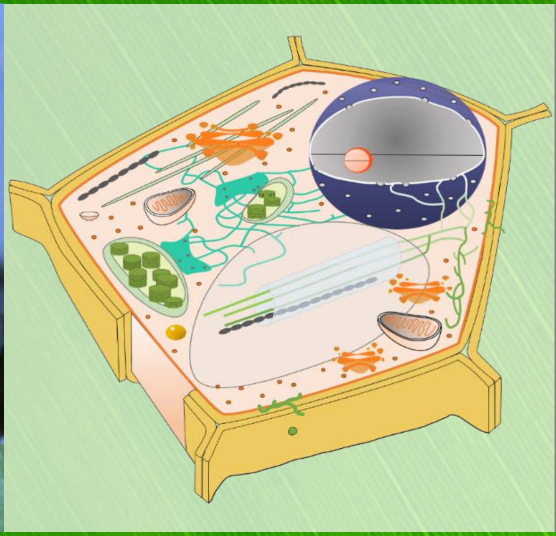
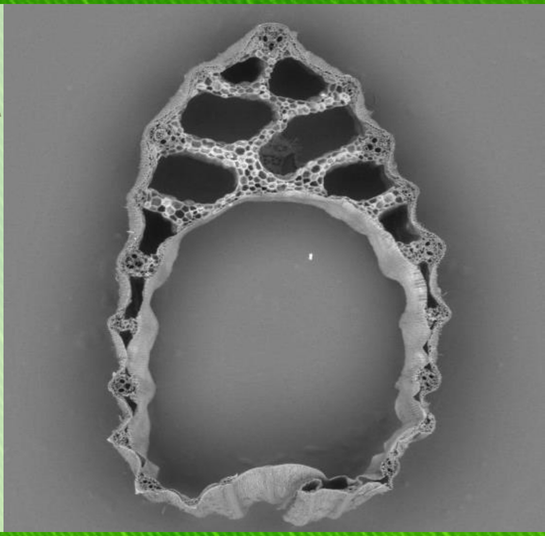
សាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទកសិកម្ម
មហាវិទ្យាល័យវិទ្យាសាស្ត្រកសិកម្ម

រុក្ខសរីរវិទ្យា

Plant Physiology

ខ៉ៃត រ៉ាប៊ី
នាង សារិន

ឧបត្ថម្ភដោយ

២០២១

សាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទកសិកម្ម

មហាវិទ្យាល័យ វិទ្យាសាស្ត្រកសិកម្ម

រុក្ខសរីរវិទ្យា

Plant Physiology

លោក ង៉ែត វ៉ាបី

បណ្ឌិត ឆាង សារិន

២០២១

រក្សាសិទ្ធ

© ឆ្នាំ ២០២១
រក្សាសិទ្ធគ្រប់យ៉ាង
គ្មានផ្នែកណាមួយនៃសៀវភៅនេះ អាចត្រូវបានថតចម្លង និងផលិតឡើងវិញ ដោយគ្មានការ អនុញ្ញាតជាលាយលក្ខណ៍អក្សរពីអ្នកនិពន្ធ និងសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទកសិកម្ម ។

បោះពុម្ពលើកទី១ ដោយមូលនិធិស្រាវជ្រាវ គំនិតច្នៃប្រឌិត និងនវានុវត្តន៍ (ស.គ.ន) នៃក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា នៅព្រះរាជាណាចក្រកម្ពុជា។

ទំនាក់ទំនងព័ត៌មានៈ
អ្នកនិពន្ធ៖ ង៉ែត រ៉ាប៊ី និង នាង សារិន
ទូរស័ព្ទ៖ ០៩២ ១១ ៥៥ ៣៦/ ០១២ ៣៣ ៧៣ ៨៦
អ៊ីមែល៖ ngetraby@rua.edu.kh, neangsarin@gmail.com

©. 2021 by Nget Raby and Neang Sarin, all rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted by any process without the prior written permission from the authors and the Royal University of Agriculture.

First Edition

Printed by the Research Creativity and Innovation Fund (RCI Fund) of Ministry of Education, Youth and Sport, the Kingdom of Cambodia

Enquiries about the book:

Author: Mr. Nget Raby / Dr. Neang Sarin

Mobile phone: +855 92 115 536 / +855 12 337 386

Email: ngetraby@rua.edu.kh/ neangsarin@gmail.com

បុព្វកថា

ដំណើរអភិវឌ្ឍនៃព្រះរាជាណាចក្រកម្ពុជានៅក្នុងយុគសម័យទំនើបនេះ ជាមេរៀនដ៏ជោគជ័យបំផុតមួយ ដែលចាប់ឫសគល់ចេញពីការបញ្ចប់របបប្រល័យពូជសាសន៍ ការបញ្ចប់សង្គ្រាម ការផ្សះផ្សារជាតិ ការកសាងមូលដ្ឋានរឹងមាំនៃសន្តិភាពនិងស្ថេរភាព និងការអភិវឌ្ឍសេដ្ឋកិច្ច។ នៅក្រោយពេលដែលសន្តិភាពត្រូវបានកើតឡើងដោយបរិបូរណ៍នៅឆ្នាំ១៩៩៨ កម្ពុជាទទួលកំណើនសេដ្ឋកិច្ចខ្ពស់ គឺប្រមាណ៨% ក្នុងមួយឆ្នាំ។ លើសពីនេះទៀត អត្រានៃភាពក្រីក្រត្រូវបានកាត់បន្ថយពីប្រមាណ៥៣% នៅឆ្នាំ២០០៤ មកនៅទាបជាង១០% នៅឆ្នាំ២០១៩។ ដំណើរនៃការអភិវឌ្ឍជាតិជាសកម្មភាពដែលបន្តទៅមុខជាប់ជានិច្ច ហើយគោលនយោបាយថ្មីៗដែលមានលក្ខណៈអន្តរវិស័យគ្រប់ដណ្តប់ក៏កំពុងលេចរូបរាងឡើង ដើម្បីតម្រង់ទិសកម្ពុជាឆ្ពោះទៅកាន់ប្រទេសមានប្រាក់ចំណូលមធ្យមកម្រិតខ្ពស់នៅឆ្នាំ២០៣០ និងឈានឡើងជាប្រទេសមានប្រាក់ចំណូលខ្ពស់ នៅឆ្នាំ២០៥០។ ការប្រែប្រួលឆាប់រហ័សនៃនិម្មាបនកម្មពិភពលោកនិងតំបន់ រួមទាំងទំនាក់ទំនងភូមិសាស្ត្រនយោបាយ បានផ្តល់កាលានុវត្តភាពសម្រាប់ការអភិវឌ្ឍឧស្សាហកម្មនៅកម្ពុជា ដែលត្រូវបានរាជរដ្ឋាភិបាលចាត់ទុកជាមូលដ្ឋានគ្រឹះនៃកំណើនសេដ្ឋកិច្ចកម្ពុជា។ រាជរដ្ឋាភិបាលកម្ពុជាបាន និងកំពុងបន្តពង្រឹងនិងអភិវឌ្ឍវិស័យអប់រំឆ្ពោះទៅរកការស្រាវជ្រាវនិងនវានុវត្តន៍ ដើម្បីពង្រឹងសមត្ថភាពនិងជំនាញរបស់ធនធានមនុស្សនៅកម្ពុជា ឱ្យស្របទៅនឹងបរិបទថ្មីនៃការអភិវឌ្ឍ ជាពិសេសការពង្រឹងសហគ្រិនភាពក្នុងការរៀបចំម៉ូដែលធុរកិច្ចថ្មីៗ។ ដើម្បីចាប់យកកាលានុវត្តភាពពីបដិវត្តន៍ឧស្សាហកម្មទី៤ និងសេដ្ឋកិច្ចឌីជីថលដែលកំពុងផុសផុលឡើង ប្រព័ន្ធអេកូឡូហ្ស៊ីដែលបង្កលក្ខណៈអំណោយផលដល់ការបង្កើតថ្មី នវានុវត្តន៍ ការស្រាវជ្រាវ និងអភិវឌ្ឍន៍ត្រូវតែមានការកែលម្អ។

បណ្តាប្រទេសនៅទ្វីបអាស៊ីកំពុងនាំមុខក្នុងការវិនិយោគលើការស្រាវជ្រាវនិងអភិវឌ្ឍ ដោយមានភាគហ៊ុនប្រមាណ៤៤% នៃការវិនិយោគទាំងមូលរបស់ពិភពលោក។ ប្រទេសចិនកំពុងបន្តកសាងហេដ្ឋារចនាសម្ព័ន្ធនៃការវិនិយោគលើការស្រាវជ្រាវនិងអភិវឌ្ឍ ក៏ដូចជាសមត្ថភាពមនុស្ស។ ផ្ទុយទៅវិញប្រទេសនៅទ្វីបអាមេរិកខាងត្បូងនិងអាហ្វ្រិក កំពុងស្ថិតនៅឆ្ងាយពីការវិនិយោគនេះ ហើយជាលទ្ធផលប្រទេសទាំងនោះក៏ពុំមានកំណើនសេដ្ឋកិច្ចគួរឱ្យកត់សម្គាល់ដែរ។ ទុនវិនិយោគសរុបលើការស្រាវជ្រាវនិងអភិវឌ្ឍរបស់ប្រទេសនៅទ្វីបអាមេរិកខាងត្បូវនិងអាហ្វ្រិក មានប្រមាណ៥%នៃការវិនិយោគទាំងមូលរបស់ពិភពលោក ក្នុងពេលដែលតំបន់ទាំង២នេះមានប្រជាជនប្រមាណ២០%នៃប្រជាជនពិភពលោក។ ប្រទេសចំនួន៦ដែលមានលំដាប់ខ្ពស់ជាងគេនៅក្នុងការវិនិយោគលើការស្រាវជ្រាវនិងអភិវឌ្ឍ រួមមានសហរដ្ឋអាមេរិក ចិន ជប៉ុន អាល្លឺម៉ង់ ឥណ្ឌា និងកូរ៉េខាងត្បូង ដែលស្មើនឹងប្រមាណ៧០%នៃទុនវិនិយោគសរុបរបស់ពិភពលោក។

តើចំណេះដឹង ផលិតផល និងសេវាកម្មថ្មីទាំងនេះកើតឡើងពីអ្វី? ហើយកើតឡើងដោយរបៀបណា? ព្រះរាជាណាចក្រកម្ពុជាកំពុងតែកសាងមូលដ្ឋានសម្រាប់ការត្រៀមខ្លួនទទួល និងប្រកួតប្រជែងក្នុងយុគសម័យបដិវត្តឧស្សាហកម្មទី៤ នៅក្នុងសេដ្ឋកិច្ចដែលផ្អែកលើពុទ្ធិ ហើយដែលប្រការនេះ

ចាំបាច់តម្រូវឱ្យពលរដ្ឋកម្ពុជា ត្រូវក្លាយខ្លួនជាពលរដ្ឋឌីជីថល ពលរដ្ឋសកល និងពលរដ្ឋដែលប្រកបដោយការទទួលខុសត្រូវ ដែលមានសមត្ថភាពក្នុងការផលិត ចែកចាយ និងប្រើប្រាស់ពុទ្ធិដើម្បីទទួលមនុញ្ញផល និងរួមចំណែកក្នុងកំណើន។ ធនាគារពិភពលោកបានធ្វើការកត់សម្គាល់តាំងពីឆ្នាំ ២០០២នូវបម្លាស់ប្តូរនៃមូលដ្ឋានសេដ្ឋកិច្ច ពីសេដ្ឋកិច្ចដែលពឹងផ្អែកលើកម្លាំងពលកម្ម និងធនធានអតិកម្ម (Labour and Resource Based Economy) ទៅកាន់សេដ្ឋកិច្ចដែលពឹងផ្អែកលើពុទ្ធិ (Knowledge Based-Economy) ដែលក្នុងន័យនេះ ពុទ្ធិគឺជាគន្លឹះនៃការអភិវឌ្ឍ។ អាស្រ័យហេតុនេះ នៅលើគន្លងដែលកម្ពុជាកំពុងធ្វើដំណើរឆ្ពោះទៅកាន់សេដ្ឋកិច្ចឌីជីថល សង្គមកម្ពុជាត្រូវតែមានសមត្ថភាពក្នុងការផលិត ជ្រើសរើស បន្សាំ បង្កើតមុខរបរ និងប្រើប្រាស់ពុទ្ធិ ដើម្បីរក្សានិរន្តរភាពនៃកំណើន និងកែលម្អជីវភាពរស់នៅ។ សមត្ថភាពទាំងនេះ អាចកើតឡើងនៅពេលពលរដ្ឋកម្ពុជាមានឱកាសក្នុងការទទួលបានបទពិសោធន៍ពីការស្រាវជ្រាវ ការបណ្តុះគំនិតច្នៃប្រឌិត និងការស្វែងរកនវានុវត្តន៍។

កំណែទម្រង់វិស័យអប់រំ គឺជាការត្រួសត្រាយមាគ៌ាសម្រាប់ដំណើរឆ្ពោះទៅកាន់សង្គមប្រកបដោយពុទ្ធិ និងប្រជាពលរដ្ឋប្រកបដោយភាពរស់រវើក។ តាមរយៈមូលដ្ឋានអប់រំ សង្គមប្រកបដោយពុទ្ធិនឹងប្រមូលផ្តុំ បង្កើត និងចែករំលែក ទៅកាន់សមាជិកក្នុងសង្គមនូវសម្បទាអប់រំ ពិសេសគឺពុទ្ធិសម្បទាក្នុងបុព្វហេតុនៃមនុស្សជាតិនិងឧត្តមប្រយោជន៍នៃប្រទេស។ សង្គមប្រកបដោយពុទ្ធិ គឺពុំគ្រាន់តែជាសង្គមដែលសម្បូរព័ត៌មានប៉ុណ្ណោះទេ តែជាសង្គមដែលប្រជាពលរដ្ឋអាចធ្វើបរិវត្តកម្មពីព័ត៌មានទៅជាមូលធនប្រកបដោយប្រសិទ្ធភាព។ ការរីកចម្រើនទៅមុខជាលំដាប់នៃបច្ចេកវិទ្យានិងតំណភ្ជាប់ បានពង្រីកព្រំដែននៃការចូលទៅកាន់ និងការទទួលបានព័ត៌មានជាសកល ហើយដែលក្នុងន័យនេះ ការអប់រំនឹងបន្តវិវត្តទៅមុខនិងមានការផ្លាស់ប្តូរ។ សង្គមមួយដែលមានអំណាន និងរបាប់ជាបុរេលក្ខខណ្ឌនៃជីវភាពប្រចាំថ្ងៃនៃប្រជាពលរដ្ឋ ពេលនោះបំណិននៃអំណាន និពន្ធ និងការគណនាលេខនព្វន្ត គឺជាចលករនៃការរៀនរបស់សិស្ស។ ជាតុដ៏ចម្បងមួយដែលស្ថិតនៅក្នុងការកសាងសង្គមដែលប្រកបដោយពុទ្ធិគឺសៀវភៅសិក្សា ហើយការរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អសៀវភៅសិក្សាជាប្រចាំ គឺជានវានុវត្តន៍នៃវិស័យអប់រំដែលនាំទៅរកការសិក្សាពេញមួយជីវិត ការអភិវឌ្ឍសម្បទាអប់រំ និងការចែករំលែកចំណេះដឹង។ មូលដ្ឋានអប់រំ ជាពិសេសគឺគ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សាត្រូវមានតួនាទីដែលប្រកបដោយការឆ្លើយតប ចំពោះតម្រូវការខាងលើនេះ។ សាស្ត្រាចារ្យ អ្នកស្រាវជ្រាវ និងបុគ្គលិកអប់រំត្រូវបន្តសិក្សាជាប់ជានិច្ច តាមរយៈការរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អសៀវភៅសិក្សា ហើយដែលសៀវភៅសិក្សាទាំងនេះនឹងក្លាយជាស្ពាននៃទំនាក់ទំនងរវាងនវានុវត្តន៍នៃបច្ចេកវិទ្យា និងការរៀននិងបង្រៀននៅក្នុងថ្នាក់រៀន។

សង្គមដែលប្រកបពុទ្ធិ ក៏ជាសង្គមដែលបណ្តុះឱ្យមានរចនាសម្ព័ន្ធទន់នៃសេដ្ឋកិច្ចដែលពឹងផ្អែកលើពុទ្ធិដែរ។ ឧទាហរណ៍ជាក់ស្តែងនៃបែបផែននេះរួមមាន Silicon Valley នៃសហរដ្ឋអាមេរិក សួនឧស្សាហកម្មវិស្វកម្មអាកាសយានយន្តនិងយានយន្តនៅទីក្រុង Munich ប្រទេសអាល្លឺម៉ង់ តំបន់ជីវបច្ចេកវិទ្យានៅក្រុង Hyderabad ប្រទេសឥណ្ឌា តំបន់ផលិតគ្រឿងអេឡិចត្រូនិកនិងសារគមនាគមន៍ឌីជីថលនៅទីក្រុង Seoul ប្រទេសកូរេខាងត្បូង ក៏ដូចជាសួនឧស្សាហកម្មថាមពល និងឥន្ធនគីមីសាស្ត្រនៃប្រទេសប្រេស៊ីល ហើយក៏នៅមានទីក្រុងនៃប្រទេសជាច្រើនទៀតនៅលើពិភពលោក។ លក្ខណៈសម្បត្តិ

នៃទីក្រុងទាំងនេះគឺការប្រើប្រាស់និន្នាការនៃការអភិវឌ្ឍដែលជំរុញ និងតម្រង់ទិសដោយចំណេះដឹង ហើយដែលចំណេះដឹងទាំងនោះកើតចេញជាដំបូងពីការវិនិយោគទៅលើគ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សា ស្ថាប័នស្រាវជ្រាវ មជ្ឈមណ្ឌលឧត្តមភាពនៃជំនាញជាន់ខ្ពស់ ការប្រកួតប្រជែងដោយគុណាធិបតេយ្យ និងជាពិសេសគឺការបណ្ដុះវប្បធម៌អំណាននិងនិពន្ធសៀវភៅ។ ល្បឿននៃការរីកចម្រើនផ្នែកពុទ្ធិ និងបច្ចេកវិទ្យាកំពុងមានសន្ទុះលឿនជាងអ្វីដែលសិស្ស និងនិស្សិតអាចទទួលបានពីគ្រូនៅគ្រឹះស្ថានសិក្សា ដែលធ្វើឱ្យគោលដៅនៃការអប់រំនៅពេលបច្ចុប្បន្ននេះ មានការប្រឈមខ្លាំងជាងពេលណាទាំងអស់។ ឧទាហរណ៍ក្នុងមួយឆ្នាំ មានសៀវភៅជាង២,២លានចំណងជើង ត្រូវបានសរសេរនិងបោះពុម្ព ដែលក្នុងនោះប្រទេសចិនមាន៤៤០ពាន់ ចំណែកឯសហរដ្ឋអាមេរិកមាន៣០៥ពាន់ និងប្រទេសរុស្ស៊ីមាន១២០ពាន់ចំណងជើង។

ខណៈពេលដែលបច្ចេកវិទ្យាកំពុងរីកចម្រើនជារៀងរាល់ថ្ងៃ មធ្យោបាយសម្រាប់អំណានក៏មានច្រើនជម្រើសសម្រាប់សិស្ស-និស្សិត និងសាធារណៈជន រួមមានការអានសៀវភៅ ការអានលើឧបករណ៍អេឡិចត្រូនិក ការអានដោយប្រើទូរសព្ទវៃឆ្លាត និងការអានលើកុំព្យូទ័រ ដែលសុទ្ធសឹងជាមធ្យោបាយសំខាន់ៗដែលនាំអ្នកអានទាំងឡាយឱ្យសម្រេចគោលបំណងអានរបស់ខ្លួន។ ម្យ៉ាងវិញទៀត អំណានដោយប្រើមធ្យោបាយបច្ចេកវិទ្យាទំនើប ចំណាយពេលតិច ងាយស្រួលអាន និងជួយដល់បរិស្ថានមួយកម្រិតទៀត។ នាពេលបច្ចុប្បន្ន សិស្ស-និស្សិត និងសាធារណៈជនកម្ពុជាដែលស្រឡាញ់អំណានកំពុងតែប្រើប្រាស់មធ្យោបាយអំណានទាំងនេះ។ បើយើងក្រឡេកមើលទៅប្រទេសជឿនលឿន ទោះបីជាបច្ចេកវិទ្យារីកចម្រើនខ្លាំងយ៉ាងណា អំណានតាមរយៈសៀវភៅនៅតែមានសន្ទុះដដែល។ ម្យ៉ាងវិញទៀត បច្ចេកវិទ្យាអានបែបទំនើបតាមរយៈឧបករណ៍ទំនើប អាស្រ័យលើលទ្ធភាពនៃធនធានអប់រំឌីជីថល និងមាតិកាឌីជីថលគ្រប់គ្រាន់ដែលបានផលិត និងបង្ហោះចែកចាយសម្រាប់អំណាន។

ក្នុងបរិបទកម្ពុជា ជាពិសេសក្នុងបរិការណ៍នៃការផ្ទុះរីករាលដាលនៃជំងឺកូវីដ-១៩ ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា បានជំរុញឱ្យមានបរិវត្តកម្មឌីជីថលនៅក្នុងអេកូស៊ីស្តែមនៃការអប់រំ ជាពិសេសការអប់រំតាមប្រព័ន្ធអេឡិចត្រូនិកនិងការអប់រំពីចម្ងាយ ដើម្បីលើកកម្ពស់អំណាន តាមរយៈការផលិតមាតិកាឌីជីថលដែលមានភាពចំរុះ ការកសាងសមត្ថភាពផ្នែកតំណភ្ជាប់និងវេទិកាឌីជីថល ការពង្រីកវិសាលភាពនៃមជ្ឈមណ្ឌលទិន្នន័យ និងការលើកកម្ពស់គុណភាពនៃការផលិតធនធានអប់រំឌីជីថល គួបផ្សំជាមួយការចែកសន្លឹកកិច្ចការឱ្យសិស្សយកទៅរៀននៅផ្ទះ និងការចុះទៅជួបជាមួយសិស្សជាបណ្ដុំនៅតាមសហគមន៍។ ក្នុងន័យលើកកម្ពស់អំណាន និងភាពសម្បូរបែបនៃធនធានសៀវភៅសិក្សា ឱ្យកាន់តែមានប្រសិទ្ធភាពនិងភាពសក្តិសិទ្ធិ និងផ្ដល់ឱកាសអំណានកាន់តែច្រើនថែមទៀតដល់សិស្សានុសិស្ស និស្សិត និងសាធារណៈជន ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡាលើកទឹកចិត្តនូវចំណុចមួយចំនួនដូចខាងក្រោម៖

១. សាស្ត្រាចារ្យ អ្នកស្រាវជ្រាវ និងបុគ្គលិកអប់រំ សូមបន្តនិងបង្កើនការបោះពុម្ពស្នាដៃបន្ថែមទៀត ដើម្បីធ្វើឱ្យធនធានសម្រាប់អំណានកាន់តែសម្បូរបែប ជាពិសេសធនធានអំណានជាខេមរភាសា

២. គ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សា សូមផ្តល់លទ្ធភាពគ្រប់បែបយ៉ាង ដើម្បីឱ្យបុគ្គលិកអប់រំគ្រប់លំដាប់ថ្នាក់ និងនិស្សិតគ្រប់កម្រិតសិក្សាអាចចូលរួមអាន និងសិក្សាស្រាវជ្រាវតាមគ្រប់លទ្ធភាពជាមួយធនធានអំណាន ជាពិសេសការរៀបចំឱ្យមានពេលវេលាសម្រាប់សហសិក្សា និងអំណានក្នុងបណ្ណាល័យ
៣. សាស្ត្រាចារ្យតាមមុខវិជ្ជា និងអ្នកស្រាវជ្រាវតាមជំនាញឬវិស័យ ត្រូវរៀបចំដំណើរការរៀនបង្រៀន និងស្រាវជ្រាវដែលមានដាក់បញ្ចូលកិច្ចការស្វ័យសិក្សា សហសិក្សា ឬការស្រាវជ្រាវបណ្ណាល័យដែលតម្រូវឱ្យនិស្សិត ត្រូវអាននិងស្រាវជ្រាវជាមួយធនធានអំណាន
៤. គ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សា និងមជ្ឈមណ្ឌលស្រាវជ្រាវ ត្រូវខិតខំឱ្យអស់លទ្ធភាពក្នុងការបង្កើតបណ្ណាល័យ មជ្ឈមណ្ឌលរក្សាឯកសារ ឬមជ្ឈមណ្ឌលអប់រំឌីជីថលជាដើម ដើម្បីឱ្យបុគ្គលិកអប់រំគ្រប់លំដាប់ថ្នាក់និងនិស្សិតគ្រប់កម្រិតសិក្សាអាចទទួលបាន និងស្វែងរកប្រភពសម្រាប់អំណានកាន់តែសម្បូរបែប និងមានភាពបត់បែន ឆ្លើយតបតាមតម្រូវការអ្នកអាន
៥. និស្សិតគ្រប់កម្រិតសិក្សាត្រូវខិតខំនិងចំណាយពេលវេលាដើម្បីអាន និងចាត់ទុកវប្បធម៌និងអកប្បកិរិយាអំណានជាផ្នែកមួយ នៃពេលវេលានិងភាពស៊ីវិល័យនៃជីវិតប្រចាំថ្ងៃ
៦. បងប្អូនជនរួមជាតិ ដែលជាមាតាបិតា ឬអ្នកអាណាព្យាបាល សូមជួយជំរុញនិងបង្កលក្ខណៈកាន់តែច្រើនថែមទៀត ជាពិសេសការលែលកចំណាយនៅក្នុងគ្រួសារសម្រាប់ការទិញសម្ភារៈសិក្សា សៀវភៅអាន និងឧបករណ៍សម្រាប់អំណានដល់កូនៗ ដែលចាត់ទុកជាការវិនិយោគមួយដ៏សំខាន់ សម្រាប់ បង្កើនចំណេះដឹង និងអនាគតរបស់ពួកគេ។

ដោយមានការគាំទ្រពីក្រសួងសេដ្ឋកិច្ច និងហិរញ្ញវត្ថុ នៅឆ្នាំ២០២០ ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា បានបង្កើតមូលនិធិស្រាវជ្រាវ គំនិតច្នៃប្រឌិត និងនវានុវត្តន៍ ដែលហៅកាត់ថា “មូលនិធិ ស.គ.ន.” និងហៅជាភាសាអង់គ្លេសថា The Research Creativity and Innovation Fund ដែលហៅកាត់ជាភាសាអង់គ្លេសថា “RCI Fund”។ គោលដៅចម្បងនៃមូលនិធិនេះ គឺរួមចំណែកលើកកម្ពស់វប្បធម៌នៃការស្រាវជ្រាវ បំផុសគំនិតច្នៃប្រឌិត និងជំរុញការធ្វើនវានុវត្ត ដើម្បីជាប្រយោជន៍ដល់វិស័យអប់រំ យុវជន និងកីឡា ដែលឆ្លើយតបទៅនឹងទីផ្សារពលកម្ម និងសាកលភាវូបនីយកម្ម។ មូលនិធិ ស.គ.ន. បានសម្រេចកំណត់ប្រធានបទ ជាអាទិភាពសម្រាប់ការគាំទ្រដោយមូលនិធិចំនួន៣ រួមមានឌីជីថលនីយកម្មសម្រាប់បដិវត្តឧស្សាហកម្ម៤.០ (Digitalization for IR.4.0) ការស្រាវជ្រាវអនុវត្តលើវិស័យកសិកម្ម (Applied Agricultural Research) និងការស្រាវជ្រាវគរុកោសល្យសតវត្សទី២១ (21st Century Pedagogy Research)។

ដោយមានការធ្វើអាទិភាពូបនីយកម្មទៅលើទិសដៅ នៃការប្រើប្រាស់ថវិកាមូលនិធិសម្រាប់ឆ្នាំ២០២០ ក្រសួងសេដ្ឋកិច្ច និងហិរញ្ញវត្ថុ និងក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា បានផ្តល់ការគាំទ្រដល់ការរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អ សៀវភៅសិក្សា (Text book) ដែលនឹងត្រូវប្រើប្រាស់នៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា។ គោលបំណងនៃការរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អ សៀវភៅសិក្សានៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា គឺដើម្បីបង្កើនបរិមាណ លើកកម្ពស់គុណភាព និងពង្រីកសមធម៌នៃធនធានសិក្សាជាខេមរភាសា ជូនដល់និស្សិត

ដែលកំពុងបន្តការសិក្សា និងត្រៀមខ្លួនធ្វើការស្រាវជ្រាវនៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា។ លើសពីនេះទៀត ការរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អសៀវភៅសិក្សានៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា មានគោលដៅដូចខាងក្រោម ៖

១. ឆ្លើយតបជាបន្ទាន់ចំពោះការខ្វះខាតធនធានសិក្សា ដែលជាតម្រូវការសិក្សារបស់និស្សិតនៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា

២. លើកកម្ពស់ទំនើបភាវូបនីយកម្ម និងឧត្តមានុវត្តន៍នៃការរៀននិងបង្រៀន និងការស្រាវជ្រាវនៅលើមុខវិជ្ជា កម្មវិធីសិក្សា ឬមុខជំនាញជាក់លាក់

៣. បង្កើនភាពស៊ីជម្រៅក្នុងការកសាងវិជ្ជាជីវៈនិងបទពិសោធន៍សម្រាប់ឋានៈសាស្ត្រាចារ្យ និងអ្នកស្រាវជ្រាវ

៤. រួមចំណែកដល់ការកសាងភាពជាសហគមន៍វិជ្ជាជីវៈ ការចែករំលែកបទពិសោធន៍ និងវប្បធម៌នៃការរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អសៀវភៅសិក្សានៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា។

ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា បានវាយតម្លៃខ្ពស់ចំពោះការបោះជំហានប្រកបដោយមនសិការវិជ្ជាជីវៈនៃគ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សា និងបុគ្គលិកអប់រំទាំងអស់ ក្នុងការរៀបចំ រៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អសៀវភៅសិក្សា ដើម្បីបង្កើនបរិមាណ លើកកម្ពស់គុណភាព និងពង្រឹងសមធម៌នៃធនធានសិក្សាជាខេមរភាសា ជូននិស្សិតដែលកំពុងបន្តការសិក្សា និងត្រៀមខ្លួនធ្វើការស្រាវជ្រាវនៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា។ សៀវភៅសិក្សាជាផ្នែកមួយនៃការទទួលស្គាល់គុណភាពអប់រំនៃគ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សា និងជាធនធានសិក្សាដែលជាមូលដ្ឋានមួយដ៏សំខាន់ ក្នុងការគាំទ្រដល់ការបង្រៀន និងរៀន ហើយត្រូវមានបរិមាណគ្រប់គ្រាន់ ឆ្លើយតបទៅនឹងកម្មវិធីអប់រំ និងតម្រូវការសិក្សាស្រាវជ្រាវ។ ជាគោលការណ៍ គ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សាទាំងអស់ ត្រូវមានសៀវភៅសិក្សាដែលប្រើជាគោលសម្រាប់មុខវិជ្ជានីមួយៗ។ ចំនួនសៀវភៅសិក្សាដែលគ្រប់គ្រាន់សម្រាប់ការស្រាវជ្រាវ និងការសិក្សារបស់និស្សិត ត្រូវមានយ៉ាងតិចមួយចំណងជើងក្នុងមួយមុខវិជ្ជា ហើយត្រូវតម្កល់យ៉ាងតិច២ច្បាប់នៅក្នុងបណ្ណាល័យ ឬអាចរកបានតាមប្រព័ន្ធអេឡិចត្រូនិក។ ក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា លើកទឹកចិត្តបន្ថែមទៀតជូនដល់គ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សារដ្ឋ និងឯកជនដែលបានស្នើសុំថវិកាមូលនិធិ ស.គ.ន រួច សូមចូលរួមបន្ថែមទៀតដើម្បីបង្កើនចំនួនចំណងជើងសៀវភៅ។ ចំណែកគ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សារដ្ឋ និងឯកជនដែលពុំទាន់បានដាក់ពាក្យស្នើសុំថវិកាមូលនិធិ ដើម្បីរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អ សៀវភៅសិក្សានៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា សូមរួសរាន់ចូលរួមដើម្បីជាគុណប្រយោជន៍ដល់តម្រូវការដ៏ទទូចនិងថ្លៃថ្លានៃនិស្សិតកម្ពុជាក្នុងការសិក្សា និងស្រាវជ្រាវនៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា។

សេចក្តីបញ្ជាក់
នៃមូលនិធិស្រាវជ្រាវ គំនិតច្នៃប្រឌិត និងនវានុវត្តន៍

សៀវភៅសិក្សានេះជាលទ្ធផលនៃការស្នើសុំអនុវត្តថវិកាមូលនិធិស្រាវជ្រាវ គំនិតច្នៃប្រឌិត និងនវានុវត្តន៍ ក្នុងគម្រោងរៀបរៀង និពន្ធ និងកែលម្អសៀវភៅសិក្សា ដែលនឹងត្រូវប្រើប្រាស់នៅកម្រិតឧត្តមសិក្សា។ សៀវភៅសិក្សានេះ ត្រូវបានរៀបរៀង និពន្ធ ឬកែលម្អដោយមានការធានាអះអាងថាជាស្នាដៃរបស់អ្នកនិពន្ធផ្ទាល់ និងបានឆ្លងកាត់ត្រួតពិនិត្យ ផ្តល់យោបល់ និងវាយតម្លៃដោយក្រុមប្រឹក្សាអប់រំ ក្រុមប្រឹក្សាស្រាវជ្រាវ ឬក្រុមប្រឹក្សាដែលមានតម្លៃស្មើនៃគ្រឹះស្ថានឧត្តមសិក្សា និងតាមរយៈកិច្ចសន្យាដែលបានធ្វើឡើង និងដែលបានតម្កល់ទុកនៅមូលនិធិស្រាវជ្រាវ គំនិតច្នៃប្រឌិត និងនវានុវត្តន៍។ រាល់ខ្លឹមសារ ការបកស្រាយ ឬរូបភាព ដែលមាននៅក្នុងសៀវភៅនេះ គឺជាជំហរនិងទស្សនៈផ្ទាល់របស់អ្នកនិពន្ធ ហើយពុំឆ្លុះបញ្ចាំង ឬជាតំណាងដល់មូលនិធិស្រាវជ្រាវ គំនិតច្នៃប្រឌិត និងនវានុវត្តន៍ នៃក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡាឡើយ។

សេចក្តីថ្លែងអំណរគុណ

សូមថ្លែងអំណរគុណយ៉ាងជ្រាលជ្រៅបំផុតចំពោះ

- ឯកឧត្តមសាស្ត្រាចារ្យបណ្ឌិត **ង៉ោ ប៊ុនថាន** សាកលវិទ្យាធិការនៃសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទកសិកម្ម ក៏ដូចជាថ្នាក់ដឹកនាំមហាវិទ្យាល័យ វិទ្យាសាស្ត្រកសិកម្មនៃសាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទកសិកម្មដែលបានអនុញ្ញាតិ និងលើកទឹកចិត្តនៅក្នុងការរៀបចំសរសេរសៀវភៅ មួយក្បាលនេះ ដើម្បីចែករំលែកចំណេះដឹងខ្លះៗដល់និស្សិត ក៏ដូចជាអ្នកស្រាវជ្រាវ។
- ឯកឧត្តម **សាន វឌ្ឍនា** អនុរដ្ឋលេខាធិការនៃក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡា ដែលបានផ្តួចផ្តើមនៅក្នុងការលើកទឹកចិត្ត និងធ្វើឱ្យបញ្ញាវ័ន្តខ្មែរជាច្រើនអ្នកមានឱកាសបញ្ចេញស្នាដៃនៅក្នុងការបោះពុម្ពសៀវភៅជាខេមរភាសារសម្រាប់និស្សិតបញ្ញាវ័ន្ត ក៏ដូចជាភាគីពាក់ព័ន្ធនានាអាចយកទៅធ្វើការសិក្សាស្រាវជ្រាវប្រកបដោយភាពងាយស្រួល។
- សូមថ្លែងអំណរគុណដល់មូលនិធិស្រាវជ្រាវ គំនិតច្នៃប្រឌិត និងនវានុវត្តន៍ នៃក្រសួងអប់រំ យុវជន និងកីឡាដែលបានផ្តល់ការសហការ ដើម្បីឲ្យមានការចងក្រងសៀវភៅនេះឡើង។
- សូមថ្លែងអំណរគុណដល់អ្នកមានគុណទាំងពីររបស់ខ្ញុំបាទ ដែលតែងតែផ្តល់កំលាំងកាយ និងកំលាំងចិត្ត ដល់រូបខ្ញុំបាទរហូតមក។

ជាចុងក្រោយ ខ្ញុំបាទ សូមគោរពជូនពរ ឲ្យមានសុខភាពល្អ នឹងពុទ្ធពរទាំងបួនប្រការ អាយុ វណ្ណៈ សុខៈ ពលៈ កុំបីឃ្លៀងឃ្លាតឡើយ។

អារម្ភកថា

សៀវភៅ "រុក្ខសរីរវិទ្យា" ត្រូវបានរៀបចំឡើងដើម្បីឆ្លើយតបទៅនិងតំរូវការរបស់និស្សិតក្នុងការសិក្សាពីវិទ្យាសាស្ត្រកសិកម្ម ដោយមានការសិក្សាតាមភាសាអង់គ្លេស។ ដោយសារមើលឃើញពីតម្រូវការទៅថ្ងៃអនាគតរបស់ សាស្ត្រាចារ្យ និងនិស្សិតក្នុងជំនាញវិទ្យាសាស្ត្រកសិកម្ម នៅក្នុងប្រទេសកម្ពុជា ដែលអាចជាជំនួយក្នុងការសិក្សាដែលជាប់ទាក់ទងនិង ការលូតលាស់ និងវិវឌ្ឍន៍របស់រុក្ខជាតិ។ ការចងក្រងសៀវភៅនេះទាក់ទង និងភាសាជាតិយើងនៅពុំទាន់មានភាពទូលំទូលាយ ដែលភាគច្រើនមានតែភាសាបរទេស ដូចនេះធ្វើអោយនិស្សិតមានការលំបាកក្នុងការសិក្សាបន្ថែមអោយបានស៊ីជម្រៅ។ សៀវភៅ "រុក្ខសរីរវិទ្យា" គឺប្រៀបដូចជាវិន័យដែលយើងត្រូវដើរតាម វាមានន័យថាការអាននូវសៀវភៅនេះគឺដូចបានដឹងពីជីវិតរបស់រុក្ខជាតិទាំងអស់ និងមានគំនិតក្នុងការស្រាវជ្រាវអ្វីដែលថ្មីៗ។ ម្យ៉ាងទៀត ការរៀបចំសៀវភៅនេះឡើង គឺដើម្បីចងជាឯកសារទៅលើប្រធានបទដែលមានលក្ខណៈជឿនលឿន គោលគំនិតសំខាន់ៗ និងដើម្បីជាទស្សនៈក្នុងការប្រើប្រាស់។

នៅក្នុងសៀវភៅ "រុក្ខសរីរវិទ្យា" មានចំនួន១១ ជំពូកដែលមានខ្លឹមសារផ្សេងៗពីគ្នា ដែលមានចំណុចខ្លះបានភ្ជាប់ទំនាក់ទំនងរុក្ខសរីរវិទ្យា ដែលអាចចូលរួមក្នុងបដិវត្តន៍បៃតង និងនិរន្តរភាពដែលមាននៅក្នុងវិស័យកសិកម្ម។ ជំពូកទាំងនេះ គឺបណ្ដុះគំនិតការចូលចិត្តរបស់និស្សិត។ គីមីជីវ ជារឿយៗមានលក្ខណៈលុបលើ ជីវរូប នៅក្នុងសៀវភៅរុក្ខសរីរវិទ្យា។ លើសពីនេះទៅទៀត ការបកស្រាយដោយពឹងផ្អែកពីទំនាក់ទំនងគ្នាទៅវិញទៅមក នៅក្នុងជំពូក ទំនាក់ទំនងទឹក និងរស្មីសំយោគផងដែរ ដែលមានជាប់ទាក់ទងទៅនិងទិដ្ឋភាពជីវរូបនៃលំហូរទឹក និងផូតុន បង្កើតឱ្យមានការផ្ទេរអេឡិចត្រុង។ ការយល់ពីដំណើរការគីមីជីវពណ៌នានៅក្នុង ដំណើរការរស្មីសំយោគ និងដំណើរការដំណកដង្ហើម ហើយនិងមេតាបូលីសរបស់នីត្រូសែន។ សរីរ នៃការលូតលាស់ និងវិវឌ្ឍន៍រុក្ខជាតិបានកើតមកពីលំនាំពីរផ្សេងគ្នា។ ជាមួយគ្នានេះដែរ គោលគំនិតនៅក្នុង ការលូតលាស់ កត្តាកំណត់ការលូតលាស់ (អុកស៊ីន ជីបឺរលីន ស៊ីតូគីនីន អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត និងអេទីឡែន) សរីរ និងការចេញផ្កា ភីតូក្រូម ការទុំនៃផ្លែ ការឡើងចាស់នៃស្លឹក និងអត្ថប្រយោជន៍ ការប្រើប្រាស់ វដ្តពន្លឺ និងចង្វាក់សកម្មភាពប្រចាំថ្ងៃ ត្រូវបានពិភាក្សាយ៉ាងលម្អិត។

ខ្ញុំសង្ឃឹមយ៉ាងមុតមាំថាសៀវភៅ "រុក្ខសរីរវិទ្យា" នេះ នឹងអាចក្លាយទៅជាឯកសារដ៏មានប្រយោជន៍សំរាប់និស្សិត សាស្ត្រាចារ្យ និងអ្នកស្រាវជ្រាវនៅកម្ពុជា ដែលអាចជួយពួកគេអោយទទួលបានព័ត៌មានសំបូរបែប និងគន្លឹះសំខាន់ៗសំរាប់ជាគំនិតក្នុងការស្រាវជ្រាវថ្មីៗបន្ថែមទៀត។ ទោះបីជាសៀវភៅនេះបានរៀបចំយ៉ាងយកចិត្តទុកដាក់ យ៉ាងណាក៏ដោយ ខ្ញុំជឿជាក់ថារាល់ចំណុចខ្វះខាតនៅតែកើតមានឡើង។ យើងខ្ញុំនិងរង់ចាំ និងស្វាគមន៍ទទួលរាល់ការរិះគន់កែលំអ អំពីភាពខ្វះខាតសម្រាប់ជាជំនួយដល់ការរៀបចំលើកក្រោយទៀត។

យើងខ្ញុំសូមជូនពរ ដល់អស់លោក លោកស្រី អ្នកនាងកញ្ញា ព្រមទាំងមិត្តអ្នកអានទាំងអស់ជួបតែនឹងសេចក្តីសុខ និងសុភមង្គលគ្រប់ពេលវេលា។

ថ្ងៃ ច័ន្ទ ១០ កើត ខែបឋមសាឍ ឆ្នាំឆ្លូវ ត្រីស័ក ព.ស ២៥៦៥

រាជធានីភ្នំពេញថ្ងៃទី ០២ ខែសីហា គ.ស ២០២១

អ្នកនិពន្ធ

ខ៉ែត រ៉ាប៊ី និង ឆាង សារិន

អ្នកនិពន្ធ

នាម និងគោត្តនាម ៖ **លោក ង៉ែត រ៉ាប៊ី**

អាស័យដ្ឋាន ៖ ផ្ទះលេខ ៣៤ ផ្លូវលេខ ៣៣C សង្កាត់អូរបែកក្អម ខណ្ឌសែនសុខ រាជធានីភ្នំពេញ

ស្ថាប័នការងារ ៖ សាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទកសិកម្ម

ឯកទេស ឬមុខជំនាញ ៖ វិទ្យាសាស្រ្តកសិកម្ម

ប្រវត្តិការសិក្សា ៖ កំពុងបន្តថ្នាក់បណ្ឌិត ផ្នែកវិទ្យាសាស្រ្តកសិកម្ម ពីឆ្នាំ ២០១៩ ដល់បច្ចុប្បន្ន
អនុបណ្ឌិតផ្នែកវិទ្យាសាស្រ្តកសិកម្ម ២០១៥
បរិញ្ញាបត្រផ្នែកវិទ្យាសាស្រ្តកសិកម្ម ២០១២
បរិញ្ញាបត្រផ្នែកភាសាអង់គ្លេសសំរាប់ការទំនាក់ទំនង ២០១២

បទពិសោធន៍ការងារ ៖ ២០១៦ - ២០១៧ មន្ទីរកសិកម្ម រុក្ខាប្រមាញ់ និងនេសាទរាជធានីភ្នំពេញ
២០១៧ - បច្ចុប្បន្ន សាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទកសិកម្ម

អ្នកនិពន្ធ

នាម និងគោត្តនាម	៖	**បណ្ឌិត នាង សារិន**
អាស័យដ្ឋាន	៖	ផ្ទះលេខ ២៧ ផ្លូវលេខ ៣៧២ សង្កាត់បឹងសាឡាង ខណ្ឌទួលគោក រាជធានីភ្នំពេញ
ស្ថាប័នការងារ	៖	នាយកដ្ឋានកសិ-ឧស្សាហកម្ម នៃក្រសួងកសិកម្ម រុក្ខប្រមាញ់ និងនេសាទ
ឯកទេស ឬមុខជំនាញ	៖	វិទ្យាសាស្ត្រកសិកម្ម
ប្រវត្តិការសិក្សា	៖	បណ្ឌិត ផ្នែកវិទ្យាសាស្ត្រកសិកម្ម ២០២០ អនុបណ្ឌិតផ្នែកវិទ្យាសាស្ត្រកសិកម្ម ២០១៧ បរិញ្ញាបត្រផ្នែកវិទ្យាសាស្ត្រកសិកម្ម ២០១១
បទពិសោធន៍ការងារ	៖	២០១១ - ២០១២ សាកលវិទ្យាល័យភូមិន្ទកសិកម្ម ២០១២ - ២០១៣ នាយកដ្ឋានកសិ-ឧស្សាហកម្ម នៃក្រសួងកសិកម្ម រុក្ខប្រមាញ់ និងនេសាទ ២០២០ - បច្ចុប្បន្ន នាយកដ្ឋានកសិ-ឧស្សាហកម្ម នៃក្រសួងកសិកម្ម រុក្ខប្រមាញ់ និងនេសាទ

បញ្ជីវិចិត្ររូប

រូបភាព និងរូបថត **ទំព័រ**

រូបភាពទី១.១៖ ប្រភេទរុក្ខជាតិមានសរសៃ.. ៤
រូបភាពទី២.១៖ រចនាសម្ព័ន្ធកោសិការបស់រុក្ខជាតិ.. ៥
រូបភាពទី២.២៖ ខ្នាតទទឹងនៃស្លឹករុក្ខជាតិបង្ហាញពីប្រភេទកោសិកា និងលក្ខណៈរូបរបស់ស្លឹក.............. ៩
រូបភាពទី២.៣៖ លក្ខណៈរូបជាលិកាសរសៃនាំ.. ១១
រូបភាពទី២.៤៖ លក្ខណៈរូបនៃឫសរុក្ខជាតិ.. ១២
រូបភាពទី៣.១៖ ទឹកអាចឆ្លងកាត់ភ្នាសរុក្ខជាតិ ដោយបន្សាយនៃម៉ូលេគុលទឹកនីមួយៗ...................... ១៦
រូបភាពទី៣.២៖ ចលនាកម្ដៅ នៃម៉ូលេគុល ដែលឈានទៅរកបន្សាយ.. ១៨
រូបភាពទី៣.៣៖ ក្រាហ្វិចតំណាងនៃកំហាប់ របស់ធាតុរលាយ ដែលត្រូវបានបន្សាយ........................ ១៨
រូបភាពទី៣.៤៖ ប៉ូតង់ស្យែលទឹក នៃរុក្ខជាតិក្រោមលក្ខខណ្ឌជាំដុះផ្សេងៗគ្នានិងភាពប្រែប្រួលទៅតាមដំណើរការសរីរផ្សេងៗគ្នាទៅកាន់ប៉ូតង់ស្យែលទឹក.. ២១
រូបភាពទី៤.១៖ កត្តាជំរុញសំខាន់ៗក្នុងការបម្លាស់ទីទឹកពីក្នុងដីទៅកាន់បរិយាកាស........................ ២៣
រូបភាពទី៤.២៖ រោមជញ្ជក់ឫសមានទំនាក់ទំនងស្និទ្ធជាមួយភាគល្អិតរបស់ដី និងពឹងផ្អែកខ្លាំងលើទំហំផ្ទៃដីសម្រាប់ស្រូបយកទឹករបស់រុក្ខជាតិ.. ២៤
រូបភាពទី៤.៣៖ (ក)ការស្រូបយកទឹកនៃផ្ទៃឫសដែលជ្រាបទឹកបាន និង (ខ)ផ្ទៃឫសដែលមិនអាចជ្រាបទឹកបាន ជាពិសេសឫសពេញវ័យដែលកោសិកាមានផ្ទុកទៅដោយសារជាតុក្រមួន.................... ២៦
រូបភាពទី៤.៤៖ លំនាំផ្លូវនៃការស្រូបយកទឹកដោយឫស។ ឆ្លងកាត់តាមកោសិកាសម្បកឫស ទឹកអាចធ្វើដំណើរឆ្លងកាត់លំនាំផ្លូវអាប៉ូប្លាស ចន្លោះភ្នាសកោសិកា និងលំនាំផ្លូវសាំប្លាស........................ ២៧
រូបភាពទី៤.៥៖ ក្រពេញទឹក (guttation) ក្នុងស្លឹកនៃរុក្ខជាតិ *Alchemila vulgaris*............................ ២៨
រូបភាពទី៤.៦៖ បណ្ដុំស៊ីឡែម និងការប្រៀបធៀបរចនាសម្ព័ន្ធរវាងត្រាកេអ៊ីត និងធាតុកោសិកា.......... ២៩
រូបភាពទី៥.១៖ បណ្ដុំស៊ីឡែម និងការប្រៀបធៀបរចនាសម្ព័ន្ធរវាង ត្រាកេអ៊ីត និងធាតុកោសិកា ៣៤
រូបភាពទី៥.២៖ ទិដ្ឋភាពនៃកោសិកាមេសូភី (Mesophyll).. ៣៦
រូបភាពទី៥.៣៖ បង្ហាញពីការហ៊ុមព័ទ្ធនៃខ្យល់ជុំវិញផ្ទៃស្លឹក.. ៣៧
រូបភាពទី៥.៤៖ បង្ហាញពីការដឹកនាំអសកម្ម និងសកម្មនៃអ៊ីយ៉ុងឆ្លងកាត់ភ្នាស.. ៣៨
រូបភាពទី៥.៥៖ បង្ហាញពីដំណើរការនៃការដឹកជញ្ជូនទឹក និងស៊ុចក្រូស.. ៤១
រូបភាពទី៥.៦៖ បង្ហាញពីការបើកនិងបិទរបស់ស្តូម៉ាត.. ៤៤
រូបភាពទី៦.១៖ មូលដ្ឋាននៃការផ្ទេរថាមពលក្នុងកំឡុងពេលធ្វើរស្មីសំយោគ.. ៥២
រូបភាពទី៦.២៖ ឥទ្ធិពលនៃការធ្លាក់ចុះរលកក្រហម.. ៥៤
រូបភាពទី៦.៣៖ គ្រោងមានទម្រង់ជាអក្សរ Z នៃរស្មីសំយោគ បង្ហាញពីប្រតិកម្មនៃប្រព័ន្ធពន្លឺ ៥៥

រូបភាពទី៦.៤៖ ទម្រង់នៃក្លរ៉ូប្លាស ៥៦
រូបភាពទី៦.៥៖ ទម្រង់នៃការរៀបចំទូទៅនៃភ្នាសនៅក្នុងក្លរ៉ូប្លាស ៥៧
រូបភាពទី៦.៦៖ ប្រតិកម្មពន្លឺ និងកាបូននៃរស្មីសំយោគក្នុងក្លរ៉ូប្លាសរបស់រុក្ខជាតិ ៥៨
រូបភាពទី៦.៧៖ វដ្តកាល់វ៉ាំង (Calvin–Benson Cycle) ដំណើរការបន្តគ្នាជាបីដំណាក់កាល ៥៩
រូបភាពទី៦.៨៖ A) វដ្តកាបូនរស្មីសំយោគ C_4 រួមបញ្ចូលដំណាក់៥ ក្នុង២ថតផ្សេងគ្នា B) លំនាំរស្មីសំយោគ C_4 ក្នុងស្លឹករុក្ខជាតិ ៦១
រូបភាពទី៦.៩៖ មេតាប៉ូលីសអាស៊ីតក្រាស៊ីលឡាសេ (CAM) ៦២
រូបភាពទី៧.១៖ ទិដ្ឋភាពទូទៅនៃប្រតិកម្មដំណកដង្ហើមរុក្ខជាតិ ៦៤
រូបភាពទី៧.២៖ រចនាសម្ព័ន្ធ និងប្រតិកម្មនៃនុយក្លេអូទីតដែលដឹកជញ្ជូនអេឡិចត្រុងចម្បងៗពាក់ព័ន្ធនឹងជីវសាស្ត្រដំណកដង្ហើម ៦៦
រូបភាពទី៧.៣៖ វដ្តអាស៊ីតស៊ីទ្រិចក្នុងរុក្ខជាតិ និងប្រតិកម្មដែលទាក់ទង ៧០
រូបភាពទី៧.៤៖ ការរៀបចំខ្សែសង្វាក់ដឹកជញ្ជូនអេឡិចត្រុង និងការសំយោគ ATP នៅក្នុងភ្នាសខាងក្នុងមីតូកុងទ្រី នៃរុក្ខជាតិ ៧១
រូបភាពទី៩.១៖ ការបង្ហាញពីរុក្ខជាតិ *Arabidopsis thaliana* ពីផ្នែកផ្សេងៗគ្នា ៨៤
រូបភាពទី៩.២៖ ការលូតលាស់ផ្នែកផ្សេងៗរបស់ដើមរុក្ខជាតិ ៨៦
ររូបភាពទី៩.៣៖ ប្រភេទទាំង៥ នៃការតម្រៀបស្លឹកទៅតាមលក្ខណៈនីមួយៗ ៨៨
រូបភាពទី៩.៤៖ ការលូតលាស់ផ្នែកផ្សេងៗរបស់ឫស ៨៩
រូបភាពទី៩.៥៖ ការវិវឌ្ឍនៃជាលិកានុក្ខជាតិ ៩០
រូបភាពទី៩.៦៖ ការឡើងចាស់ម៉ូណូខាភីច នៅក្នុងពពួកសណ្ដែកសៀង *(Glycine max)* ៩៣
រូបភាពទី៩.៧៖ វគ្គនៃការវិវឌ្ឍភាពចាស់របស់ផ្កាត្រកួន *(Ipomoea acuminata)* ៩៤
រូបភាពទី១០.១៖ អុកស៊ីន ដែលដឹកនាំ AUX1ពីការសម្តែងជាក់លាក់ក្បាលឫស ឫសខាង និងកោសិកាសរសៃនាំ ១០១
រូបភាពទី១០.២៖ អុកស៊ីនទប់ការលូតលាស់ពន្លកមែកនៅក្នុងសណ្ដែកបារាំង ១០២
រូបភាពទី១០.៣៖ (A) ស្ត្របឺរី "ផ្លែ" គឺចេញពីទងដែលប៉ោង ដែលកំណត់ការលូតលាស់ដោយការផលិតលូតលាស់ដោយគ្រាប់ ១០៣
រូបភាពទី១០.៤៖ IAA បង្កឱ្យមានការបង្កើតឡើងវិញនៅជុំវិញផ្នែករបួស នៅក្នុងដំណាំត្រសក់....... ១០៤
រូបភាពទី១០.៥៖ ឥទ្ធិពលនៃការដាក់ជីប៊ឺរលីន និងមុយតង់នៅក្នុងប្រភេទសែនបីប្រភេទខុសគ្នា *(gai, ga1* និង *rga*) នៅលើផេណូទីបនៃរុក្ខជាតិ *Arabidopsis* ១០៨
រូបភាពទី១០.៦៖ ការបង្កើតមើមរបស់ដំឡូងបារាំងដែលជម្រុញដោយរយៈថ្ងៃខ្លី ១០៩
រូបភាពទី១០.៧៖ រុក្ខជាតិថ្នាំជក់ នៃការសម្តែងសែនហួសកំណត់សំរាប់ ស៊ីតូគីនីន អុកស៊ីដាស់ ១១២

រូបភាពទី១០.៨៖ ស៊ីតូគីនីន ត្រូវការដើម្បីការលូតលាស់នៃមេដាលិការពន្លកដើម ១១៣
រូបភាពទី១០.៩៖ ស៊ីតូគីនី ទប់ការលូតលាស់ឫស.. ១១៣
រូបភាពទី១០.១០៖ ស៊ីតូគីនី ទប់ស្កាត់ទំហំ និងការបែងចែកកោសិកា សកម្មភាពរបស់ឫស ១១៣
រូបភាពទី១០.១១៖ ឥទ្ធិពលនៃអេទីឡែន ទៅលើប្រភេទរុក្ខជាតិ Birch (*Betula pendula*)............. ១១៨
រូបភាពទី១០.១២៖ តួនាទីរបស់អុកស៊ីន និងអេទីឡែនកំឡុងពេលដែលស្លឹកឡើងចាស់ ១១៩
រូបភាពទី១០.១៣៖ (A) មេដាលិកាកំពូលនៃរុក្ខជាតិ *Arabidopsis taliana* នៃសរីរាង្គលូតលាស់..... ១២៤
រូបភាពទី១០.១៤៖ សរីរាង្គផ្កាកើតឡើងតាមលំដាប់លំដោយនៃ ដាលិកាពន្លកផ្កា.......................... ១២៥
រូបភាពទី១០.១៥៖ (A) ឥទ្ធិពលរយៈទទឹងទៅលើប្រវែងថ្ងៃនៅពេលវេលាខុសគ្នានៃឆ្នាំ.................. ១២៦
រូបភាពទី១០.១៦៖ វដ្តពន្លឺកំណត់ការចេញផ្កា ១២៨
រូបភាពទី១០.១៧៖ សីតុណ្ហភាពត្រជាក់ បង្កើតអោយមានផ្កា.. ១២៩
រូបភាពទី១០.១៨៖ រយៈពេលដែលដាក់ឱ្យត្រូវសីតុណ្ហភាពទាប ដែលបង្កើនស្ថេរភាពឥទ្ធិពលរបស់សីតុណ្ហភាព (Courtesy of Colleen Bizzell)... ១៣០
រូបភាពទី១០.១៩៖ ខាងឆ្វេងគឺ គឺការរារាំងការសម្តែងសែន FLOWERING LOCUS C (FLC) ដោយភាពត្រជាក់នៅក្នុងរុក្ខជាតិអេកូទីប Arabidopsis ដែលត្រូវការសីតុណ្ហភាពត្រជាក់។ រូបខាងស្តាំ គឺ Arabidopsis ដែលមានសែន FLC បង្ហាញការចេញផ្កាឆាប់រហ័សដោយគ្មានបច្ច័យត្រជាក់ (Photo courtesy of R. Amasino.).. ១៣១
រូបភាពទី១០.២០៖ ប្រភេទផ្សេងគ្នានៃការភ្ញោចស្លឹករុក្ខជាតិ *Xanthium* និង *Perilla*.......................១៣២
រូបភាពទី១១.១៖ ពោត *(Zea mays)* (A និង B) និងសណ្តែកបារាំង *(Phaseolus vulgaris)*........... ១៣៦
រូបភាពទី១១.២៖ ការស្រូបយកពន្លឺនៃស្រូវសាឡីដោយភីតូក្រូមនៅក្នុង Pr (បន្ទាប់តពណ៌បៃតង) និង Pfr (បន្ទាត់ពណ៌ខៀវ).. ១៣៧
រូបភាពទី១១.៣៖ ការសង្ខេបពីដំណើរការក្នុងការកំណត់នៃការផ្លាស់ប្តូរ ភីតូក្រូម (phytochrome)... ១៣៨
រូបភាពទី១១.៤៖ ភីត្រូក្រូមគ្រប់ការចេញផ្កា ដោយពន្លឺក្រហម និងក្រហមខ្លាំង.............................. ១៣៩
រូបភាពទី១១.៥៖ ដំណុះគ្រាប់សាលាដ ដែលជាប្រភេទមាន លក្ខណៈត្រឡប់ពន្លឺទៅវិញទៅមកដែលឆ្លើយតបទៅនិងភីតូក្រូម.. ១៤០
រូបភាពទី១១.៦៖ ទំនាក់ទំនងរវាងការលូតលាស់ដោយផ្ទាល់ និងពន្លឺមិនស្មើគ្នា............................ ១៤២
រូបភាពទី១១.៧៖ ការលូតលាស់ដោយពន្លឺនៅក្នុងប្រភេទធម្មជាតិ (wild type) និងមុយតង់ (mutant) នៃកូនរុក្ខជាតិ *Arapidopsis* ១៤២

មាតិកា

ទំព័រ

សេចក្តីថ្លែងអំណរគុណ i
អារម្ភកថា ii
បញ្ជីរូបភាព vi

ជំពូកទី១ មូលដ្ឋានគ្រឹះនៃរុក្ខសរីរវិទ្យា

១.១ និយមន័យ និងវិសាលភាពនៃរុក្ខសរីរវិទ្យា ១
១.២ ដំណើរជីវិតរុក្ខជាតិ ៣
១.៣ ទិដ្ឋភាពទូទៅ នៃរចនាសម្ព័ន្ធរុក្ខជាតិ ៣

ជំពូកទី២ កោសិការុក្ខជាតិ

២.១ ភ្នាសកោសិការុក្ខជាតិ ៥
២.២ ធាតុកោសិការុក្ខជាតិ ៦
២.២.១ ប្រព័ន្ធខាងក្នុងភ្នាសកោសិកា (endomembrane system) ៦
២.២.២ ធាតុកោសិកាដែលត្រូវបានបំបែក និងផ្គុំចូលគ្នាពីប្រព័ន្ធខាងក្នុងភ្នាសកោសិកា ៨
២.២.៣ ធាតុកោសិកាពាក់កណ្តាលស្វយ័តដែលត្រូវបានបំបែក ៨
២.៣ ប្រភេទកោសិកា និងលក្ខណៈរូបរបស់ស្លឹក ៩
២.៤ ប្រភេទកោសិកា និងលក្ខណៈរូបរបស់ជាលិកាសរសៃនាំ (Vascular tissue) ១០
២.៥ ប្រភេទកោសិកា និងលក្ខណៈរូបនៃឫស ១១

ជំពូកទី៣ ទំនាក់ទំនងទឹក និងរុក្ខជាតិ

៣.១ ទឹក និងប្រភព ១៤
៣. ២ ប៉ូលែ នៃម៉ូលេគុលទឹក ១៤
៣.៣ ដំណើរការនៃការដឹកជញ្ជូនទឹក ១៥
៣.៤ បន្សាយនៃទឹក (Diffusion) ១៦
៣.៥ បាតុភូត អូស្មូស ១៨
៣.៦ ទឹកនៅក្នុងដី ២១

ជំពូកទី៤ ការស្រូបយកទឹក

៤.១ ទឹកនៅក្នុងដី ២៣

៤.១.១ សម្ពាធលំនឹងទឹកអវិជ្ជមានក្នុងដី បន្ទាប់ប៉ូតង់ស្យែលទឹកក្នុងដី.. ២៥
៤.២ ការស្រូបយកទឹកដោយឫស ២៥
៤.២.១ ទឹកធ្វើបំលាស់ទីក្នុងឫសតាមរយៈលំនាំផ្លូវ អាប៉ូប្លាស សាំប្លាស និងចន្លោះភ្នាសកោសិកា... ២៦
៤.២.២ ការប្រមូលផ្ដុំសារធាតុរាវនៅក្នុងស៊ីឡែមអាចបង្កជាសម្ពាធឫស.. ២៧
៤.៣ ទឹកត្រូវបានដឹកជញ្ជូនតាមរយៈស៊ីឡែម ២៩
៤.៣.១ ស៊ីឡែមមានកោសិកាដឹកជញ្ជូនពីរប្រភេទ... ២៩
៤.៣.២ ទឹកផ្លាស់ទីឆ្លងកាត់ស៊ីឡែមដោយលំហូរភាគច្រើនជម្រុញដោយសម្ពាធ............................ ៣០
៤.៣.៣ ទ្រឹស្ដីភាពតានតឹងនៃកម្លាំងទំនាញ (cohesion-tension theory)...................................... ៣០

ជំពូកទី៥ ការបំភាយទឹក

៥.១ ធម្មជាតិ នៃការបំភាយទឹក.. ៣៣
៥.២ ការបំភាយទឹក និងការហួតទឹក... ៣៣
៥.៣ ប្រភេទនៃការបំភាយទឹក... ៣៥
៥.៤ អត្រានៃការបំភាយទឹក.. ៣៧
៥.៤.១ ភាពធន់ទ្រាំនៃការបំភាយ ៣៧
៥.៤.២ ដំណឹកនាំតាមភ្នាស (ភ្នាសសែលុយឡូស)... ៣៧
៥.៤.៣ អ៊ីយ៉ុងដែលទទួលបានពីឫស ៣៩
៥.៤.៤ ការផ្លាស់ទីរបស់ផ្លូអែម.. ៣៩
៥.៤.៥ ផ្លូអែមបំលាស់ទីមេកានិចក្នុងបំពង់ប្រហោង ៤០
៥.៥ ទម្រង់នៃរន្ធស្ដូម៉ាត ៤២
៥.៥.១ ចំនួន និងដង់ស៊ីតេនៃរន្ធស្ដូម៉ាត.. ៤២
៥.៥.២ រន្ធខ្យល់ផ្នែកខាងក្នុងស្លឹក.. ៤៣
៥.៦ យន្តការនៃការផ្លាស់ប្ដូរ និងការគ្រប់គ្រងស្ដូម៉ាត.. ៤៣
៥.៦.១ ការបែងចែក និង ការគ្រប់គ្រង ៤៣
៥.៦.២ ចលនាស្ដូម៉ាតានៅក្នុងរុក្ខជាតិដែលមានទឹកដមច្រើន (stomata movement in succulents) ៤៦
៥.៦.៣ កត្តាដែលមានឥទ្ធិពលដល់ចលនារបស់រន្ធស្ដូម៉ាត ៤៧

ជំពូកទី៦ រស្មីសំយោគ

៦.១ ការធ្វើរស្មីសំយោគនៅក្នុងរុក្ខជាតិ.. ៥០
៦.១.១ ពន្លឺមានលក្ខណៈជាភាគល្អិត និងរលក ៥១
៦.១.២ សារធាតុពណ៌ខៀវស្រូបយកពន្លឺដែលផ្ដល់ថាមពលដល់ការធ្វើរស្មីសំយោគ...................... ៥២

៦.១.៣ រស្មីសំយោគកើតឡើងនៅក្នុងកុំផ្លិចដែលផ្ទុក អង់តែន (antenna) ដែលប្រមូលផលពន្លឺ និងកន្លែងប្រតិកម្មរស្មីគីមី (photochemical)........ ៥២
៦.១.៤ ពន្លឺជំរុញការកាត់បន្ថយនៃ $NADP^{+}$ និងការបង្កើត ATP........ ៥៣
៦.១.៥ សារពាង្គកាយដែលវិវឌ្ឍន៍អុកស៊ីសែនមានប្រព័ន្ធពន្លឺពីរដែលដំណើរការជាស៊េរី........ ៥៣
៦.២ សមាសភាពចូលរួមការធ្វើរស្មីសំយោគ........ ៥៦
៦.២.1 ក្លរ៉ូប្លាសគឺជាទីតាំងនៃរស្មីសំយោគ........ ៥៦
៦.២.២ ទីឡាកូអ៊ីតផ្ទុកប្រូតេអ៊ីនសំខាន់ៗនៅភ្នាសរបស់វា........ ៥៧
៦.២.៣ ប្រព័ន្ធពន្លឺទី១ និង ២ ត្រូវបានបំបែកចេញពីគ្នានៅក្នុងភ្នាសទីឡាកូអ៊ីត........ ៥៧
៦.៣ វដ្តកាល់វ៉ាំង (Calvin–Benson Cycle)........ ៥៨
៦.៤ យន្តការប្រមូលផ្តុំកាបូនអសរីរាង្គ........ ៦០
៦.៤.១ វដ្តកាបូន C_4........ ៦០
៦.៤.២ មេតាប៉ូលីសអាស៊ីតក្រាស៊ុលឡាសេ (CAM)........ ៦១
៦.៤ ភាពខុសគ្នារវាងរុក្ខជាតិ C3 C4 និង CAM........ ៦៣

ជំពូកទី៧ ដំណកដង្ហើម

៧.១ ទិដ្ឋភាពទូទៅនៃដំណកដង្ហើមរុក្ខជាតិ........ ៦៤
៧.២ គ្លីកូលីស ឬការបំបែកគ្លុយកូល........ ៦៧
៧.២.១ រុក្ខជាតិមានប្រតិកម្មគ្លីកូលីសដែលជំនួសបាន........ ៦៨
៧.៣ ចលនការប៉ង់តូផូស្វាតតាមអុកស៊ីតកម្ម........ ៦៩
៧.៤ វដ្តអាស៊ីតស៊ីទ្រិច........ ៦៩
៧.៥ ការដឹកជញ្ជូនអេឡិចត្រុង និងការសំយោគ ATP........ ៧១
៧.៥.១ កុំផ្លិចទី១ (Complex I)........ ៧២
៧.៥.២ កុំផ្លិចទី២ (Complex II)........ ៧២
៧.៥.៣ កុំផ្លិចទី៣ (Complex III)........ ៧២
៧.៥.៤ កុំផ្លិចទី ៤ (Complex IV)........ ៧២
៧.៥.៥ ការសំយោគ ATP ក្នុងមីតូកុងឌ្រី ត្រូវបានភ្ជាប់ជាមួយការដឹកជញ្ជូនអេឡិចត្រុង........ ៧២

ជំពូកទី៨ ដំណើរការមេតាបូលីសអាសូត

៨.១ ប្រភពនៃអាសូត........ ៧៥
៨.១.១ ការបំលែងអាសូត........ ៧៥
៨.២ ការបង្កើតកំពកឫស នៅក្នុងដំណាំគ្រួសារសណ្តែក........ ៧៥
៨.៣. ការបំលែងអាសូតនៅក្នុងដី........ ៧៦

៨.៤ គីមីជីវៈនៃការបំលែងអាសូត ៧៨
៨.៤.១ អាមីណូអាស៊ីត និង អាមីដ ៧៨

ជំពូកទី៩ ការលូតលាស់ និងវិវឌ្ឍន៍របស់រុក្ខជាតិ

៩.១ ការលូតលាស់ ៨៥
៩.២ ការលូតលាស់ស្លឹក ៨៦
៩.២.១ វគ្គនៃការលូតលាស់ ៨៧
៩.៣ ការលូតលាស់ឫស ៨៨
៩.៣.១ រង្វាស់នៃការលូតលាស់ ៨៩
៩.៤ កត្តាដែលមានឥទ្ធិពលដល់ការលូតលាស់ ៩១
៩.៥ កោសិកាគ្រឹះ នៃការលូតលាស់ និងកំណរូបរាង ៩២
៩.៥.១ លំនាំនៃការលូតលាស់តាមគល់ស្លឹក (Axiality) និងប៉ូលភាព (Polarity) ៩២

ជំពូកទី១០ អរម៉ូនរុក្ខជាតិ

១០.១. សកម្មភាពរបស់ អរម៉ូន ៩៥
១០.១.១ កម្រិត អរម៉ូននៅក្នុងរុក្ខជាតិ ៩៥
១០.២ អុកស៊ីន ៩៧
១០.២.១ ធម្មជាតិ និងប្រវត្តិ នៃអុកស៊ីន ៩៧
១០.២.២ តួនាទី របស់អុស៊ីន ៩៨
១០.២.៣ ការដឹកនាំអុកស៊ីន ជាទម្រង់មិនប៉ូលែក្នុងផ្លូវអែម ១០០
១០.២.៤ អុកស៊ីនជួយក្នុងការវិវឌ្ឍផ្លែ ១០២
១០.៣ ជីបឺរេលីន (Gibberellins) ១០៤
១០.៣.១ ធម្មជាតិ និងប្រវត្តិ ជីបឺរេលីន ១០៤
១០.៣.២ ជីវវិភាគ (Bioassay) ១០៥
១០.៣.៣ តួនាទី របស់ជីបឺរេលីន ១០៦
១០.៣.៤ ការលូតលាស់ផ្កា ១០៧
១០.៣.៥ រយៈពន្លឺកំណត់ក្នុងការបង្កើតមើម ១០៩
១០.៤ ស៊ីតូគីនីន ១០៩
១០.៤.១ ធម្មជាតិ និងប្រវត្តិនៃស៊ីតូគីនីន ១០៩
១០.៤.២ តួនាទីរបស់ស៊ីតូគីនីន ១១១
១០.៤.៣ ជីវសំយោគ មេតាបូលីស និងការដឹកជញ្ជូនស៊ីតូគីនីន ១១១
១០.៥ អេទីឡែន ១១៤

១០.៥.១ ធម្មជាតិនៃអេទីឡែន ១១៤
១០.៥.២ ប្រវត្តិនៃអេទីឡែន.. ១១៤
១០.៥.៣ ជីវសំយោគនៃអេទីឡែន ១១៥
១០.៥.៤ មេតាប៉ូលីសនៃអេទីឡែន.. ១១៥
១០.៥.៥ ការប្រើប្រាស់អេទីឡែនក្នុងវិស័យកសិកម្ម.. ១១៦
១០.៦ អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA).. ១២០
១០.៦.១ ប្រវត្តិអាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA).. ១២០
១០.៦.២ ធម្មជាតិនៃអាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA).. ១២១
១០.៦.៣ ជីវសំយោគនៃ ABA ១២១
១០.៦.៤ មេតាប៉ូលីសនៃអាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) ១២២
១០.៦.៥ ដំណេកគ្រាប់.. ១២២
១០.៧ ការគ្រប់គ្រងការចេញផ្កា (The control of flowering).. ១២៣
១០.៧.១ សរីរាង្គផ្កា បួនប្រភេទខុសគ្នាដែលកើតឡើងជារាងរង្វង់.. ១២៤
១០.៧.២ វដ្តពន្លឺ (photoperoidism) គ្រប់គ្រងប្រវែងថ្ងៃ (Day length) ១២៥
១០.៧.៣ ការចេញផ្កាបណ្តាលមកពីអាកាសធាតុត្រជាក់ (Vernalization)............................ ១២៨

ជំពូកទី១១ ផូតូម័រជេនេស៊ីស (Photomorgenesis) និងភីតូក្រូម (Phytochrome)

១១.១. លក្ខណៈទូទៅរបស់ផូតូម័រជេនេស៊ីស (Photomorgenesis).. ១៣៤
១១.២ ភីតូក្រូម (Phytochrome).. ១៣៧
១១.៣ ពន្លឺពណ៌ខៀវ ជាអ្នកទទួលពន្លឺ (Blue Light I Cryptochromes).. ១៤០
១១.៤ ពន្លឺពណ៌ខៀវនៃ PHOTORECEPTORS II – PHOTOTROPINS ១៤១

បញ្ជីពាក្យសរសេរកាត់

ពាក្យសរសេរកាត់		ការពន្យល់
មម	៖	មីលីម៉ែត្រ
ម	៖	ម៉ែត្រ
ស.ម	៖	សង់ទីម៉ែត្រ
%	៖	ភាគរយ
ADP	៖	Adenosine diphosphate
ATP	៖	Adenosine triphosphate
NADH	៖	Nicotinamide Adenine Dinucleotide
SDGs	៖	Senescence Down Regulate-gene
HPLC	៖	High Performance Liquid Chromatography
SDPs	៖	Short-day plants
LDPs	៖	Long-day plants
DNPs	៖	Day-neutral plants
μmol m^{-2}	៖	Micromole per second and square meter

ជំពូកទី១
មូលដ្ឋានគ្រឹះនៃ រុក្ខសរីរវិទ្យា

១.១ និយមន័យ និងវិសាលភាពនៃរុក្ខសរីរវិទ្យា

រុក្ខសរីរវិទ្យា (Plant Physiology) គឺជាការសិក្សាអំពីដំណើរការរបស់រុក្ខជាតិ របៀបដែលរុក្ខជាតិលូតលាស់ អភិវឌ្ឍន៍ និងដំណើរការនៅពេលរុក្ខជាតិធ្វើអន្តរកម្មជាមួយបរិស្ថានមានជីវិត និងគ្មានជីវិត។ សរីរវិទ្យា (Physiology) មានដើមកំណើតមកពីភាសាក្រិកតាមរយៈការចូលរួមជាមួយពាក្យ សរីរ (Physis) ដែលមានន័យថា" មុខងារ" និង វិទ្យា (Logos) មានន័យថា " វិទ្យាសាស្ត្រ"។ រុក្ខសរីរវិទ្យាបានលេចចេញជារូបរាងឡើងក្នុងឆ្នាំ ១៨០០ នៅពេលដែលបុរសជនជាតិបារាំង J. Senebier បានកែសម្រួលការសិក្សារបស់គាត់អំពីរុក្ខសរីរវិទ្យាជា ៥ផ្នែក ដែលរួមមានលទ្ធផលពិសោធន៍ផ្ទាល់របស់គាត់ ការសិក្សារបស់ M. Malpighi នៅឆ្នាំ ១៧៧១ ដែលបានពិពណ៌នាអំពីលំហូរនៃសារធាតុនៅក្នុងរុក្ខជាតិ ការសិក្សារបស់ St. Hales នៅឆ្នាំ ១៧២៧ ដែលបានបង្ហាញថាទឹក និងសារធាតុអំបិលរ៉ែហូរតាមរយៈស៊ីឡែម (Xylem) ខណៈពេលសារធាតុសរីរាង្គហូរតាមរយៈ ផ្លូអែម (Phloem) នៅក្នុងរុក្ខជាតិ និងការសិក្សារបស់ J. Pristley នៅឆ្នាំ ១៧៧១ ដែលបានរកឃើញការធ្វើរស្មីសំយោគ។

ជាគោលការណ៍ ការអភិវឌ្ឍរុក្ខសរីរវិទ្យាតាមលក្ខណៈវិទ្យាសាស្ត្រ ត្រូវបានផ្អែកលើវិធីសាស្ត្រមូលដ្ឋានពីរគឺ៖ ១)ការពិពណ៌នា សំដៅទៅលើការសិក្សាអំពី កាយវិភាគសាស្ត្រ/លក្ខណៈរូបរបស់រុក្ខជាតិ និង ២)ការពិសោធ សំដៅទៅលើការស្រាវជ្រាវអំពីសរីរវិទ្យា/មុខងារលក្ខណៈរូបរបស់រុក្ខជាតិ។ វិធីសាស្ត្រស្រាវជ្រាវទាំងពីរនេះគឺទាក់ទងគ្នា ពីព្រោះសរីរាង្គរុក្ខជាតិមិនអាចត្រូវបានសិក្សាដោយមិនគិតពីមុខងាររបស់វាទេ ក៏ដូចជាដំណើរការណាមួយមិនអាចត្រូវបានសិក្សាដោយមិនដឹងពីរចនាសម្ព័ន្ធដែលវាស្ថិតនៅនោះទេ។ ឧទាហរណ៍៖ ដើម្បីសិក្សាអំពីដំណកដង្ហើម (Respiration) វាចាំបាច់ត្រូវដឹងអំពីរចនាសម្ព័ន្ធរបស់មីតូកុងឌ្រី (Mitochondria) ដែលជាពពួកអង្គធាតុភ្នាសកោសិកាដែលបង្កើតថាមពលគីមីភាគច្រើនដែលត្រូវការដើម្បីផ្តល់ថាមពលប្រតិកម្មជីវគីមីនៅក្នុងកោសិកា និងដើម្បីសិក្សាអំពីរស្មីសំយោគនៅក្នុងរុក្ខជាតិ វាចាំបាច់ត្រូវដឹងពីរចនាសម្ព័ន្ធរបស់ ក្លរ៉ូប្លាស (Chloroplast) ដែលជាសរីរាង្គដែលដឹកនាំធ្វើរស្មីសំយោគដោយការចាប់យកថាមពលពីពន្លឺព្រះអាទិត្យ បំលែង និងរក្សាទុកនៅក្នុងម៉ូលេគុលផ្ទុកថាមពល និងបញ្ចេញអុកស៊ីសែនពីទឹកនៅក្នុងកោសិការុក្ខជាតិ។

ដំណើរការសរីរវិទ្យាទាំងអស់ដែលកើតឡើងនៅក្នុងរុក្ខជាតិត្រូវបានសិក្សាពីទិដ្ឋភាពផ្សេងៗដូចខាងក្រោម៖

- ពីទិដ្ឋភាពជីវគីមី (Biochemical) សរីរវិទ្យាសិក្សាពីជីវសំយោគរបស់សមាសធាតុសរីរាង្គ និងសារៈសំខាន់នៃមុខងាររបស់សារធាតុសរីរាង្គ ដែលបង្កើតឡើងដោយសមាសធាតុមេតាប៉ូលីល

ចម្បង និងបន្ទាប់បន្សំ ដែលត្រូវបានចូលរួមនៅក្នុងការលូតលាស់ និងការអភិវឌ្ឍរបស់រុក្ខជាតិ។ សរីរវិទ្យាក៏ស្រាវជ្រាវអំពីលំនាំនៃរស្មីសំយោគ បង្ហាញពីច្បាប់អាហារូបត្ថម្ភរ៉ែ សារៈសំខាន់នៃសារធាតុរ៉ែក្នុងដំណើរមេតាបូលីស និងតួនាទីរបស់ពួកវានៅក្នុងបាតុភូតអគ្គិសនីកើតឡើងនៅខាងក្នុងកោសិកា ឬក្នុងការសំយោគសមាសធាតុសរីរាង្គ។ ល។

- ពីទិដ្ឋភាពនៃជីវរូប (Biophysical)៖ សរីរវិទ្យាសិក្សាពីបញ្ហាដូចជា ភាពសកម្មរបស់កោសិកា សកម្មភាពអគ្គិសនីនៅក្នុងសរីរាង្គរុក្ខជាតិ ច្បាប់រូបវិទ្យា និងគីមីនៃរបបទឹក សារធាតុចិញ្ចឹមតាមរយៈប្រព័ន្ធឫស រស្មីសំយោគ និងដំណកដង្ហើម។
- ពីទិដ្ឋភាពនៃការវិវឌ្ឍ (Evolution)៖ អ្នកស្រាវជ្រាវសិក្សាពីសរីរវិទ្យានៃហ្សែន ប្រភេទពូជ ការអភិវឌ្ឍនៃសារពាង្គកាយនីមួយៗ អំពីកាយវិភាគវិទ្យា ឬលក្ខណៈសម្បត្តិតាំងពីដំណាក់កាលដំបូងរហូតដល់ពេញវ័យ ដែលបានផ្លាស់ប្តូរក្នុងអំឡុងពេលធ្វើរស្មីសំយោគ។
- ពីទិដ្ឋភាពនៃអុងតូសេនី (Ontogeny)៖ ដែលសិក្សាអំពីការលូតលាស់របស់ឯកត្តៈមួយពីស៊ុតរហូតដល់លើចាស់ និងអាយុកាលរបស់សារពាង្គកាយទាំងមូល សរីរវិទ្យាវិភាគច្បាប់ទាក់ទងនឹងអាយុកាលដែលគ្រប់គ្រងការលូតលាស់ និងការអភិវឌ្ឍរបស់រុក្ខជាតិដោយផ្អែកលើដំណើរការសរីរវិទ្យា និងជីវគីមីកើតឡើងនៅក្នុងកោសិកា ជាលិកា និងសរីរាង្គ។
- ពីទិដ្ឋភាពនៃអេកូឡូស៊ី (Ecology)៖ សរីរវិទ្យាសិក្សាអំពីការពឹងផ្អែកនៃដំណើរការខាងក្នុង និងលក្ខណៈពិសេសនៃការអភិវឌ្ឍរបស់សារពាង្គកាយរុក្ខជាតិលើលក្ខខណ្ឌបរិស្ថានជុំវិញជាច្រើន។

សរុបមករុក្ខសរីរវិទ្យារួមបញ្ចូលចំណេះដឹងពីផ្នែកផ្សេងៗនៃជីវវិទ្យា និងវិទ្យាសាស្ត្រជីវិតជាច្រើនមានដូចជា៖ លក្ខណៈរូបវិទ្យា (សិក្សាពីរចនាសម្ព័ន្ធ និងសមាសធាតុនៃសារពាង្គកាយរុក្ខជាតិ) កោសិកាវិទ្យា (សិក្សាពីកោសិកា) ជីវគីមីវិទ្យា (សិក្សាពីសារធាតុគីមី និងប្រតិកម្មកើតឡើងនៅក្នុងសារពាង្គកាយមានជីវិត) ជីវរូបវិទ្យា (ផ្តោតលើការពិពណ៌នាអំពីបាតុភូតរូបវិទ្យាទាក់ទងនឹងភាវៈរស់ ឧទាហរណ៍៖ ការផ្លាស់ប្តូរថាមពលរវាងរុក្ខជាតិ និងបរិស្ថាន) បរិស្ថានវិទ្យា (ផ្តល់ទិន្នន័យស្តីពីផលប៉ះពាល់នៃកត្តាបរិស្ថានលើរុក្ខជាតិ) គីមីវិទ្យា រូបវិទ្យា គណិតវិទ្យា ជាដើម ។ លើសពីនេះទៅទៀតរុក្ខសរីរវិទ្យាក៏តំណាងឱ្យមូលដ្ឋានទ្រឹស្តីសម្រាប់ការដាំដុះរុក្ខជាតិ ការសិក្សាពីជំងឺរុក្ខជាតិ ការបង្កាត់ពូជរុក្ខជាតិ ការសិក្សាពីកសិគីមីវិទ្យា ការសិក្សាពីហ្សែនេទិច និងការសិក្សាពីដី។

ដូច្នេះសៀវភៅនេះនឹងសង្កត់ធ្ងន់ទៅលើមុខងារសរីរវិទ្យា គីមីជីវ និងម៉ូលេគុលរបស់រុក្ខជាតិ ដែលផ្តោតលើផ្នែកសំខាន់មួយចំនួននៃរុក្ខសរីរវិទ្យាមានដូចជា កោសិការុក្ខជាតិ ទំនាក់ទំនងទឹក និងរុក្ខជាតិ ការស្រូបយកទឹករបស់រុក្ខជាតិ ការបំភាយទឹក រស្មីសំយោគ ដំណកដង្ហើម សមានកម្មអាសូត ការលូតលាស់ និងការវិវឌ្ឍរបស់រុក្ខជាតិ អរម៉ូនរុក្ខជាតិ និងអ្នកកំណត់ការលូតលាស់ ផូតូម័រផូជេនេស៊ីស (Photomorphogenesis) និង ភីតូក្រូម (Phytochrome)។

១.២ ដំណើរជីវិតរុក្ខជាតិ

រុក្ខជាតិមានកម្ពស់ចាប់ពីតិចជាង ១សង់ទីម៉ែត្រ ទៅជាង ១០០ម៉ែត្រ។ ដោយសារលក្ខណៈរូបវិទ្យា ឬទម្រង់របស់រុក្ខជាតិមានភាពចម្រុះគ្នាច្រើន ដូច្នេះអ្នកស្រាវជ្រាវរុក្ខសិរីរវិទ្យាជាញឹកញាប់សិក្សាពី គំរូរបស់សារពាង្គកាយរុក្ខជាតិដែលមានការលូតលាស់រយៈពេលខ្លី និងហ្សែនតូចៗ។ គំរូទាំងនេះមានអត្ថប្រយោជន៍ ពីព្រោះវាជាមូលដ្ឋានដែលរុក្ខជាតិទាំងអស់អនុវត្តន៍ដំណើរការស្រដៀងគ្នា និងត្រូវបានផ្អែកលើរចនាសម្ព័ន្ធដូចគ្នា។ យើងអាចសង្ខេបគោលការណ៍សំខាន់ៗរបស់រុក្ខជាតិដូចខាងក្រោមៈ

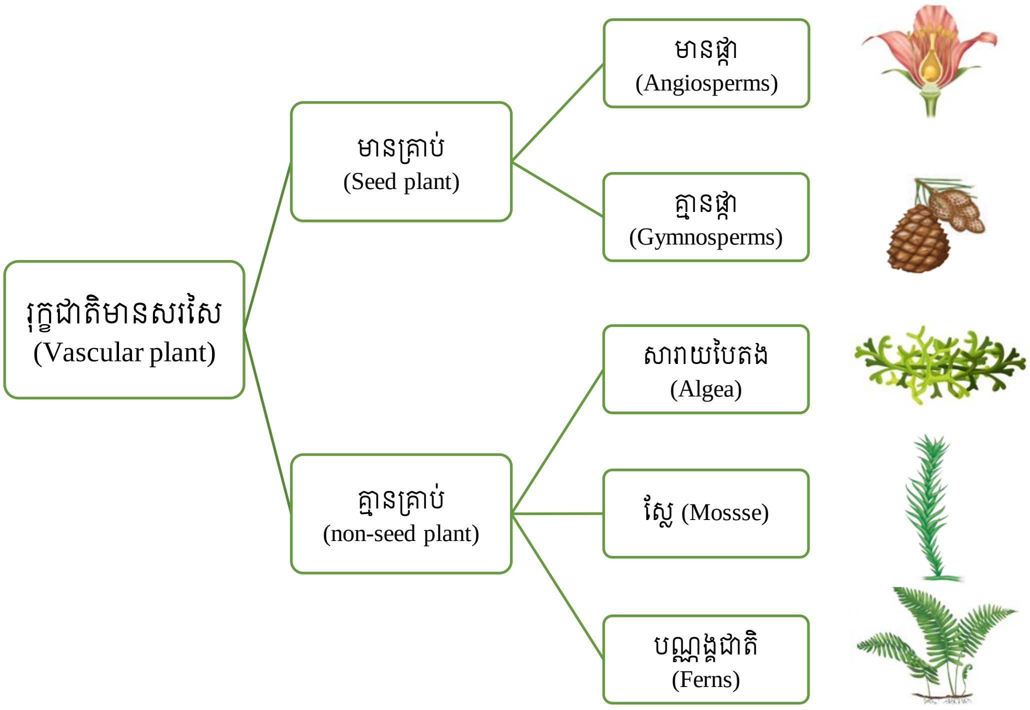
- រុក្ខជាតិនៅលើផែនដីមានតួនាទីជាអ្នកប្រមូលពន្លឺព្រះអាទិត្យ ដោយបំលែងថាមពលពន្លឺទៅជាថាមពលគីមី ដែលរុក្ខជាតិរក្សាទុកនៅក្នុងចំណងគីមី ដែលបានបង្កើតឡើងនៅពេលដែលរុក្ខជាតិសំយោគកាបូអ៊ីដ្រាត ពីកាបូនឌីអុកស៊ីត និងទឹក។
- រុក្ខជាតិមិនអាចផ្លាស់ទីពីកន្លែងមួយទៅកន្លែងមួយបានទេ ហើយរុក្ខជាតិបានវិវត្តន៍សមត្ថភាពក្នុងការរីកលូតលាស់ ឆ្ពោះទៅរកធនធានសំខាន់ៗ ដូចជាពន្លឺ ទឹក និងសារជាតុចិញ្ចឹមរ៉ែពេញមួយជីវិតរបស់ពួកគេ។
- រុក្ខជាតិមានយន្តការបម្លាស់ទីទឹក និងរ៉ែ ពីដីទៅទីតាំងនៃរស្មីសំយោគ និងការលូតលាស់ ក៏ដូចជាយន្តការក្នុងការផ្លាស់ប្តូរផលិតផលនៃរស្មីសំយោគទៅសរីរាង្គ និងជាលិកា ដែលមិនមានដំណើរការរស្មីសំយោគ។
- រុក្ខជាតិបាត់បង់ទឹកជាបន្តបន្ទាប់ដោយការហួត និងមានយន្តការវិវឌ្ឍសម្រាប់ការចៀសវាងការបាត់បង់។
- រុក្ខជាតិដុះចេញពីអំប្រីយ៉ុងដែលទទួលបានសារជាតុចិញ្ចឹមពីរុក្ខជាតិជំនាន់មុន និងសារជាតុចិញ្ចឹមទាំងនេះជួយសម្រួលផលិតកម្មនៃរចនាសម្ព័ន្ធទ្រទ្រង់ខ្លួនវានៅលើដី។

