rhizobium-legume symbiosis* كما في نبات البرسيم وفول الصويا .

- التّكافل بين بكتيريا الريزوبيا والنباتات غير البقولية *Rhizobium-non legume*

symbiosis كما في نبات *Trema cannabina* ، نبات الباراسونيا الموضحة في الوثيقة (12)
(web/site:06)

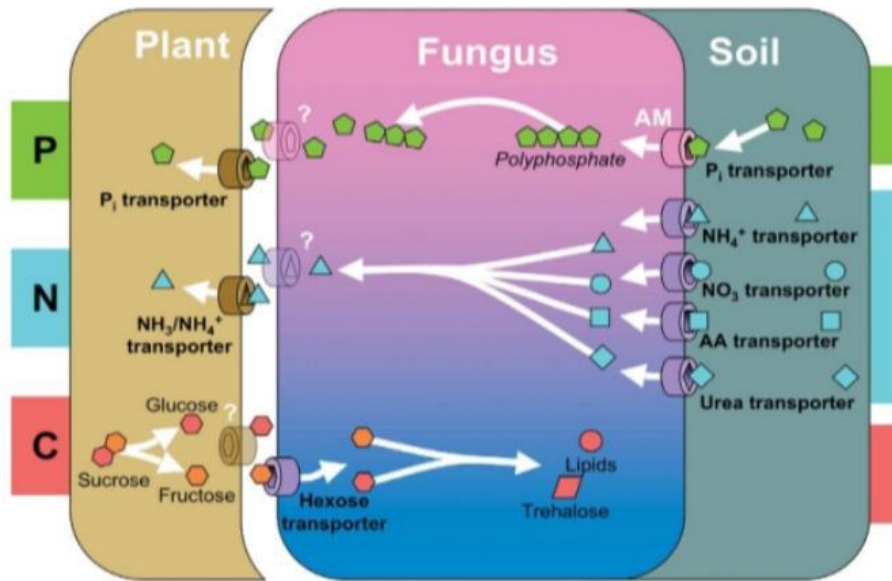


الوثيقة (12) : مراحل تطور العقد جذرية للرايزوبيا في نبات باراسونيا (a) نبات حديث

التعقيد- (b) عقد جذرية متوسطة و (c) عقد جذرية قديمة . (web/ site :06)

2.1.2.2. تكافل نبات - فطر :

قد يتسنى للنباتات إقامة علاقة تكافلية تحت تربتها ، والتي يمثل فيها الفطر الطرف الثاني بحيث يطلق على هذه الفطريات المتكافلة بالفطريات الجذرية mycorrhizae (بدون إسم، 2012)) مصطلح mycorrhizae مشتق من الكلمات اليونانية الفطريات و الجذر) ، هذه الأخيرة تضمن ارتباطها بجذور النباتات الراقية ، بل أكثر من 90% من الأنواع النباتية ، بما في ذلك أشجار الغابات والأعشاب البرية والعديد من المحاصيل . ويستفيد كلا الشريكين من العلاقة ، فالفطريات الجذرية تحسن الحالة الغذائية للنباتات المضيفة ، وتؤثر إيجابياً في تغذية المعادن وامتصاص الماء ، النمو ومقاومة الأمراض ، في المقابل تستفيد هي كذلك من المغذيات ذات المصدر النباتي لمواصلة نموها وتكاثرها ، كما هو موضح تبادل المنفعة النباتي - الفطري في الوثيقة (13) ويمكن أن تطور هذه الفطريات mycorrhizae شبكة خيطية واسعة في التربة تسمى الشبكة الخشبية الواسعة - thread-like filaments of fungi، التي تعمل على ربط مجتمعات نباتية كاملة لتوفر نقلاً أفقياً فعالاً للمغذيات (Bonfante, 2010) و تضمن وصول رسائل تحذيرية لتفعيل الدفاع المبكر لدى النبات المجاور(05:web site)-



الوثيقة (13) : تبادل المنفعة ضمن العلاقة التكايفية بين النبات والفطر . (Bonfante &)

(Genre, 2010)

2.2. تواصل سلبي :

صحيح أنّ العديد من الكائنات الحيّة الدقيقة تعود بالمنفعة على النباتات ، إلا أنّ هذا لا يغطي حقيقة إساءتها إليها ولا يقلل من خطر هذا الكائن الطفيلي ،كمسبب مرضي أساسي لدى النبات .

1.2.2. أمثلة عن التواصل السلبي :

1.1.2.2. تطفل بكتيريا على نبات :

لقد تمّ اكتشاف حقيقة هذه الآفة البكتيريّة كمسبب مرضي لأول مره سنة 1878 على يد العالم توماس بوريل ، عند اصابة أشجار الكمّثري بمرض اللفحة الأمر الذي أدى إلى هلاك آلاف الأشجار المزروعة. (جهاد & محمود ، 2010)

ومن أمثلة عن الأمراض البكتيرية التي تصيب النباتات هو مرض تبقع حواف أوراق الخس Marginal Leaf Spot of Lettuce والمسبب المرضي له *Pseudomonas marginalis* ، وكذلك مرض التبقع العادي في الفاصوليا بسبب *Xanthomonas phaseoli* ، و أيضاً مرض التخطيط البكتيري في القمح و الشعير وسببه *Xanthomonas translucens* . (بدون إسم ، 1993)

2.1.2.2. تطفل فطر على نبات :

كثيرة هي أمثلة النباتات المتضررة بسبب الفطريات الطفيلية ومن بينها نبات الطماطم *Lycopersiconl esculentum Mill* ، حيث يعد من محاصيل الخضر شائعة الانتشار في مختلف دول العالم لأهميته الغذائيّة و الاقتصادية ، إذ يقدر الإنتاج العالمي السنوي لهذا المحصول 183 مليون طن بقيمة 77 مليار (07 : web site)

ومن أهمّ محددات زراعته وإنتاجيته هو تعرضه للتّطفل من قبل العديد من الآفات الزراعية منها الفطريات التي يأتي فطر الفيوزاريم في مقدمتها (Agrios, 2005; Leslie & Summerell, 2006)، وهو من المسببات المرضية التي تحدث ضرراً للنبات وخسائر اقتصادية كبيرة لهذا المحصول (Silva & Bettiol,2005). إذ يعد مرض الذبول الفيوزارم الناتج عن الفطر *Fusarium oxysporum f.sp lycopersici* سبباً لهلاك النباتات التي تُزرع في الحقول والبيوت المحميّة خاصة المناطق الدافئة من العالم، حيث تتراوح نسبة الخسائر نتيجة الإصابة بهذا المسبب بين 50-10 % من الخسائر الإجمالية لهذا المحصول (Silva and Bettiol, 2005 ؛ Borrero et al,2004)

كما أنّ هذا الممرض يُصيب نباتات الطماطم في جميع مراحل نموها ، إذ تظهر الإصابة على البادرات والنباتات الكبيرة مسببة ذبولها أو موتها (مجيد، 1994 ؛ Decal et al., 1997) فضلاً عن أنّ الفطر يمكنه إصابة الثمار و يتسبب في تعفنها وتساقطها ومن ثمّ تلوث البذور بالمسبب المرضي ، وهذا يزيد من حدة الآفة . (Agrios , 2005)

3. تواصل نبات- فيروس:

1.3.1. تواصل إيجابي :

ليس من الجيد التقيّد الصّارم بالتعريفات ، فهو أمر قد يؤدي إلى إلغاء الاهتمام بالجوانب الأخرى. ما نقصده هنا هو انحصار مفهوم الفيروس على أنه مسبب مرضي (Roossinck , 2010) ، إلا أنّه من المحتمل أن تقدم الفيروسات لمضيفها ميزات عديدة و أهم الأسباب التي تجعلها تقوم بهذا السلوك الغريب وغير مألوف هو أنّها تفضل العيش في جسم نباتي سليم . Roossinck (2005)

من الأدلة التي تثبت أن تأثير الفيروسات لا ينحصر على السلبية فقط بل هناك جوانب ايجابية عديدة:

- يشير التحليل الوراثي لجينات RNA إلى أن هناك فيروسات قد إنتقلت بين النباتات والفطريات. اي أن تلك الفيروسات ارتادت كلا المملكتين النباتيّة والفطريّة ولا تتخذ نمط حياة ثابت .
- أيضا هناك فيروس يجعل عشب *Dichantheium lamginomm* وفطر من عائلته *pleoporacea* أكثر تحملاً للحرارة . (Márquez et al., 2007)
- كما يمكن للفيروسات الحادة أن تؤثر في تحليل نسبي لمستعمرات البكتيريا *Rhizobium* في البرسيم الأبيض، أي أن النباتات قد إختارت جينات الفيروسات لأغراضها الخاصة.
- بالإضافة الى ذلك وجد أن إحدى عمليات التفاعل بين فيروسات النبات والكائنات الحيّة المضيفة لها ينتج عنها مستوى دفاعي ضد الأحماض النوويّة الأجنبيّة . (Dunoyer , 2005)

على مستوى تواصل النبات مع الكائنات المختلفه عنه فإنّه يمكن أن تنشأ علاقة بين أكثر من طرفين (نبات – كائن مختلف عنه) ومن هنا يندرج مستوى تواصل آخر يدعى بالتواصل متعدد الأطراف .

2.3. تواصل سلبي :

نظرًا إلى أنّ الفيروسات لا يمكنها العيش بمفردها وأنّ ذلك يتطلب وجودها داخل خلايا كائنات أخرى كالحیوان والبكتيريا وكذلك النبات مسببةً بذلك لهم العديد من الأمراض ، لذا فهي تُعد من مسببات الأمراض وهذا يرجع إلى تسميتها بالفيروس ، الذي يعني السم بحد ذاته ، فهي تعود بالسلب على جميع عائلتها لانحصار أسلوب حياتها على التطفل في غالب الأحيان .

العديد من الفيروسات تتطفل على النباتات مشكلة آفات مرضية عليها ومن أمثلة ذلك الشاركا أو ما يسمى بفيروس جذري الخوخ وهو أحد أفراد جنس *Potyvirus* من عائلة فيروسات *Potyviridae* ويمثل أحد أخطر أمراض فاكهة النّواة . ويستهدف هذا المرض الفيروسي النباتات المنتجة لجنس برونوس *Prunus* ،متسببا في إحداث أضرار كبيرة لفاكهة المشمش *P. armenianca* ، البرقوق الأوروبي *P. domestica* ، البرقوق الياباني *P. salicina* والخبوخ *P. persica* كونه يقلل من جودتها بشكل عام ويتسبب في سقوط الثمرة قبل نضجها . وينتقل هذا النوع من الفيروسات في الحقول في فترة وجيزة عن طريق حشرة المن ، ولكن حركة المواد النباتية المصابة تمثل الطريقة الرئيسية التي ينتشر بها الفيروس على مسافات بعيدة (بدون إسم ، 2012)

VII. تواصل متعدد الأطراف :

1. التكافل الثلاثي فيروس – نبات – فطر :

يسمح الارتباط المتبادل بين الكائن الفطري *Curvularia protuberata* الذي يتبع عائلة *pleoporacea* وعشب *Dichanthelium lamginomm* بالنمو في درجات حرارة التربة المرتفعة تصل إلى 65 درجة مئوية ، إلا أنّ هناك طرف ثالث يدعم هذه العلاقة متمثل في فيروس التسامح الحراري *Curvularia thermal tolerance virus (CThTV)* ،الذي يعيش على فطر *Curvularia protuberata* ، فبمجرد عزله يفقد كل من النبات والفطر خاصية التحمل للحرارة ولإثبات أنّ دور الفيروس لا يكون فعالاً للنبات إلا في وجود الطرف الوسيط وهو الفطر . تمّ حقن هذه الفيروسات داخل العشب ، فلم يعطي ذلك أي نتائج بخصوص تحمل النبات للحرارة ، أي أنّ هذه العلاقة تقتضي وجود الأطراف الثلاثة (فطر *Curvularia protuberata* ، عشب *Dichanthelium lamginomm* ،فيروس *Curvularia thermal tolerance virus (CThTV)*) لتحقيق المنفعة المتبادلة . (Márquez et al.,2007)

2. الحرب البيولوجية :

تنوعت الأساليب الدفاعية في النبات ،حتى أنها خرجت عن الإطار المألوف (دفاع ميكانيكي ،دفاع كيميائي) وصولاً لاستخدامها لكائنات حيّة كوسائل دفاعية ضدّ أعدائها ، باعتبارها السلاح الفعّال ضدّهم، حيث أنّ العديد من الكائنات الحيّة يمكنها أن تكون جزءاً من هذا التفاعل أو العلاقة التواصلية التي يشكل فيها النبات المحور الأساسي . (Halpern , 2007)

1.2. أمثلة عن الحرب البيولوجية :

1.1.2. نبات - بكتيريا - العواشب الكبيرة :

تحتوي العديد من النباتات على البكتيريا على مستوى أشواكها التي تعتبر وسيلة دفاعية ميكانيكية لديها ، و بالتالي فإنّ إصابة الحيوانات العاشبة بهذه الأشواك أمر يستدعي بالضرورة إصابتها بهذه البكتيريا الممرضة ، هذه الأخيرة تزيد من خطورة تلك النباتات في نظر العواشب الكبيرة .

2.1.2. نبات - عواشب - عواشب :

توفر العديد من النباتات أماكن مخصصه فيها لإيواء النمل وفي المقابل يوفر النمل لها الحماية من العواشب ويزودها احياناً بالمغذيات (Mayer , 2014) . من الأمثلة النباتية المحققة لهذه العلاقة التكافلية أشجار *Cordia nodosa* . (Frederickson , 2012)

تطلق النباتات VOCs بغرض الدفاع والتّحذير ، حيث أنّ بعض هذه المركبات أظهرت فعاليتها في جذب المفترسين لمهاجمة العواشب النباتية من نفس الفصيلة (دفاع غير مباشر) ومن أمثلة ذلك نبات الفاصوليا (Mithöfer , 2005) ونبات الطّماطم (Kant ؛ Pearce & Ryan , 2003) (et al.,2004) كما يمكنها جذب عواشب من فصائل مختلفة كما هو الحال في نبات الفاصوليا المهاجمة من طرف المن (Guerrieri et al.,2002) وبالتالي فإنّ استخدام النبات (كائن بيولوجي) لكائن حي آخر (كائن بيولوجي) ضد أعدائه (كائنات بيولوجية) يحقق ما يعرف بالحرب البيولوجية .

VIII. العلاقة بين النباتات و الملقحات :

إن اجتماع نباتين مزهرين مربوطين في الأرض بجذورهما من أجل التزاوج يبدو مستحيلاً مالم يتدخل طرف ثالث ليحمل حبوب اللقاح من زهرة إلى الميسم في زهرة أخرى . قد يتولى هذه المهمة الريح أو تيارات الماء أو الحشرات أو غيرها من الحيوانات . ويكون في هذا العمل فائدة لمن يحمل اللقاح . (مجموعة باحثين ، 2021)

تعتبر الحشرات من بين الحيوانات الرئيسية التي تقوم بعملية التلقيح ، كما تقوم الطيور الطنّانة أيضا بهذا الدور ، وأهم الحشرات التي تقوم بعملية التلقيح هي نحل العسل و النحل الطنّان و الفراش والدبابير و الخنافس . (نسلتوت و آخرون ، 2002)

هنالك بعض النباتات تستخدم استراتيجيات أخرى تضمن عملية تلقيح مثاليّة تعتمد على خداع الحشرات عبر إجبارها على نقل حبوب اللقاح دون أن تعطىها أي مقابل ومن أمثلة هذه النباتات الفصيلة السحليّية والتي حسب التقديرات فإنّ ثلث هذه الفصيلة يعتمد هذه الإستراتيجية. (مانكوزو و فيولا ، 2019)

الأزهار مختلفة الأشكال و الألوان و التركيب وغير ذلك من الصفات التي تتناسب مع طرق اللقاح المختلفة . فالأزهار تستخدم وسائل عديدة من أجل إغراء و جلب الملقحات ، فبالنظر إلى الأزهار التي يتم تلقيحها بالريح فهي ليست لها ألوان زاهية و لا روائح خاصة و لا رحيق ولا غيرها مما يجذب الملقحات إليها. (مجموعة باحثين ، 2021)

نبات زهرة المظلة زهرته غريبة تمتلك بتلات مدموجة أي مصهورة . تشكل الزهرة أنبوباً مبطناً بشعر صغير يشير إلى الأسفل ، بحيث تنجذب الحشرات إلى النبات أي تنجذب إلى الرائحة الكريهة للنبات وتنحصر داخله . لا تستهلك الزهرة الذباب ، مع ذلك فهي تمسك بها حتى يذبل شعرها و عندما تهرب الحشرات تكون مغطاة بلقاح الزهرة . (النعيمي ، 2021)

زهرة نبات زهرة البجع جميلة في غرابتها ، حيث تحتوي على غرف كبيرة متضخمة و أنماط معقدة متشابكة من العروق الملونة . لكن يمتلك رائحة الفأر الميت هو ليس من آكلي لحوم الفئران لكنّه تستخدم رائحة القوارض المتحللة لجذب الملقحات . أيضا زهرى نبات زنبق أروم الحصان الميت هي زهرة عملاقة تحمل رائحة اللحم الفاسد ، والتي تهدف إلى جذب أنثى الذباب التي تلتقطها داخل تجويفها المنتفخ وتمسك بها خلال أول ليلة لها بعد الإزهار . وبعد ذلك تحرر الذباب مغطى بحبوب اللقاح ، حيث يقوم الذباب بالانتقال إلى النباتات المجاورة . (النعيمي ، 2021)

أزهار الأروم تحرم الذباب من الرحيق و تحبسه في التويج مدة يوم أو يومين و تغمرها بحبوب اللقاح . فهناك بعض العلماء من يصف الذباب أنه لا يتسم بالمهارة في علاقته مع الأزهار . (مجموعة باحثين ، 2021)

IX. نباتات تستخدم الحيوانات لنشر بذورها :

تستخدم النباتات الحيوانات لنشر بذورها . فهناك الكثير من الكائنات الحيّة التي تقوم بعلاقات مع النباتات بدءًا من الطيور حتى الأسماك و الفئران وحتى النمل ، بالإضافة إلى العديد من الثدييات حتى و إن كانت ذات أحجام كبيرة . تستخدم النباتات الثمار كوسيلة لإقناع الحيوانات بنقل بذورها . فهناك بعض النباتات تقوم بإنتاج بذور تلتصق بها كرات دهنيّة تسمى *Elaiosoma* ، وهي تركيبية تمنح كمًا كبيرًا من الطاقة و عبر تبادل المنفعة بينهما فإنّ النملة تأخذ البذرة و تنقلها إلى العش ثم تأكل الكرات الدهنيّة و تترك البذرة هناك ، أي في منطقة رطبة و محصنة و غنيّة بالأسمدة و مناسبة تمامًا لنمو البذرة . (مانكوزو و فيولا ، 2019)

تستخدم أشجار التين البرازيلي الخنّاق الطيور و الخفافيش لايصال بذورها إلى الفروع العالّية و ذلك عبر أكل الثمار و حمل البذور إلى المواضع المرتفعة . (مجموعة باحثين ، 2020)

في غياب ضوء الشمس عن بقع تُلقِي عليها الطيور ما في بطنها من بذور التين، لا تنمو النبتة ولا تثمر. لكن بعض البذور تُسقطها بطون الطيور على أفرع عالية لأشجار سامقة في الغابة المطيرة المزدهمة، وهذه لارتفاعها تنال و فرةً من ضوء الشمس، فتتوافر للبذور المحاطة بفضلات الطيور كل ما يلزمها للإنبات، سماء طبيعي يلين قشرتها فتفتق عن نبتة. (المخزنجي، 2019)

