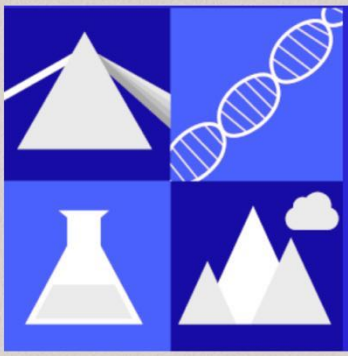
TSJOS.org
Thailand Scholastic Journal of Science

Thailand Scholastic Journal of Science

January – December, 2021
Volume 2, Issue 1



TSJOS.org

Thailand Scholastic Journal of Science

The Thailand Scholastic Journal of Science (TSJOS) is a bilingual, entry-level, reviewed journal dedicated to publishing the original research of Thai secondary school science students.

TSJOS เป็นวารสารสองภาษาที่ได้จัดตั้งขึ้นเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนไทยระดับมัธยมศึกษา

TSJOS.org
Thailand Scholastic Journal of Science

About

ในโลกนี้การสอนวิทยาศาสตร์ให้นักเรียนระดับมัธยมนั้นไม่ควรเป็นเพียงแค่การสอนเนื้อหาวิทยาศาสตร์เท่านั้น แต่ควรสอน *ให้เป็นนักวิทยาศาสตร์อ* นักเรียนควรได้ทดลองทุกด้านของการเป็นนักวิทยาศาสตร์ ควรได้ทั้งการเรียนรู้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่มีอยู่ในหนังสือเรียน และการเรียนรู้วิธีการสร้างความรู้ใหม่ผ่านการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ จากนั้นก็ต้องมีโอกาสที่จะเผยแพร่ผลงาน ที่องค์กร StudentScientists.org เรามีเป้าหมายในการพัฒนาหลักสูตรวิทยาศาสตร์ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนทำการวิจัยและเผยแพร่ผลงาน เราเลยได้จัดตั้งวารสารวิทยาศาสตร์ Thailand Scholastic Journal of Science ไว้

บทความการวิจัยที่ส่งไปยัง TSJOS ได้รับการคัดเลือกจากบรรณาธิการ จากนั้นบรรณาธิการจัดส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิ (Reviewer) พิจารณา หลังจากการทบทวนและการยอมรับบรรณาธิการจะให้คำปรึกษากับผู้เขียนในการทบทวนบทความตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ เมื่อแก้ไขเสร็จแล้วบรรณาธิการจะส่งบทความไปยังผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อขออนุมัติขั้นสุดท้าย บทความจะถูกเผยแพร่ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ วารสารรับบทความเพื่อตีพิมพ์บทความตามเกณฑ์ที่กำหนดตลอดทั้งปี

วารสารวิทยาศาสตร์ Thaland Scholastic Journal of Science เป็นวารสารออนไลน์ที่ไม่มีค่าใช้จ่ายในการเสนอบทความหรือค่าใช้จ่ายจากผู้เขียน บทความที่ตีพิมพ์ใน TSJOS มีลิขสิทธิ์ภายใต้การอนุญาต Creative Commons ประเภท CC BY ผู้เขียนจะถือลิขสิทธิ์ของบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารไว้เป็นของตนเอง

In an ideal world, teaching science to secondary school students means not just teaching students the science content, but also teaching them *how to be scientists*. Students should experience all aspects of being a scientist. They should not only master current scientific knowledge found in text books, they should also learn how to *create new knowledge* through scientific research and then have the opportunity to *publish* their work. At StudentScientists.org, we work towards the development of science curricula that include opportunities for original student research and publishing. As a part of that effort, we have established the Thailand Scholastic Journal of Science.

The Thailand Scholastic Journal of Science is a bilingual, entry-level, peer-reviewed journal publishing papers in Thai and/or English. TSJOS is dedicated to publishing the original research of Thai secondary students in all areas of STEM. Papers submitted to the TSJOS undergo an editorial selection process and are then forwarded to a Reviewer. Following review and acceptance, the editor consults with the author to revise the paper according to the suggestions of the reviewer. Upon revision, the paper is sent to the reviewer for final approval. The TSJOS publishes papers on a rolling basis as they are received throughout the year.

The Thailand Scholastic Journal of Science is an online, Open-Access Journal with no author or submission fees. Papers in the TSJOS are copyrighted under Creative Commons licensing, CC BY. Authors retain the copyright to their papers published in the Journal.

Editorial Staff

Editor-in-Chief: Jonathan Eales, PhD

Editors

- Min Medhisuwakul, PhD
- Orawan Chaowalit, PhD

Editorial Board

- Arjaree Thirach
- Tanawan Leeboonngam
- Ian Jacobs, PhD

.

TSJOS.org
Thailand Scholastic Journal of Science

Aims & Scope

TSJOS เป็นวารสารที่เปิดโอกาสให้นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายได้มีโอกาสตีพิมพ์ผลงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมและคณิตศาสตร์ หรือ สะเต็ม TSJOS ใช้กระบวนการคัดเลือกและแก้ไขอย่างเข้มงวดเพื่อให้แน่ใจว่าเอกสารที่ตีพิมพ์นั้นเป็นงานที่นักเรียนสร้างขึ้นเอง และส่งเสริมให้เกิดองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์แก่มวลมนุษยชาติ

