دورة النمو. وقد أظهرت الدراسات تماثل محصول النباتات التى نتجت من التكاثر الجنسى مع تلك التى نتجت من التكاثر الخضرى (Iglesias وآخرون ١٩٩٤)، إلاّ أنه يعاب على التكاثر الجنسى كثرة التباينات الوراثية بين النباتات التى يتحصل عليها من زراعة البذور.

الزراعة

يوصى بغمس العقل فى مطهر فطرى قبل زراعتها.

تزرع العقل على خطوط بعرض ١٠٠ سم (أى يكون التخطيط بمعدل ٧ خطوط فى القصبتين) على مسافة ٥٠ سم من بعضها البعض، وتوضع العقل فى التربة عمودية أو بزاوية مقدارها ٣٠-٤٥°، مع غرس ثلثا طولها (١٠-١٥ سم) فى الأرض. ويمكن زراعة العقل أفقيًا فى المناطق القليلة الأمطار، مع جعلها على عمق ٥-١٠ سم.

تجب مراعاة قطبية العقل عند غرسها فى التربة، فتكون قاعدتها إلى أسفل، وإلاّ فإن نموها يكون ضعيفًا. ويفيد الغرس الرأسى للعقل فى المناطق المطرة فى تجنب إصابتها بالأعفان.

وتؤدى زراعة العقل الساقية أفقيًا إلى كثرة إنتاج الجذور الخازنة قريبًا من سطح التربة عما فى حالة زراعة العقل عمودية أو مائلة.

يستغرق التبرعم - عادة - من أسبوع واحد إلى أربعة أسابيع تبعًا لدرجة الحرارة. ومع نمو البراعم التى توجد على العقل الساقية يتكون الكالس على القَطْع فى قاعدة العقلة، حيث تتكون منه الجذور العرضية التى تظهر بكثرة عند قاعدة العقلة، كما تظهر - كذلك - الجذور العرضية من العقد الموجودة أسفل سطح التربة للنموات الخضرية الجديدة.

عمليات الخدمة

الترقيع

ترقع الجور الغائبة بعد أسبوعين من الزراعة، حيث يكون الإنبات قد اكتمل خلال هذه الفترة.

العزق

يجرى العزق بغرض التخلص من الأعشاب الضارة، وتغطية السماد، ونقل جزء من تراب الريشة غير المستعملة فى الزراعة إلى الريشة المزروعة، حتى تصبح النباتات فى وسط الخط بعد العزقة الأخيرة. يبدأ العزق أثناء المراحل الأولى للنمو النباتى، ويستمر إلى أن تظلل النباتات سطح التربة، وتصبح منافسة للحشائش. يحتاج الحقل عادة إلى ٢-٣ عزقات، على أن تكون العزقات سطحية؛ لأن جذور النبات تنمو قريبة من سطح التربة.

الرى

يتحمل النبات الظروف القاسية، ولكن توفير الرطوبة الأرضية بانتظام يؤدى إلى زيادة المحصول.

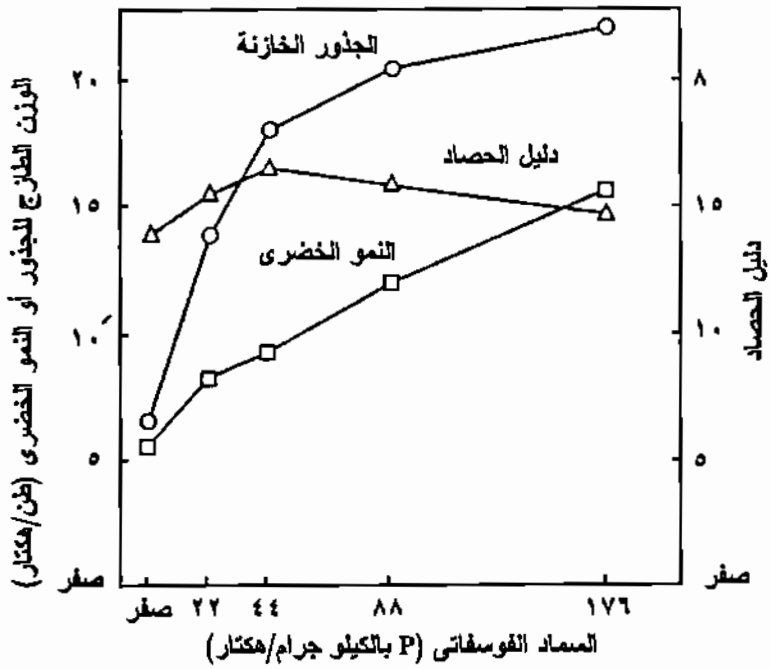
التسميد

تعد الكاسافا من أكثر النباتات تحملاً لنقص النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم، والكالسيوم فى التربة، ويرجع ذلك إلى تشعب وتعمق جذورها التى يمكنها امتصاص احتياجات النبات من العناصر من حيز كبير وعميق من التربة.