تشكل ثمار الأكاسيا *Acacia sp* والققعاق *Lagonychium sp* في المناطق الجافة والشبه الجافة مادة غذائيّة مهمّة للحيوانات ، الأمر الذي يساعد على انتشار بذورها و ترقيع قصرتها و ذلك بعد خروجها من الجهاز الهضمي للحيوانات ، وهذا يجعلها أكثر إنفاذًا للماء فيسهل إنباتها . (نسلتوت و آخرون ، 2002)

X. التواصل وما ينتج عنه :

جدول (08) : أهم ماينتج عن علاقة النباتات مع الأنواع المختلفة

المراجع	الأمثلة	نوع العلاقة
(Delory et al.,2016)	تستخدم النباتات VOCs كوسيلة لتبادل المعلومات بينها وبين النباتات أو الكائنات الأخرى .	تبادل المعلومات
(Sugimoto et al.,2014)	الإشارات التي تُرسلها النباتات التي تعرضت للهجوم تحوّلها النباتات المتلقية إلى أسلحة دفاعية .	تمرير ذخيرة
(Delory et al.,2016)	VOCs المنبعثة من النباتات المتضررة ميكانيكياً أو التي تعرضت للهجوم من الحيوانات الآكلة للعشب ، تعمل على تحذير النباتات المجاورة و/أو باقي أجزاء النبات نفسه وذلك من أجل استجابة أسرع و أكبر للإجهاد الميكانيكي اللاحق أو هجوم الحيوانات العاشبة . ممّا يتيح ذلك للنباتات المستقبلية استجابة بشكل أكثر كفاءة عند تعرضها للهجوم .	التنبه
	وذلك بإرسال VOCs عبر الجو تعمل على جذب الحشرات التي تتغذى على الحشرات المهاجمة على النبات .	الإستغاة
(Trewavas,2009)	بعد نعرض النبات لهجوم من آكلات العشب فإنه يُنشئ ذاكرة طويلة الأمد من أجل الهجمات المستقبلية لرد فعل سريع وأكثر فعالية .	اكتساب ذاكرة
(Biedrzycki et al.,2010)	تميز الجذور الذات و اللادات و تحدد الأقارب عبر المركبات الكيميائية المطلقة في التربة .	تمييز الأقارب

.XI ماينتج عن علاقة النباتات بالأنواع الأخرى :

يطلق على السلوك الذي يقوم به أحد الأنواع دون أن يجلب له منفعة خاصة إلا تثبيط نوع آخر اسم الممانعة Amensalism، على سبيل المثال تقوم جذور بعض أشجار الجوز بإطلاق مواد كيميائية سامّة لجذور أشجار أخرى، أمّا المعايشة Commensalism فهي عكس ذلك، حيث يستفيد كائن حي من كائن آخر دون أن يضره، و التنافس Competition هو تفاعل بين نوعين يعملان على حساب بعضهما البعض، بينما التكافل Mutualism هو علاقة منفعة تبادلية بين نوعين مثل التكافل Symbiosis، أمّا الحياد Neutralism فيترك كلا النوعين دون تأثير، و أخيرا يتضمن كل من الافتراس Predation، و التطفل Parasitism نوعا يحقق استفادة على حساب نوع آخر . (نسلتوت و آخرون، 2002)

جدول (09) : أهم أنواع العلاقات بين النباتات و الأنواع الأخرى من النباتات و الكائنات المختلفة عنها

المرجع	أمثلة	نوع العلاقة
• (مجموعة باحثين، 2021)	• نباتات جنس كلوزيا مع أعالي أشجار الغابة .	تعايش
• (مجموعة باحثين، 2021)	• أشجار التين البرازيلي الخنّاق مع الطيور و الخفافيش. • بكتيريا الريزوبيا و البقوليات . • نبات النابنط مع النمل الحفّار.	تكافل
• (يحي، 2011) • (مانكوزو و فيولا، 2019)	• نبات المزمّار الهندي مع الخيوط الجذريّة للأشجار	تطفل
• (ريفن و آخرون، 2014) • (نسلتوت و آخرون، 2002)	• نبات الحامول على سوق البرسيم • نبات الهالوك على جذور الفول	

<ul style="list-style-type: none"> ● (أحمد ، 2016) 	<ul style="list-style-type: none"> ● النباتات الآكلة للحوم مع الحشرات التي تصطادها ● مثل نباتات الجرة الإستوائية و نبات فينوس صائد الذباب و نبات ناعور الماء . 	<p>افتراس</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● (مجموعة باحثين ، 2021) ● (Islamand,2020) 	<ul style="list-style-type: none"> ● نبات الشيح الرومي مع النباتات المجاورة . ● أشجار الجوز الأسود مع النباتات المجاورة . 	<p>الممانعة</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● (المخزنجي ، 2019) 	<ul style="list-style-type: none"> ● إغتيال أشجار التين البرازيلي الأشجار المضيفة . 	<p>إغتيال</p>

الفصل الثالث

آليات الدفاع عند النباتات

مدخل:

تعتبر النباتات الأساس لاستمرار وجود الكائنات الحيّة الأخرى كونها تمثل مصدر إنتاج المادة العضويّة، أي أنّ جميع الكائنات الحيّة تعتمد بصورة مباشرة أو غير مباشرة في تغذيتها على النباتات . و ممّا لا يخفى أن هنالك أعداد هائلة من الحشرات بصورة خاصة والحيوانات والمسببات المرضية الأخرى عموماً تهاجم النباتات لأغراض مختلفة ، لذا كان من الضروري أن يكون للنبات وسائل دفاعيّة لإثبات وجوده وضمان بقاءه ، فبُردم من أنّ الكائنات المهاجمة في تطور مستمر مع أغلب ما تظهره النباتات من أساليب دفاعيّة ، فالنبات يواصل في انتهاج أساليب جديدة و فعّالة في صدها. ويعود الفضل في ذلك بدرجة معينة للمرونة الجينيّة ، كما قد يكون للتفاعلات النباتيّة مع غيرها من النباتات أو الكائنات الحيّة الأخرى دور في تنوع الأساليب والإستراتيجيات التي يُبديها النبات .

وبالتالي فإنّ للنبات أساليب و استراتيجيات وطرق دفاعيّة عديدة ، منها ما هو موجود في النبات ومنها ما هو مكتسب بالضرورة للتعامل مع الوضع . و نظراً إلى أنّ الدفاع في النبات يعتمد على آليات ووسائل تختلف حسب طبيعة ودرجة خطورة الكائن الذي يتعرض له ، فهو ينقسم إلى جزئين رئيسيين :

- الدفاع ضد مسببات الأمراض .
- الدفاع ضد الحيوانات والعواشب.

الجزء الأول: الدفاع ضد مسببات الأمراض

كون النبات عرضة للإصابة بالأمراض فإن الله تعالى قد منحه القدرة على الدفاع عن نفسه ويعتمد ذلك بدرجة معينة على تركيبه الوراثي ، حيث تعمل النباتات المقاومة على منع أو الحد من تقدم الممرض إما بطرق غير مكتسبة وجدت به منذ الخلق أو نشأت بطريقه مستحثة بفعل المهاجمة كوسائل تركيبية ترجع إلى الشكل الظاهري أو التركيب التشريحي ،او وسائل كيميائية لوجود مواد معينة تثبط الممرض (Web/Site:09) . وقد ينشأ الدفاع عن طرق مكتسبة نتيجة دخول النبات علاقة تكافلية مع كائنات حية دقيقة تعيش بداخله يطلق عليها endophytes . (صدراتي، 2011)

I. الطرق الدفاعية غير مكتسبة :

1. الوسائل الدفاعية التركيبية :

يعتبر السطح الخارجي للنبات هو الخط الدفاعي الأول ضد المسببات المرضية ،حيث أنه يشكل العائق الذي يتحتم علي الطفيلي اختراقه ومن أمثله كمية ونوع الشموع ، الكيوتيكل ، تركيب خلايا البشرة وحجمها، الحويصلات التلويزية ،طبقة الانفصال (الوكيل، 2010) قد تكون وسائل المقاومة هذه موجودة بالفعل في النبات غير مقترنة بوجود مسببات مرضية فهي بذلك غير متخصصة بمرض محدد و يرتبط بعضها بمقاومة النباتات الكبيرة ، كما قد تكون مُستحثة بفعل المهاجمة المرضية ،حيث أن هذا النوع من الاستجابة الدفاعية أكثر تخصصا وفعالية في الحد من تقدم العامل الممرض متضمنا لأهم الآليات التي صنفت على أنها أعلى درجات للمقاومة . (Web/Site:09)

الجدول(10) : مختلف الوسائل الدفاعية التركيبية في النبات

المرجع	الدور	الوسائل الدفاعية التركيبية	
(Web/Site:09)	هي الطبقة التي تعلق البشرة متكونة من الكيوتين و هو عبارة عن مواد معقدة يصعب تحليلها من قبل الفطريات التي تحدث الإصابة باختراق خلايا النبات ، وتتميز النباتات المقاومة بأن تلك الطبقة تكون أكثر سمكاً عن مثيلتها في النباتات القابلة للإصابة	سمك طبقة الكيوتيكل Structure of epidermal cell walls	التكوينية (موجودة مسبقاً)
	وهي مواد معقدة يصعب تحليلها بواسطة الفطريات ،كما أن الشموع كارهة للماء و بالتالي فإن قطرات الماء بما يمكن أن تحمله من خلايا بكتيريا و جراثيم، فطريات، لا	طبقة شمعية Surface Waxes	

	تستقر على سطح تلك الأوراق مما يقلل من فرصة حدوث الإصابة		
	يتغلظ الجدار بمواد يصعب تحليلها بواسطة الممرضات ، وعلى ذلك فإن تلك النباتات تكون على درجة من المقاومة للفطريات التي تحدث الإصابة في عائلها بالاختراق	سمك الجدار الخارجي لخلايا البشرة Thick cell walls	
	تركيب فتحة الثغر و صغر حجمها و كذا صغر حجم العديسات امر لا يسمح بدخول العدوى في حالة الفطريات كما أنها تمنع دخول قطرات الماء العالق بها خلايا البكتيريا ، كما وجد أيضا أن أصنافا من القمح تكون مقاومة للأصداء لتأخر انفتاح الثغور في الصباح مما تؤدي إلى جفاف الندى قبل انفتاح الثغور و إحباط عملية العدوى .	صغر حجم الثغور و العديسات Size of stomata and lenticels	
	تم اقتراح أن طبقة الشعيرات تعمل على اعاقه عملية استقرار العدوى على سطح البشرة و إعاقه عملية الالتصاق و إرسال الممصات.	طبقة كثيفة من الشعيرات Leaf Hairs	
	هي استجابة نسيجة سريعة لعزل الممرضات عن الأنسجة السليمة،كونها طبقة عازلة للسوائل و الغازات و يصعب تحليلها .	تكوين طبقات الفلين Formation of Cork Layers	
(الوكيل، 2010)	تذوب الصفيحه الوسطى بين طبقتين من الخلايا ليتكون نتيجة ذلك فراغ يؤدي الي الانفصال التام للجزء المصاب .	تكوين طبقة الانفصال Formation of Abscission layer	المستحثة بفعل المهاجمه
(Web/Site:0 9)	الصموغ عبارة عن مواد كربوهيدراتية معقدة يصعب تحليلها بواسطة الفطريات و البكتيريا ، وعلى ذلك فإن مقاومة النبات قد ترجع إلى سرعة استجابته بتكوين الصموغ وترسيبها في الفراغات بين الخلية و داخل الخلايا .	ترسيب الصموغ Deposition of	
(الوكيل، 2010)			

		gums	
(Web/Site:0 9)	تحدث الزيادة في السمك نتيجة لحدوث ترسيبات من مواد يصعب تحليلها بواسطة الفطريات كاللجنين .	ازدياد سمك الجدار الخارجي لخلايا البشرة of Thickening the cell wall	
	هي امتدادات للجدار الخلوي تقوم بتغليف و محاصرة الفطر الغازي ، و هي تتكون من الكالوس و اللجنين و يصعب تحليلها بواسطة الفطريات ، وتتوقف كفاءة عملها على النوع النباتي .	تكوين الحليمات Papillae formation	
(Web/Site:0 9)	<ul style="list-style-type: none"> • هي امتدادات لخلايا برانشيما الخشب من خلال النقر إلى داخل الأوعية،اي تشكل حاجزا أمام تقدم المسببات المرضية، صحيح أن هذه الحويصلات فعالة إلا أنها قد تكون سببا في سد الأوعية الناقلة و بالتالي قد تسهم في إحداث الذبول. • تعتبر هذه الاستجابة سريعة الاستحاث،حيث يبدأ تكوين التلويزات والمسبب المرضي لازال على مستوى الشعيرات الجذرية 	حويصلات تيلوزية Formation of tyloses	
(Web/Site:0 9)	تستجيب بعض النباتات بزيادة كثافة السيتوبلازم في الخلايا التي تغزوها الممرضات، حيث تشكل التركيبية السيتوبلازمية عائقا لتقدمها ،تحدث هذه الاستجابة بصفة خاصة في موقع حدوث الاختراق بواسطة الفطريات الغازية	تجمع السيتوبلازم Cytoplasmic Aggregation	
	هي اعلى درجات المقاومة في النبات و تعبر عن رد فعل راجع لوجود جينات متخصصة لإحداث الموت الخلوي	استجابة فرط الحساسية	

	وبالتالي إحباط عملية تقدم الممرض الذي يلزمه وجود خلايا حية .	Hypersensitive Response	
--	--	-------------------------	--

2. الوسائل الدفاعية البيوكيميائية :

تدعم مجموعة الدفاعات التركيبية، ووسائل بيوكيميائية من إنزيمات ومثبطات وغيرها. سواءاً وُجدت في النبات قبل تعرضه للهجوم ، أو أُستحثت لغرض دفاعي محدد. كما هو مدرج في الجدول التالي :

الجدول(11): مختلف الوسائل الدفاعية البيوكيميائية في النبات (Web/Site:09)

الدور	الوسائل الدفاعية البيوكيميائية	التكوينية (موجودة مسبقاً)
مواد معينة تتضمن بعض السكريات و الأحماض الأمينية و الأحماض العضوية و كذا مواد مثبطة للممرضات ، تنتشر من المجموع الجذري في التربة الملاصقة لها ، كما يتم افرازها عن طريق المجموع الخضري في قطرات الماء التي قد تتواجد على السطح النباتي. والتي تعمل على إحباط إختراق الممرض للأسجة النباتية	مثبطات خارجية Inhibitors released by the plant	
يطلق عليها Phytoanticipins ، و هي مواد ذات وزن جزيئي منخفض مثبطة للممرضات، ينتمي أغلبها إلى الفينولات و التانينات tannins ، حيث يزداد تركيزها في أماكن مهاجمة الممرض كالعديسات و الثغور و البشرة	مثبطات خلوية Inhibitors withen the plant	
يفشل الممرض أحيانا في مهاجمة عائل مقاوم و يكون ذلك راجع إلى نقص مادة ضرورية لحدوث الإصابة أو لنموه فيعجز عن التقدم في النبات	غياب مواد ضرورية Lack of essential nutrients	

<p>ينتج النبات مواد جديدة لم تكن موجودة في النبات السليم أو يعمل على زيادة تركيز مواد كانت موجودة قبل العدوى والتي بدورها تعمل على الحد من تقدم المرض كمثبطات لنموه مثل الفينولات ونواتج أكسدة الفينولات ، أو قد تظهر تلك المواد تأثيرات أخرى تصل إلى السمية.</p>	<p>زيادة مستوى المواد المثبطة Increased Levels of Inhibitors</p>	<p>المستحثة بفعل المهاجمه</p>
<p>مواد متخصصة مضادة لنمو الكائنات الحية الدقيقة تنتج بتحفيز مرض محدد أو ممرضات محددة للعائل حيث تتكون موضعيا في مكان حدوث التحفيز .</p>	<p>انتاج فيتوالكسينات production of Phytoalexins</p>	
<p>عن طريق تكوين مواد تكون قريبة من مادة التفاعل لأحد إنزيمات المرض المحللة لجدار الخلايا، بحيث يكون لها القدرة على الارتباط بالمركز النشط للإنزيم فتفقد وحداته قدرتها على الارتباط بمادة التفاعل المستهدفة و بالتالي إحباط المرض في إحداث الضرر على مستوى النبات.</p>	<p>تثبيط إنزيمات المرض Inhibition of pathogen Enzyme</p>	
<p>نزع سمية التوكسين و ذلك بأحداث تغيير في التركيب الكيماوي لتلك التوكسينات وتحويلها إلى صورة غير سامة .</p>	<p>نزع سمية توكسينات المرض Detoxification of Pathogen Toxins</p>	
<p>زيادة واضحة في نشاط إنزيمات ، Phenylalanine ammonia lyase, Tyrosine ammonia lyase لتنتقل الفينولات، إضافة إلى ذلك يزداد نشاط إنزيمات الأكسدة و خاصة Peroxidase و Polyphenoloxidase و عادة ما يكون النشاط أكبر ما يمكن في المراحل الأولى من عملية غزو المرض وتجدر الإشارة إلى أن انطلاق الفينولات يستتبعه ترسيب اللجنين ، و يتطلب ذلك نشاط إنزيم Peroxidase.</p>	<p>زيادة نشاط إنزيمات Induced Synthesis of Enzymes</p>	

II. الطرق الدفاعية المكتسبة :

تعرف endophytes على أنها جميع الميكروبات التي تغزوا الأنسجة الداخلية للكائنات الحية، دون التسبب في اي أعراض مرضية فورية أو آثار سلبية على العائل، ليس هذا فحسب بل تعمل على

تعزيز مقاومة النبات ضد مسببات الأمراض والحد من نشاطها وذلك لما تقتضيه العلاقة التكافلية القائمة بينهما، حيث يمكن لل *endophytes* تحقيق ذلك بعده آليات تشمل التضاد والمنافسة، التطفل (صدراتي، 2011).

1. التضاد:

تشمل هذه الآلية إنتاج :

- الإنزيمات الحالة . (Ownley et al., 2010)

- المركبات العضوية الطيارة ذات النشاط . (Ownley et al., 2010)

مثل *esters, annonia ,alkyl pyrones ,alcohols ,acids ,keones, hydrogen* lipids و cyanide ، كما هو عليه الحال عند الفطر الداخلي *Muscodor albus* الذي ينتج مزيج من المركبات العضوية الطيارة والذي تبين أن له نشاطية ضد مجموعة واسعة من الفطريات و البكتيريا الممرضة للنباتات و الإنسان . بعد تحليل هذا المزيج وجد أنه يحتوي على مجموعة من المركبات العضوية الطيارة *esters, alcohols ,acids ,keones ,testers, lipids* و (صدراتي ، 2011)

- المضادات الحيويّة (Ownley et al., 2010)

العديد من الأنواع الفطرية و البكتيريا الخيطية أشير إليها على أنها منتجة للمضادات الحيوية ، أيضا مستخلصات عدد من الأنواع الفطرية و البكتيريا الخيطية الداخلية للنباتات أثبت أن لها نشاطية مضادة للفطريات الممرضة للنباتات (صدراتي ، 2011) .