១.៣ ទិដ្ឋភាពទូទៅ នៃរចនាសម្ព័ន្ធរុក្ខជាតិ

រុក្ខជាតិជាទូទៅមានប្រភពមកពី អំប្រីយ៉ុងសម្របខ្លួនទៅនឹងដី និងអាចបំលែងកាបូនឌីអុកស៊ីតចូលទៅក្នុងសមាសធាតុសរីរាង្គស្មុគស្មាញតាមរយៈដំណើរការនៃរស្មីសំយោគ។ រុក្ខជាតិរួមមាន រុក្ខជាតិគ្មានសរសៃនាំ (Nonvascular plants) និង រុក្ខជាតិមានសរសៃនាំ (Vascular plants)។ រុក្ខជាតិមានសរសៃនាំ មានរុក្ខជាតិគ្មានគ្រាប់ (Non-seed plants) និង រុក្ខជាតិមានគ្រាប់ (Seed plants) (រូបភាពទី១)។

ថ្វីបើរុក្ខជាតិមានភាពចម្រុះជាច្រើន ប៉ុន្តែរុក្ខជាតិមានគ្រោងរាងកាយជាមូលដ្ឋានដូចគ្នា។ ការលូតលាស់រាងកាយ របស់រុក្ខជាតិត្រូវបានផ្សំឡើងដោយសរីរាង្គបីគឺ ដើម ឫស និងស្លឹក ដែលមានទិសដៅក្នុងការលូតលាស់ផ្សេងៗគ្នា។ ដើមដុះលូតលាស់ឡើងលើហើយទ្រទ្រង់ជាន់ខាងលើ ផ្នែកនៃរុក្ខជាតិ។ ឫសដែលជាយុថ្កាុក្ខជាតិ និងស្រូបយកសារជាតុចិញ្ចឹមនិងទឹក លូតលាស់ចុះក្រោមដី។ ស្លឹកដែលមានមុខងារ

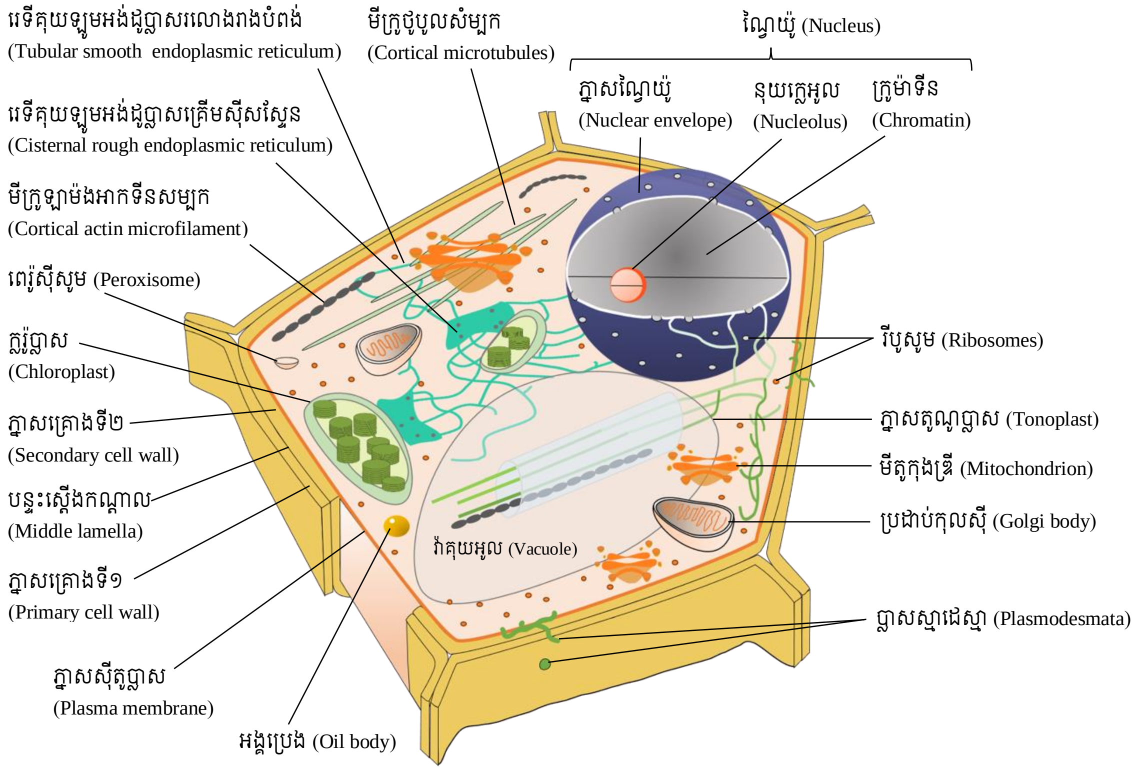
ចម្បងគឺធ្វើរស្មីសំយោគ ដុះចេញនៅពេលក្រោយពីដើមនៅថ្នាំងរុក្ខជាតិ។ ភាពខុសគ្នានៃការលូតលាស់របស់សរីរាង្គទាំងនេះ ត្រូវបានប្រែប្រួលទៅនឹងមុខងាររបស់ពួកវា៖ ស្លឹកមានតួនាទីស្រូបយកពន្លឺ ដើមមានតួនាទីពន្លូតដើម្បីលើកស្លឹកឆ្ពោះទៅរកពន្លឺព្រះអាទិត្យ និងឫសមានតួនាទីពន្លូតក្នុងការស្វែងរកទឹក និងសារធាតុចិញ្ចឹមពីដី។



រូបភាពទី១.១៖ ប្រភេទរុក្ខជាតិមានសរសៃ (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

ជំពូកទី២
កោសិការុក្ខជាតិ

២.១ ភ្នាសកោសិការុក្ខជាតិ



រូបភាពទី២.១៖ រចនាសម្ព័ន្ធកោសិការបស់រុក្ខជាតិ (ប្រភព៖ រៀបចំដោយ Riho Ozaki)

កោសិការុក្ខជាតិត្រូវបានព័ទ្ធជុំវិញដោយភ្នាសកោសិកាដ៏រឹងមាំ។ព្រំដែនរវាងស៊ីតូប្លាស (Cytoplast) ទៅនឹងសារធាតុរាវខាងក្រៅ របស់កោសិការុក្ខជាតិ គឺជាភ្នាសស៊ីតូប្លាស (Plasma membrane)។ ស្រដៀងនឹងកោសិកាសត្វដែរ កោសិការុក្ខជាតិមានភ្នាសស៊ីតូប្លាស ដែលបំបែកផ្នែកខាងក្នុងនៃកោសិកាពីបរិយាកាសខាងក្រៅ។ ភ្នាសស៊ីតូប្លាស គ្រប់គ្រងការដឹកជញ្ជូនសារធាតុចូល និងចេញពីកោសិកា។ ឧទាហរណ៍៖ ភ្នាសស៊ីតូប្លាស បញ្ជូនសារធាតុចិញ្ចឹមចូលទៅក្នុងកោសិកា និងដឹកជញ្ជូនសារធាតុពុលចេញពីកោសិកាផងដែរ។ កោសិការុក្ខជាតិខុសគ្នាពីកោសិកាសត្វដែលមានស្រទាប់មួយទៀតដ៏រឹងមាំនៅខាងលើភ្នាសស៊ីតូប្លាសហៅថា ភ្នាសគ្រោង (Cell wall)។ នៅក្នុងរុក្ខជាតិមានបីផ្នែកនៃភ្នាសគ្រោង៖ ១)ភ្នាសគ្រោងទី១ (Primary cell wall) ២)ភ្នាសគ្រោងទី២ (Secondary cell wall) ៣)បន្ទះស្តើងកណ្តាល

(Middle lamella)។ ភ្នាសគ្រោងទី១ គឺជាស្រទាប់ស្តើងដែលអាចបត់បែនបាន និងអាចពង្រីកបាននៃភ្នាសគ្រោង ដែលផ្សំឡើងដោយ សែលុយឡូស (Cellulose) ប៉ិចទីន (Pectin) និង អេមីសែលុយឡូស (Hemicellulose)។ ភ្នាសគ្រោងទី១ មានផ្ទុក ប៉ិចទីន ច្រើនជាងភ្នាសគ្រោងទី២។ ភ្នាសគ្រោងទី២ បង្កើតនៅក្រោមភ្នាសគ្រោងទី១។ បន្ទះស្តើងកណ្តាល (Middle lamella) គឺជាស្រទាប់ភ្នាសគ្រោងខាងលើភ្នាសគ្រោងទី១ (រូបភាពទី២.១)។

២.២ ធាតុកោសិការុក្ខជាតិ

កោសិការុក្ខជាតិទាំងអស់ជាមូលដ្ឋានមានសណ្ឋានជា អឺការីយ៉ូត (Eukaryotic) ដូចគ្នា ដែលមានផ្ទុកធាតុកោសិកាដូចជា ណ្វៃយ៉ូ ស៊ីតូប្លាស និងធាតុកោសិកាបន្ទាប់បន្សំផ្សេងទៀត ហើយត្រូវបានរុំព័ទ្ធដោយ ភ្នាសស៊ីតូប្លាសដែលជាព្រំដែនកំណត់ពីកោសិកាមួយទៅកោសិកាមួយទៀត និងរុំព័ទ្ធដោយភ្នាសគ្រោងសែលុយឡូស។ ការផ្លាស់ប្តូរតិចតួចនៃធាតុកោសិការុក្ខជាតិ អាចបង្កឱ្យមានការផ្លាស់ប្តូរដ៏ធំមួយនៅក្នុងការវិវត្ត និងការអភិវឌ្ឍរបស់រុក្ខជាតិ។ កោសិការុក្ខជាតិទាំងអស់ចាប់ផ្តើមជាមួយនឹងការបំពេញស្រដៀងគ្នានៃធាតុកោសិកា ហើយធាតុកោសិកាទាំងនេះត្រូវបានបែងចែកជាបីប្រភេទសំខាន់ៗផ្អែកលើរបៀបដែលពួកវាកើតឡើង៖

២.២.១ ប្រព័ន្ធខាងក្នុងភ្នាសកោសិកា (Endomembrane system)

ប្រព័ន្ធខាងក្នុងភ្នាសកោសិកាគឺជាក្រុមនៃភ្នាស និងធាតុនៅក្នុងកោសិកាអឺការីយ៉ូតដែលធ្វើការជាមួយគ្នាដើម្បីកែសម្រួល វេចខ្ចប់ និងដឹកជញ្ជូនសារធាតុប្រេង និងប្រូតេអ៊ីន។ ប្រព័ន្ធខាងក្នុងភ្នាស់កោសិកាមានដូចជា រេទីគុយឡូមអង់ដូប្លាស (Endoplasmic reticulum) ភ្នាសណ្វៃយ៉ូ (Nuclear envelope) ប្រដាប់កុលស៊ី (Golgi apparatus) វ៉ាគុយអូល (Vacuole) អង់ដូសូម (Endosomes) និងភ្នាសស៊ីតូប្លាស។ ប្រព័ន្ធខាងក្នុងភ្នាសកោសិកា ដើរតួនាទីសំខាន់នៅក្នុងដំណើរការបញ្ចេញ ការកកើតឡើងវិញនៃភ្នាស និងវដ្តកោសិកា (រូបភាពទី២.១)។

ណ្វៃយ៉ូ (Nucleus) គឺជាសរីរាង្គដែលមានផ្ទុកព័ត៌មានហ្សែន ដែលទទួលខុសត្រូវជាចម្បងចំពោះការគ្រប់គ្រងមេតាប៉ូលីស ការលូតលាស់ និងភាពខុសគ្នានៃកោសិកា។ ទំហំនៃហ្សែននៅក្នុងណ្វៃយ៉ូរបស់រុក្ខជាតិមានលក្ខណៈប្រែប្រួលខ្ពស់ រាប់ចាប់ពីប្រហែល ១.២ x ១០៨គូ សម្រាប់រុក្ខជាតិគំរូ *Arabidopsis thaliana* ទៅ ១ x ១០១១គូ សម្រាប់រុក្ខជាតិផ្កា *Lily Fritillaria assyriaca* ។ ណ្វៃយ៉ូត្រូវបានព័ទ្ធជុំវិញដោយភ្នាសពីរជាន់ហៅថា ភ្នាសណ្វៃយ៉ូ (Nuclear envelope) ដែលជាផ្នែករងនៃរេទីគុយឡូមអង់ដូប្លាស (Reticulum endoplasmic)។ ណ្វៃយ៉ូ គឺជាកន្លែងផ្ទុក និងចម្លងក្រូម៉ូសូមផ្សំដោយឌីអិនអេ (DNA) និងប្រូតេអ៊ីនដែលជាប់ទាក់ទង។ ណ្វៃយ៉ូមានផ្ទុកនូវនុយក្លេអូល (Nucleolus) ដែលជាទីតាំងនៃរីបូសូម (Ribosome) សំយោគ។ កោសិកាធម្មតាមាននុយក្លេអូលមួយក្នុងមួយណ្វៃយ៉ូ ហើយកោសិកាខ្លះមានច្រើនជាងនេះ។

រេទីគុយឡូមអង់ដូប្លាស (Reticulum endoplasmic) គឺជាបណ្តាញនៅខាងក្នុងភ្នាសកោសិកា និងត្រូវបានផ្សំឡើងដោយបណ្តាញបំពង់តូចៗ ជាច្រើនដែលតភ្ជាប់ជាមួយភ្នាសណ្វៃយ៉ូ។ រេទីគុយឡូមអង់ដូប្លាស ដើរតួនាទីយ៉ាងសំខាន់ក្នុងការផ្លាស់ប្តូរប្រូតេអ៊ីន និងការសំយោគ លីពីត (Lipids)។ បំពង់រេទីគុយឡូមអង់ដូប្លាស ចូលរួមជាមួយគ្នាបង្កើតជាបណ្តាញពហុកោណ និងថង់សំប៉ែតតូចៗ ដែលហៅថា ស៊ីសស្ទែន (Cisterna) នៅក្នុងស៊ីតូប្លាស។ ស៊ីសស្ទែន ដើរតួនាទីយ៉ាងសំខាន់ក្នុងការវេចខ្ចប់ កែប្រែ និងដឹកជញ្ជូនសម្រាប់កោសិកាទាំងមូល។ រេទីគុយឡូមអង់ដូប្លាសដែលស្ថិតនៅខាងក្រោមហើយប្រហែលជាត្រូវបានភ្ជាប់ទៅនឹងភ្នាសស៊ីតូប្លាស ស្ថិតនៅក្នុងស្រទាប់ខាងក្រៅនៃស៊ីតូប្លាស ហៅថា រេទីគុយឡូមអង់ដូប្លាសផ្នែកសម្បក។ តំបន់រេទីគុយឡូមអង់ដូប្លាស ដែលមានភ្នាសចងភ្ជាប់នឹង រីបូសូម ច្រើនត្រូវបានគេហៅថា រេទីគុយឡូមអង់ដូប្លាសគ្រើម (Rough endoplasmic reticulum) ពីព្រោះការចងភ្ជាប់នឹង រីបូសូម ធ្វើអោយរេទីគុយឡូមអង់ដូប្លាសមានរូបរាងគ្រើម នៅពេលមើលក្នុងមីក្រូក្រាបអេឡិចត្រុង ហើយរេទីគុយឡូមអង់ដូប្លាសដែលមិនភ្ជាប់នឹង រីបូសូម ត្រូវបានហៅថា រេទីគុយឡូមអង់ដូប្លារលោង (Smooth endoplasmic reticulum)។ រេទីគុយឡូមអង់ដូប្លាសមានរូបរាងគ្រើមជួយផ្លាស់ប្តូរប្រូតេអ៊ីនដែលនឹងត្រូវបញ្ចេញពីកោសិកា។ មុខងាររបស់រេទីគុយឡូមអង់ដូប្លារលោងរួមមានសំយោគកាបូអ៊ីដ្រាត ខ្លាញ់ និងអរម៉ូន ស្តេរ៉ូអ៊ីត (Steroid) ការបន្សាបសារធាតុពុល និងការផ្ទុកអ៊ីយ៉ុងកាល់ស្យូម។

ប្រដាប់កុលស៊ី (Golgi body) ជាភ្នាសត្រួតលើគ្នាសំប៉ែតៗរបស់កោសិកាអឺការីយ៉ូត ហើយមានតួនាទីរៀបចំ និងស្តុកប្រូតេអ៊ីនសម្រាប់បញ្ចេញ។ ប្រហែលជាមានរហូតដល់ទៅ ១០០ប្រដាប់កុលស៊ី នៅក្នុងកោសិកាពេញវ័យ ហើយប្រភេទកោសិកាផ្សេងទៀតជាធម្មតាមានតិចជាង ១០០ប្រដាប់កុលស៊ី។ ការគ្រប់គ្រងចំនួនប្រដាប់កុលស៊ី នៅក្នុងកោសិការុក្ខជាតិធ្វើអោយកោសិកាអាចគ្រប់គ្រងសមត្ថភាពក្នុងការបញ្ចេញ ក្នុងកំឡុងពេលលូតលាស់ និងដំណើរការដែលកោសិកា ជាលិកា សរីរាង្គទទួលបានមុខងារផ្សេងៗគ្នា។

វ៉ាគុយអូល (Vacuoles) មានមុខងារចម្រុះនៅក្នុងកោសិការុក្ខជាតិ។ វ៉ាគុយអូល ដើមឡើយត្រូវបានកំណត់ដោយរូបរាងរបស់វានៅក្នុងមីក្រូទស្សន៍ជាផ្នែកដែលរុំព័ទ្ធដោយភ្នាស និងដោយគ្មានស៊ីតូប្លាស។ វ៉ាគុយអូល ផ្ទុកសារធាតុផ្សំពីទឹក និងធាតុរលាយ។ ការកើនឡើងមាឌនៃកោសិការុក្ខជាតិក្នុងកំឡុងពេលលូតលាស់កើតមានឡើងជាចម្បងតាមរយៈការកើនឡើងមាឌនៃសារធាតុរលាយ នៅក្នុងវ៉ាគុយអូល។ វ៉ាគុយអូល នៅកណ្តាលកោសិកាមានទំហំធំ និងកាន់កាប់រហូតដល់ ៩៥% នៃមាឌកោសិកាសរុប នៅក្នុងកោសិការុក្ខជាតិដែលពេញវ័យ។

ភ្នាសវ៉ាគុយអូល ដែលត្រូវបានស្គាល់ថា តូណូប្លាស (Tonoplast) ផ្ទុកប្រូតេអ៊ីន និងលីពីត ដែលត្រូវបានសំយោគដំបូងក្នុងរេទីគុយឡូមអង់ដូប្លាស។ បន្ថែមលើតួនាទីរបស់វាក្នុងការពង្រីកកោសិការ វ៉ាគុយអូលក៏អាចធ្វើជាកន្លែងផ្ទុក សារធាតុមេតាបូលីតបន្ទាប់បន្សំ ដែលចូលរួមក្នុងការការពាររុក្ខជាតិប្រឆាំងនឹង

ពពួកសារពាង្គកាយដែលស៊ីរុក្ខជាតិជាអាហារ។ អ៊ីយ៉ុងអសរីរាង្គ ជាតិស្ករ អាស៊ីតសរីរាង្គ និងសារធាតុពណ៌គឺគ្រាន់តែជាធាតុរលាយមួយចំនួនដែលអាចប្រមូលផ្តុំក្នុង វ៉ាគុយអូល។

២.២.២ ធាតុកោសិកាដែលត្រូវបានបំបែក និងផ្តុំចូលគ្នាពីប្រព័ន្ធខាងក្នុងភ្នាសកោសិកា

ធាតុកោសិកាដែលត្រូវបានបំបែក និងផ្តុំចូលគ្នាពីប្រព័ន្ធខាងក្នុងភ្នាសកោសិកាមានដូចជា អង្គប្រេង (Oil bodies) ពេរ៉ុស៊ីសូម (Peroxisomes) និងគ្លីអូស៊ីសូម (Glyoxysomes) ដែលមានតួនាទីស្តុកទុកខ្លាញ់ និងកាបូនមេតាប៉ូលីស (រូបភាពទី២.១)។ អង្គប្រេងគឺជាសរីរាង្គរក្សាទុកជាតិខ្លាញ់។ រុក្ខជាតិជាច្រើនសំយោគ និងរក្សាទុកបរិមាណប្រេងច្រើនក្នុងអំឡុងពេលនៃការអភិវឌ្ឍគ្រាប់រុក្ខជាតិ។ ប្រេងទាំងនេះប្រមូលផ្តុំនៅក្នុងធាតុកោសិកា ដែលគេហៅថា អង្គប្រេង។ អង្គតូចៗ (Microbodies) ជាធាតុកោសិកាដែលព័ទ្ធជុំវិញដោយភ្នាសទោល មានដូចជា ពេរ៉ូស៊ីសូម និងគ្លីអូស៊ីសូម ហើយដើរតួយ៉ាងសំខាន់ជាមេតាប៉ូលីសនៅក្នុងស្លឹក និងគ្រាប់។ គ្លីអូស៊ីសូមមានទំនាក់ទំនងជាមួយមីតូកុងទ្រី (Mitochondria) និងអង្គប្រេងខណៈពេលដែល ពេរ៉ូស៊ីសូម មានទំនាក់ទំនងជាមួយ មីតូកុងទ្រី និងក្លរ៉ូប្លាស (Chloroplast)។

២.២.៣ ធាតុកោសិកាពាក់កណ្តាលស្វយ័តដែលត្រូវបានបំបែក

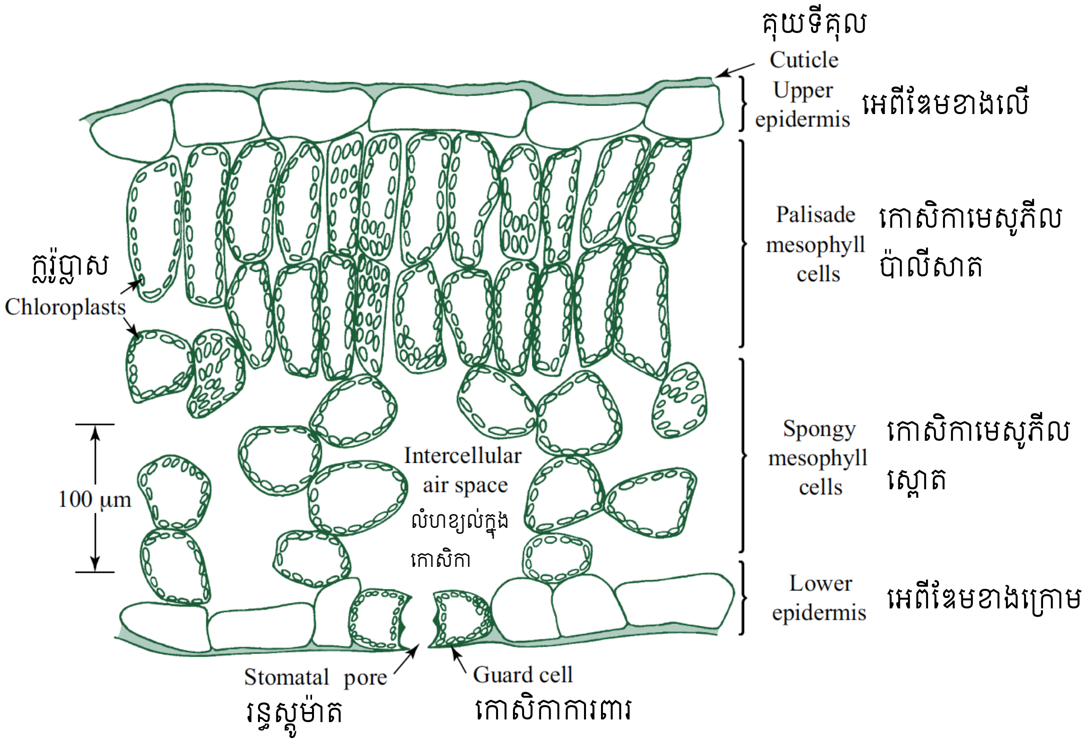
ធាតុកោសិកាពាក់កណ្តាលស្វយ័តដែលត្រូវបានបំបែកមានដូចជា ប្លាស្ទីត (Plastids) និងមីតូកុងទ្រី ដែលមានមុខងារជាមេតាប៉ូលីសថាមពល និងការស្តុកទុក និងមានមុខងារសំយោគម៉ូលេគុលមេតាប៉ូលីស និងម៉ូលេគុលទម្រង់ជាច្រើន។ កោសិការុក្ខជាតិធម្មតាមានធាតុកោសិកាផលិតថាមពលពីរប្រភេទគឺ មីតូកុងទ្រី និងក្លរ៉ូប្លាស។ ធាតុកោសិកាទាំងពីរ ត្រូវបានបំបែកចេញពី ស៊ីតូសូល (Cytosol) ដោយភ្នាសពីរស្រទាប់ (ភ្នាសខាងក្រៅ និងខាងក្នុង) និងមានផ្ទុកឌីអេនអេ (DNA) និងរីបូសូម រៀងៗខ្លួន។ មីតូកុងទ្រីគឺជាទីកន្លែងដែលកោសិកាធ្វើដំណកដង្ហើម ដែលជាដំណើរការដែលថាមពលត្រូវបានបញ្ចេញពីការធ្វើមេតាប៉ូលីសជាតិស្ករ ប្រើសម្រាប់ការសំយោគ អាដេណូស៊ីនទ្រីផូស្វាត (ATP/adenosine triphosphate) ពី អាដេណូស៊ីនឌីផូស្វាត (ADP/adenosine diphosphate) និងផូស្វាត (P_i/phosphate) អសរីរាង្គ។

ក្លរ៉ូប្លាស (Chloroplasts) ស្ថិតនៅក្រុមមួយផ្សេងទៀត នៃធាតុកោសិកាដែលព័ទ្ធជុំវិញដោយភ្នាសពីរជាន់ហៅថា ផ្លាស្ទិត និងជាទីតាំងនៃការធ្វើរស្មីសំយោគ។ ក្រៅពីភ្នាសពីរជាន់របស់ក្លរ៉ូប្លាសដែលជាផ្នែកខាងក្នុង និងខាងក្រៅរបស់សម្បកភ្នាស ក្លរ៉ូប្លាសមានប្រព័ន្ធភ្នាសទីបី ដែលគេហៅថា ទីឡាកូអ៊ីត (Thylakoids)។

គ្រោងឆ្អឹងកោសិកា (Cytoskeleton) ដែលជាប្រព័ន្ធបំពង់តូចៗ និងប្រូតេអ៊ីនផ្សេងៗនៅក្នុងស៊ីតូប្លាសដែលបង្កជាទម្រខាងក្នុងរបស់រុក្ខជាតិ ផ្តុំឡើងដោយ មីក្រូថ្យូបូល (Microtubules) និង មីក្រូភីឡាម៉ង់ (Microfilaments) ដែលជាសរសៃវែងៗ។ មីក្រូថ្យូបូល គឺកូនបំពង់តូចៗជាស៊ីឡាំងប្រហោងដែលមានអង្កត់ផ្ចិតខាងក្រៅ ២៥មីលីម៉ែត្រ ដែលផ្សំឡើងដោយប៉ូលីមែនៃប្រូតេអ៊ីនបំពង់ (Tubulin protein)។ មីក្រូភីឡាម៉ង់ ដែលជាសរសៃវែងៗ និងមានភាពរឹងមាំ មានអង្កត់ផ្ចិត ៧មីលីម៉ែត្រ និងផ្សំឡើងដោយទម្រង់ម៉ូណូមែ

នៃប្រូតេអ៊ីន អាក់ទីន (Actin)។ មីក្រូថូបូលសម្បក (Cortical microtubules) គឺជាកូនបំពង់នៅក្នុងសម្បកស៊ីតូប្លាស និងផ្លាស់ទីជុំវិញផ្នែកគែមនៃកោសិកា។

២.៣ ប្រភេទកោសិកា និងលក្ខណៈរូបរបស់ស្លឹក



រូបភាពទី២.២៖ ខ្នាតទទឹងនៃស្លឹករុក្ខជាតិបង្ហាញពីប្រភេទកោសិកា និងលក្ខណៈរូបរបស់ស្លឹក(ប្រភព៖ Nobel, 2009)

ខ្នាតទទឹងនៃស្លឹករុក្ខជាតិបង្ហាញពីប្រភេទកោសិកាផ្សេងៗ និងលក្ខណៈរូបវិទ្យាដែលមានសារៈសំខាន់សម្រាប់ការធ្វើរស្មីសំយោគ និងការបម្លាស់ទីរបស់ទឹក។ ជាទូទៅស្លឹកមានពី ៤ ទៅ១០កោសិកា ត្រូវនឹង ២០០ ទៅ ៣០០មីក្រូម៉ែត្រ (រូបភាពទី២.២)។ រុក្ខជាតិមាន អេពីឌែម (Epidermis) ទាំងផ្នែកខាងលើ (Upper epidermis) និងខាងក្រោម (Lower epidermis) ហើយអេពីឌែម ជាស្រទាប់កោសិកាមួយដែលក្រាស់។ លើកលែងតែកោសិកាការពារ (Guard cells) កោសិកាអេពីឌែម ជាធម្មតាមិនមានពណ៌ទេ ពីព្រោះស៊ីតូប្លាសរបស់វាមានក្លរ៉ូភីលតិចតួច(អាស្រ័យលើប្រភេទរុក្ខជាតិ)។ កោសិកាអេពីឌែមមាន គុយទីគុល (Cuticle) មិនជ្រាបទឹកហើយក្រាស់នៅផ្នែកដែលប៉ះនឹងបរិយាកាស (រូបភាពទី២.២)។ គុយទីគុល មាន គុយទីន (Cutin) ដែលផ្សំឡើងពីក្រុមប៉ូលីមែស្មុគស្មាញជាច្រើន ហើយគុយទីនមានតួនាទីទប់ទល់នឹងការចុះខ្សោយនៃអង់ស៊ីមដោយមីក្រូសរីរាង្គ និងកាត់បន្ថយការបាត់បង់ទឹកពីស្លឹក។

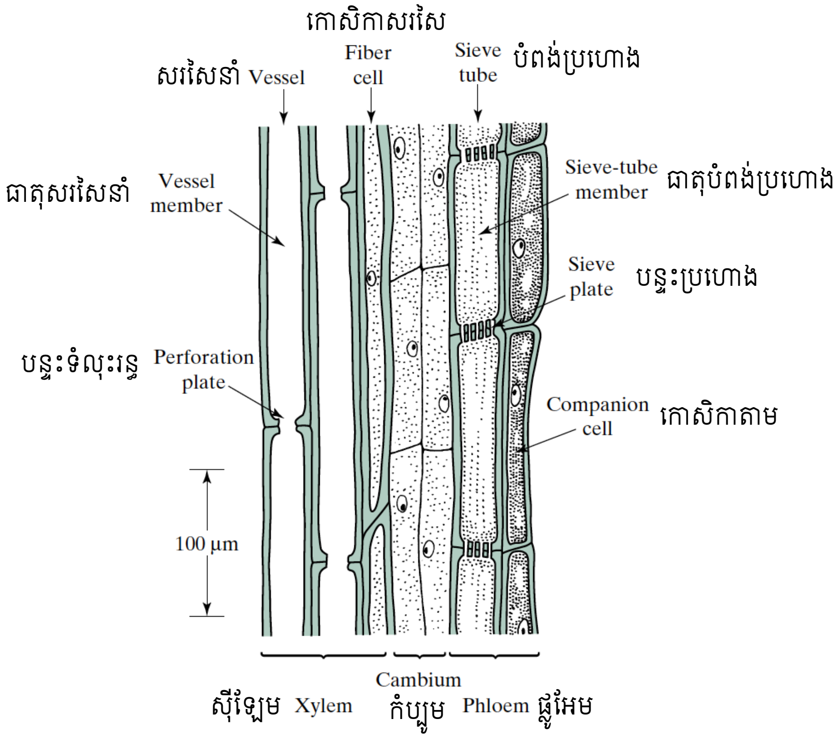
នៅចន្លោះស្រទាប់អេពីឌែមទាំងពីរគឺជាលិកាមេសូភីល (Mesophyll) ដែលនៅចំពាក់កណ្តាលស្លឹក ហើយជាធម្មតាមេសូភីល ត្រូវបានគេបែងចែកទៅជាកោសិកា ប៉ាលីសាត (Palisade) និងកោសិកា ស្ពោត (Spongy) ដែលផ្ទុកក្លរ៉ូប្លាស។ កោសិកាប៉ាលីសាត ជារឿយៗត្រូវបានសង្កេតឃើញថា ពង្រីកខ្លួននៅផ្នែកខាងលើអេពីឌែម ហើយស្ថិតនៅបន្ទាប់ពីកោសិកាអេពីឌែម (រូបភាពទី២.២)។ កោសិកាស្ពោតមានទីតាំងស្ថិតនៅចន្លោះកោសិកាប៉ាលីសាត និងកោសិកាអេពីឌែមផ្នែកខាងក្រោម មានរាងរលុង ហើយមាន លំហខ្យល់ (Intercellular air space) នៅចន្លោះកោសិកា។ តំបន់ភាគច្រើននៃកោសិកាប៉ាលីសាត និង ស្ពោត ជាលំហខ្យល់ដែលជួយសម្រួលដល់ការសាយភាយឧស្ម័នចូលទៅក្នុង ឬចេញពីកោសិកា។ កោសិកាស្ពោតមានរាងស្វ៊ែរច្រើនតែមានអង្កត់ផ្ចិតប្រហែល ២០មីលីម៉ែត្រ ហើយអាចផ្ទុកប្រមាណ ៤០ក្លរ៉ូប្លាស។ ចំណែកកោសិកា ប៉ាលីសាត អាចមានប្រវែង ៨០មីលីម៉ែត្រ អាចផ្ទុក ៦០ក្លរ៉ូប្លាស និងមានអង្កត់ផ្ចិតប្រហែល ៥០មីលីម៉ែត្រ។ នៅក្នុងស្លឹកជាច្រើនកោសិកាប៉ាលីសាត មានប្រហែល ៧០%នៃក្លរ៉ូប្លាស និងច្រើនលើសកោសិកាស្ពោត ជិត ពីរ ទៅមួយដង។

ឧស្ម័នដែលចូល ឬចេញពីស្លឹកត្រូវឆ្លងកាត់ ចន្លោះរន្ធរវាងកោសិកាការពារ មួយគូដែលស្ថិតនៅ អេពីឌែម។ រន្ធដែលនៅចន្លោះកោសិកាការពារនេះត្រូវបានគេហៅថា ស្តូម៉ាត (Stoma/stomate)។ នៅពេលដែលរន្ធស្តូម៉ាតបើក វាអនុញ្ញាតឱ្យមានការបញ្ចូលឧស្ម័នកាបូនិច (CO_2) ចូលទៅក្នុងស្លឹក និងសម្រាប់ការចាកចេញនៃអុកស៊ីហ្សែន (O_2) ដែលផលិតដោយការធ្វើរស្មីសំយោគ។ ការបាត់បង់ចំហាយទឹកដោយការរំភាយចំហាយទឹកនៅក្នុងស្លឹករុក្ខជាតិ កើតឡើងជាចម្បងតាមរយៈរន្ធស្តូម៉ាត។ ដូច្នេះស្តូម៉ាត ដើរតួនាទីជួយធ្វើឱ្យមានតុល្យភាពរវាងការអនុញ្ញាត ឲ្យឧស្ម័នកាបូនិចចូលដោយសេរីសម្រាប់ការធ្វើរស្មីសំយោគ និងក្នុងពេលតែមួយការពារការបាត់បង់ចំហាយទឹកច្រើនហួសប្រមាណពីរុក្ខជាតិ។

២.៤ ប្រភេទកោសិកា និងលក្ខណៈរូបរបស់ជាលិកាសរសៃនាំ (Vascular tissue)

ស៊ីឡែម (Xylem) និង ផ្លូអែម (Phloem) បង្កើតជាប្រព័ន្ធសរសៃនាំ ដែលត្រូវបានសង្កេតឃើញជាប់គ្នានៅក្នុង ឫស ដើម និងស្លឹករុក្ខជាតិ (រូបភាពទី២.៣)។ ស៊ីឡែម ផ្តល់ការគាំទ្រផ្នែករចនាសម្ព័ន្ធសម្រាប់រុក្ខជាតិដុះលើដី។ ការប្រតិបត្តិទឹកនៅក្នុង ស៊ីឡែម នៃដើមឈើមួយកើតឡើងនៅផ្នែកខាងក្នុងនៃ កំប្យូម (Cambium) សរសៃនាំ (តំបន់ដែលកោសិកាស៊ីឡែម និងផ្លូអែម បង្ហាញភាពខុសគ្នា)។ ផ្លូអែម ជាទូទៅស្ថិតនៅពីខាងក្រៅស៊ីឡែម នៅក្នុងដើមរបស់រុក្ខជាតិ។ ជាលិកាសរសៃនាំ របស់ដើមរុក្ខជាតិ នៅតាមបណ្តោយទងផ្កា និងចូលទៅក្នុងស្លឹក ត្រូវបានសង្កេតឃើញថា ស៊ីឡែម និងផ្លូអែម ច្រើនតែបង្កើតជាសរសៃដែលពេលខ្លះវាលេចចេញជារូបរាងយ៉ាងច្បាស់ពីផ្ទៃខាងក្រោមនៃស្លឹក។

ចលនាទឹក និងសារធាតុចិញ្ចឹមពីក្នុងដីទៅផ្នែកខាងលើនៃរុក្ខជាតិ កើតឡើងជាចម្បងនៅក្នុងស៊ីឡែម។ កោសិកាស៊ីឡែម បង្កើតឡើងដោយ ត្រាកេអ៊ីត (Tracheids) និងធាតុសរសៃ (Vessel members)។ ធាតុសរសៃ ត្រូវបានភ្ជាប់គ្នាដោយនៅខាងចុង ដោយបន្ទះទម្លុះរន្ធ (Perforation plates)។



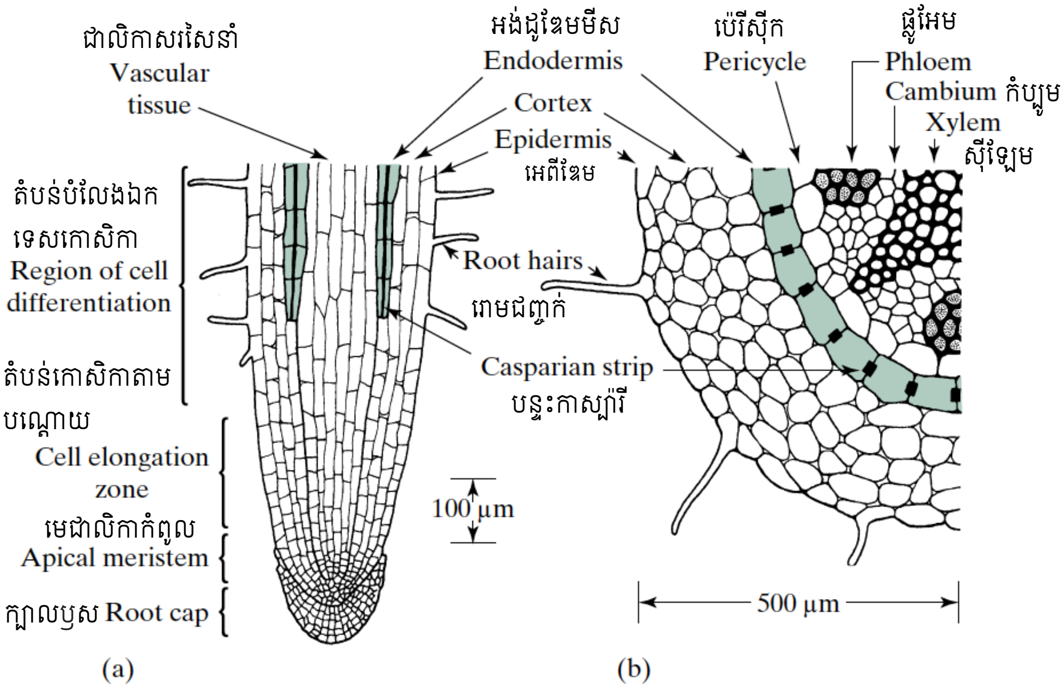
រូបភាពទី២.៣៖ លក្ខណៈរូបជាលិកាសរសៃនាំ (ប្រភព៖ Nobel, 2009)

ផ្លូអែម គឺជាជាលិកាមួយដែលមានកោសិកាជាច្រើនប្រភេទ។ ប្រភេទកោសិកាផ្លូអែម ត្រូវបានគេស្គាល់ថា កោសិកាប្រហោង (Sieve cells) និង បំពង់ប្រហោង (Sieve-tube members) ហើយត្រូវបានភ្ជាប់គ្នារហូតដល់ចប់ ដូច្នេះនាំឱ្យមានការបង្កើតជាប្រព័ន្ធដឹកជញ្ជូនពាសពេញរុក្ខជាតិ។ ថ្វីត្បិតតែកោសិកាផ្លូអែមទាំងនេះ ច្រើនតែគ្មានន្យូក្លេ (Nuclei) នៅពេលពេញវ័យក៏ដោយ ក៏វានៅតែសកម្មសម្រាប់មេតាប៉ូលីស។ ផ្លូអែមក៏មានកោសិកាមេ (Companion cell) ដែលជាប្រភេទកោសិកាដែលភ្ជាប់ជាមួយជាតុបំពង់ប្រហោងនៅក្នុងកោសិកាផ្លូអែម។ កោសិកាតាម មានមុខងារមិនមានភាពប្រាកដប្រជាទេ វាអាចគ្រប់គ្រងការបម្លាស់ទីសារធាតុក្នុងជាតុបំពង់ប្រហោង ហើយចូលរួមក្នុងការផ្ទុក និងបញ្ជូនស្ករចូលក្នុងជាតុប្រហោង។

២.៥ ប្រភេទកោសិកា និងលក្ខណៈរូបនៃឫស

ឫសភ្ជាប់រុក្ខជាតិនៅក្នុងដី ក៏ដូចជាស្រូបយកទឹក និងសារជាតុចិញ្ចឹមពីដីហើយបន្ទាប់មកយកសារជាតុទាំងនេះឡើងទៅលើដើម។ ប្រហែលពាក់កណ្តាលនៃផលិតផលនៃរស្មីសំយោគត្រូវបានបែងចែកទៅឫសសម្រាប់រុក្ខជាតិជាច្រើន។ ដើម្បីជួយស្វែងយល់ពីការស្រូបយកសារជាតុចូលក្នុងរុក្ខជាតិ វាចាំបាច់ត្រូវពិនិត្យមើលប្រភេទកោសិកា និងតំបន់មុខងារដែលកើតឡើងតាមបណ្តោយឫស។

នៅចុងបំផុតនៃឫសគឺជា ក្បាលឫស (Root cap) (រូបភាពទី៤a) ដែលផ្ទុកនូវកោសិកាដែលមិនទាន់បំលែង។ នៅជិតក្បាលឫស គឺជាតំបន់មេជាលិកា (Meristematic region) ជាទីកន្លែងដែលកោសិកាបែងចែកយ៉ាងឆាប់រហ័ស។ បន្ទាប់មកគឺជាតំបន់នៃកោសិកាតាមបណ្តោយ (Cell elongation) ក្នុងទិសដៅអ័ក្សនៃឫស។ ពេលខ្លះតំបន់នៃការបែងចែកកោសិកាមិនមានលក្ខណៈខុសគ្នាពីតំបន់កោសិកាបណ្តោយទេ។ តំបន់បន្ទាប់ដែលបានចង្អុលបង្ហាញនៅក្នុងរូបភាពទី៤a គឺជាតំបន់ បំលែងឯកទេសកោសិកា (Cell differentiation) ដែលជាទីកន្លែងកោសិកាចាប់ផ្តើមកំណត់មុខងាររៀងខ្លួនៗ។ ក្នុងតំបន់នេះភ្នាសកោសិកាកាន់តែក្រាស់ហើយការពន្លូតត្រូវបានថយចុះយ៉ាងខ្លាំង។ កោសិកាអេពីឌែម (Epidermal cells) អភិវឌ្ឍន៍ការលយចេញបានយ៉ាងល្អពីខាងក្រៅដែលហៅថា រោមជញ្ជក់ (Root hairs)។ រោមជញ្ជក់ ទាំងនេះជួយបង្កើនបរិមាត្រក្រឡាផ្ទៃយ៉ាងធំដែលទឹក និងសារធាតុចិញ្ចឹមអាចចូលក្នុងរុក្ខជាតិបាន។



រូបភាពទី២.៤៖ លក្ខណៈរូបនៃឫសរុក្ខជាតិ (ប្រភព៖ Nobel, 2009)

តំបន់ដែលមានឫសខ្ចី ដែលទីកន្លែងដែលការស្រូបយកទឹកងាយនឹងកើតមាន ភាគច្រើនមានក្រមួនគុយទីន (Cuticle waxy) តិចឬច្រើន។ រូបភាពទី៤b បង្ហាញខ្នាតទទឹងនៃឫសមួយនៅកម្រិតដែលរោមជញ្ជក់ ត្រូវបានមើលឃើញ។ ចាប់ផ្តើមពីខាងក្រៅ អេពីឌែមឫស (Root epidermis) ត្រូវបានសង្កេតឃើញដំបូងគេ ហើយបន្ទាប់មកមានចំនួនស្រទាប់កោសិកាដែលគេស្គាល់ថាផ្នែកសម្បក (Cortex)។ មានលំហខ្យល់ជាច្រើននៅក្នុង ផ្នែកសម្បក ដែលជួយសម្រួលដល់ការសាយភាយនៃ O_2 និង CO_2 នៅក្នុងជាលិ

កានេះ។ នៅខាងក្នុងផ្នែកសម្បក គឺជាស្រទាប់តែមួយគត់នៃកោសិកាដែលជា អង់ដូឌែមមីស (Endodermis)។ ភ្នាសដែលមានរាងជាកាំ និងអាចឆ្លងកាត់បាននៃកោសិកាអង់ដូឌែមមីស ត្រូវបានផ្សំជាមួយសម្ភារៈក្រមួនរួមទាំង ស៊ុយប៊ែរីន (Suberin) បង្កើតជាចំណងជុំវិញកោសិកាដែលគេស្គាល់ថា បន្ទះកាស្ប៉ារី (Casparian strip) (រូបភាពទី៤b) ដែលការពារការឆ្លងកាត់នៃទឹក និងធាតុរលាយជុំវិញផ្នែកនៃភ្នាសកោសិកា។ ដោយសារមិនមានលំហខ្យល់នៅចន្លោះកោសិកាអង់ដូឌែមមីស បណ្តាលឱ្យភ្នាសមានរាងកាំត្រូវបានរារាំងដោយបន្ទះកាស្ប៉ារីដែលមិនជ្រាបទឹក ដូច្នេះទឹកត្រូវតែឆ្លងកាត់ភ្នាសចំហៀង (Lateral walls) ហើយបញ្ចូលទៅស៊ីតូប្លាសនៃកោសិកាអង់ដូឌែមមីស ដើម្បីបន្តឆ្លងកាត់ឫស។ កោសិកាអង់ដូឌែមមីស អាចតំណាងឱ្យកន្លែងតែមួយនៅក្នុងលំនាំទាំងមូលសម្រាប់ចលនាទឹកពីដីទៅខ្យល់តាមរយៈរុក្ខជាតិ ដែលក្នុងលំនាំនេះ ទឹកចាំបាច់ត្រូវតែចូលទៅក្នុងស៊ីតូប្លាសរបស់កោសិកា។ នៅក្នុងផ្លូវទឹកផ្សេងទៀត ទឹកអាចផ្លាស់ទីនៅក្នុងភ្នាសកោសិកា ឬនៅក្នុងប្រហោងនៃសរសៃស៊ីឡែម ដែលជាតំបន់មួយដែលត្រូវបានគេហៅថា អាប៉ូប្លាស (Apoplast)។

នៅខាងក្នុងនៃអង់ដូឌែមមីសគឺជា ប៉េរីស៊ីក (Pericycle) ដែលជាកោសិកាមួយក្រាស់នៅក្នុងប្រភេទរុក្ខជាតិមានផ្កា។ កោសិកាប៉េរីស៊ីក អាចបែងចែក និងបង្កើតជាតំបន់ដែលមានលក្ខណៈចម្រុះគ្នាដែលអាចបង្កើតជាឫសចំហៀង ឬខ្នែងឫស នៅក្នុងតំបន់ដែលស្ថិតនៅខាងលើរោមជញ្ជក់។ នៅផ្នែកខាងក្នុងនៃប៉េរីស៊ីក គឺជាលិកាសរសៃនាំ(Vascular tissue) ដែលមានស៊ីឡែម កំប្យូម (Cambium) និងផ្លូអែម ។

ផ្លូអែម ជាទូទៅកើតឡើងនៅក្នុងចន្លោះពី ២ ទៅ ៨ខ្សែ ឬច្រើនជាងនេះ ដែលមានទីតាំងស្ថិតនៅជុំវិញអ័ក្សឫស។ ស៊ីឡែម ជាធម្មតានៅចន្លោះខ្សែ ផ្លូអែម ដូច្នេះទឹកមិនចាំបាច់ឆ្លងកាត់ ផ្លូអែម ដើម្បីទៅដល់ស៊ីឡែម នៃឫសខ្ចីនោះទេ។ ជាលិការវាងស៊ីឡែមនិងផ្លូអែម គឺ កំប្យូមសរសៃ (Vascular cambium)។

ជំពូកទី ៣
ទំនាក់ទំនងទឹក និងរុក្ខជាតិ

៣.១ ទឹក និងប្រភព

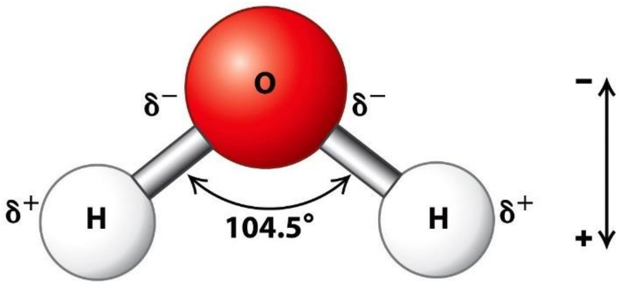
ទោះបីជាទឹក មានច្រើននៅលើភពផែនដី ដែលវាគ្របដណ្តប់សរុប រហូតដល់ទៅ ៧១% ផ្នែកខាងលើផែនដី ប៉ុន្តែការបែងចែករបស់វាមានភាពមិនស្មើគ្នាទេ ដែលជាហេតុធ្វើឱ្យទឹកដែលអាចប្រើប្រាស់នៅក្នុង ផលិតកម្មដំណាំមានកំណត់។ ទឹក គឺមានបរិមាណដ៏ច្រើន និងជាអង្គធាតុរំលាយមួយដ៏ល្អឥតខ្ចោះ។ ក្នុងការដើរតួនាទី ជាអង្គធាតុរំលាយ ទឹកជាអ្នកបង្កើតឱ្យមានចលនា នៃម៉ូលេគុល ក្នុងនិងចន្លោះកោសិកា ដែលវា មានឥទ្ធិពលទៅលើទម្រង់នៃប្រូតេអ៊ីន នុយក្លេអ៊ិចអាស៊ីត ប៉ូលីសាការីត និងជាតុផ្សំដទៃទៀតនៃកោសិកា។ ទឹក ជាអ្នកចូលរួមក្នុងប្រតិកម្មគីមីជីវជាច្រើន នៅ ក្នុងកោសិការុក្ខជាតិ។ រុក្ខជាតិ បន្តការស្រូបយកនិងបាត់បង់ទឹក។ ភាគច្រើននៃការបាត់បង់ទឹក គឺដោយសារការបំភាយទឹកតាម រយៈស្លឹក និងឧស្ម័នកាបូនិច ត្រូវការដើម្បីចូលរួមក្នុងដំណើររស្មីសំយោគ ដែលស្រូបយកពីបរិយាកាស។ នៅពេល ក្តៅ ស្ងួត និងនៅពេលមានពន្លឺ ស្លឹករុក្ខជាតិ និងធ្វើការផ្លាស់ប្តូរ រហូតទៅដល់ ១០០% នៃទឹកដែល មាននៅក្នុងកោសិការបស់វា នៅរៀងរាល់ម៉ោង។ នៅកំឡុងនៃជីវិតរុក្ខជាតិ ទឹកមានតម្លៃស្មើ ១០០ ដងនៃ ម៉ាស់ស្រស់រុក្ខជាតិ ហើយវាអាចបាត់បង់ តាមរយៈផ្នែកខាងលើនៃផ្ទៃស្លឹក។ ការបាត់បង់តាមបែបនេះ អាចហៅបានថាដំណាកដង្ហើម។ ទឹកមានលក្ខណៈពិសេស ដែលអាចឱ្យវាដើរតួនាទី ជាអង្គធាតុរំលាយ និងជាអ្នកដឹកជញ្ជូនសារជាតុចិញ្ចឹមតាម ដងដើមនៃរុក្ខជាតិ។ ទឹកមានប្រហែលពី ៨០% ទៅ ៩៥% នៃទម្ងន់សរុបនៃជាលិកាលូតលាស់របស់រុក្ខជាតិ។ ឈើ ដែលភាគច្រើនផ្សំឡើងពីកោសិកាងាប់ ដែលមានបរិមាណទឹកទាប ដែលវាមានតួនាទីដឹកនាំនៅក្នុងស៊ីឡែម ដែលមាន ៣០% ទៅ៧៥% ហើយផ្នែកកណ្តាលនៃដើមឈើមានបរិមាណទឹកទាបជាង។ នៅក្នុងគ្រាប់ មានបរិមាណទឹកប្រហែល ៥% ទៅ ១៥% ក្នុងចំណោមជាលិកាដែលស្ងួតជាងគេ។ នៅមុនពេលដំណុះគ្រាប់ពួកវាត្រូវស្រូបយកទឹកនៅបរិមាណដែលសមស្រប។ ទឹក ត្រូវបានស្គាល់ថាជាអង្គធាតុរំលាយដ៏ល្អ ហើយវាធ្វើឱ្យមេដ្យូមមានចលនានៅក្នុង និងចន្លោះកោសិកា ហើយវាមានឥទ្ធិពលទៅលើទម្រង់នៃប្រូតេអ៊ីន នុយក្លេអ៊ិចអាស៊ីត ប៉ូលីសាក់ការីត និងជាតុផ្សំកោសិកាដទៃទៀត

៣.២ ប៉ូលៃ នៃម៉ូលេគុលទឹក

ម៉ូលេគុលទឹក ផ្សំឡើងពី អុកស៊ីសែនចំនួន មួយអាតូម ដែលភ្ជាប់គ្នាដោយសម្ព័ន្ធកូវ៉ាឡង់ទៅនិង អ៊ីដ្រូសែន ចំនួន ពីរអាតូម។ សម្ព័ន្ធចំនួនពីរនៃ O—H បង្កើតបានជាមុំ ១០៥° ។ ពីព្រោះអាតូម អុកស៊ីសែនមានបន្ទុក អគ្គីសនីអវិជ្ជមានជាង អ៊ីដ្រូសែន វាបង្កើតអោយមានទំនោរនៃការចាប់យកអេឡិចត្រុង នៃសម្ព័ន្ធ

កូវ៉ាឡង់។ ដោយសារការបែងចែក នៃបន្ទុកអគ្គីសនី ជាមួយនឹងរូបរាង នៃម៉ូលេគុលទឹក បានបង្កើតឱ្យទឹកក្លាយជា ម៉ូលេគុលប៉ូលែ ដោយសារបន្ទុកអគ្គីសនីផ្ទុយគ្នាវាធ្វើឱ្យមានការទាញគ្នាទៅវិញទៅមក។

សម្ព័ន្ធអ៊ីដ្រូសែន អាចបង្កើតឬចងសម្ព័ន្ធ ជាមួយជាតុដទៃទៀតរវាងម៉ូលេគុលទឹក ដែលមានអាតូមបន្ទុក អគ្គីសនីអវិជ្ជមាន (អុកស៊ីសែន ឬនីត្រូសែន)។ នៅក្នុងសូលុយស្យុងដែលមានទឹក សម្ព័ន្ធអ៊ីដ្រូសែន រវាង ម៉ូលេគុលទឹក បង្កើតឱ្យមានតំបន់ ឬចង្កោម នៃម៉ូលេគុលទឹក ពីព្រោះវាបន្តអោយមានកម្តៅនៅក្នុង ម៉ូលេគុលទឹក បង្កើតជាទម្រង់ថ្មី និងការបំបែក។



ទម្រង់ និងលក្ខណៈរបស់ម៉ូលេគុលទឹក

ភាពប៉ូលែរបស់ទឹក បានធ្វើឱ្យវាក្លាយជាអង្គធាតុរំលាយមួយដ៏ល្អឥតខ្ចោះ ពីព្រោះវាធ្វើការរំលាយសារធាតុ ដទៃទៀត បានច្រើនជាង អង្គធាតុរំលាយផ្សេងទៀត។ ភាពផ្លាស់ប្តូរនៃ ការរំលាយគឺអាស្រ័យទៅលើ ទំហំតូចៗ នៃម៉ូលេគុលទឹក និងផ្នែកនៃប៉ូលែរបស់ទឹកក្នុងធម្មជាតិ។ ជាក់ស្តែង ទឹកគឺជាអង្គធាតុរំលាយដ៏ល្អ នៃសារធាតុ ដែលមានអ៊ីយ៉ុង និងសម្រាប់ម៉ូលេគុល ដូចជា ស្ករ និងប្រូតេអ៊ីន ដែលមានផ្ទុកប៉ូលែ នៃក្រុម —OH ឬ —NH_2។ នៅពេលដែលសីតុណ្ហភាពរបស់ទឹកកាន់តែកើនឡើង ម៉ូលេគុលរបស់វាញ័រកាន់តែលឿន និងមានតម្លៃអាំភ្លីទុត កានតែធំ។ ដើម្បីអោយចលនានេះ កើតមានឡើងបាន ថាមពលត្រូវបានបន្ថែមទៅក្នុងប្រព័ន្ធនេះ ដើម្បីបំបែក សម្ព័ន្ធអ៊ីដ្រូសែន នៅចន្លោះម៉ូលេគុលទឹក។ លើសពីនេះ បើប្រៀបធៀបជាមួយសារធាតុរាវដទៃទៀត ទឹកទាមទារនៅថាមពលច្រើន ដើម្បីបង្កើនសីតុណ្ហភាព។

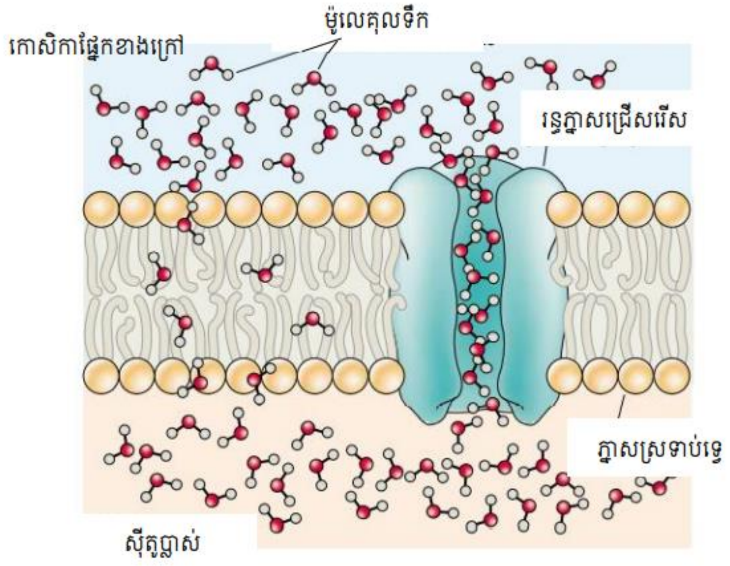
៣.៣ ដំណើរការនៃការដឹកជញ្ជូនទឹក

នៅពេលដែលទឹកផ្លាស់ទី ពីដីតាមរយៈរុក្ខជាតិ ទៅកាន់បរិយាកាស វាធ្វើដំណើរតាមរយៈផ្នែកផ្សេងៗ នៃរុក្ខជាតិ ដូចជា(ភ្នាសកោសិកា ស៊ីតូប្លាស កោសិកា លំហខ្យល់) និងយន្តការ នៃការដឹកនាំទឹក អាចផ្សេងៗពីគ្នា អាស្រ័យទៅលើ មេដ្យូមរបស់វា។ ការផ្លាស់ទី របស់ទឹកក្នុងរុក្ខជាតិ គឺធ្វើឡើងតាមរយៈដំណើរសំខាន់ៗពីរ គឺ សំណាយភាយ (Diffusion) និងផ្លាស់ទីនៃទឹក មកពីដីតាមរយៈរុក្ខជាតិទៅកាន់ ជាលិកាស្លឹក តាមរយៈស៊ីឡែម ប៉ុន្តែវាអាចមានករណីខ្លះ ក្នុងការដឹកជញ្ជូន អង្គធាតុរលាយធំៗ ដូចជាពពួក ស៊ុចក្រូស តាមរយៈផ្លូអែម)។

ការទាញគ្នានៃម៉ូលេគុលទឹក នៅក្នុងវត្ថុរឹងដូចជាក្នុងភ្នាសកោសិកាឬផ្ទៃកខាងលើនៃ កែវហៅថា ជំនាប់ស្អិត (Adhesion)។ ការទាញគ្នាទៅវិញទៅមក ចន្លោះម៉ូលេគុលទឹកដែលផ្តល់នូវកំដៅដល់សម្ព័ន្ធអ៊ីដ្រូសែន ហៅថា កម្លាំងទំនាញ (Cohesion)។ ដោយសារកម្លាំងទំនាញ និងជំនាប់ស្អិត ទើបធ្វើឱ្យទឹកក្នុងរុក្ខជាតិមានចលនា តាមសរសៃប្តូរ (Capillarity) ដែលធ្វើការផ្លាស់ទីតាមបណ្តោយបំពង់សរសៃនាំ។ នៅពេលដែលទឹកផ្លាស់ទីមកពីដីតាមរយៈរុក្ខជាតិទៅកាន់បរិយាកាស វាធ្វើដំណើរតាមកន្លែងផ្សេងៗដូចជាភ្នាសកោសិកា ស៊ីតូប្លាស លំហខ្យល់ ហើយយន្តការនៃការដឹកជញ្ជូនទឹក មានលក្ខណៈផ្សេងៗពីគ្នាទៅតាមប្រភេទនៃកោសិកា។

៣.៤ បន្សាយនៃទឹក (Diffusion)

ម៉ូលេគុលទឹក គឺជាសូលុយស្យុងដែលមិននៅនឹងមួយកន្លែង ពួកវាស្ថិតនៅក្នុងទម្រង់ដែលមានចលនារហូត ជាទម្រង់អន្ទិលជាមួយធាតុដទៃ និងធ្វើការផ្លាស់ប្តូរថាមពលចលនា។ ការលាយចូលគ្នានៃ ម៉ូលេគុលនេះ គឺជាលទ្ធផលនៃ ការផ្លាស់ប្តូរអេឡិចត្រុងនៅក្នុងម៉ូលេគុលទឹក ដែលបង្កើតបានជាកម្តៅ។ ហើយតាមរយៈចលនា ដោយចៃដន្យនេះ ហៅថាការសាយភាយ។



រូបភាព ៣.១៖ ទឹកអាចឆ្លងកាត់ភ្នាសរុក្ខជាតិ ដោយបន្សាយនៃម៉ូលេគុលទឹកនីមួយៗ តាមរយៈភ្នាសស្រទាប់ទ្វេ (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

ម៉ូលេគុលទឹក គឺជាសូលុយស្យុងដែលមិននៅមួយកន្លែង ដែលពួកវាបន្តផ្លាស់ទីហើយវាធ្វើការប៉ះទង្គិចគ្នាទៅវិញទៅមកដែលបង្កើតបានជាថាមពលចលនា (Kinetic energy)។ ម៉ូលេគុលលាយឡំគ្នា ដែលជាលទ្ធផលនៃកម្តៅសម្ពាធដោយចៃដន្យរបស់ពួកវា។ ចលនាដោយចៃដន្យ ត្រូវបានហៅថា បន្សាយ (Diffusion)។ ដរាបណាដែលគ្មានសកម្មភាពកម្លាំងលើម៉ូលេគុល បន្សាយបានបង្កឱ្យមានផលនៃបម្លាស់ប្តូ

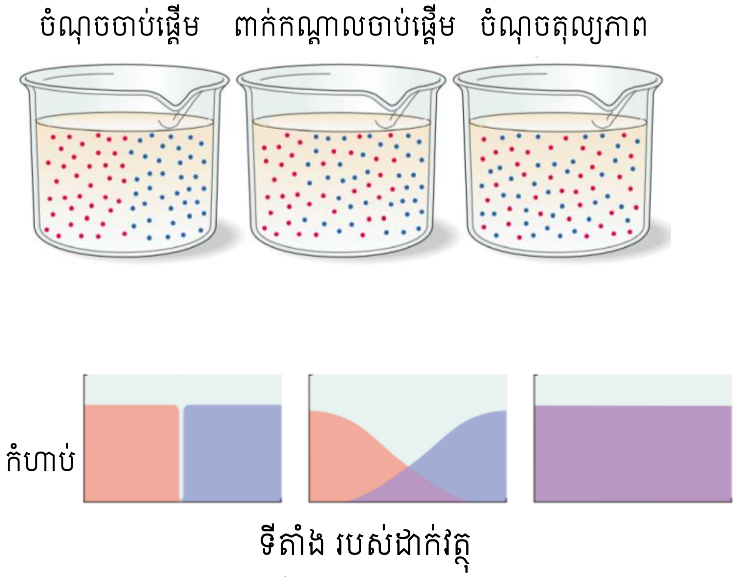
រ នៃម៉ូលេគុលពីតំបន់ដែលមានកំហាប់ខ្ពស់ទៅ តំបន់ដែលមានកំហាប់ទាប។ នៅក្នុងឆ្នាំ ១៨៨០ អ្នកវិទ្យាសាស្ត្រជនជាតិអាល្លឺម៉ង់ លោក Adolf Fick បានរកឃើញថាកម្រិតនៃបន្សាយ គឺមានសមាមាត្រដោយផ្ទាល់ទៅនិងកំហាប់ ($\Delta cs/\Delta x$) ដែលភាពខុសគ្នានៃកំហាប់នៃ សារធាតុ s (Δcs) រវាងចំណុចពីរផ្សេងពីគ្នាដោយចម្ងាយ Δx។ នៅក្នុងនិមិត្តសញ្ញា ដែលអាចបង្កើតបានជាសមីការទីមួយរបស់លោក Fick ៖

$$J_s = -D_s \frac{\Delta c_s}{\Delta x}$$

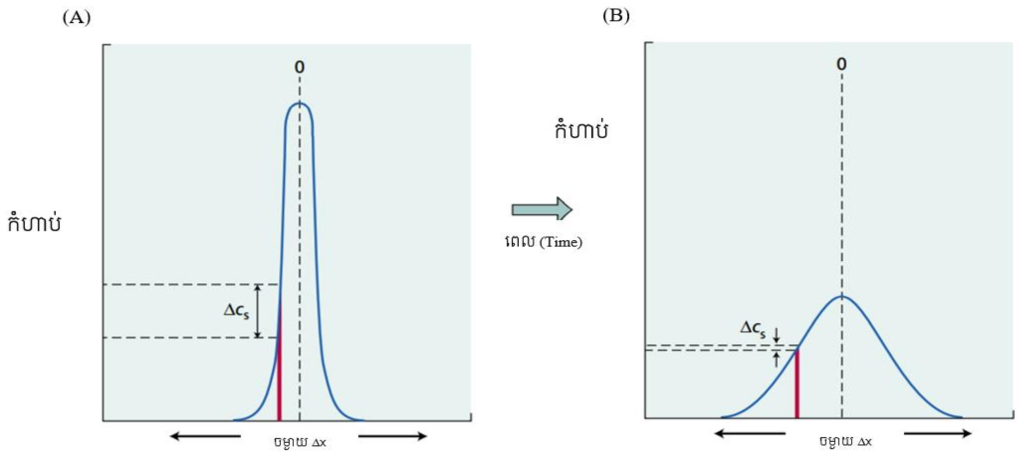
កម្រិតនៃការដឹកជញ្ជូន ឬដង់ស៊ីតេលំហូរថាមពល (Js) គឺជាបរិមាណនៃសារធាតុឆ្លងកាត់មួយខ្នាតនៃតំបន់ក្នុងមួយខ្នាតនៃពេល។ ឧទាហរណ៍៖ Js មានខ្នាត ម៉ូលក្នុងមួយម៉ែត្រការេ ក្នុងមួយវិនាទី [mol $m^{-2}s^{-1}$]។ មេគុណបន្សាយ (Ds) សមាមាត្រថេរ ដែលវាស់វែង ថាតើសារធាតុធ្វើការផ្លាស់ទីតាមរយៈមេដ្យូមងាយស្រួលដូចម្តេច។ មេគុណបន្សាយ គឺជាលក្ខណៈពិសេសនៃសារធាតុ (ម៉ូលេគុលធំ មានមេគុណបន្សាយតូច) និងពឹងផ្អែកទៅលើមេដ្យូម (បន្សាយនៅក្នុងខ្យល់ លឿនជាងបន្សាយនៅក្នុងសារធាតុរាវ)។ សញ្ញាអវិជ្ជមាននៅក្នុងសមីការចង្អុលបង្ហាញថា លំហូរថាមពលផ្លាស់ទី ក្រោមទីតាំងកំហាប់។

ច្បាប់ទី១ របស់លោក Fick និយាយថា សារធាតុនិងបន្សាយលឿននៅពេលដែល កំហាប់ក្លាយជាចោតជាង (Δc_s គឺមានតម្លៃធំ) ឬនៅពេលដែលមេគុណបន្សាយកើនឡើង។ សមីការនេះ ត្រូវបានរាប់នៅពេលដែលសម្រាប់ការធ្វើចលនា ក្នុងការឆ្លើយតបនៃកំហាប់ និងមិនមែនការធ្វើចលនាដែលបណ្តាលមកពីកម្លាំង។ តាមច្បាប់ទី១ របស់លោក Fick វាអាចយកមកពីការបង្ហាញ សម្រាប់ពេលវេលាដែលវាយកសារធាតុទៅកាន់ចម្ងាយជាក់លាក់នៃបន្សាយ។ ប្រសិនបើសិននៅក្នុងលក្ខខណ្ឌដំបូងដែលម៉ូលេគុលធាតុរលាយ គឺជាកំហាប់ដែលនៅទីតាំងចាប់ផ្តើម (រូបភាព ៣.២) បន្ទាប់មកកំហាប់ផ្លាស់ទីទៅមុខឆ្ងាយពីចំណុចចាប់ផ្តើម កំហាប់នឹងក្លាយជាជម្រាលជាង (Δc_s ថយចុះ) ហើយចលនាសុទ្ធ (Net movement) ក្លាយជាយឺត។

ពេលវេលាជាមធ្យមដែលត្រូវការ សម្រាប់ភាគល្អិតតូចៗបន្សាយ ក្នុងចម្ងាយ L គឺស្មើទៅនឹង L^2/D_s ដែល D_s គឺជាមេគុណបន្សាយដែលពឹងផ្អែកទៅលើទាំងពីរនៃការអត្តសញ្ញាណ ភាគល្អិតតូចៗ និងមេដ្យូមដែលវាកំពុងបន្សាយ។ ពេលវេលាជាមធ្យមដែលត្រូវការសម្រាប់ សារធាតុបន្សាយក្នុងរយៈចម្ងាយដែលឱ្យកើនឡើងនិងសមាមាត្រទៅនឹង ការេនៃរយៈចម្ងាយ។ មេគុណបន្សាយ សំរាប់គ្លុយកូសនៅក្នុងទឹកប្រហែល ១០$^{-៩}$ ម^{២}វ$^{-១}$($10^{-9}m^2s^{-1}$)។ ពេលវេលាជាមធ្យមដែលត្រូវការ សម្រាប់ម៉ូលេគុលគ្លុយកូស បន្សាយឆ្លងកាត់កោសិកាជាមួយនឹងវិជ្ឈមាត្រ ៥០ មីក្រូម៉ែត្រ គឺ ២.៥ វិនាទី។ ទោះបីជាយ៉ាងណាក៏ដោយ ពេលវេលាជាមធ្យមដែលត្រូវការសម្រាប់ ម៉ូលេគុលគ្លុយកូសដូចគ្នា ដើម្បីបន្សាយ ក្នុងចម្ងាយ ១ម៉ែត្រ នៅក្នុងទឹកគឺប្រហែល ៣២ ឆ្នាំ។ តម្លៃទាំងនេះបង្ហាញថា បន្សាយនៅក្នុងសូលុយស្យុង អាចមានប្រសិទ្ធភាព ក្នុងទំហំនៃកោសិកា ប៉ុន្តែវាមានភាពយឺតខ្លាំងសម្រាប់ការដឹកនាំទម្ងន់ ក្នុងចម្ងាយឆ្ងាយ។



រូបភាព ៣.២៖ ចលនាកម្តៅ នៃម៉ូលេគុល ដែលឈានទៅរកបន្សាយ



រូបភាព ៣.៣៖ ក្រាហ្វិចតំណាងនៃកំហាប់ របស់ធាតុរលាយ ដែលត្រូវបានបន្សាយច្បាប់ទី១ របស់លោក Fick (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

៣.៥ បាតុភូត អូស្មូស

អូស្មូស គឺជាប្រភេទនៃការសាយភាយ។ វាត្រូវបានកំណត់ថាជា ការសាយភាយនៃម៉ូលេគុលទឹក ដោយ ឆ្លងកាត់ភ្នាសដែលអាចជ្រាបបានមកពី តំបន់ដែលមានម៉ូលេគុលទឹកមានកំហាប់ច្រើន ទៅតំបន់ដែល មានកំហាប់តិចជាង។ ភ្នាសកោសិកា ធ្វើការជ្រើសរើសយ៉ាងទៀតទាត់ នៅសូលុយស្យុងដែលត្រូវឆ្លងកាត់ ប៉ុន្តែទឹកអាចឆ្លងកាត់ដោយសេរីទាំងចេញនិងចូលភ្នាសកោសិកា។ នៅពេលដែលកោសិការស់ ត្រូវបានផ្លាស់នៅក្នុងសូលុយស្យុង ដែលមានកំហាប់រលាយស្មើ នៅក្នុងកោសិកា ដូចនេះកំហាប់នៃម៉ូលេគុលទឹកក៏ស្មើគ្នាដែរ។ លើសពីនេះទៅទៀតម៉ូលេគុលទឹក ធ្វើការផ្លាស់ទីចេញ និងចូលកោសិកា នៅកម្រិតដូច

គ្នា។ ការផ្លាស់ប្តូរសុទ្ធនៃម៉ូលេគុលទឹក គឺសូន្យ។ សូលុយស្យុង ប្រភេទនេះត្រូវបានស្គាល់ថាជាអ៊ីសូតូនិច ទៅនឹងកោសិកា (ស្មើនឹងកំហាប់រលាយ)។

កោសិកា ជាពិសេសសារពាង្គឯកកោសិកា ត្រូវបានរកឃើញពួកវានៅក្នុង សូលុយស្យុងដែលមានកំហាប់នៃ ធាតុរលាយច្រើនជាង ឬតិចជាងជាមួយស៊ីតូប្លាស។ ប្រសិនបើសូលុយស្យុង មានកំហាប់រលាយច្រើនធំជាង វាត្រូវបានគេហៅថា អ៊ីពែតូនិច (Hypertonic) (កម្លាំងលើ) នៃកោសិកានោះ។ ប្រសិនបើវាមានកំហាប់តិចជាងនោះ វាជា ប្រភេទ អ៊ីប៉ូតូនិច (Hypotonic)(កម្លាំងក្រោម) ប្រៀបធៀបជាមួយកោសិកា។ ក្នុងន័យនេះ អ៊ីពែតូនិច និងអ៊ីប៉ូតូនិចគឺមាន ទំនាក់ទំនងគ្នាទៅវិញទៅមក។ ដោយសារម៉ូលេគុលទឹកដូចម៉ូលេគុលរលាយវាមានទំនោផ្លាស់ទីពីតំបន់ ដែលមានកំហាប់ខ្ពស់ ទៅតំបន់ដែលមានកំហាប់ទាប ដោយពួកវាសាយភាយឆ្លងកាត់ខាងក្នុងភ្នាសកោសិកា។ ម៉ូលេគុលរលាយ អាចនឹងសាយភាយក្នុងទិសដៅផ្ទុយគ្នា បន្ទាប់មកភ្នាសកោសិការារាំងពួកវាពីការលេចចេញមកក្រៅ។ ក្រៅពីនេះនៅពេលដែលកោសិកាត្រូវបានផ្លាស់ចូលក្នុងសូលុយស្យុង នោះវាគឺជាអ៊ីពែតូនិចទៅកាន់ពួកវា ហើយទឹកមានទំនោរ ហូរចេញទៅកាន់ពួកវាវិញ។ កោសិកា អាចក្លាយខ្សោះទឹក រួញហើយងាប់។ នៅពេលដែល សូលុយស្យុងផ្ទុកបន្ថែមនៅម៉ូលេគុលរលាយ វាមានចំណែក ពីរបី ម៉ូលេគុលទឹក ដូច្នេះកំហាប់អង្គធាតុរំលាយ និងអង្គធាតុរលាយ គឺវាមានទំនាក់ទំនងនឹងគ្នា។

កោសិការុក្ខជាតិ គឺត្រូវបានបន្សាំទៅនឹង ទឹកអ៊ីពែតូនិច ដែលជារឿយៗធ្វើការលាងពួកវា។ ជញ្ជាំងកោសិកា ដ៏រឹងរបស់ពួកវា ធ្វើអោយវាមានភាពធន់ ដោយមិនផ្ទុះហើយសម្ពាធសង្កត់ដោយទឹក ហូរជ្រាបទៅក្នុង កោសិកាបំពេញផ្នែកកណ្តាលនៃវ៉ាគុយអូល។ ដោយសារសម្ពាធផ្នែកខាងក្នុងនេះវាត្រូវបានគេហៅថា សម្ពាធទូហ្គ័រ (Tugor pressure) ដែលបង្កើន កម្លាំងម៉ូលេគុលទឹក ត្រឡប់ចេញទៅក្រៅកោសិកាវិញ។ សម្ពាធទូហ្គ័រថយចុះនៅពេលដែល ឆ្លងកាត់ចេញ ទៅកាន់ផ្នែកខាងក្រៅ នៃម៉ូលេគុលទឹកស្មើនិងអត្រាដែលវាផ្លាស់ទីចូលក្នុង កោសិកា។ នៅក្នុងលក្ខខណ្ឌដែលស្ងួតហើយកោសិការុក្ខជាតិ មិនមានទឹកគ្រប់គ្រាន់ផ្នែកកណ្តាលរបស់វ៉ាគុយអូលចាប់ផ្តើមថយចុះទំហំ ហើយកោសិកាវារួញ។

សារៈសំខាន់ នៃបាតុភូតក្នុងរុក្ខជាតិ៖

- វាជួយក្នុងការស្រូបយកទឹក ដោយរុក្ខជាតិ
- ភាពរឹង នៃសរីរាង្គរុក្ខជាតិ គឺពឹងផ្អែកទៅលើទឹក ដែលវាស្រូបយកដោយបាតុភូតអូស្មូស
- វាជួយក្នុងការផ្លាស់ទីរបស់ទឹក ពីកោសិកាមួយទៅកាន់កោសិកាដទៃទៀត
- វាជួយក្នុងការរក្សាភាពធន់ទ្រាំរបស់រុក្ខជាតិ ក្នុងពេលរាំងស្ងួត និងត្រជាក់
- វាជួយក្នុងការបើក និងបិទរន្ធស្តូម៉ាត
- ការពង្រីកកោសិកា គឺពឹងផ្អែកលើភាពប៉ោងរបស់កោសិកា

ភ្នាសនៃកោសិការុក្ខជាតិ គឺធ្វើការជ្រាបដោយជ្រើសរើស (Seletviely permeable) ដែលវាអនុញ្ញាត្ត អោយការផ្លាស់ទីនៃទឹក ឬធាតុតូចៗដទៃទៀតដែលមិនមានបន្ទុកអគ្គីសនីឆ្លងកាត់ពួកវាជាជាង ការឆ្លងកាត់នៃធាតុរលាយធំៗ និងធាតុដែលមានបន្ទុកអគ្គីសនី។ ហើយប៉ូតង់ស្យែលទឹក (Water potential) នៅក្នុងរុក្ខជាតិ ដែលកោសិកាលូតលាស់ រស្មីសំយោគ និងផលិតភាពដំណាំ គឺមានឥទ្ធិពលយ៉ាងខ្លាំងមកពី ប៉ូតង់ស្យែលទឹក និងភាពផ្សំរបស់វា។ ដូចជាសីតុណ្ហភាពខ្លួនរបស់មនុស្ស ប៉ូតង់ស្យលែទឹកដែលល្អគឺជាកត្តាកំណត់សុខភាព ដូចគ្នាទៅនឹងរុក្ខជាតិដែរ។ អ្នកវិទ្យាសាស្ត្ររុក្ខជាតិ បានរកឃើញពីវិធីសាស្ត្រដែលមានលក្ខណៈត្រឹមត្រូវ និងទុកចិត្តបានសម្រាប់ធ្វើការវាយតម្លៃពីលក្ខណៈទឹកនៅក្នុងរុក្ខជាតិ។ នៅក្នុងនោះ គេបានប្រើប្រាស់នៅឧបករណ៍ដែលបានវាស់វែងដូចជា ψw, ψs និង ψp។ នៅក្នុងនេះគាត់បានបង្កើតបានជារូបមន្តៈ

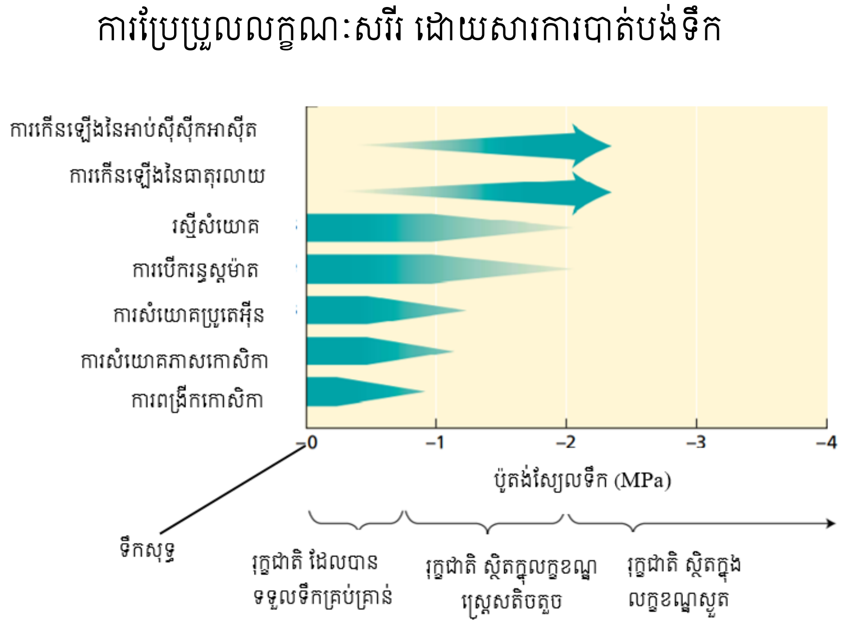
$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$$

ψp គឺជាសម្ពាធលំនឹងទឹក (Hydrostatic pressure) នៃសូលុយស្យុង។ សម្ពាធវិជ្ជមាន ធ្វើឱ្យប៉ូតង់ស្យែលទឹកកើនឡើងខណៈពេលដែលសំពាធអវិជ្ជមានកាត់បន្ថយ។ នៅពេលខ្លះ ψp អាចហៅបានថាប៉ូតង់ស្យែលសម្ពាធ។ សម្ពាធលំនឹងទឹកនៅក្នុងកោសិការុក្ខជាតិគឺសំដៅទៅលើសម្ពាធទូហ្គ័រ (Turgor pressure) ។ តម្លៃរបស់ ψp គឺអាចអវិជ្ជមានដូចករណី ក្នុងស៊ីឡែម និងជញ្ជាំងចន្លោះកោសិកាដែលតឹងហើយសម្ពាធលំនឹងទឹកអវិជ្ជមានអាចវិវឌ្ឍន៍។ សម្ពាធលំនឹង ត្រូវបានវាស់វែងចេញពីជុំវិញសម្ពាធ។ ត្រូវចាំថាតម្លៃរបស់ ψp ដែលស្ថិតក្នុងវគ្គថេរ ψp= = 0 MPa ដែលជាតម្លៃស្តង់ដារ។

ψs គឺជាត្រូវបានហៅថា ប៉ូតង់ស្យែលធាតុរលាយ ឬប៉ូតង់ស្យែលអូស្មូសតំណាងឱ្យប្រសិទ្ធភាពនៃធាតុរលាយនៅលើប៉ូតង់ស្យែលទឹក។ ធាតុរលាយកាត់បន្ថយថាមពលសេរី នៃទឹកដោយពង្រាវទឹក។ នេះគឺជាឥទ្ធិពលចម្បងរបស់អង់ត្រូពី (Entropy) ដែលធ្វើការលាយបញ្ចូលនូវធាតុរលាយ និងបង្កើនទឹកដែលអត់របៀបរៀបរយនៃប្រព័ន្ធនិងដោយហេតុថាមពលសេរីចុះទាប។ នេះបានន័យថា ប៉ូតង់ស្យែលអូស្មូស គឺមិនពឹងផ្អែកលើធម្មជាតិជាក់លាក់នៃធាតុរលាយ។ សម្រាប់ការពង្រាវសូលុយស្យុងដែលមិនកាត់ផ្តាច់ចេញសារធាតុ ដូចជាស៊ុចក្រូស ប៉ូតង់ស្យែលអាចត្រូវបានប៉ាន់ស្មានដោយរូបមន្ត ៖

$$\psi s = -RTc_s$$

ដែល R គឺជាថេរឧស្ម័ន ((8.32 J mol^{-1} K^{-1}) ហើយ T គឺជាតម្លៃដាច់ខាតរបស់សីតុណ្ហភាព (degrees Kelvin, or K) ហើយ c_s ជាកំហាប់ធាតុរលាយនៅក្នុងសូលុយស្យុង ដែលបង្ហាញតាមរយៈអូស្មូស (ម៉ូលនៃធាតុរលាយសរុបដែលត្រូវបានពង្រាវក្នុងមួយលីត្រ) (mol L^{-1})។ សញ្ញាដក (-) បង្ហាញថាការពង្រាវធាតុរាវគឺ បន្ថយប៉ូតង់ស្យែលទឹក នៃទំនាក់ទំនងសូលុយស្យុងទៅនឹងទឹកសុទ្ធក្នុងដំណាក់កាលថេរ។



រូបភាព ៣.៤៖ ប៉ូតង់ស្យែលទឹក នៃរុក្ខជាតិក្រោមលក្ខខណ្ឌជាំជុះផ្សេងៗគ្នានិងភាពប្រែប្រួលទៅតាមដំណើរការសរីរផ្សេងៗគ្នាទៅកាន់ប៉ូតង់ស្យែលទឹក (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)។

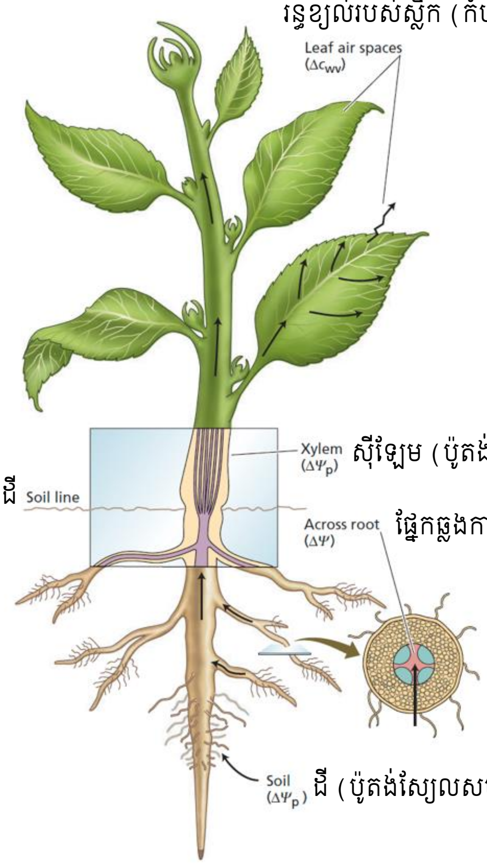
៣.៦ ទឹកនៅក្នុងដី

បរិមាណទឹកនៅក្នុងដី និងកម្រិតបម្លាស់ទីទឹកនៅក្នុងដី អាស្រ័យទៅលើប្រភេទដីនិង ទម្រង់របស់ដី។ ប្រភេទដីខ្សាច់មានតំបន់ផ្ទៃខាងលើទាប ក្នុងមួយក្រាមនៃដីហើយវាមានចន្លោះ ឬគម្លាតធំពីភាគល្អិតតូចៗនៃដី។ ចំណែកដីឥដ្ឋមានទំហំគ្រាប់ដីតូចជាង ២មីក្រូម៉ែត្រ ដូចនេះវាមានតំបន់ផ្ទៃខាងលើធំជាងហើយមានចន្លោះឬ គម្លាតគ្រាប់ដីតូចៗ។ នៅពេលដែលមានជំនួយពីសារធាតុសរីរាង្គ ដូចជាពពួកមមោកបំណែកតូចៗរបស់ដីឥដ្ឋ អាចបង្កើតអាហ្គ្រីហ្គេតដីអោយទៅជា ដុំតូចៗ ដែលជួយបង្កើនរន្ធខ្យល់និងការជ្រាបទឹក។ នៅពេលដែលដីមានទឹកច្រើនដោយសារភ្លៀង ឬការស្រោចស្រព ទឹកនិងជ្រាបទៅផ្នែកខាងក្រោម ដោយសារទំនាញ (Gravity) តាមរយៈចន្លោះភាគល្អិតតូចៗនៃដី ហើយវាប្រព្រឹត្តទៅដោយផ្នែក ហើយនៅក្នុងករណីខ្លះវាចាប់យកទឹក។ នៅក្នុងដីខ្សាច់ចន្លោះនៃបំណែកតូចៗនៃដីគឺធំ ដូចនេះទឹកមានទំនោរក្នុងការហូរចេញពីដី ហើយវាមាននៅលើតែបំណែកតូចៗនៃដី និងចន្លោះដ៏តូចៗនៃបំណែកដី។ សមត្ថភាពនៃការស្តុកទឹក នៃដីត្រូវបានហៅថា លទ្ធភាពរក្សាទឹកទុករបស់ដី (Field capacity)។ លទ្ធភាពរក្សាទឹកទុករបស់ដី គឺជាបរិមាណទឹកនៅក្នុងដីបន្ទាប់ពីឆ្អែតជាមួយទឹក ឬលើសទឹកហើយដែលបានជ្រាបចេញទៅ។ ដីឥដ្ឋ ឬដីដែលមានមមោកខ្ពស់ គឺមានលទ្ធភាពរក្សាទឹកទុករបស់ដីខ្ពស់។ ពីរបីថ្ងៃបន្ទាប់ពីឆ្អែតទឹក វាអាចនៅមានទឹក ៤០% នៃមាឌរបស់វា។ ផ្ទុយទៅវិញ ប្រភេទដីខ្សាច់អាចនៅមានតែ ៣% នៃមាឌរបស់វាបន្ទាប់ពីឆ្អែតទឹក (Saturated)។ កម្រិតលំហូរនៃទឹក គឺពឹងផ្អែកដោយកត្តាពីរយ៉ាង គឺទំហំនៃជម្រាលសម្ពាធ

(Pressure gradient) តាមរយៈដី និងការនាំដោយប្រើកម្លាំងទឹក (Hydraulic conductivity) នៃដី។ការនាំដោយប្រើកម្លាំងទឹក (Hydraulic conductivity) នៃដីគឺជាការវាស់វែងដែលមានភាពងាយស្រួលនៃការផ្លាស់ទីរបស់ទឹកនៅក្នុងដីវាមានផ្សេងៗពីគ្នាទៅតាមប្រភេទដីនិងបរិមាណទឹក។