وتجدر الإشارة إلى أن الإفراط فى التسميد الآزوتى يعمل على تحفيز النمو القمى على حساب النمو الجذرى، إلاّ أن التسميد الآزوتى المعتدل ضرورى للنمو الجيد.

ويمكن للكاسافا أن تنمو فى الأراضى الفقيرة فى عنصر الفوسفور بسبب تكوينها لعلاقة قوية مع فطريات الميكوريزا التى تمد النباتات باحتياجاتها من العنصر، ولكن يتعين التسميد الفوسفاتى فى الأراضى التى يقل محتواها من الفوسفور الميسر عن ٤-٥ أجزاء فى المليون (Howeler ١٩٩٦).

تستجيب الكاسافا بشدة للتسميد بالفوسفور عند نقصه فى التربة (شكل ١٢-٣). وهى تعد من النباتات المنخفضة الكفاءة فى الحصول على احتياجاتها من العنصر من التربة؛ لذا .. يلزمها التسميد الجيد - بأكثر من حاجة النباتات من العنصر - لكى يمكنها الحصول على حاجتها منه.



شكل (١٢-٣): تأثير التسميد بالفوسفور - فى تربة فقيرة فى العنصر - على النمو القمى والدرنى ودليل الحصاد harvest index فى الكاسافا (عن Norman وآخرين ١٩٩٥).

يزداد امتصاص الكاسافا من الفوسفور بزيادة معدل التسميد بالعنصر كما أسلفنا، وتتباين الأصناف فى مدى تلك الاستجابة؛ الأمر الذى يرجع إلى اختلافها فى كثافة نموها الجذرى (Pellet & El-Sharkawy ١٩٩٣).

وتستجيب نباتات الكاسافا - كذلك - للتسميد بالبوتاسيوم، الذى يعمل على زيادة نسبة الجذور إلى النمو القمى، وزيادة تركيز النشا فى الدرنات، وانخفاض تركيز حامض الأيدروسيانيك.

ويعد الزنك من أهم العناصر الدقيقة التى تحتاجها الكاسافا.

ويبين جدول (١٢-١) كميات العناصر التى تمتصها نباتات الكاسافا من كل هكتار من الأرض، موزعة على كل من النمو القمى والدرنات.

جدول (١٢-١): كميات العناصر التى تحصل عليها نباتات الكاسافا (النمو القمى والجذور) من الهكتار الواحد (للتحويل إلى كميات/فدان يقسم على ٢,٣٨).

العنصر	كمية العنصر (كجم)		
	فى النمو القمى	فى الدرنات	الإجمالى
البوتاسيوم	١٢٤	٧٦	٢٠٠
النيتروجين	١٢٤	٣٨	١٦٤
الكالسيوم	٧١	٩	٨٠
الفوسفور	٢١	١٠	٣١
المغنيسيوم	٢٢	٩	٣١
الكبريت	—	٦	٦
الحديد	—	—	٣,٦
المنجنيز	—	—	١,٣٥
الزنك	—	—	١,٣٥
البورون	—	—	٠,٤٥
النحاس	—	—	٠,١٤

ويتباين المستوى المثالى للتسميد الآزوتى بين ٦٠، و ١٨٠ كجم N للهكتار (٢٥-٧٥ كجم N للفدان)، ويتوقف ذلك على الفترة التى تنقضى من الزراعة إلى الحصاد والصنف المزروع. وتؤدى زيادة مستوى التسميد الآزوتى عن ٢٠٠ كجم/هكتار (٨٤ كجم N/فدان) إلى نقص المحصول. كما تسمد الكاسافا - عادة - بنحو ٣٥-٥٠ كجم من K_2O للفدان، وذلك فى الأراضى التى يقل محتواها من البوتاسيوم المتبادل عن ٦٠ جزءًا فى المليون.