วารสารนี้เผยแร่ผลงานวิจัยในระดับที่ไม่ยากมาก และเป็นงานวิจัยในระดับเริ่มต้นแต่มีความหมายในการเผยแพร่องค์ความรู้ด้านสะเต็ม งานวิจัยที่ทำร่วมกับสถาบันการศึกษาระดับสูงหรืองานที่ทำร่วมกับหน่วยงานวิจัยระดับอุตสาหกรรมอาจจะไม่เหมาะสมกับการตีพิมพ์ผลงานในวารสารนี้

งานวิจัยระดับเริ่มต้นนั้นไม่ได้คาดหวังว่าจะต้องเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับงานระดับโลก หากแต่เป็นงานวิจัยเล็ก ๆ ที่มีความหมาย และมีส่วนในการขยายองค์ความรู้ให้กว้างออกไป งานวิจัยที่ตีพิมพ์ใน TSJOS จะต้องแสดงให้เห็นถึงความใหม่ ความถูกต้อง และความมั่นใจในระดับสูงต่อการค้นพบในงานนั้น ๆ นอกจากนั้นจะต้องให้ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยที่อาจมีต่อเนื่องจากผลงานนั้น ๆ ได้

The Thailand Scholastic Journal of Science provides a venue for Thai secondary school students to publish original research conducted as part of their science and STEM studies. The TSJOS employs a rigorous selection, review and revision process to ensure that papers published constitute an original, valid contribution to human knowledge.

The Journal publishes entry-level research that has been conducted by Thai students in the secondary school laboratory. Papers are published in all areas of STEM and the natural sciences on any topic related to a typical secondary science curriculum. Special research conducted by secondary school science students outside their normal courses using university or industry laboratory facilities are not appropriate for publishing in the TSJOS.

Entry-level research is not expected to address cutting-edge topics. Entry-level papers represent a small but meaningful contribution to extending our knowledge of the world. Papers published in the TSJOS must demonstrate originality, validity, and high levels of confidence in the findings, and offer suggestions for continuing research.

Contact

ถ้ามีคำถามหรือคำแนะนำติดต่อได้ที่

If you have any questions or comments regarding the Thailand Scholastic Journal of Science please contact the Editor:

Dr. Jonathan Eales
Editor.TSJOS@gmail.com

The Thailand Scholastic Journal of Science is associated with

Student Scientists Organization
254/153 Ramkamhaeng 112, Sapan Soong
Bangkok, Thailand 10240
www.StudentScientists.org

TSJOS.org
Thailand Scholastic Journal of Science

Thailand Scholastic Journal of Science

Volume 2, Issue 1, January-December, 2021

From the Editors

Papers

1 The Effect of Shaking on Mung Bean Growth
Jooladit Janda and Paphob Juansawang
การเขย่าต่อการเจริญเติบโตของต้นถั่วเขียว
จุลดิศ จันดา และ ปภพ จวนสว่าง

ISSN ****-****

(cc) BY

Download Issue (PDF)

TSJOS.org
Thailand Scholastic Journal of Science

Thailand Scholastic Journal of Science

Volume 2, Issue 1, January-December, 2021

From the Editor

Dear Readers,

The past two years, with the COVID pandemic shutting down normal life, have made establishing the Thailand Scholastic Journal of Science more difficult than expected. With students sequestered at home for much of the time, and with students limited to learning through a screen, the development of student research in Thai secondary schools was challenging. As a result, TSJOS has managed to get only one paper published this year, an interesting paper by young scientists from PCSHS Phetchaburi on the effect of continual shaking on the growth of mung beans.

We at TSJOS hope that the papers in our journal will inspire secondary students around Thailand to dream of publishing their own original research and making a contribution to our scientific understanding of a small corner of our world. We encourage all Thai secondary students to submit their original, entry-level research to the TSJOS for review.

Jonathan Eales
Editor-in-Chief, TSJOS

The Effect of Shaking on Mung Bean Growth

Jooladit Janda and Paphob Juansawang
Princess Chulabhorn Science High School Phetchaburi
427 Moo 8, Khao Yai, Cha-am, Phetchaburi, Thailand, 76120
Email: Jooladit@gmail.com

Abstract
Much research has been conducted into the effects of mechanical stress on the growth of mature plants,[1] however little research has been done on its effects on seedling growth. Here we subject mung bean seedlings to horizontal oscillation using an orbital shaker. The plants were grown for 10 days under continuous oscillation at rates ranging from 0 to 200 revolutions per minute (rpm). The results show that the oscillation has a significant effect on stem growth, with increasing oscillation rate correlated with reduced growth. Increased oscillation also reduced central root growth and increased side root curling, but had no effect on leaf size.

Keywords: mung bean, growth, mechanical stress, circular shaking

I. INTRODUCTION

Looking at plants that grow along the beach where they are continually buffeted by the wind, it can be seen that they tend to have shorter stems than plants of the same species which are not exposed to the wind. It has been shown that plants grown in closed greenhouses tend to grow longer stems which are fragile and prone to breaking[1] due to the fact that they have not experienced any wind during their growth. We simulate the effect of wind stress by using an orbital shaker to study the effect of continual horizontal shaking on the growth of sprouting mung bean plants.

Researchers studying the effect of raising tomato plants in the dark and with no fixed gravitational direction, achieved by continual clinorotation, have found that these conditions resulted in strongly curved stems and curled roots. Raising them under clinorotation but with a fixed light source resulted in less strongly curved stems and curled roots. Planting mung beans under these conditions also produced curved stems, however the roots were only slightly curved.[2]

Several researchers have studied the effect of circular shaking on growing plants. Beyl and Mitchell found that shaking chrysanthemum plants for a short time each morning stunted their growth,[3] while Akers and Mitchell showed that shaking Alaska pea plants (*Pisum sativum* L.) for a short time every day reduced the yield.[4]

Here we subject mung beans to continual horizontal circular motion of varying frequency to determine the effect on stem length, leaf size, root length, and the inner cross-sectional structure of the stem.