ជំពូកទី៤
ការស្រូបយកទឹក

៤.១ ទឹកនៅក្នុងដី



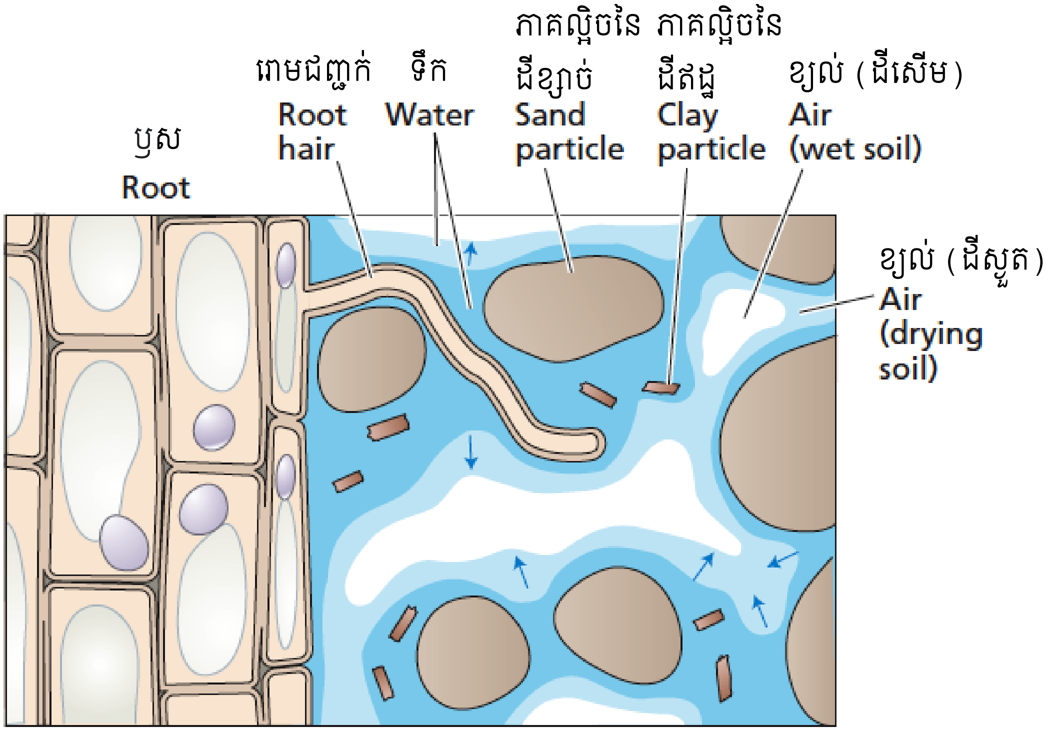
រូបភាពទី៤.១៖ កត្តាជំរុញសំខាន់ៗក្នុងការបម្លាស់ទីទឹកពីក្នុងដីទៅកាន់បរិយាកាស (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

បរិមាណទឹក និងអត្រានៃចលនាទឹកនៅក្នុងដីពឹងផ្អែកទៅលើវិសាលភាពនៃប្រភេទដី និងរចនាសម្ព័ន្ធដី។ ដីខ្សាច់ជាដីដែលមានអង្កត់ផ្ចិតភាគល្អិតមានទំហំ >១មម។ ដីខ្សាច់មានផ្ទៃដីតូច ក្នុង ១ក្រាមនៃដី និងមានចន្លោះទូលាយនៅរវាងភាគល្អិតនីមួយៗ។ មួយប្រភេទទៀតគឺដីឥដ្ឋដែលអង្កត់ផ្ចិតភាគល្អិតមានទំហំតូចជាង ២មីក្រូម៉ែត។ ដីឥដ្ឋមានផ្ទៃដីធំជាងដីខ្សាច់ តែមានចន្លោះរវាងភាគល្អិតតូចជាងដីខ្សាច់។ ដោយមានជំនួយពីសារធាតុសរីរាង្គដូចជា ពួកមមោក (ភ្នាក់ងារបំបែកសារធាតុសរីរាង្គ) ភាគល្អិតដីឥដ្ឋ

អាចផ្តុំគ្នាទៅជា "កម្ទេចដុំៗ" ដែលបង្កើតបានជាចន្លោះប្រហោងធំៗ ជាជំនួយដល់កែលំអរ និងការជ្រាបចូលនៃទឹក។

នៅពេលដែលដីត្រូវបានជ្រាបទឹកខ្លាំងដោយទឹកភ្លៀង ឬប្រព័ន្ធធារាសាស្ត្រ ទឹកធ្វើលំហូរចុះទៅក្រោមដីតាមរយៈទំនាញផែនដី ហើយឆ្លងកាត់តាមចន្លោះរវាងភាគល្អិតដីដោយនាំភ្ជាប់ខ្យល់ផ្ទុកក្នុងចន្លោះភាគទាំងនោះផងដែរ។ ទឹកត្រូវបានទាញចូលក្នុងចន្លោះរវាងភាគល្អិតដីដោយ ខែបភីល័រីធី (Capillarity) ពោលគឺបណ្តាញចន្លោះដែលតូចជាងគេ នឹងពេញមុនគេ។ ទឹកអាចស្អិតជាប់ទៅនឹងផ្ទៃនៃភាគល្អិតដី ដែលវាអាចបំពេញបណ្តាញចន្លោះតូចៗ ឬវាអាចបំពេញចន្លោះរវាងភាគល្អិតទាំងអស់ ដោយអាស្រ័យទៅលើបរិមាណទឹកនៅពេលធ្វើបម្លាស់ទី។

នៅក្នុងដីខ្សាច់ ចន្លោះរវាងភាគល្អិតមានទំហំធំដែលទឹកផ្លាស់ទីចេញអស់ លើកលែងតែនៅផ្ទៃនៃភាគល្អិតតែប៉ុណ្ណោះ។ នៅក្នុងដីឥដ្ឋវិញ ចន្លោះរវាងភាគល្អិតមានទំហំតូច ដែលវាអាចចាប់ទុកទឹកបានច្រើន ប្រឆាំងនឹងកម្លាំងទំនាញនៃផែនដី។ ពីរបីថ្ងៃក្រោយភ្លៀងធ្លាក់ ដីឥដ្ឋអាចរក្សាទុកទឹកបានរហូតដល់ ៤០% រីឯដីខ្សាច់វិញអាចរក្សាទុកទឹកបានត្រឹមតែ១៥% ប៉ុណ្ណោះ។



រូបភាពទី៤.២៖ រោមជញ្ជក់ឫសមានទំនាក់ទំនងស្និទ្ធជាមួយភាគល្អិតរបស់ដី និងពឹងផ្អែកខ្លាំងលើទំហំផ្ទៃដីសម្រាប់ស្រូបយកទឹករបស់រុក្ខជាតិ (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

៤.១.១ សម្ពាធលំនឹងទឹកអវិជ្ជមានក្នុងដី បន្ទាបប៉ូតង់ស្យែលទឹកក្នុងដី

ដូចគ្នាទៅនឹងប៉ូតង់ស្យែលទឹករបស់កោសិការុក្ខជាតិ ប៉ូតង់ស្យែលទឹករបស់ដីអាចបែងចែកជាបីផ្នែកគឺៈ ប៉ូតង់ស្យែលអូស្មូស (Osmotic potential) ប៉ូតង់ស្យែលសម្ពាធ (Pressure potential) និង ប៉ូតង់ស្យែលទំនាញផែនដី (Gravitational potential)។ ប៉ូតង់ស្យែលអូស្មូស (Ψ_s) នៃទឹកក្នុងដី ជាទូទៅមិនមានភាពសុក្រឹត ដោយសារតែកំហាប់រលាយមានកម្រិតទាប (លើកលែងតែដីប្រៃ) ហើយតម្លៃធម្មតាប្រហែលជា ០.២ MPa។ នៅក្នុងដីដែលមានកម្រិតជាតិប្រៃច្រើន តម្លៃ Ψ_s អាចមានភាពសុក្រឹតប្រហែលជា ០.២ ឬទាបជាងនេះ។

រីឯប៉ូតង់ស្យែលសម្ពាធវិញ (Ψ_p) (រូបភាពទី៤.១) ចំពោះដីសើម តម្លៃ Ψ_p អាចស្មើ ០។ នៅពេលដីស្ងួតអស់ តម្លៃ Ψ_p អាចថយចុះហើយក្លាយជាអវិជ្ជមាន។ ដោយសារទឹកធ្វើបម្លាស់ទីតាមរយៈ ខែបភីល័រីធី ទឹកមានភាពស្អិតជាប់ទៅនឹងផ្ទៃដែលអាចកាត់បន្ថយចំណុចប្រទាក់គ្នារវាងទឹក និងខ្យល់។ ទោះជាយ៉ាងណា ដោយសារតែការស្អិតជាប់នេះ ទឹកក៏តោងជាប់ទៅផ្ទៃនៃភាគល្អិតដីផងដែរ (រូបភាពទី៤.២)។

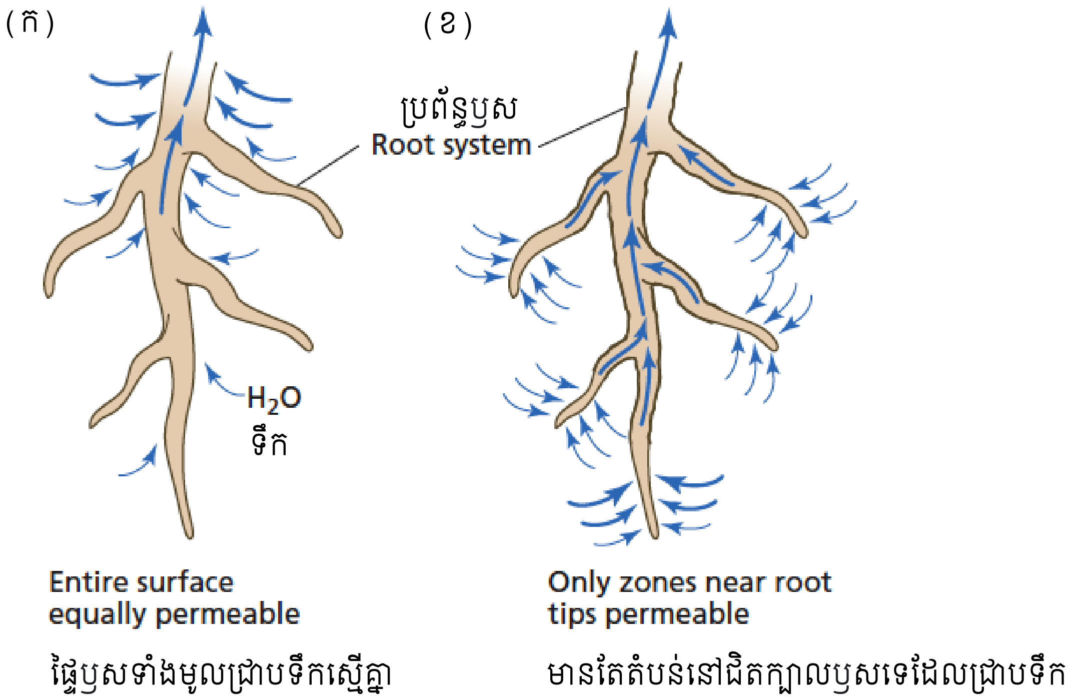
ទីពាគឺប៉ូតង់ស្យែលទំនាញផែនដី (Ψ_g) ដែលទំនាញផែនដីដើរតួនាទីយ៉ាងសំខាន់ក្នុងការបង្ហូរទឹក។ ចលនាលំហូរទឹកចុះក្រោមគឺដោយសារតែ Ψ_g មានសមាមាត្រទៅនឹងកម្ពស់ ហើយតម្លៃ Ψ_g ខ្ពស់នៅពេលទឹកផ្លាស់ទីពីតំបន់ខ្ពស់។

៤.២ ការស្រូបយកទឹកដោយឫស

ទំនាក់ទំនងរវាងស្រទាប់ផ្ទៃខាងក្រៅនៃឫស ជាមួយនឹងដី មានឥទ្ធិពលយ៉ាងខ្លាំងទៅលើលទ្ធភាពនៃការស្រូបយកទឹក និងសារជាតុរ៉ែរបស់រុក្ខជាតិតាមរយៈឫស និងរោមជញ្ជក់របស់ឫស។ រោមជញ្ជក់មានលក្ខណៈជាសរសៃតូចឆ្មារដែលដុះចេញពីភ្នាសកោសិការបស់ឫស ដែលមានតួនាទីសំខាន់ក្នុងការពង្រីកទីតាំងលូតលាស់របស់ឫសដើម្បីបង្កើនលទ្ធភាពក្នុងការស្រូបយកសារជាតុរ៉ែ និងទឹកពីក្នុងដី។ តាមរយៈការសង្កេតមើលដើមស្រូវសំឡីដែលមានអាយុ ៣ខែបានបង្ហាញអោយឃើញថា រោមជញ្ជក់ឫស ចូលរួមពង្រីកទីតាំងចាក់ឫសក្នុងដីរហូតដល់ ៦០%។

ទឹកអាចជ្រៀតចូលក្នុងឫសយ៉ាងសកម្មជាងគេបំផុតនៅ ចុងឫស។ កោសិកាឫសពេញវ័យអាចមានផលលំបាកក្នុងការស្រូបយកទឹក ដោយសារតែភ្នាសកោសិការបស់ឫសពេញវ័យ មានផ្ទុកសារជាតុដែលមិនអាចផ្សំជាមួយទឹកច្រើន។ ទោះបីជារបកគំហើញនេះមានភាពផ្ទុយគ្នា ពីការសន្មតដែលគ្រប់ផ្នែកនៃឫសអាចស្រូបយកទឹកបាន។ ក៏ប៉ុន្តែមុខងាររបស់ឫសបែបនេះជំរុញឱ្យឫសរុក្ខជាតិ ខំប្រឹងពង្រីកទីតាំងលូតលាស់របស់ឫសនៅក្នុងដីអោយកាន់តែធំ ដើម្បីស្វែងរកប្រភពទឹក និងសារជាតុរ៉ែនៅតំបន់ដែលឫសមិនទាន់ដុះលូតលាស់ដល់ (រូបភាពទី៤.៣)។

ស្រទាប់ផ្ទៃខាងក្រៅនៃឫសងាយទទួលរងការកាត់ផ្តាច់ តាមរយៈការប៉ះទង្គិចទៅនឹងដីដែលទើបតែកាប់គាស់ហើយថ្មីៗខណៈពេលស្ទូង។ ហេតុដូច្នេះហើយរុក្ខជាតិគួរតែទទួលបានការផ្គត់ផ្គង់ទឹកឱ្យគ្រប់គ្រាន់ ក្នុងកំឡុងពេល ៣ ទៅ ៤ថ្ងៃ ក្រោយពេលស្ទូង ដើម្បីជៀសវាងការខ្សោះជាតិទឹក។ នៅពេលដែលឫសថ្មីចាក់ចូលជ្រៅក្នុងដីរួច រុក្ខជាតិអាចមានភាពធន់ទ្រាំទៅនឹងភាពស្រេកទឹកបាន។



រូបភាពទី៤.៣៖ (ក)ការស្រូបយកទឹកនៃផ្ទៃឫសដែលជ្រាបទឹកបាន និង (ខ)ផ្ទៃឫសដែលមិនអាចជ្រាបទឹកបាន ជាពិសេសឫសពេញវ័យដែលកោសិកាមានផ្ទុកទៅដោយសារជាតុក្រមួន និងសារជាតុមិនរលាយក្នុងទឹក។ (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

៤.២.១ ទឹកធ្វើបម្លាស់ទីក្នុងឫសតាមរយៈលំនាំផ្លូវ អាប៉ូប្លាស សាំប្លាស និងចន្លោះភ្នាសកោសិកា

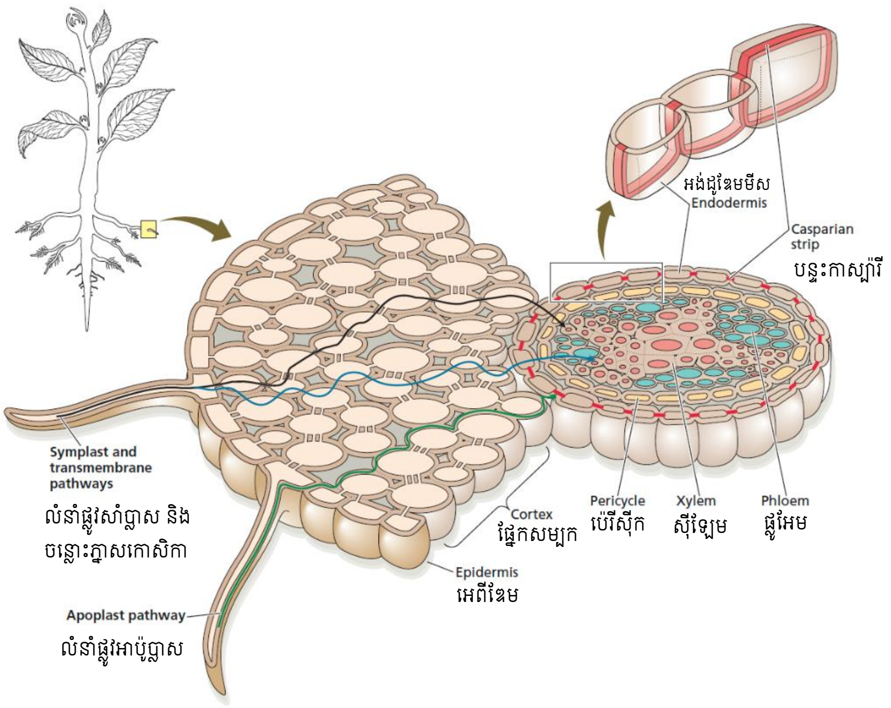
ទឹកធ្វើបម្លាស់ទីក្នុងដីតាមប្រហោងតូចៗដែលស្ថិតនៅចន្លោះរវាងគ្រាប់ដីតូច។ រីឯនៅក្នុងកោសិកាឫស ទឹកអាចធ្វើបម្លាស់ទីពីអេពីឌែម (Epidermis) ទៅអង់ដូឌែមមីស (Endodermis) បានតាមរយៈលំនាំផ្លូវ ៣ប្រភេទ គឺ លំនាំផ្លូវអាប៉ូប្លាស (Apoplast pathway) លំនាំផ្លូវសាំប្លាស (Symplast pathway) និងចន្លោះភ្នាសកោសិកា (Transmembrane pathway) (រូបភាពទី៤.៤)។

លំនាំផ្លូវអាប៉ូប្លាស គឺជាប្រព័ន្ធបន្ត នៃភ្នាសគ្រោង ចន្លោះខ្យល់នៃផ្ទៃខាងក្នុងកោសិកា និងចន្លោះប្រហោងនៃកោសិកាគ្មានជីវិត (ឧទាហរណ៍៖ កោសិកាកញ្ចុំស៊ីឡែម និងកោសិកាសរសៃ)។ នៅក្នុងលំនាំ

ផ្លូវនេះ ទឹកផ្លាស់ទីតាមភ្នាសគ្រោង និងតាមចន្លោះផ្ទៃខាងក្រៅកោសិកា ដោយមិនឆ្លងកាត់ភ្នាសណាមួយឡើយ នៅពេលដែលទឹកផ្លាស់ទីឆ្ពោះទៅរកស៊ីឡែម។

លំនាំផ្លូវសាំប្លាស មានបណ្ដាញកោសិកាស៊ីតូប្លាសដែលភ្ជាប់គ្នាដោយ ប្លាសស្មូដេស្មា (Plasmodesmata) ។ នៅក្នុងលំនាំផ្លូវនេះ ទឹកធ្វើដំណើរឆ្ពោះទៅរកស៊ីឡែមតាមរយៈប្លាសស្មូដេស្មា។

លំនាំផ្លូវកាត់តាមភ្នាសកោសិកាគឺជាផ្លូវ ដែលទឹកជ្រៀតចូលក្នុងកោសិកាពីផ្នែកម្ខាងនៃកោសិកា រួចផ្លាស់ទីចេញក្រៅពីផ្នែកម្ខាងទៀតនៃកោសិកា។ ក្នុងលំនាំផ្លូវនេះ ទឹកឆ្លងកាត់ភ្នាសស៊ីតូប្លាសនៃកោសិកានីមួយៗពីរដង (ពេលចូល និងពេលចេញ)។ ការបម្លាស់ទីទឹកតាមរបៀបនេះ ពេលខ្លះក៏អាចឆ្លងកាត់ តូណូប្លាស (Tonoplast) ផងដែរ។



រូបភាពទី៤.៤៖ លំនាំផ្លូវនៃការស្រូបយកទឹកដោយឫស។ ឆ្លងកាត់តាមកោសិកាសម្បកឫស ទឹកអាចធ្វើដំណើរឆ្លងកាត់លំនាំផ្លូវអាប៉ូប្លាស ចន្លោះភ្នាសកោសិកា និងលំនាំផ្លូវសាំប្លាស (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

៤.២.២ ការប្រមូលផ្តុំសារធាតុរាវនៅក្នុងស៊ីឡែមអាចបង្កជាសម្ពាធឫស

ពេលខ្លះរុក្ខជាតិបង្ហាញពីបាតុភូតមួយដែលគេហៅថា សម្ពាធឫស។ ឧទាហរណ៍៖ ប្រសិនបើដើមនៃកូនរុក្ខជាតិ ត្រូវបានកាត់ផ្ដាច់នៅខាងលើដី ទឹកនឹងបន្តហូរចេញពីស៊ីឡែមជាច្រើនម៉ោង។ ប្រសិនបើម៉ាណូម៉ែត្រ (Manometer) ត្រូវបានភ្ជាប់ទៅលើគល់ដែលត្រូវបានកាត់ផ្ដាច់នោះ សម្ពាធវិជ្ជមានអាចមានតម្លៃខ្ពស់រហូតដល់ ០.២ MPa (ជួនកាលអាចខ្ពស់លើស ០.២)។ នៅពេលការរំភាយចំហាយទឹកមានកម្រិត

ទាប ឬគ្មានសកម្មភាព សម្ពាធអ៊ីដ្រូស្ដាទិចវិជ្ជមានអាចកើតឡើងនៅក្នុង ស៊ីឡែម ពីព្រោះឫសនៅតែបន្តស្រូបយកទឹក និងសារធាតុរ៉ែពីក្នុងដី ហើយបញ្ជូនទៅក្នុង ស៊ីឡែម។ ការប្រមូលផ្ដុំនៃសារធាតុទាំងនេះនៅក្នុងស៊ីឡែម នាំឱ្យមានការថយចុះនៃប៉ូតង់ស្យែលអូស្មូសនៅក្នុង ស៊ីឡែម Ψ_s ហើយក៏បន្ទាបប៉ូតង់ស្យែលទឹកក្នុងស៊ីឡែម Ψ ផងដែរ។ ជាលិកាឫសមានពហុមុខងារដែលមានលក្ខណៈដូចជាភ្នាសអូស្មូស ដែលអាចបង្កើតបានសម្ពាធលំនឹងទឹកវិជ្ជមាននៅក្នុងស៊ីឡែម ក្នុងការឆ្លើយតបទៅនឹងការប្រមូលផ្ដុំនៃសារធាតុរាវ។

សម្ពាធឫសទំនងជាកើតឡើងនៅពេលប៉ូតង់ស្យែលនៃទឹកក្នុងដីមានកម្រិតខ្ពស់ ហើយការរំភាយចំហាយទឹកមានកម្រិតទាប។ នៅពេលកម្រិតរំភាយចំហាយទឹកអាចថយ ទឹកត្រូវបានដឹកជញ្ជូនឆ្លងកាត់រុក្ខជាតិ និងបាត់បង់នៅក្នុងបរិយាកាសយ៉ាងឆាប់រហ័ស ដែលអាចរាំងការកកើតនៃសម្ពាធវិជ្ជមានក្នុងស៊ីឡែម បណ្ដាលមកពីការស្រូបយកសារធាតុរ៉ែលើសកម្រិត។

រូបភាពទី៤.៥៖ ក្រពេញទឹក (guttation) ក្នុងស្លឹកនៃរុក្ខជាតិ *Alchemila vulgaris* (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

រុក្ខជាតិដែលបង្កើតសម្ពាធឫស ជាទូទៅផលិតដំណក់ទឹករាវនៅលើគែមស្លឹក ដែលជាបាតុភូតមួយត្រូវបានគេស្គាល់ថាជា ការបញ្ចេញទឹកតាមរន្ធរុក្ខជាតិ (រូបភាពទី៤.៥)។ សម្ពាធវិជ្ជមានក្នុងស៊ីឡែមបណ្ដាលឱ្យមានការលេចចេញនៃសារធាតុទឹកស៊ីឡែមតាមរយៈរន្ធពិសេសហៅថា ក្រពេញទឹក (guttation) ដែលមានបណ្ដាញភ្ជាប់ជាមួយនឹងសរសៃនៅគែមស្លឹករុក្ខជាតិ (រូបភាពទី៤.៥)។ ទឹកសន្សើមនៅចុងស្លឹករបស់ស្មៅនៅពេលព្រឹក គឺជាការបញ្ចេញទឹកតាមរន្ធរុក្ខជាតិមកពីក្រពេញទឹក។ ការបញ្ចេញទឹកតាមរន្ធរុក្ខជាតិមានភាពសកម្មបំផុតនៅពេលការរំភាយចំហាយទឹកត្រូវបានបង្អាក់សកម្មភាព និងនៅពេលមាន

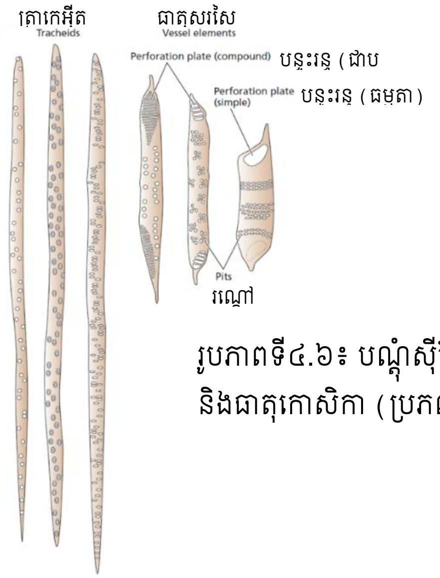
សំណើមបរិយាកាសខ្ពស់ ដូចជាពេលយប់ជាដើម។ ក្នុងករណីខ្លះ សម្ពាធឫសអាចផ្លុះបញ្ចាំងពីផលវិបាកនៃការចាប់យកសារធាតុរ៉ែលើសកម្រិតពីក្នុងដី។ ទោះជាយ៉ាងណាក៏ដោយអត្ថិភាពនៃសម្ពាធវិជ្ជមាននៅក្នុងស៊ីឡែម នៅពេលយប់អាចជួយរំលាយពពុះហ្គាស ហេតុដូច្នេះដើរតួនាទីសំខាន់ក្នុងឆ្លើយតបទៅនឹងផលលំបាកដែលបានពិភាក្សានៅចំណុចបន្ទាប់។

៤.៣ ទឹកត្រូវបានដឹកជញ្ជូនតាមរយៈស៊ីឡែម

នៅក្នុងរុក្ខជាតិភាគច្រើន ស៊ីឡែមគឺជាសរីរាង្គវែងបំផុតក្នុងការដឹកជញ្ជូនទឹក។ នៅក្នុងរុក្ខជាតិកម្ពស់១ម៉ែត្រ ៩៩.៥% នៃផ្លូវដឹកជញ្ជូនទឹកឆ្លងកាត់រុក្ខជាតិគឺនៅខាងក្នុងស៊ីឡែម។ រីឯនៅក្នុងដើមឈើខ្ពស់វិញ ការដឹកជញ្ជូនទឹកតាមរយៈស៊ីឡែមមានភាគរយច្រើនជាងនេះទៅទៀត។ បើប្រៀបធៀបជាមួយចលនាទឹកដែលឆ្លងកាត់ស្រទាប់កោសិកាមានជីវិតវិញ ស៊ីឡែមគឺជាលំនាំផ្លូវទឹកសាមញ្ញមួយដែលមានភាពធន់ទ្រាំទាប។

៤.៣.១ ស៊ីឡែមមានកោសិកាដឹកជញ្ជូនពីរប្រភេទ

កោសិកាដឹកនាំនៅក្នុងស៊ីឡែមមានជំនាញការវិភាគដែលជម្រុញអោយមានការដឹកជញ្ជូនទឹកក្នុងបរិមាណច្រើនប្រកបដោយប្រសិទ្ធភាព។ នៅក្នុងស៊ីឡែមមានកោសិកាដឹកជញ្ជូនទឹកចំនួន២៖ ត្រាកេអ៊ីត (Tracheids) និងសារជាតុសរសៃ (Vessel elements) (រូបភាពទី៤.៦)។ សារជាតុសរសៃស្ថិតនៅក្នុង អង់ស្យូស្ពែម ដែលជាពពួករុក្ខជាតិគ្មានផ្កា។ ត្រាកេអ៊ីត មានវត្តមាននៅក្នុងអង់ស្យូស្ពែម និងស៊ីមណូស្ពែម ក៏ដូចជាបណ្ណង្គជាតិ និងក្រុមរុក្ខជាតិសរសៃនាំផ្សេងទៀតផងដែរ។



រូបភាពទី៤.៦៖ បណ្តុំស៊ីឡែម និងការប្រៀបធៀបរចនាសម្ព័ន្ធរវាង ត្រាកេអ៊ីត និងជាតុកោសិកា (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

ត្រាកេអ៊ីត ជាកោសិកាយាវដែលត្រូវបានតម្រៀបបញ្ឈរ (រូបភាពទី៤.៦)។ ទឹកហូរវាងត្រាកេអ៊ីតដោយរណ្ដៅ (Pits) ជាច្រើននៅលើភ្នាសក្រោយរបស់ត្រាកេអ៊ីត។ រណ្ដៅ គឺជាតំបន់ល្អិតដែលមានគ្មានវត្តមានភ្នាសបន្ទាប់បន្សំ ហើយមានតែភ្នាសបឋមតែប៉ុណ្ណោះ(រូបភាពទី៤.៦)។

សារជាតុសរសៃ ភាគច្រើនខ្លីជាង ប៉ុន្តែធំជាងត្រាកេអ៊ីត ហើយមានរន្ធនៅចុងជញ្ជាំងដែលផ្ដុំគ្នាទៅជា បន្ទះរន្ធ (Perforation plate) នៅចុងកោសិកា(រូបភាពទី៤.៦)។ ស្រដៀងគ្នានឹងត្រាកេអ៊ីត សារជាតុសរសៃក៏មានរណ្ដៅនៅលើជញ្ជាំងក្រោយ។ តែផ្ទុយពីត្រាកេអ៊ីត បន្ទះរន្ធនៅចុងកោសិកាអនុញ្ញាតឱ្យសារជាតុសរសៃ ផ្ដុំលើគ្នាដើម្បីបង្កើតជាបំពង់ទឹកដ៏វែងមួយ។ សរសៃទាំងនេះជាបំពង់ទឹកដែលមានពហុមុខងារ ហើយមានប្រវែងខុសៗគ្នា។ សារជាតុសរសៃអាចមានប្រវែងពី ២ ឬ ៣សម ទៅ ២ឬ ៣ម ឬវែងជាងនេះទៅទៀត។

៤.៣.២ ទឹកផ្លាស់ទីឆ្លងកាត់ស៊ីឡែមដោយលំហូរភាគច្រើនជំរុញដោយសម្ពាធ

លំហូរទឹកដែលជំរុញដោយសម្ពាធ (Pressure-driven bulk flow) គឺទទួលខុសត្រូវចំពោះការដឹកជញ្ជូនទឹកទៅទីតាំងឆ្ងាយនៅក្នុងរុក្ខជាតិតាមរយៈស៊ីឡែម។ វាក៏មានតួនាទីក្នុងការដឹកជញ្ជូនទឹកឆ្លងកាត់ដី និងឆ្លងកាត់ភ្នាសកោសិកានៃជាលិការុក្ខជាតិ។ ផ្ទុយទៅនឹងការសាយភាយទឹកឆ្លងកាត់ ភ្នាសអឌ្ឍជ្រាប (Semipermeable membrane) លំហូរទឹកដែលជំរុញសម្ពាធ គឺជាជម្រាលកំហាប់រាវ នៅពេលការផ្លាស់ប្ដូរនៃទ្រង់ទ្រាយរបស់កោសិការុក្ខជាតិមិនមានភាពខុសគ្នាខ្លាំង។

៤.៣.៣ ទ្រឹស្ដីភាពតានតឹងនៃកម្លាំងទំនាញ (Cohesion-tension theory)

បើតាមទ្រឹស្ដី ជម្រាលសម្ពាធត្រូវការសម្រាប់ផ្លាស់ទីទឹកតាមរយៈស៊ីឡែមអាចបណ្ដាលមកពីការកកើតនៃសម្ពាធវិជ្ជមាននៅគល់រុក្ខជាតិ ឬសម្ពាធអវិជ្ជមាននៅផ្នែកខាងលើនៃរុក្ខជាតិ។ ដោយបានពិភាក្សានៅផ្នែកខាងលើ ឫសខ្លះអាចបង្កើតជាសម្ពាធវិជ្ជមានដល់លំនឹងទឹកនៅក្នុងស៊ីឡែមបាន។ ទោះជាយ៉ាងណាក៏ដោយ សម្ពាធឫសជាធម្មតាមានតម្លៃតិចជាង ០.១MPa ហើយបាត់ទៅវិញដោយការបំភាយចំហាយទឹក ឬនៅពេលដីស្ងួតហួតហែង ដូច្នេះធ្វើឱ្យមានការខ្វះខាតទឹកក្នុងការផ្លាស់ទីទឹកឡើងទៅដើមឈើខ្ពស់។ លើសពីនេះទៅទៀត ដោយសាររុក្ខជាតិពឹងផ្អែកលើស៊ីឡែមក្នុងការដឹកជញ្ជូនទឹក រុក្ខជាតិត្រូវមានយន្តការសម្រាប់ប្រឈមជាមួយបញ្ហាសម្ពាធឫស ដែលអាចកើតឡើងដោយការប្រមូលផ្ដុំសារជាតុរ៉ែនៅក្នុងស៊ីឡែមក្រោយពេលដែលទឹកហួតចេញពីស្លឹករុក្ខជាតិ។

ផ្ទុយទៅវិញ ទឹកនៅផ្នែកខាងលើនៃរុក្ខជាតិអាចបង្កភាពតានតឹងខ្លាំង(សម្ពាធលំនឹងទឹកអវិជ្ជមាន) ហើយភាពតានតឹងនេះទាញយកទឹកតាមស៊ីឡែម។ យន្តការរបស់រុក្ខជាតិនេះត្រូវបានលើកឡើងតំបូងគេបង្អស់នៅចុងបញ្ចប់នៃសតវត្សទី១៩ ហើយត្រូវបានគេហៅថា ទ្រឹស្ដីភាពតានតឹងនៃកម្លាំងទំនាញទឹកពីព្រោះវាទាមទារទំនាញទឹកខ្ពស់ដើម្បីទ្រទ្រង់ភាពតានតឹងនៅក្នុងបំពង់ស៊ីឡែម។ ភាពតានតឹងនៅក្នុងស៊ីឡែមអាចពិនិត្យបាន តាមរយៈការបន្តក់ទឹកថ្នាំពណ៌នៅលើផ្ទៃដើមដែលកំពុងធ្វើសកម្មភាពបំភាយចំហាយ

ទឹក។ នៅពេលដែលភាពតានតឹងនៅក្នុងស៊ីឡែមមានភាពធូរស្បើយបន្តិច ទឹកថ្នាំនឹងត្រូវបានស្រូបចូលក្នុងស៊ីឡែមភ្លាមៗ ដែលអាចមើលឃើញយ៉ាងច្បាស់លាស់នៅតាមបណ្តោយដើម។

ភាពតានតឹងនៅក្នុងស៊ីឡែមនាំអោយមានការទាញយកទឹកចេញពីដី អាចបង្កជាផលវិបាកក្នុងការបំភាយចំហាយទឹកនៅក្នុងស្លឹក។ នៅពេលស្លឹកបើករន្ធស្តូម៉ាត ដើម្បីស្រូបយក CO_2 សម្រាប់ធ្វើរស្មីសំយោគ ចំហាយទឹកក៏សាយភាយចេញពីស្លឹកដូចគ្នា។ ការសាយភាយនេះបណ្តាលឱ្យទឹកហួតចេញពីផ្ទៃនៃភ្នាសកោសិកាក្នុងស្លឹក។ ការបាត់បង់ទឹកពីភ្នាសកោសិកា បណ្តាលអោយមានការថយចុះនៃប៉ូតង់ស្យែលទឹកក្នុងភ្នាសកោសិកា។ នេះអាចបង្កើតជាជម្រាសប៉ូតង់ស្យែលទឹក ដែលជំរុញឱ្យទឹកហូរឆ្ពោះទៅរកតំបន់ដែលហួតទឹក។

សម្មតិកម្មមួយសម្រាប់របៀបនៃការបាត់បង់ទឹក ពីភ្នាសកោសិកាបណ្តាលឱ្យមានការថយចុះនៃប៉ូតង់ស្យែលទឹក គឺដោយសារទឹកហួត ហើយផ្ទៃទឹកដែលនៅសេសសល់បានហូរចូលចន្លោះតូចៗស្ថិតនៅរវាងភ្នាសកោសិកា ដែលជាតំបន់ដែលមានរាងកោងសម្រាប់លំហូរខ្យល់ និងទឹក។ ដោយសារទឹកច្រើនតែភ្ជាប់ទៅនឹងកោសិកាសរសៃមីក្រូសែលុយឡូស (Cellulose microfibrils) និងសារធាតុមិនរលាយក្នុងទឹកដទៃទៀតនៃភ្នាសកោសិកា ភាពកោងនៅចន្លោះភ្នាសកោសិកាទាំងនោះបង្កឱ្យមានសម្ពាធអវិជ្ជមាននៅក្នុងទឹក។ ដោយទឹកច្រើនត្រូវបានភាយចេញពីភ្នាសកោសិកា ភាពកោងនៃចន្លោះខ្យល់ និងទឹកបង្កើនសម្ពាធទឹកឱ្យកាន់តែមានភាពអវិជ្ជមាន ដែលជាស្ថានភាពប្រហាក់ប្រហែលនឹងសម្ពាធទឹកក្នុងដី។

ទឹកមួយចំនួនដែលហូរឆ្ពោះទៅកាន់តំបន់ដែលហួតហែង មានប្រភពមកពីប្រូតូប្លាសនៃកោសិកានៅក្បែរតំបន់ហួតហែងនោះ។ ដោយសារតែស្លឹកត្រូវបានភ្ជាប់ទៅនឹងដីតាមរយៈលំនាំផ្លូវដែលមានភាពធន់ទ្រាំទាប (ស៊ីឡែម) ទឹកដែលហូរឆ្ពោះទៅស្លឹកដែលបាត់បង់ជាតិទឹកដោយសារការបំភាយចំហាយទឹក គឺមានប្រភពមកពីក្នុងដី។ ទឹកនឹងហូរពីដីទៅស្លឹក នៅពេលប៉ូតង់ស្យែលទឹកក្នុងស្លឹកមានកម្រិតទាបដើម្បីឆ្លើយតបនឹងតម្លៃសម្ពាធដី Ψ_s ក៏ដូចជាភាពធន់ទ្រាំដែលមានទំនាក់ទំនងជាមួយការផ្លាស់ទីទឹកក្នុងរុក្ខជាតិ។ ចូរចាំថាដើម្បីទាញយកទឹកពីដីបាន រុក្ខជាតិត្រូវតែមានប្រព័ន្ធបញ្ជូនទឹកពីក្នុងដីរហូតដល់ទីតាំងដែលហួតទឹក។

ទ្រឹស្តីភាពតានតឹងនៃកម្លាំងទំនាញបានបកស្រាយពី សារៈសំខាន់នៃចលនាទឹកឆ្លងកាត់រុក្ខជាតិអាចកើតឡើងដោយមិនត្រូវការថាមពលមេតាបូលីស។ ថាមពលដែលជំរុញឱ្យមានចលនាទឹកក្នុងរុក្ខជាតិគឺបានមកពីពន្លឺព្រះអាទិត្យតាមរយៈការបង្កើនសីតុណ្ហភាពរបស់ស្លឹក និងបរិយាកាសជុំវិញជាហេតុនាំអោយមានការហួតទឹក។ ទោះជាយ៉ាងណាក្តី ការដឹកជញ្ជូនទឹកកាត់តាមស៊ីឡែមមិនមែនកើតឡើងដោយឯកឯងនោះទេ។ រុក្ខជាតិត្រូវបង្កើតកញ្ចុំស៊ីឡែមដែលមានសមត្ថភាពទប់ទល់នឹងភាពតានតឹង នៅពេលរុក្ខជាតិទាញយកទឹកពីក្នុងដីឡើងមកស្លឹក។ លើសពីនេះទៅទៀត រុក្ខជាតិត្រូវតែប្រមូលផ្តុំសារធាតុរាវឱ្យគ្រប់គ្រាន់

នៅក្នុងកោសិកានីមួយៗ ដើម្បីរក្សាទំហំមាឌរបស់កោសិការុក្ខជាតិកុំអោយប្រែរូបរាងខណៈពេលដែលសម្ពាធទឹកបន្តថយចុះដោយសារការបំភាយចំហាយទឹក។

ជំពូកទី ៥
ការបំភាយទឹក

៥.១ ធម្មជាតិ នៃការបំភាយទឹក

តាមធម្មតាទឹកលើផែនដីមាន ដំណើរជាវដ្តតាមរយៈភ្លៀង ពពក បឹង ទន្លេ មហាសមុទ្រ ហើយជាពិសេសតាមដំណឹកនាំរបស់ រុក្ខជាតិយើង ហៅវាថាវដ្តទឹក។ ទឹកដែលបានបំភាយចេញពីដើមឈើ ដែលភាគច្រើនបានមកពីស្លឹក (ការបំភាយ)។ ការបំភាយទឹក គឺជាដំណើរការស្រដៀងនឹងរំហួត វាក៏ជាផ្នែកនៃវដ្តរបស់ទឹកផងដែរ ដែលការបំភាយគឺជាការ បាត់បង់ទឹកតាមផ្នែករបស់រុក្ខជាតិជាពិសេសនៅលើស្លឹក ដើម ផ្កា និងឫស។ នៅផ្ទៃស្លឹកមានស្តូម៉ាត ដែលមានតួនាទីជាកន្លែងធ្វើបណ្តូរឧស្ម័ន និងបំភាយចំហាយទឹក ហើយវាត្រូវបានត្រួតពិនិត្យដោយកោសិកាល្បាត មួយគូដែលមានរាងដូចជាគ្រាប់សណ្តែក តួនាទីរបស់ស្តូម៉ាតក៏បិទ បើកតាមតម្រូវការរុក្ខជាតិ។ ទឹកនិងសារជាតុ ខនិជត្រូវបានដឹកជញ្ជូនពីឫសទៅស្លឹក និងផ្នែកផ្សេងៗតាមរយៈស៊ីឡែម។ ការបំភាយទឹកមានសារៈសំខាន់ ណាស់សម្រាប់រុក្ខជាតិ ដែលធ្វើអោយរុក្ខជាតិមានតុល្យភាពក្នុងកោសិកា ការដុះលូតលាស់ល្អរឹងមាំ ការពារការជាំទឹកនិងការខ្សោះជាតិទឹកក្នុងកោសិកា បង្កើនកម្លាំងស្រូបទឹកពីជម្រៅដីទៅដល់ស្លឹកបានយ៉ាងងាយ ទាំងដើមទាបខ្ពស់ នាំទឹកទៅចូលរួមក្នុងដំណើរបណ្តូរនិងសំយោគរូបជាតុ និងធ្វើអោយកោសិការុក្ខជាតិ ត្រជាក់រក្សាកុំឱ្យមានការខូចទ្រង់ទ្រាយកោសិកាជាពិសេសពេលថ្ងៃក្តៅខ្លាំង។

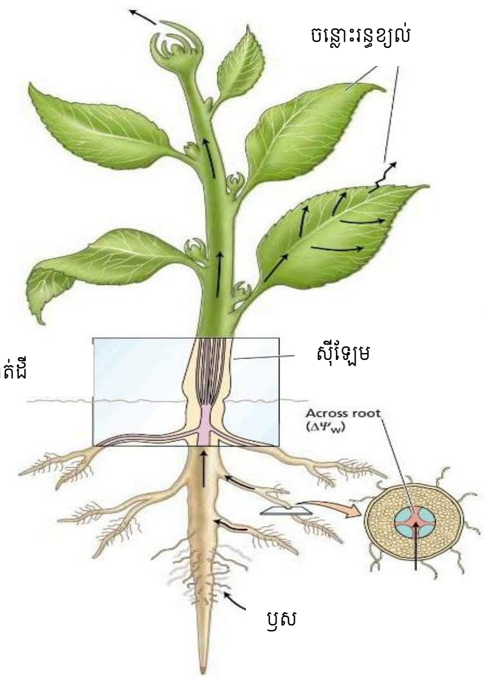
៥.២ ការបំភាយទឹក និងការរំហួតទឹក

ការបំភាយទឹក របស់រុក្ខជាតិកើតឡើងនៅពេលរុក្ខជាតិធ្វើដំណកដង្ហើម ហើយការបំភាយចេញពីសរីរាង្គរបស់ រុក្ខជាតិ(ស្លឹក ដើម ផ្លែ ផ្កា)។ ចំណែកការរំហួតទឹក មកពីការហួតនៃទឹកពីក្នុងដីនិងការរំភាយរបស់រុក្ខជាតិ ហើយការរំហួតមិនមែនមានចំពោះតែពីក្នុងដីនិងរុក្ខជាតិប៉ុណ្ណោះទេ វាមានគ្រប់ស្ទើរគ្រប់ទីកន្លែង ការរំភាយទឹក ចេញពីស្លឹករុក្ខជាតិជាផ្នែកមួយនៃការរំហួត។ តាមការសិក្សាការរំភាយទឹកប្រហែលជា ១០ភាគរយនៃសំណើមបរិយាកាសនិង៩០ភាគរយទៀតបានមកពីមហាសមុទ្រ សមុទ្រ ផ្នែកៗផ្សេងទៀត (ទន្លេ ស្ទឹង ស្រះ) និងការលោយនៃទឹកកក។ ទឹកត្រូវបានស្រោចស្រពសម្រាប់ដំណាំ ប៉ុន្តែទឹកមួយផ្នែកត្រូវបានស្រូបដោយរុក្ខជាតិ និងមួយផ្នែកផ្សេងទៀតត្រូវបានរំហួតទៅវិញតាមរយៈដី។ ទឹកដែលបានស្រូបដោយរុក្ខជាតិ តាមរយៈឫស (បាច់សរសៃនាំស៊ីឡែម) ទៅកាន់ដើម និងស្លឹក។ ទឹកទាំងនោះត្រឡប់មកក្នុងបរិយាកាស វិញតាមទម្រង់ជាការរំភាយ។ អត្រានៃការរំភាយអាស្រ័យទៅលើ សីតុណ្ហភាព សំណើមបរិយាកាស អាំងតង់ស៊ីតេពន្លឺ ប្រភេទដី ខ្យល់ សម្ពាធបរិយាកាស ទឹកដែលមានក្នុងដី។ ទឹកត្រូវបានស្រូបដោយឫសចូលរួមបរិមាណយ៉ាងច្រើនពីក្នុងដី។ បរិមាណទឹកទាំងនោះមានចំនួនតិចតួចណាស់ដែលចូល

រួមទៅក្នុងធាតុផ្សំរបស់រុក្ខជាតិ ឬចូលរួមទៅក្នុងការផលិតកាបូអ៊ីដ្រាត។ ភាគច្រើននៃទឹកទាំងនោះត្រូវបានបាត់បង់ដោយសារសរីរាង្គផ្នែកស្លឹករបស់រុក្ខជាតិនៅក្នុងទម្រង់ជាចំហាយ។

ការបំភាយទឹក គឺការបញ្ចេញទឹកតាមស្លឹក កើតឡើងតាមរយៈរន្ធស្តូម៉ាត។ **ការរំភាយ** គឺជាដំណើរដែល ស្រដៀងទៅការរំហួតដែរ។ វាគឺជាផ្នែកមួយនៃវដ្តទឹក ហើយវាគឺជាការបាត់បង់ចំហាយទឹកពីផ្នែកខ្លះនៃ រុក្ខជាតិ (ស្រដៀងនឹងការបែកញើស) ជាពិសេសនៅក្នុងទឹក ប៉ុន្តែក៏មាននៅក្នុងដើម ផ្កា និងឫស។ ផ្ទៃខាងលើរបស់ស្លឹក ដែលមានរន្ធតូចៗបើក ដែលហៅថា **ស្តូម៉ាត** ហើយភាគច្រើនវាស្ថិតនៅផ្នែកខាងក្រោមរបស់ស្លឹកឈើ។ ស្តូម៉ាត គឺជារបាំងដែលមានកោសិកាអាចបិទឬបើករន្ធ។ ការរំភាយចេញពីស្លឹករុក្ខជាតិមានដំណើរការតាមរយៈស្តូម៉ាត ដែលអាចកើតដែលមានការរួមចំណែកពីការបើករន្ធស្តូម៉ាត អាចឱ្យមានការបញ្ចេញឧស្ម័នកាបូនឌីអុកស៊ីតទៅក្នុងខ្យល់ដើម្បីធ្វើរស្មីសំយោគ។ ការរំភាយបានធ្វើឱ្យ ដើមមានភាពត្រជាក់ ដែលជួយដំណើរអូស្មូស បញ្ចូលសារជាតុចិញ្ចឹមនិង ទឹកពីឫសទៅត្រួយបាន។ ការបំភាយទឹកទោះជាយ៉ាងណាក៏ដោយមិនមែនជាដំណើររូប ដូចការរំហួតចំហាយទឹក (Evaporation) នោះទេ ប៉ុន្តែវាជាបាតុភូតមានជីវិតដែលកំណត់ និងត្រួតពិនិត្យដោយកោសិកា។ ការបំភាយទឹក អាចឱ្យយើងដឹងយ៉ាងច្បាស់ដោយដាក់ផើងរុក្ខជាតិមួយក្នុងក្រឡកែវមួយ។ ដីនៅក្នុងផើងត្រូវគ្របបន្ទះ កៅស៊ូ ដើម្បីការពារការ បំភាយទឹកពីក្នុងផើង។ នៅក្នុងរយៈពេលដ៏ខ្លីមួយដំណក់ទឹក នឹងកើតមានឡើងនៅផ្ទៃ ផ្នែកក្នុងនៃក្រឡកែវ។ ទឹកទាំងនេះកើតឡើងពីសរីរាង្គផ្នែកស្លឹកនៃរុក្ខជាតិ។ បរិមាណទឹកដែលបាត់បង់ដោយសារ ការបំភាយទឹកមានចំនួនច្រើន។ វាមានចំនួនខុសពី ម៉ាសស្ងួតរបស់រុក្ខជាតិរាប់រយដង។

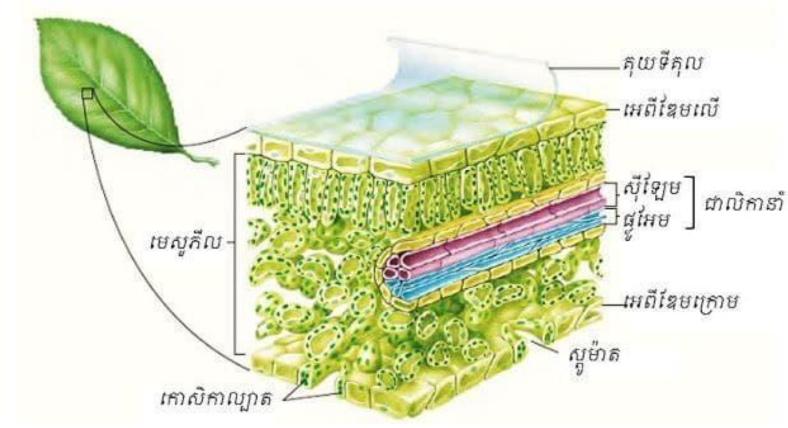
រូបភាពទី៥.១៖ បង្ហាញពីលំហូរនៃទឹកពីក្នុងដីចូលទៅក្នុងរុក្ខជាតិ ហើយបំភាយមកបរិយាកាសវិញ



៥.៣ ប្រភេទនៃការបំភាយទឹក

សរីរាង្គផ្នែកខាងលើទាំងអស់ របស់រុក្ខជាតិអាចបំភាយទឹក។ ការបំភាយទឹកស្ទើរតែទាំងអស់ ភាគច្រើនកើតមាននៅលើស្លឹក។ ការបំភាយទឹកមាន២ប្រភេទគឺ តាមស្តូម៉ាតា (Stomata) (ទឹកដែលចេញតាមរយៈស្តូម៉ាត នៃអេពីឌែមស្លឹក) និងក្នាសអេពីឌែម (Cuticular) (ទឹកដែលបញ្ចេញតាមរយៈស្រទាប់ខាងលើនៃរុក្ខជាតិ ដែលប្រេះ របើករន្ធតូចៗ ហើយក្នាសនៃផ្ទៃខាងលើរបស់ស្លឹក មែក និងដើម)។ ចំពោះរុក្ខជាតិ ដែលមានដំណុះពីគ្រាប់ (ដូចជាពពួកកូទីលេដុងពីរ) ដែលអាចមានរំភាយនៃលេនទីឃ្យូលល័រ (ទឹកចេញពីកោសិកា ឡង់ទីសែល)ដែលស្ថិតនៅស្រទាប់អេពីឌែមរបស់ជាងឬក៏ឫស។នៅចន្លោះអេពីឌែមផ្នែកខាងលើ និងផ្នែកខាង ក្រោមផ្ទៃស្លឹកគឺកោសិកាមេសូភីល (Mesophyll) ដែលពោរពេញដោយកោសិកាជាច្រើនដែលតម្រៀបគ្នា មិនណែននិងមានចន្លោះកោសិកា។ ចន្លោះដែលមានខ្យល់នេះជាប់គ្នាទៅនឹងបរិយាកាសខាងក្រៅ ដោយរន្ធដំណកដង្ហើម (Breathing pores) តូចៗ ឬស្តូម៉ាតាជាច្រើននៅក្នុងអេពីឌែមរបស់ស្លឹក។ នៅចន្លោះអេពីឌែមផ្នែកខាងលើនិង ខាងក្រោម ផ្ទៃស្លឹកគឺជាមេសូភីល (Mesophyll)។ មេសូភីល (Mesophyll) មាន ២ប្រភេទជា មេសូភីលប៉ាលីសាត បង្កឡើងពីកោសិកាផ្ទុកក្លរ៉ូប្លាស រាងទ្រវែងតម្រៀបកៀកៗគ្នា។ ស្រទាប់មេសូភីលផ្ទុកក្លរ៉ូប្លាសដែល ប្លាសផ្ទុកជាតិពណ៌ បៃតងហៅថាក្លរ៉ូភីល មាននាទីចាប់យកពន្លឺធ្វើរស្មីសំយោគ។ ចំណែកមេសូភីលស្ពោត បង្កពីកោសិកាផ្ទុក ក្លរ៉ូប្លាសរាងមិនទៀងទាត់តម្រៀបឃ្លាតគ្នា ដែលបង្កើតអោយមានលំហផ្ទុកឧស្ម័ន។ នៅស្រទាប់មេសូភីល នៃស្លឹករុក្ខជាតិ មានបាច់សរសៃនាំ(ទ្រនុងស្លឹក) ដែលកើតឡើងពីជាលិកានាំ ស៊ីឡែម និងផ្លូអែម។

តាមបណ្តោយកោសិកាមេសូភីល (Mesophyll) ត្រូវបានផ្តល់ទឹកដោយស៊ីឡែម (Xylem) របស់ទ្រនុងស្លឹកតាមសំណាយភាយអូស្មូស។ វាពោរពេញទៅដោយភាពឆ្អែតនៃទឹក។ ទឹកត្រូវបានបំភាយពីក្នាសដែលមាន សំណើមព័ទ្ធជុំវិញនៅក្នុងកោសិកាមេសូភីល (Mesophyll) នោះពោរពេញទៅដោយចំហាយទឹកហើយក៏បំភាយមកបរិយាកាសខាងក្រៅ។ បរិយាកាសខាងក្រៅ ជាទូទៅមិនមានភាពឆ្អែតនៃចំហាយទឹកឡើយ។ បាតុភូតខាងលើនេះបណ្តាលឱ្យមានការសាយភាយចំហាយទឹក ពីចន្លោះកោសិកាទៅបរិយាកាសខាងក្រៅតាមស្តូម៉ាតា (Stomata)។ នេះគឺជាការបំភាយទឹក តាមស្តូម៉ាត (Stomatal transpiration)។ ជាលទ្ធផលសំណាយភាយ ទឹកនៅផ្នែកខាងក្រៅធ្វើឱ្យកំហាប់ នៃចំហាយទឹកនៅចន្លោះកោសិកាថយចុះដែលធ្វើអោយការបំភាយទឹកពីកោសិកា Mesophyll កើតឡើង។



រូបភាពទី៥.២៖ ទិដ្ឋភាពនៃកោសិកាមេសូភីល (Mesophyll)

ការបំភាយទឹកខ្លះ កើតឡើងដោយការបំភាយចំហាយទឹកផ្ទាល់ពីភ្នាសផ្នែកខាងក្រៅនៃអេពីឌែមកោសិកា។ នេះគឺជាការបំភាយទឹកតាមភ្នាសអេពីឌែម។ ភ្នាសកោសិកាមិនអនុញ្ញាតឱ្យទឹកឆ្លងកាត់បានងាយស្រួលឡើយបរិមាណទឹកដែលបំភាយតាមភ្នាសនោះមានបរិមាណតិច ហើយវាអាស្រ័យទៅ នឹងកម្រាស់នៃភ្នាសនោះ។ ចំពោះរុក្ខជាតិដែលដុះធម្មតា នៅលើដីជាទូទៅការបំភាយកើតឡើងតាមរន្ធស្តូម៉ាត (Stomata) ឯតាមភ្នាសអេពីឌែមវិញមានប្រមាណតែពី ៣ ទៅ ១០ ភាគរយនៃចំនួនសរុបប៉ុណ្ណោះ។ ចំពោះរុក្ខជាតិ តូចៗដែលដុះនៅកន្លែងដែលមានសំណើមខ្ពស់ ឬក្នុងម្លប់ភ្នាសអេពីឌែម នៃកោសិកាមានតិចឬក៏គ្មាន ដូច្នេះការបំភាយទឹកតាមភ្នាស ស្ទើរតែស្មើនិងការបំភាយទឹកតាមរន្ធស្តូម៉ាត (Stomate)។ ការបំភាយទឹកពីដើមផ្លែ និងផ្កា ជាទូទៅជាការបំភាយទឹកតាមភ្នាសប៉ុន្តែចំពោះរុក្ខជាតិតូចៗផ្នែកទាំងនោះមាន រន្ធស្តូម៉ាត (Stomate) ដូច្នេះការបំភាយទឹករន្ធស្តូម៉ាត (Stomata) ក៏កើតមានដែរ។ ចំពោះរុក្ខជាតិដែលមានជាតិឈើ ការបំភាយទឹក ខ្លះក៏កើតឡើងតាមសំបកដែរ។ ការបំភាយទឹកបែបនេះគឺការបំភាយទឹកតាមសំ បក។

ជាតុដែលហូរតាមទឹកពីឫសទៅកាន់ស្លឹក ដែលដឹកនាំទៅផ្នែកផ្សេងដោយ Capillary action។ រុក្ខជាតិថ្នាក់ខ្ពស់ឬ មានដើមធំ បានជំរុញឱ្យមានទំនាញ ដែលបានមកពីថយចុះ នៃសម្ពាធទឹកនៅផ្នែកខាងលើរបស់រុក្ខជាតិ បណ្តាលឱ្យមានការបំភាយទឹកចេញពីស្តូម៉ាតទៅក្នុងបរិយាកាស។ ទឹកត្រូវបានស្រូបតាមរយៈឫសដោយអូស្មូស ហើយរំលាយសារជាតុរ៉ែជីវជាតិ បញ្ចូលតាមស៊ីឡែម។

សរុបសេចក្តីមក ការបំភាយគឺពិតជាសំខាន់សំរាប់ជីវិតរុក្ខជាតិ (១) បន្តឱ្យមានការផ្គត់ផ្គង់និងចលនារបស់ទឹក លើសពីអាចរក្សាសម្ពាធទូហ្គោ និង សារជាតុចិញ្ចឹម (២) វាជួយគ្រប់គ្រង់កម្រិតស្តេរភាពរបស់កោសិកា និងទឹក (៣) រក្សាភាពត្រជាក់នៃស្លឹកដែលស្ថិតក្រោមកម្តៅដែលបញ្ចេញចំហាយទឹក៧០% នៃការស្រូបថាមពលរបស់ស្លឹក(មានការបំភាយខ្លាំង ទោះបីជាអាចឱ្យជាលិកាខ្វះជាតិទឹកក៏ដោយ)។

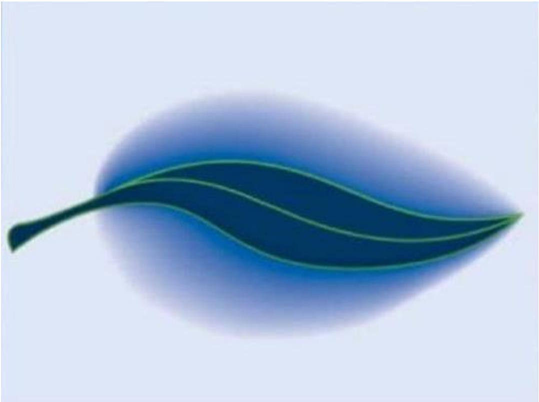
៥.៤ អត្រានៃការបំភាយទឹក

អត្រានៃការបំភាយទឹក នៅក្នុងរុក្ខជាតិពេលថ្ងៃខ្ពស់ជាងពេលយប់។ ដោយសារនៅទីងងឹតការបំភាយទឹកតាមស្តូម៉ាតត្រូវបានឈប់ព្រោះវា ពុំសូវឥទ្ធិពលពីកត្តាមួយចំនួនដូចជារុក្ខជាតិដែលត្រូវការភាពត្រជាក់។ អត្រានៃការ បំភាយទឹកចាប់ផ្តើមកើនឡើងយ៉ាងរហ័ស នៅពេលព្រឹកនិងបន្ទាប់មកយឺតបន្តិចម្តងៗរហូតដល់អតិបរមានៅ ពេលថ្ងៃត្រង់។ ពីចំណុចអតិបរមានេះអត្រារបស់វាបានចាប់ផ្តើម ថយចុះរហូតដល់អប្បរមា និងចាប់ផ្តើមឡើងវិញនៅព្រឹកបន្ទាប់។ ចំពោះកំឡុងពេលប្រចាំរដូវអត្រានៃការបំភាយទឹកកើនឡើងនៅរដូវក្តៅ និងថយចុះទៅវិញនៅ រដូវភ្លៀងដោយសារសំណើមបរិយាកាសខ្ពស់។

៥.៤.១ ភាពធន់ទ្រាំនៃការបំភាយ

ការបញ្ជូនទឹក មានល្បឿនខុសគ្នាអាស្រ័យទៅតាមរុក្ខជាតិ។ ការដឹកនាំទឹកមាន ល្បឿនកើនឡើងនៅដើមឈើ។ ឧទាហរណ៍៖ អត្រានៃការបញ្ជូនទឹកពីសរសៃបំពង់នាំ របស់ដើមថ្នាំជក់ (Tobacco) គឺ ១០០ ស.ម/ម, ដើមរាំង (Sycamore) គឺ ២៤០ ស.ម/ម ដើមសែន (Oak) កើនល្បឿន ដល់ ៤៥០០ ស.ម/ម។ ការបំភាយទឹក គឺបានមកពីការកំណត់ដោយភាពធន់របស់ ស្តូម៉ាតានិង ស្រទាប់ភ្នាស។ ភាពធន់របស់ ផ្នែកសំខាន់ទាំងពីរនេះដែលបំភាយទឹកចេញពីស្លឹក។ ស្រទាប់ភ្នាសរបស់ស្លឹកគឺ ស្តើង ឬក៏ហ៊ុមព័ទ្ធដោយខ្យល់នៅផ្ទៃស្លឹកខាងលើហើយភាពធន់ទៅនឹងការបំភាយទឹកអាចបញ្ជាក់បឋមរបស់ល្បឿនខ្យល់ គឺវាសមាមាត្រទៅនឹងកម្រាស់របស់វា។ បើទោះបីជាខ្យល់បានបន្ថយនៅស្រទាប់ភ្នាស ប៉ុន្តែអត្រាការបំភាយ នឹងមានកើនឡើង។ ភាពធន់នៃស្តូម៉ាត គឺអាស្រ័យទៅលើប្រព្រឹត្តកម្មរបស់ស្តូម៉ាតាផ្ទាល់ ដែលសន្ទត់របាំង បិទរបស់ស្តូម៉ាត។

រូបភាពទី៥. ៣៖ បង្ហាញពីការហ៊ុមព័ទ្ធនៃខ្យល់ជុំវិញផ្ទៃស្លឹក



៥.៤.២ ដំណឹកនាំតាមភ្នាស (ភ្នាសសែលុយឡូស)

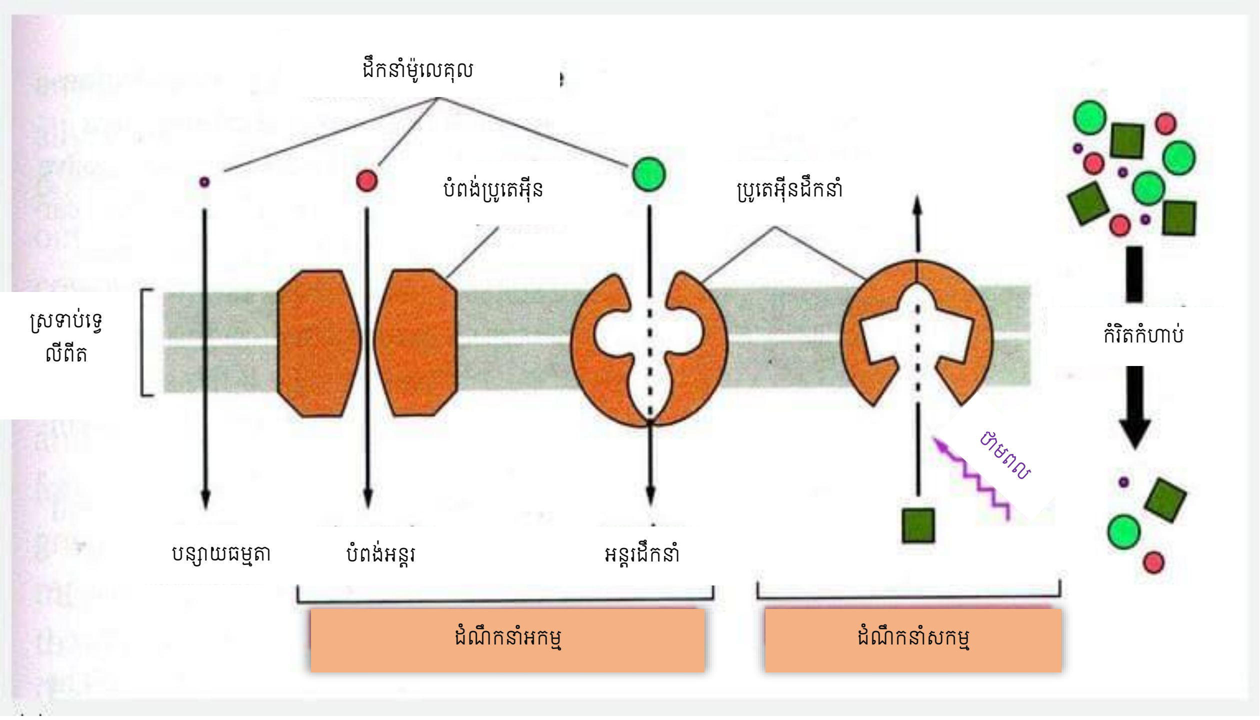
ដំណឹកនាំ ដែលបានប្រើប្រាស់ជាក់លាក់លើលំហូរចន្លោះផ្នែក ខុសគ្នានៅក្នុងប្រព័ន្ធជីវសាស្ត្រ។ វាអាច កើតឡើងនៅចន្លោះផ្នែកខាងក្នុងនិងខាងក្រៅរុក្ខជាតិ ឬ ចំនុចខុសគ្នាពីរនៃរុក្ខជាតិ ឬក៏ចន្លោះកោសិ

កា ហើយនិង មជ្ឈដ្ឋានសែលុយឡូសលើស។ វាស្ថិតនៅកម្រិតនៃសែលុយឡូស ដែលស្ថិតនៅចំណុចមានកម្រិតខ្ពស់ ដំណឹកនាំ នឹងកើតឡើង។

ដំណឹកនាំអាចជា៖

ក. ដំណឹកនាំអកម្ម ជាដំណើរកើតឡើងដោយឯកឯង គ្មានដំណើរការរបស់កោសិកា ដំណើរការស្ថិត ក្រោមជាតុគីមី ឬសរីរាង្គបន្សាយដូចជាការបំភាយដែរ។

ខ. ដំណឹកនាំសកម្ម តម្រូវឱ្យការចូលរួមដោយផ្ទាល់ពីកម្លាំងសែលុយឡូស ហើយនឹងមិនកើតឡើងដោយឯកឯង ដំណើរការដោយផ្អែកលើអេឡិចត្រូគីមីបន្សាយ ជាទីកន្លែងប្រូតុងស្រូបយកដែលដើរតួជា ផ្នែកសំខាន់។



រូបភាពទី៥.៤៖ បង្ហាញពីការដឹកនាំអសកម្ម និងសកម្មនៃអ៊ីយ៉ុងឆ្លងកាត់ភ្នាស

ភ្នាសកោសិកា និងភ្នាសសំខាន់ផ្សេងទៀតជាអ្នកគ្រប់គ្រងដំណឹកនាំចន្លោះកោសិកា។ ប្រូតុងអេឡិចត្រូសែនិច ដឹកនាំជាតុសំខាន់ៗរបស់ភ្នាសសំខាន់ៗ។ ភ្នាស ឬដំណឹកនាំប្រូតេអ៊ីន ជំរុញឱ្យចលនាដឹកនាំសារជាតុឆ្លងកាត់ពួកវា។ ចលនា(ចលនាពីផ្នែកនីមួយៗ) គឺត្រូវបានជ្រើសរើសយ៉ាងល្អិតល្អន់ ដូចជាដំណឹក ប្រូតេអ៊ីន ដែលជាសារជាតុដែលត្រូវការក្នុងដំណឹកនាំ ដូច្នេះដំណឹកនាំប្រូតេអ៊ីនដែលគេបានហៅថា បំពង់បង្ហូរ និង អង្គជាតុនាំប្រូតេអ៊ីន។

បំពង់បង្ហូរ និងអង្គធាតុដឹកនាំដើរតួជាភ្នាសបង្ហូរ ដែលអាចឱ្យម៉ូលេគុលឆ្លងកាត់បាន។ បំពង់បង្ហូរប្រូតេអ៊ីនមានរន្ធ(ឬចន្លោះដែលអាចបើកបិទ) ដែលអ៊ីយ៉ុងឆ្លងកាត់ចុះទៅកាន់លំហូរអេឡិចត្រូគីមី ដោយការបំភាយធម្មតា។ អង្គធាតុនាំប្រូតេអ៊ីននៅផ្នែកមួយទៀត ចងភ្ជាប់ម៉ូលេគុលដំណឹកនាំនៅផ្នែកខាងចុងនៃភ្នាស ហើយបើកនៅផ្នែកម្ខាងទៀតដើម្បីសម្រួលដល់ការបំភាយ។ ប្រភេទនៃការបំភាយទាំងពីរនេះ គឺមានភាពអសកម្ម ក្រោមដំណើរអង្គធាតុនាំជាអ្នកសម្របសម្រួល ដឹកនាំដែលត្រូវការថាមពលដើម្បីឱ្យសារធាតុសូលុយស្យុង ប្រឆាំងទៅសារធាតុគីមី ឬ អេឡិត្រូគីមីហូរ ដែលបញ្ជាក់ថា ជាដំណឹកនាំសកម្មហើយ នឹងអង្គធាតុនាំដើរតួជាអ្នកដែលបឺតស្រូបផងដែរ(រូបភាព ៥.៥)។ ការបឺតស្រូបសំខាន់មួយជាលក្ខណៈពិសេសរបស់ភ្នាសកោសិការុក្ខជាតិ ដែលមានឥទ្ធិពលដល់ការដឹកនាំសារធាតុរ៉ែខុសគ្នាជាច្រើនទាំងនេះដូចប្រូតុងស្រូប(H^+) និង H^+-ATPase ។

៥.៤.៣ អ៊ីយ៉ុងដែលទទួលបានពីឫស

អំបិលខនិចដែលភាគច្រើនសំបូរសម្រាប់ឫសស្រូបយក ដែលបានពីសូលុយស្យុងរលាយក្នុងដី។ ស្លឹក តាមរយៈការដាក់ជាតុចិញ្ចឹមអាចស្រូបយកអ៊ីយ៉ុងតិចតួច។ សារធាតុដែលហូរទៅឫសមាន(១) ការបំភាយ ចេញតាមសូលុយស្យុងដី (២) ជាអ្នកដឹកនាំអកម្ម ដោយនាំទឹក ដែលភាគច្រើនហូរទៅឫស (៣) ការ លូតលាស់នៃឫសដើម្បីសមាមាត្រនឹងដើមសារធាតុដីភាគច្រើនដឹកនាំទៅកាន់សម្បក ឫសតាមរយៈសាំប្លាស (Symplast) និង អាប៉ូប្លាស្ទិច (Apoplast)។ ដំណឹកនាំវែងដែលដឹកដោយស៊ីឡែមដោយលំហូរម៉ាស និងសារធាតុចិញ្ចឹម ជាច្រើនត្រូវបានបញ្ជូន ទៅសរីរាង្គបញ្ជូនបន្ត។

ដំណឹកនាំសារធាតុចិញ្ចឹមបន្ថែមដែលបានពីស្លឹកចាស់ៗទៅបំពេញផ្នែក ត្រួយ ផ្លែ និង សារធាតុស្តុក ហើយត្រឡប់ទៅកាន់ឫសតាមផ្លូអែម។ ឥទ្ធិពលក្រោយដំណឹកពីស៊ីឡែមទៅផ្លូអែម ជានិច្ចកាលមានទំនាក់ទំនង នឹងវត្តមាន កោសិកានាំជំរុញសកម្មភាពបំបាត់អ៊ីយ៉ុងពីស៊ីឡែម។ របាំងរបស់កោសិកាត្រូវបានផ្សារភ្ជាប់មាំ ជាមួយ មីតូកុងទ្រី (Mitochondria) យ៉ាងច្រើន ដើម្បីទៅបំពេញ ATP ដែលចាំបាច់ក្នុងដំណើរដំណឹកនាំ។

៥.៤.៤ ការផ្លាស់ទីរបស់ផ្លូអែម

បំលាស់ទីរបស់ផ្លូអែមគឺជាចលនានៃផលិតផលពីដំណើររស្មីសំយោគបានមកពីស្លឹកពេញវ័យ ទៅផ្នែក លូតលាស់និង ស្តុកទុក។ វាកើតឡើងពីតំបន់សំរាប់ផលិតអាហារ ទៅតំបន់មេតាប៉ូលីសនិងស្តុក។ ការព្រួយ បារម្មណ៍លើជាលិកានៅក្នុងដំណើរការនេះគឺផ្លូអែមមានបំពង់វែងសារធាតុ កោសិកាដៃគូ កោសិកាប៉ារ៉ង់ស៊ីម ហើយនឹងសរសៃផ្លូអែម។ ខុសគ្នាពីស៊ីឡែម ជាកន្លែងដែលកាត់បន្ថយកោសិកា ដែលងាប់និងក្រៀម ហើយបំពង់ វែងសារធាតុ ដែលអាចរស់នៅក្នុងកោសិកា ដែលមានភាពជំនាញខ្លាំងសម្រាប់បម្លាស់ទី។ ប្រហោងកោសិកាតាម (Companion cell) ដែលតូចបំផុតក្នុងសរសៃរបស់ស្លឹក មានប្រតិកម្មខ្លាំងក្នុង

សូលុយស្យុងដែលផ្ទុក ហើយក្លាយ ជាអ្នកឯកទេសបង្កើតកោសិកានាំ។ ផ្លូវអែមក៏ជាអ្នកចែកចាយទឹក និងសារធាតុរ៉ែទៅសារពាង្គកាយរបស់រុក្ខជាតិ។

៥.៤.៥ ផ្លូវអែម បម្លាស់ទីមេកានិចក្នុងបំពង់ប្រហោង

សម្ពាធនៃការហូរ ឬក៏ភាគច្រើននៃការហូរ តាមរយៈសម្មតិកម្មចេញដោយ E. Munch ឆ្នាំ១៩៣០ និយាយថាការហូររបស់សូលុយស្យុងនៅក្នុងនៃជាតុបំពង់ប្រហោង (Sieve tunes) ដឹកនាំដោយការបង្កើតសម្ពាធ បន្សាយអូស្មូសចន្លោះ ប្រភពនិង ស៊ីង(sink)។ នេះគឺជាសម្មតិកម្មថ្មីដែលអាច ទទួលយកបានបើប្រៀបធៀប សម្មតិកម្មដទៃ (ទ្រឹស្តីបទ Electroosmotic ឬ ទ្រឹស្តីបទ Protoplasmic streaming) ។ បើយោងតាមសម្មតិកម្មសម្ពាធទឹកហូរៈ

ក. សម្ពាធបន្សាយមាននៅក្នុងបំពង់ប្រហោង (Sieve tunes) (ឧ. 0.0៣-0.0៥ MPa/m)

ខ. ទឹកនិង សូលុយស្យុង ហូរជាមួយគ្នាក្នុងទិសដៅតែមួយ កម្រិតដែលដូចគ្នាទៅបំពង់ប្រហោង (Sieve tunes)

គ. ផ្លាស់ទីដំណាលគ្នាតាមទិសដៅផ្ទុយគ្នា ឬហូរពីផ្លូវប៉ុន្តែខុសបំពង់គ្នា។

ចលនាក្នុងទិសដៅពីរ ៖ ចលនារបស់រូបជាតុសរីរាង្គក្នុងរុក្ខជាតិ គឺមានទិសដៅចំនួនពីរដែលក្នុងនេះមានសមាសជាតុដែលធ្វើដំណើរលើទិសផ្ទុយនៅមែកក្នុងពេលតែមួយ រស្មីសំយោគដែលបានពីស្លឹកអាចនឹងបញ្ជូន ទៅឫស ឬក៏វាបញ្ជូនទៅផ្នែកដែលលូតលាស់ ដែលមានដូចជា ផ្កា ស្លឹកខ្ចី ឬផ្លែ ។ ចលនារបស់សារជាតុសរីរាង្គ ដែលមានក្នុងទីតាំងស្តុកដែលមានដូចជា ឫសកែវ កំពកឫស មើមដែលជាសារជាតុចិញ្ចឹមគ្រាប់ ដើម្បី លូតលាស់ឡើងលើ។ ការបម្លាស់ទីនៃសារជាតុចេញពីស្លឹកចាស់ ហើយបង្កើតស្លឹកថ្មីដើម្បីឱ្យសកម្មភាពដុះដាលនៃចលនាឡើងពីមុន។ នៅក្នុងការសិក្សារបស់ការបម្លាស់ទីរបស់ផ្លូវអែមក្នុង ដើមសណ្តែក (Biddulph and Cory) ដោយប្រើប្រាស់កាបូនវិទ្យុសកម្ម ឬផ្គត់ផ្គង់ឧស្ម័នកាបូនិចដោយបច្ចេកទេសចំណាំងពន្លឺ បង្ហាញថាស្លឹកដែលនៅជិតឫសបំផុតធ្វើមេតាប៉ូលីសមុនគេដើម្បីបញ្ជូនទៅឫស ហើយស្លឹកដែលនៅចុងដើមបញ្ជូនទៅកាន់មែក ហើយស្លឹកដែលនៅពាក់កណ្តាលដើមគឺបញ្ជូនទៅផ្នែកទាំងពីរ។

ដំណើររបស់ស្ករនៅក្នុងផ្លូវអែម ចេញពីប្រភពសារជាតុជាទីកន្លែងៈ

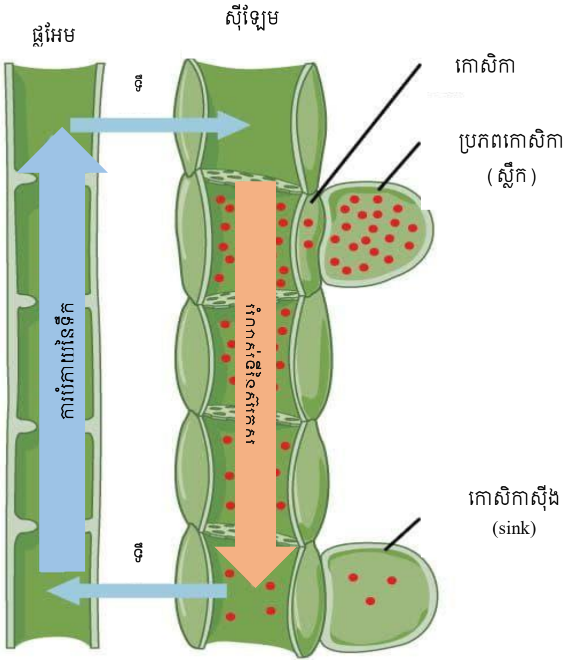
ក. ដែលស្ករអាចបញ្ចេញ(ដំណឹកនាំសកម្ម) ទៅកាន់បំពង់ប្រហោង (Sieve tunes) ។ ការផ្ទុកទុករបស់ ផ្លូវអែមបានកំណត់ទឹកនៃបន្សាយសំខាន់ដែលជួយដល់ចលនារបស់ទឹកចូលទៅកាន់កម្រាស់ផ្លូវអែម ដែលបានពីស៊ីឡែម។

ខ.សម្ពាធរបស់អ៊ីដ្រូស្តែននៅក្នុងបំពង់ប្រហោង (Sieve tunes) ផ្លូវអែមបានកើនឡើង ដែលចាប់ផ្តើម ឱ្យមានសម្ពាធនៃការហូរ

គ. ហើយស្ករលោយហូរតាមផ្លូវអែមរហូតដល់ស៊ីង (Sink)

ឃ.វត្តមានស្ករធ្វើឱ្យដំណើកនាំសកម្មចេញពីផ្លូវអែម ហើយបំបាត់នូវទម្រង់របស់កាបូនអ៊ី ដ្រាត។ ការបាត់បង់ការផលិតសូលុយស្យុងនៃកម្រិតទឹកខ្ពស់នៅក្នុងផ្លូវអែម ហើយទឹកនឹងហូរចេញ

ង. ការហូរត្រឡប់ទៅស៊ីឡែមវិញ



រូបភាពទី៥.៥៖ បង្ហាញពីដំណើរការនៃការដឹកជញ្ជូនទឹក និងស៊ុចក្រូស

មានវិធីបួន ដែលជាទូទៅត្រូវបានគេយកមកប្រើសម្រាប់វាស់ការបំភាយទឹក វិធីក្រាវីម៉ែត្រ ការប្រមូលនិង ថ្លឹងទឹកដែលបំភាយ វិធីប្រើកូបាល់ក្លរីដ និង វិធីប៉ូតូម៉ែត្រ ប៉ុន្តែមានវិធីមួយទេដែលមានលទ្ធផលពិតឯវិធីបី ទៀតនៅមិនទាន់មានការឯកភាពឡើយ។

ក. វិធីក្រាវីម៉ែត្រ

វិធីនេះគេអោយឈ្មោះ ម្យ៉ាងទៀតថាវិធីលីស៊ីម៉ែត្រ។ វិធីនេះសាមញ្ញ ហើយមានភាពត្រឹមត្រូវជាបង្គួរ។ យកផើងមួយដែលមានរុក្ខជាតិរួចយក បន្ទះប៉ូលីកែនមកគ្របផើងអោយជិតហើយការពារការ បំភាយចំហាយ ទឹកពីក្នុងផើង។ រុក្ខជាតិទុកអោយនៅកណ្ដាលវាល។ ធ្វើដូចនេះបញ្ជាក់ថាទឹក ដែលបាត់បង់ដោយសារការបំភាយចំហាយនោះគឺមានតាមរុក្ខជាតិតែប៉ុណ្ណោះ។ ឥឡូវនេះផើងស្ថិតនៅក្នុងលំហធម្មជាតិ។ គេត្រូវថ្លឹងវាក្នុងចន្លោះពេលមួយម៉ោងបន្ទាប់។ ការបាត់បង់ទម្ងន់របស់វាបញ្ជាក់ថាជាការបាត់បរិមាណទឹក ដោយសារការបំភាយទឹក។ ជាមួយគ្នានោះគេអាចគណនាក្រឡាផ្ទៃស្លឹកសរុបដោយផ្ទែកស្លឹកទាំងអស់ទៅត្រដាង លើក្រដាស មីលីម៉ែត្រ។ ធ្វើដូច្នេះគេអាចគណនាបរិមាណទឹកជាក្រាម (g) ដែលបំភាយនៅលើផ្ទៃស្លឹកជា ស.ម៣ (cm^3) ក្នុងមួយម៉ោង ($g/cm^3/h$)។ នេះជាអត្រានៃការបំភាយទឹក។

វិធីនេះមានភាពពិតជាបង្គួរដែរ តែអាចមានគុណវិបត្តិខ្លះដូចជា៖

- វិធីនេះមិនអាចអនុវត្តបានចំពោះរុក្ខជាតិដែលដុះនៅតាមស្រែចម្ការ

– វិធីនេះមិនអាចរាប់ចំនួនការបាត់បង់ ម៉ាសដោយដំណើរដំណកដង្ហើម និងការកើនមាឌដោយដំណើរ រស្មីសំយោគ។

ទោះជាយ៉ាងណាក៏ដោយការបាត់បង់ ឬការកើនមាឌដែលបណ្តាលមកពីដំណើរទាំងពីរមានតិចតួចណាស់ បើប្រៀបធៀបទៅនឹងការបាត់បង់ទឹកដោយការបំភាយទឹកនៅក្នុងរយៈពេលខ្លី (១ម៉ោង)។ ដូច្នេះហើយវិធីនេះ មិនទាន់ពិតទាំងស្រុងនោះឡើយ។

៥.៥ ទម្រង់នៃរន្ធស្តូម៉ាត

៥.៥.១ ចំនួន និងដង់ស៊ីតេនៃរន្ធស្តូម៉ាត

ស្តូម៉ាតា ជាផ្លូវមួយយ៉ាងសំខាន់សម្រាប់បំភាយទឹក និងបំលាស់ប្តូរឧស្ម័ននៅពេលមានដំណើរដំណក ដង្ហើមនិងរស្មីសំយោគកើតឡើង។ ស្តូម៉ាតជារន្ធមួយតូចមានរាងជាអេលីប ស្ថិតនៅក្នុងអេពីឌែមនៃកោសិកា ផ្ទៃស្លឹកផ្នែកខាងក្រោម និងខាងលើតិចតួច។ ស្តូម៉ាត (ឯកវចនៈរបស់ស្តូម៉ាតា) មានកោសិកាអេពីឌែមព័ទ្ធ ជុំវិញឱ្យឈ្មោះថាកោសិកាការពារ (Guard Cells)។ កោសិកាការពារមានទំហំតូចជាងកោសិកាអេពីឌែម ដទៃទៀតហើយមើលពីលើទៅមានរាងដូចតំរង់ម៉ូដ។ ប្រភេទរុក្ខជាតិខ្លះជាពិសេសពពួកស្មៅកោសិកាអេពីឌែម ដែលនៅជិតកោសិកាការពារមានរូបរាង និងទំហំខុស ពីកោសិកាអេពីឌែមដទៃទៀតកោសិកា ទាំងនោះឱ្យ ឈ្មោះថាកោសិកាគួបផ្សំ (Subsidiary cells or accessory cells)។ រុក្ខជាតិជាច្រើនឧទាហរណ៍៖ ដូចជាពពួក រុក្ខជាតិដែលស្ថិតនៅក្នុងសណ្តានស្មៅ កោសិកាការពារ របស់វាមានរាងទ្រ វែង។ កោសិកាការពារខុសពី កោសិកាអេពីឌែមត្រង់ រូបរាង ជាតុផ្សំមេតាប៉ូលីស។ វាផ្សំឡើង ដោយ Mitochondria, Peroxisomes and ER (Endoplasmi Recticulum)។ កាលណាក្លរ៉ូប្លាស (Chloroplast) មាននៅក្នុងកោសិកាការពារនោះ កោសិកាអេពីឌែម គ្មានទេ។ គ្រាប់ម្សៅដែលមាននៅក្នុងកោសិកា ការពារថយ ចុះនៅពេលថ្ងៃនឹងកើនឡើងនៅពេលយប់។ នេះគឺ ជាភាពផ្ទុយគ្នានៃកោសិកាអេពីឌែមរបស់ស្លឹករុក្ខជាតិដែលនៅក្នុងនោះម្សៅត្រូវកើតឡើងនៅពេលថ្ងៃ និងថយចុះនៅពេលយប់។ បន្ថែមលើនេះទៀតភ្នាសកោសិកាការពារព័ទ្ធជុំវិញរន្ធក្រាស់ ហើយភ្នាសដែលនៅខាងក្រៅ ស្តើង។

ទំហំទីលំហរបស់ស្តូម៉ាតាប្រែប្រួលនៅពេល វាបើកធំមានពី ៧×៣µ ចំពោះ Phaseolus vulgaris ទៅ ៣៨×៨ µ ចំពោះ Avena sativa (Eckerson 1908)។ បម្រែបម្រួលនេះមិនគ្រាន់តែកើតមានឡើងនៅលើ ប្រភេទរុក្ខជាតិខុសគ្នានោះទេ តែថែមទាំងនៅលើស្លឹកខុសគ្នានៃរុក្ខជាតិតែមួយ និងនៅលើស្លឹកតែមួយត្រង់ កន្លែងខុសគ្នាទៀតផង។

ចំនួនស្តូម៉ាតក្នុងមួយមីលីម៉ែត្រការ៉េនៅលើផ្ទៃស្លឹកប្រែប្រួលពី ៥០ ទៅ ៣០០ ប៉ុន្តែតិចជាងគេបំផុតគឺ ១៦ (Eckerson) និងច្រើនជាងបំផុតគឺ ១០៣៨ ក្នុងមួយមីលីម៉ែត្រការ៉េ (Yoccum, 1935)ហើយ

មានចំពោះស្រូវសាឡី ទោះចំនួននោះច្រើនយ៉ាងណាក៏ដោយក៏មិនលើសពី ១ ទៅ ២% នៃផ្ទៃស្លឹកទាំងមូលដែរ។

ដោយយោងទៅតាមទីតាំង និងការពង្រាយស្តូម៉ាតនៅលើផ្ទៃស្លឹកទាំងសងខាងគេអាចចែករុក្ខជាតិជា ៥ ប្រភេទដូចខាងក្រោម៖

ក- ប្រភេទដើមប៉ោម (Apple Type): រុក្ខជាតិប្រភេទនេះស្តូម៉ាតមាននៅតែផ្នែកខាងក្រោមនៃផ្ទៃស្លឹក។ ឧទាហរណ៍ អំបូរ Oxalis

ខ- ប្រភេទដើមដំឡូងបារាំង (Potato Type): រុក្ខជាតិស្តូម៉ាតមាននៅផ្នែកខាងក្រោមច្រើនជាងនៅផ្នែកខាងលើ។ អំបូរ៖ Solanaceae មានដូចជាប៉េងប៉ោះ ម្ទេស ដំឡូងបារាំង)

គ- ប្រភេទស្រូវសាលី (Oat Type): រុក្ខជាតិប្រភេទនេះស្តូម៉ាតមានចំនួនស្មើរតែស្មើគ្នានៅផ្នែកខាងលើ និងផ្នែកខាងក្រោមនៃ ផ្ទៃស្លឹក។ ឧទាហរណ៍៖ ស្រូវ ស្រូវសាឡី ពោត អំពៅ។

ឃ- ប្រភេទផ្កាព្រលិត (Water lily type): រុក្ខជាតិប្រភេទនេះស្តូម៉ាតមាននៅតែផ្នែកខាងលើរបស់ផ្ទៃស្លឹក។ ឧទាហរណ៍ មានចំពោះរុក្ខជាតិដែលដុះនៅក្នុងទឹកហើយស្លឹកអណ្តែតលើផ្ទៃទឹក ដូចជាព្រលិត ឈូក រំចង់។

ង-Potomogenton type: រុក្ខជាតិប្រភេទនេះស្តូម៉ាតគ្មានទាំងនៅផ្នែកខាងលើនិងផ្នែកខាងក្រោម តែបើមាន ក៏មិនអាចធ្វើសកម្មភាពបានដែរ។ ឧទាហរណ៍ មានចំពោះរុក្ខជាតិដែលមានសារពាង្គកាយមិនទាំងអស់ស្ថិតនៅ ក្នុងទឹក ដូចជាពពួកសារាយ។

