حالات الشدّ الأخرى، ويعمل تواجد مضادات الأكسدة على الحد من أضرار الـ ROS (عن Hughes وآخرين ١٩٨٩، وBlum ٢٠٠٧).

إنتاج بروتينات الـ LEA

تعرف مجموعة من البروتينات ذات وزن جزيئى صغير يُنَّظم إنتاجها فى البذور أثناء تكوينها، كما فى الشعير على سبيل المثال. ويلعب تكوينها أثناء تكوين جنين البذرة دورًا فى حماية الجنين أثناء نضج البذور وفقدها للرطوبة خلال تلك المرحلة. وتعرف تلك البروتينات باسم late embryogenesis abundant proteins (اختصارًا: LEA proteins). وقد تبين أن تلك البروتينات تشكل عائلة تضم عدة بروتينات متشابهة مثل الديهدرينات dehydrins، وأنها ليست قاصرة على أجنة البذور، ويمكن حث إنتاجها تحت ظروف شدّ الجفاف فى عديد من الأنسجة النباتية. وبعض تلك البروتينات يستجيب لحامض الأبسيسك، بينما لا يستجيب بعضها الآخر، وهى تلعب دورًا فى تحمل شدّ الجفاف والشدّ الأسموزى عامة (Blum ٢٠٠٧).

ولمزيد من التفاصيل المبكرة عن فسيولوجيا تحمل الجفاف فى النباتات.. يراجع Turner & Kramer (١٩٨٠)، وPaleg & Aspinall (١٩٨٠). كما يمكن الإطلاع على تفاصيل التغيرات الأيضية ذات العلاقة بتحمل شدّ الجفاف فى Seki وآخرين (٢٠٠٧). ويتناول Atkin & Macherel (٢٠٠٨) بالشرح دور الميتوكوندريا فى تحمل النباتات لشدّ الجفاف.

وسائل زيادة قدرة النباتات على تحمل الشدّ الرطوبى

يمكن زيادة قدرة النباتات على تحمل الشدّ الرطوبى بإحدى وسيلتين: إما بتقليل معدل نتحها للماء، وإما بتحفيز مزيد من النمو الجذرى لزيادة كفاءته فى امتصاص الماء.

ومن الوسائل التى اتبعت لتحقيق الهدف الأول – وهو خفض معدل النتح – ما يلى:

١-استخدام مضادات النتح التى تكوّن غشاءً على الأسطح النباتية يمنع النتح أو يقلله.

٢-استخدام المركبات الكيميائية التى تغلق الثغور جزئيًا أو كليًا.

٣-استخدام مثبطات أو مانعات النمو التى تغير الشكل الظاهرى للنبات؛ بتقليل حجم الأوراق وعددها، ونسبة النمو الخضرى إلى النمو الجذرى، وتقليل عدد الثغور فى وحدة المساحة من الأوراق، أو تغيير النمو النباتى بما يناسب زيادة كفاءة الاستفادة من الماء المُتاح.

٤-زيادة انعكاس الإشعاع الشمسى من الأسطح النباتية بالمعاملة بأحد المركبات المناسبة.

تُصنَّع مضادات النتح المكونة للأغشية من بوليمرات polymers؛ مثل شموع البولى فينيل polyvinyl waxes أو البوليثيلين polyethylene، أو الفينيل أكريليت vinylacrylate. كما استخدمت كحولات مثل الهكساديكانول Hexadecanol.

وهذه المركبات تعمل على منع بخار الماء من ترك الأنسجة الداخلية بالأوراق، ولكنها تقف حائلاً كذلك أمام تبادل غازى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون. وتعمل هذه المركبات على خفض النتح بنسبة ٣٠٪-٥٠٪ عندما تكون تغطيتها للأسطح النباتية بنسبة ٥٠٪.

كما تتوفر مضادات نتح تؤثر فى النشاط البنائى للنبات، ويعيبها تأثيراتها الجانبية العديدة الأخرى. وقد استخدمت مركبات مماثلة لحامض الأبسيسك أو ذات نشاط مضاد للسيتوكينينات. ومن المركبات الطبيعية المماثلة لحامض الأبسيسك حامض الفاسيّك Phaseic acid، و Dihydrophaseic acid، وزانثوكسين Xanthoxin، وفومى فوليول Vomifoliol.

ومن أمثلة مضادات السيتوكينينات مركب 3-methyl-7-pentylaminopyrazoli-(4,3-d)-pyrimidine الذى يمنع انفتاح الثغور.