2. المنافسة :

تُساهم الكائنات الحيّة الدقيقة الداخليّة في حماية عوائلها ضد الكائنات الدقيقة الممرضة ، وذلك بمنافستها على موطن عيشها و المصادر الغذائيّة (صدراتي ، 2011) ، حيث تعمل على منع الإصابة بالكائنات الممرضة من خلال الغزو السريع لعوائلها و استنفاد المواد الغذائيّة المتاحة التي تكون ضروريّة لنمو الكائنات الحية الدقيقة، مثل ما هو الحال لدى الفطر الداخلي *Beaveria bassiana* و القطن الذي يعتقد إلى حد ما أنه يعمل على مكافحة الفطر الممرض *Thanatephorus cucumeris* و بعض الفطريات الأخرى عن طريق المنافسة على موطن المعيشة (Ownley et al., 2008) .

3. التطفل :

تعمل الكائنات الحيّة الدقيقة المتكافلة على قتل و تثبيط الفطريات الممرضة للنبات من خلال إنتاجها للإنزيمات المحللة لجدارها الخلوي ، مشكلة بذلك ثغور على مستواها مما يسهل عملية اختراقها و استخلاص المركبات الغذائيّة اللازمة لنموها .و من الإنزيمات الرئيسيّة الفاعلة في ذلك إنزيم chitinas و B-1,3-glucanas المحلله لأهم مركبات الجدار الخلوي الفطري glucan , chitin . (صدراتي,, 2011)

الجزء الثاني : الدفاع ضد الحيوانات والعواشب

ليس من المفضل لدى النبات الدخول مباشرة في المواجهة الفعلية مع مفترسيها من الحيوانات والعواشب لذا فهي تمنهج استراتيجيات للدفاع ضدهم .

I. استراتيجيات الدفاع :

1. إستراتيجية التجنب :

1.1. نباتات طاردة :

العديد من النباتات تُفرز روائح مميزة وجذابة إلا أنّها غير محببة للحشرات والعواشب الأخرى ، فتعمل على طردها سالبة منهم فرصة التّغذي عليها دون الوقوع في المواجهة .

● طاردة للحشرات :

إنّ سلوك التّجنب و الهروب من بعض الأنواع النباتية يُلاحظ في العديد من الحشرات التي لا تتجرأ حتى لمجرد للاقتراب منها ،يعود الفضل في ذلك الى ما تحتويه تلك النباتات من مركبات كيميائية أهمها نواتج الأيض الثانوي وخصوصاً الزيوت الطيارة ،فهي مواد تنفر منها الحشرات بمجرد شمها كونها ذات تركيبة قوية وسامة بالنسبة لها ، كما تنتج النباتات مركبات عضوية متطايرة من نوع GLVs عندما تتعرض أوراقها للتلّف وذلك لردع الحيوانات العاشبة .

من أبرز المركبات التي تعمل على طرد الحشرات هي مركب carvacrol·Eugenol ، thymol الموجودة في نبات *Eugenia caryophyllus* (مركب p – citronellal PMD) في نبات *Corymbia citriodora* (Maia & Moore ,2011) menthane 3,8 – diol)

● طاردة للثعابين :

أظهر عدد من النباتات و المستخلصات النباتية فعاليتها في طرد الثعابين من حولها . حيث تتميز معظمها بروائح قويّة وفُدرات مزعجة بالنسبة للثعابين (Ayékotchami&Adandé,2021) باستخدام مواد فعالة ، قد تكون هذه المواد زيوتاً كزيت الصنوبر .

و من أهم العائلات النباتية الطاردة للثعابين *Fabaceae, Lamiaceae, Rubiaceae* et (Renapurkar al.,2013)

• طارده للقوارض :

تستعمل الفئران أنفها من أجل التوصل إلى المكان الذي ستحصل منه على الغذاء ، و الجدير بالذكر أنّ الفئران تعاني من الحساسية الشديدة اتجاه بعض المركبات التي تنتجها النباتات كالقلويدات والفينولات والتربينويدات التي تُساهم بشكل مشترك أو مستقل في الأنشطة الطاردة .

وفي دراسة ، أثبتت مستخلصات من نبات *Arctium lappa* ، *Rosmarinus officinalis* ، *Piper nigrum* أنّ لها نشاط قوي ضد الفئران . (Harding,1985)

2.1. التمويه :

واحدة من أكثر الظواهر الرائعة في المملكة النباتية هي التفاعل الزلزالي *seismonastic reaction* ، أي حركة الأوراق السريعة التي أظهرتها نبات *Mimosa pudica* . ينتج التفاعل استجابة لمحفزات خارجية مثل الصدمة الكهربائية أو اللمس . حيث أنّ سبب هذه الحركة يكمن في فقدان الخلايا الليبية *pulvinar* للورقة لضغط الإمتلاء ، ،نتيجة تدفق عنصر K^+ منه ، مما يشير إلى تراجع في معامل الانعكاس لغشاء الخلية *pulvinar* والذي يُمكن أن يفسر انخفاض امتلاء الخلايا الليبية أثناء التفاعل الزلزالي.(Robert,1969)

3.1.ظاهرة التلوين الموضوعي التحذيرية:

هي ظاهرة بيولوجية تقوم فيها الكائنات الحية السامة أو الخطرة (كامتلاك أشواك دفاعية) أو غير المُستساغة بالإعلان بصرياً عن هذه الصفات للحيوانات (Lev-Yadun ,2009).ومن المحتمل جداً أن الثدييات الكبيرة العاشبة لا تملك القدرة على رؤية الألوان بالطريقة التي يراها بها البشر ثلاثي الألوان. ومع ذلك ، حتى مع الرؤية ثنائية اللون للحيوانات العاشبة ، قد تبدو الأشواك الملونة أو أجزاء النبات الأخرى مختلفة عن الأنسجة الخضراء العادية بسبب لونها أو إشعاعها أو سطوعها (Kelber et al, .2003). أي أنّه بواسطة التلوين الموضوعي يمكن للأعداء المفترسين ربط الإشارة المرئية بالمخاطر أو الضرر أو التعامل غير المريح ومنه تعلم تجنب مثل هذه الكائنات كفريسة كونها تجربة سيئة (Lev-Yadun ،2009)،ومن أمثلة ذلك الأشواك الحمراء في نبات الزعرور الشائع، كما يمكن أن ترتبط الأشواك بالتلوين الأبيض ، مما يزيد من وضوحها حتى بالنسبة للحيوانات التي تعاني من عمى الألوان (Lev-Yadun, 2001; 2003; 2006)

4.1. ظاهره تقليد حلقات Mullerian:

هي ظاهره شائعة في الحيوانات ووفقًا للنظريّة المقبولة على نطاق واسع التي قدمها عالم الطبيعة الألماني فرينز مولر في عام 1878 فهي شكل من أشكال التشابه البيولوجي يظهر فيها كائنين أو أكثر من الكائنات الحيّة غير الضارة أو الخطرة أنظمة إنذار متشابهة إلى حد كبير ، كنفس النمط من الألوان ، وبما إن المفترس يتعلم من تجاربه السابقة ، فهو إذن يتجنب جميع الكائنات ذات الأنظمة التحذيريّة المتشابهة ، ومنه جعل التشابه آليّة وقائيّة. (Web/Site:10)

حتى وقت قريب ، لم تكن هذه الظاهرة معروفة تقريبًا لدى النباتات . إلا أنّ العديد من الأنواع النباتيّة أظهرت أنماط متشابهة من التلوين الواضح . كونها تعاني من نفس العواشب وكتفسير لذلك تم اقتراح أن العديد من هذه الأنواع تشكل حلقات تقليد Mullerian . ومن أمثلتها نبات الصبار والأغاف في صحراء أمريكا الشماليّة ؛ الألوّة ، الفربيون والسنت ذو الأعضاء الشائكة . (Lev-Yadun, 2009)

2. إستراتيجية المواجهة :**1.2. المواجهه المباشرة :****1.1.2. الوسائل الميكانيكية :**

كثيرة هي الوسائل الميكانيكية التركيبية المستعملة لأغراض دفاعية في النبات من بينها الأشواك والزوائد الشعريه trichomes والأوراق المتصلبة sclerophylly التي تعد صعبة الهضم بالنسبة للعواشب ، كما يعتبر تشكيل طبقة من اللجنين من أولى الحواجز الهيكلية ضد تغذية الحيوانات العاشبة .

1.1.1.2. الأشواك :

هي وسيلة دفاعيّة شائعة ضد الآفات في آلاف الأنواع النباتيّة ، خاصة في المناطق القاحلة (Grubb, 1992) و بالإضافة الى أنّها تعتبر أداة وخز حادة ضد العواشب ، فهي تتميز بألوان تحذيريّة والتي أقتراح مؤخرًا أنها تستعمل لردع العواشب الكبيرة، ليس هذا فحسب ، بل إن هناك أدله على وجود حرب بيولوجية تتخذها النباتات باستخدام البكتيريا ضد العواشب الكبيره وذلك بفضل إحتواء الأشواك على مجموعة من البكتيريا المسببة للأمراض والتي تكون أكثر خطورة على الحيوانات العاشبة من الجرح الميكانيكي المؤلم.

تم عزل العديد من البكتيريا المسببة للأمراض من بينها بكتيريا *Clostridium perfringens* التي تم عزلها من نباتات نخيل التمر ونبات الزعرور الشائع ذو الأشواك الحمراء وهي العامل المسبب للغرغرينا الغازي للعواشب.

حيث أن هذه البكتيريا الشائكة لها دور محتمل في مكافحة الاستهلاك من طرف العواشب ، وربما ساهمت بشكل فريد في التطور المشترك للتلوين التحذيري في النباتات الشائكة . (Halpern,2007)

2.1.1.2. الزوائد الشعرية :

هي عبارة عن زوائد دقيقة على البشرة ذات تراكيب متباينة حسب النوع النباتي (وحيدة الخلية ،متعددة الخلايا،غدية ،غير غدية،.....).والتي تتميز بتأثيراتها السامة والرادعة. كما تؤثر كثافة Trichome سلبيًا على سلوك التغذية اليرقية للآفات الحشرية وتتداخل مع حركة الحشرات والمفصليات الأخرى على سطح النبات ، مما يقلل من وصولها إلى بشرة الورقة . (Maia et al.,2011)

2.1.2. الوسائل الكيميائية :

تنتج النباتات العديد من المركبات الكيميائية من إنزيمات وبروتينات وهرمونات ومستقلبات ثانوية تعرف بالألومونات Allomones ،حيث تؤثر جميعها على سلوك الحيوانات العاشبة ونموها وبقائها.و يمكن أن تكون هذه المركبات الكيميائية طاردة أو سامة للعواشب، أو تقلل استساغة الأجزاء المتغذى عليها وغيرها من الأساليب الدفاعية التي تؤديها تلك المركبات في التعامل مع العواشب المهاجمة كما هو موضح في الجدول (12) أهم المركبات الكيميائية ودورها في الدفاع .

الجدول(12):دور المركبات الكيميائية في الدفاع ضد الحيوانات العاشبة عند النبات

المرجع	التأثير	طبيعته	المركب
(Barakat et al.,2010)	<ul style="list-style-type: none"> تعمل الفينولات على تكوين اللجنين وهو بوليمر غير متغاير الفينول ، يحد من دخول مسببات الأمراض كونه يشكل حاجزا ويزيد من صلابة الأوراق ويقلل من محتواها الغذائي مما يقلل من تغذية العواشب . 		الفينولات
(Bhonwon	<ul style="list-style-type: none"> إن أكسدة الفينولات المحفزة بواسطة 		

<p>g et al ,2009).</p> <p>(Maffei et al.,2007)</p> <p>(Bhonwog et al.,2009)</p>	<p>و (PPO)polyphenoloxydase peroxidase (POD) هي آلية دفاع محتملة في النباتات ضد الحشرات العاشبة.</p> <ul style="list-style-type: none"> • تلعب الفينولات أيضًا دورًا مهمًا في إختزال الأنواع الأوكسجينية التفاعلية (ROS) مثل superaxide anion وجذور الهيدروكسيد , الأوكسجين المفرد ، والذي بدوره ينشط سلسلة من التفاعلات التي تؤدي إلى تنشيط الإنزيمات الدفاعية. • اكسده الفينولات ينتج عنها كيتونات ترتبط تساهمياً ببروتينات الأوراق ، وتعمل على تنشيط البروتينات الهاضمة في عضوية الحيوان العاشب ، كما أن لديها تأثير سمي ضد الحشرات 	<p>أيض ثانوي</p>	
<p>(Simmons et al.,1990)</p> <p>(Renwick et al.,2001)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • تعمل الفلافونويدات على حماية النبات من العواشب من خلال التأثير على سلوك الحشرات ونموها وتطورها: - عوامل مانعة للتغذية مثل الفلافونول، flavan-3-؛proanthocyanidins ols ، ، ، iso-flavonoides، flavans. - عوامل رادعة للتغذية مثل مركب flavones 5-hydroxyisoderrici 7methoxy-8(3methylbutadienyl)-fla- vanone - عوامل رادعة في مراحل متأخرة من العمر - ،glycoside؛Flavone isovitexin-6"-DB- glucopyranoside 	<p>أيض ثانوي</p>	<p>الفلافونويدات</p>

<p>(Barbehen et al., 2011)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • العفص يقلل من هضم البروتين وبالتالي انخفاض في القيمة الغذائية للأجزاء النباتية المستهلكة من طرف للحيوانات العاشبة • -تعمل كرادعات (قابضة) لتغذية العديد من الآفات الحشرية. فهي تعمل على ترسيب البروتينات غير المحددة (بما في ذلك الإنزيمات الهاضمة للحيوانات العاشبة) ، عن طريق الرابطة الهيدروجينية أو الرابطة التساهمية (NH) للمجموعات البروتينية 	<p>أيض ثانوي</p>	<p>التانينات</p>
<p>(War et al., 2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • تعمل كمواد مضادة للتغذية و / أو مواد سامة من خلال الارتباط بمجموعات الجليكوزيل الغشائية التي تبطن الجهاز الهضمي للعواشب، مما يؤدي إلى مجموعة من التفاعلات الجهازية الضارة . • تتميز الليكتينات باستقرارها على مجال كبير من PH حيث أنها تحدث ضررا بالأغشية الطلائية للمعوية epithelial luminal membrane عند تناولها من طرف العواشب ، كما أنها تتداخل مع هضم المغذيات وامتصاصها، مما يؤدي إلى إختلال استقلاب الدهون والكربوهيدرات والبروتين الأمر الذي يتسبب في تضخم و / أو ضمور الأنسجة الرئيسية ، فينتج عنها تغيير الحالة الهرمونية والمناعية وهذا يهدد نمو الحشرات وتطورها 	<p>بروتين سكري</p>	<p>الليكتينات مثال Galanthus nivalis L. agglutinin (GNA)</p>
<p>(Azzouz et al., 2005)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • تعمل على تثبيط أنواعًا مختلفة من الإنزيمات في أمعاء الحشرات بالارتباط بها فتمنع 		<p>مثبطات البروتين</p>

	نشاطها ، وبالتالي تقليل هضم البروتين .	أيض ثانوي	(Pis) مثل Kunitz proteinase inhibitors (KPIS)
(War et al.,2012)	<ul style="list-style-type: none"> • تم اقتراح أن (SA) يحفز مسارات إنتاج ROS لحث المقاومة النباتية ضد الآفات الحشرية،حيث أن الجذور الحرة النشطة تؤثر بشكل سلبي على الآليات الهضمية للحشرات مما يؤدي إلى انخفاض النمو والتطور. • كما يبدي (SA) تفاعلاً بشكل أكبر مع الآفات الحشرية الماصة ،أكثر من ذلك المحفز بالحشرات الأكلة. 	هرمون نباتي	حمض الساليسيليك
(Pauwels et al.,2009 ;Mao et al.,2007)	<ul style="list-style-type: none"> • تم تحفيز مجموعة واسعة من الاستجابات الدفاعية بواسطة jasmonates والتي تشمل الإنزيمات المضادة للأوكسدة ، ومثبطات البروتين Pls ، و VOCS ، وإنتاج الفلويديات ، وتشكيل trichome .-كما أن عدد كبير من الجينات المشاركة في الدفاع ضد العواشب ينظمها JA. • تعمل الجاسمونات على تحفيز تركيز غلوكوسينولات الإندول ، وهو مركب دفاعي مهم. 	هرمون نباتي	حمض الجاسمونيك
(Ribot et al ,.2008)	<ul style="list-style-type: none"> • يعمل كرسل ثانوية ضمن مسارات الإشارة التي تتحكم في المحفزات الدفاعية المستحث بالعواشب . 	معدن	الكالسيوم

<p>(War et al.,2012)</p> <p>(Ludwig et al.,2005 ;Maffei et al., 2007)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • تراكم ROS في Apoplastic يعمل كحاجز أولي ضد هجوم مسببات الأمراض والحيوانات العاشبية. "نظرًا لكونها شديدة النشاط و يمكنها التفاعل و / أو تسبب تلفًا للبروتينات والدهون والأحماض النووية. -يمكن أيضًا أن تؤثر الجذور الحرة بشكل مباشر كسموم. • تعمل ROS على تحفيز سلسلة من التفاعلات التي تؤدي إلى التعبير عن الجينات الفاعلة في الدفاع. • تسبب التغيرات التأكسدية في النباتات بسبب ROS بعد هجوم الحشرات ضررًا تأكسديًا للأمعاء الحشرية ، ويرجع ذلك أساسًا إلى تراكم H₂O₂ 	<p>جذور حرة</p>	<p>الجذور الحرة</p>
<p>(War et al.,2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • العديد من العمليات الدفاعية تتم بواسطة انزيم (POD) بما في ذلك إنتاج اللجنين والسوبرين . • يؤدي إنتاج phenoxy والجذور المؤكسدة الأخرى بواسطة PODS بالاشتراك مع الفينولات إلى منع تغذية الحشرات و / أو إنتاج السموم التي تقلل من قابلية هضم النبات ، مما يؤدي إلى نقص تغذية الحشرات مع آثار جذرية على نموها وتطورها. كما تظهر (PODS) سميّة مباشرة على عضوية (أحشاء) الحيوانات العاشبية." 	<p>بروتين (انزيم)</p>	<p>Peroxidase (POD)</p>

<p>(Zhang et al., 2008)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • يعمل انزيم (PPO) على اكسدة الفينولات فينتج عنها : • الجذور الحرة ROS والتي تعتبر جد سامة بالنسبة للعواشب . • الكيتونات التي يمكن أن تؤدي إلى أكلة الأحماض الأمينية الأساسية ، مما يقلل من جودة التغذية بالنسبة للعواشب. 	<p>بروتين (انزيم)</p>	<p>Polyphenoloxidase (PPO)</p>
<p>(War et al., 2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • يعمل انزيم (LOXS) على تحفيز عملية hydro- peroxidation للأحماض الدهنية المتعددة غير المشبعة مما يؤدي إلى تكوين هيدروبيروكسيدات الأحماض الدهنية هذه الأخيرة تتحلل إنزيمياً و / أو كيميائياً إلى ألدهيدات غير مستقرة وعالية التفاعل: -y ketols ، و epoxides ، و "و ROS مثل جذور الهيدروكسيل ، والأكسجين الأحادي ، هذه النواتج التفاعلية الغير مستقرة ترتبط مع البروتينات وتسبب تلف الأحماض الأمينية وهذا بدوره يؤثر على امتصاصها . • كما تعمل المنتجات النهائية لبيروكسيد الدهون أيضاً كمواد طاردة للحشرات 	<p>بروتين (إنزيم)</p>	<p>Lipoxygenases (LOXS)</p>

1.2.1.2. آلية عمل المركبات الكيميائية :

تتميز المركبات الكيميائية في عملها بأنها تؤثر وتتأثر ببعضها البعض ،لتحقيق استجابة فعالة ،فهناك مركبات يثبط عملها في وجود أخرى وهو ما يسمى بالعمل المتضاد وهناك مركبات يشترط وجودها مع بعضها البعض (العمل بالتساهم) للنجاح في تنشيط سلسلة المسارات الدفاعية. ومن الأمثلة الموضحة لذلك حمض الجاسمونيك (JA) وحمض الساليسيليك (SA) من المركبات الكيميائية التي تعمل بآلية التضاد ، كما يظهر غاز الإيثيلين وحمض الجاسمونيك نفس آلية العمل ، مع قدرتهما

على إظهار النمط المعاكس في عملهما، أي أنه من الممكن أن يعمل غاز الإيثيلين بالتآزر مع حمض الجاسمونيك . (War et al.,2012)

3.1.2. الدفاع الكيميائي -الميكانيكي المنسق:

- حمض الجاسمونيك (JA) (وسائل كيميائية) يحفز تكوين الزوائد الشعرية (وسائل ميكانيكية) (Pauwels et al.,2009 ;Mao et al.,2007)
- الفينولات (وسائل كيميائية) تعمل تكوين اللجنين في الأوراق وبالتالي زيادة سمكها وصلابتها(وسائل ميكانيكية). (Barakat et al.,2010).
- تعمل الزوائد الشعرية Trichomes (وسائل ميكانيكية) على إفراز مواد كيميائية دفاعية (سمية ، رادعة) (Maia et al.,2011)

2.2. المواجهة غير مباشرة :

1.2.2. التكافل مع النمل :

توفر النباتات هياكل مجوفة متخصصة لإيواء النمل وغالبًا ما توفر لها طعامها أيضا ، في المقابل يحمي النمل الساكن النباتات من العواشب ويزودها أحيانًا بالمغذيات (Mayer,2014) ،ظهر هذا النوع من التكافل منذ ملايين السنين ومن أشهر النباتات نباتات الفصيلة البقولية *Fabaceae* التي تأوي العديد من أنواع النمل (Chomicki,2015) ، كما أنّ نبات *cordia nodosa* يوفر الغذاء والمسكن لإعادة نمل. *Allomerus octoarticulatus* ، الذي يحميها من الحيوانات العاشبة.