៥.៥.២ រន្ធខ្យល់ផ្នែកខាងក្នុងស្លឹក

ស្លឹករុក្ខជាតិមាននាទីចាប់យកពន្លឺព្រះអាទិត្យ ដើម្បីផលិតអាហារនិងធ្វើបណ្តូរឧស្ម័ន។ នៅក្នុងស្លឹករបស់ រុក្ខជាតិមានជាលិកាសំខាន់៣ដូចជា៖ ជាលិកាការពារ ជាលិកាគ្រឹះ ជាលិកានាំ។ នៅផ្ទៃស្លឹករបស់រុក្ខជាតិមិនមែ នមានតែស្តូម៉ាត ក្លរ៉ូប្លាសនោះទេ វាមានរន្ធខ្យល់អុកស៊ីសែន និងការបូនឌីអុកស៊ីត។

នៅក្នុងស្លឹកមានមេសូភីល ដែលមានស្រទាប់ប៉ាលីសាតដែលជាស្រទាប់ផ្ទុកក្លរ៉ូភីលសម្រាប់ធ្វើរស្មីសំយោគនិងស្រទាប់ស្ពោតដែលមានរន្ធខ្យល់ជាច្រើនសម្រាប់រក្សាលំនឹងក្នុងស្លឹក ហើយនៅផ្ទៃខាងក្រោមនៃស្លឹកមានរន្ធស្តូម៉ាត។

៥.៦ យន្តការនៃការផ្លាស់ប្តូរ និងការគ្រប់គ្រងស្តូម៉ាត

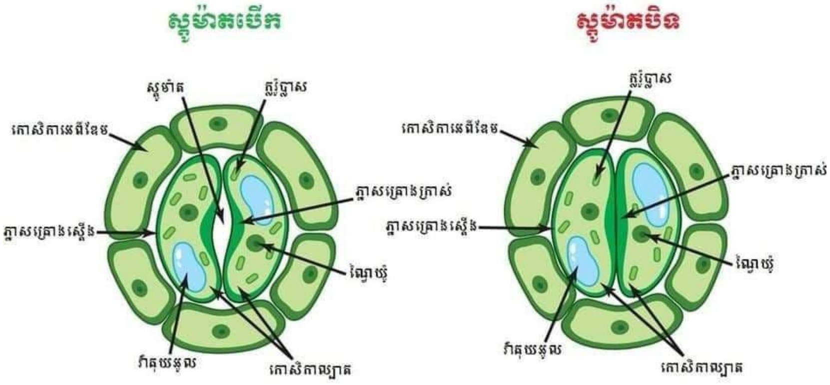
៥.៦.១ ការបែងចែក និង ការគ្រប់គ្រង

បរិមាណនៃសមាសធាតុសំខាន់(ឧទាហរណ៍៖ ស៊ុចក្រូស (Sucrose) និង នីត្រូសែន) ដែលត្រូវនឹងស៊ីង (Sink) ពិសេស ផ្អែកលើ ការគ្រប់គ្រង់ឬ ដំណើររបស់មេតាប៉ូលីស។ ស៊ីង (Sink) គឺជាកន្លែងដែលសារធាតុសរីរាង្គ ដូចជាស្ករ (ត្រូវបានដឹកនាំដោយផ្លូវអែម) ត្រូវបានប្រើឬរក្សាទឹក។

ជាទូទៅដើម្បីរំដោះកាបូនពីកោសិកាដើមដើម្បីបញ្ចប់ដោយផ្សេងៗដែលហៅថា ការបែងចែក។ ដែលរួមមាន (ក) រស្មីសំយោគដោយក្លរ៉ូភីលនៃសមាសភាពស្តុកដូចជាម្សៅអាមីដុង (ខ) មេតាប៉ូលីស ប្រើប្រាស់សម្រាប់ ថាមពល ឬក៏ការផ្តល់ឱ្យសារជាតុកាបូន សម្រាប់រស្មីសំយោគរបស់ជាតុផ្សេងៗ (គ) ការសំយោគនៃដំណឹកនាំ សមាសមានដូចជាស្ករសំរាប់ដឹកនាំទៅស៊ីង (Sink) ដទៃទៀត។

ការចែកចាយដឹកនាំស្ករ ទៅស៊ីង (Sink) ផ្សេងៗ ដែលហៅថា Assimilate partitioning កម្រិតនៃការ ហូរទៅកាន់ស៊ីង (Sink) ត្រូវបានកំណត់ដោយ Partitioning mechanism។ នៅសរីរាង្គស៊ីង (sink) ជាទូទៅ កំណត់ឥទ្ធិពល ដែលអាចធ្វើសមានកម្ម នៅក្នុងប្រភពជាតុដើម ហើយនឹងការប្រកួតប្រជែង រវាងសរីរាង្គ ស៊ីង (Sink) (ឧទាហរណ៍៖ ទីតាំងនៃស៊ីង (Sink) ជាប់ទាក់ទងទៅសមាសជាតុដើម)។

អត្រានៃការបំភាយទឹកតាមស្តូម៉ាតត្រូវបានកំណត់ដោយការបិទ ឬបើករបស់ស្តូម៉ាតាថយចុះ។ អាស្រ័យទី វាស្ថិតក្រោមការត្រួតពិនិត្យរបស់កោសិកាការពារ។ ស្តូម៉ាតបើក កាលណាឡើងប៉ោង (Turgid) និងបិទកាលណាវារួមទៅនឹងភ្នាសកោសិកា ដែលមានលទ្ធផលអាចផ្លាស់ប្តូរមាឌ និងរូបរាងរបស់វាក្នុងការកើនឡើងឬថយចុះ ផ្ទៃរបស់ប្រហោងភ្នាសដែលនៅជុំវិញប្រហោងនោះក្រាស់ហើយមិនយឺត តែវាអាចសន្ទឹងបាន។ ភ្នាសផ្នែកខាងក្រៅនៃកោសិកាការពារដែលនៅជាប់នឹង កោសិកាអេពីឌែមស្តើងយឺតហើយអាចសន្ទឹងបាន។ ភាពខុសគ្នារវាង កោសិកាការពារផ្នែកខាងក្នុង និងផ្នែកខាងក្រៅអាចជានាឱ្យមានការបិទ និងបើកស្តូម៉ាតា។ ការបិទទឹក ចូលទៅក្នុងកោសិកាការពារធ្វើឱ្យការឡើងប៉ោង។ ភ្នាសនៅផ្នែកខាងក្រៅត្រូវលាតសន្ទឹងនៅពេលដែលភ្នាស ក្រាស់ខាងក្នុងមិនយឺតហើយឡើងប៉ោង។ វាធ្វើឱ្យចន្លោះរវាងកោសិកាការពារទាំងពីរកើនឡើងធ្វើឱ្យស្តូម៉ាតបើក។ កាលណាសម្ពាធទូហ្គ័រ ថយចុះភ្នាសកោសិកាការពារផ្នែកខាងក្នុងត្រង់ហើយខិតជិត គ្នាធ្វើឱ្យប្រហោង ស្តូម៉ាតចង្អៀតហើយនឹងបិទតែម្តង។ ភាពរីកធំ និងរួមតូចរបស់ប្រហោងស្តូម៉ាតា មានសារៈសំខាន់ណាស់ ក្នុងការពិនិត្យបម្លាស់ប្តូររវាងអុកស៊ីសែន និងកាបូនឌីអុកស៊ីតខ្យល់ក្នុងបរិយាកាសខាងក្រៅព្រមទាំងការ កំណត់អត្រាបំភាយទឹក។



រូបភាពទី៥. ៦៖បង្ហាញពីការបើកនិងបិទរបស់ស្តូម៉ាត

ក. សម្មតិកម្មម្សៅ ស្ករ (Starch-sugar hypothesis)

សម្មតិកម្មនេះត្រូវបានបង្កើតឡើងដោយលោក ID Sayre នៅឆ្នាំ ១៩២៦។ ដំណើរការរបស់វាបានបង្ហាញដូចខាងក្រោមៈ

អង់ស៊ីម សំខាន់មួយដែលមាននៅក្នុងកោសិកាការពារ គឺ (Starch phosphorylase) (ដោយលោក Yin និង Tang នៅឆ្នាំ ១៩៤៨)។ ប្រតិកម្មអាចបំលែងទៅវិញទៅមក។ អង់ស៊ីម Starch phosphorylase បានបំលែងម្សៅ (Starch) ទៅជាស្ករគ្លុយកូស ១-ផូស្វាត (glucose-1-phosphate) នៅក្នុងការចូលរួមរបស់ផូស្វាតអសរីរាង្គ (iP = Inorganic phosphate) កាលណា pH ខ្ពស់ប៉ុន្តែប្រតិកម្មនេះប្រាស់មកវិញនៅពេល pH ថយចុះ និងអង់ ស៊ីម ដដែលនេះបំលែងស្ករគ្លុយកូស ១-ផូស្វាត (glucose-1-phosphate) ទៅជាម្សៅ (Starch) វិញ។ ប្រតិកម្មនេះសម្រួលដល់ការធ្វើចលនារបស់ស្តូម៉ាត។

នៅទីងងឹត គេឃើញកាបូនឌីអុកស៊ីតរលាយនៅក្នុងកោសិកាការពារ ហើយបង្កើតជាអាស៊ីតកាបូនិច (H_2CO_3) ពេលនោះ pH ថយចុះ។ កាលណាមានពន្លឺនៅលើស្លឹក ដំណើររស្មីសំយោគ ចាប់ផ្តើមកើតឡើងជាបន្តបន្ទាប់។ ម្សៅ (Starch) ត្រូវបានបំលែងទៅជាស្ករគ្លុយកូស១-ផូស្វាត (glucose-1-phosphate)។ ម្សៅ (Starch) មិនរលាយដោយគ្មានសកម្មភាពអូស្មូស ឯគ្លុយកូសផូស្វាត រលាយហើយបង្កើតសម្ពាធអូស្មូសនៃកោសិកាការពារ។ ដូច្នេះធ្វើឱ្យទឹក ជ្រាបពីកោសិកាអេពីឌែម ដែលនៅជិតនោះចូលទៅក្នុងកោសិកាការពារ ហើយធ្វើឱ្យស្តូម៉ាតាបើក។

នៅពេលគ្មានពន្លឺ pH នៃកោសិកាការពារថយចុះ ហើយកាបូនឌីអុកស៊ីតមិនត្រូវ បានប្រើប្រាស់នៅក្នុងដំណើរ រស្មីសំយោគ ប៉ុន្តែវារលាយនៅក្នុងកោសិកា។ pH ថយចុះធ្វើឱ្យប្រតិកម្មដែលដឹកនាំឱ្យ អង់ស៊ីមមាន ទិសដៅប្រាសមកវិញគឺស្ករគ្លុយកូស១-ផូស្វាត (glucose-1-phosphate) បំលែងទៅជាម្សៅ (Starch) ពេលនោះសម្ពាធអូស្មូស នៃកោសិកាការពារថយចុះ។ កោសិកាការពារបាត់បង់ទឹកដែលធ្វើអោយស្តូម៉ាតបិទ។ ស្ករដែលបង្កើតដោយដំណើររស្មីសំយោគ នៃកោសិកាការពារអាចឱ្យមានដំណើរអូស្មូសដែរ តែបើប្រៀបធៀបទៅនឹងប្រតិកម្មអ៊ីដ្រូលីស (Hydrolysis) នៃម្សៅ ឃើញថាទាបជាង។ ដោយយោងទៅតាមសម្មតិកម្មនេះ ការប្រែប្រួល pH គឺជាពន្លឺនៃប្រតិកម្មដែលធ្វើឱ្យមានការបើក និងបិទស្តូម៉ាត។ គ្រឹះសំខាន់នៃប្រតិកម្មនេះ គឺ ស្តូម៉ាតា អាចធ្វើឱ្យបើក និងបិទបានដោយដាក់រុក្ខជាតិទៅចំហាយអាម៉ូនីញ៉ូមអ៊ីដ្រុកស៊ីត (Anmonioum hydroxide)។ គេអាចធ្វើឱ្យស្តូម៉ាតបិទ ដោយដាក់រុក្ខជាតិទៅក្នុងចំហាយអាស៊ីតអាសេទិច។ ទាំងការបើកស្តូម៉ាតា និងរស្មីសំយោគមានឥទ្ធិពលពីរលកពន្លឺដែលមានឈ្មោះថា កាំរស្មីក្រហម និងខៀវ។ ការបំលែង ប្រាស់មកវិញ នៃម៉្សៅ ទៅជាស្ករ និងស្ករទៅជាម្សៅលឿនធ្វើឱ្យមាន ការបិទស្តូម៉ាតាក៏លឿនដែរ។ គេធ្វើការប៉ាន់ស្មានថា អង់ស៊ីមមួយ ម៉ូលេគុលអាចបំលែងស្ករ ១០០០ ម៉ូលេគុលក្នុងរយៈពេល ១នាទី។ នៅក្នុងរុក្ខជាតិ ដូចជា ខ្ទឹមបារាំងវត្តមាន ម៉េ្សានៅក្នុងកោសិកាការពារមិនបានបង្ហាញទេ ប៉ុន្តែស្តូម៉ាតានៅតែដំណើរការធម្មតា។ នៅពេលមានពន្លឺតិច ឬពន្លឺព្រះចន្ទក៏ដោយ ក៏អាចកើតមានបានដែរ។

ដោយយោងទៅតាមលោក Steweard ពួកគ្លុយកូស ១-ផូស្វាត (glucose-1-phosphate) បំបែកជាគ្លុយកូស និងផូស្វាតអសរីរាង្គ។ វាទាំងពីរនេះធ្វើអោយសម្ពាធអូស្មូសនៅក្នុងកោសិកាការពារខ្ពស់។ ពេលរន្ធស្តូម៉ាតបិទ នៅពេលគ្មានពន្លឺ គ្លុយកូស បំលែងប្រាស់ទៅវិញជាស្ករ glucose-1-Phosphate។ ការបំលែងនេះត្រូវការអុកស៊ីសែន និងថាមពលមេតាបូលីស ដើម្បីបង្កើត អាដេណូស៊ីនទ្រីផូស្វាត (ATP = Adenosine triphosphate)។

ខ. សម្មតិកម្មម៉ាឡាត (Malate hypothesis)

សម្មតិកម្មមានឈ្មោះម្យ៉ាងទៀតថា សម្មតិកម្មបំលាស់ប្តូរអ៊ីយ៉ុងប៉ូតាស្យូម (Potassium ion exchange hypothesis)។ យោងទៅតាមសម្មតិកម្មនេះ នៅក្រោមឥទ្ធិពលរបស់ពន្លឺ អាស៊ីតម៉ាលីក (Malic acid) ត្រូវបានបង្កើតឡើងនៅក្នុងកោសិកាការពារ។ អាស៊ីតនេះគេអាចបានមកពីការបម្លែងនៃម្សៅ។ ទោះជាយ៉ាងណា ក៏ដោយ គេមិនទាន់យល់ច្បាស់នៅឡើយថាវាមាននៅក្នុងកោសិកាការពារដោយរបៀបណា។ តាមលោក Levitt (១៩៧៤) បានបញ្ជាក់ថា អាស៊ីតម៉ាលីក(Malic acid) ត្រូវបានបង្កើតឡើងនៅក្នុងក្លរ៉ូប្លាស ហើយបញ្ចេញទៅក្នុងស៊ីតូប្លាសនៃកោសិកាការពារ។ អាស៊ីតម៉ាលីក(Malic acid) ជាអាស៊ីតខ្សោយរលាយទៅជាអ៊ីយ៉ុងម៉ាឡាត (Malate ion) និងអ៊ីយ៉ុងអ៊ីដ្រូសែន (H^+)។ អ៊ីយ៉ុងអ៊ីដ្រូសែនត្រូវ បានចេញពី កោសិកាការពារ ហើយអ៊ីយ៉ុងប៉ូតាស្យូម (K^+) ចូលពីកោសិកាអេពីឌែមទៅក្នុងកោសិកាការពារវិញ។ នៅពេល នោះការផ្លាស់ប្តូរទៅវិញទៅមករវាងអ៊ីយ៉ុង អ៊ីដ្រូសែន និងប៉ូតាស្យូមនៅក្នុងកោសិកាការពារ និងកោសិកា ពីឌែមខាងកើតឡើង។ ការផ្លាស់ប្តូរ អ៊ីយ៉ុងនេះកើតឡើងនៅ Plasma membrane ដែលជាដំណើរយ៉ាងសកម្ម រួមដោយថាមពលមេតាបូលីស។ ការកើតឡើងនៃអ៊ីយ៉ុងប៉ូតាស្យូម និងម៉ាឡាត នៅក្នុងកោសិកា។ នៅពេល នោះស្តូម៉ាតបើក។

នៅពេលដែលងងឹត អ៊ីយ៉ុង K^+ និង H^+ ប្តូរគ្នាទៅវិញទៅមក។ អ៊ីយ៉ុងអ៊ីដ្រូសែនចូលទៅក្នុងកោសិកា ការពារ និងអ៊ីយ៉ុងប៉ូតាស្យូមចេញពីក្នុងកោសិកាការពារមកក្រៅវិញ។ អ៊ីយ៉ុងម៉ាឡាត និងអ៊ីយ៉ុង អ៊ីដ្រូសែនចូល រួមបង្កើតបានជាអាស៊ីតម៉ាលីក ដែលត្រូវបានប្រើប្រាស់នៅក្នុងប្រតិកម្មមេតាបូលីស ជាពិសេសក្នុងដំណើការដំណកដង្ហើម។ នេះធ្វើឱ្យសម្ពាធអូស្មូសនៃកោសិកាការពារថយចុះ ដែលធ្វើឱ្យបាត់បង់ Turgidity ហើយរន្ធស្តូម៉ាត (Stomata) ក៏បិទ។

៥.៦.២ ចលនាស្តូម៉ាតានៅក្នុងរុក្ខជាតិដែលមានទឹកដមច្រើន (stomata movement in succulents)

រុក្ខជាតិដែលសំបូរទឹកដមច្រើនដូចជា Bryophyllum សំបូរអាស៊ីតសរីរាង្គ ជាពិសេសអាស៊ីតម៉ាលីក (Malic acid) នៅពេលមានភាពងងឹត។ វាមាន pH ទាប និងស្តូម៉ាតាត្រូវបិទ។ ប៉ុន្តែនៅក្នុងស្តូម៉ាតា នៃបណ្តា រុក្ខជាតិទាំងនោះបើកនៅពេលយប់។ នេះមកពីអាស៊ីតសរីរាង្គជាពិសេសម៉ាលីកអាស៊ីតនៅតែ

រលាយធ្វើឱ្យ សម្ពាធអូស្មូសនៃកោសិកាការពារកើនឡើងដែលធ្វើឱ្យស្តូម៉ាតាបើក។ នៅពេលថ្ងៃគ្មានការកើនឡើងនៃ អាស៊ីតសរីរាង្គដែលជាហេតុធ្វើឱ្យស្តូម៉ាតបិទ។ នៅក្នុងរុក្ខជាតិប្រភេទនេះគ្មានការបំលែងពីស្ករទៅម្សៅ និងពី ម្សៅទៅស្ករទេ។

៥.៦.៣ កត្តាដែលមានឥទ្ធិពលដល់ចលនារបស់រន្ធស្តូម៉ាត

ទាំងកត្តាខាងក្រៅ និងកត្តាខាងក្នុងមានឥទ្ធិពលដល់អត្រានៃការបំភាយទឹក។ កត្តាខាងក្រៅរួមមាន៖ សំណើមបរិយាកាស សីតុណ្ហភាព ខ្យល់ ពន្លឺ សម្ពាធបរិយាកាស និងទឹកនៅក្នុងដី។ ឯកត្តាខាងក្នុងរួមមាន៖ Stomatal apparatus (ឧបករណ៍ស្តូម៉ាតា) នៃរុក្ខជាតិ ភាពផ្សំនៃទឹកនៅក្នុងកោសិកាមេសូភីល (Mesophyll) និងភាពប្លែកៗ នៃទម្ងន់របស់ស្លឹក។

ក. សំណើមបរិយាកាស (Humidity of the air)

វគ្គមួយនៅក្នុងការ បំភាយទឹកតាមស្តូម៉ាតគឺជាសំណាយភាយនៃចំហាយទឹកពីចន្លោះកោសិកាមេសូភីល (Mesophyll) នៃស្លឹកទៅបរិយាកាសខាងក្រៅតាមរយៈស្តូម៉ាតា។ នេះគឺជាច្បាប់នៃសំណាយភាយមួយយ៉ាងសាមញ្ញ ដែលកើតឡើងបើសិនជាភាពផ្សំនៃចំហាយទឹកនៅក្នុងបរិយាកាសខាងក្រៅមានតិចជាងនៅក្នុងទីចន្លោះកោសិការបស់ស្លឹក។ នៅក្នុងបរិយាកាសដែលឆ្អែតទៅដោយចំហាយទឹក ការបាត់បង់ទឹកនៅក្នុងស្លឹក មានតិចតួចបំផុតអាចចោលបាន។ កាលណាខ្យល់ ជាខ្យល់ស្ងួតការបំភាយទឹកក៏លឿនដែរ។ អត្រានៃការបំភាយទឹក អាស្រ័យនឹងសមត្ថភាពនៃបរិយាកាសដែលអាចស្រូបយកសំណើម និងអាស្រ័យទៅនឹងភាពខុសគ្នារវាងបរិមាណចំហាយទឹកដែលមានពិតនៅក្នុងខ្យល់ និងបរិមាណចាំបាច់ដែលធ្វើឱ្យវាឆ្អែត ឬភាពឆ្អែតមិនគ្រប់គ្រាន់។ បរិមាណចំហាយទឹកពិត ដែលមាននៅក្នុងបរិយាកាសឱ្យឈ្មោះថា **សំណើមជាក់លាក់** កាលណាវាបង្ហាញអំពីភាគរយនៃបរិមាណទឹក សម្រាប់ធ្វើឱ្យបរិយាកាសឆ្អែតក្នុងសីតុណ្ហភាពមួយកំណត់ឱ្យឈ្មោះថា **ទំនាក់ទំនងសំណើមបរិយាកាស**។

ខ.សីតុណ្ហភាព (Temperature)

សីតុណ្ហភាពមានឥទ្ធិពល មិនផ្ទាល់ទៅលើអត្រានៃការបំភាយទឹក។ ការកើនឡើងនៃសីតុណ្ហភាពធ្វើ អោយទំនាក់ទំនងសំណើមបរិយាកាសថយចុះ។ នេះធ្វើអោយអត្រានៃការបំភាយទឹកកើនឡើង។ សីតុណ្ហភាព ទាបធ្វើឱ្យសមត្ថភាពខ្យល់ ដែលអាច ទ្រទ្រង់សំណើមថយចុះ និងទំនាក់ទំនងបរិយាកាសកើនឡើង។ ដូច្នេះ នាំអោយអត្រានៃការបំភាយទឹកថយចុះ។ សីតុណ្ហភាពខ្ពស់បង្កើនការបំភាយទឹកដោយស្តូម៉ាតបើកធំ។

គ.ខ្យល់ (Wind)

ខ្យល់ ក៏មានឥទ្ធិពលខ្លាំងណាស់ដែរទៅលើសំណើមបរិយាកាស។ ដោយខ្យល់ស្ងួតមានសំណើមទាប ធ្វើអោយសំណើមនៅក្នុងរុក្ខជាតិថយចុះ។ ក្នុងករណីនេះធ្វើឱ្យការបំភាយទឹកកើនឡើង។ ពេលខ្លះមានខ្យល់ សើមដែលបក់មកពីសមុទ្រ ឬអាងផ្ទុកទឹកធំៗធ្វើឱ្យការបំភាយទឹកថយចុះ។

ឃ.ពន្លឺ (Light)

អត្រានៃការបំភាយទឹកកើនឡើងនៅពេលភ្លឺ និងថយចុះនៅទីងងឹត។ ល្បឿននៃការបំភាយទឹកកើនឡើងមិនគ្រាន់តែនៅក្នុងពន្លឺព្រះអាទិត្យផ្ទាល់នោះទេ តែថែមទាំងនៅក្នុងពន្លឺមិនផ្ទាល់ផងដែរ (ពន្លឺ អគ្គីសនី ដែលគេប្រើប្រាស់សម្រាប់ការពិសោធន៍ស្រាវជ្រាវ)។ ពន្លឺមានឥទ្ធិពលទៅលើការបំភាយទឹកតាមពីររបៀប៖ ទី១ វាធ្វើឱ្យកើនឡើងដោយការបំភាយទឹក ដោយធ្វើឱ្យសីតុណ្ហភាពទឹកកើនឡើង។ ទី២ វាមានទំនាក់ ទំនងយ៉ាងជិតស្និតរវាងការបើករបស់ស្តូម៉ាតា និងវត្តមាននៃពន្លឺ។

ង.សម្ពាធបរិយាកាស (Atmospheric pressure)

សម្ពាធខ្យល់ទាប ធ្វើអោយកើនឡើងអត្រានៃការបំភាយទឹកឆ្លងតាមការថយចុះនៃដង់ស៊ីតេខ្យល់។ ប៉ុន្តែនៅក្នុងធម្មជាតិសម្ពាធខ្យល់ថយចុះទាក់ទងទៅនឹង ការកើនឡើងនៃរយៈកម្ពស់ដែលបណ្តាលឱ្យ សីតុណ្ហភាពកាន់តែទាបទៅ។ សីតុណ្ហភាពទាបធ្វើឱ្យការបំភាយទឹកថយចុះ។

ច.ទឹកដែលមាននៅក្នុងដី (Available soil water)

អត្រានៃការបំភាយទឹក អាចរក្សាបានកាលណាទឹកមានគ្រប់គ្រាន់សម្រាប់ស្រូបដោយឫសពីក្នុងដីសម្រាប់បំភាយ។ កាលណាការស្រូបទឹកតិច ការបំភាយទឹកថយចុះដែរ។ កត្តាដែលមានឥទ្ធិពលដល់ការស្រូបទឹក មានឥទ្ធិពលដោយប្រយោលទៅលើអត្រា នៃការ បំភាយទឹក។ កំហាប់អំបិលខ្ពស់នៅក្នុងទឹកធ្វើឱ្យការបំភាយទឹកថយចុះ ដោយការកើនឡើងនៃសម្ពាធអូស្មូស នៃកោសិការុក្ខជាតិ។

ឆ.កត្តាខាងក្នុង (Internal factors)

កត្តាដែលសំខាន់ដែលមានឥទ្ធិពលដល់ការបំភាយទឹក គឺទំនាក់ទំនងទឹករបស់កោសិកាប៉ារ៉ង់ស៊ីម (Parenchyma cells)។ កាលណាមានភាពឆ្អែតនៃទឹកនៅក្នុងកោសិកាប៉ារង់ស៊ីមនៃមេសូភីល (Mesophyll) ងាយស្រួល បញ្ចេញទឹកទៅក្នុងបរិយាកាសខាងក្នុងស្លឹក។ ប្រសិនជាការបាត់បង់ទឹកទាំងនេះ មិនទាន់បានបំពេញឡើងវិញ ដោយទឹកដែលធ្វើដំណើរឡើងមកពីឫសទេការបាត់បង់ទឹកនៅផ្នែកខាងក្នុងកោសិកាស្លឹកកើនឡើង។ ជាតុផ្សំនៃទឹករបស់កោសិកាថយចុះដែលធ្វើឱ្យទូហ្គោថយចុះ។ ភ្នាសកោសិកាស្ងួត និងការបំភាយទឹក លើផ្ទៃរបស់វាថយចុះ។ នៅ ពេលនោះការបំភាយទឹកថយចុះ ទោះជាស្តូម៉ាតបើកក៏ដោយ។ នៅក្នុងលក្ខខណ្ឌនេះ សម្ពាធអូស្មូសនៃកោសិកាមេសូភីល (Mesophyll) កើនឡើងដែលធ្វើឱ្យវាស្រូបទឹកពីកោសិកាការពារ ហើយវាក៏បាត់បង់ទូហ្គ័រដែរ។ នេះធ្វើឱ្យស្តូម៉ាតបិទដោយផ្នែក ឬទាំងស្រុងទោះជាមានវត្តមាននៃពន្លឺក៏ដោយ។

ក្នុងចំណោមកត្តាខាងក្នុងផ្សេងៗ គេអាចនិយាយដល់ចំនួនស្តូម៉ាតានៅក្នុងផ្ទៃ ស្លឹកមួយឯកត្តា និងទីតាំងរបស់វា។ រុក្ខជាតិខ្លះដូចជាអំបូរ *Pimus* ស្តូម៉ាតាស្ថិតនៅក្នុងអេពីឌែម ដែលអាចរួចផុតពីឥទ្ធិពលនៃខ្យល់។ ករណីខ្លះទៀតមានរោមដុះយ៉ាងច្រើននៅលើអេពីឌែម ដូចជាអំបូរ *Calotropis* ដែលធ្វើឱ្យការបំភាយទឹកថយចុះ។

ជំពូកទី ៦
រស្មីសំយោគ

ជីវិតនៅលើផែនដីអាស្រ័យលើថាមពលដែលបានមកពីព្រះអាទិត្យ។ រស្មីសំយោគគឺជាដំណើរការតែមួយគត់នៃសារៈសំខាន់ជីវសាស្ត្រដែលអាចប្រមូលផលពីថាមពលព្រះអាទិត្យ។ មួយភាគធំនៃភពផែនដីធនធានថាមពលបានមកពីសកម្មភាពរស្មីសំយោគ។ ជំពូកនេះណែនាំពី គោលការណ៍លក្ខណៈរូបជាមូលដ្ឋានដែលបញ្ជាក់ពីការផ្ទុកថាមពលរស្មីសំយោគ និងការយល់ដឹង ពីបច្ចុប្បន្នភាពនៃរចនាសម្ព័ន្ធ និងមុខងាររបស់សមាសធាតុដែលចូលរួមក្នុងដំណើរការរស្មីសំយោគ។ សារពាង្គកាយរស្មីសំយោគប្រើប្រាស់ថាម ពលពន្លឺព្រះអាទិត្យ ដើម្បីសំយោគសមាសធាតុកុំផ្លិចកាបូន។ ពិសេសជាងនេះទៅទៀត ថាមពលពន្លឺជំរុញការសំយោគ កាបូនអ៊ីដ្រាត និងអុកស៊ីសែនពីកាបូនឌីអុកស៊ីត និងទឹក៖

$6\ CO_2$	+	$6\ H_2O$	→	$C_6H_{12}O_6$	+	$6\ O_2$
កាបូនឌីអុកស៊ីត		ទឹក		កាបូនអ៊ីដ្រាត		អុកស៊ីសែន

ថាមពលដែលផ្ទុកនៅក្នុងម៉ូលេគុលកាបូអ៊ីដ្រាតទាំងនេះ អាចត្រូវបានប្រើនៅពេលក្រោយដើម្បីផ្តល់ ថាមពលដល់ដំណើរការកោសិកានៅក្នុងរុក្ខជាតិ និងអាចដើរតួនាទីជាប្រភពថាមពល សម្រាប់គ្រប់ទម្រង់នៃជីវិត។ ជំពូកនេះទាក់ទងនឹងតួនាទីនៃពន្លឺនៅក្នុងរស្មីសំយោគ រចនាសម្ព័ន្ធនៃសមាសភាពរស្មីសំយោគ និងដំណើរការដែលចាប់ផ្តើមជាមួយនឹងការធ្វើឱ្យប្រសើរឡើងនៃក្លរ៉ូភីល ដោយពន្លឺ និងការឈានដល់កម្រិតកំពូលនៅក្នុងការសំយោគ ATP និង NADPH ។

៦.១ ការធ្វើរស្មីសំយោគនៅក្នុងរុក្ខជាតិ

ជាលិការស្មីសំយោគដែលសកម្មបំផុតនៅក្នុងរុក្ខជាតិគឺ មេសូភីល (Mesophyll) នៃស្លឹក។ កោសិកាមេសូភីលមាន ក្លរ៉ូប្លាស (Chloroplast) ជាច្រើនដែលមានសារធាតុពណ៌បៃតងបានមកពីការ ស្រូបយកពន្លឺដែលហៅថា ក្លរ៉ូភីល (Chlorophyll)។ នៅក្នុងការធ្វើរស្មីសំយោគ រុក្ខជាតិប្រើប្រាស់ថាមពលពន្លឺព្រះអាទិត្យដើម្បីធ្វើអុកស៊ីតកម្មទឹក នាំឱ្យបញ្ចេញអុកស៊ីសែន និងកាត់បន្ថយកាបូនឌីអុកស៊ីត ហើយធ្វើឱ្យបង្កើតសមាសធាតុកាបូនធំៗ ដូចជាជាតិស្ករ។ ភាពស្មុគស្មាញនៃប្រតិកម្មដែលឈានដល់ការកាត់បន្ថយកាបូនឌីអុកស៊ីត រួមបញ្ចូលទាំងប្រតិកម្ម ទីឡាកូអ៊ីត (Thylakoid) និងប្រតិកម្មជំនាប់កាបូន។

ទីឡាកូអ៊ីត ជាកូនថង់តូចមានភ្នាសព័ទ្ធជុំវិញដែលស្តុកក្លរ៉ូភីល ហើយប្រតិកម្មទីឡាកូអ៊ីត នៃរស្មីសំយោគកើតឡើងនៅផ្នែកខាងក្នុងភ្នាសនៃក្លរ៉ូប្លាស។ ផលិតផលចុងក្រោយនៃប្រតិកម្មទីឡាកូអ៊ីត មានសមាសធាតុថាមពលខ្ពស់ដូចជា ATP និង NADPH ដែលត្រូវបានប្រើសម្រាប់ការសំយោគជាតិស្ករនៅក្នុង

ប្រតិកម្មជំនាប់កាបូន។ ដំណើរការសំយោគទាំងនេះកើតឡើងនៅក្នុង ស្ត្រូម៉ា (Stroma) ដែលជាតំបន់ទឹកដែលព័ទ្ធជុំវិញ ទីឡាកូអ៊ីត (Thylakoid) នៃក្លរ៉ូប្លាស។ ប្រតិកម្មទីឡាកូអ៊ីត (Thylakoid) ក៏ត្រូវបានគេហៅថា“ ប្រតិកម្មពន្លឺ” នៃរស្មីសំយោគផលដែរ។

នៅក្នុងក្លរ៉ូប្លាស ថាមពលពន្លឺត្រូវបានបំលែង ទៅជាថាមពលគីមីដោយឯកតាមុខងារពីរផ្សេងគ្នាហៅថា ប្រព័ន្ធពន្លឺ (Photosystems)។ ថាមពលពន្លឺដែលបានស្រូបយក ត្រូវបានប្រើដើម្បីផ្តល់ថាមពលសម្រាប់ការផ្ទេរអេឡិចត្រុងតាមរយៈសមាសធាតុផ្សំជាបន្តបន្ទាប់ ដែលដើរតួជាអ្នកផ្តល់អេឡិចត្រុងទៅអ្នកទទួលអេឡិចត្រុង (Electron acceptors)។ ភាគច្រើន អេឡិចត្រុងត្រូវបានដកចេញពីទឹក (H_2O) ដែលត្រូវបានធ្វើអុកស៊ីតកម្មទៅជាអុកស៊ីសែន (O_2) ហើយទីបំផុតកាត់បន្ថយពី $NADP^+$ ទៅ NADPH។ ពន្លឺថាមពលក៏ត្រូវបានប្រើដើម្បីបង្កើតកម្លាំងជំរុញប្រូតុង (Proton) ឆ្លងកាត់ភ្នាសទីឡាកូអ៊ីត ហើយកម្លាំងជំរុញប្រូតុងនេះត្រូវបានប្រើដើម្បីសំយោគ ATP។

៦.១.១ ពន្លឺមានលក្ខណៈជាភាគល្អិត និងរលក

រលក (Wave) ត្រូវបានកំណត់ដោយ ជំហានរលក (Wavelength) ដែលតំណាងដោយអក្សរ “λ” ដែលជាចម្ងាយរវាងរលកបន្តបន្ទាប់គ្នា។ ប្រេកង់ដែលតំណាងដោយអក្សរ “n” គឺជាចំនួនរលក ដោយឆ្លងកាត់ការសង្កេតដែលបានផ្តល់ឱ្យជាពេលវេលា។ សមីការសាមញ្ញទាក់ទងនឹងជំហានរលក ប្រេកង់ និងល្បឿននៃរលកណាមួយគឺ $c = \lambda\, n$ ដែល c ជាល្បឿនរលក។ ក្នុងករណីបច្ចុប្បន្ន ល្បឿននៃរលកមានតម្លៃ ៣,៨ x ១០^{៨} m S^{-1}។

ពន្លឺក៏ជាភាគល្អិត (Particle) ដែលយើងហៅថា ហ្វូតុង (Photon) ដែលជាសំណុំរលកពន្លឺ។ ហ្វូតុងនីមួយៗ ផ្ទុកបរិមាណថាមពលដែលត្រូវបានគេហៅថា កង់ទុម (Quantum)។ ចំណុះថាមពលនៃពន្លឺគឺ មិននៅបន្តគ្នាទេ ប៉ុន្តែត្រូវបានបញ្ជូនជាកញ្ចប់ដាច់ពីគ្នាជាកង់ទុម។ ថាមពល (តំណាងដោយ E) នៃហ្វូតុងមួយគឺផ្អែកលើ ប្រេកង់នៃពន្លឺដោយយោងទៅតាមទំនាក់ទំនងដែលគេស្គាល់ជាច្បាប់ Planck៖ $E = hv$ ដែល h គឺជាភាពថេររបស់ Planck ដែលមានតម្លៃ ៦,៦២៦ x ១០$^{-៣៤}$ Js។ ភ្នែករបស់យើងងាយនឹងទទួលប្រេកង់តូចៗ ហើយជាតំបន់ដែលពន្លឺអាចត្រូវបានមើលឃើញ នៃស្ប៉ិចអេឡិចត្រូម៉ាញេទិក (Electromagnetic spectrum)។ ពន្លឺនៃប្រេកង់ខ្ពស់ជាងនេះបន្តិច (ឬជំហានរលកខ្លីជាង) ស្ថិតនៅក្នុងតំបន់កាំរស្មីអ៊ុលត្រាស្វាយ (Ultraviolet) នៃពន្លឺ ហើយពន្លឺនៃប្រេកង់ទាបជាងបន្តិច (ឬជំហានរលកវែងជាង) ស្ថិតនៅក្នុងតំបន់ អាំងហ្វ្រាក្រហម (Infrared region)។

ស្ប៉ិច (Spectrum) ដែលត្រូវបានស្រូបយក ផ្តល់ព័ត៌មានអំពីបរិមាណថាមពលពន្លឺដែលបានចាប់យក ឬស្រូបយកដោយម៉ូលេគុលមួយ ឬសារធាតុដែលជាមុខងារនៃជំហានរលកនៃពន្លឺ។ ការស្រូបយកស្ប៉ិចសម្រាប់សារធាតុជាក់លាក់មួយនៅក្នុងសារធាតុរំលាយដែលមិនស្រូប អាចត្រូវបានកំណត់ដោយ

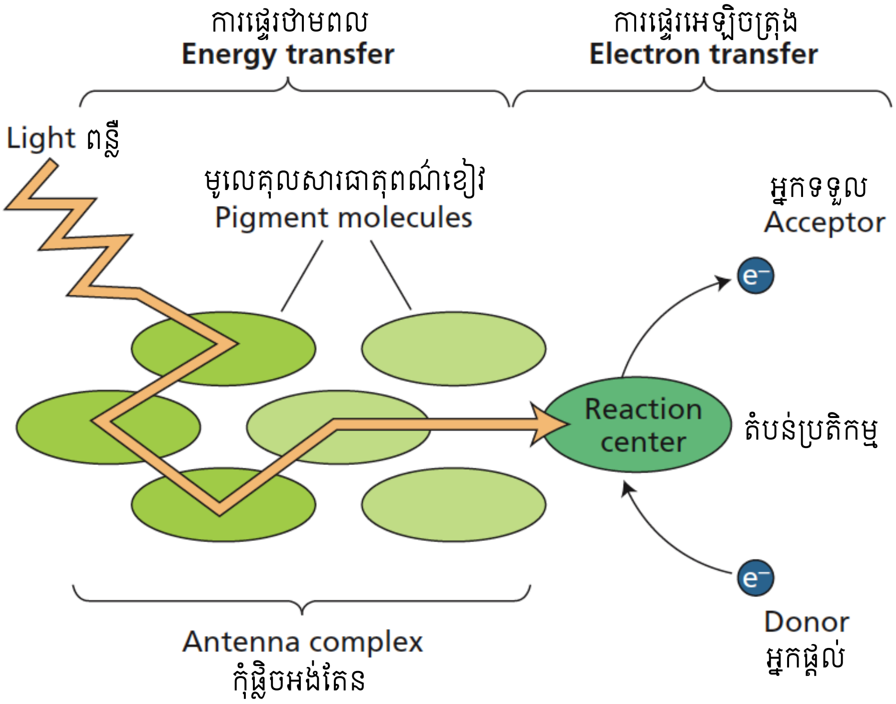
spectrophotometer ដែលជាឧបករណ៍វាស់អាំងតង់ស៊ីតេនៃថាមពលអេឡិចត្រូម៉ាញ៉េទិច នៅរលកនីមួយៗ ។

ក្លរ៉ូភីល លេចឡើងពណ៌បៃតងក្នុងភ្នែករបស់យើង ព្រោះវាស្រូបយកពន្លឺជាចម្បងនៅក្នុងផ្នែកក្រហម និងខៀវនៃស្ប៉ិច ហើយមានតែពន្លឺមួយចំនួនដែលមានរលកបៃតងប្រហែល ៥៥០ ណាណូម៉ែត្រត្រូវបានឆ្លុះបញ្ចាំងក្នុងភ្នែករបស់យើង។ ការស្រូបយកពន្លឺត្រូវបានតំណាងដោយសមីការដែលក្លរ៉ូភីល (តំណាងដោយ Chl) នៅក្នុងថាមពលទាបបំផុត ឬនៅលើដី លក្ខខណ្ឌស្រូបយកហ្វូតុង (តំណាងដោយ hv) និងលក្ខខណ្ឌបង្កើតការផ្លាស់ប្តូរទៅជាថាមពលខ្ពស់ (តំណាងដោយ Chl*)៖ Chl + hv → Chl*

៦.១.២ សារធាតុពណ៌ខៀវស្រូបយកពន្លឺដែលផ្តល់ថាមពលដល់ការធ្វើរស្មីសំយោគ

ថាមពលនៃពន្លឺព្រះអាទិត្យត្រូវបានស្រូបយកដំបូងដោយសារធាតុពណ៌ខៀវ (Pigments) របស់រុក្ខជាតិ។ សារធាតុពណ៌ខៀវទាំងអស់ដែលសកម្មនៅក្នុងរស្មីសំយោគត្រូវបានរកឃើញ នៅក្នុងក្លរ៉ូប្លាស។ ក្លរ៉ូភីល និងបាក់តេរីក្លរ៉ូភីល(សារធាតុពណ៌ខៀវក៏ត្រូវបានរកឃើញនៅក្នុងបាក់តេរីមួយចំនួន) ជាសារធាតុពណ៌ខៀវធម្មតានៃសារពាង្គកាយរស្មីសំយោគ។

៦.១.៣ រស្មីសំយោគកើតឡើងនៅក្នុងកុំផ្លិចដែលផ្ទុក អង់តែន (Antenna) ដែលប្រមូលផលពន្លឺ និងកន្លែងប្រតិកម្មរស្មីគីមី (Photochemical)



រូបភាពទី៦.១៖ មូលដ្ឋាននៃការផ្ទេរថាមពលក្នុងកំឡុងពេលធ្វើរស្មីសំយោគ (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

ផ្នែកមួយនៃថាមពលពន្លឺដែលស្រូបយកដោយក្លរ៉ូភីល និងការ៉ូតេណូអ៊ីត (Carotenoids) ដែលត្រូវបានរក្សាទុកជាថាមពលគីមីតាមរយៈការបង្កើតចំណងគីមី។ ការបម្លែងថាមពលពីទម្រង់មួយទៅទម្រង់មួយទៀតនេះគឺជាដំណើរការស្មុគស្មាញដែលអាស្រ័យលើការសហការរវាងម៉ូលេគុលជាតិពណ៌ខៀវជាច្រើន និងក្រុមប្រូតេអ៊ីនផ្ទេរអេឡិចត្រុងមួយក្រុម។ សារធាតុពណ៌ខៀវភាគច្រើនប្រើជាកុំផ្លិចអង់តែន ដែលប្រមូលពន្លឺ និងផ្ទេរថាមពលទៅក្នុងកុំផ្លិចកន្លែងប្រតិកម្ម ដែលជាកន្លែងអុកស៊ីតកម្មគីមី និងប្រតិកម្មកាត់បន្ថយដែលនាំឱ្យមានការរក្សាទុកថាមពលរយៈពេលវែងកើតឡើង (រូបភាពទី៦.១)។

៦.១.៤ ពន្លឺជំរុញការកាត់បន្ថយនៃ $NADP^+$ និងការបង្កើត ATP

ដំណើរការទាំងមូលនៃរស្មីសំយោគគឺជាប្រតិកម្មគីមីរេដុកម្ម (Redox chemical reaction) ដែលក្នុងនោះអេឡិចត្រុងត្រូវបានដកចេញពីសារធាតុគីមីមួយប្រភេទដែលនាំអោយមានការធ្វើអុកស៊ីតកម្ម និងអេឡិចត្រុងត្រូវបានបន្ថែមទៅសារធាតុមួយប្រភេទទៀត ដែលនាំអោយមានការកាត់បន្ថយ។ ក្នុងកំឡុងពេលដំណើរការធម្មតារបស់ប្រព័ន្ធរស្មីសំយោគ ពន្លឺជួយកាត់បន្ថយ $NADP^+$ (Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate) ដែលដើរតួជាភ្នាក់ងារកាត់បន្ថយសម្រាប់ការភ្ជាប់កាបូននៅក្នុងវដ្តកាល់វាំងប៊ែនសុន (Calvin–Benson cycle) ។ NADP ជាកូអង់ស៊ីមដែលមានមុខងារជាអ្នកទទួលអ៊ីដ្រូសែនក្នុងរស្មីសំយោគ។ ATP ត្រូវបានបង្កើតឡើងផងដែរ ក្នុងកំឡុងពេលលំហូរអេឡិចត្រុងពីទឹកទៅ $NADP^+$ ហើយវាក៏ត្រូវបានប្រើផងដែរក្នុងការកាត់បន្ថយកាបូន។ ATP ជានុយក្លេអូទីតមួយដែលរួមមាន អាដេនីន-ស្កររីបូស និងក្រុមផូស្វាត ហើយជាប្រភពថាមពលគីមីដ៏សំខាន់ដែលអាចប្រើប្រាស់បាននៅក្នុងមេតាប៉ូលីស។

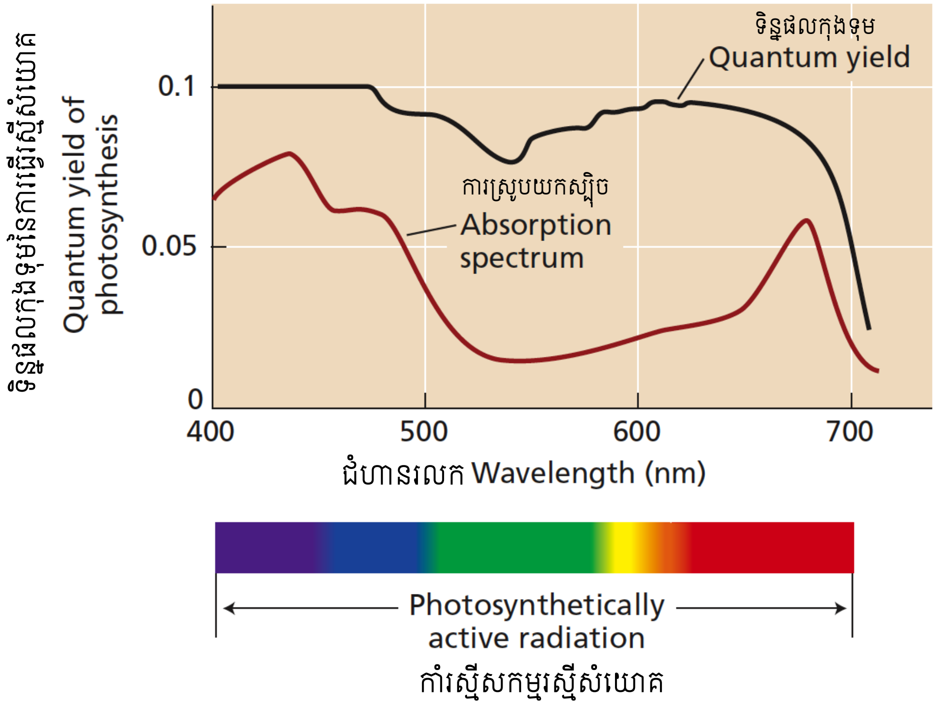
ប្រតិកម្មគីមីដែលទឹកត្រូវបានអុកស៊ីតកម្មទៅជាអុកស៊ីសែន $NADP^+$ ត្រូវបានកាត់បន្ថយទៅជា NADPH ហើយ ATP ត្រូវបានបង្កើតឡើង ត្រូវបានគេស្គាល់ថាជាប្រតិកម្មទីឡាកូអ៊ីត ពីព្រោះស្ទើរតែប្រតិកម្មទាំងអស់កើតឡើងនៅ ទីឡាកូអ៊ីត គឺដើម្បីការកាត់បន្ថយ $NADP^+$។ ការភ្ជាប់កាបូន និងប្រតិកម្មកាត់បន្ថយត្រូវបានហៅថា ប្រតិកម្មស្ត្រូម៉ា (Stroma) ពីព្រោះប្រតិកម្មកាត់បន្ថយកាបូនកើតឡើងនៅក្នុងតំបន់ដែលមានជាតិទឹកនៅក្នុងក្លរ៉ូប្លាស ដែលស្គាល់ថាជាស្ត្រូម៉ា។

៦.១.៥ សារពាង្គកាយដែលវិវឌ្ឍន៍អុកស៊ីសែនមានប្រព័ន្ធពន្លឺពីរដែលដំណើរការជាស៊េរី

នៅចុងទសវត្សឆ្នាំ ១៩៥០ ការពិសោធជាច្រើនត្រូវបានធ្វើឡើងដើម្បីសិក្សាពីរស្មីសំយោគ។ ក្នុងចំណោមការសិក្សាទាំងនេះ ការពិសោធអនុវត្តន៍ដោយ Emerson បានវាស់ទិន្នផលកង់ទុម (Quantum) នៃរស្មីសំយោគ ដែលជាមុខងារនៃជំហានរលក និងបង្ហាញពីឥទ្ធិពលមួយដែលគេស្គាល់ថាជាការធ្លាក់ចុះរលកក្រហម (Red drop) (រូបភាពទី៦.២)។

ប្រសិនបើទិន្នផលកង់ទុម (Quantum yield) ត្រូវបានវាស់សម្រាប់ជំហានរលក នៅខណៈពេលដែលក្លរ៉ូភីលស្រូបយកពន្លឺ តម្លៃកង់ទុមដែលរកឃើញភាគច្រើនគឺថេរ ដែលបង្ហាញថា ហ្វូតុង (Photon) ដែលស្រូបយកដោយក្លរ៉ូភីល ឬសារធាតុពណ៌ខៀវផ្សេងទៀតមានប្រសិទ្ធិភាពដូចហ្វូតុងដទៃទៀតក្នុងការ

ធ្វើរស្មីសំយោគ។ ទោះយ៉ាងណាទិន្នផលធ្លាក់ចុះយ៉ាងខ្លាំងនៅក្នុងតំបន់ពណ៌ក្រហមឆ្ងាយ នៃការស្រូបយកក្លរ៉ូភីល (ធំជាង ៦៨0nm) ។



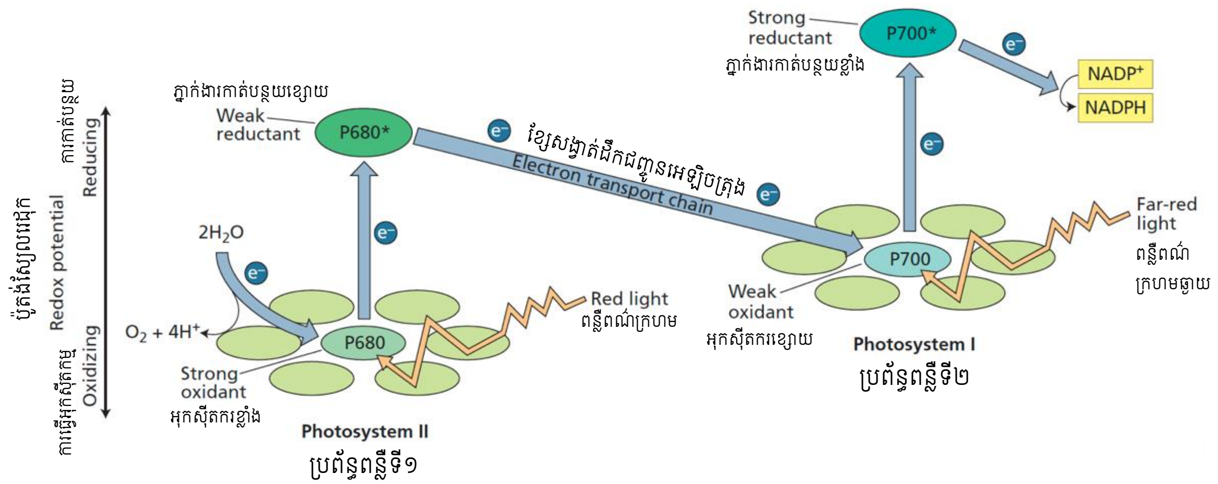
រូបភាពទី៦.២៖ ឥទ្ធិពលនៃការធ្លាក់ចុះរលកក្រហម (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

ការធ្លាក់ចុះនេះមិនអាចបណ្តាលឱ្យមានការថយចុះនៃការស្រូបយកក្លរ៉ូភីលទេ ដោយសារតែទិន្នផលកង់ទុមវាស់តែពន្លឺដែលត្រូវបានស្រូបយកតែប៉ុណ្ណោះ។ ដូច្នេះពន្លឺជាមួយនឹងជំហានរលកធំជាង ៦៨០ nm គឺមិនមានប្រសិទ្ធភាពតិចជាងជំហានរលកខ្លីនោះទេ។

នៅក្នុងលទ្ធផលពិសោធន៍មួយទៀតរបស់ Emerson បានវាស់អត្រានៃការធ្វើរស្មីសំយោគដាច់ដោយឡែកពីគ្នាជាមួយពន្លឺនៃជំហានរលកពីរផ្សេងគ្នា ហើយបន្ទាប់មកប្រើកាំរស្មីពីរក្នុងពេលដំណាលគ្នា។ នៅពេលដែលពន្លឺពណ៌ក្រហមជិត និងឆ្ងាយត្រូវបានវាស់រួមគ្នា អត្រានៃការធ្វើរស្មីសំយោគគឺធំជាងតម្លៃសរុបនៃអត្រារស្មីសំយោគដែលបានមកពីការវាស់ពន្លឺដាច់ពីគ្នារវាងពន្លឺពណ៌ក្រហមជិត និងឆ្ងាយ។ លទ្ធផល និងការសង្កេតទាំងនេះត្រូវបានពន្យល់ដោយការធ្វើពិសោធន៍នៅទសវត្សឆ្នាំ ១៩៦០ ដែលនាំឱ្យមានការរកឃើញថាសំណុំគីមីពន្លឺចំនួនពីរដែលឥឡូវត្រូវបានគេស្គាល់ថា ប្រព័ន្ធពន្លឺទី១ (Photosystem I ឬ PSI) និង ប្រព័ន្ធពន្លឺទី២ II (Photosystem II ឬ PSII) ដែលប្រតិបត្តិការជាស៊េរីដើម្បីដឹកនាំប្រតិកម្មផ្ទុកថាមពលដំបូងនៃរស្មីសំយោគ។ ប្រព័ន្ធពន្លឺទី១ ស្រូបយកពន្លឺពណ៌ក្រហមឆ្ងាយនៃជំហានរលកធំជាង

៦៨០nm ហើយប្រព័ន្ធពន្លឺទី២ ស្រូបយកពន្លឺពណ៌ក្រហម ចម្ងាយ ៦៨០nm។ ភាពខុសគ្នាមួយទៀតរវាងប្រព័ន្ធពន្លឺទាំងពីរមានដូចជា៖

- ប្រព័ន្ធពន្លឺទី១ ផលិតភ្នាក់ងារកាត់បន្ថយដ៏រឹងមាំមួយដែលមានសមត្ថភាពកាត់បន្ថយ $NADP^+$ និងអុកស៊ីតករខ្សោយ។



រូបភាពទី៦.៣៖ គ្រោងមានទម្រង់ជាអក្សរ Z នៃរស្មីសំយោគ បង្ហាញពីប្រតិកម្មនៃប្រព័ន្ធពន្លឺទី១ និងទី២ (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

- ប្រព័ន្ធពន្លឺទី២ ផលិតអុកស៊ីតករដ៏រឹងមាំមួយ មានសមត្ថភាពធ្វើអុកស៊ីតកម្មទឹក និងផលិតភ្នាក់ងារកាត់បន្ថយខ្សោយជាងភ្នាក់ងារកាត់បន្ថយដែលបានផលិតដោយប្រព័ន្ធពន្លឺទី១។

ភ្នាក់ងារកាត់បន្ថយដែលផលិតដោយប្រព័ន្ធពន្លឺទី២ កាត់បន្ថយឡើងវិញនូវអុកស៊ីតករដែលផលិតដោយប្រព័ន្ធពន្លឺទី១។ លក្ខណៈសម្បត្តិនៃប្រព័ន្ធពន្លឺទាំងពីរនេះត្រូវបានបង្ហាញតាមគ្រោងមានទំរង់ជាអក្សរ Z ដូចបានបង្ហាញក្នុងរូបភាពទី៦.៣។ ប្រតិបត្តិការនៃប្រព័ន្ធពន្លឺទី១ និង២ មានលក្ខណៈរូប និងគីមីខុសគ្នា ហើយប្រព័ន្ធពន្លឺនីមួយៗមានសារធាតុពណ៌ខៀវអង់តែន (Antenna pigments) និងកន្លែងប្រតិកម្មគីមីពន្លឺ (Photochemical reaction center) ផ្ទាល់ខ្លួន។ ប្រព័ន្ធពន្លឺទាំងពីរត្រូវបានភ្ជាប់គ្នាដោយខ្សែសង្វាក់ដឹកជញ្ជូនអេឡិចត្រុង។

៦.២ សមាសភាពចូលរួមការធ្វើរស្មីសំយោគ

៦.២.1 ក្លរ៉ូប្លាសគឺជាទីតាំងនៃរស្មីសំយោគ

នៅក្នុងកោសិកាអឺការីយ៉ូតដែលធ្វើរស្មីសំយោគ ការធ្វើរស្មីសំយោគកើតឡើងនៅក្នុងធាតុកោសិកាត្រូវបានគេស្គាល់ថា ក្លរ៉ូប្លាស (រូបភាពទី៦.៤)។ ទិដ្ឋភាពនៃរចនាសម្ព័នរបស់ក្លរ៉ូប្លាសមានប្រព័ន្ធទូលំទូលាយនៃភ្នាសខាងក្នុងដែលគេស្គាល់ថា ទីឡាកូអ៊ីត (Thylakoid)។ រាល់ក្លរ៉ូហ្វីលទាំងអស់ត្រូវបានផ្ទុកនៅក្នុងប្រព័ន្ធភ្នាសនេះ ដែលជាទីតាំងនៃប្រតិកម្មពន្លឺនៃរស្មីសំយោគ។

រូបភាពទី៦.៤៖ ទម្រង់នៃក្លរ៉ូប្លាស (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

ប្រតិកម្មកាត់បន្ថយកាបូនដែលជា កាតាលីករដោយអង់ស៊ីមរលាយក្នុងទឹក កើតឡើងនៅតំបន់ស្ត្រូម៉ា នៃក្លរ៉ូប្លាសនៅខាងក្រៅទីឡាកូអ៊ីត។ ភាគច្រើន ទីឡាកូអ៊ីត (Thylakoid) មានទំនាក់ទំនងយ៉ាងជិតស្និទ្ធជាមួយគ្នាទៅវិញទៅមក។ ភ្នាសទីឡាកូអ៊ីត ដែលត្រួតលើគ្នាត្រូវបានគេស្គាល់ថាជា បន្ទះស្តើងក្រាណា (grana lamellae)និងភ្នាសដែលមិនត្រួតលើគ្នាត្រូវបានគេស្គាល់ថាជាបន្ទះស្តើងស្ត្រូម៉ា(stroma lamellae)។

ភ្នាសពីរដាច់ដោយឡែកពីគ្នាដែលភ្នាសនីមួយៗផ្សំឡើងដោយស្រទាប់ទ្វេនៃលីពីត និងរួមគ្នាត្រូវបានគេស្គាល់ថាជាសម្បក (Envelope) ដែលព័ទ្ធជុំវិញដោយប្រភេទភាគច្រើននៃក្លរ៉ូប្លាស (រូបភាពទី៦.៥)។ ប្រព័ន្ធភ្នាសទ្វេនេះផ្ទុកនូវប្រព័ន្ធដឹកជញ្ជូនមេតាប៉ូលីសផ្សេងៗគ្នា។ ក្លរ៉ូប្លាសក៏មាន DNA, RNA និង រីបូសូម ផ្ទាល់ខ្លួនរបស់វាដែរ។ ប្រូតេអ៊ីនក្លរ៉ូប្លាសមួយចំនួន គឺជាផលិតផលនៃការចម្លង និងបកប្រែនៅក្នុង ក្លរ៉ូ

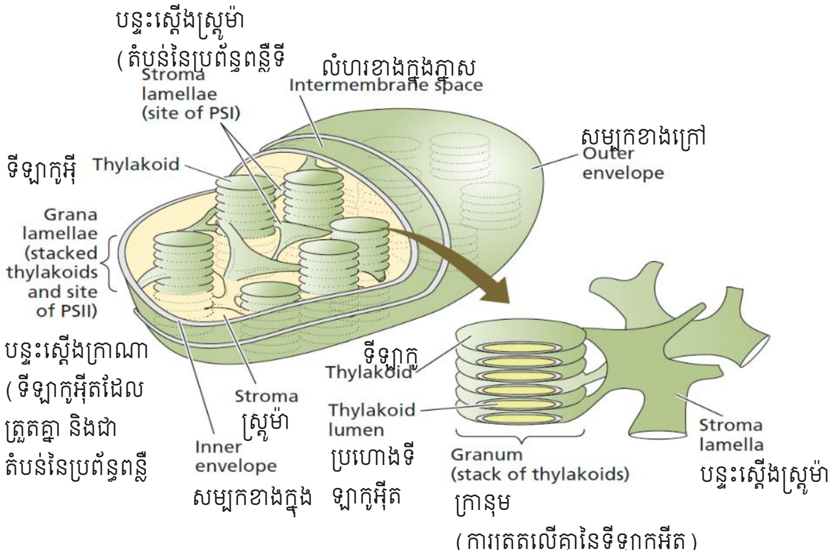
ប្លាសរបស់ខ្លួនវាផ្ទាល់ ចំណែកឯប្រូតេអ៊ីនភាគច្រើនទៀតត្រូវបានចម្លងដោយ ឌីអិនអេនុយក្លេអ៊ែរ (Nuclear DNA) ដែលត្រូវបានសំយោគនៅ រីបូសូម ក្នុងស៊ីតូប្លាស ហើយបន្ទាប់មកត្រូវបាននាំចូលទៅក្នុងក្លរ៉ូប្លាស។

៦.២.២ ទីឡាកូអ៊ីតផ្ទុកប្រូតេអ៊ីនសំខាន់ៗនៅភ្នាសរបស់វា

ពពួកប្រូតេអ៊ីនជាច្រើនប្រភេទដែលចាំបាច់សម្រាប់ការធ្វើរស្មីសំយោគ បង្កប់ក្នុងភ្នាសទីឡាកូអ៊ីត។ ក្នុងករណីជាច្រើន ផ្នែកនៃប្រូតេអ៊ីនទាំងនេះលាតសន្ធឹងចូលទៅក្នុងតំបន់ដែលមានទឹក នៅលើផ្នែកទាំងសងខាងនៃទីឡាកូអ៊ីត។ ប្រូតេអ៊ីនភ្នាសសំខាន់ៗទាំងនេះ ផ្ទុកបរិមាណដ៏ច្រើននៃអាមីណូអាស៊ីតមិនរលាយក្នុងទឹក។ ប្រូតេអ៊ីនភ្នាសទីឡាកូអ៊ីត មានតំបន់មួយនៅចន្លោះខាងក្នុងនៃទីឡាកូអ៊ីតដែលត្រូវបានគេស្គាល់ថា ប្រហោង (Lumen) (រូបភាពទី៦.៥)។

៦.២.៣ ប្រព័ន្ធពន្លឺទ១ និង ទី២ ត្រូវបានបំបែកចេញពីគ្នានៅក្នុងភ្នាសទីឡាកូអ៊ីត

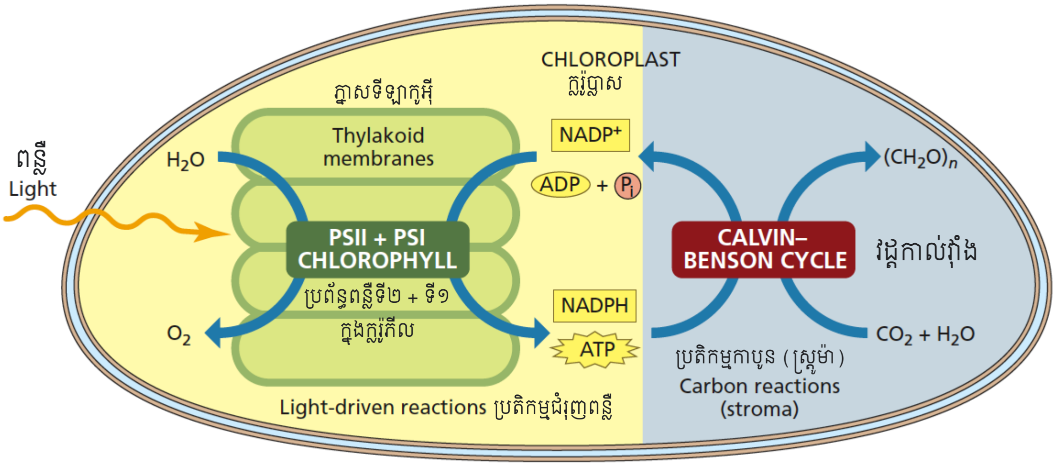
កន្លែងប្រតិកម្មប្រព័ន្ធពន្លឺទី២ រួមជាមួយក្លរ៉ូភីលអង់តែន និងប្រូតេអ៊ីនដឹកជញ្ជូនអេឡិចត្រុងដែលជាប់ទាក់ទងគឺមានទីតាំងនៅបន្ទះស្តើងក្រាណា (រូបភាពទី៦.៥)។ កន្លែងប្រតិកម្មប្រព័ន្ធពន្លឺទី២ និងសារជាតុពណ៌អង់តែនដែលជាប់ទាក់ទង និងប្រូតេអ៊ីនផ្ទេរអេឡិចត្រុងក៏ដូចជាអង់ស៊ីមសំយោគ ATP ត្រូវបានគេរកឃើញស្ទើរតែទាំងស្រុងនៅក្នុងបន្ទះស្តើងស្ត្រូម៉ា និងនៅគែមនៃបន្ទះស្តើងក្រាណា។ កុំផ្លិចស៊ីតូក្រូម b_6f (*cytochrome* b_6f) នៃខ្សែសង្វាក់ដឹកជញ្ជូនអេឡិចត្រុងដែលតភ្ជាប់ប្រព័ន្ធពន្លឺទាំងពីរ ត្រូវបានចែកចាយស្មើៗគ្នារវាង ស្ត្រូម៉ា និងបន្ទះស្តើងក្រាណា។



រូបភាពទី៦.៥៖ ទម្រង់នៃការរៀបចំទូទៅនៃភ្នាសនៅក្នុងក្លរ៉ូប្លាស (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

៦.៣ វដ្តកាល់វ៉ាំង (Calvin–Benson Cycle)

វដ្តកាល់វ៉ាំង ជាស៊េរីនៃប្រតិកម្មអង់ស៊ីមដែលក្នុងនោះ CO_2 ត្រូវបានរេដុកម្មទៅជា ៣-ផូស្វូគ្លីសេរ៉ាត (3-phosphoglycerate) ដែលជាសមាសធាតុមានកាបូន៣ ហើយម៉ូលេគុលរីប៊ុយឡូស ១,៥ ប៊ីផូស្វាត (Ribulose-1,5-bisphophate) ដែលជាអ្នកទទួល CO_2 ត្រូវបានបង្កើតឡើងវិញ (រូបភាពទី៦.៦ និង៦.៧) ។ ពន្លឺព្រះអាទិត្យផ្តល់ថាមពលសម្រាប់ការរួមបញ្ចូលគ្នានៃកាបូនអសរីរាង្គចូលទៅក្នុងសារធាតុសរីរាង្គដោយស្វ័យប្រវត្តិ។ វដ្តកាល់វ៉ាំង គឺជាលំនាំចម្បងសម្រាប់ការបម្លែងនេះនៅក្នុងប្រូការីយ៉ូតជាច្រើន និងនៅក្នុងអឺការីយ៉ូតទាំងអស់ដែលធ្វើរស្មីសំយោគ។



រូបភាពទី៦.៦៖ ប្រតិកម្មពន្លឺ និងកាបូននៃរស្មីសំយោគក្នុងក្លរ៉ូប្លាសរបស់រុក្ខជាតិ (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

លំនាំនេះកាត់បន្ថយ ស្ថានភាពអុកស៊ីតកម្មនៃកាបូនពីតម្លៃខ្ពស់បំផុតដែលមាននៅក្នុង CO_2 ដល់កម្រិតកាបូនដែលរកឃើញនៅក្នុងសារធាតុស្ករ។ នៅក្នុងទិដ្ឋភាពនៃសមត្ថភាពគួរឱ្យកត់សម្គាល់សម្រាប់ការបន្ថយស្ថានភាពអុកស៊ីតកម្មកាបូន វដ្តកាល់វ៉ាំង ក៏ត្រូវបានគេដាក់ឈ្មោះឱ្យថា វដ្តប៉ង់តូសផូស្វាត ដែលបានកាត់បន្ថយ និងវដ្តកាត់បន្ថយកាបូនរស្មីសំយោគ។ NADPH និង ATP ដែលបង្កើតឡើងដោយពន្លឺនៅក្នុង ទីឡាកូអ៊ីតនៃក្លរ៉ូប្លាស ជំរុញប្រតិកម្មការភ្ជាប់កាបូននៃ CO_2 ពីបរិយាកាសតាមរយៈ វដ្តកាល់វ៉ាំង នៅក្នុង ស្ត្រូម៉ានៃក្លរ៉ូប្លាស (រូបភាពទីទី៦.៦) ។

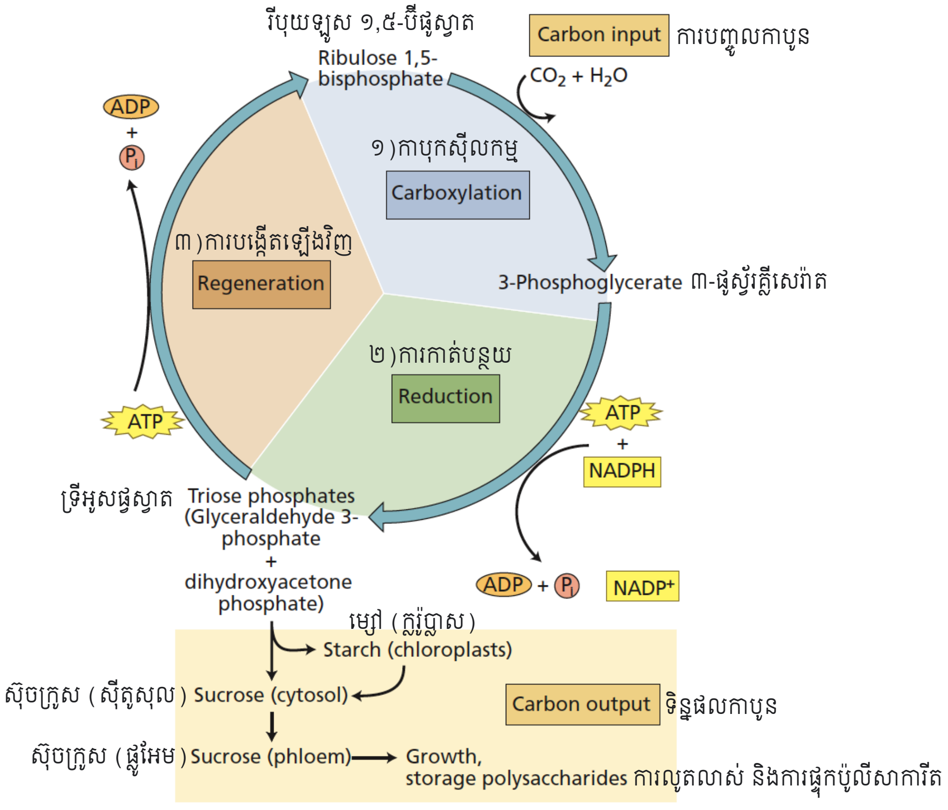
វដ្តកាល់វ៉ាំង ដំណើរការជាបីដំណាក់កាលដែលមានការសហការគ្នាខ្ពស់ នៅក្នុងក្លរ៉ូប្លាស (រូបភាពទី៦.៧)៖

ដំណាក់កាលទី១៖ ជាកាបុកស៊ីលកម្ម (Carboxylation) នៃម៉ូលេគុលទទួលយក CO_2។ ជំហានដំបូងនៃប្រតិកម្មអង់ស៊ីមនេះនៅក្នុងវដ្តកាល់វ៉ាំងគឺជាប្រតិកម្ម CO_2 និងទឹកជាមួយរីប៊ុយឡូស ១,៥ ប៊ីផូស្វាត (Ribulose 1,5-bisphosphate) ដែលជាម៉ូលេគុលទទួយកកាបូន ដើម្បីបង្កើត ម៉ូលេគុលចំនួនពីរនៃ

៣-ផូស្វ័គ្លីសេរ៉ាត (3-phosphoglycerate) ដែលមានកាបូនជាមធ្យមចំនួនបី។ ប្រតិកម្មនេះត្រូវបានជំរុញដោយ អង់ស៊ីមក្នុងក្លរ៉ូប្លាសដែលស្គាល់ថា Ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (Rubisco)។

ដំណាក់កាលទី២៖ ជាការកាត់បន្ថយ (Reduction) នៃ៣-ផូស្វ័គ្លីសេរ៉ាត (3-phosphoglycerate)។ ៣-ផូស្វ័គ្លីសេរ៉ាត ត្រូវបានបម្លែងទៅជា កាបូអ៊ីដ្រាតដែលមានកាបូន៣ ដែលជា ទ្រីអូសផូស្វាត (Triose phosphates) ដោយប្រិតកម្មអង់ស៊ីមជំរុញដោយ ATP និង NADPH ដែលបង្កើតឡើងដោយរស្មីគីមី។

ដំណាក់កាលទី៣៖ ជាការបង្កើតឡើងវិញ (Regeneration) នៃម៉ូលេគុល រីប៉ុយឡូស ១,៥ ប៊ីផូស្វាត (Ribulose 1,5-bisphosphate) ដែលជាទទួលយក CO_2។ វដ្តកាល់វ៉ាំងនេះត្រូវបានបញ្ចប់ដោយការបង្កើតឡើងវិញ នៃ រីប៉ុយឡូស ១,៥ ប៊ីផូស្វាត តាមរយៈស៊េរីប្រេតិកម្ម កាតាលីករអង់ស៊ីមចំនួន ១០ ដែលប្រតិកម្មមួយក្នុងចំនោមប្រតិកម្មទាំងនោះត្រូវការ ATP។



រូបភាពទី៦.៧៖ វដ្តកាល់វ៉ាំង (Calvin–Benson Cycle) ដំណើរការបន្តគ្នាជាបីដំណាក់កាល (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

ទិន្នផលកាបូនដែលជា ទ្រីអូលផូស្វាត ធ្វើអោយមានស្ថិរភាពក្នុង ការបញ្ចូលកាបូនដែលផ្តល់ដោយ CO_2 ពីបរិយាកាស។ ទ្រីអូលផូស្វាតដែលបានបង្កើតដោយវដ្តកាល់វ៉ាំង ត្រូវបានបម្លែងទៅជាសារធាតុម្សៅ

នៅក្នុងក្លរ៉ូប្លាស ឬនាំចេញទៅស៊ីតូសូល សម្រាប់ការបង្កើត ស៊ុចក្រូស (sucrose)។ ស៊ុចក្រូសត្រូវបានដឹកជញ្ជូននៅក្នុងផ្លូវអែម ទៅសរីរាង្គរុក្ខជាតិដើម្បីទ្រទ្រង់ការសូលលាស់ និងការសំយោគផលិតផលសម្រាប់ស្តុកទុក។

៦.៤ យន្តការប្រមូលផ្តុំកាបូនអសរីរាង្គ

នៅក្នុងរុក្ខជាតិលើដី ការសាយភាយ (diffusion) នៃ CO_2 ពីបរិយាកាស ទៅក្លរ៉ូប្លាស មានតួនាទីយ៉ាងសំខាន់ក្នុងការធ្វើរស្មីសំយោគ។ ដើម្បីបញ្ចូលទៅក្នុងសមាសធាតុស្ករ កាបូនអសរីរាង្គត្រូវឆ្លងកាត់ឧបសគ្គ ៤យ៉ាងគឺ ភ្នាសគ្រោង (Cell wall) ភ្នាសស៊ីតូប្លាស (Plasma membrane) ស៊ីតូប្លាស (Cytoplast) និងសម្បកក្លរ៉ូប្លាស (Chloroplast envelope)។ ភស្តុតាងថ្មីៗបានបង្ហាញថាប្រូតេអ៊ីនភ្នាសដែលបង្កើតជារន្ធញើស (Aquaporins) ដើរតួជាអ្នកសម្របសម្រួលការសាយភាយ ចំពោះម៉ូលេគុលតូចៗផ្សេងៗគ្នា ដែលកាត់បន្ថយភាពធន់នៃមេសូភីល (Mesophyll) ទៅនឹងការដឹកជញ្ជូន CO_2។ រុក្ខជាតិលើដីបានវិវត្តន៍យន្តការប្រមូលផ្តុំកាបូនចំនួនពីរ សម្រាប់ការបង្កើនកំហាប់ CO_2 នៅកន្លែងធ្វើកាបុកស៊ីលកម្មជុំវិញដោយរុយប៊ីស្កូ (Rubisco) គឺ៖

១. ការភ្ជាប់កាបូនរស្មីសំយោគ C_4 (C_4)

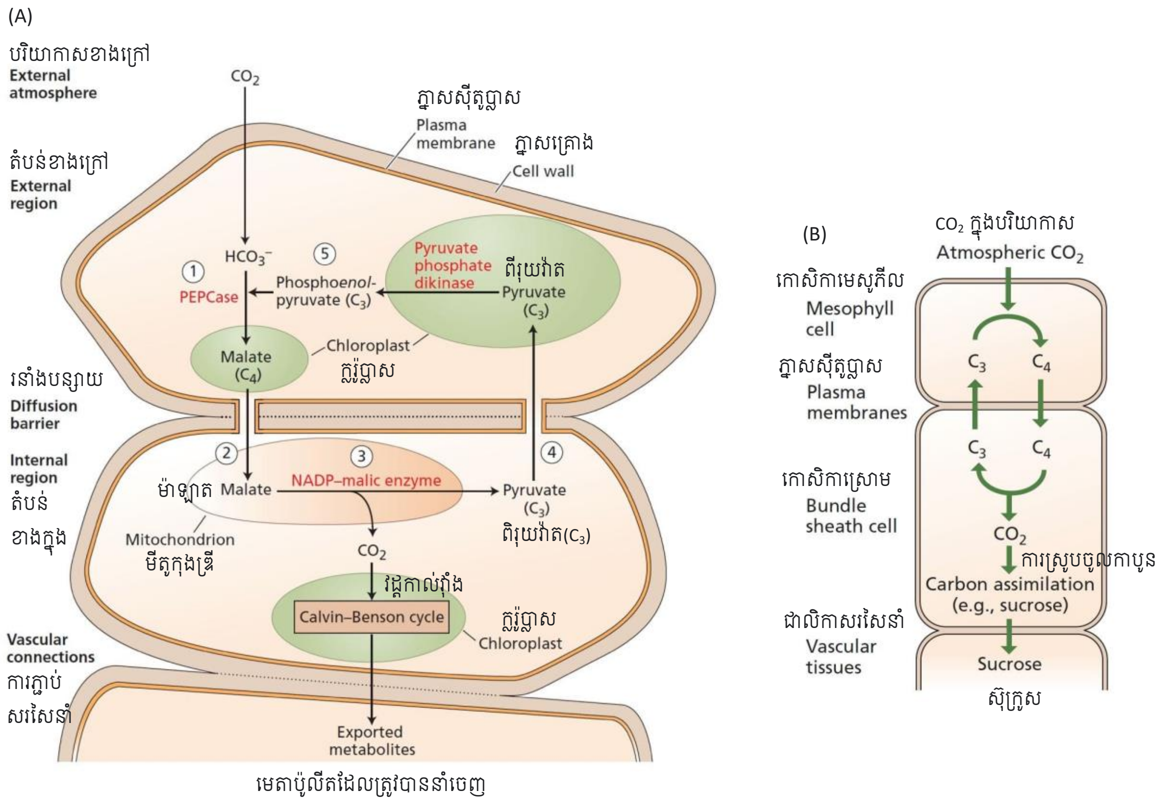
២. មេតាប៉ូលីសអាស៊ីតក្រាស៊ុលឡាសេ (Crassulacean acid metabolism ឬ CAM)

៦.៤.១ វដ្តកាបូន C_4

នៅចុងទសវត្សរ៍ឆ្នាំ ១៩៥០ H.P Kortschack និង Y. Karpilov បានសង្កេតឃើញថា ទម្រង់ $^{14}CO_2$ ត្រូវបានលេចចេញដំបូងជាអាស៊ីតកាបូន៤ដូចជា មាឡាត (Malate) និងអាស្ប៉ាតាត (Aspartate) នៅពេលដែល $^{14}CO_2$ ត្រូវបានបញ្ជូនទៅស្លឹករបស់អំពៅ និងពោតនៅលក្ខខណ្ឌមានពន្លឺ។ ប៉ុន្តែលទ្ធផលនេះខុសពីការរំពឹងទុក ពីព្រោះអាស៊ីតកាបូន៣ ដែលជា ៣-ផូស្វ័រគ្លីសេរ៉ាត (3-phophoglycerate) គឺជាផលិតផលដែលជាទម្រង់ដំបូងនៅក្នុងវដ្តកាល់វ៉ាំង។ M.D. Hatch និង C.R. Slack បានពន្យល់ថា ការបែងចែកកាបូនបានមកពីកាំរស្មីដោយការស្នើយន្តការជំនួសមួយ ទៅវដ្តកាល់វ៉ាំង។ យន្តការជំនួសនេះត្រូវបានគេដាក់ឈ្មោះថា វដ្តកាបូនរស្មីសំយោគ C_4 (ត្រូវបានគេស្គាល់ផងដែរដូចជាវដ្ត Hatch-Slack ឬ វដ្ត C_4)។

Hatch និង Slack បានរកឃើញថា មាឡាត (malate) និងអាស្ប៉ាតាត (Aspartate) គឺជាអន្តរការីមានស្ថេរភាពដំបូងនៃរស្មីសំយោគ និងបានរកឃើញថា កាបូន ៤ នៃអាស៊ីតកាបូន៤ ទាំងនេះ ជាបន្តបន្ទាប់ក្លាយជាកាបូន ១ នៃ ៣-ផូស្វ័រគ្លីសេរ៉ាត (3-phophoglycerate)។ ការផ្លាស់ប្តូរទាំងនេះ កើតឡើងនៅក្នុងប្រភេទកោសិកាដែលមានលក្ខណៈរូបខុសគ្នាពីរគឺ កោសិកាមេសូភីល (Mesophyll) និងកោសិកាស្រោម (bundle sheath) ដែលត្រូវបានបំបែកដោយភ្នាសគ្រោង និងភ្នាសរបស់ពួកវារៀងៗខ្លួន (រូបភាពទី៦.៨)។

ការធ្វើរស្មីសំយោគ C_4 បានវិវត្តន៍ជាយន្តការប្រមូលផ្តុំកាបូនដ៏សំខាន់មួយដែលប្រើប្រាស់ដោយរុក្ខជាតិលើដី ដើម្បីទូទាត់មកវិញសម្រាប់ដែនកំណត់ដែលទាក់ទងនឹងកម្រិតទាបនៃ CO_2 ពីបរិយាកាស។ ដំណាំដែលមានផលិតភាពច្រើនបំផុតមួយចំនួនដូចជា ពោត និងអំពៅ ប្រើយន្តការនេះ ដើម្បីបង្កើនសមត្ថភាពកាតាលីកររបស់អង់ស៊ីម Rubisco។



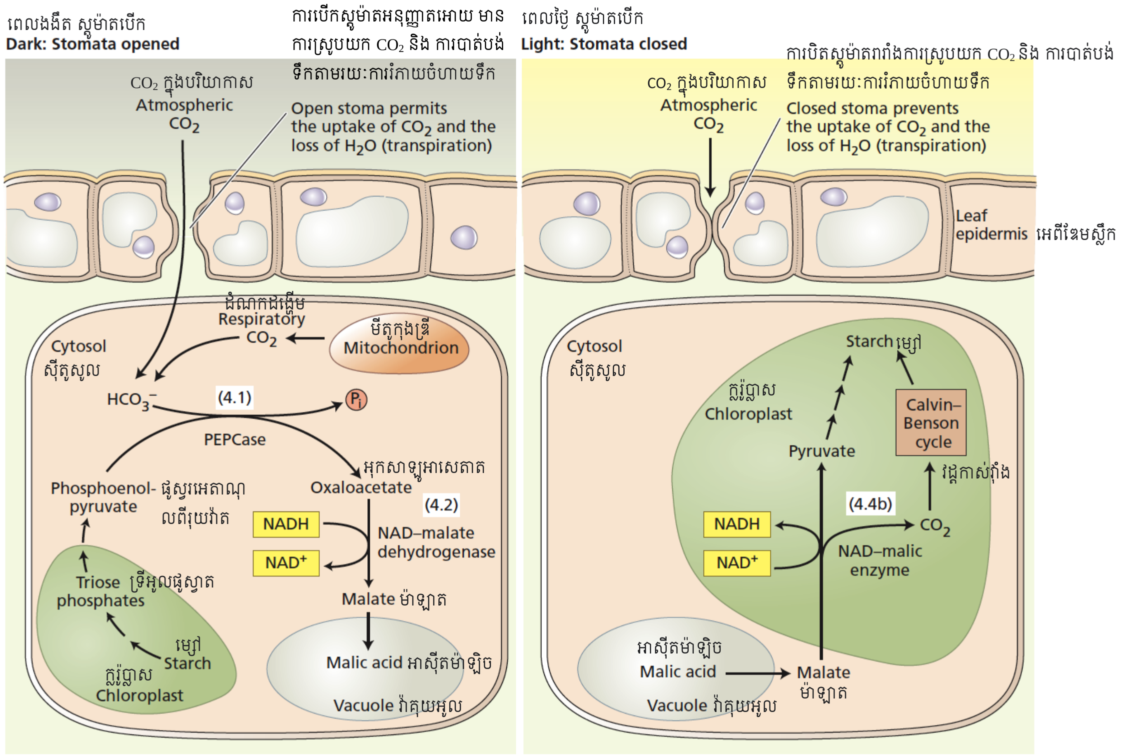
រូបភាពទី៦.៨៖ A) វដ្តកាបូនរស្មីសំយោគ C_4 រួមបញ្ចូលដំណាក់៥ ក្នុង២ថតផ្សេងគ្នា B) លំនាំរស្មីសំយោគ C_4 ក្នុងស្លឹករុក្ខជាតិ (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

វដ្តកាបូនរស្មីសំយោគ C_4 ភ្ជាប់ CO_2 ពីបរិយាកាស តាមរយៈអង់ស៊ីម phosphoenolpyruvate carboxylase (PEPCase) ចូលទៅក្នុងគ្រោងកាបូនក្នុងថតមួយ។ ផលិតផលអាស៊ីតកាបូនចំនួន ៤ ហូរ ទៅថតផ្សេងទៀតដែលជាកន្លែងដែល CO_2 ត្រូវបានបញ្ចេញ និងភ្ជាប់ឡើងវិញដោយ អង់ស៊ីម Rubisco (រូបភាពទី៦.៨)។

៦.៤.២ មេតាប៉ូលីសអាស៊ីតក្រាស៊ុលឡាសេ (CAM)

យន្តការមួយទៀតសម្រាប់ប្រមូលផ្តុំ CO_2 ជុំវិញ Rubisco មានវត្តមាននៅក្នុងរុក្ខជាតិជាច្រើនដែលរស់នៅក្នុងតំបន់ស្ងួត ជាមួយនឹងការទទួលបានទឹកតាមរដូវ រួមទាំងរុក្ខជាតិសំខាន់ៗសម្រាប់ពាណិជ្ជកម្ម

ដូចជាម្នាស់ (Ananas comosus) អេហ្គេវ (Agave spp.) ដើមដំបងយក្ស (Cactaceae) និង អ័រគីដេ (Orchidaceae)។ ភាពខុសគ្នាសំខាន់ៗ នៃការភ្ជាប់កាបូនក្នុងស្ទើសំយោគនេះ ត្រូវបានគេដាក់ឈ្មោះ ថា មេតាប៉ូលីសអាស៊ីតក្រាស៊ុលឡាសេ (CAM) (រូបភាពទី៦.៩)។ ស្លឹករបស់រុក្ខជាតិ CAM មានលក្ខណៈដែលកាត់បន្ថយការបាត់បង់ទឹកឱ្យបានតិចបំផុត ដូចជា គុយទីគុល (Cuticle) ក្រាស់ វ៉ាគុយអូល (Vacuole) ធំ និង ស្តូម៉ាត (Stomata) ជាមួយជម្រៅតូចៗ។ នៅក្នុងមេតាប៉ូលីសនៃរុក្ខជាតិ CAM ការស្រូបយក CO_2 ត្រូវបានបំបែកជាបណ្ដោះអាសន្នពីការភ្ជាប់ឡើងវិញ តាមរយៈវដ្តកាលវ៉ាំង។ ការស្រូបយក CO_2 ពីបរិយាកាសកើតឡើងនៅពេលយប់នៅពេលដែលស្តូម៉ាត (Stomata) បើក។



រូបភាពទី៦.៩៖ មេតាប៉ូលីសអាស៊ីតក្រាស៊ុលឡាសេ (CAM) (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

នៅដំណាក់កាលនេះឧស្ម័នកាបូនិច (CO_2) នៅក្នុងស៊ីតូសុល ដែលមកពីបរិយាកាសខាងក្រៅ និងដំណកដង្ហើមពី មីតូកុងទ្រី បង្កើនកម្រិត HCO_3^- [$CO_2 + H_2O \leftrightarrow HCO_3^- + H^+$]។ បន្ទាប់មកអង់ស៊ីម PEPCase នៅក្នុងស៊ីតូសូល ជំរុញឱ្យមានប្រតិកម្មរវាង HCO_3^- និង ផូស្វូរអេតាណុលពីរុយវ៉ាត (Phosphorenol- pyruvate) ដែលផ្ដល់ដោយការបំបែកម្សៅនៅក្នុងក្លរ៉ូប្លាសនៅពេលយប់។ អាស៊ីតកាបូន៤ ដែលបង្កើតឡើងគឺ អុកសាឡូអាសេតាត (Oxaloacetate) ត្រូវបានកាត់បន្ថយទៅជា ម៉ាឡាត (Malate)

ដែលបន្ទាប់មកបន្តទៅជា អាស៊ីតម៉ាឡិច (Malic acid) នៃវ៉ាគុយអូល។ កំឡុងពេលថ្ងៃ អាស៊ីតម៉ាឡិចដែលរក្សាទុកនៅក្នុងវ៉ាគុយអូលហូរត្រលប់ទៅស៊ីតូសូល។ សកម្មភាពរបស់អង់ស៊ីម NAD-malic ផ្លាស់ប្តូរ malate ដែលបញ្ចេញ CO_2 ដែលត្រូវបានភ្ជាប់ឡើងវិញ ទៅក្នុងគ្រោងកាបូនដោយវដ្តកាលវ៉ាំង។ ការប្រមូលផ្តុំម្សៅនៅពេលថ្ងៃក្នុងក្លរ៉ូប្លាស បង្កើតជាការចំណេញ នូវការស្រូបយកកាបូនអសរីរាង្គនៅពេលយប់។ អត្ថប្រយោជន៍នៃការបិទ ស្តូម៉ាតនៅពេលថ្ងៃគឺវាការពារមិនត្រឹមតែការបាត់បង់ទឹកតាមរយៈការរំភាយចំហាយទឹកប៉ុណ្ណោះទេប៉ុន្តែថែមទាំងផ្លាស់ប្តូរ CO_2 នៅខាងក្នុងជាមួយបរិយាកាសខាងក្រៅ។