الفسيولوجى

التأثير الفسيولوجى لنقص الرطوبة الأرضية

نجد فى ظروف الجفاف أن نبات الكاسافا يُسقط أوراقه، ثم يكون أوراقًا جديدة عندما تتوفر الرطوبة فى التربة. ويعد إسقاط الأوراق وسيلة النبات لتحمل الجفاف، وخلافًا على ما يعتقده الكثيرون، فإن النبات يستهلك المياه - عند توفرها - بصورة عادية. وفى إحدى الدراسات تراوح استعمال النبات للماء خلال سبعة شهور من النمو

من ٢٤٠ ملليمترا (١٠٠٨م³/فدان) عند شد رطوبى قدره -١ ميجا باسكال إلى ١٠٢٠ ملليمتر (٤٢٨٥م³/فدان) عند السعة الحقلية، وكان أعلى معدل لاستعمال المياه هو ٤-٥ ملليمترات يوميًّا (١٦,٨-٢١م³/فدان يوميًّا). ويؤدى النمو تحت ظروف الشدّ الرطوبى إلى انخفاض نسبة المادة الجافة التى تتجه إلى الجذور.

ومن بين الأسباب الأخرى لقدرة الكاسافا على تجنب أضرار الجفاف تعمق جذورها فى التربة، وقدرة درناتها على البقاء فى التربة بحالة جيدة (عن Norman وآخرين ١٩٩٥).

وفى إحدى الدراسات .. أدى تعرض نباتات الكاسافا من صنف CM 1585-13 لنقص فى الرطوبة الأرضية لمدة ٤٥ يومًا إلى إحداث نقص جوهرى فى كل من النمو الخضرى ودرجة توصيل الثغور stomatal conductance، وإلى زيادة فى معدل سقوط الأوراق مقارنة بما حدث فى نباتات المقارنة التى حصلت على حاجتها من الرطوبة، إلاّ أن الحالة المائية للأوراق المتبقية لم تتأثر بظروف الجفاف. كذلك ظهر تدل بأوراق النباتات التى تعرضت للنقص الرطوبى؛ مما يعنى خفض كمية الطاقة الشمسيّة التى استقبلتها تلك الأوراق فى منتصف النهار؛ الأمر الذى قد يفيد حساسية تلك الأوراق للإشعاع الشمسى (Calatayud وآخرون ٢٠٠٠).

كذلك يؤثر التعرض لظروف الجفاف على نوعية النشا فى الجذور، يظهر على صورة نقص فى القوام العجينى للنشا (Sriroth وآخرون ٢٠٠١).

النمو النباتى

النمو الخضرى

تتوقف المساحة الورقية للنبات على الكثافة النباتية، وسرعة التفريع، ومعدل إنتاج الأوراق، وفترة حياتها leaf area duration.

تؤدى زيادة الكثافة النباتية – التى تؤدى إلى زيادة دليل مساحة الورقة – إلى نقص كل من عدد الجذور بالنبات، ووزن الدرنات المفردة.

ويحدث التفريع الأول – عادة – بعد ٦٠ يومًا من الزراعة، ثم كل ٤٤-٥٠ يومًا بعد

ذلك. وقد يصل دليل مساحة الورقة leaf area index إلى ٤ بعد نحو ٢٠ أسبوعًا من الزراعة، وقد يصل إلى ٨,٠، ولكنه ينخفض إلى ١,٠ فى نهاية موسم النمو الأول، ثم يرتفع إلى ٤,٠ فى موسم الأمطار التالى.

وتتباين فترة حياة الأوراق باختلاف الأصناف من ٨٠ إلى ٢٠٠ يوم فى حرارة ٢٠°م، ومن ٦٠ إلى ١٢٠ يومًا فى حرارة ٢٤°م، ومن ٦٠ إلى ٨٠ يومًا فى حرارة ٢٨°م. وتقل فترة بقاء الأوراق عند التعرض لظروف الجفاف، أو الحرارة المنخفضة، وقد تسقط جميع أوراق النبات فى الظروف البيئية القاسية. ويتناسب محصول جذور البطاطا إيجابيًّا مع فترة بقاء الأوراق على النبات.