في تجربة شاملة لدراسة العلاقة التكافلية بين نبات *Cordia nodosa* ونمل *Allomerus octoarticulatus* زاد هذا الأخير من نمو النبات عندما كانت الحيوانات العاشبة موجودة ولكنه قلل من نموها عندما كانت غائبة ، مما يشير إلى أن استضافة النمل يمكن أن تكون مكلفة للنباتات كون النمل يحقق مبدأ التكافل في حال توفر الفريسة لا غير. (Frederickson,2012)

2.2.2. الإفتراس الذاتي للأنواع : (إفتراس ذات النوع الواحد)

غالبًا ما تتحول الآفات الأكلة للنباتات إلى التهام بعضها البعض عندما ينفد الغذاء أو تنخفض جودته. إلا أنها أصبحت إستراتيجية دفاع غير مباشر انتهجتها النباتات لجعل مفترسيها تتعرض للهجوم من قبل أبناء فصائلهم (الذات) (Web/Site:12) ، على سبيل المثال في نبات الفاصوليا ، تم اكتشاف خمس استراتيجيات دفاعية مختلفة ضد غزو العث ، من ضمنها أنه كان لبعض المواد المنبعثة تأثير في جذب العث الآخر الذي أكل العث الأحمر المهاجم. (Mithöfer ,2005)

وفي دراسة أراد مجموعة من الباحثين اختبار ما إذا كانت استجابة النباتات تحفز سلوك التهام اليرقات لبعضها البعض أم لا. لذا عرّض نبات الطماطم لمادة ميثيل الجاسمونات ، ثم أطمعوا يرقات منفردة بأوراق لنباتات جرى تنبيهها بالمادة وبأوراق نباتات أخرى لم يتم تنبيهها ، وذلك داخل أوعية احتوت أيضاً على عدد من اليرقات الميتة. وبعد مرور يومين ، لاحظ الفريق أن اليرقات التي تغذت على أوراق النباتات المُعالَجة تحولت مبكراً إلى التهام اليرقات الميتة والتهمت منها كميات أكبر، مقارنةً باليرقات التي تغذت على أوراق النباتات غير معالجة بميثيل الجاسمونات .

يقول أنوراج أجراوال الباحث الذي يدرس التفاعلات بين النبات والحيوان بجامعة كورنل . إن هذه الدراسة تشير إلى أن المزارعين يمكنهم تعزيز ظاهرة التهام الآفات لبعضها البعض كإستراتيجية لمكافحةها. ويستطرد قائلاً: ومع هذا ، فإنه في ظل ظروف معينة في الحقل، قد تصبح الآفات التي تتغذى بعضها على بعض أكثر صحةً من مثيلاتها التي لا تمارس هذا النوع من السلوك. لذا يجب الانتباه إلى أمر كهذا ، فنحن لا نرغب في تشجيع ظهور آفات خارقة. (Web/Site:12)

3.2.2. الخنافس اليابانية :

يظهر نبات ابره الراعي دفاعاً فريداً من نوعه اتجاه الخنافس اليابانية *Popillia Japonica*، هذه الأخيرة تمتلك أفضل تكييف بيوكيميائي في إبطال مفعول السم النباتي . فالنبات هنا لا يملك سوى خيار أن يبطئ عمل الانزيمات المضادة للسميّة لدى الخنافس راجياً مرور مفترسيها لتلقي وجباتهم في حالة من الشلل وهي صورة لم تكن عادية بالنسبة لخنافس في غاية التطور (Adesanya et al.,2017).

4.2.2. الدفاع عن طريق الإستغاثة :

قد تنتج الاستجابة الدفاعية في النبات نتيجة الاستغاثة بالعدو المفترس للعواشب المهاجمة. هذا الأسلوب الدفاعي غير مباشر منتهج من طرف العديد من النباتات ،على سبيل المثال نبات الرشاد المهاجم من طرف يرقات فراشات الكرب البيضاء يستغيث بالدبابير الطفيلية باستخدام VOCs.

II. حوصلة للأساليب الدفاعية في النبات :

إنّ الاستجابة الدفاعية في النبات لا يمكن أن تحدث إلاّ بتنسيق دقيق و شامل داخل العضوية ، بحيث تتداخل الطرق الدفاعية (مباشرة / غير مباشرة) بوسائلها لإحداث استجابة منسقة في الوقت المناسب . حيث سلسلة من العمليات التحفيزية للوسائل الدفاعية المختلفة ، لإحداث الاستجابة بالطرق المباشرة و غير المباشرة والتي من المحتمل حدوثها في آن واحد لتدارك النبات للحيوان العاشب وصدّه قبل تفاقم الوضع .

تعمل الحيوانات والعواشب على مهاجمة النباتات فينتج عن ذلك حدوث استجابة دفاعية :

- **مباشرة :** باستخدام وسائل ميكانيكية كالأسواك أو قد يؤدي التحفيز الجيني للجينات الفاعلة في الدفاع إلى إنتاج أنزيمات ومركبات متطايرة ، ونواتج أيض ثانوي و ROS التي تعمل على صد العواشب . (طاردة ، سامة ، رادعة...)
- **غير مباشرة :** إنّ المركبات التي ينتجها النبات نتيجة التحفيز الجيني قد تكون هي نفسها رسائل استغاثة بالحيوانات المفترسة للعواشب المهاجمة والتي تؤدي إلى دفاع غير مباشر في النبات .

الفصل الرابع

الاستغاثة

مدخل:

إنّ سلوك النبات في تفاعله مع محيطه يؤكد أنه على درجة من الذكاء، فالمرونة الظاهرية التي يبديها تبرهن اندماجه وتكيفه فيه، بل إنّ السلوك النباتي لا يتوقف عند ذلك فحسب بل يثبت آليات أكثر جدارة في التعامل مع العديد مما يلقي عليه من مشاكل محيطه. فهو يبقى رغم تعددها وتداخلها لما يبديه من أساليب وسلوكيات في غاية الذكاء واحدة من بينها هو أنه يستغيث بمن حوله، ممّن تخوّل لهم قدراتهم و أدوارهم في حل تلك المشكلات، إنّ هذا السلوك الاستغاثي لا يعني بالضرورة أنه لا يملك خيارات أو أنّه في حالة من الضعف بل إنّ النبات يفعل ذلك لأنّه الأجدر والأكثر فعالية.

إنّ السلوك الاستغاثي في دفاع النبات ضد مهاجميه من الكائنات الأخرى ليس بالضرورة أن يكون هو الحل الجوهري لمشكلاته بل قد يكون أسلوباً دفاعياً داعماً لأساليب أخرى أساسية لديه، فهو بذلك يحاول إدراك تلك العوامل وصددها بالكيفية الأنسب وقد يتخذ النبات السلوك الاستغاثي كحل أساسي للتعامل مع الكائنات المهاجمة وعلى ذلك الأساس فإنّ للاستغاثة نوعين رئيسيتين:

- الإستغاثة نتيجة استقبال رسائل تحذيرية .
- الإستغاثة نتيجة إرسال رسائل إستنجدية .

I. أنواع الإستغاثة :

1. الاستغاثة نتيجة استقبال رسائل تحذيرية :

لطالما انشغل العلماء والباحثين في فهم الآليات التنافسية للنباتات إلا أنه ومن المفاجئ أن تُظهر تلك الوسائل التي استعملها النبات للأغراض التنافسية أدوار أخرى متنافية تماماً مع الأغراض السابقة ، حيث أنه من الممكن أن يستعمل النبات تلك الوسائل لإغاثة نبات آخر من نفس نوعه أو قد يختلف عنه وقد يكون فعل الإغاثة هذا متبادل وقد لا يكون كذلك و تبعاً للوسيلة المستخدمة في إرسال الرسائل الاستغاثة فإن هنالك نوعين من الاستغاثة نتيجة استقبال الرسائل التحذيرية هما :

- الاستغاثة باستخدام شبكة الخيوط الفطرية . (Web/Site:11)
- الاستغاثة باستخدام المركبات العضوية المتطايرة VOCS . (Hei l& Ton,2008)

1.1. الاستغاثة باستخدام شبكة الخيوط الفطرية :

ينتج عن تواصل النباتات تحت التربة بواسطة شبكة الخيوط الفطرية التي طورتها الفطريات الجذرية إرسال رسائل إغاثة للنبات المجاور (web/site:04) ، وكما هو موضح في الوثيقة (14) أن شبكة الخشب الواسعة كما تسمى أنها تربط العديد من المجتمعات النباتية المتجاورة ، مما يتيح النقل على مستواها للمركبات التحذيرية. (Web/Site:11)



الوثيقة (14) : شبكة الخيوط الفطرية. (Web/Site:11)

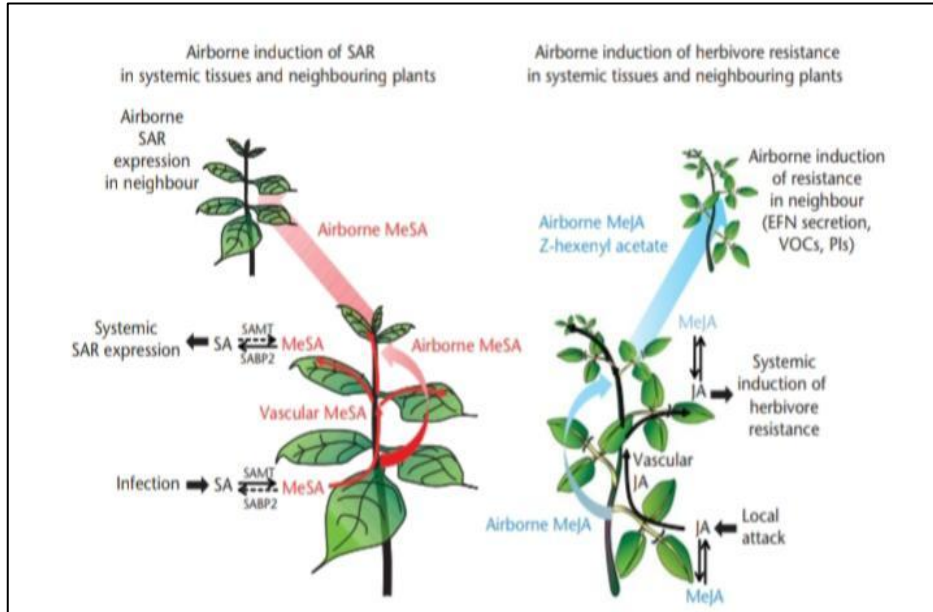
- أمثلة عن الإستغاثة باستخدام شبكة الخيوط الفطرية

في دراسة أظهرت النباتات التي سُحح لها بتكوين شبكة من الخيوط الفطرية تعزيزا للدفاعات ضد حشرات المن ، على عكس نظيرتها التي لم يُسمح لها بذلك ، والجدير بالذكر أنه في هذه التجربة تم إلغاء التواصل النباتي فوق سطح التربة وذلك بتغطيتها . (Web/site:05)

أصبحت نباتات الفاصوليا غير المصابة الموجودة مع النباتات المصابة بـ *pisum* *Acyrtosiphon* أكثر جاذبية لإناث الدبابير الطفيلية المقترسة ، حيث أنه لم يلاحظ مثل هذا السلوك عندما تم منع ملامسة جذور النباتات التي كانت أجزاءها الهوائية قريبة ، مما يشير إلى أن إفرازات جذور النبات المصاب قد تُسبب تحريض إنتاج المواد المتطايرة الجذابة للأعداء المقترسين للعواشب في النباتات غير المصابة . (Guerrieri et al .,2002)

2.1. الاستغاثة باستخدام المركبات العضوية المتطايرة VOCs :

أظهرت العديد من النباتات دفاعات مُبكرة عند تعرض جيرانها من النباتات للمهاجمة من قبل العواشب ، يعود الفضل في هذه الاستجابة للوسيلة التواصلية والمتمثلة في VOCs (Heil & Ton,2008) . وكما هو موضح في الوثيقة (15) دورها في إغاثة عند النباتات المجاورة.



الوثيقة (15): الاستغاثة باستخدام المركبات العضوية المتطايرة VOCs (Heil & Ton,2008)

- دور المركبات العضوية المتطايرة VOCs (مثل الجاسمونيك، مثل الساليسيليك ،-Z-hexynylacetate):
- تعمل VOCs على إحداث إستجابة دفاعية عند حدوث تلف تسببه العواشب خصوصا في الأوراق المتعامدة أي القريبة من الأوعية

- تنتقل VOCS جوا إلى النباتات المجاورة وتعمل على استحثاث الإستجابة الدفاعية فيها (استغاثة)

• أمثلة عن الاستغاثة باستخدام VOCs :

تضمنت إحدى الدراسات والتي سمح فيها للآفات العاشبة بالتغذي بحرية على مجموعة واحدة من نبات الفاصوليا *Phaseolus lunatus* . ثم قاموا بفحص نباتات الفاصوليا المجاورة لها غير المصابة ، هذه الأخيرة أثبتت جدارتها في صد هجوم الحيوانات العاشبة . (Kost &Heil,2006)

كما أنّ نباتات القطن التي تضررت بنوع من أنواع الدود أثبتت قدرتها على تعزيز دفاعات نبات البرسيم المجاور وذلك بإطلاق VOCs ، ومع ذلك فإنّ العكس ليس صحيحاً. فالبرسيم لا يقوم بالتحفيز الدفاعي لنبات القطن عندما تكون هي التي تضررت من الحيوانات العاشبة. وهذا يعني أنّ المواد المتطايرة ليست لغة نباتية شاملة. حيث أنّه بواسطتها يمكن لبعض النباتات "فهم" الأنواع النباتية الأخرى ، لكن العكس ليس صحيحاً دائماً. (Zakir et al.,2013)

نبات الميرامية *Artemisia tridentata* يعمل على تعزيز القدرات الدفاعية لدى نبات التبغ البري *Nicotiana attenuata* ضد العديد من أنواع الجراد العاشبة وضد عواشب أخرى (Karban et al.,2000).

نبات الذرة أيضا يعمل على تحفيز الإستجابة الدفاعية فيما بينه حيال مهاجمته من طرف حفار الذرة الأوروبي البالغ ، أي أنه يقدم إغاثة متبادلة فيما بينه . (Skoczek et al.,2017)

وكما هو موضح في الجدول أدناه أمثلة عن الإستغاثة بين النباتات من نفس أو مختلف النوع .

الجدول(13): الاستغاثة نتيجة استقبال رسائل تحذيرية من النبات المجاور من نفس أو مختلف النوع.

المرجع	الإستجابة	النبات المستقبل	النبات المرسل	نوع الإستغاثة
(Baldwin &Schultz, 1983)	زيادة محتوى المواد الفينولية	القيقب السكري Acer saccharum	القيقب السكري Acer saccharum	إستغاثة نبات من نفس النوع
(Dolch &Tscharntke 2000, Karban et al., 2000)	تحفيز التعبير الجيني للجينات الدفاعية	الفاصوليا <i>Phaseolus lunatus</i>	الفاصوليا <i>Phaseolus lunatus</i>	نوع مختلف
(Farmer & Ryan ,1990)	إنتاج البروتينات المثبطة	الطماطم <i>Lycopersicon esculentum</i>	الميرامية <i>Artemisia tridentata</i>	نوع مختلف

(Glinwood et al.,2004)	جذب حشرات المن الطفيلية المفترسة للعواشب	<i>Cirsium Vulgare</i>	الشعير <i>Hordeum vulgare</i>	
------------------------	--	------------------------	----------------------------------	--

2. الاستغاثة نتيجة إرسال رسائل إستجابيّة :

تطلق النباتات التي تضررت من الحيوانات العاشبة مركبات عضوية متطايرة والتي بدورها تعمل على الدفاع ضدهم ،ليس هذا فحسب بل تعمل الـ VOCs على تعزيز دفاع النبات بألية أخرى لتكثيف الجهود الدفاعية والمتمثلة في جذب الأعداء الطبيعيين للحيوانات العاشبة. يحدث هذا الشكل من أشكال الدفاع غير المباشر للنبات فوق التربة وتحت سطحها أيضا . (Rasmann &Turlings,2007)

• أمثلة عن الاستغاثة نتيجة إرسال رسائل إستجابيّة :

نباتات الذرة الصغيرة المتعرضة للعواشب الورقيّة *Spodoptera littoralis* ، أو الجذريّة *Diabrotica virgifera* ،تعمل على جذب الدبور الطفيلي *Cotesia marginiventris* (فوق التربة) و الديدان الخيطيّة الممرضة للحشرات (تحت التربة) إذا أن استجابة الدبابير والديدان تلك تتوقف على نوع العواشب المهاجمة فهي تنجذب إليها في حال كانت من مضيفها لاغير. (Rasmann &Turlings,2007)

بعد أن تتغذى يرقات ذرة الأجنحة على الأعشاب ، يطلق نبات الذرة مزيجًا من المواد المتطايرة التي تكون جذابة بالنسبة لإناث الدبابير الطفيلة بمختلف أنواعها والتي تعمل على إفتراس تلك اليرقات المهاجمة (Schnee et al.,2006)

-في دراسة للرسائل التحذيرية بين نباتات الفاصوليا المتجاورة، أظهرت النباتات السليمة سلوكا مماثلا للنباتات المصابة في الجذب لدبور طفيلي يفترس حشرات المن المهاجمة (Guerrieri et al.,2002)

عندما تتغذي يرقات فرشات الكرنب البيضاء على نبات الرشاد فإن ذلك يؤدي إلى انطلاق VOCs والتي تنطلق أثناء مضغه لحب الرشاد ،حيث تعمل على جذب دبورا طفيليا. والجدير بالذكر أن تلك الدبابير تنجذب لنبات الرشاد في حالة إحداث أضرار يدويّة أو عند مهاجمتها من قبل عواشب أخرى أيضا ، إلا أنّ الاستجابة الأكثر فعاليّة في جذب الأعداء المفترسين كانت عند مهاجمة النبات من طرف يرقات فراشات الكرنب البيضاء. (Remco et al.,2001)

كما أنّ أشجار الدردار والسنوبر عندما تتعرض لهجوم اليرقانات الأكلة للأوراق تميز لعابها، وتبعث فيرمونات تجذب الدبابير الطفيلية التي تضع بيوضها داخل اليرقانات ، وتلتهم يرقات الدبابير اليرقانات المهاجمة من الداخل. (Web/site:11)

الفصل الخامس

دراسة مقارنة عند نبات الطماطم

نبات الطماطم *Solanum lycopersicum* :

ينتمي نبات الطماطم *Solanum lycopersicum* إلى العائلة الباذنجانية *Solanaceae* والتي تعد من أهم النباتات بالنسبة للإنسان. تستخدم نباتات هذه العائلة كمصادر غذائية كالباذنجان ، الفلفل الحلو ، البطاطس و التبغ . والعديد من النباتات الاقتصادية تنتمي إلى العائلة الباذنجانية .