៦.៤ ភាពខុសគ្នារវាងរុក្ខជាតិ C3, C4 និង CAM

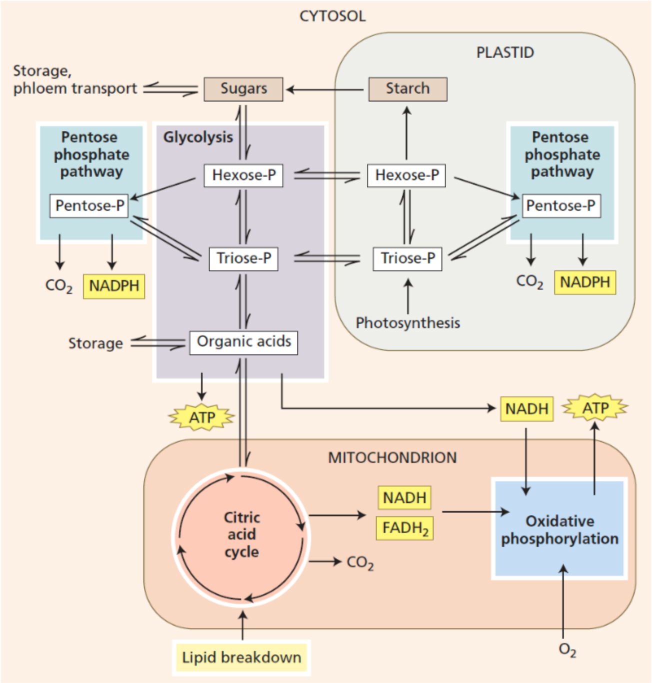
សារពាង្គកាយស្ទើសំយោគដែលឆ្លងកាត់ការធ្វើរស្មីសំយោគ C_3 ចាប់ផ្តើមដំណើរការនៃការបម្លែងថាមពលដែលត្រូវបានគេស្គាល់ថាជាវដ្តកាលវ៉ាំង ដោយផលិតសមាសធាតុកាបូនបីហៅថាអាស៊ីត ៣-ផូស្វ័គ្លីសេរ៉ាត (3-phosphoglyceric acid) (រូបភាពទី៦.៧)។ នេះគឺជាហេតុផលសម្រាប់ចំណងជើង "C_3" ។ ការធ្វើរស្មីសំយោគ C_3 គឺជាដំណើរការ ដំណាក់កាលមួយដែលកើតឡើងនៅខាងក្នុងនៃសរីរាង្គ ក្លរ៉ូប្លាសដែលដើរតួជាកន្លែងផ្ទុកថាមពលពន្លឺព្រះអាទិត្យ។ រុក្ខជាតិប្រើថាមពលនោះដើម្បីផ្តុំ ATP និង NADPH ទៅជាម៉ូលេគុលស្ករដែលត្រូវការ។ ប្រហែល ៨៥% នៃរុក្ខជាតិនៅលើផែនដីប្រើប្រាស់រស្មីសំយោគ C_3។

ការធ្វើរស្មីសំយោគ C_4 គឺជាដំណើរការនៃដំណាក់កាលចំនួន២ ដែលផលិតសមាសធាតុកាបូនមធ្យមចំនួន ៤ (រូបភាពទី៦.៨)។ ដំបូងដំណើរការរស្មីសំយោគ C_4 កើតឡើងនៅក្នុងក្លរ៉ូប្លាសនៃកោសិកាមេសូភីលដែលមានភ្នាសស្តើង។ បន្ទាប់មក រុក្ខជាតិទាញយកសមាសធាតុពីកោសិកាមេសូភីល ចូលទៅក្នុងកោសិកាស្រោម (Bundle sheath cell) ដែលមានភ្នាសក្រាស់ ជាទីកន្លែងដែលវាបំបែកសមាសធាតុទៅជា CO_2 និងសមាសធាតុកាបូន៣។ បន្ទាប់មក CO_2 ឆ្លងកាត់វដ្តកាល់វ៉ាំង ដូចនៅក្នុងការធ្វើរស្មីសំយោគ C_3 ។ អត្ថប្រយោជន៍នៃការធ្វើរស្មីសំយោគ C_4 គឺថាវាបង្កើតកំហាប់កាបូនខ្ពស់ដែលធ្វើឱ្យសារពាង្គកាយ C_4 កាន់តែមានភាពរស់រានមានជីវិតនៅក្នុងជម្រកដែលមានពន្លឺតិច និងទឹក។

នៅក្នុងរស្មីសំយោគប្រភេទ CAM សារពាង្គកាយស្រូបយកថាមពលពន្លឺព្រះអាទិត្យនៅពេលថ្ងៃបន្ទាប់មកប្រើថាមពលដើម្បីភ្ជាប់ម៉ូលេគុល CO_2 នៅពេលយប់ (រូបភាពទី៦.៩)។ នៅពេលថ្ងៃ ស្តូម៉ាត (stomata) របស់សារពាង្គកាយបិទជិតដើម្បីទប់ទល់បាត់បង់ជាតិទឹក ខណៈពេលដែល CO_2 ពីយប់មុន ឆ្លងកាត់វដ្តកាល់វ៉ាំង។ ការធ្វើរស្មីសំយោគ CAM អនុញ្ញាតឱ្យរុក្ខជាតិអាចរស់រានមានជីវិតនៅក្នុងអាកាសធាតុស្ងួតហើយដូច្នេះគឺជាប្រភេទរស្មីសំយោគដែលត្រូវបានប្រើដោយ ដើមដំបងយក្ស និងរុក្ខជាតិនៅវាលខ្សាច់ដទៃទៀត។ ទោះយ៉ាងណាក៏ដោយរុក្ខជាតិមិននៅវាលខ្សាច់ដូចជាម្នាស់ និងរុក្ខជាតិអេពីភីត (Epiphyte) ដូចជាផ្កាអ័រគីដេក៏ប្រើរស្មីសំយោគ CAM ដែរ។

ជំពូកទី ៧
ដំណកដង្ហើម

រស្មីសំយោគផ្តល់នូវបណ្តុំសាងសង់សរីរាង្គដែលរុក្ខជាតិ (និងភាវរសជីវទៀតស្ទើរតែទាំងអស់) ពឹងផ្អែកលើ។ ដំណកដង្ហើមជាមួយការធ្វើមេតាប៉ូលីសកាបូនដែលទាក់ទងនឹងដំណកដង្ហើម បញ្ចេញថាមពលដែលផ្ទុកនៅក្នុងសមាសធាតុកាបូនក្នុងលក្ខណៈគ្រប់គ្រងសម្រាប់ការប្រើប្រាស់ក្នុងកោសិកា និងសម្រាប់សំយោគជីវគីមី។



រូបភាពទី៧.១៖ ទិដ្ឋភាពទូទៅនៃប្រតិកម្មដំណកដង្ហើមរុក្ខជាតិ (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

៧.១ ទិដ្ឋភាពទូទៅនៃដំណកដង្ហើមរុក្ខជាតិ

ដំណកដង្ហើមដោយខ្យល់ (ត្រូវការអុកស៊ីសែន) គឺជារឿងធម្មតាទៅហើយ សម្រាប់សារពាង្គកាយអឺការីយ៉ូ ហើយលំនាំនៃដំណើរការដំណកដង្ហើមនៅក្នុងរុក្ខជាតិគឺស្រដៀងគ្នាទៅនឹងលំនាំដំណកដង្ហើមរបស់សត្វដែរ។ ដំណកដង្ហើមដោយខ្យល់ គឺជាដំណើរការជីវសាស្ត្រដែលសមាសធាតុសរីរាង្គដែលត្រូវបានកាត់បន្ថយ និងត្រូវបានធ្វើអុកស៊ីតកម្ម។ ក្នុងអំឡុងពេលនៃដំណកដង្ហើម ថាមពលត្រូវបានបញ្ចេញ និងត្រូវបានផ្ទុកជាបណ្តោះអាសន្ននៅក្នុងសមាសធាតុមួយគឺ ATP ដែលត្រូវបានប្រើដោយប្រតិកម្មកោសិកាសម្រាប់ការថែរក្សា និងការអភិវឌ្ឍ។

គ្លុយកូស (Glucose) ជាធម្មតាត្រូវបានគេលើកឡើងថា ជាម៉ូលេគុលចម្បងប្រើប្រាស់សម្រាប់ដំណកដង្ហើម ។ នៅក្នុងប្រភេទកោសិការុក្ខជាតិភាគច្រើន កាបូនដែលត្រូវបានកាត់បន្ថយ បានមកពីប្រភព ដូចជា ស៊ុក្រូសឌីសាក់ការីត (Sucrose disaccharide) ស្ករផ្សេងទៀតដូចជា អាស៊ីតសរីរាង្គ ត្រីយ៉ូសផូស្វាត (Triose phosphates) ពីរស្មើសំយោគ និងមេតាប៉ូលីសបានមកពី លីពីត និងដំណើរការនៃការផ្លាស់ប្តូរប្រូតេអ៊ីននៅក្នុងកោសិកា។

តាមទស្សនៈគីមី ដំណកដង្ហើមរុក្ខជាតិអាចត្រូវបានបង្ហាញដូចជាការធ្វើអុកស៊ីតកម្មម៉ូលេគុលស៊ុចក្រូសកាបូន១២ និងការកាត់បន្ថយនៃម៉ូលេគុល អុកស៊ីសែន ចំនួន ១២ ដូចខាងក្រោម៖

$$C_{12}H_{22}O_{11} + 13\ H_2O \rightarrow 12\ CO_2 + 48\ H^+ + 48\ e^-$$

$$12\ O_2 + 48\ H^+ + 48\ e^- \rightarrow 24\ H_2O$$

ហើយផ្តល់នូវប្រតិកម្មដូចខាងក្រោម៖

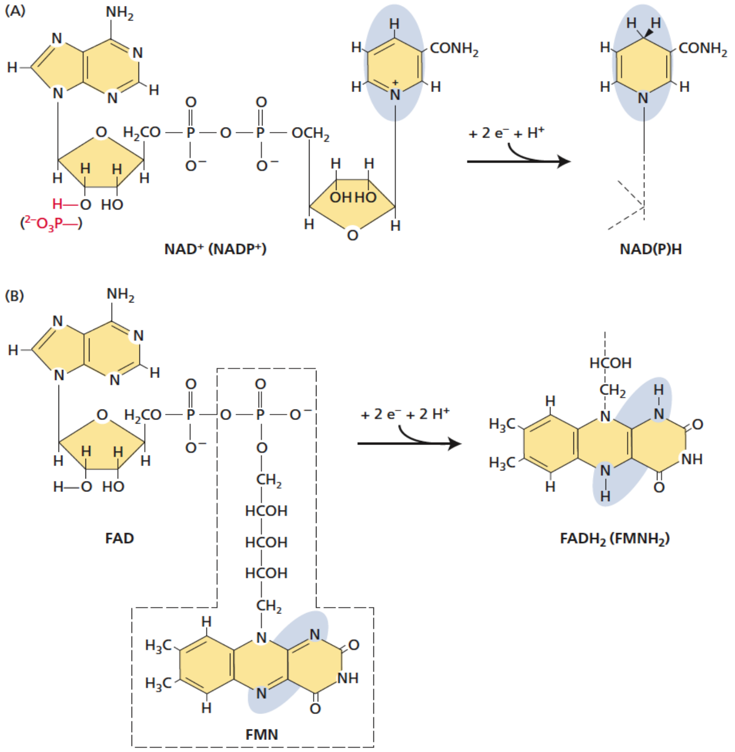
$$C_{12}H_{22}O_{11} + 12\ O_2 \rightarrow 12\ CO_2 + 11\ H_2O$$

ដើម្បីការពារការបំផ្លាញដោយកម្តៅនៃរចនាសម្ព័ន្ធកោសិកា កោសិកាធ្វើអុកស៊ីតកម្ម ស៊ុចក្រូស នៅក្នុងស៊េរីនៃប្រតិកម្មមួយជំហានម្តងៗ។ ប្រតិកម្មទាំងនេះអាចត្រូវបានដាក់ជាដំណើរការបួនក្រុមធំៗ៖ ១)គ្លីកូលីស ឬ ការបំបែកគ្លុយកូស (Glycolysis) ២)ចលនការប៉ង់តូផូស្វាតតាមអុកស៊ីតកម្ម (Oxidative pentose phosphate pathway) ៣)វដ្តអាស៊ីតស៊ីតទ្រិច (Citric acid cycle) និង ៤)ផូស្វ័រកម្មតាមអុកស៊ីតកម្ម (Oxidative phosphorylation) (រូបភាពទី៧.១)។ ដំណើរការទាំងនេះ មិនដំណើរការឆ្ងាយពីគ្នានោះទេ ប៉ុន្តែផ្លាស់ប្តូរមេតាប៉ូលីសនៅកម្រិតជាច្រើន។

គ្លីកូលីស ទាក់ទងនឹងប្រតិកម្មជាបន្តបន្ទាប់ដែលជំរុញដោយប្រតិកម្មអង់ស៊ីមដែលមានទាំងស៊ីតូសូល និងប្លាស្ទីត។ ឧទាហរណ៍៖ ស៊ុចក្រូសត្រូវបានធ្វើអុកស៊ីតកម្មដោយ ស្ករផូស្វាតកាបូន៦ (Hexose phosphates/Hexose-P) និងស្ករផូស្វាតកាបូន៣ (Triose phosphates/Triose-P) ដើម្បីផលិតអាស៊ីតសរីរាង្គ។ ដំណើរការនេះផ្តល់នូវថាមពលតិចតួចដូចជា ATP និងការកាត់បន្ថយថាមពល នៅក្នុងទម្រង់នៃការកាត់បន្ថយ នុយក្លេអូទីត នីកូទីណាមីត (Nicotinamide nucleotide) ដែលជា NADH។

នៅក្នុងចលនការប៉ង់តូផូស្វាតតាមអុកស៊ីតកម្មដែលមានទីតាំងនៅស៊ីតូសូល និងប្លាស្ទិត គ្លុយកូស-៦-ផូស្វាតកាបូន៦ (Six carbon glucose 6-phosphate) ដំបូងត្រូវបានធ្វើអុកស៊ីតកម្មទៅជា រីប៉ុយឡូស-៥-ផូស្វាតកាបូន៥ (Five-carbon ribulose 5-phosphate)។ កាបូនត្រូវបានបាត់បង់ដូចជាឧស្ម័នកាបូនិក និងថាមពលដែលបានកាត់បន្ថយ ត្រូវបានរក្សាទុកជាទម្រង់ជា នុយក្លេអូទីត នីកូទីណាមីត ដែលបានកាត់បន្ថយមួយផ្សេងទៀតជា NADPH។ នៅក្នុងប្រតិកម្មលំនឹងដែលនៅជិតបន្តបន្ទាប់គ្នា នៃចលនការប៉ង់តូផូ

ស្វាត (pentose phosphate pathway) រីប៉ុយឡូស-៥-ផូស្វាត ត្រូវបានបំលែងទៅជាស្ករផូស្វាតដែលផ្ទុកកាបូនពី ៣ ទៅ ៧ អាតូម។ អន្តរកាលទាំងនេះអាចត្រូវបានប្រើនៅក្នុងលំនាំសំយោគជីវសាស្ត្រ ឬការបំបែកគ្លុយកូស។



រូបភាពទី៧.២៖ រចនាសម្ព័ន្ធ និងប្រតិកម្មនៃនុយក្លេអូទីតដែលដឹកជញ្ជូនអេឡិចត្រុងចម្បងៗពាក់ព័ន្ធនឹងជីវសាស្ត្រដំណកដង្ហើម។ (A)ការកាត់បន្ថយ NAD (P) បន្ថែមទៅ NAD(P)H ។ អ៊ីដ្រូសែនមួយ (ពណ៌ក្រហម) នៅក្នុង NAD^+ ត្រូវបានជំនួសដោយផូស្វាតមួយក្រុម (ពណ៌ក្រហម) នៅក្នុង $NADP^+$ ។ (B) ការកាត់បន្ថយ FAD ទៅ $FADH_2$ (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

នៅក្នុងវដ្តអាស៊ីតស៊ីទ្រិច ពីរុយវ៉ាត (Pyruvate) ត្រូវបានធ្វើអុកស៊ីតកម្មទាំងស្រុងទៅជា ឧស្ម័នកាបូនិក តាមរយៈការធ្វើអុកស៊ីតកម្មភ្លាមៗ នៃអាស៊ីតសរីរាង្គនៅផ្នែកខាងក្នុងនៃមីតូកុងឌ្រី។ ដំណើរការនេះចល័តបរិមាណភាគច្រើន នៃថាមពលដែលបានការកាត់បន្ថយ (16 NADH + 4 $FADH_2$ ក្នុងមួយស៊ុចក្រូស) និងបរិមាណតិចតួចនៃថាមពល ATP ពីការបំបែកស៊ុចក្រូស។

នៅក្នុងផូស្វ័រកម្មតាមអុកស៊ីតកម្ម អេឡិចត្រុងត្រូវបានផ្ទេរតាមខ្សែសង្វាក់ដឹកជញ្ជូនអេឡិចត្រុងដែលផ្ទុកស៊េរីនៃសំណុំប្រូតេអ៊ីនដែលបានភ្ជាប់នៅខាងក្នុង ភ្នាស២ នៃមីតូកុងទ្រី។ ប្រព័ន្ធនេះផ្ទេរអេឡិចត្រុងពី NADH ផលិតដោយគ្លីកូលីស ចលនការប៉េង់តូផូស្វាតតាមអុកស៊ីតកម្ម និងវដ្តអាស៊ីតស៊ីទ្រិច ទៅអុកស៊ីសែន។ ការផ្ទេរអេឡិចត្រុងនេះ បញ្ចេញបរិមាណថាមពលសេរីដ៏ច្រើន ដែលភាគច្រើនត្រូវបានរក្សាទុក

តាមរយៈការសំយោគរបស់ ATP ពី ADP និង P_i (ផូស្វាតអសេរីរាង្គ) បង្កឡើងដោយអង់ស៊ីម ATP សាំងតាស។ ជារួម ប្រតិកម្មអុកស៊ីដូរេដុកម្មនៃខ្សែសង្វាក់ដឹកជញ្ជូនអេឡិចត្រុង និងការសំយោគ ATP ត្រូវបានគេហៅថា ផូស្វ័រកម្មតាមអុកស៊ីតកម្ម។

នីកូទីនាមីត អាដេនីនឌីនុយក្លេអូទីត (Nicotinamide adenine dinucleotide/NAD) ជាកូអង់ស៊ីមដែលមានមុខងារជាអ្នកទទួលអ៊ីដ្រូសែនក្នុងដំណកដង្ហើមកោសិកា។ NAD^+ គឺទម្រង់អុកស៊ីតកម្មដែលឆ្លងកាត់ការកាត់បន្ថយអេឡិចត្រុងចំនួនពីរ ដែលអាចបញ្ជាស់បានដោយឱ្យផលជា NADH (រូបភាពទី៧.២) ប្រតិកម្មពីរ នៃដំណកដង្ហើមដែលទាក់ទងទៅនឹងតួនាទីរបស់វានៅក្នុងមេតាប៉ូលីសថាមពលកោសិកាមានដូចខាងក្រោម៖

$$C_{12}H_{22}O_{11} + 12\ O_2 \rightarrow 12\ CO_2 + 11\ H_2O$$

$$60\ ADP + 60\ P_i \rightarrow 60\ ATP + 60\ H_2O$$

មិនមែនកាបូនទាំងអស់ដែលចូលក្នុងលំនាំដំណកដង្ហើម ហើយបញ្ចប់ជាឧស្ម័នកាបូនិកនោះទេ។ អន្តរកាលកាបូនក្នុងដំណកដង្ហើមជាច្រើន គឺជាចំណុចចាប់ផ្តើមសម្រាប់លំនាំ ដែលសំយោគអាស៊ីតអាមីណូ នុយក្លេអូទីត លីពីត និងសមាសធាតុផ្សេងទៀតជាច្រើន។

៧.២ គ្លីកូលីស ឬការបំបែកគ្លុយកូស

នៅដំណាក់កាលដំបូងនៃ គ្លីកូលីស ឬការបំបែកគ្លុយកូស កាបូអ៊ីដ្រាតត្រូវបានបម្លែងទៅជា ស្ករផូស្វាតកាបូន៦ (Hexose phosphates/Hexose-P) ដែលបន្ទាប់មក ស្ករផូស្វាតកាបូន៦ នីមួយៗត្រូវបានបំបែកទៅជាស្ករផូស្វាតកាបូន៣ (Triose phosphates/Triose-P) ចំនួនពីរ។ នៅក្នុងដំណាក់កាលរក្សាទុកថាមពលជាបន្តបន្ទាប់ ស្ករផូស្វាតកាបូន៣ នីមួយៗត្រូវបានធ្វើអុកស៊ីតកម្ម និងរៀបចំជាថ្មីដើម្បីផ្តល់ជាម៉ូលេគុលមួយនៃ ពីរុយវ៉ាត ដែលជាអាស៊ីតសរីរាង្គ។ ក្រៅពីការរៀបចំស្រទាប់ខាងក្រោមសម្រាប់អុកស៊ីតកម្មនៅក្នុងវដ្តអាស៊ីតស៊ីទ្រិច គ្លីកូលីសផ្តល់នូវបរិមាណថាមពលគីមីតិចតួចក្នុងទម្រង់ជា ATP និង NADH។ គ្លីកូលីសធ្វើមេតាប៉ូលីសកាបូអ៊ីដ្រាតពីប្រភពជាច្រើន។ គ្លីកូលីសកើតឡើងនៅក្នុងគ្រប់ភាវរស់ទាំងអស់ (ទាំងប្រូការីយ៉ូត និងអឺការីយ៉ូត)។ ប្រតិកម្មសំខាន់ទាក់ទងនឹងលំនាំគ្លីកូលីសនៅក្នុងរុក្ខជាតិគឺស្ទើរតែដូចគ្នាទៅ នឹងលំនាំគ្លីកូលីសនៅក្នុងកោសិកាសត្វ។

នៅដំណាក់កាលដំបូងនៃគ្លីកូលីស ស៊ុចក្រូស ត្រូវបានបំបែកទៅជា ឯកតាម៉ូណូសាការីត ចំនួនពីរ គឺគ្លុយកូស (Glucose) និង ព្រុចតូស (Fructose) ដែលអាចត្រៀមខ្លួនជាស្រេចចូលទៅក្នុងលំនាំគ្លីកូលីស (Glycolysis pathway)។ លំនាំពីរសម្រាប់ការបំបែក ស៊ុចក្រូស ដែលចូលរួមក្នុងការប្រើប្រាស់ ស៊ុចក្រូសចេញពីផ្លូវអែម ត្រូវបានគេស្គាល់នៅក្នុងរុក្ខជាតិ ជាលំនាំអាំងវែតាស (Invertase) និង លំនាំស៊ុចក្រូសសាំង

តាស (Sucrose synthase)។ អាំងវែតាស ជាអង់ស៊ីមមួយប្រភេទដែលជំរុញការបំបែកស្ករស៊ុក្រូស ឱ្យទៅជាគ្លុយកូស និងព្រុចតូស។ ស៊ុចក្រូសសាំងតាស (Sucrose synthase) ជាអង់ស៊ីមដែលជំរុញការសំយោគស៊ុចក្រូស។

អាំងវែតាស បំបែកស៊ុចក្រូស ដោយប្រតិកម្មគីមីជាមួយទឹក នៅក្នុងភ្នាសគ្រោងកោសិកាវ៉ាគុយអូល ឬស៊ីតូសូល ទៅជា ស្ករអិចហ្សូស (Hexoses) ចំនួនពីរ (គ្លុយកូស និងហ្វ្រុចតូច)។ អិចហ្សូស បន្ទាប់មកធ្វើផូស្វ័រកម្ម ឬត្រូវបានភ្ជាប់ដោយផូស្វ័រ នៅក្នុង ស៊ីតូសូល ដោយអង់ស៊ីម អិចហ្សូគីណាស់ (Hexokinase) ដែលប្រើ ATP ដើម្បីបង្កើត អិចហ្សូស ផូស្វាត (Hexose phosphate)។ ម៉្យាងទៀត ស៊ុចក្រូសសាំងតាស (Sucrose synthase) រួមបញ្ចូលគ្នារវាង ស៊ុចក្រូស ជាមួយ អ៊ុរីឌីនឌីផូស្វាត (Uridine diphosphate/UDP) ដើម្បីផលិត ហ្វ្រុចតូច និង អ៊ុរីឌីនឌីផូស្វាត គ្លុយកូស (UDP-glucose) នៅស៊ីតូសូល។ បន្ទាប់មកអង់ស៊ីម អ៊ុរីឌីនឌីផូស្វាត គ្លុយកូសពីរ៉ូផូស្វាតរីឡាស (UDP-glucose pyrophosphorylase) បំលែង អ៊ុរីឌីនឌីផូស្វាត គ្លុយកូស (UDP-glucose) និងពីរ៉ូផូស្វាត (Pyrophosphate/PP_i) ទៅជាអ៊ុរីឌីនទ្រីផូស្វាត (Uridine triphosphate/UTP) និង គ្លុយកូស ៦-ផូស្វាត (glucose 6-phosphate)។

នៅក្នុងដំណាក់កាលដំបូងនៃគ្លីកូលីស អ៊ិចហ្សូសនីមួយៗ ត្រូវបានធ្វើផូស្វូកម្មពីរដង ហើយបន្ទាប់មកផលិតបានម៉ូលេគុល ទ្រីអូសផូស្វាត (triose phosphate) ចំនួនពីរ។ ស៊េរីនៃប្រតិកម្មនេះប្រើប្រាស់ម៉ូលេគុល ATP ចំនួន ២ ទៅ ៤ ក្នុងមួយ ស៊ុចក្រូស ដោយផ្អែកទៅលើថាតើ ស៊ុចក្រូសត្រូវបានបំបែកដោយ អង់ស៊ីមស៊ុចក្រូសសាំងតាស ឬអង់ស៊ីមអាំងវែតាស។

៧.២.១ រុក្ខជាតិមានប្រតិកម្មគ្លីកូលីសដែលជំនួសបាន

ការបំបែក គ្លីកូលីស នៃស្ករស៊ុចក្រូស ទៅជាពីរ៉ូវ៉ាត (Pyruvate) កើតឡើងនៅក្នុងសារពាង្គកាយភាគច្រើន ប៉ុន្តែសារពាង្គកាយជាច្រើនក៏អាចដំណើរការបានដែរនូវលំនាំស្រដៀងគ្នាក្នុងទិសដៅផ្ទុយ ដូចជា កំណគ្លុយកូស (Gluconeogenesis) ដែលជាដំណើរការដើម្បីសំយោគ ស្ករស៊ុចក្រូស ពីអាស៊ីតសរីរាង្គ។ កំណគ្លុយកូស ជាការសំយោគគ្លុយកូសពីម៉ូលេគុលមិនមែនជាកាបូនអ៊ីដ្រាតជាច្រើន។

កំណគ្លុយកូស មានសារៈសំខាន់ ជាពិសេសនៅក្នុងរុក្ខជាតិដែលផ្ទុកកាបូនក្នុងទម្រង់ជាប្រេង (Triacylglycerols) ក្នុងគ្រាប់រុក្ខជាតិ។ នៅពេលដែលគ្រាប់រុក្ខជាតិដុះពន្លក ប្រេងត្រូវបានបំលែងដោយ កំណគ្លុយកូស ទៅជាស្ករស៊ុចក្រូស ដែលត្រូវបានបញ្ជូនទៅកោសិកាដែលកំពុងលូតលាស់នៅក្នុងសំណាបរុក្ខជាតិ។ នៅក្នុងដំណាក់កាលដំបូងនៃគ្លីកូលីស កំណគ្លុយកូស គឺជាន់គ្នាជាមួយលំនាំសម្រាប់សំយោគស៊ុចក្រូស ពីទ្រីអូសផូស្វាតដែលបានមកពីរស្មីសំយោគដែលជាលក្ខណៈធម្មតានៃកោសិកាស្លឹក។

៧.៣ ចលនការប៉េង់តូផូស្វាតតាមអុកស៊ីតកម្ម

លំនាំគ្លីកូលីស មិនមែនជាលំនាំតែមួយដែលមានវត្តមានសម្រាប់អុកស៊ីតកម្ម ស៊ុចក្រូស នៅក្នុងរុក្ខជាតិនោះទេ។ ចលនការប៉េង់តូផូស្វាតតាមអុកស៊ីតកម្ម ក៏អាចបំពេញភារកិច្ចនេះផងដែរ។ ចលនការប៉េង់តូផូស្វាតតាមអុកស៊ីតកម្ម ត្រូវបានអនុវត្តន៍ដោយអង់ស៊ីមរលាយមានវត្តមាននៅក្នុងស៊ីតូសូល និងផ្លាស្ទីត។ នៅក្រោមលក្ខខណ្ឌភាគច្រើន ចលនការប៉េង់តូផូស្វាតតាមអុកស៊ីតកម្ម នៅក្នុងផ្លាស្ទិត មានច្រើនលើសលុបជាងនៅក្នុងស៊ីតូសូល។

ប្រតិកម្មពីរដំបូងនៃ ចលនការប៉េង់តូផូស្វាតតាមអុកស៊ីតកម្ម គឺទាក់ទងនឹងព្រឹត្តិការណ៍អុកស៊ីតកម្ម ដែលបំលែង គ្លុយកូស ៦-ផូស្វាតមានម៉ូលេគុលកាបូន៦ (Six-carbon molecule glucose 6-phosphate) ទៅជា រីប៊ុយឡូស ៥-ស៊ីផូស្វ័រកាបូន៥ (Five-carbon unit ribulose 5-phosphate) ដោយការបាត់បង់ម៉ូលេគុលកាបូនឌីអុកស៊ីត និងបង្កើតម៉ូលេគុលពីរ នៃ NADPH។ ប្រតិកម្មដែលនៅសេសសល់នៃចលនការប៉េង់តូផូស្វាតតាមអុកស៊ីតកម្ម បំលែង រីប៊ុយឡូស ៥-ស៊ីផូស្វ័រ ទៅជាផលិតផល គ្លីសេរ៉ាល់ដេអ៊ីត ៣-ផូស្វាត (Glyceraldehyde 3-phosphate) និង ព្រុចតូស៦-ផូស្វាត (Fructose 6-phosphate)។ ផលិតផលទាំងនេះអាចត្រូវបានធ្វើមេតាប៉ូលីសបន្ថែមដោយ គ្លីកូលីស ដើម្បីផ្តល់នូវសារធាតុ ពីរុយវ៉ាត។ ម្យ៉ាងទៀត គ្លុយកូស ៦-ផូស្វាត (glucose 6-phosphate) អាចត្រូវបានបង្កើតឡើងវិញពី គ្លីសេរ៉ាល់ដេអ៊ីត ៣-ផូស្វាត និង ហ្វ្រុចតូស ៦-ផូស្វាត ដោយអង់ស៊ីមគ្លីកូលីស។ ចលនការប៉េង់តូផូស្វាតតាមអុកស៊ីតកម្ម អាចសរសេរប្រតិកម្មដូចខាងក្រោម៖

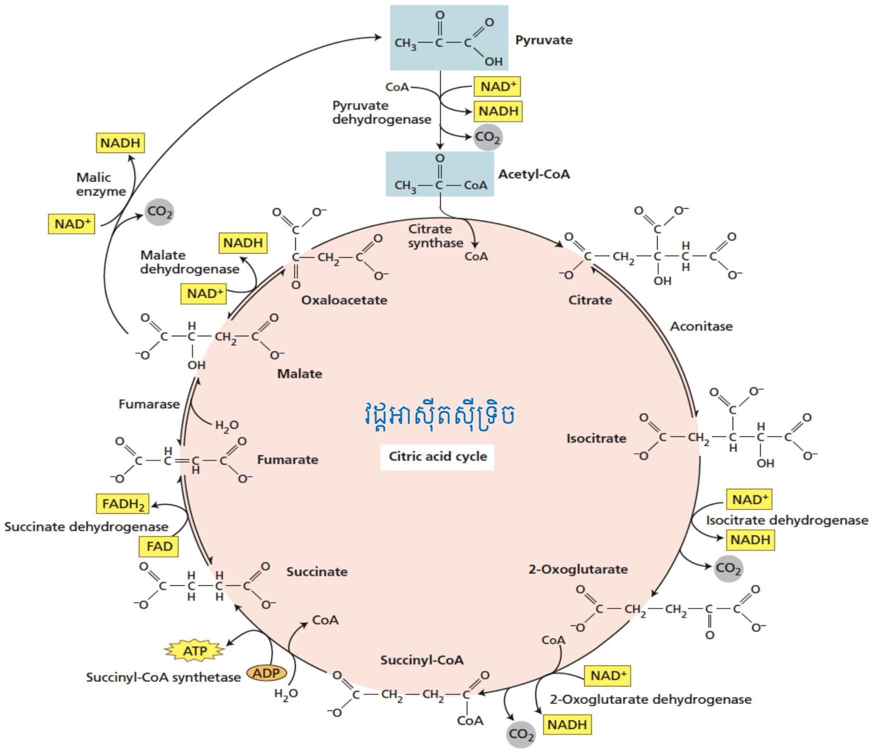
$$6\ \text{Glucose 6-P} + 12\ NADP^{+} + 7\ H_2O \rightarrow 5\ \text{Glucose 6-P} + 6\ CO_2 + P_i + 12\ NADPH + 12\ H^{+}$$

លទ្ធផលនៃប្រតិកម្មខាងលើ គឺជាការអុកស៊ីតកម្មពេញលេញនៃម៉ូលេគុល គ្លុយកូស ៦-ផូស្វាតទៅជាឧស្ម័នកាបូនិច ជាមួយនឹងការសំយោគបង្រួបបង្រួមនៃ ម៉ូលេគុល NADPH ចំនួន១២។ នីកូទីណាមីតអាដេនីនឌីនុយក្លេអូទីត (Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate/NADPH) គឺជាកូអង់ស៊ីមទាក់ទងទៅនឹងប្រតិកម្មរេដុកម្មក្នុងអាណាបូលីស (Anabolism)។ ចលនការប៉េង់តូផូស្វាតតាមអុកស៊ីតកម្ម ផលិត NADPH សម្រាប់ផ្គត់ផ្គង់នៅក្នុងស៊ីតូសូល និងផ្លាស្ទីត។

៧.៤ វដ្តអាស៊ីតស៊ីទ្រិច

ក្នុងកំឡុងសតវត្សទី១៩ អ្នកជីវវិទូបានរកឃើញថា ក្នុងលក្ខខណ្ឌគ្មានខ្យល់ កោសិកាផលិតអេតាណុល ឬអាស៊ីតឡាក់ទិក (Lactic acid) ហើយចំណែកឯក្នុងលក្ខខណ្ឌគ្មានខ្យល់ កោសិកាប្រើប្រាស់ អុកស៊ីសែន និងផលិតឧស្ម័នកាបូនិក និងទឹក។ នៅឆ្នាំ ១៩៣៧ ជីវគីមីវិទូ Hans A. Krebs បានរាយការណ៍ពីការរកឃើញ វដ្តអាស៊ីតស៊ីទ្រិច ត្រូវបានគេហៅផងដែរថា អាស៊ីតទ្រីកាបុកស៊ីលិច (Tricarboxylic acid

cycle) ឬ វដ្ត Krebs (រូបភាពទី៧.៣)។ ការបញ្ជាក់នៃវដ្តអាស៊ីតស៊ីទ្រិចមិនត្រឹមតែបានពន្យល់ពីរបៀប ដែល ពីរុយវ៉ាត ត្រូវបានបំបែកទៅជា ឧស្ម័នកាបូនិក និងទឹកទេ ប៉ុន្តែក៏បានគូសបញ្ជាក់ពីទស្សនៈសំខាន់ៗ នៃវដ្តនៅក្នុងលំនាំមេតាប៉ូលីស។



រូបភាពទី៧.៣៖ វដ្តអាស៊ីតស៊ីទ្រិចក្នុងរុក្ខជាតិ និងប្រតិកម្មដែលទាក់ទង (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

ការបំបែង ស៊ុចក្រូស ទៅជា ពីរុយវ៉ាត បញ្ចេញតិចជាង ២៥% នៃថាមពលសរុបនៅក្នុង ស៊ុចក្រូស ហើយថាមពលដែលនៅសល់ត្រូវបានផ្ទុកនៅក្នុងម៉ូលេគុលទាំងបួននៃពីរុយវ៉ាត។ វដ្តអាស៊ីតស៊ីទ្រិចកើតឡើងនៅក្នុងសរីរាង្គមួយរុំព័ទ្ធដោយភ្នាសទ្វេគឺ មីតូកុងឌ្រី។

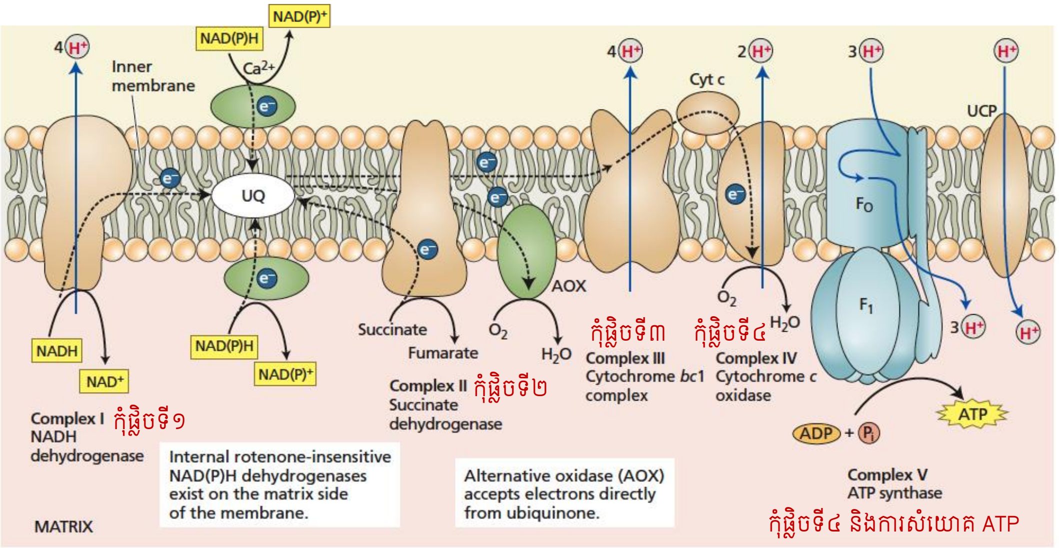
ពីរុយវ៉ាត ចូលក្នុងមីតូកុងឌ្រី ហើយត្រូវបានអុកស៊ីតកម្មតាមរយៈវដ្តអាស៊ីតស៊ីទ្រិច។ ប្រតិបត្តិការនេះតម្រូវឱ្យ ពីរុយវ៉ាត បានបង្កើតនៅក្នុងស៊ីតូសូលក្នុងអំឡុងពេល គ្លីកូលីស ហើយត្រូវបានដឹកជញ្ជូនចូលទៅក្នុង មីតូកុងឌ្រី តាមរយៈភ្នាសផ្នែកខាងក្នុងនៃ មីតូកុងឌ្រី។ នៅពេលដែលនៅខាងក្នុងម៉ាទ្រីសរបស់មីតូកុងឌ្រី ពីរុយវ៉ាតធ្វើប្រតិកម្មនៃអាស៊ីតកាបុស៊ីលិចដោយយកអាតូមកាបូនចេញពីខ្សែសង្វាក់កាបូន នៅក្នុងប្រតិកម្មអុកស៊ីតកម្ម បង្កដោយ អង់ស៊ីមពីរុយវ៉ាតដេអ៊ីដ្រូសែនណាស (Pyruvate dehydrogenase) ដែលផលិតបាន NADH CO_2 និង អាសេទីលកូអង់ស៊ីមA (Acetyl-CoA) ដែលក្នុងនោះក្រុម អាសេទីល (Acetyl group) ទទួលបានពីពីរុយវ៉ាតត្រូវបានភ្ជាប់ដោយចំណង ត្យូអេស្ទែ (Thioester) ទៅនឹងកូអង់ស៊ីម A (CoA)។

៧.៥ ការដឹកជញ្ជូនអេឡិចត្រុង និងការសំយោគ ATP

ATP គឺជាក្រុមថាមពលដែលប្រើដោយកោសិកាដើម្បីជំរុញដំណើរការជីវិត។ ដូច្នេះថាមពលគីមីដែលបានរក្សាទុកក្នុងកំឡុងពេលវដ្តអាស៊ីតស៊ីទ្រិចនៅក្នុងទម្រង់ជា NADH និង $FADH_2$ ត្រូវតែបំលែងទៅជា ATP ដើម្បីប្រតិបត្តិការងារដែលមានប្រយោជន៍នៅក្នុងកោសិកា។ នេះជាដំណើរការដែលពឹងផ្អែកអុកស៊ីសែន (O_2) ហៅថា ផូស្វរកម្ម (Phosphorylation) កើតឡើងនៅក្នុងភ្នាសផ្នែកខាងក្នុងនៃមីតូកុងទ្រី។ ខ្សែសង្វាក់ដឹកជញ្ជូនអេឡិចត្រុងជំរុញឱ្យមានលំហូរនៃអេឡិចត្រុងពី NADH ទៅ O_2។ ម៉ូលេគុល NADH ចំនួន៤ ត្រូវបានបង្កើត នៅក្នុងស៊ីតូសូល និងម៉ូលេគុល NADH ចំនួន ១៦ បូកជាមួយ ៤ ម៉ូលេគុល $FADH_2$ ចំនួន ២ ត្រូវបានបង្កើតនៅក្នុងម៉ាទ្រីស មីតូកុងទ្រី។ ខ្សែសង្វាក់ដឹកជញ្ជូនអេឡិចត្រុងជំរុញការផ្លាស់ប្តូរអេឡិចត្រុងចំនួនពីរ ពី NADH (ឬ $FADH_2$) ដល់អុកស៊ីសែន ដែលជាអ្នកទទួលយកអេឡិចត្រុងចុងក្រោយនៃដំណើរការដង្ហើម។ សម្រាប់អុកស៊ីតកម្ម នៃ NADH ប្រតិកម្មអាចត្រូវបានសរសេរដូចខាងក្រោម៖

$$NADH + H^+ + O_2 \rightarrow NAD^+ + H_2O$$

ខ្សែសង្វាក់ដឹកជញ្ជូនអេឡិចត្រុងរបស់រុក្ខជាតិមានផ្ទុក សំណុំអ្នកដឹកជញ្ជូនអេឡិចត្រុងដូចគ្នាដែលបានរកឃើញនៅក្នុងមីតូកុងទ្រី នៃសារពាង្គកាយដទៃទៀត។ ប្រូតេអ៊ីនដឹកជញ្ជូនអេឡិចត្រុងនីមួយៗត្រូវបានរៀបចំជាបួនកុំប្លិចពហុប្រូតេអ៊ីនដែលស្ថិតនៅក្នុងភ្នាសកោសិកា ហើយកុំប្លិចទាំងអស់ត្រូវមានទីតាំងស្ថិតនៅខាងក្នុងភ្នាស មីតូកុងទ្រី។ កុំប្លិច៣ ក្នុងចំណោមកុំប្លិចទាំង៤ ចូលរួមក្នុងការទាញយកប្រូតុង (Proton) (កុំប្លិចទី ១ ៣ និង ៤)។



រូបភាពទី៧.៤៖ ការរៀបចំខ្សែសង្វាក់ដឹកជញ្ជូនអេឡិចត្រុង និងការសំយោគ ATP នៅក្នុងភ្នាសខាងក្នុងមីតូកុងទ្រីនៃរុក្ខជាតិ (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

៧.៥.១ កុំផ្លិចទី១ (Complex I)

អេឡិចត្រុងពី NADH ដែលបង្កើតដោយវដ្តអាស៊ីតស៊ីទ្រិចក្នុងម៉ាទ្រីស មីតូកុងទ្រី ត្រូវបានអុកស៊ីតកម្មដោយកុំផ្លិចទី១ (ដែលមានអង់ស៊ីម NADH dehydrogenase)។ បន្ទាប់មក កុំផ្លិចទី១ ផ្ទេរអេឡិចត្រុងទាំងនេះទៅ យូប៊ីគីណូន (Ubiquinone)។ យូប៊ីគីណូន គឺជាអ្នកដឹកជញ្ជូន អេឡិចត្រុង និងប្រូតុងដែលរលាយក្នុងប្រេង ហើយមានទីតាំងនៅក្នុងផ្នែកខាងក្នុងនៃភ្នាស។ ប្រូតុងចំនួនបួនត្រូវបានទាញចេញពីម៉ាទ្រីសចូលទៅក្នុងលំហចន្លោះភ្នាសកោសិកា សម្រាប់រាល់គូអេឡិចត្រុងដែលឆ្លងកាត់កុំផ្លិចនេះ។

៧.៥.២ កុំផ្លិចទី២ (Complex II)

អុកស៊ីតកម្មនៃ អាស៊ីតស៊ុចស៊ីនិច (Succinate) នៅក្នុងវដ្តអាស៊ីតស៊ីទ្រិចត្រូវបានជំរុញដោយកុំផ្លិចទី២ ហើយសមមូលដែលត្រូវបានកាត់បន្ថយ ត្រូវបានផ្ទេរតាមរយៈ $FADH_2$ និង តំបន់ដែកស៊ុលផួរ (Iron–sulfur center) ទៅ យូប៊ីគីណូន។ កុំផ្លិចទី២ មិនទាញយកប្រូតុងទេ និងមានអង់ស៊ីមអាស៊ីតស៊ុចស៊ីនិចដេអ៊ីដ្រូសែនណាស (Succinate dehydrogenase) សម្រាប់ប្រតិបត្តិការក្នុង កុំផ្លិចទី២នេះ។

៧.៥.៣ កុំផ្លិចទី៣ (Complex III)

កុំផ្លិចទី៣ ជាកុំផ្លិច ស៊ីតូក្រូម bc_1 (Cytochrome bc_1)។ កុំផ្លិចទី៣ ធ្វើអុកស៊ីតកម្ម យូប៊ីគីណូនដែលបានកាត់បន្ថយ និងផ្ទេរអេឡិចត្រុងទៅស៊ីតូក្រូម c (Cytochrome c) តាមរយៈតំបន់ដែកស៊ុលផួរ ដែលមានស៊ីតូក្រូម b (b-type cytochrome) ពីប្រភេទ (b565 និង b560) និងស៊ីតូក្រូម c1 (Cytochrome c1) ដែលភ្ជាប់នឹងភ្នាស។ ប្រូតុងបួនក្នុង អេឡិចត្រុងមួយគូត្រូវ បានទាញចេញពីម៉ាទ្រីសមីតូកុងទ្រី ដោយកុំផ្លិចទី៣ ដោយប្រើយន្តការមួយដែលហៅថាវដ្ត Q (Q cycle)។ ស៊ីតូក្រូម c (Cytochrome c) គឺជាប្រូតេអ៊ីនតូចមួយដែលភ្ជាប់ទៅនឹងផ្ទៃខាងក្រៅនៃផ្នែកខាងក្នុងភ្នាស ហើយដើរតួជាអ្នកដឹកជញ្ជូនចល័តដើម្បីផ្ទេរអេឡិចត្រុងរវាង កុំផ្លិចទី៣ និង ៤

៧.៥.៤ កុំផ្លិចទី ៤ (Complex IV)

កុំផ្លិចទី៤ ជាប្រភេទអង់ស៊ីម ស៊ីតូក្រូម c អុកស៊ីតដាស (Cytochrome c oxidase)។ កុំផ្លិចទី៤ ផ្ទុកតំបន់ទង់ដែង (Copper centers) ចំនួនពីរគឺ CuA និង CuB និង ស៊ីតូក្រូម a និង a3 (Cytochrome a និង a3)។ កុំផ្លិចនេះគឺជាស្ថានីយអុកស៊ីដាស និងនាំមកនូវការកាត់បន្ថយអេឡិចត្រុងចំនួនបួននៃ O_2 ទៅ ម៉ូលេគុលចំនួន២ នៃ H_2O។ ប្រូតុងពីរ ត្រូវបានទាញចេញពីម៉ាទ្រីសក្នុង អេឡិចត្រុងមួយគូ។

៧.៥.៥ ការសំយោគ ATP ក្នុងមីតូកុងទ្រី ត្រូវបានភ្ជាប់ជាមួយការដឹកជញ្ជូនអេឡិចត្រុង

នៅក្នុងផូស្វ័រកម្មតាមអុកស៊ីតកម្ម (Oxidative phosphorylation) ការផ្ទេរអេឡិចត្រុងទៅ អុកស៊ីសែនតាមរយៈ កុំផ្លិចទី១ ៣ និង៤ ត្រូវបានភ្ជាប់ជាមួយការសំយោគរបស់ ATP ពី ADP និង P_i តាមរយៈការសំយោគ F_oF_1-ATP ដែលជាកុំផ្លិចទី៥។ ចំនួន ATP ដែលបានសំយោគអាស្រ័យលើធម្មជាតិនៃអ្នកផ្តល់អេឡិចត្រុង។

ការសំយោគ F_oF_1-ATP (ដែលជាកុំផ្លិចទី៥) មានសមាសជាតុសំខាន់ពីរ គឺ F_o និង F_1 (រូបភាពទី៧.៤)។ F_o (អក្សរតូចក្រោម "O" ជា Oligomycin-sensitive) គឺជាកុំផ្លិចប្រូតេអ៊ីនដែលនៅស្ថិតផ្នែកកណ្តាលភ្នាស នៃប៉ូលីប៉ិបទីត (Polypeptides) បីផ្សេងគ្នា។ ពួកវាបង្កើតជា បំពង់ចង្អូរ ដែលអាចអនុញ្ញាតឱ្យ ប្រូតុង ឆ្លងកាត់ ភ្នាសផ្នែកខាងក្នុងបាន។ សមាសជាតុផ្សេងទៀតគឺ F_1 គឺជាកុំផ្លិចប្រូតេអ៊ីនដែលនៅស្ថិតនៅផ្នែកគែមភ្នាសដែលត្រូវបានផ្សំឡើងដោយផ្នែកតូចៗ ចំនួន៥ ផ្សេងគ្នា និងមានផ្ទុកតំបន់កាតាលីករសម្រាប់បំលែង ADP និង P_i ទៅជា ATP។ កុំផ្លិចនេះគឺភ្ជាប់ទៅផ្នែកម៉ាទ្រីសនៃ F_o។

ជំពូកទី ៨
ដំណើរការមេតាបូលីស អាសូត

អាសូត គឺជាធាតុដែលសារៈសំខាន់បំផុត សម្រាប់ជីវិតរុក្ខជាតិ។ វាត្រូវបានគេរកឃើញជាធាតុដែលចូលរួមក្នុងការចូលរួមបង្កើតបង្កុំ ដូចជាប្រូតេអ៊ីន អាស៊ីតនុយក្លេអ៊ិច ខ្លះទៀតចូលរួមក្នុងការបង្កើតអរម៉ូនដែលកំណត់ការលូតលាស់របស់រុក្ខជាតិ និងជាវីតាមីន -ល- ។ ប្រភពទូទៅរបស់ អាសូតនៅក្នុងធម្មជាតិគឺអ៊ីយ៉ុងនីត្រាត (NO_3^-)។ ជារឿយៗ រុក្ខជាតិធ្វើការស្រូបយកអ៊ីយ៉ុងនីត្រាត (NO_3^-) ជាទម្រង់សារធាតុខនិជដែលបានមកពីបរិស្ថាន។ បន្ទាប់ពីស្រូបយកអ៊ីយ៉ុងនីត្រាត (NO_3^-) បន្ទាប់មកវាត្រូវបានបំលែងទៅជា ក្រុមអាមីណូ ($-NH_2$)។ ការបំលែងពី ក្រុមនីត្រាត (NO_3^-) ទៅជាអាមីណូ ($-NH_2$) គឺអាចប្រព្រឹត្តទៅបានដោយរុក្ខជាតិតែប៉ុណ្ណោះ គឺមិនមែនតាមរយៈសត្វទេ។ ការកើនឡើងសារធាតុខនិជនៅក្នុងដី ការពុកផុយថ្មតាមរយៈទឹក និងការបន្ថែមជីទៅក្នុងដី ក៏ជាប្រភពនៃនីត្រាត (NO_3^-) នៅក្នុងដីផងដែរ។ ក្រៅពីប្រភពទាំងអស់នេះ អាសូតក្នុងបរិយាកាស និងអុកស៊ីសែនបានបញ្ចូលគ្នាដែលមានវត្តមានពន្លឺដែលប៉ះមកជាមួយ ទឹកភ្លៀងមកកាន់ដី ហើយវាត្រូវបានដើរតួនាទីជាប្រភពនីត្រាត (NO_3^-) នៅលើផែនដី។ អាសូតត្រូវបាន ស្រូបយកជាទម្រង់នីត្រាត (NO_3^-) ដែលមានការចូលរួមពី ទម្រង់សរីរាង្គនៃរុក្ខជាតិ ដែលវាអាចបន្តមានរហូតដល់រុក្ខជាតិងាប់។ សត្វអាចទទួលអាសូត តាមរយៈការស៊ីរុក្ខជាតិ ហើយនៅចុងបញ្ចប់ទាំងរុក្ខជាតិ និងសត្វងាប់នឹងរលួយ។ តាមរយៈការរលួយនៃពពួកអាសូតដែលមាននៅក្នុង កាកសំណល់រុក្ខជាតិ និងសត្វគឺវាទទួលបាននៅកំហាប់ក្នុងទម្រង់ អាម៉ូញាក់ (NH_3)។ ដូច្នេះការបង្កើតអាម៉ូញាក់ (NH_3) គឺបន្ទាប់មកត្រូវបានប្រើប្រាស់ជាប្រភពនៃ សារធាតុចិញ្ចឹមសម្រាប់ពពួកបាក់តេរីភ្ជាប់អាសូត។ ជាទូទៅពពួកបាក់តេរីទាំងនេះ មានពីរប្រភេទ៖

១. ពពួកបាក់តេរីទាំងឡាយណា ដែលស្រូបយកអាម៉ូញាក់ ហើយបំលែងទៅជា អ៊ីយ៉ុងនីទ្រីត (NO_3^- ទៅជា NO_2)

២. ពពួកបាក់តេរីទាំងឡាយណា ដែលស្រូបយកអ៊ីយ៉ុង នីទ្រីតហើយបំលែងទៅជានីត្រាត (NO_2 ទៅជា NO_3^-)

លើសពីនេះទៅទៀត នៅក្នុងបរិស្ថានទទួលបាននីត្រាត (NO_3^-) ម្តងទៀតដោយសកម្មភាពនៃពពួកបាក់តេរីភ្ជាប់អាសូតទាំងនេះ។ នីត្រាតដែលអាចប្រើប្រាស់បាននៅក្នុងបរិស្ថាន ជាអ្នកមានអំពើលើពពួកបាក់តេរីភ្ជាប់អាសូត ដែលបំលែងវាទៅជាម៉ូលេគុលអាសូតបរិយាកាស។ ម៉ូលេគុលអាសូតសេរី បន្ទាប់មកត្រូវបានប្រើប្រាស់ដោយពពួកសារពាង្គកាយបំលែងអាសូត ដែលស្ថិតនៅក្នុងក្រុមបាក់តេរី ពីរបីប្រភេទ និង សារាយខៀវ បៃតងដែលត្រូវបានរួមបញ្ចូល។ ជារឿយៗពួកវាមានវត្តមាននៅក្នុង ដីនិងទឹក។ ពួកវាស្រូបយក អាសូតនិងរួមបញ្ចូលទៅក្នុងអាម៉ូញាក់និងប្រូតេអ៊ីន។ ដំណើរការនេះហៅថា ការបំលែងអាសូត។

៨.១ ប្រភពនៃអាសូត

៨.១.១ ការបំលែងអាសូត

៨០% នៃអាសូត នៃបរិយកាសនៅលើផែនដី គឺសំបូរទៅដោយឧស្ម័នអាសូត (N_2) ប៉ុន្តែរុក្ខជាតិមិនអាចប្រើប្រាស់ ក្នុងដំណាំមិនអាចប្រើប្រាស់អាសូត ក្នុងទម្រង់នេះបានទេ។ បាក់តេរី រ៉ៃហ្សូប៊ៀ (Rhizobia) ជាមួយនិងអង់ស៊ីម បំលែងអាសូត នីត្រូសែនណាស (Nitrogenanse) បានបំលែងឧស្ម័នអាសូត (N_2) ឱ្យទៅជាអាម៉ូញាក់ (NH_3)។ ការបំលែង ឧស្ម័នអាសូតនេះ (N_2) អោយទៅជា អាម៉ូញាក់ (NH_3) ត្រូវគេស្គាល់ថាជាការចាប់យកអាសូត។ នៅពេលអាសូតត្រូវ បានជួសជុលវាអាចមានប្រតិកម្មគីមីជាច្រើនដែលអាចបំលែងវាទៅជាទម្រង់សរីរាង្គជាប្រភេទផ្សេងៗគ្នា។ ការចាប់យកសារធាតុសរីរាង្គកើតឡើង នៅក្នុងដីនៅពេលដែលមីក្រូសរីរាង្គបានបំលែងអាសូត (N) ទៅជាទម្រង់សរីរាង្គ។ ជំហានដំបូងនៃការចាប់យកសារធាតុសរីរាង្គត្រូវបានគេហៅថាខនិជកម្ម (Mineralization) ក្នុងនោះមីក្រូសរីរាង្គ (Heterotrophs) ការចាប់យកសារធាតុសរីរាង្គកើតឡើង នៅក្នុងដីនៅពេលដែលពពួកមីក្រូសារពាង្គកាយក្នុងដី បានបំលែងអាសូតទៅជាទម្រង់សរីរាង្គ។ ជំហ៊ានដំបូងនៃការចាប់យកសារធាតុសរីរាង្គត្រូវបានគេហៅថាខនិជកម្ម (Mineralization) ដែលក្នុងនោះពពួកមីក្រូសារពាង្គកាយ (Heterotrophs) បំបែកប្រូតេអ៊ីន ទៅជាអាស៊ីតអាមីណូ។ ផ្ទុយទៅវិញ សម្រាប់តំបន់ដែលមានសណ្ឋានដីមិនសូវមានសារធាតុអាសូត វាជះឥទ្ធិពលដល់អាកាសធាតុខុសពីតំបន់ដីដែលមានអាសូតច្រើនផងដែរ ដាក់ស្តែងតំបន់ដីនៅក្នុងទ្វីបអាហ្វ្រិច ដូចជាវាលស្មោង គឺពិបាកនិងរុក្ខជាតិ លូតលាស់បានល្អណាស់ ដោយសារតែវាជាដីក្តៅមិនមែនមកពីព្រះអាទិត្យនៅជិតទ្វីបនោះជាងទ្វីបដទៃទៀតទេ ប៉ុន្តែវាបណ្តាលឱ្យ សណ្ឋានដីទៅជា អាមីត (Amides) (មីក្រូសរីរាង្គអតិសុខុមប្រាណ ត្រូវការសមាសធាតុសរីរាង្គ ដែលបានរៀបចំទុកមុន ដែលជាប្រភពនៃកាបូន និងថាមពល)។ មីក្រូសរីរាង្គអាច ទទួលបានថាមពលពី ការបំបែកអាសូតដូចជាដែក ស្ពាន់ធ័រ អាម៉ូញ៉ូម នីត្រាត ហើយកាបូនក៏បានបម្លែងទៅ ជាកាបូនឌីអុកស៊ីត (CO_2)។

សមីការទី១៖ ប្រូតេអ៊ីន $\longrightarrow$ R^{+} -NH_2 + R-OH

សមីការទី២៖ R-NH_2 + H_2O NH_3 + R-OH

៨.២ ការបង្កើតកំពកឫស នៅក្នុងដំណាំគ្រួសារសណ្តែក

ការបង្កើតកំពកឫស ភាគច្រើនជាប្រភេទដំណាំពពួកសណ្តែក និងសណ្តែកដែលមានកំពកឫសដែលចាប់យកអាសូតបានល្អនោះគឺសណ្តែកសៀង ដែលវាមានតួនាទីយ៉ាងសំខាន់ក្នុងការផ្តល់សារធាតុអាសូត សម្រាប់ខ្លួនវានិងដី ដោយដំណាំមិនមែនជាពពួកឡេហ្គូម (Legumes) ដែលបានដាំដុះបន្ទាប់ពីសណ្តែកសៀង អាចទទួលបានផលប្រយោជន៍ផងដែរ ដោយវាបានទទួលអាសូត ដែលនៅសល់នៅក្នុងដីបន្ទាប់ពីដំណាំសណ្តែកសៀងដែលបានប្រមូលផលរួច និងកាកសំណល់ដំណាំដែលបានពុកផុយ។

សម្រាប់ដំណាំសណ្តែកសៀងមួយដើម ដើម្បីបង្កើតកំពកឫស និង ចាប់យកអាសូត វាត្រូវការធ្វើទំនាក់ទំនងជាមួយ បាក់តេរីរ៉ៃហ្សូប្យ៉ូ (Strains of rhizobia) ជាច្រើនផ្សេងៗគ្នា ហើយពួកវាមិនអាចជ្រៀតចូល និងបង្កើតពកឫសលើដើមសណ្តែកសៀងបានទេ។ បាក់តេរីរ៉ៃហ្សូប្យ៉ូ (Rhizobia bacteria) ត្រូវគេបញ្ចូលជាក្រុមដោយយោងទៅតាមរុក្ខជាតិឡេហ្គូម (Legume) ដែលពួកគេអាចជ្រៀតចូលទៅរស់នៅ និងបង្កើតពកឫស។ អន្តរអំពើនៃដី អាកាសធាតុ និងជីវសាស្ត្រ អាចមានឥទ្ធិពលលើការទំនាក់ទំនងយ៉ាងជិតស្និតទៅនឹងរ៉ៃហ្សូប្យូម។ ការជាំទឹក ការរាំងស្ងួត ដីអាស៊ីតខ្លាំង និងកង្វះសារធាតុចិញ្ចឹម និងកាត់បន្ថយការចាប់យកអាសូត។ សីតុណ្ហភាពសមស្រមសម្រាប់សកម្មភាពអង់ស៊ីម នៅក្នុងដំណើរការចាប់យកអាសូតគឺនៅចន្លោះពី ២៥ ទៅ ៣៥ អង្សាសេ ហើយពន្លឺគ្រប់គ្រាន់ក៏សំខាន់ផងដែរ ដើម្បីជានាឱ្យមាននូវការផ្គត់ផ្គង់បានគ្រប់គ្រាន់នៃការធ្វើរស្មីសំយោគ (ស្ករត្រូវបានផលិតដោយរុក្ខជាតិ) ទៅឱ្យកំពកឫស សុខភាពនិងសមត្ថភាពរបស់ដំណាំផ្តល់ថាមពលទៅឱ្យពកឫស ដែលមានឥទ្ធិពលទៅលើសមត្ថភាពរបស់រុក្ខជាតិ ដើម្បីចាប់យកអាសូត។ ដំណើរការចាប់យកអាសូត ទទួលបានពីទំនាក់ទំនងដែលអាស្រ័យគ្នាទៅវិញទៅមករវាងសណ្តែកសៀង និងជាមួយក្រុមពិសេសមួយនៃបាក់តេរីនៅក្នុងដី ដែលហៅថារ៉ៃហ្សូប្យ៉ូ-Rhizobia (Bradyrhizobium spp.)។ ដំណាំជួយបាក់តេរីរ៉ៃហ្សូប្យ៉ូ (Rhizobia bacteria) ដោយផ្តល់ស្ករសម្រាប់ជាថាមពល ចំណែកឯរ៉ៃហ្សូប្យ៉ូវិញគឺ ជួយដំណាំដោយផ្តល់នូវអាសូត(N) សម្រាប់ការដុះលូតលាស់។ បាក់តេរីរ៉ៃហ្សូប្យ៉ូ បានចូលទៅក្នុងដំណាំតាមឫស ជាលិកាពិសេសធ្វើ ការរីវឌ្ឍនៅជុំវិញបាក់តេរី បន្ទាប់ពីពួកវាចូលទៅក្នុងឫស បណ្តាលឱ្យឫសប៉ោង ហើយពកឫសធ្វើការរីវឌ្ឍដុះឡើង ដំណើរការការចាប់យកអាសូ (N) កើតឡើងនៅក្នុងពកឫសទាំងនេះ។

៨.៣. ការបំលែងអាសូតនៅក្នុងដី

រុក្ខជាតិដែលមានសុខភាពល្អជារឿយៗផ្ទុកអាសូតពី ៣ ទៅ ៤ ភាគរយ នៅក្នុងជាលិកាខាងលើរបស់វា។ វានៅតែជាកំហាប់ខ្ពស់ជាងគេ បើប្រៀបធៀបទៅនឹងសារធាតុចិញ្ចឹមផ្សេងៗទៀត។ អាសូតនៅក្នុងដីស្ថិតក្នុងទម្រង់ជាទូទៅបីគឺៈ សមាសធាតុអាសូតសរីរាង្គ អ៊ីយ៉ុងអាម៉ូញ៉ូម (NH_4^+) និង អ៊ីយ៉ុងនីត្រាត (NO_3^-)។ នៅពេលឡើងដល់ ៩៥% ទៅ ៩៩% នៃអាសូត (N) ដែលមានសក្តានុពលនៅក្នុងដី គឺស្ថិតនៅក្នុងទម្រង់សរីរាង្គទាំងក្នុងកាកសំណល់រុក្ខជាតិ និងសត្វ ហើយនៅក្នុងសារធាតុសរីរាង្គធ្វើឱ្យដីមានស្ថេរភាពដែលភាគច្រើនមានអតិសុខុមប្រាណដូចជាពពួកបាក់តេរី។ អាសូតនៅលើរុក្ខជាតិភាគច្រើនមាននៅក្នុងទម្រង់ អ៊ីយ៉ុងអាម៉ូញ៉ូម (NH_4^+) និងអ៊ីយ៉ុងនីត្រាត (NO_3^-) (ជួនកាលគេហៅថាជាសូតរ៉ែ) អ៊ីយ៉ុងអាម៉ូញ៉ូម (NH_4^+) ភ្ជាប់ទៅនឹងការផ្លាស់ប្តូរនៃភាពអាស៊ីតរបស់ដី។ ដោយមានការទាក់ទងនឹងគ្នាបែបនេះហើយធ្វើឱ្យការប្រើប្រាស់ជីអាសូត ដែលបន្ថែមអាសូតដល់ដីបង្កឱ្យមានភាពអាស៊ីតក្នុងដី ដោយសារដំណាំស្រូបអាសូតក្នុងទម្រង់ជានីត្រាត (NO_3^-) និងអាម៉ូញ៉ូម (NH_4^+)។ ការបន្តប្រើប្រាស់ជីអាសូតដែលមានផ្ទុកអាម៉ូញ៉ូម

(NH_4^+) ច្រើនហួសតម្រូវការដំណាំជាហេតុផលមួយដែលបង្កឱ្យកើនភាពអាស៊ីតដី (តម្លៃ pH ថយចុះ)។ នៅពេល NH_4-N ក្នុងដីវងនូវដំណើរការនីត្រាតកម្ម (Nitrification) (ការបំលែងពីអាម៉ូញ៉ូម (NH_4^+) ទៅនីត្រាត (NO_3^-) ក្នុងដីដោយពួកបាក់តេរី) បណ្តាលឱ្យមានការបញ្ចេញអ៊ីយ៉ុងអ៊ីដ្រូសែន (H^+) ដែលអាចបង្កើនភាពអាស៊ីតដី។ នៅពេលភាគរយអាម៉ូញ៉ូមកើនឡើងក្នុងដី សក្តានុពលបង្កភាពអាស៊ីតក៏កើនឡើងដូចគ្នា។ អាម៉ូញ៉ូមក៏អាចបង្កើនភាពអាស៊ីតតាមរយៈការស្រូបយករបស់ដំណាំ និងតុល្យភាពបន្ទុកអគ្គិសនីក្នុងសូលុយស្យុងដី។ ឧទាហរណ៍ នៅពេលឫសដំណាំស្រូបអាម៉ូញ៉ូម(បន្ទុកវិជ្ជមាន) ឫសដំណាំបញ្ចេញអ៊ីយ៉ុងអ៊ីដ្រូសែន (H^+) (បន្ទុកវិជ្ជមានមួយផ្សេងទៀត) ដើម្បីរក្សាតុល្យភាពបន្ទុកជុំវិញភ្នាស (Membrane) នៃភ្នាសគ្រោងរុក្ខជាតិ (Plant cell wall)។ ការខូចខាតលើដំណាំដែលអាចកើតឡើងលើដីមាន pH ទាប មិនមែនបង្កដោយផ្ទាល់ពីអ៊ីយ៉ុងអ៊ីដ្រូសែន (H^+) ទេ ប៉ុន្តែមកពីការកើនឡើងនៃអាលុយមីញ៉ូម (Al) និងម៉ង់កាណែស (Mn) ក្នុងសូលុយស្យុងដីនៅពេល pH ធ្លាក់ចុះ។ ការកើនឡើង Al និង Mn អាចរាំងស្ទះដល់ការលូតលាស់ឫស និងអាចដាក់កំហិតការស្រូបយកកាល់ស្យូម (Ca) និងម៉ាញ៉េស្យូម (Mg) របស់ដំណាំ។ អាសូតអាចបន្ថែមចូលដីក្នុងទម្រង់ជាច្រើន ប៉ុន្តែទម្រង់លើសលប់គឺជីអាសូតដែលកម្រិតបង្កភាពអាស៊ីតដល់ដី ផ្សេងៗគ្នា៖

១. ក្រុមមិនបង្កភាពអាស៊ីតដល់ដីមានប៉ូតាស្យូមនីត្រាត (KNO_3) និងកាល់ស្យូមនីត្រាត $Ca(NO_3)_2$

២. ក្រុមបង្កភាពអាស៊ីតដល់ដីតិចតួចមានអ៊ុយរ៉េ $CO(NH_2)_2$ និងអាម៉ូញ៉ូមនីត្រាត NH_4NO_3

៣. ក្រុមបង្កភាពអាស៊ីតដល់ដីមធ្យមមានឌីអាម៉ូញ៉ូមផូស្វាត $(NH_4)_2HPO_4$ និង

៤. ក្រុមបង្កភាពអាស៊ីតដល់ដីខ្លាំងមានអាម៉ូញ៉ូមស៊ុលផាត$(NH_4)_2SO_4$ និងម៉ូណូអាម៉ូញ៉ូមផូស្វាត $NH_4H_2PO_4$។ សមីការបង្ហាញពីការបញ្ចេញអ៊ីយ៉ុងអ៊ីដ្រូសែន (H^+) ដែលបង្កើនភាពអាស៊ីតដី នៅពេលប្រើប្រាស់ជីអាសូតមានដូចជា៖

(១). $CO(NH_2)_2 + 4O_2 \rightarrow 2NO_3^- + 2H^+ + CO_2 + H_2O$

(២). $NH_4NO_3 + 2O_2 \rightarrow 2NO_3^- + 2H^+ + H_2O$

(៣). $(NH_4)_2HPO_4 + O_2 \rightarrow 2NO_3^- + 3H^+ + H_2PO_4^- + H_2O$

(៤). $(NH_4)_2SO_4 + 4O_2 \rightarrow 2NO_3^- + 4H^+ + SO_4^{-2} + H_2O$

(៥). $NH_4H_2PO_4 + O_2 \rightarrow 2NO_3^- + 2H^+ + H_2PO_4^- + H_2O$

មានប្រភេទជីអាសូតផ្សេងៗទៀតដែលត្រូវបានប្រើប្រាស់ ក្នុងប្រព័ន្ធផលិតកម្មដំណាំដែលមានលទ្ធភាពបង្កភាពអាស៊ីតដីដែរ។ ដើម្បីការពារកុំឱ្យការកើនឡើងភាពអាស៊ីតដីដោយសារការប្រើប្រាស់ជីអាសូតកើតឡើង គួរតែ៖

១. ប្រើប្រាស់អាសូតតាមអត្រាណែនាំសម្រាប់ដំណាំនីមួយៗ
២. ដាក់អាសូតក្នុងបរិមាណតិច ប៉ុន្តែញឹកញាប់ដើម្បីឱ្យដំណាំស្រូបបានទាំងអស់
៣. ប្រើប្រាស់ប្រភេទជីអាសូតដែលបង្កភាពអាស៊ីតដល់ដីតិចតួច និង
៤. ប្រើប្រាស់កំបោរកសិកម្ម ។

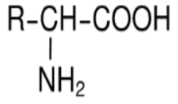
៨.៤ គីមីជីវៈនៃការបំលែងអាសូត

៨.៤.១ អាមីណូអាស៊ីត និង អាមីដ

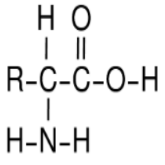
ក. អាមីណូអាស៊ីត

A. ទម្រង់របស់អាមីណូអាស៊ីត

អាស៊ីតអាមីណូ (Amino acid) គឺជាឈ្មោះនៃអាស៊ីតសរីរាង្គ ដែលផ្សំបានជាប្រូតេអ៊ីនទាំងឡាយដែលមាននៅក្នុងសារពាង្គកាយរបស់ភាវៈរស់។ អាមីណូអាស៊ីតទាំងអស់ផ្សំឡើងពីសមាសធាតុជាច្រើន ដូចជា កាបូន អ៊ីដ្រូសែន អុកស៊ីសែន អាសូត។ ប៉ុន្តែអាមីណូអាស៊ីតខ្លះទៀតរួមមានស្ពាន់ធ័រ(S) និងផូស្វ័រ(P) ថែមទៀត។ បើចំពោះរុក្ខជាតិបៃតង និងមីក្រូសារពាង្គកាយមួយចំនួនអាចបង្កើតនូវអាមីណូអាស៊ីតជាច្រើនដែលវាត្រូវការ។ គ្រប់ម៉ូលគុលប្រូតេអ៊ីនត្រូវបានបង្កើតឡើងពីសារធាតុងាយ គឺអាមីណូអាស៊ីត(ឬអាស៊ីតអាមីនេ) ដែលជាសារធាតុគ្រឹះ។ ម៉ូលេគុលអាមីណូអាស៊ីតនីមួយៗកើតឡើងពីបណ្តុំកាបុកស៊ីល ឬបណ្តុំអាស៊ីត (-COOH) បណ្តុំអាមីន ($-NH_2$) និងរ៉ាឌីកាល់ (R)។ អាមីណូអាស៊ីតទាំងនោះមាននៅក្នុងប្រូតេអ៊ីនភាគច្រើនគឺជាអាស៊ីត α អាមីនេ ដែលក្រុមកាបុកស៊ីល និង ក្រុមអាមីណូត្រូវបានភ្ជាប់គ្នាទៅនឹងកាបូនតែមួយ។



រូបមន្តស៊្វែរលាត



រូបមន្តលាត

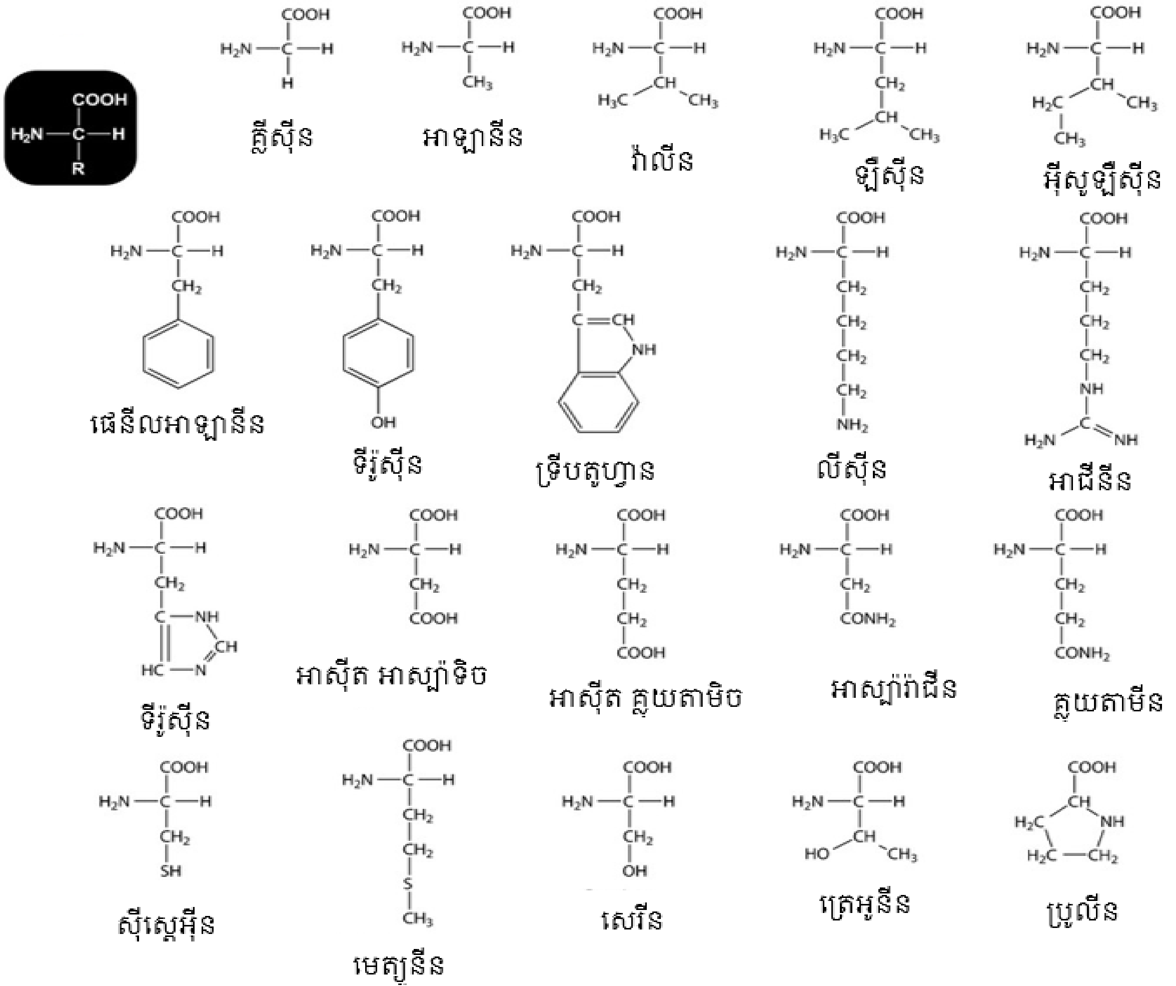
រូបមន្តទូទៅរបស់អាមីណូអាស៊ីតគឺ:

រ៉ាឌីកាល់ R: ជាក្រុមអាតូម ឬអាសូតផ្សេង ភាគច្រើនជាក្រុមអាល់គីល ($-CH_3$...) ដែលផ្ទុកទៅដោយបង្គុំនាទីផ្សេងៗដូចជា អាល់កុល អាស៊ីត...។ ក្នុងកោសិការបស់ភាវៈរស់មានអាមីណូអាស៊ីតប្រហែល ២០ ប្រភេទខុសៗគ្នា។ អាមីណូអាស៊ីតជាម៉ូលេគុលតូចៗហើយងាយ វារលាយក្នុងទឹក ហើយអាចជ្រាបតាមភ្នាសកោសិកាបាននិងជ្រាបចូលទៅក្នុងកោសិកានៃសារពាង្គកាយបានយ៉ាងងាយ។នៅពេលចូលទៅក្នុងកោសិកាអាមីណូអាស៊ីតភ្ជាប់គ្នាឡើងវិញដើម្បីបង្កើតបានជាប្រូតេអ៊ីន។ នៅក្នុងកម្រិត pH=7 បណ្តុំកាបុកស៊ីលបំបែកទៅជាទម្រង់បាស ($-COO^-$) ហើយបណ្តុំអាមីនបំបែកទៅជាទម្រង់អាស៊ីត($-NH_3$)។ ដូចនេះអា

មីណូអាស៊ីតអាចមានលក្ខណៈជាអាស៊ីតឬជាបាស។ អាមីណូអាស៊ីតអាចមានតួនាទីជាអ្នកនាំសារ ឧទាហរណ៍៖ អាស៊ីតអាសេទិច (ឬអុកស៊ីន) ជាអរម៉ូនរុក្ខជាតិមួយប្រភេទដែលមានឥទ្ធិពលលើការលូតវែងរបស់កោសិកា។ អរម៉ូននេះមាននាទីសម្របសម្រួលនាទីកោសិកា។ អាមីណូអាស៊ីតផ្ទុកម៉ូលេគុលអាសូតសាំញ៉ាំ ដូចជាអាសូតដែលជាសមាសធាតុគ្រឹះនៃនុយក្លេអូទីតរបស់អាស៊ីតនុយក្លេអ៊ិច។ ក្លរ៉ូភីលជាជាតិបៃតងក្នុងរុក្ខជាតិ ដែលមាននាទីក្នុងរស្មីសំយោគសុទ្ធតែផ្ទុកអាសូតសាំញ៉ាំ។ ហើយម្យ៉ាងទៀតអាមីណូអាស៊ីតដើរតួនាទីជាអ្នកដឹកនាំក្នុងមេតាប៉ូលីស។

B. ប្រភេទផ្សេងៗនៃអាមីណូអាស៊ីត

អាមីណូអាស៊ីតជាម៉ូណូមែរបស់ប្រូតេអ៊ីន ហើយទម្រង់ទាំង ២០ ប្រភេទរបស់អាមីណូអាស៊ីតត្រូវបានរកឃើញក្នុងប្រូតេអ៊ីន។ ទម្រង់ទាំង ២០ប្រភេទនោះមាន៖



ខាងក្រោមនេះ ជាឈ្មោះនិងអក្សរកាត់របស់អសមីណូអាស៊ីតទាំង ២០ ប្រភេទមានដូចជា៖

អាមីណូអាស៊ីត	ឈ្មោះកាត់បីអក្សរ	ឈ្មោះកាត់មួយអក្សរ
អាឡានីន	Ala	A
អាស៊ីនីន	Arg	R
អាស្ប៉ារ៉ាស៊ីន	Asn	N
អាស៊ីតអាស្ប៉ាទិច	Asp	D
ស៊ីស្តេអ៊ីន	Cys	C
អាស៊ីតគ្លុយតាមិច	Glu	E
គ្លុយតាមីន	Gln	Q
គ្លីស៊ីន	Gly	G
អ៊ីស្តេឌីន	His	H
អ៊ីសូឡឺស៊ីន	Ile	I
ឡឺស៊ីន	Leu	L
លីស៊ីន	Lys	K
មេត្យូនីន	Met	M
ផេនីលអាឡានីន	Phe	F
ប្រូលីន	Pro	P
សេរីន	Ser	S
ត្រេអូនីន	Thr	T
ទ្រីបតូផាន	Trp	W
ទីរ៉ូស៊ីន	Tyr	Y
វ៉ាលីន	Val	v

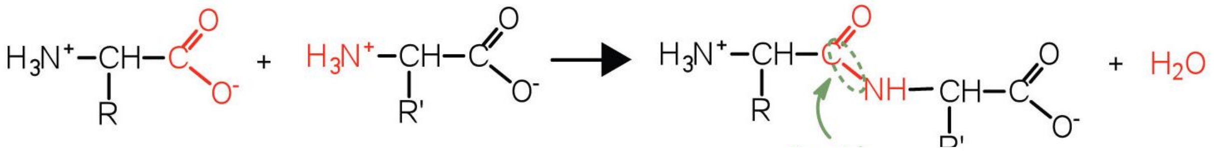
ទីកន្លែងនិងតួនាទីអាមីណូអាស៊ីតមួយចំនួន៖

- មេត្យូនីន (Methionine)៖ ចូលរួមក្នុងការសំយោគ ភ្នាសកោសិការុក្ខជាតិ។ ភាគច្រើននៃមេត្យូនីន មាននៅក្នុងប្រូតេអ៊ីនទឹកដោះគោគឺ កាសេអ៊ីន។
- លីស៊ីន (Lysine)៖ ភាគច្រើនមាននៅក្នុងប្រូតេអ៊ីនសាច់ត្រី និងគ្រាប់ធញ្ញជាតិ ជាពិសេសគឺគ្រាប់ពោត។
- អាជីនីន (Arginine)៖ មាននៅគ្រប់ប្រូតេអ៊ីន ជាពិសេសក្នុងសាច់ត្រីស្រស់ហើយមានតួនាទីសម្រាប់បណ្តុះរូបធាតុ ប្រូតេអ៊ីនក្នុងការសំយោគប្រូតេអ៊ីន ។

- អាស៊ីតគ្លុយតាមីក (Glutamic acid)៖ មានមុខងារក្នុងការបណ្តូររូបធាតុគឺមេតាបូលីសនៃខួរក្បាល
- ផេនីលអាឡានីន (Phenylalanine)៖មាននៅគ្រប់ប្រូតេអ៊ីនហើយចូលរួមសំយោគអាល់កាឡូអ៊ីត
- ទីរ៉ូស៊ីន (Tyrosine)៖ មាននៅក្នុងគ្រប់ប្រូតេអ៊ីន ហើយចូលរួមសំយោគអរម៉ូន។ ក្រោមអំពើនៃកាតាលីករ ទីរ៉ូស៊ីនបានប្រែជា មេឡានីនដែលជាជាតិពណ៌នៃ ស្បែក សក់ និង រោម។
- ទ្រីបតូហ្វាន (Tryptophan)៖ មាននៅក្នុងគ្រប់ប្រូតេអ៊ីន តែក្នុងរុក្ខជាតិមានតិចតួចវាចូលរួមក្នុងការសំយោគវីតាមីន។
- អ៊ីស្តេឌីន (Histidine)៖ មានក្នុងអេម៉ូក្លូប៊ីន។
- ប្រូលីន (Proline)៖ ងាយរលាយក្នុងអាល់កុលណាស់។ ភាគច្រើនមាននៅក្នុងគ្រាប់ធញ្ញជាតិ និងនៅផ្នែកស្រោបខាងក្រៅនៃធ្មេញ។

C. **ប៉ិបទីត**

ចំណងដែលកើតឡើងពីការភ្ជាប់រវាងអាមីណូអាស៊ីតទាំងពីរហៅថា **ចំណងប៉ិបទីត**។ ដោយប្រតិកម្មនេះជាដេអ៊ីដ្រាតកម្ម នៅពេលអាមីណូអាស៊ីត វាត្រូវបាត់បង់មួយម៉ូលេគុល ប៉ិបទីតជាអាមីណូអាស៊ីតពីរឬច្រើនដែលភ្ជាប់គ្នា។



សម្ព័ន្ធប៉ិបទីត

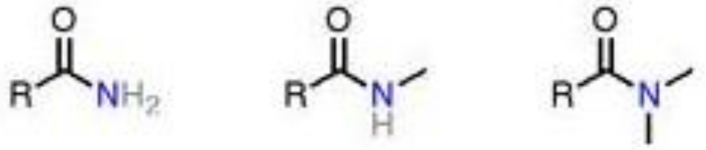
- ការកកើតចំណងប៉ិបទីត ដោយភ្ជាប់បណ្តុំកាបុកស៊ីលរបស់អាមីណូអាស៊ីតទៅនឹងបណ្តុំអាមីនរបស់អាមីណូអាស៊ីតមួយទៀត។
- ទឹកមួយម៉ូលេគុលត្រូវបានដកចេញ។

នៅពេលអាមីណូអាស៊ីតភ្ជាប់គ្នាកាន់ច្រើនច្រវាក់កាន់តែវែង ហើយបុព្វបទនៃការហៅឈ្មោះប៉ិបទីតត្រូវផ្លាស់ប្តូរតាមចំនួនអាមីណូអាស៊ីត។ ដូចតំណាលំដាប់អាមីណូអាស៊ីត ជាអ្នកកំណត់ទម្រង់និងតួនាទីរបស់ ប្រូតេអ៊ីន។

ខ. អាមីត

A. **ទម្រង់របស់អាមីត**

អាមីត គឺជាស្រលាយនៃអាស៊ីតកាបុកស៊ីលិច (R-COOH) ដែលមានបង្គុំ -OH របស់អាស៊ីតត្រូវបានជំនួសដោយបង្គុំអាមីន ($-NH_2$)។ រូបមន្តទូទៅរបស់អាមីតគឺដោយអាស៊ីតត្រូវបានជំនួសដោយបង្គុំអាមីន (-NH2) ដែលធ្វើឱ្យអាមីតមានចំនួន ៣ថ្នាក់គឺ៖



អាមីដ ថ្នាក់ទីI អាមីដ ថ្នាក់ទី II អាមីដ ថ្នាក់ទី III

ហើយដើម្បីហៅឈ្មោះអាមីតថ្នាក់ទី II ឬថ្នាក់ទី III ត្រូវហៅឈ្មោះរ៉ាឌីកាល់ដែលភ្ជាប់នឹងអាតូមអាសូត។

B. លក្ខណៈនៃអាមីត

- អាមីតមានចំណុចរំពុះខ្ពស់ ដែលជាទូទៅអាមីតមិនមានក្រុមមុខងារ ដែលមានសីតុណ្ហភាពសមស្របនោះទេតែវាអាចបង្កើតបានជាធម្មតា ដោយកម្តៅអាស៊ីតអាមីណូដែលត្រូវគ្នារហូតដល់ ១៥០ - ២០០ អង្សាសេ ទោះយ៉ាងណាប្រសិនបើក្រុមអាមីណូ និងអាស៊ីតត្រូវបានរក្សាយ៉ាងជិតស្និទ្ធជាមួយគ្នានោះការបង្កើតអាមីដអាចសម្រេចបានយ៉ាងងាយស្រួល តែផ្ទុយទៅវិញកត្តាខុសគ្នាអនុញ្ញាតឱ្យអាស៊ីត Pivaloyl pyruvic ដើរតួដោយផ្ទាល់ក្នុងនាមជាភ្នាក់ងារបន្សំអាស៊ីតអាមីណូនៅសីតុណ្ហភាពបន្ទប់។
- អាមីតភាគច្រើនគ្មានពណ៌ មានទម្រង់ជាក្រាមរឹង និងរលាយក្នុងទឹកបានច្រើនជាងអាល់កុលបន្ទិច (កាលណាម៉ូលេគុលទាំងពីរមានចំនួនអាតូមកាបូនស្មើរគ្នា)។ អាមីត មានទំងន់ម៉ូលេគុលទាប ងាយនឹងរលាយក្នុងទឹកពីព្រោះចំណងអ៊ីដ្រូសែនបង្កើតរវាងក្រុមអាមីត និងទឹក។ សូម្បីតែ អាតូមទី ៣ នៃទម្ងន់ម៉ូលេគុលក៏រលាយក្នុងទឹកដែរ ពីព្រោះអាតូមអុកស៊ីតកាបូនអាចបង្កើតជាចំណងអ៊ីដ្រូសែន ទៅនឹងអាតូមអ៊ីដ្រូសែននៃទឹក។
- ដោយការដុតកម្តៅជាមួយទឹក អាមីតរងអ៊ីដ្រូលីសយឺតៗបង្កើតបានជាអាស៊ីតកាបុកស៊ីលិច។

$$\underset{\text{អេតាណាមីត}}{CH_3 - CO - NH_2} \xrightarrow[\text{ទឹក}]{\text{ដាំពុះ}} \underset{\text{អាស៊ីត អាសេទិច}}{CH_3COOH} + NH_3$$

– ចំពោះអាមីដក៏ត្រូវបានគេរកឃើញថាជាការជំនួសអ៊ីដ្រូសែន មួយពីអាម៉ូញ៉ាក់ ដោយអាតូមអ៊ីដ្រូសែនពីក្រុមអាមីដត្រូវបានជំនួសបន្ថែមដោយរ៉ាឌីកាល់ អ៊ីដ្រូកាបូនដែលបង្កើតអាមីដជំនួស។ អ៊ីដ្រូសែនក្នុង NH_2 ពីអាមីត ក៏ត្រូវបានជំនួសដោយក្រុមផ្សេងទៀតដើម្បីបង្កើតបានជាអាមីតថ្នាក់ទី៣។ ការជំនួសអាតូម អ៊ីដ្រូសែន នៅលើអាតូមអាសូតដោយក្រុមអារីលជួយកាត់បន្ថយចំនួននៃចំណងអ៊ីដ្រូសែន ដែលអាចបន្ថយចំណុចរលាយនិងពុះរបស់វា។