II. METHODS

Preparation for Planting

A 1% w/v solution of Agar in water was prepared and boiled for 30 minutes. Thirty-two wide mouth, 300 ml jars were half-filled with the Agar solution and placed in a refrigerator overnight to solidify. The mung bean seeds were soaked in warm water for 10 minutes to decrease germination time[5] and 10 seeds were planted in each of the jars. The seeds were planted 1 cm deep in the Agar medium.

Growing conditions

The planted jars were divided into four groups of eight jars each. The first group was kept stationary as a control, and each of the remaining three groups was placed on an orbital shaker (figure 2). The three orbital shakers were set to oscillate at rates of 100, 150, and 200 rpms. The centrifugal force (RCF) experienced by each of the groups, shown in figure 1, was calculated as,

$$RCF = 1.12 \times Radius \times (rpm/1000)^2 \quad (1)$$

Rate of Rotation (rpm)	Centrifugal Force (g-force)
0	0
100	1
150	2
200	4

Figure 1. Rate of rotation of each group and its approximate centrifugal force.

Plant Measurements

The growth of the bean plants was monitored for 8 days, starting 3 days after planting. Each day, one of the jars from each group was taken for measurement. Each of the plants in the jar was extracted from the growth medium and the following measurements taken: stem length (including both hypocotyl and epicotyl), leaf length and width, and root depth measured from the end of the hypocotyl. The shape of the root was also recorded and described qualitatively. On the last day, a freehand cross-section of the middle of the stem of 1-2 randomly selected plants from each condition was done and microscopic images recorded in order to observe the effect of the shaking on the internal cellular structure of the stems.

III. RESULTS AND DISCUSSION

Continual horizontal circular motion at different rotational rates for the first 10 days of growth has a clear effect on the growth of mung bean plants. Increased rate of oscillation results in significantly less growth, as seen in figure 3. It can also be seen that the size of the leaves does not seem to be significantly affected by the stress of shaking. It should be noted that the leaning of the plants observed in figure 3 is likely due to the fact that all the groups were grown in a room with sunlight entering from a single window to one side for the entire growing period.

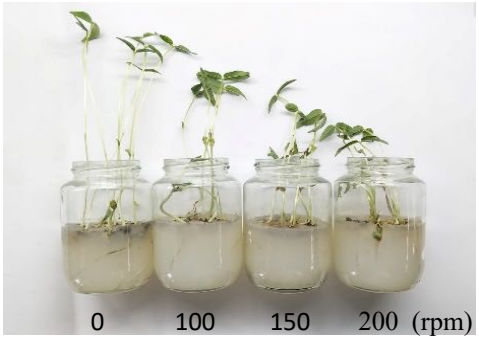


Figure 3. Growth of bean plants after 10 days.

Figure 2. The jars secured on the orbital shaker.

Looking at figure 4, it is clear that increasing the rate of oscillation results in a correlating decrease in stem height. After 10 days, the control group plants with no shaking had grown an average of 18 cm, but for each 50 rpm increase in oscillation rate the stem height decreased by about 2 cm. Upon conducting a paired sample t-test between the stem length of the control plants and the 200 rpm condition 10 days after planting, the results showed $t(2) = 40.6$, $p < 0.0$, meaning the stem length of plants under the 200 rpm condition ($M = 8.3$, $SD = 0.3$) showed a statistically significant reduction compared to the stem length of the plants under normal conditions ($M = 17.50$, $SD = 0.16$). This agrees with Mitchell's results showing that shaking produces stress in plants leading to reduced stem growth.[3] Our results also support Mitchell's results in showing that increased stress, caused by increased rates of oscillation, results in corresponding decreases in stem height.

Upon studying the characteristics of the stem cross-sectional images taken on day 10 (figure 5), it was found that plants grown under normal conditions

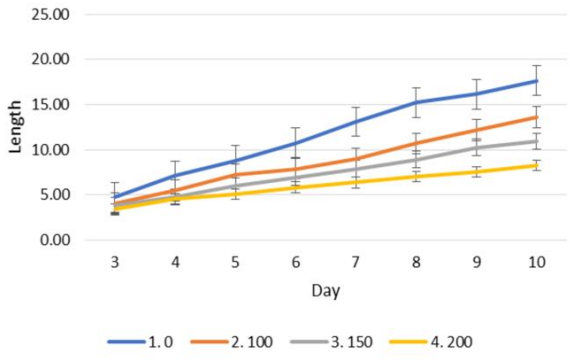
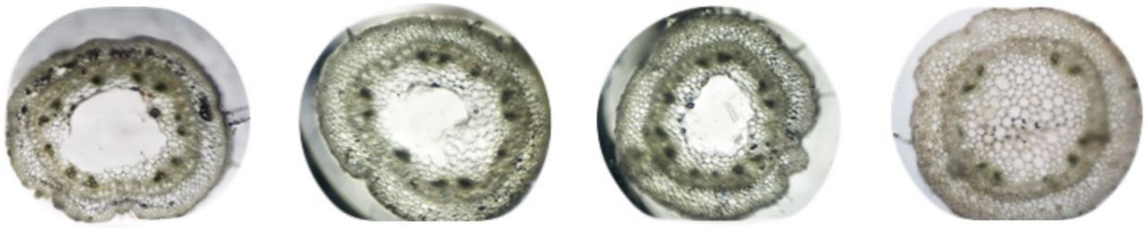


Figure 4. Stem length and oscillation rate over 10 days.