جنس *Solanum* وهو أحد أكبر أجناس مغطاة البذور . يقدر عدد الأنواع في هذا الجنس بحوالي 15.000 . (Kimura & Sinha 2014)

يعتبر الساحل الغربي لأمريكا الجنوبية الموطن الأصلي لنبات الطماطم . حيث تم جلب الطماطم إلى أوروبا من قبل الإسبان من أمريكا الوسطى ومن ثم تم توزيعها إلى أنحاء العالم . (Knapp & Peralta 2016)

الطماطم نبات زهري الجدول (14)، ثنائي الصيغة الصبغية ، ذاتي التلقيح وله جيل قصير نسبيًا .

جدول (14) : التصنيف العلمي لنبات الطماطم *Solanum lycopersicum*

النباتية	Plantae	المملكة
النباتات الوعائية	Spermaphytes	الشعبة
مغطاة البذور	Angiospermes	تحت الشعبة
ثنائية الفلقة	Dicotylèdones	القسم
الباذنجانيات	Solanales	الرتبة
الباذنجانية	Solanaceae	العائلة
	Solanum	الجنس
	<i>Solanum lycopersicum</i>	النوع

تصاب الطماطم بأكثر من مائتين من مسببات الأمراض ، بالإضافة إلى العشرات من الآفات ، ويدخل تحت مسببات الأمراض عديد من الفطريات ، الأنواع البكتيرية ، الفيروسات ، وبعض أنواع الميكوبلازما . كما تنطفل على الطماطم ببعض أنواع الثباتات الزهرية المتطفلة كنبات الحامل و الهالوك ، وبالكثير من الأنواع النيماتودية ، الحشرات ، وبعض الأنواع الأكاروسية . (حسن،1998)

II. الإستجابة الدفاعية عند الطماطم :

تستجيب النباتات لهجوم الحيوانات العاشبة من خلال نظام دفاع معقد وديناميكي يتضمن حواجز هيكلية ومواد كيميائية سامة وجذب للأعداء الطبيعيين للآفات المستهدفة. وهي موجودة بشكل أساسي أو مستحثة بعد الضرر من قبل آكلات العشب. فمن أجل مواجهة الحشرات الآكلة للعشب تستخدم النباتات آليات دفاع متطورة مباشرة وغير مباشرة (War et al.,2012)

الدفاع في النباتات لديه القدرة على التعرف على الجزيئات غير الذاتية أو الإشارات من الخلايا التالفة. فلمواجهة هجوم الحيوانات الآكلة للعشب، تنتج النباتات هياكل مورفولوجية متخصصة أو مستقلبات ثانوية وبروتينات لها تأثيرات سامة أو طاردة على آكلات العشب وهو ما يعرف بالدفاع المباشر ، ومن خلال الأنواع الأخرى مثل الأعداء الطبيعية للآفات الحشرية فهو دفاع غير مباشر . حيث يتم التوسط في الدفاعات المباشرة من خلال خصائص النبات ، الحماية الميكانيكية على سطح النباتات على سبيل المثال ، الشعر ، والأشواك ، والأوراق السمكية أو إنتاج المواد الكيميائية السامة مثل *terpenoids* ، *alkaloids* ، *anthocyanins* ، *phenols* ، *quinones* التي تقتل أو تؤخر نمو الحيوانات العاشبة . (War et al.,2012)

تشمل الدفاعات غير المباشرة إنتاج وإطلاق VOCs تعمل من خلالها على جذب الأعداء الطبيعيين و الحيوانات المفترسة للحشرات (Kessler & Baldwin 2011) ، و/ أو من خلال توفير الغذاء (على سبيل المثال ، رحيق الأزهار الإضافية) وذلك لتعزيز فعالية الأعداء الطبيعيين . (Arimura et al.,2009)

يمكن أن تعمل الـ VOCs دورًا مهمًا في تمكين الحشرات من التعرف على النباتات المضيفة من مسافة بعيدة ، أو في جذب الحيوانات المفترسة والطفيليات على الحيوانات العاشبة . علاوة على ذلك يمكنهم لعب دور في الدفاع المباشر ضد آكلات الأعشاب و مسببات الأمراض . (Petra et al.,2009)

1. الدفاعات المباشرة عند نبات الطماطم:

تشكل السّمات الهيكلية للنبات ، مثل شمع سطح الأوراق ، والأشواك ، وسمك جدار الخلية ، أول حاجز مادي لتغذية الحيوانات العاشبة ، والمستقلبات الثانوية مثل السموم فهي تؤثر أيضًا على النمو والتطور ، حيث تشكل مُخفّضات الهضم الحواجز التالية التي تدافع عن النبات من الهجوم اللاحق. بالإضافة إلى ذلك ، فإن التأثير المشترك بين المكونات الدفاعية المختلفة يعزز النظام الدفاعي للنباتات ضد آكلات العشب. حيث نجد في نبات الطماطم القلويدات ، الفينولات ، مثبطات البروتين (PIs) والإنزيمات المؤكسدة عند تناولها بشكل منفصل تؤدي إلى تقليل التأثير ، ولكنها تعمل معًا بطريقة مشتركة ، مما يؤثر على الحشرة أثناء الابتلاع والهضم والتمثيل الغذائي. (War et al.,2012)

أثناء التفاعلات الحيوية النباتية تلعب المستقلبات دورًا مهمًا و تعتبر من المكونات المهمة في دفاع النبات ، حيث تعمل على أحداث الإستجابة الدفاعية المستحثة بواسطة آكلات العشب ، بينما تعمل المستقلبات الأولية على النمو ، ولكن تشير الأبحاث الأخيرة إلى دورها كعامل حيوي في الدفاع عن آكلات العشب ، على سبيل المثال تعمل السكريات كإشارات دفاعية . (Kunde et al.,2018)

يمكن أن تكون المستقلبات الثانوية الدفاعية إما مخزنة كأشكال غير نشطة أو مستحثة في الاستجابة لهجوم الحشرات أو الميكروبات. تُعرف الأولى باسم phytoanticipins والأخيرة باسم phytoalexins. يتم تنشيط phytoanticipins بشكل أساسي بواسطة β -glucosidase أثناء هجوم آكلات العشب ، والتي بدورها تتوسط في إطلاق مستقلبات aglycone وهي عبارة عن مبيدات الحيوية. (War et al.,2012)

تمت دراسة الإستجابة الدفاعية ضد الجروح و الحيوانات العاشبة في الطماطم على نطاق واسع ، وهي تتضمن دفاعًا بواسطة بروتينات مثل : بوليفينول أو أكسيداز PPO ، ومثبطات البروتين PIIs وهي جزيئات مضادة لآكلات العشب تتداخل مع استقلاب الحشرات . وكذلك بإنتاج مواد طيارة VOCs لجذب الحيوانات المفترسة . (Kunde et al.,2018)

يؤدي التغيير في التعبير الجيني تحت الإجهاد بما في ذلك هجوم الحشرات إلى تغييرات نوعية وكمية في البروتينات ، والتي بدورها تلعب دورًا مهمًا في نقل الإشارة ، والدفاع التأكسدي . فالعديد من البروتينات النباتية التي تتناولها الحشرات تظل مستقرة وسليمة ، ولك التغيير في محتوى أو تسلسل الأحماض الأمينية للبروتين يؤثر على وظيفته. لذلك مثبطات الأنزيم البروتيني (PIs) تمنع تحلل البروتينات السامة ، وتسمح لها بممارسة وظيفتها الدفاعية. ترتبط PIIs بالإنزيمات الهاضمة في أمعاء الحشرات وتثبط نشاطها ، وبالتالي تقلل من هضم البروتين ، مما يؤدي إلى نقص الأحماض الأمينية ، وبطء نمو و / أو تجويع الحشرات. (War et al.,2012)

يُعدُّ البيبتيد المكون من 18 حمض أميني المسمى Systemin إشارة رئيسية لنظام الدفاع عند الطماطم . حيث يتضمن نشاط PPO و مثبطات البروتياز PI's التي تعطل نشاط الإنزيمات الهاضمة في معي الحشرة . (Green & Ryan ,1972)

2. الدفاعات غير مباشرة عند نبات الطماطم:

تدافع النباتات عن نفسها بشكل غير مباشر من تغذية أكل للعشب عن طريق اطلاق مزيج من المواد المتطايرة. تلعب المواد المتطايرة النباتية المستحثة بالأكلات العشبية (HIPVs) دورًا مهمًا في الدفاع عن النبات إما عن طريق جذب الأعداء الطبيعيين للحيوانات العاشبة أو من خلال العمل كرادع للتغذية و / أو مانع وضع البيض . تختلف HIPV المنتجة وفقًا للنباتات والأنواع العاشبة ، والمرحلة التنموية وحالة النباتات والحيوانات العاشبة. يتم إطلاق الكمية المثلى من المركبات المتطايرة عادة من قبل النباتات في الغلاف الجوي. تشمل مركبات HIPV على التربينات ، والمواد المتطايرة الورقية الخضراء (GLVs) ، والإيثيلين ، وميثيل الساليسيلات والمركبات العضوية المتطايرة الأخرى. (War et al.,2012)

بعض المركبات العضوية المتطايرة ذات التقلبات العالية مثل الأيزوبرين ، والميثانول ، وهرمون الإيثيلين النباتي ، وبعض monoterpenes تقتصر على التفاعلات النباتية على مسافات أقصر ، بينما المركبات الأثقل ذات التقلبات الأقل ، مثل تربين ، ميثيل جاسمونات (MeJA) ، ميثيل الساليسيلات (MeSA) ، يمكن أن تنقل الإشارات على مسافات أطول. (Velemir et al.,2019)

تلتهم الآفات الحشرية بعضها بعضًا، مثلما تلتهم غذاءها الأساسي من النباتات، إلا أنه اتضح مؤخرًا أن نباتات الطماطم يمكنها أن تعمل معًا لدفع اليرقات مباشرة إلى التهام بعضها. حيث قام عالم الأحياء التكاملية جون أوروك وزملاؤه بجامعة ويسكونسن في ماديسون باستشارة رد فعل دفاعي في نباتات الطماطم (*Solanum lycopersicum*) عن طريق تعريض النباتات لكميات مختلفة من مادة الميثيل جاسمونات (MeJA)، وهي مادة كيميائية تنتقل عبر الهواء تطلقها النباتات لتنبه بعضها ضد خطر الآفات. وعند تنبيه نباتات الطماطم بمادة الميثيل جاسمونات، فإنها تستجيب بإنتاج سموم تجعلها ذات قيمة غذائية أقل للحشرات. سمح الباحثون بعد ذلك ليرقات إحدى الآفات الشائعة، وهي دودة ورق القطن الصغيرة (*Spodoptera exigua*)، بمهاجمة المحصول. وبعد مرور ثمانية أيام، لاحظوا أن النباتات التي تم تنبيهها بكميات كبيرة من مادة الميثيل جاسمونات فقدت كتلة حيوية أقل مقارنة بالنباتات التي تلقت تنبيهًا أقل، مما أظهر أن هذا التفاعل كان مفيدًا إلى حد ما في حماية النباتات. بعد ذلك، أراد الفريق اختبار ما إذا كانت استجابة النباتات تحفز سلوك التهام اليرقات لبعضها أم لا. لذا عرض

الباحثون نباتات الطماطم لمادة الميثيل جسمونات، ثم أطمعوا يرقات منفردة بأوراق لنباتات جرى تنبيهها بالمادة و بأوراق نباتات أخرى مرجعية لم يجر تنبيهها بالمادة، وذلك داخل أوعية احتوت أيضاً على عدد من اليرقات الميتة. وبعد مرور يومين، لاحظ الفريق أن اليرقات التي تغذت على أوراق النباتات المُعالَجة بالمادة تحولت مبكراً إلى التهام اليرقات الميتة والتهمت منها كميات أكبر، مقارنةً باليرقات التي تغذت على أوراق النباتات المرجعية غير المُعالَجة. (Castelles,2017)

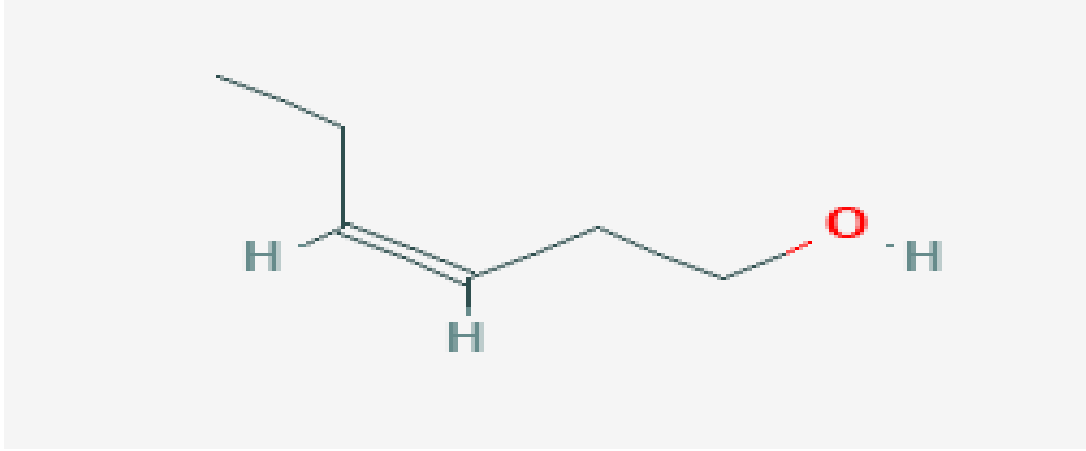
وفي دراسة لـ Sugimoto et al (2014) لآليات تأثير VOCs بين نباتات الطماطم المزروعة *Solanum lycopersicum* على دفاعتها في مواجهة عثة *Spodoptera litura* ، وهي حشرة آكلة للنباتات تسبب خسارة كبيرة في المحاصيل في أجزاء من العالم عن طريق تساقط الأوراق في العديد من العائلات النباتية من بينها العائلة الباذنجانية (Cheng et al.,2017) ، حيث قاموا بهذه الدراسة عبر تجربة يُمكن التحكم في انسياب الهواء فيها بدقة ما بين نباتات منفردة ، أوضح (Sugimoto et al.,2014) أنّ التّعرض للروائح المنبعثة من نباتات الطماطم التي دمرتها عثة *Spodoptera litura* ، زاد من مقدرة النباتات المجاورة على مقاومة الهجمات اللاحقة بصورة ملحوظة . حيث كشفت عمليات التحليل الكيميائي الحيوي المكثفة لأنسجة أوراق الطماطم التي تمّ تعريضها للـ VOCs من النباتات المجاورة المصابة (التي تعرضت لهجوم الحشرة الآكلة للعشب) ارتفاعاً كبيراً في معدلات مركب (Z)-3-hexenylvicianoside أو مركب الهيكس فيك . حيث وجدوا تشابه كيميائي لافت للنظر بين (Z)-3-hexenylvicianoside و مركب (Z)-3-Hexenol وهو أحد المركبات التي يطلقها نبات الطماطم المصاب . (Mescher & Moraes 2014)

مركب (Z)-3-Hexenol وهو مركب كيميائي صيغته الجزيئية $C_6H_{12}O$ ، يُعرف باسم كحول الأوراق ، ينبعث من النباتات الخضراء عند التلف الميكانيكي . له دور كجاذب للحشرات و مستقلب نباتي ورائحة للنبات . (Web : pubchem)

بالإضافة إلى الدور الدفاعي ، يُقترح أيضاً أنّ مركب (Z)-3-Hexenol المحمول جواً من النباتات المصابة لتحريك استجابات ما قبل الدفاع للنباتات المجاورة غير المهاجمة ؛ تسمى هذه الظاهرة بالاتصال بين النبات والنبات أو التأثير الأولي للمواد المتطايرة.(Wei & Kang 2011)

ومن المتوقع حدوث تعارض في نشاط (Z)-3-Hexenol لأنه يحتمل استخدامه من قبل كل من آكلات العشب والأعداء الطبيعيين لتحديد موقع المضيف والفريسة المضيفة في تفاعلات متعددة

التغذية في ظل الظروف الطبيعية. ومع ذلك ، نعتقد أن الدور الرئيسي لهذا المركب هو التوسط في الدفاع غير المباشر وتجهيز النباتات المجاورة. (Wei & Kang 2011)

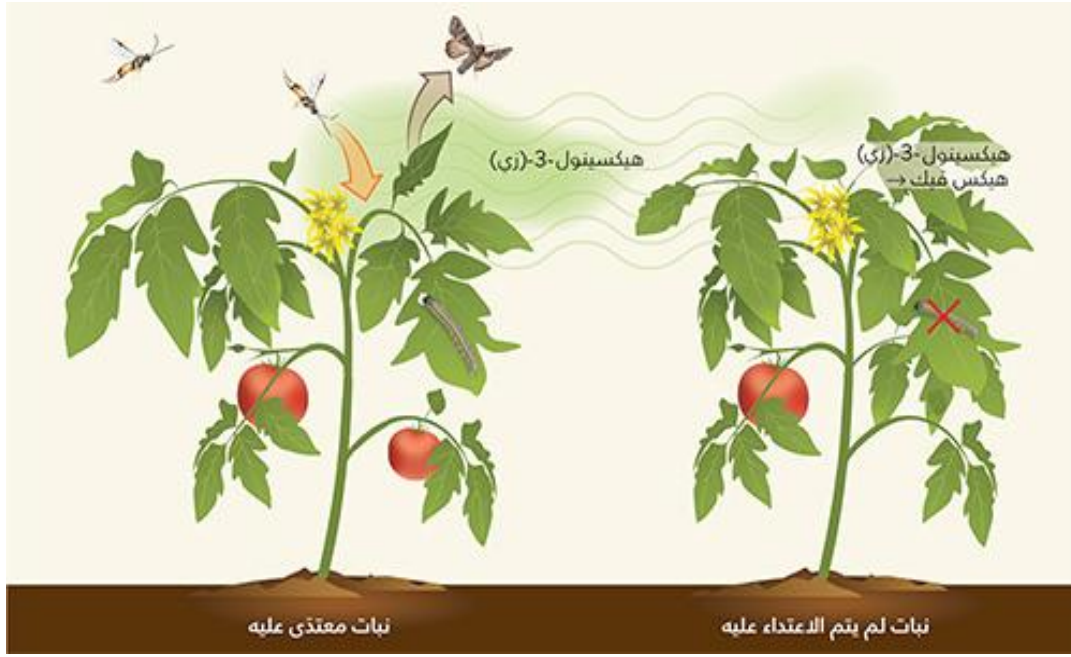


الوثيقة (16) : البنية الكيميائية لمركب (Z)-3-Hexenol (موقع pubchem)

III. التواصل عند نبات الطماطم:

1. تواصل نبات – نبات :

يرى العلماء أنّ VOCs التي تطلقها نباتات الطماطم المصابة ماهي إلا إشارات تحذيرية للنباتات المجاورة ، حيث أنّ هذه VOCs تعمل على تعزيز دفاعاتها و إعاقه اقتنيات الحشرات بها . حيث أشارت نتائج (Sugimoto et al.,2014) إلى أنّ تمرير مركب (Z)-3-Hexenol من النباتات المصابة إلى النباتات المجاورة السليمة قد يوفر الماد الخام لإنتاج مركب الهيكس فيك بدلاً من قيام هذه المادة المتطايرة بدور الإشارة الكيميائية فقط. (War et al.,2012)



الوثيقة (17) : VOCs بدورها كإشارات تحذيرية المجاورة في نبات الطماطم .