كما وجد أن حامض الأبسيسك ومضادات السيتوكينينات يعملان معًا بكفاءة أكثر من أن يعمل كل منهما منفردًا (تعمل تداؤبيا Synergistically).

ومن المركبات التى استخدمت لتغيير الشكل الظاهرى للنباتات – بهدف تقليل النتح – كل من:

السيكوسل (CCC)، وهو: Chlorocholine chloride.

AMO-1618، وهو: ammonium (5-hydroxycarvacryl) trimethylchloride piperidine hydrochloride.

CBBP، وهو: 2,4 dichlorolenzyltributylphosphonium chloride.

SADH، وهو: succinic acid 2,2-dimthylhydrazide.

يؤدى استعمال أى من هذه المركبات إلى تثبيط النمو، كما أن بعضها يقال مساحة الأوراق، وكثافة الثغور، وزيادة سمك الأوراق، ونسب الجذور إلى النموات الخضرية (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧).

ومن أهم المركبات التى تتحكم فى حركة الثغور مثبطات التنفس؛ مثل مركب phenyl mercuric acetate، وبدرجةٍ أقل: كل من: Atraxine، وsodium azide، و carbonyl cyanide. ويعتقد أن هذه المركبات تغير من نفاذية أغشية الخلايا الحارسة؛ وبذا تمنعها من أن تصبح ممتلئة ومنتفخة turgid (عن Hanan وآخرين ١٩٧٨).

مضادات النتح واستعمالاتها

إن مضادات النتح Antitranspirants هى مركبات ترش بها النباتات بهدف خفض معدلات نتح الماء منها؛ الأمر الذى يُفيد بعد الشتل مباشرة، وعند نقص الرطوبة الأرضية مع توفر ظروف جوية تُزيد من معدلات النتح. ويكون تأثير مضادات النتح إما من خلال تكوينها لحاجز فيزيائى (غشاء)، وإما بتحفيزها إغلاق الثغور.

تستعمل المركبات المكونة للأغشية كمستحلبات مائية؛ حيث ترش بها النباتات، أو تغمس فيها الشتلات. وبعد تبخر المادة الحاملة (الماء).. يتبقى غشاء من المادة مغطيًا سطح الأوراق، ومكونًا حاجزًا فيزيائيا يمنع — أو يخفض — فقد بخار الماء من الورقة، كما يزيد الغشاء كثيرًا من مقاومة فقد الماء من خلال الثغور، ولكن تأثيره يكون قليلاً عندما تكون الثغور مغلقة. وتستخدم عديد من المركبات كمكونات للأغشية على الأسطح النباتية؛ منها: السيليكون، والبوليفينيل كلوريد، وعديد من الشموع والكحولات الدهنية.

وقد وجد Ibrahim وآخرون (١٩٩٣) أن مضادات النتح المكونة للأغشية (مستحلب شمعي، وepoxy–linseed oil emulsion بتركيز ١,٢٥٪ لأي منهما) أدت إلى زيادة محصول الطماطم والكوسة جوهريا — مقارنة بمعاملة الشاهد — ولكن مضاد النتح phenyl mercuric acetate (الذى يؤدى إلى انغلاق الثغور) — بتركيز ٠,٠١ مللى مولار — أنقص المحصول. وقد أدت جميع مضادات النتح المستعملة والمشار إليها إلى زيادة كفاءة استعمال النبات لمياه الرى.

أما المركبات التى تؤدى إلى انغلاق الثغور أو تثبيط انفتاحها فإنها إما أن تؤثر — بصورة غير مباشرة — من خلال عملها كمثبطات أيضية لبعض مراحل التنفس؛ مثل phenylmercuric acetate (اختصارًا: PMA) وAlkenylsuccinic acids، وإما أن تؤثر بصورة مباشرة فى عمل الثغور، كما فى حالة الهرمون الطبيعى حامض الأبسيسك، ومنظم النمو ٢، ٤ — د 2,4- D.

هذا.. ولا يجوز استعمال مركبات مثل PMA كمضادات للنتح فى المحاصيل التى تستعمل فى تغذية الإنسان؛ مثل محاصيل الخضر؛ لاحتوائها على الزئبق (عن McKee ١٩٨١).

وبصورة عامة.. لم يلق استعمال مضادات النتح نجاحًا تجاريا؛ بسبب خفضها لمعدلات حصول النبات على غاز ثانى أكسيد الكربون؛ ومن ثم تقليلها لمعدل عملية البناء

الضوئى، فى نفس الوقت الذى تقلل فيه مضادات النتح ذاتُها من عملية البناء الضوئى.