0 rpm 100 rpm 150 rpm 200 rpm

Figure 5. Images of the stem cross-sections of the plants grown under different conditions after 10 days growth.

had a larger area of empty space in the center of the stem, while plants grown under oscillation conditions showed reduced empty space. The stems of plants grown with no shaking had approximately 17% of the area with no cell structure, while the stems of plants grown under 100 rpm condition showed a reduced open area, about 15%. Those grown under 150 rpm conditions ended up with about 13% empty space and those grown at 200 rpm showed no empty space at all. The stress of shaking seems to have caused an increase in cellulose production in the cells in the stem. This might be the cause of the reduction in stem length, is it would mean reduced energy available for growth.

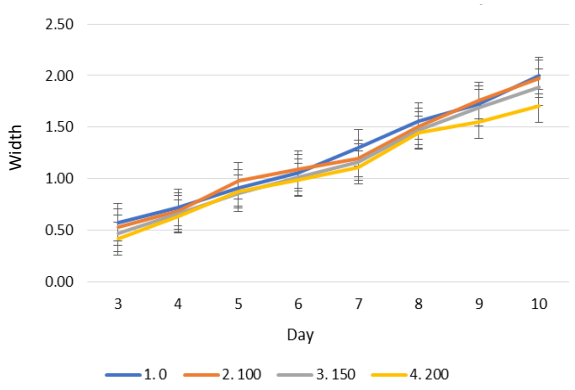


Figure 6. Leaf width and oscillation rate over 10 days.

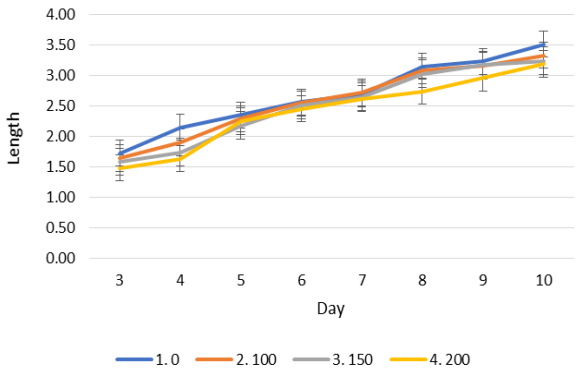


Figure 7. Leaf length and oscillation rate over 10 days.

From figures 6 and 7 we can see that increasing the rate of oscillation had no significant effect on leaf size for the first 10 days of growth. This is in contrast to Hammer's results which show that shaking reduces leaf size and quantity in grown plants.[7] It is possible that continuing to shake mung bean plants after they are fully mature might also result in reduced leaf size and number.

Looking at figure 8, it is clear that growing mung beans under oscillation conditions caused the side roots to curl, which was not found by previous research subjecting plants to horizontal shaking. Interestingly, this result was shown by Swandala when growing plants under clinorotation conditions.[2] The central root was shown to react similarly to the stem, with length being directly correlated to oscillation rate, as shown in figure 9.

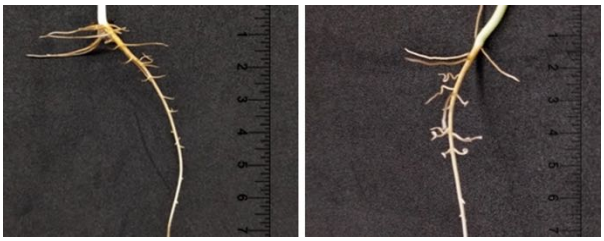


Figure 8. The roots of a plant grown under normal conditions (left) and at 200 rpm oscillation (right) after 10 days.

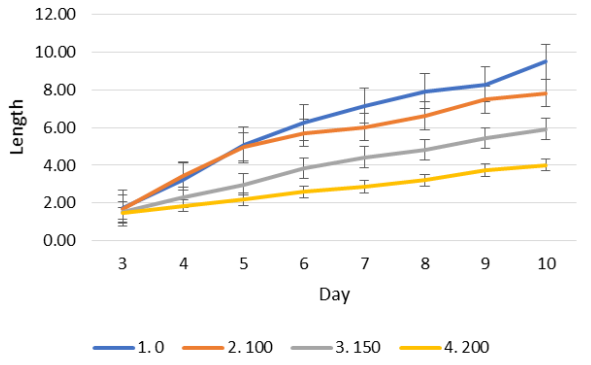


Figure 9. Central root length and oscillation rate over 10 days.

As we investigated the effects of oscillation on mung bean plant growth for only the first 10 days after germination, it is possible that plants will react differently as they mature. It is therefore recommended that further research be conducted on plant growth beyond 10 days. It would also be useful for research on the the effects of oscillation on other plant species to be conducted. Given that the lowest oscillation rate tested in this research was 100 rpm, further research into the effects of more gentle shaking on plant growth is also recommended.

IV. CONCLUSION

It was shown that growing mung beans under conditions of continual horizontal oscillation resulted in reduced stem growth and increased stem wall thickness, but had no effect on leaf size. Oscillation during growth also caused reduced central root growth and curling of the side roots.

V. REFERENCES

1. Mitchell, C. (1996). Recent Advances in Plant Response to Mechanical Stress: Theory and Application. *Horticultural Science 31* (1), 31-35.

2. Swandjaja, L., Esyanti, R., Khairurrijal, R., Dwivany, F., Latief, C. (2014). The Effect of Clinorotation to the Growth of Tomato (Lycopersicon esculentum) and Mung Bean (Vigna radiata) Seedlings. *Transactions of the Japan Soc. For Aeronaut. And Space Sciences 12,* (ists29), 5-10. doi: 10.2322/tastj.12.Th_5.