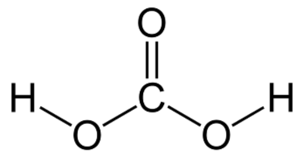
C. ការសំយោគអាមីត

ការវិវត្តដ៏សំខាន់មួយ ក្នុងការសំយោគដោយផ្ទាល់របស់អាមីតពីអាស៊ីតកាបុកស៊ីលិច (Carboxylic) គឺជារបកគំហើញដែលបានបង្ហាញថា មានលទ្ធភាពបង្កើតប្រតិកម្មបានមិនត្រឹមតែ

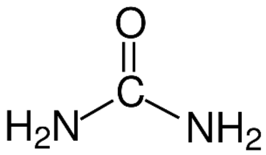
អនុញ្ញាតឱ្យសំយោគអាមីតដោយផ្ទាល់ពីអាស៊ីត និងអាមីនដែលត្រូវគ្នាប៉ុណ្ណោះទេ ប៉ុន្តែថែមទាំងធ្វើឱ្យសីតុណ្ហភាពធ្លាក់ចុះផងដែរ គឺតិចជាង ១០០ អង្សាសេ។ហើយចំពោះការប្រើប្រាស់អង់ស៊ីមនៅតែបន្តមានតំលៃខ្លះក្នុងការសំយោគអាមីតពីអាមីន និងអាស៊ីត។ នៅក្នុងការអនុវត្តជាក់ស្តែងការផ្លាស់ប្តូរនេះមិនមែន ជាការដែលមានលក្ខណៈទូទៅនោះទេប៉ុន្តែការបង្រួបបង្រួមជាតិស្ករឱ្យរលាយ ការប្រើប្រាស់សារធាតុរំលាយជួយបង្កើត និងជួយជំរុញប្រតិកម្មក្នុងទិសដៅបញ្ច្រាសទៅនឹងបទដ្ឋានសម្រាប់អង់ស៊ីមនេះ ដែលអនុញ្ញាតឱ្យក្រុមនេះទទួលបានការសំយោគនៃ គ្លុយកូស។

D. **អាមីតពិសេស (អ៊ុយរ៉េ)**

អ៊ុយរ៉េ គឺជាឌីអាមីតនៃអាស៊ីតកាបូនិច

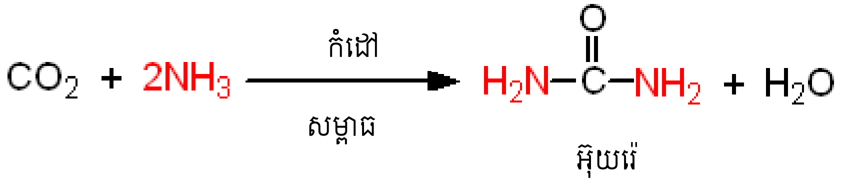


អាស៊ីតកាបូនិច



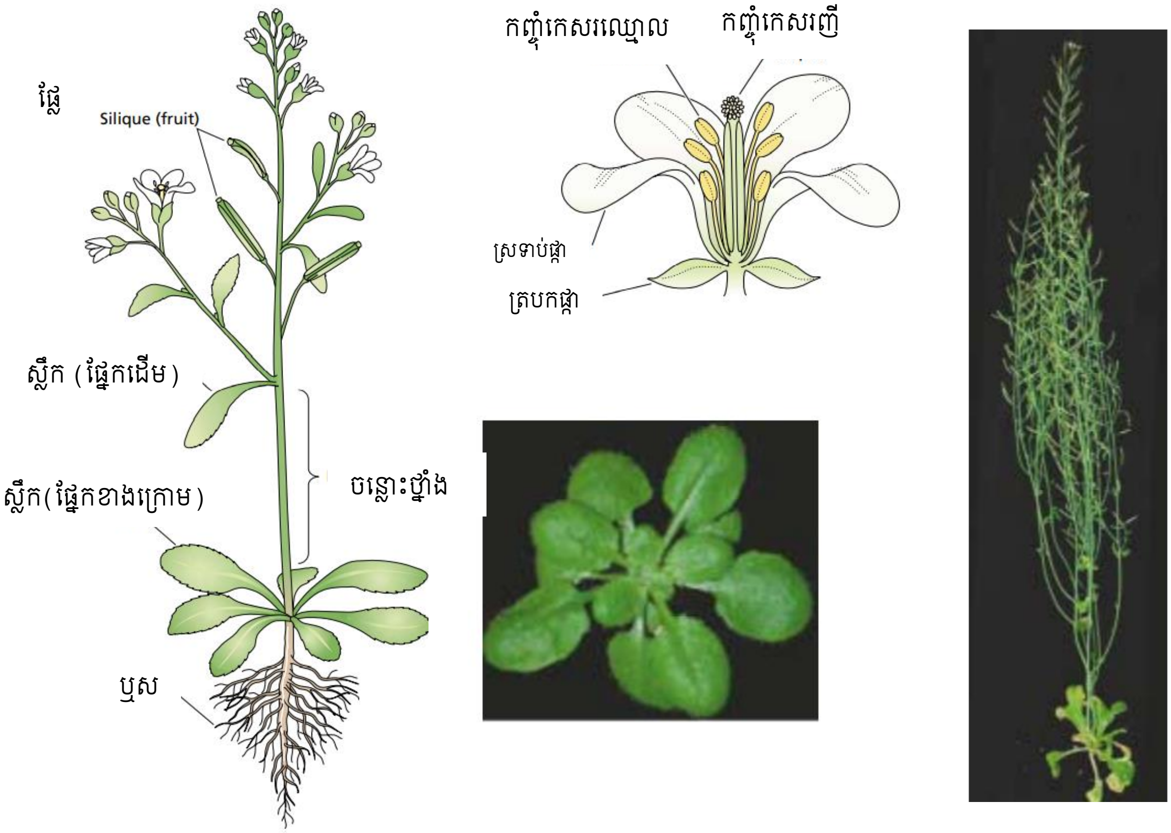
អ៊ុយរ៉េ

អ៊ុយរ៉េជាអង្គធាតុក្រាមរឹង គ្មានពណ៌និងរលាយក្នុងទឹក ។ វា គឺជាផលិតផលនៃមេតាបូលីសប្រូតេអ៊ីនក្នុងសារពាង្គកាយ។ ក្នុងឧស្សាហកម្ម អ៊ុយរ៉េត្រូវបានផលិតឡើងតាមរយៈការដុតកម្តៅ NH_3 ជាមួយកាបូនឌីអុកស៊ីត នៅសីតុណ្ហភាពខ្ពស់ និងសម្ពាធខ្ពស់ ហើយបម្រើបម្រាស់ចម្បងរបស់អ៊ុយរ៉េ គឺជាជីសម្រាប់ដំណាំ។



ជំពូកទី ៩
ការលូតលាស់ និងវិវឌ្ឍន៍របស់រុក្ខជាតិ

ដំណើរការនៃការវិវឌ្ឍ ត្រូវបានគេស្គាល់ថាការលូតលាស់នៃក្រូណា (អំប្រីយ៉ុង) ដែលជាដំណាក់កាលវិវឌ្ឍន៍ដំបូងនៃរុក្ខជាតិ។ ទោះបីជាការលូតលាស់នៃក្រូណាជាទូទៅចាប់ផ្ដើមពី ការរួមគ្នារវាង មេជីវិតឈ្មោល និងស៊ុត ដែលបង្កើតបានជា កោសិកាទោលស៊ីកូត (Zygote)។ ការបង្កកំណើត (Fertilization) ចាប់ផ្ដើមដំបូងពីរ បីដំណាក់កាលនៃការវិវឌ្ឍដូចជា អង់ដូស្ពែម គ្រាប់ និងការវិវឌ្ឍផ្លែ។ ហើយរុក្ខជាតិវាមានលក្ខណៈខុសពីសត្វ ដែលការលូតលាស់ដោយក្រូណាដែលបង្កើតឡើងពី ជាលិកា និងសរីរាង្គពេញវ័យ។ ឧទាហរណ៍៖ ទម្រង់អង់ស្យូស្ពែម (Angiosperm) នៃការការលូតលាស់ក្រូណា គឺជាដំណាក់កាលដំបូងនៃការវិវឌ្ឍនៃរូបរាងរបស់រុក្ខជាតិ ដែលវាមានតាមបែបបទ នៃអ័ក្សអំប្រីយ៉ូ និងកូទីលេដុនពីរ (ប្រសិនបើវាជាពពួក ឌីកូទៅលេដុន)។ ទោះជាដូច្នេះក្ដី ការវិវឌ្ឍនៃក្រូណា បង្កើតឡើងដោយផ្អែកលើគំរូពីរយ៉ាងដែលមានតមក ហើយត្រូវបានមើលឃើញយ៉ាងងាយនៅក្នុងរុក្ខជាតិពេញវ័យ។



រូបភាព ៩.១ ៖ ការបង្ហាញពីរុក្ខជាតិ *Arabidopsis thaliana* ពីផ្នែកផ្សេងៗគ្នានៃសរីរាង្គលូតលាស់ (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

១. ការវិវឌ្ឍនៅអ័ក្សផ្នែកខាងចុង (Apical-basal axial)

២. ការវិវឌ្ឍដែលសន្ទឹងចេញពីផ្នែកកណ្ដាល (Radial pattern)ដែលត្រូវបានរកឃើញនៅក្នុងដើម និងឫស។

៩.១ ការលូតលាស់

វាជាចំណេះដឹងទូទៅហើយដែលរុក្ខជាតិបង្កើនទំហំរបស់វា ហើយពាក្យថាការលូតលាស់ គឺជាការកើនឡើងក្នុងសារពាង្គកាយរបស់រុក្ខជាតិ។ ម្យ៉ាងវិញទៀតការលូតលាស់ចង់និយាយទៅដល់ការកើនឡើងនៅទំហំដែលអាចត្រឡប់បាននៃសារពាង្គកាយរុក្ខជាតិ។ ចំពោះការលូតលាស់គឺមានតែចំពោះវដ្ដជីវិតតែប៉ុណ្ណោះ ឧទាហរណ៍៖ កំណាត់ឈើរស់មួយអាចស្រូបយកទឹកបាន និងកើនមាឌបានប៉ុន្តែវាមិនអាចដុះលូតលាស់បានទេ។ នៅក្នុងករណីជាច្រើនការលូតលាស់កើតមានឡើងដោយការកើនឡើងនៃម៉ាស់ស្ងួត ដូច្នេះដំណុះរបស់គ្រាប់នៅទីងងឹតទំហំនិង ទម្ងន់សរុបកូនរុក្ខជាតិបានកើតឡើងយ៉ាងខ្លាំងបើធៀបនឹងគ្រាប់ស្ងួត ប៉ុន្តែវាហាក់ដូចជាបាត់បង់ម៉ាស់ស្ងួតដោយដំណើរដំណកដង្ហើម និងដំណើរការមេតាប៉ូលីសផ្សេងៗទៀត។ ការលូតលាស់មិនបានកើតឡើងក្នុងគ្រាប់ទាំងមូលនោះទេ ប៉ុន្តែវាកើតឡើងនៅកន្លែងកំណត់របស់វា។ នៅក្នុងកន្លែងដុះលូតលាស់នោះអាហារត្រូវបានប្រមូលទៅជាសារធាតុបម្រុង ដែលក្នុងនោះក៏មានប្រតិកម្មអុកស៊ីតកម្មក្នុងដំណើរដំណកដង្ហើមកើតមានឡើងផងដែរ។ ជាលទ្ធផលទោះជាសារពាង្គកាយ ទាំងមូលបាត់បង់ម៉ាស់ស្ងួត តែកន្លែងនិងតំបន់លូតលាស់នូវតែមានការកើនឡើងម៉ាសស្ងួតយ៉ាងពិតប្រាកដ។

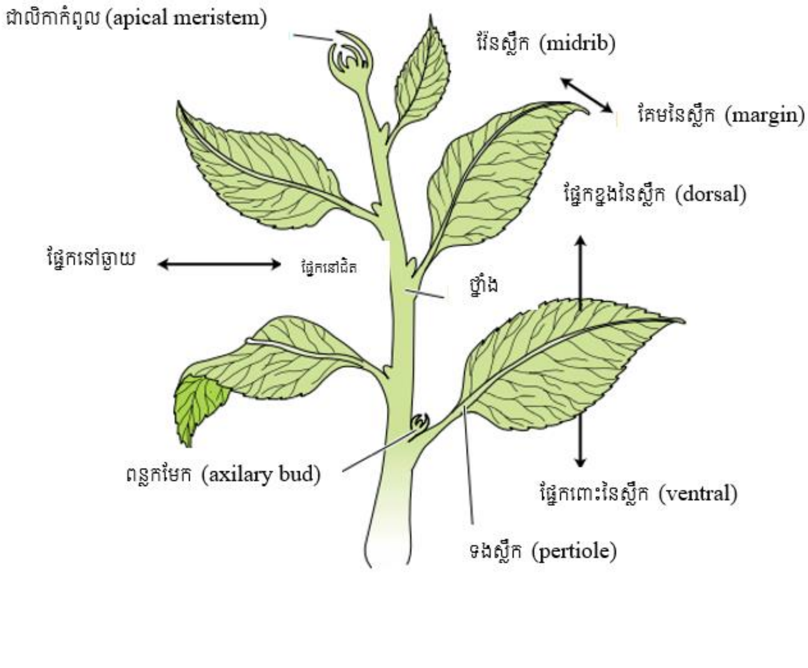
ចំណែកឯអភិវឌ្ឍន៍ គឺទាក់ទងទៅនឹងការប្រែប្រួលគុណភាព ដែលកើតមានឡើងនៅក្នុងសារពាង្គកាយរបស់រុក្ខជាតិដូចជា៖ ការដាំដុះរបស់គ្រាប់ ការបង្កើតផ្កានិងផ្លែនិងការផ្លាស់ប្ដូរផ្សេងៗទៀត។ ការលូតលាស់និងការអភិវឌ្ឍមិនអាចចែកជាបាតុភូតពីរ ដែលកើតឡើងនៅពេលផ្សេងៗគ្នាបានទេ។ ម្យ៉ាងវិញទៀតគឺវាកើតឡើងជាបន្តបន្ទាប់ក្នុងរយៈពេលយ៉ាងរហ័ស។ ឧទាហរណ៍៖ នៅពេលដែលមានដំណាក់កាលផ្លាស់ប្ដូររបស់មេជាលិកា (Meristem) ពីសរីរាង្គលូតលាស់ទៅជាសរីរាង្គបន្តពូជហើយការផ្លាស់ប្ដូរប្រភេទនេះឲ្យឈ្មោះថា ការវិវឌ្ឍ។ ទោះជាយ៉ាងណាក៏ដោយការផ្លាស់ប្ដូរនៃមេជាលិកា បន្តពូជនេះបានលូតលាស់មុនការកើតឡើងនៃត្របកផ្កា កេសឈ្មោល និងកេសញី។ ដូចច្នេះការលូតលាស់ និងការអភិវឌ្ឍ គឺជាដំណើរការរួមគ្នា និងមានទំនាក់ទំនងគ្នាទៅវិញទៅមក។ នៅក្នុងរុក្ខជាតិថ្នាក់ទាប សារពាង្គកាយរុក្ខជាតិទាំងមូលអាចដុះលូតលាស់បាន។ ប៉ុន្តែនៅក្នុងរុក្ខជាតិថ្នាក់ខ្ពស់ការលូតលាស់កើតឡើងនៅផ្នែកខាងនៃដើម និងឫស។ តំបន់ដុះលូតលាស់នេះអោយឈ្មោះថា តំបន់មេជាលិកា (Meristematic zones)។ នៅក្នុងតំបន់នេះកោសិកាជានិច្ចកាលស្ថិតជាលក្ខណៈអាចបំបែកបាន និងបន្តបង្កើតកោសិកាថ្មីៗទៀតសម្រាប់ការលូតលាស់សារពាង្គកាយរបស់រុក្ខជាតិ។នៅក្នុងតំបន់នេះជាធម្មតាកោសិកាមានទំហំតូច ភ្នាសស្ដើង

ហើយមានវ៉ាគុយអូល និងពោរពេញដោយប្រូតូប្លាស។ វាបង្ហាញពីលក្ខណៈមេតាបូលីសយ៉ាងសកម្ម និង អត្រានៃដំណាកដង្ហើមយ៉ាងខ្ពស់។ ពុំនោះបណ្តោយនៃផ្នែកខាងចុងរបស់រុក្ខជាតិយើងអាចនិងឃើញវគ្គ ទាំងបីនៃការលូតលាស់ដែលមានឈ្មោះថាការបំបែកកោសិកា ការលូតប្រវែងកោសិកា និងការប្រែប្រួលនៃ កោសិកា។ ចំពោះរុក្ខជាតិក្នុងថ្នាក់ឌីកូទីលេដូនទាំងអស់ឃើញមានមេជាលិកា (Meristem) ដែលរួមបង្កើន ប្រវែងសារពាង្គកាយរុក្ខជាតិតែប៉ុណ្ណោះ តែនៅក្នុងរុក្ខជាតិថ្នាក់ម៉ូណូកូទីលេដូនមានមេជាលិកា (Meristem) មួយប្រភេទទៀតស្ថិតនៅក្រោមចន្លោះថ្នាំង។

ការលូតលាស់ដែលចាប់ផ្តើមពីផ្នែកខាងចុងនៃដើម និងឫសត្រូវបានគេឲ្យឈ្មោះថា ការលូតលាស់ ទីមួយ (Primary growth)។ ការលូតលាស់ទីមួយនេះជាទូទៅចូលរួមបង្កើតជាជាលិកាទីមួយ (Primary tissue) និងបង្កើនប្រវែងដើម និងឫស និងការបង្កើតផ្នែកផ្សេងៗទៀតដូចជា ស្លឹកពន្លកនិង ផ្កា។ នៅក្នុងរុក្ខ ជាតិថ្នាក់ម៉ូណូកូទីលេដូនភាគច្រើនការលាស់លាស់ទីមួយ គឺជាការលូតសាល់តែមួយគត់ ឯរុក្ខជាតិថ្នាក់ឌីកូ ទីលេដូន និង រុក្ខជាតិ (Gyminosperm growth) ដែលចូលរួមធ្វើឲ្យដើម និងឫសឡើងក្រាស់។

៩.២ ការលូតលាស់ស្លឹក

ស្លឹករុក្ខជាតិភាគច្រើន គឺជាសរីរាង្គសម្រាប់ធ្វើរស្មីសំយោគ។ នេះគឺជាកន្លែង ថាមពលពន្លឺត្រូវបាន ចាប់យក ហើយប្រើប្រាស់ដើម្បីបង្កើតអោយមានប្រតិមកម្មគីមី ដែលមានភាពធំធេងសម្រាប់ជីវិតរុក្ខជាតិ។ ទោះបីជាមានភាពខុសៗគ្នាទៅលើទំហំ និងរូបរាងស្លឹកពីប្រភេទមួយទៅប្រភេទមួយទៀត។ ជាទូទៅស្លឹក មានលក្ខណៈស្តើង ទម្រង់រាបស្មើផ្នែកខ្នងពោះ (Dorsimentral)។



រូបភាព ៩.២៖ ការលូតលាស់ផ្នែក ផ្សេងៗរបស់ដើមរុក្ខជាតិ

គំរូនេះគឺផ្ទុយពី ដាលិកាកំពូលនៃដើម (Shoot apical meristem) និងដើមដែលសរីរាង្គទាំងពីរនេះ មានលក្ខណស៊ីមេទ្រីចំផ្នែកកណ្ដាល។ ចំណុចសំខាន់នៃភាពខុសគ្នាមួយទៀតគឺ ស្លឹកនៅលើដើមដំបូងគេ បង្ហាញពីការណេត់ការលូតលាស់ ខណៈពេលដែលដើមដាលិកាដំបូង គឺមិនកំណត់លើការលូតលាស់របស់ រុក្ខជាតិទេ។

៩.២.១ វគ្គនៃការលូតលាស់

វគ្គនៃការលូតលាស់(Phases of Growth) មានដូចជា៖ រុក្ខជាតិភាគច្រើនបន្តការលូតលាស់ពេញមួយជីវិត ហើយការលូតលាស់របស់វាតាមរយៈការរួមបញ្ចូលគ្នារវាងការលូតលាស់កោសិកា និងការបែងចែកកោសិកា។ ការបែងចែកកោសិកា(Cell division)៖ ការបំបែកកោសិកាគឺជាផ្នែកមួយយ៉ាងសំខាន់នៃការលូតលាស់របស់រុក្ខជាតិ។ ចាប់ផ្ដើមពីស៊ីកូតឯកកោសិកា បើសិនជាអំប្រីយ៉ុពហុកោសិកា និងជាចុងក្រោយវាបង្កើតជាអ្វីមួយនោះការបំបែកកោសិកាត្រូវកើតឡើង បើសិនជាកោសិកាមួយបន្តការបំបែកម្ដងហើយម្ដងទៀតនោះទំហំរបស់វាគួរតែតូចទៅៗ។ ទំហំដែលសារពាង្គកាយរុក្ខជាតិអាស្រ័យទៅនឹងទំហំចំនួនកោសិកា។ ការលូតលាស់ប្រវែងនៃកោសិកា (Cell elongation) នៅពេលមានការលូតលាស់ប្រវែងនៃកោសិកា ហើយកោសិកាដែលទើបនឹងបង្កើតថ្មីបង្កើនទំហំរបស់វា។ កោសិកាតូចៗស្រូបយកទឹកដោយសារជាតុអូស្មូសសកម្មជាច្រើននៅក្នុងនោះ ដោយមានការស្រូបទឹកជាបន្តបន្ទាប់ចូលទៅក្នុងកោសិកានោះវាគុយអូល ក៏កើនទំហំ។ មុននឹងការបំបែក និងការកើនទំហំកោសិកាមានការប្រែប្រួលមេតាប៉ូលីសខ្លះកើតមាន។ ការប្រែប្រួលកោសិកា(Cell differentiation) នៅពេលកោសិកាផ្លាស់ប្ដូររូបរាងរបស់វាហើយភ្នាសកោសិកាឡើងក្រាស់។ ដំណើរការបង្កើតជាប្រភេទផ្សេងនៃកោសិកាដែលមានមុខងារផ្សេងៗនោះឱ្យឈ្មោះថា ការប្រែប្រួល។ ដោយកោសិការុក្ខជាតិទាំងអស់កើតឡើងពីការបំបែកជាបន្តបន្ទាប់ពីស៊ីកូតនោះ កោសិកា ទាំងអស់មានចំនួនក្រូម៉ូសូមនិង សារជាតុសេនេទិចដូចគ្នា។

ពេលវេលា និងការគំរូដែលបង្កើតជាទម្រង់ស្លឹកដំបូង គឺត្រូវបានកំណត់ដោយលក្ខណៈសេនេទិច និងទៅតាមលក្ខណៈពិសេសរបស់ប្រភេទនីមួយៗ។ ចំនួននិងលំដាប់ដែលស្លឹកដំបូងតម្រៀបគ្នាគឺឆ្លុះបញ្ចាំង ពីការរៀបចំតាមលំដាប់នៃស្លឹក ជុំវិញដើមដែលត្រូវបានគេស្គាល់ថា ហ្វីឡូថាក់ស៊ី (Phyllotaxy) ឬជាការតម្រៀបស្លឹកនៅលើទងស្លឹក។ ដែលជាទូទៅ ការតម្រៀបស្លឹកគឺមាន ៥ប្រភេទ៖

១. ការតម្រៀបស្លឹកឆ្លាស់គ្នា (Alternate phyllotaxy)៖ ស្លឹកទោលស្ថិតនៅលើថ្នាំងនីមួយៗនៃដើម

២. ការតម្រៀបស្លឹកផ្ទុយគ្នា (Opposite phyllotaxy)៖ ស្លឹកត្រូវបានបង្កើតជាគូនៅលើផ្នែកបញ្ច្រាស់គ្នានៃដើម

៣. ការតម្រៀបស្លឹកនៅកែងគ្នា (Decussate phyllotaxy)៖ ស្លឹកចាប់ផ្ដើមដុះចេញ ក្នុងគំរូដែលស្លឹកពីរក្នុងមួយថ្នាំង និងជាមួយស្លឹកផ្ទុយគ្នាមួយគូ ដែលបែរទៅបញ្ឆៀងទៅវិញទៅមកក្នុងរយៈពេលវិវឌ្ឍន៍ការលូតលាស់។

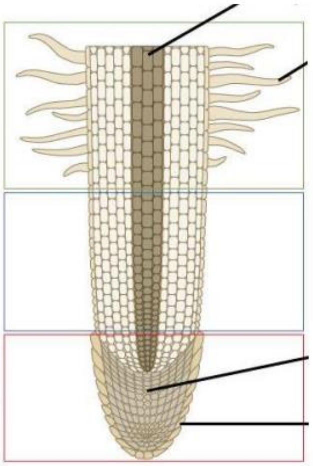
៤. ការតម្រៀបស្លឹកជារាងរង្វង់ (Whorled phyllotaxy)៖ មានស្លឹកច្រើនជាងពីរលូតឡើងនៅតាមថ្នាំងនីមួយៗ។

៥. ការតំរៀបស្លឹកជាស្មៀ (Spiral phyllotaxy)៖ ជាប្រភេទស្លឹកឆ្លាស់គ្នា ដែលនៅក្នុងស្លឹកនិមួយៗត្រូវបានកើតឡើងត្រូវបានកំណត់បញ្ចៀង ទៅជាមួយនិងស្លឹកមុនដែលលេចចេញជាការតម្រៀបជាស្មៀនៃស្លឹកជុំវិញដើម។

រូបភាព ៩.៣៖ ប្រភេទទាំង៥ នៃការតម្រៀបស្លឹកទៅតាមលក្ខណៈនីមួយៗ (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

៩.៣ ការលូតលាស់ឫស

ឫស ត្រូវបានបន្សុំខ្លួនរបស់វា សម្រាប់ការលូតលាស់តាមរយៈដី និងធ្វើការស្រូបយកទឹក និងសារធាតុខនិជនៅក្នុងលំហ នៃសរសៃប្តូរចន្លោះភាគល្អិតតូចនៃដី។ មុខងារទាំងអស់នេះត្រូវបានជំនួស ដោយការពិនិត្យទៅលើការវិវឌ្ឍទម្រង់ឫស។ ឧទាហរណ៍៖ ឫសខាងគឺមានលក្ខណៈគោងជាប់ដែលបង្អាក់ការជ្រាបចុះទៅក្រោមតាមរយៈដី។ ជាលទ្ធផល ឫសមានចរន្តអ័ក្ស និងគ្មានសរីរាង្គចំហៀងដែលត្រូវបាន ផលិតដោយ មេជាលិកាកំពូល (Apical meristem)។ មែករបស់ឫសលូតឡើងផ្នែកខាងក្នុង ហើយវាកកើតឡើងនៅពេលតែពេញវ័យតែប៉ុណ្ណោះ និងមិនមែនជាតំបន់លូតលាស់។ ការស្រូបយកទឹក និងសារធាតុរ៉ែត្រូវបានពង្រីកដោយរោមជញ្ជក់ (Root hair) ដែលបង្កើតនៅពីខាងក្រោយតំបន់លូតលាស់។ កោសិកា ដ៏វែងនិងរាងដូចសរសៃទាំងនេះបានបង្កើនផ្ទៃស្រូបយករបស់ឫស។



រូបភាព ៩.៤៖ ការលូតលាស់ផ្នែកផ្សេងៗរបស់ឫស

៩.៣.១ រង្វាស់នៃការលូតលាស់

ការលូតលាស់ត្រូវបានគេវាស់វែងដោយវិធីផ្សេងៗគ្នាជាច្រើនដូចជា៖

ក.ការវាស់ដោយបន្ទាត់ (Linear measurement)

ការលូតលាស់ត្រូវបានគេ វាស់នៅក្នុងការកើនឡើងនៃប្រវែងនៃផ្នែកខាងចុងនៃឫស និងដើម។ ជាទូទៅប្រវែងនៃដើមត្រូវបានគេវាស់ពីផ្ទៃដីទៅផ្នែកខ្ពស់បំផុតនៃស្លឹកដោយប្រវែងជាម៉ែត្រ។ បើសិនជាមានកូនរុក្ខជាតិដុះនៅទីងងឹត និងមួយទៀតនៅក្នុងកន្លែងភ្លឺ ការលូតលាស់ប្រវែងនៃកូនរុក្ខជាតិមានភាពខុសគ្នាយ៉ាងខ្លាំង ប៉ុន្តែវាក៏មានការខុសគ្នាដែរដោយរុក្ខជាតិដុះនៅ ទីងងឹតដុះលូតលាស់វែងជាងនៅទីភ្លឺ។ ការវាស់ដោយប្រើបន្ទាត់នេះ មិនបានគិតដល់បរិមាណនៃកោសិកាឡើយ ដើមពីរអាចមានប្រវែងស្មើគ្នា ប៉ុន្តែមួយអាចមានចំនួនកោសិកាច្រើន និងមួយទៀតអាចមានតិច ប៉ុន្តែវាអាចមានទំហំនៃចន្លោះកោសិកាធំ។

ខ.ការវាស់ទម្ងន់ស្រស់ (Fresh weight measurement)

ទម្ងន់ស្រស់ត្រូវបានគេប្រើប្រាស់ទាក់ទងសរីរាង្គដែលមិនអាចវាស់បានដូចជា៖ ផ្លែមើម កំពកឫស និងសរីរាង្គផ្សេងៗទៀត។ ម្យ៉ាងវិញទៀតទម្ងន់ស្រស់ក៏អាចធ្វើឲ្យមានការយល់ច្រឡំផងដែរ ពីព្រោះទម្ងន់ជាង៩០%របស់វា គឺជាទឹកហើយទម្ងន់ស្រស់នេះវាអាស្រ័យទៅនិងជាតុផ្សំនៃទឹកដែលមាននៅក្នុងសរីរាង្គរុក្ខជាតិ។ ជាតុផ្សំនៃទឹកវាអាស្រ័យផងដែរលើអត្រានៃការស្រូបយកទឹក និងបំភាយទឹក។

គ.ការវាស់ទម្ងន់ស្ងួត (Dry weight measurement)

នេះជាការសម្ងួតរុក្ខជាតិនៅក្នុងឧបករណ៍សម្ងួតនៅសីតុណ្ហភាព ៦០ អង្សារសេ បន្ទាប់មកនៅក្នុង ៨០អង្សារសេ ចំនួន ២ ទៅ ៣ថ្ងៃ រហូតដល់វានៅថេរ។ ការវាស់ទម្ងន់ស្ងួតនេះក៏មិនបានត្រឹមត្រូវដែរ

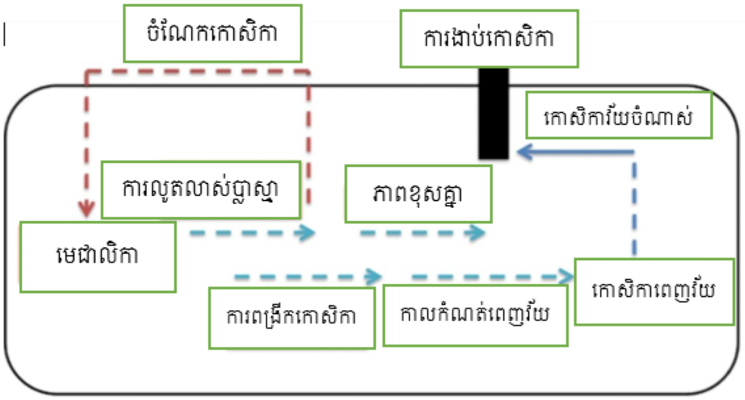
ពីព្រោះទម្ងន់ស្ងួតរបស់រុក្ខជាតិអាចកើនឡើងដោយការបំបែកជាតុនៃសារធាតុបំបែករាងដូចជាម្សៅ។ ទម្ងន់ស្ងួតតំណាងឲ្យទាំងផ្នែកដែលលូតលាស់ និងផ្នែកមិនលូតលាស់នៃសារពាង្គកាយរបស់រុក្ខជាតិ ។ នៅក្នុងឧទាហរណ៍ខ្លះដូចជាកូនរុក្ខជាតិដែលបណ្តុះ នៅទីងងឹតទម្ងន់ស្ងួតសរុបថយចុះដោយសារជំណាកជង្ហើមនៅពេលដែលរុក្ខជាតិចាប់ដុះ។

ឃ.ការវាស់ទំហំផ្ទៃស្លឹក (Leaf area measurement)

ការវាស់ទំហំផ្ទៃស្លឹក ក៏គេចាត់ទុកជាសន្ទស្សន៍នៃការលូតលាស់ដែរ។ ទោះជាយ៉ាងណាក៏ដោយក៏វាមិនមានការងាយស្រួលក្នុងការវាស់ផ្ទៃស្លឹកដែលនៅជាប់នឹងដើម។ ដូចច្នេះគេត្រូវមានសំណាករុក្ខជាតិឲ្យបានសមស្របក្នុងការវាស់វែង។ វិធីមួយទៀតគេអាចកំណត់ទម្ងន់ស្រស់នៃទំហំ ១ម៉ែត្រការេ នៃស្លឹក។ វិធីទាំងនេះត្រូវបានគេយកមកប្រើប្រាស់សម្រាប់សិក្សាការលូតលាស់ របស់រុក្ខជាតិថ្នាក់ខ្ពស់។ ចំពោះសរីរាង្គកោសិកាដូចជា សារាយ ផ្សិត បាក់តេរី គេរាប់ចំនួនកោសិកា។ ទោះជាយ៉ាងណាក៏ដោយការរាប់កោសិកាឲ្យបានពិតប្រាកដ ចាប់ពីដើម និងឫសរុក្ខជាតិថ្នាក់ខ្ពស់មានការលំបាក ពីព្រោះកោសិកាស្ថិតនៅជាប់ៗគ្នា។ វិធីនេះក៏មានការជាប់ៗគ្នា។ វិធីសាស្ត្រនេះក៏មានការខុសគ្នាដែរ ដោយកោសិកាមានការខុសគ្នាទាំងទំហំ និងរូបរាង។

១.២.ការអភិវឌ្ឍ

ការអភិវឌ្ឍ គឺជាការផ្លាស់ប្តូរទាំងអស់នៃសារពាង្គកាយរបស់ រុក្ខជាតិដែលឆ្លងកាត់កំឡុងពេលវដ្តជីវិតរបស់វាចាប់ពីដំណុះនៃពូជដល់ភាពចាស់។



រូបភាព ៩.៥៖ ការវិវឌ្ឍនៃជាលិការុក្ខជាតិ

១.៣. អាយុ និងការលូតលាស់របស់រុក្ខជាតិ

រុក្ខជាតិមិនមែនដុះលូតលាស់ពីមួយម៉ោងទៅមួយម៉ោង ក្នុងរយៈពេល ២៤ម៉ោងនោះទេ។ អត្រានៃការលូតលាស់របស់វាគឺបង្ហាញទៅតាមពេលវេលាកំណត់របស់វា។ នៅក្នុងការលូតលាស់រុក្ខជាតិត្រូវបានបែងចែកជាពីរវគ្គទៀតគឺ៖ ការលូតលាស់សរីរាង្គលូតលាស់៖ គឺជាការលូតលាស់ដែលកើតឡើងពីការលេច

ឡើងនៃកូនរុក្ខជាតិរហូតដល់ពេលចេញផ្កា។ ការលូតលាស់សរីរាង្គបន្តពូជៈ គឺជាការលូតលាស់ដែលចាប់ផ្តើមពីការចេញផ្ការហូតដល់ពេលបញ្ចប់នៃការបង្កើតគ្រាប់។ នៅពេលមានការលូតលាស់សារពាង្គកាយនៃរុក្ខជាតិកោសិកាត្រូវបានកើនឡើងដោយការបំបែក និង ការកើនទំហំ។ ទោះជាយ៉ាងណាក៏ដោយសារពាង្គកាយនៃរុក្ខជាតិមិនគ្រាន់តែផ្សំឡើងពីកោសិកាប៉ុណ្ណោះទេ ប៉ុន្តែថែមទាំងផ្សំពីជាលិកាលូតលាស់ត្រូវបានបែងចែកជា ៣ប្រភេទគឺៈ

១. ពពួករុក្ខជាតិដែលមានអាយុតិចជាង ១ឆ្នាំៈ ចេញទាំងសរីរាង្គលូតលាស់និងសរីរាង្គបន្តពូជ។ ឧ. ស្រូវ ពោត។

២. ពពួករុក្ខជាតិដែលមានអាយុ ២ឆ្នាំៈ ឆ្នាំទី១ចេញសរីរាង្គលូតលាស់ ឆ្នាំទី២ទើបចេញសរីរាង្គបន្តពូជ។ ឧ. ខ្ទឹមបារាំង ស្ពៃក្តោប។

៣. ពពួករុក្ខជាតិដែលមានអាយុច្រើនឆ្នាំៈ ឆ្នាំទី១ ទី២ ឬទី៣ ចេញសរីរាង្គលូតលាស់ឆ្នាំទី៣ ឬទី៤ ទើបចេញសរីរាង្គបន្តពូជ។ ឧ.ស្វាយ ដូង។

៩.៤ កត្តាដែលមានឥទ្ធិពលដល់ការលូតលាស់

លក្ខណៈនៃការដុះលូតលាស់នៃសារពាង្គកាយ របស់រុក្ខជាតិគឺត្រូវបានកំណត់ដោយកត្តាសេនេទិច និងកត្តាបរិស្ថាន។ ហើយកត្តាបរិស្ថាន រួមមានដូចជាៈ

- **សីតុណ្ហភាពៈ** សីតុណ្ហភាពមានឥទ្ធិពលទៅលើដំណើរការប្រតិកម្មគីមីជាច្រើននៅពេលសីតុណ្ហភាពកើនឡើងខុសពីធម្មតា អត្រាដំណើរការលូតលាស់ថយចុះដោយសារអង់ស៊ីមរបស់វាមិនមានសកម្មភាពដែលអាចធ្វើឲ្យរុក្ខជាតិងាប់។ ជាធម្មតាសីតុណ្ហភាពសម្រាប់ការដុះលូតលាស់រុក្ខជាតិនៅតំបន់ត្រូពិច ខ្ពស់ជាងតំបន់ស៊ុបត្រូពិចនិងតំបន់ប៉ូល។
- **សីតុណ្ហភាពតាមពេលវេលាៈ** សីតុណ្ហភាពសម្រាប់ការដុះលូតលាស់ នៅពេលថ្ងៃនិងពេលយប់មិនដូចគ្នា ឡើយ។ ឧទាហរណ៍ៈ ប៉េងប៉ោះមានការដុះលូតលាស់មិនបានល្អបើសិនសីតុណ្ហភាពនៅពេលថ្ងៃ ២៥ អង្សារសេ និងពេលយប់ ២៥ អង្សារសេដូចគ្នា ការដុះលូតលាស់មិនបានល្អទេ។ តែបើនៅពេលថ្ងៃ ២៥ អង្សារសេ និងពេលយប់ ១៧ ទៅ ២០ អង្សារសេ នោះវាមានការដុះលូតលាស់ល្អ។
- **ឥទ្ធិពលនៃសីតុណ្ហភាពទាបៈ** បើសីតុណ្ហភាពទាបជាងអប្បរមាកាន់តែយូរនោះរុក្ខជាតិទាបកាន់តែឆាប់។ សីតុណ្ហភាពទាបដែលធ្វើឲ្យរុក្ខជាតិងាប់នោះ វាអាស្រ័យទៅតាមប្រភេទរុក្ខជាតិ ជាទូទៅរុក្ខជាតិតំបន់ត្រូពិចមិនងាយងាប់ទេ តែបើព្រិលធ្លាក់ខ្លាំងវាក៏អាចងាប់ដែរ។ នៅក្នុងពេលនោះទឹកនៅចន្លោះកោសិកាកកមុនគេដែលធ្វើឲ្យប្រូតូប្លាសមិនមានសកម្មភាព និងវាអាចធ្វើឲ្យកោសិការឹងបានដែរ។
- **ឥទ្ធិពលនៃសីតុណ្ហភាពខ្ពស់ៈ** ឥទ្ធិពលនៃសីតុណ្ហភាពខ្ពស់ក៏មានឥទ្ធិពលដល់ជីវិតដែរ។សីតុណ្ហភាពលើសពីអតិបរមាអាចធ្វើឲ្យមានឥទ្ធិពលដល់ការលូតលាស់ដោយវាធ្វើឲ្យដំណើជីវិតផ្សេងត្រូវឈប់ និងបណ្តាលឲ្យរុក្ខជាតិងាប់។

- **ឥទ្ធិពលពន្លឺ៖** ពេលពន្លឺមានឥទ្ធិពលទៅលើការលូតលាស់ទៅលើរុក្ខជាតិយ៉ាងខ្លាំងព្រោះ វាមានឥទ្ធិពលសំយោគក្លរ៉ូភីល អង់តូស៊ីយ៉ានីន (Anthocyanin) និងសារជាតុផ្សេងៗទៀតនៅដំណើរស្មើសំយោគ ការបើកនៃរន្ធស្តូម៉ាត (Stomata) និងការបំភាយចំហាយទឹក។
- **ការខ្វះទឹក និងសំណើម៖** ការខ្វះខាតទឹកមានឥទ្ធិពលយ៉ាងខ្លាំងដល់ការដុះលូតលាស់របស់រុក្ខជាតិពិសេសការលូតលាស់នៃឫសនិងដើម ដោយសម្ពាធទួហ្គ័រ (Tugor pressure) មានការថយចុះនាំឲ្យការបំបែកកោសិកាក៏មានការថយចុះដែរ នេះក៏ធ្វើឲ្យរន្ធស្តូម៉ាត (Stomata) មិនបណ្តាលឲ្យបម្លាស់ប្តូរឧស្ម័នថយចុះដែរ។ ទាំងនេះធ្វើឲ្យមានឧបសគ្គដល់ដំណើរដំណាកដង្ហើម និងរស្មីសំយោគ ។ សម្រាប់ដីដែលល្អអាចឲ្យរុក្ខជាតិដុះលូតលាស់បាន ធម្មតាគឺមានបរិមាណសំណើមនៅក្នុងដីពី ២០ ទៅ ៣០% និងខ្យល់ ១០ ទៅ ១២% បរិមាណទឹកច្រើននិងធ្វើឲ្យដីកាន់តែថយចុះ ហើយសំណាយភាយ អុកស៊ីសែនក្នុងទឹកនៅឫសមានការលំបាកបំផុត។

៩.៥ កោសិកាគ្រឹះ នៃការលូតលាស់ និងកំណរូបរាង

ការលូតលាស់នៅក្នុងកម្រិតកោសិកា គឺជាកត្តាចម្បងដែលបណ្តាលមកពីការកើនឡើងចំនួនប្រូតូប្លាស។ដោយសារពិបាកវាស់ដោយផ្ទាល់នូវការកើនឡើងនៃប្រូតូប្លាស ជាទូទៅគេវាស់បរិមាណខ្លះដែលមានសមាមាត្រតិចឬច្រើនជាងវា។ ដំណាក់កាលនៃការលូតលាស់ជាទូទៅត្រូវបានបែងចែកជា ៣ដំណាក់កាលគឺ ដំណាក់កាល មេកោសិកា (Meristem) ការពន្លូត និង ភាពចាស់ទុំ។ ការលូតលាស់ពន្លកមានរបៀបដូចគ្នាទៅនឹងឫសដែរ។ មេកោសិកា (Meristem) នៅចុងកាត់បែងចែកកោសិកានៅផ្នែកខាងក្រោម។ មេកោសិកា (Meristem) ដែលកើតក្រោយវិវឌ្ឍន៍ទៅជាស្លឹកនិងមែក ដែលការវិវឌ្ឍនេះធ្វើឲ្យមានការលូតកម្ពស់។

៩.៥.១ លំនាំនៃការលូតលាស់តាមគល់ស្លឹក (Axiality) និងប៉ូលភាព (Polarity)

រុក្ខជាតិមានទាំងរចនាសម្ព័ន្ធអ័ក្ស និង ប៉ូលភាព។ រចនាសម្ព័ន្ធអ័ក្ស គឺស៊ីមេទ្រីអំពីបន្ទាត់ឬអ័ក្ស។ ប៉ូលែ គឺជាស្ថានភាពទាំងឡាយណាដែលផ្ទៃចុងទាំងសងខាងនៅក្នុងប្រព័ន្ធរស់នៅផ្សេងគ្នា ឬមានគុណសម្បត្តិផ្ទុយគ្នា។ ភាពខុសគ្នាអាចទាក់ទងនឹងរចនាសម្ព័ន្ធ ឬ ជាតុផ្សំគីមី។ លើសពីនេះទៅទៀតភាពខុសគ្នានៃការកំណរូបរាងអាចបង្ហាញពីភាពខុសគ្នាខាងសរីរវិទ្យា។ រាងប៉ូលែអាចត្រូវបានចាត់ចូលជា៖

ក. អ័ក្សប៉ូល៖ ប៉ូលកើតឡើងនៅតាមអ័ក្សឬបន្ទាត់ ដែលវត្ថុវិលជា ឫសនិង ពន្លក។

ខ. Dorsiventral polarity ៖ ផ្នែកខាងលើនិងផ្នែកខាងក្រោមនៃស្លឹកមានភាពខុសគ្នា ដោយផ្នែកខាងលើមានពណ៌ចាស់ជាង។

គ. Radial polarity ៖ ផ្នែកខាងក្នុងនិងផ្នែកខាងក្រៅនៃផ្លែមានភាពខុសគ្នា។

ការឡើងចាស់នៃស្លឹក កើតឡើងនៅផ្នែកផ្សេងៗនៃសរីរាង្គរុក្ខជាតិ ហើយនៅក្នុងការឆ្លើយតបនឹងសញ្ញានៃការកើតឡើងខុសគ្នាជាច្រើន។ មានប្រភេទរុក្ខជាតិដែលរស់នៅបានតែមួយរដូវកាលលូតលាស់ជាច្រើន រួមបញ្ចូលទាំងដំណាំសំខាន់ៗដូចជា ស្រូវសាឡី ពោតនិងសណ្តែកសៀង ដែលឡើងលឿងនិងងាប់យ៉ាងរហ័សបន្ទាប់ពី ផលិតកម្មផ្លែទោះបីជាក្រោមលក្ខខណ្ឌលូតលាស់ល្អបំផុត។ ការឡើងចាស់ទៅលើរុក្ខជាតិទាំងមូលបន្ទាប់ពីវដ្តជីវិតនៃការបង្ក បង្កើនផលម្តងត្រូវបានហៅថាការឡើងចាស់នៃម៉ូណូខាភីច (Monocarpic senescence) ហើយម៉ូណូខាភីចគឺជាប្រភេទរុក្ខជាតិដែលមានផ្កាតែម្តងគត់ក្នុងមួយវដ្តជីវិត។

ប្រភេទកោសិកាដទៃទៀតដែលឡើងចាស់ ដោយរួមបញ្ចូលដូចខាងក្រោម៖

- ការឡើងចាស់នៃ ដើមលើគោក នៅក្នុងពពួកស្មៅដែលមានអាយុលូតលាស់បានជាពីររដូវ
- ការឡើងចាស់នៃស្លឹកទៅតាមរដូវ (មាននៅក្នុងពពួកដើមឈើជ្រុះស្លឹកជាប្រចាំឆ្នាំ គឺ deciduous trees)
- ការឡើងចាស់នៃស្លឹកតាមលំដាប់លំដោយ (ស្លឹកនឹងងាប់នៅពេលដែលដល់អាយុរបស់វា)
- ភាពទុំនៃផ្លែ និងភាពឡើងចាស់នៃផ្លែឈើស្ងួត
- ការឡើងចាស់នៃ កូទីលេដុន និងសរីរាង្គផ្កា

រូបភាព ៩.៦៖ ការឡើងចាស់ម៉ូណូខាភីច នៅក្នុងពពួកសណ្តែកសៀង *(Glycine max)* (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

ដោយសារការចងកូដសេនេទិចរបស់វា ភាពចាស់របស់រុក្ខជាតិធ្វើការតាមលំនាំនៃកោសិកាវិទ្យាដែលកោសិកាខ្លះត្រូវបានបំផ្លាញ និងខ្លះទៀតនៅបន្តសកម្មភាព។ ក្លរ៉ូប្លាស គឺជាធាតុនៃកោសិកាដំបូងគេដែលធាប់ចុះថយជាងគេក្នុងពេល រុក្ខជាតិចាប់ផ្តើមចាស់ ជាមួយនឹងការបំផ្លាញសមាសធាតុផ្សំប្រូតេអ៊ីននៃកោសិកា ទីឡាកូអ៊ីត (Thylakoid) និងអង់ស៊ីមនៃកោសិកាស្ត្រូម៉ា (Stroma)។ ផ្ទុយទៅវិញការចុះថយយ៉ាងលឿននៃក្លរ៉ូប្លាស តែនុយក្លេអ៊ីតនៅរក្សាទម្រង់ និងតួនាទីដោយគ្មានខូចខាត រហូតដល់វគ្គចុងក្រោយនៃការឡើងចាស់រុក្ខជាតិ។ ការឡើងចាស់នៃជាលិកា គឺប្រព្រឹត្តទៅតាមដំណើរការមេតាបូលីស ដែលត្រូវរង

នូវការសំយោគដឺណូវ៉ោ (De novo synthesis) ដែលជាការកកើតឡើងថ្មី ដែលបានមកពីម៉ូលេគុលដែលមិនសូវមានភាពស្មុគស្មាញ ជាជាងត្រូវបានត្រូវបានផលិតពី កំណែប្រែនៃម៉ូលេគុលដែលមានស្រាប់។ ដំណើរការកាតាបូលីស ដែលត្រូវការនូវការសំយោគជាតុកកើតថ្មី គឺនៃពពួកអង់ស៊ីម ប្រូតេអាស (Protease) នុយក្លេអាស (Nuclease) លីប៉ាស (Lipase) និងអង់ស៊ីមដែលសំយោគក្លរ៉ូភីល។ ការសំយោគនៃពពួគអង់ស៊ីមដែលទទួលបន្ទុកការឡើងចាស់នៃរុក្ខជាតិ ដែលទាក់ទងនឹងការធ្វើឱ្យសកម្មនៃសែនជាក់លាក់។

រូបភាព ៩.៧៖ វគ្គនៃការវិវឌ្ឍភាពចាស់របស់ផ្កាត្រកួន *(Ipomoea acuminata).* (Courtesy of S. L. Taiz.)

វាមិនមែនជារឿងគួរឱ្យភ្ញាក់ផ្អើលដែល កម្រិតនៃ mRNA របស់ស្លឹកត្រូវបានចុះថយយ៉ាងខ្លាំង នៅកំឡុងពេលនៃវគ្គឡើងចាស់ប៉ុន្តែ ការចម្លងក្រម mRNA ជាក់លាក់គឺកើនឡើង។ សែន ដែលដឹកនាំត្រូវបានថយចុះក្នុងពេលឡើងចាស់នៃរុក្ខជាតិ ដែលត្រូវបានហៅថា ការធ្លាក់ចុះនៃសែនតម្រូវភាពចាស់ (Senescence Down Regulate-gene = SDGs)។ SDGs រួមបញ្ចូលទាំងសែនការចងកូដប្រូតេអ៊ីន ដែលទាក់ទងនៅក្នុងរស្មីសំយោគ។

ជំពូកទី ១០
អរម៉ូនរុក្ខជាតិ

អរម៉ូនរុក្ខជាតិ ជាសមាសធាតុសរីរាង្គដែលសំយោគដោយរុក្ខជាតិ។ វាមានអំពើលើការលូតលាស់នៃរុក្ខជាតិ សមិទ្ធិជាច្រើននៃការលូតលាស់របស់រុក្ខជាតិ ត្រូវបានតម្រូវដោយអរម៉ូន ដែលជាផលិតផលគីមីជីវៈមួយដែល មានបរិមាណតិចតួច។ ដូចគ្នានឹងអរម៉ូនសត្វដែរ អរម៉ូនរុក្ខជាតិត្រូវបាន សំយោគចេញពីផ្នែកមួយរបស់សារពាង្គកាយ និងត្រូវបានដឹកជញ្ជូនទៅផ្នែកផ្សេងៗទៀតដែលជាកន្លែងសកម្មភាពភ្ញោចនិងបន្ថយការលូតលាស់របស់រុក្ខជាតិ។ អរម៉ូនសត្វខុសពី អរម៉ូនរុក្ខជាតិមិនត្រូវបានផលិតនៅក្នុងសារពាង្គកាយណាមួយទេ (ពិសេសចំពោះ ការផលិតអរម៉ូន) ហើយវាពុំទាន់មានកន្លែងជាក់លាក់ណាមួយច្បាស់លាស់សម្រាប់ការផលិតនេះដែរ។

១០.១. សកម្មភាពរបស់ អរម៉ូន

១០.១.១ កម្រិត អរម៉ូននៅក្នុងរុក្ខជាតិ

អរម៉ូនដែលមាននាទីទូទៅក្នុងតម្រូវការលូតលាស់នៃរុក្ខជាតិគឺ៖

- អុកស៊ីន៖ មានអំពើលើការលូតលាស់កោសិកា។ វាអាចធ្វើឱ្យមានការលូតលាស់ ផ្លែដែលគ្មានការបង្ក កំណើត(ផ្លែគ្មានគ្រាប់) ហើយធ្វើឱ្យមានការកកើតឫសថ្មីៗ និងពន្យឺតការជ្រុះស្លឹក និងផ្លែ។
- ជីបឺរេលីន៖ មាននាទីធ្វើឱ្យរុក្ខជាតិឿលូតលាស់ និងមានកម្ពស់ដូចរុក្ខជាតិធម្មតា ធ្វើអោយផ្លែឈើមានទំហំកាន់តែធំ ហើយជំរុញឱ្យមានដំណុះគ្រាប់ ការលូតលាស់ពន្លកគ្រាប់ និងការចេញផ្កាចំពោះ រុក្ខជាតិពេញវ័យ។
- ស៊ីតូគីនីន៖ មាននាទីជំរុញចំណែកកោសិកា ការរីកធំនៃកោសិកា ហើយពន្យាភាពចាស់នៃស្លឹក និងរារាំង ភាពលុបនៃកំពូល។
- អេទីឡែន៖ មាននាទីធ្វើអោយផ្លែឈើឆាប់ទុំ និងជំរុញឱ្យស្លឹក ឬផ្លែជ្រុះពីដើម។
- អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត៖ មាននាទីពន្យឺតការលូតលាស់នៃមែក និងរារាំងការលូតលាស់នៃពន្លកស្រោមស្លឹក។ ជាពិសេសធ្វើឱ្យស្តូម៉ាតបិទយ៉ាងរហ័ស។

តើអរម៉ូន ធ្វើសកម្មភាពដូចម្តេច?

នៅពេលដែលអរម៉ូន មានសកម្មភាពលើប្រព័ន្ធដំណាំ ជាការពិតណាស់វាចូលទៅកាន់ផ្នែកខ្លះដោយផ្ទាល់ ហើយវាមានអន្តរអំពើម៉ូលេគុល ដែលជាលទ្ធផលវាសម្តែងចេញឱ្យឃើញ ពីឥទ្ធិពលរបស់វាដែលអាចវាស់វែងបានតាមរយៈចម្លើយតបលក្ខណៈគីមី ឬសរីរៈ។ ទោះបីជាយ៉ាងណា វាមានទម្រង់ពីរបែបរបស់សកម្មភាពរបស់ អរម៉ូន៖

១. យន្តការនៃសកម្មភាព (Mechanism of action)៖ អន្តរអំពើដោយផ្ទាល់ និងម៉ូលេគុលជាក់លាក់

២. ម៉ូដនៃសកម្មភាព (Mode of action)៖ គឺជំហានដែលកើតឡើងជាបន្តបន្ទាប់ (ព្រឹត្តិការ និងដំណើរការ) ដែលជាលទ្ធផលដែលបានមកពីការវាស់វែងការឆ្លើយតបនូវលក្ខណៈគីមី និងសរីរបស់ដំណាំ។

តារាង ១០.១៖ បញ្ជីរឈ្មោះអរម៉ូន និងការឆ្លើយតបនៃលក្ខណៈសរីរៈ

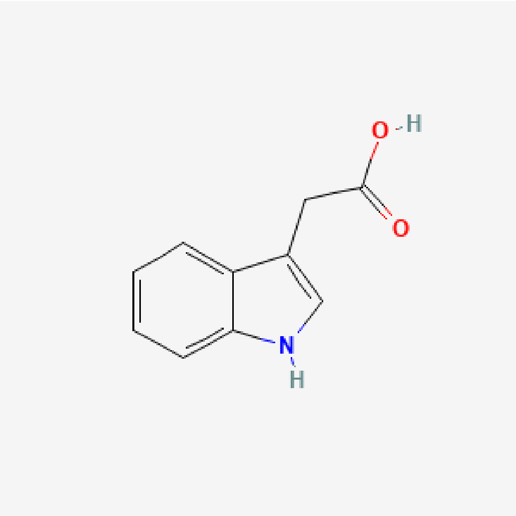
ឥទ្ធិពល	អុកស៊ីន	ជីបឺរេលីន	ស៊ីតូគីនីន	អាស៊ីតអាប់ស៊ីស៊ិច	អេទីឡែន
ការធ្វើអោយកោសិកាវែង	+	+	+	–	–
ការបែងចែកកោសិកា	+		+		–
លុបកំពូល (Apical dorminance)	+		–		
ការលូតលាស់ស្លឹក					
បណ្តោយ		+			
ទទឹង			+		
ការបង្កើតក្លរ៉ូភីល			+		
ការបង្កើតឫស	+				
ការជ្រុះស្លឹក និងផ្លែ					
ការលូតលាស់ផ្លែ	+	+	+	+	+
ការបង្កើតស៊ីឡែម	+	+			
ផ្កា	+	+	+	–	–
ការបំបែកដំណេកគ្រាប់					
ដំណេកគ្រាប់		+	+	+	–
ការពន្យាពេលចេញត្រួយពន្លក		+	+	+	–
ការឡើងចាស់ និងងាប់នៃកោសិកា		–	–	+	+
ទំនោរទិសរបស់រុក្ខជាតិ (Tropism)	+	+		+	
ភាពឈ្មោល (Maleness)	–	+		–	
ភាពញី (Femaleness)	–	+	–		

+ ជួយជំរុញ, - រាំងការលូតលាស់ ប្រភព៖ Sen, S.P (1984)

១០.២ អុកស៊ីន

១០.២.១ ធម្មជាតិ និងប្រវត្តិ នៃអុកស៊ីន

នៅចុងទសវត្សឆ្នាំ១៨៧០ ក្រោយមកមានការបញ្ជាក់អត្តសញ្ញាណ នៃសារធាតុគីមីរបស់អរម៉ូនរុក្ខជាតិ លោក Charie Darwin និងកូនប្រុសរបស់លោក Frencis បានប្រាប់ ឲ្យដឹងថាផលិតផល នៃការលូតលាស់របស់រុក្ខជាតិ គឺលូតលាស់ដោយបែរទៅរកពន្លឺ។ គាត់បានពិពណ៌នាទៀតថា គឺជាអរម៉ូនរុក្ខជាតិដែលភ្ញោចការលូតលាស់ តាមរយៈបណ្តោយរបស់កោសិកាកំពូលដើម ហើយធ្វើឱ្យដើមមានការលូតវែង។ តាមរបកគំហើញ នៃការដឹកជញ្ជូនប៉ូលែ នៃអុកស៊ីនដោយលោក van der Weij ក្នុងឆ្នាំ ១៩៣២ ដែលបានផ្តល់ជាគំនិតក្នុងការពិចារណា ដែលអាចជាវិធីសាស្ត្រដែលអាចទៅរួច ក្នុងការកំណត់លើកត្តាដែលអាចជាប់ទាក់ទង ការគ្រប់គ្រងនៃភាពប៉ូលែតំណរាង។ ការសិក្សាទៅលើអុកស៊ីន គឺអាចជាផ្លូវមួយក្នុងការសិក្សា ឲ្យបានទូលំទូលាយក្នុងការប្រើប្រាស់ថ្នាំស្មៅ ២,៤ អាស៊ីត ឌីក្លរូផេណូអុកស៊ីអាសេទិច ដែលជាអុកស៊ីនសំយោគដែលត្រូវបានប្រើប្រាស់រហូតដល់បច្ចុប្បន្ន។



អ៊ីនដូល ៣- អាស៊ីត អាសេទិច (Indole 3- Acetic Acid)

ប្រភពនៃអុកស៊ីន៖ អុកស៊ីនត្រូវបានផលិតនៅ

- កំពូលដើម ចុងឫស មេជាលិកា និងស្លឹកខ្ចីនៃពន្លក
- ក្នុងមេជាលិកាថ្នាំ
- នៅផ្នែកខាងចុងនៃកូលេអុបទីល
- អុកស៊ីនមួយចំនួនត្រូវបានផលិតនៅក្នុងទីពិសោធន៍

១០.២.២ តួនាទី របស់អុស៊ីន

- អុកស៊ីន ជំរុញការលូតវែងនៃកូលេអុបទីលៈ ការលូតវែងនេះបណ្ដាលមកពីការបង្កើនចំណែក កោសិកា និង ភាពយឺតនៃភ្នាសគ្រោង។ តួនាទីនៃអុកស៊ីនទៅលើការលូតលាស់នៃឫស និង ដើម មិនដូចគ្នាទេ។ បរិមាណកើនឡើងនៃអុកស៊ីនជំរុញការលូតលាស់វែងនៃដើម តែបង្អាក់ការលូត លាស់នៃឫស។
- ភាពលុបនៃកំពូលដើមៈ មេជាលិកាកំពូលនៅត្រង់ពន្លកកំពូលផលិតអុកស៊ីន ។ សារធាតុនេះធ្វើឲ្យ កោសិកាលូតវែង។ អុកស៊ីនក៏មានអំពើទៅលើពន្លកមែកដែរ។ ពន្លកមែកមានមេជាលិកាដែល លូត លាស់ជាមែក តែអុកស៊ីនដែលផលិតនៅពន្លកកំពូលរារាំងការលូតលាស់នៃពន្លកមែក។ អុកស៊ីនធ្វើ មិនអោយមែកលូតលាស់បាន។ អំពើនៃអុកស៊ីនផលិតដោយមេជាលិកាកំពូលហៅថា ភាពលុបនៃ កំពូលដើម។ ការក្ដិចពន្លកកំពូលនៃរុក្ខជាតិមួយចោល ធ្វើឱ្យពន្លកមែកចាប់ផ្ដើមលូតលាស់យ៉ាង ខ្លាំង ហើយរុក្ខជាតិបែកមែកសាខា។
- អុកស៊ីន គឺជាថ្នាំសម្លាប់ស្មៅៈ ក្នុងឧស្សាហកម្មមួយចំនួន ថ្នាំសម្លាប់ស្មៅគឺមានជាតុគីមីស្រដៀង នឹងអុកស៊ីន និងមានប្រសិទ្ធភាពប្រហាក់ប្រហែលគ្នាដែរ។ ពួកវាជះឥទ្ធិពលទៅលើការលូតវែងនៃ កោសិការុក្ខជាតិនិងការលូតលាស់របស់រុក្ខជាតិ។ ដំណើរការជាក់លាក់គឺបរិមាណនៃអុកស៊ីសែន ដែល បរិមាណមិនទាន់យល់ដឹងច្បាស់នៅឡើយទេ ប៉ុន្តែអុកស៊ីនហាក់ដូចជាទៅបង្អាក់ ការចម្លង DNA និងការបកប្រែ RNA មានក្នុងថ្នាំស្មៅ គឺមានចំនួនច្រើនលើសលប់ជាងបរិមាណដែលផលិ ត ក្នុងរុក្ខជាតិ ដែលធ្វើឱ្យអត្រានៃការលូតលាស់ គឺលឿនជាងធម្មតា។ រុក្ខជាតិមិនអាចទប់ទល់នឹង អត្រាលូតលាស់នេះបានវាក៏ខ្សោយ និងមិនអាចបន្តពូជបាន ហើយបន្ទាប់មកវាក៏ងាប់។ អុកស៊ីន ដូចជាថ្នាំសម្លាប់ស្មៅ ដែលមាន ឥទ្ធិពលខ្លាំងទៅលើរុក្ខជាតិឌីកូទីលេដូន ជាងរុក្ខជាតិម៉ូណូកូទីលេ ដូន ជាហេតុធ្វើឱ្យវាស្រូបថ្នាំសម្លាប់ ស្មៅនេះច្រើនជាង។ ឧទាហរណ៍ៈ កាលណាគេបាញ់អរម៉ូនអុក ស៊ីនសំយោគ ២,៤ ទៅលើរុក្ខជាតិចង្រៃ វានឹងលូតលាស់លឿនខុស ធម្មតាដែលបណ្ដាលឱ្យរុក្ខ ជាតិនោះងាប់។

ការជ្រុះស្លឹករបស់រុក្ខជាតិ

- នៅក្នុងស្លឹកក៏មានការសំយោគអុកស៊ីនដែរ តែអរម៉ូនគ្មានអំពើលើការលូតលាស់ស្លឹកទេ វាហាក់ដូច ជា មានឥទ្ធិពលទៅលើបាតុភូតនៃការទ្រទ្រង់ស្លឹក និង ផ្លែមិនឱ្យជ្រុះមុនកំណត់។ កាលណាអត្រា អុកស៊ីននៅក្នុងស្លឹក ឬផ្លែខ្ពស់ជាងអត្រាអុកស៊ីននៅក្នុងមែក នោះស្លឹក ឬផ្លែមិនជ្រុះទេ។ ក្នុងករណី ដែល ស្លឹក ឬផ្លែកំពុងលូតលាស់ វាផលិតអុកស៊ីនក្នុងបរិមាណច្រើន។ កាលណាសរីរាង្គនេះ លាស់

ដល់កម្រិតហើយអត្រាអុកស៊ីនក្នុងផ្លែឬស្លឹកក៏ថយចុះ ហើយតិចជាងអត្រាអុកស៊ីនក្នុងមែក។ ដូច្នេះស្លឹក និងផ្លែ ជ្រុះ ចេញពីដើម។

ឧទាហរណ៍៖ កសិករបាញ់អរម៉ូនអុកស៊ីនទៅផ្លែរុក្ខជាតិ ដើម្បីពន្យារពេលនៃការជ្រុះផ្លែនិងស្លឹកពីដើម។ វិធីនេះ ពន្យារការជ្រុះផ្លែរុក្ខជាតិ ដើម្បីទុកឲ្យវាលូតលាស់បានពេញលេញ។

- អំពីលើការលូតលាស់របស់ផ្លែ៖ អុកស៊ីនគ្មានអំពើលើការលូតលាស់ផ្កាទេ តែវាធ្វើឱ្យមានការ លូតលាស់ផ្លែ។ បន្ទាប់ពីការបង្កកំណើត អូវែបញ្ចេញអុកស៊ីនក្នុងបរិមាណ ដ៏ច្រើនដែលបណ្តាលឱ្យមានការដុះដាលនៃ ប៉េរីកាប។ ឧទាហរណ៍៖ គេបាញ់អរម៉ូនអុកស៊ីនទៅលើរុក្ខជាតិចេញផ្ការួចអាចជំនួស ដំណើរលំអងដោយធ្វើ ឱ្យលូតលាស់ផ្លែ គ្មានការបង្កកំណើត (ផ្លែគ្មានគ្រាប់)។
- អុកស៊ីនត្រួតពិនិត្យការជ្រុះផ្លែមុនកំណត់៖ ចំពោះផ្លែរបស់រុក្ខជាតិជាច្រើន មានការជ្រុះផ្លែមុនពេលទុំដោយសារតែ មានការកកើតនៃស្រទាប់ផ្តាច់ទងជាហេតុធ្វើឱ្យទិន្នផលនៅក្នុងចម្ការថយចុះ។ ឥឡូវ បញ្ហាទាំងនេះត្រូវបានដោះស្រាយយ៉ាងជោគជ័យទៅលើករណីជាច្រើនដូចជា៖ ផ្លែប៉ោមជាដើម ដោយសារ តែមានការចូលរួមពីអុកស៊ីន។ វាបានការពារការកកើតនៃស្រទាប់ផ្តាច់ទង ដូចនេះ វាត្រួតពិនិត្យ ផ្លែមិនឱ្យជ្រុះ មុនពេលប្រមូលផល។
- អុកស៊ីនជួយឱ្យផ្លែឈើមានគុណភាពល្អ៖ ការជួយឱ្យផ្លែឈើមានគុណភាពល្អ គឺមានដំណើរការផ្សេងៗគ្នា ដូចជាការផ្តល់ពណ៌ការធ្វើឱ្យទន់ឬជ្រាយ ការធ្វើឱ្យផ្អែម និងការធ្វើឱ្យទុំ។ អុកស៊ីន ជះឥទ្ធិពលទៅការផ្តល់ពណ៌នៃផ្លែដូចជាផ្លែប៉ោមដែលបានប្រើនូវ 2,4 5-trichlorop- henoxyacetic acid គឺវាបានបង្កើនជាតិ ពណ៌ក្រហម។ នៅពេលដែលគេប្រើ 2,4-D ទៅលើផ្លែចេក គឺវាជំរុញឱ្យផ្លែចេកឆាប់ទុំ ហើយហាក់ដូចជាអុកស៊ីនជួយសម្រួលដល់ ការបម្លែងអាមីដុងឲ្យទៅជាស្ករ។
- អំពើលើការដុះឫស៖ អុកស៊ីនគ្មានអំពើទៅលើការលូតវែងនៃឫសទេតែវាអាចធ្វើឱ្យមានការកកើតឫសថ្មីៗ។ នៅឆ្នាំ១៩៣៥ កូពៃ (Cooper) ត្រាំមែកក្រូចឆ្មារក្នុងសូលុយស្យុងអុកស៊ីនដែលមានកំហាប់ ១០ក្រ/ម.ល ប៉ុន្មានថ្ងៃបន្ទាប់មក មានឫសដុះហើយលូតលាស់។
- អំពើលើសកម្មភាពនៃកំប្រូម៖ នៅក្នុងរដូវនិទាឃរដូវ រុក្ខជាតិលូតលាស់តាមរយៈការលូតលាស់នៃពន្លក ដែលនៅខាងចុង និងបន្តការលូតលាស់វែងនៃដើមខ្ចី។ ការលូតលាស់បន្តបន្ទាប់នេះគឺមកពីកោសិកាកំប្រូមហើយ វាត្រូវបានសកម្មឡើងដោយសារអុកស៊ីនដែលធ្វើចលនាពីពន្លកទៅដើម។ លោក Snow (១៩៣៥) បានបង្ហាញថាការបញ្ចេញអុកស៊ីន១/១,000,000 មីលីក្រាម ក្នុងមួយម៉ោងទៅក្នុងដុំជែលរឹង ហើយដាក់វាទៅលើកូនផ្កាឈូករ័ត្ន (*Hrlianthus annuus*) ត្រង់កន្លែង ដែលបានកាត់ពន្លកខាងចុងចោល ជាហេតុធ្វើឱ្យ មេដាលិកានៃកំប្រូមសកម្មភាពឡើង។

- អុកស៊ីនក៏មានអំពើដូចជាអាវុធដ៏សាហាវក្នុងសង្គ្រាមដែរៈ នៅពេលដែលបរិមាណអុកស៊ីនដ៏ច្រើនលើសលប់បានពង្រាយទៅចម្ការដំណាំរបស់សត្រូវតាមខ្យល់ វាបង្កឱ្យមានការបំផ្លាញដី ហើយសណ្ឋាន បែបនេះត្រូវបានគេហៅថាចម្បាំងជីវៈ (Biological warfare)។

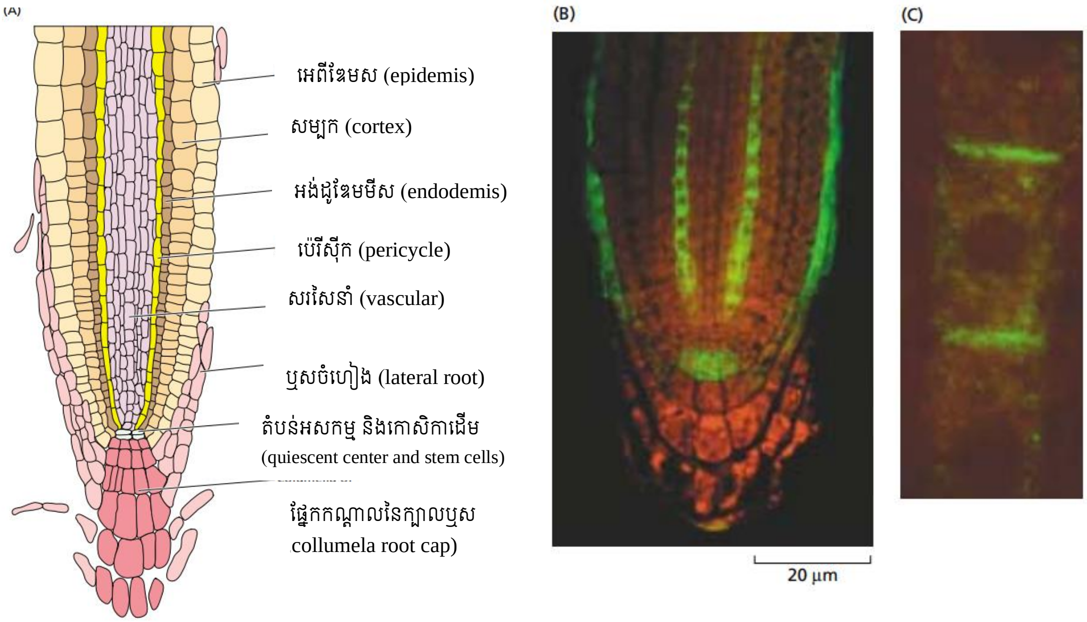
ជីវសំយោគនៃអ៊ីនដូល ៣- អាស៊ីត អាសេទិច (Indole 3- Acetic Acid) មានការចូលរួមការបែងចែក និងលូតលាស់យ៉ាងលឿន ជាពិសេសនៅក្នុងពន្លកដើម។ ទោះបីជាជាលិការុក្ខជាតិ ដែលលេចឡើងហើយមានលទ្ធភាពក្នុងការផលិតកម្រិតទាបនៃអរម៉ូន ដូចជានៅមេជាលិកាកំពូល ស្លឹកខ្ចី និងការវិវឌ្ឍផ្លែ និងគ្រាប់ដែលជាកន្លែងដំបូងក្នុងការសំយោគអ៊ីនដូល ៣- អាស៊ីត អាសេទិច (Indole 3- Acetic Acid)។ នៅក្នុងស្លឹកខ្ចីដំបូងនៃដើម *Arabidopsis* អុកស៊ីនត្រូវបានសំយោគនៅផ្នែកចុង (tip)។ នៅកំឡុងពេលការវិវឌ្ឍស្លឹក មានការផ្លាស់ប្តូរបន្តិច ម្តងៗតំបន់នៃផលិតកម្មអុកស៊ីនទៅកាន់ផ្នែកខាងក្រោម (Basipetally) តាមបណ្តោយគែម និងក្រោយមកនៅក្នុងតំបន់កណ្តាលនៃស្លឹក។ ការផ្លាស់ប្តូរទៅផ្នែកខាងក្រោមនៃផលិតកម្មអុកស៊ីនមានទំនាក់ទំនងយ៉ាងជិតស្និទ្ធជាមួយការវិវឌ្ឍនៃស្លឹកពេញវ័យទៅផ្នែកខាងក្រោមតាមលំដាប់ និងភាពខុសគ្នាតាមសរសៃនាំ។

១០.២.៣ ការដឹកនាំអុកស៊ីន ជាទម្រង់មិនប៉ូលែក្នុងផ្លូវអែម

ភាគច្រើននៃការសំយោគ អ៊ីនដូល ៣- អាស៊ីត អាសេទិច (Indole 3- Acetic Acid= IAA) នៅក្នុងស្លឹកដែលពេញវ័យកើតឡើង ដើម្បីដឹកជញ្ជូនដែលភាគច្រើនស្ថិតក្នុងទម្រង់មិនប៉ូលភាពតាមរយៈផ្លូវអែម។ អុកស៊ីន ជាមួយជាតុផ្សំដទៃទៀតរុក្ខរសនៃផ្លូវអែម (Phloem sap) អាចធ្វើចលនាមកពីស្លឹកទាំងអស់នេះឡើងលើ ឬចុះក្រោមនៃរុក្ខជាតិនៅក្នុងល្បឿនលឿនជាងការដឹកជញ្ជូនតាមប៉ូលភាព។ ការផ្លាស់ទី ឬដឹកនាំ (Translocation) អុកស៊ីននៅក្នុងផ្លូវអែម គឺមានលក្ខណៈអកម្ម ដែលមិនទាមទារថាមពលដោយផ្ទាល់។ ទោះបីជាសារៈសំខាន់ទូទៅនៃលំនាំផ្លូវអែម ទល់នឹងប្រព័ន្ធដឹកនាំបែបប៉ូលភាព សម្រាប់ចលនាតាមបណ្តោយកោសិកានៃ អ៊ីនដូល ៣- អាស៊ីត អាសេទិច (Indole 3- Acetic Acid= IAA) នៅក្នុងរុក្ខជាតិគឺមិនទាន់បានដោះស្រាយនៅឡើយ។ ភស្តុតាងដែលណែនាំ ក្នុងការដឹកជញ្ជូនអុកស៊ីនក្នុងចម្ងាយឆ្ងាយ នៅក្នុងផ្លូវអែមគឺវាមានសារៈសំខាន់ក្នុងការត្រួតពិនិត្យដំណើរការដូចជា បែងចែកកោសិកាទន់នៃសម្បកឈើ ការកើនឡើងនៃសែលុយឡូស ឬការប្តូរនៃបំពង់ដឹកនាំសារធាតុ និងការបង្កើតមែកជាងនៃឫស។ តាមការពិតផ្លូវអែមកើតឡើង ដើម្បីតំណាងឱ្យលំនាំដែលសំខាន់ជាងគេ សម្រាប់ការដឹកនាំអុកស៊ីនចម្ងាយឆ្ងាយ ទៅកាន់ឫស។

ការដឹកជញ្ជូនប៉ូលភាព និងការដឹកនាំផ្លូវអែមគឺមិនពឹងផ្អែកគ្នាទៅវិញទៅមកទេ។ ការសិក្សាថ្មីនេះបានបង្ហាញជាមួយស្លាកវិទ្យុសកម្ម (Radiolabeled) នៃអ៊ីនដូល ៣- អាស៊ីត អាសេទិច (Indole 3- Acetic Acid= IAA) ផ្តល់ជាយោបល់នៅក្នុងសណ្តែកបារាំងថា អុកស៊ីនអាចអាចត្រូវបានបញ្ជូនតាមផ្លូវអែមក្នុង

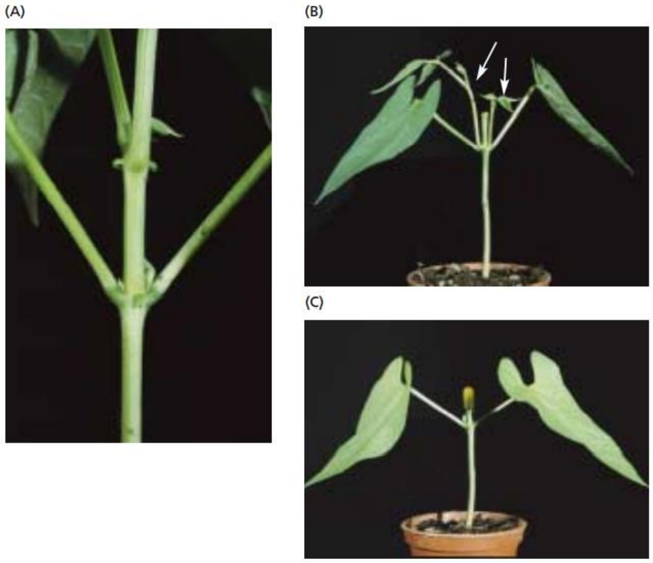
លំនាំមិនប៉ូលែទៅកាន់លំនាំការដឹកជញ្ជូនប៉ូលែ។ ការផ្ទេរនេះកើតឡើងនៅក្នុង ដាលិកាមិនទាន់ពេញវ័យនៃពន្លកត្រួយ។ ឧទាហរណ៍ទី២ នៃការផ្ទេរនៃលំនាំផ្លូវអែមមិនប៉ូលែ (Nonpolar phloem pathway) ទៅកាន់ការដឹកជញ្ជូនប៉ូលែ (Polar transport) ត្រូវបានចងក្រងជាឯកសារ ក្នុងរុក្ខជាតិ *Arabidopsis*។ វាត្រូវបានគេបង្ហាញថា AUX1 ដែលដឹកនាំសារជាតុដទៃទៀតឆ្លងកាត់ភ្នាសកោសិកាក្នុងបរិមាណមិនស្មើគ្នា នៅលើភ្នាសប្លាស្មា និងផ្នែកលើចុងបំផុតនៃ កោសិកាប្រូតូផ្លូអែម (Protophloem)។ វាត្រូវបានគេលើកឡើងថា បរិមាណមិនស្មើគ្នាបានតម្រង់ឱ្យ AUX1 ដែលដឹកនាំសារជាតុដទៃទៀតឆ្លងកាត់ភ្នាសកោសិកា ជួយបង្កើនការផ្លាស់ទីអុកស៊ីនទៅកាន់ផ្នែកខាងក្រោម ពីផ្លូអែម ទៅកាន់ផ្នែកចុងនៃឫស។ ប្រភេទនៃការដឹកនាំប៉ូលែនៃអុកស៊ីននេះ ពឹងផ្អែកទៅលើការកំណត់ទិសដៅ មិនស្មើគ្នានៃ AUX1 ផ្សេងគ្នាមកពី ការដឹកនាំប៉ូលែដែលកើតឡើងក្នុង ពន្លកដើម តំបន់ផ្នែកគល់នៃឫស



រូបភាព ១០.១៖ អុកស៊ីន ដែលដឹកនាំ AUX1ពីការសម្តែងដាក់លាក់ក្បាលឫស ឫសខាង និងកោសិកាសរសៃនាំ។ ប្រភព៖ Sen, S.P (1984)

ភាគច្រើននៃ រុក្ខជាតិថ្នាក់ខ្ពស់ការលូតលាស់ផ្នែកពន្លកកំពូល (Apical bud) រារាំងការលូតលាស់ពន្លកខាងនៃមែកបាតុភូតុនេះត្រូវបានហៅថា លុបកំពូល (Apical dominance)។ ការយកចេញនូវត្រួយដើម (Shoot apex) លទ្ធផលជាទូទៅបង្ហាញថា មានការលូតលាស់មួយ ឬច្រើនជាងនេះនូវ ពន្លកខាង (Lateral bud)។ បន្ទាប់ពីការរកឃើញអុកស៊ីនមិនយូរប៉ុន្មាន អ៊ីនដូល ៣- អាស៊ីត អាសេទិច (Indole 3-Acetic Acid= IAA) ត្រូវបានរកឃើញ ដែលអាចជំនួស សម្រាប់ពន្លកកំពូល (Apical bud) នៅក្នុងការរក្សាការរារាំង ពន្លកខាងនៃសណ្ដែកបារាំង (*Phaseolus vulgaris*)។ លទ្ធនេះ មានការបញ្ជាក់ពីប្រភេទរុក្ខជាតិ

ជាច្រើនទៀត ដែលបង្កើតបានជាសម្មតិកម្ម ដែលការលូតលាស់ចេញក្រៅរបស់ពន្លកមែក (Axillary bud)។ ក្នុងការគាំទ្រមតិនេះ ទម្រង់ខ្សែបិទរបស់អ្នកបង្អាក់ (Inhibitor) TBA នៃការដឹកជញ្ជូនអុកស៊ីនក្នុងការចាក់ទម្លុះ (ជាអ្នកនាំ)ទៅផ្នែកខាងក្រោមនៃពន្លកកំពូលនៃដើម ហើយបញ្ចេញពន្លកមែកដែលបណ្ដាលមកពីការរារាំង។

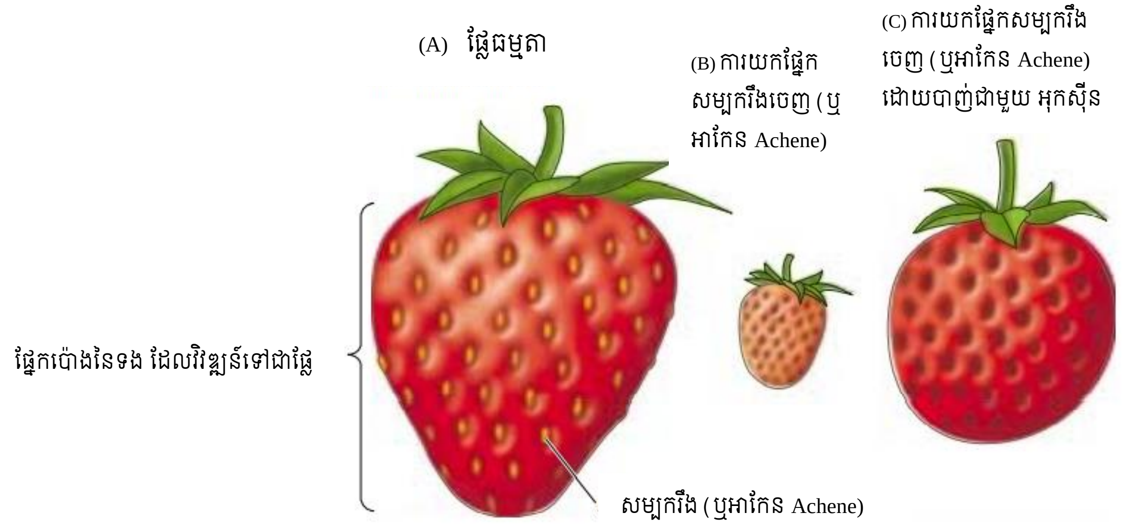


រូបភាព ១០.២៖ អុកស៊ីនទប់ការលូតលាស់ពន្លកមែកនៅក្នុងសណ្ដែកបារាំង (*Phaseolus vulgaris*)។ រូបភាព (A) ពន្លកមែកត្រូវបានទប់នៅក្នុងរុក្ខជាតិដែលគ្មានខូចខាត។ រូបភាព (B) ធ្វើការយកចេញនូវពន្លកចុង(Terminal bud) ពីកំពូលលុប មើលសញ្ញាព្រួញ។ រូបភាព (C) ធ្វើការដាក់អរម៉ូន IAA ដើម្បីទប់ការលូតលាស់ចេញក្រៅនៃ ពន្លកមែក។ ប្រភព៖ Sen, S.P (1984)

១០.២.៤ អុកស៊ីនជួយក្នុងការវិវឌ្ឍផ្លែ

មានភស្តុតាងជាច្រើនបានលើកឡើងថា អុកស៊ីនគឺជាប់ទាក់ទងក្នុងការកំណត់ការវិវឌ្ឍរបស់ផ្លែ។ អុកស៊ីនត្រូវបានផលិតនៅក្នុងលំអង ហើយនិងនៅក្នុងអង់ដូស្ពែម និងអំប្រីយ៉ុងកំពុងលូតលាស់ក្នុងគ្រាប់ ហើយផ្នែកដំបូងជំរុញការលូតលាស់អាចមកពីលទ្ធផលនៃ ដំណើរការរោយលំអង។ ដំណើរការរោយលំអងជោគជ័យផ្ដើមការលូតលាស់អូវុលដែលត្រូវបានគេស្គាល់ថា ការបង្កើតផ្លែ។ បន្ទាប់ពីការបង្កកំណើត (Fertilization) ការលូតលាស់ផ្លែអាចពឹងផ្អែកលើការផលិតអុកស៊ីន ក្នុងការវិវឌ្ឍគ្រាប់។ អង់ដូស្ពែម (Endosperm) អាចចូលរួមជាមួយអុកស៊ីនក្នុងកំឡុងពេលវគ្គចាប់ផ្ដើមនៃការលូតលាស់ផ្លែ និងការវិវឌ្ឍអំប្រីយ៉ូអាចគ្រប់គ្រងដូចជាប្រភពអុកស៊ីន ក្នុងរយៈពេលវគ្គបន្ទាប់ទៀត។

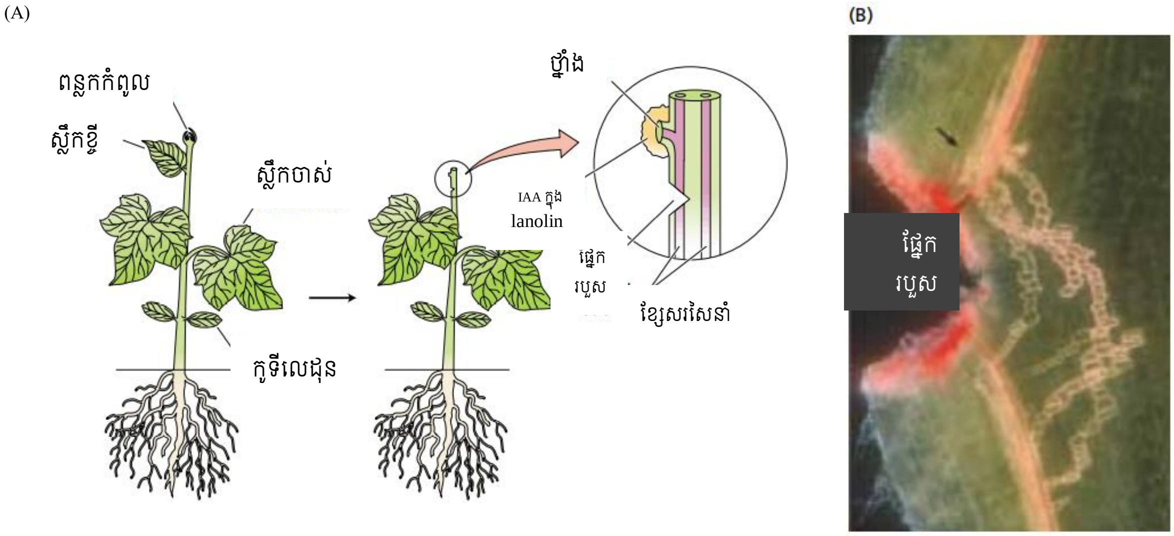
សមត្ថភាពនៃ ពន្លកកំពូល (Apical bud) ក្នុងការជំរុញញភាពខុសគ្នាអាចត្រូវបានបង្ហាញក្នុង ជាលិការប្បកម្ម (Tissue culture)។ នៅពេលពន្លកកំពូល (Apical bud) ត្រូវបានបំបៅ (Graft) ទៅលើដុំកោសិកាដែលមិនខុសគ្នា ឬ ដុំកោសិកា (*Callus*) ធ្វើឱ្យខុសគ្នានៃស៊ីឡែម និងផ្លូវអែមក្រោមការបំបៅ (Graft)។



រូបភាព ១០.៣៖ (A) ស្ត្របឺរី "ផ្លែ" គឺចេញពីទងដែលប៉ោង ដែលកំណត់ការលូតលាស់ដោយការផលិតលូតលាស់ដោយគ្រាប់ដែលការពិតទង គឺជាអ្នកផលិតផ្លែ (B) នៅពេលទងត្រូវបានយកចេញ ទងត្រូវបរាជ័យក្នុងការវិវឌ្ឍ (C) ធ្វើការដាក់ក្នុងកម្រិតតិចនៃ IAA ធ្វើអោយមានសម្បកវឹងតិច និងបង្កើតឡើងវិញនូវការលូតលាស់ និងវិវឌ្ឍធម្មតា។ (ប្រភព៖ After A. Galston 1994)

ទំនាក់ទំនងបរិមាណ ដែលត្រូវបានបង្កើតស៊ីឡែម និងផ្លូអែម ត្រូវបានកំណត់ដោយកំហាប់អុកស៊ីន៖ កំហាប់អុកស៊ីនខ្ពស់ បង្ក (Induce) ឱ្យមានភាពខុសគ្នាស៊ីឡែម និងផ្លូអែម។ ប៉ុន្តែមានតែផ្លូអែមដែលមានភាពខុសគ្នានៅពេលដែលមានកំហាប់អុកស៊ីនទាប។ ដូចគ្នានេះផងដែរ ការពិសោធទៅលើជាលិកាដើមបានបង្ហាញថា នៅកម្រិតកំហាប់អុកស៊ីនទាប បានផលិតភាពខុសគ្នានៃផ្លូអែម ចំណែកឯកម្រិត IAA ខ្ពស់ ផលិតស៊ីឡែម។ ការបង្កើតឡើងវិញ ជាលិកាសរសៃនាំតាមតំបន់ដែលមានរបួសត្រូវបានគ្រប់គ្រងដោយ ដោយការផលិតអរម៉ូនអុកស៊ីនដោយ ស្លឹកខ្ចីដោយផ្ទាល់ដែលស្ថិតនៅលើផ្នែកខាងលើ តំបន់របួស។