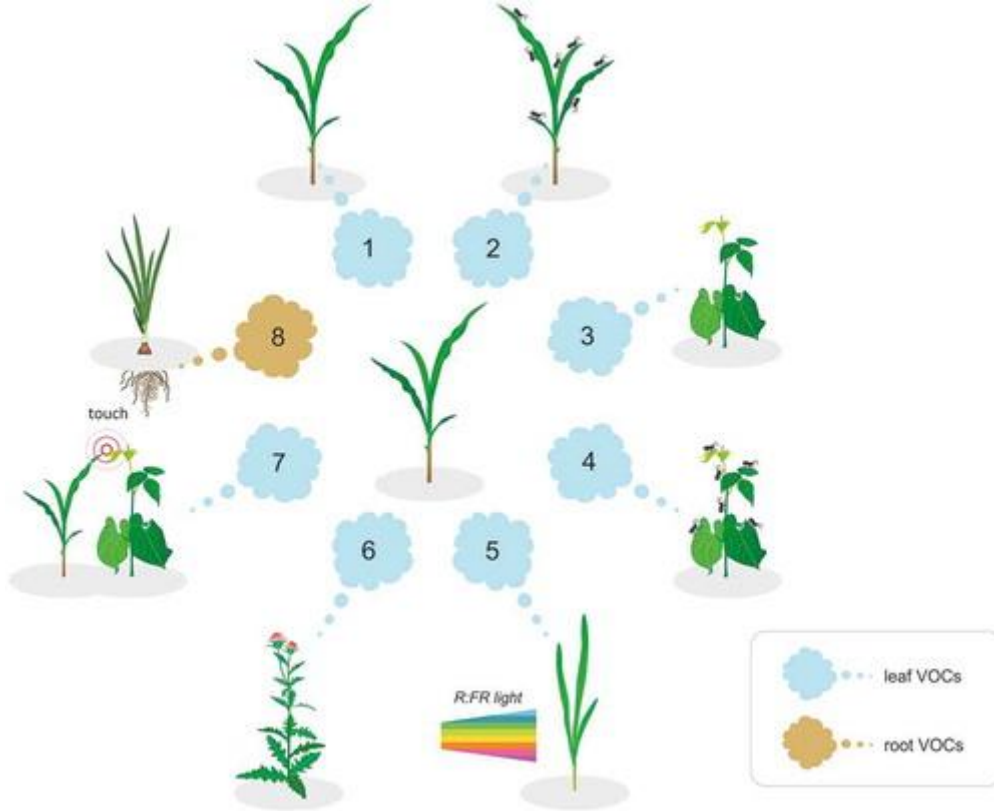
(Mescher & Moraes 2014)

من أجل التأكد من صحة هذه الفرضية قام (Sugimoto et al.,2014) بتعرض نباتات الطماطم لمركب (Z)-3-Hexenol المنقول عبر الهواء والذي تمّ وسّمه باستخدام نظير الهيدروجين (الديوتيريوم) ، حيث وجدوا أنّ كل مركبات الهيكس فيك التي تمّ إنتاجها فيما بعد كانت موسومة بهذا النظير .

التفاعلات بين نبات ونبات هي تفاعلات ديناميكية ومعقدة حيث يمكن أن تشمل العديد من الإشارات المختلفة والمهمة. يتمثل التحدي الرئيسي لجميع النباتات في الكشف عن الإشارات التي تشير إلى التهديد الحقيقي القادم والاستجابة لها بشكل فعال. مثل هذه الاستجابات الانتقائية للإشارات المحددة للغاية لها أهمية بيئية كبيرة في فهم التفاعلات بين النبات والنبات. (Velemir et al.,2019)

حيث نجد أنّ الأهمية البيئية للـ VOCs في اتصالات النبات والنبات محدودة ويمكن أن تكون فعّالة فقط على مسافات أقصر بسبب تخفيفها السريع في الهواء إلى تركيزات غير نشطة . حساسية جهاز الاستقبال للمركبات المتطايرة محددة أو مركبات الإشارة بتركيزات مختلفة ، إلى جانب مدة التعرض ، يجعل استجابات النبات أكثر تعقيداً. على سبيل المثال ، يمكن أن يؤدي التعرض الدوري خلال ثلاثة أسابيع لتتبع كميات (Z)-3-hexenol و (Z)-3-hexenyl acetate المنبعثة من النباتات المصابة إلى استجابات دفاعية في الجيران القريبين . (Velemir et al.,2019)

يمكن أن يكون للمواد المتطايرة من النباتات المجاورة (الوثيقة 18) قيمة إعلامية للنبات المتلقي حول وجود (1) نباتات من نفس النوع ، (2) نباتات متعرضة لهجوم آكلات العشب من نفس النوع ، (3) نباتات من نوع آخر ، (4) نباتات متعرضة لهجوم آكلات العشب من نوع آخر ، (5) نباتات معرضة لضوء أحمر منخفض: ضوء أحمر بعيد ، (6) نباتات شديدة المنافسة (أعشاب) ، (7) نباتات محفزة ميكانيكيًا ، (8) مركبات عضوية متطايرة للجذور. (Velemir et al.,2019)



الوثيقة (18) : المواد المتطايرة للنباتات المتجاورة (Velemir et al.,2019)

2. تواصل نبات – حشرة مهاجمة :

من الناحية البيئية ، في التفاعل بين الحشرات والنباتات ، فإنّ العلاقة المتبادلة بين الاثنين تعتبر مهمّة لبقاء كليهما. حيث تبحث الحشرات دائماً عن نبات مضيف يمكن أن يوفر لها الغذاء المناسب ويمكن أن يكون مناسباً للتزاوج ووضع البيض كما يوفر الغذاء للنسل . (War et al.,2012)

3. تواصل نبات – الأعداء الطبيعيين :

أظهرت العديد من الدراسات أنّ مركب (Z)-3-Hexenol هو ليس فقط المادة الكيميائية المحفزة الأكثر شيوعاً في 10 أنواع نباتية من سبع عائلات عند تعرضهم لآكلات العشب ، ولكن أيضاً من أهمّ المواد الكيميائية المعلوماتية لجذب الدبابير الطفيلية مقارنةً بالمواد الكيميائية المحفزة الأخرى. بالإضافة إلى ذلك أثبتت هذه النتائج أن انخفاض إطلاق (Z)-3-Hexenol في نبات الطماطم الطافر JA-deficiency أدى إلى انخفاض مستوى الجاذبية والتطفل عن طريق طفيليات حشرات الأوراق leafminer مقارنة بنباتات النوع البري ، مما يؤكد الدور المتميز لـ (Z)-3-Hexenol في اكتشاف المضيف للطفيليات.(Wei & Kang 2011)

من التجارب و الأبحاث و أيضاً الدراسات التي أجريت على نبات الطماطم نستخلص ما هو مدرج في الجداول (14،15،16).

الجدول (15): تنوع طرق الدفاع المفعلة عند نبات الطماطم.

طرق الدفاع غير مباشرة	طرق الدفاع المباشرة
<ul style="list-style-type: none"> • VOCs تكون عبارة عن HIVs مواد متطايرة مستحثة بواسطة آكلات العشب أو GLVs مواد متطايرة من الورقة الخضراء . تحتوي VOCs على مركبات مثل terpenes ، ميثيل جاسمونات MeJA ، ميثيل ساليساليك MeSA ، الإيثيلين ، مركب (Z)-3-Hexenol . • إطلاق VOCs في الهواء من أجل جذب الأعداء الحقيقيين للحشرة الأكلة للعشب . • إفراز مركبات كيميائية سامة تجعل من الحشرات المهاجمة تهاجم بعضها البعض . 	<ul style="list-style-type: none"> • المستقبلات الأولية كالكسكريات التي تعمل كإشارة دفاعية . • المستقبلات الثانوية التي هي عبارة عن سموم طاردة للحشرات مثل القلويدات و الفينولات . • البروتينات مثل بيتيد الـ Systemin • بوليفينول أو أكسيديز PPO و مثبطات البروتين PIs تعمل على تعطيل الإنزيمات الهاضمة في معي الحشرة .

الجدول (16) : مقارنة دفاع النبات التي تعرضت للهجوم (النبتة المصابة) و النبات المجاورة التي تلقت الإشارات التحذيرية (النبتة المجاورة) .

النبتة المصابة	النبتة المجاورة
استجابة بطيئة لعامل الإجهاد الحيوي	استجابة أسرع لعامل الإجهاد الحيوي
استحثاث آليات الدفاع بواسطة الحث الميكانيكي	استحثاث آليات الدفاع بواسطة VOCs التي أطلقت من النباتات المعطوبة و استقبلتها النباتات المجاورة
/	تحول المركبات الطيارة المرسلة من قبل النبتة المصابة إلى مركبات دفاعية
تحدث الإستجابة الدفاعية بعد تعرض النبات لهجوم أكل العشب	قبل تعرض هذه النباتات للهجوم فأنها تهيي نفسها للدفاع وذلك عبر تعزيز دفاعها بالـ VOCs التي استقبلتها.

جدول (17) : آليات التواصل ، الدفاع و الاستغاثة عند نبات الطماطم .

الآلية	بواسطة
التواصل	<ul style="list-style-type: none"> • التواصل عبر VOCs من أجل تنبيه و تحذير وتعزيز دفاعات النباتات المجاورة لهجوم لاحق لآكلات العشب • تواصل بين النبات المصاب و الحشرة المهاجمة وينتج عن ذلك استحثاث آليات الدفاع عند النبات . • تواصل النبات مع الأعداء الطبيعيين للحشرة المهاجمة وينتج عن ذلك استغاثة .

<ul style="list-style-type: none"> • يفعل النّبات آليات دفاعه المستحثة بواسطة تحفيز ميكانيكي من الحشرات الآكلة للعشب، حيث يؤدي ذلك إلى استجابات دفاعيّة مختلفة ، مئها الدفاع المباشر و الدفاع غير مباشر 	الدفاع
<ul style="list-style-type: none"> • بعد هجوم الحشرات الآكلة للعشب على النباتات فإنّ النبات يعمل على استدعاء الأعداء الطبيعيين من أجل تخليصها من هذه الآفة وذلك عبر VOCs. 	الإستغاثة

الخاتمة

الخاتمة

عجائب كثيرة أودعها الله سبحانه و تعالى في عالم النباتات ، فهي آية من آيات صنع الله الدالة على عظيم قدرته سبحانه و تعالى و بديع خلقه . فالنبات واهب الحياة للإنسان و الحيوان ، فهو الحلقة الأولى من سلسلة الحياة التي تنظم الكائنات الحيّة .

العديد من الهموم العلميّة التي كانت سابقاً ضرباً من الخيال أصبحت بالأمس و اليوم حقائق ، ولعلّ ما تطرقنا إليه في هذا البحث سيكون له نفس مآل تلك المواضيع المثيرة للجدل ذات الأطراف المؤيدة و الأخرى المعارضة ، حيث أن العديد منها انتهى بإثبات حقائق علمية بحثه كالطيران ، الظاهرة النسبية و الوصول للقمر .

من خلال ما وجدنا من بحوث و دراسات سابقة فإنّ النبات كائن ذكي يتّسم بسلوك ذو مرونة ظاهرية ، برغم من ثباته في التربة لكنّه يقوم بحركات مختلفة ، كما أنّ للنبات القدرة على التعلم و الذاكرة فيمكن لهذه الذاكرة أنّ تستمر لثواني أو أنّ تكون ذاكرة ذات أمد طويل ، و بالرغم من غياب أجهزة الحواس مثل التي يمتلكها الإنسان إلا أنّ النبات يحس ويستشعر ما حوله من ضوء ، لمس و ترددات و غيرها ، كما يظهر النبات ظواهر تشبه إلى حد كبير ظاهرة النّوم .

كما وجدنا أنّه ينتج عن التواصل داخل النبات أداء منظم و منسق للعمليات الحيوية و الفسيولوجية ، أمّا تواصل النبات مع الكائنات الأخرى فينتج عنه علاقات مختلفة تعيشيّة ، تكافلية ، تطفلية أو علاقة إقتراس ، ممانعة ، و غيرها

واحدة من أبرز ثمرات الفصلين السابقين هي الدفاع الذي يظهر نجاعة النبات في تحديات البقاء، لما يظهره من أساليب خاصة تركيبية، بيوكيميائية و أخرى مكتسبة للدفاع ضد مسببات الأمراض ، كما أنه يترك للحيوانات و العواشب الأخرى نصيبهم من الوسائل الدفاعية لصددهم معتمداً في ذلك مجموعة الطرق الدفاعية المباشرة بما تحمله من وسائل تركيبية أ و بيوكيميائية أو عن طريق طرق غير مباشرة نتيجة تفاعله مع غيره من الكائنات الحية .

يستمر النبات في إثبات نجاعته بإنتهاج أساليب دفاعية جديدة واحدة من بينها هي الإستغاثة حيث أن لها آليات محددة و المتمثلة في إستقبال رسائل تحذيرية مصدرها النبات المجاور ، أو إرسال رسائل استغاثة للحيوانات المفترسة للعواشب المهاجمة ، كونها تمثل العدو الطبيعي لها ، فالنبات يعامل غيره من العواشب على أساس نقاط ضعفهم و يختار الأسلوب الأنسب لصددهم .

من التجارب و الأبحاث و أيضا الدراسات التي أجريت على نبات الطماطم توصلنا إلى أنّ نبات يتواصل مع النباتات المجاورة من حوله عبر مركبات عضوية طيارة من أجل أهداف مختلفة سواءً كانت تنبيهية أو تحذيرية ، كما يدافع نبات الطماطم ضد هجوم العواشب عبر تفعيل آليات دفاعية مباشرة و غير مباشرة كما يستغيث الطماطم بالأعداء الطبيعيين للتخلص من الحشرة العاشبة ،

مؤكدًا بذلك قدرة النَّبات على حل مشكلاته و تكيفه مع بيئته و اتخاذ حلول ذكيَّة تمكنه من الإستمرار و النجاة .

كما ونختم بحثنا هذا بمجموعة من التوصيات :

إن الفهم الجيد للنبات وتفاعلاته يمهد الطريق لإيجاد الحلول الفعالة في التعامل مع مشاكله ، كتجسيد مبدأ الحرب البيولوجية في مكافحة الآفات عوض استعمال أساليب أخرى تعرض النبات والبيئة في الدخول لأزمات أكثر حدة .

كل تقدم في علم نبات فيتبعه حتمًا تقدم في ميدان علم الزراعة و إنتاج المحاصيل ، كما بإمكان أيضاً تطبيق النتائج العملية في المجالات الزراعية وغيرها.

كما أنّ فهم آليات تواصل النبات هو الأسلوب الأنجع في تطويره وإستغلاله الأمثل ، فمعامله النبات على مبدأ أنه كائن ذكي يستقبل ويستجيب لمؤثرات محيطه أظهرت نتائج واعدة ، حيث أن التجارب التي جرى فيها مخاطبة النبات بكلام سلبي أو بكلام إيجابي لوحظ فيها تأثير محتوى الخطاب على نمو النبات.

من شأن هذه الإكتشافات أن تفتح باباً جديداً من أجل التحكم في سلوكيات النَّبات أو خصائصه دون الحاجة إلى تعديل جيناته .

تدريس بدقة علم سلوك النَّبات ، على أنّ النَّبات كائن ذكي ، حي يتحرك ، يتعلم ويتذكر و يعمل على حل المشكلات التي تواجهه .

إنّ هذا الموضوع الشيق الواعد يحتاج إلى التجربة أكثر بإستخدام إمكانيات ووسائل متطورة و ناجعة في التعامل مع النبات للوصول إلى أهداف سامية .

قائمة المراجع

قائمة المراجع
مراجع اللغة العربية
كتب:

1. أحمد و. ع ، (2016) النباتات الآكلة للحشرات . اليازوري ، ص : 16-19 .
2. النعيمي س.ن ، (2021) دماغ النبات ، دار الكتاب العلمية ، بيروت ، لبنان ، ص : 3 ، 61 ، 74 ، 110-111 ، 121 ، 134-137 .
3. بول . ب ، (2018) 1001 فكرة عن العلوم (الفيزياء ، الكيمياء ، الأحياء) . مجده ، المجموعة العربية للتدريب والنشر ، ص : 187 ، 191 .
4. حسن .أ ، (1998) الطماطم و الآفات ومكافحتها ، الدار العربية للنشر و التوزيع ، ص : 11
5. داوود م .أ ، البدراني ع .و ، حسن ف.ع ، الرشدي ص .م ، (2019) تغذية النبات النظري و العملي . دار الكتب العلمية ، بيروت ، لبنان ، ص : 399 .
6. دفلس ر.د ، فسيولوجيا النبات . حميدة .ع ، الجيلاني م. ، الالوسي ح ، ص :
7. ريفن ب.ه ، جونسون ج .ب ، لوسوس ج .ب ، ماسون ك .أ ، سنجرس .ر ، (2014) علم الأحياء . العبيكان للنشر ، المملكة العربية السعودية ، ص : 182 ، 781 ، 808 .
8. سليمان ح .أ ، (2008) عماد فسيولوجيا النبات . مكتبة جزيرة الورد ، القاهرة ، مصر ، ص : 300 ، 297 ، 307 .
9. مانكوزو.س ، فيولا .أ ، (2019) - الذكاء الأخضر تطور النباتات و إنقاذ مستقبل البشرية . أحمد.دي ، العربي للنشر والتوزيع ، ص : 120-121 ، 123-124 ، 159 ، 168 ، 206 ، 210-211 .
10. مجموعة باحثين ، (2021) حياة النبات . وكالة الصحافة العربية ناشرون ، الجيزة ، جمهورية مصر العربية ، ص : 138-141 ، 148 ، 168 ، 180 .
11. نسلتوت ك .ح ، القصاص م .ع ، (2002) كتاب علم البيئة النباتية . المتبة الأكاديمية ، جمهورية مصر العربية ، ص : 136 ، 149 .
12. وصفي ع .د ، (1995) منظمات النمو و الإزهار . المكتبة الأكاديمية ، القاهرة ، مصر ، ص : 60 ، 72 ، 76 ، 87 ، 95 ، 103-104 .
13. وصفي ع .د ، (2008) عماد فسيولوجيا النبات . مكتبة جزيرة الورد ، القاهرة ، مصر ، ص : 161 ، 563-564 .