3. Beyl, C. and Mitchell, C. (1977). Characterization of mechanical stress dwarfing in chrysanthemum. *J. Amer. Soc. Hort. Sci. 102*, 591–594.

4. Akers, S., and Mitchell, C. (1984). Seismic stress effects on vegetative and repro-ductive development of ‘Alaska’ pea. *Canadian Journal of Botany 62*, (10) 2011-2015.

5. Rhoades, Heather. (2018, May 18) *How To Soak Seeds Before Planting And The Reasons For Soaking Seeds.* GardeningKnowHow. https://wwwgardeningknowhow.com/garden-howto/propagation/seeds/soaking-seeds.htm.

6. Gleason, Kelly. (2012, July 15). *How to convert Centrifuge RPM to RCF or G-force?* Clinfield. https://clinfield.com/how-to-convert-centrifuge-rpm-to-rcf-or-g-force/

7. Hammer, P., Mitchell, C., and Weiler, T. (1974). Height control in greenhouse chrysanthemum by mechanical stress. *HortScience 9*, 474–475.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to express their sincere thanks to Mr.Nattapon Klinput, project adviser, for invaluable help and constant encouragement throughout the course of this research and to Princess Chulabhorn Science High School Phetchaburi for financial support.

การเขย่าต่อการเจริญเติบโตของต้นถั่วเขียว

จุลดิศ จันดา และ ปภพ จวนสว่าง
โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย เพชรบุรี
427 หมู่ 8 ต.เขาใหญ่ อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี 76120
อีเมล์: Jooladit@gmail.com

บทคัดย่อ
ในปัจจุบันมีงานวิจัยที่ศึกษาถึงผลกระทบของการแกว่งในแนวแกนต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่โตเต็มวัยเป็นจำนวนมาก[1] แต่ยังไม่มีงานวิจัยที่ศึกษาในช่วงแรกหลังการงอก ในงานวิจัยนี้ถั่วเขียวได้ถูกปลูกในความเร็วรอบของการหมุนที่แตกต่างกันตั้งแต่ 0 ถึง 200 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 10 วัน จากการทดลองพบว่า การเขย่าให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมในแนวระนาบส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของลำต้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยความยาวต้นจะลดลงเมื่อปลูกภายใต้ความเร็วรอบที่มากขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลเช่นเดียวกันในการเจริญเติบโตของรากและทำให้รากเกิดการบิดเกลียว แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อขนาดของใบไม้

คำสำคัญ: การเจริญเติบโต การเขย่า เคลื่อนที่เป็นวงกลม

1. บทนำ

จากการสังเกตต้นไม้บริเวณชายหาดที่มีลมพัดแรงพบว่าต้นไม้ที่ถูกลมพัดเขย่า มีความสูงของลำต้นที่น้อยกว่าพืชชนิดเดียวกันในพื้นที่ที่มีลมน้อย และจากการศึกษาปัญหาการปลูกพืชในโรงเรือนเพาะปลูกระบบปิดทางภาคเหนือ พบว่าพืชมีความสูงของลำต้นมากแต่ลำต้นไม่แข็งแรง[1] เนื่องจากไม่เคยได้รับแรงลมจากภายนอกขณะเจริญเติบโต ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเขย่าส่งผลต่อความสูง ความแข็งแรงของลำต้น

จากงานวิจัยการปลูกพืชภายใต้สภาวะไร้ทิศทางพบว่าเมื่อปลูกมะเขือเทศภายใต้สภาวะนี้โดยไร้แสงจะเกิดการโค้งงอของลำต้น และการบิดเกลียวของรากแต่เมื่อปลูกโดยมีแสง การโค้งงอและการบิดเกลียวกลับลดลง ส่วนถั่วเขียวที่ปลูกในสภาวะไร้แสงพบว่าลำต้นและรากจะเกิดการโค้งงอแต่ไม่บิดเกลียว[2]

นักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาถึงผลกระทบของการเขย่าให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมในแนวระนาบที่มีต่อต้นไม้ Beyl และ Mitchell พบว่าการเขย่าต้นเบญจมาศเป็นเวลาสั้นๆ ตอนเช้าทำให้ลำต้นสั้นลงกว่าปกติ[3] Akers และ Mitchell พบว่าการเขย่าถั่วลันเตา (Pisum sativum L.) ทุกวันเป็นเวลาสั้นๆ ส่งผลให้ออกผลน้อยลง[4]

โครงงานนี้จึงศึกษาผลของการเขย่าเป็นวงกลมในแนวระนาบอย่างต่อเนื่อง ด้วยความเร็วของการเขย่าที่แตกต่างกันจะส่งผลถึงการเจริญเติบโตของถั่วเขียวอย่างไร โดยวัดความยาวของลำต้น ขนาดของใบ ความยาวของราก และการศึกษาลักษณะทางกายภาพของลำต้นจากภาพตัดขวาง

2. วิธีการทดลอง

การปลูกเมล็ดถั่วเขียว

นำผงวุ้น AGAR มาผสมกับน้ำโดยมีความเข้มข้นเป็น 1% W/V และนำไปต้มจนเดือดเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ใส่ในโหลแก้วปากกว้าง 5 เซนติเมตร โหลละ 300 มิลลิลิตร แล้วนำไปแช่เย็นให้แข็งตัวเป็นเวลา 1 คืน แช่ถั่วเขียวลงในน้ำอุ่นเป็นเวลา 10 นาที เพื่อช่วยเร่งให้เพาะถั่วงอกได้เร็วขึ้น[5] หลังจากนั้นจึงนำไปปลูกลงบนโหลแก้วที่เตรียมไว้ข้างต้น โหลละ 10 เมล็ด จำนวน 32 โหล โดยปลูกให้จมลงไปในวุ้น 1 เซนติเมตร