ការផ្លាស់ប្តូរនៃ ការការពារស្លឹកដែលកើតឡើងវិញនៃជាលិកាសរសៃនាំ ហើយប្រើអុកស៊ីន អាចជំនួសសម្រាប់ការបង្កើតឱ្យមានការដុះឡើងវិញនៃស្លឹក។ ភាពខុសគ្នានៃសរសៃនាំ គឺមានលក្ខណៈប៉ូលែ ហើយកើតមកពីស្លឹកទៅកាន់ឫស។ នៅក្នុងរុក្ខជាតិដែលមានជាតិឈើ ភឺរេននៀល (Pernnials) ត្រូវបានផលិតអុកស៊ីនដោយការលូតលាស់ពន្លកនៅពេលផ្ការីកវាជំរុញការធ្វើសកម្មភាព នៃកំប្ប៊ូម (Cambium) នៅក្នុងទិសដៅប៉ាស៊ីប៉េតាល់ (Basipetal) ដែលឆ្ពោះទៅខាងក្រោម។ ជុំថ្មីនៃការលូតលាស់ទីពីរ (Secondary growth) ចាប់ផ្តើម នៅតាមមែកតូចៗ (Twig) ហើយបន្តឆ្ពោះទៅផ្នែកខាងក្រោមទៅកាន់ផ្នែកចុងនៃឫស (root tip)។

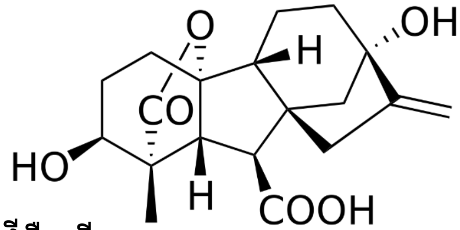


រូបភាព ១០.៤៖ IAA បង្កឱ្យមានការបង្កើតឡើងវិញនៅជុំវិញផ្នែករបួស នៅក្នុងដំណាំត្រសក់ (*Cucumis sativus*) នៃជាលិកាដើម។ (A) វិធីសាស្ត្រសម្រាប់ការអនុវត្តក្នុងការបង្កើតឡើងវិញផ្នែករបួស (B) បង្ហាញចំណាំងពន្លឺ (fluoresence) ដែលថតដោយមីក្រូទស្សន៍នៃការបង្កើតឡើងវិញនូវ សរសៃនាំជុំវិញកន្លែងមាន របួស។ (ប្រភព៖ B courtesy of R. Aloni)

១០.៣ ជីបឺរេលីន (Gibberellins)

១០.៣.១ ធម្មជាតិ និងប្រវត្តិ ជីបឺរេលីន

នៅប្រទេសជប៉ុនក្នុងឆ្នាំ ១៩២៦ គុយរ៉ូសាវ៉ា (Kurosawa) បានរកឃើញជីបឺរេលីននៅក្នុងផ្សិតប្រទេសស៊ីបេរី ឡាកុយស៊ីគូរ៉ៃ (Gibberelea fujikoroi) ដែលជាបរាសិតស្រូវ។ ផ្សិតនេះបង្កជំងឺឈ្មោះ បាកាកា Bakaka ដល់ស្រូវ។ នៅឆ្នាំ ១៩៣៩ យ៉ាប៊ុតា (Yabuta) បានចម្រាញ់យកជីបឺរេលីន A (Gibberellin A)។ នៅឆ្នាំ១៩៥៦ វ៉េស (West) និង ភិននេយ (Phinney) បាន រកឃើញជីបឺរេលីន នៅក្នុងរុក្ខជាតិថ្នាក់ខ្ពស់ ជាពិសេសនៅក្នុងគ្រាប់។ ការំណត់ នៃទម្រង់ជីបឺរេលីនដែលមានកំហុសជាច្រើនដោយសារការពិតនោះ ជីបឺរេលីនមានច្រើនប្រភេទ ហើយទម្រង់នីមួយៗវាមានភាពស្រដៀងគ្នា និងមានទំនាក់ទំនងគ្នារហូតដល់ចំនួន ១២០ ប្រភេទ។



ជីបឺរេលីន អេ១ (**Gibberillin A$_1$**)

នៅបច្ចុប្បន្ននេះ មានជីបឺរេលីនប្រហែល ៧៤ប្រភេទ ដែលត្រូវបានស្គាល់ហើយញែកចេញមកពីប្រភពរុក្ខជាតិ ដូចជា GA_{17}, GA_{38}, GA_{44}, GA_{9}, GA_{29} និង GA_{51} ដែលត្រូវបានញែកចេញពីរុក្ខជាតិសណ្ដែកបារាំង (Pisum sativum) ។ ភាគច្រើននៃជីបឺរេលីនទាំងអស់ គឺមានទំនាក់ទំនងគីមីទៅនិងក្រុមធំ ដែលបង្កំវាកើតឡើងនៅក្នុងធម្មជាតិ ទែប៉េណូអ៊ីត (Terpenodis) ដែលមានដូចជាពពួក ស្តេរ៉ូល ការ៉ូតេណូអ៊ីត ដែលបានកើតឡើងនៅក្នុងជាលិការុក្ខជាតិ)។ ជីបឺរេលីន មានលក្ខណៈខុសគ្នាពីមួយទៅមួយទៀត ដោយសារវត្តមាននៃ ទម្រង់សម្ព័ន្ធឡាក់តូន (អេស្ទែ ផ្នែកខាងក្នុង) នៅក្នុងរង្វង់ A និងការផ្សំរបស់វាដែលមាន ក្រុមអ៊ីដ្រុកស៊ីល (-OH) ដែលមាននៅក្នុងទម្រង់រង្វង់ទាំងមូល។

១. ជីបឺរេលីន គឺត្រូវបានសំយោគមកពី អាស៊ីត មេវ៉ាឡូនិច (Mevalonic acid) នៅក្នុងជាលិកាខ្ចីនៃដើម។ វាត្រូវបានសំយោគនៅក្នុងឫស (ដែលវាមិនទាន់ច្បាស់នៅឡើយ)។

២. អាស៊ីតជីបឺរេលីក ត្រូវបានដឹកជញ្ជូនទៅក្នុង ប្លូអែម និងស៊ីឡែម។

៣. ជីបឺរេលីន មានឥទ្ធិពលពីរបីយ៉ាងនៅក្នុងរុក្ខជាតិ និងប្រភេទទាំងនោះរួមមាន៖ ការលូតវែងពេកនៃដើមដោយការជំរុញការបែកកោសិកា (Cell division) និងការលូតកោសិកា ចន្លោះថ្នាំងវែងដោយសារការភ្ញោចរបស់ជីបឺរេលីន អាំងឌុចស្យុងនៃដំណុះគ្រាប់ ជាពិសេសនៅក្នុងគ្រាប់ដែលវាទាមទារ ពន្លឺទៅតាមថ្នាក់របស់វា។ ហើយជួយជំរុញដោយមាន ប្រភេទអង់ស៊ីម អ៊ីដ្រូឡាស់នៅក្នុងដំណុះគ្រាប់ពពួកធញ្ញជាតិ ការបង្កើតផ្លែ និងការលូតលាស់ និងការធ្វើឱ្យមានផ្កាឈ្មោលច្រើនក្នុងពពួកផ្កាឯកភេទ (Dioecoius flowers)។

៤. ជីបឺរេលីន មានភាពខុសគ្នាមកពី ទម្រង់ និងលក្ខណៈរបស់ អាស៊ីត អ៊ីនដូលអាសេទិច។

១០.៣.២ ជីវវិភាគ (Bioassay)

សារៈសំខាន់ខ្លាំងបំផុតរបស់ជីបឺរេលីន គឺបង្កើនការលូតលាស់កូនដំណាំដែលទាប ឬតឿ។ នៅក្នុងលក្ខខណ្ឌខ្លះ ដូចជាពោត និងសណ្ដែកដែលមានលក្ខណទាប នៃប្រវែងជាងពពួកប្រភេទដទៃទៀត។ ពពួកទាំងនេះគឺ ស្ថិតនៅក្នុងលក្ខខណ្ឌមុយតាស្យុង ហើយគេជឿថាមានលក្ខណៈតឿពីព្រោះពួកវាមានបរិមាណកំណាខាងក្នុងនៃ ជីបឺរេលីនតិចតួច។ ការប្រើប្រាស់ជីបឺរេលីន ពីកត្តាខាងក្រៅ គឺអាចមានឥទ្ធិពលលើភាពតឿរបស់ដំណាំដោយបង្កើនប្រវែង នៃដើម។ នៅក្នុងកូនរុក្ខជាតិពោតតឿ សូលុយស្យុយជីបឺរេលីន គឺត្រូវបានប្រើប្រាស់អណ្ដាតស្លឹក (Ligule) ដំបូង។ វាមានលក្ខណៈប្រែប្រួលគួរឱ្យកត់សម្គាល់ ក្នុងការបង្កើនប្រវែងនៃថ្នាំងបន្ទាប់ទៀត ឬបន្ទះស្លឹកក្នុងរយៈពេលពីរបីថ្ងៃ។ នៅក្នុងជីវវិភាគរបស់វា គឺវាមានធាប់មានភាពប្រែប្រួលទោះបីបរិមាណតិចក្នុង ១ ណាណូក្រាម នៃជីបឺរេលីន។ អរម៉ូន ត្រូវបានដាក់ទៅលើកូនរុក្ខជាតិតឿ ហើយបង្កើនប្រវែង អេពីកូទីល ដែលត្រូវបានវាស់បន្ទាប់ពី ៤ ទៅ៥ ថ្ងៃ។

ជីវវិភាគ ដែលត្រូវបានគេប្រើប្រាស់យ៉ាងទូលំទូលាយនៃជីបឺរលីនដោយធ្វើតេស្ត ទៅលើអង់ដូស្ពែមស្រូវសាលី។ តាមរយៈវិធីសាស្ត្រនេះ កម្រិតតិចនៃ ០.២ ណាណូក្រាម នៃជីបឺរលីនត្រូវបានរកឃើញក្នុងរយៈពេល ២៤ ម៉ោង។ ស្រទាប់អាឡឺរ៉ូន នៃស្រូវសាលីត្រូវបានដាក់បណ្តុះនៅក្នុងសូលុយស្យុងជីបឺរលីន រយៈពេល២៤ម៉ោង។ ជីបឺរលីនជួយជំរុញសកម្មភាពអង់ស៊ីម អាមីឡាស ដែលបង្កើតឱ្យមានអ៊ីដ្រូលីសនៃម្សៅក្នុងគ្លុយកូស។ គ្លុយកុស គឺត្រូវបានបញ្ចេញមកក្រៅនៅក្នុងជំណុះមេដ្យូម។

១០.៣.៣ តួនាទី របស់ជីបឺរលីន

ជីបឺរលីនជំរុញឱ្យមានការលូតវែងនៃចន្លោះថ្នាំង។ វាធ្វើអោយរុក្ខជាតិតឿលូតលាស់ ហើយមានកម្ពស់ ដូចរុក្ខជាតិធម្មតា។ ការលូតលាស់នេះបណ្តាលមកពីចំណែកកោសិកា ការលូតវែងនៃកោសិកា ការសំយោគ គ្រប់ជាតុបង្កនៃកោសិកា ស៊ីតូប្លាស និងភ្នាសគ្រោង។ ឧទាហរណ៍៖ គេប្រើអរម៉ូននេះសម្រាប់បង្កើនទំហំ ផ្លែឈើឱ្យកាន់តែធំឡើងៗ។

ក. ជីវសំយោគជីបឺរលីន

ជីបឺរលីនត្រូវសំយោគត្រង់កន្លែងដែលកោសិកាធ្វើចំណែកយ៉ាងសកម្ម ដូចជាកំពូលលើនៃដើមខ្ចីៗ ឫស ស្លឹកខ្ចីៗ និងអំប្រីយ៉ុង។ ទោះជាជីបឺរលីនត្រូវបានញែកដំបូងមកពី ផ្សិតក៏ដោយប៉ុន្តែឡូវនេះពួកគេបានរក ឃើញជីបឺរលីន នៅក្នុងក្រុមស្ទើរតែទាំងអស់របស់រដ្ឋៈរុក្ខជាតិរួមមាន អង់ស្យូស្ពែម ស៊ីមណូស្ពែម ប៉ប្រេក ស្លែ និងសារាយជាដើម។ ប៉ុន្តែចំពោះបាក់តេរីវិញ គេមិនទាន់ដឹងច្បាស់ទេ។

ខ. ការលូតលាស់នៅក្នុងកោសិកា

ជីបឺរលីនធ្វើឱ្យស្លឹកលូតលាស់យ៉ាងខ្លាំង ផ្ទៃស្លឹករីកធំកើនឡើងទ្វេជាពីរ។ ជីបឺរលីនជំរុញឱ្យ មានជំណុះគ្រាប់៖ ជីបឺរលីនមាននៅក្នុងគ្រាប់ កាលណាមានទឹកនៅក្នុងគ្រាប់ វាត្រូវបានបញ្ចេញហើយ ជំរុញការសំយោគអង់ស៊ីមនៅក្នុងកោសិកាគ្រាប់។ អង់ស៊ីមទាំងនេះបំបែកអាមីដុង នៅក្នុងអង់ដូស្ពែមរបស់គ្រាប់ ឱ្យទៅជាស្ករសម្រាប់ប្រើប្រាស់ជាថាមពលក្នុងការលូតលាស់អំប្រីយ៉ុង។ ជីបប័រីលីនក៏ជំរុញការលូតលាស់នៃពន្លកដែរ៖ គេបាញ់ជីបឺរលីនដើម្បីជំរុញឱ្យមានជំណុះគ្រាប់ ការលូតលាស់នៃពន្លក និងការចេញផ្កាចំពោះរុក្ខជាតិពេញវ័យ។

គ. ការចេញផ្កា

ក្នុងចន្លោះពេលពី ការលូតលាស់សរីរាង្គ ទៅកាន់វគ្គផ្កានៅក្នុងរុក្ខជាតិដែលត្រូវការរយៈពន្លឺវែង (Long-day plnat) ឬរុក្ខជាតិដែលត្រូវការត្រជាក់ អាចជំរុញការលូតលាស់ដោយសារ ជីបឺរលីន។ វាត្រូវបានគិតថា រីកនៅពេលត្រជាក់ និងរយៈពន្លឺវែងជួយជម្រុញការពន្លូតដើម និងការចេញផ្កា ដោយការជំរុញការ

សំយោគជីបឺរេលីន។ តួនាទីដាក់លាក់របស់ ជីបឺរេលីនក្នុងពេលចេញផ្កាត្រូវបានគេសិក្សាភាគច្រើន នៅក្នុងរុក្ខជាតិ *Arabidopsis* តាមរយៈការសិក្សាជាមួយបរិមាណច្រើននៃ ជីបឺរេលីន និងការសិក្សាពីមុយតង់នៃប្រភេទសែន gal-3។ នៅក្នុងរយៈពន្លឺខ្លី ពពួកមុយតង់នេះវាមិនចេញផ្កា លុះត្រាតែជីបឺរេលីនត្រូវបានប្រើប្រាស់។ ពីព្រោះនៅពេលដែលកម្រិតពពួកមុយតង់ខ្វះ ជីបឺរេលីន វាបង្ហាញនៅការចេញផ្កាយឺតជាជាង ការទប់ស្កាត់មិនឱ្យចេញផ្កាសោះតែម្តង ប៉ុន្តែនៅក្រោមលក្ខខណ្ឌរយៈពន្លឺខ្លី គឺនៅតែមានពពួកផេណូទីបតឿដែលវាហាក់បីដូចជាការចេញផ្កាមានការឆ្លើយតប ទៅនិងជីបឺរេលីនទាបជាង បើប្រៀបធៀបការពន្លូតដើម។ ការពន្យារពេលចេញផ្កា នៅក្នុងបរិមាណច្រើននៃជីបឺរេលីនមុយតង់នៃប្រភេទសែន gal-3 ដែលបានដាំដុះក្រោមលក្ខខណ្ឌរយៈពន្លឺវែង អាចត្រូវបានបកស្រាយទោះបីជាមានផេណូទីប នៃមុយតង់ដែលខ្វះ ជីបឺរេលីន និងប្រភេទមុយតង់ gai ដែលមិនប្រែប្រួលទៅនិង ជីបឺរេលីន។

រុក្ខជាតិជាច្រើននៅក្នុងវដ្តជីវិតរបស់វាមានការលូតលាស់ពីរដំណាក់កាលខុសគ្នាគឺ ដំណាក់កាលក្មេងឬខ្ចីនិងដំណាក់កាលពេញវ័យឬចាស់។ ឧទាហរណ៍៖ ប្រភេទនៃដើមឈើទាល eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) ចំពោះ ស្លឹកនៅខ្ចីគឺមានលក្ខណៈផ្ទុយគ្នាដោយស្លឹករបស់វាខ្លីជាង ទន់ជាង និងចុងស្លឹកទាល ចំណែក ក្នុងកំឡុងពេល ស្លឹកនោះចាស់ឬពេញវ័យគឺស្លឹកមានការតម្រៀបរាងជាស្មៀ មានលក្ខណៈវែងជាងហើយក្រាស់ជាង និងចុងស្លឹកស្រួច។ ជីបឺរេលីន អាចជួយកំណត់ផ្នែកមួយនៃរុក្ខជាតិដោយធ្វើឱ្យស្លឹកខ្ចី ឬចាស់បាន។ ឧទាហរណ៍ ពន្លកនៃមែករុក្ខជាតិពេញវ័យជាទូទៅ វិវត្តន៍តែមែកដែលពេញវ័យប៉ុណ្ណោះ ប៉ុន្តែការដាក់នូវជីបឺរេលីនទៅលើ ពួកវាធ្វើឱ្យពួកវាលូតលាស់ទៅជាមែកខ្ចីបាន។ ចំពោះកាយវិភាគវិទ្យារបស់ពួកវាបានបង្ហាញថា ស្លឹកក្នុងដំណាក់កាលទាំងពីរមានលក្ខណៈខុសគ្នាត្រង់ ស្លឹកខ្ចីមានកោសិកាប៉ាលីសាតតែផ្ទៃខាងលើប៉ុណ្ណោះ ឬស្លឹកចាស់វិញមានប៉ារ៉ង់ស៊ីមប៉ាលីសាតនៅលើផ្ទៃទាំងសងខាង។

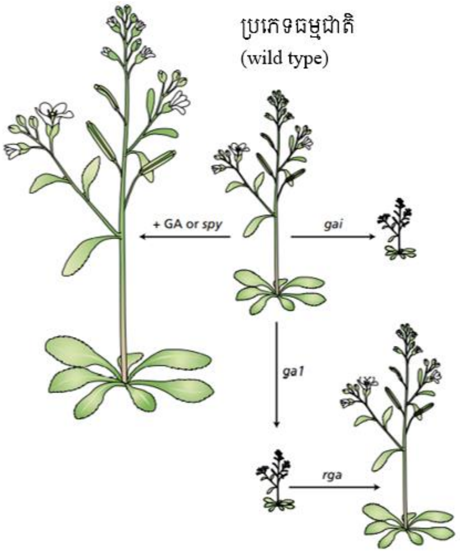
១០.៣.៤ ការលូតលាស់ផ្កា

ជីបឺរេលីន មានឥទ្ធិពលទៅលើការលូតលាស់កេសរឈ្មោល ដែលប្រភពនៃការកើតឡើងជីបឺរេលីន ដែលមានឥទ្ធិពលទៅលើការវិវឌ្ឍកញ្ចុំស្រទាប់ផ្កា (Corolla) និងជាតិពណ៌។ ការបង្អាក់នៃ ជីវសំយោគជីបឺរេលីនអាចពន្យារពេលការរីកនៃផ្កា ខណៈពេលជីបឺរេលីនពីខាងក្រៅ មានឥទ្ធិពលផ្ទុយពីនេះ។ ពពួកសែនមុយតង់ខ្វះជីបឺរេលីន *gib-1* និង *gib-2* នៃប៉េងប៉ោះបង្ហាញឱ្យឃើញថាការចេញផ្កាធម្មតា ប៉ុន្តែវាត្រូវបានស្ទាក់នៅត្រឹមការលូតលាស់ថង់កេសរឈ្មោល នៅក្នុងដំណាក់កាល G1 នៃមេយ៉ូស។

- អុកស៊ីនមានអំពើលើការដុះឫសថ្មី ចំណែកជីបឺរេលីនគ្មានអំពើនោះទេ។
- អុកស៊ីនរារាំងការលូតលាស់ពន្លកមែក និង ជីបឺរេលីនធ្វើឱ្យការលូតលាស់ពន្លកមែក
- អុស៊ីនមាននាទីដាស់សកម្មភាពស្រទាប់មេក្នុង ចំណែកជីបឺរេលីនមាននាទីដាស់សកម្មភាពមេជាលិកាថ្នាំង។

គេបានធ្វើការពិសោធន៍លើពីរបីប្រភេទដែលមិនមានភ្លោចដោយសារជីបឺរេលីន លើមុយតង់តឿពីប្រភេទផ្សេងគ្នា។ លើកទី១ នៃការញែកនៅក្នុងរុក្ខជាតិ *Arabidopsis* គឺមុយតង់ *gai-1*។ មុយតង់ *gai-1* ដូចមុយតង់ខ្វះ ជីបឺរេលីន (Gibberellin-deficient mutants) លើកលែងតែពួកវាមិនបានឆ្លើយតបទៅនិងជីបឺរេលីនពីកត្តាខាងក្រៅ។ ពពួកមុយតង់ផ្សេងទៀតមានដោយសារការជ្រើសរើសនៃមុយតាស្យុងលើកទី២ នៅក្នុងមុយតង់ខ្វះជីបឺរេលីន (Gibberellin-deficient mutants) ដែលធ្វើឱ្យដូច ឬដូចដោយផ្អែកទៅនិងការលូតលាស់របស់ប្រភេទធម្មជាតិ (Wild type)។ ប្រភពដើមនៃមុយតង់ខ្វះ ជីបឺរេលីន គឺ *gai-3* មុយតាស្យុងទីពីរដោយផ្អែកជាពួកជួយសង្គ្រោះ ផេណូទីបត្រូវបានហៅថា *rga* (សំរាប់ការឆ្លើយតបទៅនិង *gai-3*)។ មុយតាស្យុង *rga* គឺជាមុយតាស្យុងមានលក្ខណៈខ្សោយនៅពេលវត្តមានក្នុងការចម្លងពីរដង ដែលផ្តល់ឱ្យរុក្ខជាតិនូវកម្ពស់មធ្យម។

ក្រៅពីមានភាពផ្ទុយគ្នាក្នុងផេណូទីប នៃមុយតាស្យុងប្រភេទធម្មជាតិ (Wild type) សែន *GAI* និង *RGA* ប្រែជាមានទំនាក់ទំនងជិតស្និទ្ធទៅជាមួយនិង ៨២% នៃអត្តសញ្ញាណលំដាប់។ មុយតាស្យុង *gai-1* គឺមានលក្ខណៈលុបពាក់កណ្តាល ដែលមានលក្ខណៈដូចមុយតង់ដែលមិនភាពប្រែប្រួលដោយសារជីបឺរេលីនក្នុងប្រភេទផ្សេងទៀត។ ការវិភាគសេនេទិច បានបង្ហាញថាពពួកទាំងពីរនៃប្រូតេអ៊ីន *GAI* និង *RGA* ដើរតួនាទីជាអ្នករារាំង (repressor) ការឆ្លើយតបជីបឺរេលីន។ ជីបឺរេលីន ដើរតួនាទីមិនផ្ទាល់តាមរយៈសញ្ញា (signaling) ដែលនៅចន្លោះមិនទាន់ពន្យល់ ដែលវាត្រូវបានចងសម្ព័ន្ធជាមួយកត្តាកំណត់មុខងារ នៃប្រូតេអ៊ីន *GAI* និង *RGA*



រូបភាព ១០.៥៖ ឥទ្ធិពលនៃការដាក់ជីបឺរេលីន និងមុយតង់នៅក្នុងប្រភេទសែនបីប្រភេទខុសគ្នា (*gai*, *ga1* និង *rga*) នៅលើផេណូទីបនៃរុក្ខជាតិ *Arabidopsis* (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

១០.៣.៥ រយៈពន្លឺកំណត់ក្នុងការបង្កើតមើម

ដំណើរការនៃកាបង្កើតមើលក្នុងដំឡូងបារាំង គឺជាដំណើរការមួយទៀតដែលត្រូវបានកំណត់ដោយរយៈពន្លឺ។ ការបង្កើតមើមរបស់ដំឡូងបារាំងព្រៃគឺមានក្នុងរយៈថ្ងៃខ្លី (Short day) (ទោះបីជាតម្រូវការសម្រាប់រយៈថ្ងៃខ្លីត្រូវបានបង្កាត់ចេញសម្រាប់ការដាំដុះច្រើនពូជមកហើយ) ហើយការបង្កើតមើមនេះត្រូវបានរាំងស្ទះ ដោយសារការប្រើប្រាស់ ជីបឺរេលីន។ ការចម្លងក្រម (Transcription) របស់ GA20ox ត្រូវបាន

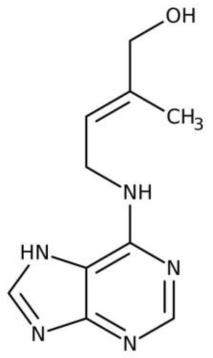
រកឃើញដែលមានការប្រែប្រួលចុះឡើងក្នុងពេលវដ្តងងឹត (Light-dark cycle) ដែលនាំឱ្យ GA1 មានកម្រិតទាបនៅក្នុងរយៈថ្ងៃខ្លី។ រុក្ខជាតិ ដំឡូងបារាំងមានការសម្តែងសែន GA20ox ខ្លាំងពេកដែលបង្ហាញពីការពន្យារការបង្កើតមើម ចំណែកឯការប្រែប្រួលអង់ទីសែន ឬបដិន័យ (Antisense) នៃសែន GA20ox ជួយដល់ការបង្កើតមើម ដែលបង្ហាញពីសារៈសំខាន់នៃការ ចម្លងក្រមនៃសែននេះក្នុងការកំណត់ការបង្កើតមើមដំឡូងបារាំង (Carrera et al. 2000)។ នៅក្នុងរុក្ខជាតិ *Arabidopsis* សែន GA20ox សម្តែងនៅផ្នែកពន្លកកំពូល និងស្លឹកខ្ចីដែលបានលេចចេញឡើងជាតំបន់ដែលជីបីរលីនតត្រូវបានសំយោគ។

រូបភាព ១០.៦៖ ការបង្កើតមើមរបស់ដំឡូងបារាំងដែលជម្រុញដោយរយៈថ្ងៃខ្លី។ ដំឡូងបារាំង *(Solanum tuberosum spp. Andigena)* ត្រូវបានក្រោមលក្ខខណ្ឌរយៈថ្ងៃខ្លីឬវែង។ ការបង្កើតមើម នៅក្នុងរយៈថ្ងៃខ្លីដោយមានការការចូលរួមពីការថយចុះនៃកម្រិត GA1។ (Courtesy of S. Jackson.)

១០.៤ ស៊ីតូគីនីន

១០.៤.១ ធម្មជាតិ និងប្រវត្តិនៃស៊ីតូគីនីន

ស៊ីតូគីនីន ត្រូវបានរកឃើញនៅក្នុងឆ្នាំ ១៩៥០ ដោយលោក F. Skoog, C.O Miller និងអ្នកចូលរួមក្នុងការសិក្សា នៃតម្រូវការក្នុងការលូតលាស់ និងភាពខុសគ្នានៃជាលិកាវប្បកម្ម។ ការងារនេះ ត្រូវបានជំរុញឱ្យមានការអង្កេតបន្ថែមទៅលើការប្រើប្រាស់នៃជាលិកាសរសៃនាំថ្នាំដក់ នៃសំណាករុក្ខជាតិដើម (Explant) ជាមួយអុកស៊ីនដែលមានមេជ្រួមដែលធ្វើអោយមានការពង្រីកកោសិកា និងការបែងចែកកោសិកា។ ដោយសារ ឥទ្ធិពលល្អរបស់ផូស្វាតទៅលើការលូតលាស់នៃកោសិកា ឥទ្ធិពលនៃផូស្វាតសរីរាង្គត្រូវបានសាកល្បង។ វាត្រូវបានអង្កេតថា វត្តមានអុកស៊ីន ការទាញយកមេផ្សិត ចំហុយនៅសីតុណ្ហភាពខ្ពស់ និង DNA ជួយជំរុញការបែងចែកកោសិកា។ ជាតុសកម្មដែលត្រូវបានរកឃើញ គឺ 6-furfuryl-aminopurine (គីនេទីន (Kinetin)) ដែលជាសារជាតុដែលត្រូវបានបង្កើតឡើងក្នុងពេលការថយចុះគុណភាព DNA ប៉ុន្តែមិនត្រូវបានរកឃើញនៅក្នុងរុក្ខជាតិទេ។ ប្រភេទដែលមិនទាន់មានឈ្មោះ (Variants) នៃទម្រង់ទាំងអស់នេះ ត្រូវបានរកឃើញជាបន្តបន្ទាប់ ហើយនៅក្នុងឆ្នាំ ១៩៥៤ ស៊ីតូគីនីន ក្នុងធម្មជាតិ ដែលជាប្រភេទសេអាទីន (Zeatin) ដែលត្រូវបានញែកចេញពីពោត ដោយលោក D.S Letham និងសហការី។



សម្ព័ន្ធគីមីរបស់សេអាទីន (Zeatin)

ធម្មជាតិស៊ីតូគីនីន ជាអរម៉ូនដែលជះឥទ្ធិពលដល់ការលូតលាស់ និងការរំញោចនៃការបែងចែកកោសិកា។ ស៊ីតូគីនីន (Cytokinins) ត្រូវបានសំយោគនៅក្នុងឬសជាធម្មតាវាទទួលបានពីអាដេនីន (Adenine)។ ស៊ីតូគីនីន (Cytokinins) ត្រូវបានគេទទួលស្គាល់ថាជាអរម៉ូនរុក្ខជាតិដែលជះឥទ្ធិពល មិនត្រឹមតែទៅលើទិដ្ឋភាពជាច្រើននៃការលូតលាស់របស់រុក្ខជាតិ ការអភិវឌ្ឍ និងសរីរវូមទាំងការបែងចែកកោសិកាភាពខុសគ្នានៃក្លរ៉ូភីលនិងការពន្យារពេល នៃភាពចាស់ប៉ុន្តែ អន្តរកម្មជាមួយសារពាង្គកាយដទៃទៀតរួមទាំងភ្នាក់ងារបង្កជំងឺផងដែរ។ ស៊ីតូគីនីន (Cytokinins) មិនត្រឹមតែត្រូវ បានផលិតដោយរុក្ខជាតិប៉ុណ្ណោះទេប៉ុន្តែវាត្រូវបានបង្កើតឡើងដោយសរីរាង្គប្រូការីយ៉ូត (Prokaryotic) និងអឺការីយ៉ូត (Eukaryotic) ផ្សេងទៀតដូចជាបាក់តេរី ផ្សិត មីក្រូសារពាង្គកាយ និងសត្វល្អិត។ គួរកត់សម្គាល់ ស៊ីតូគីនីន (Cytokinins) ត្រូវបានផលិតទាំងអតិសុខុមប្រាណដែលមានប្រយោជន៍ផងដែរ ហើយត្រូវបានគេដឹងថាជំរុញ មានភាពធន់ទ្រាំនៅក្នុងរុក្ខជាតិប្រឆាំងនិងភ្នាក់ងាបង្កជំងឺបាក់តេរី ផ្សិតនិងសត្វល្អិតចង្រៃត្រូវបានវាយតម្លៃទទួលស្គាល់។ ផៃតូអរម៉ូនចំនួន ៨ ប្រភេទត្រូវបានកំណត់អត្តសញ្ញាណទាំងនេះដែលមានដូចជា ស៊ីតូគីនីន (Cytokinins=CK), ជីបឺរេលីន (Gibberellins=GA), អាស៊ីត អាប់ស៊ីស៊ីច (Abscisic acid =ABA), អេទីឡែន (Ethylene=ET), ប្រាស៊ីណូស្តេរ៉ូអ៊ីត (Brassinosteroids=BR), អាស៊ីត សាលីស៊ីលិច (Salicylates=SA), ចាស្មូណែត (Jasmonates =JA) និង ស្ទ្រីកូឡាក់តូន (Strigolactones =SL)។ ត្រូវបានស្រាវជ្រាវរៀបចំបង្កើតជាយន្តការ មូលដ្ឋានដែលពាក់ព័ន្ធនឹងការសិក្សាអរម៉ូនដែលបង្កើតឡើងដោយរុក្ខជាតិ ប្រឆាំងនឹងការបង្ករោគនិងស្វែង យល់ពីការអនុវត្តជាក់ស្តែង ដែលអាចកើតមាននៅក្នុងផលិតកម្មដំណាំ។ ប្រវត្តិស៊ីតូគីនីន ដើរតួយ៉ាងសំខាន់ទៅលើការធ្វើចំណែកកោសិការុក្ខជាតិ និងការលូតលាស់។ ដូចនេះហើយ ត្រូវបានគេសិក្សាតាំងពីទសវត្សន៍ឆ្នាំ១៩៧០ ជាសារធាតុគីមីដែលមានសក្តានុពល នៅកំឡុងពេលនោះមិនទាន់ត្រូវបានប្រើជាទូទៅទេ ដោយសារមានភាពស្មុគស្មាញទៅនឹងភាពប៉ះពាល់របស់វា។

១០.៤.២ តួនាទីរបស់ស៊ីតូគីនីន

តួនាទីស៊ីតូគីនីន ដើរតួជាអរម៉ូនដើម្បីកាត់បន្ថយភាពចាស់ដែលស្ថិតនៅដំណាក់កាលនៃការរៀបចំមេតាប៉ូលីសដែលបំផ្លាញកោសិកា។ ឧទាហរណ៍ លឿងស្លឹកនៅផ្ទៃខាងដែលកើតឡើងនៅពេលប្រូតេអ៊ីនបំបែក ហើយក្លរ៉ូហ្វីលត្រូវបានបំផ្លាញ។ ស៊ីតូគីនីន (Cytokinins) ប្រើប្រាស់សម្រាប់ការពារការលឿងនៃស្លឹកដោយធ្វើឱ្យ មានស្ថេរភាព ប្រូតេអ៊ីន និងក្លូភីលនៅក្នុងស្លឹកនិងរចនាសម្ព័ន្ធរបស់ក្លរីន។ នៅក្នុងជាលិការប្បកម្មការ ប្រើអម៉ូន ស៊ីតូគីនីន (Cytokinins) ជាមួយជាតុផ្សំផ្តល់ការលូតលាស់ឫសចំណែកការប្រើប្រាស់ ស៊ីតូគីនីន (Cytokinins) ខ្ពស់ជួយជំរុញដល់ការលូតលាស់ពន្លក។ ស៊ីតូគីនីន (Cytokinins) ដើរតួអន្តរកម្មនៃរុក្ខជាតិដែលមានភ្នាក់ងារបង្ករោគដោយបាក់តេរី ដោយមានកម្រិតខ្ពស់នៃសមាសជាតុ ស៊ីតូគីនីន (Cytokinins) នៅក្នុងរុក្ខជាតិបង្កើតភាពធន់ទ្រាំទៅនិងភ្នាក់ងារបង្កជំងឺ។ កោសិការុក្ខជាតិត្រូវបានរីកលូតលាស់បង្កើត ជាលទ្ធភាពនៃការបែងចែក កោសិកា ក្នុងប្រព័ន្ធកម្រិតទាបនិងខ្ពស់។ កោសិការុក្ខជាតិដែលទើបនឹងកកើតថ្មីមានលក្ខណៈខុសគ្នា ប៉ុន្តែនៅពេលដែលកោសិកាទាំងនោះមានមុខងារ ដឹកជញ្ជូនក្នុងការធ្វើរស្មីសំយោគ ការស្តុកទុក និងការការពារព្យាបាលរបួស។ ការព្យាបាលស្នាមរបួសនៃកោសិការុក្ខជាតិ នៅកន្លែងមានរបួសសូម្បី តែកោសិកាដែលមានឯកទេសថ្នាក់ខ្ពស់ដូចជាផ្លូអែមសរសៃ និងកោសិកាអាចត្រូវបានរំញោចដោយការរំញោចយ៉ាងហោចម្តង កាត់បន្ថយភាពតានតឹងដែលបង្កឡើងដោយមុខរបួស។

១០.៤.៣ ជីវសំយោគ មេតាបូលីស និងការដឹកជញ្ជូនស៊ីតូគីនីន

ការកើតឡើងដោយធម្មជាតិនៃខ្សែច្រវ៉ាក់ខាង ស៊ីតូគីនីនគឺមានទំនាក់ទំនងគីមីទៅនិង កៅស៊ូ ជាតិព៌ណការ៉ូតេណូអ៊ីត អរម៉ូនរុក្ខជាតិជីប៊ីរលើន និងអាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត និងបង្គុំការពាររុក្ខជាតិខ្លះទៀតដែលត្រូវបានគេស្គាល់ថា ហ្វីតូអាឡិចស៊ីន (Phytoalexin)។ ហ្វីតូអាឡិចស៊ីន (Phytoalexin) គឺជាជាតុគីមីការពារ ផលិតដោយរុក្ខជាតិថ្នាក់ខ្ពស់ដែលមានលក្ខណៈយថាប្រភេទ ចំពោះភាវរសដែលវាស៊ី។ បង្គុំទាំងអស់នេះគឺ ត្រូវបានសាងសង់ ឡើងយ៉ាងហោចណាស់មួយផ្នែកមកពីពួកអ៊ីសូប្រេន (Isoprene)។

អ៊ីសូប្រេន (Isoprene) គឺមានលក្ខណៈស្រដៀងទៅនឹងទម្រង់ខ្សែច្រវ៉ាក់ខាងរបស់សេអាទីន (Zeatin) និងបង្គុំសរីរាង្គផូស្វាត។ ខ្សែច្រវ៉ាក់ខាង (Side chain) របស់ស៊ីតូគីនីនទាំងនេះត្រូវបានសំយោគមកពីអ៊ីសូប្រេន (Isoprene)។ ម៉ូលេគុលធំនៃកៅស៊ូ និងការ៉ូតេណូអ៊ីតត្រូវបានសាងសង់ឡើងដោយប៉ូលីមែនៃពួកអ៊ីសូប្រេនច្រើនចូលគ្នា ហើយស៊ីតូគីនីនមានតែមួយក្នុងចំណោមពួកទាំងនេះ។ ជាតុដើម (Precursor) សម្រាប់ការបង្កើតទម្រង់អ៊ីសូប្រេនទាំងនេះអាចជា អាស៊ីតមីវ៉ាឡូនិច (Mevalonic acid) ឬពីរុយវ៉ាត (Pyruvate) បូកជាមួយ ៣-ផូស្វ័រគ្លីសេរ៉ាត (3-phosphoglycerate) វាផ្អែកទៅលើលំនាំ (Pathway) ដែលជាប់ទាក់ទង។ ជាតុដើមទាំងនេះត្រូវបានបម្លែងទៅជា អ៊ីសូប្រេនជីវសាស្ត្រ នៃពួកឌីមេទីឡអាលីល ឌីផូស្វាត (Dimethylallyl diphosphate = DMAPP)។

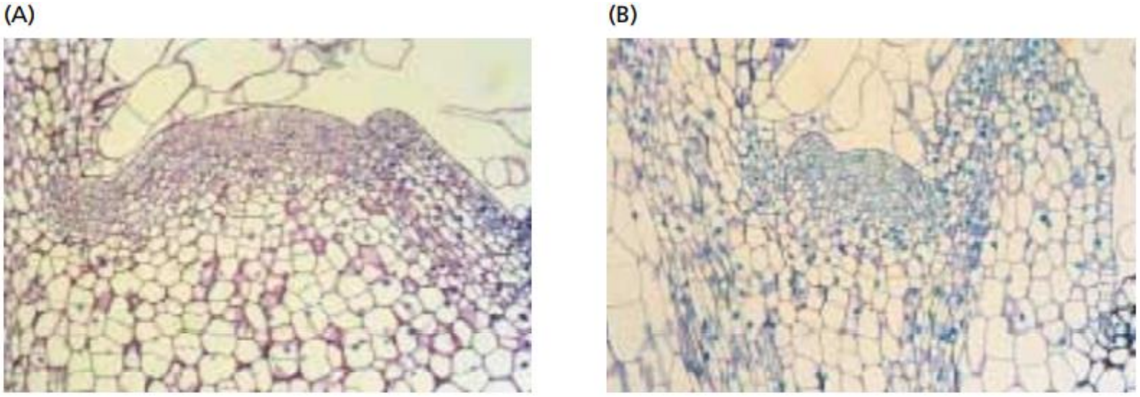
ស៊ីតូគីនីន ជាទូទៅបានត្រូវការសម្រាប់ការបែងចែកកោសិកា នៃកោសិការុក្ខជាតិក្នុងលក្ខខណ្ឌក្នុងកែវ។ មានអំណះអំណាងជាច្រើនបានបញ្ជាក់ផងដែរថា ស៊ីតូគីនីនដើរតួនាទីសំខាន់ក្នុងការកំណត់ការបែងចែកកោសិកានៅក្នុងលក្ខខណ្ឌមានជីវិត។ ភាគច្រើននៃការបែងចែកកោសិកានៅក្នុងរុក្ខជាតិពេញវ័យ កើតឡើងនៅក្នុងមេជាលិកា (Meristem)។ ការសម្ដែងនៃសែន *ipt* នៃអាក្រូបាក់តេរ្យូម (Agrobacerium) នៅក្នុងផ្នែកលូតលាស់នៃស្លឹកថ្នាំជក់ ដែលបង្កឱ្យមានការបង្កើតមេជាលិកានៅកន្លែងខុសពីធម្មតា(ectopic) ដែលវាបង្ហាញពីកម្រិតដែលល្អរបស់ស៊ីតូគីនីន គឺមានប្រសិទ្ធភាពក្នុងការបង្កើតការបែងចែកកោសិកានៅក្នុងស្លឹកទាំងអស់នេះ។ ការបង្កើននៃកម្រិតស៊ីតូគីនីនពីកត្តាខាងក្រៅនៅក្នុងការបន្សំសែន (Transgenic) នៃរុក្ខជាតិ *Arabidopsis* ជាលទ្ធផលវាបង្ហាញពីការសម្ដែងសែនច្រើនពេករបស់ KNOT-TED នៃការចម្លងក្រមក្នុងលំដាប់នុយក្លេអូទីតដែលសែនអូម៉ូឡូក *KNAT1* និង *STM* ដែលមានសារៈសំខាន់ក្នុងការកំណត់តួនាទីរបស់មេជាលិកា (Meristem)។

ការសម្ដែងសែនលើសលប់ពេកនៃប្រភេទពីរ បី របស់សែន *Arabidopsis* ស៊ីតូគីនីនអុកស៊ីដាស់នៅក្នុងថ្នាំជក់ ជាលទ្ធផលមានការថយចុះនៃកម្រិតស៊ីតូគីនីនពីកត្តាខាងក្រៅនិងការលូតលាស់យឺតរបស់ដើមដោយសារកាត់បន្ថយការលូតលាស់របស់កោសិកាយ៉ាងរហ័សនៅក្នុងពន្លកត្រួយ។

រូបភាព ១០.៧៖ រុក្ខជាតិថ្នាំជក់ នៃការសម្ដែងសែនហួសកំណត់សំរាប់ ស៊ីតូគីនីន អុកស៊ីដាស់។ រុក្ខជាតិនៅខាងឆ្វេងជាប្រភេទ wild type។ ចំនែករុក្ខជាតិទាំងពីរនៅខាងស្ដាំ ការសម្ដែងសែនពីរប្រភេទហួសកម្រិតនៅក្នុងសែន *Arabidopsis* សំរាប់ស៊ីតូគីនីន អុកស៊ីដាស់: *AtCKX1* និង *AtCKX2*។ ការលូតលាស់ពន្លកដើមគឺ រារាំងខ្លាំងក្នុងរុក្ខជាតិបន្សំសែន។ (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

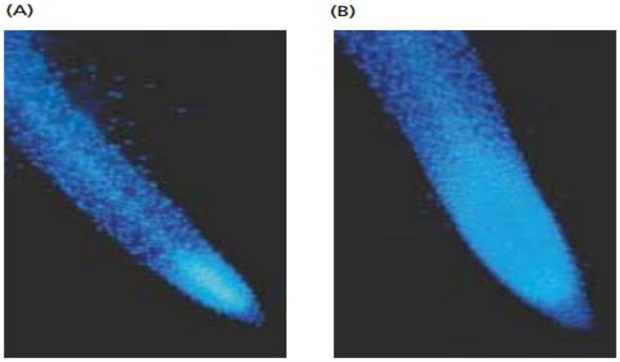
វាជារឿងគួរអោយភ្ញាក់ផ្អើលដែល ការសម្ដែងសែនហួសកម្រិតនៃស៊ីតូគីនីន អុកស៊ីដាស់នៅក្នុងរុក្ខជាតិថ្នាំជក់ នាំទៅរកការបង្កើនការលូតលាស់ឬស ដែលកត្តាចម្បងវាជួយបង្កើនទំហំមេជាលិកាឬស។ ដោយសារឫសជា ប្រភពចម្បងរបស់ស៊ីតូគីនីន ដែលលទ្ធផលនេះអាចចង្អុលបង្ហាញថា ស៊ីតូគីនីនដើរតួនាទីផ្ទុយក្នុងការកំណត់ការលូតលាស់កោសិកានៅក្នុងឫស និងពន្លកជាលិកា។ ការវិភាគបន្ថែមទៀតបានបង្ហាញឱ្យឃើញថា ធ្នួលនៃមុយតាស្យុង (Receptor) ស៊ីតូគីនីនរំខានដល់ការលូតលាស់សរសៃនាំនៃឫស។

ដែលត្រូវបានស្គាល់ថា *cre1* ដែលពពួកមុយតង់ទាំងនេះ គ្មានបញ្ហានៅក្នុងឫសរបស់ពួកវា។ ប្រព័ន្ធសរសៃឫសគឺផ្សំឡើងស្ទើរតែស៊ីឡែមទាំងមូល។



រូបភាព ១០.៨៖ ស៊ីតូគីនីន ត្រូវការដើម្បីការលូតលាស់នៃមេជាលិការពន្លកដើម។ រូប (A) ផ្នែកបណ្តោយ តាមរយៈនៃការលូតលាស់ មេជាលិកាពន្លកដើមនៃរុក្ខជាតិថ្នាំជក់ wild type។ រូប (B)) ផ្នែកបណ្តោយ តាមរយៈនៃការលូតលាស់ មេជាលិកាពន្លកដើមបន្សំសែននៃរុក្ខជាតិថ្នាំជក់ ដែលបង្ហាញពីការសម្តែងហួសកម្រិតហើយវាភ្ជាប់ជាមួយ ស៊ីតូគីនីន អុកស៊ីដាស់ (AtCKX1)។ (ប្រភព៖ Taiz et al., 2015)

រូបភាព ១០.៩៖ ស៊ីតូគីនី ទប់ការលូតលាស់ឫស។ រូបខាងឆ្វេងគឺមានសែនខ្វះស៊ីតូគីនីនក្នុងឫស*AtCKX1* និងមានការលូតលាស់ធំជាង ប្រភេទ wild type (រូបខាងឆ្វេង)។



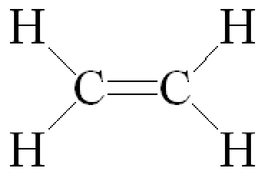
រូបភាព ១០.១០៖ ស៊ីតូគីនី ទប់ស្កាត់ទំហំ និងការបែងចែកកោសិកាសកម្មភាពរបស់ឫស។ (A) Wild type និង (B) *AtCKX1*

១០.៥ អេទីឡែន

១០.៥.១ ធម្មជាតិនៃអេទីឡែន

ធម្មជាតិរបស់អេទីឡែនគឺ មិនដូចអរម៉ូនដទៃទៀតទេ វាជាអរម៉ូនប្រភេទហ្គាស។ អេទីឡែន ជាអរម៉ូនដែលមានទម្រង់សាមញ្ញបំផុត សម្រាប់ការលូតលាស់របស់រុក្ខជាតិ។ វាត្រូវបានផលិតដោយគ្រប់រុក្ខជាតិ

ថ្នាក់ខ្ពស់ ទាំងអស់ហើយជា ទូទៅមានទំនាក់ទំនងជាមួយការទុំរបស់ផ្លែ។ អេទីឡែនត្រូវបានគេប្រើប្រាស់ជាហ្គាសសម្រាប់បន្ទុំ តាំងពីសម័យអេហ្ស៊ីបបុរាណមកម្ល៉េះហើយនៅក្នុងប្រទេសចិនសម័យបុរាណគេបានដុតធូបក្រអូប។



សម្ព័ន្ធគីមីរបស់ អេទីឡែន (Ethylene)

១០.៥.២ ប្រវត្តិនៃអេទីឡែន

ក្នុងអំឡុងឆ្នាំ១៨០០ នៅតាមដងផ្លូវទីក្រុងនៃប្រទេសអាឡឺម៉ង់ បានដាក់លម្អដោយអំពូលភ្លើងដែលប្រើប្រាស់ ឧស្ម័នទ្រទ្រង់ចំហេះ (Illuminating gas)។ បន្ទាប់ពីបានដាក់អំពូលនោះហើយ គេបានកត់សម្គាល់ ឃើញថា រុក្ខជាតិដែលដុះនៅជិតអំពូលនោះ ដើម និងស្លឹករបស់វាមានលក្ខណៈក្រាស់ និងស្លឹកជ្រុះពីដើម ច្រើន។ រហូតដល់ឆ្នាំ១៩០១ អ្នកវិទ្យាសាស្ត្រជនជាតិរូស្ស៊ីលោក Dimitry Neljubow បានបង្ហាញថានៅក្នុង ឧស្ម័នទ្រទ្រង់ចំហេះ (Illuminating gas) នោះគឺអេទីឡែន។ រហូតដល់ឆ្នាំ១៩១០ របាយការណ៍ប្រចាំឆ្នាំដែល ត្រូវប្រមូលទៅមន្ទីរ កសិកម្មជប៉ុនមានខ្លឹមសារថា ក្រូចមិនអាចទុកជាមួយ បាននោះទេ ដោយសារតែក្រូចបានបញ្ចេញសារធាតុ ម៉្យាង ដែលធ្វើឲ្យចេកទុំមុនពេល។ នៅក្នុងឆ្នាំ១៩៣៤ សារធាតុម៉្យាង នោះត្រូវបានបកស្រាយដោយលោក R. Gane ថាវាជាអេទីឡែនដែលបង្កើតឡើងដោយរុក្ខជាតិ។ តាមរយៈការស្រាវជ្រាវ ជាច្រើនបានបង្ហាញថាអេទីឡែន មានគ្រប់លក្ខណៈទាំងអស់នៃអរម៉ូនធម្មជាតិ ដែលវាត្រូវបានគេឲ្យឈ្មោះថា ជាអរម៉ូនរុក្ខជាតិប្រភេទ ហ្គាស (Gaseous plant hormones) ។ ក្រោយមកគេបានរកឃើញវត្តមានរបស់ អេទីឡែននៅក្នុងផ្សិតមួយចំនួនដូចជា *Penicillium digitatum*, *Alternaria citri* នៅក្នុងស្លឹក ផ្កា ផ្លែ នៃរុក្ខជាតិ ថ្នាក់ខ្ពស់មួយចំនួន។ នៅក្នុងបន្ទប់បិទជិតសម្រាប់បន្ទុំផ្លែសារី ។ នៅក្នុងឆ្នាំ ១៩៦៨ អ្នកសរីរវិទូ បានទទួលស្គាល់ថាវាគឺជាកំណត់ការលូតលាស់ ឬអរម៉ូន។ លោក Pratt និង Goeschl (1969) បានធ្វើការសិក្សាលើលក្ខណៈជីវនៃអេទីឡែន នៅក្នុងឆ្នាំ ១៩៦៨ ហើយបានធ្វើការប្រើប្រាស់ ពាក្យអរម៉ូនរុក្ខជាតិទៅលើ អេទីឡែន និងបានទទួលស្គាល់ថាវាជាអរម៉ូនធម្មជាតិ (Natural plant hormones) ។

១០.៥.៣ ជីវសំយោគនៃអេទីឡែន

អេទីឡែន អាចផលិតបានដោយគ្រប់ផ្នែកទាំងអស់នៃរុក្ខជាតិថ្នាក់ខ្ពស់។ បរិមាណនៃការផលិតរបស់វាពឹង ផ្អែកទៅលើ ប្រភេទនៃជាលិកា ឬដំណាក់កាលនៃការលូតលាស់របស់រុក្ខជាតិ។ ជាទូទៅនៅតំបន់នៃកោសិកាលូតលាស់ និងថ្នាំងមាន ការផលិតអេទីឡែនយ៉ាងសកម្ម។ ការផលិតអេទីឡែនត្រូវ បានកើនឡើងនៅពេល ដែលស្លឹកចាស់ ពេលដែលផ្ការោយ និងពេលផ្លែទុំ។ កត្តាដែលមាន ឥទ្ធិពលជំរុញការផលិតអេទីឡែន មានដូចជា នៅពេលដែលរុក្ខជាតិស្ត្រេស (ទឹកលិច ត្រជាក់ ជំងឺ ឬក៏ក្តៅខ្លាំងជាដើម) និងនៅពេលដែល ផ្នែកណាមួយនៃរុក្ខជាតិរងរបួស។ អេទីឡែនត្រូវបានបង្កើតដោយអាស៊ីតអាមីណេមេត្យូនីនត្រង់កន្លែងដែល មានស្ពាន់ធ័រ។ ការសំយោគរបស់វា ត្រូវការអុកស៊ីសែន នឹងត្រូវបង្អាក់ការសំយោគដោយកាបូនឌីអុកស៊ីត។ នៅពេលដែលរុក្ខជាតិមានកាបូន ឌីអុកស៊ីតចូលទៅ ការសំយោគអេទីឡែននឹងត្រូវថយចុះយ៉ាងខ្លាំង (Plant Hormones, 2021)។

អេទីឡែន មានសកម្មភាពគីមីជាច្រើននៅក្នុងរុក្ខជាតិ។ ពួកវាគឺ ការសំយោគ RNA សំយោគប្រូតេអ៊ីន ការបាត់បង់ប្រូតេអ៊ីន អង់ស៊ីមដូចជាៈ សេលុយឡាស (Cellualse) គ្លុយកាណាស (Glucanase) ប៉េទីណាស (Pectinase) ប៉ូលីកាឡាក់ទូរ៉ូណាស (Polygalacturonase) អាល់ហ្វាអាមីឡាស (α-amylase) កាតាឡាស (Catalase) ឈីទីណាស (Chitinase) ផេនីលអាឡានីនអាម៉ូញាក់លីយ៉ាស (Phenylalanine ammonia lyase) ពេរ៉ូអុកស៊ីដាស (Peroxidase) មីតូកុងទ្រី ក្លរ៉ូប្លាស ការសំយោគក្លរ៉ូភីល ការថយចុះនៃក្លរ៉ូភីល ការសំយោគការ៉ូតេណូអ៊ីត ជាតិពណ៌ និងការបង្កើតអង់តូស៊ីយ៉ានីន។

លទ្ធផលនៃមេតាបូលីសជាតិពណ៌ បានមកពីការបង្កើសកម្មភាពអេទីឡែន នៃអង់ស៊ីមដែលជាប់ទាក់ទង។ កំណែប្រែ នៃវេទីគុយឡូម អង់ដូរផ្លាស្មិចដែលបានកំណត់ការផ្លាស់ប្តូរក្នុងការសំយោគប្រូតេអ៊ីន ឬការដឹកជញ្ជូនប្រូតេអ៊ីន។ ដោយហេតុថា សកម្មភាពអេទីឡែនជាលទ្ធផលនៃការប្រើប្រាស់ដ៏មានប្រសិទ្ធភាពនៃ DNA, RNA និងការសំយោគប្រូតេអ៊ីន។

១០.៥.៤ មេតាប៉ូលីសនៃអេទីឡែន

អ្នកវិទ្យាសាស្ត្រជាច្រើនបានសិក្សាថា កាតាបូលីសនៃអេទីឡែនគឺធ្វើឡើងដោយផ្តល់ ទៅជាលិការបស់ រុក្ខជាតិ និង តាមដានសមាសជាតុវិទ្យុសកម្មដែលផលិត។ កាបូនឌីអុកស៊ីត អេទីឡែនអុកស៊ីត អេទីឡែនគ្លីកុល និងជាគូនៃគ្លុយកូស (Glucose conjugate) នៃអេទីឡែនគ្លីកុល ត្រូវបានរកឃើញថាវាជាមេតាបូលីសបំបែកផលិតផល។ សមាស ជាតុស៊ីក្លិចអូលីហ្វីន (Cyclicolefin) ដូចជា ១,៤-ស៊ីក្លូអ៊ិចសាឌីអែន (1,4-cyclohexadiene) ត្រូវបានគេបង្ហាញថា វាពារាំងការបំបែកនៃអេទីឡែន ដោយមិនបានរារាំងសកម្មភាពនៃអេទីឡែនទេ។ កាតាបូលីសនៃអេទីឡែន មិនមានភាពសំខាន់ទេនៅ ក្នុងការធ្វើឲ្យការកំណត់កម្រិតអរម៉ូន (Regulating the level of hormone) (Raskin and Beyer, 1989)។ ការតភ្ជាប់ (Conjugation) យើងដឹង

ហើយថានៅពេលដែល (Aminocyclopropane-1-carboxylic acid) វាងអុកស៊ីតកម្មវានឹងក្លាយទៅជាអេទីឡែន តែវាមិនមែនគ្រប់ករណី ទាំងអស់នោះទេ។ ACC ក៏អាចបម្លែងទៅជាទម្រង់តភ្ជាប់ផងដែរ (Conjugated form) គឺ N-malonyl ACC ដែលវាមិនបានបំបែកទៅជាអេទីឡែន។ ហើយទម្រង់មួយទៀត គឺ 1-(γ-L-glutamylamino) Cyclopropane-1-carboxylic acid (GACC)។ ទម្រង់មួយនេះដើរតួយ៉ាងសំខាន់សម្រាប់ការធ្វើជីវសំយោគនៃអេទីឡែន។

អេទីឡែន គឺដូចជាឧស្ម័នដែលអាចប្រើប្រាស់ច្រើនឬតិចយ៉ាងជិតស្និទ្ធក្នុងប្រព័ន្ធ ដូចគ្នាក្នុងផ្ទះកញ្ចក់ ឬកន្លែងបណ្តុះ ដើម្បីកំណត់ពីអត្ថប្រយោជន៍នៃអរម៉ូន។

- អេទេផុន (Ethephon)៖ 2-chloroethylphosphonic acid (CEPA, Ethepon) ជាបង្គុំដែលគេស្គាល់យ៉ាងច្បាស់នៅក្នុងក្រុមនេះ។ វាបញ្ចេញអេទីឡែននៅពេលដែលមាន pH លើ ៤.០ នៅក្នុងសូលុយស្យុងទឹក ប៉ុន្តែវាមានស្ថេរភាពនៅពេល pH ក្រោម ៤.០។
- Etacelasil ៖ 2-chloroethyl-tris-(2-methoxyethoxy)-silan (Etacelasil) ស្ថិតនៅក្រុម 2-chlorosilanes ហើយវាក៏បញ្ចេញអេទីឡែនផងដែរ នៅក្នុងសូលុយស្យុងទឹក។
- Haloethylsulfinic ៖ ក្រុមទី៣ ដែលបញ្ចេញបង្គុំអេទីឡែនគឺ 2-haloethylsulfinic acid និងដែលបំលែងចេញមក។
- 2-Hydroxethylhydrazine ៖ គឺជាអ្នកតម្រូវលូតលាស់ (Growth regulators) 2-hydroxethyl hydrazine បង្កើតអោយមានប្រតិកម្មផ្សេងៗគ្នានៃអេទីឡែន នៅក្នុងរុក្ខជាតិ។
- ការបញ្ចេញបង្គុំអេទីឡែនដ៏ទៃទៀត ៖ ប្រភេទគឺមីបីប្រភេទ ដែលមិនទាក់ទងនឹងតម្រូវលូតលាស់ដែលលើកឡើងដូចជា Cycloheximide (ឈ្មោះពាណិជ្ជកម្ម Act-Aid), Glyoxal-dioxim (ឈ្មោះពាណិជ្ជកម្ម Pik-off) និង 5-chloro-3-methyl-4-nitro-IH-pyrazol (ឈ្មោះពាណិជ្ជកម្ម Release)។ បង្គុំទាំងនេះគឺមានអត្ថប្រយោជន៍សម្រាប់ការប្រើប្រាស់នៅលើចម្ការ នៅក្នុងការជ្រុះផ្លែក្រូច (Citrus fruit abscission)។

១០.៥.៥ ការប្រើប្រាស់អេទីឡែនក្នុងវិស័យកសិកម្ម

ប្រហែលជារុក្ខជាតិ ទាំងអស់ផលិតអេទីឡែន ហើយកោសិកាទាំងអស់គឺមាននៅពពួកអេទីឡែនទៅតាមវគ្គលូតលាស់របស់រុក្ខជាតិ។ ប៉ុន្តែកោសិកាទាំងអស់ មិនត្រូវទទួលបានឥទ្ធិពលរបស់វាបានស្មើគ្នាឡើយ ហើយកោសិកាជាច្រើនដែលឆ្លើយតបទៅអេទីឡែន គឺមានទៅតាមវគ្គផ្សេងៗនៃការវិវឌ្ឍ។ កោសិកាដែលប៉ះពាល់ គឺមានពេលវេលាជាក់លាក់ នៃម៉ូលេគុលដែលបន្ថែមដែលអាចឱ្យវាទទួលស្គាល់ និងឆ្លើយតបទៅនិងអេទីឡែន។ អេទីឡែនត្រូវបានទៅ ភ្ជាប់ទៅនិងធ្នូល (Receptor) ដែលអាចឱ្យមានប្រតិកម្មដំបូង និងបន្ទាប់មកបង្កើតឱ្យមានប្រតិកម្មដទៃទៀត រួមទាំងកំណែប្រែនៃការសម្តែងសែន (Gene expression)។

ជាធម្មតា នៅក្នុងដំណាំត្រសក់ និងមេឡុនបង្កើតផ្កាឈ្មោលលឿនជាង ផ្កាញី។ អេទីឡែន ជួយជម្រុញផលិតកម្មនៃការចេញផ្កាញីបានរហ័ស។ ហើយនៅក្នុងការបង្កាត់រុក្ខជាតិ នៃផលិតកម្មធញ្ញជាតិ នៃគ្រាប់

ពូជអ៊ីប្រ៊ីត អេទីឡែនត្រូវបានប្រើប្រាស់ដើម្បីបង្កើនទិន្នផល និងគុណភាពគ្រាប់។ អេទីឡែនត្រូវបានដាក់នៅពេលវេលាដាក់លាក់ នៃការវិវឌ្ឍគ្រាប់លម្អង ដែលបង្ករអោយមានការបង្អាក់កាម៉ែតឈ្មោល។

- ជំនួយឲ្យឆាប់ចេញផ្កា៖ អេទីឡែនត្រូវបានគេដឹងថា បង្អាក់ការចេញផ្ការបស់រុក្ខជាតិប្រភេទ (Species) មួយចំនួន ប៉ុន្តែរុក្ខជាតិប្រភេទខ្លះវាក៏ជម្រុញដល់ការចេញផ្កាដែរដូចជាស្វាយ ម្នាស់ និងរុក្ខជាតិលម្អមួយ ចំនួន។ អ្នកដាំស្វាយជនជាតិហ្វីលីភីន និងអ្នកដាំម្នាស់ជនជាតិប៉ើតូរីកូ (Puerto Rico) បានដុតភ្នក់ភ្លើង ក្បែរដំណាំរបស់ពួកគាត់។ ភ្លើងនោះបង្កើតអេទីឡែន ដែលជួយឲ្យរុក្ខជាតិគាត់ចេញផ្កា។ បច្ចុប្បន្នអ្នក ដាំម្នាស់នៅរដ្ឋហាវ៉ៃ (Hawaii) បានបាញ់អេទីផុន (Ethepon) ទៅលើម្នាស់របស់គាត់។
- ពន្លឿនការជ្រុះស្លឹក (Hastens leaf abscission)៖ ការជ្រុះស្លឹកបណ្តាលឲ្យការផលិត អេទីឡែនកើនឡើង ហើយវាបណ្តាលឲ្យបំបែក ឡាមេឡា (Lamella) ដែលធ្វើឲ្យស្លឹកជ្រុះ។ វាមានសារប្រយោជន៍ដល់សាកវប្បកម្មវិទូ ដែលពួកគេបានបង្រួមពេលនៃការប្រមូលផល ឆឺរី ទំពាំងបាយជូរ ប្លូបឺរីជាដើម។ ពួកគេបានបាញ់អេទីផុន (Ethepon) ដើម្បីឲ្យស្លឹកឆាប់ជ្រុះ ដែលធ្វើឲ្យពួកគេប្រមូលផល ក្នុងរយៈពេលខ្លីជាងមុន។
- សែនកំណត់ភេទរបស់ផ្កា (Determine gene expression)៖ ទាំងអេទីឡែន និងជីបឺរេលីន គឺជាអ្នកកំណត់ភេទរបស់ផ្កា របស់រុក្ខជាតិម៉ូណូអ៊ីស្សីស (Monoecious plant) ដែលជារុក្ខជាតិមានផ្កាញីនិងផ្កាឈ្មោលនៅលើដើមតែមួយ (Monoecious plant)។ ក្រពុំផ្កាដែលបានបាញ់អេទីផុន វានឹងក្លាយទៅជាផ្កាញី ចំណែកផ្កាដែលបានបាញ់ជីបឺរីលីន វិញវានឹងក្លាយទៅជាផ្កាឈ្មោល។
- អេទីឡែនជួយបំបែកដំណេកគ្រាប់៖ អេទីឡែនអាចបង្កើនអត្រាដំណុះសម្រាប់រុក្ខជាតិនៅក្នុងប្រភេទមួយចំនួន។ វាក៏ត្រូវបានគេដឹងថាជួយបំបែកដំណេកផ្កាផងដែរ។ ពេលខ្លះអេទីឡែនត្រូវបានគេប្រើប្រាស់ សម្រាប់ធ្វើឲ្យមានដំណុះរបស់ដំឡូងបារាំងផងដែរ (Bud sprouting) និងមើមដទៃទៀត។
- ជំនួយដល់ការពន្លូតដើម សម្រាប់រុក្ខជាតិក្នុងទឹក (Ethylene promotes the elongation growth of submerged aquatic species)៖ ទោះបីជាយើងបានដឹងហើយថា អេទីឡែនអាចរារាំងដល់ការពន្លូតដើម តែ សម្រាប់រុក្ខជាតិក្នុងទឹកវាអាចជួយពន្លូតដើម និងទងស្លឹកបាន ដែលមានរុក្ខជាតិឌីកូទីលេដូនមួយចំនួនដូចជា *Rannunculus scerleatus, Nymphides peltate* និង *Callitriche platycarpa* (Taiz and Zeiger, 2002)

ការជ្រុះនៃស្លឹក ផ្លែ ផ្កានិងសរីរាង្គផ្សេងទៀតរបស់រុក្ខជាតិ ត្រូវបានគេកំណត់ថា ការជ្រុះ (Abscission)។ ការជ្រុះនេះគឺកើតឡើងនៅក្នុងស្រទាប់កោសិកាជាក់លាក់ ដែលត្រូវបានហៅថាការជ្រុះនៃស្រទាប់ (Abscission layers) ដែលបានក្លាយជាលក្ខណៈរូបសាស្ត្រនិងគីមីសាស្ត្រផ្សេងពីគ្នា ក្នុងពេលការវិ

វង្ខ្លាសរីរាង្គ។ ភាពចុះខ្សោយនៃជញ្ជាំងកោសិកា នៅពេលដែលជ្រុះស្រទាប់កោសិកាណាមួយ ដែលពឹងផ្អែកលើអង់ស៊ីមដែលធ្វើឱ្យកសាងជញ្ជាំងកោសិកាមានដូចជា សែលុយឡូស (Cellulose) និងប៉ូលីកាឡាក់ទុយរ៉ូណាស (Polygalacturonase)។ សមត្ថភាព នៃឧស្ម័នអេទីឡែនដែលធ្វើជ្រុះស្លឹក (Defoliation) នៅក្នុងប្រភេទធម្មជាតិ ដែលបង្ហាញនៅក្នុងរូបខាងក្រោម។

រូបភាព ១០.១១៖ ឥទ្ធិពលនៃអេទីឡែន ទៅលើប្រភេទរុក្ខជាតិ Birch (*Betula pendula*)។ រុក្ខជាតិ ផ្នែកខាងឆ្វេងគឺជាប្រភេទធម្មជាតិ ចំណែករុក្ខជាតិខាងស្តាំគឺផ្លាស់ទៅជាទម្រង់មុយតង់ សែន ETR1-1ទទួលយកអេទីឡែនលើពួក *Arabidopsis*។ ប្រភព៖ Sen, S.P (1984)

អេទីឡែន គឺកើតឡើងទៅជាធាតុទី១ ដែលជាអ្នកកំណត់ដំណើរការនៃការជ្រុះ ហើយជាមួយនិងអូស៊ីន វាដើរតួនាទីជាអ្នកបង្អាក់ឥទ្ធិពលរបស់អេទីឡែន។ ទោះបីជាយ៉ាងណាក៏ដោយ កំហាប់អូស៊ីនច្រើនល្អបំផុត ក្នុងការជួយជំរុញផលិតកម្មអេទីឡែន ដែលឈានទៅដល់ការប្រើប្រាស់អាណាឡូកអូស៊ីនជាអ្នកធ្វើអោយជ្រុះស្លឹក។ ឧទាហរណ៍: 2,4,5-T សារជាតុសកម្មនៅក្នុងពពួកថ្នាំ Agent Orange ដែលត្រូវបានប្រើប្រាស់យ៉ាងទូលំទូលាយសម្រាប់ធ្វើឱ្យជ្រុះស្លឹកកំឡុងពេលសង្គ្រាមវៀតណាម។ សកម្មភាពរបស់វាគឺពឹងផ្អែកទៅលើការបង្កើនសមត្ថភាពរបស់វាលើជីវសំយោគអេទីឡែនដោយហេតុថា វាជួយជំរុញការជ្រុះនៃស្លឹក។ គំរូ នៃការគ្រប់គ្រងការធ្លាក់នៃស្លឹកត្រូវបានបរិយាយនៃដំណើរការក្នុង ៣វគ្គបន្តបន្ទាប់គ្នា៖

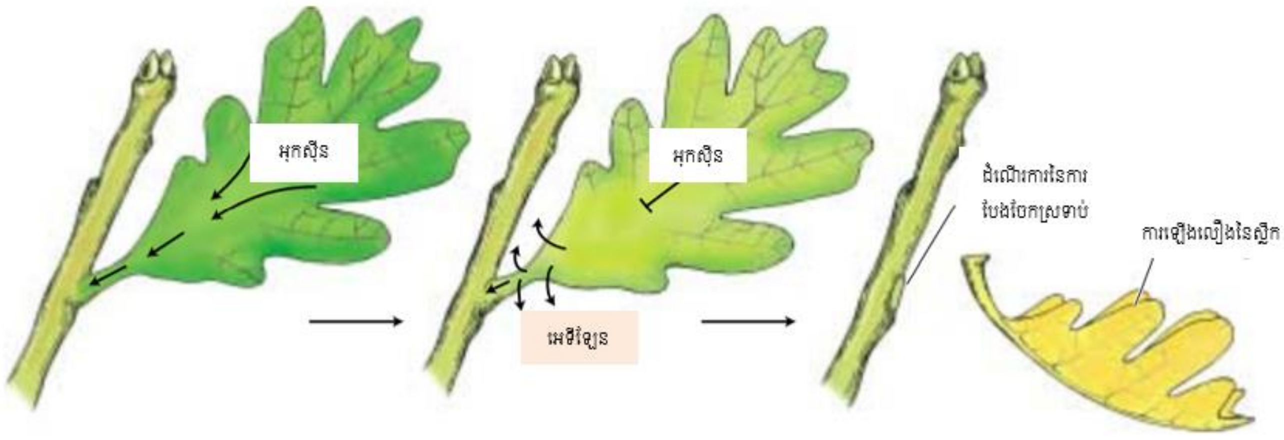
១. វគ្គថែរក្សាស្លឹក (Leaf maintenance phase)៖ រហូតដល់វាលេចចេញនូវសញ្ញាផ្សេងៗ (រួមទាំងកត្តាខាងក្រៅ និងខាងក្នុង) ដែលផ្តើមដំណើរការធ្លាក់ស្លឹក។ ស្លឹកបន្តមានសុខភាពល្អនិងបំពេញតួនាទីគ្រប់យ៉ាងនៅក្នុងរុក្ខជាតិ។ ការទេរ នៃអុកស៊ីនមកពីបន្ទះស្លឹក ទៅកាន់ដើមរក្សាតំបន់ជ្រុះស្លឹកដែលមិនមានភាពប្រែប្រួល។

២. វគ្គអាំងឌុចស្យុងនៃការជ្រុះស្លឹក (Shedding induction phase)៖ ការកាត់បន្ថយឬ ការត្រឡប់ទៅក្រោយនៅក្នុងទីតាំងទេរនៃអុកស៊ីនមកពីស្លឹក ដែលជាទូទៅមានការចូលរួមពីការឡើងចាស់នៃស្លឹកដែលបណ្តាល ឱ្យតំបន់ជ្រុះស្លឹកក្លាយជាមានភាពរួស (Sensitive) ទៅនិងអេទីឡែន។ ប្រព្រឹត្ត

កម្មដែលបង្កើនការចាស់នៃស្លឹក ដែលអាចជម្រុះការជ្រុះនៃស្លឹកដោយជៀតចូលជាមួយការសំយោគអុកស៊ីន និងដឹកនាំទៅក្នុងស្លឹក។

ចំណាំ៖ អាំងឌុចស្យុង គឺជាកំណែតម្រូវលើការសម្តែងសែន ដែលទាក់ទងទៅនិងការប្រែប្រួលកុងផរម៉ាស្យុង នៃសែនដោយវត្តមានរបស់សមាសធាតុមួយ (អាំងឌុចទ័រ)។

៣. វគ្គជ្រុះស្លឹក (Shedding phase)៖ កោសិកាដែលតំណាងភាពស៊ាំនៃតំបន់ជ្រុះស្លឹក ដែលឆ្លើយតបទៅនិងកំហាប់ទាបនៃអេទីលែន ដែលមាននៅក្នុងរុក្ខជាតិដោយការសំយោគនិងការបញ្ចេញ (Secretion) ដោយអង់ស៊ីម សែលុយឡាស់និងក្នាសកោសិកាដទៃទៀតដែលជាហេតុនាំឱ្យមានការជ្រុះស្លឹក។



វគ្គថែរក្សាស្លឹក៖ កម្រិតនៃអុកស៊ីនខ្ពស់នៅស្លឹក បន្ថយការបង្កើតអេទីឡែននៃតំបន់ជ្រុះស្លឹក និងការធ្លាក់ស្លឹក

វគ្គអាំងឌុចស្យុង នៃការជ្រុះស្លឹក៖ ការថយចុះនៃអុកស៊ីននៃស្លឹក បង្កើនផលិតកម្មអេទីឡែន និងភាពរួសនៃអេទីឡែន នៅក្នុងតំបន់ជ្រុះស្លឹក ដែលធ្វើឱ្យការជ្រុះស្លឹកកើតឡើង

វគ្គជ្រុះស្លឹក៖ ការសំយោគអង់ស៊ីមដែល ប៉ូលីសាក់ការីតនៃក្នាសកោសិកា ញែកដោយជាតុទឹកដែលជាលទ្ធផលនៅក្នុងការបែងចែក កោសិកា ហើយនិងការជ្រុះនៃស្លឹក

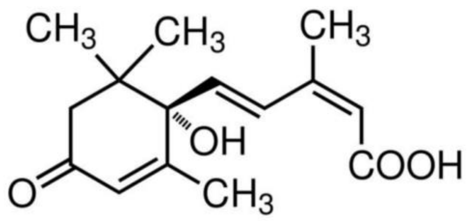
រូបភាព ១០.១២៖ តួនាទីរបស់អុកស៊ីន និងអេទីឡែនកំឡុងពេលដែលស្លឹកឡើងចាស់។ នៅក្នុងដំណាក់កាល ស្លឹកធ្លាក់កម្រិតអុកស៊ីនធ្លាក់ចុះហើយកម្រិតអេទីឡែនកើនឡើង។ ការផ្លាស់ប្តូរតុល្យភាពនៃអរម៉ូនទាំងនេះ គឺបណ្តាលមកពីភាពធាប់ប្រែប្រួលពីតំបន់សកម្មនៃកោសិកាទៅកាន់អេទីឡែន (After Morgan 1984.)។

១០.៦ អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA)

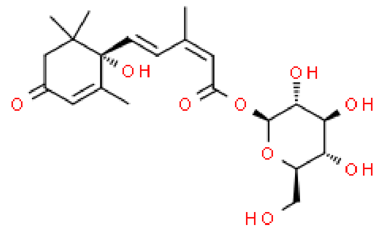
១០.៦.១ ប្រវត្តិអាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA)

នៅឆ្នាំ១៩៦៣ អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) ត្រូវបានធ្វើអត្តសញ្ញាណកម្មដំបូងដោយលោក Frederick Addicott និងសហការីរបស់ គាត់។ ពួកគេបានសិក្សាពីសមាសធាតុដែលធ្វើឲ្យផ្លែជ្រុះ។ សមាសធាតុ២ ត្រូវបានញែកចេញដែលក្លាយជា Abscisin I និង Abscisin II ។ Abscisin II គឺជា ABA ដែលត្រូវប្រើប្រាស់បច្ចុប្បន្ន។ ដែលសិក្សាពីដំណោក មានក្រុម២ផ្សេងទៀតក៏មាន ការរកឃើញដូចគ្នានេះដែរ។ ក្រុមទីមួយដឹកនាំដោយលោក Philip Wareing ដែលសិក្សាពីដំណោកគ្រាប់នៅក្នុងរុក្ខជាតិឈើ (Woody plant) ហើយក្រុមមួយទៀតដឹកនាំដោយលោក Van Steveninck ដែលសិក្សាអំពីការជ្រុះនៃផ្កា និងផ្លែ។ រុក្ខសិរីវិទូទាំងនោះបានយល់ស្របគ្នាហៅសមាសធាតុនោះ ថាអាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (Abscisic acid)។ ទម្រង់ម៉ូលេគុល នៃបង្គុំទាំងពីរនេះត្រូវបានរកឃើញហើយធ្វើអត្តសញ្ញាណ និងការប៉ាន់ស្មានដល់ការរារាំងការលូតលាស់គឺត្រូវបានដាក់ឈ្មោះថា អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (Abscisic acid)។

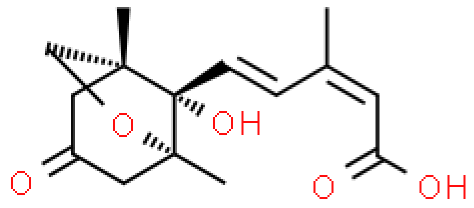
អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) គឺជាបង្គុំដែលមានកាបូន ១៥ ដែលដូចផ្នែកចេញនៃម៉ូលេគុលពពួកការ៉ូតេណយ (Carotenoids)។ ការណែនាំពី បង្គុំកាបុកស៊ីលនៅកាបូនទី២ កំណត់ពីអ៊ីសូមែ *cis* និង *trans* នៃអាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA)។ ស្ទើរតែទាំងអស់នៃអាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) កើតឡើងនៅក្នុងធម្មជាតិគឺស្ថិតនៅក្នុងទម្រង់ *cis* និងមានការយល់ស្របពីឈ្មោះអាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) ដែលរួមបញ្ចូលទាំងអ៊ីសូមែរបស់វា។



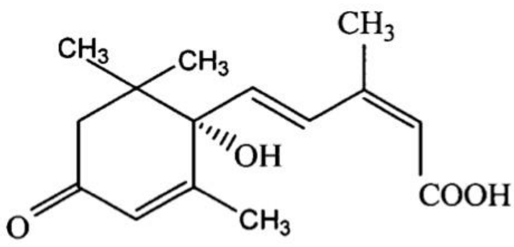
អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (abscisic acid)



គ្លុយកូស អេស្ទែនៃអាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត



Phaseic acic



4-dihydrophaseic acid

១០.៦.២ ធម្មជាតិនៃអាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA)

អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) គឺជាសមាសធាតុទោល មិនដូចអុកស៊ីន ជីបឺរលីន និងស៊ីតូគីនីនទេ។ វាត្រូវបានគេហៅថា Abscisin II ដោយសារតែវាដើរតួជាអ្នកធ្វើឲ្យជ្រុះផ្លែ។ ជាមួយគ្នានោះដែរគេក៏ហៅវាថា Dormin ដោយសារតែពួកគេគិតថា អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) ដើរតួយ៉ាងសំខាន់ក្នុងដំណេកគ្រាប់។ ឈ្មោះថាអាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) ត្រូវបានបង្កើតឡើងដោយក្រុម២។ អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត(ABA)មុខងារជំរុញត្រូវបានគេគិតថាវាដើរតួយ៉ាងសំខាន់ក្នុងការរារាំងផងដែរ (Basics of plant physiology, 2021)។

មានកត្តាខាងក្រៅផ្សេងៗដែលធ្វើការបញ្ចេញគ្រាប់ពី ដំណេកអំប្រីយ៉ូ ហើយគ្រាប់ដែលគ្មានសមត្ថភាពធ្វើការឆ្លើយតបមួយក្នុងកត្តាទាំងបីនេះ៖

១. រយៈពេលលូតលាស់បន្ថែមបន្ទាប់ពីទុំ (After ripening)៖ គ្រាប់រុក្ខជាតិជាច្រើនត្រូវបានបាត់បង់ដំណេកគ្រាប់របស់ពួកវានៅពេលដែលសំណើមត្រូវបានថយចុះនៅកម្រិតមួយជាក់លាក់ ដោយសារងាប់ បាតុភូតនេះហៅថា រយពេលលូតលាស់បន្ថែម។

២. សីតុណ្ហភាពទាប (Chilling or low temperature)៖ អាចធ្វើឱ្យគ្រាប់ផុតចេញពីដំណេកគ្រាប់។ គ្រាប់ជាច្រើនត្រូវការរយពេលត្រជាក់ (០-១០°C) ក្នុងវគ្គជ្រាបទឹកចូលក្នុងសាច់គ្រាប់ (Imbibed) ដើម្បីធ្វើការដុះ។

៣. ពន្លឺ៖ គ្រាប់ជាច្រើនត្រូវការពន្លឺ សំរាប់ដំណុះគ្រាប់ដែលអាចចូលរួមនៅពេលតែដាក់ឱ្យត្រូវរយៈពេលខ្លីតែប៉ុណ្ណោះ ដូចជាក្នុងករណីគ្រាប់សាលាដ។ ឧទាហរណ៍៖ ពពួក Succulent នៃពួក (genus) *Kalanchoe* ឬសូម្បីតែរយៈពេលភ្លឺ (Photoperiod) ជាក់លាក់ដែលទាក់ទងនិងថ្ងៃខ្លីឬវែង។

១០.៦.៣ ជីវសំយោគនៃ ABA

អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) កើតមាននៅក្នុងរុក្ខជាតិយកផ្កា នៃអង់ស្យូស្ពែម (Angiosperm) រុក្ខជាតិយកគ្រាប់ (តែមិនមាននៅក្នុងរុក្ខជាតិប្រភេទ Liverworts ទេ)។ អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) នៅក្នុងរុក្ខជាតិសំយោគបានពីការ៉ូទីណូណយ (Carotenoid)។ នៅពេលដែលវាត្រូវបាន សំយោគហើយធ្វើដំណើរនៅក្នុងរុក្ខជាតិតាមស៊ីឡែម ផ្លូអែម និង ប៉ារ៉ង់ស៊ីម (Parenchyma)។ ដូចគ្នានិងអរម៉ូនដទៃទៀត ការឆ្លើយតបទៅនឹងអាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) គឺពឹងផ្អែកទៅលើកំហាប់របស់វានៅក្នុងជាលិកាហើយនិងភាពប្រែប្រួលជាលិកាទៅនឹងអរម៉ូន។ ដំណើរការនៃជីវសំយោគ កាតាបូលីស ថតកោសិកា និងការដឹកជញ្ជូនទាំងអស់ដែលចូលរួមទៅនឹងកំហាប់នៃសកម្មភាពអរម៉ូន នៅក្នុងជាលិកាដែលផ្តល់អោយក្នុងវគ្គណាមួយនៃការវិវឌ្ឍរបស់រុក្ខជាតិ។ លំនាំ(pathway)ជីវសំយោគពេញលេញ នៃអាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) ដែលត្រូវបានបង្ហាញឱ្យបានច្បាស់ពីការជួយរបស់ មុយតង់ខ្វះអាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) តាមលំនាំមួយជាក់លាក់។

ជីវសំយោគពេញលេញនៃអាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) កើតឡើងនៅក្នុងក្លរ៉ូប្លាស់ និងកោសិកាផ្លាស្ទីតដទៃទៀតតាមរយៈលំនាំប្រតិកម្មដែលកើតមានឡើង។ ពពួកមុយតង់ខ្វះអាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA-deficeint mutant) ត្រូវបានធ្វើអត្តសញ្ញាណជាមួយជាលិកាជាក់លាក់ក្នុងលំនាំតាមដំណាក់កាលនីមួយៗ។ ពួកមុយតង់ទាំងនេះ បង្ហាញផេណូទីបដែលខុសពីធម្មតា ហើយដែលកែតម្រូវដោយប្រើប្រាស់អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) ពីខាងក្រៅ។ ឧទាហរណ៍៖ Flacca (flc) និង Sitiens (sit) ជាមុយតង់ប្រភេទធម្មជាតិ (Wilty mutants) នៃប៉េងប៉ោះដែលស្លឹកមានទំនោរទៅកាន់ភាពស្រពោន (ដោយសារអសមត្ថភាពនៃការបិទរន្ធស្តូម៉ាត) អាចត្រូវបានការបារដោយការប្រើប្រាស់នៃអាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) ពីខាងក្រៅ។ *aba* មុយតង់នៃរុក្ខជាតិ *Arabidopsis* បង្ហាញពីផេណូទីបធម្មជាតិផងដែរ។ ពពួកមុយតង់ទាំងនេះ និងដទៃទៀតគឺមានសារសំខាន់ក្នុងការស្រាយបំភ្លឺអោយច្បាស់ នៃលំនាំទាំងនេះ។

១០.៦.៤ មេតាប៉ូលីសនៃអាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA)

អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) ត្រូវបានដឹងនាំតាមរយៈស៊ីឡែមនិងផ្លូអែមតែជាទូទៅតាមរយៈផ្លូអែម។ នៅពេលដែលវិទ្យុសកម្មនៃ អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) ត្រូវបានដឹកជញ្ជូនទៅកាន់ផ្នែកដើម និងឫស។ ការសំយោគ អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) នៅក្នុងឫសត្រូវបានដឹកនាំ ទៅកាន់ដើម តាមរយៈស៊ីឡែម។ កំហាប់នៃ ABA ក្នុងផ្កាឈូករ័ត្នដែលស្រោចទឹកគ្រប់គ្រាប់មានពី ១.០ ទៅ ១៥.០ ណាណូម៉ូល ហើយ នៅពេលដែលវាស្ត្រេសកំហាប់កើនដល់ ៣០០០ ណាណូម៉ូល។ អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) ជួយដល់ការលូតលាស់ឫស និងរារាំងការ លូតលាស់ដើមនៅពេលទឹកទាប (Low water potential)។ អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) មានឥទ្ធិពលខុសគ្នា ទៅលើការលូតលាស់ឫស និងដើម ហើយឥទ្ធិពលនោះអាស្រ័យទៅលើទឹក។ ការប្រៀបធៀបគ្នា ទៅលើការលើការលូតលាស់ឫស និងដើម នៃពោត ក្នុងលក្ខខណ្ឌទឹកច្រើនឬក៏ក្នុងលក្ខខណ្ឌទឹកតិច។ កូនរុក្ខជាតិ២ ត្រូវបានប្រើប្រាស់។ ទី១ កូនរុក្ខជាតិ ព្រៃ ជាមួយនឹងកម្រិត អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) ធម្មតា។ ទី២ កូនរុក្ខជាតិព្រៃដែលខ្វះ អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) ។ នៅពេលដែលទឹកត្រូវបានដាក់ បញ្ចូលដើមរុក្ខជាតិបានដុះលូតលាស់ល្អ (រុក្ខជាតិមានកម្រិត ABA ធម្មតា) ជាងកូនរុក្ខជាតិដែលខ្វះអាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) ។

១០.៦.៥ ដំណេកគ្រាប់

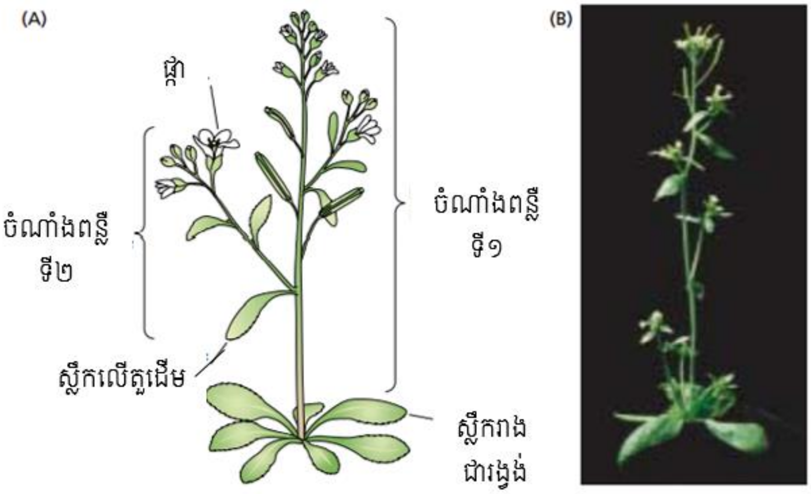
អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) ពន្យាពេលដំណេកគ្រាប់។ សម្រាប់ប្រភេទរុក្ខជាតិមួយចំនួន ពន្យាពេលនៃដំណុះគ្រាប់។ ស្រដៀង គ្នានោះដែរចំនួននៃអាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) ថយចុះនៅពេលដែលគ្រាប់បានដុះពន្លក។ ទោះបីជាយ៉ាងណាក៏ដោយការសន្និដ្ឋាន មិនមានលក្ខណៈទូទៅទេ ព្រោះករណីខ្លះនៅពេលដែលមានដំណុះគ្រាប់វាគ្មានការប្រែប្រួលនៃអាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) ទេ។ តួនាទីនៃអាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) អំឡុងពេលការវិវត្តនៃគ្រាប់ គឺរក្សាអំប្រីយ៉ុង រហូតដល់វាលូតលាស់ពេញលេញដែលវាអាច

មានដំណុះដោគជ័យ។ គ្រាប់នៃរុក្ខជាតិប្រភេទខុសគ្នាមានពេលវេលាដំណោកខុសគ្នាដែរ។ តួនាទីនៃអាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) ក្នុងដំណើរការនេះបង្ហាញពីលក្ខណៈសេនេទិច និងលក្ខណៈសរីរៈ។ នៅពេលដែលកម្រិត អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) ទាបនៅក្នុងពេលវិវត្តន៍ដំបូង វានឹងកើនឡើងវិញនៅពេលពាក់កណ្តាលនៃការវិវត្តនៃអំប្រីយ៉ូ (Mid-maturation) (Kermode, 2005)។ មានជីវវិភាគទៅលើពូជរុក្ខជាតិជាច្រើន សំរាប់អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត (ABA) រួមបញ្ចូលទាំងការរារាំងការលូតលាស់កូលេអុបទីល (Coleoptile) ដំណុះគ្រាប់ និងបង្កើតការការសំយោគអាល់ហ្វាអាមីឡាស់ (α-amylase)។ ផ្សេងពីនេះ វាជួយដល់ការបិទរន្ធស្តូម៉ាត ការសម្តែងសែន។ វិធីសាស្រ្តរូបសាស្រ្តនៃការរកឃើញគឺមានជឿទុកចិត្តជាងនេះទៀតគឺជីវវិភាគ ពីព្រោះពួកវាមានលក្ខណៈជាក់លាក់និងភាពសមស្រប សម្រាប់ការវិភាគបរិមាណ។ បច្ចេកទេសដែលគេប្រើប្រាស់ទូលំទូលាយបំផុតគឺ វិធីសាស្រ្តញែកល្បាយតាមរយៈឧស្ម័ន ឬក្រូម៉ាតូក្រាបភី (Gas chromatography) ឬតាមវិធីសាស្រ្តការញែកល្បាយតាមជាតុរាវ (High Performance Liquid Chromatography = HPLC)។

១០.៧ ការគ្រប់គ្រងការចេញផ្កា (The control of flowering)

ផ្កាតំណាងឱ្យ ភាពរៀបចំសាំញ៉ាំនៃតួនាទីនីមួយៗទៅតាមទម្រង់ ដែលវាមានសារៈសំខាន់ខុសៗគ្នាក្នុងទម្រង់ និងប្រភេទកោសិកានៃសរីរាង្គលូតលាស់រុក្ខជាតិ។ ការប្តូរទៅវគ្គចេញផ្កាតម្រូវឱ្យមានការផ្លាស់ប្តូរ រ៉ាឌីខល (Radicle) នៅក្នុងកោសិកានៃពន្លកមេជាលិកាកំពូល (Shoot apical meristem)។ តាមការសិក្សាថ្មីៗនេះ គឺមានប្រភេទសែនដែលបានធ្វើអត្តសញ្ញាណ ហើយបានដើរតួនាទីក្នុងការបង្កើតសរីរាង្គផ្កា (Floral organ)។ ព្រឹត្តិការណ៍នេះ កើតឡើងនៅក្នុងពន្លកត្រួយ (Shoot apex) ដែលមានតួនាទីក្នុងការធ្វើឱ្យមេជាលិកាកំពូល (Apical meristem) ផលិតផ្កាដែលត្រូវបានប្រមូលសំដៅទៅលើការរំញោចផ្កា (Floral evocation)។ មានកត្តាដែលកើតពីខាងក្នុងជាច្រើនជាអ្នកកំណត់ការវិវឌ្ឍការរំញោចផ្កា ដូចជាចង្វាក់សកម្មភាពប្រចាំថ្ងៃ (Circadian rhythms) ការផ្លាស់ប្តូរវគ្គ (Phase change) និងអរម៉ូនហើយវាក៏មានការចូលរួមពីកត្តាខាងក្រៅដូចជា រយៈពេលភ្លឺ (Photoperiod) និងសីតុណ្ហភាពដែលសំដៅទៅលើ ការចេញផ្កាដែលបណ្តាលមកពីសីតុណ្ហភាពត្រជាក់ (Vernalization)។ នៅក្នុងករណីនេះ វដ្តពន្លឺ (Photoperiodism) សញ្ញាដែលបញ្ជូនទៅបានតាមរយៈស្លឹក ដែលនៅក្នុងទម្រង់នេះត្រូវបានហៅថា ការជំរុញផ្កា (Floral stimulus) ដែលធ្វើការផ្លាស់ទី ទៅកាន់ពន្លកមេជាលិកាកំពូល។ អន្តរអំពើនៃកត្តាខាងក្នុង និងខាងក្រៅទាំងអស់នេះអាចធ្វើឱ្យរុក្ខជាតិធ្វើសមកាលកម្ម (Synchronize) វិវត្តន៍ការបន្តពូជជាមួយនិងបរិស្ថាន។ មេជាលិកាផ្កា (Floral meristem) មានលក្ខណៈខុសគ្នាពី មេជាលិកាលូតលាស់ (Vegetative meristem) ទោះបីជានៅដើមនៃវគ្គបន្តពូជ ដោយសំគាល់តាមទំហំធំជាងរបស់វា។ ការប្តូរពីវគ្គលូតលាស់ទៅ វគ្គបន្តពូជត្រូវបានសម្គាល់ដោយការបែងចែកកោសិកានៅក្នុងតំបន់កណ្តាលនៃ មេជាលិកាពន្លកត្រួយ។ នៅក្នុងពន្លកលូតលាស់ កោសិកាដែលស្ថិតនៅផ្នែកកណ្តាលនៃបំពេញវដ្តនៃការបែងចែកកោសិកាយ៉ាងយឺត។ ដោយការវិវត្ត

ការបន្តពូជចាប់ផ្តើម ការបង្កើនទំហំនៃពន្លកត្រួយគឺឡើងធំ ដែលជាលទ្ធផលនៃការបង្កើន អត្រានៃការបែងចែក នៃកោសិកាផ្នែកកណ្តាលទាំងនេះ។ ថ្មីៗនេះមានការសិក្សាពីសេនេទិច និងម៉ូលេគុល ដែលបានធ្វើអត្តសញ្ញាណសែន ដែលគ្រប់គ្រងកំណផ្កា (Floral morphogenesis) នៅក្នុងរុក្ខជាតិ *Arabidopsis*, snapdragon (*Antirrhinum*) និងប្រភេទដទៃទៀត។



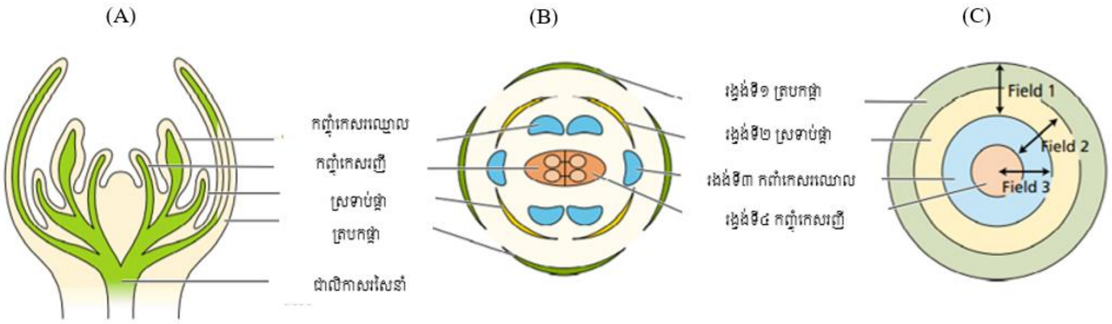
រូបភាព ១០.១៣៖ (A) មេជាលិកាកំពូលនៃរុក្ខជាតិ *Arabidopsis taliana* នៃសរីរាង្គលូតលាស់ផ្សេងគ្នា។ នៅវគ្គដំបូងនៃការលូតលាស់ ពន្លកជាលិកាកំពូលមានស្លឹករាងរង្វង់នៃផ្នែកគល់។ នៅពេករុក្ខជាតិប្តូរទៅវគ្គផ្កា ពន្លកជាលិកាកំពូលប្រែទៅជាពន្លកជាលិកាទទួលចំណាំងពន្លឺទី១ និងចំណាំងពន្លឺទី២ និងធ្វើការលូតដើមដែលអាចមានផ្កា និងបង្កើតស្លឹកលើតួដើម។ (B) រូប Arabidopsis (Photo courtesy of Richard Amasino.)