وبالرغم من أن استعمال مضادات النتح يؤدى إلى زيادة نسبة النتح Transpiration Ratio (وهى نسبة جرامات ثانى أكسيد الكربون التى يثبتها النبات لكل جرام يفقده من الماء).. إلاّ أن غالبية البحوث المنشورة تُجْمِع على أن محصلة التأثير النهائى لاستعمال مضادات النتح هى خفض المحصول.

هذا.. إلا أن استعمال مضادات النتح فى مرحلة معينة من النمو وفى ظروف خاصة قد يكون له تأثير إيجابى على المحصول، أو نوعيته، أو موعد الحصاد. ومن أهم تلك المراحل الفترة التى تعقب عملية شتل الخضر مباشرة فى الحقل، حيث يؤدى ضعف قدرة النباتات على امتصاص حاجتها من الرطوبة الأرضية — حينئذ — إلى حدوث شد رطوبى عال وفجائى.

وقد وجد Nitzsche وآخرون (١٩٩١) أن رش شتلات الفلفل بكل من Foli-cote (وهو مستحلب بارفين شمعى) بتركيز ٥٪، والمادة الناشرة اللاصقة Biofilm بتركيز ٠,٥٪ كان فعالاً — لعدة أيام — فى خفض حدة الشد الرطوبى الذى تتعرض له النباتات بعد الشتل.

ومن أهم مضادات النتح المستخدمة تجاريا ما يلى: (عن Amer. Soc. Hort. Sci. — العدد الثانى، المجلد ١١٨ لعام ١٩٩٣).

المركب	التخفيف المستعمل	نوع المركب
AntStress 2000	١ : ١٠٠، و١ : ٤٠	Acrylic polymer
Clearspray	١ : ١٠٠	Acrylic polymer
Cloudcover	مخلوط سابق التجهيز	غير معلوم
Folicote	١ : ٢٠	Hydrocarbon wax emulsion
ForEverGreen	١ : ٧	Acrylic co-polymer
Needlehold	١ : ٤٠	Terpenic polymer
WiltPruf	١ : ٥	Terpenic polymer

ومن مضادات النتح المستخدمة على نطاق واسع فى الصين مركب يعرف بالاسم التجارى gao-zhi-mo، ويعرف اختصارًا باسم GZM، وهو مستحلب مائى ثابت يحتوى على الـ dodecyl alcohol كمكون رئيسى. يكوّن هذا المركب عند رشه على النباتات غشاءً مستمرًا يسمح بتبادل غازى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون، ولكنه يمنع مرور الماء. ويبقى هذا الغشاء بحالة جيدة لمدة ١٥ يومًا تحت ظروف الحقل دون أن يتأثر بالأمطار.

وقد تبين أن للـ GZM خصائص أخرى وقائية ضد الأمراض؛ حيث أدى رش نباتات الطماطم به مرتين على مدى ١٠ أيام بتركيز ٥٠٠٠ جزء فى المليون مع المبيد الفطرى Bavistin إلى خفض معدلات الإصابة بكل من الندوة المبكرة وتبقع الأوراق السبتورى.

كذلك أدى الرش بالـ GZM إلى خفض معدلات الإصابة بكل من البياض الزغبى فى الخيار، والأنثراكنوز فى البطيخ، والعفن المر فى التفاح.

ويستخدم الـ GZM كذلك فى المجالات التالية فى الصين:

١- تقليل الفقد فى الوزن فى تقاوى البطاطس المقطعة.

٢- زيادة قدرة الشتلات على تحمل الشتل بتقليل فقدها للماء بعد الشتل.

٣- تقليل أضرار الرياح القوية على البادرات.

٤- زيادة قدرة شتلات البرتقال على تحمل أضرار البرودة والصقيع.

٥- زيادة نسبة عقد ثمار البرتقال عند رش النباتات وهى فى مرحلة الإزهار التام.

٦- خفض معدلات الإصابة بكل من التربس فى الأرز، والـ rust mites فى البرتقال (عن Han ١٩٩٠).

كما أوضحت دراسات Marco & Cohen (١٩٩٤) أن رش نباتات الكوسة أسبوعيا بالـ Vapor Gard أدى إلى خفض معدل إصابتها بالبياض الدقيقى؛ الأمر الذى تحقق — كذلك — برش النباتات بماء الكلس (الجير).