يمكن إطالة فترة النمو النباتى بتطعيم النوع *Manihot glaziovii* على الكاسافا (*M. esculenta*)؛ حيث يكون الطُعم قوى النمو، وتزداد فيه المساحة الورقية كثيرًا وتمتد لفترة طويلة؛ مما يؤدى إلى زيادة محصول الجذور حتى ٩٦ طنًّا/هكتار (عن Norman وآخرين ١٩٩٥).

قد تنخفض نسبة المادة الجافة التى تدخل الدرنات مع زيادة دليل مساحة الورقة، وقد لا توجد علاقة بينهما، أو قد تكون بينهما علاقة إيجابية؛ ومرد ذلك أن انتقال المادة الجافة إلى الدرنات يكون منخفضًا عند ارتفاع معدل النمو النباتى، وارتفاع الحرارة، وزيادة طول الفترة الضوئية، وعندما يكون دليل مساحة الورقة عاليًا أو شديد الانخفاض.

النمو المحصولى

يبلغ معدل النمو المحصولى crop growth rate ٢١٠–٢٤٠ كجم/هكتار يوميًّا (حوالى ٨٨–١٠٠ كجم/فدان يوميًّا)، ويبلغ هذا المعدل أقصاه فى حرارة ٢٩°م نهارًا مع ٢٤°م ليلاً. ويبلغ البناء الضوئى أقصى معدل له فى حرارة تتراوح بين ٢٥، و ٣٥°م.

ويتحدد معدل النمو المحصولى (C) فى موسم النمو الأول (بالجرام/م٢ يوميًّا) بكل من شدة الإضاءة (S) بالميجا جول/م^2 يوميًّا $MJm^{-2}d^{-1}$، ودليل المساحة الورقية (L) حسب المعادلة التالية:

$$C = 0.11S \times L - 0.12L^2 + 1.8S - 0.048S^2 + 0.78L - 15$$

علمًا بأن $r^2 = 0,88$ (عن Norman وآخرين ١٩٩٥).

نمو الجذور الخازنة

تؤدى الزراعة السطحية للعقل إلى تكوين الجذور عند العقد السفلى فى خلال ٥-١٠ أيام من الزراعة. وعادة .. يلاحظ ترسب النشا فى الجذور بداية من الزراعة بنحو ٢٥ يومًا. ويتحدد عدد الجذور التى تتضخم بكل نبات فى خلال الشهور الثلاثة الأولى من الزراعة، بينما تبدأ الزيادة فى أحجام الجذور فى خلال الشهر الثانى بعد الزراعة.

تحفز الفترة الضوئية القصيرة (١٠-١٢ ساعة) زيادة الجذور فى الحجم، ولكنها لا تؤثر فى أعداد الجذور المتدرنة، التى يتراوح عددها - عادة - بين ٥، و ٢٠ جذرًا.

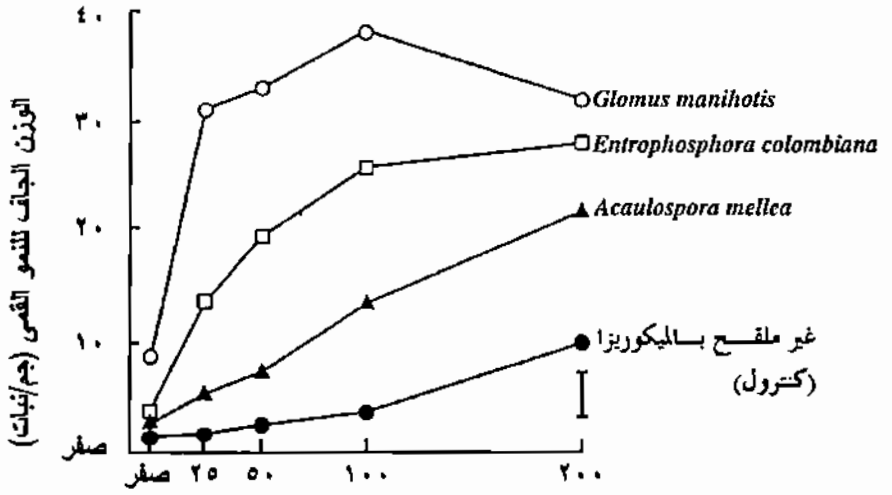
ويصل الوزن الجاف للدرنات ومحتواها من النشا إلى أعلى مستوى لهما - عادة - بعد نحو ١٢ شهرًا من الزراعة عندما تكون الرطوبة الأرضية متوفرة بانتظام، ولكن الأمر يختلف فى المناطق التى تتعرض فيها النباتات لموسم ممطر، ثم لموسم جاف؛ حيث يمكن أن تصل الجذور إلى أحجام مقبولة فى خلال ستة شهور من الزراعة، إلا أن النبات يحقق أقصى نمو له فى نهاية الموسم الممطر، ثم يفقد أوراقه، خلال موسم الجفاف، ثم يكون نموات جديدة إلى حين الحصاد بعد ١٤-٢٤ شهرًا من الزراعة (عن Norman وآخرين ١٩٩٥).