១០.៧.១ សរីរាង្គផ្កា បួនប្រភេទខុសគ្នាដែលកើតឡើងជារាងរង្វង់

ពន្លកផ្កា (Floral meristem) កើតឡើងនៅក្នុងទម្រង់ ៤ប្រភេទខុសគ្នានៃសរីរាង្គផ្កា (Floral organ) ដូចជា៖ ត្របកផ្កា (Sepal) ស្រទាប់ផ្កា (Petal) កញ្ចុំកេសរឈ្មោល (Stamen) និងកញ្ចុំកេសរញី (Carpel)។ បង្គុំសរីរាង្គទាំងនេះត្រូវបាន ហៅថារាងជារង្វង់វិល (Whorl) ជុំវិញផ្នែកសង្ខាងពន្លកត្រួយ។ ការបង្កើតសរីរាង្គដែលជ្រៅជាងគេ កញ្ចុំកេសរញីបានប្រើប្រាស់ទាំងអស់នូវ កោសិកាពន្លកនៅផ្នែកខាងចុងរាងមូល និងមានតែសរីរាង្គផ្កានៃដើម (Floral organ primordia) តំណាងឱ្យការវិវឌ្ឍពន្លកផ្កា។ នៅក្នុងផ្កា Wild type: *Arabidopisis* រាងរង្វង់ដែលមានការរៀបចំដូចខាងក្រោម៖

- រង្វង់ទី១៖ ដែលជាផ្នែកខាងក្រៅគេបង្អស់ មានត្របកផ្កា៤ ដែលមានពណ៌បៃតងនៅពេលពេញវ័យ ហើយរង្វង់ទី២ មានស្រទាប់ផ្កា៤ ស្រទាប់និងមានពណ៌សនៅពេលពេញវ័យ
- រង្វង់ទី៣៖ មានកេសរឈ្មោលចំនួន៦ និងមានកេសរឈ្មោល២ ដែលខ្លីជាង៤ កេសរឈ្មោលទៀត

- រង្វង់ទី៤៖ គឺជាសរីរាង្គកំផ្លិចទោល កញ្ចុំកេសរញី (Gynoecium ឬ pistil) ដែលមានអូវែ (Ovary) ចំនួន២ដែលស្ថិតក្នុងកញ្ចុំកេសរញីដែលមានផ្ទុកអូវុលជាច្រើនជាមួយកេសរញីខ្លី (Style) មួយគ្របលើស្ទិចម៉ា (Stigma)



រូបភាព ១០.១៤៖ សរីរាង្គផ្កាកើតឡើងតាមលំដាប់លំដោយនៃ ជាលិកាពន្លកផ្កា នៃរុក្ខជាតិ *Arabidopsis*។ (A និង B) សរីរាង្គ ផ្កាត្រូវបានផលិតបន្តគ្នារាងជារង្វង់ដែលចាប់ផ្តើមពីស្រទាប់ផ្កាឡើងទៅលើ។ (C) តួនាទីនៃរង្វង់និមួយៗដែលការលូតលាស់មានការត្រួតលើគ្នា។ (From Bewley et al. 2000)

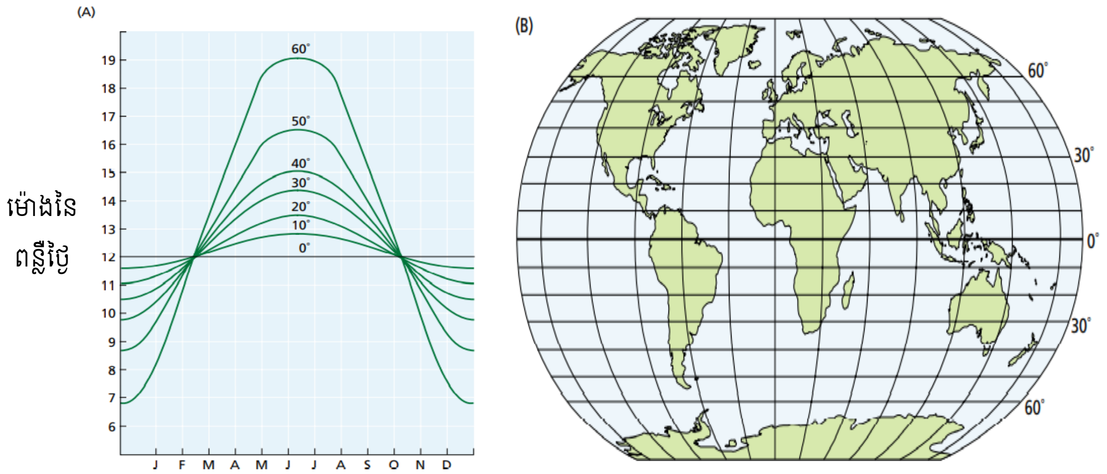
១០.៧.២ វដ្តពន្លឺ (Photoperoidism) គ្រប់គ្រងប្រវែងថ្ងៃ (Day length)

ដូចដែលយើងបានឃើញ ពេលវេលាសកម្មភាពប្រចាំថ្ងៃ (Circardian clock) អាចធ្វើឱ្យសរីរៈកំណត់ពេលវេលានៃ ថ្ងៃដែលព្រឹត្តិការណ៍ជាក់លាក់របស់ម៉ូលេគុលនិងប្រតិកម្មគីមីដែលកើតមានឡើងវដ្តពន្លឺ (Photoperoidism) សមត្ថភាពរបស់សារពាង្គកាយដើម្បីចាប់បានប្រវែងថ្ងៃដើម្បីឱ្យមានព្រឹត្តិការណ៍កើតឡើងបាននៅពេលវេលាជាក់លាក់ក្នុងឆ្នាំ លើសពីនេះវាបង្កើតឱ្យមានការឆ្លើយតបនៃរដូវ (Seasonal)។ ចង្វាក់សកម្មភាពប្រចាំថ្ងៃ (Circardian rhymth) និងវដ្តពន្លឺ(Photoperoidism) មានលក្ខណៈធម្មតាក្នុងការឆ្លើយតបទៅនឹងវដ្តនៃពន្លឺ និងភាពងងឹត។ នៅតំបន់អេក្វាទ័រ វាមានភាពច្បាស់លាស់ដែលរយៈពេលថ្ងៃនិងរយៈពេលយប់គឺស្មើគ្នានិង ថេររយៈពេលពេញមួយឆ្នាំ។ នៅពេលដែលយើងធ្វើការផ្លាស់ចេញពីតំបន់អេក្វាទ័រទៅកាន់តំបន់ប៉ូល ពេលថ្ងៃគឺមានពេលវែងជាងនៅរដូវក្តៅ ហើយខ្លីជាងនៅរដូវត្រជាក់។ វាមិនមែនជារឿងដែលគួរអោយភ្ញាក់ផ្អើលដែល ប្រភេទរុក្ខជាតិ (Plant species) ត្រូវបានកើតឡើងដើម្បីឆ្លើយតបទៅនឹងការប្រែប្រួលទៅតាមរដូវនៅក្នុងប្រវែងនៃថ្ងៃនិងការឆ្លើយតបវដ្តពន្លឺដែលជាក់លាក់ ដែលទទួលឥទ្ធិពលយ៉ាងខ្លាំងមកពីរយៈទទឹងមកពីកន្លែងដែលវាមានប្រភពមក។ បាតុភូតនៃវដ្តពន្លឺ ត្រូវបានរកឃើញទាំងក្នុងសត្វ និងរុក្ខជាតិ។ នៅក្នុងរជ្ជៈសត្វ ប្រវែងថ្ងៃគ្រប់គ្រងដូចជាសកម្មភាពប្រចាំរដូវ ដូចជាការសំងំស្ងៀម (Hibernation) នៅសិសិររដូវ ការវិវឌ្ឍរោមនៅរដូវក្តៅ ឬរដូវរងារ និងសកម្មភាពបន្តពូជ។ រុក្ខជាតិធ្វើការឆ្លើយតបដោយការគ្រប់គ្រងដោយប្រវែងថ្ងៃគឺមានច្រើនដូចជា ការកកើតផ្កា (Initiation of flowering) ការបន្តពូជដោយឥតភេទ (Asexual reproduction) ការបង្កើតសរីរាង្គស្តុកទុក និងការចាប់ផ្តើមនៃដំណេកគ្រា

ប់។ មានរុក្ខជាតិជាច្រើនប្រភេទដែល ចេញផ្កានៅពេលថ្ងៃវែងនៃរដូវក្តៅ ហើយសម្រាប់រយៈពេលរាប់ឆ្នាំអ្នកសរីរវិទូជឿថាទំនាក់ទំនងរវាងថ្ងៃវែងហើយ និងការចេញផ្កាគឺជាលទ្ធផលបានមកនៃការកើនឡើងពីការសំយោគនៃផលិតផលរស្មីសំយោគក្នុងពេលថ្ងៃវែង។ ចំណាត់ថ្នាក់នៃរុក្ខជាតិ គឺអាស្រ័យទៅលើការឆ្លើយតបរបស់រុក្ខជាតិទៅនឹងវដ្តពន្លឺ ដែលជាទូទៅពឹងផ្អែកទៅលើផ្កា។ ការឆ្លើយតបវដ្តពន្លឺដែលសំខាន់មានពីរ គឺរុក្ខជាតិថ្ងៃវែង (Long-day plants) និងរុក្ខជាតិថ្ងៃខ្លី (Short-day plants)។

- រុក្ខជាតិថ្ងៃខ្លី (Shor-tday plants = SDPs)៖ ចេញផ្កានៅពេលថ្ងៃខ្លីប៉ុណ្ណោះ ឬផ្ការបស់ពួកវាចេញលឿនដោយសារថ្ងៃខ្លី។
- រុក្ខជាតិថ្ងៃវែង (Long-day plants = LDPs)៖ ចេញផ្កានៅពេលថ្ងៃវែងប៉ុណ្ណោះ ឬផ្ការបស់ពួកវាចេញលឿនដោយសារថ្ងៃវែង។

សារៈសំខាន់នៃភាពខុសគ្នា រវាងរុក្ខជាតិថ្ងៃខ្លី និងរុក្ខជាតិថ្ងៃវែងគឺ ការចេញផ្កាក្នុងពេលថ្ងៃវែងគឺមាននៅពេលដែលប្រវែងថ្ងៃលើស ក្នុងពេលជាក់លាក់ ដែលត្រូវបានហៅថាប្រវែងថ្ងៃដាច់ខាត (Critical day Length) ក្នុងរៀងរាល់វដ្ត ២៤ម៉ោង ចំណែកការបង្កើតឱ្យចេញផ្កានៅក្នុងថ្ងៃវែង ទាមទារឱ្យមានប្រវែងថ្ងៃតិចជាង ប្រវែងថ្ងដាច់ខាត (Critical day length)។ តម្លៃ របស់ប្រវែងថ្ងដាច់ខាត (Critical day length) ផ្សេងពីគ្នាអាស្រ័យទៅតាមប្រភេទ។ រុក្ខជាតិថ្ងៃវែង (Long-day plants) អាចវាស់វែងដោយប្រសិទ្ធភាពតាមប្រវែងថ្ងៃនៅរដូវផ្ការីក ឬដើមរដូវក្តៅ ហើយវាពន្យារការចេញផ្ការហូតដល់ពេលប្រវែងថ្ងៃដាច់ខាត។ ស្រូវសាលីជាច្រើនពូជ (*Triticum aestivum*) ដំណើរការក្នុងវិធីបែបនេះ។ រុក្ខជាតិថ្ងៃវែង (LDPs) ជួនកាលចេញផ្កានៅសរទរដូវ នៅពេលដែលថ្ងៃខ្លីក្រោម ប្រវែងថ្ងៃដាច់ខាត ដូចជាប្រភេទពូជជាច្រើនរបស់ផ្កាបញ្ចមាស (*Chrysanthemum morifolium*)។ ទោះបីជាយ៉ាងណាក៏ដោយ ប្រវែងថ្ងៃតែម្យ៉ាងវាគឺវាមានសញ្ញាមិនច្បាស់លាស់ ពីព្រោះវាមិនអាចបែងចែករវាងរដូវផ្ការីក និងរដូវស្លឹកឈើជ្រុះ។



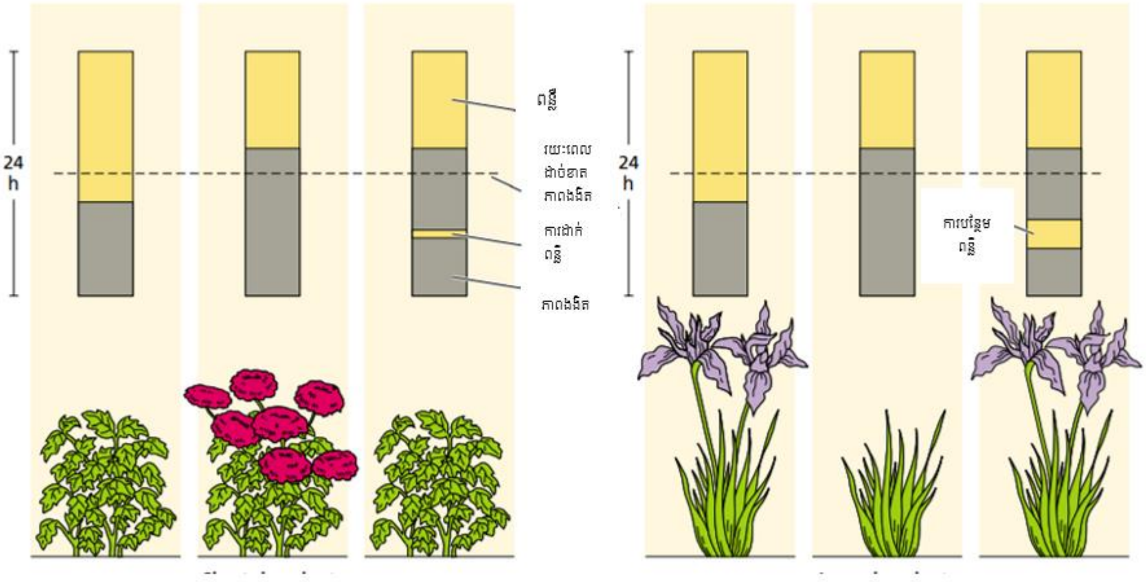
រូបភាព ១០.១៥៖ (A) ឥទ្ធិពលរយៈទទឹងទៅលើប្រវែងថ្ងៃនៅពេលវេលាខុសគ្នានៃឆ្នាំ។ ប្រវែងថ្ងៃ ត្រូវបានវាស់នៅថ្ងៃទី ២០ រៀងរាល់ខែ (B) ផែនទី ពិភពលោក បង្ហាញពីរយៈបណ្តោយ និងរយៈទទឹង។

រុក្ខជាតិ បង្ហាញពីរបៀបនៃការប្រែប្រួលទៅតាមប្រវែងថ្ងៃពីរបីរបៀប ដោយធ្វើការជៀសវាងភាពមិនច្បាស់លាស់ នៃសញ្ញាប្រវែងថ្ងៃ។ ទី១ គឺធ្វើការភ្ជាប់គ្នានៃតម្រូវការសីតុណ្ហភាព ទៅកាន់ការឆ្លើយតប វដ្តពន្លឺ។ ប្រភេទរុក្ខជាតិជាក់លាក់ ដូចជាស្រូវសាឡីរដូវរងារមិនមានការឆ្លើយតបទៅកាន់វដ្តពន្លឺរហូតដល់បន្ទាប់ពីរយៈពេលត្រជាក់ (Vernalization ឬ over-wintering) បានកើតឡើង។ ប្រភេទរុក្ខជាតិដទៃទៀត ជៀសវាងភាពមិនច្បាស់លាស់នៃរដូវ ដោយបង្ហាញនូវលក្ខណៈខុសគ្នារវាង រយៈពេលថ្ងៃខ្លីនិងរយៈពេលថ្ងៃវែង។ ប្រភេទរុក្ខជាតិ ដែលមានលក្ខណៈប្រវែងថ្ងៃពីរបែបដូចនេះ ត្រូវបានចាត់ចូលក្នុងលក្ខណៈពីរយ៉ាងដូចជា៖

១. រុក្ខជាតិថ្ងៃវែង (LDPs)៖ ចេញផ្កាតែពេលបន្ទាប់ពីប្រវែងថ្ងៃវែង ហើយតាមដោយប្រវែងថ្ងៃខ្លី។ រុក្ខជាតិថ្ងៃវែងដូចជា ប្រទាលកបិលភ័ស្ត (*Bryophyllum*), *Kalanchoe* និងផ្កាណាគ្រី (*Cestrum nocturum*) ជាពពួកផ្ការីកពេលយប់។

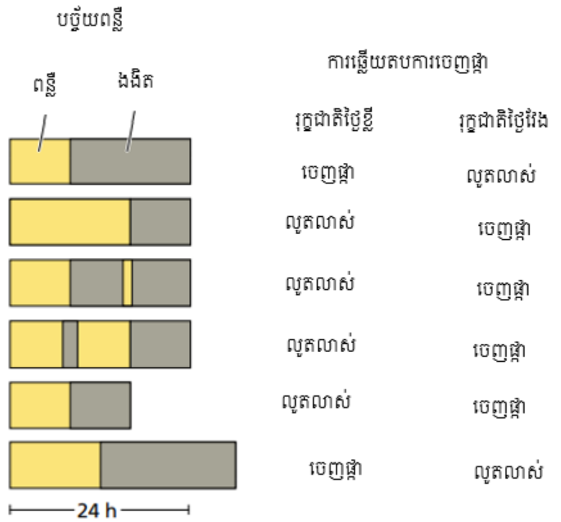
២. រុក្ខជាតិថ្ងៃខ្លី (SDPs)៖ ចេញផ្កាតែពេលប្រវែងថ្ងៃខ្លី ហើយតាមដោយប្រវែងថ្ងៃវែង។ រុក្ខជាតិថ្ងៃខ្លីដូចជាផ្កាត្រចៀកទន្សាយ (*Trifolium repens*), ផ្កាកណ្ដឹង (*Campanula medium*)និង (*Echeveria harmsii*)។

(A)



ចុងបញ្ចប់មានប្រភេទរុក្ខជាតិដទៃទៀតដែល ចេញផ្កាក្រោមលក្ខខណ្ឌវដ្តពន្លឺដែលត្រូវការ រុក្ខជាតិណឺត ថ្ងៃ (Day-neutral plants= DNPS) ដែលមិនមានភាពប្រែប្រួលទៅនឹងប្រវែងថ្ងៃ។ ការចេញផ្ការបស់រុក្ខជាតិណឺតថ្ងៃ គឺជាប្រភេទដែលស្ថិតនៅក្រោមការកំណត់ដោយស្វ័យប្រវត្តិ (Autonomous regulation) ដែលវាជាប្រភេទការគ្រប់គ្រងការវិវឌ្ឍខាងក្នុង។ ពពួករុក្ខជាតិណឺតមានដូចជា៖ សណ្ដែកបារាំង (*Phaseolus vulgaris*), *Castilleja chromosa* និង *Abronia villosa*។

(B)



រូបភាព ១០.១៦៖ វដ្តពន្លឺកំណត់ការចេញផ្កា។ (A) ឥទ្ធិពលលើរុក្ខជាតិថ្ងៃខ្លី និងរុក្ខជាតិថ្ងៃវែង (B) ឥទ្ធិពលនៃរយៈពេលងងឹតទៅលើការចេញផ្កា។ធ្វើការដាក់រុក្ខជាតិថ្ងៃខ្លី និងថ្ងៃវែង ជាមួយរយៈពន្លឺខុសគ្នាវាបង្ហាញឱ្យច្បាស់ថាកត្តាកំណត់ការផ្លាស់ប្តូរគឺប្រវែង នៃរយៈពន្លឺ។

១០.៧.៣ ការចេញផ្កាបណ្តាលមកពីអាកាសធាតុត្រជាក់ (Vernalization)

ការធ្វើឱ្យមានផ្កាជាមួយ ភាពត្រជាក់រុក្ខជាតិ អាចនិងចេញផ្កានៅក្នុងពីរ បីអាទិត្យបន្ទាប់ការដុះដូចជានៅក្នុងរុក្ខជាតិដែលមានអាយុកាលខ្លី *Senecio vulgaris*។ ផ្សេងពីនេះគឺអាចមានពពួករុក្ខជាតិដែលអាយុកាលលើសពីពីរឆ្នាំ ដូចជាដើមឈើព្រៃ ក្រោយពីដាំ ២០ឆ្នាំ ឬច្រើនឆ្នាំជាងនេះមុនពេលពួកវាចាប់ផ្តើមចេញផ្កា។ ប្រភេទផ្កាផ្សេងគ្នា ដែលមានអាយុខុសគ្នាឬប្រហែលមកពីទំហំនៃរុក្ខជាតិ គឺជាកត្តាខាងក្នុងដែលគ្រប់គ្រងក្នុងការផ្លាស់ប្តូរ និងការវិវឌ្ឍនៃការបន្តពូជ។ ករណីដែលការចេញផ្កាកើតឡើងក្នុងការឆ្លើយតបទៅនឹងកត្តាវិវឌ្ឍន៍ផ្នែកខាងក្នុង និងមិនពឹងផ្អែកលក្ខខណ្ឌបរិស្ថានជាក់លាក់ណាមួយគឺសំដៅទៅលើកត្តាតម្រូវដោយស្វ័យប្រវត្តិ (Autonomous regulation)។ ផ្ទុយទៅវិញ រុក្ខជាតិដែលផ្កាពេញតាមរយៈលំនាំស្វ័យប្រវត្តិ រុក្ខជាតិខ្លះបង្ហាញពីតម្រូវការដាច់ខាតនូវ លក្ខខណ្ឌបរិស្ថានសមស្របក្នុងការចេញផ្កា។ លក្ខខណ្ឌបែបនេះ មានន័យថាការឆ្លើយតបភាពចាំបាច់ឬលក្ខណៈគុណភាព (Obligate ឬ qualitative) ទៅនឹងសញ្ញាបរិស្ថាន។

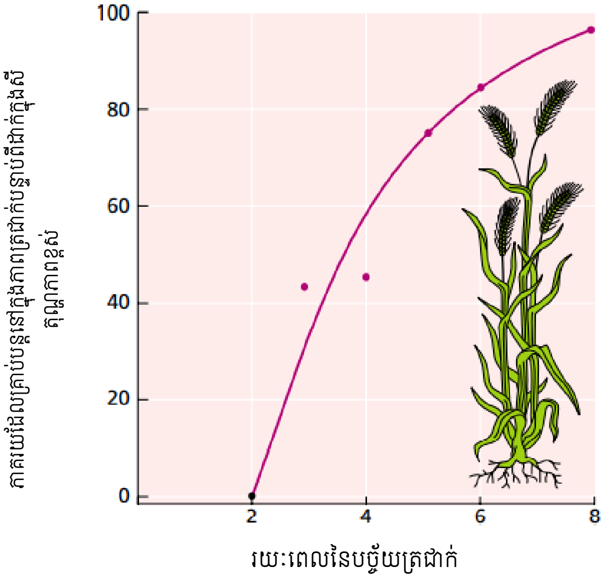
វដ្តពន្លឺ និងរីកនៅពេលត្រជាក់ (Photoperoidism និង vernalization) គឺជាយន្តការពីរសំខាន់បំផុតដែលជាមូលដ្ឋានក្នុងការឆ្លើយតបទៅនិង រដូវ (Seasonal)។ វដ្តពន្លឺ (Photoperoidism) គឺជាអ្នកឆ្លើយតបទៅនិងប្រវែងនៃក្នុងមួយថ្ងៃ ចំណែករីកនៅពេលត្រជាក់ (Vernalization) គឺជាអ្នកជួយឱ្យមានការរីកនៃផ្កានៅសីតុណ្ហភាពខ្ពស់បន្តបន្ទាប់គ្នា ដែលនាំមកអំពីការដាក់នៅក្រោមសីតុណ្ហភាពត្រជាក់។ សញ្ញាដទៃទៀត ដូចជា កាំរស្មីពន្លឺសរុប (Total light radiation) ទឹកដែលអាចប្រើប្រាស់បាន ដែលជាកត្តាខាងក្រៅដ៏សំខាន់ផងដែរ។

ការចេញផ្កាបណ្តាលមកពីអាកាសធាតុត្រជាក់ (Vernalization) គឺជាដំណើរការដែលផ្កាត្រូវបានបង្កើតដោយបច្ច័យត្រជាក់ដែលផ្តល់ឱ្យគ្រាប់នូវបានទទួលទឹកពេញលេញ (ជាដំណាក់កាលដែលគ្រាប់ស្រូបយកទឹក) ដើម្បីលូតលាស់ជារុក្ខជាតិ។ គ្រាប់ស្ងួតគឺមិនមានការឆ្លើយតបទៅនិង បច្ច័យត្រជាក់។ ដោយគ្មានបច្ច័យត្រជាក់រុក្ខជាតិដែលត្រូវការរីកនៅពេលត្រជាក់ ដើម្បីបង្ហាញពន្យារការចេញផ្កាឬបន្តការលូតលាស់។ នៅក្នុងករណីទាំងអស់នេះ រុក្ខជាតិលូតលាស់ដូចជាពងរង្វង់ ដែលគ្មានការលូតលាស់ប្រវែងដើម។

រូបភាព ១០.១៧៖ សីតុណ្ហភាពត្រជាក់ បង្កើតអោយមានផ្កាក្នុងរុក្ខជាតិ *Arabidopsis thaliana*។ រុក្ខជាតិខាងឆ្វេងគឺ ដែលមិនបានដាក់ក្រោមលក្ខ ខណ្ឌត្រជាក់។ រុក្ខជាតិខាងស្តាំ គឺត្រូវបានដាក់ក្រោមលក្ខខណ្ឌត្រជាក់ (៤អង្សារសេ) រយៈពេល៤០ ថ្ងៃ។ វាផ្តល់ផ្កា ៣ សប្តាហ៍ ក្រោយបន្ទាប់ពីដាក់ក្រោមលក្ខខណ្ឌត្រជាក់ ដែលមានស្លឹកប្រហែល ៩ សន្លឹកនៅលើដើម។ (Courtesy of Colleen Bizzell.)

រុក្ខជាតិត្រូវបានចាត់ទុកថាមានលក្ខណៈផ្សេងគ្នានៅក្នុងអាយុ ដែលពួកវាមានភាពប្រែប្រួលទៅនិងភាពត្រជាក់។ រុក្ខជាតិរដូវត្រជាក់ដែលមានអាយុតិចជាង ១ឆ្នាំ ដូចជាពពួកធញ្ញជាតិរដូវត្រជាក់ (ដែលត្រូវបានសាបក្នុងរដូវស្លឹកឈើជ្រុះហើយចេញផ្កានៅក្នុងរដូវក្តៅ) ឆ្លើយតបទៅនឹងសីតុណ្ហភាពទាបដែលធាប់ចាប់ផ្តើមនៅដើមវដ្តជិវិតរបស់វា។ ពួកវាត្រូវបានដាក់ឱ្យនៅត្រជាក់មុនពេលដំណុះគ្រាប់ ប្រសិនបើគ្រាប់របស់វាស្រូបទឹក ហើយក្លាយជាសកម្មក្នុងដំណើរមេតាបូលីស។ រុក្ខជាតិដទៃទៀត ដែលរួមបញ្ចូលទាំងរុក្ខជាតិដែលអាចរស់បានពីរឆ្នាំ (ការលូតលាស់របស់វា ដូចជារង្វង់ក្នុងរដូវដំបូងបន្ទាប់ពីសាបហើយផ្កានៅរដូវក្តៅ)។

រូបភាព ១០.១៨៖ រយៈពេលដែលដាក់ឱ្យត្រូវសីតុណ្ហភាពទាប ដែលបង្កើនស្ថេរភាពឥទ្ធិពលរបស់សីតុណ្ហភាព (Courtesy of Colleen Bizzell)

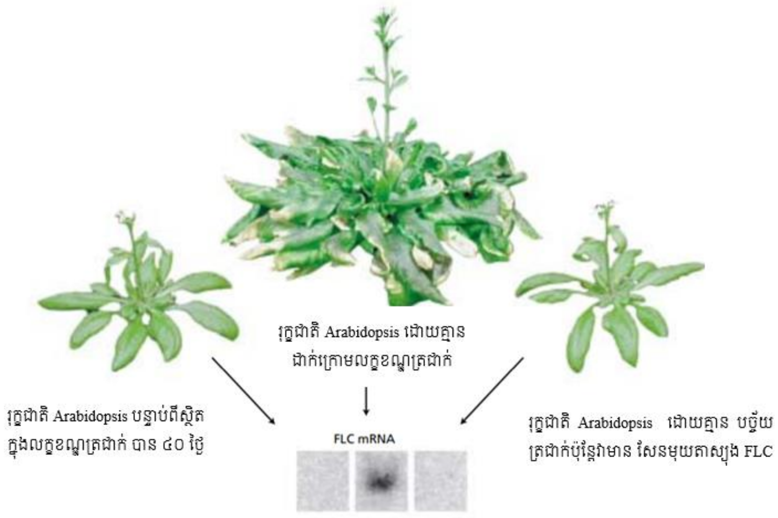


ចន្លោះសីតុណ្ហភាពដែលមានប្រសិទ្ធភាព សម្រាប់ការចេញផ្កាបណ្ដាលមកពីអាកាសធាតុត្រជាក់ (Vernalization) គឺសីតុណ្ហភាពក្រោមចំណុចកក រហូតប្រហែល ១០ អង្សារសេ ដែលគម្លាតធំអាចនៅរវាងប្រហែល ១ អង្សារសេ ទៅ ៧ អង្សារសេ។ ឥទ្ធិពល នៃសីតុណ្ហភាពត្រជាក់បង្កើនជាមួយរយៈពេលក្នុងបច្ច័យត្រជាក់រហូតដល់រុក្ខជាតិឆ្លើយតប និងមានភាពឆ្អែត។ ការឆ្លើយតបជាទូទៅត្រូវការរយៈពេល ពីរបីសប្ដាហ៍ ដែលដាក់ក្រោមលក្ខខណ្ឌសីតុណ្ហភាពទាប ប៉ុន្តែរយៈពេលដាក់លាក់គឺផ្សេងពីគ្នាអាស្រ័យលើប្រភេទ និងពូជ។

ការចេញផ្កាបណ្ដាលមកពីអាកាសធាតុត្រជាក់ (Vernalization) វាកើតឡើងដំបូងនៅក្នុង មេជាលិកាពន្លក (Shoot apical meristem)។ ការត្រជាក់នៅតែមួយកន្លែង បណ្ដាលឱ្យចេញផ្កា នៅពេលចុងនៃដើមដាក់ត្រូវភាពត្រជាក់។ វាមានសារៈសំខាន់ ដែលគួរឱ្យកត់សម្គាល់សម្រាប់ការចេញផ្កាបណ្ដាលមកពីអាកាសធាតុត្រជាក់កើតឡើងដោយសារសកម្មភាពមេតាបូលីសក្នុងពេលស្ថិតក្រោមលក្ខខណ្ឌត្រជាក់។ ប្រភពថាមពល (ស្ករ) និងអុកស៊ីសែនគឺត្រូវការ ហើយសីតុណ្ហភាពនៅក្រោមកក ដែលសកម្មភាពមេតាបូលីសគឺត្រូវបានទប់ស្កាត់ដែលនាំឱ្យគ្មានប្រសិទ្ធភាពសម្រាប់ការចេញផ្កា។ លើសពីនេះទៅទៀត ការបែងចែកកោសិកា និងការបកប្រែសារ DNA ត្រូវបានកើតឡើងក្នុងតម្រូវការផងដែរ។

គំរូដែលបណ្ដាលមកពី អាកាសធាតុត្រជាក់មានឥទ្ធិពលខំភីតថឹនស៍ (Competence) គឺវាមានការប្រែប្រួលថេរ នៅក្នុងគំរូនៃការសម្ដែងសែននៅក្នុងពន្លកដើម បន្ទាប់ពីបច្ច័យត្រជាក់។ ការផ្លាស់ប្ដូរក្នុងការសម្ដែងសែន ដែលមានស្ថេរភាពសូម្បីតែបន្ទាប់ពី សញ្ញាដែលបង្កើតការផ្លាស់ប្ដូរត្រូវបានដកចេញ ដែលត្រូវបានគេស្គាល់ថា ការកំណត់អេពីជេនេទិច(Epigenetic regulation)។ ការប្រែប្រួលអេពីជេនេទិច នៃការសម្ដែងសែន ក្នុងសារពាង្គកាយជាច្រើន ចាប់តាំងពីមេតំបែស្រា ឬផ្សិត ទៅថនិកសត្វ (Mammals) ដែលត្រូវ

ការការបែងចែកកោសិកា ការបកប្រែសារ DNA ដែលជាករណីក្នុងរុក្ខជាតិចេញផ្កាបណ្តាលមកពីអាកាសធាតុត្រជាក់។



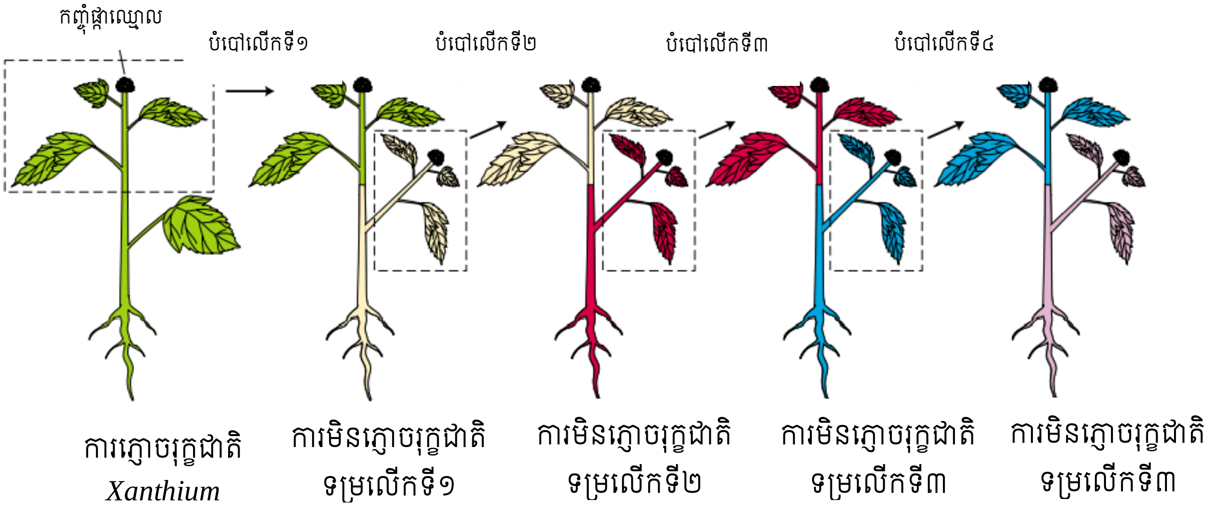
រូបភាព ១០.១៩៖ ខាងឆ្វេងគឺ គឺការរារាំងការសម្តែងសែន FLOWERING LOCUS C (FLC) ដោយភាពត្រជាក់នៅក្នុងរុក្ខជាតិអេកូទីប *Arabidopsis* ដែលត្រូវការសីតុណ្ហភាពត្រជាក់។ រូបខាងស្តាំ គឺ *Arabidopsis* ដែលមានសែន FLC បង្ហាញការចេញផ្កាឆាប់រហ័សដោយគ្មានបច្ច័យត្រជាក់ (Photo courtesy of R. Amasino.)

ការជាប់ទាក់ទងនៃ ការកំណត់អេពីសេនេទិច(Epigenetic regulation)ក្នុងដំណើរចេញផ្កា បណ្តាលមកពីអាកាសធាតុត្រជាក់ ត្រូវបានគេបញ្ជាក់នៅក្នុងរុក្ខជាតិថ្ងៃវែង *Arabidopsis*។ ក្នុងរុក្ខជាតិប្រចាំរដូវរងារ *Arabidopsis* ត្រូវការទាំងពីរនូវការដាក់ក្រោមភាពត្រជាក់ និងប្រវែងថ្ងៃវែង ហើយសែនដែលដើរតួនាទីជាអ្នករារាំង (Repressor) នៃការចេញផ្ការត្រូវបានធ្វើអត្តសញ្ញាណថា **Flowering Locus C (FLC)**។ FLC មានការបង្ហាញខ្ពស់នៅក្នុងភាពមិនដាក់ក្នុងភាពត្រជាក់ នៃពន្លកមេជាលិកា។ បន្ទាប់ពីការចេញផ្កា ដែលបណ្តាលមកពីអាកាសធាតុត្រជាក់ សែនគឺត្រូវបានបិទដោយអេពីសេនេទិច ដោយយន្តការដែលគេមិនស្គាល់ សម្រាប់វដ្តរុក្ខជាតិដែលនៅសល់ ហើយអនុញ្ញាតិឱ្យចេញផ្កា ក្នុងការឆ្លើយតបទៅនឹងការកើតឡើងនៃថ្ងៃវែង។

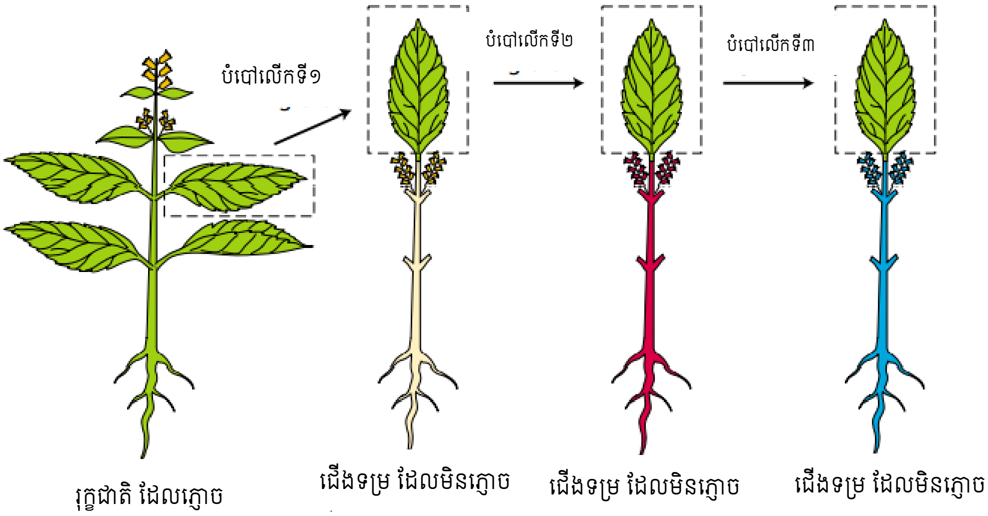
យ៉ាងតិចណាស់មាន បីករណីនៃពពួករុក្ខជាតិ *Xanthium* (រុក្ខជាតិថ្ងៃខ្លី), *Bryophyllum* (រុក្ខជាតិថ្ងៃខ្លី-វែង), និង *Silene* (រុក្ខជាតិថ្ងៃវែង)។ វគ្គនៃការបង្កើត ដើម្បីក្លាយជារុក្ខជាតិដែលអាចពង្រីកពូជដោយខ្លួនឯង (Self-propagating)។ នៅក្នុងនោះ ស្លឹកខ្ចីដែលវិវឌ្ឍន៍នៅលើ (Receptor) ឬដ្ឋលដែលជារុក្ខជាតិសម្រាប់ទទួលសរីរាង្គ មកពីរុក្ខជាតិផ្សេងទៀត(វាជាជាលិកា ឬកោសិកាដែលអាចឆ្លើយតបទៅនឹងរំញោច) បន្ទាប់ពីវាត្រូវបានបង្កើតផ្កាដោយរុក្ខជាតិដែលជាអ្នកផ្តល់ស្លឹកឱ្យ (Donor) ហើយស្លឹកទាំងនោះពួកវាអាចប្រើប្រាស់ជាផ្តល់ឱ្យនៅនៅក្នុងការបំបៅជាបន្តបន្ទាប់ក្នុងការពិសោធ ទោះបីជាស្លឹកទាំងនោះមិនធ្លាប់បាន

ដាក់ឱ្យត្រូវរយៈពេលភ្លឺ (Photoperiod)។ បាតុភូត នេះត្រូវបានគេហៅថា អាំងឌុចស្យុងដោយមិនផ្ទាល់ (Indirect induction)។

(A) ការភ្ញោចដោយប្រយោល ត្រូវបានង្ហាញនៅក្នុងការពិសោធន៍តបំបៅ នៃរុក្ខជាតិ *Xanthium*



(B) ការបំបៅនៃស្លឹកដែលបានភ្ញោច ទៅដើមដែលមិនបានភ្ញោច ដែលបណ្ដាលអោយមានការចេញផ្កា នៃរុក្ខជាតិនៅក្នុងពហុបំបៅនៃរុក្ខជាតិ *Perilla*



រូបភាព ១០.២០៖ ប្រភេទផ្សេងគ្នានៃការភ្ញោចស្លឹករុក្ខជាតិ *Xanthium* និង *Perilla*។ (A) *Xanthium* បង្ហាញពីអាំងឌុចស្យុងដោយមិនផ្ទាល់។ ស្លឹកដែលមិនភ្ញោច មកពីរុក្ខជាតិដែលភ្ញោចដើម្បីឱ្យចេញផ្កាដែលមានសមត្ថភាពក្នុងការភ្ញោចរុក្ខជាតិដទៃទៀត ឱ្យចេញផ្កា ទោះបីជាពួកវាមិនធ្លាប់ទទួលការភ្ញោចដោយវដ្តពន្លឺ។ នេះជាយោបល់ក្នុងការ ជំរុញផ្កានៃការពង្រីកពូជដោយខ្លួនឯង។ (B) នៅក្នុង *Perilla* មានតែស្លឹកទេដែលទទួលការភ្ញោចដោយវដ្តពន្លឺគឺដែលអាចមានសមត្ថភាពក្នុងការដើរតួនាទីជារុក្ខជាតិ ផ្តល់ឱ្យគេ។ នៅក្នុង *Perilla* និង *Xanthium* ស្លឹកមួយអាចបន្តការជំរុញការចេញផ្កានៅក្នុងការបំបៅដែលបន្តគ្នាក្នុងការពិសោធ។ (Lang 1965)

<u>**ចំណាំ**</u>៖ អាំងឌុចស្យុង គឺជាកំណែតម្រូវលើការសម្តែងសែន ដែលទាក់ទងទៅនិងការប្រែប្រួលកុងផរម៉ាស្យុង នៃសែនដោយវត្តមានដោយសារធាតុមួយ (អាំងឌុចទ័រ)។

វាគឺជាលក្ខណពិសេសនៃ អាំងឌុចស្យុងដោយមិនផ្ទាល់ ដែលមានភាពខ្លាំងក្នុងការរំញោចផ្កា (floral stimulus) មកពីស្លឹករុក្ខជាតិដែលជាផ្តល់ឱ្យ (dornor leaf) ហើយបន្តស្ថេរភាពទោះបីបន្ទាប់ពី ការតបំបៅ នៃរុក្ខជាតិជាអ្នកផ្តល់ថ្មី ទៅរុក្ខជាតិពីរបីទៀតក៏ដោយ។

ជំពូកទី ១១

ផូតូម័រហ្វូជេនេស៊ីស (Photomorgenesis) និងភីតូក្រូម (Phytochrome)

១១.១. លក្ខណៈទូទៅរបស់ផូតូម័រហ្វូជេនេស៊ីស (Photomorgenesis)

ពពួកសារពាង្គកាយមានជីវិតធំៗ ដូចជារុក្ខជាតិ ផ្សិត និងពពួកសារពាង្គកាយតូចៗ ដែលមិនអាចធ្វើចលនាបានឆ្ងាយ ដូចជា ពពួកបាក់តេរី និងពពួកប្រូទីស ដែលវាគ្មានជម្រើស ប៉ុន្តែតួនាទីនៅក្នុងបរិស្ថានរបស់ពួកវាត្រូវបានរកឃើញ។ សម្រាប់ពពួកសារពាង្គកាយ ដែលធ្វើរស្មីសំយោគ ពួកវាមានភាពសម្របទៅនិងលក្ខខណ្ឌទាំងនោះ ដែលអាចឱ្យវាមានយន្តការវិវឌ្ឍ ដើម្បីដឹងពីបរិស្ថានពន្លឺ និងធ្វើការប្រែប្រួលទៅតាមទម្រង់របស់ពួកវានិងប្រតិកម្មមេតាបូលីស ដើម្បីឱ្យមានលក្ខណៈប្រសើរឡើង នៅការបំពេញមុខងារ ក្រោមលក្ខខណ្ឌខាងក្នុងរបស់វា។

តារាងសង្ខេប នៃការកើតឡើងដោយធម្មជាតិ ការសំយោគ និងផលិតផលដែលមានពពួក អរម៉ូន

អរម៉ូន	បង្កំ អរម៉ូនកើតឡើងក្នុងធម្មជាតិ	បង្កំសំយោគ	ផលិតផលដែលផ្ទុកនូវ សារធាតុផ្សំ
អូស៊ីន	អ៊ីនដូល អាសេទិចអាស៊ីត, អ៊ីនដូលអេតាណុល, អ៊ីនដូល អាសេតាលដេអ៊ីត អ៊ីនដូលអាសេតូនីទ្រីល Indoleacetic acid (IAA), Indole ethanol, Indoleacetaldehyde, Indoleacetonitrile	អ៊ីនដូល ប៊ុយទីរិកអាស៊ីត, ណាប់តាលេន អាសេទិចអាស៊ីត, ២,៤,៥ ទ្រីក្លូរូផេណូស៊ី អាសេទិចអាស៊ីត Indolebutyric acid (IBA), Naphthalene acetic acid (NAA), 2,4- Dichlorophenoxy acetic acid (2,4-D), 2,4,5-Trichlorophenoxyacetic acid (2,4,5-T)	អរម៉ិច, រូតូន,ឃ្វីករូត Hormex, Rootone, Quickroo
ស៊ីតូគីនីន	សេអាទីន, អ៊ីសូប៉ង់ទីល អាដេនីន Zeatin, Isopenty, adenine	បង់ស៊ីលអាដេនីន ឃីនេទីន Benzyladenine (BA), Kinetin	វើដាន (Verdan)
ជីបឺរេលីន	GA1 – GA60	ដែលមិនងាយស្រួល ក្នុងការផលិត ដោយភាពស្មុគស្មាញក្នុងធម្មជាតិនៃ គ្រោងឆ្អឹងជីបបែន (gibbane skeleton)	ប្រូជីព, បឺរេលិច Progibb, Berelex
សារធាតុបង្អាក់	អាប់ស៊ីស៊ីកអាស៊ីត	២-ក្លូរអេទីលទ្រីមេទីល អាម៉ូញ៉ូមក្លរីត, សាក់ស៊ីនិច អាស៊ីត-២,២-ឌីមេទីល អ៊ីដ្រាសាយ 2-chloroethyltrimethyl ammonium chloride (CCC),	ស៊ីកូសែល, ក្លមេកាត់ អាឡា និងប៊ីណាញ Cycocel, Chlormequat, Alar, B-nine

		succinic acid-2,2-dimethyl hydrazide (SADH)	
អេទីឡែន		២-ក្លរអេទីល ផូស្វូនិច អាស៊ីត (អេតេផុង ជាធាតុដែលបញ្ចេញអេទីឡែន) 2-chloroethyl-phosphonic acid (ethephon, an ethylene-releasing agent)	អេទ្រេល (Ethrel)

ដោយសារបរិស្ថានពន្លឺផ្លាស់ប្តូរ ពពួកសារពាង្គកាយទាំងនេះ មានការអភិវឌ្ឍនូវសមត្ថភាពរបស់វាជាបន្តបន្ទាប់ដើម្បីសម្របទៅនឹងលក្ខខណ្ឌ និងមុខងាររបស់ក្នុងលក្ខខណ្ឌបច្ចុប្បន្ន។ រួមបញ្ចូលនៅលក្ខខណ្ឌទាំងនេះដោយឆ្លើយតបទៅនឹងពន្លឺរួមជាមួយបាតុភូតត្រូវបានគេស្គាល់ថា ផូតូម័រជេនេស៊ីស (Photomorgenesis)។

តារាងសង្ខប ធាតុដែលនាំមុខរបស់អរម៉ូន ទីតាំងសំយោគ និងរបៀបការផ្លាស់ទីរបស់អរម៉ូន

អរម៉ូន	ធាតុនាំមុខ	ការសំយោគ	ការផ្លាស់ទី
អុកស៊ីន	ទ្រីបតូផេន (Tryptophan)	ចុងកំពូលលូតលាស់នៃដើម និងស្លឹកខ្ចី	ធ្វើការផ្លាស់ប្តូរពីលើ ចុះក្រោម និងពីក្រោម ឡើងលើ និងផ្លាស់ទីពីផ្នែកខាងក្រោមដល់ផ្នែក កំពូលនៃដើម
ជីបឺរេលីន	មីវ៉ាលអូនិច អាស៊ីត (Mevalonic acid)	កំហាប់ខ្ពស់នៅក្នុង គ្រាប់ដែលមិនទាន់ចាស់ កំហាប់ទាប នៅក្នុងពន្លក ស្លឹកខ្ចី និងដើមផ្នែក ខាងលើ	ដឹកនាំដោយប្រយោល តាមស៊ីឡែម និងប្លូអែម
ស៊ីតូគីនីន	អាដេនីន, អាមីណូ ពួរីន Adenine/ amino purine	ផ្នែកចុងនៃឫស	ផ្លាស់ទី ពីផ្នែកខាងក្រោមដល់ផ្នែក កំពូលនៃដើម តាមស៊ីឡែម និងប្លូអែម
អេទីឡែន	មេត្យូនីន(Methionine)	គ្រប់ផ្នែកទាំងអស់នៃរុក្ខជាតិ	តាមរយៈការសាយភាយ
អាប់ស៊ីស៊ីក អាស៊ីត	មីវ៉ាលអូនិច អាស៊ីត (Mevalonic acid)	គ្រាប់ចាស់, ស្លឹក និងឫស	តាមរយៈបំពង់ស៊ីឡែម និងប្លូអែម

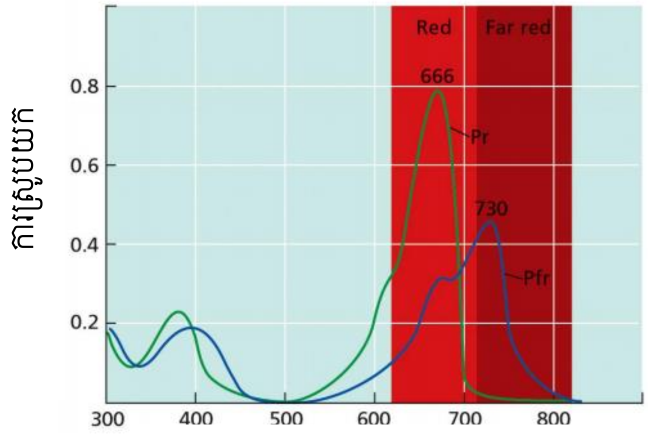
និយមន័យរបស់ ផូតូម័រជេនេស៊ីស (Photomorgenesis) ដូចដែលបានប្រើប្រាស់ គឺមានការប្រែប្រួលទម្រង់ និងតួនាទីទៅតាមសារពាង្គកាយ ដែលកើតឡើងនៅក្នុងការឆ្លើយតប នៅក្នុងផ្លាស់ប្ដូរបរិស្ថានពន្លឺ។ ផូតូម័រជេនេស៊ីស (Photomorgenesis) ជារឿយៗត្រូវបានកំណត់ថាជា និយតកម្មពន្លឺ នៃការវិវឌ្ឍរុក្ខជាតិ ប៉ុន្តែវាមានការផ្លាស់ប្ដូរ លក្ខណៈរូបសាស្ត្រ តួនាទីនិងទម្រង់កោសិកា ដែលកើតឡើងនៅក្នុងលក្ខខណ្ឌអាកាសធាតុបណ្ដោះអាសន្ន ទៅកាន់ការផ្លាស់ប្ដូរបរិស្ថាន ដែលជាអ្នកកំណត់ ដោយពន្លឺ។ ផូតូម័រជេនេស៊ីស (Photomorgenesis) គឺជាដំណើរការសាមញ្ញ ដែល សារពាង្គកាយ អាចលូតលាស់បានល្អ ក្រៅពីរដ្ឋៈរុក្ខជាតិ។ ខណៈពេលដែលមានតែសារពាង្គកាយ ចំនួនពីរបី ឧទាហរណ៍នៃផូតូម័រជេនេស៊ីស (Photomorgenesis) រដ្ឋៈសត្វ ដែលវាគឺមានលក្ខណៈធម្មតា នៃការវិវឌ្ឍនៅក្នុង ពពួកផ្សិត ប្រូទីស និងបាក់តេរី។ គុណភាព (អត្រាផូតុន-photon) បរិមាណ (ការរាប់ផូតុន) ការចាប់យកផូតុន និងរយៈពេល (រយៈពេលនៃពេលភ្លឺ និងចន្លោះពេលងងឹត) ដែលអាចដឹងដោយរុក្ខជាតិតាមរយៈសរសៃនាំ។ ការស្រូបយកជាតិពណ៌ ដោយពន្លឺទាំងអស់នេះទាក់ទង និងកំណរូបរាងរុក្ខជាតិ គឺ ១. Protochlorophyllide, ២. Phytochrome, ៣. Cryptochrome (អ្នកទទួល ពន្លឺពណ៌ខៀវ និង UV-A) ហើយនិង UV-B។

ពោតដែលដាក់ត្រូវពន្លឺ ពោតដែលនៅកន្លែងងងឹត សណ្ដែកដែលដាក់ត្រូវពន្លឺ សណ្ដែកដាក់នៅកន្លែងងងឹត

រូបភាព ១១.១៖ពោត *(Zea mays)* (A និង B) និងសណ្ដែកបារាំង *(Phaseolus vulgaris)* (C និង D) កូនរុក្ខជាតិលូតលាស់បានទាំងក្នុងពន្លឺ (A និង C) ឬពេលងងឹត (B និង D)។ រោគសញ្ញាការលូតក្នុងម្លប់នក្នុងពោត ដែលជារុក្ខជាតិ ម៉ូណូកូទីលេដុន ដែលមានទាំងអវត្តមានភាពបៃតង ការថយចុះទំហំស្លឹក និងស្លឹកឡើងរមូ និងមានកាតពន្លូតកូលេអុបទីល និងមេសូកូទីល។ នៅក្នុងសណ្ដែកបារាំង ជាពពួកឌីកូទីលេដុន វាបង្ហាញពីការលូតលាស់ក្នុងទីងងឹត និងបាត់បង់ភាពបៃតង កាត់បន្ថយទំហំស្លឹក អ៊ីប៉ូកូទីល ការពន្លូតដើម និងរក្សាក្បាលពន្លក។ (Photos © M. B. Wilkins.)

១១.២ ភីតូក្រូម (Phytochrome)

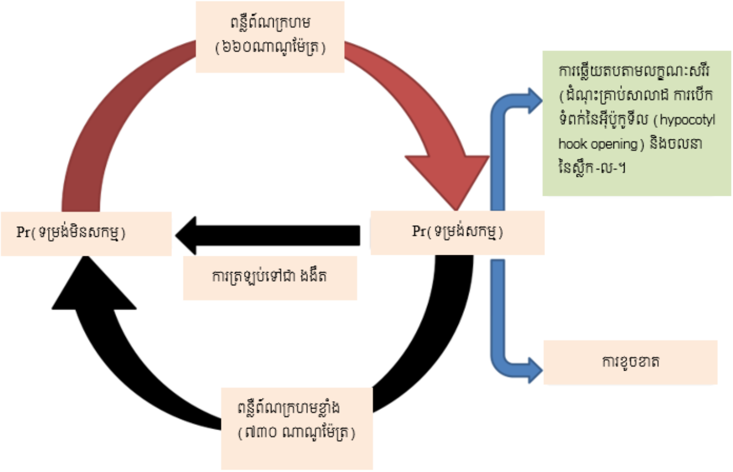
ភីតូក្រូម (Phytochrome) គឺជាអ្នកទទួលយកពន្លឺ និងជាតិពណ៌នៃក្រូម៉ូប្រូតេអ៊ីន នៃទម្រង់ពីរដែលរុក្ខជាតិប្រើប្រាស់ពន្លឺ ដោយផ្ទាល់។ ភីតូក្រូម (Phytochrome) ត្រូវបានសម្គាល់ដោយ ពណ៌ក្រហម និងពណ៌ក្រហមខ្លាំង ដោយសារការស្រូបយកកាំរស្មីព្រះអាទិត្យ។ ជាតិពណ៌របស់ភីតូក្រូម (Phytochrome) របស់វាផ្លាស់ប្តូរខណៈពេល ដែលវាស្រូបយកពន្លឺ។ នៅក្នុងករណីដែល ភីតូក្រូម (Phytochrome) ស្ថិតក្នុងលក្ខខណ្ឌថាមពលទាប វាត្រូវតាងដោយ Pr ដែល r ចង្អុលបង្ហាញពីការស្រូបពន្លឺពណ៌ក្រហមរបស់វា។ ការស្រូបយក ពន្លឺនៅចំណុចអតិបរមាគឺ ៦៦០ ណាណូម៉ែត្រ ដូចនេះកំហាប់របស់សូលុយស្យុង ភីតូក្រូម (Phytochrome) ដែលមើលទៅមានពណ៌ខៀវ បៃតង ទៅកាន់ភ្នែកមនុស្ស។ ប៉ុន្តែនៅពេល ផូតុនពណ៌ក្រហម ត្រូវបានស្រូបជាតិពណ៌ វាទទួលរងការនូវផ្លាស់ប្តូរ រូបរាងភ្លាមៗដើម្បីបង្កើតទម្រង់ Pfr ។ ដែលនៅទីនេះ Pfr ចង្អុលបង្ហាញថា មិនមែនជា ពណ៌ក្រហម តែជាពណ៌ក្រហមខ្លាំង ដែលត្រូវបានហៅថា ជិតពន្លឺពណ៌ក្រហមខ្លាំង (Near infra-red) មានតម្លៃ ៧៣០ ណាណូមែត្រ ដែលត្រូវបានស្រូបយក។ ដែលវេននៃការស្រូបយកនេះ គឺអាចមើលឃើញដោយភ្នែកមនុស្ស ដែលមានពណ៌បៃតងខ្ចី។ នៅពេលដែល Pfr ស្រូបយកពន្លឺពណ៌ក្រហមខ្លាំង វាត្រូវបានបម្លែងទៅជា Pr វិញ។ ដូច្នេះហើយ ពន្លឺពណ៌ក្រហមបង្កើត Pfr ហើយពណ៌ក្រហមខ្លាំងបង្កើត Pr។ នៅក្នុងរុក្ខជាតិ យ៉ាងហោចណាស់ Pfr គឺជាសរីរៈសកម្ម។



ក្រាហ្វិច ១១.២៖ ការស្រូបយកពន្លឺនៃស្រូវសាឡីដោយភីតូក្រូមនៅក្នុង Pr (បន្ទាប់តពណ៌បៃតង) និង Pfr (បន្ទាត់ពណ៌ខៀវ)

លក្ខណៈពិសេសរបស់ភីតូក្រូម (Phytochrome) គឺវាធ្វើការបង្ហាញ ពីលក្ខណៈត្រឡប់នៃការស្រូបយកពន្លឺពណ៌ក្រហម និងពណ៌ក្រហមខ្លាំង ដោយ Pr និង Pfr ។ នៅពេលដែល Pr ស្រូពយកពន្លឺក្រហម ៦៦០ ណាណូម៉ែត្រ វាត្រូវបានបម្លែងទៅជា Pfr ។ នៅពេលដែល Pfr ស្រូបយកពន្លឺពណ៌ក្រហមខ្លាំង

ប្រហែល ៧៣០ ណាណូម៉ែត្រ វាត្រូវបានបម្លែងទៅជា Pr។ សរុបសេចក្តីមកភីតូក្រូម (Phytochrome) ដើរតួនាទីដូចជាអ្នក កុងតាក់ពន្លឺ។



ក្រាហ្វិច ១១.៣៖ ការសង្ខេបពីដំណើរការក្នុងការកំណត់នៃការផ្លាស់ប្តូរ ភីតូក្រូម (phytochrome)

ភីតូក្រូម (Phytochrome) ដើរតួនាទី ដូចជាតុងតាក់ពន្លឺដែលមានលក្ខណៈមិនធម្មតា ដែលអាចបើក និងបិតចំណែកពន្លឺ។ ក្រៅពីពាក្យនេះ ក្នុងបច្ច័យពន្លឺពណ៌ក្រហមនៃ Pr ជាលទ្ធផលនៅក្នុងប្រហែល ៨៥% Pfr+១៥% Pr។ លើសពីនេះ នៅពេលចំណុចស្មើគ្នានៃពន្លឺ គឺមិនមែនគ្រប់ភីតូក្រូម (Phytochrome) ត្រូវបានបម្លែងទេ។ សម្រាប់មូលហេតុនេះគឺដោយសារការស្រូបយកពន្លឺដែលមានជាតិពណ៌ពីរ គឺជាន់គ្នា ហើយពួកវាមានសារៈសំខាន់ក្នុងការប្រកួតប្រជែងក្នុងប្រតិកម្ម។ ពួកវាគឺ ជាគំរូក្នុងការឆ្លើយតប ការដឹកនាំដោយពន្លឺពណ៌ក្រហម ហើយត្រូវបានត្រឡប់ទៅជា ពន្លឺពណ៌ក្រហមខ្លាំង។ ការឆ្លើយតបទាំងនេះគឺធាប់ប្រែប្រួលនៅ ១ μmol m^{-2} ដែលពន្លឺអាចផ្លាស់ប្តូរត្រឡប់ទៅមកនិងឆ្អែតនៅ ១០០០ μmol m^{-2}។ ឧទាហរណ៍ទាំងនោះរួមមាន៖

ក. ការប្រែប្រួលរបស់ពន្លឺទៅលើ ដំណុះគ្រាប់

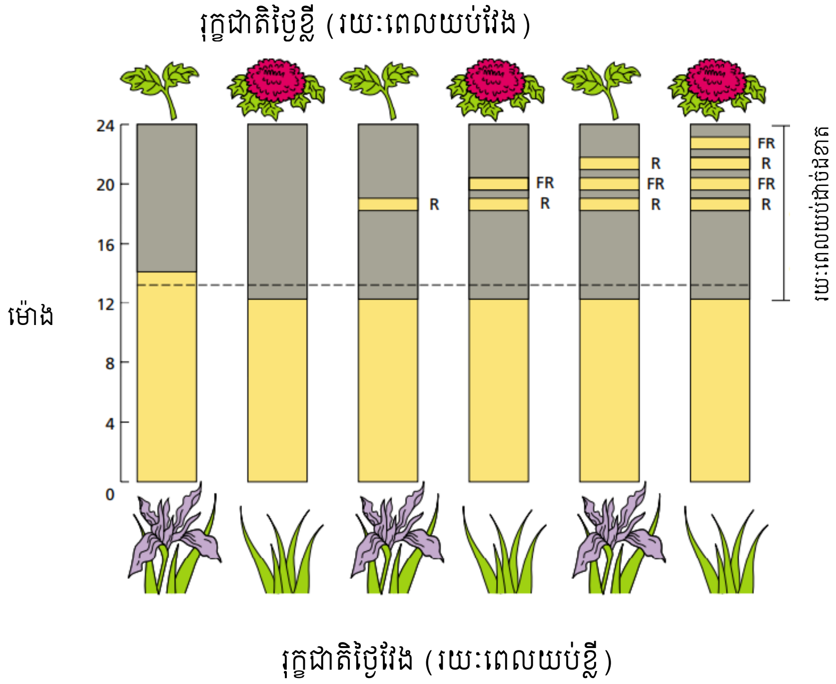
កំណត់សម្គាល់ថា មានគ្រាប់រុក្ខជាតិជាច្រើន ត្រូវការពន្លឺសម្រាប់ដំណុះគ្រាប់ ឧទាហរណ៍ ដូចជាសាលាដ។ ចំណែកគ្រាប់ដទៃទៀត ត្រូវបានរារាំងដោយពន្លឺ ឧទាហរណ៍ដូចជា ពពួកស្រូវសាលីព្រៃ *Phacelia និង Royal Paulownia*។ ភីតូក្រូម (Phytochrome) ត្រូវបានគេសន្មត់ថា ជាអ្នកជំរុញការសំយោគ និងបញ្ចេញអរម៉ូនជីបឺរេលីន និងជួយជំរុញការ ប្រមូលផ្តុំ នៃការស្តុកទុកសារជាតុបម្រុង។ វាផ្តល់ថាមពលសម្រាប់ដំណុះគ្រាប់ និងកាត់បន្ថយអូស្មូស ប៉ូតង់ស្យែល សម្រាប់ការស្រូបយកទឹក ក្នុងការផ្តល់កម្លាំងដល់ពន្លកឫសដើម្បីចាក់ចេញពីគ្រាប់។

ខ. ការប្រែប្រួលរបស់រុក្ខជាតិ នៅពេលអវត្តមានពន្លឺ

រុក្ខជាតិ ដែលលូតលាស់នៅពេលអវត្តមានពន្លឺ គឺជាប្រភេទទាំងឡាយណាដែលបានដាំដុះនៅក្នុងទីងងឹត ហើយវាបង្ហាញនៅលក្ខណៈពិសេសរបស់វាដោយរួមបញ្ចូលការលូតចន្លោះថ្នាំងវែង គ្មានជាតិក្លរ៉ូ

ភីល កំពូលដើមរបស់វាផ្តក់ជាប់គ្នា ឬពន្លកស្លឹករបស់វាមិនបើក ស្លឹករបស់វារីកធំ និងវណ្ណជាប់គ្នា។ កត្តាសម្របទាំងនេះ គឺដើម្បី រក្សាថាមពល និង ទទួលពន្លឺអោយបានឆាប់តាមដែលអាចធ្វើបាន។ ពន្លឺជួយជំរុញបង្កើន អរម៉ូនស៊ីតូគីនីន ដែលជួយជំរុញការបែងចែកកោសិកា និងភាពបៃតងជួយបង្កើនអរម៉ូនជីបឺរេលីន ដែលគេសន្មត់ថាជួយជំរុញការបង្កើតផលិតកម្មអរម៉ូន អ៊ីនដូល ៣ អាសេទិចអាស៊ីតអុកស៊ីដាស ដើម្បីធ្វើសកម្មភាពក្នុងការបង្កើន អ៊ីនដូល ៣ អាសេទិចអាស៊ីត (Indole-3-acetic acid) បណ្តាលឱ្យការលូលាស់វែងស្តើង។ ដូចគ្នានេះផងដែរ អ៊ីនដូល ៣ អាសេទិចអាស៊ីត (Indole-3-acetic acid) ជួយជំរុញការសំយោគអេទីឡែន ដែលជួយរក្សាកំពូលដើមរបស់វាផ្តក់ជាប់គ្នា។ ការដាក់លក្ខខណ្ឌកំពូលដើមជាមួយ ពន្លឺពណ៌ក្រហម និងអេទីឡែនជួយរក្សាការផ្តក់ជាប់គ្នានៃដើម។

នៅក្នុងការពិសោធ ការដាក់ពន្លឺសប្បនិមិត្តបន្ថែមនៅពេលយប់ (Night-break) គឺវាមានភាពចាំបាច់ក្នុងការសិក្សាពីបាតុភូតធម្មជាតិដែលជាប់ទាក់ទងក្នុងការទទួលសញ្ញាពន្លឺ កំឡុងពេលការឆ្លើយតបវដ្តពន្លឺ។ ការរារាំងការចេញផ្កានៅក្នុងរុក្ខជាតិថ្ងៃខ្លី (SDPs) ដោយការបន្ថែមពន្លឺនៅពេលយប់ វាគឺជាដំណើរការសរីរៈដំបូងគេ ក្រោមលក្ខខណ្ឌការគ្រប់គ្រង ភីតូក្រូម។ នៅក្នុងរុក្ខជាតិថ្ងៃខ្លីជាច្រើន ការសម្រាកពេលយប់ក្លាយជាមានប្រសិទ្ធភាពនៅពេលដែលការផ្តល់កម្រិតនៃពន្លឺគ្រប់គ្រាន់ដែលអាចនិយាយបានថាមានភាពឆ្អែតពន្លឺ ដើម្បីបម្លែងពន្លឺនៃ Pr (ភីតូក្រូម ដែលស្រូបយកពន្លឺពណ៌ក្រហម) ទៅ Pfr (ភីតូក្រូមដែលស្រូបយក ពន្លឺក្រហមខ្លាំង (far-red)។ ការដាក់ជាបន្តបន្ទាប់នៅក្រោម ពន្លឺក្រហមខ្លាំង ដែលការបម្លែងពន្លឺនៃជាតិពណ៌ត្រឡប់ទៅលក្ខណៈសរីរៈស្ថិតក្នុងទម្រង់ Pfr មិនសកម្ម ដើម្បីឆ្លើយតបការចេញផ្ការដូចដើមវិញ។

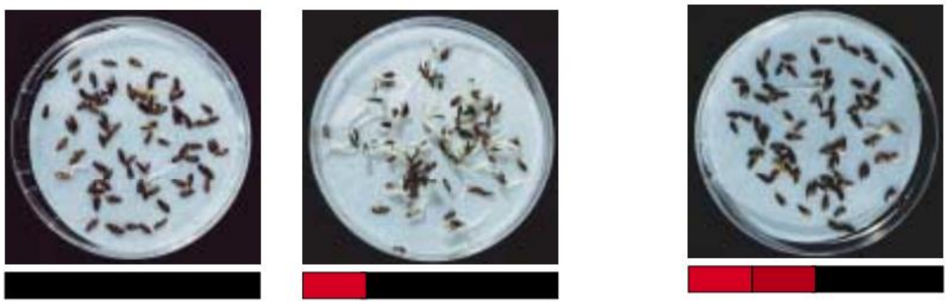


រូបភាព១១.៤៖ ភីត្រូក្រូមគ្រប់ការចេញផ្កា ដោយពន្លឺក្រហម និងក្រហមខ្លាំង។ ពន្លឺពណ៌ក្រហម បញ្ចេញនៅពេលងងឹត ជម្រុញការចេញផ្កាក្នុង រុក្ខជាតិថ្ងៃវែង ហើយឥទ្ធិពលនេះមានលក្ខណៈត្រឡប់នៅពេលដែលដាក់ពន្លឺពណ៌ក្រហមខ្លាំង។ ការឆ្លើយតបនេះគឺ វាមានការទាក់ទងទៅនិង ភីតូក្រូម។ នៅក្នុងរុក្ខជាតិថ្ងៃខ្លីការបើកបន្ថែមពន្លឺពណ៌ក្រហមគឺ រារាំងការចេញផ្កា ហើយឥទ្ធិពលនេះវាមាន លក្ខណៈត្រឡប់នៅពេលមានពន្លឺក្រហមខ្លាំង។

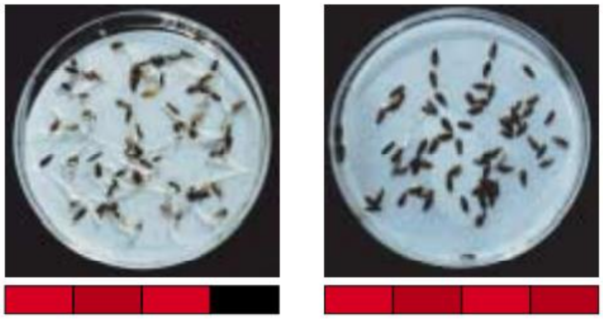
នៅក្នុងរុក្ខជាតិថ្ងៃវែង ពន្លឺពណ៌ក្រហម និងក្រហមខ្លាំង គឺមានលក្ខណៈត្រឡប់ទៅវិញទៅមកដែលត្រូវបានធ្វើការបង្ហាញ។ នៅក្នុងរុក្ខជាតិទាំងនេះ ការសម្រាកដោយការបន្ថែមពន្លឺពណ៌ក្រហមជួយជំរុញញការចេញផ្កា ហើយការដាក់ក្រោមលក្ខខណ្ឌពន្លឺពណ៌ក្រហមខ្លាំងជាបន្តបន្ទាប់ បានរារាំងការឆ្លើយតបរបស់ពួកវា។

១១.៣ ពន្លឺពណ៌ខៀវ ជាអ្នកទទួលពន្លឺ (Blue Light I Cryptochromes)

គ្មានពន្លឺពណ៌ខៀវណាមួយ ដែលជាអ្នកកំណត់ការឆ្លើយតបក្នុងការផ្លាស់ប្តូរពន្លឺទៅវិញទៅមកដែលត្រូវបានរកឃើញក្នុងប្រព័ន្ធគ្រីបតូក្រូម (Cryptochromes) ឡើយ។ គ្រីបតូក្រូម (Cryptochromes) គឺជាឧបករណ៍ចាប់យកពន្លឺពណ៌ខៀវ ដែលទទួលយកពន្លឺដែលត្រូវបានសម្គាល់ និងរកឃើញដោយធ្វើការស្រាវជ្រាវទៅលើរុក្ខជាតិ *Arapidopsis* សំរាប់ការខ្វះជាតិពណ៌ Photomorphogenesis ដើម្បីឆ្លើយតបពន្លឺពណ៌ខៀវ។ នៅពេលធ្វើការកំណត់លំដាប់នុយក្លេអូទីត (DNA Sequencing) សំរាប់ Cryptochromes1 វាត្រូវបានរកឃើញថាមាន សារៈសំខាន់ដូចគ្នាទៅនឹងថ្នាក់ដទៃទៀតនៃ ប្រូតេអ៊ីនដែលស្រូបពន្លឺ ហើយពពួកអង់ស៊ីម DNA Photolyases ដែលទាក់ទងនឹងការជួសជុល DNA ។ គ្រីបតូក្រូម (Cryptochromes) មានការទាក់ទងដោយ ប្រយោលទៅលើពន្លឺពណ៌ខៀវ ដោយមានអំពើទៅលើជាតុផ្សំពីវត្តកូនរុក្ខជាតិ ដែលដុះចេញពីដី និងលូតលាស់ផុតពីដី ដែលក្នុងដំណាក់កាលនេះគឺ ត្រូវការអាំងតង់ស៊ីតេពន្លឺខ្ពស់។ ដូចនេះពួកវាដើរតួនាទីជាអ្នកចាប់យក ទាំងពីនៅ គុណភាពពន្លឺ និងអាំងតង់ស៊ីតេពន្លឺ។



ងងឹត ក្រហម ក្រហម ក្រហមខ្លាំង



ក្រហម ក្រហមខ្លាំង ក្រហម ក្រហម ក្រហមខ្លាំង ក្រហម ក្រហមខ្លាំង

រូបភាព ១១.៥៖ ដំណុះគ្រាប់សាលាដ ដែលជាប្រភេទមាន លក្ខណៈត្រឡប់ពន្លឺទៅវិញទៅមក ដែលឆ្លើយតបទៅនិងភីតូក្រូម។ ពន្លឺពណ៌ក្រហមជួយជំរុញដំណុះគ្រាប់សាលាដ ប៉ុន្តែឥទ្ធិពលនេះមានភាពត្រឡប់ទៅវិញទៅមក ជាមួយពន្លឺពណ៌ក្រហមខ្លាំង។ ទឹកត្រូវស្រូបយកដោយគ្រាប់ដែលផ្តល់ពន្លឺក្រហម និងតាមដោយពណ៌ក្រហមខ្លាំង។

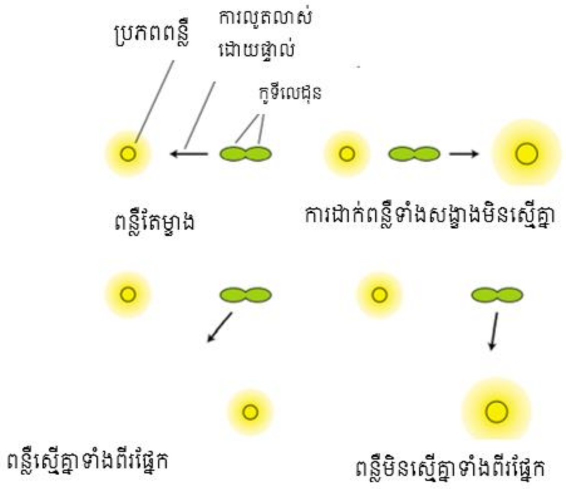
នៅពេលដែលរុក្ខជាតិ ខ្វះនៅជាតុគ្រីបតូក្រូម (Cryptochromes) និង ភីតូក្រូម (Phytochrome) ដែលបង្កើតឡើងដោយសារបន្សំនៅសម្ភារៈសេនេទិចខុសគ្នា ដែលជាលទ្ធផលចង្អុលបង្ហាញថា វាមានលក្ខណដូចគ្នា និងសម្របសម្រួលដោយការកំណត់លើវគ្គរបស់កូនរុក្ខជាតិដែលចាប់លូតពីក្រោមដី រហូតលូតលាស់លើដី (De-etiolation) ដោយសារប្រព័ន្ធទាំងពីរនេះ។ គ្រីបតូក្រូម (Cryptochromes) គឺមិនមែនជាប្រភពទី១ ដែលជាអ្នកចាប់យកពន្លឺដោយផ្ទាល់នៅក្នុងការឆ្លើយតបរបស់រុក្ខជាតិ ដែលលូតលាស់ឬផ្លាស់ប្តូរដោយសារពន្លឺទេ។ គ្រីបតូក្រូម២ (Cryptochromes2) គឺវាបានចូលរួមផងដែរក្នុងការកំណត់ការឆ្លើយតបក្នុងការផ្លាស់ប្តូររបស់សារពាង្គកាយទៅនឹងរយៈពេលណាមួយនៃ ការចេញផ្កា ហើយលើសពីនេះទៅទៀត វាជាអ្នកចាប់យកពន្លឺក្នុងរយៈពេលណាមួយ។ ការជាប់ទាក់ទងរបស់ គ្រីបតូក្រូម (Cryptochromes) នៅក្នុងគំរូដែលកើតឡើង ២៤ ម៉ោងម្តង ដែលធ្វើឱ្យដំណើរការទាំងអស់អូសបន្លាយក្នុង រុក្ខៈសត្វ។ ប្រូតេអ៊ីន និងការកំណត់លំដាប់នុយក្លេអូទីត DNA (DNA Sequencing) វាមានភាពដូចគ្នាទៅនិងគ្រីបតូក្រូម (Cryptochromes) ដែលត្រូវបានរកឃើញ ជាជាតុនាំចូលទៅកាន់ប្រព័ន្ធដំណើរការជីវៈរបស់សត្វកណ្តុរ។

១១.៤ ពន្លឺពណ៌ខៀវនៃ Photoreceptors II – Phototropins

គ្រីបតូក្រូម (cryptochromes) ដូចជាប្រភេទនៃ Phototropins (ផ្ទួលពន្លឺនៃប្រូតេអ៊ីន ដែលជាអ្នកសម្រួលក្នុងទំនោរពន្លឺ) ត្រូវបានរកឃើញតាមរយៈការបន្សុទ្ធពីពពួកដែលមិនឆ្លើយតបទៅនឹងមុយតាស្យុង។ សែនមួយក្នុងចំណោមសែនជាច្រើន នៅពេលដែលវាត្រូវបានផ្លាស់ប្តូរ ហើយវាមានទំនោរទៅរកពពួកផេណូទីប Non-phototropic ដែលត្រូវបានកំណត់សញ្ញាណថាជាអ្នកចាប់យកពន្លឺនៃពពួក Phototropin។ ផលិតផលប្រូតេអ៊ីន នៃសែននេះមានពីរប្រភេទនៃពពួក Flavin mononucleotide chromophores។ ចន្លោះនៃការស្រូបយកសម្រាប់ Phototropin គឺវាមិនផ្លាស់ប្តូរជាមួយចន្លោះសកម្មភាពសម្រាប់រស្មីទំនោរ (Phototropism) ហើយនិងម៉ូលេគុល ដែលត្រូវបានបង្ហាញដែលមានសកម្មភាពផ្សេងគ្នា។

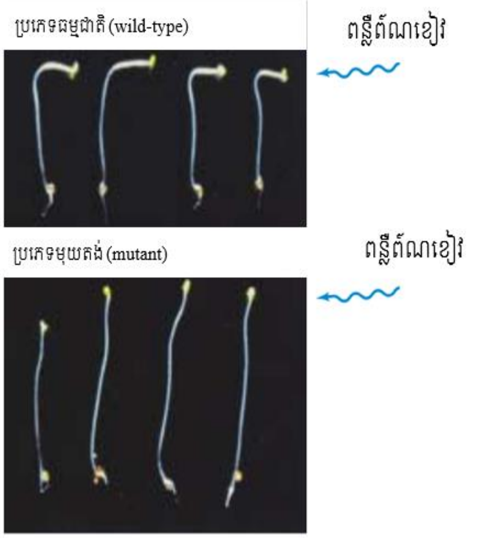
ការលូតលាស់ដោយផ្ទាល់ទៅកាន់ពន្លឺ ត្រូវបានហៅថារស្មីទំនោរ (Phototropism)។ វាត្រូវបានគេអង្កេតនៅក្នុងផ្សិត បណ្តង្គជាតិ (Fern) និងពពួករុក្ខជាតិថ្នាក់ខ្ពស់។ រស្មីទំនោរ (Phototropism) គឺជាហ្វូតូម៉ូហ្វូសេនេទិច (Photomorphogenetic) ដែលកូនរុក្ខជាតិឆ្លើយតបនឹងលក្ខខណ្ឌលូតលាស់ក្នុងទីងងឹត ដែលមានទាំងពពួកម៉ូណូកូទីលេដូន និងឌីកូទីលេដូន។ ពន្លឺតែម្ខាង គឺជាទូទៅដែលត្រូវបានប្រើប្រាស់ក្នុងការសិក្សាពិសោធន៍ ប៉ុន្តែរស្មីទំនោរ (Phototropism) អាចត្រូវបានអង្កេតនៅពេលដែលកូនសំណាបត្រូវបានដាក់ឱ្យនៅក្នុងលក្ខខណ្ឌពីរ ដែលមានប្រភពពន្លឺភ្លឺមិនស្មើគ្នា និងលក្ខខណ្ឌដែលអាចកើតមានឡើងនៅក្នុងធម្មជាតិ។ ដោយសារវាលូតលាស់តាមរយៈដី ដើមរបស់ស្មៅត្រូវបានការពារដោយ ស្លឹកដែលស្រោបពីខាង

ក្រៅដែលហៅថា ស្រោមពន្លកស្លឹក (Coleoptile)។ អ្នកអាចធ្វើការអង្កេតបានថារស្មីទំនោរ គឺការកើតឡើងមានភាពបត់បែននៅក្នុងតែសរីរាង្គលូតលាស់ ហើយស្រោមពន្លកស្លឹកនិងដើមដែលបញ្ឈប់ការពន្លូតដើមនៅពេលដែលវាទទួលពន្លឺមិនបានស្មើគ្នា។ នៅក្នុងការលូតលាស់កូនសំណាបស្មៅក្នុងដី ក្រោមពន្លឺព្រះអាទិត្យ ស្រោមពន្លកស្លឹក (Coleoptile) បញ្ឈប់ការលូតលាស់ភ្លាមៗដើមដុះចេញពីដីហើយស្លឹកពិតប្រាកដទី១ចេញកំពូលស្លឹកមកក្រៅស្រោមពន្លកស្លឹក (Coleoptile)។ ក្រៅពីនេះទៅទៀត រុក្ខជាតិក្នុងទីងងឹត ហើយស្រោមពន្លកស្លឹកដែលលូតក្នុងម្លប់ (Etiolation) បន្តអត្រានៃការពន្លូតដើមខ្ពស់សម្រាប់រយៈពេលពីរបីថ្ងៃ ហើយវាផ្អែកទៅតាមប្រភេទដែលបន្តការលូតលាស់ប្រវែង ពីរទៅបីសង់ទីម៉ែត្រ។



រូបភាព ១១.៦៖ ទំនាក់ទំនងរវាងការលូតលាស់ដោយផ្ទាល់ និងពន្លឺមិនស្មើគ្នា។ កូទីលេដុន មកពីកូនរុក្ខជាតិខ្ចីដែលត្រូវបានបង្ហាញផ្នែកខាងលើ។ សញ្ញាព្រួញបង្ហាញពី ការលូតលាស់ដោយផ្ទាល់ពីពន្លឺ។ វាបង្ហាញពី ការលូតលាស់ដោយផ្ទាល់ពីទីតាំងនិង ប្រភពអាំងតង់ស៊ីតេពន្លឺខុសៗគ្នា។ ប៉ុន្តែការលូតលាស់ជានិច្ចកាល គឺងាកទៅរកពន្លឺ (After Firn 1994.)។

នៅឆ្នាំថ្មីៗនេះ ជំនោរពន្លឺនៃដើមនៃកូនរុក្ខជាតិឌីកូទីលេដូននៃពពួក *Arabidopsis* គឺមានការចាប់អារម្មណ៍ជាខ្លាំងពីព្រោះវាមានភាពងាយស្រួលដែលមាន លក្ខណៈម៉ូលេគុលលូតលាស់លឿនដែលអាចធ្វើការអនុវត្តលើមុយតង់របស់ *Arabidopsis* បាន។



រូបភាព ១១.៧៖ ការលូតលាស់ដោយពន្លឺនៅក្នុងប្រភេទធម្មជាតិ (wild type) និងមុយតង់ (mutant) នៃកូនរុក្ខជាតិ *Arapidopsis* ។ ការផ្តល់ពន្លឺគឺពីខាងស្តាំមក។

បណ្ណាល័យសាស្ត្រ

Alejar. A.A., and M.LD. Sese. 1999. Fundamentals of Plant Physiology. Plant Society of the Philippines Pasig City, Metro Manila. 166 pp.

Campbell, N. A. 1993, 1996. Biology. California: The Benjamin/Cummings Publishing Co. Inc.

Devlin, R.M. and F.H. Witham. 1983. Plant Physiology 4" Ed. Golden Art Printing corp Diliman, Quezon City 577 pp.

Hopkins, W.G., Huner, N.P.A., 2009. Introduction to Plant Physiology, 4th edition. Wiley and Sons. New York.

Nobel, P.S., 2009. Physicochemical and Environmental Plant Physiology. 4th edition. Academic Press/Elsevier Inc. California.

Taiz L and Zeiger. E 1991 Plant Physiology. California: The Benjamin/Cummings Publishing Co., Inc.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M., Murphy, A., 2015. Plant physiology and development. 6th edition. Sunderland, MA: Sinauer Associates.