รูปที่ 1 การบรรจุโหลลงบนเครื่องเขย่าสาร

การกำหนดค่าความเร็วรอบการคำนวณค่าแรงเหวี่ยงและการกำหนดสภาวะในการปลูก

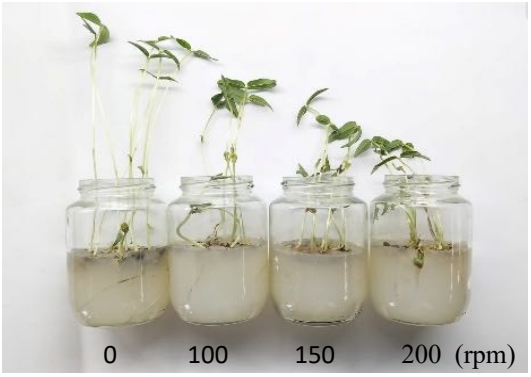
โหลทั้งหมดถูกแบ่งเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 8 โหล กลุ่มหนึ่งถูกปลูกแบบปกติเป็นกลุ่มควบคุม และอีก 3 กลุ่มที่เหลือถูกนำไปบรรจุลงบนเครื่องเขย่าสาร (Orbital Shaker) 3 เครื่อง เครื่องละ 1 กลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 1.

แต่ละเครื่องถูกตั้งค่าความเร็วหมุนต่อรอบต่างกัน คือ 100 150 และ 200 RPM การคำนวณค่าแรงเหวี่ยง (RCF)[6] ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งใช้สูตรคือ

$$RCF = 1.12 \times Radius \times (rpm/1000)^2 \qquad (1)$$

การวัดค่าและบันทึกผลการทดลอง

ถั่วเขียวถูกบันทึกผลการทดลองเป็นเวลา 8 วัน เริ่มวัดค่าตั้งแต่วันที่ 3 หลังการปลูก โดยสุ่มมาแยกออกจากอาหารแข็งแล้วนำไปวัดค่าต่างๆ วันละ 1 โหล



รูปที่ 3 การเจริญเติบโตของถั่วเขียวเมื่อครบ 10 วัน

ความเร็วรอบของการเขย่า (RPM)	แรงเหวี่ยง (G-FORCE)
0	0
100	1
150	2
200	3

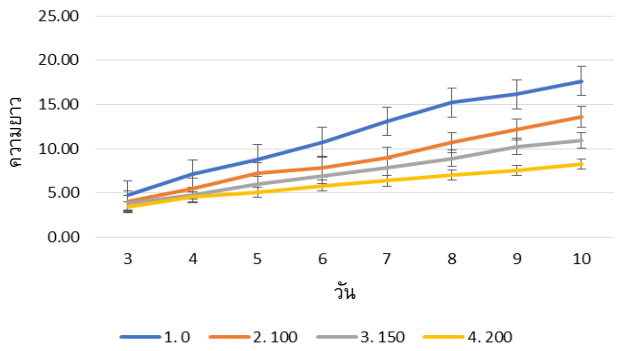
รูปที่ 2 แสดงค่าแรงเหวี่ยงในการเขย่าด้วยความเร็วต่างๆ

ดังนี้ วัดความยาวของลำต้นโดยวัดทั้งไฮโปคอททิล (hypocotyl) และเอพิคอททิล (epicotyl) ความยาวและความกว้างของใบ ความยาวของรากในแนวดิ่งโดยวัดตั้งแต่จุดสิ้นสุดของ hypocotyl และลักษณะของรากที่ปรากฏ นอกจากนั้นยังทำการสุ่มถั่วเขียวที่ปลูกภายใต้ความเร็วรอบแตกต่างกัน ในวันที่ 10 มา 1-2 ต้น นำมาตัดตามขวาง (cross section) ที่บริเวณกึ่งกลางของความยาวลำต้น ด้วยเทคนิค freehand section เพื่อสังเกตลักษณะกายวิภาคและเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสัณฐานภายในลำต้นอีกด้วย

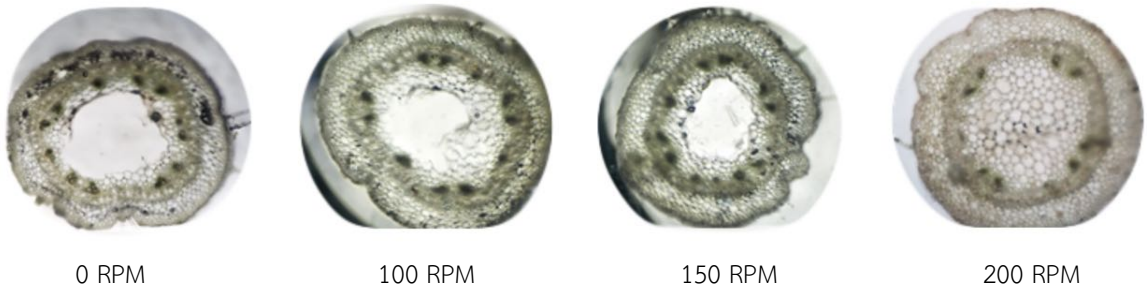
3. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ผลการทดลองปลูกถั่วในสภาวะเขย่าเป็นวงกลมในแนวระนาบด้วยความเร็วรอบที่แตกต่างกันเป็นเวลา 10 วัน จะเห็นว่าถั่วที่ปลูกภายใต้แรงเหวี่ยงมากกว่ามีความยาวของลำต้นน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญดังแสดงในรูปที่ 3 แต่ลักษณะภายนอกของใบไม้ยังไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ การเอนของลำต้นที่สังเกตได้อาจเกิดจากแสงที่ส่องเข้ามาในห้องมีทิศทางเดียวตลอดการทดลอง