أهمية فطريات الميكوريزا

تعد الكاسافا شديدة الاعتماد على فطريات الميكوريزا لأجل الحصول على احتياجاتها من عنصر الفوسفور (شكل ١٢-٤)، وكذلك عناصر البوتاسيوم، والكبريت، والزنك.

المركبات السامة والمرارة

تحتوى جميع أصناف الكاسافا على جلوكوسيدات سيانوجية Cyanogenic Gulcosides سامة، أهمها: اللينامارين linamarin، واللوتاسترالين lautastralin. ويتكون المركب السام، وهو حامض الأيدوسيانيك hydrocyanic acid (HCN)، عندما تتحلل هذه الجلوكسيدات بفعل الإنزيمات التى تعمل عليها مثل إنزيم اللينامارين linmarase. يقل نشاط هذا الإنزيم أثناء نمو الجذور، ويزيد أثناء التخزين.



شكل (١٢-٤): علاقة النمو القمى لنباتات الكافا بمستوى التسميد الفوسفاتى فى وجود أنواع مختلفة من فطريات الميكوريزا (عن Norman وآخرين ١٩٩٥).

يتم تمثيل اللينامارين linamarin، واللوتاسترالين lautastralin فى نباتات الكافا، من الحمضين الأمينين: فالين valine، وأيزوليوسين isoleucine، على التوالى. وتخزن هاتان المادتان فى فجوات السيتوبلازم. أما الإنزيم لينامارين linamarase – وهو β-glucosidase – الذى يحللهما – فإنه يتواجد فى الجدر الخلوية. وتبعًا لذلك .. فإن المركبين والإنزيم لا يتصلان ببعضهما البعض فى الخلايا السليمة، ولكن عند سحق الأنسجة .. فإن تركيب الخلية يتضرر بدرجة تؤدى إلى اتصال الإنزيم بالجلوكوسيدات السيناوجينية. ويوجد إنزيم آخر – هو: hydroxynitrile lyase – يتولى تحليل الـ cyanohydrin وإنتاج السيانيد cyanide (عن Salunkhe & Kadam ١٩٩٨).

يتراوح تركيز الحامض السام فى الجذور الطازجة بين ١٠ و ٣٧٠ مجم لكل كيلو جرام من الجذور، علمًا بأن تركيز ٥٠ مجم/١ كجم من الجذور يسبب بعض الآلام للإنسان، وتركيز ٥٠-١٠٠ جم/١ كجم يعد متوسط السمية، بينما تعد التركيزات الأعلى من ذلك شديدة السمية.

وقد قدر محتوى حامض الأيدروسيانيك بنحو ٥-٧٧ مجم/١٠٠ جم وزن طازج فى قشرة الجذور، وحوالى ١-٤٠ مجم فى الجذور المقشرة، و ٠,٣-٢٩ مجم فى الأوراق.

ويمكن أن يتراكم اللينامارين إلى تركيزات تصل إلى ٥٠٠ مجم/كجم وزن طازج فى الجذور، وإلى تركيزات أعلى من ذلك فى الأوراق.

ويزيد تركيز السيانوجينات السامة فى الأوراق وبيريدرم الجذور عما فى أنسجة الجذر البرانشيمية، ولا يوجد ارتباط بينهما فى محتويهما من السيانوجينات.

وبينما يتوزع حامض الأيدروسيانيك السام فى كل أجزاء الجذر فى الأصناف المرة من الكاسافا، نجد أنه يتركز فى القشرة الخارجية - فقط - فى الأصناف الحلوة. ورغم أن تركيز الجلوكوسيدات السامة يزيد فى الأصناف المرة عنه فى الأصناف الحلوة .. إلاّ أنه لا توجد علاقة بين المرارة والسمية؛ نظرًا لأن المركبات المسئولة عن المرارة تختلف عن تلك المسئولة عن السمية، علمًا بأن المركبات المسئولة عن المرارة مازالت مجهولة (Jennings ١٩٧٦، و Pereira وآخرون ١٩٨١، و McMahon وآخرون ١٩٩٥).