المقالات:

1. المخزنجي م . (2019) ملهمة أم مجرمة؟ شجرة التين البنغالي العظمى الخناقة تصوير رمزا للإنقاذ . Scientific American للعلم .
2. السنباطي م . (2017) لاتستهن بعقول النباتات . Scientific American للعلم .
3. ديوان، مجيد متعب، (1994)، تقدير الكثافة العددية للفطريات المرضية وغير المرضية لجذور الطماطم، مجلة البصرة للعلوم الزراعية، 7 (3):ص 32-39.
4. فاطمة أ، (2017)، نباتات مفترسة طعامها حشرات، مجلة كوكب العلم، الإسكندرية جمهورية مصر العربية
5. عبدالله ل، الطالب ل . ح،نشوانح،م، (2021)، النباتية الزهرية المتطفلة ومكافحتها، جامعة الموصل، العراق.
6. عبد السلام م،أ،أ، يوسف أ،ر،م، (2021)، ظاهرة التأثير المتبادل للنباتات،المركز القومي للأبحاث، مصر ص: 1، 3.
7. الوكيل م، ع، (2010)، كيف تحمي النباتات نفسها، جامعة المنصورة مصر ص: 2.

المذكرات:

1. صدراتي ن، (2011)، عزل و تشخيص الكائنات الحية الدقيقة الداخلية (أندوفيت) لنبات القمح و تقدير نشاطها البيولوجي، مذكره لنيل شهادة الماجستير، جامعة فرحات عباس سطيف، ص17.

ندوات علمية:

1. بدون إسم، (1993)، ندوة مرض اللفحة النارية على التفاح والكمثري، جامعة الإسكندرية، مصر.

ملحق:

1. بدون اسم، (2012)، بروتوكولات تشخيص المعيار a27 في المعايير الدولية للتدابير الصحية النباتية CPA.

محاضرات:

1. قادري م، (2017)، فسيولوجيا النبات، كلية علوم الطبيعة والحياة، الوادي ص: 12، 17، 18، 30، 32.
2. عسيبة إ، (2019)، تكيف النباتات الإجهاد البيئة، كلية علوم الطبيعة والحياة، الوادي، ص: 10، 11، 50، 53، 63.

المواقع:

1. <https://rs.ksu.edu.sa/issue-1264/1532> (18/04/2021).
2. <https://sites.google.com/site/scnaturelle/home/scnaturelle/prot> (12/02/2021).
3. <https://www.uj.edu.sa/Files/0060732>.(12/02/2021)
4. <https://amp-theguardian-com.cdn.ampproject.org/v/s/amp.theguardian.com/science/2018/may/02/plants-talk-to-each-other-through-their-roots?usqp=mq331AQHKAFQArABIA%3D%3D&>. (20/03/202)
5. <https://www.bbc.co.uk/news/science-environment-22462855>. (18/03/2021)
6. <http://courses.minia.edu.eg/Attach/micro309-lec1-2.pdf> (23/052021)
9. <http://www.uoanbar.edu.iq/eStoreImages/Bank/1105>.(23/05/2021)
10. <https://ar.maywoodcuesd.org/the-difference-between-batesian-and-mullerian-mimicry-7933> (02/06/2021)
11. <https://www.ibelieveinsci.com/?p=90604>(02/03/2021)

12. <https://www.scientificamerican.com/arabic/articles/news/plants-turn-caterpillars-into-cannibals> (10/06/2021).

مراجع اللغة الانجليزية:

كتب:

1. **Agrios, G. N,** (.2005), Plant Pathology. 5th Edition. Elsevier- Academic Press, San Diego, CA, USA, 922 pp.
2. **Darwin C,** (1880), The power of movement in plants. London, UK: John Murray.
3. **František B, Velemir N,** (2010) Plant communication from an ecological perspective , springer , P : 1-5 , 15 , 99 , 100 .
4. **Karban R .** (2015) Plants sensing and communication , the university of Chicago press , Chicago and London , P : 19
5. **La Cerra P, Bingham R,** (2002), the origin of minds : Evolution , uniqueness , and the new science of the self . NY: Harmony Books.
6. **Leslie, J. F, summerell, B. A,** (2006), The Fusarium laboratory manual, Blackwell Publishing. Iowa, USA.388 PP.
7. **Stenhouse D,** (1974), The Evolution of Intelligence – A General Theory and Some of Its Implications. George Allen and Unwin, London, UK.
8. **Warwick K,** (2001), The Quest for Intelligence. Judy Piatkus, London, UK.

9. **Witzany G, Baluška F, Gagliano M**, (2018), Memory and learning in plants, springer, P: 13, 10.

المقالات:

1. **Aarssen, L, & Turkington, R.** (1985). Biotic Specialization Between Neighbouring Genotypes in *Lolium Perenne* and *Trifolium Repens* from a Permanent Pasture. *Journal of Ecology*, 73(2), 605-614. doi:10.2307/2260497.
2. **Adamatzky, A. et al.** Computers from plants we never made: Speculations. In *Inspired by nature*, pages 357–387. (Springer, 2018).
3. **Adesanya ,A,W, Held D,W, Liu N**, (2017), Geranium intoxication induces detoxification enzymes in the Japanese beetle, *Popillia japonica* Newman, *Pestic Biochem Physiol*, 143:1-7.
4. **Altaf H, Jean C, Rodriguez R, Nadir E**, (2019), “Spatial Characteristics of Volatile Communication in lodgepole Pine Trees: Evidence of Kin Recognition and Intra-species Support” *Science of the Total Environment* 692 127–135.
5. **Appel, H.M., Coccoft, R.B**, (2014), Plants respond to leaf vibrations caused by insect herbivore chewing. *Oecologia* 175, 1257-1266.
6. **Arimura GI, Matsui K, Takabayashi J**,(2009) Chemical and molecular ecology of herbivore-induced plant volatiles: proximate factors and their ultimate functions. *Plant Cell Physiol* ; 50:911 - 23; <http://dx.doi.org/10.1093/pcp/pcp030>; PMID: 19246460.

7. **Ayékotchami J,D, Adandé B F,(2021),** Utilisation des plantes médicinales pour prévenir et guérir les morsures de serpents : état des lieux et perspectives(synthèse bibliographique), BASE [En ligne], Volume 25 (Numéro 2, 57-70) URL.
8. **Azzouz H, Cherqui A, Campan E, D, M, Rahbé Y, Duport G, Jouanin L, et all (2005).** Effects of plant protease inhibitors, oryzacystatin I and soybean BowmanBirk inhibitor, on the aphid *Macrosiphum euphorbiae* (Homoptera, Aphididae) and its parasitoid *Aphelinus Abdominalis* (Hymenoptera, Aphelinidae). *J Insect Physiol* : 51,75, 86.
9. **Baldwin, I, (2015),** Plant science: Rediscovering the bush telegraph. *Nature* **522**, 282–283.
- 10.**Balmer D, Mauch-Mani B. (2012)** Plant Hormones and Metabolites as Universal Vocabulary in Plant Defense Signaling. In: Witzany G., Baluška F. (eds) *Biocommunication of Plants. Signaling and Communication in Plants*, vol 14. Springer, Berlin, Heidelberg.
- 11.**Baluška, F. et al, (2005),** “Plant synapses: actin-based domains for cell-to-cell communication.” *Trends in plant science* 10 3 106-11.
- 12.**Barakat A, Bagniewska-Zadworna A, Frost CJ, Carlson JE, (2010),** Phylogeny and expression profiling of CAD and CAD-like genes in hybrid *Populus* (*P. deltoides* x *P. Nigra*): evidence from herbivore damage for subfunctionalization and functional divergence. *BMC Plant Biol*:10,100.

- 13.Barbehenn RV, Peter Constabel C**, (2011), Tannins in plant herbivore interactions, *Photochemistry*: 72, 1551, 65.
- 14.Beattie G**, (2015), Curating communities from plants. *Nature* **528**, 340-341.
- 15.BENNETT, R.N. and WALLSGROVE, R.M.** (1994), Secondary metabolites in plant defence mechanisms. *New Phytologist*, 127: 617-633.
- 16.Bertin C, Yang X, Weston LA**, (2003) The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere. *Plant Soil* 256:67–83.
- 17.Bhonwong A, Stout M,J, Attajarusit J, Tantasawat P**, (2009), Defensive role of tomato polyphenol oxidases Against cotton bollworm (*Helicoverpa armigera*) and Beet armyworm (*Spodoptera exigua*). *J Chem Ecol*: 35,28,38.
- 18.Biedrzycki M,L, .Jilany T,A, Dudley S,A, Bais H, P**, (2010), Root exudates mediate kin recognition in plants, *Commun Integr Biol*, Jan: 3(1):28-3536.
- 19.Bonfante P, Genre A**, (2010), Mechanisms underlying beneficial plant–fungus interactions in mycorrhizal symbiosis, *Nat Commun* 1, 48.
- 20.Boosting plant defence.** *Nature* **498**, 141 (2013).

- 21. Borrero C, Trillas M, I, Ordales J, Tello J, C, Aviles M, (2004),**
Predictive Factors for the suppression of Fusarium wilt of tomato in
plant growth media. *Phytopathology* 94: 1094 – 1101.
- 22. Braam J, (2005),** In touch: plant responses to mechanical stimuli.
New Phytol. Feb;165(2):373-89.
- 23. Brian G. Forde,** March 2014, Glutamate signalling in roots, *Journal
of Experimental Botany*, Volume 65, Issue 3, Pages 779–787.
- 24. Bruce T.J.A., Matthes M.C., Napier J. & Pickett
J.A. (2007)** Stressful memories of plants: evidence and possible
mechanisms. *Plant Science* **173**, 603– 608.
- 25. Bruce T, J, Pickett J, A, (2016),** Perception of plant volatile blends
by herbivorous insects—finding the right mix, *Phytochemistry*,
2011;72:1605–11.
- 26. Calabrese EJ, Baldwin LA (2001)** Hormesis: U-shaped dose
responses and their centrality in toxicology. *Trends Pharmacol Sci*
22:285–291
- 27. Cha D, H, Linn C, E, J, r, Teal ,P,E, Zhang A, Roelofs W,L, Loeb
G,M, (2011),** on plant volatiles by a specialist moth: significance of
ratio and concentration. *PLoS One.* 2011;6:e17033.
- 28. Chaeprasert S, Piapukiew J, Whalley A, J, S, Sihanonth A, (2010),**
Endophytic fungi from Mangrove plant species of Thailand: their
antimicrobial and anticancer potentials. *Botanica Marina*; 53: 555-564.
- 29. Cheung, A., Wu, HM, (2016).** LURE is bait for multiple
receptors. *Nature* **531**, 178–180.

- 30. Chomicki G, Ward P, S, Renner S ,S, (2015),** assembly of ant/plant symbioses: Pseudomyrmex ants and their ant-housing plants in the Neotropics. *Proc Biol Sci.* 22;282(1819):20152200.
- 31. Compant S, Duffy B, Nowak J, Clement C, Barka E, A, (2005):**Use of plant growthpromoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and futureProspects. *Appl Environ Microbiol*; 71: 4951-4959.
- 32. Christmann, A, (2013),** Grill, E. Electric defence. *Nature* **500**, 404-405.
- 33. Dai C, C, Yu, B, Y, Li X, (2008),** Screening of endophytic fungi that promote the growth of *Euphorbia pekinensis*. *African Journal of Biotechnology*; 7: 3505-3510.
- 34. Davies E. (2004).** New functions for electrical signals in plants. *The New phytologist*, 161(3), 607–610.
- 35. Delory, B.M., Delaplace, P., Fauconnier, ML. et al, (2016),** Root-emitted volatile organic compounds: can they mediate belowground plant-plant interactions?. *Plant Soil* **402**, 1–26.
- 36. Desbiez MO, Kergosein Y, Champagnant P, Thellier M (1984)** Memorisation and delayed expression of regulatory message in plants. *Planta* 160:392–399
- 37. Deshmukh S, K, Mishra P, D, Kulkarni-Almeida A, Verekar S, Sahoo M, R, Periyasamy G, Goswami H , Khanna A, Balakrishnan A, Vishwakarma R, (2009),** Antiinflammatory and anticancer activity

of ergoflavin isolated from an endophytic fungus. *ChemBiodivers*; 6: 784-789.

38.Dunoyer P, Voinnet O, (2005), The complex interplay between plant viruses and host RNA silencing pathways. *Curr Opin Plant Biol.* ;8:415–423.

39.Evans, R. & R. Turkington, (1988). Maintenance of morphological variation in a biotically patchy environment. *New Phytologist* 109: 369-376.

40.Falkenstein E, Groth B, Mithöfer A, Weiler E W: (1991).

"Methyljasmonate and α -linolenic acid are potent inducers of tendrill coiling". *Planta*. 185 (3): 316–22

41.Farmer E E , Ryan C A, (1990).: "Interplant communication:

airborne methyl jasmonate induces synthesis of proteinase inhibitors in plant leaves". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 87 (19): 7713–6

42.Foyer CH , (2020) How Plant Cells Sense The Outside World Through Hydrogen Peroxide , *Nature* **578**, 518-519.

43.Frederickson M,E, Ravenscraft A, Miller G,A, (2012), Arcila Hernández LM, Booth G, Pierce NE. The direct and ecological costs of an ant-plant symbiosis. *Am Nat.*;179(6):768-78.

44.Furjyoshi P,T, Gliessman S, R, Langenheim J,H, (2002), Inhibitory potential of compounds released from squash (*Cucurbita* spp.) under natural conditions. *Allelopathy Journal* 9(1), 1-8.

- 45. Gagliano M, Mancuso S, Robert D** (2012) Towards understanding plant bioacoustics. *Trends Plant Sci* 17:323–325.
- 46. Gagliano M, Renton M, Depczynski M, Mancuso S**, (2014), Experience teaches plants to learn faster and forget slower in environments where it matters. *Oecologia* **175**, 63–72.)
- 47. Gaupels F, Kuruthukulangarakoola GT, Durner J**, (2011), Upstream and downstream signals of nitric oxide in pathogen defence. *Curr Opin Plant Biol*. Dec;14(6):707-14.
- 48. Gerardo R, Tom W, Zhenyang G, Xiaolong Y, Hong L, Jonathan P**, (2001), Lynch, Root Gravitropism and Below-ground Competition among Neighbouring Plants: A Modelling Approach, *Annals of Botany*, 929–940 p.
- 49. Greenberg J,T**, (1996), Programmed cell death: a way of life for plants. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 29;93(22):12094-7.
- 50. Green TR, Ryan CA**, (1972) Wound-induced proteinase inhibitor in plant leaves: a possible defense mechanism against insects. *Science* 175(4023):776–777
- 51. Grubb P,J**, (1992) , A positive distrust in simplicity – lessons From plants defenses and from competition among plants and animals. *J Ecol*80:585-610.
- 52. Guerrieri E, Poppy G,M, Powell W, Rao R, Pennacchio F**, (2002) Plant-to-plant communication mediating in-flight orientation of *Aphidius ervi*. *J Chem Ecol*. 2002 Sep;28(9):1703-15. Doi: 10.1023/a:1020553531658. PMID:a (12449500).

- 53. Günther Witzany**, (2006) Plant Communication from Biosemiotic Perspective, *Plant Signaling & Behavior*, 1:4, 169-178.
- 54. Halligan J,P**, (1973), Bare areas associated with shrub stands in Grasslands: the case of *Artemisia californica*. *Bioscience* 23, 429-432.
- 55. Halpern M, Raats D, Lev-Yadun S**, (2007), Plant biological warfare: thorns inject pathogenic bacteria into herbivores. *Environ Microbiol.* 9(3):584-92.
- 56. Harding N, T**, (1985), Rodent repellent paint and bars. U.S. Patent No. 4,654,080. 23. Hansson, L. (1988) Natural resistance.
- 57. Hyde K, D, Soyong K, D**, (2008), The fungal endophytes dilemma. *Fungal Diversity*; 33:163-173.
- 58. Heil M, Ton J**, (2008), Long-distance signalling in plant Defence. *Trends in Plant Science* 13: 264–272.
- 59. Heil M, Adame-Álvarez RM** (2010) Short signalling distances make plant communication a soliloquy. *Biol Lett* 6:843–5.
- 60. Heil M, Karban R** (2010) Explaining evolution of plant communication by airborne signals. *Trends Ecol Evol* 25:137–144.
- 61. Hellmeier H, Erhard M, Schulze ED** (1997) Biomass accumulation and water use under arid conditions. In: Bazzaz FA, Grace J (eds) *Plant resource allocation*. Academic, London, pp 93–113
- 62. Hiroyuki I , Mähönen A P** (2020) Growth-mediated sensing of long-term cold in plants , *Nature* **583**, 690-691.

- 63. Igarashi Y**, (2004), Screening of novel bioactive compounds from plant-associated actinomycetes, *Actinomycetologica* 18: 63-66.
- 64. Igarashi Y, Trujillo M, E, Martínez-Molina E, Yanase S, Miyanaga S, Obata T, Sakurai H, Saiki I, Fujita T, Furumai T, Antitumor**, (2007), anthraquinones from an endophytic actinomycete *Micromonospora lupini* sp. Nov. *Bioorg Med Chem Lett.* Jul 1; 17(13):3702-5.
- 65. Islam A, K, M, Mominul, .Joshua R, Widhalm**, (2020), "Agricultural Uses of Juglone: Opportunities and Challenges." *Agronomy*, 1, 11p.
- 66. Joo Yeol Kim, Seon-Kyu Kim, Jihye Jung, Mi-Jeong Jeong, Choong-Min Ryu**, (4 December 2018), Exploring the sound-modulated delay in tomato ripening through expression analysis of coding and non-coding RNAs, *Annals of Botany*, Volume 122, Issue 7, Pages 1231–1244.
- 67. Kandel ER**, (2001 Nov) The molecular biology of memory storage: a dialogue between genes and synapses. *Science* 2;294(5544):1030-8.
- 68. Kant M, R, Ament K, Sabelis M,W, Haring M·A, Schuurink, R ,C**, (2004), Differential timing of spider mite induced direct and indirect defenses in tomato plants. *Plant Physiol.* 135:483–49.
- 69. Karban R, Baldwin I, Baxter K, Laue G, Felton G,w**, (2000), Communication between plants: induced resistance in wild tobacco

plants following clipping of neighboring sagebrush. *Oecologia* 125, 66–71.

70.Kelber A, Vorobyev M, Osorio D, (2003), Animal colour vision-behavioural tests and physiological concepts *Biol Rev* 78: 81–118.

71.Kelly C.L., Bowler M.G., Pybus O. & Harvey P.H. (2008) phylogeny, niches and relative abundance in natural communities. *Ecology* **89**, 962– 970.

72.Kessler A, Baldwin IT (2001) Defensive function of herbivore-induced plant volatile emissions in nature. *Science* 291(5511):2141–2144

73.Kikuta Y, Ueda H, Nakayama K, Katsuda Y, Ozawa R, Takabayashi J, Hatanaka A, Matsuda K, (2011) Specific regulation of pyrethrin biosynthesis in *Chrysanthemum cinerariaefolium* by a blend of volatiles emitted from artificially damaged conspecific plants. *Plant Cell Physiol* **52**: 588– 596.