จากรูปที่ 4 เห็นได้ว่าถั่วที่ปลูกภายใต้แรงเหวี่ยงที่มากขึ้นจะมีแนวโน้มของความยาวลำต้นลดลง โดย



รูปที่ 4 ความยาวของลำต้นที่ปลูกภายใต้แรงเหวี่ยงต่างกัน

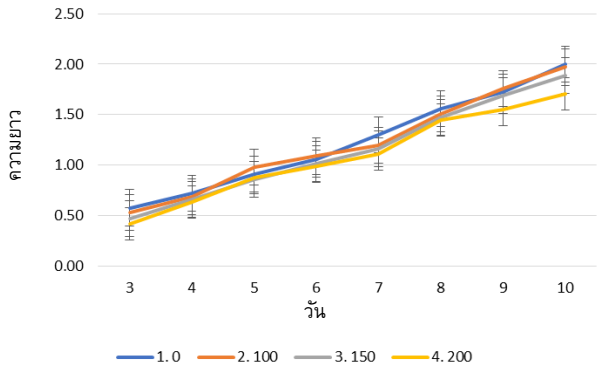


รูปที่ 5 ภาพตัดขวางของลำต้นถั่วเขียวที่ปลูกภายใต้ความเร็วรอบแตกต่างกัน ณ วันที่ 10 หลังการปลูก

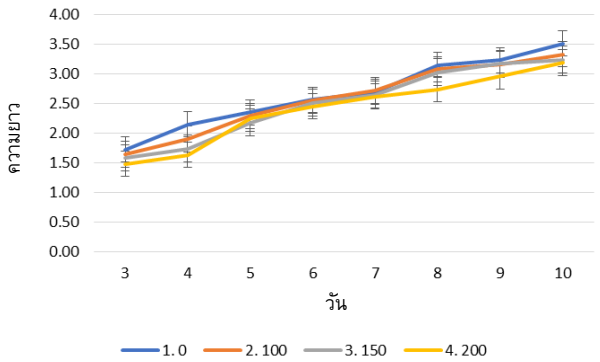
เมื่อครบ 10 วัน ต้นที่ปลูกในสภาวะปกติมีความสูงประมาณ 18 ซม. และเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น 50 RPM จะทำให้ความสูงลดลงประมาณ 2 ซม. เมื่อนำไปวิเคราะห์ความแตกต่างของค่ากลางสองประชากรไม่อิสระ (Paired Sample t-test) ระหว่างความยาวของลำต้นที่ปลูกในสภาวะปกติกับความยาวของลำต้นที่ปลูกภายใต้แรงเหวี่ยง 200 RPM ในวันที่ 10 หลังการปลูก ปรากฏว่าค่าสถิติทดสอบ $t(2) = 40.6$, $p < 0.01$ แสดงว่าความยาวของลำต้นปลูกภายใต้แรงเหวี่ยง 200 RPM ($M = 8.3$, $SD = 0.3$) ลดลงจากความยาวของลำต้นที่ปลูกในสภาวะปกติ ($M = 17.50$, $SD = 0.16$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ 0.01 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mitchell ที่พบว่าการเขย่าจะทำให้พืชเกิดความเครียด ส่งผลให้ลำต้นของพืชมีความสูงลดลงกว่าปกติ[3] จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น ระดับความเครียดจะมากขึ้น มีผลทำให้ความยาวของลำต้นลดลง จากการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพจากภาพตัดขวางตัวอย่างลำต้นถั่วเขียวในวันที่ 10 (รูปที่ 5) พบว่าพืชที่ปลูกในสภาวะปกติมีช่องว่างในลำต้นมาก แต่เมื่อปลูกในความเร็วรอบที่มากขึ้น ช่องว่างจะมีแนวโน้มลดน้อยลง คือที่ 0 RPM มีพื้นที่ว่าง 17% 100 RPM มีพื้นที่ว่าง 15% ภายใต้แรงเหวี่ยง 150 RPM มีพื้นที่ว่าง 13% และที่ 200 RPM มีพื้นที่ว่าง 0% ตามลำดับ เห็นได้ว่าความเครียดส่งผลให้การผลิตเซลลูโลสในลำต้นพืชเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้พืชต้องลดพลังงานในการเจริญเติบโตของลำต้น ดังนั้นความยาวของลำต้นพืชจึงลดลง

จากรูปที่ 6 และ 7 เห็นได้ว่าการเพิ่มความเร็วรอบไม่ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ต่อขนาดของใบในช่วงแรกของการเจริญเติบโต แต่จากงานวิจัยของ Hammer พบว่าการเขย่าทำให้ปริมาณใบไม้ในต้นไม้ที่โตเต็มวัยลดลง[7] จึงเป็นไปได้ว่าเมื่อถั่วเขียวเจริญเติบโตมากขึ้นการเขย่าอาจมีผลกระทบต่อใบไม้