ترتبط درجة مرارة الجذور إيجابيًا بمحتواها من المركبات الجلوكوسيدية السامة، وقد قدرت درجة الارتباط (r) بمقدار ٠,٧٧ بين المرارة والمحتوى الجلوكوسيدى فى الجذر الواحد، و ٠,٨٧ بين المرارة ولوغاريتم المحتوى الجلوكوسيدى فى الجذر الواحد، و ٠,٩٨ بين المرارة فى جذور الصنف الواحد ومحتوى جذوره من الجلوكوسيدات (Saka وآخرون ١٩٩٨).

هذا .. وتستعمل كل من الأصناف الحلوة والمرة فى الزراعة، وتكون الأصناف المرة هى المفضلة أحيانًا؛ لأنها أعلى محصولاً، وأكثر مقاومة لبعض الآفات المرضية والحشرية؛ ولأن زراعتها تكون ضرورية فى المناطق الموبوءة بالخنازير؛ حيث لا تقبل عليها.

ولحسن الحظ أن الجلوكوسيدات السامة تكون قابلة للذوبان فى الماء، وأن الإنزيم linamarase المسئول عن تكوين مركب اللينامارين linamarin - وهو الجلوكسيد الرئيسى - يتوقف نشاطه فى حرارة ٥٠°م. ولذا .. فإن جذور الأصناف المرة من الكاسافا تنقع فى الماء مع التخلص من ماء النقع.

وتؤدى معاملة الجذور بالحرارة أثناء إعدادها للاستهلاك بأية وسيلة - سواء أكانت

بالغلى فى الماء، أم بالتخمير، أم بالشىّ فى الأفران – إلى التخلص تمامًا من المركبات السامة (Pereira وآخرون ١٩٨١).

يتم التخلص من المركبات السيناوجينية أثناء إعداد الجذور للطهى، وذلك ببشرها ونقع مبشور الجذور فى الماء؛ حيث يؤدى ذلك إلى التقاء الإنزيم مع اللينامارين linamarin، لينطلق الـ HCN، ويلى ذلك غسيل المبشور وإعداده للاستهلاك. ويعد غلى الجذور وتخميرها من البدائل التى تتبع فى خفض محتوى الجذور من كل من اللينامارين والـ HCN (Chrispeels & Sadava ١٩٩٤).

الحصاد، والتداول، والتخزين، وفسيولوجى ما بعد الحصاد

الحصاد

تحصد الكاسافا – عادة – بعد ١٢–١٥ شهرًا من الزراعة، ولكنه قد يجرى بعد ٦ شهور فقط من الزراعة، وقد يتأخر إلى سنتين أو ثلاث، وذلك حسب الصنف والظروف الجوية. وعمومًا .. فإن الأصناف الحلوة تكون – عادة – جاهزة للحصاد بعد ٦–٩ شهور من الزراعة، بينما قد يتأخر حصاد الأصناف المرة إلى ١٢–١٨ شهرًا للحصول على أعلى محصول منها، علمًا بأنها – أى الأصناف المرة – تستخدم فى صناعة الأغذية المجهزة، والمنتجات الصناعية، وكغذاء للحيوانات.

ونظرًا لأن جذور الكاسافا الخازنة تنمو بصورة دائمة، فإنه لا يوجد لها مرحلة محددة لاكتمال النمو أو النضج؛ الأمر الذى يفسر التباين الكبير فى موعد الحصاد وكمية المحصول التى يمكن الحصول عليها من وحدة المساحة.

وأهم علامات النضج: اصفرار الأوراق وسقوطها. إلا أنه لا توجد عادة مرحلة معينة للنضج يجرى عندها الحصاد، حيث تقلع الجذور حسب الحاجة.

وعمومًا .. يجب ألا يؤخر الحصاد عن ١٢ شهرًا من الزراعة، خاصة عند استعمال المحصول كخضر؛ لأن بقاء الجذور فى التربة أكثر مما ينبغى يؤدى إلى تليفها، وانخفاض محتواها من النشا، الذى ينتقل منها إلى أعلى النبات أثناء تكوينه للأوراق الجديدة فى موسم النمو الثانى.