74.Kost C, Heil M, (2006), “Herbivore-induced Plant Volatiles Induce an Indirect Defense in Neighbouring Plants” *Journal of Ecology* 94, no. 3: 619–628.

75.Kumar D, Klessig DF, (2003), High-affinity salicylic acid-binding protein 2 is required for plant innate immunity and has salicylic acid-stimulated lipase activity. *Proc Natl Acad Sci USA* **100**: 16101– 16106.

76.Kundu, A., Mishra, S. & Vadassery, J. (2018). *Spodoptera litura*-mediated chemical defense is differentially modulated in older and younger systemic leaves of *Solanum lycopersicum*. *Planta* **248**, 981-997 .

- 77.Lam E, Kato N, Lawton M,** (2001), Programmed cell death, mitochondria and the plant hypersensitive response. *Nature*. 14;411(6839):848-538.
- 78.Ledford H** (2013). Plants Perform Molecular Mathematics Arithmetic division guides plants use of energy at night. *nature* <https://www.scientificamerican.com/article/plants-perform-molecular-mathematics/>.
- 79.Lev-Yadun S,** (2001), Aposematic (warning) coloration associated with thorns in higher plants. *J Theor Biol* 210: 385-388.
- 80.Lev-Yadun S,** (2003), Why do some thorny plants resemble Green zebras? *J Theor Biol* 244: 483–489.
- 81.Lev-Yadun S,** (2006), Defensive coloration in plants: a review Of current ideas about anti-herbivore coloration strategies. In *Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology:Advances and Topical Issues, Vol. IV*. Teixeira da Silva,J.A. (ed.). London, UK: Global Science Books, pp. 292–299.
- 82.Lev-Yadun S,** (2009), Müllerian mimicry in aposematic spiny plants. *Plant Signal Behav.* 4(6):482-3.
- 83.Lindström K, Zhang L, Zhang X, Storbel G, A,** (2011), The diversity and anti-microbial activity of endophytic

actinomycetes Isolated from medicinal plants in Panxi plateau, China. *Curr Microbiol*; 62: 182-190.

- 84.Livia CT Scorza, Marcelo Carnier Dornelas.** (2014) Rapid touch-stimulated movement in the androgynophore of *Passiflora* flowers (subgen. *Decaloba*; Sect. *Xerogona*). *Plant Signaling & Behavior* 9:1.
- 85.Lucas, W. J., & Lee, J. Y.** (2004). Plasmodesmata as a supracellular control network in plants. *Nature reviews. Molecular cell biology*, 5(9), 712–726.
- 86.Ludwig A,A, Saitoh H, Felix G, Freymark G, Miersch O, Wasternack C, et al,** (2005), Ethylene-mediated cross-talk Between calcium-dependent protein kinase and MAPK Signaling controls stress responses in plants. *Proc Natl Acad Sci U S A*; 102:10736-41.
- 87.Maffei M,E, Mithöfer A, Boland W,** (2007), Insects feeding On plants: rapid signals and responses preceding the Induction of phytochemical release. *Phytochemistry*.
- 88.Maia M,F, Moore S,J.,** (2011). Plant-based insect repellents: a review of their efficacy, development and testing. *Malar J* 10, S11 (2011) .
- 89.Mao Y,B, Cai W,J, Wang J,W, Hong G,J, Tao X,Y, Wang L,J, et al,** (2007), Silencing a cotton bollworm P450 monooxygenase gene by plant-mediated RNAi impairs larval tolerance of gossypol. *Nat Biotechnol*; 25:1307-13.
- 90.Márquez L,M, Redman R,S,Rodriguez R,J, Roossinck M,J,** (2007),A virus in a fungus in a plant: three-way symbiosis required for

thermal tolerance. *Science*. 26;315(5811):513-5. Erratum in: *Science*. 13;316(5822):201.

- 91. Maule A. J.** (2008). Plasmodesmata: structure, function and biogenesis. *Current opinion in plant biology*, 11(6), 680–686.
- 92. Maule, A. J., Benitez-Alfonso, Y., & Faulkner, C.** (2011). Plasmodesmata - membrane tunnels with attitude. *Current opinion in plant biology*, 14(6), 683–690.
- 93. Mayer V.E, Frederickson M.E, McKey D, Blatrix R,** (2014), Current issues in the evolutionary ecology of ant-plant symbioses. *New Phytol.* 202(3):749-764.
- 94. McClintock B** (1984) The significance of responses of the genome to challenge. *Science* 226:792–801.
- 95. Michmizos D, Chilioti Z.** ,(2019). ."A roadmap towards a functional paradigm for learning & memory in plants". *Journal of Plant Physiology*. 232 (1): 209–215
- 96. Mishra RC, Ghosh R, Bae H.** (2016) Plant acoustics: in the search of a sound mechanism for sound signaling in plants. *J Exp Bot.* Aug;67(15):4483-94.
- 97. Mithöfer A, Wanner G, Boland W,** (2005), Effects of feeding *Spodoptera littoralis* on lima bean leaves. II. Continuous mechanical wounding resembling insect feeding is sufficient to elicit herbivory related volatile emission. *Plant Physiol.* 137:1160–1168.

- 98. Mousavi, S. A. R., Chauvin, A., Pascaud, F., Kellenberger, S. & Farmer, E. E. (2013), *Nature* 500, 422–426.**
- 99. Natalia Dudareva, Florence Negre, Dinesh A. Nagegowda & Irina Orlova (2006) *Plant Volatiles: Recent Advances and Future*.**
- 100. Narendra Tuteja & Shilpi Mahajan, (2007) Calcium Signaling Network in Plants, *Plant Signaling & Behavior*, 2:2, 79-85.**
- 101. Pauwels L, Inzé D, Goossens A, (2009), Jasmonate-inducible Gene: What does it mean? *Trends Plant Sci* 2009; 14:87-91.**
- 102. Pearce G, Ryan C,A, (2003), Systemic signaling in tomato plants for defense against herbivores: isolation and characterization of three novel defense signaling glycopeptide hormones coded in a single precursor gene. *J Biol Chem.*;278:30044–30050.**
- 103. Perry LG, Alford ER, Horiuchi J et al, (2007) Chemical signals in the rhizosphere: root-root and root-microbe communication. In: Pinton R, Varanini Z, Nannipieri P (eds) *The rhizosphere: biochemistry and organic substances at the soil-plant interface*. CRC Press, Boca Raton, pp 297–330.**
- 104. Petra M. Bleeker, Paul J. Diergaarde, Kai Ament, José Guerra, Monique Weidner, Stefan Schütz, Michiel T.J. de Both, Michel A. Haring, Robert C. Schuurink, The Role of Specific Tomato Volatiles in Tomato-Whitefly Interaction , *Plant Physiology*, Volume 151, Issue 2, October 2009, Pages 925–935.**
- 105. Puttonen E, Briese C, Mandlbürger G, Wieser M, Pfennigbauer M, Zlinszky A and Pfeifer N, (2016) Quantification of Overnight**

Movement of Birch (*Betula pendula*) Branches and Foliage with Short Interval Terrestrial Laser Scanning. *Front. Plant Sci.* 7:222.

106. Ramakrishna Akula & Gokare Aswathanarayana

Ravishankar, (2011) Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants, *Plant Signaling & Behavior*, 6:11, 1720-1731.

107. Ramakrishna A., Atanu B. (2020) Glutamate: Physiological Roles and Its Signaling in Plants. In: Baluška F., Mukherjee S., Ramakrishna A. (eds) *Neurotransmitters in Plant Signaling and Communication. Signaling and Communication in Plants*. Springer, Cham

108. Rasmann S, Turlings T, C, (2007), feeding by aboveground and belowground herbivores attenuates plant-mediated attraction of their respective natural enemies. *Ecol Lett.*:926-36. 3

109. Remco M,P, Van P, Maarten A, Posthumus, Marcel D, (2001), “Herbivore-Induced Volatile Production by *Arabidopsis thaliana* Leads to Attraction of the Parasitoid *Cotesia rubecula*: Chemical, Behavioral, and Gene-Expression Analysis” *Journal of Chemical Ecology* 27,): 1911–1928.

110. Renapurkar D, Tare T, Sutar N, Deshmukh P, (2013), Observations on Snake Repellent Property of Some Plant Extracts. *Defence Science Journal*, 41(1), 79-85. P79.

111. Renwick J,A,A, Zhang W, Haribal M, Attygalle A,B, Lopez K,(2001), Dual chemical barriers protect a plant Against different larval stages of an insect. *J Chem Ecol* 27:1575-83; PMID:11521397.

- 112. Ribot C, Zimmerli C, Farmer E,E, Reymond P, Poirier Y, (2008),** Induction of the Arabidopsis PHO1;H10 gene by 12-oxo-phytodienoic acid but not jasmonic acid via a CORONATINE INSENSITIVE1-dependent pathway. *Plant Physiol*; 147:696706.
- 113. Robert D, Allen, (1969),** Mechanism of the Seismonastic Reaction in *Mimosa pudica*, *Plant Physiology*, Volume 44, Issue 1101–1107p.
- 114. Roossinck M, J, (2005),** Symbiosis versus competition in plant virus evolution. *Nat Rev Microbiol.*;3:917–92.
- 115. Roossinck M, J, (2010),** Lifestyles of plant viruses. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1548), 1899-1905.
- 116. Schnee C, Köllner T,G, Held M, Turlings T,C, Gershenzon J, Degenhardt J, (2006),** The products of a single maize sesquiterpene synthase form a volatile defense signal that attracts natural enemies of maize herbivores. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 24;103(4):1129-34.
- 117. Schulz B, Boyle C, (2005),** The endophytic continuum. *Mycol Res*; 109: 661-686.
- 118. Seo S, Okamoto M, Iwai T, Iwano M, Fukui K, Isogai A, Nakajima N, Ohashi Y, (2000),** Reduced levels of chloroplast FtsH protein in tobacco mosaic virus-infected tobacco leaves accelerate the hypersensitive reaction. *Plant Cell.*;12(6):917-32.
- 119. Seon-Kyu Kim, Mi-Jeong Jeong & Choong-Min Ryu, (2018)** How do we know that plants listen: Advancements and limitations of

transcriptomic profiling for the identification of sound-specific biomarkers in tomato, *Plant Signaling & Behavior*, 13:12.

120. **Silva J, C, Bettiol W**, (2005), Potential of non-pathogenic *Fusarium oxysporum* isolates for control of Fusarium wilt of tomato, *Fitopatologia Brasileira*, 30:409-412.
121. **Silvertown J, Gordon GM**, (1989) A framework for plant behavior. *Ann Rev Ecol Syst* 20:349–366
122. **Silvertown, J.** (1998). Plant phenotypic plasticity and non-cognitive behaviour. *Trends in Ecology & Evolution*, 13(7), 255–256.
123. **Simmonds M, S, J, Blaney W, M**, (1990), Fellows LE. Behavioural And electrophysiological study of antifeedant mechanisms associated with polyhydroxyalkaloids. *J ChemEcol*; 16:3167-96.
124. **Šimpraga, M, Takabayashi, J, Holopainen, JK** (2016) Language of plants: Where is the word?. *J Integr Plant Biol* 58: 343– 349.
125. **Skoczek A, Piesik D, Wenda-Piesik A, Buszewski B, Bocianowski J, Wawrzyniak M**, (2017), Volatile organic compounds released by maize following herbivory or insect extract application and communication between plants. *Journal of Applied Entomology*, 141(8), 630-643.
126. **Skoczek A, Piesik D, Wenda-Piesik A, Buszewski B, Bocianowski J & Wawrzyniak M**, (2017), Volatile organic compounds released by maize following herbivory or insect extract application and

communication between plants. *Journal of Applied Entomology*, 141(8), 630-643 .

127. **Spoel SH, Dong X**, (2012) How do plants achieve immunity? Defence without specialized immune cells. *Nat Rev (Immunol)* 12:89–100
128. **Srinivasan K, Jagadish L, K, Shenbhagaraman R, Muthumary J**, (2010), Antioxidant Activity of endophytic fungus *phyllosticta* sp. Isolated from *guazuma tomentosa*. *Journal of Phytology*; 2: 37-41.
129. **Stenhouse D**, (1974) *The Evolution of intelligence-a general theory and some of its implications*. George Allen and Unwin, London.
130. **Struik, P., Yin, X., & Meinke, H**, (2008). Plant neurobiology and green plant intelligence: science, metaphors and nonsense. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 363-370.
131. Sugimoto K, Matsui K, Iijima Y, Akakabe Y, Muramoto S, Ozawa R, Uefune M, Sasaki R, Alamgir KM, Akitake S, Nobuke T, Galis I, Aoki K, Shibata D, Takabayashi J. Intake and transformation to a
132. **Sun JQ, Jiang HL, Li CY** (2011) Systemin/jasmonate-mediated systemic defense signaling in tomato. *Mol Plant* 4(4):607–615
133. **Suzuki N, Miller G, Morales J, Shulaev V, Torres MA, Mittler R**, (2011 Dec) Respiratory burst oxidases: the engines of ROS signaling. *Curr Opin Plant Biol.*;14(6):691-9.
134. **Takahashi F, Shinozaki K**, (2019 Feb), Long-distance signaling in plant stress response. *Curr Opin Plant Biol.*47:106-111.

- 135. Thellier M, Desbiez MO, Champagnat P, Kergosien Y, (1982)** Do memory processes occur also in plants? *Physiol Plant* 56(3):281–284
- 136. Thongchai T, Asawin W, Pittaya T, Liu J, (2009),** Anti-inflammatory activity of lansais from Endophytic *Streptomyces* sp. SUC1 in LPS-induced RAW 264.7 cells. *Food and agricultural Immunology*; 20: 67-77.
- 137. Topham AT, Taylor RE, Yan D, Nambara E, Johnston IG and Bassel GW, (2017)** Temperature variability is integrated by a spatially embedded decision-making center to break dormancy in *Arabidopsis* seeds. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 114, 6629–6634.
- 138. Toyota M, Spencer D, Sawai-Toyota S, Jiaqi W, Zhang T, Koo AJ, Howe GA, Gilroy S, (2018 Sep 14)** Glutamate triggers long-distance, calcium-based plant defense signaling. *Science*. 361(6407):1112-1115.
- 139. Tremmel DC, Bazzaz, FA, (1995)** Plant architecture and allocation in different neighbourhoods: implications for competitive success. *Ecology* 76:262–271
- 140. Trewavas A, (2003)** Aspects of plant intelligence. *Annals of Botany* 92, 1– 20.
- 141. Trewavas A, (2005)** Green plants as intelligent organisms. *Trends in Plant Science* 10, 414– 419.
- 142. Trewavas A, (2005b)** Plant intelligence. *Naturwissenschaften* 92, 401–413.

- 143. Trewavas, A,** (2009). What is plant behaviour? *Plant Cell Environ.* 32, 606–616. doi: 10.1111/j.1365-3040.2009.01929.x
- 144. Trewavas AJ, Baluška F,** (2011) The ubiquity of consciousness. *EMBO Rep* 12(12):1221–1225.
- 145. Trewavas Anthony,** (2017) The foundations of plant intelligence *Interface Focus*.72016009820160098.
- 146. Turkington, R,** (1989). The Growth, Distribution and Neighbour Relationships of *Trifolium Repens* in a Permanent Pasture. V. The Coevolution of Competitors. *Journal of Ecology*, 77(3), 717-733.
- 147. Turkington R., Hamilton R.S. & Gliddon C,** (1991) Within-population variation in localised and integrated responses of *Trifolium repens* to biotically patchy environments. *Oecologia* **86**, 183– 192.
- 148. Ueda, M., & Nakamura, Y,** (2006). *Metabolites involved in plant movement and “memory”*: nyctinasty of legumes and trap movement in the Venus flytrap. *Nat. Prod. Rep.*, 23(4), 548–557. doi:10.1039/b515708k
- 149. Ueda, M., Ishimaru, Y., Takeuchi, Y., & Muraoka, Y,** (2019). *Plant nyctinasty - who will decode the “Rosetta Stone”?* *New Phytologist*. doi:10.1111/nph.15717
- 150. Van Aken O, De Clercq I, Ivanova A, Law SR, Van Breusegem F, et al,** (2016). Mitochondrial and chloroplast stress responses are

modulated in distinct touch and chemical inhibition phases. *Plant Physiol.* 171:2150–65

- 151. Van Loon L. C.** (2016). The Intelligent Behavior of Plants. *Trends in plant science*, 21(4), 286–294.
- 152. Vian A., Stankovic B., Davies E,** (2015) Signalomics: Diversity and Methods of Analysis of Systemic Signals in Plants. In: Barh D., Khan M., Davies E. (eds) *PlantOmics: The Omics of Plant Science*. Springer, New Delhi.
- 153. Volkov A V , Ranatunga D A,** (2006) Plants as Environmental Biosensors, *Plant Signaling & Behavior*, 1:3, 105-115,
- 154. Volkov AG, Foster JC, Ashby TA, Walker RK, Johnson JA and Markin VS,** (2010) Mimosa pudica: electrical and mechanical stimulation of plant movements *Plant, cell & environment* **33** 163-73
- 155. Volkov A G , Tucket C, Reedus J, Volkova M I , Markin S V & Chua L,** (2014) Memristors in plants, *Plant Signaling & Behavior*, 9:3.
- 156. War A, R, Paulraj M, G, Ahmad T, Buhroo A, A, Hussain B, Ignacimuthu S, Sharma H,C,** (2012), Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant Signal Behav*: 1306-20.
- 157. Wei J, Kang L.**(2011) Roles of (Z)-3-hexenol in plant-insect interactions. *Plant Signal Behav.* 6(3):369-371.
doi:10.4161/psb.6.3.14452
- 158. Westwood J,H Yoder J,I, Timko M,P,** (2010), dePamphilis CW. The evolution of parasitism in plants. *Trends Plant Sci.* 15(4):227-35.

- 159. Witzany G,** (2006), Plant communication from biosemiotic perspective: differences in abiotic and biotic signal perception determine content arrangement of response behavior. Context determines meaning of meta-, inter- and intraorganismic plant signaling. *Plant Signal Behav*; 1(4):169-78.
- 160. Wolfgang Busch, Philip N,** (2010) *Benfey*; Information processing without brains – the power of intercellular regulators in plants. 137 (8): 1215–1226.
- 161. Zakir A, Medhat S, Marie B, Bill H, Peter W,** (2013), “Herbivore-induced Plant Volatiles Provide Associational Resistance against an Ovipositing Herbivore” *Journal of Ecology* 101, no.2 410–417.
- 162. Zhang S,Z, Hau Z, Zhang F,** (2008), Induction of the activities of antioxidative enzymes and the levels of malondialdehyde in cucumber seedlings as a consequence Of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) infestation. *Arthropod-Plant Interact* 2008; 2:209-13.
- 163. Zhao J, Mou Y, Shan T, Li, Y, Zhou L, Wang M, Wang J,** (2010), Antimicrobial Metabolites from the endophytic fungus *Pichia guilliermondii* isolated from *Paris polyphylla* var. *Yunnanensis*. *Molecules*; 15: 7961-7970.
- 164. Zhao K, Penttinen P, Guan T, Xiao J, Chen Q, Xu, J.**

المواقع:

7. Factfish/statistic.(2013).<http://www.factfish.com/statistic/country/iraq/tomatoes,+area+Harvested> (28/05/2021)
8. <http://www.ithaka-journal.net/pilze-als-partner-mykorrhiza-im-weinbau> (15/06/2021)

13.<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/cis-3-Hexen-1-ol>