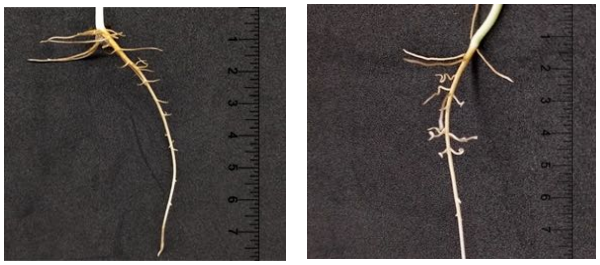
จากรูปที่ 8 เห็นได้ว่าถั่วที่ปลูกภายใต้แรงเหวี่ยงที่มากขึ้นจะทำให้รากแขนงเกิดการบิดเกลียว ซึ่งไม่พบในงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการเขย่าพืช แต่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Swandjaja พบว่ารากจะเกิดการบิดเกลียวขึ้นเมื่อปลูกพืชในสภาวะไร้ทิศทาง[2] นอกจากนี้การทดลองยังพบว่าความยาวของรากมีแนวโน้มเช่น



รูปที่ 6 ความกว้างของใบที่ปลูกภายใต้แรงเหวี่ยงต่างกัน



รูปที่ 7 ความยาวของใบที่ปลูกภายใต้แรงเหวี่ยงต่างกัน



รูปที่ 8 รากของพืชที่ปลูกในสภาวะปกติ (ซ้าย) และรากของพืชที่ปลูกในความเร็วรอบ 200 RPM (ขวา) เป็นเวลา 10 วัน

เดียวกับลำต้นคือยิ่งความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจะทำให้ความยาวของรากลดลงดังรูปที่ 9

การทดลองนี้เป็นการศึกษาเฉพาะช่วงระยะเวลา 10 วันหลังการงอกเท่านั้น ดังนั้นผลที่ได้อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงหากทดลองด้วยระยะเวลาที่มากขึ้น จึงควรทำการทดลองเป็นระยะเวลานานกว่านี้ นอกจากนี้การทดลองยังใช้พืชเพียงชนิดเดียว

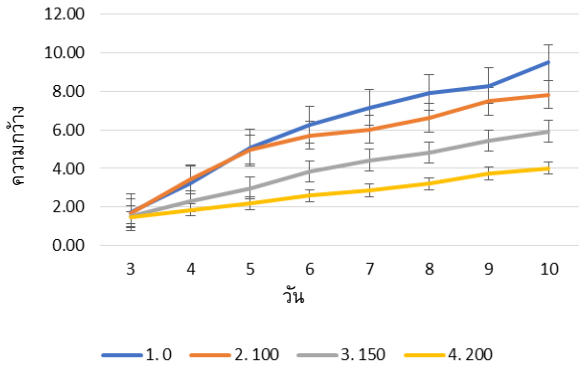
ผลที่ได้อาจแตกต่างกันในพืชชนิดอื่น จึงควรเพิ่มชนิดของพืชในการทดลองให้หลากหลายชนิด และการทดลองนี้ความเร็วรอบต่ำที่สุดที่เปรียบเทียบคือ 100 RPM ดังนั้นจึงไม่อาจทราบถึงผลการทดลองที่ใช้แรงน้อยกว่านั้น

4. สรุปผลการทดลอง

เราได้พบว่าการปลูกถั่วเขียวภายใต้การเขย่าทำให้ลำต้นมีการเจริญเติบโตที่ช้าลงคือมีความยาวของลำต้นและช่องว่างในลำต้นน้อยลง แต่ไม่มีผลต่อขนาดของใบไม้ นอกจากนี้ยังส่งผลให้รากแขนงเกิดการบิดเกลียวและความยาวของรากในแนวดิ่งน้อยลง

5. เอกสารอ้างอิง

1. Mitchell, C. (1996). Recent Advances in Plant Response to Mechanical Stress: Theory and Application. Horticultural Science 31 (1), 31-35.
2. Swandjaja, L., Esyanti, R., Khairurrijal, R., Dwivany, F., Latief, C. (2014). The Effect of Clinorotation to the Growth of Tomato (Lycopersicon esculentum) and Mung Bean (Vigna radiata) Seedlings. Transactions of the Japan Soc. For Aeronaut. And Space Sciences 12, (ists29), 5-10. doi: 10.2322/ tastj.12.Th_5.



รูปที่ 9 ความยาวของรากที่ปลูกภายใต้แรงเหวี่ยงต่างกันเป็นเวลา 10 วัน

3. Beyl, C. and Mitchell, C. (1977). Characterization of mechanical stress dwarfing in chrysanthemum. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 102, 591–594.
4. Akers, S., and Mitchell, C. (1984). Seismic stress effects on vegetative and reproductive development of ‘Alaska’ pea. Canadian Journal of Botany 62, (10) 2011-2015.
5. Rhoades, Heather. (2018, May 18) How To Soak Seeds Before Planting And The Reasons For Soaking Seeds. Gardening Know How. www.gardeningknowhow.com/garden-how-to/propagation/seeds/soaking-seeds.htm.
6. Gleason, Kelly. (2012, July 15). How to convert Centrifuge RPM to RCF or G-force? Clinfield. https://clinfield.com/how-to-convert-centrifuge-rpm-to-rcf-or-g-force/
7. Hammer, P., Mitchell, C., and Weiler, T. (1974). Height control in greenhouse chrysanthemum by mechanical stress. HortScience 9, 474–475.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ภายใต้การดูแลของนายณัฐพล กลิ่นพุฒ ครูที่ปรึกษาโครงงาน และได้รับทุนการศึกษาจากโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย เพชรบุรี